

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta dopravní

Ústav dopravní telematiky



Posouzení využití V2X technologií jako  
vhodného zdroje dopravních dat

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

*Vypracoval:* **Martin Vacenovský**

*Vedoucí práce:* **Ing. Miroslav Vaniš**

*Rok:* **2020**

**Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem k tomu pouze zdroje uvedené na konci práce, a to v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

V Praze dne: .....

.....

Jméno a Příjmení

### **Poděkování**

Děkuji Ing. Martinu Šrotýřovi, Ph.D., Ing. Miroslavu Vanišovi a doc. Ing. Zdeňku Lokajovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce a za podnětné návrhy, které ji obohatily. Dále bych chtěl poděkovat firmě INTENS s.r.o za poskytnutí datových vzorků, jež byly použity v této práci. V poslední řadě bych chtěl poděkovat svým rodičům a blízkým za morální podporu po dobu studia.

.....

Jméno a Příjmení

*Název práce:* Posouzení využití V2X technologií jako vhodného zdroje dopravních dat  
*Autor:* Martin Vacenovský  
*Obor:* Inteligentní dopravní systémy  
*Druh práce:* Bakalářská práce  
*Vedoucí:* Ing. Miroslav Vaniš

Ústav dopravní telematiky, Fakulta dopravní, České vysoké učení technické v Praze

*Abstrakt:* Cílem bakalářské práce „Posouzení využití V2X technologií jako vhodného zdroje dopravních dat“ je analyzovat, zda V2X technologie mohou poskytnout větší, či alespoň srovnatelné množství základních dopravních veličin oproti aktuálně používaným detekčním prvkům v České republice. Tato práce tedy obsahuje rešerši základních dopravních veličin a dále nejpoužívanější metody detekce v České republice. Dále práce obsahuje základní popis kooperativních systémů hlavně v oblasti související s měřením dopravních veličin. Následně jsou klasické metody sběru dat porovnány s možnostmi sběru v oblasti kooperativních systémů. Závěrem je na reálných vzorcích dat ukázáno, jakým způsobem lze danou veličinu získat.

*Klíčová slova:* C-ITS, V2X, detekce, sběr dopravních dat

*Title:* Assessment of use V2X technologies as an appropriate source of traffic data

*Author:* Martin Vacenovský

*Abstract:* The aim of the bachelor thesis “Assessment of use V2X technologies as an appropriate source” is analyze that V2X technologies can provide more, or at least a comparable amount of basic traffic parameters compared to detection elements currently used in the Czech republic. This thesis includes survey of basic traffic elements and of the most used detection methods in Czech republic. Furthermore, the basic description of cooperative intelligent systems, especially in domain related to detection of traffic parameters are also part of this thesis. Subsequently are currently used detection methods compared with possibilities to obtain the basic traffic parameters in domain of cooperative systems. Finally is showed on the real data samples, how to obtain specific traffic parameter.

*Key words:* C-ITS, V2X, detection, traffic data collection

# Obsah

Seznam zkratk	3
Úvod	4
Kapitola 1 Analýza stávajících technologií sběru dopravních dat	5
1.1 Způsoby sběru dopravních dat a jejich následné využití	5
1.1 Úvod do teorie dopravního proudu	5
1.2 Sběr dopravních dat pomocí prvků umístěných na dopravní infrastruktuře	7
1.2.1 Metoda detekce indukční smyčkou	7
1.2.2 Veličiny získány detekční metodou indukčních smyček	9
1.3 Sběr dat pomocí prvků umístěných v dopravních prostředcích	10
1.3.1 Dopravní veličiny získány FCD technologií v porovnání s metodou indukčních smyček	14
1.4 Závěr analýzy	15
Kapitola 2 C-ITS	16
2.1 Úvod do C-ITS technologie	16
2.2 Hybridní jednotka	17
2.2.1 OBU – On-Board Unit	18
2.2.2 RSU – Road-Side Unit	18
2.2.3 RVU – Road-Vehicle Unit	18
2.2.4 Demonstrace principu C-ITS systému	19
Kapitola 3 Možnosti získání dopravních parametrů pomocí C-ITS	21
3.1 Způsob detekce pomocí V2X technologie	21
3.1.1 CAM	21
3.1.2 Probe Vehicle Data (PVD)	22
3.2 Dopravní veličiny získané V2X technologií	23
3.2.1 Ujetá vzdálenost, doba jízdy mezi dvěma definovanými body	24
3.2.2 Hustota	24
3.2.3 Časový odstup, Délkový odstup	25
3.2.4 Skladba dopravního proudu, přítomnost na detektoru a obsazenost detektoru	26
3.3 Alternativní způsob výpočtu některých dopravních veličin	27
3.3.1 GeoNetworking protokol	27
3.4 Dopravní veličiny získány pomocí V2X technologie	29
Kapitola 4 Porovnání dat z C-ITS a ostatních analyzovaných metod	31
4.1 Data získána metodou detekce indukční smyčky	31

4.2	Data získána z metody detekce FCD technologií .....	34
4.3	Data získána z C-ITS .....	36
4.3.1	Detekce průjezdů .....	36
4.3.2	Data vysílána z vozidel .....	37
4.4	Shrnutí analýzy .....	40
4.4.1	Dopravní veličiny získány pouze přímým měřením .....	41
4.4.2	Dopravní veličiny získány konkrétní metodou detekce .....	42
	Závěr a výhled do budoucna .....	43
	Seznam použité literatury .....	44

# Seznam zkratek

<b>C-ITS</b>	Cooperative Intelligent Transport System
<b>V2X</b>	Vehicle To Everything
<b>ČR</b>	Česká republika
<b>ŘSD</b>	Ředitelství Silnic a Dálnic
<b>FCD</b>	Floating Car Data
<b>LTE</b>	Long Term Evolution
<b>BO</b>	Back Office
<b>FO</b>	Frontend Office
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System
<b>CAM</b>	Cooperative Awareness Message
<b>DENM</b>	Decentralized Environmental Notification Message
<b>HMI</b>	Human Machine Interface
<b>CAN</b>	Controller Area Network
<b>PVD</b>	Probe Vehicle Data
<b>MHD</b>	Městská Hromadná Doprava
<b>OBU</b>	On Board Unit
<b>RVU</b>	Road Vehicle Unit
<b>RSU</b>	Road Side Unit
<b>SW</b>	SoftWare
<b>ITS-G5</b>	Wireless Short Range Communications

# Úvod

V dnešní době, je doprava již velmi rozsáhlý pojem. Těžko uvěřit, že od roku 1866, kdy Nicolaus Otto vynalezl první čtyřdobý spalovací motor, ušla nejen automobilová, ale doprava obecně velký kus cesty, aby se zformovala do podoby jež známe dnes. Postupem doby se dopravní prostředky, jež na počátku byly pouze výsadou bohatých a mocných staly dostupnými pro širokou veřejnost a tak se začala rozvíjet doprava samotná.

Velký rozmach dopravy měl za následek i negativa. Počet vozidel začal přesahovat kapacitu navržených komunikací a začaly vznikat problémy jež v jisté míře přetrvávají dodnes. Jeden z hlavních problémů jsou kongescie, jež vznikají přehlcením kapacity dané komunikace, nebo náhodně vzniklou událostí ovlivňující propustnost (nehoda, uzavírka, atd.). Při stále přibývajícím počtu vozidel by doprava jako celek nemohla bez aspoň částečného řízení fungovat.

Jako jeden z příkladů řízení dopravy lze uvést křižovatku řízenou světelnými signály. Tato křižovatka propouští postupně jednotlivé větve křižovatky tak, aby byly postupně odbaveny všechny směry a předešlo se jak kongescím, tak ohrožení lidského života. Jako další příklad lze uvést postupné pouštění proudů vozidel do tunelu. Aby bylo řízení dopravy efektivní, je vhodné, aby systém, jež řídí dopravu vycházel z chování dopravy samotné. Určit chování dopravy samotné lze jejím pozorováním. Postupem času začaly vznikat detekční systémy, které dokázaly naměřit dopravní veličiny. Mezi tyto veličiny patří například počet průjezdů v určitém bodě. Při delším snímání těchto veličin lze určit, jak se doprava chová a na základě tohoto zjištění navrhnout efektivní řízení dopravy v určitém místě.

Tato práce se zabývá způsoby měření dopravních veličin a definuje základní dopravní veličiny které jsou důležité pro určení stavu dopravy. V tomto ohledu se také zaměří na počet jednotlivých veličin jež je možné detekovat pomocí různých metod detekce. Zároveň se snaží posoudit, zda je možné v tomto oboru využít novou technologii, jež umožňuje vozidlům komunikovat mezi sebou. Tato technologie se nazývá C-ITS a druh komunikace jež by mohl být využit pro detekci dopravních veličin se označuje V2X. Z důvodu architektury tohoto systému je nutné na rozdělení aktuálně používaných detekčních prvků pohlížet jinak, než je z dopravní teorie definováno. C-ITS technologie nabízí dva druhy detekce, jež může mezi sebou kombinovat a touto kombinací detekovat různé dopravní veličiny.

C-ITS technologie je nyní ve fázi pilotních testů probíhajících na několika pilotních lokalitách v České republice. Testování C-ITS technologií je realizováno velkými společnostmi z oboru dopravy i telekomunikací. Tato technologie může v budoucnu sloužit pro poskytování přesných dopravních informací, jež by mohly při prezentaci koncovému uživateli zvýšit plynulost dopravy a její bezpečnost. Zároveň by tato technologie mohla být předvojem pro autonomně řízená vozidla.



# Kapitola 1

## Analýza stávajících technologií sběru dopravních dat

### 1.1 Způsoby sběru dopravních dat a jejich následné využití

Obecně lze pojem “sběr dopravních dat“ definovat jako získání hodnoty konkrétní dopravní veličiny (např. rychlost) za pomoci definované měřicí metody, přičemž je možné použít pro získání hodnoty dopravní veličiny více měřících metod a využít jejich kombinaci ke zpřesnění hodnoty sledované veličiny. Při sběru dopravních dat je důležité umístit detektory dopravních veličin do více lokalit v oblasti sledované komunikace či oblasti. Je to z toho důvodu, aby byla kvalita snímaných dat vyšší a zároveň aby byly informace o dopravních veličinách dostupné z širší oblasti.

Získané hodnoty dopravních veličin se posléze statisticky zpracují a výstupem jsou informace o dopravním proudu. Informace o dopravním proudu nám do jisté míry uvádí, jak vypadá dopravní situace v určitém místě. O dopravním proudu pojednává mnoho publikací [1,2] a lze ho klasifikovat jako vědní disciplínu.

Dopravní data sbíráme za účelem určení veličin dopravního proudu, protože díky těmto veličinám jsme posléze schopni popsat dopravní situaci v daném místě či úseku. V této práci se zaměříme na veličiny, které nám poskytují některé aktuálně používané detekční metody pro určení dopravního proudu a tyto veličiny budou porovnány s veličinami získanými V2X technologií.

V této práci budou aktuálně nejvíce používané detekční prvky rozděleny do dvou podkategorií: sčítací prvky umístěny na dopravní infrastruktuře a sčítací prvky umístěny v dopravním prostředí. Pro každou kategorii byl vybrán aktuálně nejpoužívanější detekční prvek.

### 1.1 Úvod do teorie dopravního proudu

Definujme si v této části, co to je dopravní proud a jaké základní veličiny jsou potřebné pro jeho určení.

„Teoreticky lze dopravní proud chápat jako proud složený z různých druhů vozidel, která mají své specifické vlastnosti. Tyto vlastnosti ho odlišují od podobných jevů (proudů) známých z fyziky, a proto je k jeho zkoumání nutno přistupovat speciálně. Na dopravní proud působí celá řada faktorů, ale na druhou stranu i dopravní proud svým chováním ovlivňuje své okolí jak kvantitativně, tak i kvalitativně. Na popis takového vlivu lze použít různé pomůcky i z analogie, většinou však z oblasti matematiky. Vytváříme různé modely dopravního proudu, do nichž transformujeme skutečné situace určitého dopravního problému, obsahujícího charakteristiky vozidla, chování řidiče, komunikace, dalších vztahů tak, aby co nejpřesněji odrážely skutečný stav“ [1].

Takto je definován dopravní proud. Jeho aktuální stav lze popsat pomocí různých matematických modelů a díky různým metodám řízení je možné tento proud ovlivňovat. Nicméně aby bylo možné matematický model vůbec vytvořit, je nutné na úplném počátku procesu chování dopravního proudu definovat pomocí naměřených veličin. Způsoby měření těchto veličin jsou jedním z hlavních témat této práce, proto jsou definovány z teorie dopravního proudu základní snímané veličiny, které jsou potřeba k identifikaci chování daného dopravního proudu. Výčet základních veličin v tabulce 1 je považován pro tuto práci za výchozí a na tomto výčtu bude zobrazeno, kolik z těchto veličin konkrétní metoda detekce je schopna změřit. Zároveň lze vycházet z úvahy, že čím více dopravních veličin je možné z dané technologie získat, tím lépe lze usoudit, jak se dopravní proud chová

Veličina	Význam
Zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Hodnota, o kolik se změní rychlost vozidla za určitou dobu
Rychlost [km/h]	Hodnota uražené vzdálenosti vozidla v závislosti na čase
Ujetá vzdálenost [m]	Hodnota vzdálenosti, které vozidlo urazilo mezi dvěma body
Doba jízdy (Travel Time) [s]	Hodnota času, jak dlouho bude trvat přesun z jednoho bodu do druhého
Intenzita [voz/h]	Hodnota, kolik vozidel projelo v definovaném bodě
Hustota [voz/km]	Hodnota, kolik vozidel se nachází v definovaném úseku
Časový odstup [s/voz]	Hodnota, udávající časový odstup předních nárazníků vozidel
Délkový odstup [m/voz]	Hodnota udávající jak daleko jsou od sebe za sebou jedoucí vozidla
Přítomnost na detektoru [-]	Hodnota udávající, zda se vozidlo nachází na detektoru, či nikoliv
Obsazenost detektoru [%]	Hodnota udávající, z jak velké části je detektor obsazen
Délka vozidla [m]	-
Výška vozidla [m]	-
Hmotnost vozidla [t]	-
Skladba dopravního proudu [%]	Procentuální zastoupení jednotlivých typů vozidel (předem definovaných) sledovaném dopravním proudu
Poloha vozidla	Hodnota udávající přesnou polohu vozidla pro definovanou periodu času (pro další zpracování je nutné, aby data o poloze byla udávána alespoň po většinu doby jízdy)
Směr jízdy	-

Tabulka 1 – Definice jednotlivých dopravních veličin [2]

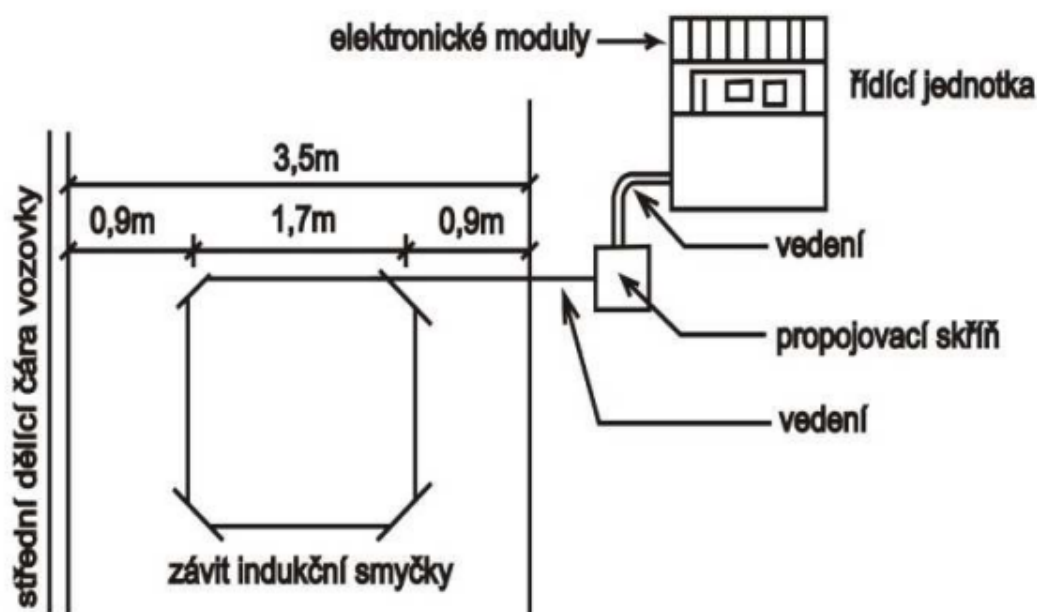
## 1.2 Sběr dopravních dat pomocí prvků umístěných na dopravní infrastruktuře

Sběr dopravních dat je prováděn různými organizacemi po celém území České republiky. Podrobné rozebrání všech detekčních prvků používaných v ČR by bylo vysoce nad rámec této práce a již na toto téma v minulosti bylo napsáno mnoho publikací [3,4]. Z tohoto důvodu byla vybrána detekční metoda jež je aktuálně nejvíce využívána organizací Ředitelství silnic a dálnic. Také ŘSD svojí působností pokrývá největší oblast silničních komunikací České republiky.

Z 99% využívá ŘSD na spravovaných komunikacích detekci metodou indukčních smyček.

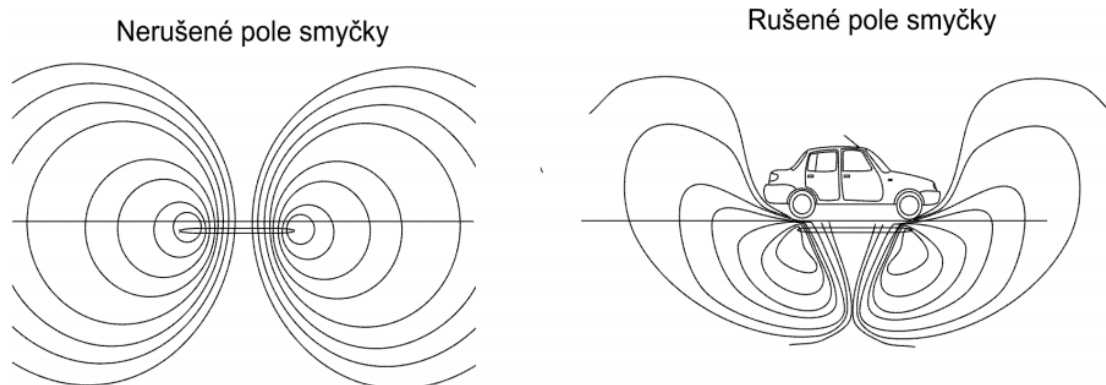
### 1.2.1 Metoda detekce indukční smyčkou

Indukční smyčky jsou destruktivní elektromagnetické detektory se stacionárním polem, které se umísťují pod povrch vozovky, a to do hloubky 30 – 60 mm [5]. Indukční detektor se skládá z jednoho nebo více závitů izolovaného metalického vodiče, propojovací skříně (zesilovače) a řídicí jednotky. Základní konstrukce indukční smyčky je situována na obrázku 1.



Obrázek 1 – Základní konstrukce indukční smyčky [5]

Do závitu je pouštěn střídavý elektrický proud o frekvenci 20-150 kHz. Závít začne generovat elektromagnetické pole, a pokud nad smyčkou projede vozidlo, je toto pole ovlivněno kovovou karosérií vozidla. Toto narušení vozidlem poté řídicí jednotka vyhodnotí jako průjezd vozidla díky změně indukčnosti cívky. Situace je znázorněna na obrázku č.2.



Obrázek 2 – Narušení magnetického pole kovovou karoserií vozidla [5]

Nicméně změna indukčnosti cívky může být velmi malá, proto je nutné brát v potaz i ztráty na přívodním kabelu [5].

Jednotlivé detekční prvky jsou logicky řazeny za sebou na dálnicích a většině silničních komunikací 1. třídy. Použití více prvků je z důvodu zvýšení kvality snímaných informací, rozšíření snímané oblasti a získání nových veličin (např. hustota). Indukční detektor je destruktivní prvek, což značí, že pro přidání nového detektoru je nutné počítat se stavebními náklady. Cena samotného detektoru se pohybuje okolo 10 tisíc Kč a dále je nutné počítat s náklady za úpravu vozovky [6].

Tato metoda detekce je schopna detekovat následující veličiny [5]:

- Intenzita vozidel [voz/h]
- Klasifikace vozidel [-]
- Obsazenost [%]

Při použití kombinace dvou či více detektorů je možné detekovat ještě tyto veličiny navíc:

- Rozlišení směru jízdy [-]
- Zrychlení [ $m/s^2$ ]
- Doba jízdy [s]
- Rychlost [km/h]

V tabulce 1 lze vidět, kolik základních dopravních veličin je možno pomocí této metody měření získat. Tato tabulka se postupem práce bude rozšiřovat o další měřící metody, aby v závěru této části bylo přehledné zobrazení jednotlivých měřících metod a veličiny, které tyto metody měří.

Označení “X” značí, že daná veličina lze tímto detekčním prvkem naměřit, ale pouze s nějakou podmínkou. Touto podmínkou v drtivé většině případů bude přidání dalšího detektoru a vytvoření úsekového měření, ve kterém již lze veličiny jako například hustotu určit. Všechny podmínky budou popsány pod tabulkou.

## 1.2.2 Veličiny získány detekční metodou indukčních smyček

		Indukční smyčka
Veličiny	Zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	X <sup>1</sup>
	Rychlost [km/h]	X <sup>1</sup>
	Ujetá vzdálenost [m]	
	Doba jízdy (Travel Time) [s]	X <sup>1</sup>
	Intenzita [voz/h]	X
	Hustota [voz/km]	X <sup>1,3</sup>
	Časový odstup [s/voz]	X <sup>3</sup>
	Délkový odstup [m/voz]	X <sup>3</sup>
	Přítomnost na detektoru [-]	X
	Obsazenost detektoru [%]	X
	Délka vozidla [m]	X <sup>2</sup>
	Výška vozidla [m]	X <sup>2</sup>
	Hmotnost vozidla [t]	
	Skladba dopravního proudu [%]	X <sup>2</sup>
	Poloha vozidla	
	Směr jízdy	X <sup>1</sup>
X <sup>1</sup> – Pouze za podmínky použití dvou nebo více detektorů		
X <sup>2</sup> – Lze určit z klasifikace vozidla, není přesné		
X <sup>3</sup> – Lze určit dalším zpracování dat		

Tabulka 2 – Zobrazení, jaké veličiny je možné získat pomocí detektoru indukční smyčky [Vlastní tvorba]

Směr jízdy je možné pomocí tohoto detektoru naměřit pokud je dostupný sekundární detektor. Veličiny délku vozidla a výšku vozidla lze odvodit z klasifikace vozidla, kterou tento detektor poskytne. Nicméně klasifikace poskytnuta detektorem nemusí odpovídat realitě. Je to způsobeno tím, že klasifikace je v tomto případě realizována přiřazením typu vozidla změně magnetického pole. Za jistých podmínek se ale může stát, že změnu magnetického pole klasifikovanou jako “nákladní automobil s přívěsem“ vyvolá ve skutečnosti vozidlo mnohem menších rozměrů.

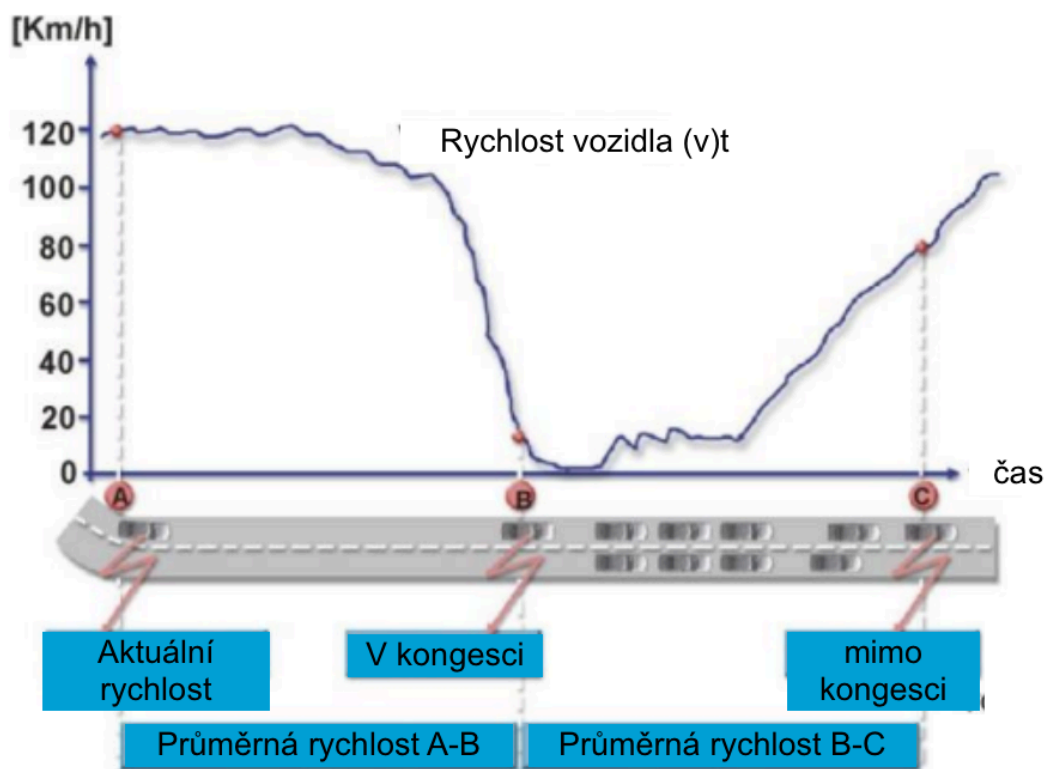
Z tabulky 2 je zřetelné, že tato metoda detekce poskytuje nadpoloviční počet základních dopravních veličin. Bohužel nám ale nemůže poskytnout informace týkající se polohy jednotlivých vozidel.

## 1.3 Sběr dat pomocí prvků umístěných v dopravních prostředcích

Tato část se zaměřuje na detektory, které již nejsou umístěny na prvcích dopravní infrastruktury, nýbrž se nachází uvnitř jedoucího vozidla. Jako takový detektor může sloužit v podstatě jakékoliv zařízení, které má připojení k internetu a je vybaveno GNSS satelitem. Z této definice vyplývá, že lze za detektor považovat například mobilní telefon. Data získaná z detektorů umístěných ve vozidlech se nazývají FCD (Floating cellular data). FCD technologie je spolehlivý a nákladově efektivní způsob sběru přesných dopravních dat pro širokou dopravní síť. Je založena na sběru real-time dat ze zařízení umístěných ve vozidlech, která jsou odesílána přes datovou síť mobilních operátorů. Jelikož jsou data odesílána na centrální server, kde jsou posléze vyhodnocována, jedná se o centralizovaný systém.

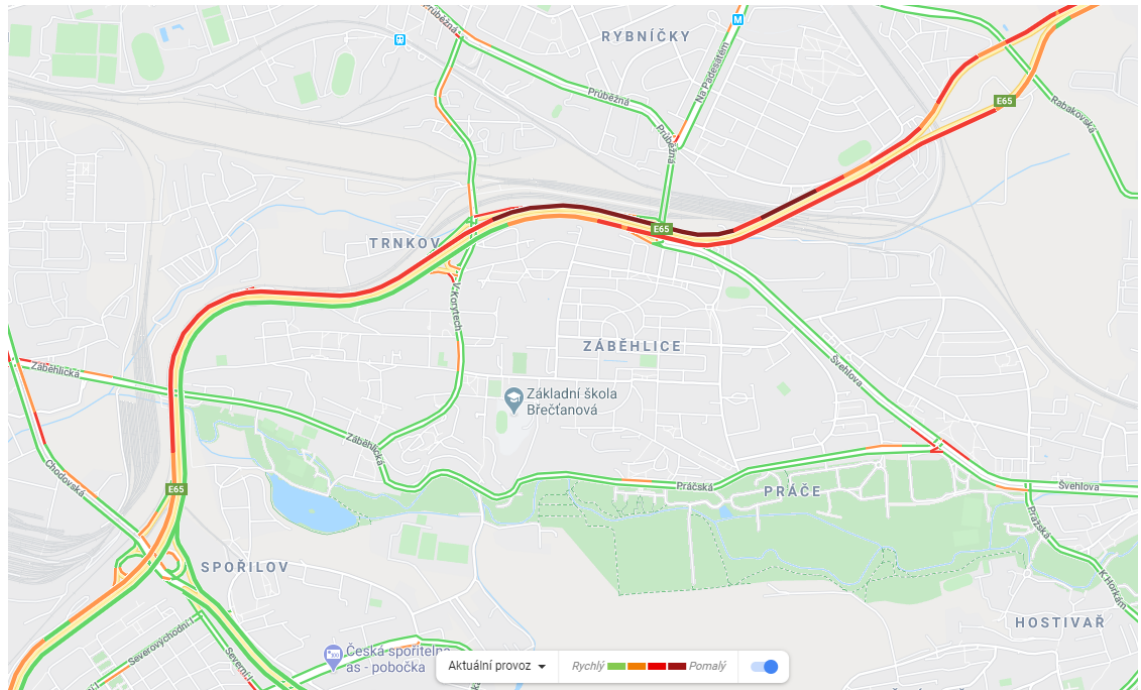
Data, která jsou odesílána na centrální server, obsahují anonymizované informace o rychlosti, poloze vozidla a dojezdové časy. Tyto informace budou považovány jako atributy této detekční metody pro další analýzu. Vozidlo, které tato data odesílá vlastně slouží jako sonda umístěná v dopravním proudu a na základě pohybu této sondy se dopravní systém snaží odvodit, jak se v daném místě dopravní proud chová. [7]

Pokud se podíváme do světového měřítká, zjistíme, že tato metoda detekce je již ve velké míře využívána. Necht' jsou příkladem platformy Google Maps či mobilní aplikace Waze. Obě tyto platformy využívají mobilních telefonů cílového uživatele, aby z nich získaly anonymizované informace o poloze a rychlosti. Pokud cílový uživatel používá navigační aplikace jedné z těchto dvou společností, automaticky se z jeho mobilního telefonu stává detekční zařízení. U obou platforem má již uživatel možnost i určité typy dopravních událostí zadávat, pokud ještě nejsou v mapových podkladech zobrazeny a systém o nich neví. Příklad této dopravní informace může být informace o dopravní nehodě či uzavírce. Událost vytvořená uživatelem je poté zobrazena v mapových podkladech a je uvážena při výpočtu dojezdových dob. Z těchto informací je možné relativně určit, jak by mohlo vypadat chování dopravního proudu kolem tohoto vozidla. Pro určení chování dopravního proudu vycházíme z principu, který je zobrazen na obrázku 3.



Obrázek 3 – Určení kongesce pomocí technologie FCD [7]

Na obrázku 3 je zobrazen graf závislosti rychlosti sledovaného vozidla na čase. Protože poloha vozidla je známá, systém má informaci na jaké komunikaci se vozidlo aktuálně nachází. Dlouhodobým sledováním je určena průměrná rychlost při volném proudu na této komunikaci. V tomto případě může být průměrná hodnota 120 km/h. Pokud vozidlo přejde z volného proudu do kongesce, promítne se tento stav na aktuální rychlosti vozidla, kde se její hodnota oproti průměrné hodnotě razantně sníží. Tato událost je detekovatelná a značí změnu chování dopravního proudu. Podle velikosti odchylky od hodnoty volného proudu je možné klasifikovat stupně dopravy. Pokud se rychlost plovoucího vozidla blíží k nulové hodnotě, je možné usoudit, že hustota na této komunikaci je vysoká. Tuto informaci je možné zobrazit nad mapovými podklady a prezentovat ji koncovému uživateli. Příklad prezentace dat z plovoucích vozidel je uveden na obrázku 4.



Obrázek 4 – způsob prezentace FCD dat [8]

Prezentace dat je na této platformě realizována barevnou škálou, která odpovídá hodnotám rychlostí přijatých od plovoucích vozidel. Barevná škála je v tomto případě v mezích od zelené barvy po tmavě červenou a značí rychlost aktuálního provozu. Je-li barva zelená na komunikaci je provoz rychlý, je-li červená provoz je pomalý. Pod pojmem “Aktuální provoz“ se skrývá pouhé přiřazení barvy k intervalu rychlosti. Jinými slovy, od plovoucího vozidla dorazí na centrální server informace o jeho aktuální rychlosti a poloze, systém pomocí předdefinovaných klasifikačních pravidel rychlost oklasifikuje a výsledek zobrazí na mapových podkladech pod odpovídající barvou. Pro příklad: pohybuje-li se vozidlo na komunikaci rychlostí 5 km/h a hodnota rychlosti volného proudu na této komunikaci je 80 km/h, bude stav dopravy na tomto místě zobrazen v barevné škále barvou tmavě červené.

Jak již bylo uvedeno, pro zvýšení kvality měřených veličin je vhodné nevyužívat k detekci pouze jeden zdroj, ale využít zdrojů více. Na tuto podmínku je při použití FCD technologie nutno brát ještě větší ohled než u metod jiných. Je to z toho důvodu, že pokud by bylo použito pouze jedno plovoucí vozidlo na zjištění stavu dopravy v určitém místě, tak výsledek přijatý z tohoto vozidla nemusí nutně odpovídat skutečnému stavu dopravy. Může se stát, že plovoucí vozidlo sníží svou rychlost nezávisle na dopravním proudu kolem něj, či může dojít ke zkreslení při určování polohy vozidla satelitem GNSS. Také platí, že pokud by plovoucích vozidel bylo málo, je kvalita získaných dopravních veličin velmi nízká a nelze z nich přesně určit chování dopravního proudu. Proto je vhodné použít plovoucích vozidel tolik, kolik je systémem umožněno. U detekčních prvků umístěných na dopravní infrastruktuře je realizace více detektorů zdrojově i stavebně složitý proces. U FCD technologie tomu tak není.

Pokud jsou data o pohybu vozidel odesílány při využívání navigační platformy, tak počet plovoucích vozidel je roven počtu uživatelů této platformy. Například společnost Google Inc. na svých webových stránkách uvádí, že jejich navigační platforma Google maps má měsíčně 1 bilion aktivních uživatelů po celém světě. To znamená, že má k dispozici 1 bilion plovoucích vozidel, které každý den odesílají až 25 milionů zpráv o svém pohybu,



jež jsou centrálně zpracovávány a prezentovány [9]. S tímto množstvím zdrojů je možné poskytovat relativně přesné informace o dopravním proudu. Zároveň je na tomto příkladu demonstrováno, jak vysoké náklady jsou potřeba pro realizaci nových zdrojů dopravních dat. Náklady jsou téměř zanedbatelné. Z hlediska dopravního systému se každý mobilní telefon, na nějž je stažena aplikace automaticky stává novým dopravním detektorem. Jediné, čím je v tomto případě dopravní systém omezován, je přiřazený výpočetní prostor.

FCD technologie je velmi závislá na penetraci do vozidel pohybujících se v dopravním prostoru. Pokud je penetrace vysoká, je možné FCD technologii považovat za důvěryhodný zdroj dopravních informací. Je-li penetrace nízká, nikoliv.

Jak již bylo zmíněno, technologií FCD je možné získat tyto atributy dopravního proudu

- Zrychlení [ $\text{m/s}^2$ ]
- Rychlost [ $\text{km/h}$ ]
- Ujetá vzdálenost [ $\text{m}$ ]
- Doba jízdy (Travel time) [ $\text{s}$ ]
- Hustota [ $\text{voz/km}$ ]
- Poloha
- Směr jízdy

Tabulka 3 zobrazuje, jaké základní veličiny je možné FCD technologií získat v porovnání s metodou detekce indukčních smyček.

### 1.3.1 Dopravní veličiny získány FCD technologií v porovnání s metodou indukčních smyček

		Indukční smyčka	FCD technologie
Veličiny	Zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	X <sup>1</sup>	X
	Rychlost [km/h]	X <sup>1</sup>	X
	Ujetá vzdálenost [m]		X
	Doba jízdy (Travel time) [s]	X <sup>1</sup>	X
	Intenzita [voz/h]	X	
	Hustota [voz/km]	X <sup>1,3</sup>	X
	Časový odstup [s/voz]	X <sup>3</sup>	
	Délkový odstup [m/voz]	X <sup>3</sup>	
	Přítomnost na detektoru [-]	X	
	Obsazenost detektoru [%]	X	
	Délka vozidla [m]	X <sup>2</sup>	
	Výška vozidla [m]	X <sup>2</sup>	
	Hmotnost vozidla [t]		
	Skladba dopravního proudu [%]	X <sup>2</sup>	
	Poloha vozidla		X
	Směr jízdy	X <sup>1</sup>	X
X <sup>1</sup> – Pouze za podmínky využití dvou detektorů X <sup>2</sup> – Lze určit z klasifikace vozidla, není přesné X <sup>3</sup> – Lze určit dalším zpracování dat			

Tabulka 3 – Veličiny získané Indukční smyčkou a FCD technologií [Vlastní tvorba]

Z tabulky 3 vyplývá, že každá technologie detekce je schopna detekovat pouze určitý typ veličin. Kromě veličin „směr jízdy“ a „rychlost“ jsou zbylé získané atributy rozdílné.



# Kapitola 2

## C-ITS

### 2.1 Úvod do C-ITS technologie

C-ITS (Cooperative Intelligent Transport System) je decentralizovaný systém, který umožňuje dopravním prostředkům komunikovat mezi sebou, případně komunikovat s prvky umístěnými na dopravní infrastruktuře a přeposílat si důležité informace o dopravním proudu, či dopravní situaci. Tato komunikace je zprostředkována ve vyhrazeném pásmu ITS-G5 technologií.

Základním kamenem C-ITS systému je hybridní jednotka, která dokáže komunikovat ve vyhrazeném frekvenčním pásmu 5,9 GHz a zároveň je připojena k datové síti pomocí LTE sítě mobilních operátorů. Pásmo 5,9 GHz je používáno pro komunikaci s ostatními jednotkami, zatímco síť LTE je používána ke komunikaci s centrálním serverem. Jednotka je umístěná buď v dopravním prostředku, nebo na infrastruktuře komunikace. Použití frekvenčního pásma 5,9 GHz je definováno normou ETSI EN 302 571.

Definice C-ITS jako decentralizovaného systému vychází ze skutečnosti, že hybridní jednotka není povinná odesílat svá data na BO tzn. je schopna fungovat bez připojení k centrálnímu serveru. Centrální server je rozdělen na dvě části. Část, která vyhodnocuje data, odesílá pokyny jednotkám a je hlavním výpočetním prvkem se nazývá Back Office (dále jen BO). Data zpracovává BO, pro příklad to mohou být polohy hybridních jednotek, informace o provozu nebo dopravní události jsou posléze odesílány na druhou část centrálního serveru, jež se nazývá Frontend Office (dále jen FO). FO má za úkol data přijata z BO zobrazovat nad mapovými podklady a zároveň je na této části realizováno HMI pro koncového uživatele. Jinými slovy FO zprostředkovává dispečink C-ITS systému, z něhož je možné jednotky a události jimi vytvořené spravovat. Dispečer má také možnost vytvořit nové zprávy, virtuální portály (tzv. IVI) či dojezdové doby.

C-ITS technologie byla navržena pro mnoho dopravních situací (např. stojící vozidlo na dálnici či práce na silnici). Dopravní situace se v názvosloví C-ITS nazývá Use Case (dále jen UC). Konkrétní UC jsou podrobně popsány v C-ROADS Use Case katalogu. Pro tuto práci je stěžejní UC Probe Vehicle Data (PWD) jež odesílá dopravní informace na FO a lze pomocí něho detekovat některé dopravní veličiny. Tento UC je podrobně rozebrán v další části této práce.

Dále jsou definovány 4 základní komunikační kategorie hybridních jednotek [11]. Tyto kategorie jsou uvedeny v tabulce 4.

V2V	V2I	I2V	I2I
Vehicle to Vehicle	Vehicle to Infrastructure	Infrastructure to Vehicle	Infrastructure to Infrastructure

Tabulka 4 – základní kategorie komunikací hybridních jednotek [vlastní tvorba]

## 2.2 Hybridní jednotka

Jak již bylo zmíněno, hybridní jednotka je základním kamenem C-ITS systému bez něhož by systém jako celek nemohl fungovat. Jednotky slouží jako zdroj dat o aktuální dopravní situaci a zároveň jako informační zdroj pro účastníky silničního provozu. Samotná jednotka je realizována jako minipočítač s nainstalovanou distribucí operačního systému Linux nakonfigurovanou pro potřeby C-ITS systému. V oblasti síťových prvků lze hybridní jednotku definovat jako router. Nad linuxovou distribucí běží řídicí služba tzv. Stack, který má na starosti operace spojené s C-ITS. Mezi nejdůležitější operace patří:

- Zpracování přijatých zpráv
- Určení validace přijatých zpráv
- Zobrazování přijatých zpráv
- Vytváření zpráv a jejich následné odesílání

Je žádoucí, aby jednotky byly připojeny k mobilní datové síti, ale není to nutná podmínka. Naopak nezbytná podmínka je, aby jednotka byla vybavena přijímačem a vysílačem pro pásmo ITS-G5. V tomto specifickém pásmu se vysílají dopravní informace od ostatních jednotek a smysl tohoto systému je, aby tyto jednotky komunikovaly mezi sebou a předávaly si informace. Proto je ITS-G5 přijímač/vysílač nezbytnou součástí hybridních jednotek.

Hybridní jednotky musí být také vybaveny satelitem GNSS, který určí polohu jednotky, její rychlost a směr. Údaje o poloze jsou další nezbytnou informací, kterou musí jednotka disponovat, jelikož na základě této informace se generuje umístění dopravní události vytvořené hybridní jednotkou. Zároveň jsou data o poloze a rychlosti odesílány v tzv. CAM zprávě. CAM zpráva je zpráva odesílána hybridními jednotkami a obsahuje základní informace o partii, která tuto zprávu vysílala. CAM zprávy jsou důležitým prvkem při detekci průjezdu vozidla touto technologií, proto o nich ještě bude řeč v další části této práce.

Za další povinnou výbavu C-ITS jednotek je nutné považovat Wi-Fi technologii, díky které je možné přenášet dopravní informace do mobilního zařízení (např. tablet, telefon) a tam je pomocí integrovaného HMI zobrazovat uživateli. Zároveň toto HMI slouží k zadání dopravní informace detekovanou uživatelem (či jednotkou), jež je posléze odeslána ostatním jednotkám, případně na centrální server pokud jednotka má datové připojení. Je také důležité zmínit, že jednotka může sloužit také jako “repeater“ přijatých zpráv. To znamená, že pokud jednotka přijme zprávu od jiné jednotky, tak tuto zprávu začne vysílat do okolí, aby byla dostupná pro další zařízení, je-li na to jednotka nastavena. Tato vlastnost je vystihující pro C-ITS systémy, kdy se jednotky mezi sebou informují o dopravní situaci.

Hybridní jednotky je také možné připojit ke CAN sběrnici osazeného vozidla, čímž jednotka začne také vysílat informace, které nelze klasickými detektory detekovat. Jako příklad detekované veličiny při připojení hybridní jednotky ke CAN sběrnici může být například stav světlometů [12]. Z umístění hybridní jednotky vychází jejich kategorizace. Základní kategorie hybridních jednotek jsou uvedeny v tabulce 5.

OBU	RVU	RSU
On-Board unit	Road-Vehicle unit	Road-Side unit

Tabulka 5 – Základní kategorie hybridních jednotek dle umístění [Vlastní tvorba]

### 2.2.1 OBU – On-Board Unit

OBU (On-Board Unit) je jednotka, která je umístěna ve vozidle, jež je považováno za “obyčejné”. Vozidla osazena touto jednotkou lze definovat jako koncové uživatele systému. Prostřednictvím OBU jednotky získávají uživatelé zprávy od ostatních jednotek a centrálního serveru (pokud mají datové připojení). Jednotka je přes Wi-fi připojena k zařízení, na němž je implementováno HMI pro zobrazování zpráv přijatých jednotkou. Uživatel je také oprávněn pomocí HMI vytvářet decentralizované zprávy o aktuálním dění na silniční komunikaci pomocí dalšího typu zprávy, tzv. DENM, viz dále v podkapitole 2.2.4.

Je nutné zmínit, že C-ITS je také vyvíjen za účelem vytvoření systému, jež bude splňovat nároky bezpečného systému, který nebude moci být zneužitelný. Z tohoto důvodu se vozidlovým jednotkám nastavené jako OBU mění během jízdy jejich identifikátory, právě za účelem zamezení zneužití osobních dat. Tato restrikce ovšem evokuje, že OBU jednotky nemohou být použity jako zdroj dopravních dat pro výpočet dojezdových dob.

OBU jednotky je možné využít ke sběru dopravních dat v rámci UC PVD (probe-vehicle data) jež jsou data obsahující aktuální rychlost, polohu a posléze je statisticky zpracovat.

### 2.2.2 RSU – Road-Side Unit

RSU (Road-Side Unit) je jednotka, která je umístěna na dopravní infrastruktuře. Jednotka je primárně určena jako prvek mezi centrálním serverem a OBU/RVU jednotkami. Jejím účelem je přeposílat události vygenerované na centrálním serveru do vozidlových jednotek a naopak. Kromě této funkce může jednotka RSU dlouhodobě, či krátkodobě sbírat dopravní data. Mezi další funkce této jednotky může být odesílání povelů řadiči světelné křižovatky a díky těmto povelům nastavit prioritu pro vozidla městské hromadné dopravy. Výhoda využití této metody priority oproti aktuálně používaným metodám je vyšší detekční vzdálenost a jednodušší konfigurace zón pro přihlášení vozidel MHD. Konfigurace detekčních zón je realizována pomocí dispečerského prostředí realizovaného FO.

Z tohoto popisu je zjevné, že tato kategorie jednotek je stěžejní pro sběr dopravních dat. Jednotky RSU jsou jako jediná kategorie jednotek nepřetržitě připojeny k síti LTE, proto je možné provádět sběr dopravních dat konstantně.

### 2.2.3 RVU – Road-Vehicle Unit

RVU (Road vehicle Unit) je jednotka instalována přímo do vozidla údržby nebo do zabezpečovacích mobilních vozíků (výstražné zabezpečovací vozíky nebo předzvěstné vozíky). Tyto jednotky představují „hybrid“ mezi jednotkami RSU a OBU, neboť mohou sloužit k zajištění komunikace s vybavením na infrastruktuře a případně s ostatními RVU/OBU v okolí jako jednotky OBU, ale zároveň se mohou stát samy vybavením na infrastruktuře a částečně plnit funkci RSU jednotek. Tyto jednotky tak mohou poskytovat dopravní informace ostatním vozidlům (např. výstražný zabezpečovací vozík s RVU jednotkou poskytuje ostatním vozidlům informace o pracích na silnici). RVU jednotka je propojena s řídicími systémy vozidla/vozíku, ze kterých načítá data, odesílá je na BO a

zároveň je schopna tyto vstupy sama interpretovat. Jednotka RVU paralelně zasílá/přijímá data prostřednictvím technologie ITS-G5 a skrze mobilní sítě komunikuje s BO. K zobrazení dat řidiči slouží vhodné HMI splňující parametry pro průmyslové použití z důvodů extrémních podmínek ve vozidlech údržby. HMI je vybaveno vhodným SW nástrojem pro komunikaci s jednotkou, zobrazování C-ITS zpráv řidiči a tvorbu/validaci vysílaných zpráv (potvrzování atributů vysílaných zpráv) [13].

Tato jednotka je vhodná ke sběru FCD i výpočtu dojezdových dob, protože u této kategorie jednotek není třeba anonymizace identifikátoru jako u OBU jednotek. Je to z toho důvodu, že vozidla údržby nejsou v osobním vlastnictví a neměly by se využívat k osobním účelům, proto nehrozí zneužití osobních údajů. C-ITS může sloužit i k řízení vozového parku, nicméně není to primárním účelem tohoto systému.

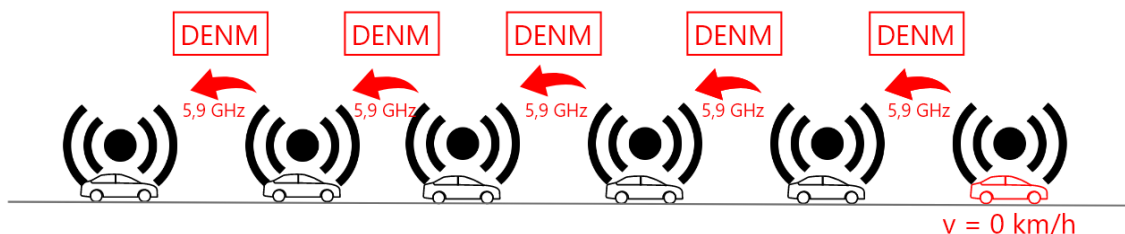
## 2.2.4 Demonstrace principu C-ITS systému

Pro lepší představu, jak tato komunikace probíhá, lze definovat situaci, kdy se na jednoproudé komunikaci nachází proud vozidel a všechna vozidla jsou vybavena hybridními jednotkami, jak znázorňuje obrázek 6.



Obrázek 6 – Situace, kdy jsou všechna vozidla na komunikaci osazena hybridní jednotkou [Vlastní tvorba]

Předpokládejme, že první vozidlo má poruchu motoru, jež způsobí nepojízdnost vozidla a vozidlo se zastaví. Jednotka umístěna uvnitř vozidla díky satelitu GNSS vyhodnotí, že rychlost vozidla je menší než výchozí nastavená hodnota (aktuálně používaná hodnota je 30 km/h) a automaticky začne vysílat přes ITS-G5 UC: “pomalu jedoucí vozidlo“. Až hodnota rychlosti bude rovná nule, jednotka začne po určitém časovém intervalu vysílat UC: “stojící vozidlo“. Událost je vysílána na frekvenci 5,9 GHz, ve které je realizována komunikace ITS-G5 formou DENM zprávy. DENM (Decentralized Environmental Notification Message [13]) je decentralizovaná zpráva, která informuje ostatní jednotky o náhlé situaci, která nastala. Tato zpráva narozdíl od CAM zprávy je vysílána pouze, pokud nastane určitá situace. Příklad této situace je vyobrazen na obrázku 7.



Obrázek 7 – způsob přeposílání DENM zprávy mezi vozidly [Vlastní tvorba]

Z obrázku 7 je patrné, že informace o nepohyblivosti prvního vozidla se šíří postupně celým dopravním proudem, ovšem pouze za podmínky že více než většina vozidel je vybavena hybridními jednotkami, které tuto zprávu obdrží, zobrazí ji a následně ji

přeošlou dalším elementům. Z této situace je názorné, že o poruše prvního vozidla se účastníci dopravního proudu mohou dozvědět již s velkým předstihem a mohou na ni adekvátně reagovat. Je důležité zmínit, že situace popsána výše je pouze názorná pro demonstraci principu C-ITS systému. Ve skutečnosti má zpráva nastaven limit přeosílání, kdy po překročení tohoto limitu zpráva zanikne. Je to z toho důvodu, aby se zabránilo případnému přehlčení jednotek. Ve vzorové situaci byly pro názornost všechny jednotky umístěny ve vozidlech, nicméně v praxi mohou být jednotky umístěny i na prvcích dopravní infrastruktury.



## Kapitola 3

# Možnosti získání dopravních parametrů pomocí C-ITS

Jak již bylo uvedeno, jsou definovány 4 základní kategorie komunikace jednotek mezi sebou. Typ komunikace C-ITS jež se nazývá V2X (Vehicle to Everything) se omezuje pouze na kategorie, kdy je zdrojem vyslané zprávy hybridní jednotka umístěna ve vozidle. Jedná se tedy o typy komunikace znázorněny v tabulce 6 a jednotky typu OBU a RVU.

V2V	V2I
Vehicle to Vehicle	Vehicle to Infrastructure

Tabulka 6 – kategorie V2X komunikace [Vlastní tvorba]

Kategorie Vehicle to Vehicle umožňuje detekci některých dopravních veličin pomocí vozidlových jednotek. Kategorie Vehicle to Infrastructure umožňuje detekci bodových průjezdů. Z toho vyplývá, že C-ITS disponuje jak detekčními prvky umístěnými na dopravní infrastrukturu, tak detekčními prvky umístěnými ve vozidlech a spojuje tedy tyto dvě kategorie dohromady.

### 3.1 Způsob detekce pomocí V2X technologie

Detekce dopravních veličin je v V2X technologii realizována hybridními jednotkami. Každá jednotka má díky satelitu GNSS přístup k informaci o své poloze. Informace o poloze jsou posléze zapsány do tzv. CAM zprávy, jež je generována každou hybridní jednotkou a spolu s dalšími parametry o jednotce vyslány do éteru či na centrální server k dalšímu vyhodnocení. Právě CAM zpráva je důležitým prvkem při detekci touto technologií.

#### 3.1.1 CAM

CAM je základní zpráva odesílána z každé hybridní jednotky, nehledě na její typ. Zprávy CAM jsou generovány a odesílány periodicky až 10x za sekundu dle okolních podmínek. Tyto zprávy obsahují důležité informace o jednotce, jež je vyslala. Tabulka 7 zobrazuje důležité dopravní veličiny odesílány prostřednictvím zprávy CAM.

Atribut	význam
StationType	Určuje typ vozidla (jednotky) jež odeslalo CAM zprávu. Rozdělení typů vozidel je popsáno v kapitole 3.2.2.
ReferencePosition	Poloha vozidla
Heading	Směr vozidla
Speed	Rychlost vozidla
VehicleWidth	Šířka vozidla
StationID	Identifikace vozidla

Tabulka 7 – Dopravní veličiny obsažené v CAM zprávě [Vlastní tvorba]

Bodovou detekci průjezdů lze v V2X technologii zajistit pomocí RSU. RSU jakožto nehybná jednotka umístěna na dopravní infrastruktuře slouží jako přijímač okolních CAM zpráv. Pokud RSU zachytí CAM zprávu v níž StationType není vyplněn jako RSU (pokud by byl takto vyplněn, znamenalo by to že CAM pochází z jiné RSU a ne z vozidla) tak lze říci že do rádiového dosahu RSU vjelo vozidlo. Tato událost je detekovatelná a znamená průjezd vozidla. Navíc je jednotka RSU schopna sledovat toto vozidlo a jeho dopravní veličiny po celou dobu, kdy se nachází v jejím radiovém dosahu. Také lze odvodit, kdy vozidlo radiový dosah RSU opustila. Nicméně pokud vozidlo není vybaveno hybridní jednotkou, detekce průjezdu je nemožná.

Je důležité zmínit, že RSU jednotky nesbírají data o průjezdech nepřetržitě. Pro sběr dopravních dat z RSU je nutné na FO nastavit intervaly sběru dopravních dat (Aktuálně lze nastavit dlouhodobý a krátkodobý sběr dopravních dat) a definovat virtuální detekční zóny. Po této činnosti začne RSU z přijatých CAM zpráv přeposílat na BO také dopravní veličiny.

Pokud má hybridní jednotka připojení k mobilní datové síti, přeposílá CAM zprávy kromě do éteru také na BO. Vzhledem k tomu jaké veličiny CAM zpráva obsahuje lze z nich vyčítat stejné dopravní veličiny jako veličiny získatelné technologií FCD, jež byla popsána v 1. kapitole této práce.

Zprávy CAM jsou také využívány pro výpočty dojezdových dob, zdržení, průměrných rychlostí apod. v rámci služby Probe vehicle data. Vždy první CAM zpráva, kterou RSU jednotka obdrží od konkrétní vozidlové jednotky, je zároveň s identifikátorem virtuální zóny v níž bylo vozidlo detekováno přeposlána do BO, kde jsou data dle identifikátorů roztríděna. Všechny další obdržené CAM zprávy jsou zpracovávány na úrovni RSU. Do BO už jsou následně odesílána zpracovaná data o provozu v oblasti dosahu příslušné RSU jednotky. Zprávy CAM přijímají také ostatní vozidlové jednotky v okolí vysílající jednotky. Tato skutečnost umožňuje vytvářet detektory ze všech hybridních jednotek, jež jsou umístěny v provozu. Specifikace zprávy CAM je detailně popsána v normě, jež vydala společnost ETSI [14]. [13]

### **3.1.2 Probe Vehicle Data (PVD)**

Prostřednictvím této služby jsou správci komunikace či operátorovi MHD dodatečně poskytovány dopravní informace. RSU umístěné podél komunikace sbírají data z projíždějících vozidel (vybavených OBU/RVU) a v definovaných časových intervalech zasílají nashromážděná data do BO (a dále do nadřazených řídicích systémů). Každé RSU zařízení umístěné na infrastruktuře lze nakonfigurovat na několik virtuálních detekčních zón, tudíž je možné sledovat jedním RSU více zón najednou (vč. protisměrných). Jak již bylo zmíněno, zpracování dat nemusí probíhat pouze na RSU, ale také přímo v BO v případech přímého propojení vozidlové jednotky a BO prostřednictvím mobilních sítí. RSU umístěné na infrastruktuře provádějí krátkodobý sběr dat (pro potřeby řízení dopravy) v řádu desítek sekund a dlouhodobý sběr dat (pro statistické účely bez rozlišení kategorií vozidel) v řádu několika hodin. Mezi sledované veličiny může patřit: kategorie vozidla, intenzita, rychlost, aj. Službou PVD lze sbírat i data, která nejsou běžné dopravní sčítače schopny zaznamenat (např. stav světlometů, mlhových světel, apod.), v takovém případě je však nezbytné, aby projíždějící vozidla vybavená C-ITS jednotkami měla tyto jednotky připojeny ke CAN sběrnici vozidla.

Nad rámec krátkodobého a dlouhodobého sběru dat RSU odesílá do BO také základní data (ID vozidlové jednotky, kategorii vozidla, čas, polohu, rychlost a směr) z každého detekovaného vozidla v dosahu, vždy však pouze informace z první CAM zprávy, kterou od daného vozidla obdrží. Díky datům z jednotlivých vozidel je možné stanovit dojezdové doby mezi předdefinovanými profily a následně je řidičům prezentovat formou IVI zpráv nebo prostřednictvím standardních kanálů (např. portálů dopravních informací). Na základě vnitřních algoritmů v BO je dále možné s agregovanými daty pracovat a dále je vyhodnocovat celkově nebo zvlášť v rámci jednotlivých virtuálních zón (průměrná rychlost, intenzita, min./max. rychlost, délka kolon, aj.) Přesnost těchto výpočtů je nicméně svázána se stupněm penetrace vozidel vybavených C-ITS jednotkou. Získaná data mohou být následně využívána v nadřazených řídicích centrech. Na základě dat z CAM zpráv jednotlivých vozidel lze vyhodnotit různé události na komunikaci (např. kolona) a následně generovat zprávy DENM/IVI varující ostatní řidiče před těmito mimořádnostmi. [12]

Veličiny vysílány z RSU do BO: [12]

- ID RSU jednotky
- Časová stopa konce intervalu sběru dat
- Typ sběru dat: dlouhodobý či krátkodobý
- Nastavení délky intervalu
- Pro každou detekční zónu:
  - ID detekční zóny
  - Definice detekční zóny
  - Pro každou kategorii vozidel:
    - ID kategorie vozidel
    - Průměrná rychlost
    - Min. a max. rychlost
    - Intenzita
    - Další veličiny získány z CAN sběrnice (je-li připojena)

Tyto veličiny jsou na RSU nastavitelné z BO.

Veličiny odesílány z RVU do BO k výpočtu dojezdových dob [12]

- ID RVU jednotky
- Kategorie vozidla
- Čas
- Poloha
- Rychlost
- Směr

## 3.2 Dopravní veličiny získané V2X technologií

Část základních dopravních veličin je možné získat přímým měřením. Veličiny, jež není možné získat přímým měřením lze odvodit nadstavbovými algoritmy. Tato část se zaměří na veličiny, jež není možné získat ze surových dat a uvede, zda je v existující podobě systému implementováno řešení, jak tyto veličiny určit. Pokud není, pokusí se navrhnout způsob, jak tyto veličiny nadstavbovým vyhodnocením určit.

Jako první je důležité definovat, které parametry je možné získat přímým měřením. Jsou to tyto veličiny:

- Rychlost
- Intenzita
- Délka vozidla
- Výška vozidla
- Poloha vozidla
- Směr jízdy

Další podkapitoly podrobně rozeberou jednotlivé dopravní veličiny, jež nejsou uvedeny v seznamu výše a určí, zda je V2X technologie schopna tyto veličiny nadstavbovým vyhodnocením odvodit.

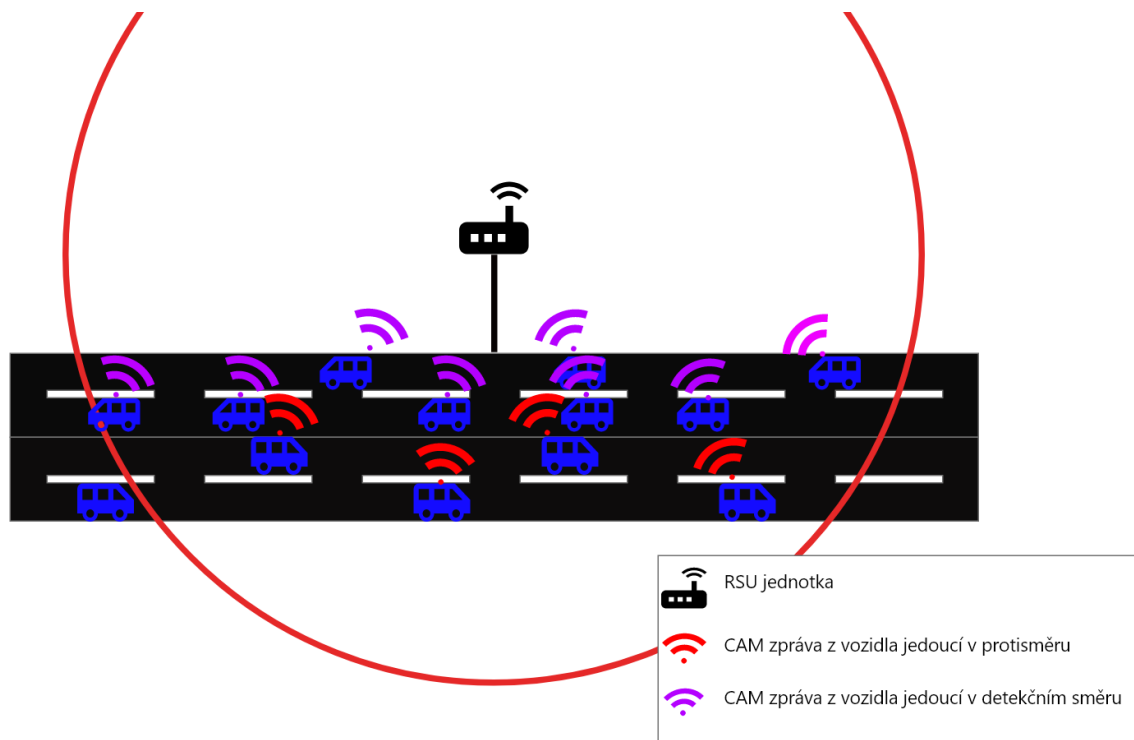
### **3.2.1 Ujetá vzdálenost, doba jízdy mezi dvěma definovanými body**

Tyto veličiny je možné odvodit z přijatých CAM zpráv od vozidlových jednotek při výpočtu dojezdových dob. Jak již bylo zmíněno, pokud mají jednotky připojení k LTE síti a jsou to jednotky typu RSU, odesílají CAM zprávy na BO. V CAM zprávě je uložen údaj o poloze jednotky i čas, v jakém byla zpráva odeslána. Tyto zprávy jsou odesílány až 10krát za sekundu. Výpočtem změny pozice z přijatých CAM zpráv, je tedy možné tyto dva parametry odvodit. Tento způsob řešení je již v současné době implementován v systému C-ITS.

### **3.2.2 Hustota**

Hustota je důležitá dopravní veličina, která udává, kolik vozidel se nachází na určitém dopravním úseku. V současnosti není v C-ITS implementován nadstavbový algoritmus jež by tuto veličinu nadstavbovým algoritmem určil, nicméně existuje způsob, jak ji odvodit.

Dosah komunikace přes vyhrazené pásmo 5,9 GHz je v průměru 1 km. Lze opět definovat situace, kdy se na libovolné části komunikace nachází vozidla, jež jsou všechna osazena hybridní jednotkou. Také se na této komunikaci nachází na infrastruktuře RSU jednotka. Tato jednotka je teoreticky schopna svým dosahem pokrýt oblast s poloměrem 1 km. Tuto oblast lze definovat jako detekční zónu, a pokud platí podmínka, že všechna vozidla, která projedou detekčním úsekem, jsou osazena hybridní jednotkou, je možné určit hustotu v této detekční zóně prostým určením počtu prvně přijatých CAM zpráv. CAM zprávy obsahují také údaj o směru jedoucího vozidla, proto je i možné odfiltrovat vozidla, která jedou druhým směrem. Situace je ilustrována na obrázku 12.



Obrázek 12 – Určení hustoty na komunikaci pomocí RSU jednotky [Vlastní tvorba]

Popsaný způsob detekce hustoty je možný pouze, pokud jsou všechny projíždějící jednotky osazeny hybridní jednotkou.

V situaci, kdy není na dopravní infrastruktuře umístěna RSU, je možné hustotu detekovat pomocí vozidlových jednotek. Vozidlové jednotky si ukládají potřebné informace o ostatních jednotkách, se kterými někdy v minulosti komunikovaly. Z těchto informací je následným zpracováním dat možné určit hustotu v radiovém dosahu jednotky. Tento způsob detekce je podrobně popsán v kapitole 3.3.

### 3.2.3 Časový odstup, Délkový odstup

Určení těchto dvou veličin již může být obtížnější. Opět platí podmínka, že pro určení těchto dvou veličin je nutné mít všechna vozidla osazena hybridní jednotkou. Pokud je tato podmínka splněna, je možné z přijatých CAM zpráv dopočítat délkovou i časovou vzdálenost mezi jednotlivými vozidly. Nicméně tato metoda výpočtu by byla velmi náročná pro RSU jednotky tak pro BO.

Jsou tři možnosti přístupu k této problematice. Buď je možné počítat vzdálenosti mezi jednotlivými vozidly přímo v RSU jednotce, kde by byly počítány vzdálenosti pouze mezi vozidly vyskytující se v radiovém dosahu RSU jednotky a posléze jednotlivé vzdálenosti odesílány na BO. Pokud nastane situace, kdy se u RSU jednotky vyskytne příliš mnoho CAM zpráv a jednotka by měla u každé zprávy dopočítávat vzdálenosti mezi nimi, velmi rychle dosáhne svých výpočetních limitů.

Jako druhá možnost se jeví vypočítávat vzdálenosti mezi jednotlivými vozidly na BO, nicméně tento přístup je téměř nemožné implementovat, kvůli vysokému objemu přijatých dat.

Jako třetí možnost se jeví, aby si vzdálenosti od ostatních vozidel vypočítávala vozidlová jednotka sama z přijatých CAM zpráv od ostatních. Může ale nastat stejná situace jako u RSU, kdy jednotka počítáním vzdáleností z jednotlivých přijatých CAM zpráv dosáhne svého výpočetního limitu. Existuje ale možnost efektivnějšího výpočtu vzdáleností, jež by nebyla náročná na výpočet. Tato možnost je podrobně popsána v kapitole 3.3

### **3.2.4 Skladba dopravního proudu, přítomnost na detektoru a obsazenost detektoru**

Přítomnost na detektoru i obsazenost detektoru, je možné vyčíst z počtu přijatých CAM zpráv RSU jednotkou, jež odesílají stále stejné GPS souřadnice. Z tohoto stavu lze usoudit, že se daná jednotka nehýbe, takže detektor je obsazen. přičemž 100% obsazenost detektoru lze následným zpracováním dat spočítat z rozměrů vozidel a z polygonu detekční zóny.

Skladbu dopravního proudu je možné odvodit z atributu StationType, který je odeslán v každé CAM zprávě. Jak již bylo zmíněno, StationType je datový typ, který v sobě zahrnuje informaci o typu vozidla, ve kterém je jednotka umístěna. Hodnoty atributu mohou být [13]:

- Neznámý
- Chodec
- Cyklista
- Moped
- Motorka
- Osobní vozidlo
- Autobus
- Lehký nákladní automobil
- Těžký nákladní automobil
- Vozík
- Speciální vozidlo
  - Veřejná doprava
  - Speciální doprava
  - Nebezpečný náklad
  - Vozidlo silniční údržby
  - Vozidlo záchranné služby
  - Bezpečné vozidlo
- Tramvaj
- Road Side Unit (RSU)

Tento atribut se nastavuje před umístěním jednotky do vozidla a je vázán právě na typ vozidla. Atribut poté zůstane uložen v jednotce a propisuje se do odeslaných CAM zpráv. Proto lze z přijatých CAM zpráv určit i skladbu dopravního proudu.

## 3.3 Alternativní způsob výpočtu některých dopravních veličin

Existuje ještě alternativní způsob určení některých dopravních veličin jež byly popsány v předchozí podkapitole. Konkrétně se jedná o tyto veličiny:

- Časový odstup
- Délkový odstup
- Hustota
- Obsazenost detektoru

Získání těchto veličin bylo v minulé podkapitole řešeno pomocí následného zpracování CAM zpráv, jež je ve struktuře C-ITS paketu umístěna na poslední komunikační vrstvě. Při výpočtu veličin tímto způsobem může jednotka narazit na hardwarové omezení, kvůli náročnosti výpočtu vzdálenosti z každé CAM zprávy zvlášť. Alternativní způsob výpočtu veličin uvedených výše spočívá v provedení výpočtu z dat jež poskytuje vyšší komunikační vrstva C-ITS zprávy. Komunikační vrstva poskytující data vhodná k nenáročnému výpočtu veličin uvedených výše se nazývá GeoNetworking a bude podrobně popsána v následující podkapitole. Navíc, tato vrstva se nachází v každé zprávě odeslané C-ITS jednotkou, což znamená že potřebná data k výpočtu veličin uvedených výše budou vždy k dispozici. Celá tato vrstva je podrobně definována v normě ETSI [14], ze které bude tato část vycházet. Obrázek 13 zachycuje výřez z programu WireShark, přes který byl zachycen C-ITS paket, kde jsou zobrazeny jednotlivé komunikační vrstvy C-ITS zprávy.

```
Frame 44: 406 bytes on wire (3248 bits), 406 bytes captured (3248 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: 9e:77:40:5c:21:fa (9e:77:40:5c:21:fa), Dst: 00:ff:4e:6c:7f:8b (00:ff:4e:6c:7f:8b)
Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.70.10, Dst: 192.168.70.11
User Datagram Protocol, Src Port: 40299, Dst Port: 29444
Intens CITS Capture Protocol
GeoNetworking
BTP-B
Intelligent Transport Systems
```

Obrázek 13 – Vrstvy v C-ITS paketu [Vlastní tvorba]

### 3.3.1 GeoNetworking protokol

Jedná se o protokol, který poskytuje trasování v bezdrátové síti, přičemž využívá ke trasování geografické pozice jednotlivých cílových či zdrojových prvků. Tento protokol je základem k přeposílání zpráv mezi jednotlivými C-ITS prvky, či k distribuci zpráv do určité geografické oblasti [15].

Jedná se tedy o protokol, jež má na starosti veškeré operace spojeny s geografickou polohou. Například vytvoření dopravní informace, jež má nějaké geografické umístění. Také je díky této vrstvě možné detekovat vozidla, která projela vytvořenou detekční zónou apod. Na obrázku 14 je možné vidět strukturu GeoNetworking paketu.

<b>MAC Header</b>	<b>LLC Header</b>	<b>GeoNetworking Header</b>	<b>Payload (optional)</b>
-------------------	-------------------	-----------------------------	---------------------------

Obrázek 14 – struktura GeoNetworkku [15]

V rámci tohoto protokolu je každé zařízení povinno vést si na vlastním úložišti tzv. Location Table, jež je tabulkou obsahující informace o každé jiné C-ITS jednotce, jež v minulosti někdy použila GeoNetworking protokol. V tabulce 7 jsou popsány důležité atributy Location table. Location table obsahuje atributů více než je uvedeno v tabulce 7, ale do tabulky 7 byly vybrány pouze ty, jež jsou důležité pro určení dopravních veličin.

Atribut	význam
Zdrojová geonetworking adresa GN_ADDR	GeoNetworking adresa, od níž byl v rámci tohoto protokolu někdy přijat paket
Zdrojová LL_ADDR	Adresa vrstvy propojení, která identifikuje zdrojovou jednotku v entitě protokolu v přístupové vrstvě ITS
Typ zdrojové jednotky	Definuje typ jednotky, ze které byla zpráva přijata (RVU,RSU,OBU)
Zdrojový Position vektor	Vektor, jež udává pozici zdrojové jednotky
IS_NEIGHBOUR(GN_ADDR)	Atribut udávající, zda je zdrojová jednotka v radiovém dosahu
Časové razítko TST(GN_ADDR)	Časové razítko posledního přijatého paketu od zdroje GN_ADDR, jež byl vyhodnocen jako „neduplicitní“

Tabulka 7 – Důležité atributy Location Table a jejich význam [15]

Příčemž atribut Position vektor se skládá z těchto atributů:

- Geografická pozice POS(GN\_ADDR)
- Rychlost S(GN\_ADDR)
- Směr H(GN\_ADDR)
- Časové razítko geografické pozice TST(POS,GN\_ADDR)
- Indikátor přesnosti pozice PAI(POS,GN\_ADDR)

Jednotka má tedy k dispozici informace o každé jednotce, s níž někdy v minulosti komunikovala. O každé jednotce si ukládá údaje uvedeny v tabulce 7. Tuto tabulku si ukládá každé zařízení, jež využívá GeoNetworking protokol. Jelikož hybridní jednotky tento protokol využívají, jak bylo zobrazeno na obrázku 13, lze předpokládat, že každá C-ITS jednotka si ukládá vlastní location table o ostatních hybridních jednotkách.

Při opětovném nahlédnutí do tabulky 7 lze vidět, že Location Table obsahuje všechny neznámé, jež jsou nutné k výpočtu dopravních veličin uvedených na začátku podkapitoly 3.3. Takový výpočet by nebyl nijak náročný na provedení. Všechny hodnoty potřebné k výpočtu jsou známy. Díky position vectoru je známa poslední pozice jednotky a díky atributu IS\_NEIGHBOUR(GN\_ADDR) je známo, zda je jednotka v dosahu jednotky, která má tuto tabulku uloženou. Další výhodou využití této metody je, že nezáleží na kategorii jednotky. Tento výpočet by tedy mohla provádět jakákoliv jednotka, která má tuto tabulku k dispozici. Tím by se nabízela jedinečná možnost, určovat například hustotu kolem každé C-ITS jednotky, která se nachází v provozu. Samozřejmě opět za předpokladu, že každé vozidlo na komunikaci je osazeno C-ITS jednotkou.



### 3.4 Dopravní veličiny získány pomocí V2X technologie

Tabulka 8 je doplněna o technologii C-ITS a zobrazuje možnosti detekce základních dopravních parametrů v porovnání s detekčními metodami popsány v 1. kapitole této práce.

		Indukční smyčka	FCD technologie	C-ITS
Veličiny	Zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	X <sup>1</sup>	X	X
	Rychlost [km/h]	X <sup>1</sup>	X	X
	Ujetá vzdálenost [m]		X	X <sup>3</sup>
	Doba jízdy [s]	X <sup>1</sup>	X	X <sup>3</sup>
	Intenzita [voz/h]	X		X <sup>3</sup>
	Hustota [voz/km]	X <sup>1,3</sup>	X	X <sup>3</sup>
	Časový odstup [s/voz]	X <sup>3</sup>		X <sup>3</sup>
	Délkový odstup [m/voz]	X <sup>3</sup>		X <sup>3</sup>
	Přítomnost na detektoru [-]	X		X <sup>3</sup>
	Obsazenost detektoru [%]	X		X <sup>3</sup>
	Délka vozidla [m]	X <sup>2</sup>		X
	Výška vozidla [m]	X <sup>2</sup>		X
	Hmotnost vozidla [t]			
	Skladba dopravního proudu [%]	X <sup>2</sup>		X <sup>3</sup>
	Poloha vozidla		X	X
	Směr jízdy	X <sup>1</sup>	X	X
	<p>X<sup>1</sup> – Pouze za podmínky využití dvou detektorů  X<sup>2</sup> – Lze určit z klasifikace vozidla, není přesné  X<sup>3</sup> – Lze určit dalším zpracováním dat</p>			

Tabulka 8 – veličiny získané Indukční smyčkou, FCD technologií a C-ITS [Vlastní tvorba]

Z tabulky 8 vyplývá, že C-ITS poskytuje zdaleka nejvíce dopravních informací oproti aktuálně používaným detekčním metodám. Nicméně kvalita získaných dat je silně závislá na stupni penetrace do vozidel obdobně jako u FCD technologie. V tabulce 9 jsou přehledně zobrazeny jednotlivé metody detekce a jejich výhody, nevýhody použití.

	Výhody	Nevýhody
Indukční smyčka	Vyšší kvalita informací	Nutný zásah do vozovky
	Poskytuje více veličin o dopravním proudu	Vysoké náklady na realizaci*
		Nepřesná klasifikace vozidel
FCD technologie	Téměř nulové náklady na zvýšení počtu detektorů i na realizaci	Závislé na penetraci
	Při vysoké penetraci, velmi přesné informace o dopravním proudu	Poskytuje méně veličin o dopravním proudu
		Žádná klasifikace vozidel
C-ITS	Poskytuje nejvíce veličin o dopravním proudu	Závislé na penetraci
	Jednoduchá instalace hybridní jednotky do vozidla	Nutnost instalace jednotky
		Velkou část dopravních veličin lze získat dalším zpracováním dat
* - Mezi detektory umístěné na dopravní infrastruktuře, se indukční smyčka staví mezi ty nejlevnější, ale při porovnání s FCD technologií jsou náklady vysoké		

Tabulka 9 - Porovnání analyzovaných detekčních metod [Vlastní tvorba]

## Kapitola 4

### Porovnání dat z C-ITS a ostatních analyzovaných metod

V této kapitole budou zobrazeny příklady datových výstupů z jednotlivých detekčních metod, jež byly popsány v této práci. V tabulce výchozích dopravních veličin bude zobrazeno, kde se daná hodnota ve vzorku nachází, případně z jakých veličin jí lze odvodit.

#### 4.1 Data získána metodou detekce indukční smyčky

Jak již bylo řečeno metodou detekce indukční smyčky je možné získat část základních dopravních veličin, vypovídajících o chování dopravního proudu v místě, kde se indukční smyčka nachází. Při použití více smyček je možné získat některé dopravní veličiny navíc jako je rychlost či směr jízdy. Výrobci těchto technologií v dnešní době běžně dodávají systémy, do nichž je možné zapojit až 16 smyčkových detektorů a díky tomu rozmístit dva detektory do více jízdních pásů.

ŘSD využívá na svých komunikacích smyčkové detektory typu Marksman 680. Tyto detektory jsou poslední generací smyčkových detektorů. Lze do nich zapojit až 16 detekčních smyček a jsou napájeny z baterie. Zařízení při zapojení všech 16 detektorů vydrží v provozu až 30 dní, přičemž baterie je dobíjena pomocí solárních článků, takže skutečná doba výdrže může být mnohem delší. Tento typ detektoru zároveň umožňuje komunikaci přes GSM a GPRS, takže také umožňuje vzdálený sběr dat. Výstupní data z této technologie mohou mít podobu zobrazenou v tabulce 10.

HEAD	DDMMYY	HHMM	SS	HH	L	D	GAP	SPD	LENTGH	CS	CH
1	110320	1131	20	0	1	1	99.9	75	744	4	M
2	110320	1135	21	60	1	1	99.9	54	638	4	M
3	110320	1136	21	80	1	1	59.8	69	645	4	L
4	110320	1138	12	60	1	1	99.9	51	514	2	L
5	110320	1140	11	60	1	1	99.9	60	469	2	M
6	110320	1142	25	10	2	2	99.9	81	465	2	M
7	110320	1143	2	20	2	2	36.9	61	447	2	L
8	110320	1143	46	90	1	1	99.9	47	437	2	L
9	110320	1143	53	40	2	2	50.9	50	640	4	M
10	110320	1144	30	70	2	2	36.8	68	375	2	L
11	110320	1145	7	90	1	1	80.7	58	437	2	M
12	110320	1145	47	70	2	2	76.8	53	604	4	M
13	110320	1147	19	20	1	1	99.9	59	904	5	M
14	110320	1150	21	70	1	1	99.9	78	441	2	L
15	110320	1151	17	80	1	1	55.9	65	420	2	L
16	110320	1152	16	0	1	1	58.0	47	1773	6	M
17	110320	1153	27	30	2	2	99.9	69	432	2	M
18	110320	1157	9	40	2	2	99.9	43	691	4	L
19	110320	1159	18	60	1	1	99.9	67	377	2	L
20	110320	1200	0	10	1	1	41.3	72	1343	7	H
21	110320	1031	11	90	2	2	99.9	23	433	2	L
22	110320	1032	49	90	1	1	99.9	61	1631	7	M
23	110320	1033	10	10	2	2	99.9	70	409	2	L
24	110320	1033	24	90	1	1	34.0	65	380	2	L
25	110320	1036	27	20	2	2	99.9	80	412	2	H

Tabulka 10 – Výstupní data z detekce metodou indukční smyčky

Tabulka 11 zobrazuje základní dopravní veličiny a zda jsou detekovatelné touto technologií. Dále zobrazuje, kde v se dají dopravní veličiny v surových datech dohledat, či zda je možné je z dat odvodit.

	Indukční smyčka	Možnost detekce	Výstupní data
Veličiny	Zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	X <sup>1,3</sup>	Lze dalším zpracováním určit. Metoda přímo zaznamenává rychlost ve sloupci SPD i čas průjezdu ve sloupcích DDMMYY,HHMM,SS
	Rychlost [km/h]	X <sup>1</sup>	Veličina ve výstupních datech ve sloupci SPD

Ujetá vzdálenost [m]	X <sup>1</sup>	Přímo odvoditelné z výstupních dat. Technologie Marksman 680 tuto veličinu detekuje, nicméně výstup dat je nastavitelný a v použitém vzorku snímání této veličiny není nastaveno. Lze ovšem naměřit pouze vzdálenost mezi dvěma smyčkovými detektory
Doba jízdy ( <u>Travel Time</u> ) [s]	X <sup>1</sup>	Přímo odvoditelné z výstupních dat. Technologie Marksman 680 tuto veličinu detekuje, nicméně výstup dat je nastavitelný a v použitém vzorku snímání této veličiny není nastaveno. Lze ovšem naměřit pouze dobu jízdy mezi dvěma smyčkovými detektory
Intenzita [voz/h]	X	Přímo odvoditelné z výstupních dat. Zaznamenává se počet průjezdů ve sloupci HEAD i čas průjezdu ve sloupcích DDMMYY,HHMM,SS.
Hustota [voz/km]	X <sup>1,3</sup>	Lze určit dalším zpracováním. Je známa vzdálenost smyček od sebe a je možné detekovat kolik vozidel vjelo a kolik vyjelo
Časový odstup [s/voz]	X <sup>1,3</sup>	Lze určit dalším zpracováním dat, nicméně technologie Marksman 680 tuto hodnotu uvádí přímo ve výstupních datech ve sloupci GAP
Délkový odstup [m/voz]	X <sup>3</sup>	Lze určit dalším zpracováním dat, díky sloupci GAP je zpracování o dost jednodušší
Přítomnost na detektoru [-]	X	Přímo odvoditelné z výstupních dat. Technologie Marksman 680 tuto veličinu detekuje, nicméně výstup dat je nastavitelný a v použitém vzorku snímání této veličiny není nastaveno.
Obsazenost detektoru [%]	X	Přímo odvoditelné z výstupních dat. Technologie Marksman 680 tuto veličinu detekuje, nicméně výstup dat je nastavitelný a v použitém vzorku snímání této veličiny není nastaveno.
Délka vozidla [m]	X <sup>2</sup>	Přímo odvoditelné z výstupních dat. Technologie Marksman dokonce tuto veličinu přímo uvádí ve sloupci LENTGH
Výška vozidla [m]	X <sup>2</sup>	Přímo odvoditelné z výstupních dat díky klasifikaci vozidla, ta je uvedena ve sloupci CS
Hmotnost vozidla [t]		Nelze touto metodou detekovat

	Skladba dopravního proudu [%]	X <sup>2</sup>	Přímo odvoditelné z výstupních dat díky klasifikaci vozidla, ta je uvedena ve sloupci CS
	Poloha vozidla		Nelze touto metodou detekovat
	Směr jízdy	X <sup>1</sup>	Přímo odvoditelné z výstupních dat. Veličina je uvedena ve sloupci D
<p>X<sup>1</sup> – Pouze za podmínky využití dvou detektorů  X<sup>2</sup> – Lze určit z klasifikace vozidla, není přesné  X<sup>3</sup> – Lze určit dalším zpracování dat</p>			

Tabulka 11 – Veličiny detekovatelné metodou Indukčních smyček a odkazy na veličiny v datovém vzorku

Z tabulky 11 je zřejmé, že metodou detekce indukčními smyčkami je možné detekovat velkou část základních dopravních veličin. Oproti předpokladu z Tabulky 2 poskytují data z technologie Marksman 680 navíc přesnou informaci ohledně délky vozidla. Naopak zrychlení je možné určit až následným zpracováním dat, přičemž v předpokladu bylo uvedeno, že zrychlení je přímo odvoditelné z výstupních dat, což není pravda.

## 4.2 Data získána detekcí FCD technologií

Surová data z plovoucích vozidel bohužel nejsou volně dostupná. Jako příklad dat z plovoucích vozidel byla použita data z diplomové práce, jejíž tématem bylo vyhodnocení dat z plovoucích vozidel z roku 2015. Data jsou odesílána ve formátu XML. Obrázek 14 zobrazuje podobu surových dat detekovaných FCD technologií z Vídeňských TAXI vozidel [7].

```

<FAHRT>
  <ID>155182586</ID>
  <STATUS>66</STATUS>
  <ZEITPUNKT>24.03.2014 00:00:00</ZEITPUNKT>
  <SEKUNDEN>83</SEKUNDEN>
  <SOLLZEIT>135</SOLLZEIT>
  <METER>547</METER>
  <KMH>23</KMH>
  <WINKEL>83</WINKEL>
  <RICHTUNG>0</RICHTUNG>
  <ABFAHRT>
    <X>16.3649495443</X>
    <Y>48.1990641276</Y>
    <ZBZ>10669</ZBZ>
    <ZBZ_X>16.3650007769</ZBZ_X>
    <ZBZ_Y>48.1990731914</ZBZ_Y>
    <SEKTOR>604</SEKTOR>
    <GEBIET>4</GEBIET>
    <SATELLITEN>5</SATELLITEN>
    <PDOP>1</PDOP>
    <ABFRAGEDAUER>1</ABFRAGEDAUER>
  </ABFAHRT>

```

Obrázek 14 – FCD data z Vídeňských TAXI vozidel [7]

Tabulka 12 zobrazuje základní dopravní veličiny a zda jsou detekovatelné touto technologií. Dále zobrazuje, kde v se dají v surových datech dohledat, či zda je možné je z dat odvodit.

FCD technologie	Možnost detekce	Výstupní data
Zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	X <sup>3</sup>	Lze dalším zpracováním určit. Metoda poskytuje ujetou vzdálenost od poslední vyslané zprávy a také poskytuje čas od poslední vyslané zprávy
Rychlost [km/h]	X	Přímo odvoditelné z výstupních dat. V obrázku 14 je tato veličina uvedena v datovém bloku označeném jako KMH
Ujetá vzdálenost [m]	X	Přímo odvoditelné z výstupních dat. Na obrázku 14 je tato veličina uvedena v datovém bloku označeném jako METER, jež značí vzdálenost od poslední přijaté zprávy
Doba jízdy (Travel Time) [s]	X	Přímo odvoditelné z výstupních dat. Na obrázku 14 je tato veličina uvedena v datovém bloku označeném jako SEKUNDE, jež značí čas v sekundách od poslední přijaté zprávy
Intenzita [voz/h]		Nelze touto metodou detekovat
Hustota [voz/km]	X	Vychází přímo z počtu přijatých zpráv vztažených k určitému místu
Časový odstup [s/voz]		Nelze touto metodou detekovat
Délkový odstup [m/voz]		Nelze touto metodou detekovat
Přítomnost na detektoru [-]		Nelze touto metodou detekovat
Obsazenost detektoru [%]		Nelze touto metodou detekovat
Délka vozidla [m]		Nelze touto metodou detekovat
Výška vozidla [m]		Nelze touto metodou detekovat
Hmotnost vozidla [t]		Nelze touto metodou detekovat
Skladba dopravního proudu [%]		Nelze touto metodou detekovat
Poloha vozidla	X	Přímo odvoditelné z výstupních dat. Na obrázku 14 je tato veličina uvedena souřadnicemi, jež jsou v datovém bloku ABFAHRT uvedeny označením X a Y

	Směr jízdy	X	Přímo odvoditelné z výstupních dat. Veličina je uvedena v datovém bloku označeném jako RICHTUNG
<p>X<sup>1</sup> – Pouze za podmínky využití dvou detektorů  X<sup>2</sup> – Lze určit z klasifikace vozidla, není přesné  X<sup>3</sup> – Lze určit dalším zpracování dat</p>			

Tabulka 12 - Veličiny detekovatelné FCD technologií a odkazy na veličiny v datovém vzorku

Oproti detekci metodou indukčních smyček je FCD technologie schopna detekovat méně dopravních veličin. V předpokladu bylo uvedeno, že zrychlení lze přímo odvodit z výstupních dat. Z použitého datového vzorku ale vyplývá, že to není pravda.

## 4.3 Data získána z C-ITS

Výhoda detekce C-ITS technologií je ve schopnosti detekovat průjezd vozidel, a k tomu sbírat data z vozidel, jež se nacházejí v dopravním proudu. Teoreticky tedy C-ITS poskytuje data, které je možné detekovat pomocí indukčních smyček a zároveň poskytuje data detekovatelné FCD technologií. Je to tedy kombinace dvou detekčních metod popsaných v předchozích kapitolách. Aby tato detekce byla možná, je nutné, aby detekovaná vozidla byla osazena hybridní jednotkou. To je velká nevýhoda této technologie, jak již bylo zmíněno.

### 4.3.1 Detekce průjezdů

C-ITS detekuje průjezd vozidla zachycením CAM zprávy vyslané z vozidla přes ITS-G5. Jako nejvhodnější jednotka, jež zachycuje CAM zprávy z ostatních vozidel, se jeví RSU. Tedy jednotka umístěna na infrastruktuře komunikace. Toto ovšem není pravidlo, ze struktury tohoto systému vyplývá, že může data o průjezdu zachycovat jakákoliv jednotka, je-li na to nastavena. Nicméně pro detekci průjezdů vozidel v určité lokalitě je žádoucí, aby detekční jednotka byla nehybná.

Datová struktura výstupních vzorků detekce není v současné době nijak definována a je v tomto ohledu ponechána volnost realizace společností, jež se vývojem těchto technologií zabývají. Jako příklad výstupních dat z detekčních prvků C-ITS byla použita data od společnosti INTENS Corporation s.r.o. jež se v oblasti C-ITS aktivně pohybuje a v současnosti se podílí na pilotních projektech spojených s touto technologií. Přijaté CAM zprávy jsou v jednotce zpracovány a výsledné vyhodnocení je odesíláno na centrální server v podobě, jež je zobrazena níže. Dopravní data z jednotek jsou odesílána datovým typem JSON, což je obdobný datový typ jako XML, který může být následně dále strojově zpracován. Příklad datového výstupu detekce průjezdů je zobrazen v bloku níže.

```
"_index": "v2-rxu-pvd-survey-data-2020.07.14",
"_type": "logevent",
"_id": "nY5ATXMB3zuCuIuf5oUx",
"_version": 1,
```



```

"_score": 1,
"_source": {
"@timestamp": "2020-07-14T12:16:03.14334Z",
"level": "Info",
"message": "2020-07-14
12:16:03.1433|INFO|Intens.CITS.Backend.Core.Model.Logger.RxuPvdSurveyData|",
"RxuId": "738f45a308954b689fe9596b70792cbc",
"RxuPvdSurveyType": 1,
"IntervalStart": "2020-07-14T12:10:54.5730228Z",
"IntervalSec": 300,
"ZoneId": "123",
"ItsStationType": 3,
"SampleCount": 100,
"AverageSpeed": 54,3,
"MinimumSpeed": 20,
"MaximumSpeed": 100,
"SpeedSampleCount": 100

```

Nutno zmínit, že použitý datový vzorek byl vytvořen ve vývojovém prostředí, a tedy data zobrazena v tomto vzorku nebyla naměřena v reálném provozu. Nicméně datová struktura odpovídá tomu, jak v reálném provozu bude vypadat výstup detekce touto technologií. Je důležité zmínit, že detekce průjezdů touto metodou je nejvíce závislá na penetraci do vozidel. Penetrace hybridních jednotek v případě detekce průjezdů musí být na hodnotě 100%.

### 4.3.2 Data vysílána z vozidel

CAM zprávy mohou být odesílány z vozidlových jednotek přímo na centrální server, kde mohou být dále zpracovány za účelem určení chování dopravního proudu kolem vozidel. Jednotlivé CAM zprávy jsou generovány až 10 krát za sekundu, což značí velký datový základ, ze kterého je možné vycházet. Datová struktura CAM zpráv je na rozdíl od struktury detekce průjezdů definována v normě ETSI [13]. Stejně jako v předchozí podkapitole byl jako datový vzorek CAM zprávy použit vzorek od firmy INTENS Corporation s.r.o. jež je odesílán stejnou datovou formou jakou byla odesílána data o průjezdu, tedy formát JSON. Vzorek je zobrazen v bloku níže. Z důvodu velkého rozsahu byl vzorek zredukován pouze na veličiny, jež vypovídají o dopravním proudu.

```

"its": {
  "its.messageID": "2",
  "its.stationID": "227725357"
},
"cam.CoopAwareness_element": {
  "cam.camParameters_element": {
    "cam.basicContainer_element": {
      "cam.stationType": "6",
      "cam.referencePosition_element": {
        "its.latitude": "500476501",
        "its.longitude": "144557688",
        "its.positionConfidenceEllipse_element": {
          "its.semiMajorConfidence": "4095",

```

```

        "its.semiMinorConfidence": "4095",
        "its.semiMajorOrientation": "3601"
    "cam.highFrequencyContainer_tree": {
        "cam.heading_element": {
            "its.headingValue": "269"
        },
        "cam.speed_element": {
            "its.speedValue": "13"
        },
        "cam.vehicleWidth": "62",
        "cam.longitudinalAcceleration_element": {
            "its.longitudinalAccelerationValue": "161",
            "its.longitudinalAccelerationConfidence": "102"
        }
    "cam.lowFrequencyContainer": "0",
    "cam.lowFrequencyContainer_tree": {
        "cam.basicVehicleContainerLowFrequency_element": {
            "cam.vehicleRole": "1",
            "cam.exteriorLights": "00",
            "cam.exteriorLights_tree": {
                "its.ExteriorLights.lowBeamHeadlightsOn": "0",
                "its.ExteriorLights.highBeamHeadlightsOn": "0",
                "its.ExteriorLights.leftTurnSignalOn": "0",
                "its.ExteriorLights.rightTurnSignalOn": "0",
                "its.ExteriorLights.daytimeRunningLightsOn": "0",
                "its.ExteriorLights.reverseLightOn": "0",
                "its.ExteriorLights.fogLightOn": "0",
                "its.ExteriorLights.parkingLightsOn": "0"
            },
            "cam.specialVehicleContainer_tree": {
                "cam.publicTransportContainer_element": {
                    "its.ptActivationData": "91:86:00:00:00:01:00:00:00"
                }
            }
        }
    }

```

Za zmínku stojí `cam.specialVehicleContainer_tree` jež je v CAM zprávě obsažen pouze pokud je vozidlo nastaveno na Station type „SpecialVehicle“. Tento atribut obsahuje důležité informace o „speciálním“ vozidle. V tomto vzorku je zdrojová jednotka odesílající tuto CAM zprávu nastavena jako vozidlo veřejné hromadné dopravy a v tomto kontejneru jsou obsaženy informace jež mohou posléze sloužit pro vytvoření prioritní jízdy na světelně řízené křižovatce.

Tabulka 13 zobrazuje základní dopravní veličiny a za jsou detekovatelné touto technologií. Dále zobrazuje, kde v se dají v surových datech dohledat, či zda je možné je z dat odvodit.

	C-ITS	Možnost detekce	Výstupní data
Veličiny	Zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	X	Přímo odvoditelné z výstupních dat. V CAM zprávě je to hodnota označena jako <code>its.longitudinalAccelerationValue</code>

Rychlost [km/h]	X	Přímo odvoditelné z výstupních dat. V CAM zprávě je to hodnota označena jako its.speedValue
Ujetá vzdálenost [m]	X <sup>3</sup>	Lze odvodit dalším zpracováním dat. CAM zpráva obsahuje souřadnice polohy, ze které byla zpráva odeslána. Při více přijatých zpráv je možné vzdálenost dopočítat ze změny pozice
Doba jízdy (Travel Time) [s]	X <sup>3</sup>	Lze odvodit dalším zpracováním dat. CAM zpráva obsahuje souřadnice polohy, ze které byla zpráva odeslána a časové razítko. Při více přijatých zpráv je možné vzdálenost dopočítat ze změny pozice a změny časového razítka
Intenzita [voz/h]	X <sup>3</sup>	Přímo odvoditelné z výstupních dat. RSU při detekci průjezdů tuto hodnotu označuje ve svém datovém výstupu jako SampleCount
Hustota [voz/km]	X <sup>3</sup>	Lze odvodit dalším zpracováním dat, jak popisuje kapitola 3.2.2
Časový odstup [s/voz]	X <sup>3</sup>	Lze odvodit dalším zpracováním dat. Potřebná data k určení této veličiny poskytuje komunikační vrstva GeoNetworking, jež je podrobně popsána v kapitole 3.3.1
Délkový odstup [m/voz]	X <sup>3</sup>	Lze odvodit dalším zpracováním dat. Potřebná data k určení této veličiny poskytuje komunikační vrstva GeoNetworking, jež je podrobně popsána v kapitole 3.3.1
Přítomnost na detektoru [-]	X <sup>3</sup>	Lze odvodit dalším zpracováním dat, jak popisuje kapitola 3.2.4
Obsazenost detektoru [%]	X <sup>3</sup>	Lze odvodit dalším zpracováním dat, jak popisuje kapitola 3.2.4
Délka vozidla [m]	X	Přímo odvoditelné z výstupních dat. Délku vozidla lze určit z atributu StationType, jež určuje typ vozidla. Tento atribut je odesílán v CAM zprávě.
Výška vozidla [m]	X	Přímo odvoditelné z výstupních dat. Výška vozidla lze určit z atributu StationType, jež určuje typ vozidla. Tento atribut je odesílán v CAM zprávě a je označen jako cam.StationType
Hmotnost vozidla [t]		Nelze touto metodou detekovat
Skladba dopravního proudu [%]	X <sup>3</sup>	Přímo odvoditelné z výstupních dat, konkrétně z atributu cam.StationType, jež vypovídá o typu vozidla. Při více

		přijatých CAM zprávách je možné z dat přímo vidět skladbu dopravního proudu.
	Poloha vozidla	X Přímo odvoditelné z výstupních dat. V CAM zprávě je poloha označena zeměpisnými souřadnicemi a jsou dohledatelné v datovém bloku <code>cam.referencePosition element</code>
	Směr jízdy	X Přímo odvoditelné z výstupních dat. V CAM zprávě je hodnota uvedena ve stupních v datovém poli <code>its.headingValue</code>
<p>X<sup>1</sup> – Pouze za podmínky využití dvou detektorů  X<sup>2</sup> – Lze určit z klasifikace vozidla, není přesné  X<sup>3</sup> – Lze určit dalším zpracováním dat</p>		

Tabulka 13 - Veličiny detekovatelné C-ITS technologií a odkazy na veličiny v datovém vzorku

Z tabulky 13 lze vyčíst, že surová data získána C-ITS technologií neobsahují mnoho dopravních veličin. Nicméně díky architektuře C-ITS je možné velké množství dopravních veličin odvodit následným zpracováním dat. Předpoklad, že délku vozidla a výšku vozidla lze přesně detekovat pomocí C-ITS technologie je mylný. Tyto veličiny je možné odvodit z atributu `StationType`, nicméně tato metoda detekce může být nepřesná obdobně jako u klasifikace vozidel metodou indukčních smyček. CAM zprávy obsahují navíc atribut `cam.vehicleWidth` jež dává informaci o šířce vozidla, která může být použita například pro upozornění, že vozidlo chce vjet do ulice jejíž šířka je menší než šířka vozidla.

Nutno zmínit, že tabulka 13 ve velké většině dopravních veličin odkazuje na možné způsoby pomocí nichž by se daly některé dopravní veličiny zjistit post-zpracováním. Je to z toho důvodu, že v současné podobě C-ITS systému není způsob určení těchto veličin implementován. Proto tato práce může sloužit i jako teoretický podklad pro rozšíření C-ITS systému o tyto možnosti detekce dopravních parametrů. Datový vzorek z `GeoNetworking` vrstvy bohužel nebylo možné získat, protože v aktuální podobě systému je to pouze podpůrný prostředek a není nikde zobrazován.

## 4.4 Shrnutí analýzy

V této části budou všechny poznatky z minulé kapitoly doplněny do tabulky 8, aby bylo přehledné, jaké dopravní veličiny je možné konkrétní detekční metodou získat. Tato kapitola bude rozdělena na dvě podkapitoly, přičemž v první bude zobrazeno, jaké dopravní veličiny je konkrétní metodou detekce možné detekovat pouze přímým měřením. V druhé bude zobrazeno, jaké dopravní veličiny je konkrétní metodou detekce možné detekovat i následným zpracováním dat.

#### 4.4.1 Dopravní veličiny získány pouze přímým měřením

V tabulce 14 jsou uvedeny pouze veličiny, jež je možné konkrétní metodou detekce detekovat pouze přímým měřením. Použití dvou detektorů je bráno jako přímé měření, stejně tak jako vyčítání veličin z klasifikace vozidel. Tato tabulka vychází z datových vzorků, jež jsou zobrazeny v kapitolách 4.1 – 4.3.

		Indukční smyčka	FCD technologie	C-ITS
Veličiny	Zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	X	X	X
	Rychlost [km/h]	X	X	X
	Ujetá vzdálenost [m]		X	
	Doba jízdy [s]	X	X	
	Intenzita [voz/h]	X		
	Hustota [voz/km]		X	
	Časový odstup [s/voz]			
	Délkový odstup [m/voz]			
	Přítomnost na detektoru [-]	X		
	Obsazenost detektoru [%]	X		
	Délka vozidla [m]	X		X
	Výška vozidla [m]	X		X
	Hmotnost vozidla [t]			
	Skladba dopravního proudu [%]	X		
	Poloha vozidla		X	X
	Směr jízdy	X	X	X

Tabulka 14 - veličiny jež je možné získat pouze přímým měřením určitou technologií  
[Vlastní tvorba]

Z tabulky 14 je zřejmé, že metoda jež poskytuje nejvíce dopravních veličin přímým měřením je metoda detekce indukční smyčkou.

## 4.4.2 Dopravní veličiny získány konkrétní metodou detekce

Tabulka 15 obsahuje výsledek analýzy této práce, jež je zobrazení které dopravní veličiny je možné získat určitou metodou detekce doplněné o poznatky z kapitol 4.1-4.3.

		Indukční smyčka	FCD technologie	C-ITS
Veličiny	Zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	X <sup>1</sup>	X	X
	Rychlost [km/h]	X <sup>1</sup>	X	X
	Ujetá vzdálenost [m]		X	X <sup>3</sup>
	Doba jízdy [s]	X <sup>1</sup>	X	X <sup>3</sup>
	Intenzita [voz/h]	X		X <sup>3</sup>
	Hustota [voz/km]	X <sup>1,3</sup>	X	X <sup>3</sup>
	Časový odstup [s/voz]	X <sup>3</sup>		X <sup>3</sup>
	Délkový odstup [m/voz]	X <sup>3</sup>		X <sup>3</sup>
	Přítomnost na detektoru [-]	X		X <sup>3</sup>
	Obsazenost detektoru [%]	X		X <sup>3</sup>
	Délka vozidla [m]	X		X <sup>2</sup>
	Výška vozidla [m]	X <sup>2</sup>		X <sup>2</sup>
	Hmotnost vozidla [t]			
	Skladba dopravního proudu [%]	X <sup>2</sup>		X <sup>3</sup>
	Poloha vozidla		X	X
Směr jízdy	X <sup>1</sup>	X	X	
<p>X<sup>1</sup> – Pouze za podmínky využití dvou detektorů  X<sup>2</sup> – Lze určit z klasifikace vozidla, není přesné  X<sup>3</sup> – Lze určit dalším zpracováním dat</p>				

Tabulka 15 - veličiny získané Indukční smyčkou, FCD technologií a C-ITS doplněna o poznatky z kapitol 4.1 – 4.3 [Vlastní tvorba]

Z tabulky 15 je zřetelné že nejvíce dopravních veličin je možné získat C-ITS technologií, ovšem velkou většinu veličin je možné získat pouze následným zpracováním dat, jak ukazují poznámky v tabulce.

## Závěr a výhled do budoucna

Z analýzy provedené v této práci lze dojít k závěru, že C-ITS technologie nabízí velké možnosti v oboru určování chování dopravního proudu. Díky univerzálnosti hybridních jednotek je možné získat dopravní veličiny téměř z jakékoliv jednotky jež je umístěna v provozu. Zároveň lze C-ITS použít jak na bodovou detekci, tak na snímání dopravních veličin, jež jsou odesílány vozidly. V tomto ohledu vytváří C-ITS systém unikátní metodu detekce, jež kombinuje dvě detekční metody dohromady. Velkou většinu dopravních veličin je při použití detekce touto technologií nutné dopočítat následným zpracováním dat. Pokud by byla podmínka získání dopravních veličin pouze přímým měřením, jeví se jako nejvhodnější varianta metoda detekce indukční smyčkou

Technologie je ale výrazně limitována penetrací jednotek do vozidel. Bez velké penetrace do vozidel je výrazně snížena kvalita dopravních informací detekována touto metodou. Mnohem více je na penetraci závislá bodová detekce než snímání dopravních veličin z vozidel. Při bodové detekci průjezdu vozidel je nutné, aby byly jednotky umístěny ve všech vozidlech, jež detekční zónou projíždějí, jinak průjezd tohoto vozidla nebude zaznamenán. 100% penetrace vozidel C-ITS jednotkami není v příštích několika letech, ani výhledově do budoucna příliš reálná. Proto detekce bodových průjezdů z hlediska počtu vozidel není příliš využitelná.

C-ITS technologie ovšem může velmi přínosně posloužit jako komplementární technologie k aktuálně používaným detekčním prvkům. Pokud by C-ITS byl rozšířen o funkci, jež by dokázala zpracovávat data odesílána z hybridních jednotek a k tomu zpracovávat data z ostatních aktuálně používaných detekčních prvků, mohl by poskytovat svým uživatelům velmi přesné informace o dopravním proudu. Zároveň by tato funkcionality mohla výrazně zvýšit atraktivitu C-ITS a tím mít za následek zvýšený zájem o instalaci hybridních jednotek do vozidel. Což by pozitivně přispělo k penetraci jednotek do vozidel a zároveň zvýšilo kvalitu poskytovaných dopravních informací.

Návrh architektury rozšiřující C-ITS o funkcionality zpracovávat data z více datových zdrojů a poté data poskytovat uživateli může být námětem další diplomové práce, jež by našla základní informace právě v této bakalářské práci.

# Seznam použité literatury

- [1] TICHÝ, J. *Vztahy základních charakteristik dopravního proudu: Základní údaje o dopravním proudu* [online], 7 [cit. 2020-07-20]. Dostupné z: [http://kds.vsb.cz/krivda/www-di\(vb3-dos\)/02-dopr-proud.pdf](http://kds.vsb.cz/krivda/www-di(vb3-dos)/02-dopr-proud.pdf)
- [2] FALTUS, Vladimír. Řízení silniční dopravy. Prezentace prezentována: [Online v prostředí MS teams; 2020 Březen 4; Praha, Česká republika.]
- [3] NÁVRH ZPŮSOBU ŘÍZENÍ DOPRAVY V CHYTRÝCH MĚSTECH [online]. Brno, 2015 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=105137](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=105137). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Radek Fajdiak.
- [4] POLCAR, Miroslav. Prvky aktivní bezpečnosti motorových vozidel a kriminalistické stopy. Ministerstvo vnitra České republiky [online]. 2008 [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://www.mvcr.cz/clanek/prvky-aktivni-bezpecnosti-motorovych-vozidel-a-kriminalisticke-stopy.aspx>
- [5] PŘIBYL, Ondřej. *Detektory zasahující do vozovky: úvod do detekce* [online]. Ústav aplikované matematiky. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta dopravní [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://zolutarev.fd.cvut.cz/mzd/ctrl.php?act=show,file,23843>
- [6] POUZAR, Vladimír. Vozidlové detektory: typy, rozdělení, funkce. *Správa veřejného statku Plzeň* [online]. 2010, 26. srpna [cit. 2020-07-21]. Dostupné z: <http://www.svsmp.cz/svetelna-signalizace/vozidlove-detektory-typy-rozdeleni-funkce.aspx>
- [7] JEČMEN, Aleš. *Monitorování dopravního proudu plovoucími vozidly* [online]. Praha, 2015 [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63794/F6-DP-2015-Jecmen-Ales-masters\\_thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63794/F6-DP-2015-Jecmen-Ales-masters_thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. Vedoucí práce Doc. Ing. Josef Kocourek PhD.
- [8] Google: mapy [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/>
- [9] Google: globema [online]. [cit. 2020-07-22]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/>
- [10] Národní registr dopravních informací: Zdroj: DATEX II Elaborated Data Publication - FCD data [online]. [cit. 2020-07-28]. Dostupné z: [http://registr.dopravniinfo.cz/cs/sources/cz-ndic\\_d2-fcd/](http://registr.dopravniinfo.cz/cs/sources/cz-ndic_d2-fcd/)
- [11] Typy C-ITS systémů. C-ROADS Czech republic [online]. Praha [cit. 2020-07-30]. Dostupné z: <https://c-roads.cz/systemy-c-its/typy-c-its-systemu/>
- [12] C-ROADS: Use-Case katalog. Verze 1.52. Praha, 2019.



[13] C-ROADS: Specifikace systému. Verze 1.5. Praha 2018.

[14] ETSI TS 102 637-2. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications;; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service. V1.2.1. France: ETSI, 2012.

[15] ETSI EN 302 636-4-1. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking;; Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications; Sub-part 1: Media-Independent Functionality. V1.3.1. France: ETSI, 2017.