

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta dopravní

Hlavní odborná studie

**Detekce objízdných tras při nehodě na hlavních silničních tazích
na základě dat z plovoucích vozidel**



Výzkumná zpráva č. 118/2022

Podpořeno grantem SGS21/080/OHK2/1T/16

10. ledna 2022

Obsah

Abstrakt	2
1 Úvod	3
2 Základní terminologie	3
3 State of the art	5
4 Background modelu	7
4.1 Vstupní data do modelu	8
4.2 Výpočet algoritmů	9
4.3 Mapování na síť	10
4.4 Výstupní data	10
5 Tvorba modelu	12
5.1 Definování oblasti modelu	12
5.2 Zkoumaná data	13
5.3 Výpočet penetrace	14
5.4 Analýza dat	14
5.4.1 Událost na dálnici D8	15
5.4.2 Událost na dálnici D1	16
6 Vyhodnocení modelu	18
6.1 Vyhodnocení příkladových událostí	18
6.2 Možnosti využití datového zdroje pro další aplikace	20
7 Prezentace projektu	21
8 Závěr	22

Abstrakt

Výzkum se zabývá detekcí objízdných tras při nehodě na hlavním dopravním tahu na základě dat z plovoucích vozidel. Na základě těchto dat lze sledovat chování uživatelů při mimořádných událostech. Výsledkem jsou reálně využívané objízdné trasy vybrané při omezení na hlavní komunikaci a dopady těchto tras na jejich okolí.

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

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. Podpořeno grantem SGS21/080/OHK2/1T/16 - Detekce objízdných tras při nehodě na hlavních silničních tazích na základě dat z plovoucích vozidel.

1 Úvod

Již třetím rokem jsou k dispozici data z plovoucích vozidel skrze rozhraní Ředitelství silnic a dálnic (dále ŘSD). Tento datový zdroj je financovaný z veřejných zdrojů a stále v pilotním provozu, takže je vhodný k dalšímu zkoumání. Velké téma dnešní doby je udržitelná doprava, a tento datový zdroj může přispět k detailnějším či doplňujícím informacím ze silničního provozu.

Ve spojitosti s popisovaným datovým zdrojem vzniklo v roce 2020 uživatelské fórum pro dynamické dopravní informace pod záštitou Ředitelství silnic a dálnic ČR, Ministerstva dopravy a Sdružení pro dopravní telematiku v Praze [17]. Hlavním cílem je využití a sdílení dopravních informací a také podpora větší spolupráce veřejného a soukromého sektoru. Tento subjekt se na společných setkání formou představení nových funkcionalit a brainstormingem snaží propojit právě soukromou a státní sféru problematiky.

Projekt využívá vytvořené smlouvy z předešlých projektů pro odběr dat k detekci objízdných tras při nehodách na hlavních tazích. Již předchozí projekt Výzkum vzniku alternativních tras a jejich dopad na silniční infrastrukturu na území ČR s těmito daty pracoval a autorka projektu se bude datům věnovat i v rámci své disertační práce. Pro přístup k datům je potřeba zažádat provozovatele rozhraní, tedy ŘSD, o přístup k volnému stažení dopravních dat. Data jsou dále zasílána na určenou adresu, nejedná se tedy o klasický odběr dat, kdy stahování je na straně uživatele.

O tom, že se jedná o aktuální téma se lze přesvědčit i díky veřejné zakázce z poslední čtvrtiny roku 2021, kterou vydalo ŘSD na rozvoj a využití tohoto datového zdroje k dalším analýzám. Konkrétně zde se jedná o vývoj predikčního modelu na základě dat z FCD.

Základní myšlenkou je detekce objízdných tras při nehodách na hlavních tazích silniční sítě. V dopravní síti mohou vznikat tyto objízdné koridory například při nehodě na dálnici D1 v opravovaných úsecích. Dopravní proud se tak přesune na komunikace, které nemusí mít dostatečnou kapacitu pro takové intenzity, pro tonáž vozidel nebo vede skrz obec.

2 Základní terminologie

Z počátku je žádoucí upřesnit základní terminologii, používanou během projektu a dále v této Výzkumné zprávě, aby nedošlo k dezinpretaci či špatnému pochopení jednotlivých problematik.

Data z plovoucích vozidel (floating car data = FCD) jsou časově označená dopravní data, která obsahují geolokalizační a rychlostní informace s časovým razítkem. Tato data jsou sbírána pomocí flotily plovoucích vozidel, což jsou převážně fleetová vozidla komerčních a

státních subjektů, vozidla veřejných dopravců a dalších zapojených subjektů. Celkem je počítáno zhruba se 150 000 vozidel [3] na silniční síti v České republice. Jejich počet je samozřejmě ovlivněn aktuální situací, kdy je možné předpokládat pokles těchto vozidel z důvodu koronavirové pandemie.

Data jsou sbírána přímo ze silniční sítě bez nutnosti další instalace technologie podél komunikace. Každé takové vozidlo musí mít vybavení pro lokalizaci. Data jsou historicky ukládána na servery Ředitelství silnic a dálnic, které je správcem celého systému. Data jsou integrována do NDIC (Národní dopravní informační centrum, což zajišťuje distribuci informací třetím stranám a v budoucnu je možná i distribuce informací přímo účastníkům provozu.

Na základě smlouvy s ŘSD z minulého projektu SGS lze data odebírat. Autorka grantu v roce 2020 zprostředkovala odběr dat z tohoto rozhraní pro FD ČVUT. K odběru bylo nutné vyřídit rámcovou smlouvu a dále definovat atributy dat, které jsou požadovány. Následně byl poskytnut odkaz, kam jsou data zasílána, a pro tento případ bylo zřízeno serverové uložení. V červnu roku 2021 došlo k úpravě rozhraní ŘSD, kdy došlo mimo jiné i ke změně formátu poskytovaných dat, kdy jsou již FCD data poskytována ve formátu DATEX II nebo DDR (obojí dynamické vrstvy), a naopak již není poskytován XML. Ostatní funkcionality zůstávají neměnné.

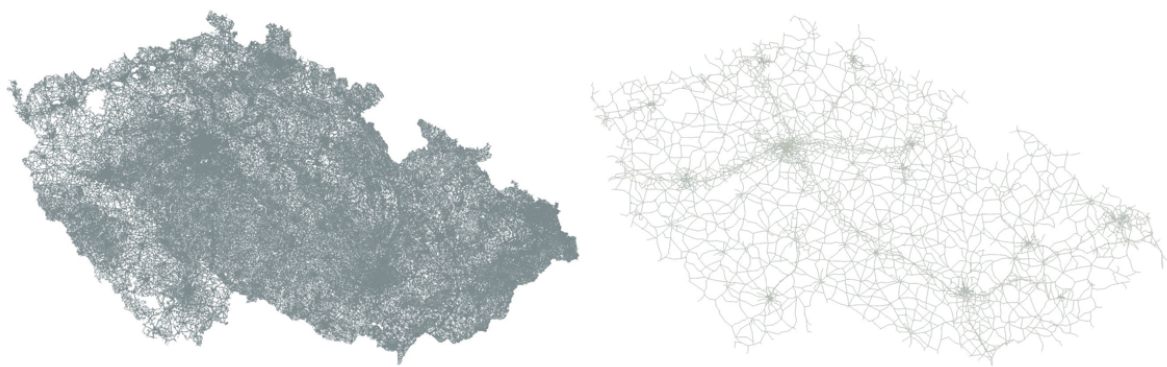
V případě České republiky jsou využívána tzv. GPS-based FCD. Tedy data získávaná z vozidel vybavených přijímačem GPS. Základním princip GPS FCD je použití navigačních systémů GNSS a mobilní sítě GSM. Díky navigačním systémům je určena přesná poloha vozidla v souřadnicích GPS. Data jsou následně odeslána do řídicích středisek pomocí GPRS 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 15minutovém intervalu.

S daty je spojená lokalizace na silniční síť. K tomu bude využita vrstva tzv. TMC

segmentů v softwaru QGIS. V případě TMC segmentů se jedná o definované úseky pozemních komunikací v rámci celé České republiky. Na tyto úseky je možné lokalizovat jednotlivá FCD vozidla, respektive jejich generované minutové datové informace. geograficky informační software QGIS je využit z důvodu jeho volné verze a široké uživatelské podpory. Je možné diskutovat rozdíly mezi sítí tzv. TMC segmentů a sítí GN (Global Network). Obě tyto vrstvy mapových podkladů umožňují přiřadit datům polohovou charakteristiku, a tak jsou pro projekt nezbytně nutné. Rozdíl mezi nimi je především v podrobnosti, kdy síť GN je znatelně podrobnější v porovnání se sítí TMC segmentů. Porovnání těchto dvou vrstev je možné sledovat na obrázku (Obrázek 1). Blíže je tomu věnována kapitola 4.3. Tato problematika byla také diskutována v posledním článku na online konferenci v prosinci.



Obrázek 1: Porovnání sítě Global Network (vlevo) a TMC segmentů (vpravo)

Při lokalizaci jednotlivých dat na prostorovou síť budou vyhledávány kritické události vedoucí k narušení volného dopravního proudu. Již v minulém projektu byly vyhledávány události vedoucí k úplnému uzavření hlavního dopravního proudu a byl sledován odklon a změna chování při této situaci. Nyní se projekt zabývá pouze částečným omezením dopravního proudu. Při těchto událostech bude dále sledován odklon hlavního dopravního proudu na objízdné trasy a bude sledováno chování uživatel.

3 State of the art

Plánování cesty v reálném čase je jednou z klíčových technologií pro autonomní řízení. Proto se této problematice věnuje čím dál více nejen vědeckých, ale také komerčních projektů. Tato část bude popisovat nejen vědecké projekty, ale právě také některé komerční či výzkumy postavené na základě dat z těchto společností.

Myšlenky na využití vozidel v síti jako pohyblivých sond nejsou nic nového. Firmy Siemens a Philips chtěli obdobnou technologii používat již v 80. letech [6]. Jedním z prvních výzkumných projektů je často označován nizozemský projekt Prelude z přelomu tisíciletí [16]. V předchozí zprávě bylo jmenováno několik výzkumů, které se zabývají základními

parametry dat z plovoucích vozidel. Níže bude rešeršní část zaměřena již více na detekci s využitím dat FCD či jejich další zpracování.

Prvotní analýza, která byla provedena i v rámci tohoto výzkumu, řeší a kontroluje kvalitu zasílaných dat. Je více studií, které zkoumají, jak přesné jsou vysílané dopravní informace v porovnání s reálným stavem na komunikacích. Například článek [13] zkoumá dopravní zprávy vysílané v Rakousku prostřednictvím určeného kanálu, kde mají průměrné zpoždění zhruba 10 minut.

Článek [1] pak porovnává různé metody managementu dopravních dat a diskutuje o kvalitě informací o provozu. Základní myšlenka je chápat kvalitu jako úroveň podobnosti mezi skutečnou dopravní situací a vysílanými daty. Jedna z metod je založena na sledovacích testovacích vozidlech, Jiná zase pomocí dat ze stacionárních detektorů rekonstruuje provoz. Tyto metody porovnávají zdroje přímo, aniž by byl jeden ze zdrojů považován za ten přesný.

Článek [15] se zabývá využitím FCD dat pro tvorbu geografických podkladů, kdy na základě vlastností a znalostí FCD jsou využity algoritmy, díky nimž je možné určit infrastrukturní síť. Tato metoda byla testována na vzorku fleetových dat soukromé firmy na datech z roku 2016. Mapový podklad byl navržen s využitím distribuční funkce dat a pomocí QGIS GRASS.

Méně využitelný se zdá postup [7], kdy autoři počítají s tím, že rychlost nebude nulová. To v případě kongesce či dokonce excesu na hlavním tahu nemusí být pravda. Také je zde předpoklad pro velkou vzorkovací periodu (až 60 s), což by právě při detekci excesů nemuselo být dostatečné. Naopak myšlenku použití zákonných limitních rychlostí na komunikaci pro stanovení mezí pro určení dopravní kongesce je vhodné dále zkoumat.

Autoři [5] navrhují způsob detekce provozu na křižovatce na základě dat z plovoucích vozidel. V článku je prezentován algoritmus identifikace dopravní křižovatky na základě algoritmu shlukování dat. Na základě hustoty dat je možné detekovat odlehlé hodnoty. Je otázkou k diskuzi, zda je obdobný postup využitelný i pro extravilán.

Dnes využívají technologie založené na FCD téměř všichni poskytovatelé dopravních informací jako jsou TomTom, Google, Inrix atp. Díky tomu mohou poskytovat real-time informace. Článek [10] analyzuje dopravní informace poskytnuté společností Inrix. Autoři článku zkoumali data z Ohia, kde přecházeli ze smyčkových detektorů na dopravní data třetích stran pro správu dopravy v reálném čase. Výsledek tohoto výzkumu ukazuje, že data INRIX jsou zpožděna oproti smyčkovým detektorům zhruba o 6 minut. INRIX také posílá zprávy ve frekvenci 1 minuta, ale autoři poukazují, že výpočet algoritmu je vhodný pro delší interval, kdy se jeví efektivní průměrná perioda vzorkování zhruba 3-5 minut.

Data od společnosti INRIX analyzují také autoři článku [4], kde porovnávají především

dobu jízdy a spolehlivost cestovní doby těchto dat s daty ze stacionárních detektorů.

Autoři [9] porovnávají data z indukčních smyček a z plovoucích vozidel od společnosti TomTom na německé dálnici A9 u Mnichova. Oba zdroje dat z roku 2015 jsou agregovány v minutovém intervalu. Článek analyzuje, jaký zdroj je výhodnější z hlediska detekce dopravních zácp. Na základě algoritmu řeší, který zdroj pozná kongesci dříve. Článek ukazuje, že v oblastech hustě osazených detektory jsou smyčky přesnější s detekcí kolony zhruba o dvě min dříve než FCD.

Tematicky blíže naší problematice je článek [8], který přináší metodu určení stupně spolehlivosti provozu díky datům založených na plovoucích vozidlech. Metoda je navržena s ohledem na velikost vzorku dat z plovoucích vozidel a je ověřena simulovanými daty. Zde jsou zmiňovány dva důležité parametry, které nás na datovém zdroji zajímají, a sice minimální velikost vzorku plovoucích vozidel a minimální vzorek pro komunikaci. První parametr se týká poměru počtu plovoucích aut a všech vozidel v silniční síti. Druhý se týká absolutního počtu plovoucích aut na komunikaci, a tím se také článek zabývá. Naopak, prvním parametrem je vhodné se do budoucna zabývat na našem českém datovém zdroji, především s ohledem na změnu mobility z důvodu pandemie COVID.

Detekci kongescí se zabývají autoři [7] na základě dat z vozidel taxi v intravilánu. Na základě modelu odhadují průměrnou rychlost a navrhují metodu identifikace dopravní kongesce s průměrnou rychlostí. Model pak ověřují na základě dat naměřených pomocí GPS a aplikace GIS ve městě. Metoda je založená na předpokladu, že vzorkovací perioda je v praxi vždy velká a okamžitá rychlost není nikdy rovna 0 km/hod. Počítají tak s různými koeficienty pro okamžité nulové rychlosti. Autoři určili spodní a horní hranici rychlosti na komunikacích a používají tyto meze jako kritéria dopravní zácpy. Pokud jsou dva po sobě jdoucí časové intervaly pod danou mezí, lze situaci považovat za dopravní zácpu.

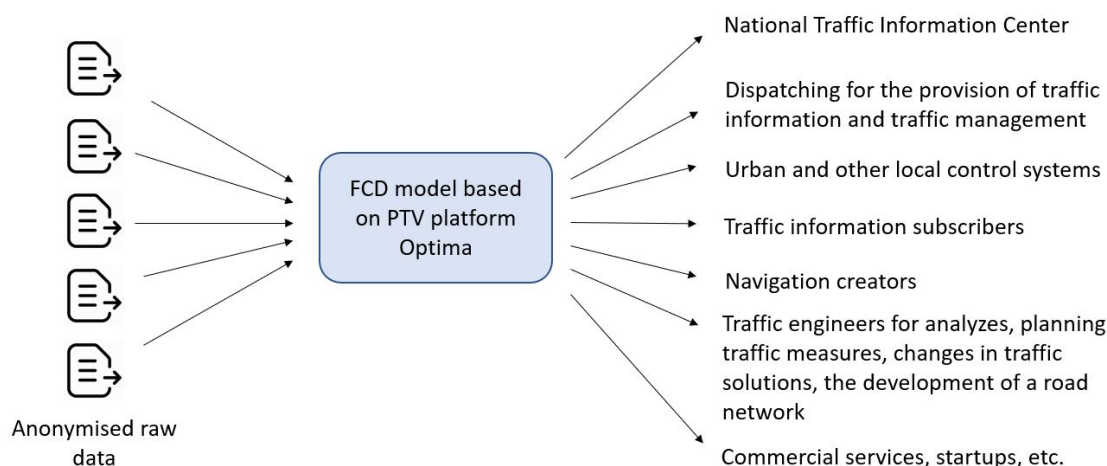
4 Background modelu

Pro hlubší porozumění výsledným datům byl dále zkoumán jednak vstup do oficiálního modelu plovoucích vozidel, tedy do modelu rozhraní ŘSD a dále byly také zkoumány jednotlivé parametry, které dopravní data vysílají z modelu ven.

Model vznikl pod hlavičkou VARS BRNO a.s. [14]. Tato firma využívá spolupráci se společností INRIX a jejich PTV platformu Optima. Výsledkem je moderní platforma pro řízení dopravy, kterou lze využít při budování proaktivního prediktivního modelování dopravy. Informace o aktuální dopravní situaci budou v reálném čase poskytovány Národnímu dopravnímu informačnímu centru (NDIC). Při spojení těchto dat s daty z dopravních detektorů, dat z mýta, meteodat a dalších dat může NDIC tvořit model dopravní

situace.

Kromě NDIC mohou data využívat i další subjekty. Na obrázku (Obrázek 2) je možné sledovat schematické znázornění toku dat. Je zřejmé, že v modelu společností VARS a PTV platformy dochází k řešení širších matematických algoritmů, jejichž výsledkem je 15 atributů, které budou rozebrány v jedné z následujících podkapitol.



Obrázek 2: Schematické znázornění toku dat v modelu FCD

Dále bude věnována pozornost především vstupním datům do modelu a dále algoritmickým výpočtům v modelu. Výstupní data nebudou rozebrána tak podrobně, tím jsme se zabývali již dříve v předchozích projektech [12] a dále to není hlavním cílem tohoto projektu.

4.1 Vstupní data do modelu

Data jsou zasílána do modelu nepřetržitě, ukládají se po 1 minutě do souborů. Model má agregovaný výpočet pro 5minutové sloty, které jsou vhodné pro výpočet aktuální dopravní situace.

Odesílaná data jsou anonymizována. Je odesíláno ID vozidla, které je změněno na unikátní identifikátor. Tento identifikátor je poté v průběhu jízdy měněn, aby nebylo možné sledovat konkrétní vozidlo. Pro započtení jízdy je odstraněna GPS poloha prvních segmentů, aby byl dodržen zákon o GDPR a zaručena ochrana citlivých dat. To nastává i po výměně identifikátoru v průběhu jízdy.

Z jednotlivých vozidel jsou odesílány následující parametry:

- anonymizované ID vozidla (např. kcw73b69d663c8eb24c45b24ab1b457b1877)
- časové razítko z palubní jednotky (např. 01-01-2021T00:00:24Z)
- zeměpisná šířka (úhel ve stupních, např. 49.198950)

- zeměpisná délka (úhel ve stupních, např. 16.605325)
- rychlost vozidla (uvedená v km/hod)
- směr pohybu vozidla (např.)
- kategorie vozidla (označení dle evropské směrnice 2007/46/ES, M1-M3, N1-N3, např. N1 = vozidla, jejichž nejvyšší přípustná hmotnost nepřevyšuje 3500 kg)
- čas zpracování (např. 01-01-2021T00:00:55Z)

Za minutu přijde do modelu zhruba 60 kB vstupních dat (to je zřejmé z odebíraných dat). Můžeme předpokládat datové toky tak, abychom mohli odhadnout celkový objem řešených dat. Není známo, na jakém protokolu funguje posílání zpráv z vozidel. Díky znalosti principu zasílání z vozidla na sever můžeme považovat za porovnatelnou komunikaci jinou známou se stejným komunikačním modelem server-client, například komunikaci při nabíjení elektrických vozidel. V dokumentaci pro nejnovější komunikační protokol [11] je udávána maximální velikost zprávy do sta bytů, je předpoklad, že zpráva FCD bude o něco menší. Budeme uvažovat velikost zprávy odesílanou vozidlem na zhruba 50 b a zároveň počítáme s tím, že je zpráva odesílána alespoň jednou za minutu.

Pokud je známa velikost flotily plovoucích vozidel (vycházíme z [3]), je možné odhadnout velikost zasílaných dat za den následovně:

$$Y_d = t * p * y_z \quad (1)$$

přičemž:

Y_d = velikost přijímaných dat

t = čas

p = počet vozidel (velikost flotily FCD vozidel)

y_z = velikost zprávy

Data jsou odesílána každou minutu, proto budeme dále čas počítat pro jeden den (tedy 60*24 pro počet zápisů během 24 hodin). Při výpočtu odhadované velikosti vstupních dat pro jeden den je po dosazení do rovnice (1) výpočet následující:

$$Y_d = 60 * 24 * 150000 * 50 = 10,8GB$$

Vzorový vstup do celého modelu je možný sledovat na obrázku níže (Obrázek 3).

4.2 Výpočet algoritmů

V této části rozboru výpočetního modelu FCD narážíme na problematiku utajených dokumentací. Funkčnost modelu zajišťuje společnost VARS Brno a.s., model jako takový

qdr086019dae-6e00-4c52-9c3c-aaafa5f4c27c	01-01-2021T00:00:39Z	50.200508	15.832748	37	296	M1	01-01-2021T00:00:56Z
qdr086019dae-6e00-4c52-9c3c-aaafa5f4c27c	01-01-2021T00:00:49Z	50.201152	15.832426	22	296	M1	01-01-2021T00:00:56Z
vlq158a90bd5-9ac6-4ef7-adf3-e937d646b58e	31-12-2020T23:59:59Z	50.047223	15.753848	0	186	M1	01-01-2021T00:00:56Z
mvs53f92cc95d82bd0523ff9c03400667a3e	01-01-2021T00:00:18Z	50.142950	14.494775	74	360	M1	01-01-2021T00:00:58Z
mvs53f92cc95d82bd0523ff9c03400667a3e	01-01-2021T00:00:48Z	50.148525	14.493400	77	344	M1	01-01-2021T00:00:58Z
cpq100b6a913-33bb-4857-8f3c-ca2749fe4b6a	01-01-2021T00:00:02Z	49.473455	17.122095	51	18	M1	01-01-2021T00:00:58Z
cpq100b6a913-33bb-4857-8f3c-ca2749fe4b6a	01-01-2021T00:00:12Z	49.472822	17.120550	51	22	M1	01-01-2021T00:00:58Z
cpq100b6a913-33bb-4857-8f3c-ca2749fe4b6a	01-01-2021T00:00:21Z	49.472897	17.118597	51	357	M1	01-01-2021T00:00:58Z
cpq100b6a913-33bb-4857-8f3c-ca2749fe4b6a	01-01-2021T00:00:32Z	49.473004	17.116795	51	356	M1	01-01-2021T00:00:58Z

Obrázek 3: Vzor vstupních dat do modelu

funguje na základech softwaru německé společnosti PVT AG. Z komerčních důvodů tak není možné nahlédnout přímo do výpočtů a algoritmů modelu.

4.3 Mapování na síť

Výpočetní model FCD využívá dvě možné vrstvy, a sice Global Network (tzv. GN) a vrstvu TMC segmentů, popisovaných v minulé zprávě [12]. Díky tomu je možné data vztáhnout na obě zmíněné sítě.

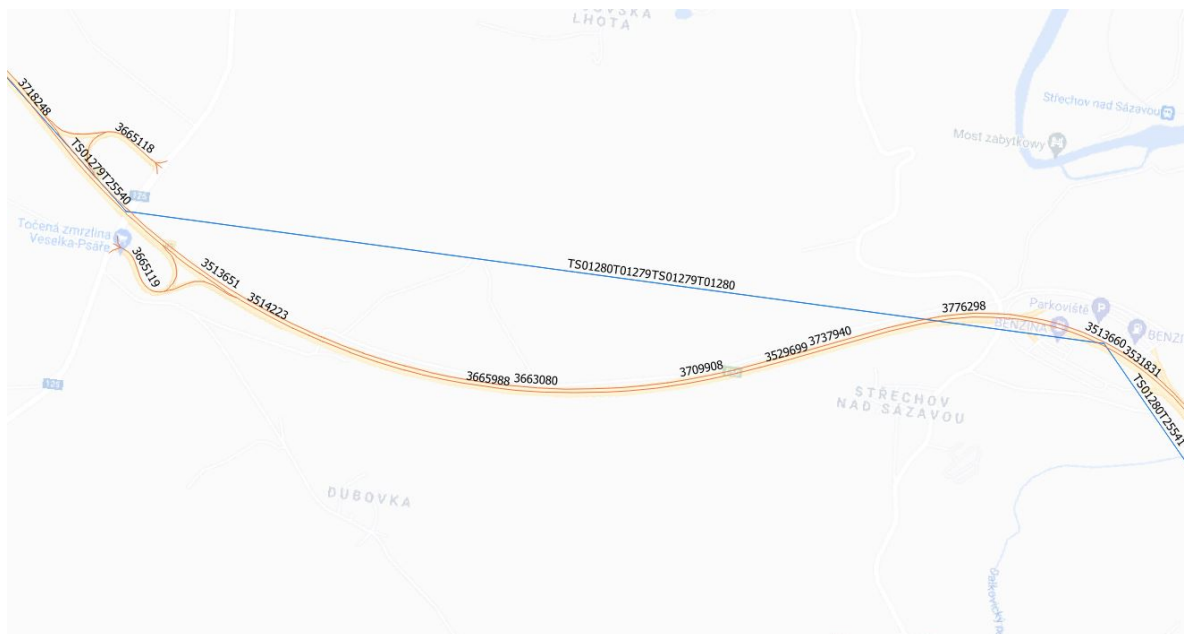
Výhodou GN oproti TMC segmentům je vyšší podrobnost. Segmenty jsou kratší, což zajišťuje přesnější určení lokalizace. Tyto dvě sítě jsou zobrazeny na mapě (Obrázek 4). Síť GN je zobrazena červenou barvou, síť TMC segmentů pak modrou. V obou vrstvách jsou zobrazeny úseky oběma směry včetně jejich identifikátorů. Na příkladu dálnice D1 lze sledovat v oblouku jeden úsek TMC segmentu (délky zhruba 3300 m), zatímco síť GN má na stejné vzdálenosti 4 úseky.

Například lokalizace kongesce a její délka je závislá na přesném určení polohy a délce segmentů. Síť TMS segmentů je průběžně aktualizovaná, poslední aktualizace lokalizačních tabulek vyšla na jaře roku 2021. Dále je v projektu pracováno s lokalizačními tabulkami a TMC segmenty, především z důvodu urychlení výpočtů modelu v QGIS. Zkreslení není v extravilánu tak velké, problém by mohl nastat v intravilánu, kterému se projekt primárně nevěnuje.

4.4 Výstupní data

Výstupem z modelu je 15 parametrů plovoucích vozidel, které charakterizují aktuální dopravní situaci. Tyto parametry je možné sledovat také v tabulce níže (Tabulka 1). Dva parametry se věnují volnému průjezdu, cestovní doba a rychlost. Jedná se o dlouhodobě měřený statistický průměr, kdy není ani rychlost ani cestovní doba omezena ostatními automobily nebo jinými vlivy omezující rychlost a cestovní dobu (například meteorologické podmínky, částečné uzavírky atp).

Míra spolehlivosti popisuje míru pravděpodobnosti, na jaké je hodnota dat vypočtena. Je vždy vztažena k datům z jednotlivých TMC segmentů.



Obrázek 4: Porovnání vrstev Global Network a TMC segmentů

Dalším diskutovaným parametrem je reakční doba systému. Jedná se o informaci, s jakou latencí může systém reagovat na změnu dopravní situace a data tak reflektují aktuální časové okno.

Formát dat

Standard ČSN EN 16157-1 v České republice platný od roku 2019 definuje evropský formát DATEX II, ve kterém jsou data z plovoucích vozidel publikována. Standard má zaručit služby za srovnatelných podmínek a kvality i při přeshraničním cestování. Standard je součástí Akčního plánu ITS. Tento formát umožňuje popsat polohu různými způsoby (koordinační souřadnice, lokační tabulky atp). V případě FCD byly použity lokační tabulky.

Frekvence odesílání dat

Vzorkovací frekvence vysílaných dat se v systémech FCD liší, v závislosti na dostupné šířce pásma komunikačního systému a spotřebě energie. Systémy vzorkování s frekvencemi jednoho vzorku každých 1-10 sekund umožňují velmi přesné sledování vozidla, protože rozdíl v postupných pozicích je malý. V systémech se vzorkováním každých 30–60 sekund (a více) je sledování složitější. Je třeba odhadnout přesnou dráhu vozidla, protože vozidlo může cestovat několik kilometrů mezi pozicemi. Výstupní data z řešeného modelu jsou agregována v periodě jedné minuty.

Tabulka 1: Výstupní datové parametry modelu

Parametr	Formát	POPIS
TMC segment	text	segment komunikace, kde jsou data měřena
den	YYYY-MM-DD	
čas	HH:MM:SS+02:00	
počet	integer	aktuální počet FCD vozidel na segmentu
speed	integer	aktuální průměrná rychlost FCD vozidel na segmentu
cestovní doba	integer	cestovní doba v aktuálních podmínkách
zpoždění	integer	rozdíl mezi cestovní dobou a freeflow_{time}
freeflow_{speed}	integer	rychlost volného dopravního proudu
freeflow_{time}	integer	cestovní doba volného dopravního proudu
spolehlivost	rozsah 0-1	charakteristika kvality dat
reakční doba	integer	reakční doba modelu
stupeň dopravy	rozsah 1-5	parametr dopravy dle konvencí ČR
kongesce	binární 0/1	binární popis, zda je na segmentu kongesce
congestion.from	string	odhad začátku kolony v metrech
congestion.length	string	odhad délky kolony v metrech

5 Tvorba modelu

Klíčovou částí této práce je definování oblasti zájmu, získání a úprava dopravních dat a jejich následné analýza. To vše bude popsáno níže v této kapitole.

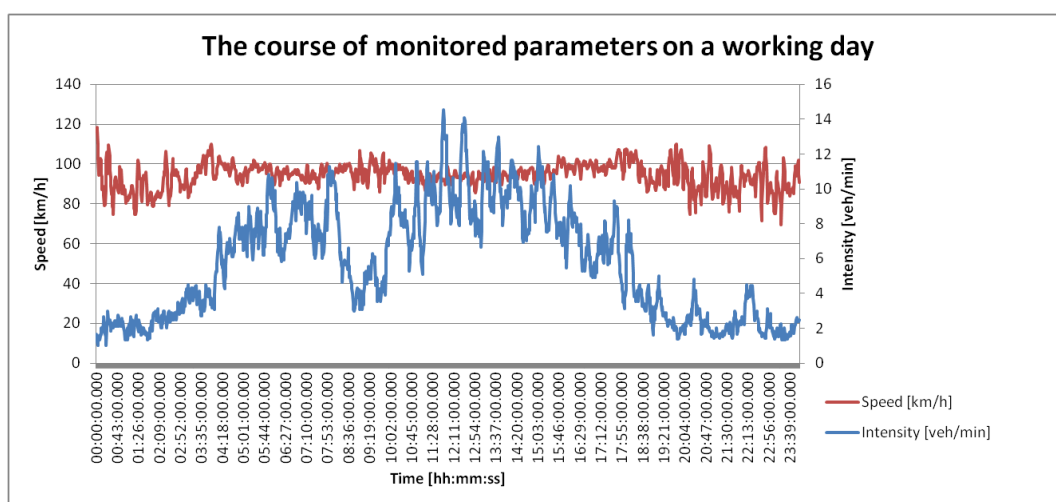
5.1 Definování oblasti modelu

V první řadě je nutné definovat, jaká je vlastně oblast zájmu. Tedy na jakých komunikacích hledáme události vedoucí k částečnému omezení provozu na silniční síti. Byla zvolena síť významných silničních tahů, tedy dálnice, rychlostní komunikace a komunikace I. třídy. Prvním důvodem této volby je charakteristika flotily plovoucích vozidel. Jelikož se jedná především o flotily služebních vozidel, vozidel veřejné dopravy a nákladních vozidel, je velký předpoklad využití právě těchto komunikací, pokud nedojde k nečekané události (kongesce, nehoda, uzavírka atp). Druhým důvodem je pandemie COVID, která dopravu v roce 2021 významně omezila, a tak se objevuje v některém časovém období riziko velmi nízkého počtu dat z plovoucích vozidel.

5.2 Zkoumaná data

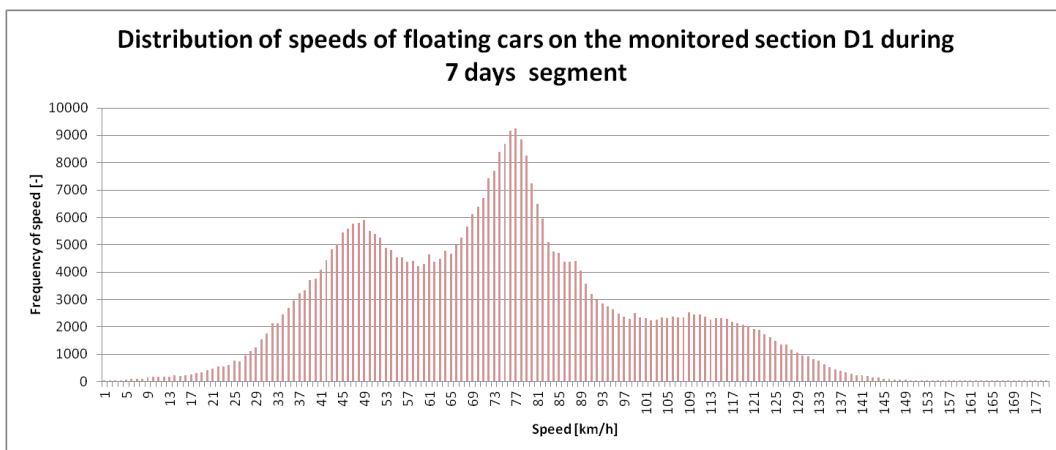
Jak již bylo popsáno v předešlých kapitolách, do modelu jsou aplikována data z plovoucích vozidel. Tato data mají několik parametrů, viz popsáno výše.

Příkladem klíčového chování datového zdroje může být obrázek níže (Obrázek 5). Se znalostí charakteristiky datového zdroje bylo předpokládáno, že při nízké penetraci plovoucích vozidel budou stanovené parametry nestálé. To lze očekávat především o víkendech a ve večerních a nočních hodinách. To je způsobené právě tím, že prvky flotily plovoucích vozidel jsou často služební vozidla. Tuto vlastnost je potřeba brát v potaz ve chvíli, kdy budou zkoumány jednotlivé výchyly chování, na nichž by bylo možné automaticky analyzovat aktuální dopravní data. Na grafu jsou zobrazeny průměrné počty vozidel a také průměrné rychlosti. Již v generovaných datech z rozhraní poskytovatele uvádí rychlosti v průměru za časovou jednotku pro jednotlivé segmenty. Na toto chování bylo poukazováno i v článku publikovaném v březnu na GIS konferenci VŠB Ostrava.



Obrázek 5: Příklad chování plovoucích vozidel - průběh parametrů v pracovním dni

Další vlastností dat z plovoucích vozidel je relativní dodržování pravidel silničního provozu. Jak již bylo řečeno, je častým jevem, že plovoucí vozidlo je vozidlem služebním. Případně se jedná o uživatele, který vozidlo a řidičský průkaz potřebuje k své práci. Dle monitorovaných segmentů dálnic lze tvrdit, že tato vlastnost je dodržena i v extravilánu. Na grafu níže (Obrázek 6) lze sledovat vybraný úsek dálnice D1 (směr Praha) ve zúženém profilu (kvůli rekonstrukci této komunikace). Je zřejmé, že flotila FCD dodržuje nařízenou rychlost 80 km/h v tomto úseku. I tento fakt byl diskutován ve zmíněném článku.



Obrázek 6: Příklad rozložení rychlosti plovoucích vozidel na dálnici D1 v průběhu 7 dní

5.3 Výpočet penetrace

Po filtraci a zpracování dat bylo potřeba zkontrolovat, kolik je v daném období detekovaných TMC segmentů, ale také kontrolovat, zda nedochází k chybám dat. Například tak bylo kontrolováno, zda obousměrné úseky vykazují opravdu dva směry. Dále byla v databázi vytvořena časová základna, pomocí níž bylo možné data zkoumat pro konkrétní čas napříč celou sítí silnic na území České republiky.

Důležitým krokem je výpočet penetrace P_C , jež popisuje obsazení, resp. rychlosti konkrétních TMC segmentů v průběhu sledovaného období. Hodnota P_C lze získat následovně

$$P_C = \frac{x}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (2)$$

kde x reprezentuje počet vozidel pro daný úsek nebo průměrnou rychlost vozidel pro daný úsek. Součet t_i značí celkový počet (n) časových záznamů.

Je také možné vypočítat penetraci vozidel pouze pro špičkové období, kdy se můžeme zaměřit pouze na periody ranní a odpolední dopravní špičky (ranní špička je v období 7:00-11:00, odpolední špička je v rozmezí 14:00-18:00).

5.4 Analýza dat

Bylo vytipováno deset událostí vedoucích ke vzniku alternativních tras a tyto události jsou popsány v tabulce níže (Tabulka 2). Byla zkoumána data z plovoucích vozidel a porovnána analýza dat s informacemi volně dostupnými o sledovaných situacích.

Pro demonstraci výsledků byly vybrány dvě situace, které se staly na dálniční síti České republiky a které také byly popsány v jednom z publikovaných výstupů.

První událost je z listopadu 2020, kdy doprava ještě nebyla příliš zasažena pandemií COVID19. Druhá událost pak byla vybrána z počátku roku 2021, konkrétně z února 2021.

Data byla zkoumána především z pohledu penetrace, pokrytí TMC segmentů, a rychlosti a využití různých tras. Cílem bylo zjistit, zda se vybrané nehody propisují do dat, zda je zřejmé ovlivnění dopravního proudu, a tedy zda by bylo možné v budoucnu tyto nehody, kongesce a další mimořádné události v datech automaticky detekovat, případně předpovídat.

Tabulka 2: Vybrané události v období 2020-2021

DEN	ČAS	A	MÍSTO	UDÁLOST	POPIS
	UDÁLOSTI				
12.1.2020	D5, km 142.5	směr	více	dopravních	dálnice zhruba na 2 hodiny
	Rozvadov, 13:00		nehod		uzavřena
26.6.2021	D1, km 188	směr	kongesce	zhruba	řidiči volí objížděku přes
	Brno, 5:00		6km dlouhá		komunikaci II/602
9.11.2020	D8, km 24	směr	Ústí	dálnice na chvíli	kolony se tvoří také na
	n.Labem, 01:00		úplně uzavřena		objízdných trasách
8.2.2021	D1, km 80-100	v obou	kolony několik km		náledí na celém území
	směrech		dlouhé		republiky
17.2.2021	území celé republiky		několik dopravních		náledí
			nehod		
1.4.2021	D1, km 11	směr	Brno	proměnné kongesce	Velikonoce, prodloužený
					víkend
13.5.2021	D0, Pražský okruh,		okolí Ořechu	kolony	hustý déšť v průběhu celého dne
24.8.2021	D1, km 81-92	v obou	kongesce až 10km		doprava svedena do jednoho
	směrech		dlouhé		pruhu v každém směru
8.9.2021	D8, km 38	směr	nehoda ve zúžení		kongesce také na
	Praha, 06:00		(modernizace dálnice)		objízdných trasách
31.10.2021	D1, km 209.5	směr	hromadná nehoda 6		kongesce také na všech
	Brno, 14:00		vozidel		komunikacích ve směru
					Vyškov → Brno

5.4.1 Událost na dálnici D8

V případě první situace byla pozorována mimořádná událost na dálnici D8, která vede na sever republiky ze dne 9.listopadu 2020. Ve sledovaný čas se na komunikaci stala nehoda, která dle oficiálních dopravních informací (poskytované Policií ČR) zapříčinila zpomalení dopravy a odklonění dopravy na vedlejší komunikace.

Tato nehoda také byla vybrána z důvodu lokace a času, jelikož pro hlavní dálnici D1 existuje

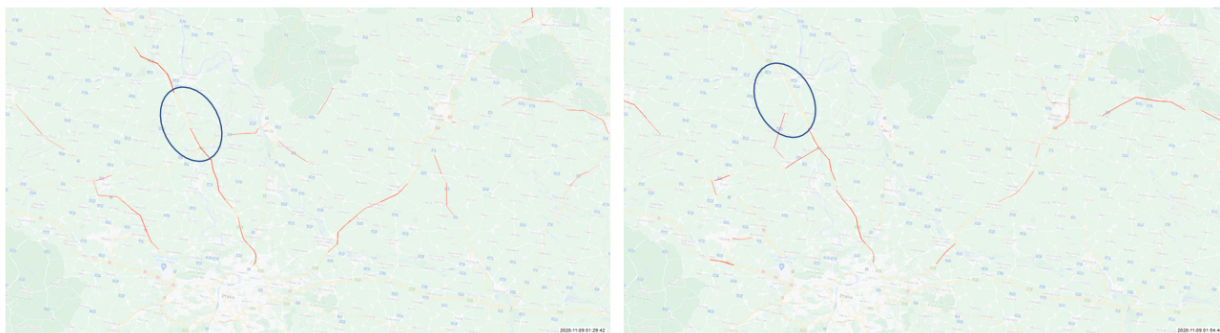
celá řada nehod a jejich analýz. Je také možné tvrdit, na základě dat, že na dálnici D1 jsou měřeny vyšší intenzity a rychlosti než na jiných dálničních tazích v České republice. neméně zajímavý je čas nehody, kdy nehoda se stala v jednu hodinu v noci, tedy intenzita dopravy velmi pravděpodobně nebyla příliš vysoká, naopak rychlosti by mohly být vyšší než během dne.

Cílem bylo u této události sledovat chování řidičů plovoucích vozidel, zda se uváděné chování propisuje do zkoumaných dat, potažmo zda je možné sledovat další zvláštnosti.

Výstup modelu pro tuto událost

Sledovaná událost se stala v pondělí a data byla porovnána s okolními dny a následujícím pondělím. Z obrázků (viz Obrázek 7) je patrné, kdy vznikla nehoda (obrázek vlevo) a také průběh nehody, kdy po hlavním dopravním proudu nejela žádná vozidla (obrázek vpravo). Data z plovoucích vozidel jsou zbarvena červeně tak, že čím tmavší barva, tím rychlejší je detekována doprava na daném úseku. Pokud zde není žádná linie, nebylo v daný čas na konkrétním TMC úseku detekováno žádné plovoucí vozidlo. Je třeba podotknout, že při srovnání s podobnými časy je dálnice velmi řídko obsazena plovoucími vozidly, avšak relativně pokrytá je.

K další diskusi je tento výsledek, kdy z dat vyplývá, že lze sledovat danou událost v datech. Avšak je třeba zmínit, že nehoda se stala v noci, kdy je penetrace vozidel značně nižší. V tomto případě by bylo vhodné doplnit data z plovoucích vozidel například daty z mýtných bran, stacionárních detektorů nebo kamerového dálničního dohledu pro validaci tohoto tvrzení. Tento případ poukazuje na drobné nedostatky dat z plovoucích vozidel jako plnohodnotné a jediné zdroje dopravních dat.



Obrázek 7: Sledovaná lokalita na D8 - vznik nehody (vlevo) a uzavření hlavního tahu (vpravo)

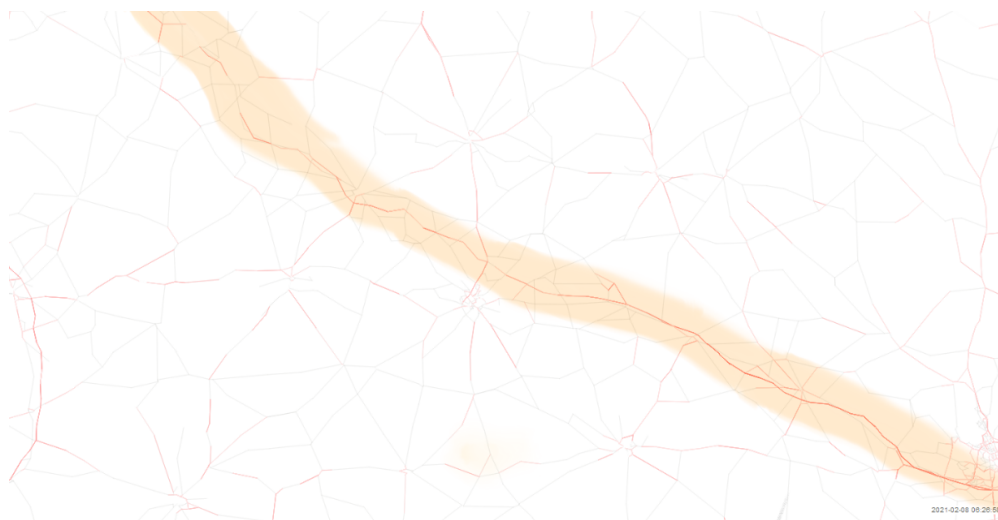
5.4.2 Událost na dálnici D1

V případě druhé situace byla pozorována mimořádná událost na dálnici D1, nejvyužívanější dálnici v České republice. Událost se stala v únoru 2021. Na území celé republiky bylo ve

sledované období náledí v průběhu celého dne. To značně komplikovalo dopravu i na hlavních dopravních tazích. Z tohoto důvodu byla sledována nejen konkrétní oblast, ale také území celé republiky jako celku.

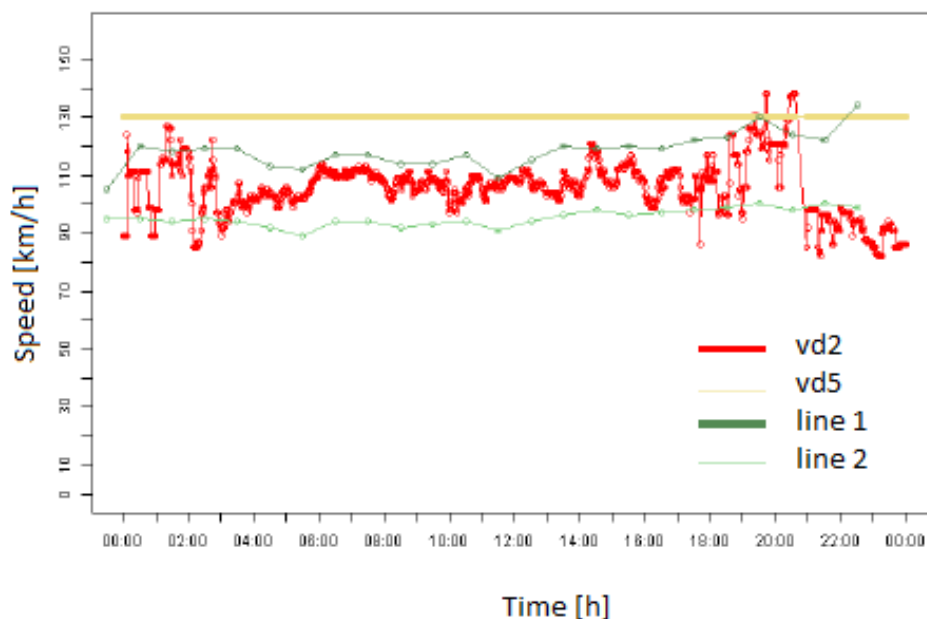
Výstup modelu pro tuto událost

Lokálně byla sledována již zmiňovaná oblast D1 v obou směrech. Vybranou lokalitu lze sledovat na obrázku (Obrázek 8 - podbarvená oranžově). Zde byla odlišná situace, kdy byla sledována konkrétní oblast a chování řidičů v ní. Opět byla porovnána penetrace vozidel v době mimořádné situace a stejná oblast stejný den v následujícím týdnu.



Obrázek 8: Sledovaná lokalita na D1 - tvorba kongesce

Již v nočních hodinách bylo na hlavní komunikaci (dálnice D1) pozorováno znatelné snížení rychlosti. To mohlo být způsobeno poklesem penetrace vozidel v noci, což je běžným jevem. To bylo publikováno dříve (článek z konference ITS World Congress 2021), ukázka na grafu (Obrázek 9), kdy nestálost dopravního proudu plovoucích vozidel dokazuje nestálost červené linie *vd5* v nočních hodinách.



Obrázek 9: Ukázka nestability dat v nočních hodinách

Z předchozích analýz se však dálniční síť po cca 5. hodině ranní úspěšně plní dostatečným počtem plovoucích vozidel. Zde je zřejmé, že i po 6:30 se rychlost plovoucích vozidel pohybuje kolem 50 km/h. Situace je popsána na dokládáných obrázcích (Obrázek 8 a Obrázek 10).

Na obrázku Obrázek 8 je vidět situace v ranních hodinách, kdy je běžně v tuto dobu dálnice plná. Na první mapě není zřejmý rozdíl v rychlosti na dálnicích a jiných komunikacích. Tento rozdíl je patrný tím, že všechny komunikace mají stejný odstín červené.

Ve sledovaném dni se normální stav dopravy ustálí až kolem 11. hodiny, což odpovídá i oficiálním zprávám Policie ČR.

6 Vyhodnocení modelu

Dle sledovaných situací bylo modelováno několik oblastí v různých časových intervalech na silniční síti v České republice. Byla ověřena data z plovoucích vozidel, tedy zda odpovídají jejich hodnoty předpokládaným průběhům. Dále byl posouzen vliv pokrytí FCD vozidel u konkrétních situací, zhodnoceno celkové pokrytí sítě v daném sledovaném období a sledovaná penetrace.

6.1 Vyhodnocení příkladových událostí

Po zkoumání vybraných událostí vznikli situace s odlišným průběhem a také odlišnými závěry. Dopravní exces byl v obou situacích sledován na datech plovoucích vozidel. V druhém

případě byla analyzována data v souladu s oficiálními informacemi, na rozdíl od první situace, kdy nebylo možné oficiální informace potvrdit. Závěry z obou situacích jsou popsány níže.

Zhodnocení sledované události na D8

Pro první situaci sledovanou v listopadu 2020 na dálnici D8 byla měřena penetrace pro celý měsíc průměrně 14%. Kdybychom sledovali pouze špičkové období (7:00-11:00 dopoledne a 14:00-18:00 odpoledne), mluvíme pak o hodnotě 22,5%. Z těchto hodnot lze usuzovat, že data lze považovat za relevantní a lze předpokládat, že by měla charakterizovat dopravní proud.

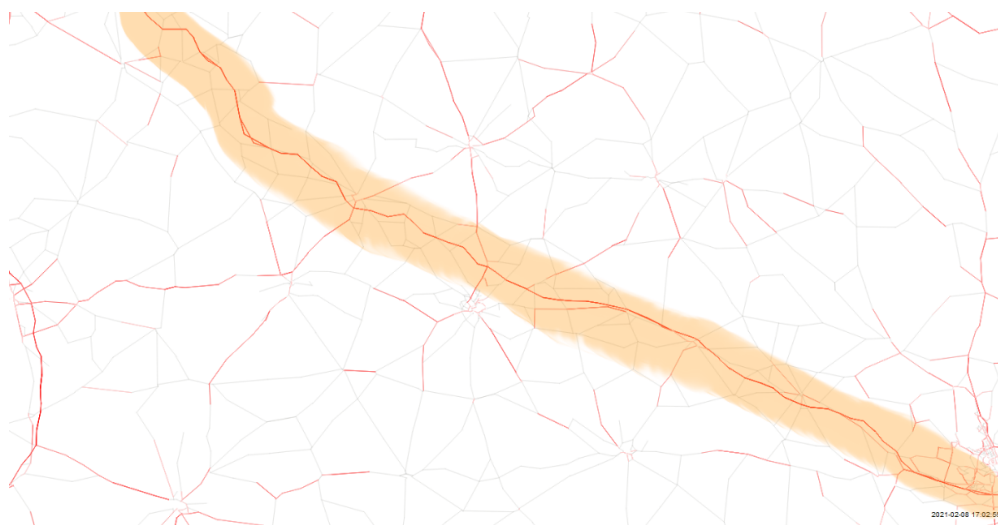
Celkově bylo daty z měsíc listopad 2020 pokryto 29244 TMC segmentů, což je také kvalitní výpovědní hodnota.

Z analýzy vyplynulo, že provoz omezoval hlavní komunikaci zhruba na jednu hodinu (výpadky lze pozorovat mezi 1:25 a 2:45 ráno). Toto zjištění je odlišné od oficiálních zpráv Policie ČR, která uváděla delší uzavírku dálnice a také kongesce na objízdné trase. Tato zjištění není možné z dat potvrdit.

Zhodnocení sledované události na D1

Pro tuto situaci byla sledována celková penetrace 17.3%, respektive 12.6%. Obecně lze sledovat nižší penetrace než v případě listopadové situace. To může být způsobeno zhoršenou situací v souvislosti s pandemií COVID-19.

Byla sledovaná celková situace v okolí Humpolce dálnice D1. Do stavu normálního dopravního proudu (tj. do stavu, kdy je dálnice v datech rozpoznatelná od ostatních komunikací), přichází situace na dálnici D1 odpoledne, konkrétně po 17. hodině (viz obrázek Obrázek 10), kde je rozdíl patrný, tmavě červená je pro rychlostní dálnici, naopak nejsvětlejší odstíny červené značí pomalou rychlost).



Obrázek 10: Sledovaná lokalita na D1 - tvorba kongesce

Výše popsaná událost se také jasně promítla do dat. Co bylo překvapující oproti předpokladům se velké množství dopravy nepřesunulo na další okolní komunikace. Oficiální zprávy to také nezmiňovaly, ale ze subjektivní znalosti území to bylo předpokládáno. Příčinou mohou být meteorologické podmínky po celý den, kdy se na území celé ČR tvořila námraza. Dalším vysvětlením může být převedení dopravy na druhou dálnici spojující tři největší města (využití dálnice D11 do Hradce Králové a dále pokračovat po komunikaci I/35 a I/43 směr Brno/Olomouc-Ostrava), která vede na severu České republiky. Abychom mohli toto tvrzení deklarovat, je nutné dále data zkoumat z globální perspektivy.

6.2 Možnosti využití datového zdroje pro další aplikace

Z dosavadních analýz je patrné, že data z plovoucích vozidel je možné využít minimálně jako doplňkový datový zdroj. Znatelnou výhodou je fakt, že není potřeba instalace další podpůrné technologie podél komunikace. I z tohoto důvodu je tento datový zdroj velkým příslibem k využití do budoucna.

Již nyní existuje mnoho komerčních aplikací, které řídí dopravu dynamicky na základě dat z reálného provozu. Příkladem takové aplikace může být například řízení dopravy v tunelu, kontrola nákladních vozidel, ale také ramp metering systém, dočasné využití odstavných pruhů nebo například dynamický rerouting trasy [2]. Některé z těchto aplikací jsou již nyní používány na německých dálnicích.

Právě tyto možnosti poukazují na nutnost dále zkoumat, zda je možné využít data z plovoucích vozidel jako základní stavební blok pro tyto aplikace. Již nyní je zřejmý trend, že data jsou základ všech telematických systémů. Je proto dále vhodné nový datový zdroj zkoumat a podrobovat jej dalším analýzám.

V dalších letech se autorka projektu bude dále soustředit na následný vývoj popsaného modelu. Již v předchozích projektech byly zkoumány události, které úplně zavřely hlavní dopravní tah. Nynější data poukazují na mírný pokles plovoucích vozidel na silniční síti v České republice. Tato skutečnost nastiňuje velmi aktuální otázku limitů plovoucích vozidel. I proto byl podán návazný grant SGS, který si klade za cíl zkoumat limitní množství plovoucích vozidel na síti. Se stanovením tohoto stropu bude možné určit hodnotu, při které již nejsou data z plovoucích vozidel relevantní. Dále také bude pokračovat práce na vyladění chyb modelu stávajícího, především nesoulad některých úseků dat FCD a podkladových prostorových segmentů a některé výpadky modelu.

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.

7 Presentace projektu

V rámci grantové žádosti byla garantována také diseminační aktivita projektu. Projekt byl představen na několika konferencích.

První konferencí byla z kraje roku konference GIS Ostrava 2021 organizované Ostravskou univerzitou VŠB TU. Zde byl představen článek Traffic flow monitoring based on floating car data. Konference byla zaměřena více na práci v geografických informačních systémech, tedy prostorovou složkou dat, což je jedna z podstatných částí při práci s FCD. Bohužel z důvodu koronavirové situace byl článek prezentován online. Článek byl publikován z práce na grantu minulém a také na grantu současném (byly publikovány vědomosti nabyté v roce 2020 i z kraje roku 2021).

Druhou konferencí byla účast a prezentace článku na konferenci Smart City Symposium 2021. Zde byl představen článek věnující se více chování uživatel při excesu na hlavní komunikaci. Článek s názvem Monitoring specific travel behavior in floating car data byl prezentován z pohledu specifického chování uživatel, které lze obecně sledovat v datech FCD a také při konkrétních událostech. Bohužel i tato konference proběhla v online prostředí.

Třetí konferencí byl celosvětový ITS World Congress 2021, konaný v německém Hamburku v říjnu 2021. Zde byl představen článek s názvem Outputs and characteristics of the traffic flow speed model based on floating car data. Jedná se o největší událost konanou ve spojení s moderními technologiemi dopravní telematiky a ITS. I díky představenému článku bylo možné shlédnout nejnovější projekty předních telematických firem a sledovat trend, kam se bude telematika v dalších letech ubývat. Též byly navázány cenné kontakty pro další spolupráci po prezentování zmíněného článku. Konference i kongres se konali offline, tedy bylo možné shlédnout řadu jiných inspirativních prací a také na živo představit práci autorky odbornému publiku.

Přímé výsledky prezentované také v této zprávě pak byly konečně prezentovány na poslední konferenci, spojené s tímto projektem, a sice na konci prosince 2021. V Číně proběhla online konference s názvem "2021 10th International Conference on Transportation and Traffic Engineering (ICTTE 2021)", kde byl přijat článek s titulem "The possibility of using floating car data to monitor the occurrence of accidents".

Tematicky byla autorka projektu zapojena také do studie FCD konané přímo pro ŘSD, kde bylo možné též prezentovat výsledky své práce. Obdobně byla autorka zapojena do výzkumných projektů v rámci vědecko-výzkumné aktivity Ústavu dopravní telematiky, kde poskytovala informace a práci v softwarech GIS. 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.

8 Závěr

Díky rozvoji a modernizaci silniční infrastruktury je dnes možné vybírat mezi více cestami na dané trase. Uživatel se rozhoduje na základě dopravních informací či subjektivní preference dané trasy. V dnešní době má také podporu dopravních informací, která s minimálním zpožděním informují o aktuální dopravě na trase.

Hlavním cílem projektu bylo navázat na předchozí práci a dále zkoumat možnosti využití dat z rozhraní Ředitelství silnic a dálnic, které jsou k dispozici od roku 2019. Tato data prozatím nejsou příliš využívána, přesto že dosavadní analýzy ukazují, že dobře popisují dopravní proud.

V úvodu této studie byl vysvětlen princip plovoucích vozidel a potřebná terminologie. Následovala analytická rešerše problematiky. Rešeršní část byla nejprve zaměřena obecně na danou problematiku řešenou jiným způsobem především v zahraničí. Bylo rozebráno několik výzkumů věnujících se plovoucím vozidlům v intravilánu i extravilánu. Dále byla uvedena řada výzkumů využívající přímo data z plovoucích vozidel, která aplikují do reálných aplikací. V poslední části byly zmíněny projekty blízké tomuto, ze kterých je možné čerpat inspiraci k budoucí práci.

Další část byla zaměřena na pozadí modelu samotného. Tedy především na vstupní data a porozumění algoritmu, aby výpočet nebyl jen tzv. černá schránka. Tento krok se ukázal jako poměrně obtížný. Z důvodu zapojení komerčního partnera není možné získat úplnou dokumentaci výpočtového algoritmu, a stále tak zůstávají některé kroky skryté. Důležitou část dokumentu tvoří prostorové přiřazení map na síť a popis výstupních dat.

Hlavní částí dokumentu je tvorba modelu, určení klíčových situací a následná analýza dat nad těmito parametry. Bylo nutné upravit data pro implementaci do nastaveného modelu, došlo k filtraci dat. Jelikož není možné sledovat komplexně celou silniční síť, byla stanovena limitní silniční síť, na které budou sledovány zmíněné události.

Výsledkem práce je model sledovaných událostí, ve kterém byly detekovány dopravní excesy a kongesce na silniční síti v České republice. Byly popsány dvě příkladové situace, které byly podrobně sledovány a diskutovány. Oba excesy se staly na dálniční síti. Prvním z nich byla nehoda, druhým pak náledí na hlavním dálničním tahu. Z analýzy je patrné, že je možné oba excesy sledovat v datech. Dále byla data porovnána s dalšími zdroji informací, například s informacemi Policie ČR (dále jen PČR). Zde již byly výsledky rozdílné, kdy v první popisované situaci se data neshodují s oficiálními údaji PČR, naopak v druhé situaci lze data oficiální zprávy PČR potvrdit.

Výsledky analýzy jsou dále shrnuty a podpořeny grafickými výstupy. Bylo by vhodné datový zdroj do budoucna podpořit analýzou a propojením dalších datových sad k potvrzení, či vyvrácení získaných závěrů. Jelikož byla doprava zasažena pandemií COVID19, vyvstaly další otázky spojené s rozebíraným datovým zdrojem. Z průběžné analýzy je patrný pokles

dat v průběhu pandemie a do budoucna je tak vhodné zkoumat, zda je penetrace plovoucích vozidel dostatečná.

Závěrem je možné nalézt shrnutí dosavadní práce a výsledků analýzy. Též byly navrženy další kroky postupu a otevřeny nové výzkumné otázky, na které je třeba hledat odpovědi. Model bude dále využíván, budou také dále zkoumány jednotlivé atributy výstupních dat a jejich validace v porovnání s jinými daty. Byly také diskutovány diseminační a publikační výsledky projektu, tedy konkrétní výsledky a články, které byly publikovány díky tomuto projektu.

Seznam obrázků

1	Porovnání sítě Global Network (vlevo) a TMC segmentů (vpravo)	5
2	Schematické znázornění toku dat v modelu FCD	8
3	Vzor vstupních dat do modelu	10
4	Porovnání vrstev Global Network a TMC segmentů	11
5	Příklad chování plovoucích vozidel - průběh parametrů v pracovním dni . . .	13
6	Příklad rozložení rychlosti plovoucích vozidel na dálnici D1 v průběhu 7 dní .	14
7	Sledovaná lokalita na D8 - vznik nehody (vlevo) a uzavření hlavního tahu (vpravo)	16
8	Sledovaná lokalita na D1 - tvorba kongesce	17
9	Ukázka nestability dat v nočních hodinách	18
10	Sledovaná lokalita na D1 - tvorba kongesce	19

Seznam tabulek

1	Výstupní datové parametry modelu	12
2	Vybrané události v období 2020-2021	15

Reference

- [1] K. Bogenberger a S. Weigl. “Quality Management Methods for Real-Time Traffic Information”. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 54 (2012), s. 936–945. ISSN: 1877-0428. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.809>.
- [2] *Dynamic Traffic Control*. online. cited 18.10.2021 2021. URL: <https://www.swarco.com/solutions/traffic-management/highway-and-tunnel/dynamic-traffic-control>.
- [3] Milan Frydryšek. *Standardizovaná data zplovoucích vozidel jsou zdarma k dispozici široké veřejnosti*. online. URL: <https://www.dnoviny.cz/informatika/standardizovana-data-z-plovoucich-vozidel-jsou-zdarma-k-dispozici-siroke-verejnosti>.
- [4] Hesham Rakha a Hao Chen a Ali Haghani a Kaveh Farokhi Sadabadi. *Assessment of Data Quality Needs for use in Transportation Applications*. online. cited 13.08.2021 2013. URL: <https://www.mautc.psu.edu/docs/MAUTC-2011-01.pdf>.
- [5] Rong Hu et al. “Traffic Intersection Detection Using Floating Car Data”. In: *2020 5th IEEE International Conference on Big Data Analytics (ICBDA)*. 2020, s. 116–120. DOI: 10.1109/ICBDA49040.2020.9101259.
- [6] W. Huber, M. Ladke a R. Ogger. “Extended floating-car data for the acquisition of traffic information”. In: 1999.
- [7] Ande Chang, Guiyan Jiang a Shifeng Niu. “Traffic Congestion Identification Method Based on GPS Equipped Floating Car”. In: *2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*. Sv. 3. 2010, s. 1069–1071. DOI: 10.1109/ICICTA.2010.105.
- [8] Ande Chang et al. “Reliability degree estimation of traffic information based on floating car”. In: *2010 2nd International Conference on Advanced Computer Control*. Sv. 3. 2010, s. 79–82. DOI: 10.1109/ICACC.2010.5486742.
- [9] Lisa Kessler et al. “Comparing Speed Data from Stationary Detectors Against Floating-Car Data”. In: *IFAC Proceedings Volumes* 51 (červ. 2018), s. 299–304. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.07.049.
- [10] Seoungbum Kim a Benjamin Coifman. “Comparing INRIX speed data against concurrent loop detector stations over several months”. In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 49 (pros. 2014). DOI: 10.1016/j.trc.2014.10.002.
- [11] *OPEN CHARGE POINT PROTOCOL 2.0.1*. online. cited 17.06.2021 2021. URL: <https://www.openchargealliance.org/protocols/ocpp-201/>.

- [12] Zuzana Purkrábková. *Výzkum vzniku alternativních tras a jejich dopadů na silniční infrastrukturu na území ČR*. online. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, 2020.
- [13] Bernd Rainer a Martin Müllner. *TMCplus - Improving the TMC information chain*. Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt). WIRTSCHAFTSVERLAG NW, 2011.
- [14] *Společnost VARS BRNO a.s. podepsala smlouvu s ŘSD ČR na systém pro zjišťování dynamiky dopravních proudů v ČR*. online. URL: <http://www.vars.cz/smlouva-fcd>.
- [15] J. Štok a P. Hruběš. “Generování geografické informační báze z dat plovoucích vozidel”. In: *GIS Ostrava 2016 Geoinformatika pro společnost (2016)*.
- [16] 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.
- [17] *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/>.