



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Filip Hrubý

**Návrh vyhodnocení kvality dopravy na základě
dostupných FCD ve vybrané lokalitě**

Bakalářská práce

2021



K620..... Ústav dopravní telematiky

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Filip Hrubý

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – ITS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Návrh vyhodnocení kvality dopravy na základě dostupných FCD ve vybrané lokalitě**

Název tématu (anglicky): Proposal for improvement in evaluating quality of transport based on FCD

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Popis FCD a možnosti jejich využití
- Detailní analýza širších dopravních vztahů a dostupných FCD dat pro posuzovanou lokalitu
- Návrh efektivního postupu pro zpracování dostupných dat a vyhodnocení dopravních parametrů
- Vyhodnocení dopravních parametrů v čase a stanovení trendů pro posuzovanou lokalitu
- Zhodnocení využití FCD pro konkrétní lokalitu a vyvození obecných možností využití FCD




- Rozsah grafických prací: Dle požadavků vedoucích práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: [1]. Turksma, S. The various uses of floating car data. Tenth International Conference on Road Transport Information and Control, 2000. (Conf. Publ. No. 472)
[2]. Anthopoulos, L.G. Understanding Smart Cities: A Tool for Smart Government or an Industrial Trick? ISBN: 978-3-319-57014-3, Springer 2017

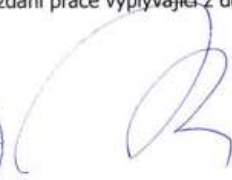
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Patrik Horažďovský**
Ing. Kristýna Navrátilová

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

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


prof. Ing. Zdeněk Votruba, CSc.
vedoucí
Ústavu dopravní telematiky




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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Filip Hrubý
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 4. října 2020

Poděkování

Rád bych zde poděkoval všem, kteří mi poskytli podporu při vypracování této bakalářské práce. Zejména děkuji vedoucím mé práce Ing. Patriku Horažďovskému, Ph.D. a Ing. Kristýně Navrátilové za čas, který mi věnovali, konzultace, cenné rady a kritické připomínky, které mně pomohly vylepšit moji práci. Za cenné rady děkuji také Ing. Zuzaně Purkrábkové a Ing. Jiřímu Růžičkovi. Také děkuji Michalovi Kovaljovi za zprostředkování získání dat z ŘSD. Nakonec děkuji rodičům za podporu při studiu.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Praze dne

.....

Podpis autora

Abstrakt

Předmětem bakalářské práce „Návrh vyhodnocení kvality dopravy na základě dostupných FCD ve vybrané lokalitě“ je analyzovat data z plovoucích vozidel (FCD data) ve vybrané lokalitě v Dobřichovicích. Dále vyhodnotit kvalitu získaných dat a posoudit jejich aplikovatelnost k identifikaci dopravních trendů dopravních kongescí.

Klíčová slova

Plovoucí vozidla, FCD, GFCD, CFCD, dopravní trend, kongesce, kvalita dopravy

Abstract

The subject of the bachelor thesis “Proposal for improvement in evaluating quality of transport based on FCD” was to analyse floating car data in selected location in Dobřichovice and evaluate the quality of acquired data and assess their utility in trend and traffic congestion identification.

Key words

Floating Car Data, FCD, GFCD, CFCD, traffic trend, congestion, quality of transport

Obsah

1. Úvod	8
2. Popis FCD a možnosti jejich využití	9
2.1. Popis FCD.....	9
2.2. Popis GFCD	9
2.3. Popis CFCD.....	10
2.4. FCD ve spojení s kooperativními systémy	10
2.5. Využití FCD.....	11
2.6. Popis TMC segmentů.....	12
2.6.1. Lokalizační tabulky.....	12
2.7. Pojem Smart City	13
3. Analýza širších dopravních vztahů a FCD v okolí města Dobřichovic.....	15
3.1. Popis oblasti	15
3.1.1. TMC segmenty v oblasti.....	16
3.2. Popis parametrů FCD.....	17
3.2.1. Předem určené parametry	17
3.2.2. Parametry proměnné v čase.....	18
4. Návrh efektivního postupu pro zpracování dostupných dat.....	21
4.1. Popis získaných reálných dat.....	21
4.2. Identifikace důležitých parametrů dat	21
4.3. Postup zjišťování informací o datech	24
4.3.1. Výskyt duplicitního tmc segmentu	24
4.3.2. Zjišťování počtu vozidel	25
4.4. Penetrace vozidel	26
4.4.1. Vyhodnocení FCD dat pomocí stacionárních detektorů.....	26
5. Vyhodnocení dopravních parametrů v čase a stanovení trendů pro posuzovanou lokalitu	27
5.1. Přehled vyhodnocení dopravních parametrů v jednotlivých dnech	27
5.1.1. Zaokrouhlení hodnot na hodiny	30
5.1.2. Tvorba detailního grafu kombinovaného dne	31
5.1.3. Algoritmus pro tvorbu kombinovaného dne	31
5.2. Přehled vyhodnocení dopravních parametrů v týdnech.....	35
5.3. Přehled vyhodnocení dopravních parametrů za dlouhodobé období	36
5.4. Analýza penetrace FCD vozidel	38
6. Zhodnocení využití FCD pro konkrétní lokalitu a vyvození obecných možností využití FCD	40
6.1. Zhodnocení FCD z lokality	40

6.2. SWOT analýza využití FCD pro vyhodnocování kvality dopravy	42
6.3. Návrh vyhodnocení kvality dopravy na základě dostupných FCD ve vybrané lokalitě	43
7. Závěr	45
8. Použité zdroje	48
9. Seznam obrázků.....	51
10. Seznam tabulek	52
11. Seznam grafů.....	53
12. Seznam příloh.....	54

Seznam použitých zkratk

CSV	Comma Separated Values
FCD	Floating Car Data
CFCD	Cellular Floating Car Data
GIS	Geographic Information Systems
GFCD	GPS Floating Car Data
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
ISO	International Organization for Standardization
MAC	Media Access Control
MB	MegaByte
MS	Microsoft
MTOU	Mobile Traffic Observer Unit
NFC	Near Field Communication
RDS	Radio Data System
RFID	Radio Frequency Interference Data
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
SWOT	Strengths Weaknesses Opportunities Threats
TISA	Traveller Information Services Association
TMC	Traffic Message Channel

1. Úvod

Vzhledem k stále narůstajícímu počtu vozidel na silniční komunikacích se zvyšují dopravní veličiny dopravní hustota a dopravní intenzita. A to zejména v okolí velkých měst. To způsobuje vyšší četnost dopravních nehod a dochází k tvorbě dopravních kongescí, které mají následky na životech a na ekonomických prostředcích. Aby byla doprava po silničních komunikacích co nejefektivnější a nejbezpečnější, je třeba ji co nejlépe monitorovat a řídit v reálném čase. Dříve se doprava monitorovala převážně pomocí stacionárních detektorů, umístěných na dopravní infrastruktuře. K monitoraci dopravy lze nyní využít pokročilou technologii inteligentních dopravních systémů, tzv. Floating Car Data (FCD). Technologie FCD je založena na sběru dat z vozidel, vybavených zařízením pro detekci polohy.

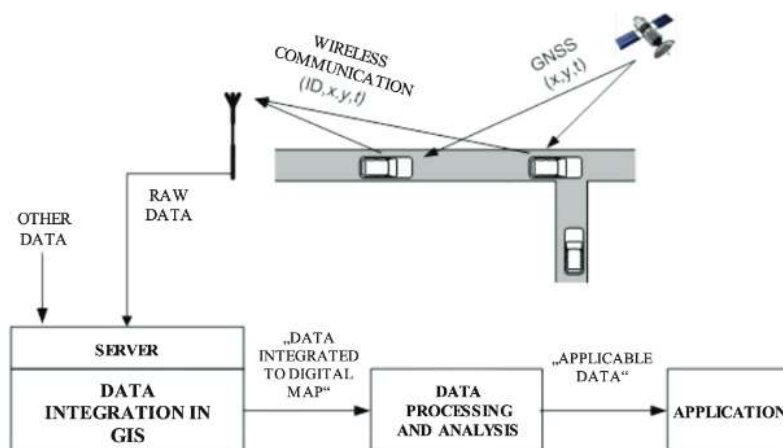
Cílem předkládané bakalářské práce je analyzovat data z plovoucích vozidel (FCD data) ve vybrané lokalitě v okolí města Dobřichovice. V rámci teoretického úvodu bude vysvětlena technologie FCD včetně možných aplikací této technologie, jako například využití jednotek ve vozidle pro sběr dat, či využití mobilních telefonů pro sběr dat. Pokusíme se také zařadit využití FCD v konceptu Smart City. Za účelem bakalářské práce byla získána reálná FCD od Ředitelství silnic a dálnic ČR z oblasti Dobřichovic v období mezi lety 2019 a 2020. Pokusili jsme se vyhodnotit kvalitu získaných dat, demonstrovat možné výstupy z tohoto formátu a posoudit jejich aplikovatelnost k identifikaci dopravních trendů a kongescí. FCD z dané lokality a daného období budou také porovnána s daty ze stacionárních detektorů. Předpokládáme, že počet vozidel, zjištěných stacionárními detektory bude vyšší. Zajímá nás také, zda trendy v dopravě, zjištěné z FCD a stacionárních detektorů, budou přibližně stejné. Budou také zkoumány trendy počtů vozidel za dlouhodobé období. Zajímalo nás také, zda v oblasti s nižší dopravní vytižeností, jakými je okolí Dobřichovic bude technologie FCD pro zjištění dopravních parametrů využitelná samostatně. Nakonec budou vyvozeny závěry o možnostech využití FCD a jejich limitacích.

2. Popis FCD a možnosti jejich využití

V této kapitole bude vysvětlena technologie Floating Car Data a její variace. Budou zde popsány aktuální možnosti využití FCD v reálném světě. A také budou vysvětleny Lokalizační tabulky, díky kterým je rozdělena silniční síť na segmenty, na které se FCD agregují. Na závěr kapitoly bude objasněn pojem Smart City a využití FCD v rámci tohoto konceptu.

2.1. Popis FCD

Floating Car Data jsou jedním z klíčových nástrojů pro zjišťování základních dopravních veličin na silničních komunikacích pomocí lokalizace jednotlivých vozidel. Jejich princip spočívá v obsazení každého vozidla flotily jednotkou, která odesílá data o poloze a času do datového centra, následovně se tedy z každého vozidla flotily stane dopravní senzor [1]. Data přijatá do serveru v datovém centru a poté zpracována pro zobrazení a integraci v GIS. Z GISu se data procesují a analyzují (zjišťování vzniku kongescí, výpočet dopravních veličin) tak, že z nich vzniknou použitelná data pro další aplikace (koncový uživatel, např. Navigace, mobilní aplikace) [2].



Obrázek 1 Schéma zpracování FCD Převzato z Budimir et al. (2019)[2]

2.2. Popis GFCD

První FCD kategorií jsou GPS Floating Car Data, což jsou data z vozidel vybavených jednotkami GPS. GPS jednotka ve vozidle zaznamenává polohu vozidla v čase a poté získaná data přenáší do datového centra pomocí mobilních sítí (GPRS, GSM). Výhodou této metody oproti FCD datům z mobilních telefonů (CFCD) je větší přesnost a možnost určení aktuální pozice a rychlosti s minimální odchylkou. Naopak nevýhodou je nízký počet vozidel vybavených jednotkami GPS. Nejčastěji jsou takto vybavena vozidla integrovaná do managementu vozového parku, například nákladní vozy v extravilánu a vozidla taxi služby pro data z intravilánu, nebo osobní vozidla vybavena navigačními jednotkami. [1][3]

2.3. Popis CFCD

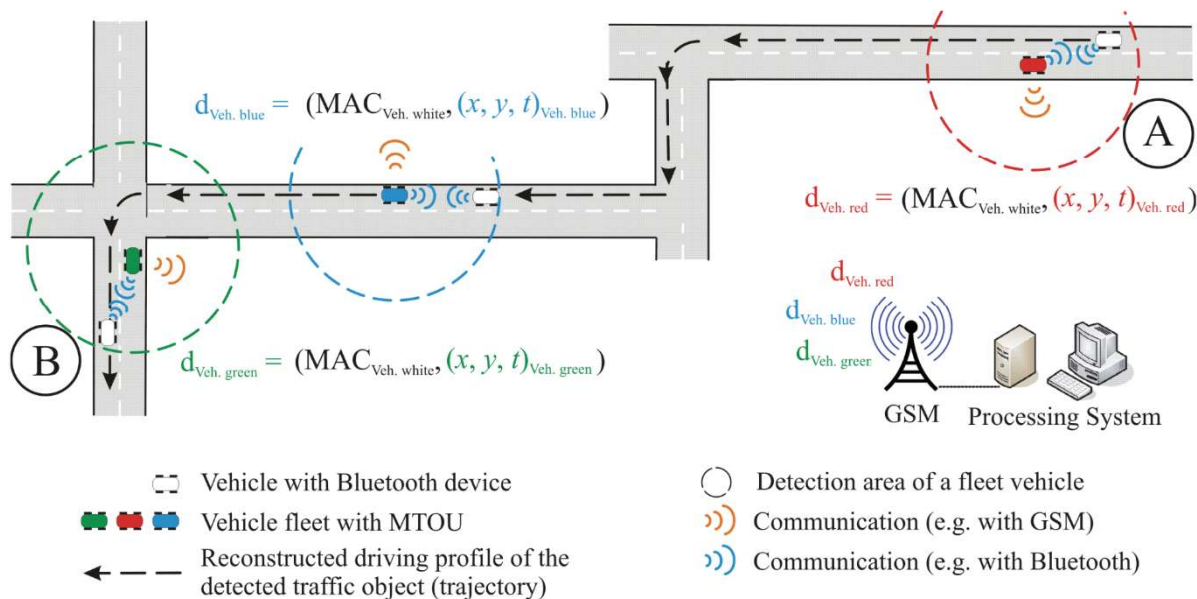
Druhou FCD kategorií jsou Cellular Floating Car Data (CFCD), což jsou data z mobilních telefonů. Existují dvě metody pro získávání CFCD. První metoda spočívá ve využití systému základnových stanic GSM k zjištění lokace mobilního telefonu pomocí triangulace. V tomto případě je třeba alespoň tří různých stanic pro zjištění lokace. Tento přístup je velmi dobře aplikovatelný v městských oblastech, kde jsou menší vzdálenosti mezi anténami, čímž získáme přesnější informace. Druhá metoda využívá GNSS modul v mobilních telefonech pro zjištění pozice a následně přeneše data o poloze do datového centra pomocí mobilní sítě. Hlavní výhodou CFCD oproti GFCD je větší penetrace (vyšší počet vozidel schopných odesílat data) a pokrytí celé dopravní sítě. Nevýhodou je ale větší nepřesnost dat o poloze a problém s oddělením účastníků dopravy od osob vyskytujících se v okolí silniční komunikace. [1] [4]

2.4. FCD ve spojení s kooperativními systémy

Poslední kategorií FCD jsou data získána pomocí kooperativních systémů. Technologie kooperativních systémů spočívá v bezdrátové mikrovlnné komunikaci mezi vozidlem a jednotkou umístěnou na dopravní infrastruktuře, nebo komunikaci mezi vozidly navzájem.

Základní princip této technologie spočívá v identifikaci vozidla při průjezdu v blízkosti detektoru, umístěného na dopravní infrastruktuře. Následné projetí vozidla kolem dalšího detektoru umožní vypočítat dobu jízdy a sestrojení dráhy vozidla (origin - destination data) [4][5]

Pro bezdrátovou komunikaci se využívají technologie krátkého dosahu jako například: Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, RFID a NFC. [2] Následný obrázek demonstruje využití Bluetooth technologie.



Obrázek 2 Princip Kooperativních FCD. Převzato z Ruppe et al. 2012 [5]

Výhodou tohoto systému je využití stávajících a budoucích kooperativních systémů pro sběr dat. Nevýhodou je nutnost vybavení dopravní infrastruktury komunikačními zařízeními.

2.5. Využití FCD

Z FCD se převážně získávají hodnoty momentální průměrné rychlosti, počtů FCD vozidel a dojezdové doby (travel times). To sice neumožňuje získat tak detailní popis dopravní situace, jako by se dal získat ze stacionárních detektorů. Nicméně jsou tato data dostatečná pro využití v mnoha aplikacích dopravního plánování, managementu a informování. [10] Například pro poskytování dopravních informací, při řízení dopravy, pro osobní navigační systémy, nebo pro logistiku nákladní a veřejné dopravy.

Poskytování dopravních informací

Výstup ze zpracovaných FCD je možné vložit do Radio Data System – Traffic Message Channel (RDS-TMC) lokací a pomocí dopravně informačních center informovat řidiče o aktuální dopravní situaci pomocí rádiového vysílání, TMC zpráv a přenosem přes internet. [11] V Čechách existuje aplikace dopravninfo.cz, která zpřístupňuje veřejnosti mapu zobrazující aktuální stav dopravy na jednotlivých úsecích silniční sítě. [20]

Řízení dopravy

Získané přesné odhady cestovní doby z FCD se využívají jako základ pro řízení dopravy. Na dálnicích se může jednat o liniové řízení provozu, kde se využívá proměnné dopravní značení

pro ovlivnění charakteristik dopravního proudu za účelem zvýšení plynulosti provozu a snížení pravděpodobnosti tvorby kolon. [11] [12]

Osobní navigační systémy

Informace získané z FCD lze poskytnout uživatelům navigačních systémů. Ti ho mohou využít pro získání informací o zdrženích na naplánované trase, nebo přímo navigace automaticky zvolí trasu s kratší dojezdovou dobou na základě aktuálních informací.

Logistika

Společnosti, které každodenně plánují trasy po pozemních komunikacích za účelem doručování zboží mohou využít FCD ke zkrácení jízdních časů. Na základě historických dat lze predikovat jízdní časy pro plánování harmonogramu a na základě aktuálních dat lze harmonogram upravit. [11]

Veřejná hromadná doprava

Provozovatelé veřejné hromadné dopravy využívají FCD k optimalizaci jízdních řádů a určení přesnějšího aktuálního zpoždění jednotlivých vozidel. Například aktuální pozice všech autobusů Pražské integrované dopravy jsou dostupné přes veřejné datové rozhraní, což zprostředkuje zobrazení aktuálních pozic a zpoždění cestujícím přes mobilní aplikace (např. IDOS) nebo proměnná dopravní tabla přímo na zastávkách.[11][17]

2.6. Popis TMC segmentů

Traffic Message Channel (TMC) je aplikace pro přenos informací o počasí a stavu dopravy v reálném čase účastníkům silničního provozu za využití Radio Data System (RDS). Pro přenos informací v RDS-TMC systémech se využívají kódované zprávy, které příjemce rekonstruuje na základě Event Listu a lokalizačních tabulek TMC [13] [14]. Event List je seznam předurčených událostí, které se mohou vyskytnout při dopravním provozu a nějakým způsobem ovlivnit řidiče. Vzhledem k tomu, že Event List nemá v technologii FCD využití nebude podrobněji popsán.

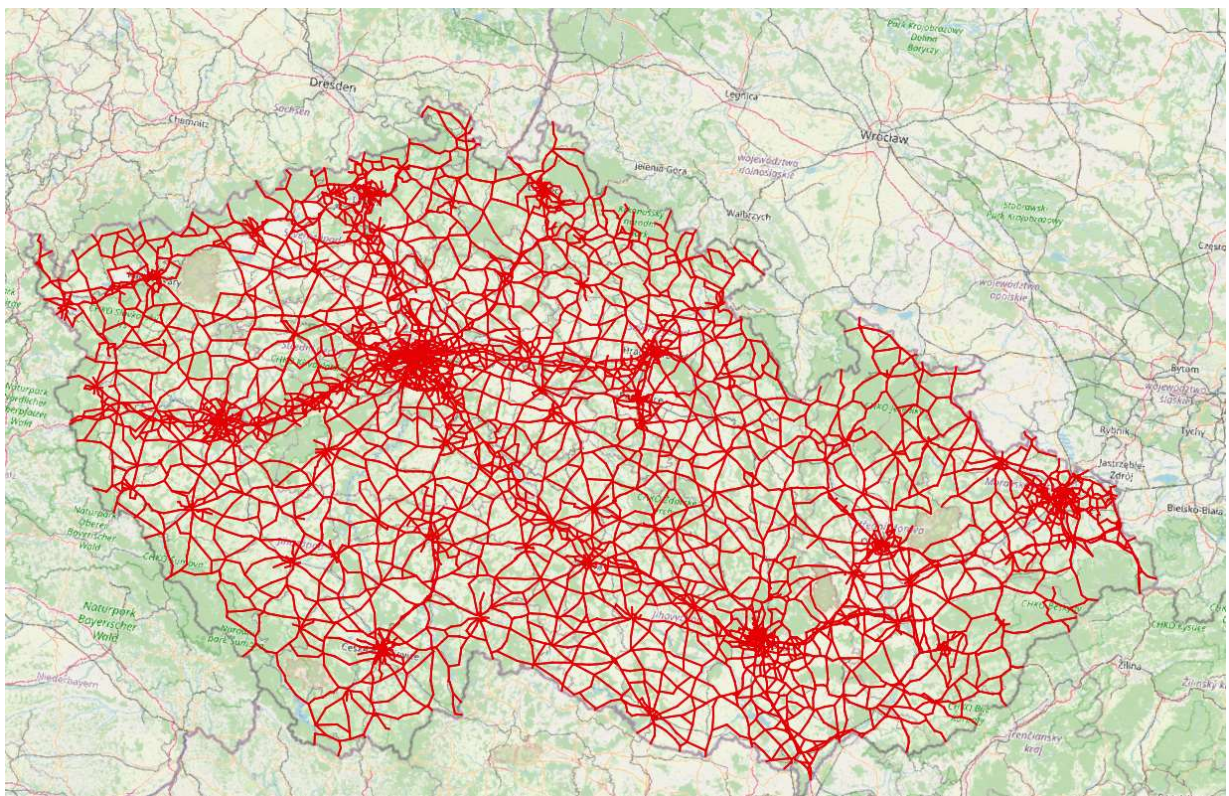
2.6.1. Lokalizační tabulky

Lokalizační tabulky České republiky označují lokační databázi certifikovanou Asociací pro dopravní informace TISA. Struktura lokalizačních tabulek je definována dle TMC standardu, který popisuje minimální informace potřebné k její definici. Lokalizační tabulky slouží k označení dopravní infrastruktury a dalších důležitých míst. Rozdělení míst v lokalizačních tabulkách se dělí na tři hlavní skupiny:

1. Informace o ostatních oblastech (neohraničených oblastech, správních oblastech): A (area, oblast)
2. Informace o liniových pozicích (např. silniční komunikace): L (Line, linie)
3. Informace o bodových pozicích: P (point, lokace)

Oblasti jsou dvourozměrné plochy území jako například státy, města a kraje. Linie jsou úsečky označující dálnice a silnice. Lokace jsou body v území jako například mosty, tunely a křižovatky. [14] [15] [16]

Pro práci s FCD je potřeba rozumět TMC segmentům, protože FCD jsou agregována na jednotlivé TMC segmenty. Následující Obrázek 3 zobrazuje síť TMC segmentů na území České republiky, červené úsečky reprezentují liniové pozice, na kterých se nachází TMC segmenty.



Obrázek 3 Pokrytí ČR TMC segmenty (výstup ze softwaru QGIS)

2.7. Pojem Smart City

Technologie FCD je dobře aplikovatelná i v konceptu Smart City. Smart City je důležitý pojem, který se zabývá nejen dopravou, ale i dalšími prostředky, jejichž účelem je zlepšit život obyvatel. Koncept Smart City se objevuje již od konce 90. let 20. století, ale doposud pro něj

neexistuje žádná přesná dohodnutá definice. ISO definuje Smart City jako: chytré, udržitelné, inovativní město, které využívá informační technologie a další prostředky ke zlepšení kvality života, efektivnosti městských operací a služeb a konkurence, zatímco zajišťuje naplnění jeho potřeb pro současné a budoucí generace.

Pro potřeby této práce bude uveden umělý model Smart City ekosystému, který zakládá na osmi komponentách.

1. Smart infrastruktura
2. Smart mobilita
3. Smart Environment (životní prostředí)
4. Smart Services (služby)
5. Smart Governance (vláda)
6. Smart People (lidé)
7. Smart Living (žítí)
8. Smart Economy (ekonomie)

Tyto komponenty jsou navzájem propojeny fyzickými, informačními, sociálními a ekonomickými infrastrukturami. [9]

Hned první dva komponenty, Smart infrastruktura a Smart mobilita se přímo vztahují na FCD technologii. Pro využití FCD je třeba mít kvalitní telekomunikační infrastrukturu pro přenos dat a následně mít prostředky pro jejich zpracování. Ve Smart mobilitě má FCD několik využití a některá z nich byla již popsána v kapitole 2.5. Například využití pro osobní navigační systémy. Takovýmto Smart navigačním systémem může být třeba aplikace Google Maps, která využívá pro zjištění aktuální dopravní situace CFCD a technologii strojového učení. Po zjištění dopravní situace aplikace poté automaticky navádí uživatele na optimální trasu. [18]

Pro využití FCD ve Smart city je důležité, aby se jednalo o tzv. Otevřená data (Open Data). Otevřená data jsou stanovena zákonem jako: „Informace zveřejňované způsobem umožňujícím dálkový přístup v otevřeném a strojově čitelném formátu, jejichž způsob ani účel následného využití není omezen“ [26]. Taková data jsou vysoce efektivním nástrojem pro zpřístupňování dat veřejného sektoru a jsou klíčovým prvkem pro propojení jednotlivých komponent Smart City. [19]

3. Analýza širších dopravních vztahů a FCD v okolí města Dobřichovic

Před vlastním zpracováním a vyhodnocováním dopravních parametrů z daných dat, je třeba seznámit se s vybranou oblastí a s parametry dat. Reálná FCD pro vypracování této práce poskytl Ředitelství silnic a dálnic. Jedná se o flotilu přibližně 150 tisíc vozidel vybavených GPS jednotkami, která jsou využita pro sběr dat. Minimálně tři čtvrtiny celkového počtu vozidel jsou osobní vozidla. [25] Poskytnutá reálná data jsou tedy kategorizována jako GFCD.

3.1. Popis oblasti

Předmětem zkoumání je město Dobřichovice a jemu přilehlé oblasti.



Obrázek 4 Mapa okolí Dobřichovic. Převzato z mapy.cz

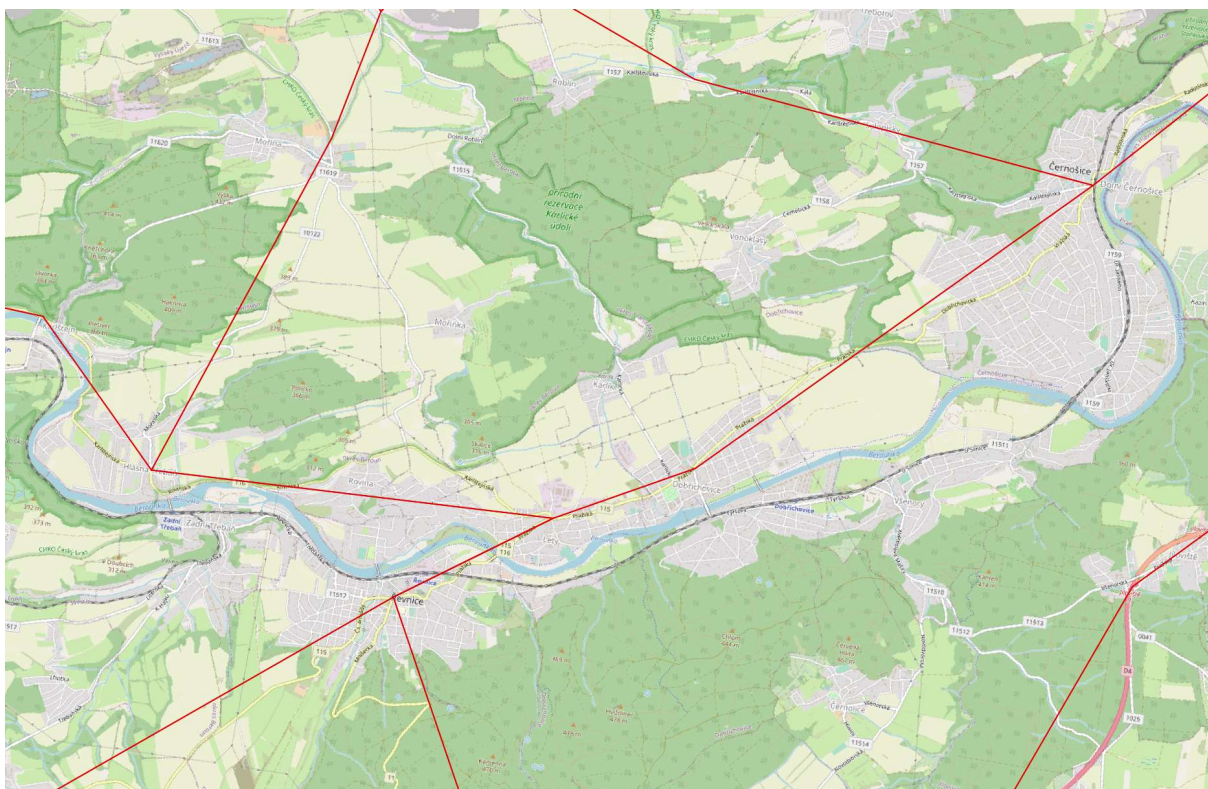
Dobřichovice se nachází 22 km jihozápadně od centra Prahy [7] a mají 3 739 obyvatel [6]. Městem prochází silniční komunikace II/115, která severně pokračuje přes město Černošice do Prahy a jižně přes obec Lety a město Řevnice směrem na Jince. V úseku z Let do Černošic je průměrná denní intenzita dopravy 9476 voz/den [8].

Druhá významná silniční komunikace v dané oblasti je silnice II/116, ta od západu prochází obcí Hlásná Třebáň, pokračuje přes sousední obec Lety a město Řevnice a poté pokračuje směrem na jih, kde umožňuje napojení na dálnici D4.

Co se týká veřejné hromadné dopravy tak oblastí prochází dvoukolejná železniční dráha č. 171 Praha – Beroun, která je součástí třetího železničního koridoru se zastávkami v Černošicích, Dobřichovicích a v obci Řevnice. Spojení s Prahou také umožňuje autobus 311 ze Zličína. Mezi Dobřichovicemi a Černošicemi jezdí autobus linky 665.

3.1.1. TMC segmenty v oblasti

Aby bylo možné pracovat s FCD daty v určené oblasti, je třeba zvolit kritérium podle, kterého vybereme TMC segmenty, jež budou následně analyzovány. V našem případě byl zvolen parametr oblast (viz. další kapitola) a byly tedy vybrány všechny segmenty z oblasti Dobřichovice. Nejedná se o jediný způsob volby výběrového kritéria. Dalšími možnostmi by byly například parametr označující silniční komunikaci, nebo přímo identifikační kód segmentu (viz. další kapitola), který by se určil výběrem z GiSu.



Obrázek 5 TMC segmenty v Dobřichovicích (výstup ze softwaru QGIS)

Rozložení TMC segmentů v oblasti Dobřichovic je uvedeno na Obr.5. Jedná se o zvětšený výřez z mapy na Obrázku 3.

3.2. Popis parametrů FCD

Pro zvolenou oblast Dobřichovic byla získána FCD z období od 1. ledna 2019 do 31. prosince 2020. Data byla dodaná předzpracovaná ve formátu CSV. Poskytovatel dat již provedl agregační proces, takže data neukazují jednotlivá plovoucí vozidla (není možné sledovat v datech jednotlivá konkrétní vozidla), ale informace vztažené na jednotlivé TMC segmenty po intervalech jedné minuty. Každý datový záznam má 18 parametrů, které byly rozděleny na dvě kategorie a následně popsány. Pro vypracování této kapitoly byla využita dostupná dokumentace k získaným datům [24] a poznatky, zjištěné při vypracování této práce.

Popis každého parametru bude ilustrován na příkladu hodnot z reálných dat. Bude se jednat o jeden záznam z jednoho TMC segmentu v intervalu jedné minuty. Na *Obrázku 7* v kapitole 4 je poté znázorněna konkrétní podoba datových záznamů v tabulkovém procesoru.

3.2.1. Předem určené parametry

Předem určené parametry jsou takové parametry, které se nemění s časem a jsou známé již před začátkem měření.

tmc_id

Parametr `tmc_id` udává identifikační kód TMC segmentu. Každý segment má právě jeden identifikační kód. Všechny ostatní předem určené parametry se na tento identifikační kód vztahují. Můžeme si tento parametr pro ilustraci představit jako cizí klíč v relační databázi. Příklad z našeho datového záznamu je *TS06525T06526*.

Komunikace

Parametr komunikace značí kategorii a označení silniční komunikace na které se nachází TMC segment datového záznamu. Příklad z reálného záznamu je *II/115*, označující silnici 115 druhé třídy.

Oblast

Parametr oblast definuje oblast, ve které se nachází vybraný TMC segment. Tento parametr vychází ze skupiny A v lokalizačních tabulkách. Námi získaná data jsou vybrána právě podle tohoto parametru, takže jak v ukázkovém, tak i ve všech ostatních záznamech má hodnotu *Dobřichovice*.

Směr

Parametr směr určuje počáteční a koncový bod (skupina P v lokalizačních tabulkách) daného segmentu. Příklad z našeho datového záznamu je „z Černošice směr Dobřichovice“, kde Černošice jsou počáteční bod a Dobřichovice koncový bod TMC segmentu.

3.2.2. Parametry proměnné v čase

Parametry jejichž hodnota se mění v čase.

Datum

Parametr datum vyjadřuje datum a čas pořízení záznamu s přesností na minuty. Každý datový záznam lze identifikovat kombinací parametrů datum a tmc_id, kdy tmc_id určí TMC segment a datum určí záznam z daného TMC segmentu. Příklad z našeho datového záznamu je *01-01-2019 07:01:00 +01:00*, tedy první leden roku 2019 v 7 hodin a 1 minutu v časové zóně UTC+01:00.

Aktuální počet plovoucích vozidel osobních

Tento parametr určuje počet osobních vozidel na zvoleném TMC segmentu ve zvolený čas. Příklad z našeho datového záznamu je *1*.

Aktuální počet plovoucích vozidel nákladních

Tento parametr je identický jako předchozí parametr s výjimkou, že se jedná o vozidla nákladní. Příklad z našeho datového záznamu je *0*.

Typická průměrná rychlost při volném průjezdu segmentu a doba volného průjezdu

Typická průměrná rychlost při volném průjezdu segmentem a doba volného průjezdu jsou parametry udávající hodnoty veličin, kterých by vozidlo na daném úseku dosáhlo za ideálních podmínek. Dalo by se očekávat, že když jsou hodnoty veličin získávány za ideálních podmínek, tak budou na každém TMC segmentu každý den identické. Tomu tak ovšem není a hodnoty se mění. Příčinu rozdílných hodnot se nepodařilo objasnit. Ale vzhledem k tomu, jak málo se liší, je možné to zanedbat. Příklad typické průměrné rychlosti při volném průjezdu segmentu z našeho datového záznamu je *59 km/h* a příklad doby volného průjezdu je *340 s*.

Aktuální vypočtená rychlost dopravního proudu

Tento parametr určuje aktuální vypočtenou rychlost dopravního proudu v jednotkách km/h. Tento parametr je vypočítán jako průměrná rychlost všech FCD vozidel nacházejících se v daném TMC segmentu. Příklad z našeho datového záznamu je *60 km/h*.

Aktuální čas průjezdu definovaného TMC segmentu

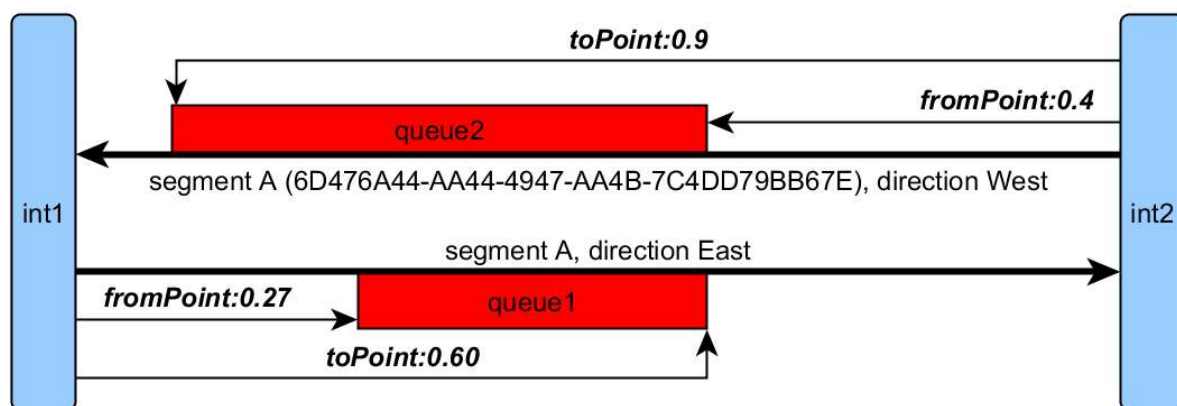
Tento parametr určuje aktuální průměr časů průjezdu vozidel v daném TMC segmentu. Tento parametr je vypočítán jako průměr časů průjezdu všech FCD vozidel nacházejících se v daném TMC segmentu. Příklad z našeho datového záznamu je 317 s.

Aktuální zpoždění na definovaném segmentu

Aktuální zpoždění je vypočteno jako rozdíl aktuálního času průjezdu definovaného TMC segmentu a doby volného průjezdu. Tento výpočet se provádí pouze v případě, když se v segmentu vyskytuje dopravní kolona. V našem příkladu datového záznamu se kolona nevyskytuje, takže je hodnota nulová.

Parametry Lokalizace kolony na segmentu, délka kolony a vzdálenost čela kolony od počátku segmentu

Parametr lokalizace kolony na segmentu říká, zda se na segmentu momentálně vyskytuje kolona. Obor hodnot, kterých tento parametr může nabýt je pouze logická 1 a 0. Parametr délka kolony popisuje délku kolony v metrech a parametr vzdálenost čela kolony od počátku segmentu značí délku v metrech od začátku segmentu k čelu kolony (hodnota *toPoint* na Obrázku 6). Na Obrázku 6 jsou konce TMC segmentů označeny hodnotami *int1* a *int2*, TMC segmenty jsou znázorněny šipkami s popisem segment a kolona je značena *queue1* a *queue2*.



Obrázek 6 Schéma principu parametrů kolony. Převzato z [24]

Vzhledem k tomu, že v našem příkladu datového záznamu se kolona nevyskytuje, tak parametr lokalizace kolony na segmentu zobrazuje hodnotu 0. A parametry délka kolony a vzdálenost čela kolony od počátku segmentu jsou také nulové.

Míra spolehlivosti dat

Míra spolehlivosti je kvalitativní parametr dat charakterizující kvalitu vzorku dat. Interval hodnot má od 0 do 1, což vyjadřuje spolehlivost dat v procentech, kdy 1 vyjadřuje 100% spolehlivá data a 0 vyjadřuje 0% spolehlivá data. Hodnotící kritérium pro spolehlivost dat je stáří použitých vstupních poloh a jejich počtu, způsob výpočtu není v dokumentaci uveden. V našem příkladu datového záznamu má míra spolehlivosti dat hodnotu 0.5.

Reakční doby systému

Každý záznam uvádí čas nejčerstvější vstupní informace, kterou systém využil pro výpočet svých stavových hodnot. Hodnoty tohoto parametru se pohybují v rozmezí 0 až 60 sekund. V našem ukázkovém příkladě je hodnota rovna 5 s.

Parametr Level of Service

Parametr Level of Service se v dopravním inženýrství v České republice značí pojmem „stupeň dopravy“. Stupně dopravy popisují dopravní situaci pěti stupni určující plynulost provozu. [22]

1. Stupeň dopravy – volný dopravní proud
2. Stupeň dopravy – částečně ovlivněný provoz
3. Stupeň dopravy – plynulý provoz
4. Stupeň dopravy – plynulý provoz je narušen a tvoří se kongesce
5. Stupeň dopravy – dopravní kolaps

Stupně dopravy se určují vztahem mezi rychlostí, intenzitou a hustotou dopravy. [23] Tyto vztahy označujeme jako fundamentální modely dopravy. V našem příkladě datového záznamu je stupeň dopravy 1.

4. Návrh efektivního postupu pro zpracování dostupných dat

Pro zpracování dat navážeme na poznatky, získané z předešlé kapitoly. Před začátkem vyhodnocování dopravních parametrů je třeba zjistit, co vše data obsahují a stanovit postup práce s nimi. Je nutné identifikovat data, která jsou důležitá pro vyhodnocování dopravních parametrů, a která jsou méně potřebná. Před samotným zpracováním dat je také vhodné odhalit jakékoli nedostatky či nejasnosti, které by negativně ovlivnily výsledky.

4.1. Popis získaných reálných dat

Data pro zpracování byla získána již předzpracovaná ve formátu CSV a jsou rozdělena do 24 souborů. Každý soubor obsahuje data z jednoho měsíce ze všech segmentů v oblasti. Velikosti souborů se pohybují mezi 5 až 25 MB. Pro názornou ukázkou je přiložen *Obrázek 7*.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	datum	oblast	komunika	směr	tmc_id	VD1_1 - A	VD1_2 - A	VD2 - Akt	VD3 - Akt	VD4 - Akt	VD5 - Typ	VD6 - Dob	VD7_1 - Lc	VD7_2 - D	VD7_3 - V	VD8 - Míra	VD9 - Real	VD10 - Paran
2	01-01-2011	Dobřichov II/115	z Černošic	TS06525TC		1	0	60	317	0	59	340	0	0	0	.500	5	1
3	01-01-2011	Dobřichov II/115	z Černošic	TS06525TC		3	0	50	380	40	59	340	1	98	4572	.500	3	2
4	01-01-2011	Dobřichov II/115	z Černošic	TS06525TC		3	0	50	380	40	59	340	1	98	4572	.500	3	2
5	01-01-2011	Dobřichov II/115	z Černošic	TS06525TC		3	0	50	380	40	59	340	1	98	4572	.500	3	2

Obrázek 7 Ukázka souboru dat v MS Excel

Na *Obrázku 7* je vidět v prvním řádku hlavička dat obsahující názvy jednotlivých sloupců. Názvy sloupců odpovídají parametrům z kapitoly 3.2. Pod pojmem parametr si můžeme představit kontext, díky kterému ze sloupce dat zjistíme informace. Například první sloupec na *Obrázku 7* má parametr datum, takže z něj můžeme zjistit, kdy byly jednotlivé záznamy pořízeny. Data jsou přehledná a hlavičky sloupců jednoznačně určují obsah sloupců a případně i jednotky hodnot.

Vzhledem k tomu, že data byla poskytnuta ve standardizovaném textovém formátu CSV, tak s nimi lze jednoduše pracovat v řadě programů. V této práci byl pro zpracování dat použit tabulkový procesor Microsoft Excel a platforma MATLAB.

4.2. Identifikace důležitých parametrů dat

Pro efektivnější práci s daty je vhodné odstranit nepotřebné sloupce a identifikovat parametry potřebné pro následovné vyhodnocení. Tento proces závisí převážně na tom, jaké dopravní veličiny chceme zjišťovat a jak vypadá námi získaný datový soubor. V následujících kapitolách této práce budou vyhodnoceny dopravní parametry a dopravní trendy v lokalitě Dobřichovic. Proto je nejprve třeba vybrat parametry, které toto vyhodnocení umožní a zjistit, zda jsou u nich jakékoli nedostatky. Nejprve budou parametry rozděleny do tří kategorií. Kategorie

„Nejdůležitější parametry“, „Doplňující parametry“ a „Meta parametry“ jsou uměle vytvořené a rozdělení parametrů do nich je specifické pro tuto práci.

Nejdůležitější parametry

Za nejdůležitější parametry jsou brány ty, ze kterých lze přímo vyvodit dopravní veličiny. Jako nejdůležitější parametry byly vybrány:

- datum,
- tmc_id,
- aktuální počet plovoucích vozidel osobních,
- aktuální počet plovoucích vozidel nákladních,
- aktuální vypočtená rychlost dopravního proudu,
- stupně dopravy (Level of service).

Tyto parametry nám stačí k zjištění počtu a rychlosti vozidel a stupně dopravy v daný čas na jednotlivých TMC segmentech. Parametry datum a tmc_id umožňují identifikaci období a TMC segmentu, na kterém budou zjišťovány dopravní veličiny. Parametry aktuální počet plovoucích vozidel osobních a nákladních budou sečteny pro výpočet celkového počtu vozidel na segmentu. A parametr aktuální vypočtená rychlost dopravního proudu umožní přehled minutových průměrných rychlostí na segmentu. Stupně dopravy nám následně umožní identifikovat jaká byla na segmentu dopravní situace (zda se jednalo o volný provoz či kongesci).

Doplňující parametry

Za doplňující parametry jsou označeny takové, které rozšiřují jednotlivé záznamy o doplňující informace proměnné v čase. Jako doplňující parametry byly vybrány:

- komunikace,
- oblast,
- směr,
- typická průměrná rychlost při volném průjezdu segmentu,
- doba volného průjezdu,
- aktuální čas průjezdu definovaného TMC segmentu,
- aktuální zpoždění na definovaném segmentu,
- lokalizace kolony na segmentu,
- délka kolony,
- vzdálenost čela kolony od počátku segmentu.

Parametry komunikace, oblast a směr jsou doplňující parametry k parametru `tmc_id`. S daty se nejlépe pracuje pomocí identifikačního kódu `tmc_id`. Nicméně pomocí zmíněných třech parametrů je možné zjistit konkrétní informace o TMC segmentu. Při zpracování dat byla za účelem efektivnější práce s daty zhotovena *Tabulka 1*, ve které byly tyto tři parametry přiřazeny k jejich identifikačnímu kódu. Po zhotovení této tabulky již bylo možné tyto parametry z datového souboru smazat a ponechat pouze parametr `tmc_id`.

Z parametrů typická průměrná rychlost při volném průjezdu segmentu a doba volného průjezdu je možné zjistit skutečnou délku TMC segmentu. Hodnoty těchto parametrů bývají na každém TMC segmentu každý den identické, a proto je opět možné je přesunout do *Tabulky 1*. A následně mohou být z datového souboru pro větší přehlednost smazány.

Parametry aktuální čas průjezdu definovaného TMC segmentu a aktuální zpoždění na definovaném segmentu jsou doplňující parametry k parametru Level of Service. Jejich hodnoty by bylo možné kategorizovat dle stupňů dopravy. Tyto dva parametry by byly významné v případě, že by byly například vyhodnocovány v reálném čase jako na stránkách dopravniinfo.cz.

Parametry lokalizace kolony na segmentu, délka kolony a vzdálenost čela kolony od počátku segmentu popisují detailně dopravní kolony. Tyto tři parametry jsou opět doplňující k parametru Level of Service, protože výskyt kolony je přímo spojen se stupněm dopravy. Tyto parametry mají využití spíše v aplikacích, kdy jsou monitorovány kolony v reálném čase, než k stanovování trendů dopravy.

Meta parametry

Za meta parametry jsou označeny parametry, které hodnotí kvalitu dat. Jako meta parametry byly vybrány:

- míra spolehlivosti dat,
- reakční doby systému.

Tyto dva parametry neslouží přímo k vyhodnocování dopravy, pouze určují kvalitu a přesnost dat. Například pokud bude nízká míra spolehlivosti dat, bude možné usoudit, že data neodpovídají realitě. Proto budou meta parametry při vyhodnocování použity pouze ke kontrole dat.

4.3. Postup zjišťování informací o datech

Pro práci s FCD je vhodné znát délku segmentu, čímž si lépe představíme vyhodnocovanou oblast. Délka segmentu je parametr, který se nenachází v FCD datech ani v lokalizačních tabulkách, ale je možné ho pomocí jiných FCD parametrů dopočítat. Parametry typická průměrná rychlost při volném průjezdu segmentu a doba volného průjezdu umožňují výpočet délky segmentu pomocí vzorce.

$$s = \frac{V}{3,6} \cdot t$$

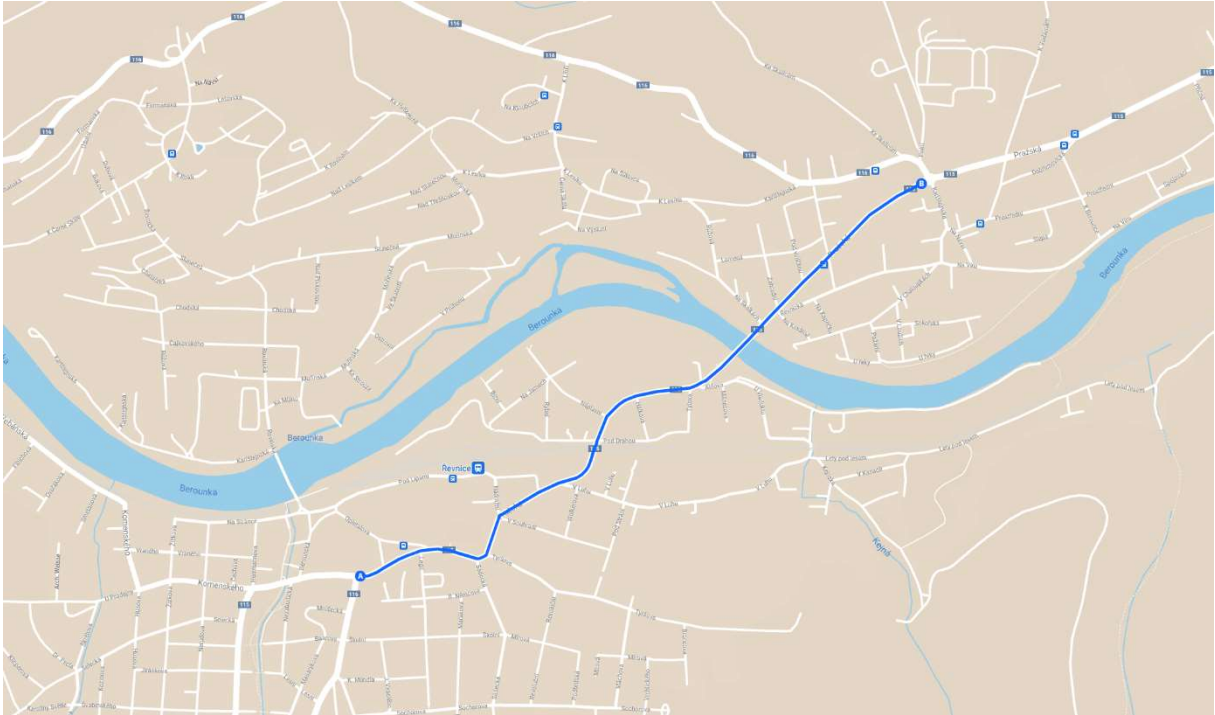
Ve vzorci s značí délku segmentu v metrech, V je typická průměrná rychlost při volném průjezdu segmentu v kilometrech za hodinu a t je doba volného průjezdu v sekundách. Následující tabulka znázorňuje výpočet délky segmentu pro všechny segmenty v oblasti.

Tabulka 1 Segmenty v oblasti

Z FCD					Dopočítáno
tmc_id	Z	Do	Typická průměrná rychlost [km/h]	Doba volného průjezdu [s]	Vypočtená délka [m]
TS06523T06524	Lety	Řevnice	50	138	1916,67
TS06524T06523	Řevnice	Lety	49	142	1932,78
TS06524T06525	Dobříchovice	Lety	50	112	1555,56
TS06525T06524	Lety	Dobříchovice	50	113	1569,44
TS06525T06526	Černošice	Dobříchovice	59	341	5588,61
TS06526T06525	Dobříchovice	Černošice	58	340	5477,78
TS06543T06544	Lety	Řevnice	50	138	1916,67
TS06544T06543	Řevnice	Lety	49	141	1919,17
TS06544T21991	Hlásná Třebář	Lety	74	245	5036,11
TS21991T06544	Lety	Hlásná Třebář	74	242	4974,44

4.3.1. Výskyt duplicitního tmc segmentu

Z *Tabulky 1* vyplývá, že úseky Lety-Řevnice a Řevnice-Lety se v ní vyskytují dvakrát pod různým identifikátorem tmc_id. To je způsobeno tím, že jednou částí pozemní komunikace prochází dvě silnice II. třídy. Konkrétně se jedná o silnice: silnice II/115 a silnice II/116. Na *Obrázku 8* je zvýrazněn zmiňovaný úsek s překrývajícím se označením silnic. Data z těchto duplicitních úseků jsou identická, pouze v krajních případech se liší o zanedbatelné hodnoty.



Obrázek 8 Silnice s duplicitním TMC segmentem. Převzato z google.com.

4.3.2. Zjišťování počtu vozidel

Postup zjištění počtu vozidel na silniční komunikaci v daný čas pomocí FCD je už znám. Nicméně data využitá v této práci jsou již agregovaná na jednu minutu, což komplikuje stanovení přesného počtu vozidel. Tato komplikace je znázorněna na následujícím příkladu, ze dne 3. 3. 2019 z TMC segmentu z Let směr Řevnice. V *Tabulce 2* jsou znázorněna pouze data potřebná k vysvětlení problému.

Tabulka 2 Příklad problému s počty vozidel

Čas [hh:mm]	Počet vozidel [-]	Rychlost [km/h]	Stupeň dopravy [-]
10:39	1	42	1
10:40	2	45	1
10:41	3	45	1
10:42	3	45	1
10:43	3	45	1
10:44	3	45	1
10:45	3	45	1
10:46	3	45	1
11:03	2	20	4
11:04	3	15	4
11:05	4	23	4

V tabulce jsou hodnoty z rozmezí přibližně třiceti minut. Kdybychom tedy chtěli zjistit celkový počet vozidel za toto třicetiminutové období tak nejintuitivnější řešení by bylo vypočítat sumu hodnot ze sloupce s počty vozidel. Ale vzhledem k tomu, že jsou datové záznamy agregovány na minuty a nejsou v nich vidět jednotlivá vozidla nemusí být součet správný.

V období od 10:41 do 10:46 jsou dle dat na segmentu tři vozidla. Z dat nelze určit, zda se jedná o stále stejná tři vozidla. Nebo jestli v průběhu jedné minuty na segment jedno vozidlo vjelo a druhé odjelo.

Tato komplikace způsobuje problémy při výpočtu dopravní intenzity a hustoty a také při porovnávání s daty o počtu vozidel z jiných zdrojů (jako například stacionární senzory či z manuálního průzkumu dopravy). Z tohoto důvodu budou pro zjišťování trendů dopravy ze získaných FCD použity průměrné počty vozidel namísto dopočítávání dopravní intenzity a hustoty.

4.4. Penetrace vozidel

Abychom FCD v zvolené oblasti mohli využívat, je potřeba zajistit dostatečný počet aktuálních měření na všech segmentech ve zvolené oblasti. To znamená, že dostatečný podíl vozidel dopravního proudu musí fungovat jako FCD sondy. Odborníci odhadují, že je potřeba, aby přibližně deset procent vozidel z celkového počtu obsahovalo FCD sondy. [11] Ověření podílu penetrace FCD vozidel vůči kompletnímu dopravnímu proudu se dá provést buď dopravním průzkumem ve zkoumané lokaci, nebo využitím stacionárního dopravního detektoru.

4.4.1. Vyhodnocení FCD dat pomocí stacionárních detektorů

Pro vyhodnocení dostatečné penetrace vozidel byla využita data z mikrovlnného radaru u Dobřichovic na silnici Pražská ve směru na Černošice. Data z mikrovlnného radaru jsou z období prosince 2020 a budou srovnávána z FCD daty ze stejného období.

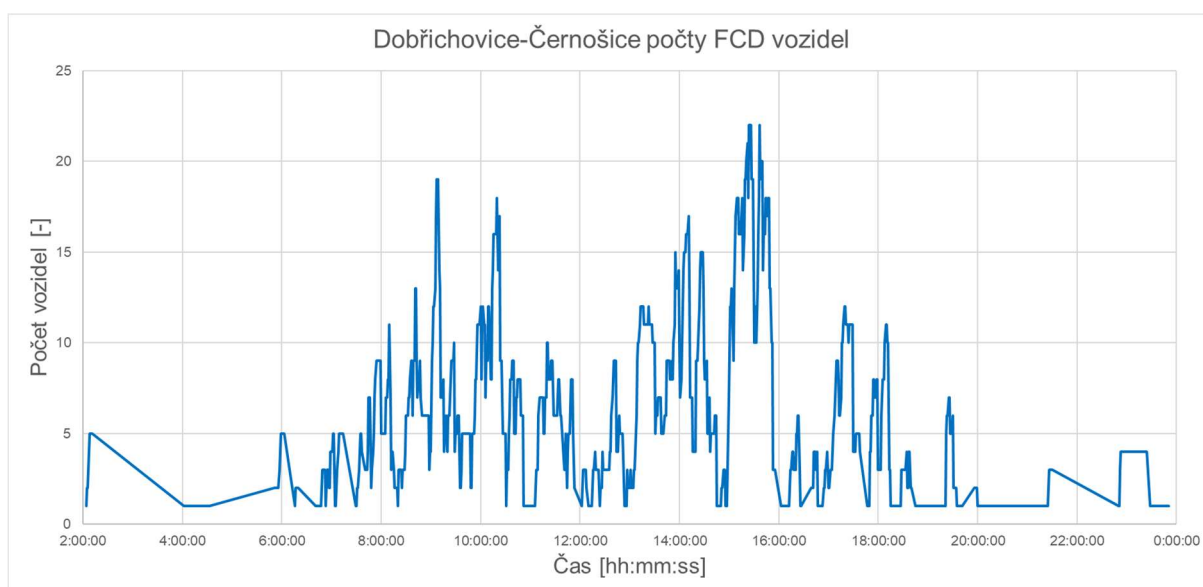
5. Vyhodnocení dopravních parametrů v čase a stanovení trendů pro posuzovanou lokalitu

Pro vyhodnocení dopravních parametrů v čase je třeba nejdříve stanovit jaké parametry chceme vyhodnocovat a v jakém časovém rozmezí je chceme zkoumat. Volba dopravních parametrů bude vycházet z předem identifikovaných důležitých informací v datech (kapitola 4.2.). Volba časového rozmezí závisí na nás, pro demonstraci zhodnotím dopravní parametry ve třech časových rozmezích různé délky.

5.1. Přehled vyhodnocení dopravních parametrů v jednotlivých dnech

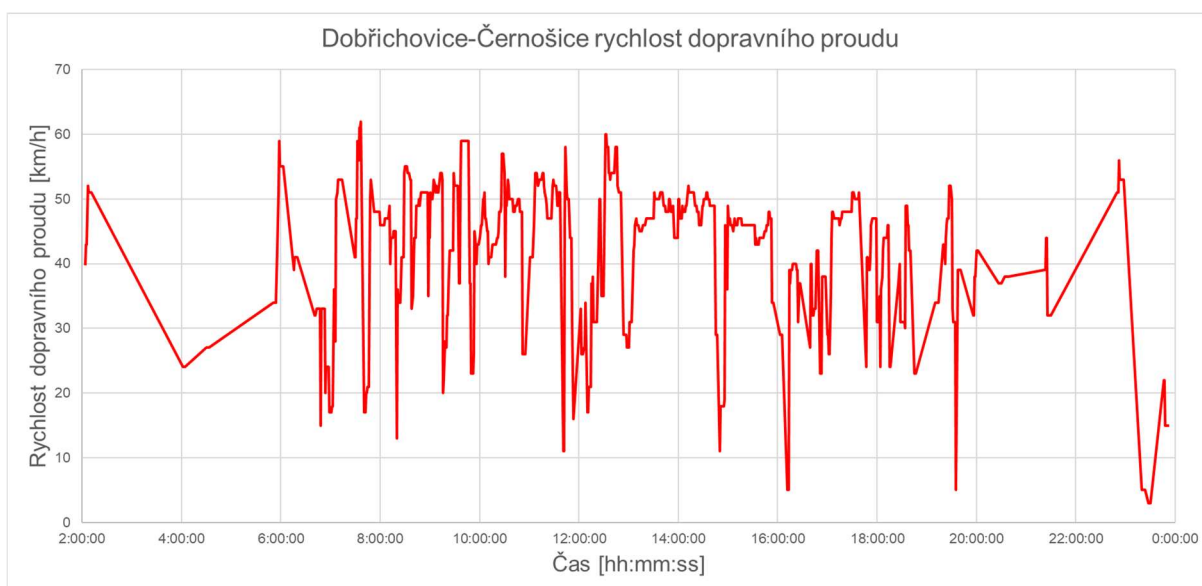
První časové rozmezí pro zobrazení dopravních parametrů bylo zvoleno rozmezí jednoho dne. Jako konkrétní den byla vybrána středa 15. 5. 2019. Tento den byl zvolen, protože jsme chtěli získat data ze dne, který není ovlivněný jakýmkoliv mimořádnými událostmi jako jsou státní svátky, víkendy, nebo i pandemie SARS-CoV-2. Data zobrazená následujících třech grafech (*Graf 1, 2 a 3*) nejsou nijak upravená, pouze počet vozidel je zobrazen jako součet počtu vozidel osobních a nákladních.

V *Grafu 1* jsou zobrazena data o počtu vozidel ze segmentu mezi Dobřichovicemi a Černošicemi ve směru do Černošic. Podrobnější informace o tomto segmentu lze nalézt v *Tabulce 1*. V grafu lze vidět, že hodnoty nejsou hladké a často se skokově mění.



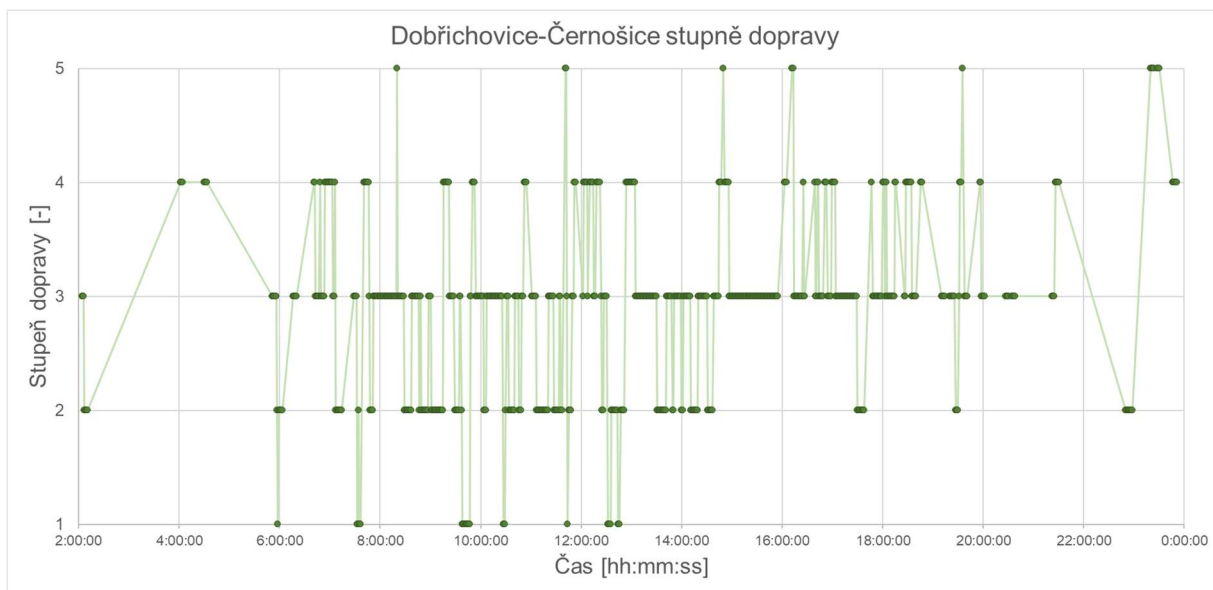
Graf 1 Dobřichovice – Černošice počty FCD vozidel

V *Grafu 2* jsou zobrazena data ze stejného segmentu a ze stejného dne jako v *Grafu 1*. Tentokrát se jedná o graf závislosti vypočtené rychlosti dopravního proudu na čase. Graf opět není moc hladký, je v něm vidět, že hodnoty se skokově mění. Náhlé skoky hodnoty rychlosti jsou většinou skoky s náhlým snížením rychlosti v řádech až desítek kilometrů za hodinu. Výskyt těchto náhlých skokových poklesů rychlosti způsobuje změna ve stupni dopravy (*Graf 3*). Kromě zmíněných skokových změn se hodnoty aktuální vypočtené rychlosti dopravního proudu pohybují v rozmezí 45-55 km/h.



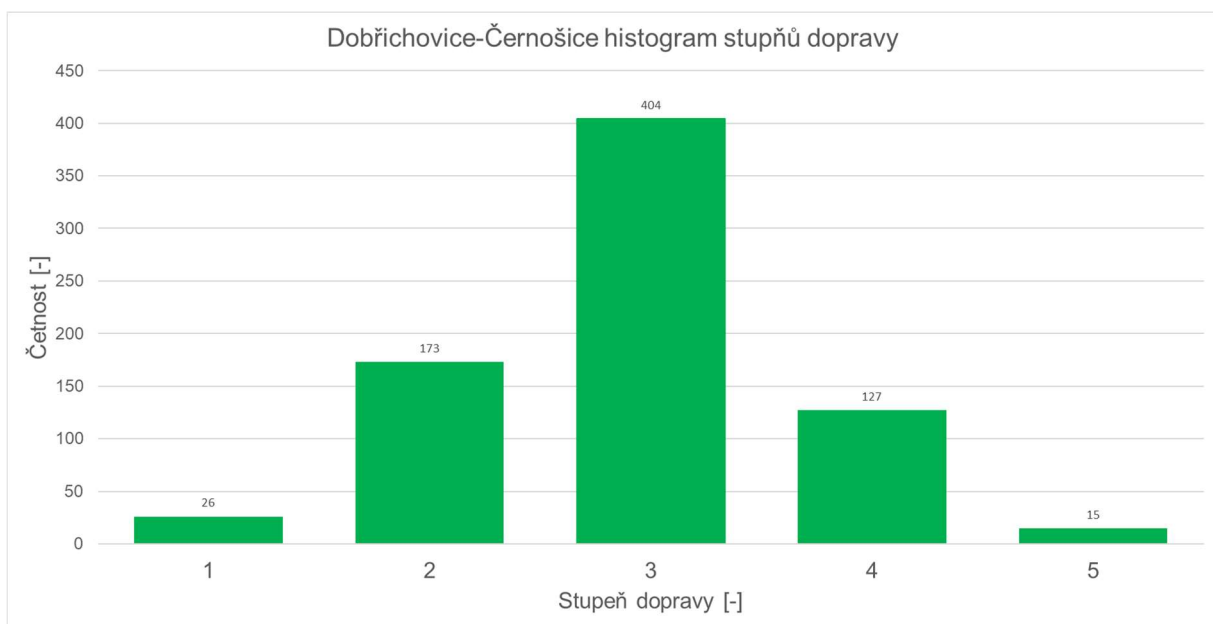
Graf 2 Dobřichovice – Černošice rychlost dopravního proudu

Graf 3 zobrazuje parametr stupně dopravy. Tento graf vlastně spojuje *Grafy 1* a *2*, protože stupně dopravy je možné zjistit z dopravní intenzity (počet vozidel za hodinu) a rychlosti dopravního proudu. V tomto případě jsou data o stupních dopravy již připravena od poskytovatele dat, takže není potřeba stupně dopravy dopočítávat. Pomocí těchto tří grafů lze ověřit správnost dat. Například přibližně v 15:00 je na *Grafu 3* vidět pátý stupeň dopravy. Když se poté podíváme na *Graf 2* a *Graf 1*, je zřejmé, že ve stejný čas na tomto segmentu byla nízká aktuální vypočtená rychlost dopravního proudu a vyskytoval se zde značný počet FCD vozidel, což potvrzuje výskyt dopravní kongesce.



Graf 3 Dobřichovice – Černošice stupně dopravy

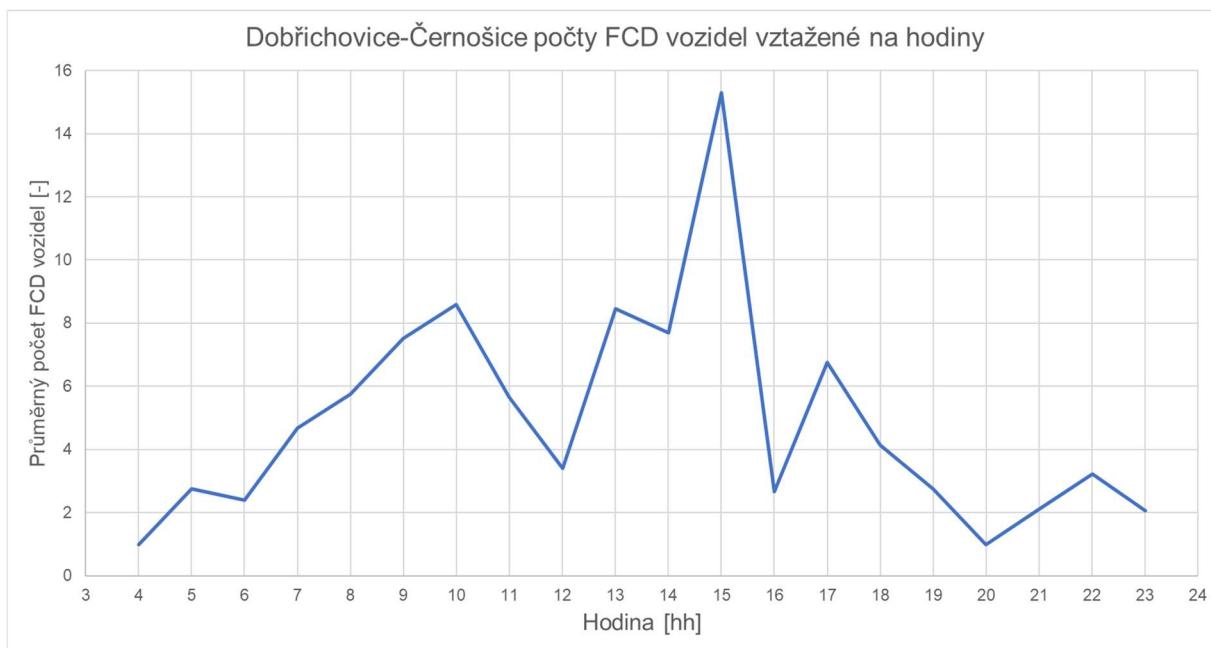
Výskyt jednotlivých stupňů dopravy na zvoleném segmentu v období jednoho dne velice přehledně znázorňuje histogram na Grafu 4. Osa y značí četnost záznamů jednotlivých stupňů dopravy.



Graf 4 Histogram stupňů dopravy na segmentu

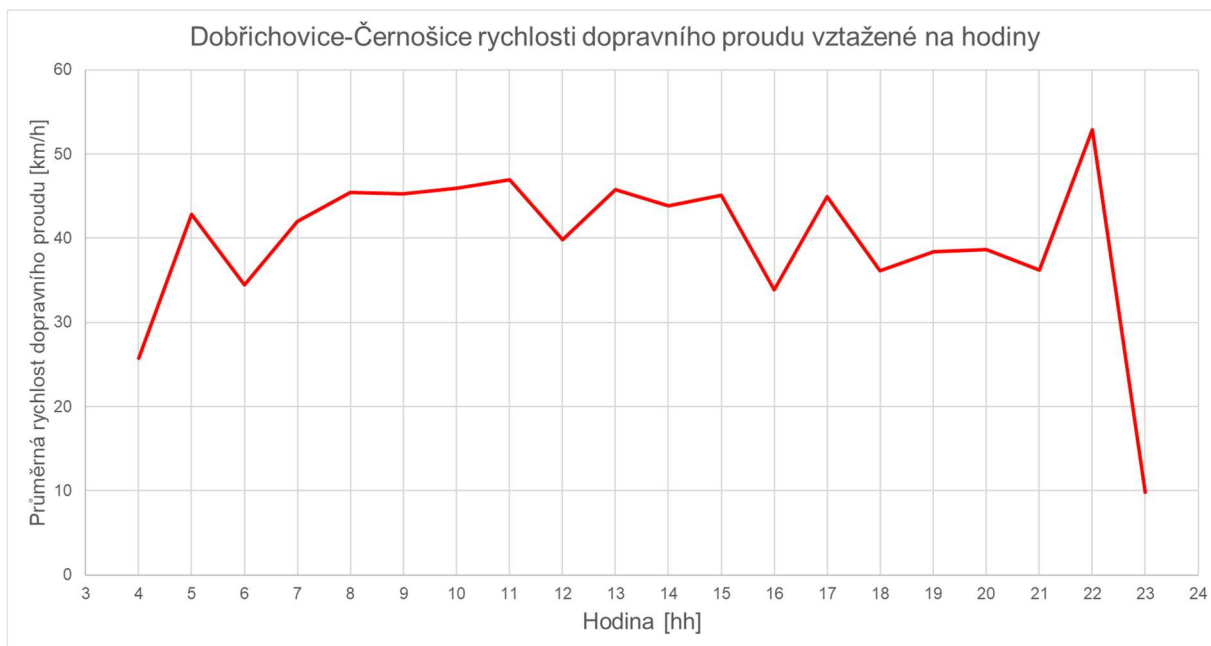
5.1.1. Zaokrouhlení hodnot na hodiny

Pro zlepšení srozumitelnosti grafů (*Graf 1 a 2*), byly grafy upraveny do podoby, ve které jsou hodnoty zprůměrované na hodiny (*Graf 5 a 6*). Toto zobrazení značně zlepšuje přehlednost grafů. V grafu zobrazujícím počty vozidel je snáze vidět ranní a odpolední špičku.



Graf 5 Dobřichovice – Černošice počty FCD vozidel vztažené na hodiny

Graf znázorňující aktuální vypočtené rychlosti dopravního proudu ukazuje, že rychlosti na tomto segmentu se pohybují v rozmezí 40-50 km/h. Tyto hodnoty se zdají nižší oproti hodnotám z *Grafu 2*. To je způsobeno tím, že průměr nebere v úvahu počty vozidel a značně jej ovlivňuje výskyt kongescí.



Graf 6 Dobřichovice – Černošice počty FCD vozidel

5.1.2. Tvorba detailního grafu kombinovaného dne

Vzhledem k relativně malému počtu záznamů na jednom TMC segmentu silniční komunikace dané oblasti v časovém rozmezí jednoho dne, byla data z podobných dnů (například všech střed v jednom měsíci) ze stejného segmentu kombinována do jednoho datového souboru. Výhoda takového souboru dat spočívá v značném navýšení počtu záznamů a tím i samozřejmě navýšení počtu informací o zkoumaných dopravních parametrech v daném časovém období na daném segmentu. Nevýhodou tohoto přístupu je ztráta přesnosti, způsobená kombinací dat z několika různých dnů. Nelze již například tvrdit, že námi vytvořená kombinovaná data zobrazují stav dopravních parametrů pro nějaký konkrétní den. Můžeme pouze, tvrdit že takto vypadá kombinace dat z více dnů, v nichž přepokládáme podobný průběh trendu počtu vozidel. Cílem této metody je ukázat, jak by měly průměrně vypadat denní hodnoty dopravních parametrů na daném segmentu.

5.1.3. Algoritmus pro tvorbu kombinovaného dne

Pro tvorbu kombinovaného dne byly zvoleny všechny středy měsíce května roku 2019. Středa byla zvolena jako den s průměrnou dopravní vytížeností. Výsledné kombinované datové sady byly získány s využitím programu Microsoft Excel pro předzpracování a výsledné zobrazení dat a pro tvorbu algoritmu na zpracování dat byl použit program MATLAB R2021a.

Prvním krokem tvorby výsledného datového souboru je nutnost předpřipravit vstupní data v Excelu tak, aby je MATLAB mohl jednodušeji zpracovat. Navržený algoritmus neumí

pracovat s daty ve formátu *datetime*, proto je třeba v Excelu tento formát převést na celá čísla do jednotlivých sloupců pro dny, hodiny a minuty. Následující dva sloupce jsou určeny pro celkový počet vozidel a aktuální vypočtenou rychlost dopravního proudu.

Tabulka 3 Ukázka předpřipravených dat

Den [-]	Hodina [hod]	Minuta [min]	Počet vozidel [-]	Rychlost dopravního proudu [km/h]
1	2	0	1	42
1	2	1	1	42
1	2	2	1	42
1	2	3	1	42

Tabulka 3 znázorňuje podobu vstupních dat a je pouze ilustrativní, skutečný soubor s předpřipravenými daty obsahuje záznamy z celého dne. Ve vstupních datech není zahrnuta informace, o který měsíc v roce se jedná, protože časové období se vztahuje pouze na jeden měsíc. V případě, že by časové období bylo širší, je možné algoritmus této situaci přizpůsobit.

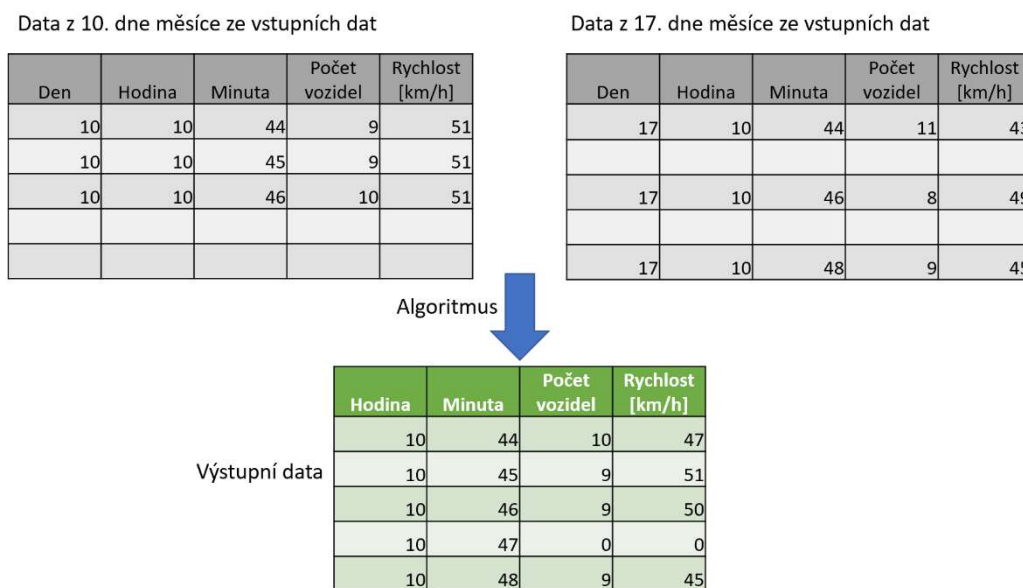
Druhým krokem je vybrání požadovaných dnů ze vstupních dat. To budou v tomto případě všechny středy v měsíci květen (tedy dny 1, 8, 15, 22, 29). Následně stačí nechat algoritmus pracovat dle svého principu.

Algoritmus pro doplnění a kombinování dat nejdříve vytvoří matici nul o velikosti 1440×4 , délka dle počtu všech možných záznamů za jeden den (24 hod odpovídá 1440 minutám) a šířce čtyři (hodina, minuta, počet vozidel, rychlost). Poté matici doplňuje o hodnoty z předem zvolených dnů (středy). Matici doplňuje podle třech pravidel:

1. Pokud v žádném ze zvolených dnů neexistuje pro daný čas hodnota nechá buňky prázdné.
2. Pokud v právě jednom ze zvolených dnů existuje pro daný čas hodnota doplní ji.
3. Pokud ve dvou a více ze zvolených dnů existuje pro daný čas hodnota doplní ji o aritmetický průměr hodnot.

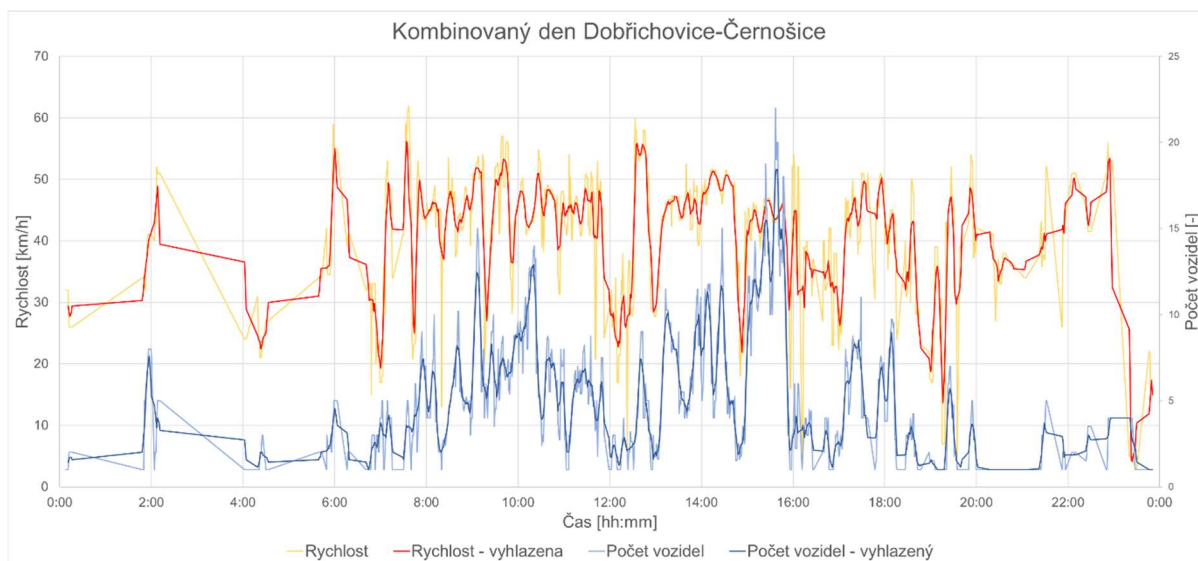
Z matice jsou nakonec odebrány nulové hodnoty pro přehlednost a tím se z ní stává výstupní matice kombinovaného dne. Data z výstupní matice se dají zobrazit přímo v MATLABu a zároveň jsou také exportována jako výstupní data ve formátu CSV.

Následující diagram na *Obrázku 9* graficky znázorňuje princip algoritmu na fiktivních datech. V tomto případě jsou zvoleny dva dny (princip funguje identicky pro libovolný počet dnů) a pomocí tří již zmíněných pravidel jsou hodnoty ze vstupních dat doplněny, vynechány nebo zprůměrovány do výstupních dat



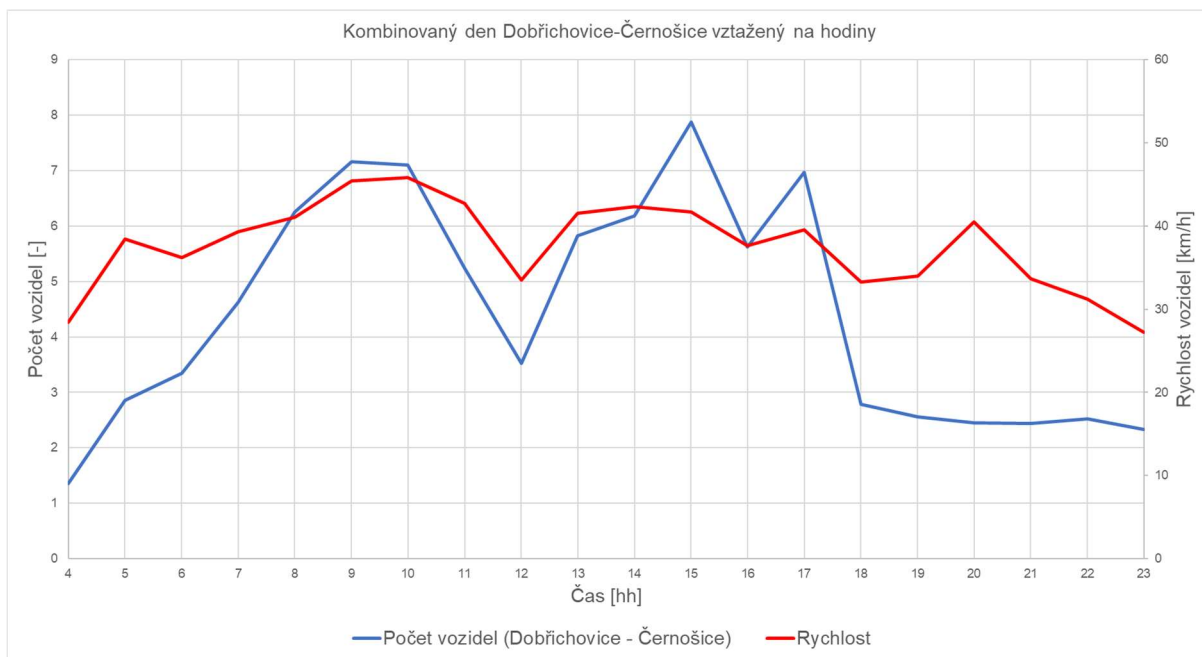
Obrázek 9 Diagram principu algoritmu

Výstupní data jsou zobrazena v *Grafu 7*. Pro větší přehlednost jsou vyhlazena plovoucím okénkem. Když *Graf 7* porovnáme s hodnotami z jednotlivých dnů (*Graf 1* a *Graf 2*) je zřejmé, že v grafu kombinovaného dne je více hodnot, je lépe čitelný a jsou v něm lépe vidět dvě dopravní špičky kolem 9:30 a 15:00. Nevýhoda tohoto grafu spočívá v ztrátě možnosti identifikovat dopravní excesy konkrétně v daný den, a i přes doplnění dat nejsou hladké.



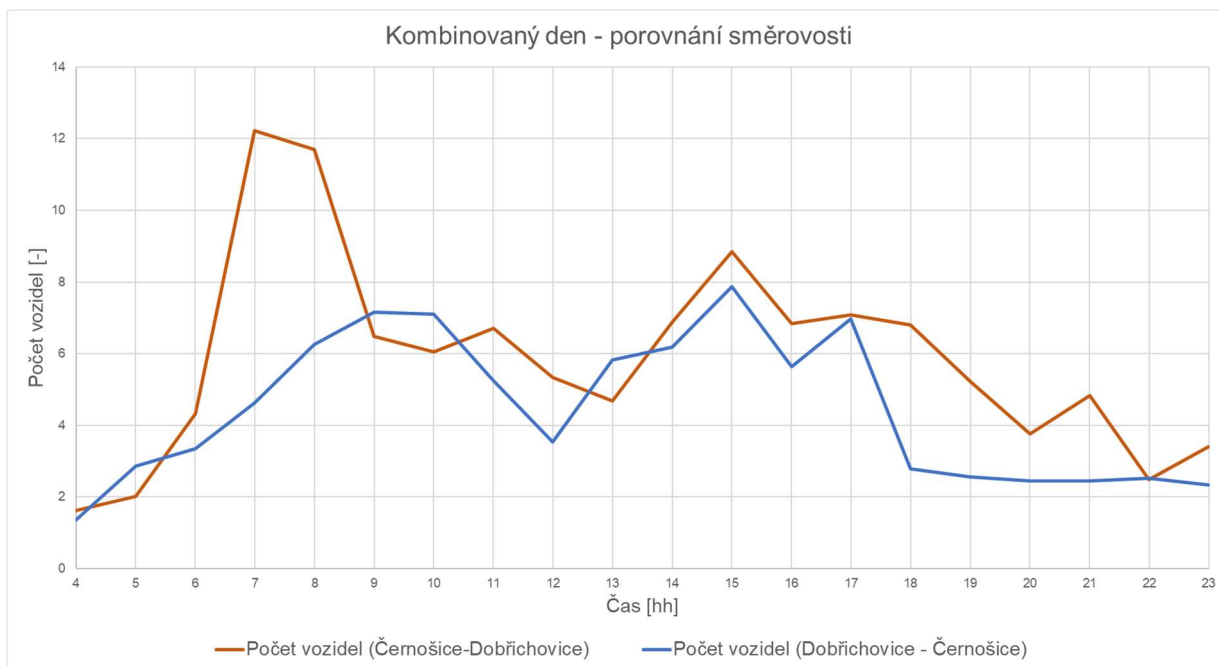
Graf 7 Závislost rychlosti a počtu vozidel na čase pro kombinovaný den

Výsledné hodnoty znázorněny v *Grafu 7* byly následně upraveny na hodinové hodnoty stejně jako v kapitole 5.1.1. Do vzniklého *Grafu 8* jsou zaneseny opět hodnoty počtů vozidel a hodnoty rychlosti vozidel.



Graf 8 Graf kombinovaného dne vztažený na hodiny

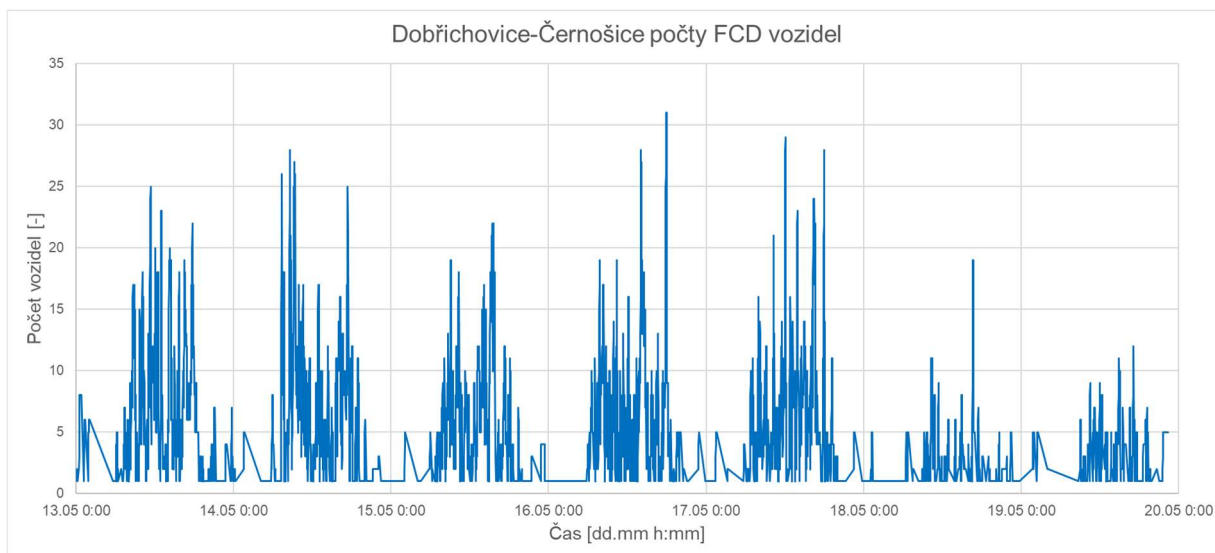
Dalším možným využitím takto zpracovaných dat je pro porovnání směrovosti na vybraném segmentu silniční komunikace. *Graf 9* znázorňuje počty vozidel za využití algoritmu kombinovaného dne z úseku mezi Dobřichovicemi a Černošicemi. Lze na něm vidět, že dle FCD dat by měla mít ranní špička v tomto úseku mnohem víc vozidel ve směru z Černošic do Dobřichovic a poté by měl zbytek dne vypadat podobně v obou směrech.



Graf 9 Porovnání směrovosti pomocí kombinovaného dne

5.2. Přehled vyhodnocení dopravních parametrů v týdnech

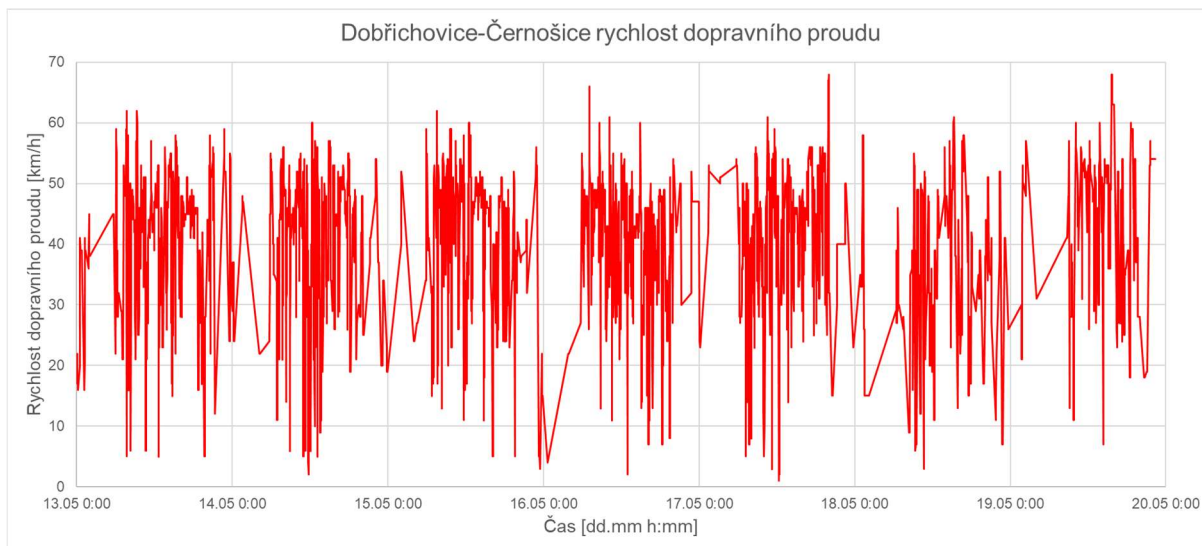
Druhé zvolené časové rozmezí je rozmezí jednoho týdne. Zvolený zkoumaný týden začíná v pondělí 13. 05. 2019 a končí v neděli 19. 05. 2019. Jako zkoumaný segment byl opět vybrán segment Dobříchovice – Černošice.



Graf 10 Dobříchovice – Černošice počty FCD vozidel za týden

Počty FCD vozidel na zvoleném segmentu silniční komunikace jsou znázorněny na *Grafu 10*. Tento graf je složen z grafů jednotlivých dnů. V grafu vidíme například středu 15. 05., která již byla zkoumána v kapitole 5.1. Zobrazením všech dnů v týdnu za sebou, zjistíme, že

o víkendech se na segmentu vyskytuje méně FCD vozidel než ve všedních dnech. Také je možné s využitím tohoto *Grafu č. 10* a *Grafu č. 11* identifikovat na segmentu nestandardní situace – jako například neobvyklé počty vozidel či rychlosti a následovně je analyzovat detailněji. Například pomocí třeba analýzy v časovém rozmezí jednoho dne.

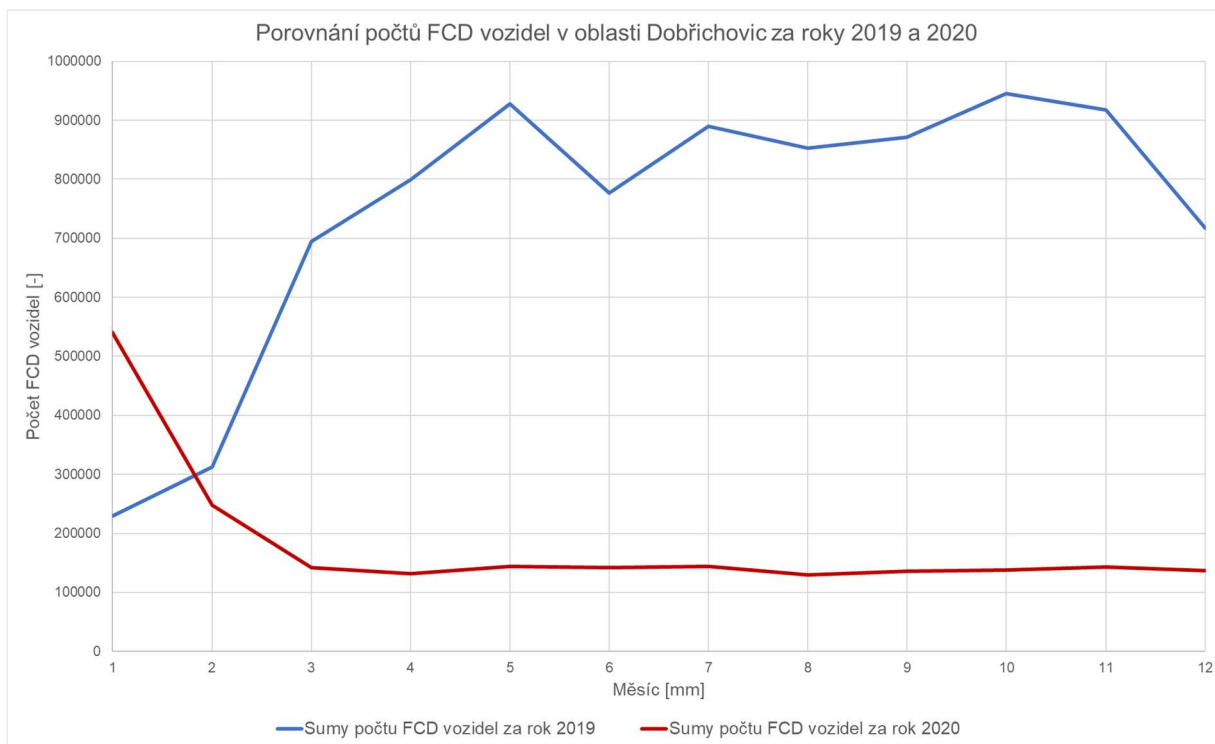


Graf 11 Dobřichovice – Černošice rychlost dopravního proudu za týden

5.3. Přehled vyhodnocení dopravních parametrů za dlouhodobé období

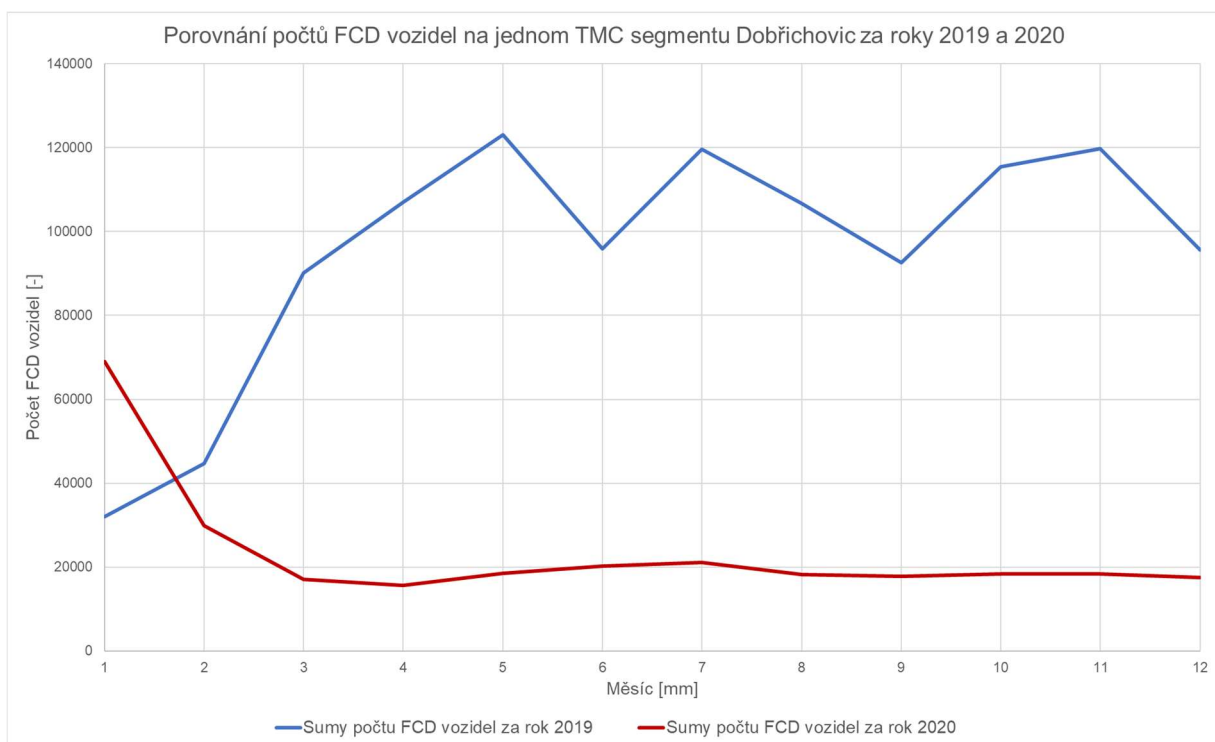
Jako třetí časové rozmezí bylo zkoumáno rozmezí dlouhodobého období (měsíce, roky). Při takto širokém časovém období se již nevyplatí vypracovávat grafy, které ukazují neupravená data, protože velkým počtem záznamů dat se graf stane těžko čitelným. Zde zobrazená data jsou sečtena na měsíce a zobrazují celkové měsíční počty FCD vozidel, která se vyskytovala v oblasti Dobřichovic.

Z *Grafu 12* je vidět několikanásobný pokles v počtu FCD vozidel v oblasti v roce 2020 oproti předchozímu roku. Na tomto poklesu se podílela především pandemie SARS-CoV-2, protože první nouzový stav vyhlásila vláda České republiky v polovině března 2020. [21] Nouzový stav způsobil nižší využívání služebních vozidel, která mají značné zastoupení v námi využívaných GFCD.



Graf 12 Porovnání počtu FCD vozidel

Vzhledem k překvapivě značnému poklesu počtu FCD vozidel byla provedena kontrola správnosti vyhodnocení *Grafem 13*. Značný pokles je ještě prohlouben výše zmíněným problémem se zjišťováním počtu vozidel pomocí FCD (kapitola 4).

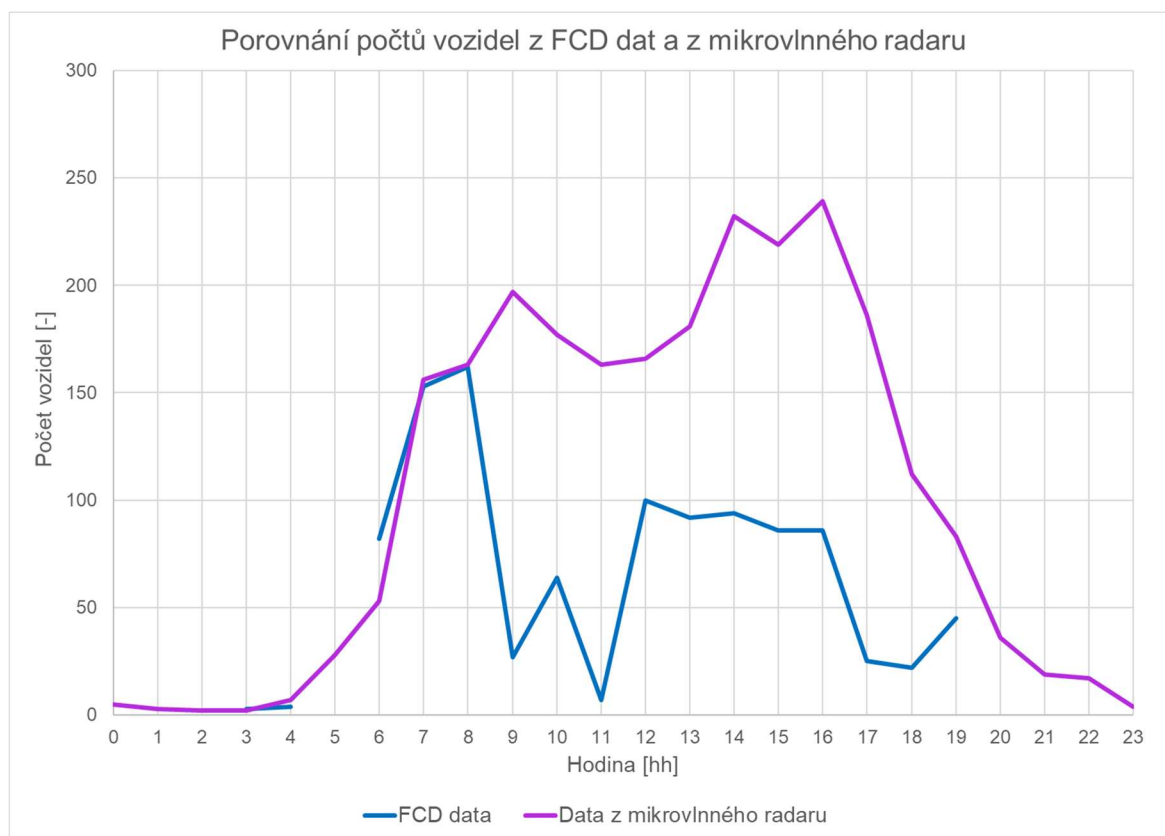


Graf 13 Kontrolní graf ke grafu 12

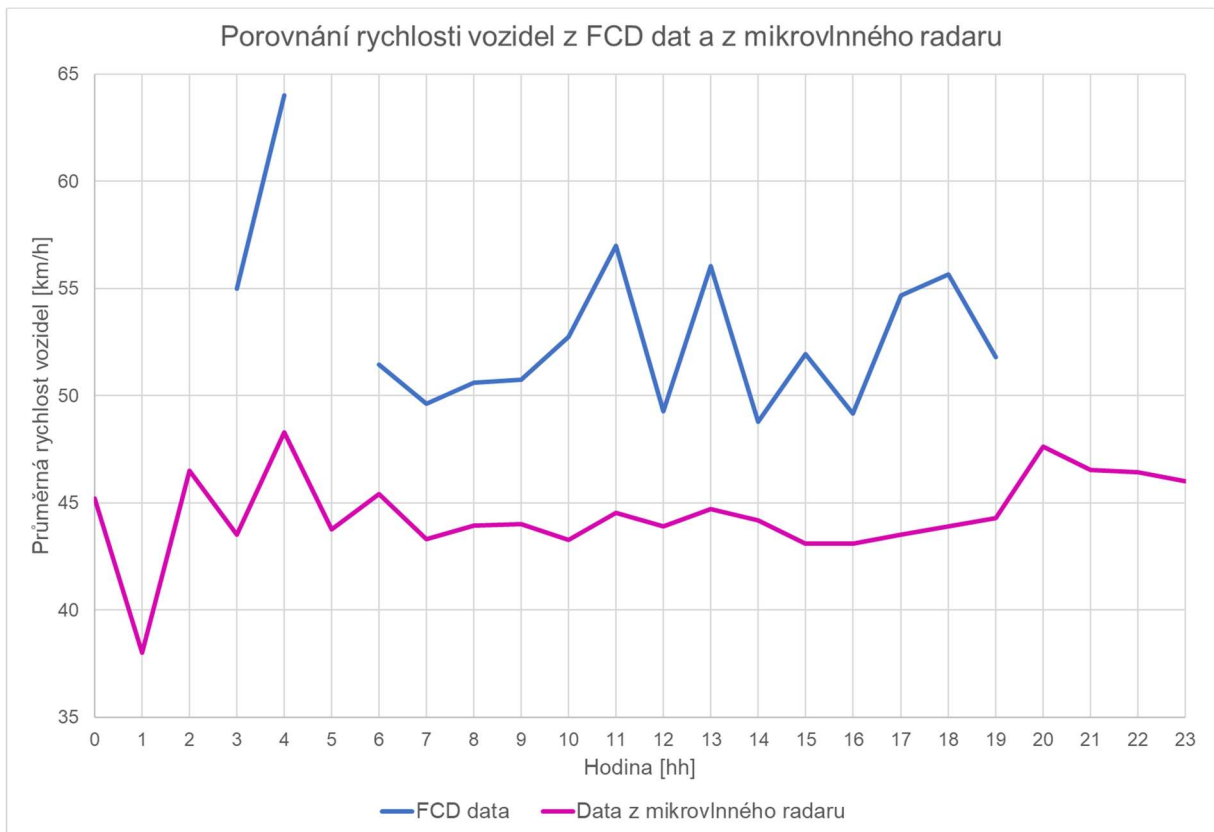
5.4. Analýza penetrace FCD vozidel

Analýza penetrace FCD vozidel zde navazuje na kapitulu Penetrace vozidel (kap 4.4). Následující dva grafy porovnávají data získaná z mikrovlnného radaru a data získaná pomocí FCD ve stejné lokalitě. Zkoumaný zvolený den je středa 2. 12. 2020. Tento den byl vybrán jednak kvůli limitovanému počtu dnů, ze kterých se podařilo získat data z mikrovlnného radaru, a jednak protože se jedná o den neovlivněný mimořádnými událostmi.

Porovnání počtu vozidel, získaných pomocí FCD, a počtem vozidel zjištěným pomocí mikrovlnného radaru je uvedeno v *Grafu 14*. Je vidět, že počty vozidel, zjištěné těmito dvěma způsoby, se s výjimkou šesté až osmé hodiny, značně liší. Také dopravní trend, vyjádřený rychlostí vozidel, se liší podle způsobu získání dat (*Graf 15*).



Graf 14 Porovnání počtu vozidel, získaných pomocí FCD a pomocí mikrovlnného radaru



Graf 15 Porovnání rychlosti, získané z FCD dat a z mikrovlnného radaru

6. Zhodnocení využití FCD pro konkrétní lokalitu a vyvození obecných možností využití FCD

Cílem této kapitoly je využít poznatků z předešlých kapitol k vyvození závěrů o využití FCD v zadané lokalitě a zhodnocení obecných možností využití FCD.

6.1. Zhodnocení FCD z lokality

Z předešlých kapitol lze vyvodit několik závěrů ohledně využití FCD v oblasti Dobřichovic, které by následně bylo možné aplikovat i na jiné podobné lokality (například silnice II třídy mezi menšími městy či obcemi). Ze získaných dat bylo možné za pomoci statistických metod získat grafy, vypovídající o důležitých dopravních veličinách.

První zkoumanou veličinou byly počty vozidel nacházející se v daný čas na segmentech silniční komunikace. Z grafů v kapitole 5 lze zpozorovat hlavní nedostatek při zjišťování počtů vozidel pomocí FCD, jedná se o náhlé skokové změny v hodnotách, které pravděpodobně neodpovídají skutečné situaci, což je potvrzeno porovnáním FCD a dat z mikrovlnného radaru. Tento nedostatek je způsobem podílem FCD sond a zbytkem dopravního proudu. Nedostatečný počet FCD sond byl zvýrazněn zejména pandemií COVID-19, kdy se výrazně snížil počet FCD vozidel v roce 2020 oproti roku 2019.

I přes tento značný nedostatek jsou FCD využitelná k zjištění trendů počtu vozidel ve dnech, kdy je ve skladbě dopravního proudu dostatečný počet FCD sond. Ve dnech, kdy počet sond dostatečný není, je možné zjistit přibližný trend vývoje počtů vozidel za den. Nebo je možné při dlouhodobé analýze data doplnit o data z podobných dnů (viz. kapitola 5.1.2 Tvorba detailního grafu kombinovaného dne) pro zjištění trendů.

Pro doplňování dat z podobných dnů byl vytvořen algoritmus pro tvorbu kombinovaného dne. Cílem tohoto algoritmu bylo pomocí kombinace dat z několika podobných dnů vykompenzovat malý počet dat a tím lépe znázornit podobu trendů dopravních parametrů. Výstupem tohoto algoritmu byly grafy, kde se trendy počtů vozidel více blížily skutečným trendům dopravní intenzity. Pomocí algoritmu bylo také vytvořeno porovnání směrovosti na úseku mezi Dobřichovicemi a Černošicemi, kde hodnoty značí že v ranní špiče jezdí více vozidel směrem do Dobřichovic.

Co se týče využití FCD pro výpočet dopravní intenzity a hustoty, tak odpověď je trochu komplikovaná. Je možné vypočítat intenzitu a hustotu FCD vozidel na nějaké určené silniční komunikaci, ale vzhledem k nízké penetraci vozidel a problémem se sumací počtu vozidel (viz.

kapitola 4.3.2.) budou výsledné hodnoty mít značné chyby měření, protože není možné pomocí FCD změřit všechna vozidla dopravního proudu. Chyby budou mít nejen oproti hodnotám získaným měřeními všech vozidel dopravního proudu, ale i oproti hodnotám změřeným pomocí FCD kvůli problémům se sumací. Z tohoto důvodu se v této práci pracuje přímo s hodnotami počtů vozidel.

Druhou zkoumanou veličinou byla průměrná rychlost dopravního proudu na daném segmentu silniční komunikace. Vyhodnocením této veličiny v kapitole 5 bylo zjištěno, v jakých hodnotách se pohybuje rychlost FCD vozidel a jak vypadá trend rychlosti na zvoleném segmentu silniční komunikace.

Míra toho, jak se data o rychlosti FCD vozidel blíží skutečným hodnotám, opět závisí na podílu FCD sond v celkovém dopravním proudu. Vzhledem k délkám segmentů a typu silniční komunikace není předpokládáno, že je potřeba tak velké zastoupení vozidel jako při zjišťování dopravní intenzity, protože se všechna vozidla v dopravním proudu pohybují podobnou rychlostí. Zjišťování rychlosti pomocí FCD takto představuje dobrý způsob pro identifikaci dopravních kongescí.

Pro zjišťování výskytu kongescí v FCD existuje více způsobů než pouze hledat nízké rychlosti. Nejjednodušší způsob je pomocí parametru lokalizace kolony na segmentu. Tento parametr jednoznačně určuje, zda je v segmentu kolona a doplňují jej parametry, které udávají lokaci a délku kolony. Další způsob zjištění kolony je pomocí stupňů dopravy zjištěných z FCD. Při výskytu čtvrtého a pátého stupně dopravy je v datech vidět pokles rychlosti, který potvrzuje tvorbu dopravní kolony. Potenciál využití FCD pro detekci kolon je značný, vzhledem k velkému pokrytí dopravní sítě České republiky TMC segmenty, ze kterých je možné data získávat.

Parametrem úzce spojeným s průměrnou rychlostí dopravního proudu je aktuální čas průjezdu. Pro vyhodnocování kvality dopravy stačí tedy pracovat pouze s rychlostí, protože pod pojmem rychlost je jednodušší představit si stav dopravy. Aktuální čas průjezdu samozřejmě také bude závislý na délce TMC segmentu, na kterém se vyskytuje. Hodnoty času průjezdu jsou spojené s hodnotami rychlosti, v případech že rychlost stoupá čas průjezdu bude klesat a naopak.

Při popisu parametrů FCD byly představeny meta parametry pojednávající o kvalitě dat. Konkrétně míra spolehlivosti dat a reakční doby systému. Míra spolehlivosti dat je parametr, kterého je možné využít k ověření správnosti dat.

6.2. SWOT analýza využití FCD pro vyhodnocování kvality dopravy

SWOT analýza se většinou využívá pro analýzu měkkých systémů a vývoj strategického plánování. Zde bude využita pro shrnutí kladů a záporů FCD zjištěných z analýzy reálných dat v oblasti Dobřichovic. Základním principem SWOT analýzy je tvorba čtyř kritérií dle akronymu SWOT, do kterých jsou roztrženy silné a slabé stránky, příležitosti a hrozby.

Silné stránky (Strengths)

Za silné stránky FCD jsou považovány vlastnosti, ve kterých FCD vyniká:

- Identifikace dopravních kongescí.
- Podrobné informace o dopravních kongescích (lokace, délka kolony).
- Identifikace stupňů dopravy.
- Pokrytí většiny důležitých silničních komunikací.
- Není třeba instalovat stacionární dopravní detektory.

Slabé stránky (Weaknesses)

Za slabé stránky FCD jsou považovány vlastnosti, ve kterých má FCD nedostatky:

- Problémy s nedostatečnou penetrací dopravního proudu.
- Agregace dat na minuty znemožňuje identifikaci jednotlivých vozidel.
- Neumožňují přesné zjištění dopravní intenzity a hustoty.
- Závislost na služebních vozidlech.

Příležitosti (Opportunities)

Zde jsou vypsány možnosti zlepšení využití FCD:

- S rostoucím počtem FCD vozidel bude v budoucnu růst přesnost výsledků.
- Využití FCD jako doplněk k datům ze stacionárních senzorů.
- Využití CFCD k doplnění GFCD.
- Využití FCD v konceptu Smart City.

Hrozby (Threats)

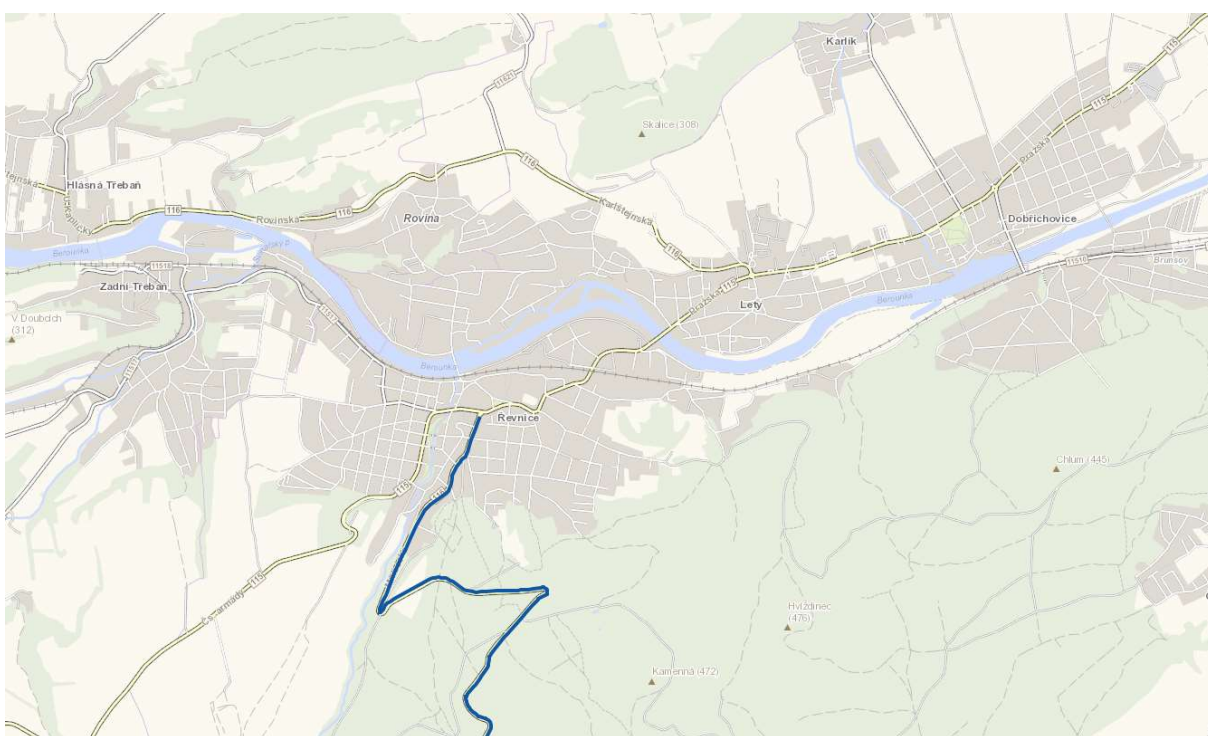
Zde jsou vypsány procesy, které mohou využití FCD škodit:

- V obdobích, kdy je nižší využití služebních vozidel pokrytí GFCD značně klesá.
- Nevyužití principů otevřených dat.

6.3. Návrh vyhodnocení kvality dopravy na základě dostupných FCD ve vybrané lokalitě

Na závěr šesté kapitoly budou zhodnoceny možnosti využití FCD k vyhodnocení kvality dopravy na základě zpracovaných dat. Bylo již zjištěno a zhodnoceno jaké dopravní informace je možné pomocí FCD v lokalitě zjistit, nyní tato zjištění budou aplikována pro návrh využití FCD v Dobřichovicích, a i jiných podobných oblastech. Tento návrh bude platit převážně pro lokality, kde není tak velké pokrytí FCD vozidly jako je například ve velkých městech.

FCD lze dobře využít pro zjišťování stupňů dopravy a pro získávání podrobnějších informací o dopravních kongescích. Tyto informace jsou již poskytovány účastníkům provozu přes portály jako dopravniinfo.cz. V lokalitě Dobřichovic se vyskytuje problém s občasným nedostatkem penetrace FCD vozidel. Tento problém byl potvrzen v kapitole páté a je jej možné zpozorovat i na stránkách dopravniinfo.cz, kde často chybí dopravní informace v oblasti Dobřichovic. Na *obrázku 10* je vidět, že jsou data jen z jednoho kusu silniční komunikace (vyznačen modře).



Obrázek 10 Převzato z: dopravniinfo.cz v neděli 12:50

K vyhodnocení dopravních trendů pomocí počtů vozidel bylo navrženo počítat s průměry počtů vozidel na segmentu. Dopravní veličiny intenzita dopravy a hustota dopravy momentálně není možné získat pomocí FCD s dostatečnou přesností. Dopravní trendy počtů vozidel a rychlosti dopravního proudu lze zhotovit z dat z jednotlivých dnů, nebo kombinací dat z několika dnů.

Kvalita dopravních informací z trendů bude záviset značně na penetraci vozidel FCD. Vzhledem k častým výskytům nízké penetrace FCD v oblasti, by bylo vhodné FCD využít jako doplněk k datům ze stacionárních senzorů, nebo je alespoň ověřit dopravním průzkumem. Další možností kompenzace nedostatečné penetrace FCD vozidel by bylo doplnit získaná GFCD o CFCD. Čímž by se zvýšil počet FCD vozidel, ale bylo by třeba CFCD důkladně kontrolovat z důvodů nižší přesnosti dat.

7. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat data z plovoucích vozidel (FCD data) na vybrané lokalitě v Dobřichovicích. Dále vyhodnotit kvalitu získaných dat a posoudit jejich aplikovatelnost k vyhodnocení kvality dopravy.

FCD slouží jako zdroj informací pro inteligentní dopravní systémy, kterým poskytují informace o lokalizaci, rychlosti, směru pohybu a času pohybujících se vozidel. Existuje několik podkategorií FCD. První jsou GFCD, kde informace vysílá GPS jednotka ve vozidle. Druhou kategorií jsou CFCD, kde informace jsou vysílány prostřednictvím mobilních telefonů. GFCD data poskytují přesnější informace o poloze, ale mají nižší penetraci v porovnání s CFCD daty. Poslední popisovanou kategorií je technologie kooperativních systémů, kde informace jsou vysílány pomocí bezdrátové komunikace krátkého dosahu (např. Bluetooth, Wifi). Vozidla tak mohou komunikovat mezi sebou navzájem nebo s detektorem, umístěným na dopravní infrastruktuře.

FCD jsou využívána pro poskytování informací o aktuální dopravní situaci, pro řízení dopravy, jako podklad pro osobní navigační systémy, pro plánování jízdních časů při doručování zboží nebo pro optimalizaci jízdních řádů a získávání informací o zpoždění ve veřejné hromadné dopravě. Limitací výhradního použití FCD představuje nedostatečný počet vozidel, vybavených potřebnými lokátory. Lze je však použít jako doplněk dat, získaných ze stacionárních detektorů. FCD lze zařadit do rámce konceptu Smart City za předpokladu že se jedná o otevřená data.

V předkládané bakalářské práci byla vyhodnocena FCD data, získaná od Ředitelství silnic a dálnic z období 1. ledna 2019 až 31. prosince 2020 v městě Dobřichovice a jeho okolí. Získaná data z flotily 150 000 vozidel byla zpracována pomocí programu Excel a MATLAB. Jednotlivé parametry dat, ať už předem známé (jako identifikační kód segmentu, komunikace, směr) nebo proměnné v čase (jako např. počet plovoucích osobních či nákladních vozidel, průměrná rychlost při průjezdu segmentem) byly detailně popsány a vysvětleny na příkladech skutečných hodnot ze získaných dat. Dále byly popsány důležité silniční komunikace a TMC segmenty, potřebné pro práci s FCD, v oblasti Dobřichovic.

Za účelem vyhodnocení dopravních parametrů a trendů v posuzované lokalitě byly vybrány parametry dat důležité pro výpočet dopravních vztahů (datum, tmc_id, počet plovoucích vozidel, aktuální vypočtená rychlost dopravního proudu a stupně dopravy). Kvalita dat byla zkontrolována zejména s ohledem na výskyt duplicit a na problém se získáváním hodnot počtu

vozidel z FCD. Slabou stránkou získaných dat byla také agregace dat na minuty, což znemožňuje identifikaci jednotlivých vozidel.

Ze získaných dat jsme se pokusili identifikovat dopravní trendy na vybraném TMC segmentu mezi Dobřichovicemi a Černošicemi. Byla také zkoumána kvalita dopravních parametrů v čase (v různých časových úsecích: během dne, v rámci týdne nebo porovnání meziroční). Pokusili jsme se identifikovat dopravní kongesci pomocí parametru stupňů dopravy získaných z FCD. V dané lokaci byl počet FCD vozidel, které projely vybraným TMC segmentem příliš nízký. Z tohoto důvodu byl vytvořen koncept tzv. kombinovaného dne. Pomocí algoritmu, vytvořeném v MATLABu, se zkombinují data ze všech dní (odpovídajících stejnému dni v týdnu) v daném měsíci (např. kombinací dat ze všech střed v květnu). Účelem této kombinace bylo pokusit se stanovit přesnější trend počtů vozidel a rychlostí na daném segmentu pouze z FCD. Tímto způsobem jsme identifikovali ranní a odpolední zvýšení dopravní intenzity v dané lokalitě, přičemž v ranní špičce směřuje více vozidel směrem do Dobřichovic.

Pro zjištění vývoje počtu FCD vozidel za zkoumané období byly vytvořeny grafy porovnávající počet vozidel v letech 2019 a 2020. Ukázalo se, že v roce 2020 v oblasti Dobřichovic výrazně klesl počet FCD vozidel. Tento pokles byl způsoben pandemií SARS-CoV-2, která zapříčinila menší míru využívání služebních vozidel, ze kterých jsou data získávána.

Kvalita a aplikovatelnost FCD byla ověřena porovnáním s daty ze stacionárních detektorů za období prosinec 2020. K analýze bylo využito mikrovlnného radaru umístěného na silnici Pražská u Dobřichovic ve směru na Černošice. Data z mikrovlnného radaru byla následně porovnána s FCD ze stejné silniční komunikace. Bylo zjištěno, že hodnoty počtů vozidel i rychlostí se značně liší. Důvodem lišících se dat je nedostatečná penetrace vozidel FCD, která byla prohloubena faktem, že v roce 2020 byly počty vozidel nižší oproti předchozímu roku. Odchyly v rychlosti vozidel, jsou pravděpodobně způsobeny různým způsobem měření rychlosti. Stacionární radar měří bodovou rychlost, kdežto z FCD získáváme průměrnou rychlost dopravního proudu.

Závěrem lze tedy říci, že FCD jsou aplikovatelná pro zjišťování dopravní situace, a to zejména v případech, kdy je ve skladbě dopravního proudu dostatečný počet FCD vozidel. Ve dnech, kdy počet vozidel dostatečný není, je možné zjistit přibližný trend vývoje počtů vozidel za den. Pokud jsou k dispozici data za určité období, lze odhad zpřesnit pomocí algoritmu tzv. kombinovaného dne. Porovnání FCD s daty ze stacionárního detektoru sice ukázalo odchyly v počtu vozidel i rychlosti, nicméně přibližný trend intenzity dopravy zůstal zachován. FCD jsou navíc dobře využitelná pro detekci kolon. S přibývajícím počty vozidel FCD, budou získané

výsledky z FCD přesnější a bude je možno využít samostatně. Nyní lze nejpřesnější obraz dopravní situace získat kombinací FCD a dat ze stacionárních detektorů.

8. Použité zdroje

- [1] Hruběš, P. *Data plovoucích vozidel v aplikacích monitorování dopravy* [online]. 2011 [cit. 2021-8-3]. Dostupné z: <https://portal.cvut.cz/wp-content/uploads/2017/04/HP2011-23-Hrubes.pdf>. České vysoké učení technické v Praze Fakulta dopravní.
- [2] Budimir, D., Jelusic, N. Peric, M. *Floating Car Data Technology*. Pomorstvo 2019; 33(1):22-32, doi: 10.31217/p.33.1.3
- [3] What is Floating Car Data? *Decell Technologies* [online]. [cit. 2021-8-3]. Dostupné z: <https://www.decell.com/Solutions/Technology/fcd.html>
- [4] Hruběš, P., Langr, M., Derbek, P., Saiko, D., Volný, M. *Studie „Zmapování služeb a dat v oblasti FCD (Floating Car Data) pro využití v rámci informačních systémů ŘSD“*. Výzkumná zpráva LSS 384/10. Praha, ČVUT v Praze Fakulta dopravní, Ústav řídicí techniky a telematiky, 2010
- [5] Reppe, S., Junghans, M., Haberjahn, M., Troppenz, Ch. *Augmenting the Floating Car Data Approach by Dynamic Indirect Traffic Detection*, *Procedia - Social and Behavioral Sciences* [online]. Berlín: Elsevier, 2012 [cit. 2021-8-3]. vol. 48. ISSN: 1877-0428. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812028649>
- [6] Počet obyvatel v obcích České republiky k 1. 1. 2021 [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-8-3]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/142756350/1300722103.pdf/53ded62a-5c7c-45ba-b17f-ba60021e5c54?version=1.1>
- [7] Základní údaje – Oficiální stránka města Dobřichovice [online]. [cit. 2021-8-3]. Dostupné z: <https://www.dobrichovice.cz/mesto/o-meste/zakladni-udaje/>
- [8] Celostátní sčítání dopravy 2016. *Ředitelství silnic a dálnic ČR* [online]. 2017 [cit. 2021-8-3]. Dostupné z: <http://scitani2016.rsd.cz/pages/map/default.aspx>
- [9] Anthopoulos, L.G. *Understanding Smart Cities: A Tool for Smart Government or an Industrial Trick?* Series: Public Administration and Information Technology. Vol 22. ISBN: 978-3-319-57014-3, Springer International Publishing 2017, doi: 10.1007/978-3-319-57015-0

[10] Dölger, R., Kleine, S., et al., 2019, *Floating Car Data Report*, FCD Workshop, Frankfurt, 2019-9-17. Dostupné z: https://www.its-platform.eu/filedepot_download/2218/6585

[11] Turksma, S. *The various uses of floating car data*. Tenth International Conference on Road Transport Information and Control, 2000. (Conf. Publ. No. 472), 51-55, doi: 10.1049/cp:20000103.

[12] Liniové řízení provozu | Current traffic information. *Ředitelství silnic a dálnic ČR* [online]. c2009 [cit. 2021-8-7]. Dostupné z: <https://portal.dopravniinfo.cz/telematicke-aplikace/liniove-řízení-provozu>

[13] The Traffic Message Channel (TMC). *Traveller Information Services Association* [online]. c2011-2021 [cit. 2021-8-7]. Dostupné z: <https://tisa.org/technologies/tmc/>

[14] Lokalizační tabulky a Event List. *CEDA Maps a.s.* [online]. 2017 [cit. 2021-8-7]. Dostupné z: <https://www.ceda.cz/cs/produkty/lokalizacni-tabulky-a-event-list/>

[15] CEDA Maps a.s. *Lokalizační tabulky České republiky* [online]. Verze 8.0. Číslo certifikace: 2019-037-CZ. 2019. [cit. 2021-8-7]. Dostupné z: https://registr.dopravniinfo.cz/docs/x-format/tisa_tmc-location-tables-v2.6-cs.pdf

[16] Lokalizační tabulky Česka vycházejí v nové verzi, mají mezinárodní certifikaci TISA. *Geobusiness* [online]. 2021 [cit. 2021-8-7]. Dostupné z: <https://www.geobusiness.cz/ceda-maps-vydava-nove-lokalizacni-tabulky-ceska-2021/>

[17] Zpoždění a polohy autobusů pid na mapách. *Pražská integrovaná doprava* [online]. 2020 [cit. 2021-8-7]. Dostupné z: <https://pid.cz/zpozdeni-polohy-autobusu-pid-mapach/>

[18] Google Maps 101: How AI helps predict traffic and determine routes. *Google* [online]. 2020, 3. 9. 2020 [cit. 2021-8-3]. Dostupné z: <https://blog.google/products/maps/google-maps-101-how-ai-helps-predict-traffic-and-determine-routes/>

[19] Co jsou otevřená data? *Otevřená data v ČR: Portál pro poskytovatele* [online]. 2020 [cit. 2021-8-3]. Dostupné z: <https://opendata.gov.cz/informace:start>

[20] *Dopravní informace* [online]. [cit. 2021-8-7]. Dostupné z: <https://dopravniinfo.cz/situation>

[21] Bartoníček, R., Valášek, L. Chripák, D., Švec, P., Klézl, T. Anatomie selhání: Váhání a zmatek. Proč je Česko po roce pandemie v nejtěžší krizi. *Aktuálně* [online]. 1. 3. 2021 [cit. 2021-8-7]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/domaci/casova-osa-covid/r~fd4c3f7e0ec511eb9d470cc47ab5f122/>

[22] Sajdl, J. Stupeň provozu / dopravy. *Autolexicon* [online]. c2021 [cit. 2021-8-7]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/stupen-provozu-dopravy/>

[23] Levels of Service for Road Transportation. *The Geography of Transport Systems* [online]. c1998-2021 [cit. 2021-8-7]. Dostupné z: <https://transportgeography.org/contents/methods/transport-technical-economic-performance-indicators/levels-of-service-road-transportation/>

[24] Dokumentace pro NDIC - DATEX II Elaborated Data Publication - FCD 1.0.0. *Dopravniinfo* [online]. 2018 [cit. 2021-8-7]. Dostupné z: https://registr.dopravniinfo.cz/docs/x-format/cz-ndic_d2-fcd-v1.0-cs-html/concepts.html

[25] Frydryšek, M. Standardizovaná data z plovoucích vozidel jsou zdarma k dispozici široké veřejnosti. *Dopravní Noviny* [online]. 31. 7. 2020 [cit. 2021-8-7]. Dostupné z: <https://www.dnoviny.cz/informatika/standardizovana-data-z-plovoucich-vozidel-jsou-zdarma-k-dispozici-siroke-verejnosti>

[26] Zákon č. 106/1999 Sb. *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2021-8-9]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1999-106#p3-11>

9. Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma zpracování FCD Převezato z Budimir et al. (2019)[2]	9
Obrázek 2 Princip Kooperativních FCD. Převezato z Ruppe et al. 2012 [5]	11
Obrázek 3 Pokrytí ČR TMC segmenty (výstup ze softwaru QGIS).....	13
Obrázek 4 Mapa okolí Dobřichovic. Převezato z mapy.cz.....	15
Obrázek 5 TMC segmenty v Dobřichovicích (výstup ze softwaru QGIS).....	16
Obrázek 6 Schéma principu parametrů kolony. Převezato z [24]	19
Obrázek 7 Ukázka souboru dat v MS Excel	21
Obrázek 8 Silnice s duplicitním TMC segmentem. Převezato z google.com.	25
Obrázek 9 Diagram principu algoritmu.....	33
Obrázek 10 Převezato z: dopravniinfo.cz v neděli 12:50.....	43

10. Seznam tabulek

Tabulka 1 Segmenty v oblasti	24
Tabulka 2 Příklad problému s počty vozidel	25
Tabulka 3 Ukázka předpřipravených dat	32

11. Seznam grafů

Graf 1 Dobřichovice – Černošice počty FCD vozidel.....	27
Graf 2 Dobřichovice – Černošice rychlost dopravního proudu	28
Graf 3 Dobřichovice – Černošice stupně dopravy.....	29
Graf 4 Histogram stupňů dopravy na segmentu.....	29
Graf 5 Dobřichovice – Černošice počty FCD vozidel vztažené na hodiny	30
Graf 6 Dobřichovice – Černošice počty FCD vozidel.....	31
Graf 7 Závislost rychlosti a počtu vozidel na čase pro kombinovaný den.....	33
Graf 8 Graf kombinovaného dne vztažený na hodiny.....	34
Graf 9 Porovnání směrovosti pomocí kombinovaného dne	35
Graf 10 Dobřichovice – Černošice počty FCD vozidel za týden	35
Graf 11 Dobřichovice – Černošice rychlost dopravního proudu za týden	36
Graf 12 Porovnání počtu FCD vozidel.....	37
Graf 13 Kontrolní graf ke grafu 12	37
Graf 14 Porovnání počtu vozidel, získaných pomocí FCD a pomocí mikrovlnného radaru	38
Graf 15 Porovnání rychlosti, získané z FCD dat a z mikrovlnného radaru.....	39

12. Seznam příloh

Příloha č. 1 Programový kód pro tvorbu algoritmu kombinovaného dne