



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Jakub Jirák

**NÁVRH SYSTÉMU KONTROLY KVALITY
KOOPERATIVNÍCH SYSTÉMŮ**

Diplomová práce

2018

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



K614..... Ústav aplikované informatiky v dopravě

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Jakub Jirák

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – LA – Logistika a řízení dopravních procesů

Název tématu (česky): **Návrh systému kontroly kvality kooperativních systémů**

Název tématu (anglicky): Designing a quality control system for C-ITS

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Analyzujte různé typy kooperativních systémů a realizované implementace v ČR a v Evropě.
- Analyzujte současný stav platných a připravovaných norem (ISO, CEN, ETSI) a legislativních dokumentů zaměřených na ověřování kooperativních systémů.
- Analyzujte telekomunikační technologie vhodné pro kooperativní systémy - DSRC 5,9 GHz a LTE-A.
- Analyzujte obsah a typy přenášených zpráv v kooperativních systémech.
- Navrhněte automatizovaný systém pro ověřování kvality komunikačního kanálu kooperativních systémů.
- Vypracujte funkční vzorek navrženého automatizovaného systému ověřování kvality kooperativních systémů.

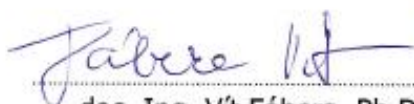


- Rozsah grafických prací: 10 obrázků
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Zelinka, T., Svítek, M.: Telekomunikační řešení pro informační systémy síťových odvětví, Grada 2009
Svoboda, J.: Telekomunikační technika, Sdělovací technika 2002
Odborné časopisy

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Lokaj, Ph.D.**
Ing. Martin Šrotýř, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2016**
(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 diplomové práce: **29. května 2018**
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. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.


Bc. Jakub Jiráček
jméno a podpis studenta

V Praze dne20. listopadu 2017

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji oběma vedoucím, doc. Ing. Zdeňku Lokajovi, Ph.D. a především Ing. Martinu Šrotýřovi, Ph.D., za velkou ochotu při konzultování diplomové práce, za odborné vedení a za rady, které mi poskytovali po celou dobu mého magisterského studia.

Dále chci poděkovat svému kamarádovi, spolužákovi a kolegovi, Ing. Pavlu Matějkovi, MSc, za jeho podporu při dokončování studia i při startu do pracovního života.

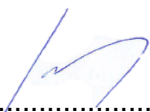
Na závěr bych chtěl poděkovat svým rodičům, za morální i materiální podporu, ale především za to, že mi nikdy nepřestali věřit, i když to nebylo vždy jednoduché.

Prohlášení

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

Nemám závažný důvod proti užívání 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 29. května 2018



.....
Bc. Jakub Jirák

Abstrakt

Autor: Bc. Jakub Jirák
Název diplomové práce: Návrh systému kontroly kvality kooperativních systémů
Škola: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní
Rok vydání: Praha 2018
Počet stran: 88

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit funkční vzorek automatizovaného systému ověřování kvality kooperativních systémů. Práce se v první části teoreticky zabývá kooperativními systémy a přináší přehled již realizovaných implementací v rámci ČR a Evropy a analyzuje platné a připravované normy týkající se kooperativních systémů. Dále tato práce obsahuje srovnání telekomunikačních technologií vhodných pro použití v kooperativních systémech a detailněji analyzuje obsah a typy přenášených zpráv v rámci těchto systémů.

Na základě provedené analýzy v teoretické části práce, byl vytvořen funkční vzorek aplikace pro ověřování kvality kooperativních systémů. Kvalita je kontrolována na základě automatizované analýzy datového záchyty komunikace v rámci ověřovaného systému. Popisem vytvořené aplikace se zabývá druhá část této diplomové práce.

Klíčová slova:

Kooperativní systémy, C2X, ITS, CAM, DENM, kontrola kvality, C-ROADS

Abstract

Author: Bc. Jakub Jirák
Title of master's thesis: Designing a quality control system for C-ITS
University: Czech technical university in Prague, Faculty of transportation sciences
Year of publication: Praha 2018
Pages: 88

The aim of this master's thesis was to develop a functional sample of an automated quality control system for cooperative systems (C-ITS). The thesis deals with C-ITS theoretically in its first part, brings an overview of already realized C-ITS implementations within the Czech Republic and EU, and analyzes the valid and upcoming C-ITS related norms. Further, this thesis includes a comparison of C-ITS suitable telecommunication technologies and analyzes the contents and types of messages, that are being transferred within C-ITS systems, in greater detail.

Based on the analysis, performed in the theoretical part of this thesis, a functional sample of a quality control application for C-ITS, was developed. The quality is being inspected based on an automated analysis of a data capture of communication within the verified system. The second part of this thesis describes the created application.

Key words:

Cooperative systems, C2X, ITS, CAM, DENM, quality control, C-ROADS

Obsah

Seznam použitých zkratek	8
1 Úvod	11
1.1 Cíle diplomové práce	12
2 Úvod do problematiky kooperativních systémů	13
2.1 Komunikace Vozidlo-Infrastruktura	13
2.2 Komunikace Vozidlo-Vozidlo	14
2.3 Komunikace Vozidlo-X.....	15
2.4 Druhy vysílaných zpráv.....	15
2.5 Aplikace kooperativních systémů.....	15
2.5.1 Bezpečnostní aplikace.....	15
2.5.2 Aplikace pro řízení dopravy a přepravy.....	16
2.5.3 Logistika a řízení nákladní dopravy.....	16
2.5.4 Aplikace pro podporu údržby	16
3 Realizované projekty na poli kooperativních systémů	17
3.1 simTD	17
3.2 NordicWay.....	19
3.3 CIMEC.....	22
3.4 DRIVE C2X.....	23
3.5 Compass4D.....	24
3.6 BaSIC.....	26
3.7 C-ROADS Czech Republic	27
4 Platné technické normy.....	29
4.1 Standardizační organizace	29
4.1.1 ISO	29
4.1.2 CEN.....	29
4.1.3 ETSI	30
4.2 Normy zaměřené na ověřování kooperativních systémů.....	30
4.2.1 ETSI EG 202 798	30

4.2.2	ETSI TS 102 868	31
4.2.3	ETSI TS 102 869	31
4.2.4	ETSI TS 102 870	32
4.2.5	ETSI TS 102 871	33
4.2.6	Ostatní normy spojené s testováním C-ITS	33
4.2.7	Normy ověřované v rámci testování projektu C-ROADS	33
5	Telekomunikační technologie v C-ITS.....	36
5.1	DSRC 5,9 GHz	37
5.2	LTE-A	39
5.3	Srovnání DSRC 5,9 GHz vs. LTE-A.....	40
6	Zprávy přenášené v kooperativních systémech	42
6.1	Zprávy pro komunikaci s infrastrukturou	42
6.1.1	Zpráva SPaT	42
6.1.2	Zpráva MAP.....	43
6.1.3	Zprávy SRM a SSM	44
6.1.4	Zpráva IVIM.....	45
6.2	Zprávy pro základní sadu aplikací (BSA)	45
6.2.1	Zpráva CAM	45
6.2.2	Zpráva DENM.....	47
7	Praktická část – návrh a tvorba automatizovaného systému pro ověřování kvality komunikačního kanálu kooperativních systémů	49
7.1	Návrh a vývoj systému.....	49
7.1.1	Finální architektura systému	53
7.2	Popis vytvořeného funkčního vzorku systému	55
7.2.1	Předpoklady ke spuštění	55
7.2.2	Adresářová struktura	57
7.2.3	Struktura vstupů	58
7.2.4	Struktura výstupů.....	61
7.3	Testování vytvořeného funkčního vzorku systému.....	66

7.4	Uživatelský návod k vytvořenému funkčnímu vzorku systému	68
7.4.1	Spuštění systému	68
7.4.2	Výběr parametrů do shrnutí analýzy	69
7.4.3	Nastavení očekávané hodnoty pro parametr stationType	70
7.4.4	Spuštění analýzy datového zachytu ve formátu PCAP	70
7.4.5	Spuštění analýzy v testovacím režimu	71
7.4.6	Nastavení cesty k programu Wireshark	71
7.4.7	Ukončení běhu systému	72
7.5	Celkové shrnutí praktické části	73
7.5.1	Funkce vytvořeného funkčního vzorku systému.....	74
7.5.2	Nedostatky vytvořeného funkčního vzorku systému.....	78
7.5.3	Možnosti rozšíření a dalšího vývoje	78
8	Závěr	80
9	Reference	82
10	Seznam obrázků	86
11	Seznam příloh	88
11.1	Příloha A – obsah přiloženého CD	88

Seznam použitých zkratek

Zkratka	Český význam	Originální význam
3G	Mobilní sítě 3. generace	3rd generation cellular networks
4G	Mobilní sítě 4. generace	4th generation cellular networks
ASN.1	Prostředek pro popis datových struktur	Abstract Syntax Notation One
BSA	Základní sada aplikací	Basic Set of Application
BTP	Základní transportní protokol	Basic Transport Protocol
C2C	Komunikace vozidlo-vozidlo	Car-to-Car
C2I	Komunikace vozidlo-infrastruktura	Car-to-Infrastructure
C2X	Komunikace vozidlo-X	Car-to-X
CA	Základní služba používaná v rámci kooperativních systémů	Cooperative Awareness
CAM	Typ zprávy používaný v rámci kooperativních systémů	Cooperative Awareness Message
CEN	Evropský výbor pro normalizaci	Comité Européen de Normalisation
CENELEC	Evropský výbor pro normalizaci elektrotechniky	Comité Européen de Normalisation Électrotechnique
CIMEC	Projekt pro rozvoj kooperativních systému v evropských městech	Cooperative ITS for Mobility in European Cities
C-ITS	Kooperativní inteligentní dopravní systémy	Cooperative Intelligent transport systems
DEN	Základní služba používaná v rámci kooperativních systémů	Decentralized Environmental Notification
DENM	Typ zprávy používaný v rámci kooperativních systémů	Decentralized Environmental Notification Message
DSRC	Mikrovlnná telekomunikační technologie krátkého dosahu	Dedicated Short Range Communication)
DT	Nasazení & pilotní testování	Deployment & Test
EEI	Služba efektivního projetí křižovatkou	The Energy Efficient Intersection
ETSI	Evropský ústav pro telekomunikační normy	European Telecommunications Standards Institute
GUI	Grafické uživatelské rozhraní	Graphical User Interface
HSPA	Vysokorychlostní přenos dat v mobilních sítích 3. generace	High Speed Packet Access

ITS	Inteligentní dopravní systémy	Intelligent transport systems
IVIM	Zpráva pro komunikaci s infrastrukturou	Infrastructure to Vehicle Information Message
IZS	Integrovaný záchranný systém	Emergency services
LTE	Vysokorychlostní mobilní technologie pro přenos dat	Long Term Evolution
MAC	Kontrola přístupu k médiu	Media Access Control
MAP	Zpráva pro komunikaci s infrastrukturou	MAP data message
MHD	Městská hromadná doprava	Public Transport
OBU	Vozidlová jednotka	On-Board Unit
PER	Metoda kódování dat	Packed Encoding Rules
RHW	Služba varování před nebezpečím na silnici	The Road Hazard Warning
RLVW	Služba varování před porušením červeného signálu	The Red-Light Violation Warning
RSE	Zařízení pevně umístěné u silnice	Road Side Equipment
RSU	Silniční jednotka	Road Side Unit
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic	Czech highway authority
SPaT	Zpráva pro komunikaci s infrastrukturou	Signal Phase and Timing
SRM	Zpráva pro komunikaci s infrastrukturou	Signal Request Message
SSM	Zpráva pro komunikaci s infrastrukturou	Signal Status Message
TDMA	Časový multiplex	Time Division Multiple Access
TMC	Centrum řízení dopravy	Traffic Management Center
UMTS	Mobilní sítě 3. generace	Universal Mobile Telecommunication System
V2I	Komunikace vozidlo-infrastruktura	Vehicle-to-Infrastructure
V2V	Komunikace vozidlo-vozdlo	Vehicle-to-Vehicle
V2X	Komunikace vozidlo-X	Vehicle-to-X
VRZ	Výstražné zvukové a rozhlasové zařízení	Emergency light bar and siren

WAVE	Technologie pro bezdrátovou komunikaci v dopravním prostředí	Wireless Access in Vehicular Environment
------	--	--

1 Úvod

Silniční doprava je, se skoro 75 % ze všech přepravních výkonů osobní dopravy, nejvýznamnější formou osobní dopravy na světě. Největší podíl na těchto přepravních výkonech má pak individuální automobilová doprava, která zajišťuje asi 60 % veškeré osobní dopravy ve světě.

Automobil se tedy stal jedním ze symbolů moderní doby a nedílnou součástí našich životů. V současné situaci, kdy většina evropských rodin vlastní i dva či více automobilů, je vývoj technologií, v automobilovém průmyslu, jedním z odvětví, které velmi významně ovlivňují náš život. V současné době downsizingu a snižování emisí, se navíc nové technologie staly pro výrobce automobilů prostředkem k přilákání zákazníků, a jsou často prezentovány jako důležitější než tradiční automobilové hodnoty, jako jsou např. jízdní výkony.

Tyto nové technologie v automobilech mohou mít nejrůznější funkce, včetně zábavy pro posádku, ale jejich nejčastějším cílem stále zůstává zvýšení bezpečnosti. To dokládá současný rozmach asistenčních systémů, a to i do vozidel nižších kategorií.

Za další krok ve vývoji systémů pro zvýšení bezpečnosti, ale také např. pro snížení spotřeby, času stráveného v kolonách, nebo za nutný krok v cestě za autonomními vozidly, jsou v současné době považovány kooperativní systémy. Kooperativní systémy jsou založeny na vzájemné komunikaci mezi vozidly (C2C) a komunikaci mezi vozidly a infrastrukturou (C2I), někdy se tato komunikace souhrnně nazývá jako C2X. V rámci této komunikace je možné šířit informace relevantní k aktuální dopravní situaci, které se tak k řidiči dostanou mnohem dříve a často i v lepší kvalitě. Jako příklad takových informací je možné uvést např. rychlostní limity z proměnného dopravního značení, aktuální varování před děním na vozovce (práce na silnici, pohyb údržby apod.), varování řidičů před přijíždějícím vozidlem IZS, varování před nebezpečně odstaveným vozidlem atd.

Kooperativní systémy zažívají v současné době v rámci automobilového průmyslu velkou míru pozornosti a dochází k jejich mohutnému rozvoji v rámci několika evropských i globálních iniciativ, které jsou hybnou silou vývoje, standardizace a implementace kooperativních systémů. Největší mírou se v současnosti na vývoji podílejí automobilky a provozovatelé komunikací (veřejné instituce), kteří také mohou z budoucího fungování kooperativních systémů čekat největší přínosy.

K úspěšnému zavedení funkčního kooperativního systému vedou čtyři stejně důležité kroky: návrh, implementace, testování a provoz. Tato práce se věnuje především fázi testování, která je v případě kooperativních systémů velmi náročná a vyžaduje znalosti z mnoha různých oborů. Stejně jako u všech ostatních inteligentních dopravních systémů (ITS), můžeme navíc toto

testování rozdělit na dvě části: testování souladu s mezinárodně platnými normami a standardy, a testování interoperability s jinými systémy a zařízeními. Automatizovaný systém, vytvořený v rámci této práce, provádí testování první části, tedy souladu s platnými normami a standardy.

1.1 Cíle diplomové práce

Hlavním cílem této diplomové práce je vytvoření funkčního vzorku automatizovaného systému pro kontrolu kvality kooperativních systémů. Tato kontrola bude probíhat testováním zpráv, vysílaných v rámci zkoušeného systému, na soulad s mezinárodně platnými normami. Podobná kontrola dosud probíhala v rámci Fakulty dopravní ČVUT v Praze vždy manuálně, kdy testující pracovník musel procházet vysílané zprávy a zkontrolovat každý jejich testovaný parametr zvlášť. Zamýšlený systém by měl snížit časovou náročnost takového testování a zároveň značně zvýšit počet otestovaných zpráv.

Kromě samotné tvorby automatizovaného systému práce také provede stručný úvod do problematiky kooperativních systémů, analýzu současného stavu norem a standardů spojených s C-ITS, porovná telekomunikační technologie používané v rámci kooperativních systémů a analyzuje obsah a typy přenášených zpráv, se zaměřením především na CAM a DENM zprávy.

2 Úvod do problematiky kooperativních systémů

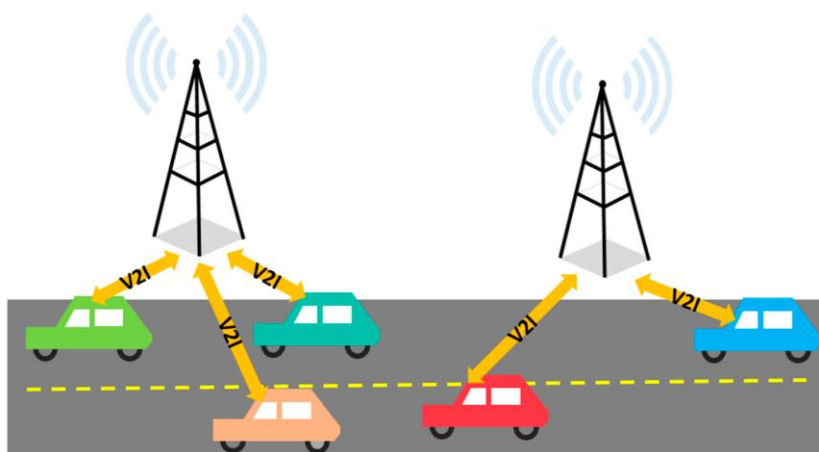
Kooperativní systémy si kladou za cíl především zvýšení bezpečnosti provozu v poměrně specifickém prostředí silniční dopravy, kde se mnohem více než u jiných druhů dopravy, můžeme setkat s velkým množstvím rozdílných typů vozidel, řízených navíc řidiči s rozdílnou úrovní dovedností. V takto komplexním prostředí tak dochází k velkému množství incidentů, které je nutné v reálném čase zpracovat a informace o nich správně distribuovat těm účastníkům provozu, pro které mohou být relevantní. Včasnou a cílenou distribucí těchto informací je pak možné docílit vyšší bezpečnosti a plynulosti provozu. V rámci kooperativních systémů se pro šíření informací používají tři základní typy komunikace:

- Vozidlo-Infrastruktura (C2I někdy též V2I – Vehicle-to-Infrastructure)
- Vozidlo-Vozidlo (C2C, někdy též V2V – Vehicle-to-Vehicle)
- Vozidlo-X (C2X, někdy též V2X – Vehicle-to-X)

Varianty anglických zkratk „C2-“ a „V2-“ se liší pouze záměnou výrazu „Car“ za označení „Vehicle“, které je obecnější a možná lépe odpovídá použití v silniční dopravě. Ale významově jsou obě varianty zkratk pro použití v rámci této práce zaměnitelné.

2.1 Komunikace Vozidlo-Infrastruktura

Jeden ze dvou stěžejních typů komunikace v rámci kooperativních systémů, závisí na rozmístění pevných přístupových bodů, tzv. RSE (Road Side Equipment), většinou podél hlavních komunikačních tahů, případně v hustě osídlených oblastech. Tyto pevně umístěné přístupové body pak komunikují s projíždějícími vozidly a šíří tak relevantní informace do dopravního proudu, jak můžeme zjednodušeně vidět na Obr. 1



Obr. 1 - Komunikace Vozidlo-Infrastruktura [1]

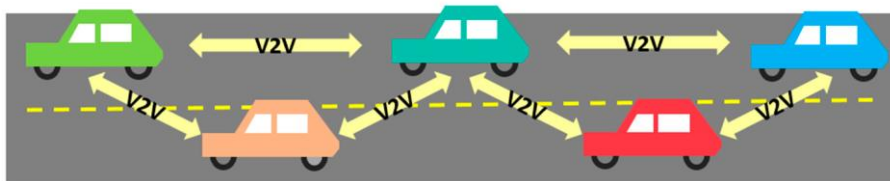
Hlavní výhodou tohoto typu komunikace je připojení RSE na páteřní síť s dostatečnou rychlostí a kapacitou, které jim zajišťuje spojení s centrálními dopravními systémy a mohou tak do dopravního proudu šířit i centralizovaně zadávané informace. Zároveň ale známá a neměnná

pozice RSE přináší možnost zacílit lokálně platné informace a šířit je pouze v relevantním místě, např. místní meteorologické podmínky, práce na silnici v daném místě, varování před kongescemi atd.

Nevýhodou jsou samozřejmě poměrně vysoké náklady na vybudování sítě přístupových bodů podél silnic. Nicméně právě tento typ komunikace by měl hrát významnou roli v začátcích implementace kooperativních systémů, protože přináší benefity už při poměrně nízkém zastoupení C2X vybavených vozidel v dopravním proudu, na rozdíl od komunikace C2C, která bude představena v kapitole 2.2. [2]

2.2 Komunikace Vozidlo-Vozidlo

Druhý stěžejní typ komunikace v kooperativních systémech, který může být zcela decentralizovaný, a tedy nezávislý na páteřní síti a přístupových bodech RSE. Vozidla vybavená potřebnými jednotkami pro komunikaci v rámci kooperativních systémů, tzv. OBU (On-Board Unit), pak mohou napřímo komunikovat s ostatními vozidly v dosahu a informace se tak decentralizovaně šíří dopravním proudem. Zjednodušené schéma C2C komunikace je na Obr. 2.



Obr. 2 - Komunikace Vozidlo-Vozidlo [1]

Komunikace přímo mezi vozidly se používá především pro bezpečnostní aplikace, kde může hrát roli každá milisekunda, která by se mohla při přenosu informace ztratit. Příkladem takového bezpečnostního použití může být tzv. elektronické brzdové světlo, kdy prudce brzdící vozidlo varuje s předstihem účastníky provozu za ním, nebo naopak vozidlo IZS, které vysílá vozidlům před sebou informaci o zapnutém výstražném zařízení a požadovaném právu přednostní jízdy. Dále se tento typ komunikace využívá v místech, kde není pokrytí pevných stanic RSE, nebo v situacích, kdy je síť RSE přetížená nebo nedostupná.

Aby tento typ komunikace efektivně fungoval, je nezbytně nutná určitá míra penetrace vozidel, vybavených kooperativními systémy, v dopravním proudu. Informace se totiž předávají z jednoho vozidla na druhé a každý příjemce se tak stává i dalším vysílačem. Pokud však v dosahu není další vozidlo schopné komunikace, informace zaniká a dále se nemůže šířit. Předpokládaná minimální hodnota penetrace C-ITS vybavených vozidel, při které už můžeme očekávat určitý přínos z používání kooperativních systémů, je 10 %. [3]

2.3 Komunikace Vozidlo-X

Poslední z uvedených základních typů komunikace v rámci kooperativních systémů je C2X. Někdy se tento výraz používá jako souhrnný název pro dva předchozí typy komunikace, tedy zároveň C2I i C2C. Ale má i další význam – komunikace vozidla se zařízením, které není ani vozidlovou jednotkou (OBU) ani pevným přístupným bodem (RSE). Typickým příkladem takového zařízení může být např. smartphone nebo tablet. Tento typ komunikace je v současnosti nejméně prozkoumaným z uvedených tří typů, ale do budoucna může mít velký potenciál v rozvoji kooperativních systémů jak v oblasti bezpečnosti, tak i v oblasti zábavy.

Komunikace mezi vozidly a smartphony by např. umožnila do kooperativních systémů zapojit i chodce, případně cyklisty. Pokud by byl smartphone v kapse chodce schopný vysílat zprávy okolo jedoucím vozidlům, mohlo by to značně zvýšit bezpečnost chodce, o kterém by vozidlo/řidič věděl už s předstihem, i předtím, než by byl schopný ho fyzicky vidět. To by mohlo pomoci zejména v nepřehledných situacích ve městech, nebo v noci, kdy by komunikující smartphone mohl posloužit jako takový „elektronický reflexní prvek“.

2.4 Druhy vysílaných zpráv

Informace v kooperativních systémech se šíří pomocí zpráv vysílaných jednotlivými účastníky komunikace (typicky vozidlo, RSE). Používané zprávy pak můžeme rozdělit do dvou základních typů: [2]

- **Opakující se zprávy** varují řidiče před nebezpečím, ke kterému se blíží a které je většinou dlouhodobějšího charakteru, jako např. práce na silnici nebo špatná meteorologická situace. Tyto druhy nebezpečí jsou typicky zjištěny stacionárním zařízením nebo informace o nich pochází z centrálního zdroje, a jsou dále šířeny pomocí RSE s použitím C2I komunikace.
- **Zprávy vyvolané určitou situací** varují řidiče před nebezpečnými situacemi, které jsou nahodile v reálném čase zaznamenány nejčastěji přímo projíždějícími vozidly. Jedná se o dynamičtější lokální druhy ohrožení, jako např. prudce brzdící vozidlo, dopravní nehoda nebo i nebezpečný povrch vozovky. Tento druh zpráv je nejčastěji šířen v rámci C2C komunikace.

2.5 Aplikace kooperativních systémů

Jedno z možných dělení kooperativních systémů je dělení podle jejich konceptu a příslušných aplikací. Pak můžeme rozdělit kooperativní systémy např. 4 následujících kategorií podle [2]:

2.5.1 Bezpečnostní aplikace

V současnosti nejvíc rozvíjená oblast, které se věnuje většina výzkumných projektů. Bezpečnostní aplikace mají za úkol varovat řidiče před blížícím se nebezpečím, předcházet

nebezpečným situacím a nehodám, nebo alespoň zmírnit jejich následky. Příkladem bezpečnostních aplikací mohou být:

- Elektronické brzdové světlo (varování před prudce brzdícím vozidlem)
- Koordinované brždění (synchronizace brždění s předcházejícím vozidlem)
- Varování před nebezpečím (překážka na silnici, špatný stav vozovky, zranitelný účastník provozu atd.)
- Asistent předjíždění (sledování vozidel v protisměru)
- Kooperativní snímání (vzdálené využití senzorů na jiném vozidle nebo infrastruktuře)
- Nouzové vysílání v případě nehody

2.5.2 Aplikace pro řízení dopravy a přepravy

Tyto aplikace mají za cíl zvýšit plynulost dopravy, snížit čas a náklady nutné pro přepravu a celkově zvýšit efektivitu dopravy. Příkladem takových aplikací může být:

- Plánování a dynamické přeplánování cest na základě přesných a aktuálních informací o dopravní situaci na trase
- Získání přesných vstupních dat pro řídicí dopravní centra
- Zobrazení dopravních značek a rychlostních doporučení ve vozidle
- Preference určitých druhů dopravy
- Dynamické přidělování dopravních pruhů
- Dynamické zpoplatňování dle stupně kongescí

2.5.3 Logistika a řízení nákladní dopravy

Kooperativní systémy mohou pomoci i při plánování a řízení nákladní dopravy, možné aplikace:

- Správa parkovacích zón (aktuální informace o obsazení parkovacích a odpočívacích míst a podpora systému rezervace a plánování)
- Řízení pohybu nákladních vozidel (např. možnost dynamického udělení zákazu vjezdu podle váhových kategorií a informování řidičů)
- Řízení přepravy nebezpečných nákladů (podpora plánování a sledování při přepravě, ale také varování ostatním řidičům)
- Plánování multimodální dopravy

2.5.4 Aplikace pro podporu údržby

Aplikace pro podporu údržby dopravní infrastruktury i přímo pro podporu údržby vozidel, např.:

- Kalibrace senzorů (porovnání výstupů z několika senzorových jednotek)
- Vzdálená diagnostika (sběr dat o vozidle a napojení přímo na servisní centrum)

3 Realizované projekty na poli kooperativních systémů

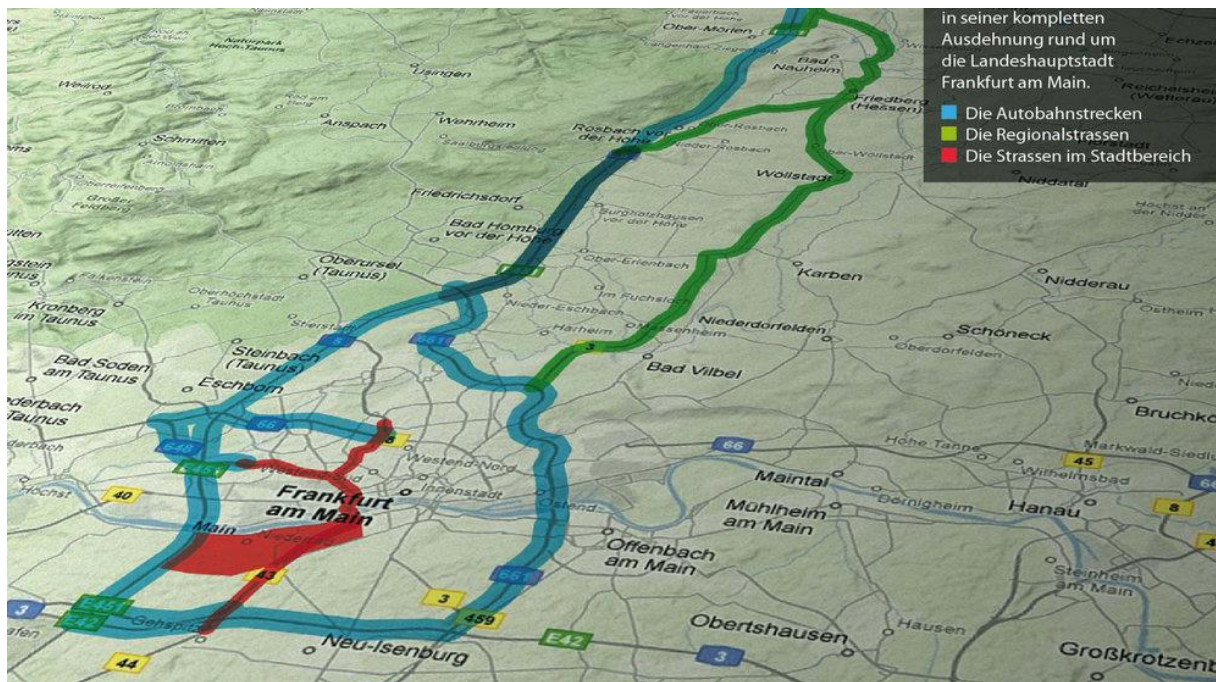
V rámci EU probíhá nebo probíhalo poměrně velké množství projektů zaměřených na pole kooperativních systémů, a to od výzkumných přes vývojové až po pilotní C-ITS projekty. První funkční vzorky kooperativních systémů byly v rámci těchto projektů vyvinuty už před rokem 2010. V této kapitole je představeno několik vybraných realizovaných C-ITS projektů z EU i České Republiky, které poskytují základní přehled o vývoji v této oblasti. Mezi další C-ITS projekty, jejichž bližší představení už by ale bylo nad rámec této práce, patří např. COOPERS, CVIS, PReVENT, SEVECOM, Ecomove, SAFESPOT, TE-VOGS.

Na konci této kapitoly bude také představen celoevropský projekt C-ROADS, který sice zatím není dokončený, ale vzhledem k jeho významu a také úzkému spojení s výsledky této práce, je vhodné ho představit.

3.1 simTD

V rámci projektu simTD (Sichere Intelligente Mobilität Testfield Deutschland) bylo provedeno dosud nejrozsáhlejší testování kooperativních systémů v reálném prostředí. V projektu byly zapojeny především německé firmy, od výrobců aut a dodavatelů automobilových komponent přes telekomunikační společnosti až po veřejné a vědecké instituce. Hlavní roli v projektu hrály automobilky Daimler, Audi, BMW a telekomunikační společnost Deutsche Telekom. Projekt byl spolufinancován několika spolkovými ministerstvy a běžel od roku 2008 až do července 2014 v okolí Frankfurtu nad Mohanem. [4]

V první části projektu bylo nejprve nutné vybudovat dopravní centrálu pro zkoušený kooperativní systém, která byla následně přes standardní rozhraní propojena s dopravními centrály města Frankfurt nad Mohanem a spolkové země Hesensko. Dopravní centrála projektu simTD byla propojena s více než 100 jednotkami RSU (Road Side Unit), které byly rozmístěny v okolí Frankfurtu, z toho 80 jich bylo na dálnicích a okresních silnicích a dalších 23 jednotek bylo umístěno na semaforech přímo na území města Frankfurt nad Mohanem. Tyto RSU komunikovaly s flotilou 120 zkušebních vozidel (20 vozidel od každého participujícího výrobce), která byla vybavena OBU jednotkami a dalšími senzory pro rozpoznání hrozícího nebezpečí (např. kluzký povrch vozovky, vznikající kongesce atd.). Třetina RSU jednotek byla s centrálou propojená pomocí pevné sítě s optickými vlákny, zbylé dvě třetiny používaly 3G mobilní síť. [5]



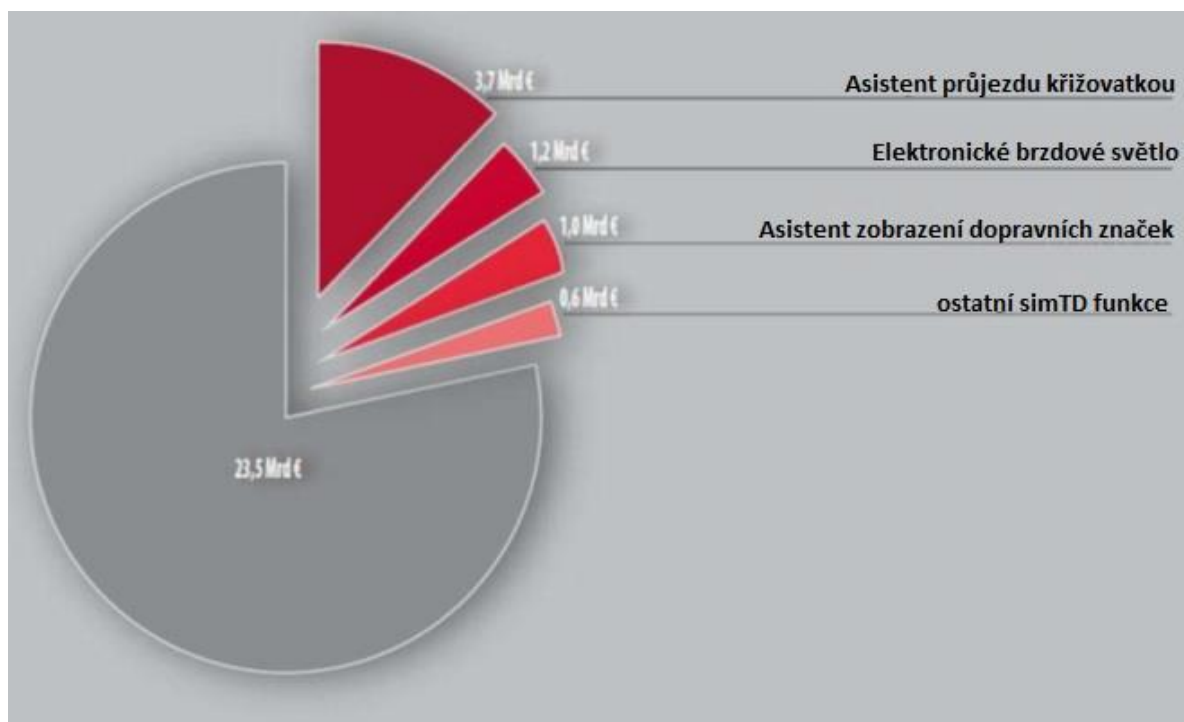
Obr. 3 - Testovací trasy projektu simTD. Modré – dálnice, zelené – okresní silnice, červené – město [6]

V další části projektu začalo samotné testování technologie kooperativních systémů v reálném provozu na silnicích kolem Frankfurtu nad Mohanem. Mapa testovacích tras je k vidění na Obr. 3. V období od června do prosince 2012 najezdilo více než 500 testovacích řidičů (ve věku od 23 do 65 let) ve 120 vozidlech asi 1,65 milionu testovacích kilometrů za 41.000 hodin. Testovací řidiči přitom plnili 85 testovacích scénářů, které byly připraveny ve spolupráci s dopravními experty a psychology a které obsahovaly přesný popis předem vybraných dopravních situací, které bylo třeba otestovat. Tyto scénáře se vždy testovaly vícekrát za různých okolních podmínek, a tak za celou dobu testování bylo absolvováno až 993 scénářů. [5]

Kromě samotného testování v reálném provozu byly v rámci projektu simTD vytvořeny také dvě komplexní simulace – jízdní simulace a simulace provozu. V jízdním simulátoru byly testovány scénáře zahrnující extrémní a nebezpečné situace, které by bylo velmi obtížné testovat v reálném světě. Komplexní simulace provozu zase umožnila testovat vliv míry penetrace vozidel vybavených C-ITS na plynulost a bezpečnost provozu. Výsledky ze simulací byly nakonec spojeny s výsledky z testování v provozu a bylo provedeno konečné zhodnocení. [5]

Vyhodnocení výsledků projektu simTD dopadlo pro budoucí nasazení kooperativních systémů velmi pozitivně a ukazuje, že testované aplikace opravdu mají pozitivní vliv na bezpečnost i plynulost provozu. Při teoretické stoprocentní penetraci vozidel vybavených C-ITS by podle výsledků tohoto projektu mohly testované bezpečnostní aplikace kooperativních systémů vést k ročním úsporám až 6,5 miliard eur z celospolečenských nákladů na dopravní nehody

v Německu, což ukazuje graf na Obr. 4. K těmto úsporám lze navíc přičíst ještě dalších 4,9 miliard eur ušetřených ročně na nákladech za čas strávený v kolonách, opotřebení vozidel nebo emise, což jsou všechno faktory, které je možné použitím kooperativních systémů výrazně vylepšit. [5]



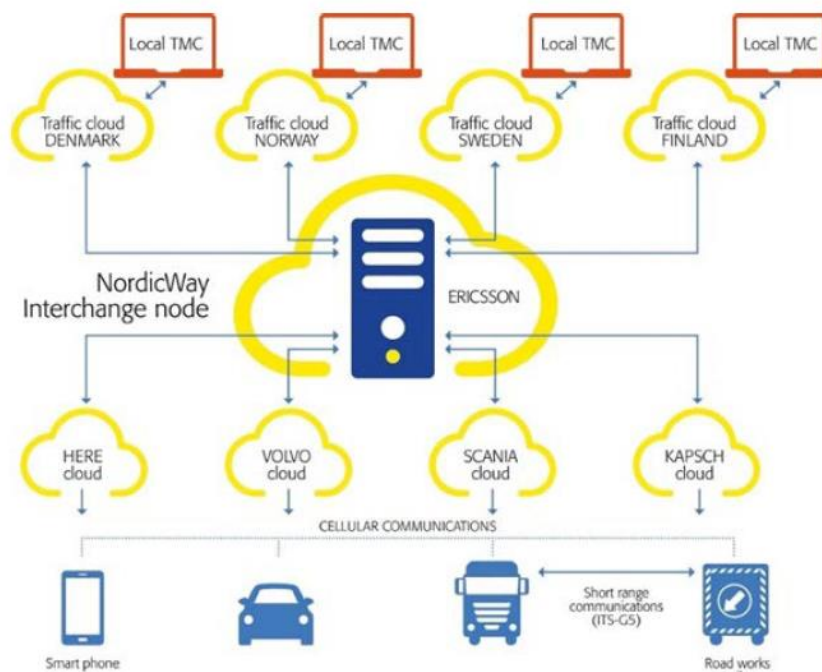
Obr. 4 - Graf celospolečenských nákladů na dopravní nehody v Německu za rok 2015 a potenciál C-ITS funkcí pro úsporu (červeně) [5]

3.2 NordicWay

NordicWay byl pilotní projekt s účastí privátních i veřejných institucí ze čtyř severovýchodních zemí – Finska, Norska, Švédska a Dánska. Projekt byl spolufinancován Evropskou unií a běžel od ledna 2015 do konce roku 2017. Hlavním cílem projektu bylo vytvoření společné architektury, díky níž by bylo možné sdílet informace a varování v rámci C-ITS systému i přes hranice jednotlivých zemí a mezi různými mobilními sítěmi. NordicWay byl také prvním projektem, který ve větším měřítku prověřil možnost využití mobilních sítí (3G a 4G/LTE) pro použití v kooperativních systémech. [7]

Testování v rámci projektu NordicWay probíhalo v pohraničních regionech, na pomezí hranic všech zapojených zemí, tak aby bylo možné otestovat kompatibilitu a interoperabilitu C-ITS služeb mezi různými mobilními sítěmi v různých zemích. Jednotlivé C-ITS služby a další zdroje informací, především cloudová řešení soukromých firem a veřejných institucí, byla proto propojena pomocí nové cloudové služby vyvinuté v rámci tohoto projektu – NordicWay Interchange node. NordicWay Interchange node si tedy můžeme představit jako server (cloud), který spojuje cloudová řešení mnoha různých zúčastněných stran (viz. Obr. 5) a umožňuje

rychlé a spolehlivé sdílení informací mezi nimi a tím dává prostor pro vznik komplexnějších C-ITS aplikací. Informace mezi jednotlivými uzly propojenými přes NordicWay Interchange node se sdílejí ve standardizovaném formátu DATEX II. [8]



Obr. 5 NordicWay Interchange node [8]

Každá ze zapojených zemí vyhodnocovala v rámci projektu jinou C-ITS službu nebo technologii, a vyhodnocení projektu jsou tedy rozdělena do jednotlivých národních výsledných zpráv:

- **Dánsko:** dánský národní projekt se soustředil na hodnocení použitého přístupu výměny informací mezi jednotlivými uzly v rámci NordicWay a měl rozhodnout, jestli je možné tento přístup, založený na výměně zpráv ve formátu DATEX II přes NordicWay Interchange node, použít pro sdílení bezpečnostně relevantních dopravních informací v reálném čase. Za tím účelem bylo provedeno měření doby odezvy v závislosti na velikosti odesílané zprávy mezi jednotlivými národními TMC (Traffic Management Center) uzly. Naměřené zvýšení doby odezvy nebylo lineární a s rostoucím objemem dat rostla doba odezvy o něco víc, než bylo očekáváno, ale celkově byla kvalita služby stále v hranicích daných pro použití v rámci TMC. [8]
- **Finsko:** Finský pilotní projekt se soustředil na mobilní aplikaci HERE DTI, která po dobu jednoho roku umožňovala běžným účastníkům silničního provozu vysílat a přijímat upozornění o možných nebezpečích a incidentech v dopravě. Cílem vyhodnocení bylo ověřit technický koncept takového řešení, prověřit vliv systému na chování řidičů a plynulost dopravy a zjistit jeho socio-ekonomické dopady. Výsledky

testování ukázaly, že technický koncept bezpečnostní C-ITS aplikace propojené přes mobilní síť je funkční, zprávy mají dostatečně nízkou latenci a systém funguje i přeshraničně. Služba byla také pozitivně přijata mezi řidiči, kteří sami pozorovali přínosný vliv aplikace na jejich chování v případě hlášeného hrozícího nebezpečí. Závěry finské studie obsahují také předpokládaný poměr nákladů a přínosů v hodnotě minimálně 2.3 za období 2019-2030, pokud počet uživatelů aplikace nadále lineárně poroste. [8]

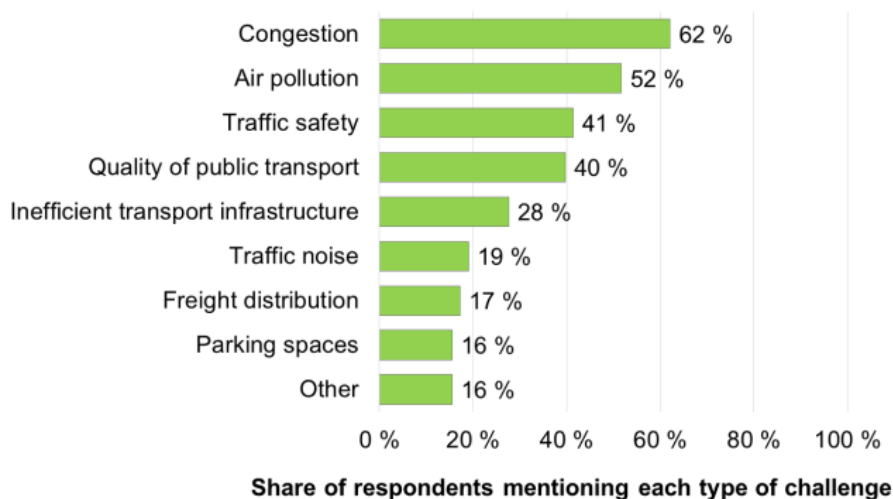
- **Norsko:** Norská část projektu vyhodnocovala možnost použití dat ze senzorů běžných aut, jako podkladu pro plánování zimní údržby silnic. V rámci této aplikaci tedy po norských silnicích jezdilo pět vozidel značky Volvo, která pomocí svých vestavěných senzorů za jízdy sbírala data o adhezních vlastnostech vozovky a následně je posílala na server automobilky, odkud se přes NordicWay Interchange node dostala až na server norské veřejné instituci zodpovědné za údržbu silnic. Kvůli možnosti porovnání výsledků měření, se ve stejný čas po stejných cestách pohybovala i dvě speciální vozidla určená pro měření adhezních podmínek, která veřejné instituce v Norsku aktuálně používají pro tvorbu oficiálních podkladů pro plánování údržby. Bohužel výsledné vyhodnocení projektu neukázalo dostatečnou korelaci mezi oficiálně naměřenými daty a daty sesbíranými ze senzorů testovacích aut. Přesto je předpoklad, že by data naměřená data z běžných vozidel mohla být přínosná, pokud by se do systému zapojilo víc vozidel. [8]
- **Švédsko:** Švédský pilotní projekt měl za cíl demonstrovat komunikaci mezi vozidly, infrastrukturou a cloudovým řešením, a demonstrovat interoperability a flexibilitu technického řešení NordicWay. Pro tuto demonstraci byl vybrán scénář se šířením varování o probíhající práci na vozovce. V rámci tohoto scénáře bylo deset vozidel údržby vybaveno OBU jednotkami, které šířily varovné zprávy přímo do projíždějících aut pomocí telekomunikační technologie ITS-G5 (standard bezdrátové komunikace pro použití v dopravě). Zároveň byla ale stejná zpráva přes mobilní síť odeslána na backendový server instituce pro údržbu silnic, kde byla převedena do formátu DATEX II a dále distribuována přes NordicWay Interchange node do cloudových řešení jednotlivých automobilek a odtud dál ke konkrétním uživatelům v blízkosti hlášené události. Ve vyhodnocení projektu jsou obě použité technologie považovány za vyhovující, protože latence zprávy i v případě použití mobilní sítě je dostatečná pro většinu zamýšlených použití. [8]

Projekt NordicWay je celkově hodnocen jako úspěšný a je na něj navázáno v projektu NordicWay2, který poběží mezi lety 2017-2020.

3.3 CIMEC

Projekt CIMEC (Cooperative ITS for Mobility in European Cities) běžel s podporou EU od června 2015 do května 2017 a mezi jeho klíčové partnery patřila i čtyři evropská města – Bilbao (Španělsko), Kassel (Německo), Trondheim (Norsko) a Reading (Spojené království). Tento projekt se od většiny ostatních C-ITS projektů liší svým zaměřením na městské prostředí a roli kooperativních systémů v něm. Je reakcí na současnou situaci, kdy většina výzkumných a pilotních projektů v oblasti C-ITS je zaměřena spíše na oblast dálnic, kde už jsou zodpovědné instituce poměrně dobře informovány a připraveny na implementaci kooperativních systémů. Proti tomu městské prostředí, které je mnohem komplexnější a více roztržité, je prozkoumané mnohem méně, přestože by nasazení C-ITS právě v tomto prostředí mohlo přinést ty největší benefity. [9]

Hlavními aktivitami projektu v prvním roce jeho fungování byl dialog a s místními samosprávami, dodavateli, agenturami a dalšími zájmovými skupinami napojenými na C-ITS technologie. Za tímto účelem byly použity jak onlinové dotazníky, tak pravidelné regionální workshopy ve všech čtyřech zúčastněných městech. Výstupem z těchto workshopů je široká paleta možných způsobů nasazení C-ITS v městském prostředí, která vychází z nejčastějších problémů a výzev, které musí zúčastněná města v souvislosti s dopravou řešit (grafické znázornění na Obr. 6). [9]



Obr. 6 – Identifikované nejčastější problémy v městské dopravě [9]

Mezi aplikace, o které měli zástupci zúčastněných městských samospráv největší zájem patří především: [9]

- Informování účastníků provozu (informace o nebezpečí a mimořádných událostech, zobrazení dopravních značek a stavu světelných signálů ve vozidle atd.)
- Řízení světelné signalizace (preferenze pro vozidla IZS, MHD, cyklisty)
- Dynamické řízení přístupu do zón (možnost dočasného zákazu vjezdu pro nákladní vozidla, dočasný zákaz vjezdu z důvodu špatné kvality ovzduší atd.)
- Správa parkovacích zón

Během druhého roku se práce na projektu zaměřovala především na tvorbu realistické, konstruktivní a praktické roadmapy pro zavádění C-ITS v městském prostředí. Právě tato roadmapa je hlavním výstupem celého projektu, a obsahuje výsledky všech jeho aktivit, včetně požadavků od měst na C-ITS implementace, hlavní překážky a jak je překonat, sadu realistických aplikací, a dokonce návrh prvních obrysových business casů. [9]

3.4 DRIVE C2X

Projekt DRIVE C2X byl společným projektem 32 partnerských firem, který byl za spolufinancování Evropské komise realizován od ledna 2011 do července 2014. Hlavním cílem tohoto projektu bylo obsáhlé zhodnocení přínosů kooperativních systémů, založené na rozsáhlém testování v reálných podmínkách na místech po celé Evropě. Kromě samotného testování v reálném provozu a vyhodnocení benefitů C-ITS byla jedním z cílů také propagace kooperativních systémů a zvýšení povědomí o nich i mezi veřejností. [10]

Rozsáhlé testování v rámci tohoto projektu probíhalo na 8 různých místech po Evropě a na některých z nich využívalo také testovací infrastruktury z předchozích C-ITS projektů, např. projekt simTD (kapitola 3.1) kolem Frankfurtu nad Mohanem v Německu, projekt SCORE@F kolem Yvelines ve Francii nebo projekt SISCOGA u města Vigo ve Španělsku. Všechna testovací místa jsou uvedena na mapce v Obr. 7. [10]

Do rozsáhlého testování se zapojilo 750 řidičů ve 200 vozidlech, kteří dohromady najezdili více než 1,5 milionu testovacích kilometrů, během kterých byl otestován vliv 8 různých C-ITS funkcí na bezpečnost provozu, a to za všech dopravních a klimatických podmínek. Výsledky těchto testů ukázaly, že kooperativní systémy jsou technicky připravené na implementaci v evropském prostředí a že testované funkce mají pozitivní vliv na bezpečnost provozu. Jako nejpřínosnější z testovaných funkcí se ukázala signalizace doporučené rychlosti ve vozidle a varování před špatným počasím, které by dohromady, při teoretické 100 % penetraci v dopravním proudu, mohly zabránit až 29 % smrtelných nehod a 18 % nehod se zraněním. [10]

Kromě samotného testování a vyhodnocení C-ITS funkcí, se projekt zaměřil také na strategii zavádění kooperativních systémů založenou na realistických podnikatelských modelech. Protože zavedení kooperativních systémů vždy vyžaduje značné investice do dopravní infrastruktury, byla provedena i cost-benefit analýza, která měla ukázat veřejným institucím jasně pozitivní poměr mezi přínosy a náklady C-ITS systémů. To se také povedlo, když už při nízké penetraci C-ITS převažovaly přínosy nad náklady poměrem 2:1, při vysoké penetraci byl tento poměr dokonce 7:1. [10]



Obr. 7 - Testovací lokace projektu DRIVE C2X [2]

3.5 Compass4D

Projekt Compass4D, podpořený z Evropského investičního fondu, zahrnoval 34 partnerských firem a běžel od začátku roku 2013 do konce roku 2015. Cílem tohoto projektu bylo zavést a otestovat tři C-ITS funkce v 7 evropských městech (mapa na Obr. 8). Tyto funkce měly zvýšit bezpečnost provozu i komfort řidiče, a to snížením počtu dopravních nehod, času stráveného v kolonách i emisí CO² a spotřeby paliva. Tři testované funkce byly: [11]

- RHW (Road Hazard Warning) – služba která varuje řidiče před nebezpečím na vozovce před ním, jako je např. dopravní nehoda, vznikající kolona nebo jiná překážka

- RLVW (Red-Light Violation Warning) – služba, která upozorní řidiče, že se blíží ke křižovatce se světelnou signalizací, čímž zvýší jeho pozornost a pomůže předejít případným nehodám. Tato služba také upozorní řidiče na nestandardní situace, jako je např. vozidlo IZS projíždějící na červenou.
- EEI (Energy Efficient Intersection) – tato služba snižuje spotřebu a emise vozidel na vybraných křižovatkách. Určité skupiny vozidel (MHD, IZS, těžká nákladní vozidla) mají díky této službě preferenci na řízených křižovatkách a vyhnou se tak opakovanému zastavování a zpožděním. Ostatním účastníkům provozu tato služba poskytne informace o stavu světelné signalizace a navrhne ideální rychlost pro přiblížení ke křižovatce, tak aby byl zajištěn plynulý průjezd.



Obr. 8 - Testovací lokace projektu Compass4D [12]

Tyto služby byly po dobu trvání projektu testovány na více než 650 vozidlech, včetně autobusů, záchranných vozidel, nákladních vozidel, i soukromých automobilů, které řídilo přes 1200 řidičů. Tato čísla skoro dvojnásobně překročila očekávání ze začátku projektu. Kromě testování technologie se i projekt Compass4D věnoval podnikatelským plánům v oblasti C-ITS, cost-benefit analýzám a plánům dalšího využití. [11]

Na základě pozitivních výsledků tohoto projektu se všech 7 pilotních měst rozhodlo provozovat zavedené C-ITS služby i dále v roce 2016, bez ohledu na oficiální konec projektu a finanční podpory ze strany EU. Tyto služby byly navíc dále rozšířeny, a to za využití hybridní komunikace, tedy kombinace ITS-G5 a mobilních 4G sítí. [11]

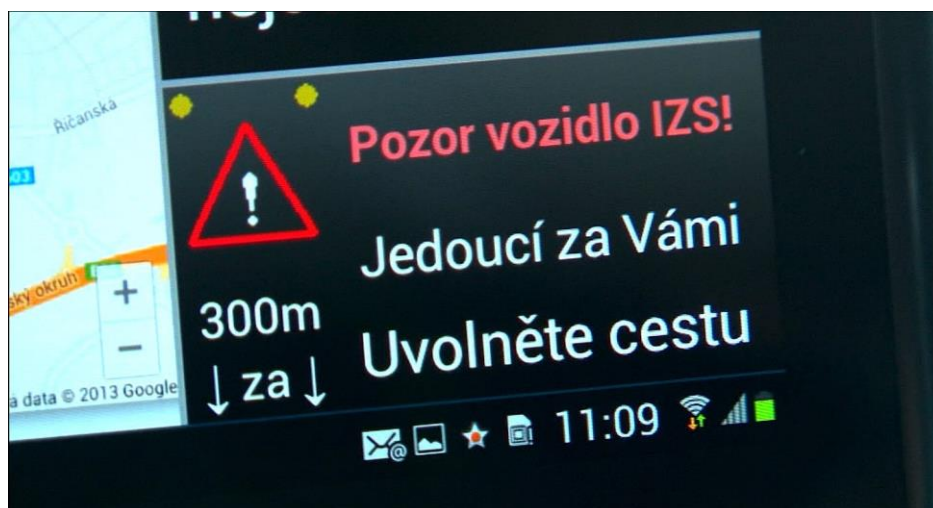
3.6 BaSIC

Projekt BaSIC probíhal v letech 2012-2013 ve spolupráci firmy INTENS Corporation s.r.o. a Fakulty dopravní ČVUT v Praze. Projekt, jehož celý název zní „Zvýšení bezpečnosti silničního provozu pomocí vozidlových spolupracujících systémů zajišťující komunikaci vozidla s ostatními vozidly nebo s inteligentní dopravní infrastrukturou“, byl financován v rámci programu Beta Technologické agentury ČR, a jeho hlavními cíli bylo navrhnout a vyvinout komplexní opatření ke zvýšení bezpečnosti silničního provozu prostřednictvím kooperativních systémů, navrhnou technické a organizační podmínky pro zavedení kooperativních systémů v ČR, a napomoci překonat překážky zavádění kooperativních systémů do praxe i na mezinárodní úrovni. [13]

V rámci projektu BaSIC bylo provedeno také pilotní testování C-ITS aplikace na části pražského okruhu (dálnice D0) mezi Vestcem a Jesenicí. Na tomto úseku byla testována jak komunikace mezi vozidly C2C, tak komunikace vozidel s infrastrukturou C2I, konkrétně s 6 portály liniového řízení dopravy a jedním portálem s proměnnými dopravními informacemi. Na základě objednávky ŘSD byly otestovány dvě C-ITS aplikace: [14]

- zobrazení aktuálních informací z proměnných dopravních značek na displeji ve vozidle
- informování o pohybu vozidel IZS se spuštěným VRZ (snímek z testování na Obr. 9)

Všechny výsledky z tohoto projektu byly následně zapracovány do certifikované metodologie Ministerstva Dopravy a jsou využívány v praxi. [13]



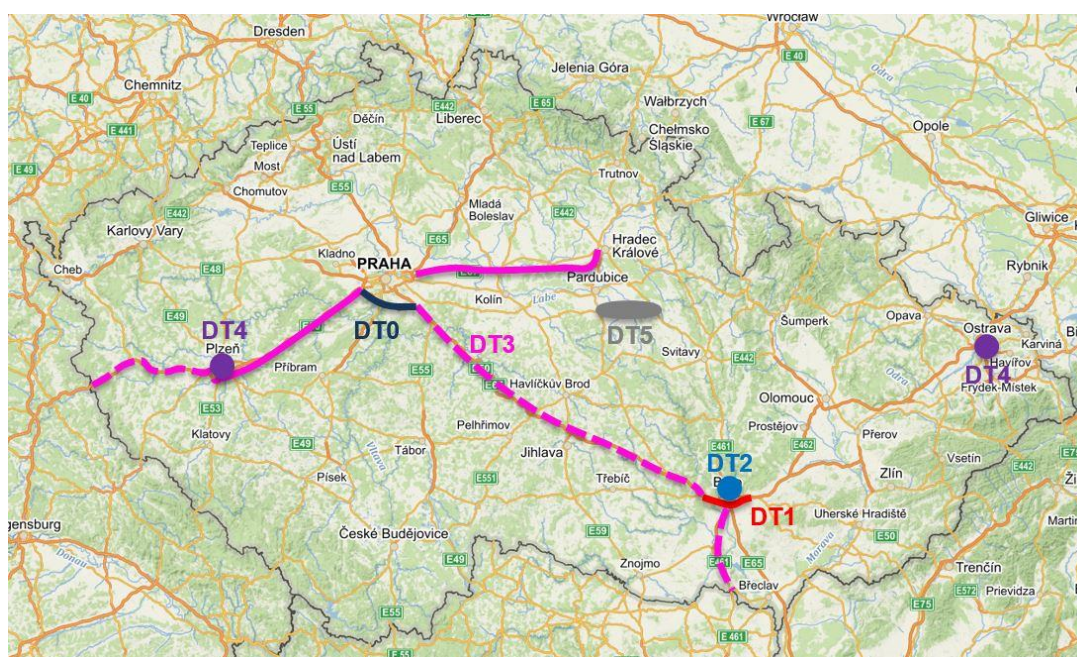
Obr. 9 - Testování aplikace na upozornění o pohybu vozidel IZS [15]

3.7 C-ROADS Czech Republic

Projekt C-ROADS Czech Republic, je jedním ze série projektů, které v rámci celoevropské platformy C-ROADS budou, za spolufinancování EU, probíhat od února 2016 do konce roku 2020. Platforma C-ROADS slouží ke koordinaci spolupráce a sdílení zkušeností v oblasti zavádění kooperativních systémů, tak aby byla zajištěna interoperabilita a vzájemná komunikace systémů zaváděných po celé Evropě. Platforma sdružuje státy, které realizují své vlastní národní pilotní projekty C-ROADS, kterých je v současné době osm: Rakousko, Belgie, Česká Republika, Francie, Německo, Nizozemsko, Velká Británie a Slovinsko. [16]

Na projektu C-ROADS se podílí mnoho partnerů od veřejných institucí (Ministerstvo dopravy ČR, ŘSD, SŽDC), dopravních podniků, přes soukromé firmy (ŠKODA Auto a.s., O2 Czech Republic a.s., T-Mobile Czech Republic a.s., a další), až po vědecké instituce (ČVUT v Praze, Fakulta dopravní). Mezi jeho hlavní cíle patří zvýšení bezpečnosti v silničním provozu a zvýšení plynulosti dopravy. Unikátním cílem českého projektu je testování C-ITS i v železničním provozu (zabezpečení železničních přejezdů). [16]

Smyslem projektu je ověřit fungování C-ITS v praxi na českých silnicích a vybraných železničních přejezdech. Za tímto účelem bylo vybráno pět pilotních lokalit, ve kterých bude probíhat implementace a testování hybridních C-ITS systémů a služeb. Využití hybridní technologie znamená kombinaci dvou telekomunikačních technologií pro komunikaci v rámci C-ITS – kombinace ITS-G5 se stávajícími mobilními sítěmi 3G/4G. Jak je vidět na mapě na Obr. 10, pilotní lokality nejsou omezeny pouze na dálnice, ale zahrnují i městský provoz a železniční přejezdy. [16]



Obr. 10 - Pilotní lokality C-ROADS Czech Republic [16]

- **DT0:** Již existující implementace C-ITS systémů na pražském okruhu (D0) a malých úsecích dálnic D1 a D5. Pro zajištění provozu těchto systémů ŘSD vybudovalo tzv. C-ITS back office, což je centrální prvek systému, který koordinuje většinu dat pro C-ITS prvky na nižší úrovni. Do budoucna se počítá s vlastním C-ITS back office prvkem u každého partnera zapojeného v projektu. Nad jednotlivými C-ITS back office pak bude tzv. integrační platforma C-ROADS, která je bude všechny vzájemně propojovat. [16] [17]
- **DT1:** Brněnská aglomerace. Tato lokalita pokryje část dálnice D1 podél vybraných hlavních cest z Brna. [16]
- **DT2:** Město Brno. C-ITS prvky budou rozmístěny na vybrané městské silnice, tak aby navazovaly na hlavní silnice pokryté v rámci etapy DT1. [16]
- **DT3:** Dálnice D1, D5, D11 a I/52/D52. Díky této fázi projektu a pokrytí úseků dálnic D1, D5 a D11 se celý systém napojí na mezinárodní C-ITS koridor spojující města Rotterdam, Frankfurt nad Mohanem a Vídeň. [16]
- **DT4:** Implementace C-ITS v rámci MHD ve městech Ostrava a Plzeň. V rámci této fáze projektu se pokryjí C-ITS implementací vybrané ulice a části měst a budou se testovat vybrané příklady možného užití. [16]
- **DT5:** Železniční přejezdy. Dva vybrané železniční úseky v Pardubickém kraji budou pokryty C-ITS technologiemi a budou zabezpečeny dva železniční přejezdy, přičemž jeden je vybavený závorami a druhý není. [16]

Rolí Fakulty dopravní ČVUT v tomto projektu je především vyhodnocení výstupů z provedených testů a k částečnému naplnění této role směřuje také výsledek této práce. Automatizovaný systém, který v rámci této práce vznikl, by měl být použit k vyhodnocování datových záchytů pocházejících právě z testování v rámci projektu C-ROADS Czech Republic.

4 Platné technické normy

Technická norma (někdy též standard), přesně stanovuje důležité parametry nebo vlastnosti výrobků, materiálu, součástí nebo pracovních postupů. Vývoj a výroba produktů podle platných norem pak vede ke standardizaci, která zajistí kompatibilitu a kvalitu produktů a jejich opakovatelnost. Technické normy obecně nejsou závazné dokumenty, mají charakter kvalifikovaného doporučení, ale může se na ně odkazovat smluvní specifikace určitého výrobku, nebo se je státní autorita může rozhodnout použít ve svých obecně závazných předpisech. Používání norem je ale obecně prospěšné jak pro výrobce, tak pro zákazníky – zákazníci mají zaručenou kompatibilitu s jinými výrobky, vyrobenými podle stejného standardu, a výrobci mají výhodu ve snížené výrobní ceně a širokém přijetí jejich standardizovaného výrobku na trhu. [18]

4.1 Standardizační organizace

Technické normy vydává vždy určitá autorita, což je buď státní organizace, nebo oborové sdružení výrobců. Státní normy jsou podřízené normám mezinárodním, vydávaným evropskými nebo světovými organizacemi. V této kapitole budou představeny tři mezinárodní organizace, které hrají významnou roli ve standardizaci kooperativních systémů. [18]

4.1.1 ISO

ISO neboli Mezinárodní organizace pro normalizaci, je nezávislá, nevládní, mezinárodní organizace se 161 členy. Členy ISO jsou národní standardizační organizace, zastupující vždy danou zemi, a mezi jejich povinnosti patří kromě finanční podpory fungování ISO, také informovat příslušné orgány ve své zemi o standardizačních aktivitách a zajišťovat jednotné stanovisko své země k vydaným dokumentům. Členové ISO také delegují experty do technických komisí, které pak připravují nové normy pro nejrůznější odvětví průmyslu, od technologie, přes potraviny až po zemědělství a zdravotnictví. ISO byla založena v roce 1947 a za dobu svého fungování vydala prostřednictvím 780 technických komisí, více než 22 tisíc mezinárodních standardů. [19]

4.1.2 CEN

CEN (z francouzského Comité Européen de Normalisation) neboli Evropský výbor pro normalizaci, je asociace národních standardizačních organizací ze 34 evropských zemí, které spolupracují na tvorbě evropských standardů (EN). CEN je uznán jako jeden ze tří oficiálních standardizačních orgánů EU a některé z jeho norem jsou podle evropského práva závazné. Standardy vydávané CEN se týkají velké palety oborů, výjimkou jsou elektrotechnika a telekomunikační technologie, které mají ve své kompetenci dva zbývající standardizační orgány EU (CENELEC a ETSI). CEN spolupracuje velmi úzce i s mezinárodní organizací ISO,

a to na základě Vídeňské smlouvy, jejíž primárním cílem je zabránit duplicitám a konfliktům mezi normami těchto dvou organizací. [20]

4.1.3 ETSI

ETSI (z anglického European Telecommunications Standards Institute) neboli Evropský ústav pro telekomunikační normy, je nezávislá nezisková organizace s více než 800 členy ze 66 zemí po celém světě. ETSI je jedním ze tří oficiálně uznaných evropských standardizačních orgánů a vydává normy EN v oblasti telekomunikací. Přestože původně byl založen pro potřeby standardizace v Evropě, jeho dopad je globální a normy vydané ETSI jsou používány po celém světě. Od svého založení v roce 1988 vydal ETSI přes 30 tisíc norem a mezi klíčové úspěchy patří např. standardizace GSM sítí. Jako oficiální evropský orgán zodpovědný za standardizaci v oblasti telekomunikací, je ETSI také autorem nejdůležitějších norem z oblasti kooperativních systémů a ITS obecně. [21]

4.2 Normy zaměřené na ověřování kooperativních systémů

V oblasti C-ITS vzniká v současné době opravdu velké množství norem a standardizačních dokumentů, což jen dokazuje, jak intenzivní je vývoj v této oblasti. Protože zmínit všechny standardizační dokumenty by bylo nad rámec této práce, budou blíže představeny pouze nejdůležitější normy zaměřené na testování kooperativních systémů. Zároveň budou představeny i normy, se kterými je, podle vypracované metodologie, ověřován soulad v rámci testování na projektu C-ROADS. Tyto normy tedy nejsou přímo zaměřeny na ověřování kooperativních systémů, popisují jejich vlastnosti, ale je vhodné je zde zmínit, protože jsou velmi důležité i pro automatizovaný systém vytvořený v rámci praktické části této práce.

4.2.1 ETSI EG 202 798

- Originální název: Framework for conformance and interoperability testing
- Aktuální verze: v1.1.1 (2011-01)

Tento standard definuje obecný testovací rámec pro testování komunikačních protokolů použitých v ITS. Obsahuje pokyny pro testování použitého protokolu na shodu se specifikací (conformance) a na interoperabilitu s ostatními systémy (interoperability). Dále také obsahuje detailnějšího průvodce k vytvoření formální testovací specifikace a testovacího prostředí pro ITS systémy. Všechna doporučení a pokyny obsažené v této normě jsou založená na společné ITS architektuře, definované ETSI a ISO. Tato norma také doporučuje testovat použitý komunikační protokol na shodu a interoperabilitu spíše v simulovaném než v reálném prostředí. [22]

4.2.2 ETSI TS 102 868

- Originální název: Conformance test specifications for Cooperative Awareness Basic Service (CA)
- Aktuální verze: v1.4.1 (2017-03)

Tato norma je rozdělena do tří částí, které společně tvoří testovací specifikaci pro ověřování shody se specifikací u základní služby CA (Cooperative Awareness). Tato služba se stará o pravidelné odesílání zpráv CAM (Cooperative Awareness Message), které jsou určeny pro udržování vzájemného povědomí o sobě mezi jednotlivými účastníky silničního provozu. Jednotlivé části této normy obsahují: [23]

1. První část normy definuje strukturu standardizovaného formuláře, pomocí kterého může dodavatel předat informace o své implementaci, které jsou nutné ke správnému provedení testování. Definovaný formulář je v souladu s normou ISO/IEC 9646-7 [23]
2. Druhá část normy definuje strukturu testovacího prostředí, skupiny testovaných parametrů a konkrétní testcasey v rámci definovaných testovaných skupin. Definované je testování jak na zpracování, tak tvorbu zpráv. Skupiny parametrů definované pro testování v rámci tvorby zpráv jsou: [23]
 - a. formát zprávy
 - b. frekvence vysílání zpráv
 - c. změna vysílaných informací
 - d. parametry nižších vrstev
3. Třetí část normy obsahuje popis použitého abstraktního testovacího prostředí a definuje formuláře pro doručení výsledků testování. [23]

4.2.3 ETSI TS 102 869

- Originální název: Conformance test specifications for Decentralized Environmental Notification Basic Service (DEN)
- Aktuální verze: v1.5.1 (2017-03)

Tato norma je rozdělena do tří částí, které společně tvoří testovací specifikaci pro ověřování shody se specifikací u základní služby DEN (Decentralized Environmental Notification). Tato služba se stará o pravidelné odesílání zpráv DENM (Decentralized Environmental Notification Message), které informují účastníky provozu o nečekaných událostech a nebezpečí na vozovce. Jednotlivé části této normy obsahují: [24]

1. První část normy definuje strukturu standardizovaného formuláře, pomocí kterého může dodavatel předat informace o své implementaci, které jsou nutné ke správnému provedení testování. Definovaný formulář je v souladu s normou ISO/IEC 9646-7 [24]

2. Druhá část normy definuje strukturu testovacího prostředí, skupiny testovaných parametrů a konkrétní testcases v rámci definovaných testovaných skupin. Skupiny parametrů definované pro testování DEN jsou: [24]
 - a. formát zprávy
 - b. vytvoření události
 - c. aktualizace události
 - d. ukončení události
 - e. opakování zprávy
 - f. parametry nižších vrstev
 - g. příjem zprávy
 - h. přesměrování zprávy
3. Třetí část normy obsahuje popis použitého abstraktního testovacího prostředí a definuje formuláře pro doručení výsledků testování. [24]

4.2.4 ETSI TS 102 870

- Originální název: Conformance test specifications for GeoNetworking Basic Transport Protocol (BTP)
- Aktuální verze: v1.1.1 (2011-03)

Tato norma je rozdělena do tří částí, které společně tvoří testovací specifikaci pro ověřování shody se specifikací u základní transportního protokolu BTP (Basic Transport Protocol). Tento protokol slouží pro odesílání zpráv z jednotlivých C-ITS služeb (např., CA a DEN) ve formě paketů přes GeoNetworking protokol (protokol na síťové vrstvě, který směřuje pakety podle geografické pozice). Jednotlivé části této normy obsahují: [25]

1. První část normy definuje strukturu standardizovaného formuláře, pomocí kterého může dodavatel předat informace o své implementaci, které jsou nutné ke správnému provedení testování. Definovaný formulář je v souladu s normou ISO/IEC 9646-7 [25]
2. Druhá část normy definuje strukturu testovacího prostředí, skupiny testovaných parametrů a konkrétní testcases v rámci definovaných testovaných skupin. Skupiny parametrů definované pro testování BTP GeoNetworking jsou: [25]
 - a. Vytvoření paketů BTP-A
 - b. Vytvoření paketů BTP-B
 - c. Zpracování paketů
3. Třetí část normy obsahuje popis použitého abstraktního testovacího prostředí a definuje formuláře pro doručení výsledků testování. [25]

4.2.5 ETSI TS 102 871

- Originální název: Conformance test specifications for GeoNetworking ITS-G5
- Aktuální verze: v1.4.1 (2017-05)

Tato norma je rozdělena do tří částí, které společně tvoří testovací specifikaci pro ověřování shody se specifikací u GeoNetworking protokolu použitého přes technologii ITS-G5. Jednotlivé části této normy obsahují: [26]

1. První část normy definuje strukturu standardizovaného formuláře, pomocí kterého může dodavatel předat informace o své implementaci, které jsou nutné ke správnému provedení testování. Definovaný formulář je v souladu s normou ISO/IEC 9646-7 [26]
2. Druhá část normy definuje strukturu testovacího prostředí, skupiny testovaných parametrů a konkrétní testcasey v rámci definovaných testovaných skupin. Skupiny parametrů definované pro testování GeoNetworking ITS-G5 jsou: [26]
 - a. Formátování a platnost dat
 - b. Protokolové operace
 - c. Kapacita bufferu
3. Třetí část normy obsahuje popis použitého abstraktního testovacího prostředí a definuje formuláře pro doručení výsledků testování. [26]

4.2.6 Ostatní normy spojené s testováním C-ITS

Mezi další normy spojené s testováním kooperativních systémů podle [22] patří:

- ETSI TS 102 859 (test IPv6 přes GeoNetworking)
- ETSI TS 102 985 (test ISO 29281)
- ETSI TS 102 797 (test ISO 24102)
- ISO IS 24101-2 (test správy aplikací)
- ETSI TS 102 981 (test ISO 21210)
- ETSI TS 102 983 (test ISO 21215)
- ETSI TS 102 982 (test ISO 21214)
- ETSI TS 102 760 (test ISO 21218)

4.2.7 Normy ověřované v rámci testování projektu C-ROADS

Podle platné metodologie ověřování a testování, vytvořené pro projekt C-ROADS, je při testech v rámci tohoto projektu ověřován soulad s následujícími normami. [17]

4.2.7.1 ETSI EN 302 637-2 V1.3.2.

Tato norma specifikuje základní službu CA a obsahuje detailní definici zpráv CAM, které jsou v rámci této služby vysílány. To zahrnuje definici syntaxe a sémantiky těchto zpráv, spolu s pravidly pro zacházení s nimi. [27]

Obsah této normy posloužil jako základ pro vývoj automatizovaného systému vytvořeného v rámci praktické části této práce. Obsahu této normy se ve větším detailu věnuje i kapitola 6.2.1.

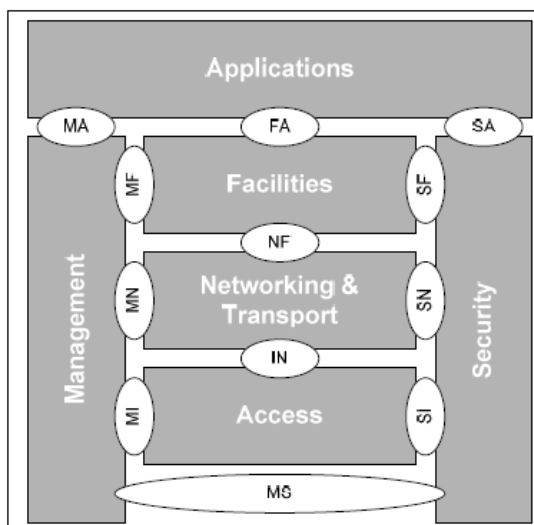
4.2.7.2 ETSI EN 302 637-3 V1.2.2

Tato norma specifikuje základní službu DEN a obsahuje detailní definici zpráv DENM, které jsou v rámci této služby vysílány. To zahrnuje definici syntaxe a sémantiky těchto zpráv, spolu s pravidly pro zacházení s nimi. [28]

Obsah této normy posloužil jako základ pro vývoj automatizovaného systému vytvořeného v rámci praktické části této práce. Obsahu této normy se ve větším detailu věnuje i kapitola 6.2.2

4.2.7.3 ETSI TS 102 894-1 V1.1.1

Tato norma definuje funkční architekturu vrstvy zařízení (facilities layer) pro ITS stanice. Vrstva zařízení je jedna z vrstev referenční architektury ITS stanic. Tato architektura vychází z běžného ISO OSI modelu, a je uvedena na Obr. 11. [29]



Obr. 11 - Referenční architektura ITS stanice [29]

Vrstva zařízení funguje jako prostředník pro ITS aplikace, které leží v aplikační vrstvě. Poskytuje těmto aplikacím informace, funkce nebo služby potřebné pro jejich fungování a vyměňuje si data s nižšími vrstvami. Popisovaná norma definuje minimální soubor funkcí vrstvy zařízení, potřebný pro provoz základní sady aplikací (BSA). [29]

4.2.7.4 ETSI TS 102 894-2 V1.2.1

Tato norma definuje sadu parametrů (datových elementů a datových rámců), které jsou běžně používané ve zprávách vrstvy zařízení a aplikační vrstvy referenčního modelu ITS stanice (Obr. 11). Norma definuje pouze samotné parametry, nedefinuje strukturu žádné zprávy. Jako

ostatní zde uvedené normy, se i tato soustředí na provoz základní sady aplikací (BSA), proto uvádí parametry používané především v CAM a DENM zprávách. [30]

Spolu s normami definujícími strukturu zpráv CAM a DENM, byla i tato norma velmi důležitá pro vývoj automatizovaného systému vytvořeného v rámci praktické části této práce.

5 Telekomunikační technologie v C-ITS

Kooperativní systémy jsou založené na komunikaci a sdílení informací mezi jednotlivými zapojenými účastníky a jejich fungování je tedy zcela závislé na použité telekomunikační technologii. Kvalitativní parametry použité technologie tak mohou fungování kooperativních systémů zcela zásadně ovlivnit a volbě správné telekomunikační technologie je tedy nutné věnovat maximální pozornost.

Topologii telekomunikačních sítí využívaných v kooperativních systémech, můžeme rozdělit na tři, vzájemně propojené, části: [3]

- **Páteřní síť:** zajišťuje propojení jednotlivých uzlů v síti
- **Síťové uzly:** zajišťují propojení mezi páteřní a přístupovou sítí, jedná se o zařízení typu ústředna, router nebo switch
- **Přístupová síť:** je napojená na síťové uzly a slouží k propojení jednotlivých účastníků do telekomunikační sítě

Ze tří uvedených topologických částí se za nejdůležitější při návrhu kooperativních systémů považuje přístupová síť. Je to dáno tím, že páteřní sítě jsou v současné době už velmi dobře dimenzované, většinou řešeny optickými vlákny s přenosovou kapacitou až stovek Tb/s, a nepředstavují tedy pro aplikace C-ITS žádné výrazné omezení. Naopak pro technologie přístupových sítí, je splnění všech požadovaných parametrů pro použití v kooperativních systémech, stále výzvou.

Na telekomunikační technologie použité v kooperativních systémech jsou totiž kladeny velmi vysoké nároky, zejména proto, že jejich primárním úkolem je ochrana zdraví a života člověka. Jedním z nejdůležitějších parametrů pro přenos dat v kooperativních systémech je latence (zpoždění přenosu dat), což je zase dáno jejich nasazením ve velmi dynamickém prostředí silniční dopravy, kde je nutné požadovaná data přenášet ve velmi krátkých časech a často i ve vysokých vzájemných rychlostech komunikujících stanic. Mezi další důležité parametry přenosových technologií v kooperativních systémech patří přenosová rychlost, dostatečné pokrytí, přesnost, spolehlivost, dostupnost a integrita. [31]

Vzhledem k těmto náročným a specifickým požadavkům, se stala de-facto standardem pro komunikaci v rámci C-ITS technologie DSRC 5,9 GHz (resp. ITS-G5 v Evropě), která byla od svého počátku definována a vyvíjena specificky pro použití v rámci C2X komunikace. Zavádění a finální standardizace této technologie však nebyly tak rychlé, jak se původně očekávalo a v současné době se objevuje i její alternativa z oblasti mobilních sítí, v podobě upravené technologie LTE, resp. LTE-A. Tyto dvě technologie budou v následujících

kapitolách blíže představeny, a nakonec bude provedeno jejich vzájemné porovnání s ohledem na použití v C-ITS. [32]

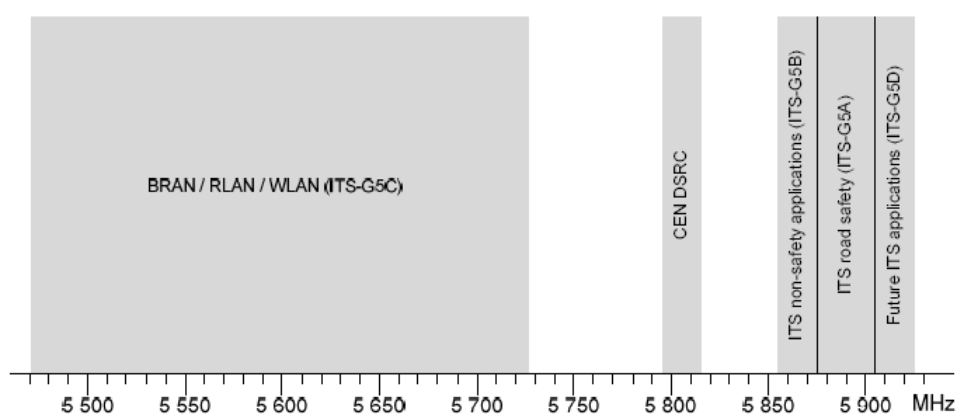
5.1 DSRC 5,9 GHz

Jak bylo zmíněno už v předchozí kapitole, DSRC 5,9 GHz je nejčastěji používanou a také nejlépe otestovanou telekomunikační technologií pro kooperativní systémy. DSRC (Dedicated Short Range Communication) je mikrovlnná komunikační technologie krátkého až středního dosahu (do 1000 m), s dostatečnou přenosovou rychlostí (až 27 Mbps), která byla navržena speciálně pro použití v ITS aplikacích, a která operuje v licencovaném pásmu 5,9 GHz, které je vyhrazené pro C-ITS aplikace. [33]

V Evropě je pro C-ITS aplikace vyhrazeno pásmo 5855-5925 MHz, tedy 70 MHz. Ale jak je vidět na Obr. 12, evropské pásmo pro C-ITS je dále rozděleno na tři menší pásma s definovanými pravidly užívání: [34]

- **ITS-G5A (5875-5905 MHz):** Pásmo rezervované pro bezpečnostní ITS aplikace
- **ITS-G5B (5855-5875 MHz):** Pásmo rezervované pro ITS aplikace nesouvisející s bezpečností
- **ITS-G5D (5905-5925 MHz):** Pásmo rezervované pro budoucí ITS aplikace

Pro bezpečnostní C-ITS aplikace je tedy v současnosti určeno pouze 30 MHz pásmo. Kromě těchto tří ITS pásem je v 5 GHz spektru rezervované také pásmo s označením **CEN DSRC**, které slouží pro elektronický výběr mýta (technologie DSRC 5,8 GHz). [34]



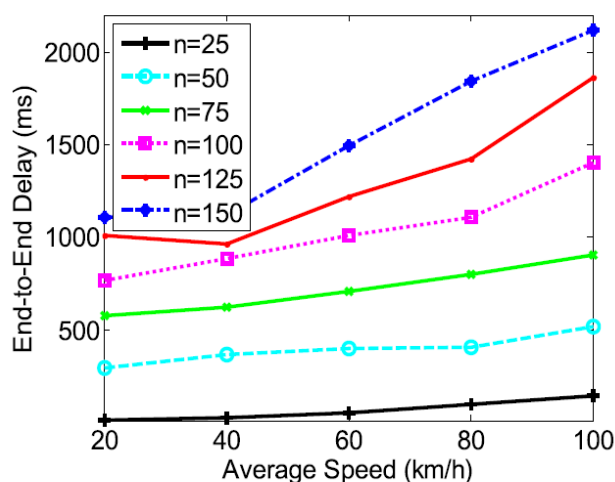
Obr. 12 - Rozdělení evropského frekvenčního spektra 5 GHz [34]

Sada protokolů, které definují DSRC, se skládá ze skupiny standardů IEEE 1609.x a IEEE 802.11p, které jsou souhrnně označovány jako WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment). Standard IEEE 802.11p je použit jako základ pro DSRC technologii a definuje její fyzickou vrstvu a MAC podvrstvu linkové vrstvy. Jedná se o dodatek k rodině standardů IEEE 802.11 (Wi-Fi), který umožnil použití této technologie v dopravním prostředí,

a to především díky výraznému zjednodušení sestavení spojení a změně šířky kanálu z 20 na 10 MHz, čímž je docíleno větší tolerance Dopplerova jevu. [3]

DSRC používá jako přístupovou metodu časový multiplex (TDMA), který umožňuje přistupovat více uživatelům na stejné frekvenci ke stejnému kanálu, díky využití definovaných timeslotů. Časové úseky dlouhé 100 ms jsou dále děleny na dva 50 ms úseky, z nichž každý má rezervované první 4 ms pro účely synchronizace timeslotu. Ze zbylých dvou 46 ms úseků slouží jeden jako služební kanál (SCH), a tedy pro distribuci dopravně kritických informací zbývá pouze 46 ms časový úsek, označený jako kontrolní kanál (CCH). [3] [35]

Uvedený omezený časový úsek vyhrazený pro posílání rámců s bezpečnostně relevantními zprávami, vede k obavám o dostatečnou kapacitu technologie DSRC v oblastech s velmi hustým výskytem vozidel (městské aglomerace, ale i např. dopravní kolony na dálnicích). Spolu s rostoucím počtem uživatelů přistupujícím k jednomu kanálu navíc u DSRC také velmi významně roste zpoždění přenosu, jak je vidět na grafu na Obr. 13. Pokud navíc připočteme další teoretické zpoždění, způsobené metodou přístupu k médiu CSMA/MA (stanice čekají náhodně dlouhou dobu, než začnou vysílat, pokud v době čekání nezačne vysílat jiná stanice) použitou ve standardech IEEE 802.11, technologie DSRC by nemusela být vhodná pro bezpečnostní aplikace v oblastech s velkou hustotou vozidel. [33] [35]



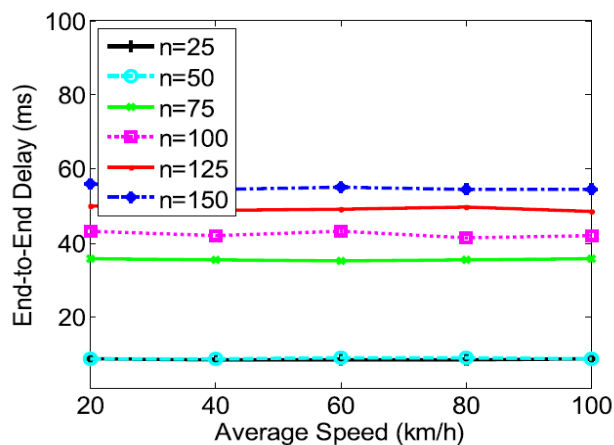
Obr. 13 - Závislost zpoždění přenosu na průměrné rychlosti a počtu uživatelů u sítě s technologií IEEE 802.11p [33]

5.2 LTE-A

LTE je generace mobilních sítí, která nahrazuje sítě 3G (UMTS a HSPA), a ve své původní verzi byla představena v roce 2010. Tato základní verze LTE se označuje jako „Release 8“ a za použití technologií jako MIMO (multi-antenní komunikace), metody multiplexu OFDMA (Orthogonal frequency-division multiple access), nebo nastavitelné šířky pásma (do 20 MHz), dosahovala přenosové rychlosti při downloadu až 300 Mbps, při uploadu 75 Mbps. [36] [37]

LTE se dále vyvíjí ve vývojových stupních označovaných vždy jako „Release X“. LTE-A bylo představeno jako „Release 10“, jehož standardizace byla ukončena v září 2011, a byl první verzí LTE, která skutečně dosahovala parametrů sítí 4G. S pomocí šířky pásma až 100 MHz, více antén v režimu MIMO, a efektivnějšího využití frekvenčního spektra, je LTE-A schopné dosáhnout rychlosti až 3 Gbps při downloadu, a 1,5 Gbps při uploadu. [36] [37]

Díky masovému rozšíření datových mobilních sítí má LTE velkou výhodu ve svém globálním dosahu, je to technologie, která se používá po celém světě a už v současné době pokrývá většinu obydleného území Evropy (i když ne nutně ve verzi LTE-A). Je to navíc technologie, která se primárně užívá ke komerčním účelům, takže infrastruktura je vybudována komerčními subjekty. Pokud navíc porovnáme výsledky technologie DSRC z Obr. 13, s výsledky LTE ve stejném testu (na Obr. 14), LTE má při rostoucím počtu uživatelů výrazně nižší zpoždění přenosu.



Obr. 14 - Závislost zpoždění přenosu na průměrné rychlosti a počtu uživatelů u sítě s technologií LTE [33]

Naopak zásadní nevýhodou LTE pro použití v C-ITS je, že její parametry jsou optimalizovány pro rychlosti do 15 km/h. LTE sice dosahuje velice dobrých výsledků i při rychlostech až do 120 km/h, ale to pro použití v bezpečnostních aplikacích kooperativních systémů stále není dostatečné. Další nevýhodou je také využívání komerčního frekvenčního pásma, které nemá vyhrazený rozsah pro bezpečnostní aplikace. [36] [3]

Oba tyto zmíněné nedostatky by mohl odstranit LTE „Release 14“, který je přímo zaměřen na C2X komunikaci a měl by nabídnout fungování při vyšších rychlostech a také režim přímého peer-2-peer spojení, přes LTE, mezi dvěma účastníky komunikace, bez nutnosti se připojovat k bázové stanici sítě. Tento režim by tedy přesně odpovídal požadavkům decentralizované C2C komunikace. LTE „Release 14“ je ale velmi mladá technologie, která byla specifikována teprve v červnu 2017, a bude trvat ještě poměrně dlouho, než ji bude možné uvést do praxe, tím spíše u bezpečnostních aplikací. [37] [38]

5.3 Srovnání DSRC 5,9 GHz vs. LTE-A

V této kapitole budou shrnuta fakta o obou technologiích z předchozích dvou kapitol a provedeno jejich srovnání.

Jak již bylo zmíněno, DSRC 5,9 GHz je v současné době nejrozšířenějším, a de-facto standardním řešením telekomunikační technologie pro oblast C-ITS. Je to také technologie, která je v tomto směru nejlépe otestovaná, má za sebou řadu pilotních projektů, které testovaly její implementaci, a to i v poměrně rozsáhlém měřítku. Primárně pro technologii DSRC je také tvořena většina evropských C-ITS standardů, včetně vyhrazeného frekvenčního pásma pro ITS aplikace ve spektru 5GHz. Vzhledem k tomu, že DSRC bylo od začátku koncipované jako technologie pro C2X komunikaci, je také schopné spolehlivých datových přenosů až do rychlosti 250 km/h.

Naopak nevýhodou DSRC je nutné nákladné budování infrastruktury a provozování zcela nové sítě, kdy není příliš zřejmé, kdo by za její provoz odpovídal. Vzhledem k tomu, že bezpečnostní aplikace kooperativních systémů mají spíše celospolečenské přínosy, v podobě ušetřených nákladů na dopravních nehodách, případně snížených emisí, pravděpodobně by za vybudování a provoz sítě musela být zodpovědná nějaká státní instituce s dostatečným rozpočtem na tak vysokou investici. Dalším problémem technologie DSRC, je její omezená kapacita v oblastech s vysokou hustotou vozidel, která se ale pravděpodobně nebude mít šanci projevit hned v prvních letech po případném rozběhnutí C-ITS aplikací. Přesto by mohla později při větším rozšíření této technologie představovat významný problém, především pro bezpečnostní aplikace.

Zcela jasným limitem technologie LTE-A pro použití v C-ITS je její omezená funkčnost nad rychlost 120 km/h. V kombinaci s provozováním v komerčním frekvenčním pásmu, kde není možné spolehlivě zaručit kvalitativní parametry přenosu, ji to v podstatě vylučuje z použití pro bezpečnostní aplikace. Přesto má LTE-A i nesporné výhody, a to především v už stávajícím velmi dobrém pokrytí evropského území, takže odpadá potřeba budování nové nákladné sítě RSU stanic. Jasný je také model provozování sítí komerčními subjekty a výhodou LTE-A je i přenosová kapacita a rychlost.

Co se tedy týká srovnání DSRC 5,9 GHz s LTE-A, nejpravděpodobnější je jejich spolupráce v podobě hybridních sítí, kdy bezpečnostně kritické aplikace budou zajištěny technologií DSRC a LTE-A bude využívat svého pokrytí a přenosové kapacity pro zajištění méně kritických služeb, čímž také částečně uleví využívání kapacity DSRC.

Zajímavější situace by mohla nastat při srovnání DSRC 5,9 GHz s technologií LTE „Release 14“ (někdy též LTE-V), která odstraňuje nejzjevnější nedostatky LTE-A pro použití v C-ITS. Technologie LTE-V by už teoreticky mohla být schopná DSRC plně nahradit, včetně decentralizované komunikace C2C, a pokud by byla oficiálně uznaná jako technologie pro bezpečnostní ITS aplikace, mohla by využívat i vyhrazené frekvenční pásmo. LTE-V je velmi čerstvá technologie, která má hotovou specifikaci teprve necelý rok, což je velký rozdíl oproti široce akceptované a dobře otestované DSRC 5,9 GHz. Na druhou stranu fakt, že DSRC je k dispozici už téměř 20 let (její standardizace byla dokončena v roce 1999), a přesto nebyla nikdy opravdu použita na masovém trhu, vede některé odborníky k názoru, že pro tržní využití nebude připravena nikdy. LTE-V má navíc opravdu velkou výhodu v globálním rozšíření technologie LTE, což by umožnilo do kooperativních systémů snadno zapojit každého, kdo by měl mobilní telefon s podporou této technologie (např. včetně chodců a cyklistů). [39] [32]

Jedním z teoreticky možných budoucích scénářů tak může být nejprve zavádění hybridních kooperativních systémů na bázi DSRC 5,9 GHz ve spolupráci s LTE-A, které mohou být později postupně nahrazovány technologií LTE-V, která bude mít čas se připravit na svoje nasazení do praxe a ideálně nahradit DSRC 5,9 GHz právě v době, kdy bude narážet na svoji omezenou kapacitu.

6 Zprávy přenášené v kooperativních systémech

Pro efektivní výměnu informací v rámci kooperativních systémů, bylo nutné definovat standardizované formáty zpráv, které si mezi sebou jednotliví účastníci komunikace budou vyměňovat. V této kapitole bude uveden přehled typů zpráv používaných v kooperativních systémech a analýza jejich obsahu. Kapitola přitom bude rozdělena do dvou částí, kdy v jedné budou uvedeny zprávy určené čistě pro komunikaci C2I/I2C, definované standardy ISO, a v druhé budou detailněji představeny zprávy používané v rámci základní sady aplikací (BSA), definované standardy ETSI. Zprávami pro BSA se tato práce bude zabývat i dále ve své praktické části, neboť právě tyto zprávy budou předmětem automatizované analýzy pomocí vytvořené aplikace.

6.1 Zprávy pro komunikaci s infrastrukturou

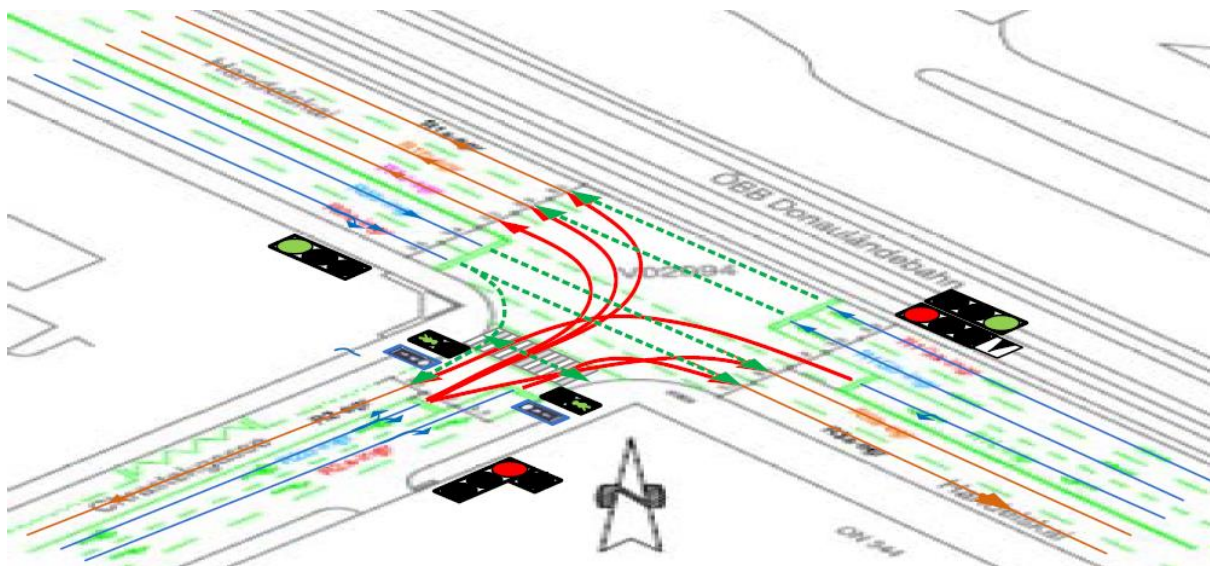
Sada zpráv pro aplikace spojené s infrastrukturou je definovaná v normách ISO TS 19 091 (SPaT, MAP, SRM, SSM) a ISO TS 19 321 (IVIM). Definice obsažená v těchto normách je pak ještě rozšířená normou ETSI TS 103 301, která zprávám přidává standardní hlavičku používanou v evropských kooperativních systémech a pak se k názvu zpráv přidávají písmenka „EM“ jako Extended Message (např. SPATEM, MAPEM atd.).

6.1.1 Zpráva SPaT

Zprávy SPaT (Signal Phase and Timing) jsou určeny pro komunikaci mezi infrastrukturou světelně řízené křižovatky a účastníky silničního provozu. Cílem této zprávy je pomoci účastníkům provozu projet křižovatku bezpečně a plynule. Obsahem této zprávy jsou informace např. o: [40]

- operačním stavu řídicí jednotky světelných signálů
- aktuální stav signálů
- zbývající čas před změnou do dalšího stavu
- aktuálně povolené manévry projetí křižovatkou

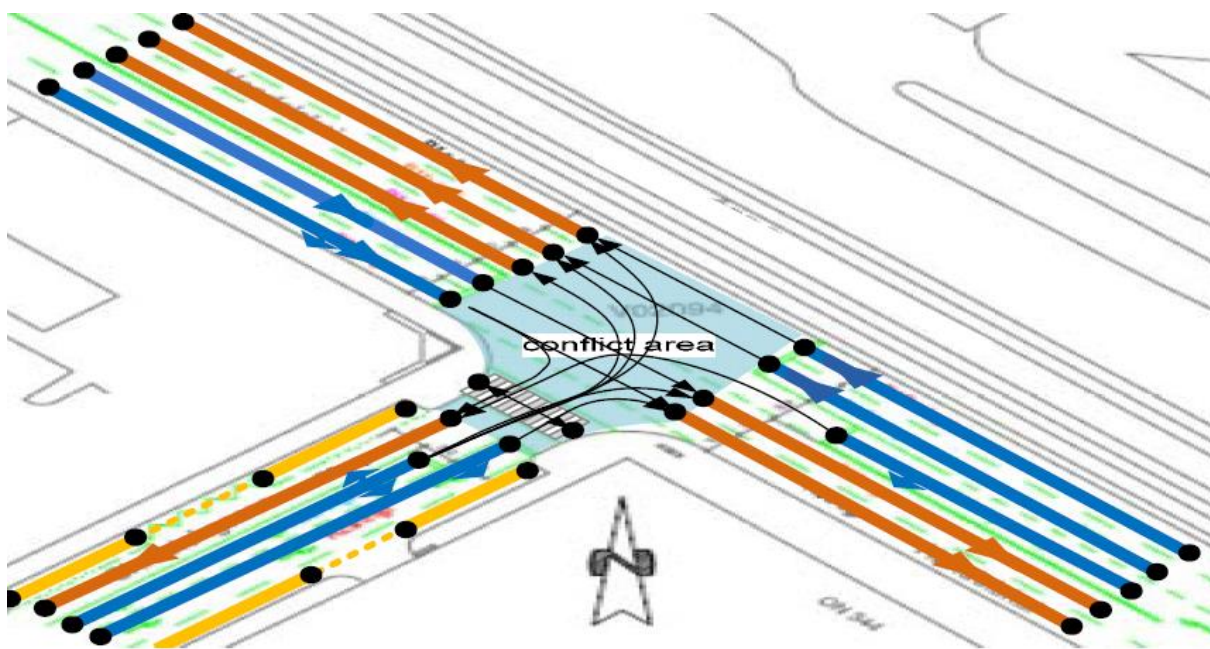
Do budoucna se počítá také se službou, která poskytne detailní instrukce pro ideální průjezd křižovatkou, bez zbytečného přerušení jízdy. Grafické znázornění informací obsažených ve SPaT zprávě je na Obr. 15. [40]



Obr. 15 - Grafické znázornění informací obsažených ve zprávě SPaT [40]

6.1.2 Zpráva MAP

Zpráva MAP slouží k předávání informací o topologickém uspořádání nějaké infrastrukturní oblasti, typicky křižovatky. Zpráva tedy tvoří digitální topologickou mapu, s informacemi o všech jízdnicích pro automobily, cyklisty, parkování, hromadnou dopravu, o přechodech pro chodce a také o povolených manévrech v oblasti křižovatky. Oblast křižovatky je popsána do vzdálenosti asi 200 m od zastavovací čáry. Zpráva MAP se používá společně se zprávou SPaT pro vytvoření kompletní informace o stavu a topologii křižovatky. Grafické znázornění informací obsažených ve zprávě MAP je na Obr. 16. [40]



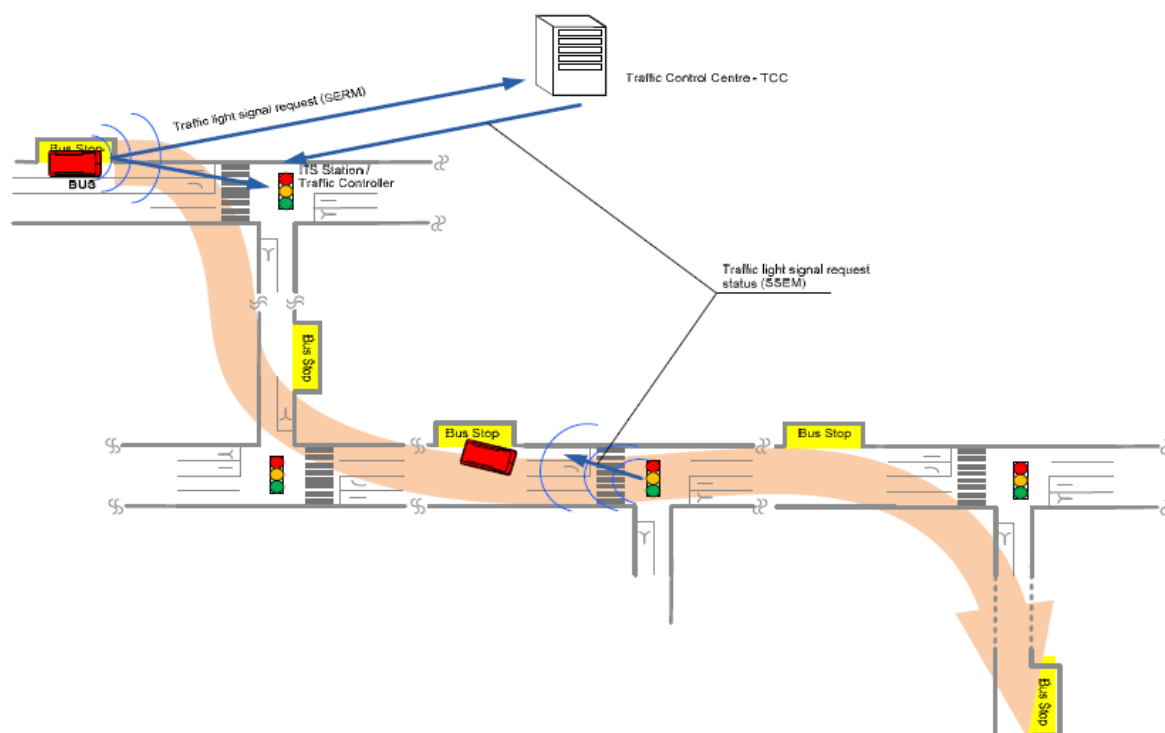
Obr. 16 - Grafické znázornění informací obsažených ve zprávě MAP [40]

6.1.3 Zprávy SRM a SSM

Zprávy SRM (Signal Request Message) a SSM (Signal Status Message) spolu úzce souvisí. Jedná se o dvojici zpráv, které umožňují preferenci určitých vozidel (např. MHD nebo vozidla s právem přednostní jízdy) při průjezdu řízenými křižovatkami. Tato služba zajistí preferovaným vozidlům plynulý průjezd křižovatkou podle jim přidělené priority. [40]

Zprávy SRM jsou odesílány z OBU vozidla s preferencí jízdy, které se blíží k řízené křižovatce. Obsahem zprávy je žádost na přednostní průjezd křižovatkou a odpovídající změnu signálu. Jedna zpráva SRM může obsahovat žádost i na průjezd několika po sobě jdoucích křižovatek na definované trase. [40]

Zprávy SSM jsou odesílány příslušnou dopravní infrastrukturou jako odpověď na žádost ve zprávě SRM. Po přijetí SRM, vyhodnotí relevantní řídicí prvek žádost v ní obsaženou a pošle žádající stanici zpět odpověď ve formě zprávy SSM. Zpráva SSM obsahuje informaci o tom, jestli byl původní požadavek splněn nebo odmítnut, např. z důvodu paralelní žádosti s vyšší prioritou (ambulance má vyšší prioritu než autobus atd.). Grafické znázornění situace, kde vozidlo MHD žádá pomocí zprávy SRM přednostní průjezd soustavou křižovatek, je na Obr. 17. [40]



Obr. 17 - Grafické znázornění žádosti o přednostní průjezd křižovatkou zprávami SRM/SSM [40]

6.1.4 Zpráva IVIM

Zprávy IVIM (Infrastructure to Vehicle Information Message) obsahují informace relevantní k dopravnímu značení. Řidičům tak umožňují zobrazit si relevantní varování a příkazy dané dopravním značením přímo ve vozidle, kde se zobrazí jen v relevantních časech (např. omezení rychlosti od 6 do 18 hodin) a jen pokud vozidlo vjede do definované informační zóny. Informace obsažené ve zprávách IVIM mohou být relevantní k fyzickým, statickým i proměnným, dopravním značkám, ale mohou taky samy tvořit virtuální dopravní značky, nebo varovat před prací na silnici. [40]

6.2 Zprávy pro základní sadu aplikací (BSA)

Norma ETSI TS 102 637 definuje základní sadu aplikací kooperativních systémů, které by mělo být možné spustit v časovém rámci tří let po dokončení standardizace C-ITS. Tyto základní aplikace jsou zajištěny dvěma základními službami – CA (Cooperative Awareness) a DEN (Decentralized Environmental Notification). Obě tyto služby mají pro své fungování definovaný formát zprávy, jsou to základní zprávy CAM (Cooperative Awareness Message) a DENM (Decentralized Environmental Notification Message). [41]

6.2.1 Zpráva CAM

Zprávy CAM slouží k realizaci služby CA, jejímž cílem je udržovat vzájemné povědomí všech kooperujících stanic o sobě navzájem. Zprávy CAM by měla posílat a přijímat každá stanice, která je zapojená do komunikace v rámci C-ITS systému. Obsah CAM zpráv se může lišit v závislosti na typu stanice, ze které byla zpráva odeslána, ale obecně obsahuje status (pozici, rychlost atd.) a vlastnosti (rozměry, typ stanice, role atd.) odesílající stanice. Na základě informací přijatých v CAM zprávách v rámci služby CA může být postavena celá řada aplikací, např. porovnáním vlastního stavu se stavem stanice odesílající CAM, může příjemce vyhodnotit hrozící srážku a varovat řidiče. [27]

6.2.1.1 Šíření CAM zpráv

CAM zprávy se odesílají všem ITS stanicím v přímém dosahu odesílající stanice a dále se nepřeposílají. [27]

Frekvence generování CAM zpráv se může lišit podle aktuální dynamiky odesílající stanice a stavu vytížení kanálu, ale měla by se držet v těchto definovaných hranicích: [27]

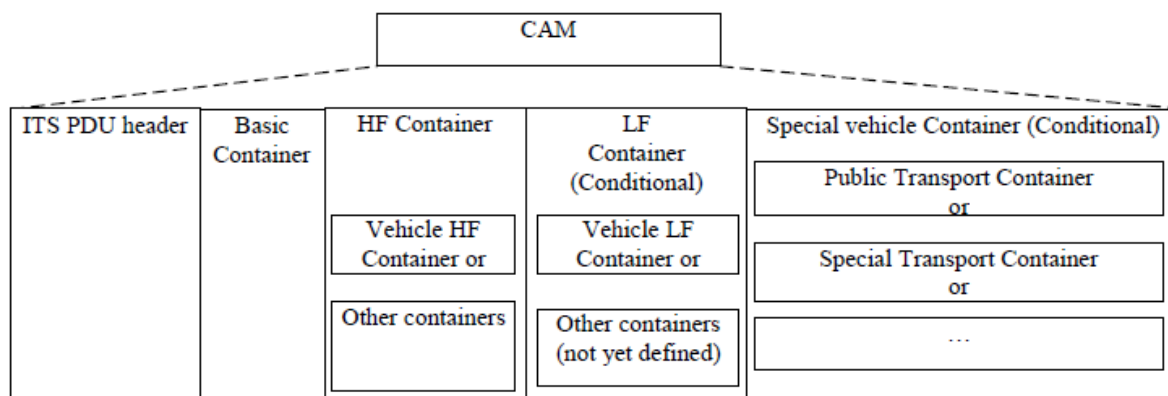
- Interval pro generování by neměl být menší než 100 ms (frekvence 10 Hz)
- Interval pro generování by neměl být větší než 1000 ms (frekvence 1 Hz)

Jiná pravidla platí pro generování CAM zpráv u stanic typu RSU (pevné infrastrukturní stanice). Pro tyto stanice platí, že interval generování by měl být nastavený tak, aby za dobu, kdy je

v dosahu vysílání stanice vozidlo, byla odeslána alespoň jedna CAM zpráva. Interval by však neměl být menší než 1000 ms. [27]

6.2.1.2 Formát CAM zprávy

CAM zpráva se skládá z obecné ITS PDU hlavičky a několika dalších kontejnerů. Obecná struktura CAM zprávy je na Obr. 18. [27]



Obr. 18 - Obecná struktura CAM zprávy [27]

V hlavičce jsou obsaženy obecné informace o verzi protokolu, typu zprávy a ID odesílající stanice. [27]

Kontejner Basic obsahuje informace o typu odesílající stanice a její geografické pozici v době vytvoření zprávy. Tento kontejner by měl být obsažen v každé CAM. [27]

Kontejner HF (High Frequency) obsahuje dynamicky se měnící informace o odesílající stanici (např. rychlost, směr). [27]

Kontejner LF (Low Frequency) obsahuje statické nebo nepříliš dynamicky proměnné informace o odesílající stanici (např. stav vnějšího osvětlení vozidla). [27]

Kontejner Special Vehicle obsahuje informace specifické k roli odesílající vozidlové stanice. [27]

Každý kontejner se skládá z posloupnosti datových elementů (parametrů), které mohou být povinné nebo volitelné, a jsou blíže definovány v [27].

CAM zprávy generované vozidlovými stanicemi by měly vždy obsahovat alespoň HF kontejner a volitelně i LF kontejner. Pokud vozidlová stanice navíc plní nějakou specifickou roli (např. MHD, IZS, nebezpečný náklad atd.), měl by být přiložen i odpovídající kontejner Special Vehicle. [27]

CAM zprávy generované stanicemi RSU by měly obsahovat alespoň HF kontejner. [27]

6.2.2 Zpráva DENM

Zprávy DENM slouží k realizaci služby DEN, jejímž cílem je informovat všechny stanice, pro které to je relevantní, o nebezpečných nebo nestandardních událostech. Vytvoření DENM zprávy je spuštěno C-ITS aplikací, která zjistí nebezpečnou situaci ve svém okolí. Následně je DENM zpráva s informacemi o vzniklém nebezpečí (např. typ události, geografická poloha) rozeslána všem relevantním stanicím v dosahu. Příjemce DENM zprávy předá informace v ní obsažené do své aplikační vrstvy, kde je příslušná C-ITS aplikace vyhodnotí, rozhodne, jestli jsou pro ni relevantní a případně zobrazí řidiči příslušné varování. [28]

6.2.2.1 Šíření DENM zpráv

Vytvoření DENM zprávy je spuštěno určitou událostí, s možným dopadem na bezpečnost provozu. Každé takové události je přidělen typ události, lokace, čas zjištění a doba trvání. Tyto atributy se mohou měnit v čase a prostoru. [28]

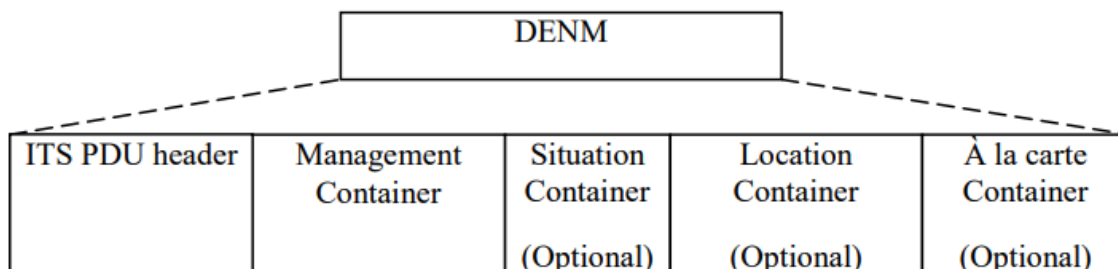
Pokud vysílající stanice odesílá DENM zprávu vztaženou k události, kterou sama způsobila (např. prudké brzdění), pak sama řídí i celé trvání a zrušení této DENM události. Pokud se ale jedná o událost, kterou mohlo nezávisle na sobě zjistit několik různých stanic, jako je např. kluzký povrch vozovky, a všechny stanice vyslaly odpovídající DENM, může tato událost zůstat aktivní ještě dlouho potom, co původní vysílající stanice bude už daleko pryč od místa události. V takovém případě je přenos DENM zpráv o příslušné události nezávislý na původní vysílající stanici. Pro podobné situace je definováno několik druhů DENM zpráv: [28]

- **Nová DENM:** DENM vytvořená v případě, že vysílající stanice jako první zjistí, že došlo k nějaké události. Každé nové DENM je přiřazen unikátní identifikátor a obsahuje popis příslušné události.
- **Aktualizační DENM:** DENM obsahující aktualizované informace k příslušné události. Aktualizační DENM je vysílána stejnou stanicí, která k této události vytvořila novou DENM.
- **Stornovací DENM:** DENM, která informuje o zrušení události. Stornovací DENM je vysílána stejnou stanicí, která k této události vytvořila novou DENM.
- **Negační DENM:** DENM, která ukončuje událost, o které vysílající stanice přijala odpovídající *Novou DENM* od jiné stanice. Např. pokud stanice, která vyslala *Novou DENM*, informující o kluzké vozovce, opustila místo události, a za nějaký čas na stejné místo přijela jiná stanice, která předtím přijala tuto *Novou DENM*, a zjistila, že vozovka už kluzká není, pak může tato druhá stanice vyslat *Negační DENM* k této události.

Pokud to zjištěná událost vyžaduje, mohou být DENM zprávy přijímací stanicí i přeposílány. [28]

6.2.2.2 Formát DENM zprávy

DENM zpráva se skládá z obecné ITS PDU hlavičky a několika dalších kontejnerů. Obecná struktura DENM zprávy je na Obr. 18. [28]



Obr. 19 - Obecná struktura DENM zprávy [28]

V hlavičce jsou obsaženy obecné informace o verzi protokolu, typu zprávy a ID odesílající stanice. [28]

Kontejner Management obsahuje informace vztažené k řízení DENM zprávy a k DENM protokolu (např. ID zprávy, pozici události, čas zjištění atd.). [28]

Kontejner Situation obsahuje informace o typu zjištěné události (např. typ události, kvalitu informace atd.). [28]

Kontejner Location obsahuje informace o místě, kde byla událost zjištěna (např. směr a rychlost, kterými se událost pohybuje). [28]

Kontejner À la Carte obsahuje dodatečné informace, pokud to příslušná událost vyžaduje a tyto informace nejsou obsaženy v předchozích třech kontejnerech. [28]

Každý kontejner se skládá z posloupnosti datových elementů (parametrů), které mohou být povinné nebo volitelné, a jsou blíže definovány v [28].

Všechny DENM zprávy by měly obsahovat minimálně hlavičku a kontejner Management. Ostatní tři kontejnery jsou volitelné a pro Stornovací DENM by neměly být přítomné. Pokud zpráva obsahuje kontejner Situation, měla by obsahovat i kontejner Location. Kontejner À la Carte je ve zprávě přiložen jen v definovaných případech podle specifikací jednotlivých aplikací. [28]

7 Praktická část – návrh a tvorba automatizovaného systému pro ověřování kvality komunikačního kanálu kooperativních systémů

Cílem této diplomové práce byl návrh a tvorba funkčního vzorku automatizovaného systému pro ověřování kvality komunikačního kanálu kooperativních systémů. Touto kapitolou tedy práce přechází do své praktické části, kde budu z pohledu autora popisovat původní návrh systému, jeho změny během vývoje, a nakonec popíši přímo vytvořený funkční vzorek systému.

Ověřování kvality bude v kontextu zadání této práce probíhat analýzou datového záchytu komunikace, zachycené v rámci reálné implementace kooperativních systémů (pro testování aplikace byly použity datové záchyty získané v rámci projektu C-ROADS). Předmětem analýzy budou CAM a DENM zprávy obsažené v tomto záchytu, u kterých bude ověřeno, jestli jejich obsah odpovídá platné specifikaci, popsané v kapitole 6.2.

Motivací pro tvorbu takového automatizovaného systému byla především účast Dopravní fakulty ČVUT v Praze na projektu C-ROADS, kdy jejím hlavním úkolem bude právě vyhodnocovat výsledky provedených testů. V rámci tohoto projektu bude tedy potřeba analyzovat velké množství podobných datových záchytů, což by dosud používanou manuální metodou bylo těžko uskutečnitelné.

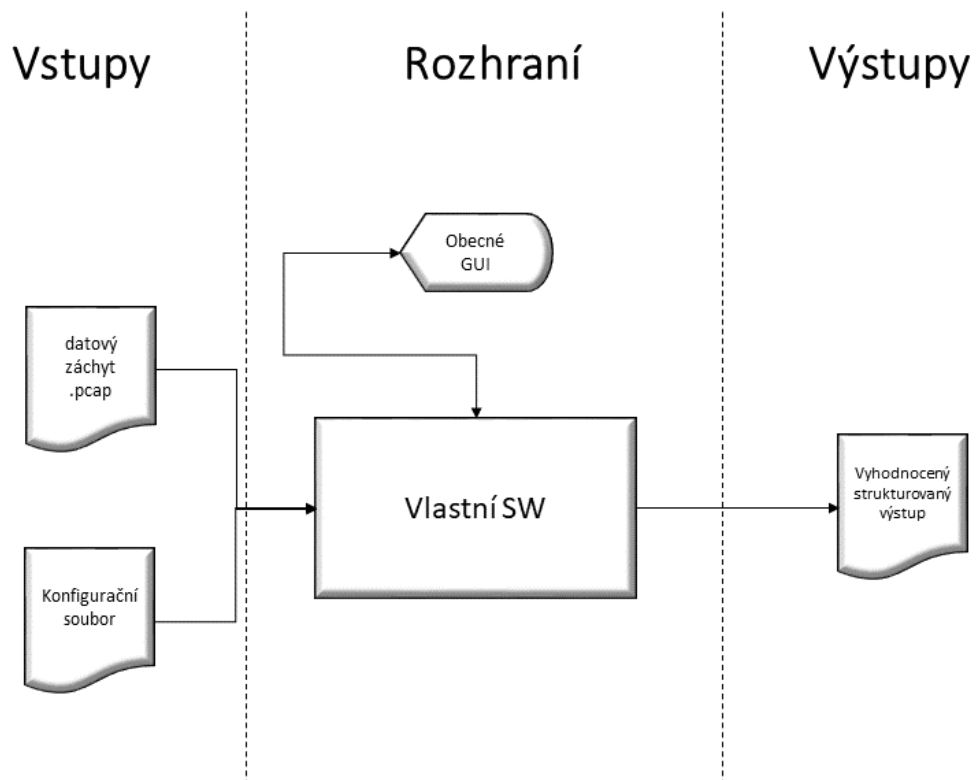
Podobné analýzy se na Fakultě dopravní prováděly již dříve, v rámci předchozích projektů na poli kooperativních systémů. U těchto projektů však bylo možné datové záchyty analyzovat i manuálně, protože jich nebylo nijak velké množství, a i míra implementace zkoušených kooperativních systémů nebyla na vysoké úrovni a datové záchyty tak obsahovaly poměrně velké množství chyb.

Při návrhu a tvorbě automatizovaného systému jsem vycházel i ze zkušeností nasbíraných při manuálních analýzách datových záchytů v předchozích projektech (zkušeností kolegů z projektu i svých vlastních). Závěrečná práce, která se týkala metodiky ověřování kooperativních systémů a ve které je popsána i manuální analýza datových záchytů je [42]. Ze závěrů této práce jsem volně vycházel především při volbě struktury výstupů automatizovaného systému.

7.1 Návrh a vývoj systému

Původní návrh architektury zamýšleného systému byl velmi jednoduchý, jak je vidět na Obr. 20. Vstupem pro tvořený program měl být přímo soubor s datovým záchytem komunikace ve standardním formátu PCAP a konfigurační soubor, ve kterém mělo být jednoduše možné

změnit hodnoty pro vyhodnocení jednotlivých parametrů analyzovaných zpráv, pro případ, že by se povolené hodnoty těchto parametrů změnilly v platné normě. Program měl mít jednoduché grafické uživatelské rozhraní pro ovládání. Výstupem programu pak měl být jasně strukturovaný soubor s výsledkem analýzy, nejspíš barevně označené parametry podle výsledku jejich analýzy, podobně jako v původních analýzách uvedených ve [42]. Součástí výstupu také měla být sumarizace výsledků analýzy celého datového záchytu, pro snadný přehled, kolik parametrů prošlo analýzou jako v pořádku a kolik nikoliv.



Obr. 20 - Schéma původního návrhu architektury systému, zdroj: autor

Pro tvorbu programu jsem zvolil programovací jazyk Python a první verzi programu jsem tedy začal tvořit podle tohoto původního návrhu architektury, ale velmi brzy po začátku vývoje jsem narazil na problémy.

Problémem bylo přímé zpracování PCAP souboru, nebo spíše CAM zpráv obsažených v něm. K datům v PCAP jsem v původní verzi programu přistupoval na úrovni hexadecimálních dat a záměrem bylo vyhledat v hexadecimálním řetězci data patřící CAM zprávám a ty následně dále analyzovat.

Bohužel ve vývoji první verze programu se mi nepodařilo dojít dál než k rozparsování paketů z datového záchytu a izolování dat patřících CAM zprávě. Textový výstup této první verze programu je pro ukázkou na Obr. 21.

```

===== RESTART: C:\Python\pcap.py =====
global header
d4c3b2a102000400000000000000000002000007f000000
-----
packet header
8c85b5577aad0c00af000000af000000
-----
packet data - length: 175
-----
Radiotap Header - length: 52.0
0000340002000040000004e54800240001009f00000000000000d545cff000036ff70fe00000000
282d8405000000007b000000
-----
802.11 radio information - length: 26.0
88000000ffffffffffff00e06a00caf2ffffffffffff90a60000
-----
Logical-Link Control - length: 8.0
aaaa0300000008947
-----
GeoNetworking: Common - length: 40.0
0100000120500080002d010000f000e06a00caf2ce56e7281dabeb36082806da00000e1100000000
-----
Basic Transfer Protocol - length: 4.0
07d10000
-----
CAM - length: 45.0
010200000006e728000a6ala86ce6e3blb5ffffffffc224839de00e11fc0007ebfe9ed0737530f5fff
b0bc45dcff
-----
Read the next packet? 1-YES 0-NO: |

```

Obr. 21 - Textový výstup první verze programu, zdroj: autor

Jak je ve výstupu na Obr. 21 vidět, program dokázal rozparsovat pakety z datového záchyty na jednotlivé hlavičky, informace k použitým přenosovým protokolům a zvláště izolovat data patřící CAM zprávě. Data CAM zprávy ale nebylo možné dále zpracovat, protože podle definice v [27], jsou data CAM zprávy posílána zakódovaná metodou kódování ASN.1. Unaligned packed encoding rules (PER). Tato metoda umožňuje velmi kompaktní reprezentaci posílaných dat, ale aby data bylo možné dekodovat, je nutné, aby dekodér znal kompletní definici datové struktury zakódovaných dat. To znamená, že není možné použít nějaký obecný ASN.1 dekodér, musel by to být dekodér určený přímo pro datovou strukturu CAM zpráv. [43]

Takový, volně šiřitelný, dekodér, který by šel integrovat do mého programu, nebyl v době psaní této práce k dispozici a vzhledem k povaze této práce nepřipadalo využití komerčního produktu v úvahu. Po konzultaci se zástupci firmy, která se problematikou kooperativních systémů zabývá, a která používá svoje vlastní, privátní řešení pro dekodování CAM zpráv, jsem označil i možnost vytvoření vlastního ASN.1 dekodéru jako nepřiliš reálnou a zcela mimo rozsah této práce. Celou tuto situaci jsem ilustroval na příkladu CAM zpráv, ale naprosto stejný problém nastává i u zpráv DENM.

Tato situace tedy vedla k první změně v návrhu architektury zamýšleného systému. Pro dekódování zpráv jsem rozhodl použít volně šiřitelný software Wireshark se speciálním ITS pluginem, který v sobě obsahuje pravidla pro dekódování CAM i DENM zpráv. Wireshark nabízí možnost exportování dekódovaného obsahu celého datového zachytu ve formě prostého textu, který můj program pak dále zpracovává.

Nicméně koncept programu je postavený tak, že v textovém výstupu z Wiresharku vyhledává číselné vyjádření jednotlivých parametrů CAM/DENM zpráv, jako čísla je ukládá do proměnných a ty pak dále zpracovává a vyhodnocuje. To znamená, že pokud by v budoucnu byl k dispozici dekodér, který by bylo možné do programu integrovat, změnil by se jen zdroj číselných hodnot, ze kterého by proměnné byly naplněny, ale část programu pro vyhodnocování parametrů by mohla zůstat nezměněná.

Další změna v původním návrhu architektury se týká konfiguračního souboru, který je z mého pohledu zbytečný a spíš by přidával na složitosti celého systému, než by práci s ním ulehčoval. Je to dané konceptem, jakým program funguje, kdy podmínky pro vyhodnocení určitého parametru se použijí většinou pouze jednou, prostě z toho důvodu, že většina parametrů je unikátních, a tak není žádný důvod vyhodnocení se stejnými podmínkami opakovat. Existují výjimky, ale ty se dají řešit použitím dedikované funkce přímo v těle programu, která se bude používat na vyhodnocování sady parametrů, které se vyhodnocují podle stejných podmínek. Podmínky se tak pořád budou nastavovat pouze na jednom místě v programu, takže pokud se změní specifikace, stačí podmínky pro vyhodnocení změnit pouze na jednom místě, stejně jako kdyby byly uloženy v konfiguračním souboru. Rozhodovací bloky pro jednotlivé parametry jsou navíc v kódu programu dostatečně přehledné, a tak by pro poučeného uživatele neměl být problém podmínky pro vyhodnocení případně přímo v kódu změnit. Změna specifikace do té míry, že by změnila pravidla pro rozsah parametrů odesílaných zpráv, také není něco, co by se mělo dít příliš často nebo snad pravidelně.

Vzhledem ke všemu výše uvedenému jsem se tedy rozhodl koncept konfiguračního souboru nezavádět, protože by podle mého názoru přinesl jen nutnost zavádět další dlouhou řadu proměnných, které by se za běh programu použily ve většině případů pouze jednou. Místo toho jsou hodnoty pro vyhodnocení jednotlivých parametrů pevně zapsané v kódu programu, který je však v části s rozhodovacími bloky pro vyhodnocení parametrů velmi přehledný (příklad rozhodovacího bloku pro jeden parametr na Obr. 22) a neměl by tak být problém tyto hodnoty případně změnit. Tím spíš, že program budou užívat především vědeckí pracovníci a studenti problematiky kooperativních systémů, u kterých lze znalost minimálně základů programování předpokládat.

```

report+='<p>'+5*tab+'<b>altitude</b></p>'

if altitudeValue==initValue:
    altitudeValue_stats[2]+=1
    report+='<p>'+6*tab+redFont+'altitudeValue: MANDATORY PARAMETER MISSING!</p>'+resetFont
elif altitudeValue<-100000 or altitudeValue>800001:
    altitudeValue_stats[2]+=1
    report+='<p>'+6*tab+orangeFont+'altitudeValue({0}): Out of Range</p>'.format(altitudeValue)+resetFont
elif altitudeValue==800001:
    altitudeValue_stats[1]+=1
    report+='<p>'+6*tab+yellowFont+'altitudeValue({0}): unavailable</p>'.format(altitudeValue)+resetFont
else:
    altitudeValue_stats[0]+=1
    report+='<p>'+6*tab+greenFont+'altitudeValue({0}): {1}m</p>'.format(altitudeValue, altitudeValue*0.01)+resetFont

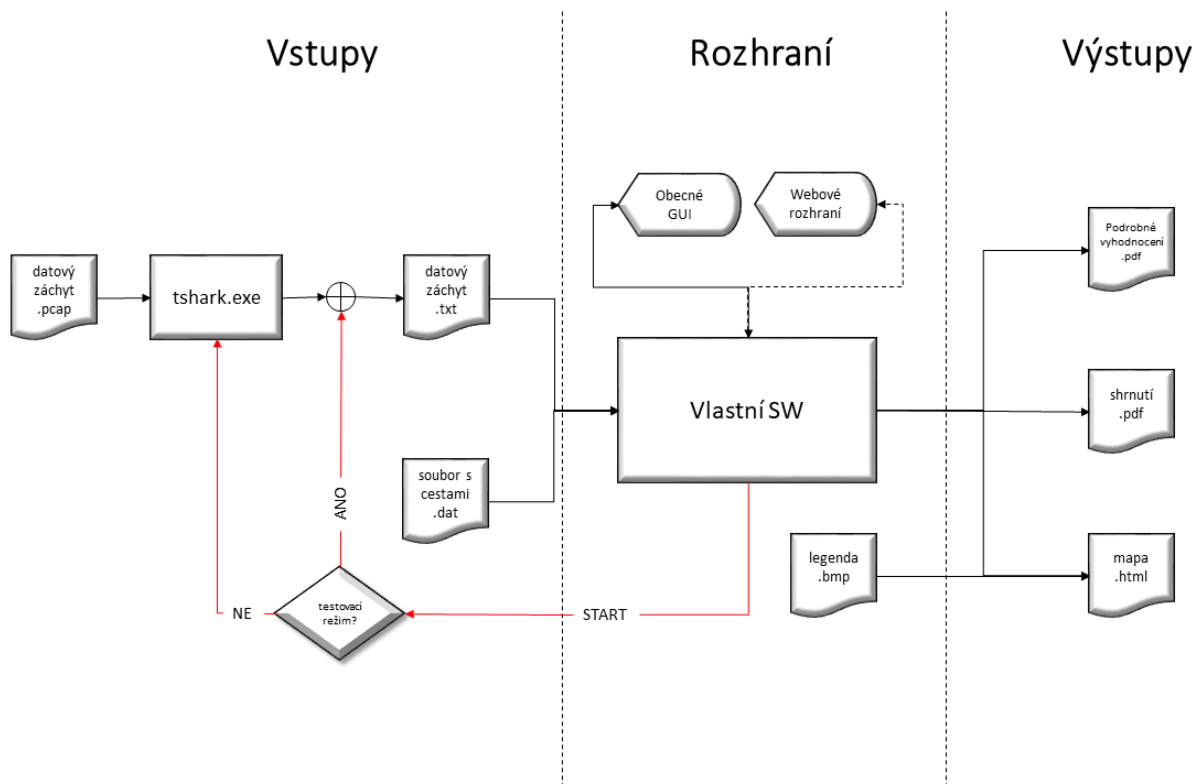
```

Obr. 22 - Příklad rozhodovacího bloku pro jeden z parametrů vyhodnocované zprávy, zdroj: autor

Poslední změnou v původně navrhované architektuře systému je přidání dalšího typu uživatelského rozhraní. V průběhu vývoje zde popisovaného programu byla na Fakultě dopravní zadána další závěrečná (bakalářská) práce, jejímž předmětem je právě tvorba webového uživatelského rozhraní k automatizovanému systému, který bude výsledkem této diplomové práce. Toto webové rozhraní by se pak jako nadstavba zde popisovaného programu mělo stát jeho hlavním uživatelským rozhraním, a základní GUI vyvinuté v rámci této práce by zůstalo jen pro interní potřebu. Součástí plánovaného webového rozhraní není jen samotné GUI, ale i archivační systém pro výsledky analýz a případné další dodatečné funkce. Provozování celého systému i s webovým rozhraním na fakultním serveru navíc umožní vzdálené spuštění zde popisovaného programu a odstraní se tak nutnost splnění předpokladů pro spuštění programu na lokálním počítači každého uživatele (podmínky jako instalace Python, Wireshark atd.).

7.1.1 Finální architektura systému

Zpracováním všech výše uvedených změn do původního návrhu architektury tedy vznikla finální architektura systému, která je uvedena na Obr. 23. Podle této architektury už byl skutečně vytvořen finální funkční vzorek automatizovaného systému. Schéma na Obr. 23 je navíc vypracováno v o něco větším detailu než schéma původního návrhu z Obr. 20, v následujících odstavcích tedy stručně popíši všechny jeho prvky. Detailnější popis struktury vstupů a výstupů pak bude i předmětem další kapitoly.



Obr. 23 - Schéma finální architektury systému, zdroj: autor

Centrálním prvkem schématu architektury na Obr. 23 zůstává, v rámci této práce vyvinutý, program (označen jako *Vlastní SW*).

Program má dvě plánovaná uživatelská rozhraní – jednoduché GUI, které je přímo součástí programu (označení *Obecné GUI*), a webové rozhraní, které vzniká jako součást jiné závěrečné práce a nebude zde blíže popsáno (označení *Webové rozhraní*).

Nepřímým vstupem do programu je datový záchyt ve formátu PCAP (označení *datový záchyt.pcap*), který je při spuštění programu (červená šipka s označením *START*), nejprve převeden pomocí terminálové verze programu Wireshark (označení *tshark.exe*) na textový soubor. Terminálová verze programu Wireshark je přitom zavolána přímo ze zde popisovaného programu, uživatel musí jen zajistit, že je Wireshark na jeho PC nainstalovaný.

Alternativní možností je spuštění tzv. testovacího režimu. Pokud je vybrána možnost testovacího režimu (rozhodování označené kosočtvercem s označením *testovací režim?*), nevolá se vůbec program Wireshark a jako vstup do programu je zvolený přímo předem připravený textový soubor. Testovací režim je vhodný především pro ověřování správného fungování programu, protože dává možnost v textovém souboru předem změnit hodnoty parametrů a otestovat tak vyhodnocení hodnot parametrů, které nemusí být vždy v reálných datových záchytech k dispozici.

Přímými vstupy do programu jsou dva textové soubory. Jeden s daty k vyhodnocení (označení *datový záchyt.txt*), buď exportovaný pomocí Wiresharku, nebo předem připravený testovací soubor. Druhý vstupní soubor je textový soubor (označení *soubor s cestami.dat*) s informacemi o cestě do složky s nainstalovaným Wiresharkem.

Výstupy programu jsou dva soubory ve formátu PDF a jeden ve formátu HTML.

Soubor, s označením *podrobné vyhodnocení.pdf*, obsahuje podrobný výpis každé vyhodnocené zprávy a všech jejích vyhodnocených parametrů.

Soubor, s označením *shrnutí.pdf*, obsahuje shrnutí výsledků celé analýzy. Obsahuje počty vyhodnocených zpráv a statistiky vyhodnocení parametrů které si může uživatel před spuštěním analýzy zvolit přes nabídku v GUI.

Soubor, s označením *mapa.html*, obsahuje body představující každou vyhodnocenou zprávu, vykreslené na mapovém podkladu. Každý vykreslený bod obsahuje ještě dodatečné informace ke zprávě, kterou představuje. Součástí mapy je také legenda, která je přiložená jako obrázek (označení *legenda.bmp*) do HTML souboru s mapou.

7.2 Popis vytvořeného funkčního vzorku systému

V této kapitole popíšeme funkční vzorek systému vytvořeného podle návrhu v předchozí kapitole. Popíšeme předpoklady, nutné k jeho spuštění, adresářovou strukturu, ve které funguje a detailně popíšeme strukturu jeho vstupů a výstupů. Zde popisovaný funkční vzorek systému je k dispozici jako příloha k této diplomové práci, v souboru s názvem *příloha_funkcni_vzorek.rar* – v případě tištěné verze k dispozici na přiloženém CD.

7.2.1 Předpoklady ke spuštění

V této kapitole popíšeme předpoklady, které musí být splněny, aby bylo možné funkční vzorek systému spustit. Úvodem této kapitoly jen zmíním, že pokud se naplní plán systém provozovat na serveru přes webové rozhraní, budou tyto podmínky už splněny provozovatelem serveru a uživatel se jimi nebude muset zabývat. Pro lokální fungování programu je však musí každý uživatel splnit.

7.2.1.1 Python 3

Základní podmínkou pro spuštění přiloženého programu je mít na svém PC nainstalovanou podporu programovacího jazyka Python, ve kterém je program napsaný. Python je open-source projekt a instalační balíčky jsou zdarma k dispozici na: <https://www.python.org/downloads/> [Online: 29.5.2018].

Program byl vyvíjen v Python verze 3.6.0, takže ke stažení doporučuji tuto verzi, nebo vyšší.

Program také využívá některé doplňkové moduly jazyka Python, jsou to:

- modul **os** – používá se pro přístup k funkcionalitám poskytovaným operačním systémem, není třeba zvlášť instalovat
- modul **sys** – přistupuje k systémovým parametrům a funkcím, není třeba zvlášť instalovat
- modul **re** – používá se k operacím s regulárními výrazy, není třeba zvlášť instalovat
- modul **time** – používá se k operacím s časem, není třeba zvlášť instalovat
- modul **datetime** – importuje základní datové typy pro práci s časem, není třeba zvlášť instalovat
- modul **subprocess** – umožňuje práci se subprocessy, není třeba zvlášť instalovat
- modul **tkinter** – umožňuje vytvářet grafické uživatelské rozhraní, není třeba zvlášť instalovat
- modul **folium** – umožňuje vykreslovat data do mapy, je nutné ho zvlášť nainstalovat. Instalační pokyny na: <https://github.com/python-visualization/folium> [Online: 29.5.2018]
- modul **fpdf** – umožňuje generovat soubory formátu PDF, je nutné ho zvlášť nainstalovat. Instalační pokyny na: <https://pyfpdf.readthedocs.io/en/latest/> [Online: 29.5.2018].

7.2.1.2 Wireshark

Program také pro svoje plné fungování potřebuje mít na PC nainstalovaný Wireshark s ITS pluginem.

ITS plugin pro Wireshark je k dispozici z odkazu:

http://oldforge.etsi.org/websvn/listing.php?repname=ITS.WIRESHARK_ITS_PLUGINS&path=%2Freleases%2Fwireshark-2.2.x%2F&#a12a130a28dc5d190b3cc167bd921543d [Online: 29.5.2018].

Bohužel nejnovější verze Wiresharku, pro kterou je tento plugin dostupný, je verze 2.2.x a to v případě Windows jen pro 64bitové systémy. Pro 32bitové Windows je nejnovější podporovaná verze Wiresharku 2.0.x. Je tedy třeba si vybrat příslušnou verzi pluginu podle svého operačního systému a stáhnout si všechny DLL soubory, které jsou na odkaze pro tuto verzi dostupné.

Wireshark je dostupný zdarma, lze si ho tedy bezplatně stáhnout z jeho domovské stránky <https://www.wireshark.org/> [Online: 29.5.2018]. Aktuální stabilní verze Wiresharku, v době psaní této práce, je verze 2.6.1. Pro správné fungování ITS pluginu je však nutné si stáhnout verzi, kterou plugin podporuje (to se zase odvíjí od verze pluginu, kterou uživatel zvolil v předchozím bodě). Staré verze Wiresharku jsou k dispozici na <https://1.eu.dl.wireshark.org/> [Online: 29.5.2018], kde je nutné si v adresářové struktuře vybrat

architekturu svého operačního systému a pak jít přes odkaz *all-versions* k výpisu všech dostupných verzí Wiresharku a zde si vybrat verzi podporovanou ITS pluginem.

Při instalaci Wiresharku je nutné zaškrtnout volbu instalace terminálové verze Wiresharku – *tshark*. Právě terminálovou verzí Wiresharku bude při svém spuštění volat zde popisovaný program.

Po úspěšné instalaci Wiresharku už stačí jen nakopírovat DLL soubory s ITS pluginem do složky *plugins*, která se nachází v adresáři, kam byl nainstalován Wireshark.

Používané verze při vývoji a testování programu byly:

- ITS plugin pro 64bit Wireshark 2.2.x
- 64bit Wireshark 2.2.9

7.2.1.3 Operační systém





Ve verzi přiložené k této diplomové práci, bude program správně fungovat jen na operačním systému Windows. Toto omezení je dané pouze příkazem pro příkazový řádek systému, pomocí kterého program spouští terminálovou verzí Wiresharku. Tento příkaz je specifikovaný přímo v kódu programu a šel by jednoduše přepsat na jiný příkaz, pro jiný operační systém. Jedná se tedy o jednoduchou úpravu, která však není součástí této práce.

Žádný z předpokladů pro spuštění programu (Python 3, Wireshark, ITS plugin) není jinak limitován pouze na operační systém Windows.

7.2.2 Adresářová struktura

Tato kapitola se bude věnovat adresářové struktuře, ve které vytvořený program pracuje. Stejně jako u předchozí kapitoly, v případě zavedení webového rozhraní se uživatel vyhne přímé práci v adresářové struktuře, ale lokální provozování programu je nutné ji dodržet.

Po rozbalení archivu *priloha_funkcni_vzorek.rar* z přílohy této práce, by měla vzniklá adresářová struktura vypadat jako na Obr. 24.

 captures	28.5.2018 12:38	Složka souborů	
 results	28.5.2018 13:26	Složka souborů	
 root	28.5.2018 13:26	Složka souborů	
 GUI_main.py	28.5.2018 13:01	Python File	221 kB

Obr. 24 - Adresářová struktura programu, zdroj: autor

- soubor **GUI_main.py**: hlavní soubor se skriptem, přes tento soubor se program spouští (resp. spouští se přímo tento soubor)

- složka **captures**: složka, do které je možné ukládat analyzované PCAP soubory s datovými záchyty. Ale není to nutné, datové záchyty mohou být uloženy i kdekoli jinde v počítači. Po prvním rozbalení archivu by tato složka měla být prázdná.
- složka **results**: do této složky se budou ukládat veškeré soubory s výsledky analýz, tedy oba PDF dokumenty a HTML mapa. Po prvním rozbalení archivu by tato složka měla být prázdná.
- složka **root**: tato složka obsahuje soubory nutné pro běh programu. Jsou to:
 - soubor **PATHS.dat**: tento soubor obsahuje cestu ke složce s Wiresharkem, respektive se spustitelným souborem *tshark.exe*. Po prvním rozbalení archivu tato cesta bude nastavena na typickou hodnotu: C:/Program Files/Wireshark. Pokud uživatel nainstaloval Wireshark do jiné složky, program ho při prvním spuštění sám vyzve k nastavení správné cesty a soubor *PATHS.dat* si sám upraví pro příští spouštění.
 - soubor **legenda.bmp**: soubor s obrázkem, který se přidává jako legenda k vytvořenému výslednému souboru s mapou. Obrázek je uložen lokálně na počítači každého uživatele, a i cesta k němu je do souboru s mapou uložena lokálně, tzn. legenda se v mapě správně zobrazí pouze při otevření souboru s mapou na stejném počítači, na kterém byla vytvořena. Toto omezení by se mělo odstranit s připravovaným webovým rozhraním, kdy by už obrázek s legendou byl uložen na serveru a přístup k němu by tedy byl přes internet možný odkudkoliv.
 - soubor **test_output.txt**: textový soubor s testovacím textovým exportem datového záchytu. Tento soubor se používá při spuštění programu v testovacím režimu. Je možné si v něm libovolně upravovat hodnoty jednotlivých parametrů zpráv a testovat, jak na ně program reaguje. Po prvním rozbalení archivu bude k dispozici ukázkový soubor *test_output.txt*, v jedné z verzí, které byly použity k testování programu během vývoje. Tento ukázkový soubor obsahuje CAM i DENM zprávy.
 - soubor **output.txt**: textový soubor, do kterého Wireshark po spuštění analýzy vyexportuje textovou verzi datového záchytu. Po prvním rozbalení archivu tento soubor ve složce *root* nebude, program si ho vytvoří při prvním spuštění.

7.2.3 Struktura vstupů

Systém má čtyři vstupní soubory – nepřímý vstup v podobě datového záchytu ve formátu PCAP, a dva přímé vstupy v podobě textových souborů s datovým záchytem převedeným do textové podoby. Posledním přímým vstupním souborem je textový soubor s cestou ke složce s programem Wireshark.

Dalším typem vstupu, který dosud nebyl blíže zmíněn, je také GUI, kde uživatel může volit možnosti, které se pak promítnou do výsledných výstupních souborů.

7.2.3.1 Datový záchyt pcap

Soubory PCAP jsou výsledkem odchyťování síťové komunikace přes open-source aplikační rozhraní PCAP. Samotné odchyťování síťové komunikace a tvorba těchto souborů není předmětem této práce, pro zde popisovaný program jsou očekávány vstupy v podobě hotových PCAP souborů, obsahujících CAM nebo DENM zprávy. Hlavním zdrojem těchto souborů by mělo být testování v rámci projektu C-ROADS. Z pohledu tvořeného programu stačí zadat cestu k PCAP souboru a program už si sám zavolá terminálovou verzi Wiresharku která vytvoří odpovídající textový export, který dále poslouží jako přímý vstup k analýze.

7.2.3.2 Textové soubory s datovým záchytem

Textové soubory s textovou verzí analyzovaného datového záchyty jsou přímým vstupem pro programem prováděnou analýzu.

Pokud se jedná o výše popsany soubor *output.txt*, ten je vytvořený automaticky na základě převedení datového záchyty z formátu PCAP do textové podoby, pomocí programu Wireshark. Tento soubor je vytvořený automaticky při spuštění analýzy datového záchyty a nevyžaduje žádné zásahy od uživatele.

Textový soubor *test_output.txt* vychází ze struktury automaticky tvořeného exportu v souboru *output.txt*. Tento soubor se používá jen v testovacím režimu programu a je statický, pokud se ho uživatel nerozhodne sám změnit. V takovém případě stačí jen v textu vyhledat a změnit hodnotu konkrétního parametru CAM nebo DENM zprávy.

7.2.3.3 Textový soubor s cestami

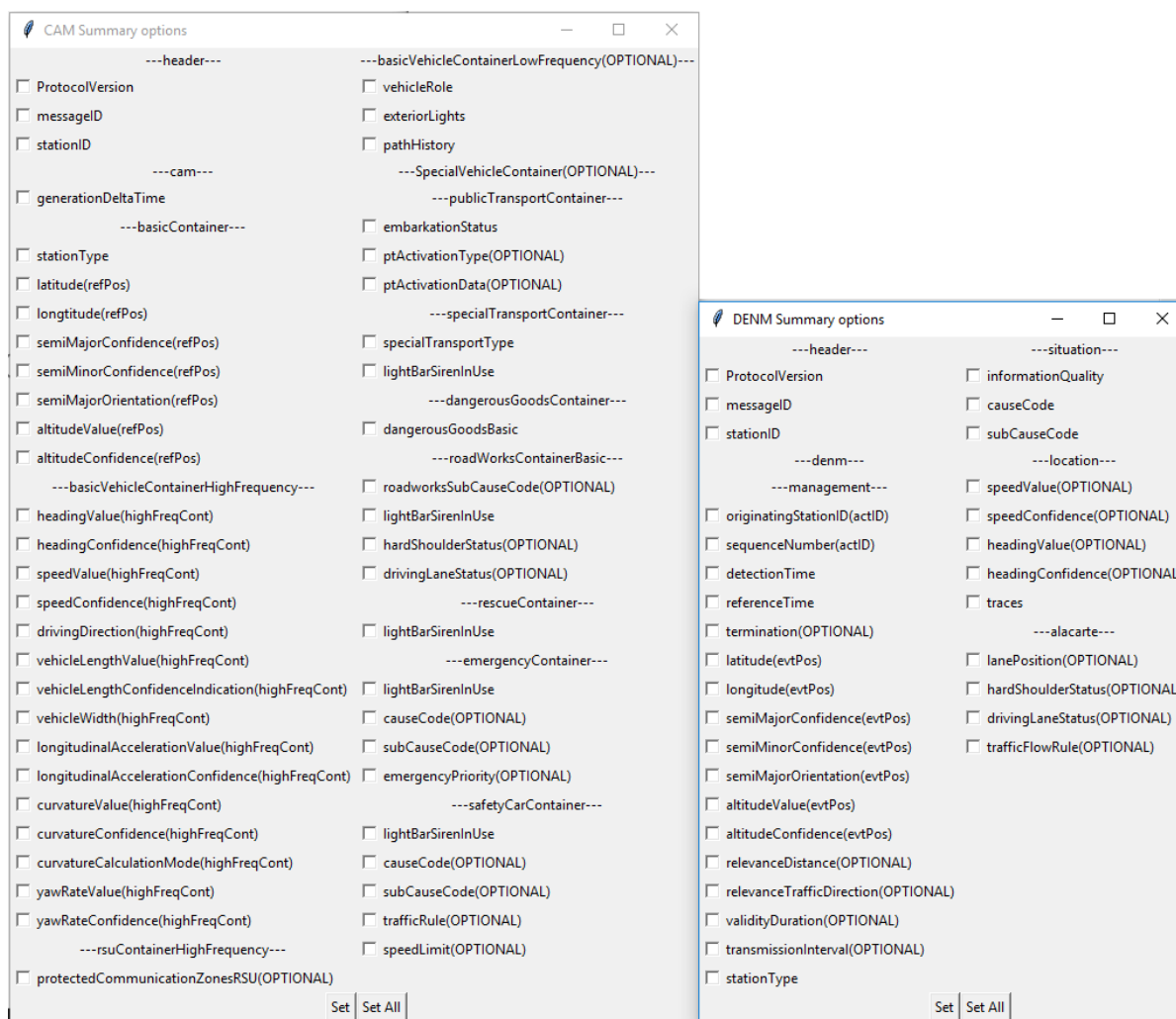
Posledním vstupním souborem programu je textový soubor s uloženou cestou do složky s programem Wireshark. Struktura toho souboru je velmi jednoduchá, obsahuje pouze jeden řádek textu s výše zmíněnou cestou. Tento soubor nevyžaduje přímou úpravu uživatelem, nastavení cesty k Wiresharku proběhne prostřednictvím GUI po spuštění programu.

7.2.3.4 Nastavení přes GUI

Kromě vstupních souborů je možné vstupy programu předávat také přímými uživatelskými volbami přes GUI programu. Konkrétně jde o možnost volby jednotlivých parametrů CAM a DENM zpráv, které se mají zobrazit ve výstupním souboru se shrnutím. Po dokončené analýze se pak v PDF souboru se shrnutím zobrazí shrnující informace jen o těch parametrech, které uživatel předtím přes GUI vybral. Dvě grafická okna, přes které se volba parametrů provádí jsou pro ukázkou na Obr. 25.

Další vstup, který uživatel programu přes GUI předává, je očekávaná hodnota parametru *stationType*. Toto je parametr používaný CAM i DENM zprávami a říká, z jakého typu stanice (např. osobní automobil, autobus, motocykl...) byla zpráva odeslána. Z pohledu specifikace jsou v pořádku všechny možnosti v definovaném rozsahu, ale je pravděpodobné, že při vyhodnocování testovacích datových záchytů, bude známo, z jakého typu stanice byly zprávy v záchytu skutečně odeslány (vyhodnocující pracovník ví, že testování probíhalo např. s nákladním vozidlem údržby, a ne s motocyklem). Na základě této znalosti uživatele je tedy vytvořeno další testovací kritérium pro parametr *stationType*. Pokud hodnota parametru v analyzovaném souboru nesouhlasí s tou, kterou zadal uživatel, povede to k varování ve výsledném vyhodnocení.

Motivací k zavedení takového vstupu byla ztráta určité přidané hodnoty ze znalostí vyhodnocujícího pracovníka o provedeném testování, ke které při automatizovaném vyhodnocování dochází. Při dalším vývoji programu je možné přidat takové vstupy pro více parametrů, ale zatím slouží pro demonstraci této možnosti právě jen parametr *stationType*.



Obr. 25 - GUI pro volbu parametrů výstupního souboru, zdroj: autor

7.2.4 Struktura výstupů

System pro každou provedenou analýzu vytvoří tři výstupní soubory. Dva jsou ve formátu PDF, jeden obsahuje mapu ve formátu HTML. Jejich struktura bude podrobně vysvětlena v této kapitole.

7.2.4.1 PDF soubor s podrobným vyhodnocením

Tento soubor obsahuje podrobné vyhodnocení každé CAM a DENM zprávy, která byla při zpracování datového záchytu analyzována. Vypsány jsou tedy všechny CAM a DENM zprávy, tak jak za sebou šly v datovém záchytu, se všemi jejich analyzovanými parametry. Každý řádek s analyzovaným parametrem je přitom barevně označen, podle výsledku jeho analýzy. Pokud analýza nevyhodnotila hodnotu parametru jako korektní, je navíc připojen komentář, proč se tomu tak stalo. U každého parametru je také vypsána jeho číselná hodnota. Příklad části výstupního souboru s podrobným vyhodnocením je na Obr. 26.

```
CAM[Arrival Time: Aug 18, 2016 11:53:16.830842000]
  header
    protocolVersion(1): currentVersion
    messageID: MANDATORY PARAMETER MISSING!
    stationID(6)
  cam
    generationDeltaTime(-59176): Out of Range
  camParameters
    basicContainer
      stationType: MANDATORY PARAMETER MISSING!
      referencePosition
        latitude(-497806134): S 49.7806134
        longitude(-136840922): W 13.6840922
      positionConfidenceEllipse
        semiMajorConfidence(4095): unavailable
        semiMinorConfidence(4095): unavailable
        semiMajorOrientation(3601): unavailable
      altitude
        altitudeValue(820000): Out of Range
        altitudeConfidence(1): accuracy within 0.02m (alt-000-02)
    highFrequencyContainer
      basicVehicleContainerHighFrequency
        heading
          headingValue(3601): unavailable
          headingConfidence(127): unavailable
        speed
          speedValue(0): 0.00km/h
          speedConfidence(127): unavailable
        driveDirection(0): forward
```

Obr. 26 - Část výstupního souboru s podrobným vyhodnocením, zdroj: autor

Základní možné stavy výsledku analýzy a jejich barevné označení jsou tři:

- **korektní výsledek** – korektní výsledek je označen zelenou barvou a znamená, že hodnota analyzovaného parametru leží v povoleném rozsahu podle specifikace. Pokud se hodnota daného parametru dá nějak interpretovat, je tato interpretace vypsána také. Příkladem korektního výsledku je na Obr. 26 např. parametr *protocolVersion*, s číselnou hodnotou 1, která je v povoleném rozsahu a má význam *currentVersion*, tedy aktuální verze protokolu.
- **výsledek s varováním** – výsledek s varováním je označen žlutou barvou a typicky znamená, že hodnota parametru sice je definovaná ve specifikaci, ale její význam je, že opravdová hodnota daného parametru není k dispozici. Takže nastavená hodnota parametru je sice z pohledu specifikace přípustná, ale neříká nám nic o skutečné hodnotě parametru v dané chvíli. Příkladem takového výsledku s varováním na Obr. 26 je např. parametr *speedConfidence*, u něž je číselná hodnota 127 dle specifikace definovaná s významem *unavailable*, tedy skutečná hodnota parametru je nedostupná.
 - Dalším častým případem, kdy dojde k výsledku s varováním, je situace, kdy ve zprávě není vůbec k dispozici některý volitelný parametr. Taková situace je dle specifikace v pořádku, volitelné parametry nemusí být k dispozici vždy, ale je vhodné o této situaci uživatele formou varování informovat.
 - Speciální je situace u parametru *stationType*, který je mimo pravidel ve specifikaci testován i na základě uživatelského vstupu přes GUI. Pokud uživatelem zadaná očekávaná hodnota tohoto parametru nesouhlasí se skutečnou hodnotou v analyzované zprávě, vede to právě k výsledku s varováním. U parametru *stationType* je to také jediná situace, která končí výsledkem s varováním. V konečném shrnutí je tedy jasné kolik zpráv nesouhlasilo s očekáváním uživatele.
- **chybný výsledek** – chybný výsledek má jako jediný dvě barevná označení, červenou a oranžovou. Typicky se chybné hodnoty parametrů označují oranžovou barvou a nejčastějším důvodem je číselná hodnota ležící mimo definovaný rozsah. Příkladem takového chybného výsledku na Obr. 26 je parametr *altitudeValue*, který má číselnou hodnotu 820000, ale specifikace povoluje jako maximální hodnotu pro tento parametr 800001.
 - Další případ, který vede k chybnému výsledku, je příliš velká nejistota měření. Parametry udávající jistotu měření (označení *confidence*) mají většinou ve specifikaci definovanou hodnotu, jejíž význam je: překročená nejvyšší povolená nejistota měření – měření je neplatné. Taková hodnota je tedy sice pro daný

parametr ve specifikaci definována, ale znamená, že hodnota pocházející z tohoto měření se nedá, kvůli příliš velké nejistotě, použít. Taková hodnota je tedy pak označena jako chybná.

- Červená barva se používá jen v případech, kdy ve zprávě vůbec není k dispozici některý z povinných parametrů. V takovém případě je pak tento parametr ve výstupním souboru označen červeně a je k němu přidána informace o jeho nedostupnosti. Příklad na Obr. 26 je např. parametr *messageID*.
- Přestože chybný výsledek používá dvě barevná označení, do shrnující statistiky se počítají červené i oranžové záznamy, jako chybné výsledky, dohromady.

Černým tučným písmem jsou označeny strukturní prvky zprávy, jako názvy kontejnerů, nebo datových rámců (datové rámce v sobě obsahují více parametrů, samy o sobě nemají číselnou hodnotu, příklad na Obr. 26 je např. datový rámec *speed*, který obsahuje dva parametry – *speedValue* a *speedConfidence*), ty se nedají samostatně vyhodnocovat.

Ke každé zprávě je taky hned na začátku vypsán její typ (CAM nebo DENM) a čas kdy byla zachycena. Tím, že se do tohoto souboru vypisuje každá analyzovaná zpráva, může být tento výstupní soubor i značně dlouhý (stovky až tisíce stran).

Všechny výstupní soubory tohoto typu se ukládají do složky *results* v popsané adresářové struktuře a jejich název se tvoří spojením slova *report* a časového údaje, kdy byl soubor vytvořen, tedy: *reportrrrr-mm-dd;hh-mm-ss.pdf*

7.2.4.2 PDF soubor se shrnutím

Tento soubor obsahuje shrnutí celé analýzy. Je v něm údaj o časovém razítku první a poslední analyzované zprávy, počet celkově analyzovaných zpráv, a také statistiky výsledků analýzy pro parametry, které si uživatel před spuštěním přes GUI programu vybral. Příklad části výstupního souboru se shrnutím je na Obr. 27.

Kromě celkového počtu zpráv, soubor obsahuje také počty zpráv zvlášť pro CAM a DENM. Dále je u každého kontejneru vypsán počet zpráv, ve kterých tento kontejner byl k dispozici. Pro každý vybraný parametr je pak v souboru shrnutí, v kolika analyzovaných zprávách byl tento parametr korektní, v kolika s varováním a v kolika byl chybný. Např. parametr *stationType* byl, podle shrnutí analýzy na obrázku Obr. 27, korektní ve 26 zprávách, v 255 bylo výsledkem varování a ve 2 zprávách měl tento parametr chybnou hodnotu.

Vypsána je statistika pro všechny parametry, které si uživatel přes GUI zvolil. Jedinou výjimkou je situace, kdy si uživatel zvolil parametry z typu zprávy, který v analyzovaném záchytu vůbec nebyl k dispozici. V příkladu na Obr. 27 uživatel zvolil do shrnutí nějaké parametry z DENM

zpráv, ale v analyzovaném záchytu žádná DENM nebyla. V takovém případě se jen vypíše varování, že záchyt žádné DENM zprávy neobsahuje.

Pokud uživatel do shrnutí nezvolí žádné parametry, vypíše se pouze informace o počtu analyzovaných zpráv a časové razítko první a poslední zprávy v datovém záchytu.

Start [Aug 18, 2016 11:53:16.830842000]

End [Aug 18, 2016 12:09:33.115190000]

No. of analysed messages [281]

CAM Summary[281 messages]

header

protocolVersion: OK:[279], Warning:[0], Error:[2]

messageID: OK:[278], Warning:[0], Error:[3]

stationID: OK:[281], Warning:[0], Error:[0]

cam

generationDeltaTime: OK:[279], Warning:[0], Error:[2]

camParameters

basicContainer

stationType: OK:[26], Warning:[255], Error:[2]

referencePosition

latitude: OK:[281], Warning:[0], Error:[0]

longitude: OK:[281], Warning:[0], Error:[0]

positionConfidenceEllipse

semiMajorConfidence: OK:[0], Warning:[280], Error:[1]

semiMinorConfidence: OK:[0], Warning:[280], Error:[1]

semiMajorOrientation: OK:[253], Warning:[28], Error:[0]

altitude

altitudeValue: OK:[279], Warning:[0], Error:[2]

altitudeConfidence: OK:[3], Warning:[277], Error:[1]

highFrequencyContainer

basicVehicleContainerHighFrequency [280 messages with this container]

heading

headingValue: OK:[252], Warning:[28], Error:[0]

headingConfidence: OK:[0], Warning:[280], Error:[0]

DENM Summary[0 messages]

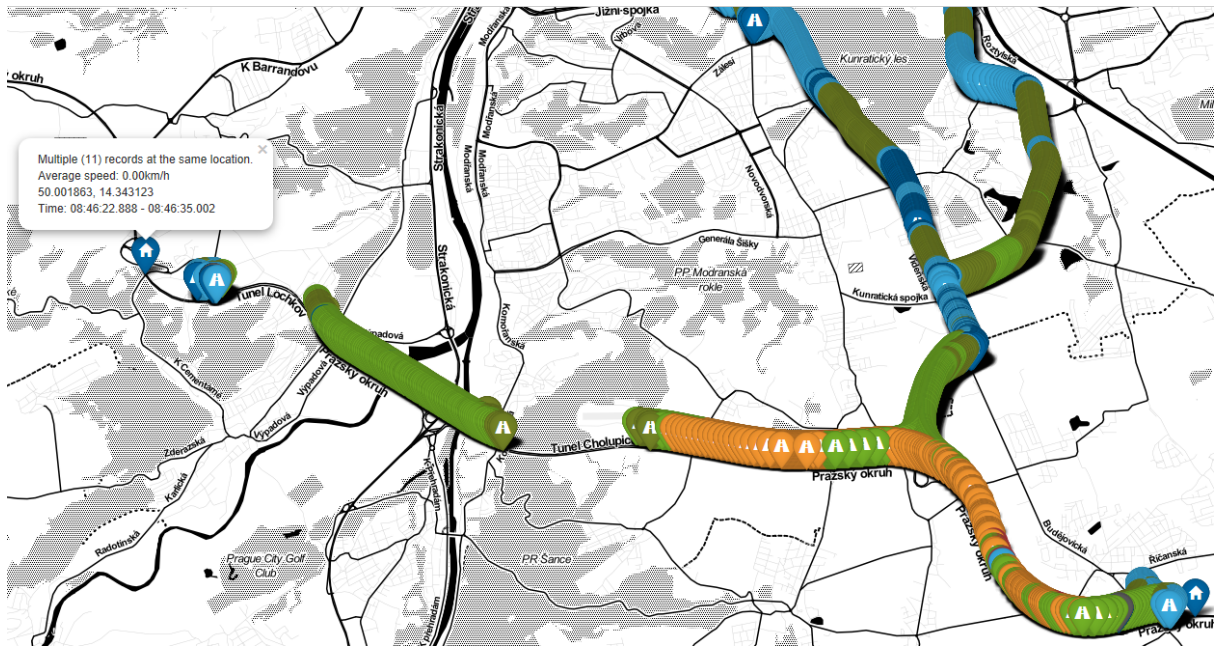
No DENM messages in this capture file!

Obr. 27 - Část výstupního souboru se shrutím vyhodnocení, zdroj: autor

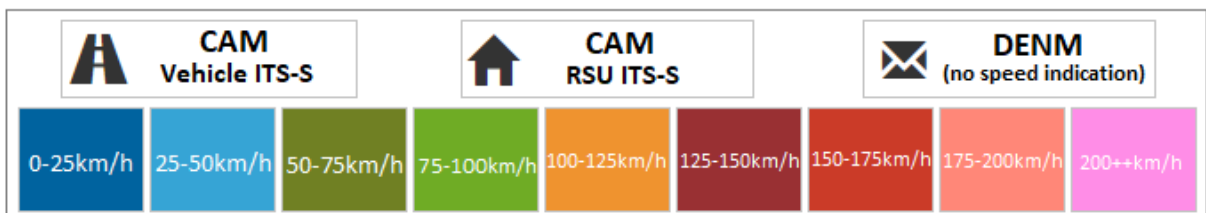
Podle počtu uživatelem zvolených parametrů má tento typ výstupního souboru 1-3 strany. Všechny výstupní soubory tohoto typu se ukládají do složky *results* v popsané adresářové struktuře a jejich název se tvoří spojením slova *summary* a časového údaje, kdy byl soubor vytvořen, tedy: *summaryrrrr-mm-dd;hh-mm-ss.pdf*

7.2.4.3 HTML soubor s mapou

Posledním výstupním souborem je mapa, do které jsou v podobě barevných ikonek vykresleny lokace, kde byly zachyceny analyzované zprávy. Vykreslují se CAM i DENM zprávy z analyzovaného záchytu. Ke každé vykreslené zprávě se dají po kliknutí na její ikonu zobrazit dodatečné informace. V případě CAM zpráv jsou navíc ikony zbarvené podle hodnoty rychlosti obsažené ve zprávě. Příklad, jak může výstupní mapa vypadat je na Obr. 28. Legenda k mapě, která je i součástí každého HTML souboru s mapou, je na Obr. 29.



Obr. 28 - Příklad výstupní mapy, zdroj: autor



Obr. 29 - legenda k výstupní mapě, zdroj: autor

Vykreslují se všechny zprávy, které splňují nutné podmínky. Pro CAM zprávy odeslané ze stanice typu vozidlo, je podmínkou, aby parametry zeměpisné šířky, délky a hodnoty rychlosti prošly analýzou s korektním výsledkem. Pro CAM zprávy odeslané ze stanice typu RSU a pro DENM zprávy stačí korektní výsledek pro zeměpisnou šířku a délku.

Ikony, představující CAM zprávy, na sobě mají vždy buď piktogram silnice (pro stanice typu vozidlo) nebo piktogram domu (pro pevné stanice typu RSU). Ikony CAM zpráv se navíc zbarvují podle hodnoty rychlosti obsažené ve zprávě. Barvy se mění v krocích po 25 km/h a odpovídají legendě uvedené na Obr. 29.

Ikony, představující DENM zprávy, na sobě mají vždy piktogram obálky. Jejich barva na rychlosti nezávisí, protože DENM zprávy, pokud už tento, pro ně nepovinný, parametr obsahují, udávají vždy rychlost šíření události, ne rychlost odesílající stanice. Ikony DENM zpráv jsou tedy vždy šedivé.

Pokud je potřeba vykreslit více zpráv stejného typu na shodnou geografickou pozici, je na této pozici vykreslena pouze jedna společná ikona pro všechny tyto zprávy. Informace o tom, že tato ikona zastupuje několik zpráv najednou, se zobrazí v nově otevřeném informačním okně, po kliknutí na tuto ikonu.

Vyskakovací informační okno se, po kliknutí na ni, zobrazí pro každou vykreslenou ikonu. Toto informační okno zobrazuje dodatečné informace o zprávě, které ikona náleží. Mezi tyto informace patří:

- rychlost – jen pro CAM zprávy (v případě jedné ikony pro více zpráv, průměrná rychlost ze všech těchto zpráv)
- přesné souřadnice polohy
- čas zachycení zprávy (v případě jedné ikony pro více zpráv, čas zachycení první a poslední z nich)

Všechny výstupní soubory tohoto typu se ukládají do složky *results* v popsané adresářové struktuře a jejich název se tvoří spojením slova *Map* a časového údaje, kdy byl soubor vytvořen, tedy: `Maprrrr-mm-dd;hh-mm-ss.html`

7.3 Testování vytvořeného funkčního vzorku systému

Testování vytvořeného funkčního vzorku systému probíhalo po celou dobu vývoje s použitím datových záchytů, získaných v rámci projektu C-ROADS. Většina těchto datových záchytů pocházela z již částečně funkční implementace kooperativních systémů na úseku pražského okruhu.

Vzhledem k povaze projektu a situaci, kdy vývojář i tester je jedna osoba, se nedá stupeň otestování v žádném případě srovnat např. s komerčními projekty. Celou situaci kolem testování také znesnadňoval celkový stav projektu C-ROADS a s ním spojené implementace kooperativních systémů, které jsou zatím relativně v začátcích. Nebylo tak např. možné otestovat kompletně všechny parametry vyhodnocovaných zpráv, protože zatím jednoduše nejsou v datových záchytech všechny k dispozici. Navíc, pokud vznikl požadavek na získání nového datového záchytu pro testování programu, vyžadovalo to, aby někdo z externí firmy zapojené v projektu C-ROADS, fyzicky vyjel na zmíněný úsek pražského okruhu a datový záchyt tam vytvořil.

S přihlédnutím k výše uvedeným omezením je ale možné říci, že program byl v základním rozsahu otestován pro fungování v rámci projektu C-ROADS a výsledky testování vidím pozitivně. Program je schopný vyhodnotit všechny parametry aktuálně přenášené v CAM a DENM zprávách v rámci projektu C-ROADS – detailní seznam všech vyhodnocovaných parametrů je součástí kapitoly 7.5.1.1. Výstupy programu jsou, i po konzultacích s vedoucími této práce, hodnoceny jako přehledné, jasně strukturované a s dobrou informační hodnotou.

Přesto hlavní část testování bude nevyhnutelně probíhat až při ostrém používání programu v rámci projektu. Je to dáno i výzkumnou povahou projektu, kdy je těžké v současné situaci přesně předpovídat všechny požadavky, které, v rámci práce na projektu, na používaný automatizovaný systém vzniknou. Dalším omezením v současné situaci je i fakt, že s podobným automatizovaným systémem zatím chybí zkušenosti. Vytvořený funkční vzorek je tedy opravdu jen první funkční verzí návrhu takového systému a jeho vývoj by se v žádném případě neměl v tomto stavu zastavit.

Za největší omezení vyvinutého systému, které se podařilo při testování odhalit, považuji jeho časovou náročnost na běh analýzy. U většiny testovaných datových záchytů, kdy se analyzovalo několik stovek zpráv, doba běhu programu nepředstavovala problém a celá analýza, včetně vytvoření výstupních souborů, trvala nanejvýš pár sekund. U delšího datového záchytu, kde už bylo analyzováno téměř 4000 zpráv, vzrostla doba potřebná pro běh programu nad 2 minuty – pro zajímavost vytvořené PDF s podrobným vyhodnocením má v tomto případě přes 2600 stránek. Ovšem v mezním otestovaném případě, kde se analyzovalo více než 14500 zpráv, vzrostla doba potřebná pro běh programu nad 50 minut, což má daleko do lineární závislosti. Vytvořené PDF s podrobným vyhodnocením mělo asi 13200 stran a v souboru s mapou bylo tolik vykreslených ikon, že, alespoň na PC použitém pro testování, nebylo možné s mapou pracovat plynule. Navíc textový export datového záchytu z Wiresharku měl v tomto případě téměř 450 MB, což je velikost textového souboru, se kterou nedokáží pracovat ani některé široce používané textové editory (testováno s Notepad++).

Do hlubší analýzy tohoto problému jsem se nepouštěl, protože nemám k dispozici dostatečný počet různě dlouhých datových záchytů, abych mohl závislost délky záchytu na době běhu programu přesně vyjádřit. Navíc, i pokud by se mi podařilo problém exaktně popsat, neměl bych pravděpodobně dostatečné znalosti a schopnosti na to ho odstranit. Možný směr optimalizace vidím v úpravě způsobu, jakým program využívá dostupný výkon počítače, protože během celé doby běhu programu se dá počítač úplně běžně používat a Python využívá méně než 20 % dostupného výkonu procesoru (na testovaném PC). Je ale také možné, že při takto vysokém počtu zpráv už program naráží na hranice svého konceptu a pro odstranění problému by byl potřeba větší zásah, např. odstranit práci s textem a nahradit ji přímým

dekódováním CAM a DENM zpráv. V rámci této práce zůstává tato otázka bohužel nezodpovězená a nechává prostor pro další vývoj a optimalizaci vytvořeného programu.

Jak velké omezení bude časová náročnost na běh programu představovat pro použití v rámci projektu C-ROADS, ukáže až nasazení v praxi. Bude to záležet především na tom, jak často vznikne potřeba analyzovat takto dlouhé datové záchyty, jestli bude případně možnost nechat analýzu běžet např. přes noc (v případě ještě větších počtů zpráv) atd. Na základě konzultací s vedoucími této práce, zatím nepředpokládám, že by tento problém měl použití programu, v rámci projektu C-ROADS, nějak výrazně omezit, nebo dokonce znemožnit.

7.4 Uživatelský návod k vytvořenému funkčnímu vzorku systému

V této kapitole bude uveden stručný uživatelský návod k vytvořenému funkčnímu vzorku automatizovaného systému. Návod se bude soustředit přímo na ovládání systému přes jeho integrované GUI. Nebude opakovat popis struktury vstupů a výstupů programu, ani nebude znovu popisovat předpoklady nutné k prvnímu spuštění programu – tyto body byly popsány v předchozích kapitolách této práce.

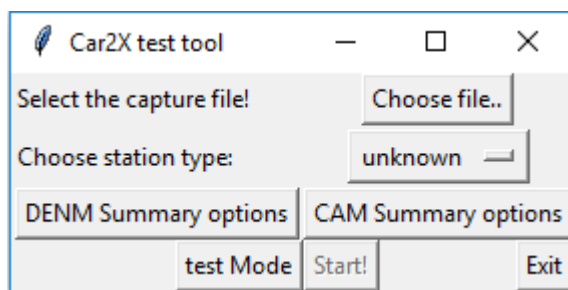
Pokud se naplní plán na integraci zde popisovaného systému do připravovaného webového rozhraní, zůstane tento návod platný pouze pro interní potřebu, stejně jako integrované GUI systému.

7.4.1 Spuštění systému

Tato kapitola předpokládá splnění všech předpokladů ke spuštění systému, které jsou popsány v kapitole 7.2.1.

Spuštění systému provedeme otevřením souboru *GUI_main.py* v kořenovém adresáři systému. To je možné provést buď dvojklikem na ikonu tohoto souboru, nebo kliknutím pravým tlačítkem myši a vybráním možnosti „Otevřít“.

Po spuštění se objeví domovské okno ovládání systému (Obr. 30).



Obr. 30 - Domovské okno GUI systému, zdroj: autor

7.4.2 Výběr parametrů do shrnutí analýzy

Parametry, které se mají zobrazit ve výstupním souboru se shrnutím analýzy, je před spuštěním samotné analýzy třeba nastavit. Tyto parametry se nastavují zvlášť pro CAM a DENM zprávy. Ve výchozím stavu nejsou vybrány žádné parametry.

K nastavení parametrů pro CAM zprávy se přistupuje přes tlačítko „CAM Summary options“ na domovském okně systému.

K nastavení parametrů pro DENM zprávy se přistupuje přes tlačítko „DENM Summary options“ na domovském okně systému.

Po kliknutí na příslušné tlačítko se zobrazí vyskakovací okno pro nastavení parametrů. Příklad okna pro nastavení parametrů shrnutí DENM zprávy je na Obr. 31.



Obr. 31 - Okno nastavení parametrů pro shrnutí analýzy DENM zpráv, zdroj: autor

Ve vyskakovacím okně je nutné zaškrtnat požadované parametry a potvrdit tlačítkem „Set“. Alternativně je možné kliknout na tlačítko „Set All“, které vybere všechny dostupné parametry

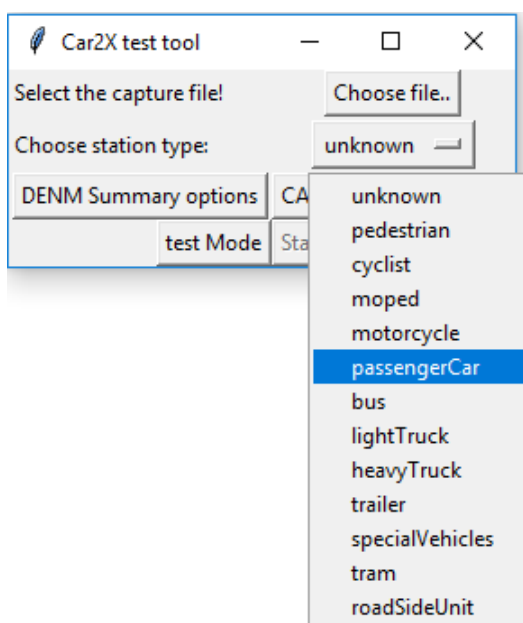
v příslušném okně a rovnou výběr potvrdí. Po potvrzení výběru je možné vyskakovací okno zavřít (ale není to nutné).

7.4.3 Nastavení očekávané hodnoty pro parametr stationType

Pro parametr stationType je možné před spuštěním analýzy nastavit očekávanou hodnotu. Ve výchozím stavu je nastavená hodnota „unknown“.

Nastavení očekávané hodnoty se provádí přes rozbalovací seznam za textem „Choose station type:“ na domovském okně systému.

Seznam se rozbalí po kliknutí myší, stejným způsobem se vybere i požadovaná hodnota ze seznamu (Obr. 32).



Obr. 32 - Volba očekávané hodnoty pro parametr stationType, zdroj: autor

7.4.4 Spuštění analýzy datového záchytu ve formátu PCAP

Před spuštěním analýzy je vhodné nejprve projít kroky popsané v kapitolách 7.4.2 a 7.4.3.

Dalším krokem je výběr PCAP souboru s datovým záchytem. K výběru souboru se přistoupí stiskem tlačítka „Choose file..“ na domovském okně systému.

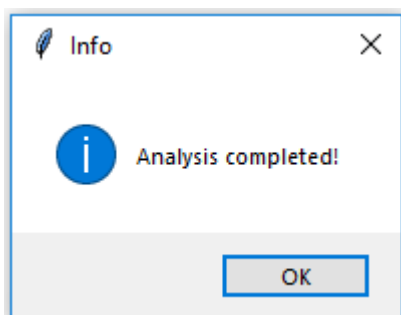
Po stisku tlačítka se zobrazí standardní dialogové okno pro výběr souboru, vybrat jdou pouze soubory typu PCAP. Výběr souboru se případně dá změnit opakovaným stiskem tlačítka „Choose file..“.

Potvrzením výběru souboru s datovým záchytem se stane aktivním tlačítko „Start!“ na domovském okně systému.

Analýza se následně spustí kliknutím na tlačítko „Start!“ na domovském okně systému.

Po spuštění analýzy bude program nějakou dobu pracovat (doba závisí na velikosti analyzovaného záchytu). Po tuto nutnou dobu není možné se systémem nijak dál pracovat.

O dokončení analýzy systém informuje zvukovým znamením a vyskakovacím oknem se zprávou „Analysis completed!“ (Obr. 33).



Obr. 33 - Oznámení o dokončené analýze, zdroj: autor

Po stisknutí tlačítka OK, na vyskakovacím okně s oznámením o dokončené analýze, budou automaticky otevřeny všechny tři výstupní soubory – dva PDF dokumenty a jedna HTML mapa (mapa pouze za předpokladu, že byla vytvořena, tzn. záchyt obsahoval alespoň jednu zprávu s platnými daty pro vykreslení do mapy).

Všechny výstupní soubory jsou ukládány do složky *results*, dostupné z kořenového adresáře systému. Struktura těchto výstupních souborů je popsána v kapitole 7.2.4.

7.4.5 Spuštění analýzy v testovacím režimu

Před spuštěním analýzy je vhodné nejprve projít kroky popsané v kapitolách 7.4.2 a 7.4.3.

Dalším krokem pro spuštění analýzy v testovacím režimu je kliknutí na tlačítko „test Mode“.

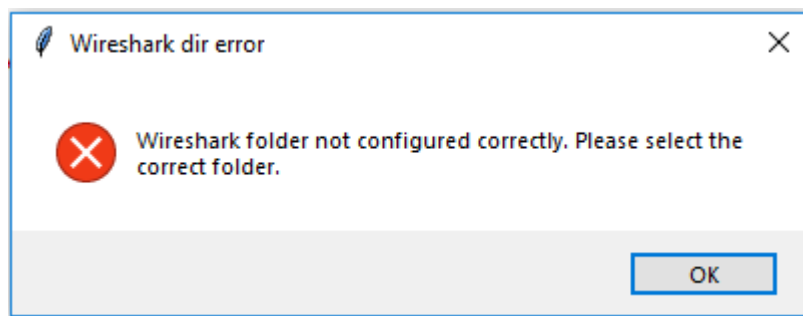
Tlačítko „test Mode“ je aktivní pouze, pokud předtím nebyl vybrán soubor s datovým záchytem přes tlačítko „Choose file..“. Pokud je tlačítko „test Mode“ neaktivní, je pro jeho opětovnou aktivaci nutné restartovat celý program.

O dokončení analýzy systém informuje stejným způsobem, jaký je popsán v kapitole 7.4.4. Další informace o testovacím režimu jsou v kapitole 7.1.1.

7.4.6 Nastavení cesty k programu Wireshark

Při spuštění analýzy podle kapitoly 7.4.4, může systém v některých případech vyzvat k zadání cesty ke složce, ve které je nainstalovaný program Wireshark. Nejčastěji k tomu dojde při úplně prvním spuštění systému.

Pokud k této situaci dojde, systém vyzve k zadání cesty pomocí vyskakovacího okna na Obr. 34.



Obr. 34 - Výzva k zadání cesty k programu Wireshark, zdroj: autor

Po kliknutí na tlačítko „OK“ na vyskakovacím okně, se zobrazí standardní dialogové okno, pro výběr složky. Je nutné vybrat správnou složku, ve které je nainstalovaný program Wireshark.

Po vybrání správné složky bude analýza automaticky pokračovat. Cesta k programu Wireshark bude uložena pro další spuštění systému.

Další informace o programu Wireshark jsou v kapitole 7.2.1.2.

7.4.7 Ukončení běhu systému

Běžící systém lze kdykoliv, pokud zrovna neprobíhá analýza, ukončit kliknutím na tlačítko „Exit“ na domovském okně systému.

7.5 Celkové shrnutí praktické části

Cílem praktické části této diplomové práce bylo navrhnout a vytvořit funkční vzorek automatizovaného systému pro ověřování kvality komunikačního kanálu kooperativních systémů. Jako způsob ověření kvality byla v rámci této práce zvolena analýza CAM a DENM zpráv, zachycených z komunikace v rámci reálné implementace kooperativních systémů. Hlavní motivací pro vytvoření takového systému byla účast Fakulty dopravní na projektu C-ROADS, v rámci kterého, se očekává častá potřeba tvorby výše popsaných analýz.

Na začátku této kapitoly byl představen původní návrh architektury vyvíjeného systému, který počítal s přímým zpracováním souborů typu PCAP a předáním parametrů pro vyhodnocení pomocí konfiguračního souboru. Oba tyto předpoklady se v průběhu vývoje systému změnily, kdy přímé zpracování souborů PCAP se ukázalo, kvůli použitému kódování pro obsah zpráv CAM a DENM, jako příliš složité. Použití konfiguračního souboru se naopak díky struktuře vyvíjeného systému ukázalo jako nepotřebné, systém sám o sobě se svou strukturou kódu konfigurační soubor téměř plnohodnotně nahrazuje. Jako další vstup do návrhu systému se pak objevuje plánované webové rozhraní pro celý systém, které v současnosti vzniká v rámci jiné závěrečné práce na Fakultě dopravní.

Zpracováním výše uvedených bodů tedy následně vzniká finální návrh architektury systému. Finální návrh už počítá s nepřímým zpracováním PCAP souborů, které jsou vždy napřed převedeny do textové formy za použití externího programu Wireshark. Tato konverze typů souboru probíhá v rámci běhu systému plně automaticky. Koncept konfiguračního souboru byl zrušen jako nepotřebný a jako budoucí plánované rozšíření bylo do návrhu architektury systému přidáno webové rozhraní. Výstupem systému jsou v návrhu dva strukturované soubory ve formátu PDF, které obsahují detailní výsledky provedené analýzy. Třetím výstupním souborem je mapa ve formátu HTML, do které se ve formě bodů vykreslí analyzované zprávy.

Podle finálního návrhu architektury byl vytvořen funkční vzorek automatizovaného systému, v podobě programu napsaného v programovacím jazyce Python. Tento funkční vzorek je přiložen k této práci jako příloha s názvem *priloha_funkcni_vzorek.rar*.

Vytvořený funkční vzorek systému pak byl v této kapitole podrobně popsán, včetně nutných předpokladů k jeho spuštění, použité adresářové struktury, i struktury jeho vstupů a výstupů. Dále bylo popsáno testování vytvořeného systému na základě datových záchytů získaných z reálné implementace kooperativních systémů v rámci projektu C-ROADS. Na závěr kapitoly byl přiložen i stručný uživatelský návod na ovládání vytvořeného funkčního vzorku systému, přes jeho integrované GUI.

7.5.1 Funkce vytvořeného funkčního vzorku systému

Vytvořený funkční vzorek systému dokáže, s použitím externího programu Wireshark, analyzovat CAM a DENM zprávy obsažené v datových záchytech formátu PCAP.

Systém analyzuje jednotlivé parametry posílané v těchto zprávách a porovnává je s platnou specifikací. Na základě provedené analýzy systém vytvoří tři výstupní soubory – soubor typu PDF s podrobnou analýzou jednotlivých zpráv, další soubor typu PDF se shrnutím a statistikou provedené analýzy celého datového záchytu, a soubor typu HTML s mapou, do které jsou ve formě ikon vykresleny analyzované zprávy, včetně několika dodatečných informací.

Systém pro analýzu a její vyhodnocení přijímá přes své integrované GUI vstupy od uživatele.

Systém je připravený integrovat jiný způsob naplnění číselných proměnných hodnotami vyhodnocovaných parametrů. Původně plánované přímé zpracování PCAP souborů je tedy stále možné, pokud se podaří vyřešit problém s dekodováním CAM a DENM zpráv.

Systém podporuje testovací režim, ve kterém je možné vyzkoušet jeho reakce na hodnoty parametrů, které nejsou k dispozici v reálných datových záchytech.

7.5.1.1 Seznam vyhodnocovaných parametrů CAM a DENM zpráv

Systém vyhodnocuje 100 % povinných parametrů CAM a DENM zpráv.

Systém vyhodnocuje 100 % parametrů CAM a DENM zpráv, které jsou aktuálně použité v implementaci kooperativních systémů v rámci projektu C-ROADS.

Ve verzi systému, přiložené k této diplomové práci, jsou parametry zpráv vyhodnoceny podle těchto verzí specifikace:

- **CAM:** ETSI EN 302 637-2 V1.3.2
- **DENM:** ETSI EN 302 637-3 V1.2.2

Následuje přesný seznam parametrů CAM i DENM zpráv, které systém vyhodnocuje. Zelenou barvou jsou označeny parametry, které systém vyhodnocuje plně podle definice ve specifikaci. Žlutou barvou jsou označeny parametry, u kterých systém vyhodnocuje pouze jestli jsou ve zprávě k dispozici, ale jejich hodnotu pak dále se specifikací neověřuje. Červenou barvou jsou označeny parametry, které systém vůbec nevyhodnocuje. Neoznačené jsou parametry, které jsou buď kontejnery, nebo jiné datové struktury, které obsahují další parametry v sobě – označení tedy probíhá na nejnižší možné úrovni.

7.5.1.1.1 Seznam vyhodnocovaných parametrů CAM zpráv

Seznam vyhodnocovaných parametrů CAM zpráv je uveden na Obr. 35.

```
CAM ::= SEQUENCE {
    header ItsPduHeader,
    cam CoopAwareness
}

CoopAwareness ::= SEQUENCE {
    generationDeltaTime GenerationDeltaTime,
    camParameters CamParameters
}

CamParameters ::= SEQUENCE {
    basicContainer BasicContainer,
    highFrequencyContainer HighFrequencyContainer,
    lowFrequencyContainer LowFrequencyContainer OPTIONAL,
    specialVehicleContainer SpecialVehicleContainer OPTIONAL,
    ...
}

HighFrequencyContainer ::= CHOICE {
    basicVehicleContainerHighFrequency BasicVehicleContainerHighFrequency,
    rsuContainerHighFrequency RSUContainerHighFrequency,
    ...
}

LowFrequencyContainer ::= CHOICE {
    basicVehicleContainerLowFrequency BasicVehicleContainerLowFrequency,
    ...
}

SpecialVehicleContainer ::= CHOICE {
    publicTransportContainer PublicTransportContainer,
    specialTransportContainer SpecialTransportContainer,
    dangerousGoodsContainer DangerousGoodsContainer,
    roadWorksContainerBasic RoadWorksContainerBasic,
    rescueContainer RescueContainer,
    emergencyContainer EmergencyContainer,
    safetyCarContainer SafetyCarContainer,
    ...
}

BasicContainer ::= SEQUENCE {
    stationType StationType,
    referencePosition ReferencePosition,
    ...
}

BasicVehicleContainerHighFrequency ::= SEQUENCE {
    heading Heading,
    speed Speed,
    driveDirection DriveDirection,
    vehicleLength VehicleLength,
    vehicleWidth VehicleWidth,
    longitudinalAcceleration LongitudinalAcceleration,
    curvature Curvature,
    curvatureCalculationMode CurvatureCalculationMode,
    yawRate YawRate,
    accelerationControl AccelerationControl OPTIONAL,
    lanePosition LanePosition OPTIONAL,
    steeringWheelAngle SteeringWheelAngle OPTIONAL,
    lateralAcceleration LateralAcceleration OPTIONAL,
    verticalAcceleration VerticalAcceleration OPTIONAL,
    performanceClass PerformanceClass OPTIONAL,
    cenDsrtcTollingZone CenDsrtcTollingZone OPTIONAL
}
```

```

BasicVehicleContainerLowFrequency ::= SEQUENCE {
    vehicleRole VehicleRole,
    exteriorLights ExteriorLights,
    pathHistory PathHistory
}

PublicTransportContainer ::= SEQUENCE {
    embarkationStatus EmbarkationStatus,
    ptActivation PtActivation OPTIONAL
}

SpecialTransportContainer ::= SEQUENCE {
    specialTransportType SpecialTransportType,
    lightBarSirenInUse LightBarSirenInUse
}

DangerousGoodsContainer ::= SEQUENCE {
    dangerousGoodsBasic DangerousGoodsBasic
}

RoadworksContainerBasic ::= SEQUENCE {
    roadworksSubCauseCode RoadworksSubCauseCode OPTIONAL,
    lightBarSirenInUse LightBarSirenInUse,
    closedLanes ClosedLanes OPTIONAL
}

RescueContainer ::= SEQUENCE {
    lightBarSirenInUse LightBarSirenInUse
}

EmergencyContainer ::= SEQUENCE {
    lightBarSirenInUse LightBarSirenInUse,
    incidentIndication CauseCode OPTIONAL,
    emergencyPriority EmergencyPriority OPTIONAL
}

SafetyCarContainer ::= SEQUENCE {
    lightBarSirenInUse LightBarSirenInUse,
    incidentIndication CauseCode OPTIONAL,
    trafficRule TrafficRule OPTIONAL,
    speedLimit SpeedLimit OPTIONAL
}

RSUContainerHighFrequency ::= SEQUENCE {
    protectedCommunicationZonesRSU ProtectedCommunicationZonesRSU OPTIONAL,
    ...
}

GenerationDeltaTime ::= INTEGER { oneMilliSec(1) } (0..65535)

END

```

Obr. 35 - Seznam vyhodnocovaných parametrů CAM zpráv [27]

7.5.1.1.2 Seznam vyhodnocovaných parametrů DENM zpráv

Seznam vyhodnocovaných parametrů DENM zpráv je uveden na Obr. 36.

```
DENM ::= SEQUENCE {
    header ItsPduHeader,
    denm DecentralizedEnvironmentalNotificationMessage
}

DecentralizedEnvironmentalNotificationMessage ::= SEQUENCE {
    management ManagementContainer,
    situation SituationContainer OPTIONAL,
    location LocationContainer OPTIONAL,
    alacarte AlacarteContainer OPTIONAL
}

ManagementContainer ::= SEQUENCE {
    actionID ActionID,
    detectionTime TimestampIts,
    referenceTime TimestampIts,
    termination Termination OPTIONAL,
    eventPosition ReferencePosition,
    relevanceDistance RelevanceDistance OPTIONAL,
    relevanceTrafficDirection RelevanceTrafficDirection OPTIONAL,
    validityDuration ValidityDuration DEFAULT defaultValidity,
    transmissionInterval TransmissionInterval OPTIONAL,
    stationType StationType,
    ...
}

SituationContainer ::= SEQUENCE {
    informationQuality InformationQuality,
    eventType CauseCode,
    linkedCause CauseCode OPTIONAL,
    eventHistory EventHistory OPTIONAL,
    ...
}

LocationContainer ::= SEQUENCE {
    eventSpeed Speed OPTIONAL,
    eventPositionHeading Heading OPTIONAL,
    traces Traces,
    roadType RoadType OPTIONAL,
    ...
}

ImpactReductionContainer ::= SEQUENCE {
    heightLonCarrLeft HeightLonCarr,
    heightLonCarrRight HeightLonCarr,
    posLonCarrLeft PosLonCarr,
    posLonCarrRight PosLonCarr,
    positionOfPillars PositionOfPillars,
    posCentMass PosCentMass,
    wheelBaseVehicle WheelBaseVehicle,
    turningRadius TurningRadius,
    posFrontAx PosFrontAx,
    positionOfOccupants PositionOfOccupants,
    vehicleMass VehicleMass,
    requestResponseIndication RequestResponseIndication
}
```

```

RoadWorksContainerExtended ::= SEQUENCE {
    lightBarSirenInUse LightBarSirenInUse OPTIONAL,
    closedLanes ClosedLanes OPTIONAL,
    restriction RestrictedTypes OPTIONAL,
    speedLimit SpeedLimit OPTIONAL,
    incidentIndication CauseCode OPTIONAL,
    recommendedPath ItineraryPath OPTIONAL,
    startingPointSpeedLimit DeltaReferencePosition OPTIONAL,
    trafficFlowRule TrafficRule OPTIONAL,
    referenceDenms ReferenceDenms OPTIONAL
}

StationaryVehicleContainer ::= SEQUENCE {
    stationarySince StationarySince OPTIONAL,
    stationaryCause CauseCode OPTIONAL,
    carryingDangerousGoods DangerousGoodsExtended OPTIONAL,
    numberOfOccupants NumberOfOccupants OPTIONAL,
    vehicleIdentification VehicleIdentification OPTIONAL,
    energyStorageType EnergyStorageType OPTIONAL
}

AlacarteContainer ::= SEQUENCE {
    lanePosition LanePosition OPTIONAL,
    impactReduction ImpactReductionContainer OPTIONAL,
    externalTemperature Temperature OPTIONAL,
    roadWorks RoadWorksContainerExtended OPTIONAL,
    positioningSolution PositioningSolutionType OPTIONAL,
    stationaryVehicle StationaryVehicleContainer OPTIONAL,
    ...
}

defaultValidity INTEGER ::= 600

Termination ::= ENUMERATED {isCancellation(0), isNegation(1)}

ReferenceDenms ::= SEQUENCE (SIZE(1..8, ...)) OF ActionID

END

```

Obr. 36 -Seznam vyhodnocovaných parametrů DENM zpráv [28]

7.5.2 Nedostatky vytvořeného funkčního vzorku systému

Za největší nedostatek systému byl už v kapitole 7.3 označen čas potřebný na běh analýzy a jeho závislost na délce analyzovaného záchytu, resp. na počtu analyzovaných zpráv. Mezní případ, který byl otestován, je datový záchyt obsahující více než 14500 zpráv, a v tomto mezním případě přesáhl čas, potřebný pro dokončení analýzy, 50 minut. Čas potřebný pro dokončení analýzy rapidně klesá se snižujícím se počtem analyzovaných zpráv, kde pro analýzu 4000 zpráv už je potřeba jen něco přes dvě minuty. Závažnost tohoto omezení pro použití systému v projektu C-ROADS se ukáže až při nasazení do praxe a bude záviset zejména na délce datových záchytů, které se budou v rámci projektu analyzovat.

7.5.3 Možnosti rozšíření a dalšího vývoje

Nejbližší plánované rozšíření systému je jeho integrace do webového rozhraní, které již v současné době vzniká v rámci jiné závěrečné práce na Fakultě dopravní.

Další logickou možností rozšíření je přidávání nových parametrů pro vyhodnocení, protože systém v současné verzi nepokrývá 100 % všech volitelných parametrů. Další parametry by

bylo třeba přidat zejména pro DENM zprávy, a to nejlépe v pořadí, v jakém budou přidávány do implementace kooperativních systémů v rámci projektu C-ROADS. Případně se také nabízí možnost přidat podporu i pro více typů zpráv mimo základní CAM a DENM (např. IVIM).

Později by bylo možné do systému přidat i více uživatelských vstupů, pokud by se to při reálném používání ukázalo jako přínosný koncept.

Další možností rozšíření by mohlo být přidání více kritérií hodnocení datového zachytu, než je jen kontrola parametrů posílaných zpráv. Např. by se mohla hodnotit i frekvence vysílání zpráv atd.

Jak je tedy vidět, možností pro další rozšíření systému je celá řada, ale důležité je zejména, aby požadavky na ně vycházely ze zkušeností s jeho reálným provozováním. Právě z tohoto pohledu, bude nasazení systému v rámci projektu C-ROADS, pro jeho další rozvoj velkým přínosem.

8 Závěr

Teoretická část této práce začíná úvodem do problematiky kooperativních systémů, kde je stručně vysvětleno, jak kooperativní systémy fungují a jaké jsou jejich možné aplikace. V následující části práce jsou představeny některé vybrané realizované implementace kooperativních systémů, které probíhaly v rámci pilotních testů na území EU. Kromě již dokončených projektů, je krátce představený i právě probíhající projekt C-ROADS, který je úzce spojený s výstupem této práce.

Další část práce se věnuje platným legislativním dokumentům na poli C-ITS v rámci EU, se zaměřením na normy spojené s ověřováním kooperativních systémů.

Práce také obsahuje porovnání dvou telekomunikačních technologií vhodných pro použití v C-ITS, a sice technologií DSRC 5,9 GHz a LTE-A. Závěr, který vychází z tohoto porovnání je, že nejvhodnější pro použití v kooperativních systémech je vzájemná kombinace těchto dvou technologií. S dalším vývojem technologie LTE je navíc možné, že postupem času přebere od DSRC roli dominantní technologie na poli C-ITS.

V poslední kapitole své teoretické části práce přináší přehled všech druhů zpráv používaných pro komunikaci v kooperativních systémech. Nejdůležitější z nich jsou pro tuto práci typy zpráv CAM a DENM, kterým je také věnován větší prostor. Právě tyto typy zpráv totiž mají být analyzovány automatizovaným systémem, jehož návrhem a tvorbou se zabývá praktická část této práce.

Praktická část práce je uvedena představením původního návrhu architektury zamýšleného automatizovaného systému. Tento původní návrh byl ale v průběhu vývoje upraven, z důvodů, které jsou v práci podrobně vysvětleny, a těmito úpravami vznikl finální návrh architektury, podle které byl vytvořen skutečný funkční vzorek systému. Tento funkční vzorek je detailně popsán v dalších kapitolách praktické části této práce, včetně struktury jeho vstupů a výstupů, i uživatelského návodu.

Hlavním výstupem této práce je tedy otestovaný, funkční vzorek automatizovaného systému ověřování kvality kooperativních systémů. Tento funkční vzorek dokáže analyzovat 100 % z povinných parametrů CAM i DENM zpráv a nad to i všechny parametry těchto zpráv, které jsou aktuálně používány v implementaci kooperativních systémů v rámci projektu C-ROADS, pro který je tento systém primárně určený. Výstupy tohoto vytvořeného systému tvoří tři jasně strukturované soubory, které dávají uživateli celkový přehled o výsledcích provedené automatizované analýzy.

Vývoj tohoto automatizovaného systému odevzdáním této práce nekončí. Systém by měl být používán v praxi v rámci projektu C-ROADS a už v této práci je uvedeno několik návrhů na jeho rozšíření. Jedním z těchto rozšíření je integrace vytvořeného systému do webového rozhraní, které za tímto účelem vzniká v rámci jiné závěrečné práce na Fakultě dopravní. Dalšími návrhy na rozšíření jsou např. podpora více typů analyzovaných zpráv, nebo hodnocení kooperativních systémů i podle dalších dodatečných kritérií.

Jako autor této práce doufám, že budu moci na vývoji automatizovaného systému ověřování kvality kooperativních systémů i nadále pokračovat, ať už v rámci projektu C-ROADS nebo jiného. Byla to pro mě první možnost seznámit se s vývojem takto rozsáhlé aplikace a odnesl jsem si mnoho cenných zkušeností. Věřím, že systém je v podobě prezentované v této práci už velmi dobře připraven pro zavedení do praxe ověřování C-ITS přes parametry vysílaných zpráv a do budoucna se rád budu podílet na jeho dalším rozvoji tak, aby se mohl stát všestranným nástrojem pro ověřování všech případných implementací kooperativních systémů.

9 Reference

- [1] DONOSO, Yezid a PARRADO, Natalia. *Congestion Based Mechanism for Route Discovery in a V2I-V2V System Applying Smart Devices and IoT*. Basel, Switzerland : Sensors, 2015. ISSN 1424-8220.
- [2] BĚLINOVÁ, Zuzana. *Telematické soustavy: Kooperativní systémy: Přednášky na fakultě dopravní*. Praha : ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, 2011.
- [3] LOKAJ, Zdeněk. Návrh a úprava kooperativních systémů na základě vlivu systémových parametrů na jejich fungování. *Habilitační práce*. Praha : ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, 2014.
- [4] Safe Intelligent Mobility Test Field Germany. *TRIMIS*. [Online] [Citace: 25. 03 2018.] <https://trimis.ec.europa.eu/project/safe-intelligent-mobility-test-field-germany#tab-outline>.
- [5] GLÄSER, Stefan. simTD TP5-Abschlussbericht – Teil A. *Transport Research and Innovation Monitoring and Information System*. [Online] 30. 06 2013. [Citace: 25. 03 2018.] <https://trimis.ec.europa.eu/project/safe-intelligent-mobility-test-field-germany#tab-docs>.
- [6] AS+P. SimTD Safe and Intelligent Mobility - Test Field Germany. *AS+P/Projects*. [Online] 2013. [Citace: 25. 03 2018.] <http://www.as-p.com/projects/project/simtd-sichere-intelligente-mobilitaet-testfeld-deu-94/show/>.
- [7] NordicWay. *TRIMIS*. [Online] 2015. [Citace: 26. 03 2018.] <https://trimis.ec.europa.eu/project/nordicway#tab-outline>.
- [8] BJERKAN, Kristin Ystmark. NordicWay Evaluation Outcome Report. *Vejdirektoratet*. [Online] 19. 12 2017. [Citace: 26. 03 2018.] [http://vejdirektoratet.dk/EN/roadsector/Nordicway/Documents/NordicWay%20Evaluation%20Outcome%20Report%20M_13%20\(secured\).pdf](http://vejdirektoratet.dk/EN/roadsector/Nordicway/Documents/NordicWay%20Evaluation%20Outcome%20Report%20M_13%20(secured).pdf).
- [9] MELAND, Solveig. Final project report. *Cimec*. [Online] 31. 05 2017. [Citace: 29. 03 2018.] <http://cimec-project.eu/wp-content/uploads/2017/06/CIMEC-D5.3-Final-project-report.pdf>.
- [10] DRIVE C2X. *FOT-Net WIKI*. [Online] 17. 05 2016. [Citace: 29. 03 2018.] http://wiki.fot-net.eu/index.php/DRIVE_C2X.
- [11] COMPASS4D. *ERTICO ITS EUROPE*. [Online] 2013. [Citace: 29. 03 2018.] <http://ertico.com/projects/compass4d/>.

- [12] Compass4D Project overview. *CORDIS*. [Online] 2013. [Citace: 29. 03 2018.] <https://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/9/325179/080/deliverables/001-D51Standardpresentation.pdf>.
- [13] Reference Projects. *intens*. [Online] [Citace: 31. 03 2018.] <http://www.intens.cz/en/rad.html>.
- [14] NESLÁDEK, Václav. Inteligentní dopravní systémy v akci - Pilotní testování projektu BaSIC. *Český kosmický portál*. [Online] 14. 11 2013. [Citace: 31. 03 2018.] www.czechspaceportal.cz/4-sekce/veda-a-vyzkum/vybrane-aktuality-a-clanky-3/inteligentni-dopravni-systemy-v-akci---pilotni-testovani-projektu-basic.html.
- [15] DVOŘÁK, František. Auta si o koloně poví tichou poštou, testují ji na obchvatu Prahy. *auto.iDnes.cz*. [Online] 13. 11 2013. [Citace: 31. 03 2018.] https://auto.idnes.cz/auta-komunikace-0ix-/automoto.aspx?c=A131112_170430_automoto_fdv.
- [16] C-Roads. *C-Roads*. [Online] 2018. [Citace: 31. 03 2018.] <http://c-roads.cz/>.
- [17] Evaluation & Testing Methodology. *C-ROADS*. 2017.
- [18] Co je to technická norma? *únmz*. [Online] [Citace: 06. 04 2018.] <http://www.unmz.cz/urad/co-je-to-technicka-norma->.
- [19] All about ISO. *International Organization for Standardization*. [Online] [Citace: 06. 04 2018.] <https://www.iso.org/about-us.html>.
- [20] Who we are . *European Committee for Standardization*. [Online] [Citace: 06. 04 2018.] <https://www.cen.eu/about/Pages/default.aspx>.
- [21] About ETSI. *ETSI*. [Online] [Citace: 06. 04 2018.] <http://www.etsi.org/about>.
- [22] ETSI EG 202 798 V1.1.1. [Online] 01 2011. [Citace: 06. 04 2018.] http://www.etsi.org/deliver/etsi_eg/202700_202799/202798/01.01.01_60/eg_202798v010101p.pdf.
- [23] ETSI TS 102 868 V1.4.1. [Online] 03 2017. [Citace: 06. 04 2018.] http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/10286801/01.04.01_60/ts_10286801v010401p.pdf.
- [24] ETSI TS 102 869 V1.5.1. [Online] 03 2017. [Citace: 06. 04 2018.] http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/10286901/01.05.01_60/ts_10286901v010501p.pdf.

- [25] ETSI TS 102 870 V1.1.1 . [Online] 03 2011. [Citace: 06. 04 2018.] http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/10287001/01.01.01_60/ts_10287001v010101p.pdf.
- [26] ETSI TS 102 871 V1.4.1. [Online] 05 2017. [Citace: 06. 04 2018.] http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/10287101/01.04.01_60/ts_10287101v010401p.pdf.
- [27] ETSI EN 302 637-2 V1.3.2. [Online] 11 2014. [Citace: 07. 04 2018.] http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263702/01.03.02_60/en_30263702v010302p.pdf.
- [28] ETSI EN 302 637-3 V1.2.2. [Online] 11 2014. [Citace: 07. 04 2018.] http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263703/01.02.02_60/en_30263703v010202p.pdf.
- [29] ETSI TS 102 894-1 V1.1.1. [Online] 08 2013. [Citace: 07. 04 2018.] http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/10289401/01.01.01_60/ts_10289401v010101p.pdf.
- [30] ETSI TS 102 894-2 V1.2.1. [Online] 09 2014. [Citace: 07. 04 2018.] http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102800_102899/10289402/01.02.01_60/ts_10289402v010201p.pdf.
- [31] ZELINKA, Tomáš a SVÍTEK, Miroslav. *Telekomunikační řešení pro informační systémy síťových odvětví*. Praha : Grada, 2009. ISBN 978-80-247-3232-9.
- [32] V2X communications – LTE versus DSRC. *ee NEWS AUTOMOTIVE*. [Online] 09. 04 2018. [Citace: 14. 04 2018.] <https://www.eenewsautomotive.com/design-center/v2x-communications-lte-versus-dsrc-0>.
- [33] ZELINKA, Tomáš. ITS G5 vs. DSRC 5.9. *Přednášky na fakultě dopravní*. Praha : ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, 2017.
- [34] ETSI EN 302 663 V1.2.0 . [Online] 11 2012. [Citace: 14. 04 2018.] http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302663/01.02.00_20/en_302663v010200a.pdf.
- [35] ŠROTÝŘ, Martin. Optimalizace bezdrátové komunikace v kooperativních systémech. *Disertační práce*. Praha : ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, 2016.
- [36] ZELINKA, Tomáš. Telekomunikační systémy. *Přednášky na fakultě dopravní*. Praha : ČVUT v Praze, 2014.

- [37] Releases. *3GPP A global initiative*. [Online] [Citace: 14. 04 2018.] <http://www.3gpp.org/specifications/67-releases>.
- [38] HOYMANN, Christian, ASTLEY, David a STATTIN, Mangus. LTE Release 14 Outlook . *ERICSSON*. [Online] [Citace: 14. 04 2018.] https://www.ericsson.com/assets/local/publications/conference-papers/lte_release.pdf.
- [39] FILIPPI, Alessio, MOERMAN, Kees a DAALDEROP, Gerardo. Ready to roll: Why 802.11p beats LTE and 5G for V2x. *SIEMENS*. [Online] [Citace: 15. 04 2018.] <https://www.siemens.com/content/dam/webassetpool/mam/tag-siemens-com/smdb/mobility/road/connected-mobility-solutions/documents/its-g5-ready-to-roll-en.pdf>.
- [40] ETSI TS 103 301 V1.1.1. [Online] 11 2016. [Citace: 15. 04 2018.] http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103300_103399/103301/01.01.01_60/ts_103301v010101p.pdf.
- [41] ETSI TS 102 637-1 V1.1.1. [Online] 09 2010. [Citace: 15. 04 2018.] http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/10263701/01.01.01_60/ts_10263701v010101p.pdf.
- [42] MATĚJKA, Pavel. METHODOLOGY FOR VERIFYING CHARACTERISTICS OF COOPERATIVE SYSTEMS IN A REAL WORLD. *Diplomová práce*. Praha : ČVUT v Praze, Fakulta dopravní, 2016. Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D..
- [43] ITU-T X.691. *Information technology – ASN.1 encoding rules: Specification of Packed Encoding Rules (PER)* . [Online] 07 2002. [Citace: 29. 04 2018.] <https://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com17/languages/X.691-0207.pdf>.

10 Seznam obrázků

Obr. 1 - Komunikace Vozidlo-Infrastruktura [1].....	13
Obr. 2 - Komunikace Vozidlo-Vozidlo [1].....	14
Obr. 3 - Testovací trasy projektu simTD. Modré – dálnice, zelené – okresní silnice, červené – město [6].....	18
Obr. 4 - Graf celospolečenských nákladů na dopravní nehody v Německu za rok 2015 a potenciál C-ITS funkcí pro úsporu (červeně) [5].....	19
Obr. 5 NordicWay Interchange node [8].....	20
Obr. 6 – Identifikované nejčastější problémy v městské dopravě [9].....	22
Obr. 7 - Testovací lokace projektu DRIVE C2X [2].....	24
Obr. 8 - Testovací lokace projektu Compass4D [12].....	25
Obr. 9 - Testování aplikace na upozornění o pohybu vozidel IZS [15].....	26
Obr. 10 - Pilotní lokality C-ROADS Czech Republic [16].....	27
Obr. 11 - Referenční architektura ITS stanice [29].....	34
Obr. 12 - Rozdělení evropského frekvenčního spektra 5 GHz [34].....	37
Obr. 13 - Závislost zpoždění přenosu na průměrné rychlosti a počtu uživatelů u sítě s technologií IEEE 802.11p [33].....	38
Obr. 14 - Závislost zpoždění přenosu na průměrné rychlosti a počtu uživatelů u sítě s technologií LTE [33].....	39
Obr. 15 - Grafické znázornění informací obsažených ve zprávě SPaT [40].....	43
Obr. 16 - Grafické znázornění informací obsažených ve zprávě MAP [40].....	43
Obr. 17 - Grafické znázornění žádosti o přednostní průjezd křižovatkou zprávami SRM/SSM [40].....	44
Obr. 18 - Obecná struktura CAM zprávy [27].....	46
Obr. 19 - Obecná struktura DENM zprávy [28].....	48
Obr. 20 - Schéma původního návrhu architektury systému, zdroj: autor.....	50
Obr. 21 - Textový výstup první verze programu, zdroj: autor.....	51
Obr. 22 - Příklad rozhodovacího bloku pro jeden z parametrů vyhodnocované zprávy, zdroj: autor.....	53
Obr. 23 - Schéma finální architektury systému, zdroj: autor.....	54
Obr. 24 - Adresářová struktura programu, zdroj: autor.....	57
Obr. 25 - GUI pro volbu parametrů výstupního souboru, zdroj: autor.....	60
Obr. 26 - Část výstupního souboru s podrobným vyhodnocením, zdroj: autor.....	61
Obr. 27 - Část výstupního souboru se shrnutím vyhodnocení, zdroj: autor.....	64
Obr. 28 - Příklad výstupní mapy, zdroj: autor.....	65
Obr. 29 - legenda k výstupní mapě, zdroj: autor.....	65

Obr. 30 - Domovské okno GUI systému, zdroj: autor	68
Obr. 31 - Okno nastavení parametrů pro shrnutí analýzy DENM zpráv, zdroj: autor	69
Obr. 32 - Volba očekávané hodnoty pro parametr stationType, zdroj: autor	70
Obr. 33 - Oznámení o dokončené analýze, zdroj: autor	71
Obr. 34 - Výzva k zadání cesty k programu Wireshark, zdroj: autor	72
Obr. 35 - Seznam vyhodnocovaných parametrů CAM zpráv [27]	76
Obr. 36 - Seznam vyhodnocovaných parametrů DENM zpráv [28]	78

11 Seznam příloh

A. Přiložené CD

11.1 Příloha A – obsah přiloženého CD

K této práci je přiloženo CD, na kterém je uložena elektronická verze průvodní zprávy diplomové práce ve formátu PDF a vytvořený funkční vzorek automatizovaného systému zabalený v archivu formátu RAR.

DP_Jirak_Jakub.pdf Text průvodní zprávy diplomové práce v elektronické podobě

priloha_funkcni_vzorek.rar Archiv s vytvořeným funkčním vzorkem systému