



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Michal Panský

Datová analýza a zhodnocení pilotního testování C-ITS v rámci
projektu C-ROADS

Bakalářská práce

2022

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K614..... Ústav aplikované informatiky v dopravě

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Michal Panský

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – ITS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Datová analýza a zhodnocení pilotního testování C-ITS v rámci projekt C-ROADS**

Název tématu (anglicky): Data Analysis and Evaluation of the C-ITS Pilot Test within the C-ROADS Project

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Vypracujte rešerši C-ITS systémů a významných pilotních projektů této technologie, včetně projektu C-ROADS CZ.
- Analyzujte možnosti zdrojů dat pro datovou analýzu z projektu C-ROADS CZ a popište možnosti datové analýzy.
- Na vhodných datech z pilotního testování provedte datovou analýzu se zaměřením na technické a funkční zhodnocení projektu.
- Zhodnoťte realizovanou datovou analýzu a zjištěné závěry.
- Navrhněte doporučení pro další rozvoj



Rozsah grafických prací: 10 - 20 obrázků

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Odborné časopisy
Internetové zdroje

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Mlada, MSc.
Ing. Martin Šrotýř, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce:

8. října 2021

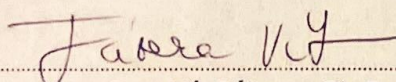
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

30. listopadu 2022

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


.....
doc. Ing. Vít Fábera, Ph.D.

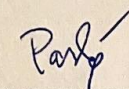
vedoucí
Ústavu aplikované informatiky v dopravě




.....
prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.

děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....
Michal Panský
jméno a podpis studenta

V Praze dne 8. srpna 2022

Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval svým dvěma vedoucím Ing. Michalu Mladovi, MSc. a Ing. Martinu Šrotýřovi, Ph. D. za jejich ochotu a velmi cenné rady v rámci konzultací při psaní mé bakalářské práce. V neposlední řadě patří obrovské poděkování mojí rodině a nejbližším přátelům, kteří mě podporovali a motivovali v těžkých chvílích během celého bakalářského studia.

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 informační 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 30. listopadu 2022

.....
Podpis

Michal Panský

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Datová analýza a zhodnocení pilotního testování C-ITS v rámci
projektu C-ROADS

Bakalářská práce

Listopad 2022

Michal Panský

Abstrakt

Předmětem bakalářské práce je datová analýza a zhodnocení pilotního testování C-ITS v rámci projektu C-ROADS. Aby mohla být pochopena důležitost C-ITS systémů, je nezbytně nutné vysvětlit princip jejich fungování a zmínit testování ve významných pilotních projektech této technologie a také v samotném projektu C-ROADS. Dále práce analyzuje možnosti zdrojů dat pro datovou analýzu a popisuje možnosti datové analýzy, kterou provede po vytěžení vhodných dat. Na těch následně proběhne samotná datová analýza se zaměřením na technické a funkční zhodnocení projektu. V závěru dojde k poukázání na zjištěné nedostatky a zároveň na pozitivní vliv C-ITS systémů na dopravu.

Klíčová slova

Kooperativní dopravní systémy, C-ITS, C-ROADS CZ, V2V, V2I, OBU, RSU, datová analýza

Abstract

The subject of the bachelor thesis is data analysis and evaluation of the pilot testing of C-ITS within the C-ROADS project. In order to understand the importance of C-ITS systems, it is necessary to explain the principle of their operation and mention the testing in important pilot projects of this technology and in the C-ROADS project itself. Furthermore, the thesis analyses the possibilities of data sources for data analysis and describes the data analysis, that will be carried out once suitable data has been extracted. On these, the actual data analysis will then be carried out, focusing on the technical and functional evaluation of the project. It will conclude by highlighting the identified shortcomings as well as the positive impact of C-ITS systems on transport.

Key words

Cooperative transport systems, C-ITS, C-ROADS CZ, V2V, V2I, OBU, RSU, data analysis

Obsah

Seznam použitých zkratek	9
1 Úvod	12
2 C-ITS systémy.....	13
2.1 Rozbor způsobu komunikace C-ITS	14
2.1.1 Vehicle 2 Vehicle – V2V	14
2.1.2 Vehicle 2 Infrastructure – V2I.....	14
2.1.3 Vehicle 2 Everything – V2X.....	15
2.2 Technologické prvky C-ITS.....	15
2.2.1 On Board Unit – OBU.....	15
2.2.2 Road Side Unit – RSU.....	15
2.2.3 C-ITS back office – BO.....	15
2.2.4 Road Vehicle Unit – RVU	16
2.3 Typy zpráv.....	16
2.3.1 Cooperative Awareness Messages CAM	16
2.3.2 Decentralized Enviromental Notification Message DENM.....	16
2.3.3 In-Vehicle Information IVIM	17
2.3.4 Signal Phase and Timing SPAT	17
2.3.5 Map Topology MAP	17
2.3.6 Signal Request Extended Message SREM.....	17
2.3.7 Signal Status Extended Message SSEM	17
2.3.8 Basic Safety Message BSM	18
2.3.9 Probe Data Management PDM	18
2.3.10 Probe Vehicle Data PVD	18
2.3.11 Personal Safety Message PSM.....	18
2.3.12 Traveler Information TIM	18
2.3.13 Intersection Collision ICA.....	18
2.4 Komunikační technologie	19
2.4.1 Wi-Fi – IEEE 802.11.....	19
2.4.2 WAVE IEEE 802.11p.....	20
2.4.3 Dedicated Short-Range Communications DSRC.....	20
2.4.4 ITS-G5	21
2.4.5 Mobilní síť.....	21
2.4.6 Hybridní komunikace.....	22
2.5 Služby C-ITS.....	23

2.5.1	Služby Day 1.....	23
2.5.2	Služby Day 1,5.....	26
2.6	Realizované C-ITS projekty	27
2.6.1	SCOOP.....	27
2.6.2	C-ITS Corridor	28
2.6.3	InterCor.....	29
2.6.4	Nordic Way	30
2.6.5	C-ROADS	31
3	Datová analýza a zhodnocení	39
3.1	Možnosti zdrojů dat	39
3.2	Technické a funkční zhodnocení	40
3.2.1	Wireshark export.....	40
3.2.2	Tvorba zdrojových kódů	43
3.2.3	Analyzování výstupů dat.....	52
4	Závěr.....	64
5	Zdroje a použitá literatura.....	65
6	Seznam obrázků	70
7	Seznam tabulek	71
8	Seznam příloh.....	71

Seznam použitých zkratk

3G	Třetí generace mobilních telekomunikačních technologií
4G	Čtvrtá generace mobilních telekomunikačních technologií
5G	Pátá generace mobilních telekomunikačních technologií
BKOM	Brněnské komunikace
BO	Back office
BSM	Basic Safety Message
CA	Carrier Agregation
CAM	Cooperative Awarenesss Message
CCRW	Cooperative Collision Risk Warning
CEF	Connecting Europe Facility
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport Systems
ČVUT	České vysoké učení technické
D2D	Device to Device
DCC	Decentralized Congestion Control
DENM	Decentralized Environmental Notification Message
DSRC	Dedicatted short-range communication
DSSS	Direct-Sequence Spread Spectrum
DT	Deployment & Test Areas
EBL	Emergency Break Light
ETS	European Telecommunications Standard Institute
EU	Evropská unie
MWW	Mainteance Vehicle Warning
EVA	Emergency Vehicle Approaching
GLOSA	Green Light Optimal Speed
GPS	Globální polohový systém
HLN	Hazardous Location Notification
HMI	Human Machine Interface
ICA	Intersection Collision
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
iFuel	Information on Fueling & charging stations for alternative fuel vehicles
ISO	International Organization for Standardization
ITS	Intelligent Transport Systems
IVIM	In-Vehicle Information

IZS	Integrační záchranný systém
LŘD	Liniové řízení dopravy
LTE	Long Term Evolution
LTE-A	Long Term Evolution Advanced
LTEV-V	Long Term Evolution for vehicles
LZM	Loading Zone Management
MAP	Map Topology
MCA	Media Access Control
MHD	Městská hromadná doprava
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
OBU	On Board Unit
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
P&Ride	Park and Ride information
PDM	Probe Data Management
PDZ	Proměnné dopravní značení
Pinfo	Off street parking information
PMang	On street parking management and information
PSM	Personal Safety Message
PTVS	Public transport safety
PVD	Probe Vehicle Data
RLX	Railway level crossing
RSU	Road Side Unit
RVU	Road Vehicle Unit
RWW	Road works warning
RX	Received messages
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
SIGv	Signal Violation
SmartR	Traffic information and smart routing
SPAT	Signal Phase and Timing
SREM	Signal Request Extended Message
SSEM	Signal Status Extended Message
SSÚD	Středisko správy a údržby silnic
SSV	Slow or stationary vehicle warning
SSZ	Světelné signalizační zařízení
SWD	Shockwave Damping

TIM	Traveler Information
TJW	Traffic Jam ahead Warning
TLP	Public transport preference
TMC	Traffic management center
TSP	Traffic Signal Priority for designated vehicles
TTG	Time to green
TX	Transmitted messages
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
V2X	Vehicle to Everything
VMO	Velký městský okruh
VRU	Vulnerable Road User
VSGN	In-Vehicle Signage
VSPD	In-Vehicle Speed Limits
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments
WEP	Wired Equivalent Privacy
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WPA	Wi-Fi Protected Access
WPS	Wi-Fi Protected Setup
WTC	Weather Conditions
WWD	Wrong Way Driving
ZAC	Zone Access Control for Urban areas

1 Úvod

Silniční doprava se za poslední desítky let rozrostla natolik, že k roku 2019 se odhaduje počet pouze osobních vozidel na 1,4 miliardy. Každým rokem se stává tento druh dopravy dostupnější pro lidstvo. Na rozdíl od jiných druhů dopravy je omezeno její využití. Osobní vozidla a jiné silniční prostředky se mimo ojedinělých případů mohou pohybovat pouze po zpevněných cestách, které nejdou vzhledem ke geografickým podmínkám vytvořit na každém místě planety. Silniční doprava umožňuje lidem přepravit se během relativně krátké doby mezi středně vzdálenými místy. Na větší distance už jsou známy rychlejší a zároveň i komfortnější typy dopravních prostředků. Narozdíl od jiných druhů dopravy se ta silniční vyznačuje největší nehodovostí. V průběhu let byly vynalezeny různé technologie pro zajištění větší bezpečnosti dopravy, komfortu uživatelů silničních prostředků, zkrácení jízdního času a regulace ekologických rizik spojených s provozováním dopravy. [1] Relativně za všemi, i když třeba nepřímo, výše zmíněnými důsledky mohou stát i kooperativní inteligentní dopravní systémy (dále C-ITS), kterými se bude tato bakalářská práce primárně zabývat. [2]

C-ITS jsou dopravní systémy, které vzdáleně komunikují mezi dvěma nebo více podsystémy ITS. Základem fungování C-ITS je výměna dat a předávání informací o aktuálním dění na dopravní komunikaci mezi samotnými vozidly a také mezi vozidly a nepohyblivými zařízeními, která jsou umístěna na silniční infrastruktuře nebo vedle ní. Nutno říci, že pomocí získaných dat o prostředí a jiných vozidlech mohou upozornit v reálném čase ostatní účastníky silničního provozu na potenciální nebezpečí, ale samotná následující řidičova reakce je již pouze na něm. [2]

Potenciál v aplikaci digitálních technologií a C-ITS viděla i Evropská unie, která se snažila o vytvoření propojené a automatizované mobility. Evropská komise tudíž od roku 2014 pracovala na vytvoření dokumentu, který následně schválila v roce 2016, nazývajícím se Evropská strategie kooperativních dopravních systémů. Cílem strategického plánu je vytvořit jednotný evropský regulační rámec pro fungování C-ITS, zaručit bezpečné používání digitálních technologií, vytvořit návrh týkající se kybernetické bezpečnosti a podpořit financování projektů pracujících na rozvoji C-ITS v Evropské unii.[3]

Hlavní motivací této práce je srozumitelně popsat a přiblížit, jak fungují C-ITS systémy, na jakém principu probíhá jejich vzájemná komunikace a jaká je jejich prospěšnost pro uživatele silniční dopravy. Následně také rozebere nejvýznamnější projekty pracující na rozvoji a implementaci C-ITS. Práce se opírá o naměřená data z pilotního testování v rámci tuzemského projektu C-ROADS CZ, se kterými se provede datová analýza pro bližší popis technického a funkčního zhodnocení projektu.

2 C-ITS systémy

Kooperativní inteligentní dopravní systémy (C-ITS) pracují obecně na principu komunikace mezi samotnými vozidly a také mezi vozidly a nepohyblivými zařízeními na silniční dopravní infrastruktuře, popřípadě vedle ní. V dnešním moderním světě již vozidla dosahují takové kvality, že za jízdy dokážou generovat spoustu dat ve srovnání s minulými roky. Právě tato data by rády využily C-ITS systémy k rychlému kooperování nejen mezi vozidly pro rychlé a spolehlivé předávání informací řidičům před jízdou, ale i během jízdy. [2] [4]

Pomocí včasného předání kvalitních informací může mít řidič více času na reakci při kritické situaci například při snížené viditelnosti (mrholení, prudký déšť, mlha), kde by mohl jednoduše přehlédnout stojící vozidlo nebo jiné nebezpečné prvky na infrastruktuře. Technologická pomoc nemusí spočívat pouze v bezpečnostních aspektech, ale zároveň vede ke zvýšení komfortu a snížení ekonomického dopadu jízdy. Řidič může být obeznámen o nehybné kongesci a systém mu navrhne objízdnu trasu pro zkrácení jízdní doby. Tento fakt souvisí i se skutečností, že dojde ke snížení ekologických následků spojených s několika stojícími vozidly v kongesci se zapnutým motorem. Dalším příkladem může být notifikace o nečekaném objektu na komunikaci nebo přizpůsobení trajektorii jízdy s blížící se jízdou vozidla záchranného integrovaného systému. [5] [4]

C-ITS k přenášení informací využívají bezdrátovou komunikaci na krátkou vzdálenost (např. Wi-Fi) nebo variantu na delší vzdálenost prostřednictvím mobilních sítí (např. 5G, LTE). Jednotlivé použité technologie pro sdílení dat také práce rozebírá. [2] [5]

Nedílnou součástí vývoje kooperativních dopravních systémů, obecně technologií, je standardizace a provádění testování v rámci více pilotních projektů. Standardizace je důležitá hlavně proto, že v dnešní době se po celém světě vyrábí miliony aut pod několika různými značkami a je třeba zajistit, aby všechny byly kompatibilní s novými technologiemi kdekoliv. Mezi organizace, které se podílejí na vytváření standardů pro C-ITS systémy patří hlavně ETSI, IEEE a ISO. Navržené standardy se testují v rámci většinou několika pilotních projektů. Výsledky testů se analyzují a slouží pro budoucí úpravu systému a jeho další vývoj. [5]

2.1 Rozbor způsobu komunikace C-ITS

C-ITS systémy jsou založené na nejmodernější bezdrátové komunikaci jako je LTE/LTE-A (celulární neboli buňkové spojení) a další již využitelné datové sítě mobilních operátorů jako 3G, 4G a nejnovější 5G. Mobilní sítě pod třetí generací, která je vhodná pro použití jen pro některé C-ITS služby, už se nevyužívají kvůli jejich zastaralým výkonnostním parametrům. Na kratší vzdálenosti se především využívá ITS-G5, což je evropská sada protokolů založená na standardu, který se využívá také pro Wi-Fi, IEEE 802.11. U ITS-G5 se používá technologie zvaná DSRC (vyhrazená komunikace na krátkou vzdálenost) a pro ni je v Evropě vyhrazeno pásmo o frekvenci 5,9 GHz. Rozšířením zmíněného standardu 802.11 je 802.11p, který byl optimalizován pro využití právě v automobilovém prostředí. [4] [5] [6]

V nejlepším případě se v kombinaci již zmíněných technologií využívá tzv. hybridní komunikace, která se skládá jak z technologií určených pro krátkou vzdálenost, tak i z technologií pro delší vzdálenost. [5]

Ve vozidlové jednotce a na silniční infrastruktuře jsou všechny tyto technologie nainstalovány, a právě díky nim jednotky komunikují pomocí předem definovaných zpráv. Pro bezdrátovou komunikaci vozidel mezi sebou, popřípadě se zařízeními v okolním prostředí, existují tři způsoby. [2]

2.1.1 Vehicle 2 Vehicle – V2V

V2V je komunikace vozidla s jinými vozidly v jeho blízkosti, která probíhá pomocí jednotky On Board Unit (OBU) a umožňuje vozidlům v reálném čase vyměňovat si informace o jejich rychlosti, geografické poloze a směru jízdy. Tyto informace mají posléze varovat řidiče před možným zakrytým dopravním proudem při špatné viditelnosti, nepřehledným prostředím a pomoci mu předejít vzniku nehody. Vozidlo zároveň pouze nepřijímá informaci pro vlastní užitek, ale také ji šíří v omezeném prostředí ostatním vozidlům. [2] [4] [5]

2.1.2 Vehicle 2 Infrastructure – V2I

V2I je zkratka pro komunikaci vozidla se zařízeními, která jsou instalována na dopravní infrastruktuře. Celá komunikace probíhá pomocí vozidlové jednotky OBU a stanice Roadside Unit (RSU) umístěné na infrastruktuře. Data získaná pomocí RSU stanic jsou zasílána do státních správ/center, které s nimi dále pracují. Příkladem může být regulace maximálního limitu rychlosti na proměnném dopravním značení při zvýšené hustotě vozidel v blížícím se úseku pro zlepšení propustnosti dané silniční komunikace. Jednotlivé informace se mohou dále týkat aktuálního stavu vozovky, dopravní kongesce, dopravní nehody nebo také dostupnosti parkovacích ploch. [2]

2.1.3 Vehicle 2 Everything – V2X

Ve své podstatě se jedná o komunikaci vozidla se vším, což může zahrnovat chodce, sítě a další existující stanice/zařízení v okolí vozidla. Komunikace V2X je primárně vnímána jako zásadní pro autonomní řízení. [7]

2.2 Technologické prvky C-ITS

Komunikace probíhá v zásadě mezi třemi základními typy C-ITS jednotek (komponentů). Prvním z nich je OBU jednotka, která sbírá informace z vozidla, vyhodnocuje je a zasílá jednotkám na infrastruktuře RSU. Ty si vyměňují data s dopravním centrem (C-ITS back office BO) a zároveň slouží pro přenos dat na delší vzdálenost k dalším OBU jednotkám. C-ITS BO v podstatě komunikuje obousměrně se všemi komponenty C-ITS systému. Tudíž přijaté zprávy vyhodnocuje, archivuje a důležitá data distribuuje zpět do RSU a pomocí nich také do OBU jednotek. [5]

2.2.1 On Board Unit – OBU

OBU je jednotka umístěná přímo ve vozidle sloužící ke komunikaci V2V a V2I. Právě pomocí zmíněné komunikace je její preferencí sbírat, ukládat, vyhodnocovat data a sdílet je dalším OBU a RSU jednotkám a také BO pomocí RSU jednotek. Palubní jednotka také komunikuje se samotným vozidlem za účelem získání informací o počasí, stavu komunikace a dění na vozovce z jeho senzorů. Nasbíraná data jsou vzápětí předávána řidiči. K zobrazení je nejčastěji využíváno HMI (Human Machine Interface). Aplikace může být zjednodušeně řešená pomocí klasického infotainmentu ve vozidle, chytrého telefonu nebo tabletu. [5]

2.2.2 Road Side Unit – RSU

Jedná se o nehybnou komunikační jednotku umístěnou na infrastruktuře nebo v její bezprostřední blízkosti – sloup veřejného osvětlení, portál dopravního značení a další vhodná a pro provoz bezpečná místa. RSU mají za cíl distribuovat získané zprávy z BO v blízkosti nacházejícím se OBU jednotkám a naopak do BO dodávat získaná data z OBU. Zároveň slouží jako prostředník komunikace mezi dvěma a více OBU jednotkami. [5] [2]

2.2.3 C-ITS back office – BO

Back office, někdy také využíváno značení TMC (Traffic management center), je základním prvkem pro správné fungování celého C-ITS systému. Zasílají se sem veškerá získaná data o stavu dopravy a o případných hrozbách pomocí RSU jednotek. Data se dále analyzují pro zpětnou distribuci příslušným RSU jednotkám a dalším prvkům postaveným níže v systému. BO komunikuje i s dalšími

dopravně řídicími centry pro co maximální zkvalitnění dat. V BO se získaná data také archivují pro případnou zpětnou analýzu. [5]

2.2.4 Road Vehicle Unit – RVU

Jednotky RVU jsou umístěny ve vozidlech správců silniční komunikace, vozidlech sloužících pro údržbu komunikace a pojezdných vozíčkách. RVU představuje takový hybrid, který se ohledně funkcí nachází na rozhraní mezi jednotkami OBU a RSU. Tudiž RVU dokáže zajišťovat komunikaci mezi dalšími RVU jednotkami jako stanice OBU a zároveň plnit funkci zmíněné RSU jednotky pro výměnu dat s BO. [5] [2]

2.3 Typy zpráv

Vozidla vybavená C-ITS jednotkami vysílají v prostředí zprávy jak vozidlům v rámci V2V komunikace, tak infrastruktuře V2I nebo dalším možným subjektům v rámci V2X. Pro zajištění správného porozumění daným zprávám při využívání více typů zařízení od různých dodavatelů bylo nutné standardizovat zprávy. V rámci kooperativních dopravních systémů jsou generovány tyto druhy zpráv.

2.3.1 Cooperative Awareness Messages CAM

Zprávy typu CAM jsou pravidelně vysílány všemi vozidly do stanic infrastruktury a do ostatních vozidel v jejich okolí pro vytvoření povědomí a zvýšení kooperace vozidel v silniční síti. Celá komunikace probíhá v tzv. broadcast módu, kdy není určena adresace konkrétnímu objektu. Obsah každé zprávy vždy záleží na typu OBU jednotky, která zprávu odesílá. Jsou dány základní informace, které CAM zpráva musí obsahovat – pozice a směr pohybu vozidla, čas a typ vozidla. Dále mohou obsahovat atributy jako rozměry vozidla, jeho roli v silničním provozu, aktivované systémy vozidla a další. Tyto zprávy slouží především k vyhodnocování rizika kolize vozidla s ostatními účastníky provozu. CAM zprávy jsou stanicemi odesílány a přijímány do/z BO, kde probíhá komplexnější analýza dat pro nabídnutí kvalitnějších služeb. Frekvence zasílání zpráv pro OBU jednotky by neměla klesnout pod 100 ms a zároveň nevystoupat nad 1000 ms. Frekvence pro RSU jednotky by se měla pohybovat v intervalu rovno či vyšší než 1000 ms. Celé to ale záleží na pohybu vozidel a zahlcení komunikačního kanálu. [5] [8]

2.3.2 Decentralized Enviromental Notification Message DENM

DENM zprávy přenášejí informace na základě signálu nějakého „spouštěče“. Pomocí takového druhu zprávy dochází k varování účastníků silničního provozu o mimořádných situacích, které vznikly na dopravní komunikaci – např. dopravní nehoda, práce na silnici, dopravní kongesce, informace o počasí, stavu vozovky a další. Zprávy mohou být zaznamenány jinými vozidly a jednotkami na infrastruktuře. DENM zpráva je pravidelně vysílána do doby, dokud je příslušná situace aktuální.

Vysílání DENM zprávy může být přerušeno, pokud je předem stanovena doba platnosti události a ta již vyprší, nebo pokud C-ITS jednotka vyšle mimořádnou DENM zprávu ke zrušení dané situace. [5] [9]

2.3.3 In-Vehicle Information IVIM

Pomocí zprávy IVIM se zasílají do vozidla informace o pevném a proměnném dopravním značení na silniční komunikaci – např. proměnné dopravní značení PDZ na portálech liniového dopravního značení LŘD. Jednotlivé IVIM zprávy jsou generovány přímo v RSU jednotce nebo v BO C-ITS, odkud se odešlou do příslušných RSU stanic a ty je dále šíří do vozidlových jednotek. [5]

2.3.4 Signal Phase and Timing SPAT

SPAT zpráva slouží k informování účastníků provozu o aktuálním stavu světelného signalizačního zařízení umístěného v křižovatce. Obsahuje informace o délkách jednotlivých signalizačních cyklů, pomocí čehož dokáže předat řidiči informaci o času do změny k další fázi. SPAT zpráva bývá vytvořena v RSU stanici nacházející se v blízkosti světelného signalizačního zařízení, a tudíž i jeho dopravního řadiče. Zpráva SPAT je ve vozidlové jednotce OBU zpracovávána společně se zprávou MAP, pomocí čehož dokážou určit stav světelné signalizace pro jednotlivé pruhy komunikace. Díky těmto informacím může OBU jednotka doporučit řidiči rychlost, kterou je vhodné projet danou křižovatkou. [5] [10]

2.3.5 Map Topology MAP

Pomocí MAP zprávy jsou přenášeny informace ze RSU stanic do OBU jednotek o poloze a topologii křižovatkových úseků a o geometrii celé komunikace spolu s jejími atributy. Dále se využívají pro popis jednotlivých dopravních pruhů v křižovatkách. [5] [11]

2.3.6 Signal Request Extended Message SREM

SREM zprávy fungují na bázi preference jízdy vozidel dopravy. Vozidla, která mohou žádat o preferenční jízdu, musí být předem definovaná – např. vozidla MHD nebo vozidla integrované záchranné služby. Vozidlo, které přijíždí ke konkrétnímu světelnému signalizačnímu zařízení, odešle požadavek směrem k umístěné RSU jednotce, která je napojená na řadič SSZ. Zpráva je dále použita k optimalizaci signálního plánu a fáze „Volno“ konkrétního vozidla pro urychlení průjezdu křižovatkovým úsekem. SREM zpráva je vždy adresná pro konkrétní SSZ a obsahuje identifikační číslo křižovatky. [5] [11]

2.3.7 Signal Status Extended Message SSEM

Zprávy typu SSEM se používají k vyjádření odpovědi požadavku příchozí SREM zprávy – udělení nebo zamítnutí preference SSZ. Tento druh zprávy generuje RSU jednotka nacházející se v blízkosti SSZ

pomocí získaných informací z příslušného dopravního řadiče. Platí pro ně, že jsou také adresné jako zprávy SREM. [5] [11]

2.3.8 Basic Safety Message BSM

BSM zprávy jsou používány pro bezpečnostní službu V2V, V2I a V2X aplikací. Obsahuje soubor dat, ve kterém se nacházejí informace o poloze vozidla, směru jízdy, o rychlosti a další informace týkající se stavu vozidla – např. zrychlení, stav brzdění, velikost vozidla. Vybavená vozidla odesílají informace ve frekvenci 10 Hz. [12] [11]

2.3.9 Probe Data Management PDM

PDM zprávy jsou sbírány vozidlovými jednotkami a zasílány do RSU stanic, které je mohou rozšířit do BO pro analyzování dopravního toku a dalších služeb pomocí PVD zpráv. Vozidlo sbírá data o dopravním toku, aktuálních klimatických podmínkách a dalších vzniklých situacích na silniční komunikaci. [11] [13]

2.3.10 Probe Vehicle Data PVD

PVD se využívá pro hlášení nahromaděných informací vygenerovaných vozidlem, které je sdílí prostřednictvím V2I komunikace do RSU jednotky. Nasbírané dopravní údaje lze použít pro analýzu dopravního toku a následné přímé řízení provozu, které bude optimální pro plynulost dopravy a vyhnutí se vytvořeným kongescím – např. stanovení maximální rychlosti na úsecích v intravilánu s proměnným dopravním značením PDZ. [13] [11] [14]

2.3.11 Personal Safety Message PSM

Zpráva typu PSM se využívá pro sdílení informací o tzv. VRU Vulnerable Road User (zranitelných účastnících provozu) a zabránění potenciálnímu střetu s vozidlem. Mezi VRU patří chodci, cyklisti a pracovníci údržby na komunikaci. [11] [15]

2.3.12 Traveler Information TIM

Pomocí TIM zprávy dochází k varování řidičů vozidel o vzniklých nehodách na komunikacích a o plánovaných údržbách a stavebních úpravách komunikace. TIM lze použít také jako upozornění na zhoršené počasí, změnu maximální povolené rychlosti, vyskytující se dopravní značení, stav vozovky v konkrétní oblasti. Obecně lze definovat, že zvyšuje bezpečnost průjezdu daným úsekem komunikace. Veškerá zmíněná data jsou poskytována řidičům pomocí HMI získaných z RSU jednotek. [11] [16]

2.3.13 Intersection Collision ICA

Zdrojem ICA zprávy mohou být jak vozidla, tak i zařízení na infrastruktuře. ICA slouží k informování ostatních účastníků provozu o blížící se kolizi na křižovatce – např. zakázaný průjezd vozidla

na červený signál „Stůj“ nebo porušení dopravní značky P6 („Stůj, dej přednost v jízdě!“). Konkrétní data jsou získána primárně pomocí OBU jednotky vozidla, které porušilo dopravní značení, popřípadě i RSU stanice, která je v křižovatkách synchronizována s řadičem SSZ. [11] [17]

2.4 Komunikační technologie

Základním stavebním kamenem C-ITS systémů jsou technologie, pomocí kterých dochází ke komunikaci a sdílení informací mezi jednotkami v reálném čase. Bez využití vhodných technologií by nebylo možné zajistit správnou funkčnost celého systému. Z principu fungování C-ITS systémů, kdy se vozidla neustále pohybují a potřebují vysílat a přijímat desítky dat, se počítá pouze s bezdrátovou komunikací. V dnešní době máme více možností bezdrátového spojení. Rádiové sítě se využívají nejčastěji a jejich dosah činí až desítky kilometrů. U optických bezdrátových sítí je dosah „pouze“ několik km, ale zase se vyznačují vysokou přenosovou rychlostí. Poslední možností jsou infračervené sítě, které se vyznačují velmi malým dosahem, ale za to větší bezpečností proti již zmíněným typům. Obecně je u bezdrátové komunikace potřeba také zajistit určité hodnoty parametrů, mezi které patří primárně přenosová rychlost, pokrytí, latence, spolehlivost a další. V následujících podkapitolách jsou vyjmenovány základní standardy pro bezdrátovou komunikaci. [18] [19] [4]

2.4.1 Wi-Fi – IEEE 802.11

IEEE 802.11 je sada standardů (značených jako Wi-Fi) nejrozšířenější alternativy bezdrátové komunikace mezi objekty na střední a krátké vzdálenosti, která byla vyvíjena 11. pracovní skupinou IEEE standardizační komise IEEE 802. IEEE je mezinárodní organizace pracující na vývoji technologií v elektronickém inženýrství. [18] [20]

Obecně Wi-Fi využívá pro propojování zařízení, a tudíž vyměňování dat rádiové vlny. V podstatě nepotřebují žádné fyzické (kabelové) připojení mezi zařízeními. Ve skutečnosti její princip spočívá ve vytváření elektromagnetického pole v anténě a následného šíření v prostoru. Zařízení se poté propojují prostřednictvím bezdrátových přístupových bodů. Výhoda standardu spočívá v jednoduchosti a kompatibilitě (např. s Ethernetem). Další výhodou je její využívání v rádiovém spektru 2,4 GHz a 5 GHz, které se ve většině zemí řadí do veřejného/bezlicenčního pásma. Ve srovnání s dnešními standardy dřívější verze nabízely mnohonásobně horší parametry. Vývojem se ale dopracovala k technologii, která je jak cenově, tak i dostupností přístupná pro široké spektrum uživatelů. V dnešním světě se využívání Wi-Fi pokládá za základní a prostoupené několika obory. [18]

Historicky se vznik prvotního standardu Wi-Fi IEEE 802.11 datuje k roku 1997. Od této doby se ale počet podobných standardů rozšířil na verze 802.11 a, b, g, n, ac, ad, ax, které se také označují jako Wi-Fi 0 až Wi-Fi 7. Do budoucna je oznámeno vytvoření dalšího navazujícího standardu IEEE

802.11be, také jako Wi-Fi 7. Ve zmíněných standardech se primárně odlišují použité technologie maximální přenosovou rychlostí, frekvenčním pásmem, šířkou kanálu a aplikovanými modulačními schémata – např. DSSS, OFDM, MIMO OFDM. Dále se odlišují vlastnostmi zabezpečení sítě – WEP, WPA/WPA2/WPA3 a WPS. Pro představu a srovnání IEEE 802.11 byla vybavena maximální přenosovou rychlostí 2 Mbit/s a naopak nejnovější standard IEEE 802.11ax dosahuje až 9608 Mbit/s. [18]

2.4.2 WAVE IEEE 802.11p

Standard se začal vyvíjet od roku 2004 jako doplněk ke dříve zmíněnému standardu IEEE 802.11 pro bezdrátové připojení vozidel, které je potřeba při aplikaci C-ITS systémů. Konkrétně se jedná o komunikační systém ve vozidle WAVE (Wireless Access In Vehicular Environments). 802.11p vychází z existujícího standardu 802.11a a jeho komunikace se pohybuje v regulovaném pásmu ITS 5,850-5,925 GHz. V tomto pásmu pracuje především kvůli zahlcenosti bezlicenčních pásem, což zajišťuje bezproblémové využití služeb. Standard využívá 10 MHz kanálů a celkem obsahuje 64 pásem, kde pro sdílení informací používá 48 subnosných pásem, z čehož jsou 4 pásma pilotní a 12 volných. Interval OFDM symbolu je dvakrát větší oproti standardu 802.11a, 82 mikro sekund. Vzhledem k možnému poklesu přenosové kapacity umožňuje mobilitu až do 240 km/h. Při kódování 64 QAM nabývá maximální přenosové kapacity 27 Mbps. Aby bylo možné neustálé připojování a odpojování nových objektů při pohybujících se vozidlech na komunikaci, obsahuje zjednodušené připojení WBSS (WAVE Basic Service Set). [18] [21] [22]

802.11p byl později přejet jako základ pro DSRC (Dedicated Short-Range Communications) a následně i ITS-G5. V současné době je jedním z nejvíce používaných technologií v C-ITS systémech. [18]

2.4.3 Dedicated Short-Range Communications DSRC

V překladu vyhrazená komunikace na krátkou vzdálenost je technologie obousměrného bezdrátového přenosu dat navržená speciálně pro využívání v dopravě na krátké až středně dlouhé vzdálenosti. Udávaná hodnota komunikačního dosahu se pohybuje kolem 1000 metrů s maximální přenosovou rychlostí dosahující 27 Mbps. Výhodou této technologie je nízká latence, odolnost vůči klimatickým podmínkám a její vysoká mobilita i přes výskyt překážek a rychle se měnící prostředí v rychlostech až 500 km/h. DSRC je standardizovaná a nejvíce otestovaná komunikační technologie pro aplikování v kooperativních systémech, primárně pro komunikace V2V a V2I. [23] [24] [25]

DSRC technologie se využívá ve dvou od sebe odlišných pásmech – 5,8 GHz a 5,9 GHz. První typ DSRC 5,8 GHz operuje na frekvenci 5,795-5,815 GHz. V Evropě a také v Japonsku je primárně spojen

s výběrem elektronického mýta. Od DSRC se v této oblasti již upouští kvůli přechodu na satelitní výběr mýta, popřípadě na hybridní režim, který spočívá v kombinaci mikrovlnných jednotek a GPS. [23] [26] [27]

DSRC 5,9 GHz bylo v Americe, kde se dodnes nejvíce využívá, roku 1999 přidělené frekvenční pásmo 5,850-5,925 GHz o šířce spektra 75 MHz. V Evropě bylo pro ITS společností ETSI (European Telecommunications Standards Institute) alokováno spektrum 70 MHz pro pásmo v intervalu 5,855-5,925 GHz. [28] [27]

2.4.4 ITS-G5

ITS-G5 je přístupová technologie založená na standardu IEEE 802.11, jeho pozdějším rozšířením 802.11p a technologii DSRC na frekvenci 5,9 GHz. Je vytyčená pro bezdrátovou komunikaci vozidel s infrastrukturou (V2I) a vozidel mezi sebou (V2V), které mají zabudované jednotky OBU a RSU. ITS-G5 byla definována společností ETSI v roce 2004. Standard funguje na principu decentralizovaného způsobu řízení kongescí DCC (Decentralized Congestion Control) a pomocí ad-hoc sítě. DCC řídí sdílení signálu jednotlivých zařízení, aby nedošlo k přehlcení a tvoření kongescí při velkém množství komunikujících uživatelů. Výhodami ITS-G5 je bezpochyby nízké zpoždění a interoperabilita, schopnost komunikovat s různými systémy. [5] [29] [2]

2.4.5 Mobilní sítě

Počátek bezdrátové komunikace pomocí celulární označované také jako buňkové rádiové sítě se datuje k roku 1979, kdy byl do provozu uveden první systém v Americe. V Evropě byl zaveden poprvé až o 2 roky později v roce 1981 a jeho růst pokračoval do celého světa. Buňkové uspořádání spočívá v soustavě buněk, které se navzájem překrývají, a dochází ke spojování kanálů do pravidelně se opakujících clusterů. Největší výhodou tohoto typu uspořádání je možnost pokrytí ploch větších rozměrů a možnost využít stejnou frekvenci vícekrát i při zachování počáteční vzdálenosti mezi buňkami, které operují na stejných frekvencích. [30] [18] [31]

Technologie tohoto typu bezdrátové komunikace prošla od dřívějších let zásadním vývojem. Od analogové 1. generace označované jako 1G, která přenášela pouze hlasovou službu s textovými zprávami, až po nejnovější verzi 5G. Pro C-ITS systémy jsou nejdůležitější technologie 4. a 5. generace, které jsou následně ve zkratce rozebrány. [18]

2.4.5.1 Technologie 4G

4. generace mobilní technologie se primárně zaměřovala na navýšení přenosových rychlostí s vyšší mobilitou zařízení pro aplikaci, která vyžaduje vysokou přenosovou rychlost. Mezi takové aplikace lze zařadit multimédia, videa, hry. [27] [18]

Nyní je zde popsána technologie LTE-A (LTE-Advanced), která patří mezi hlavní části 4. generace. LTE-A bylo standardizováno roku 2011 skupinou 3GPP v rámci Release 10 a je vylepšením klasického LTE (Long Term Evolution). Činila se v této době přenosovou rychlostí 1 Gb/s pro downlink a 500 Mb/s pro uplink s latencí méně než 5 ms a trojnásobnou průměrnou propustností uživatelů než u dřívějšího LTE. Důležitým technologickým posunem je aplikace CA (Carrier Agregation) a MIMO. CA Carrier Agregation umožňuje spojení až pěti datových nosičů i s různými šířkami pásem (1, 3, 5, 10, 15, 20 MHz) na maximální šířku pásma 100 MHz. Využití CA navyšuje maximální možnou přenosovou rychlost uživatelů. MIMO zefektivňuje spektrální účinnost a datovou propustnost použitím většího počtu vysílacích a přijímacích antén, které komunikují mezi sebou. Konkrétně se jedná o aplikaci MIMO 8x8 pro downlink a 4x4 pro uplink. [18] [32] [27]

2.4.5.2 Technologie 5G

5. generace bezdrátového sdílení dat byla poprvé spuštěna v Jižní Korei roku 2019 a při jejím vývoji se kladl důraz na splnění osmi klíčových požadavků na parametry a zároveň na podporu komunikace V2X, pro kterou jsou k dispozici technologie LTE-V a D2D. Maximální přenosová rychlost by měla dosahovat hodnot až 10 Gb/s, což ve srovnání s předchozí generací 4G může být až 100násobné navýšení. Mezi další požadavky patří nízká latence 1ms, vysoká spolehlivost dosahující až 99,999 %, ultra vysoké pokrytí nabývající téměř 100 %. Důležité je také zmínit, že má nabízet až 100násobně více připojených zařízení na jednotku plochy. [18]

5G využívá vyšší rádiové frekvence, které jsou méně zahlcené, a z toho plyne navýšení přenosové rychlosti. Dále využívá technologii MIMO (Multiple Input Multiple Output), která spočívá v možnosti používání více antén pro příjem i vysílání. Mezi další velmi důležité aplikace, kterými 5G disponuje, je D2D (Device To Device) komunikace. Princip spočívá v autorizaci dvou zařízení pro přímou komunikaci mezi nimi. [33] [18]

LTE-V neboli LTE-Vehicles je technologie vyvinutá konkrétně pro C-ITS systémy, přímo pro komunikaci vozidel V2X. Do budoucna technologie počítá i s nasazením autonomních vozidel a platooningu s vysokým nárokem na sdílení map a senzorů. LTE-V obsahuje dvě nová rozhraní. První podporuje komunikaci V2I a druhé komunikaci mezi vozidly V2V, která je založená na přímém spojení vozidel. Pro komunikaci V2V byly speciálně navrženy dva módy – 3 a 4. V módu 3 správa buňkové rádiové sítě vybírá rádiové zdroje, které jsou využívány právě pro spojení V2V. Naopak v módu 4 si rádiové zdroje vybírají sama vozidla, a tudíž není pro funkčnost potřeba celulárního pokrytí. [34]

2.4.6 Hybridní komunikace

V C-ITS systémech je další možností sdílení dat tzv. hybridní komunikace, která spočívá ve využívání více komunikačních technologií dohromady za účelem zkvalitnění služeb a zvýšení jejich spolehlivosti.

Mezi nejvyužívanějšími způsoby hybridní komunikace je propojení ITS-G5 a mobilních sítí. ITS-G5 je používáno na sdílení zpráv na krátkou vzdálenost a pro delší vzdálenosti se už využije mobilních sítí. Právě zmíněné nejčastější spojení technologií zajišťuje nízkou latenci a zároveň velký dosah. [5] [35]

2.5 Služby C-ITS

Služby C-ITS jsou služby, které jsou poskytovány uživatelům C-ITS systémů – např. upozornění na nebezpečná místa, informace o možnostech tankování a další. C-ITS platforma se v rámci Evropské komise dohodla na seznamu služeb, který je rozdělený do dvou kategorií – „Day 1 a Day 1,5. Služby, které jsou v seznamu zahrnuty, mají jasně danou strukturu zasílaných dat pro implementování a zajištění správné funkčnosti po celé Evropě. Jednotlivé pilotní projekty si poté vybíraly jednotlivé služby, které ve své zemi chtěly aplikovat. [36] [37] [38] [39]

2.5.1 Služby Day 1

Služby Day 1 jsou zařazené do seznamu jako první, protože jsou brány jako nejdůležitější pro implementaci do C-ITS systémů z hlediska zvyšování bezpečnosti účastníků dopravního provozu. [38]

2.5.1.1 Emergency electronic brake light EBL

Nouzové elektronické brzdové světlo v aplikaci V2V má pomoci předcházet srážkám při prudkém brzdění pomocí zaznamenání náhlého snížení rychlosti brzdícího vozidla. Řidič „zadního“ vozidla dostane upozornění o prudkém zabrzdění vozidla před ním a může rychleji reagovat. Aplikace je nejúčinnější při hustém dopravním provozu nebo ve chvílích, kdy je snížená viditelnost. [40] [38]

2.5.1.2 Emergency vehicle approaching EVA

Vozidla integrovaného záchranného systému (IZS) se potýkají při jízdě na místo nehody s mnoha nebezpečnými situacemi – nerespektování/špatné vytvoření záchranné uličky, přehlédnutí blížícího se vozidla IZS. Služba EVA upozorní účastníky dopravního provozu vysláním zprávy o blížícím se vozidlu IZS, což umožní rychleji a správně reagovat na průběh. Tím se vozidlu IZS zajistí hladší průjezd po dopravní komunikaci. Upozornění bude šířeno pomocí OBU jednotky jedoucího vozidla komunikací V2V, ale i RSU jednotkou pro větší dosah. [41] [42]

2.5.1.3 Slow or stationary vehicle warning SSV

Informace s určením rychlosti, geografických souřadnic a důvodu onoho počínání o pomaleji jedoucím nebo stojícím vozidle bude zasílána do BO, která data zanalyzuje a informaci bude rozesílat prostřednictvím vhodných prostředků – notifikace do vozidla pomocí HMI, proměnné dopravní

značení a další. Služba je opět vhodná hlavně do nepřehledných úseků, v situacích se sníženou viditelností s největším uplatněním v úsecích, kde se ostatní vozidla pohybují vysokou rychlostí. [43] [38]

2.5.1.4 Traffic jam ahead warning TJW

Služba TJW slouží k odhalení dopravní kongesce, která se tvoří překročením kapacity komunikace, a k informování blížících se účastníků dopravního provozu o jejím výskytu. Řidiči dostanou informace o poloze dopravní kongesce, velikosti a délce trvání. Díky tomu můžou uzpůsobit rychlost a připravit se na případné zastavení, popřípadě změnit trasu jízdy. [44] [38]

2.5.1.5 Hazardous location notification HLN

Následkem dopravních nehod často bývají nebezpečná místa, o kterých řidič předem nemá informaci. Může se jednat o špatný stav komunikace, vyskytující se zvěř či osobu na komunikaci nebo o nebezpečný směrový oblouk či případně nebezpečí smyku. Jedná se primárně o typy nebezpečí, která nemají samostatnou službu. HLN varuje blížící se řidiče prostřednictvím nacházejících se RSU jednotek o typu nebezpečí a místě, aby tomu mohli přizpůsobit soustředění a aktuální rychlost. [38] [5] [45]

2.5.1.6 Road works warning RWW

Další službou související s bezpečností je upozornění účastníků dopravního provozu na vyskytující se práce na silnici. RWW prostřednictvím komunikace V2I a RSU varuje vozidla o blížící se práci na vozovce. Jedná se hlavně o krátkodobá uzavření jízdních pruhů, která řidič nemusí správně předvídat. [46] [47]

2.5.1.7 Weather conditions WTC

BO získává data o aktuálním počasí pomocí meteorologických čidel kolem komunikace a senzorů vozidel a následně je vysílá RSU jednotkám pro distribuci k řidičům a pro zvýšení bezpečnosti jejich jízdy. Dojde tak k přípravě řidičů na nepříznivé počasí – např. silný déšť, mlha, náledí, silný boční vítr. [48]

2.5.1.8 In-vehicle signage VSGN

VSGN je služba vykonávaná prostřednictvím komunikace V2I, která pomocí HMI ve vozidle informuje řidiče o dopravním značení před ním nebo o těch, která nejsou dobře viditelná kvůli jejich špatnému umístění. Data do vozidla jsou zasílána z BO. [48] [47]

2.5.1.9 In vehicle speed limits VSPD

Pomocí služby VSPD a komunikace V2I jsou zasílána data o maximální povolené rychlosti. Notifikace o rychlostním omezení jsou ukazovány prostřednictvím HMI v blízkosti začátku omezení nebo nepřetržitě v konkrétním úseku při nerespektování ze strany řidiče. Data jsou uchovávána v databázi BO. [48] [47]

2.5.1.10 Probe vehicle data PVD

Služba PVD spočívá ve sbírání zpráv o vozidle (rychlost, poloha, směr jízdy, kategorie), které jsou následně odesílány do BO. Data jsou využita pro analýzy, tvorbu dopravních modelů a pozdější aplikaci přímo do dopravy – např. identifikace důvodu vzniku kongescí, regulace maximální povolené rychlosti. [48]

2.5.1.11 Shockwave damping SWD

Služba SWD se především zaměřuje na zvýšení plynulosti dopravy předcházením tvoření tzv. rázových vln. V podstatě jde o to doporučit řidičům pomocí RSU jednotek optimální rychlost na dálnicích a rychlostních komunikacích, aby se předcházelo neustálému prudkému snižování a následnému zvyšování rychlosti vozidel. [48] [49]

2.5.1.12 Green light optimal speed advisory GLOSA/Time to green TTG

Jak už z názvu služby vyplývá, GLOSA poskytuje řidičům doporučení o optimální rychlosti pro plynulý průjezd křižovatkou, která je řízená SSZ, v zeleném signálu. Informace získává z RSU jednotky, která se nachází poblíž křižovatky se SSZ a má informace o fázích. [48]

2.5.1.13 Signal violation/Intersection safety SIGv

SIGv služba poskytuje řidičům informace na křižovatkách se SSZ o aktuálním signálu a zároveň upozorňuje ostatní řidiče, pokud dojde k průjezdu jiného vozidla na červený signál „Stůj“. Veškerá data jsou získávána pomocí OBU jednotky, která zaznamenává jízdní rychlost vozidla, a sdílení dat z RSU jednotky u křižovatky. Díky této službě může dojít při nerespektování signálu „Stůj“ k zamezení dopravním nehodám s vozidly přijíždějícími do křižovatky z jiného směru. [48]

2.5.1.14 Traffic signal priority request by designated vehicles TSP

U této služby se jedná o vylepšení preference MHD pomocí C-ITS systémů. RSU stanice s dostatečným předstihem detekuje příjezd systémově preferovaných vozidel (MHD, IZS) a efektivně upraví signální plán křižovatky pro jejich plynulý průjezd. Tímto způsobem se zajistí několikanásobné zkrácení jejich jízdní doby. [48]

2.5.2 Služby Day 1,5

Day 1,5 služby jsou na rozdíl od Day 1 zaměřené na zvyšování komfortu jízdy a zlepšení podpory poskytované řidiči při řízení. [38]

2.5.2.1 On street parking management and information PMang

Řidič prostřednictvím PMang dostane informaci o parkování v městských částech. Hlavními výhodami je ušetření času při hledání volného místa při nízkých rychlostech a s tím související snížení emisí a zvýšení plynulosti dopravy ve městech. Informace bude vozidlo získávat pomocí komunikace V2I. [48]

2.5.2.2 Off street parking information Pinfo

Služba PMang naopak informuje řidiče o dostupnosti parkovacích míst na parkovištích. Celá komunikace probíhá opět mezi vozidlem a stanicemi na infrastruktuře. [48]

2.5.2.3 Park and Ride information P&Ride

P&Ride navede řidiče na parkoviště, kde nebude plná kapacita. Princip služby je zaparkovat a pro následnou dopravu využít jiných typů dopravy – např. městská hromadná doprava, sdílená jízdní kola a další. [48] [50]

2.5.2.4 Information on Fuelling and charging stations for alternative fuel vehicles iFuel

Cílem této služby je informovat o čerpacích a nabíjecích stanicích na pozemní komunikaci. Dále poskytuje řidičům navigaci do stanice i vzhledem k jeho aktuálnímu množství pohonných hmot a informace o jejich dostupnosti. Jako u předchozích služeb spojených s parkováním řidič získává data prostřednictvím komunikace V2I. [48]

2.5.2.5 Traffic information and smart routing SmartR

Jak už z názvu vyplývá, služba SmartR nabízí informace o dopravním proudu a komunikaci – hustota, maximální povolená rychlost a další. Pomocí dat umožní optimalizaci trasy pro zkrácení jízdního času, zvětšení efektivity provozu a plynulosti dopravy. [48]

2.5.2.6 Zone access control for urban areas ZAC

Pomocí ZAC řidič získá data o přístupu do specifických zón v zastavěných oblastech. Bude tak moci optimalizovat trasu jízdy pro vyhnutí se např. uzavírkám ulic nebo mostů. Data získá z BO pomocí komunikace se stanicemi na komunikacích. [48]

2.5.2.7 Loading zone management LZM

Služba LZM zahrnuje podporu společností zabývajících se přepravou nákladu. Umožní tak zarezervovat si dostatečné parkovací místo pro nákladní vozidlo. [48]

2.5.2.8 Vulnerable road user protection (pedestrians and cyclists) VRU

Aplikování VRU servisu napomáhá k upozornění řidičů na zranitelné účastníky dopravy, mezi které patří chodci a cyklisté. Účastník je identifikován prostřednictvím chytrého telefonu a následnou komunikací V2X je řidič upozorněn ke dbání zvýšené pozornosti před zranitelným účastníkem. V oblastech, kde není dostatečně vystavěná infrastruktura pro cyklisty a chodce, může služba napomoci k předcházení dopravním nehodám s vážnými následky. [48]

2.5.2.9 Cooperative collision risk warning CCRW

Varování pomocí CCRW a komunikace V2V snižuje riziko kolize mezi vozidly – např. při předjíždění nebo řazení do slučujících se pruhů. [48]

2.5.2.10 Motorcycle approaching indication MCA

Služba MCA je aplikována pro zvýšení bezpečnosti a zabránění kolizím mezi motocykly a ostatními vozidly prostřednictvím komunikace V2V. [48]

2.5.2.11 Wrong way driving WWD

Aplikace WWD je zaměřená na varování řidičů před nesprávně zvoleným způsobem řízení. Varování před nebezpečím obdrží samotný řidič při vjezdu do protisměru a zároveň také ostatní řidiči. [48]

2.6 Realizované C-ITS projekty

Na evropském, ale i celosvětovém poli se k testování C-ITS systémů přihlásilo několik zemí v rámci vícero projektů. Realizované pilotní projekty jsou stručně popsány a na konec této kapitoly je zaměřen na projekt C-ROADS v evropských zemích, primárně na českém území.

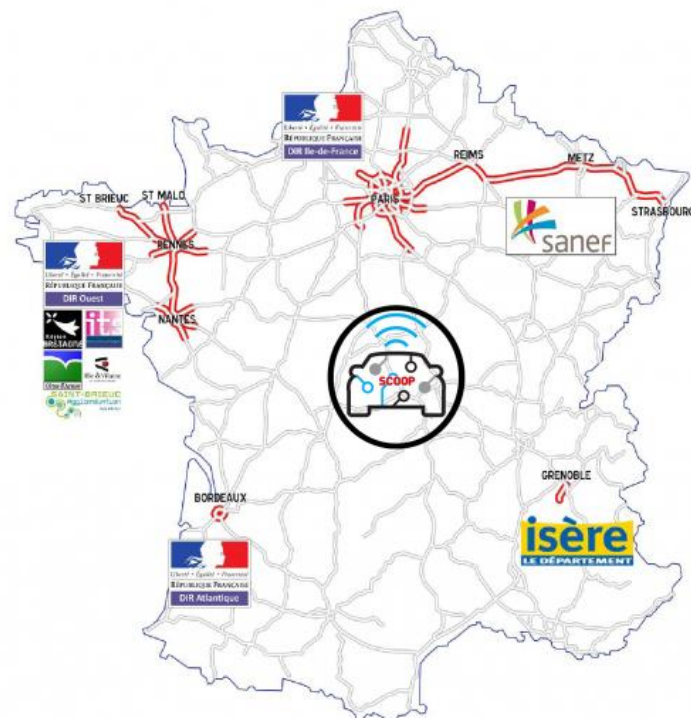
2.6.1 SCOOP

Projekt SCOOP, také někdy označovaný jako projekt SCOOP@F (Système Coopératif Pilote @ France), probíhal na celém území Francie mezi lety 2014-2018. Jeho hlavním cílem bylo pomocí kooperativních dopravních systémů zvýšit bezpečnost silniční dopravy a zaměstnanců při pracích a údržbě na komunikacích. Projekt patřil do skupiny evropských projektů, byl spolufinancovaný Evropskou unií a na jeho provedení se podílelo několik partnerů (francouzské ministerstvo prostředí, energie a oceánů, některé francouzské univerzity a laboratoře, automobilové společnosti a další). [48] [51]

Projekt byl rozdělen do dvou fází. První fáze, která probíhala od roku 2014 do roku 2015, měla za cíl určit standardy a služby, které se budou testovat. Druhá fáze, která logicky navazovala na práci v předešlé fázi, se už soustředila na implementaci a testování vybraných technologií C-ITS. Ve druhé fázi docházelo také ke spolupráci s evropskými zeměmi při přeshraničním testování (Španělsko, Portugalsko, Rakousko). [51]

Do testování bylo zapojeno přibližně 3000 vozidel vybavených technologiemi C-ITS na francouzské silniční síti o rozloze 2000 km. Samotné testování probíhalo na pěti zvolených místech se specifickými odlišnostmi (povrch a kvalita silnice, rozložení dopravního toku): [51]

- Île-de-France zahrnující síť kolem Paříže a druhý s třetím pařížským okruhem
- „Koridor Est“ nacházející se mezi Paříží a Štrasburkem
- Západ Francie (originální název ve francouzštině Ouest) procházející městy Nantes, Rennes, Saint-Malo a Saint-Brieuc
- Městský okruh Bordeaux (rozšířením projektu COMPASS 4D)
- Silniční síť Isère skládající se z odlehlejších komunikací



Obrázek 1 - Pilotní lokality projektu SCOOP [51]

Sdílení dat probíhalo prostřednictvím hybridní technologie ITS-G5 v kombinaci s mobilními sítěmi operátorů. V OBU i RSU jednotce byla zabudovaná technologie Wi-Fi IEEE 802.11p na frekvenci 5,9 GHz. Pokud by došlo k výpadku, existovalo náhradní technologické spojení pomocí mobilních sítí (3G, 4G), které bylo také využíváno na méně vytižených komunikacích. [48] [51]

2.6.2 C-ITS Corridor

Mezi roky 2013-2017 probíhal další C-ITS projekt s názvem C-ITS Corridor. Tentokrát projekt nabýval většího měřítka v počtu zapojených států. Zúčastnilo se ho Nizozemí, Německo a Rakousko spolu se

společnostmi z automobilového průmyslu a operátory komunikace. Cílem projektu bylo vytvořit koridor přes zmíněné státy, který by přispěl ke zvýšení bezpečnosti, komfortu a efektivity dopravy. [48] [52]

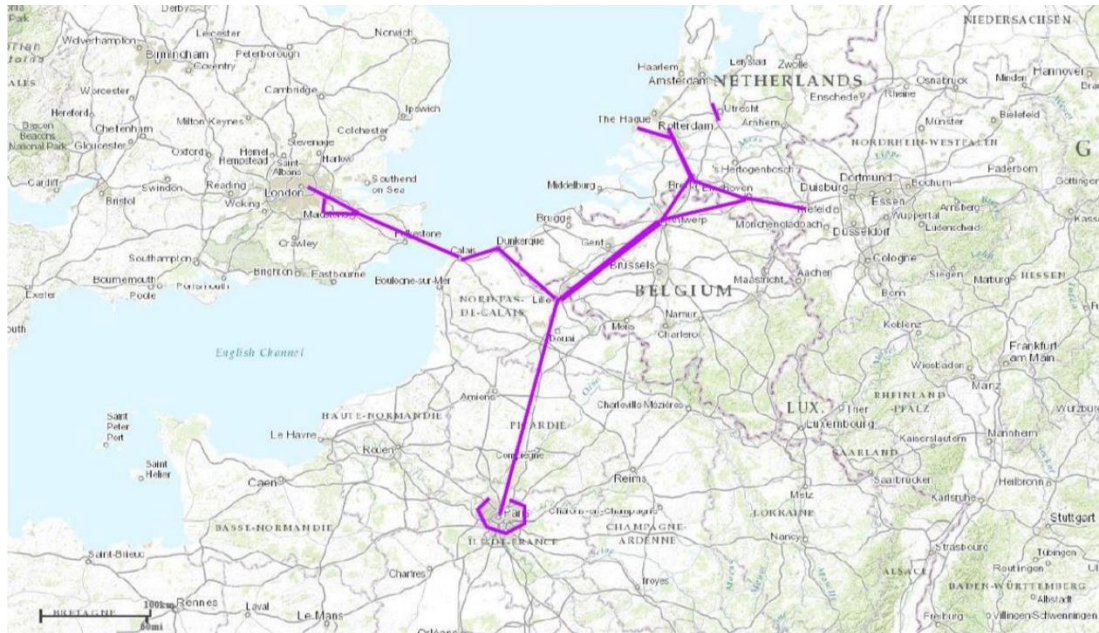
Počátek koridoru byl v Rotterdamu v Nizozemí a vedl přes německý Frankfurt nad Mohanem až do Vídně v Rakousku. Aplikovaly a testovaly se primárně dvě konkrétní služby – RWW (Road works warning) a PVD (Probe vehicle data). Dále se projekt rozšiřoval o služby ze seznamu „Day 1, Day 1,5“ jako např. VSPD (In vehicle speed limits). Ke komunikaci mezi OBU a RSU stanicemi bylo využito technologií Wi-Fi 802.11p na frekvenčním pásmu 5,9 GHz a celulární sítě prostřednictvím 3G a 4G. [48] [52]



Obrázek 2 – Pilotní lokalita C-ITS koridoru [52]

2.6.3 InterCor

InterCor (Interoperable Corridors) byl tříletý (2016-2019) evropský projekt spolufinancovaný Evropskou unií pod záštitou CEF (Connecting Europe Facility). Hlavním cílem InterCoru bylo propojení francouzského projektu SCOOP, C-ITS koridoru v Nizozemí, britského koridoru London-Dover a belgické C-ITS iniciativy ve Flandrách. Zároveň do projektu byla zapojena také platforma C-ROADS pro rychlejší a rozsáhlejší rozvoj a implementaci kooperativních systémů a služeb v Evropě. [53]



Obrázek 3 - Propojené lokality členských zemí projektu InterCor [27]

Projekt také cílil na rozšíření specifikace při použití komunikačních technologií na všech zmíněných koridorech. Jednalo se o technologie ITS-G5, celulární sítě a jejich kombinaci v rámci hybridní komunikace. Do projektu bylo implementováno konkrétních sedm C-ITS služeb: [54]

- In-vehicle signage VSGN
- Probe vehicle data PVD
- Road works warning RWW
- Signal violation/Intersection safety SIGv (v Belgii v testovacím režimu)
- Multimodal cargo transport optimisation (pouze v Nizozemí a Francii)
- Truck parking (pouze v Nizozemí a Francii)
- Tunnel logistics (pouze v Nizozemí)

2.6.4 Nordic Way

Nordic Way je pilotní projekt C-ITS severovýchodních zemí Finska, Švédska, Dánska a Norska, který je také spolufinancovaný Evropskou Unií, CEF. Nordic Way si klade za cíl otestovat kooperativní dopravní systémy v severovýchodních podmínkách, zvážit dopady, náklady, což by při jejich potenciálním úspěchu vedlo k rozšíření C-ITS systémů po Evropě. Projekt se z technologického hlediska zaměřil na využití mobilních sítí (3G, 4G) s otestováním interoperability služeb „Day 1 a Day 1,5“ mezi více zeměmi prostřednictvím roamingu. Zajímalo ho, zda bude stávající vybudovaná mobilní síť dostatečná bez výrazných investic do silniční komunikace. Dále ke komunikaci podporoval ITS-G5, vzhledem k vyššímu zpoždění technologií 3G/4G oproti již teď nově vybudované 5G, kterou by využíval

pro bezpečnostní služby s nutnou rychlou odezvou. Posledním komunikačním řešením, kterým se zabýval, byla hybridní komunikace. [55] [56]

Projekt má zatím celkově tři části, které na sebe navazují:

- Nordic Way – 2015-2017
- Nordic Way2 – 2017-2020
- Nordic Way3 – 2019-2023 – Poslední část projektu stále probíhá a pokračuje v budování evropské interoperability C-ITS služeb [56]

2.6.5 C-ROADS

Platforma C-ROADS je projekt hned několika evropských států v Evropské unii (EU), který si dal za cíl testovat a implementovat C-ITS systémy v Evropě vzájemnou spoluprací k dosažení interoperability. Projekt byl odstartován v září 2016, kdy se do něj postupně zapojilo 18 členských států EU – Rakousko, Belgie (Vlámsko, Valonsko), Česká republika, Dánsko, Finsko, Francie, Německo, Řecko, Maďarsko, Irsko, Itálie, Nizozemí, Norsko, Portugalsko, Španělsko, Slovinsko, Švédsko a Velká Británie. Dále se projektu připojilo 6 států (associated members) – Chorvatsko, Izrael, Nový Zéland, Austrálie, Švýcarsko a Turecko. [57]



Obrázek 4 - Pilotní projekty C-ROADS v Evropě [57]

Projekt zavedl technické a funkční požadavky a vytvořil minimální seznam služeb, které v jednotlivých pilotních projektech měly být implementovány do systému. To celé bylo právě vytvořeno za již zmíněnou interoperabilitou, aby produkt mohl mít využíván v jakékoliv členské zemi projektu. Požadavky a pravidla platila pro členské země i při vyhodnocování bezpečnosti a účinnosti projektů, aby nedošlo k „chybným“ výsledkům při porovnávání a finální analýze. Pro komunikace bylo použito již existujících mobilních sítí operátorů a technologie ITS-G5. Pro celou bakalářskou práci by nemělo význam popisovat všechny pilotní projekty. Proto jsou popsány dva vybrané projekty a následně podrobněji projekt C-ROADS v České republice. [57]

2.6.5.1 Německo

Německo se zapojilo do platformy hned v jejím počátku nasazením C-ITS technologií na dvou pilotních místech v Dolním Sasku a Hesensku. Testování v těchto dvou lokalitách skončilo v průběhu let 2019-2020 a navázala na ně implementace systémů v dalších třech lokalitách – Hamburg, Kassel v Hesensku a Drážďany. Ve zmíněných lokalitách testování některých služeb skončilo nebo je plánovaný konec do 2023. [58]

V Hesensku byly nasazeny silniční stanice na 280 km Rýnsko-alpinského koridoru kolem Frankfurtu, které postupně zaznamenávaly 7 různých služeb – PVD, RWW, SWD, TJW, GLOSA, EVA, MVW (Maintenance vehicle warning). [58] [60]

Dolní Sasko implementovalo pouze tři služby na osmi kilometrech koridoru (dálnice A2) v okolí Braunschweigu a dále na čtrnácti kilometrech dálnice A39. Jednalo se o služby PVD, IVS, MVW. [58]

2.6.5.2 Rakousko

Rakouské C-ROADS od začátku šlo o co nejdříve nasazení a zprovoznění C-ITS technologií na všech důležitých komunikacích. Hlavní pilotní lokalitou byl 300 km dlouhý úsek dálnice z Vídně, přes Linz, až do Salzburgu. Dále byly systémy implementovány i na dálnicích v okolí Grazu a Innsbrucku (A12, A13). Ke komunikaci byly využívány mobilní sítě operátorů a technologie ITS-G5. Na výše zmíněných dálnicích byly z use case katalogu využívány služby jako SSVW, TJW, OHLN, RWW a další. [59] [60]

2.6.5.3 Česká republika

Na konci roku 2015 právě Česká republika spolu s Německem a Rakouskem iniciovala vznik platformy C-ROADS. Cílem českého projektu bylo otestovat C-ITS technologie na českých pozemních komunikacích a pár vybraných železničních přejezdech, které by vedly ke zvýšení bezpečnosti, snížení nehodovosti a zvýšení plynulosti dopravy. Národní testování nakonec přerostlo až k tzv. cross-site testování, pomocí kterého došlo na ověření mezinárodní interoperability. Pro přímou komunikaci

mezi stanicemi byla využívána hybridní komunikace ITS-G5 s mobilními sítěmi 4G LTE. V rámci vývoje celulárních sítí v C-ITS budou testovány také technologie LTE-V a LTE-B. [5] [2]

Pro podporu testování a vývoje pokrokových systémů a technologií se do projektu C-ROADS CZ zapojilo několik partnerů, ať už ze státních institucí, akademických organizací nebo soukromých firem. Partneři C-ROADS CZ a jejich role [2]:

- Ministerstvo dopravy – koordinátor projektu
- ŘSD Ředitelství silnic a dálnic České republiky – aplikační subjekt Ministerstva dopravy, implementace kooperativních dopravních systémů k pilotnímu provozu do stanovených lokalit
- Brněnské komunikace – nasazení C-ITS systémů v Brně ve spolupráci s ŘSD s cílem zefektivnit provoz na dopravních tocích na území města Brna (primárně na páteřních a tranzitních tazích)
- Fakulta dopravní ČVUT v Praze – zodpovědnost za testování, standardizaci a evaluaci, spolupráce na přípravě funkčních a technických specifikací se zaměřením na zvýšení bezpečnosti prostřednictvím C-ITS systémů
- AŽD Praha a Správa železnic – vytváření studií a provádění zkušebního provozu C-ITS systémů na určených železničních přejezdech pro zvýšení bezpečnosti a snížení nehodovosti vozidel s drážními vozidly na přejezdech
- Dopravní podnik Ostrava a. s., Plzeňské městské dopravní podniky a. s. a Dopravní podnik města Brna a. s. – aplikace preference MHD
- Společnosti INTENS Corporation, O2 Czech Republic a. s., T-Mobile Czech Republic a. s. – vytvoření technického návrhu, vyhodnocení pilotního provozu kooperativních dopravních systémů pro stanovení technických specifikací a sepsání normativních dokumentů a právních předpisů
- ŠKODA AUTO a. s. – spolupracující partner a konzultant technických otázek, dodání dvaceti vozidel pro pilotní testování

Kompletní seznam C-ITS služeb „Day 1 a Day 1,5“, které budou implementovány pro českou platformu C-ROADS, byl partnery zvolen již na začátku projektu. Finální verze seznamu služeb obsahuje následující use cases (názvy služeb jsou brány z označení dle grantové dohody C-ROADS CZ) [5]:

- Road works warning RWW – varování před pracemi na silnici
- Slow or stationary vehicle SSV – varování před stojícím vozidlem
- In-vehicle information IVS – přenos dopravních symbolů a textových zpráv

- Emergency vehicle approaching EVA – varování před blížícím se vozidlem IZS
- Electronic emergency brake lights EBL – varování před prudkým brzděním
- Probe vehicle data PVD – sběr dat o vozidle
- Traffic jam ahead warning TJW – varování před dopravní kongescí
- Weather conditions warning WTC – varování před klimatickými jevy (silný vítr, déšť, špatná viditelnost kvůli výskytu mlhy)
- Hazardous location notification HLN – varování před nebezpečnou lokalitou
- Railway level crossing RLX – varování před železničním přejezdem a jeho aktuálním signalizačním stavem
- Signal violation/Intersection safety SIGv – informační služby spojené s křižovatkami se SSZ
- Public transport safety PTVc/PTVS – bezpečnostní služby pro vozidla MHD
- Public transport preference TLP – preference zvolených vozidel na křižovatkách se SSZ

Geograficky bylo C-ROADS CZ rozděleno do šesti pilotních lokalit, které byly značeny jako DT (Deployment & Test Areas) 0-6. [2]



Obrázek 5 - Pilotní lokality C-ROADS CZ [5]

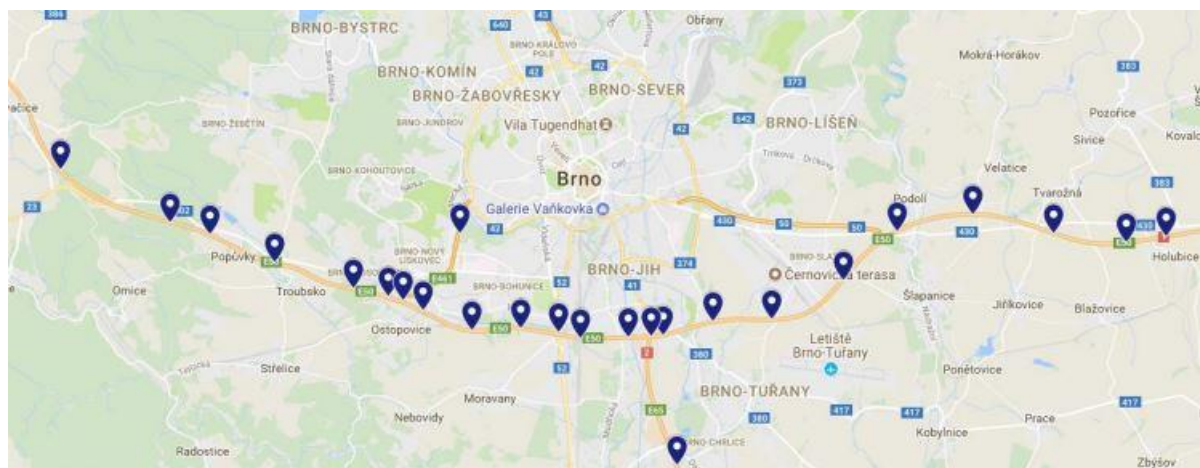
2.6.5.3.1 DT0 – Mirošovice – Rudná

Ještě před spuštěním celého projektu C-ROADS CZ zahájilo ŘSD pilotní testování na koridoru Mirošovice – Rudná (na pražském okruhu D0 a sousedících úsecích D5 a D1), někdy také „MIRUD“ podle dříve existujícího C-ITS projektu. Implementovaná zařízení na koridoru byla brána jako základ

pro výstavbu a vývoj technologií na úsecích DT1 a DT3. Na úseku se využívala nově vybavená ITS-G5 komunikace spolu s mobilními sítěmi LTE, pomocí kterých mohli být řidiči upozorněni na práci na silnici. [2]

2.6.5.3.2 DT1 – Dálnice D1 v okolí Brna

Pod označením DT1 byl představován úsek dálnice D1 jižně od Brna. Jednalo se o zhruba 28 km dlouhý úsek. Bylo zde instalováno 25 RSU jednotek na již existující konstrukce (portál dopravního značení, veřejné osvětlení atd.) a také na nové stožáry u SOS hlásek, které byly vystavěny na iniciativě projektu. K testování bylo dostupných 39 vozidel plus dalších 30 zabezpečovacích vozíků, které měla ve správě SSÚD (Středisko správy a údržby silnic) Brno-Chrlice. Všechna vozidla byla vybavena OBU jednotkami a umožňovala komunikaci s BO ŘSD. Konkrétně na DT1 byly implementovány služby RWW, PVD, IVS, SSV a EVA. [2] [5]

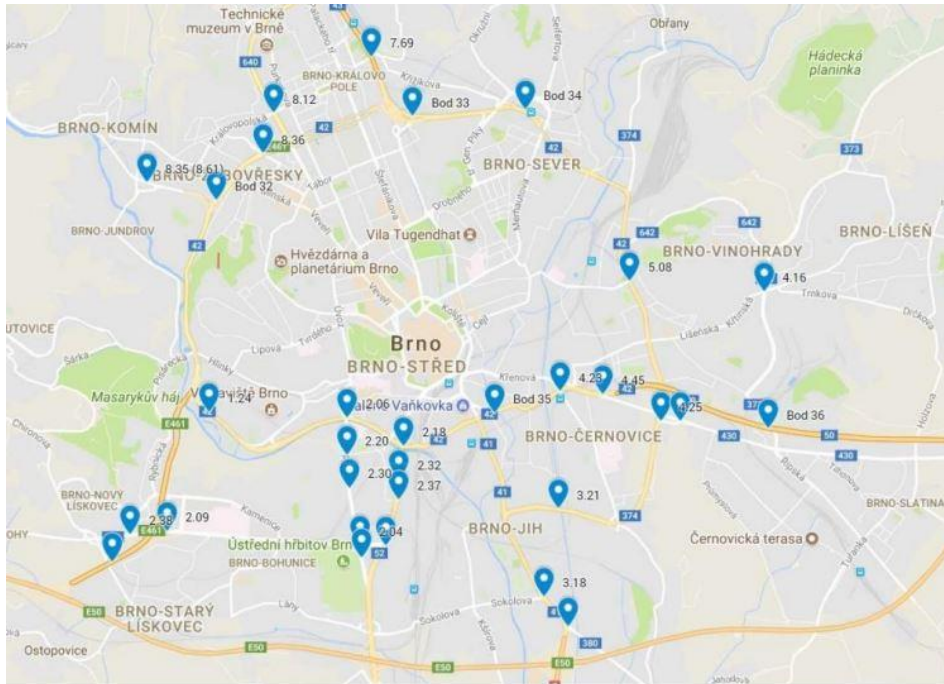


Obrázek 6 - Umístění RSU jednotek v rámci DT1 C-ROADS CZ [5]

2.6.5.3.3 DT2 – Brno město

Pilotní lokalita DT2 se nacházela na Velkém městském okruhu (VMO) města Brna, komunikacích spojujících D1 s VMO a dalších zvolených křižovatkách, kde by instalace 31 RSU jednotek byla smysluplná pro zkvalitnění dopravního toku. Zároveň RSU jednotky byly napojeny na řadiče SSZ, díky kterým dostávaly informace o signálním plánu SSZ. Celkově do projektu bylo zapojeno deset vozidel údržby v Brně (BKOM) a vozidlo Hasičského záchranného systému (HZS) Jihomoravského kraje. Do projektu se také zapojilo město Brno několika dalšími vozidly, která testovala vzájemnou spolupráci s preferencí MHD. Všechna vozidla byla samozřejmě opět vybavena vozidlovými jednotkami pro komunikaci s RSU. C-ITS stanice realizovaly služby PVD, EVA, SIGv, WTC, RWW, HLN a TLP. [2] [5]

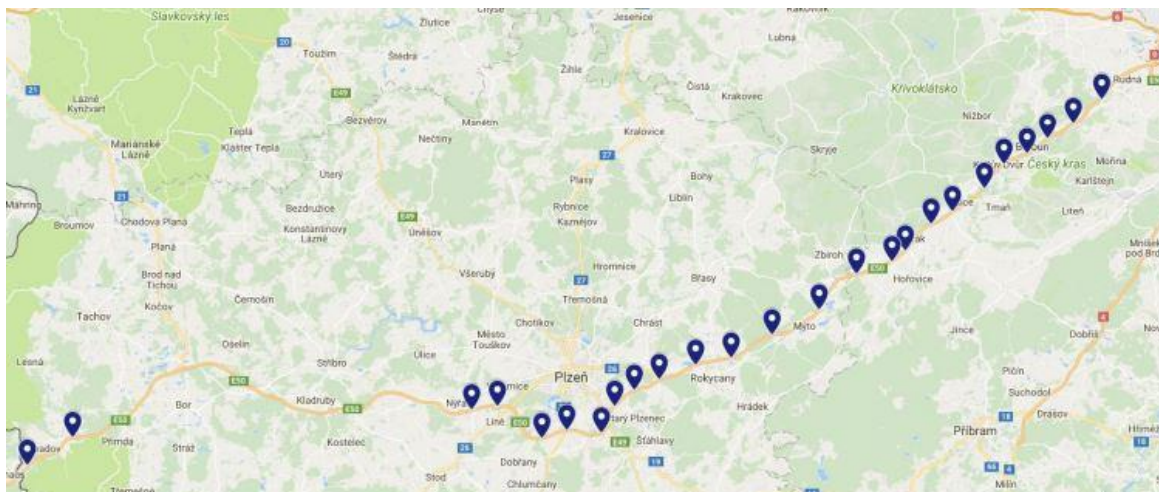
Pro testování v DT2 byl vytvořen lokální BO, který sbíral informace ze stanic a zároveň sdílel předem určená data ostatním C-ITS BO. [5]



Obrázek 7 - Umístění RSU jednotek v rámci DT2 C-ROADS CZ [5]

2.6.5.3.4 DT3 – Dálnice D1, D5, D11, D52 a I/52

Díky osazení pilotní lokality DT3 systému C-ITS se Česká republika napojila na C-ITS koridor nizozemský Rotterdam – německý Frankfurt nad Mohanem – rakouskou Vídeň. Zároveň pilotní lokalita obsahuje dvě místa pro cross-site (přeshraniční) testování s Německem na dálnici D5 a s Rakouskem na D52, resp. I/52. Celkově DT3 pokrývá více než 360 km komunikace a bylo instalováno přesně 54 RSU stanic, na kterých probíhalo testování prostřednictvím 70 vozidel ŘSD a 94 zabezpečovacích vozíků, které byly schopny sdílet data prostřednictvím ITS-G5 nebo mobilních sítí operátorů O2 Czech Republic a T-Mobile Czech Republic. Na pilotní lokalitě DT3 byly realizovány služby RWW, PVD a SSV. [5]



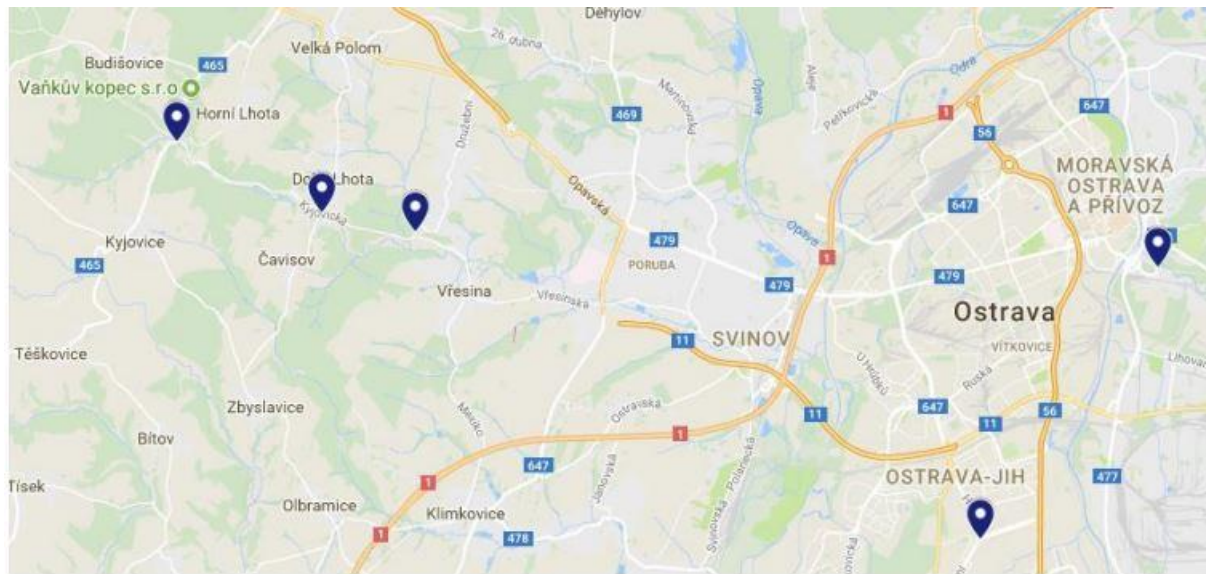
Obrázek 8 - Umístění RSU jednotek v rámci DT3 C-ROADS CZ na dálnici D5 [5]



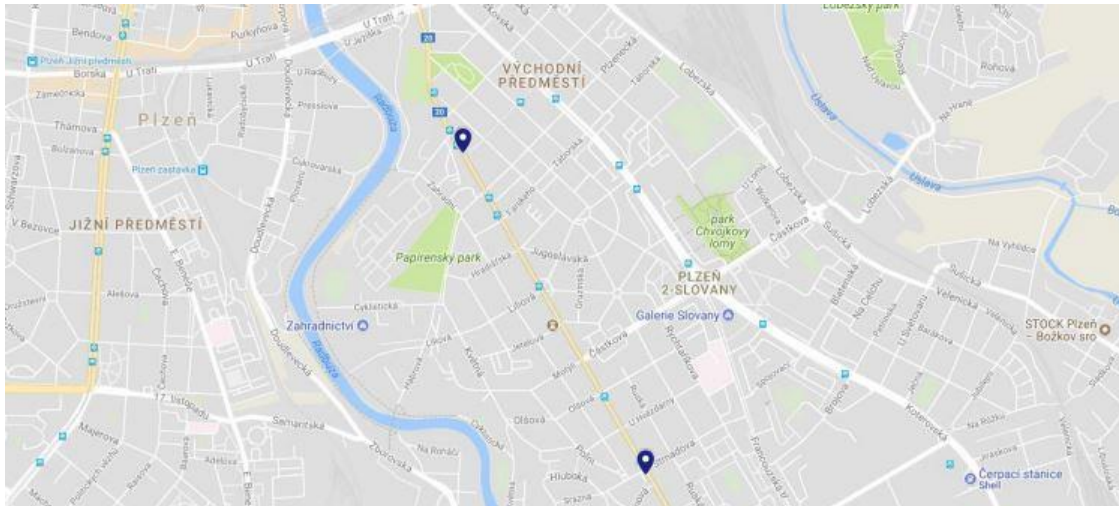
Obrázek 9 - Umístění RSU jednotek v rámci DT3 C-ROADS CZ na dálnici D11 [5]

2.6.5.3.5 DT4 – Ostrava a Plzeň

V Plzni a Ostravě bylo provedeno testování C-ITS služeb se zaměřením na městskou hromadnou dopravu. Jednalo se hlavně o udělení priority v jízdě vozidel MHD v křižovatkách se SSZ a udělení výstrahy řidičům na přítomnost vozidel MHD v křižovatkových úsecích s vysokým nebezpečím střetu (křížení tramvajové trati s trajektorií vozidel). V Ostravě bylo nainstalováno pět RSU jednotek, které kooperovaly s pěti stanicemi vozidel. V Plzni se vyskytovaly dvě RSU jednotky, které komunikovaly se čtyřmi vozidlovými jednotkami. V obou městech byly vytvořeny lokální C-ITS BO pro shromažďování dat, které sdílely ostatním BO. V městské aplikaci byly uváděny do provozu služby PTVC/PTVS, TLP, PVD, HLN, Tram collision notification a Traffic light status. [2] [5]



Obrázek 10 - Umístění RSU jednotek v rámci DT4 C-ROADS CZ v Ostravě [5]



Obrázek 11 - Umístění RSU jednotek v rámci DT4 C-ROADS CZ v Plzni [5]

2.6.5.3.6 DT5 – Železniční přejezdy v Pardubickém a Ústeckém kraji

Jak už z názvu plyne, DT5 se zabývalo testováním C-ITS systémů na železničních přejezdech, které se nacházely v Pardubickém a Ústeckém kraji. V prvním zmíněném byly osazeny zabezpečovacím zařízením a technologií ITS-G5 dva železniční přejezdy na tratích Heřmanův Městec – Moravany a Rosice nad Labem – Žďárec u Skutče. V Ústeckém kraji byly testovány také dva železniční přejezdy, ale na železniční trati Čížkovice – Obrnice. Pro testování funkčnosti a získávání dat bylo vybráno několik aut od partnerů vybavených vozidlovou jednotkou OBU. Cílem aplikace technologií na DT5 bylo ověření use cases pro varování řidiče před úroňovým železničním přejezdem a s tím spojené zvýšení bezpečnosti průjezdu vozidel na železničních přejezdech. V daných lokalitách byla mimo služby Railway level crossing aplikována i služba SSV k upozornění řidičů na pomalá vozidla nebo vozidla stojící u přejezdu. [2] [5]

2.6.5.3.7 DT6 – Přeshraniční testování

Dříve už bylo zmíněno, že součástí platformy C-ROADS CZ bylo přeshraniční testování na hranicích s Německem a Rakouskem. Cílem bylo testování a ověření fungování vybudovaných systémů a služeb na nadnárodní úrovni, čili jestli jsou místní systémy interoperabilní se systémy sousedních zemí. Celé testování v pilotních lokalitách DT6 bylo vzhledem k pandemii COVID-19 přesunuto na jaro 2021. [2] [5]

3 Datová analýza a zhodnocení

Praktická část bakalářské práce se zabývá analýzou možností zdrojů dat, na kterých je provedena datová analýza z projektu C-ROADS CZ se zaměřením na technické a funkční zhodnocení projektu. Data k analyzování byla poskytnuta Fakultou dopravní ČVUT od společností Brněnské komunikace a. s. a Ing. Ivo Hermanem, CSc./Herman systems s. r. o, které byly zapojeny do testování C-ITS systémů v rámci platformy C-ROADS CZ. Analýza dat a s ní související vytěžování dat (data mining) je provedena za cílem odhalit užitečné informace, které vedou k následnému rozvoji technologií pro lepší praktické využití. Z metodologie data miningu jsou v praktické části využity primárně metody datové a analytické. V datové části probíhá příprava dat pro samotnou analýzu – čištění dat od chybných hodnot, které by mohly narušit samotné zhodnocení analýzy. Analytická část se naopak zabývá už samotným vyhledáváním užitečných informací a tvorbou modelů. Zjištěné poznatky jsou dále připraveny pro aplikační proces k vylepšení stávajících služeb a technologií.

Cílem této bakalářské práce je pomocí práce s CAM a DENM zprávami detailněji a hlavně prakticky popsat fungování C-ITS na poskytnutých datech z pilotního testování projektu C-ROADS v České republice. Pomocí zjištěných dat je poukázáno na vylepšení C-ITS systémů a navrhnutí pokračující datové analýzy pro zjištění dalších zajímavých výsledků. Pro ověření technické funkcionality celá data také projdou softwarem pro rozhodnutí o jejich kvalitě a pro poukázání na nedostatky v nich. Naopak pro funkční zhodnocení C-ITS systémů je detailněji rozebrána trasa testovacího vozidla a jeho reakce na události na základě dat z GPS souřadnic vozidla. V závěru proběhne shrnutí celé datové analýzy s odkazem na softwarově zpracovaná data v konkrétních přílohách.

3.1 Možnosti zdrojů dat

Jak už bylo zmíněno, veškerá data byla získána od dvou společností, které se podílely na projektu. Získaná data pocházejí z RSU jednotek instalovaných na infrastrukturu a OBU jednotek zabudovaných v testovacích vozidlech, kterým byla umožněna komunikace s BO. Stanicemi zaznamenané zprávy (tzv. logy) byly ukládány do PCAP souborů, které se načítaly pomocí zvolené aplikace (vlastní preference). PCAP jsou datové soubory, které obsahují odchycenou síťovou komunikaci. Komunikace v souborech je uložena ve formě síťových paketů. Zdrojová data, která byla pro účely bakalářské práce poskytnuta, lze rozdělit podle komunikace na dva typy. Prvním typem komunikace je odchozí komunikace z OBU jednotky. Soubory s touto komunikací obsahovaly v názvu TX (transmitted). Tyto soubory obsahovaly komunikaci, kterou jednotka ve vozidle odesílala ostatním zařízením v síti. Druhým typem komunikace je příchozí komunikace, kterou ostatní stanice odesílaly do jednotky OBU ve vozidle. Soubory s touto komunikací měly v názvu RX (received). V praktické části se pracovalo se čtyřmi PCAP soubory, z nichž dva obsahovaly RX zprávy a dva TX zprávy.

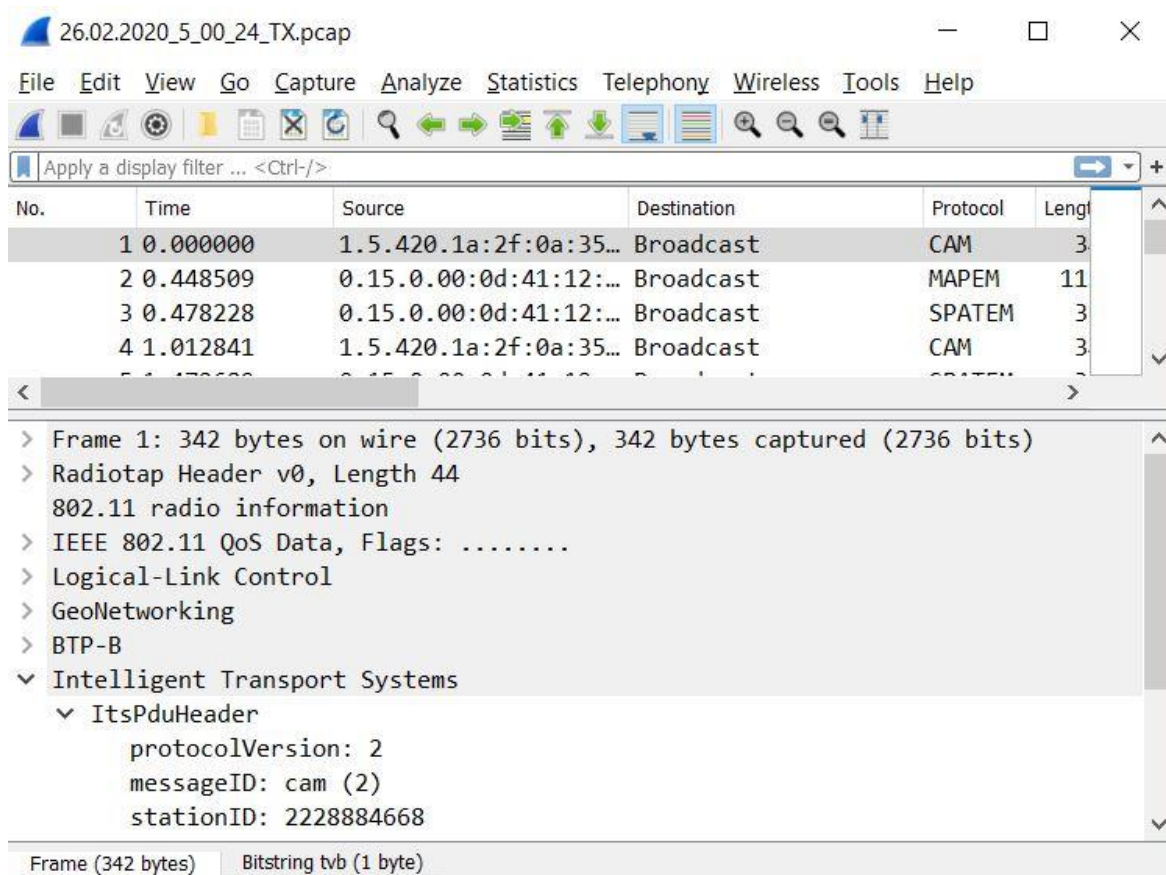
3.2 Technické a funkční zhodnocení

Již zmíněné PCAP soubory byly zpracovány prostřednictvím softwaru Wireshark. Samotné logy obsahují předem stanovené informace – čas logu, typ zprávy (DENM, CAM, IVI, SPAT a další), ID stanice, GPS souřadnice stanice, vrstvu Intelligent Transport systems ITS a další. V ITS vrstvě se dají najít vrstvy jako např. ItsPduHeader, který obsahuje parametry protocolVersion, messageID a stationID. Pro tuto bakalářskou práci se pracovalo pouze se zprávami DENM a CAM. Pro vyznání se v logách a v jednotlivých parametrech byly využity:

- ETSI EN 302 637-3 Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service [9]
- ETSI EN 302 637-2 Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service [8]
- ETSI TS 102 894-2 Intelligent Transport Systems (ITS); Users and applications requirements; Part 2: Applications and facilities layer common data dictionary [61]

3.2.1 Wireshark export

V softwaru Wireshark, který byl využit pro načtení PCAP souborů, byly vyfiltrovány jednotlivé logy zaslané pomocí CAM a DENM zpráv. CAM zprávy se vyfiltrují pomocí nástroje filtr, do kterého se zadá příkaz `its.messageID==2`. Po načítání se zobrazí vyselektované zprávy pouze typu CAM. To stejné se provede při snaze zobrazit pouze DENM zprávy. Pouze do filtru se zadá příkaz `its.messageID==1`. Následně se vybraly potřebné parametry do sloupců (tzv. columns). Vložení parametrů do sloupců se provede stisknutím pravého tlačítka myši na libovolný parametr a vybrání možnosti `Apply as Column` nebo pomocí zkratky `Ctrl+Shift+I`. Vybrané parametry se vyexportovaly do formátu CSV a JSON. Veškeré soubory, které budou provedené v následujících krocích, sloužily jako zdrojová data pro následnou aplikaci. Názvy následujících kapitol byly odvozené od zdroje dat a názvů vyexportovaných dat pro zlepšení přehlednosti.



Obrázek 12 - Ukázka z prostředí softwaru Wireshark a načteného PCAP souboru

3.2.1.1 DENM – CSV

Pro vyexportování dat z DENM zpráv do formátu CSV bylo nutné v programu Wireshark vyfiltrovat logy protokolu DENM. Dále přidat potřebné sloupce:

- Epoch time – Unixový čas, který představuje počet sekund uplynulých od 1. ledna 1970 00:00:00. Po vyexportování byl brán jako čas události. Hodnotu parametru lze najít v horní vrstvě Frame x.
- Cause code – Označuje druh eventu, který byl detekován (např. práce na silnici, pomalé nebo stojící vozidlo). Druh eventu je označen někdy názvem a vždy jednotkou, pod kterou jde případně chybějící konkrétní označení eventu najít. Parametr lze najít ve vrstvě ITS, DecentralizedEnvironmentalNotificationMessage, situation a konkrétně v eventType.
- Latitude – Definuje zeměpisnou šířku, která dopomáhá k určení polohy na Zemi k severu nebo jihu od rovníku. Pro šířku na sever se používají kladné hodnoty, pro šířku na jih naopak záporné hodnoty. V PCAP byla vyjádřena někdy buď přesnou hodnotou např. N 50°4.58480' nebo se uváděná hodnota musela přepočítat pomocí uváděné jednotky 0,1 mikro stupně.

Atribut je k nalezení v ITS vrstvě, DecentralizedEnvironmentalNotificationMessage a konkrétně v eventPosition.

- Longitude – To je naopak označení pro zeměpisnou délku, která lokalizuje polohu na Zemi od východu k západu. Body, které se nacházejí západně od poledníku, získávají kladnou hodnotu. Naopak když bod leží východně od poledníku, nabývá záporné hodnoty. V PCAP souboru byla vyjadřována stejně jako předchozí zeměpisná šířka. Atribut je k nalezení v ITS vrstvě, DecentralizedEnvironmentalNotificationMessage a konkrétně v eventPosition.
- OriginalstationID – Slouží jako identifikátor konkrétní události, která může být zaslána více zprávami. ID je obsaženo ve vrstvě ITS, DecentralizedEnvironmentalNotificationMessage, management, konkrétně v actionID.
- Sequence number – Výraz označuje pořadové číslo DENM zprávy, které je přiřazeno každé nové. Číslo je obsaženo ve vrstvě ITS, DecentralizedEnvironmentalNotificationMessage, management, konkrétně v actionID

Díky kombinaci Original station ID a Sequence number vznikne unikátní číslo pro stejnou událost (event).

3.2.1.2 CAM – GPS CSV

V softwaru Wireshark byly vyfiltrovány logy protokolu CAM a přidány sloupce:

- Epoch time – Význam i umístění atributu je stejný jako u výše zmíněných DENM zpráv.
- Longitude, Latitude – Význam parametrů je obdobný, jako bylo výše zmíněno, ale umístění je v CAM zprávě odlišné. Parametr lze najít ve vrstvě ITS, CoopAwareness, camParameters a konkrétně v referencePosition.
- Speed value – Parametr udává hodnotu rychlosti, kterou se vozidlo pohybuje po komunikaci. Velikost rychlosti je často udávána přímo v m/s, ale může nastat situace, kdy je nutno přepočítat podle uváděné jednotky 0,01 m/s. Parametr v CAM zprávě je k nalezení ve vrstvě ITS, CoopAwareness, camParameters, highFrequencyContainer a konkrétně ve speed.
- Altitude value – Je to označení pro nadmořskou výšku, která se opět jako u některých parametrů může udávat v metrech nebo je nutný přepočet podle uvedených jednotek 0,01 m. Parametr lze najít ve vrstvě ITS, CoopAwareness, camParameters, referencePosition a konkrétně v Altitude.

Po provedení filtrace byly zvolená data vyexportována do souboru typu CSV pro následné vytvoření GPX souborů, pomocí kterých mohlo dojít ke zjištění GPS vozidla a sledování jeho trasy jízdy.

3.2.1.3 CAM, DENM – JSON

Pomocí filtru byly vybrány logy protokolů CAM a DENM a vyexportovaly se do souboru JSON. Typ formátu JSON souboru byl zvolen oproti formátu CSV z časových důvodů a náročnosti přípravy ve Wireshark. Pro export do CSV souborů by bylo nutné přidat do náhledu v programu Wireshark všechny atributy CAM a DENM logů, což by bylo z časového hlediska náročné. Použil se proto export do JSON souboru, kde jsou veškeré informace o lozích. Soubory mají oproti CSV souborům větší velikost, řádově stovky MB, export byl ale rychlý a jednoduchý.

3.2.2 Tvorba zdrojových kódů

Pro následnou práci se zdrojovými daty byl využit programovací jazyk Python (vlastní preference). Vývoj zdrojových souborů proběhl v editoru zdrojového kódu Visual Studio Code od společnosti Microsoft. Software je bezplatně dostupný na stránkách společnosti – <https://code.visualstudio.com>. Visual Studio Code bylo zvoleno na vlastní preferenci, protože autorovi nabízí podporu při tvoření zdrojového kódu – zvýraznění syntaxe Python kódu, napovídání při psaní kódu, zvýraznění syntaktických chyb a nápověda. Pro zlepšení přehlednosti byly názvy následujících kapitol odvozeny od názvů souborů se zdrojovými kódy programovacího jazyka Python. Následující kapitoly obsahují zjednodušený slovní popis, co zdrojové kódy provádí.

3.2.2.1 Trasa vozidla – create_gps_py

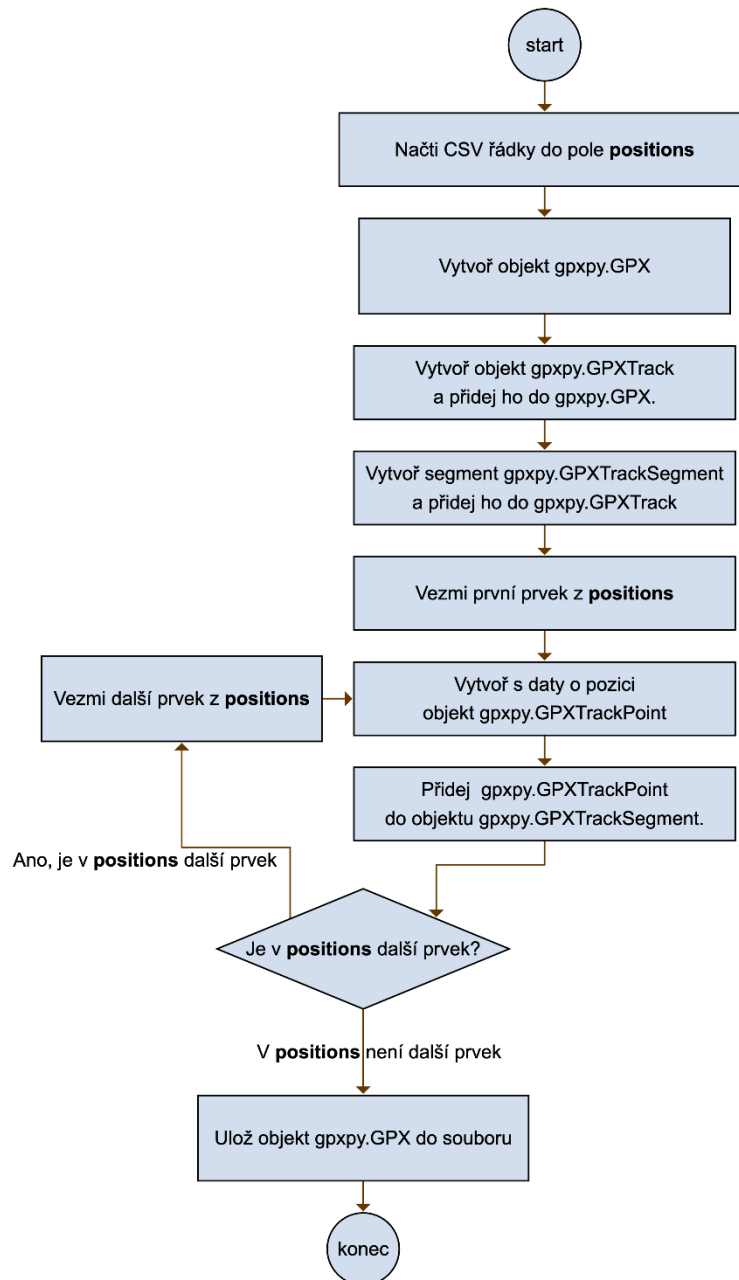
Tento zdrojový kód slouží k vytvoření trasy, která jde naimportovat do mapy. Rozhodl jsem se pro reprezentaci trasy pomocí souboru formátu GPX. Soubor GPX je standardní formát pro záznam trasy, se kterým umí pracovat většina nástrojů. Trasu v tomto formátu například používají i sportovní sporttestery. Pro vytvoření GPX záznamů byly použity soubory z kapitoly CAM – GPS CSV. Soubory reprezentují pozici (včetně nadmořské výšky), čas v dané pozici a rychlost vozidla. Finální zdrojový kód a jeho výstup je k nalezení v Příloze 1.

Pro vytvoření GPX souborů byla použita knihovna *gpxpy*. Ta byla vybrána, protože nabízí jednoduché řešení, jak vytvořit GPX objekt a následně objekt zapsat do GPX souboru se schématem XML. Není tak potřeba tuto funkcionalitu vyvíjet.

K vytvoření GPX souborů byly použity oba TX GPS CSV soubory. V Pythonu tyto soubory byly zpracovány následovně:

1. Otevři soubor a pomocí knihovny *csv* načti jednotlivé řádky. Tyto řádky jsou reprezentovány polem objektů, kde objekt reprezentuje hodnoty z řádku.
2. Za použití knihovny *gpxpy* vytvoř objekt *gpxpy.GPX*.
3. Vytvoř objekt *gpxpy.GPXTrack* a přidej ho do *gpxpy.GPX*.

4. Vytvoř segment `gpxpy.GPXTrackSegment`, který reprezentuje celou trasu vozidla, a přidej ho do `gpxpy.GPXTrack`.
5. Projdi pole objektů řádků a pro každý objekt se proved' následující:
 - a. S údaji zeměpisná šířka a délka, čas, nadmořská výška a rychlost vytvoř objekt `gpxpy.GPXTrackPoint`.
Vytvořený objekt `gpxpy.GPXTrackPoint` přidej do objektu `gpxpy.GPXTrackSegment`.
6. Objekt `gpxpy.GPXTrack` zapiš do výstupního souboru ve složce `output/gpx`.



Obrázek 13 - Diagram algoritmu pro tvorbu `create_gps_py`

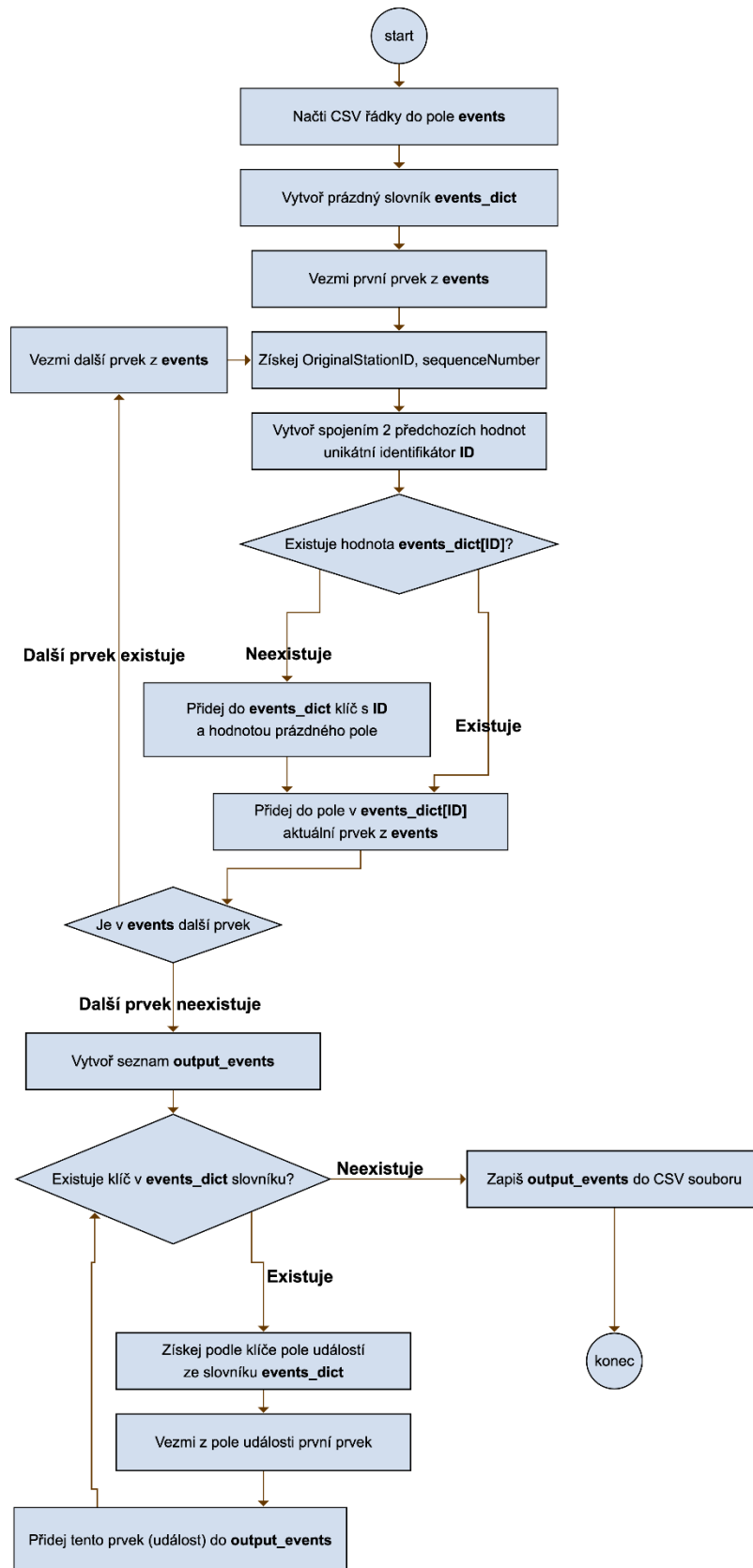
3.2.2.2 Zaznamenané události – `process_denm_events.py`

Pro další potřeby analýzy v mapových podkladech bylo potřeba získat seznam událostí. Protože CSV soubory obsahovaly ke každé události několik desítek či stovek zpráv, bylo potřeba tyto data pročistit a získat seznam, ve kterém nebudou duplicitní události. Pro určení unikátního identifikátoru události ze zprávy byla použita kombinace sloupců `OriginalStationID` a `sequenceNumber`. Aby se s výsledným CSV souborem dalo pracovat, bylo určeno, že bude obsahovat identifikátor události, `Cause Code` (typ události), `Latitude` a `Longitude` (GPS souřadnice). Finální zdrojový kód a jeho výstup je k nalezení v Příloze 1.

Tímto zdrojovým kódem byly zpracovány všechny CSV soubory z kapitoly DENM – CSV. Soubory byly zpracovány následovně:

1. Otevři soubor a pomocí knihovny `csv` načti jednotlivé řádky. Tyto řádky jsou reprezentovány polem objektů, kde objekt reprezentuje událost.
2. Vytvoř prázdný slovník.
3. Pro každý objekt z pole událostí proved' následující:
 - a. Získej `OriginalStationID`, `sequenceNumber` a spojením pomocí “_” vytvoř unikátní identifikátor.
 - b. Pokud ve slovníku neexistuje klíč s hodnotou identifikátoru události, přidej do slovníku dvojici klíč-hodnota, kde klíč je identifikátor a hodnota prázdné pole.
 - c. Najdi ve slovníku hodnotu pro klíč s hodnotou identifikátoru a přidej do pole objekt události.
4. Vytvoř prázdné pole pro seznam unikátních událostí.
5. Pro každý klíč ve slovníku proved' následující:
 - a. Získej hodnotu odpovídající klíči, která je pole objektů události.
 - b. Z pole vezmi první hodnotu, která představuje první zprávu o události.
 - c. Z klíče vezmi identifikátor a z první hodnoty v poli vezmi `causeCode`, `latitude` a `longitude` a všechny tyto hodnoty ulož do objektu.
 - d. Přidej tento objekt do pole unikátních událostí.
6. Pomocí knihovny `csv` zapiš pole objektu do souboru ve složce `output/events`.

Vzniklé soubory byly použity pro následné naimportování do mapy. Díky tomuto celému procesu se v mapě zobrazoval pouze jeden záznam pro danou událost. Do nástroje pro práci s mapou bylo naimportováno pár desítek událostí. Pokud by pro import byl použit zdrojový CSV soubor přímo z Wiresharku s duplicitními událostmi, měl by nástroj problém kvůli velkému množství záznamů v řádu větších desítek až stovek tisíc.



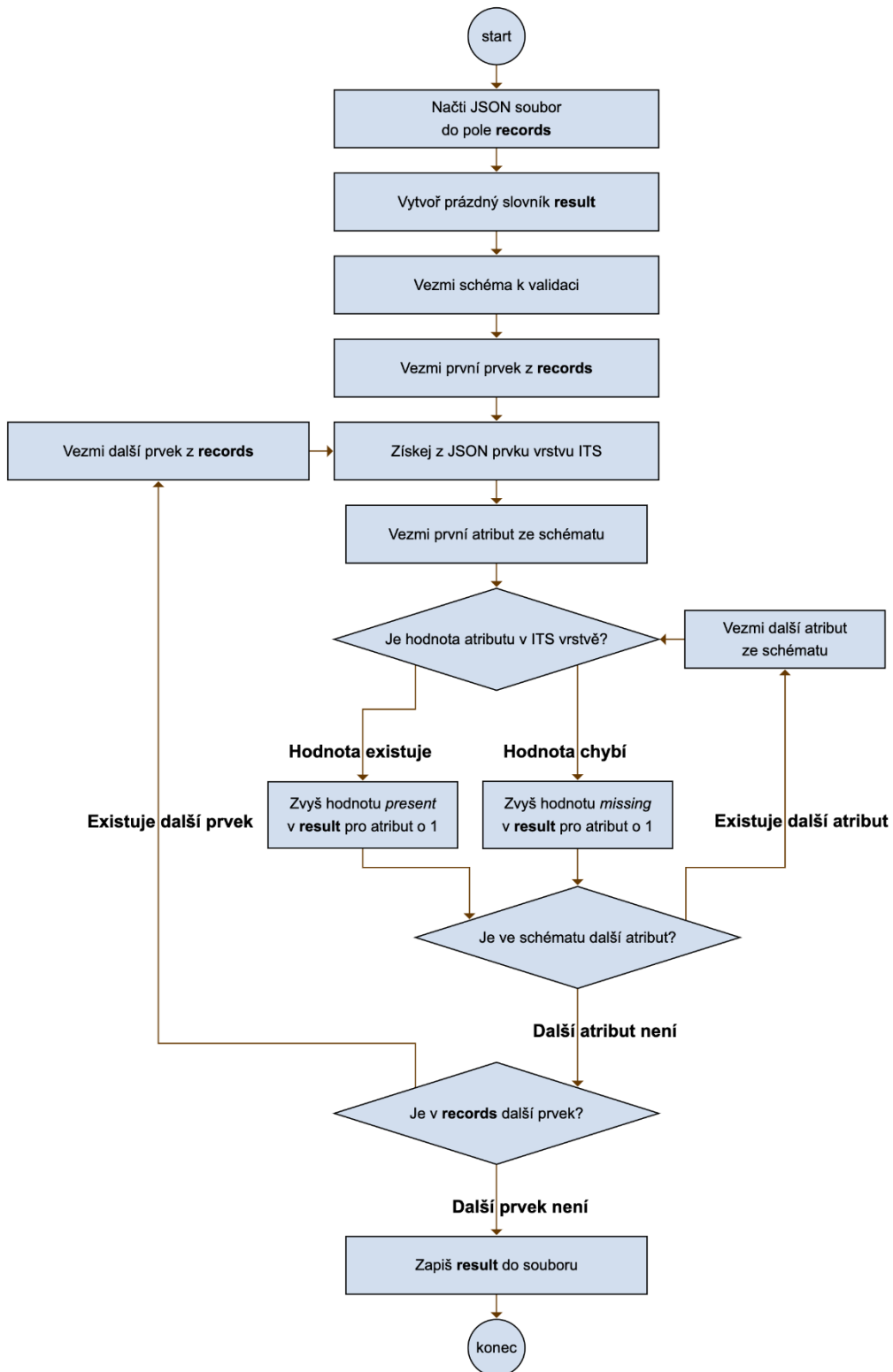
Obrázek 14 - Diagram algoritmu pro tvorbu process_denm_events_py

3.2.2.3 Kontrola kvality dat – Check quality

V rámci dalšího zpracování dat bylo zkoumáno, zda jednotlivé packety ze souborů obsahují ve vrstvě ITS povinné atributy neboli jak moc kvalitní záchyty packetů jsou. V Pythonu bylo pomocí slovníku nadefinováno, jak má schéma ITS vrstvy vypadat, a oproti tomuto schématu byl obsah zpráv kontrolován. Kontrola se prováděla pouze na povinných parametrech, nikoliv na těch doplňkových (optional). U povinných parametrů se kontrolovalo, zda je hodnota uvedena či zda je hodnota chybějící nebo prázdná. Finální výsledky se zapisovaly do JSON schématu kvůli lepší vizualizaci. Výsledkem procesu bylo JSON schéma s počty atributů, které se v ITS vrstvě nacházely (present) a které naopak chyběly (missing). Výstupem popsané práce byly soubory *output/cam_quality* a *output/denm_quality* v závislosti na protokolech v souborech. Finální zdrojový kód a jeho výstup je k nalezení v Příloze 1.

Pro kontrolu dat byly použity všechny 4 soubory z kapitoly CAM, DENM – JSON. Jednalo se o soubory s komunikací TX i RX. Python kód prováděl ve zjednodušení následovně:

1. Otevři soubor a pomocí knihovny *json* načti jednotlivé packety do pole.
2. Vytvoř schéma, kam jsou zapsány nechybějící a chybějící atributy.
3. Pro každý packet z pole proved' následovně:
 - a. Získej z JSON objektu vrstvu ITS, která se má kontrolovat.
 - b. Proved' pro ITS kontrolu povinných parametrů.
 - i. Pokud je parametr obsažený a nemá prázdnou hodnotu, připočti ve schématu k tomuto parametru k hodnotě „present“ jedničku.
 - ii. Pokud parametr chybí nebo má prázdnou hodnotu, připočti ve schématu k tomuto parametru k hodnotě „missing“ jedničku.
4. Zapiš výsledné JSON schéma s počty chybějících a nechybějících hodnot atributů do souborů *output/cam_quality* nebo *output/denm_quality* v závislosti na vybraném protokolu.



Obrázek 15 - Diagram algoritmu pro kontrolu kvality dat

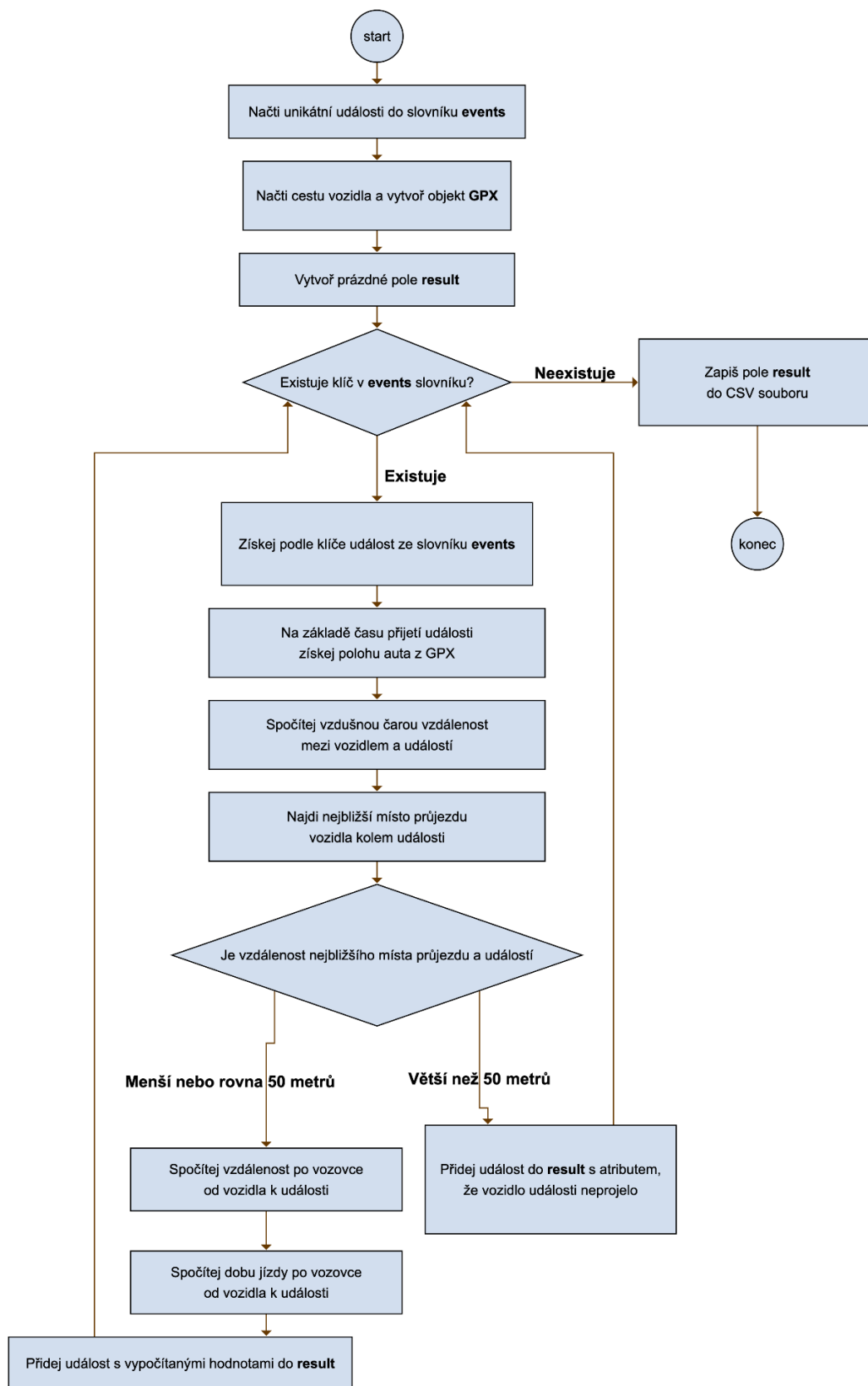
3.2.2.4 Vzdálenost eventu od polohy vozidla – Events distance

Cílem v této části bylo získat informaci, jak daleko a jak dlouho dopředu bylo vozidlo informováno o události pomocí protokolu DENM před příjezdem na místo události. Byly tedy zpracovány obě dvojice souborů TX CAM CSV a RX CSV DENM. Soubor TX CAM CSV obsahoval odesílané CAM logy o svojí poloze, byl tedy využit obdobně jako při sestavování GPX záznamu v kapitole `create_gps.py`. Ze souboru RX CSV DENM byla data načtena stejně jako při zpracování unikátních událostí v kapitole `process_denm_events.py`. Po zpracování dvojice souborů existoval tedy GPX objekt, který obsahoval informace o pohybu vozidla a seznam unikátních událostí. Následně se pro každou událost zjistilo, v který čas byla o ni jednotka ve vozidle poprvé informována (hodnota z CSV). Pomocí tohoto času se v GPX objektu našla pozice vozidla v době obdržení první zprávy. Když byla pozice vozidla i události známa, následovalo spočítání jejich vzdálenosti vzdušnou čarou, které probíhalo pomocí Python knihovny `gpxpy`. Dále se pomocí `gpxpy` knihovny na trase vozidla našel nejbližší bod průjezdu vozidla vůči GPS souřadnicím události. Bylo tak známo místo, kde auto projelo nejbližše kolem události. K posouzení, zda vozidlo kolem události projelo či nikoliv, byla stanovená odchylka 50 m. Pokud bylo na základě odchylky určeno, že vozidlo místem projelo, byla vypočítána vzdálenost vozidla od prvního příjmu události. Výpočet vzdálenosti proběhl opět pomocí knihovny `gpxpy`. Z původní trasy se vyjmula část, kdy auto jelo od prvního příjmu k události, a nad touto částí byla vypočítána knihovnou reálná vzdálenost po vozovce. Obdobným způsobem se určila i doba jízdy od prvního záznamu události k místu události. Výstup zjištěných dat byl vyexportován do CSV souboru ve složce `output/events_distances` pro potřeby další analýzy. Finální zdrojový kód a jeho výstup je k nalezení v Příloze 1.

Protože popsaná metoda by byla z pohledu popisu algoritmu složitá na popis, je algoritmus popsán jen obecně:

1. Načti soubor TX CAM CSV a vytvoř z něj `gpxpy.GPXSegment` objekt.
2. Načti soubor RX CSV DENM a zpracuj události tak, aby obsahovaly jen unikátní události.
3. Vytvoř prázdné pole, do kterého budou ukládány informace o vzdálenostech.
4. Pro každou unikátní událost proved' následující.
 - a. Získej čas jejího prvního přijetí.
 - b. Podle času prvního přijetí události zjisti pozici vozidla z `gpxpy.GPXSegment` objektu.
 - c. Spočítej pomocí knihovny `gpxpy` vzdálenost mezi vozidlem a událostí.
 - d. Vytvoř `gpxpy.GPXSegment` z původního segmentu (první bod segmentu je až pozice vozidla při přijetí první informace o události)
 - e. Najdi místo, kde byly souřadnice události nejbližše trase vozidla.

- f. Pokud nejbližší místo na trase je do 50 metrů od události, pak:
 - i. Spočti vzdálenost po vozovce pomocí knihovny *gpxpy*.
 - ii. Spočti čas, jak dlouho po vozovce k události pojedete.
 - g. Zapiš do pole unikátních událostí atributy (některé jsou prázdné, protože události neleží na trase)
5. Zapiš pole unikátních událostí pomocí knihovny *csv* do CSV souboru ve složce *output/events_distance*



Obrázek 16 - Diagram algoritmu zjištění vzdáleností eventu od vozidla

3.2.3 Analyzování výstupů dat

V předchozích krocích pomocí softwaru Wireshark a Visual Studio Code byla zpracována data a provedeny kroky pro vytvoření výstupů k samotnému analyzování. Cílem analýzy je detailněji poukázat na principy fungování C-ITS systémů, zároveň představit zjištěné nedostatky a analyzovat pomocí GPS reakci řidiče na příchozí eventy. Detailně byla také provedena kontrola DENM a CAM zpráv, jejímž cílem je zhodnotit kvalitu naměřených dat. Kvalita dat byla provedena na čtyřech souborech, z kterých byly vyfiltrovány CAM a DENM zprávy. V následujících kapitolách a tabulkách je pracováno s pojmy „soubor 1“ a „soubor 2“. Pod označením „soubor 1“ je definován soubor 5_00_rx_report a 5_00_tx_report v CAM i DENM typu zprávy. Naopak pod označením „soubor 2“ jsou myšleny soubory 9_57_rx_report a 9_57_tx_report v CAM i DENM typu zprávy.

3.2.3.1 Kontrola kvality dat CAM zpráv – Check quality

CAM zpráva má obsahovat určité parametry, které jsou vypsány v levém sloupci Tabulky 1. Algoritmus „Check quality“, který byl již popsán v dřívější kapitole, projel čtyři soubory a stanovil u každého logu CAM zprávy stav parametru na „Present“ nebo „Missing“. Hodnoty jsou také rozděleny podle toho, v jakém souboru se testování kvality provádělo. Jednalo se o dva TX soubory a dva RX soubory.

Celkově lze říct, že oba TX soubory obsahovaly z testovaných povinných parametrů vše, co měly. Konkrétně u TX souboru 1 se jednalo o 12825 hodnot v každém z 31 povinných parametrů. u TX souboru 2 bylo číslo o poznání menší, 6459. Celé to značí, že vozidlo, z kterého data pocházela, odeslalo méně zpráv. To může být způsobeno kratší dobou jízdy nebo trasou, na které se nevyskytovalo tolik stanic, s kterými by vozidlo komunikovalo. Jelikož ale v parametru zprávy nechyběla žádná hodnota, lze říct, že vozidlo bylo správně nastaveno a připraveno pro odesílání zpráv.

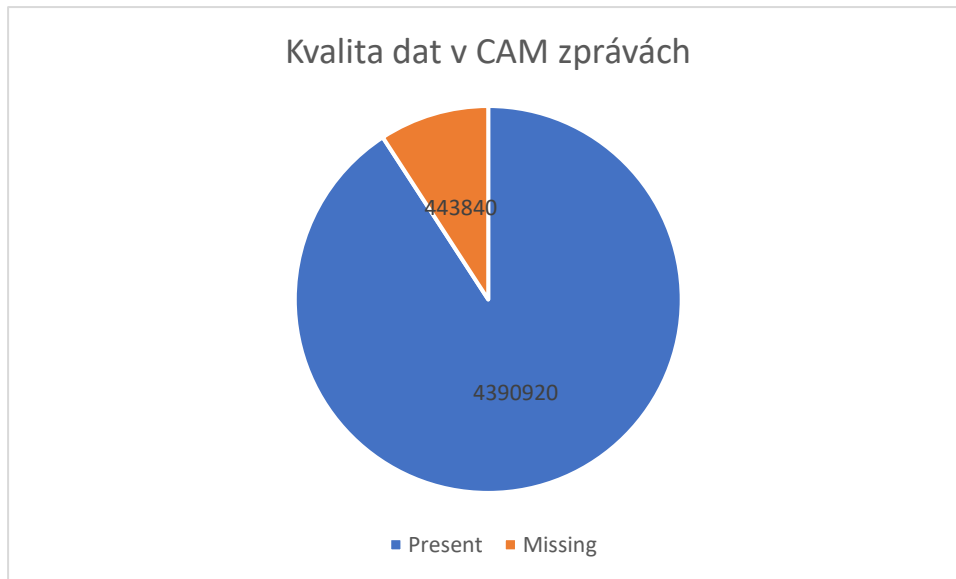
Co se týče analyzování obsahu RX zpráv neboli přijatých, tak výsledek už není tak pozitivní jako u TX. Konkrétně RX soubor 1 obsahoval pouze 12 atributů, které zaznamenaly všech 114885 hodnot. Dalších 15 parametrů nezaznamenalo 3754 hodnot u každého z nich. Ovšem nejhorší výsledky byly u posledních 4 parametrů, které v každém nezaznamenaly až 84225 hodnot. U RX souboru 2 se opakovala situace jako u souboru 1. Soubor obsahoval pouze 12 parametrů, které zaznamenaly přesně 21 791 hodnot. Následovalo 15 parametrů s chybějícími 1430 hodnotami u každého z nich. Završily to 3 parametry skoro s 50 % nedostatkem, přesněji chybějících 9250 z celkových 21791 u každého atributu. Důsledkem chybějících hodnot může být více, ale nejčastějším důvodem je závada na zařízení, které odesílá zprávy, nebo naopak na tom, které zprávy přijímá. U kterých

parametrů hodnoty chybí a kolik, si lze opět prohlédnout v následující Tabulce 1. Zároveň je přidán výšečový Graf 1, který porovnává počet hodnot zachycených a chybějících dat.

Pro další hodnocení kvality dat by se dalo zaměřit na důsledek problému, proč data chybí, a následnou nápravu zařízení, které by se podrobilo opětovnému testování kvality po celém procesu. Dále by se dala také otestovat kvalita dat pro volitelné parametry, kterými se toto testování nezabývalo.

Tabulka 1 - Statistika zaznamenaných a chybějících hodnot u parametrů v CAM zprávách

Parametry	RX soubor 1		TX soubor 1		RX soubor 2		TX soubor 2	
	Present	Missing	Present	Missing	Present	Missing	Present	Missing
its.protocolVersion	114885	0	12825	0	21791	0	6459	0
its.messageID	114885	0	12825	0	21791	0	6459	0
its.stationID	114885	0	12825	0	21791	0	6459	0
cam.generationDeltaTime	114885	0	12825	0	21791	0	6459	0
cam.stationType	114885	0	12825	0	21791	0	6459	0
its.latitude	114885	0	12825	0	21791	0	6459	0
its.longitude	114885	0	12825	0	21791	0	6459	0
its.semiMajorConfidence	114885	0	12825	0	21791	0	6459	0
its.semiMinorConfidence	114885	0	12825	0	21791	0	6459	0
its.semiMajorOrientation	114885	0	12825	0	21791	0	6459	0
its.altitudeValue	114885	0	12825	0	21791	0	6459	0
its.altitudeConfidence	114885	0	12825	0	21791	0	6459	0
its.headingValue	111131	3754	12825	0	20361	1430	6459	0
its.headingConfidence	111131	3754	12825	0	20361	1430	6459	0
its.speedValue	111131	3754	12825	0	20361	1430	6459	0
its.speedConfidence	111131	3754	12825	0	20361	1430	6459	0
cam.driveDirection	111131	3754	12825	0	20361	1430	6459	0
its.vehicleLengthValue	111131	3754	12825	0	20361	1430	6459	0
its.vehicleLengthConfidenceIndication	111131	3754	12825	0	20361	1430	6459	0
cam.vehicleWidth	111131	3754	12825	0	20361	1430	6459	0
its.longitudinalAccelerationValue	111131	3754	12825	0	20361	1430	6459	0
its.longitudinalAccelerationConfidence	111131	3754	12825	0	20361	1430	6459	0
its.curvatureValue	111131	3754	12825	0	20361	1430	6459	0
its.curvatureConfidence	111131	3754	12825	0	20361	1430	6459	0
cam.curvatureCalculationMode	111131	3754	12825	0	20361	1430	6459	0
its.yawRateValue	111131	3754	12825	0	20361	1430	6459	0
its.yawRateConfidence	111131	3754	12825	0	20361	1430	6459	0
its.lateralAccelerationValue	30660	84225	12825	0	20361	1430	6459	0
its.lateralAccelerationConfidence	30660	84225	12825	0	12541	9250	6459	0
its.verticalAccelerationValue	30660	84225	12825	0	12541	9250	6459	0
its.verticalAccelerationConfidence	30660	84225	12825	0	12541	9250	6459	0



Graf 1 - Výšečový graf zaznamenaných a chybějících dat v CAM zprávách

3.2.3.2 Kontrola kvality dat DENM zpráv – Check quality

DENM zpráva musí obsahovat konkrétní parametry, které jsou vypsány v levém sloupci Tabulky 2. Algoritmus „Check quality“, který byl již proveden a popsán v dřívější kapitole, projel opět čtyři soubory a stanovil u každého logu DENM zprávy stav parametru na „Present“ nebo „Missing“. Hodnoty jsou také rozděleny podle toho, v jakém souboru se testování kvality provádělo. Jednalo se o dva TX soubory a 2 RX soubory. Jednalo se o stejný proces jako u určování kvality CAM zpráv.

Nejprve se začne opět nahlédnutím na kvalitu TX souborů. Ty opět, jak lze vidět v Tabulce 2, obsahují veškeré hodnoty v parametrech, v kterých měly. Přesněji se jedná o 20 hodnot u TX souboru 1 a o 5155 hodnot z TX souboru 2 v konkrétních 26 povinných parametrech. Zajímavým poznatkem je porovnání počtu zpráv obsahující povinné parametry u TX souboru 1 a 2 v DENM zprávách a v předchozích CAM zprávách. U CAM zpráv bylo zachyceno o zhruba polovinu více hodnot u souboru 1 než u souboru 2, zatímco zde u DENM zpráv se jedná o několikanásobný nárůst zachycených hodnot právě u souboru 2 oproti souboru 1. Mohlo to být způsobeno vozidlem, které v den jízdy, kdy docházelo k zaznamenávání dat souboru 1, nebylo připravené vykonávat svoji funkci dostatečně. Zprávy například mohly být odeslány, ale nemusely být zaznamenány do databáze OBU jednotky.

Při pohledu do Tabulky 2 na obsah hodnot v určitých atributech u RX zpráv, si lze všimnout, že kvalita je na mnohem vyšší úrovni než u CAM zpráv. U souborů 1 i 2 chyběly hodnoty ve 3 stejných atributech. U atributu `denm_relevanceDistance` v souboru 1 se jednalo pouze o 1100 hodnot z celkového počtu 71 664. U souboru 2 se jednalo pouze o tři z celkového množství 14103. Naopak u posledních dvou atributů si lze všimnout, že ani jednou nebyla hodnota zaznamenána.

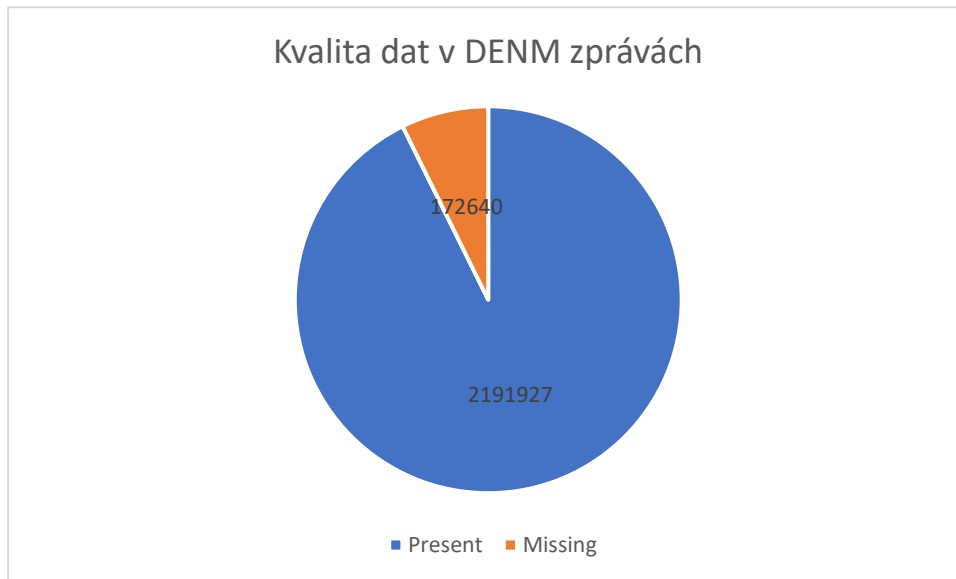
Pravděpodobně lze určit, že vozidlo nebylo připravené na zajištění hodnot parametrů nebo to při testování v pilotní lokalitě nebylo potřeba.

Veškerý přehled chybějících a zaznamenaných dat je k dispozici v Tabulce 2 a zároveň je přidán výšečový Graf 2, který opět porovnává počty zaznamenaných a chybějících hodnot ve zprávách.

Pro dalších hodnocení kvality DENM dat by se měl aplikovat podobný proces jako u předchozích CAM zpráv. Identifikovat neregularitu systému a snažit se o její odstranění. Dále by se dalo také zaměřit na otestování kvality dat volitelných parametrů.

Tabulka 2 - Statistika zaznamenaných a chybějících hodnot u parametrů v DENM zprávách

Parametry	RX soubor 1		TX soubor 1		RX soubor 2		TX soubor 2	
	Present	Missing	Present	Missing	Present	Missing	Present	Missing
its.protocolVersion	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
its.messageID	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
its.stationID	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
its.originatingStationID	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
its.sequenceNumber	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
denm.detectionTime	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
denm.referenceTime	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
its.latitude	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
its.longitude	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
its.semiMajorConfidence	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
its.semiMinorConfidence	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
its.semiMajorOrientation	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
its.altitudeValue	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
per.enum_index	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
its.altitudeConfidence	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
denm.relevanceDistance	70564	1100	20	0	14103	3	5155	0
denm.relevanceTrafficDirection	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
denm.validityDuration	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
denm.transmissionInterval	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
denm.stationType	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
denm.informationQuality	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
per.extension_bit	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
its.causeCode	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
its.subCauseCode	71664	0	20	0	14106	0	5155	0
its.speedValue	0	71664	20	0	0	14106	5155	0
its.speedConfidence	0	71664	20	0	0	14106	5155	0



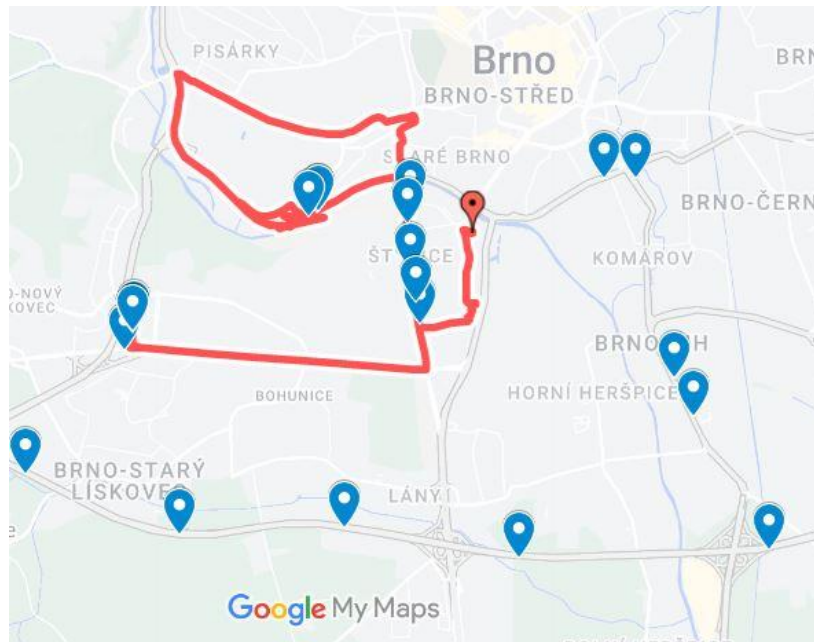
Graf 2 - Výšečový graf zaznamenaných a chybějících dat v DENM zprávách

3.2.3.3 Analýza vzdálenosti eventů od polohy vozidla a samotné jízdy

Pomocí aplikace zdrojového kódu v kapitole 3.2.2.4 se získaly dva CSV soubory („events_5_00_rx_distance“, „events_9_57_rx_distance“) obsahující data o události, čase prvního zachycení zprávy, zda byla zpráva o eventu využita, o vzdálenosti od prvního přijetí k eventů, čase jízdy od prvního přijetí k eventů a počtu přijatých zpráv. Pomocí těchto získaných dat jsou vytvořeny dvě tabulky, které budou následně analyzovány.

3.2.3.3.1 Events_5_00_rx_distance

K prvotnímu zhodnocení se vybral soubor s názvem „events_5_00_rx_distance“, jehož data byla zaznamenána 26. února 2020. Testování C-ITS probíhalo podle uchovaných GPS souřadnic v Brně. Vykreslit trasu vozidla proběhlo pomocí vyexportovaného GPX souboru gps_26.02.2020_5_00_24_TX_track na portálu Google Maps a také v softwaru GPS Track Editor. Vozidlo se pohybovalo zhruba hodinu na parkovišti v Brně v Akademické ulici před Moravským zemským archivem. Dále pokračovalo na Jihlavskou, kde odbočilo na Vídeňskou a pokračovalo přes Křížovou až na Mendlovo náměstí. Tam náhle odbočilo vlevo do ulice Hlinky, v které se vozidlo drželo až ulicí Bauerovou a Poříčím. Odtud pokračovalo opět po Vídeňské, ale v opačném směru, odkud odbočilo do Strážní a přes parkoviště po levé straně se napojilo na Polní. Tudy vozidlo dojelo až k justičnímu areálu v Brně. Z vykreslení trasy si lze všimnout, že u vozidla na ul. Bauerově s Poříčím docházelo k nějaké neregularitě ohledně zaznamenávání GPS (náhlá dosahující rychlost 2400 km/h přes řeku Svratku) a vozidlo se zde vyskytovalo necelou hodinu. Poté pokračovalo v již zmíněné jízdě. Ujetou vzdáleností za zhruba 2 hodiny a 43 minut záznamu bylo 15,5 km.



Obrázek 17 - Trasa vozidla a zaznamenané události pro soubor `events_5_00_rx_distance`

Dle vygenerované Tabulky 3 vozidlo za celou trasu dostalo zprávy o 32 událostech, z kterých jich využilo 13. Nepoužité a použité události lze vidět na Obrázku 17, kde je znázorněna červeně trajektorie vozidla a modrými štítky jednotlivé události. K této mapě se dopracuje pomocí již zmíněného GPX souboru a dalšího CSV nazývajícím se `events_events_5_00_rx`. Princip zasílání vícero zpráv o stejném eventu spočívá v tom, že zprávy jsou zasílány průběžně ještě dříve, než se uživateli zobrazují na HMI. Hlavním důvodem je předcházení situacím, kdy by uživateli nebylo možné zaslat zprávu kvůli případné ztrátě signálu. Notifikace na HMI se mu zobrazí až po najetí do úseku označeného tzv. `traces`. `Traces` jsou jednotlivé body, které se virtuálně spojí a vytvoří úsek, do něhož když řidič najede, již dávno přijatá notifikace se zobrazí na HMI prostředí. Zprávy na úsecích s povolenou vyšší maximální rychlostí se zasílají samozřejmě více předběžně než zprávy v městě s hustou dopravní sítí. Aby vozidlo zachytávalo pouze zprávy, které využije, muselo by znát trasu, kterou řidič pojedí.

Tabulka 3 - Vygenerovaná data o událostech pro soubor events_5_00_rx_distance

Event ID	Type	Receiving time	Used event	Nearest track point from some track point [m]	Air distance from event [m]	Distance to event on road [m]	Time duration to event on road [s]	Received events count
797409753_0	roadworks	2020-02-26 05:19:25	YES	0.81	31.36	41.94	785	956
1485787311_0	roadworks	2020-02-26 05:19:48	YES	0.33	40.36	51.94	774	1295
1485787311_4	roadworks	2020-02-26 05:51:07	YES	4.86	111.91	711.53	469	2329
1755095438_4	roadworks	2020-02-26 05:51:53	YES	1.76	59.73	944.15	1498	2176
1167327666_4	roadworks	2020-02-26 05:52:13	YES	0.84	60.03	921.34	1474	2125
187386773_0	roadworks	2020-02-26 06:09:35	YES	1.27	56.25	111.82	315	83
309498787_0	emergencyVehicleApproaching	2020-02-26 06:17:46	YES	6.10	381.50	429.78	187	127
1085010759_0	stationaryVehicle	2020-02-26 06:17:50	YES	7.84	825.27	858.50	282	150
1628737011_0	roadworks	2020-02-26 06:17:51	YES	8.52	1326.85	1427.59	589	138
1362627118_30	rescueAndRecoveryWorkInProgress	2020-02-26 06:54:12	YES	10.12	286.44	1124.23	2427	444
1393292553_0	roadworks	2020-02-26 06:54:13	YES	10.40	298.07	1129.60	2426	13
1183557722_0	roadworks	2020-02-26 06:54:33	YES	10.37	289.66	1122.41	2390	125
1362627118_35	rescueAndRecoveryWorkInProgress	2020-02-26 07:41:02	YES	0.89	13.36	25.75	265	467
705555601_0	roadworks	2020-02-26 05:00:28	NO	1310.03	2292.51			6779
1331342352_0	adverseWeatherCondition-ExtremeWeatherCondition	2020-02-26 05:00:28	NO	2833.90	2844.02			6828
1832170851_0	adverseWeatherCondition-Visibility	2020-02-26 05:00:28	NO	1683.86	3585.99			6854
1148530649_0	trafficCondition	2020-02-26 05:00:28	NO	4611.57	4623.25			5396
1436574611_0	emergencyVehicleApproaching	2020-02-26 05:00:28	NO	1475.43	1612.70			6147
204028361_0	stationaryVehicle	2020-02-26 05:00:28	NO	1323.85	1367.46			6885
1849439137_0	hazardousLocation-SurfaceCondition	2020-02-26 05:00:28	NO	3034.43	5419.34			6092
1427399839_0	trafficCondition	2020-02-26 05:00:29	NO	1955.52	4579.16			6804
2043809273_0	trafficCondition	2020-02-26 05:00:29	NO	4714.05	4725.76			3929
1485787311_1	roadworks	2020-02-26 05:34:32	NO	55.44	114.21			643
300231375_0	hazardousLocation-SurfaceCondition	2020-02-26 05:54:00	NO	6200.98	6225.27			1
1955506602_0	trafficCondition	2020-02-26 06:17:44	NO	4733.74	4763.99			966
272852511_0	roadworks	2020-02-26 06:17:45	NO	1135.39	2154.68			130
1586864885_0	adverseWeatherCondition-Adhesion	2020-02-26 06:17:46	NO	1364.29	2320.09			130
1732342305_0	stationaryVehicle	2020-02-26 06:17:46	NO	1692.46	2032.09			133
2031215711_0	adverseWeatherCondition-ExtremeWeatherCondition	2020-02-26 06:31:10	NO	3963.67	6002.62			2819
1362627118_33	emergencyVehicleApproaching	2020-02-26 07:35:15	NO	57.86	57.86			26
1362627118_34	emergencyVehicleApproaching	2020-02-26 07:39:24	NO	209.16	209.16			163
28129212_0	trafficCondition	2020-02-26 07:39:57	NO	5370.54	5964.07			511

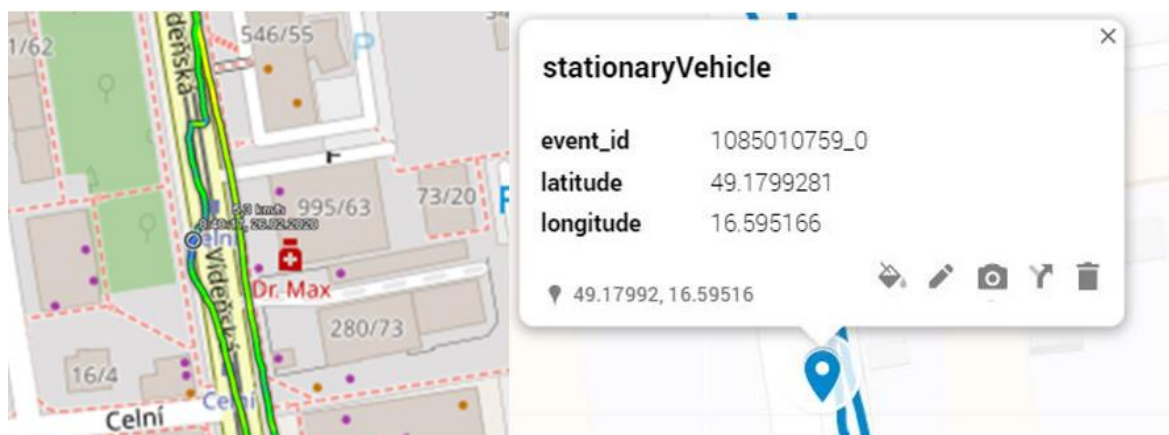
Pomocí implementace samotného eventu a trasy vozidla ve zdrojovém kódu lze vidět v Tabulce 3, že zobrazuje přesné informace o:

- Receiving time – Příchozí čas
- Used event – Zda byl event využit
- Nearest trackpoint from some trackpoint – Nejbližší bod, kterým vozidlo okolo eventu projelo
- Air distance from event – Vzdálenost vzdušnou čarou z prvního místa zachycení zprávy o eventu k samotnému eventu
- Distance to event on road – Vzdálenost po trajektorii vozidla od prvního místa zachycení zprávy o eventu k samotnému eventu

- Time duration to event on road – Doba, která trvala řidiči dojet k eventu od prvního zachycení eventu
- Received events count – Počet obdržených zpráv o konkrétním eventu

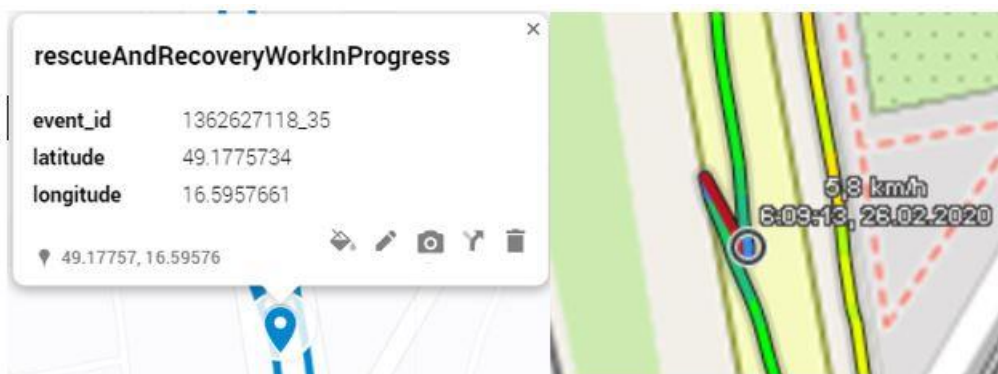
Poněkud matoucí je více událostí typu RWW, jelikož vozidlo z počátku při pochybném kroužení na parkovišti zaznamenalo sedm RWW na podobných místech.

Data přijatá OBU jednotkou jsou již zanalyzovaná a chybí je zasadit do samotné jízdy a reakce řidiče. Celý proces proběhne pomocí softwaru GPS Track Editor, který zobrazuje rychlost vozidla pomocí 12825 GPS bodů. Jelikož byla data z GPS v mnoha úsecích velmi nepřesná, nebylo možné dohledat tolik událostí, kolik bylo plánováno. Ale v mnoha úsecích jde pomocí zmíněné rychlosti ukázat fakt, že řidič obdržel informaci a byl nucen na ni reagovat. První případ je ukázaný na Obrázku 18. Řidič dostane informaci o stojícím vozidle a je nucen na ni reagovat rychlým zpomalením (barevné spektrum zobrazuje zelenou barvou rychlost odpovídající kolem 35-40 km/h, naopak modrá až zpomalení na 5 km/h).



Obrázek 18 - Událost stojící vozidlo a řidičova rychlostní reakce

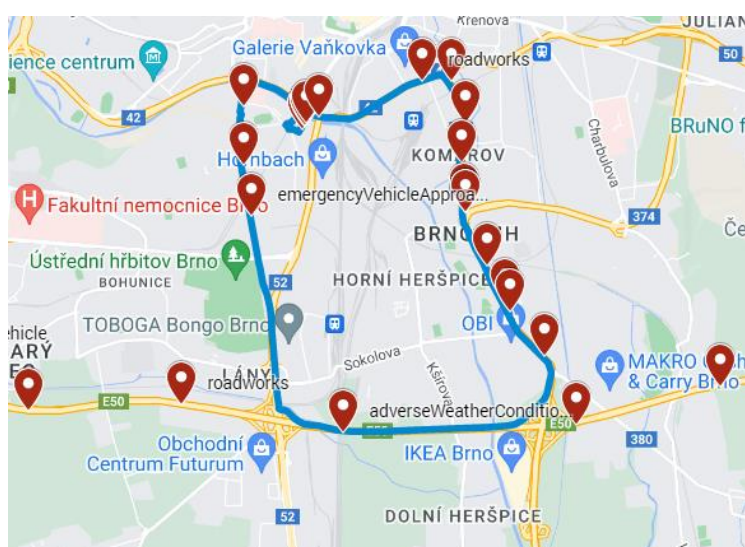
Druhý případ je znázorněn na Obrázku 19, kde řidič obdržel informaci o zásahu IZS. Vozidlo IZS pravděpodobně bylo detekováno již dříve, když řidič dostával informaci, aby vozidlu umožnil hladké projetí. Opět jde vidět náhlé zpomalení v místě lokalizace eventu, tudíž lze soudit, že poskytnutá informace mu byla ku prospěchu.



Obrázek 19 - Událost upozorňující na zásah IZS a jeho rychlostní reakce

3.2.3.3.2 Events_9_57_rx_distance

Druhým technickým a funkčním zhodnocení jsou data z vozidla umístěná v souboru nazývaném „events_9_57_rx_distance“. Data byla vozidlovou jednotkou zaznamenána ve stejný den jako předchozí soubor, tudíž 26.2.2020. Trasa se vykreslila opět prostřednictvím portálu Google Maps a softwaru GPS Track Editor, do kterých se naimportoval GPX soubor gps_26.02.2020_9_57_24_TX_track. Testování pravděpodobně navazovalo na předešlou fázi, kdy se vyjízďelo před 11. hodinou ze stejného místa jako předtím skončilo. Začínalo tedy od justičního areálu v Brně a pokračovalo přes Renneskou třídu na Poříčí. Odtud pokračovalo po komunikaci I/42. Po chvíli odbočovalo na komunikaci I/41 a pokračovalo na jih, kde najelo na D1 směr Praha. Na prvním sjezdu 194B sjelo na komunikaci I/52 a po ní pokračovalo na odbočku k Vídeňské ulici. Po ní vozidlo jelo až na křižovatku Vídeňská – Poříčí, kde se napojilo na Poříčí a pokračovala západně do křižovatky Poříčí – Renneská třída. Odtud zajelo zpět k justičnímu areálu, odkud vozidlo zahajovalo jízdu. Celá trajektorie vozidla byla dlouhá 11,1 km a vozidlo ji projelo za necelou hodinu a dvacet minut. Oproti minulému souboru se GPS souřadnice zaznamenávaly kvalitně až na jednu neregularitu u autobusové zastávky Komárov na ul. Hněvkovského, která přetrvávala necelých 30 minut.



Obrázek 20 - Trasa vozidla a zaznamenané události pro soubor events_9_57_rx_distance

Dle vygenerované Tabulky 4 vozidlo obdrželo za jízdu zprávy o 30 událostech. Informace týkající se jich využilo pouze sedmkrát. Většinu použitých i nepoužitých událostí lze vidět na Obrázku 20. Postup k vytvoření identické mapy je obdobný jako u souboru v předchozí kapitole. Použije se zmíněný GPX soubor, který se společně s GPX souborem events_events_9_57_rx naimportuje do platformy Google Maps. Dále se pouze změnila barva jednotlivých vrstev na červenou pro štítek událostí a na modrou pro trajektorii vozidla. Význam opakovaného zasílání dat o stejném eventu už bylo také zmíněno v přechozí kapitole a souvisí i s touto.

V Tabulce 4 lze vidět, že zobrazuje identické informace jako Tabulka 3, proto není považováno za nutné opakované vysvětlení pojmů. Legenda k tabulce je případně k nalezení v kapitole 3.2.3.3.1.

Data z druhého testování ukazují zajímavé informace, co se týče aplikace tabulky 4. Lze si všimnout, že zprávy o pěti událostech byly poprvé zaznamenány s předstihem větším než 3400 sekund k dojetí do samotného místa eventů. Pravděpodobně tedy vozidlová jednotka na začátku jízdy obdržela informace o eventech hned z RSU jednotky nacházející se blízko startu. Podle časových odhadů se pravděpodobně jednalo o křižovatku řízenou SSZ u Novosadského mostu. Podle příchozího času zpráv obdrželo vozidlo na této křižovatce minimálně 15 zpráv o různých událostech.

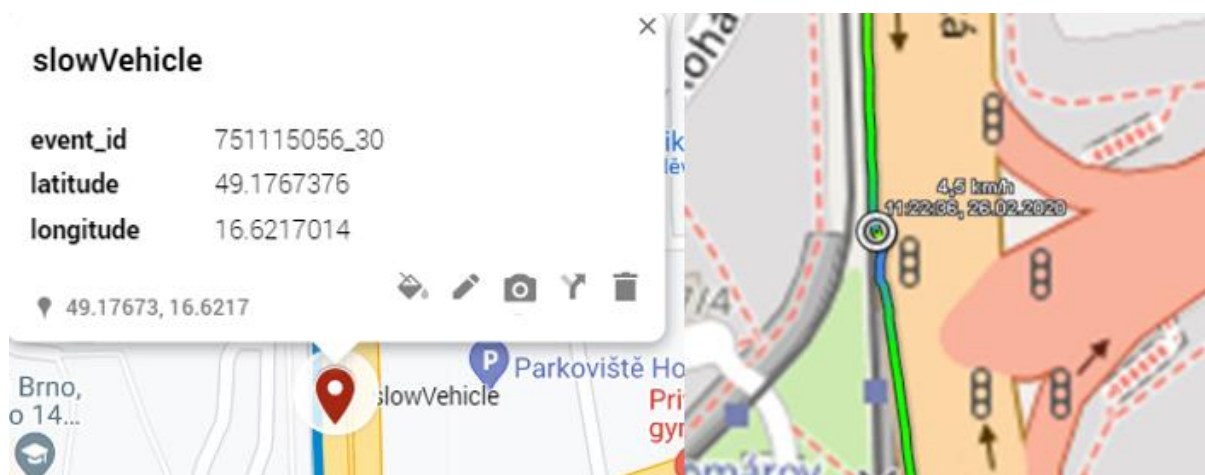
Další zajímavostí, která lze vyčíst z Tabulky 4, jsou hodnoty udávané ve sloupci s počtem obdržených zpráv o jedné události. Prvním zarážejícím číslem je velmi nízký celkový počet 6 zpráv o eventu informující řidiče o pomalém vozidle, který byl poprvé vozidlem zachycen 1401 sekund, tedy více než 23 minut. Důvodem mohlo být nedostatečné pokrytí stanicemi, které by zasílaly vozidlu opakovaně zprávu nebo naopak výpadek na straně vozidlové jednotky. Dalšími nízkými čísly jsou 75 a 72, které se nacházejí u eventů ohlašující práce na silnici a příjezd vozidla IZS. Podobné číslo se nachází i u upozornění na nepříznivé počasí. Rozdíl ale v těchto dvou skupinách je takový, že první dvě upozornění s nízkými počty obdržených zpráv přijmulo vozidlo více než 3500 sekund před příjezdem vozidla k eventu. Zatímco varování o nepříznivém počasí odeslalo stejný počet zpráv o eventu za pouhých 199 sekund jízdy. Důležité je také zmínit u této problematiky vzdálenost jízdy vozidla. Délka trajektorie vozidla mezi prvními dvěma upozorněními a příjezdem ke konkrétním eventům se pohybuje mezi 7765-8722 metry. Za to zpráva o počasí dorazila 530 m před příjezdem na místo. Pravost veškerých informací si lze samozřejmě ověřit v Tabulce 4, která je umístěna níže.

Tabulka 4 - Vygenerovaná data o událostech pro soubor events_9_57_rx_distance

Event ID	Type	Receiving time	Used event	Nearest track point from some track point [m]	Air distance from event [m]	Distance to event on road [m]	Time duration to event on road [s]	Received events count
774242384_0	hazardousLocation-ObstacleOnTheRoad	2020-02-26 10:06:32.4	YES	33543	2898.92	4333.95	3556	1144
1427399839_0	trafficCondition	2020-02-26 10:06:32.4	YES	42522	2330.80	3738.36	3405	1169
1832170851_0	adverseWeatherCondition-Visibility	2020-02-26 10:06:32.4	YES	43070	2689.86	6599.88	3872	1127
1628737011_0	roadworks	2020-02-26 10:18:11.4	YES	43497	1356.23	8722.33	3758	75
1586864885_0	adverseWeatherCondition-Adhesion	2020-02-26 10:18:11.4	YES	18.91	475.71	530.65	199	77
309498787_0	emergencyVehicleApproaching	2020-02-26 10:18:11.4	YES	0.88	1664.09	7765.20	3544	72
751115056_33	slowVehicle	2020-02-26 10:34:07.4	YES	31594	837.50	867.94	1401	6
751115056_0	stationaryVehicle	2020-02-26 10:05:43.4	NO	0.87	35.25			1088
705555601_0	roadworks	2020-02-26 10:06:32.4	NO	846.24	2649.38			1160
1331342352_0	adverseWeatherCondition-ExtremeWeatherCondition	2020-02-26 10:06:32.4	NO	5164.12	5758.16			862
1955506602_0	trafficCondition	2020-02-26 10:06:32.4	NO	2417.52	5518.69			1008
28129212_0	trafficCondition	2020-02-26 10:06:32.4	NO	2975.27	5596.26			803
2031215711_0	adverseWeatherCondition-ExtremeWeatherCondition	2020-02-26 10:06:32.4	NO	1460.61	4275.23			809
1436574611_0	emergencyVehicleApproaching	2020-02-26 10:06:33.4	NO	2191.12	3459.85			803
204028361_0	stationaryVehicle	2020-02-26 10:06:33.4	NO	3348.73	4142.56			1090
1849439137_0	hazardousLocation-SurfaceCondition	2020-02-26 10:06:33.4	NO	335.60	3517.21			801
751115056_1	slowVehicle	2020-02-26 10:11:09.4	NO	14.28	55.38			19
751115056_2	stationaryVehicle	2020-02-26 10:11:15.4	NO	19.62	52.32			7
751115056_3	slowVehicle	2020-02-26 10:11:17.4	NO	22.00	51.08			30
751115056_4	stationaryVehicle	2020-02-26 10:11:25.4	NO	37.63	37.63			1031
272852511_0	roadworks	2020-02-26 10:18:30.4	NO	30376	163.25			68
751115056_28	slowVehicle	2020-02-26 10:30:34.4	NO	898.19	898.19			25
751115056_29	slowVehicle	2020-02-26 10:31:07.4	NO	548.01	548.01			46
801967579_0	stationaryVehicle	2020-02-26 10:31:22.4	NO	4855.28	5520.94			239
751115056_30	slowVehicle	2020-02-26 10:31:35.4	NO	173.83	173.83			32
751115056_31	stationaryVehicle	2020-02-26 10:31:44.4	NO	115.40	115.40			136
751115056_32	slowVehicle	2020-02-26 10:32:22.4	NO	109.99	109.99			237
1732342305_0	stationaryVehicle	2020-02-26 11:05:31.4	NO	1913.42	1950.75			72
1085010759_0	stationaryVehicle	2020-02-26 11:05:35.4	NO	17168	1421.99			67
1488338537_0	signalViolation	2020-02-26 11:05:49.4	NO	167.28	1620.23			3

Funkčním uplatněním C-ITS přímo v druhé jízdě v rámci pilotního testování v Brně byla také reakce na pomalé vozidlo na křižovatce ulic Černovická a Svatopetrská, které je patrné z Obrázku 21.

Podobných situací se dá najít pro tento záznam jízdy na komunikaci I/41 více. Řidič vždy z průměrné rychlosti 35 km/h musí reagovat a náhle zpomalit. Zasílání notifikace by mělo předejít podobným situacím, které ale častokrát končí dopravní nehodou, při začínání tvoření dopravních kongescí.



Obrázek 21- Událost pomalu jedoucí vozidlo a řidičova rychlostní reakce

Z datové analýzy podobného typu lze spousta věcí vyvodit, ale samotné hodnocení reakce řidiče na základě dat z GPS a toho vytvořeného rychlostního grafu se nestane nikdy tak přesné jako při práci s konkrétním řidičem pomocí podrobnějšího testování. Do něj by bylo potřeba zahrnout více řidičů na konkrétních úsecích pro širší kvalitu výsledků.

Dalším možným zlepšením datové analýzy by bylo zahrnout do analýzy již zmíněné traces, které by nám ještě ukázaly, kdy a kde proběhlo samotné upozornění řidiče na hrozící nebezpečí. Ale co se týče traces, je opravdu těžké dojít ke stavu, aby data byla s minimálními výpadky a využívala pouze ty zprávy, které je potřeba. Jak už bylo zmíněno, bylo by nutné zajistit, aby řidič jel jen tudy, kudy by ho vedlo vozidlo pomocí navigace. Pak by bylo teoreticky možné zajistit dokonalé zlepšení komfortu a zkrácení doby jízdy.

4 Závěr

Kooperativní inteligentní dopravní systémy jsou právem považovány jako za jeden ze směrů vývoje technologií využívaných v dopravě. Komunikace mezi vozidly nabízí možnosti automatizovaného řízení a poskytnutí nejnovějších informací nejen řidičům o událostech na pozemních komunikacích. Stanovené use-cases Day 1 a 1,5 zahrnují většinu služeb, které jsou potřeba pro zvýšení bezpečnosti dopravy, její zefektivnění, zkrácení jízdních dob a snížení ekologických dopadů na Zemi vlivem dopravy. Právě ale zvýšení bezpečnosti dopravy je stěžejním důvodem dalšího testování a následné aplikace C-ITS systémů do reálného provozu.

Právě při práci s daty poskytnutými z testování bylo zachyceno několikero chybějících hodnot, které podle standardů mají být povinně obsažené ve zprávách. Procentuálně se pohybovala chybovost kolem 10 % z celkového počtu zaznamenaných zpráv. Ať už se jedná o zprávy typu CAM, které obsahují základní informace o daném vozidle, nebo zprávy DENM nesoucí informaci o událostech. Výsledky testování také ovlivnila lokalita, kde bylo testování prováděno. V zastavěné městské oblasti má vozidlo více možností změnit směr jízdy oproti pohybu po rychlostních komunikacích.

Analýza funkčnosti také odhalila neregularitu v počtu zasílaných zpráv o stejné události. Zprávy se mají zasílat pravidelně a průběžně, aby při výpadku signálu ať už ze strany vozidla nebo druhé komunikační jednotky, nedošlo k nedoručení informace, která by mohla zamezit dopravní nehodě.

Potřebou pro výsledky testování s maximální výstupní hodnotou je testování s větším počtem řidičů. Vytýčila by se pilotní lokalita a s každým účastníkem by byl proveden vstupní a výstupní dotazník. Dále by se s řidičem při jízdě pracovalo s jeho psycho-fyziologickými daty – např. využití konkrétně eyetrackingu. Jeho prostřednictvím by se dalo přesně určit, zda vůbec a za jakou dobu stihne zpozorovat varování na událost prostřednictvím HMI a s tím odvíjející reakcí na událost na komunikaci. Ve výsledku by se právě pracovalo s těmito daty a samotným funkčním zhodnocením účastníka.

5 Zdroje a použitá literatura

- [1] *Motor vehicle* [online]. 2022 [vid. 2022-11-11]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Motor_vehicle&oldid=1112727144
- [2] *CDV - ITS KNIHOVNA* [online]. [vid. 2022-11-10]. Dostupné z: <https://www.its-knihovna.cz/cz/knihovna/projekty/c-roads/systemy-c-its/o-systemech-c-its>
- [3] *Cooperative, connected and automated mobility (CCAM)* [online]. [vid. 2022-11-11]. Dostupné z: https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/intelligent-transport-systems/cooperative-connected-and-automated-mobility-ccam_en
- [4] *About C-ITS | CAR 2 CAR Communication Consortium* [online]. [vid. 2022-11-10]. Dostupné z: <https://www.car-2-car.org/about-c-its/#c251>
- [5] *C-ROADS CZ - Specifikace systému verze 2.0, připraveno skupinou WG 2.1* [online]. prosinec 2021. Dostupné z: https://www.its-knihovna.cz/CDV/media/ITS-Knihovna/Projekty%20a%20studie/C_ROADS/Technick%c3%a9%20normy%20a%20standardy/C-Roads-CZ-Specifikace-systemu-v2-0.pdf
- [6] *ETSI TS 122 185 v15.0.0 - LTE; Service requirements for V2X services* [online]. červenec 2018. Dostupné z: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/122100_122199/122185/15.00.00_60/ts_122185v150000p.pdf
- [7] *Vehicle-to-everything* [online]. 2022 [vid. 2022-11-11]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Vehicle-to-everything&oldid=1111363830>
- [8] *ETSI EN 302 637-2: Intelligent Transport Systems (ITS); Specification of Cooperative Awareness Basic Service* [online]. Dostupné z: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263702/01.04.01_60/en_30263702v010401p.pdf
- [9] *ETSI EN 302 637-3: Intelligent Transport Systems (ITS); Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service* [online]. Dostupné z: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263703/01.03.01_60/en_30263703v010301p.pdf
- [10] IBRAHIM, Shahana, Dileep KALATHIL, Rene O. SANCHEZ a Pravin VARAIYA. *Estimating Phase Duration for SPaT Messages* [online]. B.m.: arXiv. 10. leden 2018 [vid. 2022-11-17]. Dostupné z: <http://arxiv.org/abs/1710.05394>. arXiv:1710.05394 [eess, stat]
- [11] SAE J2735 DSRC Message List. *SNIP Support* [online]. [vid. 2022-11-17]. Dostupné z: <https://www.use-snip.com/kb/knowledge-base/sae-j2735-dsrc-message-list/>
- [12] KIM, Jin-Woo, Jae-Wan KIM a Dong-Keun JEON. A Cooperative Communication Protocol for QoS Provisioning in IEEE 802.11p/Wave Vehicular Networks. *Sensors* [online]. 2018, **18**, 3622. Dostupné z: [doi:10.3390/s18113622](https://doi.org/10.3390/s18113622)
- [13] FABER, Freek a David GREEN. Concept of Operations for C-ITS Core Functions. 2015, 132.
- [14] Probe Vehicle Data (PVD). *CO-UMP* [online]. [vid. 2022-11-17]. Dostupné z: <https://co-ump.eu/pvd/>

- [15] J2945/9_201703: *Vulnerable Road User Safety Message Minimum Performance Requirements - SAE International* [online]. [vid. 2022-11-17]. Dostupné z: https://www.sae.org/standards/content/j2945/9_201703/
- [16] *Tampa CV Pilot Traveler Information Message (TIM) Sample* [online]. B.m.: USDOT. 19. březen 2021 [vid. 2022-11-17]. Dostupné z: <https://catalog.data.gov/dataset/tampa-cv-pilot-traveler-information-message-tim-sample>
- [17] *TP 65: Zásady pro dopravní značení na pozemních komunikacích* [online]. B.m.: Ministerstvo dopravy, odbor pozemních komunikací. Dostupné z: https://pjpk.rsd.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_65.pdf
- [18] ZELINKA, Tomáš. *Přednášky na Fakultě dopravní. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. Telekomunikace a místní sítě*. 2022
- [19] LOKAJ, Zdeněk. *Přednášky na Fakultě Dopravní. ČVUT v Praze, Fakulta Dopravní. C-ITS systémy*.
- [20] *IEEE 802.11* [online]. 2022 [vid. 2022-11-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=IEEE_802.11&oldid=21784842
- [21] TAHIR, Muhammad a Marcos KATZ. Performance evaluation of IEEE 802.11p, LTE and 5G in connected vehicles for cooperative awareness. *Engineering Reports* [online]. 2022, **4**. Dostupné z: doi:10.1002/eng2.12467
- [22] *IEEE 802.11p* [online]. 2022 [vid. 2022-11-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=IEEE_802.11p&oldid=1094369212
- [23] *Dedicated short-range communications* [online]. 2022 [vid. 2022-11-19]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Dedicated_short-range_communications&oldid=1118094244
- [24] *ETSI TS 102 792: Intelligent Transport Systems (ITS); Mitigation techniques to avoid interference between European CEN Dedicated Short Range Communication (CEN DSRC) equipment and Intelligent Transport Systems (ITS) operating in the 5 GHz frequency range*. červen 2015
- [25] *DSRC Technology, 802.11p standard, ITS-G5, ETSI ITS-G5, IEEE802.11p* [online]. 8. srpen 2021 [vid. 2022-11-19]. Dostupné z: <https://auto-talks.com/technology/dsrc-technology/>
- [26] OH, Hyunseo, Chungil YAE, Donghyon AHN a Hanberg CHO. 5.8 GHz DSRC packet communication system for ITS services. In: *Gateway to 21st Century Communications Village. VTC 1999-Fall. IEEE VTS 50th Vehicular Technology Conference (Cat. No.99CH36324): Gateway to 21st Century Communications Village. VTC 1999-Fall. IEEE VTS 50th Vehicular Technology Conference (Cat. No.99CH36324)* [online]. 1999, s. 2223–2227 roč.4. ISSN 1090-3038. Dostupné z: doi:10.1109/VETECF.1999.797333
- [27] KAREL, Michal. Nové trendy v technologiích DSRC pro dopravní aplikace. nedatováno, **2020**, 68.
- [28] VALERIO, Pablo. Europe has defined DSRC WiFi as the V2X standard, and now faces 5G vendors revolt. *IoT Times* [online]. 3. květen 2019 [vid. 2022-11-19]. Dostupné z: <https://iot.eetimes.com/europe-has-defined-dsrc-wifi-as-the-v2x-standard-and-now-faces-5g-vendors-revolt/>

- [29] ETSI EN 302 663: *Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band*. listopad 2012
- [30] *Celulární radiová síť* [online]. 2022 [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Celul%C3%A1rn%C3%AD_radiov%C3%A1_s%C3%AD%C5%A5&oldid=21240468
- [31] ONG, Don. Wireless Mobile Technology: It's Only Getting Faster And Faster. *Medium* [online]. 28. březen 2018 [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://medium.com/@don.ong/wireless-mobile-technology-its-only-getting-faster-and-faster-e2c740ab00fc>
- [32] *LTE Advanced* [online]. 2022 [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=LTE_Advanced&oldid=1119450310
- [33] RAJIV. How 5G technology works. *RF Page* [online]. 17. červen 2016 [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.rfpage.com/how-5g-technology-works/>
- [34] MOLINA-MASEGOSA, Rafael a Javier GOZALVEZ. LTE-V for Sidelink 5G V2X Vehicular Communications: A New 5G Technology for Short-Range Vehicle-to-Everything Communications. *IEEE Vehicular Technology Magazine* [online]. 2017, **12**(4), 30–39. ISSN 1556-6080. Dostupné z: doi:10.1109/MVT.2017.2752798
- [35] *InterCor Milestone 4: Common set of upgraded specifications for hybrid communication 2019* [online]. Dostupné z: <https://intercor-project.eu/library/#>
- [36] LU, Meng, Oktay TURETKEN, Onat ADALI, Jacint CASTELLS, Robbin BLOKPOEL a Paul GREFEN. C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems) deployment in Europe-challenges and key findings. In: . 2018.
- [37] *Implemented Services: C-Roads* [online]. [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.c-roads.eu/pilots/implemented-services.html>
- [38] *EU EIP-44-D1-Interoperability requirements for C-ITS services with infrastructure involvement v1.0* [online]. [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.its-platform.eu/wp-content/uploads/ITS-Platform/AchievementsDocuments/IntegratingC-ITS/EU%20EIP-44-D1-C-ITS%20Interoperability%20Requirements-v1.0.pdf>
- [39] *C-ITS platform final report* [online]. [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.polisnetwork.eu/wp-content/uploads/2019/09/c-its-platform-final-report-january-2016.pdf>
- [40] *Emergency Brake Light (EBL) – Cooperative Urban Mobility Portal* [online]. [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://co-ump.eu/portal/emergency-brake-light/>
- [41] Emergency vehicle approaching details. *C-ROADS Germany* [online]. [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.c-roads-germany.de/english/c-its-services/eva/>
- [42] Architectures (Safety) | Emergency Vehicle Warning (EVW). *CO-UMP* [online]. [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://co-ump.eu/cits-as-evw/>
- [43] Slow or Stationary Vehicle Warning. *C-ROADS Germany* [online]. [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.c-roads-germany.de/english/c-its-services/ssvw/>
- [44] Traffic Jam Ahead Warning. *C-ROADS Germany* [online]. [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.c-roads-germany.de/english/c-its-services/tjw/>

- [45] *Application Specification: Hazardous Location Notifications HLN; Use case description* [online]. [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: https://www.cmc-info.net/uploads/1/2/1/4/121453783/4.2_-_hln_-_use_case_description___technical_description.pdf
- [46] Road Works Warning. *C-ROADS Germany* [online]. [vid. 2022-11-20]. Dostupné z: <https://www.c-roads-germany.de/english/c-its-services/rww/>
- [47] *C-ROADS CZ: Use case katalog*. prosinec 2021
- [48] ASSELIN-MILLER, Nick, Marius BIEDKA, Gena GIBSON, Felix KIRSCH, Nikolas HILL, Ben WHITE a Kotub UDDIN. Study on the Deployment of C-ITS in Europe: Final Report. nedatováno, (1), 218.
- [49] Shockwave Damping. *C-ROADS Germany* [online]. [vid. 2022-11-21]. Dostupné z: <https://www.c-roads-germany.de/english/c-its-services/swd/>
- [50] SARA. Exploring the benefits of C-ITS for cities and users with ERTICO's Giacomo Somma. *C-Mobile* [online]. 9. duben 2020 [vid. 2022-11-21]. Dostupné z: <https://c-mobile-project.eu/2020/04/09/exploring-the-benefits-of-c-its-for-cities-and-users-with-erticos-giacomo-somma/>
- [51] VEHICLE, SCOOP Project : connected road and. *SCOOP Project : connected road and vehicle* [online]. 19. únor 2020 [vid. 2022-11-21]. Dostupné z: <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en>
- [52] *Deployment of Cooperative Systems on the C-ITS Corridor in Europe | AQTr - Association québécoise des transports* [online]. [vid. 2022-11-21]. Dostupné z: <https://aqtr.com/association/actualites/deployment-cooperative-systems-c-its-corridor-europe>
- [53] InterCor Project. *InterCor* [online]. [vid. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://intercor-project.eu/>
- [54] InterCor Brochure January 2020. *InterCor* [online]. leden 2020 [vid. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://intercor-project.eu/library/>
- [55] *NordicWay 3* [online]. [vid. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://www.nordicway.net/>
- [56] *Norsko - C-Roads Norsko: C-Roads* [online]. [vid. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://www.c-roads.eu/pilots/core-members/norway/Partner/project/show/test-project-6.html>
- [57] *About: C-Roads* [online]. [vid. 2022-11-24]. Dostupné z: <https://www.c-roads.eu/platform/about/about.html>
- [58] *Germany - C-Roads Germany: C-Roads* [online]. [vid. 2022-11-24]. Dostupné z: <https://www.c-roads.eu/pilots/core-members/germany/Partner/project/show/c-roads-germany.html>
- [59] *Austria - C-Roads Austria: C-Roads* [online]. [vid. 2022-11-24]. Dostupné z: <https://www.c-roads.eu/pilots/core-members/austria/Partner/project/show/c-roads-austria.html>
- [60] *C-Roads Brochure 2021 v2* [online]. [vid. 2022-11-25]. Dostupné z: https://www.c-roads.eu/fileadmin/user_upload/media/Dokumente/C-Roads_Brochure_2021_final_2.pdf

[61] *ETSI TS 102 894-2 Intelligent Transport Systems (ITS); Users and applications requirements; Part 2: Applications and facilities layer common data dictionary* [online]. Dostupné z: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/10289402/01.03.01_60/ts_10289402v010301p.pdf

6 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Pilotní lokality projektu SCOOP [51]	28
Obrázek 2 – Pilotní lokalita C-ITS koridoru [52].....	29
Obrázek 3 - Propojené lokality členských zemí projektu InterCor [27].....	30
Obrázek 4 - Pilotní projekty C-ROADS v Evropě [57]	31
Obrázek 5 - Pilotní lokality C-ROADS CZ [5].....	34
Obrázek 6 - Umístění RSU jednotek v rámci DT1 C-ROADS CZ [5]	35
Obrázek 7 - Umístění RSU jednotek v rámci DT2 C-ROADS CZ [5]	36
Obrázek 8 - Umístění RSU jednotek v rámci DT3 C-ROADS CZ na dálnici D5 [5].....	36
Obrázek 9 - Umístění RSU jednotek v rámci DT3 C-ROADS CZ na dálnici D11 [5].....	37
Obrázek 10 - Umístění RSU jednotek v rámci DT4 C-ROADS CZ v Ostravě [5]	37
Obrázek 11 - Umístění RSU jednotek v rámci DT4 C-ROADS CZ v Plzni [5]	38
Obrázek 12 - Ukázka z prostředí softwaru Wireshark a načteného PCAP souboru	41
Obrázek 13 - Diagram algoritmu pro tvorbu create_gps_py	44
Obrázek 14 - Diagram algoritmu pro tvorbu process_denm_events_py.....	46
Obrázek 15 - Diagram algoritmu pro kontrolu kvality dat	48
Obrázek 16 - Diagram algoritmu zjištění vzdáleností eventu od vozidla	51
Obrázek 17 - Trasa vozidla a zaznamenané události pro soubor events_5_00_rx_distance.....	57
Obrázek 18 - Událost stojící vozidlo a řidičova rychlostní reakce	59
Obrázek 19 - Událost upozorňující na zásah IZS a jeho rychlostní reakce	60
Obrázek 20 - Trasa vozidla a zaznamenané události pro soubor events_9_57_rx_distance.....	60
Obrázek 21- Událost pomalu jedoucí vozidlo a řidičova rychlostní reakce.....	63

7 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Statistika zaznamenaných a chybějících hodnot u parametrů v CAM zprávách	53
Tabulka 2 - Statistika zaznamenaných a chybějících hodnot u parametrů v DENM zprávách.....	55
Tabulka 3 - Vygenerovaná data o událostech pro soubor events_5_00_rx_distance	58
Tabulka 4 - Vygenerovaná data o událostech pro soubor events_9_57_rx_distance	62

8 Seznam grafů

Graf 1 - Výšečový graf zaznamenaných a chybějících dat v CAM zprávách	54
Graf 2 - Výšečový graf zaznamenaných a chybějících dat v DENM zprávách.....	56

9 Seznam příloh

- 1 Příloha_1.zip – Příloha obsahuje pracovní data k praktické části v následujících složkách:
 - data – Exportovaná data z programu Wireshark, vstupní data pro Python skripty
 - output – Výstupy Python skriptů
 - zdrojove_kody – Zdrojové kódy Python skriptů