



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Michal Mlada

**AKTUÁLNÍ VÝVOJ V OBLASTI KOOPERATIVNÍCH  
SYSTÉMŮ A UŽÍVANÝCH TELEKOM. TECHNOLOGIÍ**

Bakalářská práce

**2018**



**K614.....Ústav aplikované informatiky v dopravě**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Michal Mlada**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – ITS – Inteligentní dopravní systémy**

Název tématu (česky): **Aktuální vývoj v oblasti kooperativních systémů a  
užívaných telekom. technologií**

Název tématu (anglicky): Recent development of cooperative systems and used  
telecom. technologies

**Zásady pro vypracování**

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

- Vypracujte rešerši existujících pilotních projektů kooperativních systémů ve světě
- Popište aktuální vývoj telekomunikačních technologií v oblasti kooperativních systémů
- Analyzujte vlastnosti používaných telekomunikačních technologií včetně jejich výkonových a kapacitních omezení
- Specifikujte jednotlivé implementace uvedených telekomunikačních technologií v existujících pilotních projektech kooperativních systémů
- Zhodnoťte dostupné a připravované komunikační ITS systémy (G5 a LTE-V) v rámci řešení projektu C-ROADS a jejich možnou integraci do hybridního řešení



Rozsah grafických prací: 10 obrázků

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

Seznam odborné literatury: Zelinka, T., Svítek, M.: Telekomunikační řešení pro informační systémy síť. odvětví, Grada 2009, ISBN 978-80-247-3232-9.

Odborné články IEEE

Normy, standardy a odborné časopisy

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Martin Šrotýř, Ph.D.**  
**prof. Ing. Tomáš Zelinka, CSc.**

Datum zadání bakalářské práce:

**13. června 2017**

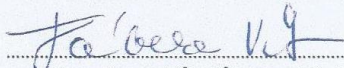
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

**13. června 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

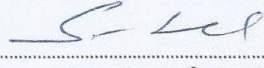


  
.....

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 bakalářské práce.

  
.....

Michal Mlada

jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 13. června 2017

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Martinu Šrotýřovi, Ph.D. za podporu, názory a odborné konzultace při vypracování bakalářské práce. Děkuji také rodině a blízkým přátelům za podporu a trpělivost při dobu studia i zpracování této práce.

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně a pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

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

Michal Mlada

V Praze dne 13.6.2018

podpis..........

## **Abstrakt**

Předmětem této bakalářské práce jsou kooperativní systémy a jejich způsoby komunikace. Podává přehled o aktuálně probíhajících pilotních projektech, jejich implementaci komunikačních technologií a služeb, které poskytují. V závěrečné části je shrnutí využívaných komunikačních technologií a jejich hodnocení z hlediska využití v projektu C-Roads.

## **Klíčová slova:**

**Kooperativní systémy, C-ITS, V2V, V2I, V2X, DSRC, ITS-G5, OBU, RSU, WAVE**

## **Abstract**

The subject of this bachelor thesis is cooperative systems and their ways of communication. It provides an overview of ongoing pilot projects, their implementation of communication technologies and the services they provide. In the final part is a summary of used communication technologies and their evaluation from the point of view of their use in project C-Roads.

## **Key words:**

**Cooperative systems, C-ITS, V2V, V2I, V2X, DSRC, ITS-G5, OBU, RSU, WAVE**

## Obsah

Obsah.....	7
Seznam Tabulek a obrázků .....	10
Seznam použitých zkratek .....	11
1. Úvod .....	16
1.1. Cíl práce .....	16
2. Způsob komunikace kooperativních systémů.....	17
2.1.1. Vehicle 2 Vehicle V2V .....	17
2.1.2. Vehicle 2 Infrastructure V2I.....	17
2.1.3. Vehicle 2 Everything V2X .....	17
2.2. Komponenty C-ITS .....	17
2.2.1. Roadside Unit RSU.....	17
2.2.2. On Board Unit OBU .....	18
2.2.3. Traffic manager centrum TMC .....	18
2.2.4. Road Vehicle Unit RVU .....	18
2.2.5. Pedestrian Information Devices PID .....	18
2.3. Zprávy .....	18
2.3.1. ITS-G5 zprávy .....	19
2.3.2. DSRC SEA zprávy.....	19
2.4. Aplikace/Služby C-ITS .....	20
2.4.1. Služby Day 1 .....	21
2.4.2. Služby Day 1.5 .....	22
2.4.3. Další služby .....	23
3. Projekty .....	24
3.1. Scoop .....	24
3.1.1. Pilotní místa.....	24
3.1.2. Fáze projektu.....	25
3.1.3. Testování.....	25
3.1.4. Zabezpečení.....	25
3.1.5. Technologie.....	26



3.2.	Nordic Way .....	26
3.2.1.	Služby.....	26
3.2.2.	Technické provedení .....	26
3.2.3.	Implementace.....	27
3.3.	InterCor .....	29
3.3.1.	Pilotní místa.....	29
3.3.2.	TESTFEST .....	31
3.3.3.	Rozšíření specifikací pro ITS-G5 .....	31
3.3.4.	Rozšíření specifikací pro Hybridní komunikaci.....	32
3.4.	C-ITS Corridor .....	32
3.4.1.	Pilotní místa.....	32
3.4.2.	Poskytované služby .....	33
3.4.3.	Technologický přístup.....	33
3.5.	Connected Vehicle.....	33
3.5.1.	Pilotní místa.....	34
3.6.	C-Roads .....	37
3.6.1.	Česká Republika .....	38
3.6.2.	Rakousko .....	39
3.6.3.	Belgie .....	39
3.6.4.	Francie .....	40
3.6.5.	Německo .....	40
3.6.6.	Nizozemí .....	40
4.	Technologie C-ITS systémů.....	41
4.1.	WI-FI IEEE 802.11.....	41
4.1.1.	WAVE IEEE 802.11p.....	41
4.2.	Dedicated Short-Range Communications (DSRC).....	42
4.2.1.	DSRC 5,8 GHz .....	42
4.2.2.	DSRC 5,9 GHz .....	42
4.3.	ITS G5.....	42

4.3.1.	Frekvenční pásmo .....	42
4.3.2.	Kanály ITS-G5 .....	43
4.3.3.	DCC .....	43
4.3.4.	Koexistence mezi DSRC 5.8 a ITS-G5 5.9 .....	43
4.3.5.	Geo Network (GN) .....	44
4.4.	WAVE IEEE 1609 .....	44
4.4.1.	Kanály .....	44
4.5.	Celulární technologie .....	44
4.5.1.	LTE 3.9G .....	45
4.5.2.	4G mobilní technologie .....	45
4.5.3.	5G mobilní technologie .....	45
4.6.	Hybridní komunikace .....	46
5.	Zhodnocení využití technologií v C-ITS v C-Roads .....	47
5.1.	DSRC 5,9 .....	47
5.2.	Celulární komunikace LTE .....	47
	5G .....	48
	LTE – V .....	48
5.3.	Hybridní komunikace .....	49
6.	Závěr .....	49
7.	Literatura .....	51

## Seznam Tabulek a obrázků

Obrázek 1 Pilotní místa projektu SCOOP Zdroj: [14].....	24
Obrázek 2 Komunikační architektura projektu Nordic Way (zdroj: [24]).....	27
Obrázek 3 Propojení pilotních míst projektu InterCor zdroj [30] .....	29
Obrázek 4 Pilotní část projektu InterCor ve Francii (zdroj [28]) .....	30
Obrázek 5 Pilotní část projektu v Nizozemí (zdroj [28]) .....	31
Obrázek 6 Pilotní koridor C-ITS Corridor (zdroj: [34]).....	32
Obrázek 7 Pilotní místa projektu Connected Vehicle v New Yorku (zdroj: [39]).....	34
Obrázek 8 Pilotní místo projektu Connected Vehicle v Tampě (zdroj: [41]) .....	35
Obrázek 9 Pilotní místa v projektu Connected Vehicle ve Wyomingu (zdroj: [44]).....	36
Obrázek 10 Pilotní projekty C-Road (zdroj: [49]) .....	38
Obrázek 11 Pilotní místa projektu C-Roads CZ (zdroj: [50]).....	39
Obrázek 12 Rozložení frekvencí ITS-G5 (zdroj: [57]) .....	43
Obrázek 13 Rozložení frekvencí WAVE (zdroj: [61]) .....	44

## Seznam použitých zkratk

Zkratka	Anglický název	Český název
3G		Mobilní síť 3. generace
3GPP	3rd Generation Partnership Project	Partnerský projekt třetí generace
4G		Mobilní síť 4. generace
5G		Mobilní síť 5. generace
ACEA	European Automobile Manufacturers Association	Evropská asociace výrobců automobilů
ADAS	Advanced driver-assistance systems	Pokročilé asistenční systémy
AMQP	Advanced Message Quering Protocol	Protokol pro pokročilé řazení zpráv
ASD	after Market Safety Device	Zařízení pro bezpečnost projektu CV
ASTC	Advenced Solid-state Traffic Controllers	Pokročilé řídicí systémy projektu CV
BMVI	The Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure	Ministerstvo dopravy a digitální infrastruktury v Německu
bPVD	Basic Probe Vehicle Data	Základní data sondy vozidla
BRAN	Broadband Radio Acess Network	Širokopásmová radiová přístupová síť
BSM	Basic Safety Message	Základní bezpečnostní zpráva
BSS	Basic Service Set	Základní komunikační jednotky Wi-Fi
CAM	Cooperative Awareness Message	Kooperativní zprávy
CAN	Controller Area Network	Sběrnice CAN-BUS
CCRW	Cooperative Colision Risk Warning	Varování před rizikem kolize
CEF	Connecting Europe Facility	Fond pro financování Evropské infastruktury
CEN	European Committee for Standardization	Evropský výbor pro normalizaci
CCH	Controll Channel	Řídicí kanál
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport Systems	Kooperativní systémy
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Acces / Colision avoidance	Metoda snižování kolize paketů
CV	Connected Vehicle	Propojené vozidla
CZ	Czech Republic	Česká Republika
D2D	Device to Device	Způsob komunikace zařízení - zařízení
DAB	Digital Audio Broadcasting	Digitální radiová technologie pro plošné vysílání
DATEX	Data Exchange	Standard pro výměnu dat
DCC	Decentralized Congestion Control	Decentralizované řízení kongesce

DENM	Decentralized Environmental Notification Message	Decentralizované upozornění na události na silnici
DSRC	Dedicated short-range communication	Dedikovaná komunikace na krátké vzdálenosti
DSSS	Ddirect-Sequence Spread Spectrum	Modulační metoda ke snížení interference
EBL	Emergency brake light	Zpráva o pohotovostním brždění
EDCA	Enhanced distributed channel access	Rozšířený přístup k distribuovanému kanálu
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Evropský ústav pro telekomunikační normy
EU	European Union	Evropská unie
EVA	Emergency Vehicle Approaching	Zprávy o blížícím se vozidlo IZS
FCC	Federal Communication Commission	Federální komise pro komunikaci USA
FDR	Franklin D. Roosevelt East River Drive	Dopravní komunikace FDR v New York City
GLOSA	Green Light Optimal Speed Advice	Doporučení rychlosti pro dosažení zeleného signálu
GN	Geo Network	Protokol polohového adresování
HMI	Human Machine Interface	Rozhraní Člověk - Stroj
I-80	Interstate 80	Dálnice I-80 v USA
ICA	Intersection Collision	Zpráva o kolizi na křižovatce
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
iFuel	Information on Fueling & charging stations for alternative fuel vehicles	Informace o stavu nabití a nabíjecích stanicích pro alternativní pohony
IPv6	Internet Protocol version 6	Protokol pro komunikaci na internetu verze 6
ISO	International Organization for Standardization	Mezinárodní organizace pro normalizaci
ITS	Intelligent Transport Systems	Inteligentní dopravní systémy
IVI	In Vehicle Information	Zpráva vozidlových informací
IZS		Integrovaný záchranný systém
JPO	Joint Program Office	Programový úřad USDOT
LTE	Long Term Evolution	Vysokorychlostní mobilní internet
LTE	Long Term Evolution	Vysokorychlostní mobilní technologie pro přenos dat
LZM	Loading Zone Management	Management nákladních zón
MAA	Motocycle Approaching Indication	Upozornění o blížícím se motocyklu
MAC	Media Access Control	Přístupová vrstva
MAP	Map topology	Zpráva mapové topologie

MBSFN	Multimedia Broadcast multicast service Single Frequency Network	Komunikační kanál 4G
MCTO	Multimodal Cargo Transport Optimization	Optimalizace multimodální nákladní dopravy
MHD	Public Transport	Městská hromadná doprava
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output	Více vstupů Více Výstupů
OBU	On Board Unit	Palubní jednotka
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Ortogonální multiplex s frekvenčním dělením
OHLN	Other Hazardous Location Notification	Varování před nebezpečných lokacích
OST-R	Office of Assistance Secretary for Research and Technology	Kancelář asistence pro výzkum a vývoj USDOT
P&Ride	Park & Ride information	Informace o parkování
PDM	Probe Data Management	Průběžné řídicí zpráva
PET	Privacy Enhancement Technologies	Metoda ochrany dat
PID	Personal Information Devices	Osobní informační jednotka
PII	Personal Identification	Osobní identifikátory
PKI	Public Key Infrastructure	Infrastruktura přidávající veřejné klíče
PMang	On street parking information & management	Informace o parkování
PMang	Off street parking information & management	Informace o parkování
POC	Proof-Of-Concept	Metoda zabezpečení obsahující popis objektů a rolí
PSM	Personal Safety Message	Osobní bezpečnostní zpráva
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Kvadrurní amplitudová modulace
QoS	Quality of Services	Kvalita služeb
RLX	Railway Level Crossing	Varování před železničním přejezdem
RN	Raley Nodes	Uzly LTE
RSU	Road Side Unit	Infrastrukturní komunikační jednotka
RVU	Road Vehicle Unit	Jednotka vozidla správy komunikace
RWW	Roadwork Warning	Varování o pracích na silnici
SAE	System Architecture Evolution	Architektura pro LTE
SC-FDMA	Single-Carrier Frequency Division Multiplexing	Schéma různého přístupu s frekvenčním dělení
SCMS	The Security Credential Management System	Systém pro správu bezpečnostních pověření
SEA		
SCH	Service Chanel	Služební kanál
SigV	Signal Violation	Varování o porušení dopravního signálu

SmartR	Traffic information & Smart Routing	Dopravně informační řízení
SPAT	Signal Phase and Timing	Zpráva o signální fázi a časech do změny fáze
SRM	Signal Request Message	Zpráva o signálním požadavku
SSVW	Slow or Stationary Vehicle Warning	Varování před pomalým nebo stojícím vozidlem
SWD	Shocwave Damping	Varování před stop and go vlnami
TEN-T	Trans-European Transport Networks	Transevropská dopravní síť
TIM	Traveler Information	Zpráva informující cestující
TJW	Traffic Jam ahead Warning	Varování o dopravní kongesci
TLS	Transport Layer Security	Protokol pro zabezpečení komunikace
TMC	Traffic Management Centrum	Dopravně řídicí centrum
TSP	Traffic Signal Priority for designated vehicles	Preference pro vozidla MHD
USA	United States of America	Spojené státy americké
USDOT	United State Department of Transportation	Ministerstvo dopravy Spojených států amerických
V2I	Vehicle to Infrastructure	Komunikace Vozidlo - Infrastruktura
V2V	Vehicle to Vehicle	Komunikace Vozidlo - Vozidlo
V2X	Vehicle to Everything	Komunikace Vozidlo - prostředí
VRU	Vulnerable Road User	Zranitelní uživatelé komunikace
VSGN	In-Vehicle Signage	Dopravní značky ve vozidle
VSPD	In-Vehicle Speed limits	Rychlostní limity ve vozidle
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments	Bezdrátový přístup v dopravním prostředí
WBSS	Wave Basic Service Set	Základní komunikační jednotky WAVE Wi-Fi
Wi-Fi	Wireless Fidelity	Bezdrátový přenos dat ve sdíleném pásmu
WLAN	Wireless Local Area Network	Bezdrátová lokální síť
WPA2	Wi-Fi Protected Access	Zabezpečení bezdrátové sítě
WSMP	WAVE Short Message Protocol	Protokol pro krátké zprávy v WAVE
WTC	Weather Confitions	Zpráva o počasí
WWD	Wrong Way Driving	Varování před vjezdu do špatného směru komunikace
WYDOT	Wyoming Department of Transport	Ministerstvo dopravy Wyoming
ZACM	Zone Access Control for Urban areas	Řízení přístupu pro městské části

ANSFD	Access Discovery and selection Function	Funkce rozpoznání a výberu přístupové technologie u 5G
-------	---	--



# 1. Úvod

Kooperativní dopravní systémy (C-ITS) zajišťují komunikaci vozidel a sdílení informací o jejich aktuálním stavu a dění na dopravní komunikaci. Řidiči tak poskytují asistenční a informační služby ve vozidle s rychlou odezvou. V kooperativních systémech spolu komunikují jednotky instalované ve vozidle s ostatními vozidly, se stanicemi podél komunikace nebo s dalšími jednotkami ve svém prostředí. Tímto způsobem získávají informace o svém prostředí a mohou v případě hrozby upozornit řidiče nebo další vozidla.

C-ITS se ukázali jako efektivní nástroj pro zvýšení bezpečnosti, komfortu a efektivity přepravy cestujících i nákladu na dopravních komunikacích. Se zvýšením efektivity dopravy se váže i snížení emisí z dopravy, efektivní využívání přírodních zdrojů, zvýšení ekonomické konkurenceschopnosti a životní úrovně obyvatel. Informace z C-ITS systémů mají velké využití v managementu dopravy, dopravních analýzách a vytváření dopravních modelů.

Vývojem systému se zabývá mnoho veřejných i soukromých organizací operujících v Evropě, Americe, Asii i Austrálii. Patří mezi ně hlavně organizace zabývající se vývojem standardů na poli telekomunikací a elektroniky, výrobci technologií a automobilový průmysl. Mezi nejvýznamnější organizace v Evropě a USA zabývající se vytváření standardů pro technologie v C-ITS patří ETSI, CEN, ISO, IEEE.

Evropská Unie vidí v C-ITS velký potenciál a s cílem propojit implementaci C-ITS projektů v jednu interoperabilní dopravní službu vytvořila Evropská komise v prosinci 2016 Evropskou strategii kooperativních dopravních systémů. Cílem této strategie je definovat regulační rámec v celé EU pro C-ITS služby na Evropské úrovni, zabezpečit její fungování po legální stránce a podpořit jí financováním. V roce 2016 byla také odstartována C-ITS Platforma pro propojení vývoje a sdílení technických specifikací k zajištění interoperability a podpory pilotních projektů v nasazení C-ITS technologií v Evropské Unii. [1]

## 1.1. Cíl práce

Cílem bakalářské práce je shrnutí aktuálních kooperativních systémů a způsobů, jak mezi sebou vozidla komunikují. V další části se zabývá nejvýznamnějšími pilotními projekty aktuálně probíhající v Evropě a USA. Podává přehled o využití komunikačních technologií v projektech a nabízených kooperativních služeb. V poslední části práce pojednává o telekomunikačních technologiích využívaných v kooperativních systémech, jejich vlastnostech, omezeních a hodnotí je z hlediska využitelnosti v projektu C-Roads.

## 2. Způsob komunikace kooperativních systémů

C-ITS systémy využívají nejmodernějších bezdrátové technologie jako je Wi-Fi 802.11p, DSRC 3,9 a celulární komunikaci (LTE, LTE-A). Tyto technologie jsou instalovány do vozidel a dopravní infrastruktury a komunikují spolu pomocí předdefinovaných zpráv. Existují tři základní způsoby bezdrátové komunikace vozidel s jejich prostředím.

### 2.1.1. Vehicle 2 Vehicle V2V

Vozidlo pomocí On Board Unit (OBU) jednotky komunikuje s ostatními vozidly v jeho blízkosti. Tímto způsobem je odbourán prostředník a může docházet k rychlé výměně informací. Vozidla mohou zasílat informace o své poloze a rychlosti k upozornění dalších vozidel při možné kolizi například při špatné viditelnosti. V2V komunikace se využívá hlavně pro bezpečnostní služby C-ITS.

### 2.1.2. Vehicle 2 Infrastructure V2I

Vozidlo komunikuje pomocí stanice (OBU) ve vozidle se stanicí instalovanou na dopravní komunikaci Roadside Unit (RSU). K zajištění aktuálních informací a tím i kvalitnější služby musí být komunikace dostatečně pokrytá signálem. Pomocí RSU stanic jsou data získané z vozidel zasílány centrálním řídicím systémům k dalšímu využití.

### 2.1.3. Vehicle 2 Everything V2X

Vozidlo komunikuje s dalšími stanicemi v prostředí a získá tím povědomí o svém okolí. V2X komunikace je stále ve vývoji a předpokládá se její široké využití s dalším vývojem technologií.

## 2.2. Komponenty C-ITS

C-ITS systém se skládá ze třech základních elementů (komponentů) které spolu komunikují. OBU jednotka vyhodnocuje a zasílá informace z vozidla RSU jednotce, která tyto informace přeposílá ostatním OBU jednotkám na delší vzdálenost, než by byla schopná sama ve V2V komunikaci. RSU jednotka funguje i jako prostředník mezi OBU a dopravním centrem (Traffic Management Centrum centre TMC). TMC pro další využití přijaté zprávy vyhodnocují a zasílají dopravně řídicí informace zpět OBU jednotkám přes RSU. [2]

### 2.2.1. Roadside Unit RSU

RSU stanice je základní jednotkou pro komunikaci technologie ITS – G5 a jsou instalovány podél komunikace na portálové konstrukce, sloupy veřejného osvětlení a další vhodná místa. Jednotka propojuje komunikaci mobilních OBU stanic s TMC centrem. Šifrovaná komunikace RSU stanic s OBU probíhá na frekvenci 5,9 GHz technologií DSRC. Aplikační vrstva každé RSU stanice má definované služby pro danou lokalitu, které poskytují OBU jednotkám. Přenos zpráv RSU a TMC je prováděn pomocí elektronických datových komunikací stávající infrastruktury. V městské zástavě komunikují stanice RSU i s řadičem na světelně řízených křižovatkách k získání informací o jejich signálním programu a optimalizaci světelných signálů

při preferenci MHD. RSU stanice mohou obsahovat i senzory infrastruktury (smyčkové detektory a kamery) podle jejich druhu využití. [3] [4]

### 2.2.2. On Board Unit OBU

OBU stanice jsou instalované ve vozidlech zpracovávající a ukládající data shromážděné V2V a V2I komunikací. OBU jednotky generují zprávy a zasílají je dalším OBU nebo RSU stanicím. Jednotka komunikuje s vozidlem pomocí CAN sběrnice odkud získává stavové informace o vozidle ze senzorů. Je napojená na HMI vozidla k zobrazení informací řidičovi a pomocí senzorů vozidla sbírá data z prostředí o počasí, stavu a událostí na komunikaci. Tyto informace následně zasílá k vyhodnocení TMC přes RSU stanice. [3]

### 2.2.3. Traffic manager centrum TMC

Centrální systémy vyhodnocují informace z RSU jednotek o aktuálním stav a hrozbách na komunikaci a distribuují je zpět příslušným RSU jednotkám v dané lokaci nebo dalším dopravně řídicím centřům. Důležité dopravní informace tak mohou být šířeny více možnými sdělovacími prostředky (HMI vozidla, informační portály, rádio) a je zabezpečena jejich větší penetrace. [3]

### 2.2.4. Road Vehicle Unit RVU

Stanice RVU jsou instalovány do vozidel správců komunikace, pojízdných vozíků a vozidel údržby komunikace. Jedná se o hybridní stanici RSU a OBU jednotek poskytující informace ostatním OBU jednotkám technologií DSRC 5.9. RVU zároveň komunikuje s TMC pomocí mobilní sítě. Jednotky RVU obsahují uživatelský a operátorský mód. Operátorský mód zpřístupňuje specifické funkce a komunikaci s TMC centrem. Pomocí uživatelského módu komunikují RVU jednotky s OBU a RSU stanicemi. [3]

### 2.2.5. Pedestrian Information Devices PID

Stanice určená pro zranitelné uživatele VRU (Vulnerable Road User) jako jsou cyklisti, chodci a pracovníci výstavby a údržby komunikace. RSU jednotkám poskytuje informace o poloze těchto uživatelů k předcházení kolize s vozidly. Jako PID jednotka může sloužit například smartphone nebo speciální jednotka instalovaná na jízdním kole. Jednotka PID je další krok k V2X komunikaci a je momentálně stále ve vývoji. [5] [2]

## 2.3. Zprávy

Vozidla vybavená C-ITS technologiemi vysílají zprávy dalším vozidlům V2V, infrastruktuře V2I nebo i dalším subjektům V2X. K tomu je potřeba definovaná struktura zpráv. Ta je zakotvena v referenční architektuře C-ITS Evropské komise jako součást Facility vrstvy. Tyto zprávy se dělí na zprávy vysílané průběžně a zprávy, u kterých je pro vyslání potřeba spouštěcí událost. Bezpečnostní zprávy mají při přenosu vyšší prioritu, a tak při přetížení uzlu nejsou důležité informace ztraceny a jsou předány s nižším zpožděním než ostatní v tomto čase nedůležité zprávy.

### 2.3.1. ITS-G5 zprávy

Organizace ETSI definovala jednotlivé zprávy využívané ITS – G5 technologií zasílající informace o stavech vozidla či událostech na komunikaci.

#### *Cooperative Awareness Messages CAM*

CAM jsou zprávy vysílané všemi vozidly v broadcast modu (bez adresace konkrétnímu subjektu) k informování ostatních účastníků provozu o aktuálním stavu. Obsah CAM zprávy záleží na typu stanice OBU jednotky odesílající zpráv. Zprávy jsou rovněž využívány k přijímání a odesílání informací z a do TMC centra, kde jsou vyhodnoceny pro poskytnutí komplexnějších služeb. Základní informace obsahující CAM zprávy jsou čas, pozice vozidla, směr pohybu, typ vozidla (nákladní, osobní) a role v přepravě (MHD, individuální). Příjem těchto zpráv napomáhá k získání informace o riziku kolize s ostatními vozidly. Frekvence zasílání zpráv záleží podle změny stavu jednotlivých vozidel a zahlcení kanálů. Interval by neměl být nižší než 100 ms a vyšší než 1000 ms pro OBU jednotky a roven či vyšší než 1000 ms pro RSU stanice. [6]

#### *Decentralized Environmental Notification Message DENM*

DENM je typ zprávy využívané pro upozornění účastníků provozu na mimořádné události detekované vozidly, infrastrukturou nebo odeslané z TMC centra. Pomocí DENM zpráv se v ITS-G5 zasílá celá řada informací o událostech vznikajících na komunikaci jako bezpečnostní upozornění, informace o počasí a informace o stavu vozovky. Dělí se na nové DENM zprávy poprvé zasílající nově vzniklé události, aktualizací DENM generované neustále dokud událost nepřestane platit, rušící DENM ukončující průběh události a navigační DENM určující polohu události. [7]

### 2.3.2. DSRC SEA zprávy

DSRC SEA zprávy jsou v Evropě doplňkové k zprávám ITS-G5. Zprávy BSM jsou alternativou CAM v USA. Zprávy jsou popsány v souboru zpráv DSRC IEEE 1609. [8]

#### *Basic Safety Message BSM*

Všechny vozidla vybavené DSRC technologií v USA vysílají víceúčelové zprávy BSM v broadcast modu pro bezpečnostní potřeby různých V2V, V2I i V2X aplikací. Zprávy obsahují základní informace o aktuální poloze, rychlosti, směru jízdy a jsou vysílány v intervalu 100 ms.

#### *Signal Phase and Timing SPAT*

SPAT zasílá informace o aktuálním stavu světelných signálů na křižovatce, identifikační číslo RSU stanice a křižovatky, čas do změny fáze a detekování chodců.

#### *Map topology MAP*

Pomocí MAP jsou zasílána informace o rychlostní křivice, poloze a rozložení křižovatek a geometrii komunikace spolu s jejími atributy. Na křižovatkách jsou využívány pro popis jednotlivých dopravních pruhů.

#### *In Vehicle Information IVI*

Pomocí IVI zprávy zasílá RSU stanice informace o dopravním značení a světelném proměnném dopravním značení do vozidla.

#### *Traveler Information TIM*

Zpráva TIM je využívána pro informování vozidel před nehodami na komunikacích a při plánovaných úpravách komunikace. Dále může sloužit k upozornění na nebezpečné stavy počasí, informaci o maximálních povolených rychlostech, dopravním značení a celkově základní informace o stavu na komunikaci.

#### *Intersection Collision ICA*

ICA upozorňuje projíždějící vozidla o hrozbě ve směru jízdy na křižovatkách. Informuje o porušení červeného signálu na návěstidlech nebo porušení stop značky. Zpráva je vyslána z OBU jednotky vozidla porušující značení a následně i z RSU stanic.

#### *Probe Data Management PDM*

Tyto zprávy jsou sbírány RSU stanicemi z vozidel a zasílány TMC, které využívají PVD zprávy pro management dopravy a další komplexnější služby. Zprávy obsahují informace o dopravním toku, počasí a další události na komunikacích.

#### *Signal Request Message SRM*

Zprávy SRM jsou využívány na křižovatkách pro preferenci dopravy. Vozidlo přijíždějící ke křižovatce zašle SRM zprávu příslušné RSU stanici, která komunikuje s řadičem křižovatky. Radič s informací o přijíždějícím vozidle MHD může optimalizovat signální plán a urychlit tak průjezd MHD.

#### *Personal Safety Message PSM*

PSM zprávy poskytují informace o zranitelných účastnících provozu (Vulnerable Road User VRU) a zabraňují tak nebezpečným situacím. VRU zahrnuje chodce, cyklisty a pracovníky výstavby a údržby komunikace.

## **2.4. Aplikace/Služby C-ITS**

Služby C-ITS jsou součástí aplikační vrstvy referenční architektury Evropské komise C-ITS Platformy. C-ITS platforma se dohodla na listu „Day 1 a 1,5 služeb“ k jednoznačnému určení C-ITS služeb, které budou poskytovány jednotlivými projekty. Každá z těchto služeb bude mít danou strukturu zasílaných dat, aby mohli fungovat včasné a správně ve všech státech EU. Pilotní projekty implementující tyto služby si mohou vybrat potřebnou službu s definovanou strukturou a vědí, že jejich služby budou moci využít vozidla podporující definované služby v celé Evropě. C-ITS platforma seřadila tyto služby podle jejich důležitosti nasazení tak, aby byly implementovány nejdříve výhodnější služby zvyšující bezpečnost a efektivitu dopravy. Postupně pak přechází na směřování služeb ke komfortu a asistenci řízení. [2] [3] [9] [10]

## 2.4.1. Služby Day 1

### 2.4.1.1. Bezpečnostní služby

#### Emergency brake light EBL

V2V aplikace upozorňující řidiče o prudce brzdícím vozidle před ním. Vozidlo zaznamená náhlou změnu rychlosti a DENM zprávou upozorní o této události ostatní vozidla. Řidič tak může rychleji reagovat například při špatné viditelnosti.

#### Emergency Vehicle approaching EVA

Služba EVA upozorní řidiče o blížícím se vozidle integrovaného záchranného systému (IZS) a umožní zrychlit jeho průjezd dopravní komunikací. Informace budou zasílány OBU jednotkou ve vozidle IZS. Pro větší dosah bude upozornění šířeno i RSU stanicemi pomocí DENM zpráv.

#### Slow or stationary vehicle warning SSVW

Informace o rychlost, poloze a jeho důvodu pomalé jízdy nebo zastavení vozidla bude zasílána DENM zprávou do TMC systémů. Tyto systémy vyhodnotí informaci a různými kanály (proměnné dopravní značení, HMI vozidel) zobrazí informaci řidičům v daném úseku. Tato služba je navržena pro dálnice a rychlostní silnice u kterých rozdíl rychlostí vozidel činí větší hrozbu.

#### Traffic jam ahead warning TJW

TJW služba včas informuje řidiče o blížící se dopravní kongesci. Řidičovi podává informace o jejím počátku, délce a trvání. Řidič tak může uzpůsobit své řízení a včas se na kolonu připravit nebo i změnit svou trasu. V bezprostřední blízkosti kolony jsou DENM zprávy o kongesci zasílány ITS stanicemi ve vozidlech. Po vyhodnocení CAM a DENM zpráv z vozidel v kongesci TMC systémy jsou zasílány specifickější informace vozidlům o době trvání, předpokládaném zpoždění a délce kolony do větší vzdálenosti od kongesce.

#### Roadwork warning RWW

Služba V2I varující projíždějící vozidla pomocí DENM zprávy o práci na vozovce ve směru jízdy. V dané lokalitě jsou informace zasílány vozidlům pojízdným vozíkem dopravního značení nebo pomocí RSU stanic do delší vzdálenosti z TMC center.

#### Weather Conditions WTC

Informace o počasí shromážděné senzory vozidel a meteorologickými čidly kolem komunikace jsou zasílány TMC centru, která zpět generuje DENM zprávu pro určité místo nejbližším RSU stanicím. Lze takto varovat před silným větrem, mlhou nebo náledím.

#### Other Hazardous Location Notification OHLN

OHLN varuje řidiče před nebezpečnými místy aby projížděl se zvýšenou opatrností. Může se jednat o nebezpečný směrový oblouk, špatný stav komunikace nebo častý výskyt nehod. Zprávy jsou zasílány kontinuálně RSU stanicemi v bezprostřední blízkosti nebezpečné lokace. OHLN upozorňuje i na dočasné nebezpečné faktory shromážděné pomocí senzorů vozidel jako dopravní nehody, překážky na vozovce a zvířata nebo osoby na komunikaci. Ty jsou zasílány z TMC přijíždějícím vozidlům pomocí DENM zpráv.

### 2.4.1.2. Informační služby

#### Basic Probe Vehicle Data bPVD

V2I služba sbírající zprávy CAM pro další využití správců komunikace. OBU stanice zasílají CAM zprávy o rychlosti, poloze, směru jízdy a kategorii vozidla. Tyto informace jsou následně

v TMC využity při řízení dopravy, dopravní modely a analýzy, pomáhají identifikovat dopravní kongesce.

#### Shocwave Damping SWD

Služba SWD určená pro dálnice a rychlostní komunikace napomáhá plynulosti dopravy při vytváření stop and go vln doporučením optimální rychlosti vozidlům. TMC vyhodnocuje příchozí CAM zprávy a při výskytu těchto vln a zasílá přes RSU stanice optimální rychlost k zamezení stop and go vln.

#### Signal violation/ Intersection Safety SigV

Služba zobrazuje řidičům upozornění na křižovatkách se SSZ. Informace o aktuálním signálu jsou zasílány do vozidla zprávami SPAT a MAP. Nejprve se vozidlu stojícímu na červené zobrazí upozornění o signálu Stůj. Pokud se řidič poruší červený signál OBU jednotka zašle upozornění DENM zprávou ostatním vozidlům.

#### In-vehicle signage VSGN

Služba V2I pomocí HMI poskytuje dopravní informace řidičům o situaci nastávajícího značení před ním. Značka a krátký popis se bude pomocí HMI vozidla zobrazovat pouze těm řidičům, kterým je určena. Informace jsou kontinuálně zasílány z TMC centra.

#### In-vehicle speed limits VSPD

Informace o maximálních povolených rychlostech na komunikaci jsou zasílány službou VSPD a jsou uchovávány v TMC.

#### Green Light optimal speed advice GLOSA

Služba GLOSA poskytuje doporučení o optimálních rychlosti, kterou by se řidič měl dodržovat k plynulému průjezdu zeleného signálu na dalším SSZ. Informace jsou zasílány pomocí SPAT, MAP a CAM zpráv z RSU stanic poblíž křižovatky s SSZ.

#### Traffic signal priority for designated vehicles TSP

Služba poskytuje preferenci vozidlům MHD na křižovatkách se SSZ. Vozidlo MHD vysílací CAM zprávy bude detekováno RSU stanicí při přiblížení se ke křižovatce a následně bude optimalizován signální plán křižovatky.

### 2.4.2. Služby Day 1.5

Služby Day 1.5 jsou zaměřené na bezpečnost provozu, řízení dopravy a zvýšení komfortu jízdy. Implementace těchto služeb se předpokládá až s vyšší penetrací trhu C-ITS systémů.

#### Information on fuelling & charging stations for alternative fuel vehicles iFuel

Služba vysílá informace o nabíjecí a čerpací stanici na komunikaci. Umožňuje řidičům naplánovat trasu i podle potřeby pohonných hmot. U vozidel s alternativním pohonem umožňuje rezervaci nabíjecího místa.

#### Vulnerable Road user protection VRU

Bezpečnostní aplikace VRU se zaměřuje na zranitelné účastníky provozu jako cyklisty a chodce. Služba upozorní řidiče při přítomnosti zranitelného účastníka provozu na komunikaci. Takovýto účastník může být identifikován komunikací mezi smartphonem nebo C-ITS stanicí instalovanou na jízdním kole.

#### On street parking information & management Pinfo

Služba Pinfo poskytuje vozidlům informace o parkování v městských částí. Napomáhá tak snížit sekundární dopravu a čas strávený hledáním míst vhodných k parkování na městských komunikacích.

#### Off street parking information & management PMang

Služba informující řidiče o parkování na samostatných parkovištích.

#### Park & Ride information P&Ride

P&Ride pomůže řidičovi rozhodnout o nejvhodnějším možném parkování.

#### Traffic information & Smart routing SmartR

SmartR poskytuje informace o dopravním proudu k lepšímu řízení dopravy. Umožňuje optimalizaci tras podle dopravního proudu, rychlostních limitů a semaforech.

#### Zone access Control for Urban Areas ZACM

ZACM umožňuje řízení dopravy dopravně řídicím centřům TMC do specifických zón například při uzavírkách mostu nebo tunelů.

#### Loading Zone management LZM

Pomocí LZM služby mohou organizace zabývající se přepravou nákladů rezervovat parkovací místa pro nákladní vozidla.

#### Cooperative Collision Risk Warning CCRW

CCRW snižuje riziko kolize při předjíždění nebo zařazování se do jiného pruhu.

#### Motocycle approaching indication MAA

Služba snižující riziko kolize motocyklů a ostatních vozidel.

#### Wrong Way driving

WWD služba varuje řidiče při vjezdu do protisměru. WWD upozorní i ostatní řidiče o této hrozbě.

### 2.4.3. Další služby

#### Railway Level Crossing (RLX)

Služba RLX upozorní vozidla na blížící se přejezd a případně na projíždějící vlak. Pro tento typ služby zatím nebyl specifikován vhodný typ zprávy. Služba je nasazena v projektu C-Roads CZ. [3]

#### Multimodal Cargo Transport Optimization (MCTO)

Služba MCTO poskytuje dopravním a logistickým společnostem plánování jízd nákladních mobilů a služby spojené s parkováním. Služba je vyvíjena ve spolupráci projektů C-Roads a InterCor. [11]



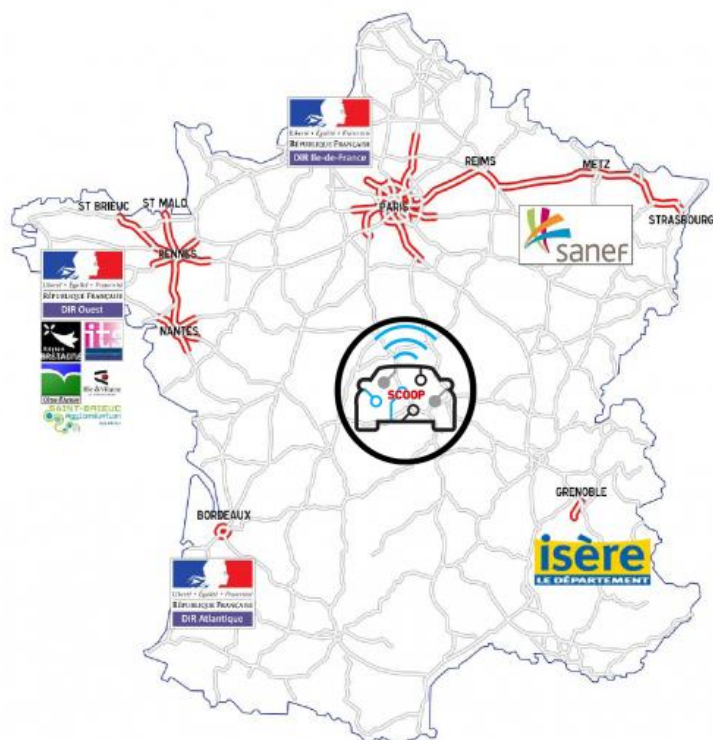
## 3. Projekty

### 3.1. Scoop

Scoop je projekt spolufinancovaný evropskou unií momentálně již v druhé fázi vývoje. První fáze projektu probíhala v letech 2014–2015 a zaměřovala se na definici priorit, služeb a standardů, které budou v projektu využívány. Druhá fáze navazovala rokem 2016–2018 a cílil na reálné nasazení a testování technologií C-ITS. Za úkol si projekt vzal zvýšení bezpečnosti a zlepšení řízení dopravy s pomocí C-ITS technologií na dopravních komunikacích ve Francii. Jedná se o jeden z největších testovacích projektů zahrnující 3000 vozidel vybavených C-ITS technologiemi na 2000 km Francouzských silnic. Na projektu SCOOOP spolupracuje 18 partnerů (Francouzské ministerstvo ekologie, Ministerstvo udržitelného rozvoje a energie a Ministerstvo koordinace) spolu s dalšími evropskými projekty (C-ITS Corridor, C-Roads, InterCor). Projekt je dále aktivní v C-ITS platformě Evropské Komise a podílí na vývoji ITS G5 IEEE 802.11p DSRC protokolu. [12] [13]

#### 3.1.1. Pilotní místa

Projekt pokrývá 5 pilotních míst ve Francii Île-de-France a její příměstskou síť okolo Paříže spolu s druhým a třetím pařížským kruhem, koridor Est mezi Paříží a Štrasburkem (A6), západ Francie spojující dvě středně velká města Nantes a Rennes a Boreaux a jeho okruh jako rozšíření projektu COMPASS 4D. Jako poslední projekt pokrývá silniční síť Isère. [14]



Obrázek 1 Pilotní místa projektu SCOOOP (zdroj: [14])

### 3.1.2. Fáze projektu

V první fázi projektu bylo nutné definovat priority a služby a následně rozhodnout o použití norem a standardů. SCOOP využívá standardy ETSI ITS – G5 pro komunikace RSU a OBU jednotek. Pro komunikaci mezi dopravně řídicími centry a správci služeb bude využíváno standardů DATEX II. Jako hlavní prioritu projektu Scoop identifikoval zvýšení bezpečnost dopravy na vytížených komunikacích ve Francii. Od toho se dále odvíjel výběr služeb, které bude na komunikacích implementovat. Tři hlavní služby jsou implementovány v rámci celého projektu IVI a RWW spolu s PVD. Další nasazení služeb záleží na místních podmínkách a potřebách. S větší penetrací trhu se poskytované služby dále plánují rozšiřovat.

Hlavní úlohou druhé fáze projektu je testování nasazení C-ITS na území Francie i přes hranice se sousedními státy. Důležitá součást druhé fáze je příprava manufaktur a nasazení C-ITS technologií do výroby. První vozidla Renault Mégane vybavené OBU jednotkami a připravené k využívání C-ITS služeb jsou v prodeji již od začátku roku 2017. Scoop také nabízí od roku 2017 implementaci do vozů Citroen C4 a DS4 s navigací Scoop. V projektu probíhá vývoj a testování hybridní komunikace 3G-4G/ITS a architektury ITS-G5 802.11p, jejich technické aspekty a komponenty. [15] [16] [17]

### 3.1.3. Testování

První testy byly prováděny v laboratorním prostředí a následně v reálných podmínkách na komunikacích pěti pilotních regionů (Greater Paris, Brittany, Bordeaux, Isère a A4 dálnice spojující Paříž a Strasbourg) a to 18. a 22. června 2016. Jednalo se o velký imperoperabilní test v reálných podmínkách všech scénářů související se signalizací nebezpečných situací na silnicích a práce na silnici. Scoop testoval i provoz technologie v reálných podmínkách na hranicích Francie, Rakouska, Španělska a Portugalska. Prototypy vozidel byly vyvinuty společností Renault a automobilovým koncernem PSA. Společnost Sanef provádí studie, specifikace a vývoj monitorování v pilotních místech projektu a 400 km dálnice A4 mezi Paříží a Štrasburkem. [17] [18] [19]

### 3.1.4. Zabezpečení

Projekt SCOOP využívá zabezpečení pomocí PKI (private key infrastructure). PKI metodou zajišťují bezpečnost před neautorizovanými uživateli a napadnutím systému jako část INTERCOR projektu. PKI systém spravuje Certifikační autorita, která přiděluje certifikační veřejné klíče a ověřuje pravdivost údajů, které jsou v klíči uvedeny. [4] [20]

### 3.1.5. Technologie

Projekt implementuje Hybridní technologii kombinaci ITS G5 a Celulární sítě operátorů. ITS G5 využívá technologie Wi-Fi IEEE 802.11p ve frekvenčním pásmu 5,9GHZ instalované do OBU jednotek i RSU jednotek. RSU jednotky budou nasazeny na důležité komunikace, kde budou zajišťovat rychlou a bezpečnou komunikaci vozidel a infrastruktury. Na méně vytížených komunikacích a jako technologická redundance na hlavních tazích bude zajištěna komunikace s OBU jednotkami celulárními sítěmi mobilních operátorů. Vozidla budou přijímat a posílat krátké CAM zprávy z infrastruktury a dalších vozidel o informacích souvisejících s provozem, které jsou popsány v scénářích Day 1 a Day 1,5. Tyto informace budou také přeposlány Managementu řízení dopravy se zabezpečením veřejnými klíči pomocí PKI serverů. [21] [22] [23]

## 3.2. Nordic Way

Nordic Way je pilotní projekt čtyř zemí Norska, Švédska, Finska a Dánska spolufinancovaný evropskou unií zaměřující se na vývoj a použití C-ITS služeb pro zvýšení bezpečnosti, efektivnosti a komfortu dopravy v severských podmínkách. Projekt je rozdělen do dvou fází. Nordic Way, který probíhal mezi roky 2015–2017 a pokračování Nordic Way2 2017-2020. Jako jeden z prvních projektů využívající celulární komunikaci (3G a LTE/4G) v C-ITS bez zásahu do infrastruktury nabízí projekt roaming mezi různými módy dopravy a mobilními sítěmi napříč Evropou. Zaměřuje se také na vývoj ITS Direktivy a je založený na standardech DATEX II, AMQP a TLS. [24] [25] [26] [27]

### 3.2.1. Služby

Jelikož je latence pro celulární sítě větší než pro ITS-G5, jsou služby Nordic Way zaměřené hlavně na poskytování informací, které nejsou časově náročné. Projekt počítá s postupným vývojem celulárních sítí, kdy by se latence měla drasticky snížit (u technologie 5G až na 5 ms end to end uživatel). Pro bezpečnostní služby vyžadující rychlou odezvu bude na některých komunikacích využívána technologie ITS G5. V rámci projektu Nordic Way jsou nasazovány služby WTC, OHLN a bPVD. [26]

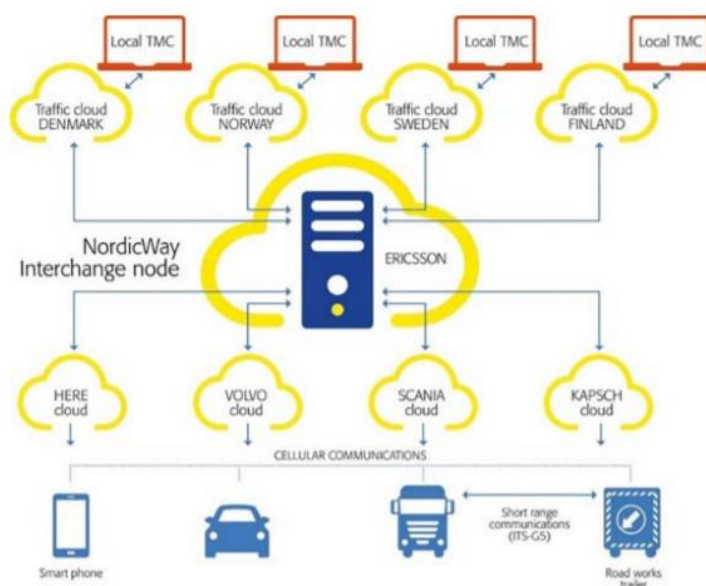
### 3.2.2. Technické provedení

Hlavním cílem Nordic Way bylo posoudit, jak moc budou stávající celulární technologie využitelné v C-ITS systémech bez vysokých investic do infrastruktury. Nordic Way podporuje hybridní řešení obou technologií ITS-G5 (ETSI C-ITS) i celulárních komunikací. Projekt však přistupuje na rozdíl od jiných na celulární komunikaci jako hlavní řešení s vysokým pokrytím a na ITS-G5 jako doplňující jí v lokálních hot spotech. OBU jednotka bude vybavena hybridní technologií s cílem dosažení požadované imperoperabilní služby napříč geografickými hranicemi se sousedními státy. [26]

Nordic Way funguje na základě výměny informací pomocí Cloudových služeb, jak už národních, tak patřících výrobcům automobilů, providerů služeb nebo telekomunikačním službám. Data jsou přenášena s pomocí standardů DATEX II a AMQP řadícím protokolem se zabezpečením TLS.

Důležitou komponentou architektury jsou výměnné uzly, které přijímají zprávy od různých zdrojů a směřují je dále k požadovanému cíli. Zprávy jsou tříděny podle různých kritérií (typu, lokace události, na kterou upozorňuje). Výměnný uzel v sobě obsahuje i funkcionalitu geografického vyhledávání lokace podle informací ve zprávě. Při odchodu zpráv z uzlu a jejich přenosu mezi cloudy jsou zprávy řazeny protokolem AMQP.

Nordic Way přístup staví na konceptu architektury ACEA, díky které mají poskytovatelé služeb možnost přístupu k datům z vozidel přímo ze serverů výrobců vozidel a neutrálních serverů. Koncový uživatel takto komunikuje pouze s jedním aktorem, který se stará o bezpečnost a soukromí standardizovanými nástroji. [26] [27]



Obrázek 2 Komunikační architektura projektu Nordic Way (zdroj: [24])

### 3.2.3. Implementace

#### 3.2.3.1. Finsko

Finský pilotní projekt Nordic Way Coop demonstruje využití 3G a 4G/LTE V2I komunikací u zpráv kritických pro bezpečnost. Informace zde budou zprostředkovány pomocí mobilní aplikace HERE, která zpracovává přijatá data přes HERE cloud a upozorní projíždějící vozidla na nebezpečné události na silnici. Informace z aplikace budou zasílány přes ITS servery dále do dopravně řídicího centra (TMC) pro další využití.

Pilotní část projektu ve Finsku zahrnuje dálnice mezi Helsinkami a Turku (E18), městský okruh I. a III. v Helsinkách, E12 mezi Helsinkami a Tampere a městský okruh v Tampere (spolu s tunelem Rantatuneli). Dále dálnici E78 mezi Helsinkami a Lahti a silnice 51 mezi Helsinkami a Kirkkonummi. Během května 2016 – dubna 2017 proběhlo veřejné testování C-ITS služeb, kterého se zúčastnilo 1000 uživatelů využívající mobilní aplikaci. Testující byli velmi spokojeni se službou varování o dopravní nehodě a vzdáleností, na kterou tato služba informaci poskytuje. [27]

#### 3.2.3.2. *Norsko*

Testování v Norsku bylo zaměřeno na postoje správců komunikace a orgánů silnic k službám zimní údržby silnic. Testování proběhlo s vozidly Volvo se senzory odhadu tření pneumatiky s vozovkou, které odesílaly informace o kluzké vozovce dalším vozidlům i správcům sítě. Správci komunikace budou takto automobily využívat jako detekci míst pro nutnou údržbu komunikace. Norsko dále vytvořilo aplikaci pro služby RWW a varování před nebezpečnými oblastmi, kterou budou informace poskytovány. Pilotní projekt zde pokrývá dálnici E6 z Osla na hranicích Švédska se spojením s Švédskou částí a propojení důležitého koridoru v Norsku s Evropskou dálniční sítí. [27]

#### 3.2.3.3. *Švédsko*

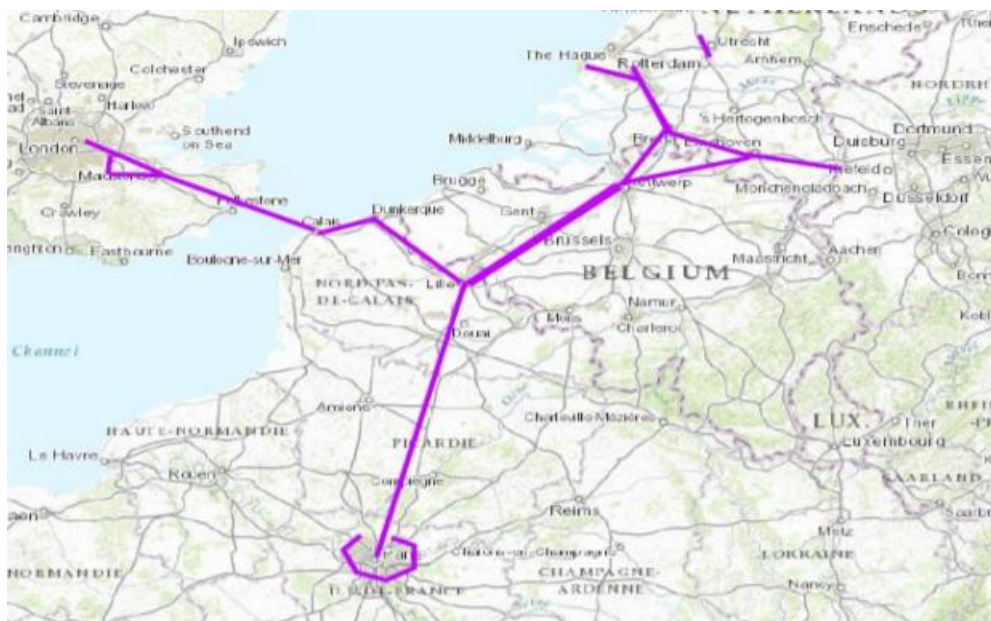
Švédská část projektu byla zaměřena na komunikaci mezi vozidly, infrastrukturou a cloudem využívající technologie celulárních sítí a ITS-G5 ve spolupráci s Volvo, Scania a Kapsch Trafficom. Testování hodnotilo základní problémy při vytváření výměnných uzlů pro větší trh uživatelů. Pro zvýšení potencionálního úspěchu je potřeba povolit přístup k širokému využití dat a propojení tak dalších poskytovatelů dat a služeb. K zavedení výměnných uzlů je nutné partnerství veřejných a soukromých autorit a vyžadováno větší pokrytí výměnných uzlů pro vyhovění potřeb všem zainteresovaným stranám. Testování proběhlo během rutinních jízd ve městech Göteborg a Sdertalje během listopadu 2016 – září 2017 a bylo zaznamenáno více jak 7000 reportovaných událostí. 10. května 2017 se testovala imperoperabilita služeb RWW a OHLN na hranicích Švédska a Norska. [27]

#### 3.2.3.4. *Dánsko*

Hlavním cílem v Dánsku bylo vyvinout měření kvality sdílení a výměny real-time informací zpráv spojené s bezpečností dopravy mezi výměnnými uzly a Dánským dopravně řídicím centrem s pomocí protokolu DATEX II. Se zvyšujícím se objemem dat se ukázalo nelineární snížení výkonu v Dánských Uzlech. Výkonnost však byla v požadovaných úrovních dopravně řídicího centra. Byla identifikována potřeba pro další vývoj mechanismů výměny informací. [27]

### 3.3. InterCor

InterCor je evropský projekt typu CEF (Connecting Europe Facility) probíhající mezi roky 2016–2019. Jeho cílem je propojení projektů SCOOP@F z Francie, Nizozemské části C-ITS Corridor, rozšíření Britské a Belgické C-ITS iniciativy a propojení k C-Roads platformě. Projekt se také zabývá rozšířením specifikace ITS-G5, hybridní komunikace a bezpečnostních protokolů PKI. Projekt vede i podpornou činnost pro pilotní projekty, napomáhá s harmonizací jejich metod a výsledků technického vyhodnocení. [28] [29]



Obrázek 3 Propojení pilotních míst projektu InterCor zdroj [30]

#### 3.3.1. Pilotní místa

##### 3.3.1.1. Belgie

V Belgii projekt plánuje vybavení hlavně v oblast Vlámška (Antverpy, Beringen) technologiemi C-ITS pro podporu aplikací RWW, IVI a dohled nad tunelech Tijsman a Kennedy (Antverpy) při převozu nebezpečných látek. Na Belgické části projektu je plánované nasazení 50 vozidel s OBU jednotkami pro testování a 25 RSU jednotek vybavených ITS G5 již na začátku října 2018. [28]

### 3.3.1.2. Francie

Ve Francii projekt plánuje rozšířit SCOOP@F z Paříže na sever a propojit ho na hranicích s Belgickou částí. To zahrnuje dálnici A1 a A22 mezi Lille a Belgickými hranicemi. Region na severu Francie mezi Dunkerk (E40/A16 dálnice), Calais a Boulogne-sur-mer přístavu a Evropský tunel poblíže Calais. Dále propojení sekce La Francilienne pařížského okruhu. Jedním z hlavních úkolů je propojení vlastních platforem InterCor a SCOOP@F. [28]



Obrázek 4 Pilotní část projektu InterCor ve Francii (zdroj [28])

### 3.3.1.3. Nizozemí

V Nizozemí pokrývá nasazení 268 km a cílí na zpřístupnění Day 1 a Day 1,5 aplikací. Projekt propojuje Rotterdam a Belgické hranice (dálnice A15 – A16), část belgických hranic – Eindhoven – Venlo (dálnice A67). K propojení těchto TEN-T sítí je zde část Breda – Eindhoven (A58, A2). Na dálnici A2 poblíž Utrecht okolo Leidsche Rijn Tunelu bude zpřístupněna služba, která poskytuje upozornění o kongesci před tunelem při uzavření jízdního pruhu v tunelu. Řidiči tak mohou využít sjezdu a jet tak rychlejší cestou. [28]



Obrázek 5 Pilotní část projektu v Nizozemí (zdroj [28])

Aplikace Day 1, které nasazené v Nizozemí jsou RWW, IVS a GLOSA budou řešeny pomocí hybridní technologií a PVD pomocí ITS-G5. Služba GLOSA se plánuje okolo Eindhovenu, Helmondu a u aukčního trhu s rostlinami FloraHolland. Jako nová bude v Nizozemí implementována logistická aplikace (MCTO) pro větší přesnost odhadu časů příjezdů nákladních automobilů a bude prováděna celulární technologií. Aplikace bude nákladním automobilům v docích poskytovat i data o přístupném času pro naložení/vyložení. [28]

#### 3.3.1.4. Velká Británie

Na straně Velké Británie bude zapojen A2M2 koridor kombinací městských tunelů a dálnic pro propojení Londýna se zbytkem Evropy. Koridor je rozdělen na několik fází, které postupně spojují Dover a Londýn technologií ITS – G5. Implementovány budou služby Day 1 GLOSA, IVS a RWW. [28]

#### 3.3.2. TESTFEST

INTERCOR v průběhu let pořádal zatím 4 testovací události TESTFEST postupně zaměřené na různé technologie a části implementovaného systému C-ITS. První 3.–6. června 2017 se zabýval ITS G5 v Nizozemí. Testoval nasazení Day 1 služeb v reálném provozu na dálnici A16. Dále byla testována Hybridní komunikace (RWW, IVS, PVD, GLOSA – Nizozemí a UK 2017), PKI (Public Key infrastructure 2018 Francie) a C-ITS služby pro logistiku a management dopravy (služba parkování nákladních vozidel, logistika nákladu a v tunelech 2018). [31]

#### 3.3.3. Rozšíření specifikací pro ITS-G5

INTERCOR identifikoval potřebu upřesnit a rozšířit specifikace pro ITS-G5 za účelem Harmonizace dokumentů k udržení interoperability. Definuje strukturu zpráv DENM, CAM, IVI, SPAT a MAP a jejich použití v Day 1 aplikacích. Pro upozornění o pracích na silnici (RWW) bylo projektem stanoveno využití DENM i IVI zpráv. Pomocí DENM zpráv budou zasílány hlavní informace (ID zprávy a stanice, čas detekování, druh události ...) a podle IVI standardu



informace podpůrné (verze protokolu, časové razítko, platnost zprávy). Glosa bude využívat struktury SPAT a MAP. B-PVD jako průběžná informace o stavu vozidla bude využívat CAM zprávy. Výsledky rozšíření těchto specifikací budou implementovány a podporovány ve všech částech projektu INTERCOR. [32]

### 3.3.4. Rozšíření specifikací pro Hybridní komunikaci

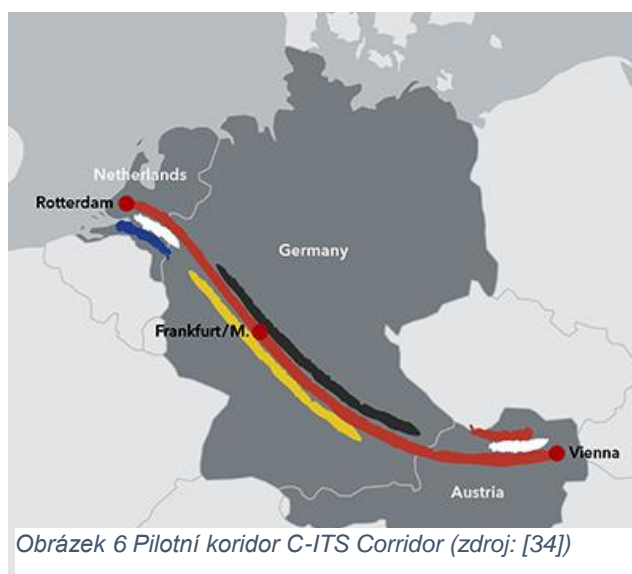
Při zavedení hybridní komunikace bylo nutné rozhodnout o použití některých standardů. InterCor tak provedl na základě jiných projektů Evropské Unie, aby byla dodržena interoperabilita v C-ITS systémech napříč hranicemi. Projekt rozdělil systém Hybridní komunikaci do třech rozhraní Interface 1 (IF1), které zahrnuje ITS-G5 komunikaci mezi OBU a RSU jednotkami zabezpečené PKI metodou, IF2 je rozhraní mezi TCM systémy pro podporu výměny informací s pomocí celulární komunikace. IF3 zprostředkovává dále informace mezi TMC a konečným uživatelem celulární sítí. Pomocí IF1 poskytuje INTERCOR služby RWW. IF2 poskytuje služby RWW, IVS (in-vehicle Signage) a GLOSA s pomocí řadícího protokolu AMQP. [33]

## 3.4. C-ITS Corridor

Německo, Nizozemí a Rakouskou ve spolupráci s operátory komunikace a automobilovým průmyslem odstartovali v červnu 2013 projekt C-ITS Corridor, který má za cíl nasazení C-ITS systému na hlavním koridor procházejícím těmito státy. Motivacemi tohoto projektu jsou zvýšení bezpečnosti, efektivity dopravy a snížení ekologické zátěži dopravy. Dále také zvýšit komfort dopravy a položit základy pro budoucí nasazení autonomních vozidel. [34]

### 3.4.1. Pilotní místa

Dálnice, na které se plánuje nasazení C-ITS služeb začíná v Nizozemí Rotterdamem a vede přes Eindhoven v Německu pokračuje přes Frankfurt a končí ve Vídni. Za tyto implementace



je zodpovědná instituce Spolkové ministerstvo dopravy a digitální infrastruktury (The Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure BMVI) v Německu. Operátoři dálnic federálního státu Hasse zodpovídají za počáteční vývoj a testování nových technologií. Hessen Mobil vyvíjí prototypy přívěsů RWW služby a rozšiřuje dopravně kontrolní centrum. V Rakousku je projekt vedený společností ASFINAG Rakouským operátorem dálnic a rychlostních silnic, který testuje v laboratořích ECo-AT spolehlivost technologií. [34]

### 3.4.2. Poskytované služby

Jako začátek plánuje projekt plošné nasazení dvou služeb. Varování před prací na silnici (RWW) a poskytování dat pro zlepšení managementu dopravy (PVD). Tyto služby projekt plánuje postupně rozšiřovat o další aplikace Day 1 a Day 1.5 například o varování před nebezpečnými situacemi a prostředím (CWR) nebo informace o rychlostních omezeních ve vozidle(VSPD). [35]

### 3.4.3. Technologický přístup

Bude využívána hybridní technologie celulární sítě (3G, 4G) a C-ITS G5 ke zvýšení přesnosti a zajištění informací v reálném čase s nejnižším zpoždění a latencí. Informace budou poskytnuté také na cloud operátora silnic pro dopravní informace přes cloudové služby. Projekt si tímto slibuje rychlou penetraci trhu a následný větší zájem o technologie. [34]

## 3.5. Connected Vehicle

Connected Vehicle je pilotní C-ITS program Intelligent Transport System Joint Program Office (ITS JPO). ITS JPO je součástí Office of Assistance Secretary for Research and Technology (OST-R) a jedním z oddělení Federálního kabinetu USDOT (Department of Transportation) Americké vlády. USDOT odstartoval 1. října 2016 tři pilotní projekty v New York City, Wyomingu a Tampě za účelem vývoje, testování a nasazení služeb C-ITS pod názvem Connected Vehicle (CV). USDOT si od těchto projektů slibuje zvýšení bezpečnosti, zlepšení mobility obyvatelstva a snížení dopadů dopravy na životní prostředí.

Projekty Connected Vehicle mají tři souběžné fáze. První fáze začala již v říjnu 2015 a zaměřovala se na vývoj technologií a definici standardů. Cílem momentálně probíhající druhé fáze projektů je design a implementace již vybraných technologií. Ve třetí fázi projekt povede demonstrace nabízených aplikací veřejnosti. [36] [37]

### 3.5.1. Pilotní místa

#### 3.5.1.1. New York City

New York plánuje nasazení C-ITS technologií pro zvýšení bezpečnosti účastníků dopravy a koresponduje tak s konceptem Vision Zero, který byl přijat v roce 2014. V New Yorku byla identifikována kritická místa s vysokými počty dopravních nehod a hlavní problémy, které je způsobují. Tři pilotní místa jsou rozmístěna v síti komunikací na Manhattanu, Manhattanské FDR komunikaci a Komunikaci Flatbush Ave od Grand Army Plaza po Tillary Street. [38]



Obrázek 7 Pilotní místa projektu Connected Vehicle v New Yorku (zdroj: [39])

#### 3.5.1.1.1. Technologie

Projekt plánuje nasazení technologie DSRC pro komunikaci V2V a V2I. Touto technologií budou komunikovat ASD stanice (After market Safety Device) v automobilech, které ověřují pravosti zpráv a zobrazují je řidičovi. Projekt instaluje na vybraných komunikacích 12 700 jednotek ASTC (Advanced Solid-state Traffic Controllers) pro řízení dopravy, 353 RSU jednotek pro komunikaci V2I a 8000 OBU komunikačních jednotek pro vozidla Taxi, nákladní automobily, vozidla zásilkových společností, autobusy a vozidla správců silnice. [39]

#### 3.5.1.1.2. Aplikace implementované v New Yorku

Aplikace jsou rozděleny do V2V a V2I zabývající se bezpečností a V2I aplikací spojené s chodci. Data shromážděné z vozidel budou dále zasílány do TCM a zpracovávány pro zlepšení odhadu délky front a časových signálů, snížení provozních nákladů a využití v Manhattanském dopravně simulačním modelu pro lepší analýzy. Mezi V2V aplikace patří Varování před nehodou, varování slepého místa, varování při změně pruhu a při předjíždění autobusu na zastávce. V2V aplikace v projektu jsou upozornění při překročení rychlosti a rychlostní křivky, upozornění před prací na silnici a při nedodržení červeného signálu. Aplikace pro pěší zahrnuje upozornění před přecházejícími chodci na světelných přechodech a asistence zrakově nebo sluchově postižených chodců na přechodech. [40]

### 3.5.1.2. Tampa

Projekt instaluje RSU jednotky v regionu Channel District a Downtown ve městě Tampa. Instalace jednotek v tomto území bude mít širší dopad na dálnici Selmon podél residenční komunity Brandon a základny Macdill Air Force. [41]



Obrázek 8 Pilotní místo projektu Connected Vehicle v Tampě (zdroj: [41])

#### 3.5.1.2.1. Technologie

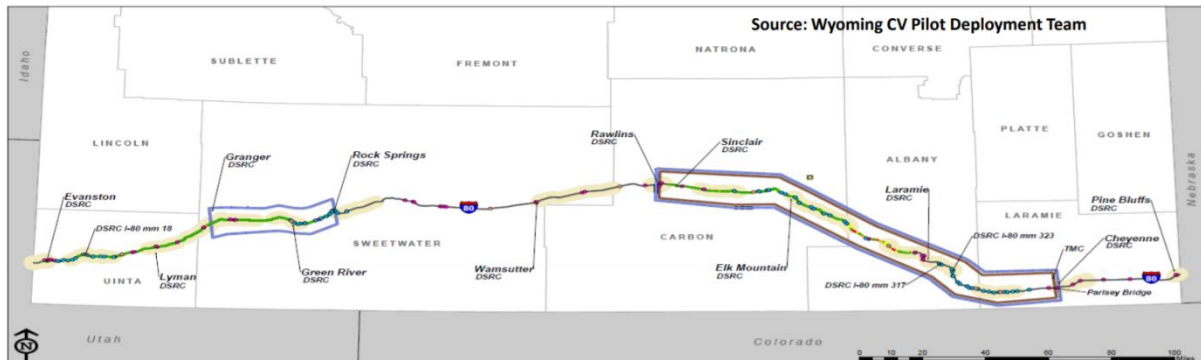
Pilotní projekt v Tampě plánuje nasazení DSRC technologií 40 RSU jednotek v ulicích města, 1620 OBU jednotek do individuálních automobilů, autobusů a trolejí a 500 aplikací pro uživatele smartphone na přechodech pro chodce. Automobilům budou instalovány speciální zpětné zrcátka zobrazující bezpečnostní zprávy. Individuální řidičům projekt nabízí za instalaci a testování na pilotních místech 30% slevu na mýtném. [42] [41]

#### 3.5.1.2.2. Aplikace

Aplikace jsou zaměřené více na asistenci řízení a potřeby uživatelů v automobilu jako varovné signály před nouzovým brzděním vozidla, blížící se kolize a snížení rychlosti. Dále jsou zde služby pro přechody pro chodce varující řidiče před možnou srážkou. Chodci budou zaznamenáváni pomocí LiDARU instalovaných na přechodech pro chodce. Pro vozidla budou vyhodnocovány rizika srážek s chodci, které budou zasílány automobilům přes DSRC RSU jednotky. Aplikace pro zpřístupnění zeleného signálu pro chodce budou zprostředkovány aplikací na smartphone aktivující zelený signál na vybraných přechodech pro chodce. Dále projekt zavádí aplikaci o upozornění před vjezdu na komunikaci špatným směrem a aplikace vyhodnocující data přijímaná z vozidel k optimalizaci dopravního managementu nebo inteligentního časování signálu na křižovatkách. [41] [43]

### 3.5.1.3. Wyoming

Stát Wyoming hraje významnou roli pro převoz zboží mezi USA, Kanadou a Mexikem. Koridor Interstate 80 (I-80) procházející celými spojenými státy od Tichého oceánu po Atlantský oceán je hlavním koridorem pro přepravu nákladu z východu na západ. Tímto koridorem se převezve více než 32 milionů tun nákladu ročně a nákladní doprava zde představuje až 55 % celkové dopravy. Podle průzkumů je v zimních obdobích na koridoru I-80 až 5x vyšší počty zapříčiněno vysokým rychlostem nárazového větru, což vedlo k uzavření silnice během posledních 4 let při 200 nehod nákladních automobilů. [44]



Obrázek 9 Pilotní místa v projektu Connected Vehicle ve Wyomingu (zdroj: [44])

#### 3.5.1.3.1. Technologie

Technologie DSRC budou instalovány na 402 mílech I-80 koridoru procházející státem Wyoming ze západu na východ. K zajištění vysokého pokrytí služeb bude využívána i celulární technologii pro komunikaci mezi vozidly a TCM managementu. Na koridoru projekt připravuje 75 RSU jednotek a 400 OBU jednotek vybaví vozidla správců komunikace a nákladní vozidel komerční sféry. V zimních sezónách nasadí navíc dalších 100 OBU jednotek do vozidel správců komunikace a záchranné služby. Data o stavu vozovky budou z vozidel zasílaná pomocí zpráv BSM a přeposílána na Dopravně manažerské centrum, kde budou dále poskytována i dalším aplikacím. [45]

#### 3.5.1.3.2. Aplikace

V projektu budou zařazeny aplikace předcházející kolizím jako varování před prací na silnici, varování před blížící se kolizí, oznámení v případě tísně a informační aplikace pro situační upozornění (snížení maximální rychlosti, varování o počasí, nehoda na cestě). Cílem je i vytvořit platformu pro budoucí využití dalších služeb (omezení parkování a vjezdu nákladních automobilů, varování překročení křivky rychlosti). [44]

#### 3.5.1.4. Quality control

Projekt TAMPA implementuje modul Pikalert datový překladač data, který se stará o kontrolu kvality dat. Modul s pomocí algoritmů poskytuje základní kontrolu kvality (je vozidlo umístěno na zemi v dosažitelné vzdálenosti 0–24 hodin, předpokládané hodnoty rychlost vozidla pod 200 Mph). Data hodnotí od 0 do 1 jako maximální spolehlivost dat a identifikuje pravidla pro

splnění minimální přijaté kvality. Sbírá data z různých zdrojů a kvalitativně zkontrolované je předává dále. [46]

#### 3.5.1.5. *Bezpečnost*

Projekty CV nebudou zasílat nebo uchovávat žádné informace, které by vedly k identifikaci osoby PII (Personally Identifiable Information) nebo by mohly vést k jednoznačnému určení řidiče podle identifikace vozidla. Chrání tak osobní informace.

Bezpečnost v projektu Tamy a Wyomingu je řešena pomocí The Security Credential Management System (SCMS) a Proof-Of-Concept(POC). Spolu zabezpečují komunikaci a chrání integritu, autenticitu zpráv V2V, V2I a komunikaci RSU stanic a TMC. Autorizovaní účastníci využívají digitální certifikáty vydané centrální autoritou SCMS POC. Tyto certifikáty neobsahují žádné osobní údaje k identifikaci vozidla nebo majitele. [47]

#### 3.5.1.6. *PET (Privacy Enhancement Technologies)*

New York přistupuje k bezpečnosti pomocí ASD (Aftermarket Safety Device) modulu, který bude anonymizovat ID vozidel k znemožnění sledování tras vozidel. Data z vozidla pak budou uchovávány pro další využití bez přímé spojitosti na konkrétní vozidla či osoby. Autenticita dat bude ověřována TMC autoritou. [48]

## 3.6. C-Roads

C-Roads je projekt spolufinancovaný Evropskou unií, který začal v říjnu 2016. Spolu tak 12 států a Evropská komise odstartovali jeden z největších projektů zabývajících se nasazením C-ITS technologií na území Evropy. C-Roads si vzal za úkol vytvořit jednotnou platformu pro vývoj a nasazení C-ITS služeb v Evropě. Na vývoji se podílí jednotlivé projekty spolu s Working Groups. Platforma C-Roads popisuje technické a funkční požadavky, které jsou implementovány v pilotních projektech C-Roads. Jsou zde popsány specifikace, testy a validace technických řešení k detekci různých problémů a určení jejich řešení.

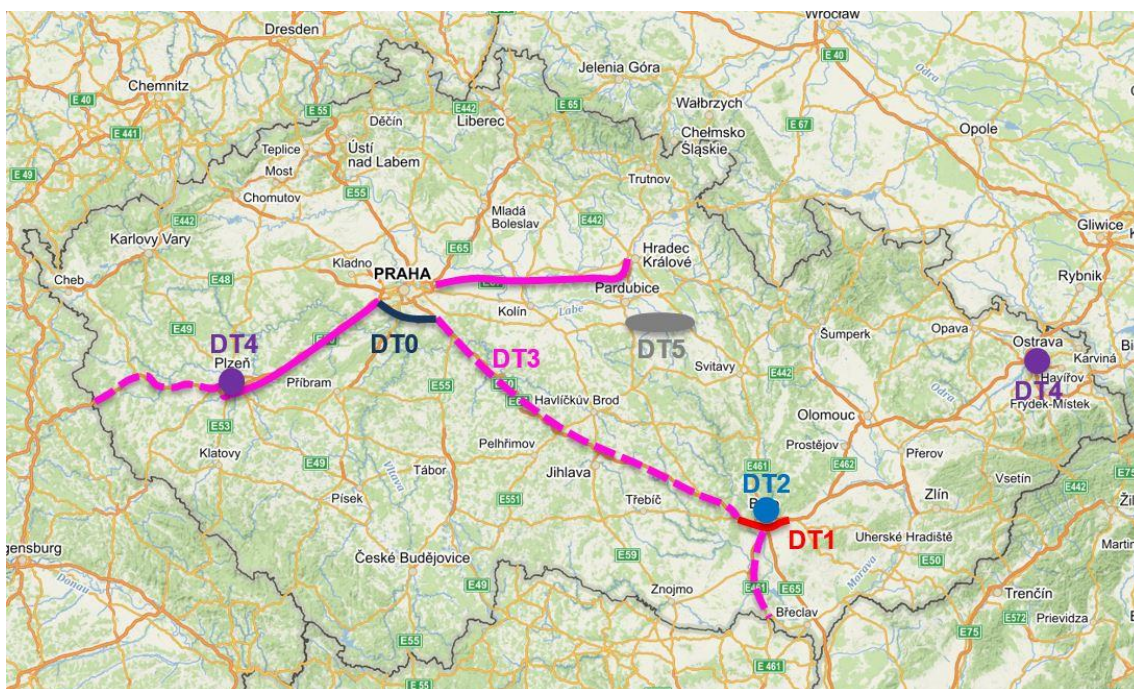
Jako minimální balík služeb pro všechny pilotní místa C-Roads vybral služby RWW, IVS, OHLN a GLOSA. Pilotní místa dále podle potřeby přidávají další služby z balíku DAY 1 služeb C-ITS podle lokálních potřeb. C-Roads využívá hybridní komunikaci propojení ETSI ITS-G5 a existující celulární sítě. Zprovoznění C-ITS služeb C-Roads plánuje v roce 2020. [51]



Obrázek 10 Pilotní projekty C-Road (zdroj: [49])

### 3.6.1. Česká Republika

V České Republice se bude implementovat a testovat hybridní komunikace na 6 pilotních částích DT (deployment & Test) rozdělených geograficky a podle pořadí nasazení. Jako první vybral projekt část vnějšího Pražského okruhu (D0) mezi úseky DT3 a DT4. Na tomto úseku již existuje C-ITS systém, který zde implementoval projekt MIRUD. DT1 a DT2 plánuje nasazení RSU stanic v Brně podél silniční radiály I. třídy do centra města a na 28 km úseku D1 v okolí Brna. Na dálnici D1 u Brna (DT1) budou nasazeny služby RWW, PVD, IVI a SSVW, v Brně (DT2) zase PVD, EVA, SigV a WTC. Největší část DT3 C-Roads CZ plánuje nasazení RSU jednotek na celkové délce 360 Km dálnic v České Republice. Mezi vybrané komunikace patří dálnice mezi Prahou a Brnem (D1), Prahou a Hradcem Králové (D11), Prahou a Rozvadovem (D5) a na dálnice mezi Brnem a Rakouskými hranicemi (D52). Na této části budou nasazeny služby RWW, PVD, IVI, SSVW, EVA a TJW. Dopravní podniky Ostrava a Plzeň (DT4) plánují testování zaměřené na preferenci městské hromadnou dopravu. Jako novou službu testuje C-Roads CZ upozornění před projíždějícím vlakem na dvou železničních kříženích (se závorou i bez závorou) v Pardubickém kraji (DT5) trať Heřmanův Městec – Moravany. Zde je nutná nová definice pro RLX službu a rozhodnutí o využití zpráv DENM nebo IVI zpráv. Část DT6 testuje imperoperabilitu České, Německé a Rakouské části projektu C-Roads na úsecích komunikace D5 – A6 a I/57 – E59. [3]



Obrázek 11 Pilotní místa projektu C-Roads CZ (zdroj: [50])

### 3.6.1.1. Technologie

C-Roads CZ plánuje jako základ nasazení hybridní komunikace ITS G5 a 4G LTE. Nadále bude testovat na vybraných úsecích dálnice nové celulární technologie LTE-V a LTE-B. Testování probíhá v rámci Škoda Auto s vozidly hybridních OBU jednotek. [3]

### 3.6.2. Rakousko

C-Roads Rakousko rozšiřuje Rakouskou část projektu C-ITS Corridor mezi Nizozemí, Německem a Rakouskem. To zahrnuje dálnici okolo Graz (testy autonomního řízení) a síť dálnic v okolí Innsbrucku (A12/A13). Jako hlavní úsek v Rakousku implementuje projekt C-ITS technologie na 300 Km dálnice z Vídně do Salzburgu přes Linz. Cílem projektu je mít co nejdříve nasazení C-ITS technologií na všech důležitých dopravních komunikacích do roku 2017 a vše plně funkční do roku 2018. V Rakouské části projektu budou nasazovány technologie ITS-G5 spolu s Celulární komunikací. Na rakouských dálnicích budou využívány služby SSVW, TJW, OHLN, RWW, WTC, VSGN, VSPD a bPVD. [3]

### 3.6.3. Belgie

Pilotní projekt v Belgii je rozdělen na dvě části C-Roads Flemish v Belgickém regionu Vlámka a C-Roads Wallonia ve Valonsku. V oblasti Vlámka se pilotní projekt zaměřuje na všechny důležité dopravní komunikace R001, E313, E17/ E19, E34 a E40 jakou součástí TEN-T koridoru. V regionu Vlámka budou technologií C-ITS vybaveny dálnice E40, E411, E25 a E42. C-Roads Belgium vyvíjí cloudovou virtuální infrastrukturu pro C-ITS služby propojující konečného uživatele s TMC centrem. TMC centrum tak bude moci přímo interagovat s uživatelem. Vyvíjí také služby poskytující dopravní informace Traffic Information Services a Traffic management services. Na testovacích místech existuje celulární komunikace 3G-



4G/LTE, která budou využívána v kombinaci s HERE cloudem pro lokaci. V Belgii budou implementovat služby RWW, TJW, SSVW a SWD. [51]

#### 3.6.4. Francie

Pilotní projekt C-Roads France obsahuje čtyři pilotní místa na dálniční síti ve Francii A34 Západ, A31 Severo-východ, A33 Jihozápad a A32 Východ – centrum. C-Roads France staví na výsledcích SCOOP@F a dále rozšiřuje jeho pokrytí C-ITS služeb ve Francii. Cíle projektu je brzké nasazení flexibilní imperoperabilní C-ITS služby se zaměřením na koncového zákazníka. Představuje zákazníkům dvě služby, první pro městské prostředí a druhou pro informace a zvýšení komfortu při tranzitních cestách. Tyto dvě služby zastřešují různé služby Day 1 a 1,5 relase jako zjednodušené podání C-ITS služeb zákazníkovi. Projekt vyvíjí C-ITS mobilní aplikace pro podporu V2I služeb. Ve Francii bude nasazovány technologie ITS G5 pro bezpečnostní aplikace a celulární komunikace pro ostatní služby. [51]

#### 3.6.5. Německo

Německá část C-Roads plánuje nasazení C-ITS technologií na dvou pilotních místech v Hesensku a Dolním Sasku. V Dolním Sasku budou implementovány služby SSVW, IVI a PVD. V Hesensku zase budou již existující lokální služby RWW, SSVW, EVA rozšířené na globální pomocí RSU jednotek a TMC. Služba GLOSA bude poskytována ve dvou městech regionu Rýna nad Mohanem pomocí chytré aplikace v mobilním telefonu, kterou projekt vyvinul. V Hesensku budou nasazovány C-ITS technologie okolo Ofenbachu (A3), a na Rýnsko-alpiském koridoru procházející Frankfurtem nad Mohanem a na dálnici A2 poblíž Braunschweig v Dolním Sasku. [51]

#### 3.6.6. Nizozemí

Pilotní část v projektu v Nizozemí ve spolupráci s InterCor plánují implementaci C-ITS technologií na celkové délce komunikace 268 Km. Nasazení bude prováděno na Rýnsko-alpiském koridoru s dálnicemi z Rotterdamu na Belgické hranice A15 a A16, část dálnice z Belgických hranic do Venlo skrz Eindhoven A67 a propojujících část A58 a A2 z Breda do Eindhovenu. Také dálnice A2 a tunel Lidsche Rijn ve městě Utrecht, přístav v Rotterdamu, Industriální zóna v Moerdijk a obchodní Přístav Venlo. V Nizozemí budou testovány a nasazovány služby RWW, PVD a IVS. Pro potřeby logistických společností jsou v Nizozemí implementovány čtyři logistické služby MCTO Multimodal Cargo Transport Optimization pro optimalizaci přepravních cest nákladních automobilů. [51]

## 4. Technologie C-ITS systémů

### 4.1. WI-FI IEEE 802.11

IEEE 802.11 (Wi-Fi) je technologie bezdrátového přenášení dat prostřednictvím elektromagnetického pole na střední a krátké vzdálenosti. Tato technologie byla vyvinuta jako standard pracovní skupiny 11 standardizační komise 802 největší profesní organizace IEEE zabývající se standardizací technologií související s elektrotechnikou a elektronickým inženýrstvím. Wi-Fi bylo vytvořeno jako suboptimální řešení k pokrytí lokální bezdrátové sítě WLAN, a tak poskytnout uživatelům nejlepší možný přístup k datům.

Za úspěchem Wi-Fi stojí hlavně její jednoduchost použití a kompatibilita. První standardy za cenu nízké kvality služeb (špatné zabezpečení, žádná spolehlivost doručení paketu) nabízely relativně jednoduchou technologii. Postupně ale přibývaly standardy a Wi-Fi se stala i relativně spolehlivou, zabezpečenou a na objem přenesených dat dostačující technologií. To umožnilo Wi-Fi masivní penetraci, a tedy i levnější výrobu. Dnes už můžeme vidět tuto technologii v široké oblasti oborů a považujeme jí za základní technologii pro přenos dat prostřednictvím elektromagnetického pole. [53] [54]

Původní standard 802.11 byl vydán již v roce 1997. Od té doby přibylo mnoho nosných standardů (802.11 a, b, g, n, p, ac, ad) i doplňků (802.11 e, i, r) a další se stále vyvíjejí. V případě nosných standardů se odlišují technologie hlavně přenosovou rychlostí, šířkou, rozložením kanálů, frekvenčním pásmem a použitých modulačních technik (DSSS, OFDM, MIMO), doplňkové standardy vylepšují vlastnosti komunikace (MAC, QoS, WPA2). Pro dopravní aplikace v C-ITS je nejdůležitější standard 802.11p. [53] [54]

#### 4.1.1. WAVE IEEE 802.11p

Standard 802.11p byl vyvinut již v roce 2004 přímo pro účely bezdrátového připojení vozidel tak, aby vyhovoval všem požadavkům C-ITS. Vychází z 802.11a a je určen pro komunikaci na regulovaném pásmo DSRC 5,855 – 5,925 GHz pro Evropu a DSRC 5,850 GHz – 5,925 GHz pro USA. Kanály jsou rozděleny do 64 subnosných pásem, 48 pásem je pro přenos informací, 12 volných a 4 pilotní. Při 64 QAM kódování disponuje 802.11p maximální přenosovou kapacitou 27 Mb/s. Využívá multiplexovou metodu OFDM rozdělující dostupné frekvenční spektrum na užší subkanály a po těchto kanálech vysílá data na více nezávislých frekvencích. 802.11p má zjednodušené připojení WBSS (WAVE Basic Service Set) místo BSS pro rychlejší sestavování sítě a podporuje handover mezi jednotlivými buňkami. Pro zamezení kolizí jednotlivých paketů existuje v 802.11p jednoduchý mechanismus CSMA/CA. CSMA/CA nejprve naslouchá síti a pokud momentálně pásmo nevyužívá jiný uživatel může vysílat. Wi-Fi 802.11p umožňuje při poklesu přenosové kapacity mobilitu až do 240 Km/h. [53] [54]

## 4.2. Dedicated Short-Range Communications (DSRC)

DSRC je elementární soubor kanálů, protokolů a standardů obousměrné krátkovlnné V2V a V2I komunikace pro krátké až středně dlouhé vzdálenosti. Disponuje nízkou latencí s vysokou spolehlivostí a zabezpečením. Data mohou být distribuovány v broadcast modu 300 - 500m (eventuálně až 1000 m podle podmínek [55]) od stanice. Jako základ fyzické a MAC vrstvy využívá DSRC IEEE 802.11p Wi-Fi.

DSRC technologie mohou využívat dva vysílací módy. V aktivní módu vysílá signál RSU i OBU jednotka. U pasivního módu OBU přijímá vysílaný signál z RSU jednotky, který jí nabije a následně vyše zpět odpověď. U pasivního módu není potřeba připojení na baterii. Jednotka s aktivním módem zase poskytuje větší vysílací vzdálenost. [56]

Ve světě se DSRC využívá ve dvou různých pásmech: [53] [54]

### 4.2.1. DSRC 5,8 GHz

V Evropě bylo alokováno pásmo spektra 75MHz na frekvenci 5,795 – 5,815 GHz a je využíváno pro výběr elektronického mýtného v mnoha státech Evropské Unie. Na evropské rovině je však podporován přechod na výběr mýtného pomocí satelitních systémů. V Japonsku je DSRC technologie v pásmu 5,770 – 5,850 GHz rovněž využívána pro výběr mýtného na dálnicích. [53]

### 4.2.2. DSRC 5,9 GHz

Pro využití bezpečnostních a mobilních aplikací bylo v roce v 1999 v USA alokováno FCC pásmo 5,850 – 5,925 GHz šířky 75 MHz. V Evropě DSRC standardizovala organizace ETSI na frekvenci 5,855 – 5,925 GHz šířky 70MHz pro aplikace C-ITS. [55]

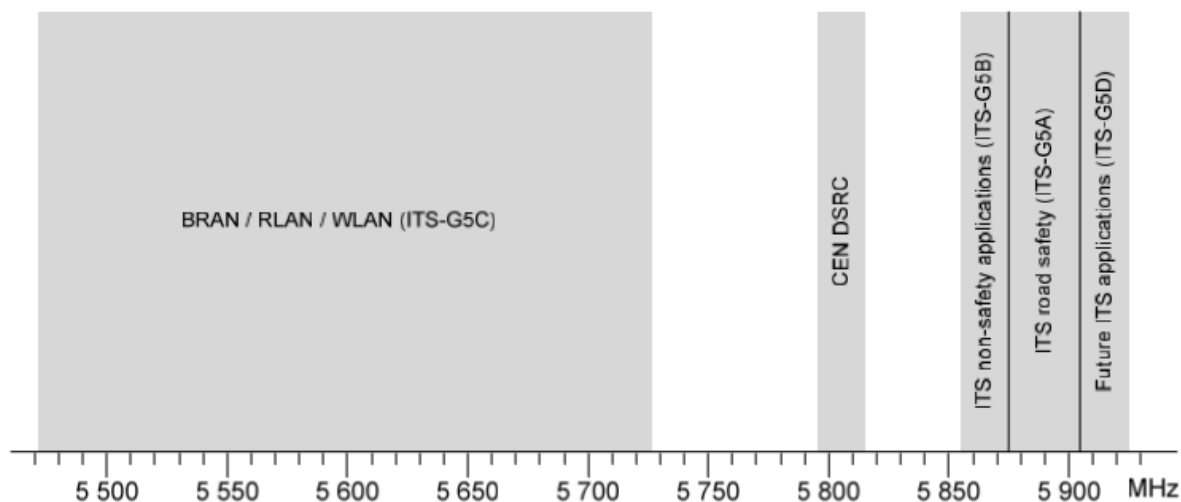
## 4.3. ITS G5

ITS G5 je přístupová technologie určená ke komunikaci vozidel a infrastruktury (V2I) a vozidel mezi sebou (V2V) pomocí Ad-Hoc sítě. Technologie byla vyvinutá organizací ETSI pro evropský trh a popisuje jí standart ETSI EN 302 663. Základem ITS G5 je DSRC 5,9 GHz na principu IEEE 802.11p. Standard obsahuje také metodu decentralizované kontroly kongescí (DCC) sítě a koexistenci mezi technologií DSRC 5,8 a DSRC 5,9 (ITS G5). Při komunikaci V2V využívá protokol Geo Network. [57]

### 4.3.1. Frekvenční pásmo

ITS-G5 se v Evropě pohybuje na třech rozdílných pásmech frekvencí. [57]

- ITS-G5A 5,875 GHz – 5,905 GHz pro bezpečnostní aplikace
- ITS-G5B 5,855 GHz – 5,875 GHz pro aplikace nesouvisející s bezpečností
- ITS-G5C 5,470 GHz – 5,725 GHz pro broadband radiový přístup
- ITS-G5D 5,905 GHz – 5,925 GHz pro budoucí ITS aplikace



Obrázek 12 Rozložení frekvencí ITS-G5 (zdroj: [57])

### 4.3.2. Kanály ITS-G5

ITS-G5 využívá jeden kanál jako kontrolní (CCH) a sedm kanálů servisních (SCH 1 - 7). Kanály jsou rozděleny po 10 MHz každý s maximální rychlostí 6 Mbit/s. Kanál CCH, SCH1 a SCH2 s největší přenosovou silou a jsou rezervované pro bezpečnostní aplikace. Kanály 3,4, 5 jsou využívány pro aplikace zvyšující dopravní mobilitu. [57]

### 4.3.3. DCC

Kvůli limitované šířce pásma ITS-G5 je možné překročení poskytované kapacity dat. DCC jako část management vrstvy ITS-G5 je mechanismus kontrolující přenos energie a komunikačních kanálů ITS-G5 stanic, aby nedocházelo k zahlcení a nestabilnímu chování. DCC je částečně bezpečnostní aplikace s vysokými nároky na spolehlivost a zpoždění přenášených dat. Mění parametry přenosu jako jsou vysílací výkon, minimální interval paketu, rychlost přenosu dat a citlivost rádia určující obsazenost kanálu. Ponechává také rezervu pro zprávy s vysokou prioritou. Bohužel při vysoké kapacitě obsazení komunikačního uzlu DCC nevyužívá efektivně celé přenosové pásmo. [58]

### 4.3.4. Koexistence mezi DSRC 5.8 a ITS-G5 5.9

Kvůli blízkým frekvencím technologií CEN DSRC (5,795 GHz – 5,815 GHz) a ITS-G5 (5,855 GHz – 5,925GHz) mezi nimi dochází k interferenci. K zamezení interferencí těchto technologií byly vyvinuty dvě metody. První metoda funguje na principu přepínání OBU jednotky ve vozidle mezi běžným a koexistenčním módem. Koexistence technologií bude dosahováno vytvořením kruhové zabezpečené zóny okolo DSRC 5,8 stanice, kde budou C-ITS stanice přepnuty na koexistenční mód. Bezpečnostní zóny budou mít poloměr od 20 do 170 metrů podle maximálního výkonu vysílače. Polohu této zóny vozidlo získá pomocí CAM zprávy vysílané DSRC stanicí nebo bude uložena v databázi vozidla. Druhý způsob zahrnuje dodržování

omezení koexistenčního módu OBU jednotek permanentně bez ohledu na přítomnost bezpečnostní zóny. ITS-G5 stanice jsou instalovány minimálně 200 m od DSRC 5,8. [59]

#### 4.3.5. Geo Network (GN)

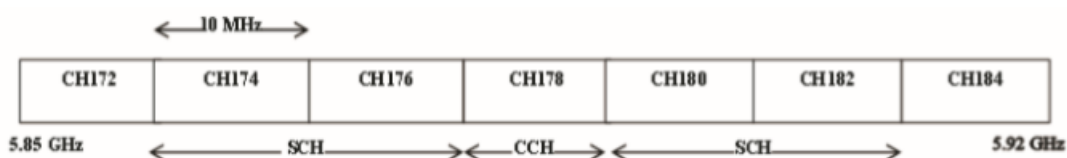
Geo Networking protokol definovaný ETSI je součástí ITS G5 síťové vrstvy a podporuje samořízenou komunikaci OBU jednotek V2V bez asistence infrastruktury. Komunikace může být adresována individuálně OBU jednotce nebo může využít její geografickou souřadnici jako adresu. Geo Networking také umožňuje různou prioritu dat a podporuje ochranu a zabezpečení zasílaných dat. [60]

### 4.4. WAVE IEEE 1609

Wave (Wireless access in vehicular environments) je standard přístupové vrstvy vyvinutý organizací IEEE pro interoperabilní služby V2X v USA. Základem WAVE je IEEE 802.11p definující fyzickou a MAC vrstvu. Na rozdíl od ITS G5 využívá WAVE metodu střídavého přístupu pro prioritu bezpečnostních zpráv na servisních kanálech. [55] [61]

#### 4.4.1. Kanály

V roce 1999 bylo pro potřeby technologie DSRC alokováno pásmo 75 MHz U.S. federální komunikační komisí (FCC). DSRC operuje v licencované spektrum, ale FCC nevyžaduje poplatky za používání. Spektrum 5,850 GHz – 5,925 GHz pro WAVE je rozděleno na 7 kanálů každý o šířce 10MHz. Šest kanálů pro poskytování služeb (SCH) a jeden kontrolní kanál (CCH). Kanály pro bezpečnostní aplikace mají vyšší přenosovou sílu a prioritu danou mechanismem EDCA. [61]



Obrázek 13 Rozložení frekvencí WAVE (zdroj: [61])

### 4.5. Celulární technologie

Bezdrátová komunikace pomocí celulární radiové sítě byla představena 1. generací již roku 1979 v Japonsku. Technologie rychle zaplavila celý svět a dnes se jedná o nejrozšířenější bezdrátovou komunikační technologii na světě. Technologie prošla postupným vývojem od analogové (1G) až po dnes postupně zavádějící se digitální 4. generaci LTE-A. Nejvýznamnější skupinou vyvíjející telekomunikační standardy je seskupení 7 telekomunikačních organizací 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Organizace se zabývá vývojem standardů 3G, beyond 3G, 4G, beyond 4G a 5G a vydává je v průběžných

balíčcích standardů Release. Poslední Release 15 vyšel v roce 2018 a obsahuje první balík standardů 5. generace mobilních služeb. [53] [67]

#### 4.5.1. LTE 3.9G

LTE bylo poprvé zmíněno v Rel 8 3GPP v roce 2008 jako technologie 3.9G generace založeného na IP protokolu. Dnes je LTE hojně využívána v mobilních komunikacích a postupně přechází k 4G standardům LTE-A. LTE poskytuje vyšší rychlosti a spektrální efektivnost s nižším zpožděním a funguje na odlišné technologii než předešlé generace mobilních sítí. Využívá alokované spektrum předešlých generací a nově alokovaná pásma o šířce 10 – 20 MHz. [53] [62]

Jako základní protokoly LTE představuje 3GPP v Rel 8 nové OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access), MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) a SAE (System Architecture Evolution). OFDMA LTE používá jako modulaci pro vysokorychlostní downlink (maximální rychlost 300 Mb/s) s vysokou odolností k reflexi a interferenci. SC-FDMA modulační schéma je pro uplink (75 Mb/s) a šetří baterii mobilnímu zařízení. MIMO technologie umožňuje průchod signálu více možnými cestami vyšším počtem přijímačů a vysílačů k zvýšení propustnosti. Plochá architektura SAE zjednodušuje implementaci a směřování data bez centrálního řízení. Díky tomu může LTE operovat s nižší latencí okolo 10ms. [62]

#### 4.5.2. 4G mobilní technologie

Mobilní technologie 4. generace se zaměřují na zvýšení přenosových rychlostí s vyšší mobilitou zařízení pro aplikace vyžadující vysokou přenosovou rychlost (video, hry, multimédia). Hlavní částí 4. generace mobilních služeb je technologie LTE-Advanced. [63] [64]

##### 4.5.2.1. LTE-A (LTE – Advanced)

LTE-A bylo představeno v Release 10 v roce 2011 organizací 3GPP. Poskytuje vyšší přenosovou rychlost (downlink 3Gb/s a uplink 1,5 Gb/s) s latencí méně než 5ms. Nabízí také lepší spektrální účinnosti s vyšším počtem souběžně aktivních uživatelů.

Hlavní technologie představené LTE-A jsou CA (Carrier Agregation), RN (Relay Nodes) a zlepšení funkcí MIMO. CA Carrier Agregation umožňuje sloučení až pěti datových nosičů (Carrier) i s rozdílnými šířkami pásem (1, 3, 5, 10, 15, 20 MHz) na maximální šířku pásma 100MHz. To zvyšuje možnou maximální přenosovou rychlost poskytovanou jednotlivým uživatelům. MIMO představuje 8x8 pro downlink a 4x4 uplink počet vysílačích a přijímacích antén komunikující navzájem. Relay Nodes (RN) základní stanice poskytují lepší pokrytí území a zvyšují přenosové kapacity na okrajích marktobuňek bez propojení stanice kabelem. [65]

#### 4.5.3. 5G mobilní technologie

V roce 2016 byly určeny požadavky technologie 5G. Jeden z požadavků 3GPP na 5G je podpora V2X komunikace, kterou dále naplňuje technologie LTE – V a D2D. S novými

požadavky se technologie přibližuje svým limitům, vyžaduje nové technologie a rozšíření šířky pásma. Jako jedno z alternativ naplnění potřeby rozšíření přenosového pásma je využití nelicencovaného spektra. Pro zlepšení zvládnutí exponenciální růst trhu uživatelů nových technologií je uvažováno o přemístění částí dat na technologii nelicencovaného pásma Wi-Fi. Mechanismus funguje na principu Access Discovery and selection Function (ANSD) rozdělující přístup na mobilní síť nebo Wi-Fi. Mechanismus pro bezproblémový přechod dat z mobilních sítí na Wi-Fi je popsán v Rel 12. 5G představuje také nové aplikace LTE D2D (device to device) přímé komunikace zařízení. Technologie 5G je ve vývoji a je stále nejasné přesné použití radiových technologií. Nástup 5. generace je plánován na rok 2020. [66]

#### 4.5.3.1. LTE-V (LTE - Vehicles)

LTE-V je technologie určená přímo pro komunikaci V2X a byla představena v Rel 14 organizace 3GPP v září 2016. Jedná se o technologii vyvinutou pro služby C-ITS systémů. Technologie počítá i s nasazením Autonomních vozidel, platooningu a informačního sdílení v dalších Releasech LTE-V.

LTE-V definuje dvě nové radiové rozhraní. Rozhraní Celulární komunikace podporuje V2I komunikaci podobné LTE Rel 8. Druhé rozhraní zavádí v telekomunikacích nově podporu V2V založenou na přímém komunikačním spojení automobilů. LTE-V Rel 14 obsahuje dva nové módy komunikace 3 a 4. Mód 3 celulární sítě vybírá a spravuje radiové zdroje využívané pro V2V komunikaci při dostupném signálu mobilní sítě. Mód 4 automaticky vybírá radiové zdroje pro přímou V2V komunikaci a může fungovat i bez pokrytí mobilní sítě. Když se uživatel vyskytuje v místech pokrytí mobilní sítě rozhoduje centrální jednotka o konfiguraci kanálu a informuje ho o nastavení. Když v dosahu signálu uživatel není, využívají přednastavené parametry pro definované lokalizační zóny. [68]

## 4.6. Hybridní komunikace

Poprvé byl představen termín hybridní komunikace v evropském projektu CONVERGE. Jde o koncept různých komunikačních systémů a technologií, které sdílejí informace pro zvýšení bezpečnosti a automatizaci dopravních systémů. Tyto technologie nejsou brány v hybridní komunikaci jednotlivě, ale jako celkové řešení pro využití výhod všech technologií. Společně tak zlepšují parametry přenosu dat a zvyšují kvalitu a spolehlivost poskytovaných služeb.

Hybridní komunikace bude moci využívat různé komunikační technologie. Mezi hlavní uvažované technologie Hybridní komunikace patří celulární komunikace 3G/4G/5G, technologie DSRC ITS-G5 (nebo WAVE), satelitní komunikace, CEN DSRC a DAB+. Pro dopravní služby C-ITS poskytované hybridní komunikací je momentálně nejvýznamnější kombinace Celulární komunikace a ITS-G5 (WAVE). Kombinuje nízkou odezvu technologie

ITS-G5 pro bezpečnostní aplikace a vysoké pokrytí celulárních sítí pro ostatní aplikace. Kompletní dohodnuté řešení Hybridní komunikace bohužel ještě neexistuje, ale některé pilotní projekty již vyvíjí vlastní řešení. [33] [9]

## 5. Zhodnocení využití technologií v C-ITS v C-Roads

Při výběru jednotlivých technologií pro implementaci je důležitá celá řada faktorů. Projekt musí zhodnotit vlastnosti jednotlivých technologií a vybrat vyhovující technologie tak, aby splňovali požadavky implementovaných služeb. Důležitou součástí jsou i kapacitní omezení v jednotlivých technologických řešeních. Na pilotních místech je třeba zvážit naměřené hodnoty provozu vozidel a určit možnosti fungování i za kritických podmínek, popřípadě zajistit náhradní technologii nebo upozornění řidičů při výpadku komunikace. Nejvýznamnějším faktorem zůstává udržení jednotnosti technologických řešení v jednotlivých státech a v celé Evropské Unii (USA) tak, aby byla zachována interoperabilita. Nejslibnějšími technologiemi pro C-ITS systémy jsou DSRC 5,9 a celulární síť LTE (do budoucna i LTE - V) popřípadě jejich kombinace v Hybridní komunikaci.

### 5.1. DSRC 5,9

Standard DSRC je vhodný pro bezpečnostní aplikace náročné na nízkou odezvu (do 100ms pro rychlost do 150 Km/h) [76]. Představuje jednoduché řešení V2V a V2I komunikace s krátkým dosahem 300-500 metrů (až 1000 m podle prostředí) [55]. Při vzdalování vozidla od RSU nad vzdálenost větší než 300 metrů se postupně zvyšuje ztrátovost paketů, přenosová rychlost a zpoždění až komunikace mezi jednotkami není možná [71]. Díky kratšímu dosahu je DSRC odolnější vůči vnějším vlivům, počasí a interferenci signálu. V Evropě se kvůli blízkým frekvenčním pásmům s DSRC 5.8 musí interference řešit metodami koexistence obou technologií.

Výhodou DSRC technologií je pouze nepatrné zhoršení kvality poskytovaných služeb při zvyšování rychlostí OBU jednotek (až do 250 Km/h). Je tedy vhodná pro dopravní komunikace s vyšší povolenou rychlostí jako dálnice a rychlostní komunikace. DSRC nemá problém ani s dobou připojování k RSU a Handover přes další jednotky (WBSS). [53]

Standard vykazuje značné zhoršení při zvýšení počtu uživatelů na jednotlivých uzlech. Při dopravní kongesci (tzn. vysokému počtu zasílaných CAM zpráv) je komunikace na dále než 100 m od RSU stanice téměř nemožná. Zvyšuje se prodleva mezi odesláním a přijetím zpráv a ztrátovost dat. To může být hrozbou u bezpečnostních aplikacích. [71]

### 5.2. Celulární komunikace LTE

Největší výhodou celulární komunikace je fakt, že bez větších úprav infrastruktury je schopná provádět V2I služby nenáročné na odezvu ihned. Celulární sítě jsou schopné nízkých



zpoždění, ne ale za každé situace. Při přepojování OBU jednotek další buňce (handover) může prodleva samotného přesunu trvat až 50 ms (u LTE) [62]. To může ve špatný čas způsobit bezpečnostní ohrožení. Dalšími prodlevy celulární komunikace jsou při přechodu přes hranice států nebo při připojení více OBU jednotek. Vlastnosti mobilních sítí velmi záleží na implementované technologii a výrazně se zlepšuje s každou novou generací mobilních telekomunikací. Je tedy třeba udržovat síť moderní pro nejlepší možné poskytované parametry. Jedná se o technologii náročnou na výstavbu infrastrukturu. Ceny a doba výstavby robustní infrastruktury mobilních sítí je mnohem vyšší v poměru s DSRC technologií. Při výstavbě mobilních sítí je plánováno využití technologie pro delší dobu, musí tedy počítat s nárůstem počtu uživatelů.

U Celulární komunikace nejsou zcela známy účinky náhlého připojení vysokého počtu vozidel a při nepřipravenosti mobilní sítě by byly možné výpadky a zhoršení kvality nabízených služeb platícím zákazníkům mobilních operátorů. Jelikož by služba C-ITS měla být zdarma, nemá mobilní operátor motivaci na poskytování kvalitní služby a musel by nákladnou výstavbu sítě financovat stát nebo by byly služby C-ITS zpoplatněny. Zatímco hlavní motivací státu pro výstavbu DSRC 5.9 ITS stanic je bezpečnostní a ekonomické zlepšení dopravy, hlavní motivací mobilních operátorů je zisk. [70]

Široké pokrytí celulárních sítí staví technologii jako vhodnou pro využití ve velkém počtu služeb. Specifikace 3GPP (3G, 4G) jsou uznávané a využívány na celém světě. Technologie je tedy za jistých podmínek (např. podpora lokálních komunikačních pásem) vhodná jako imperoperabilní technologie pro mezinárodní přepravu.

Největší problém celulární komunikace je výrazné zhoršení při zvyšování rychlosti vozidla. Nepřerušená mobilita je u 4G až do rychlosti 350 Km/h za cenu drastického snížení maximální přenosové rychlosti. [53]

## 5G

Při začlenění celulární komunikace do rozsáhlého řešení na komunikacích v Evropě nebudou stačit kapacity celulárních sítí. Již momentálně vytížené mobilní sítě při připojení velkého počtu vozidel a jejich neustálé komunikace nebudou stačit svými zdroji. Mobilní komunikace 5. generace přichází se zcela novým pohledem na způsob zasílání zpráv. Kombinují využití různých komunikačních technologií (LTE a Wi-Fi) a přímou komunikací D2D a LTE-V. Takto řeší neustále vzrůstající požadavky na šířku frekvenčního pásma.

## LTE – V

LTE-V je schopná operovat na již vystavěných mobilních sítích a díky svému širokému pokrytí je vhodná pro V2X aplikace. Bohužel stejně jako 802.11p se výkon LTE-V významně zhoršuje se zvyšujícím se počtem přenášených dat více vozidly. LTE-V také přináší vyšší rychlost

přenosu dat než DSRC za cenu snížení ochrany před chybou a vyšší pravděpodobnosti kolize paketů. [74] [75]

### 5.3. Hybridní komunikace

Hybridní komunikace využívají výhody různých komunikačních technologií pro zlepšení parametrů zasílání dat. Jsou vhodným řešením pro potřebné rozšíření frekvenčních pásem vyžadující rozvíjející se trh. Pro využití více technologií pro přenos musí být pečlivě definováno rozhraní mezi jednotlivými technologiemi, aby nedocházelo k jejich rušení. Je potřeba definice jednotného rámce (architektury) na úrovni větších EU, USA, aby bylo zajištěno fungování na celém území. Při výběru technologie je nutné definovat možnosti jednotlivých technologií a požadavky C-ITS služeb a vybrat jejich nejvhodnější kombinace. Jako vhodná se zdá být kombinace 4G LTE a DSRC 5,9. DSRC s nízkou odezvou a spolehlivým přenosem i za vysokých rychlostí je vhodná pro bezpečnostní aplikace. Celulární komunikace je využitelná pro rozšíření na méně frekventované komunikace a pro informační služby nenáročné na odezvu. Postupné nasazování dalších generací mobilních telekomunikací ještě zlepšit vlastnosti a umožní tak další rozšíření. Integrace V2V komunikace vozidel pomocí LTE-V je vhodná jako doplňková technologie pro DSRC. Jelikož bylo investováno na vývoj a nasazení DSRC technologie nemalé prostředky bude preferováno již existující řešení. Technologie také mohou fungovat pro zvýšení redundance dat a zajištění jejich bezpečného přenosu. Pokud bude V2V DSRC řešení vyhovovat požadavkům nevidím důvod technologii měnit.

## 6. Závěr

Kooperativní systémy přinášejí nový pohled na přepravu osob a nákladů s pomocí komunikace vozidel. Umožňují nové metody automatizovaného řízení dopravy, poskytují informace o dopravních událostech a pomocí rychlé výměny dat předcházejí kolizím vozidel.

Podle aktuálního vývoje v pilotních projektech je patrný úmysl projektů nasazení velkého počtu různých C-ITS služeb. Postupně s dalším vývojem technologií bude umožněno nasazení dalších služeb a zpřístupnění tak důležitým informacím například pro autonomní vozidla. Je však potřeba vytvořit kvalitní základ pro využití hlavních bezpečnostních služeb s největší možnou kvalitou. K tomu je zapotřebí výběr správných technologií podle požadavků jednotlivých služeb. Vhodnost komunikačních technologií je souhrn více možných faktorů. Důležitou roli hrají mimo jiné i legislativní začlenění jednotlivých států, náklady na implementaci, nebo třeba kompatibilita s již existujícími systémy. Poskytované služby musí být také dostatečně atraktivní pro konečného uživatele. Při vyšším zájmu bude velmi důležité držet krok s požadavky trhu a udržet stejnou kvalitu služeb.

Jako nejslibnější řešení pro C-ITS komunikaci se ukázala kombinace ITS-G5 a Celulární komunikace. Společně poskytují široké pokrytí s nízkým zpožděním. Toto řešení je

podporováno ve většině evropských projektů. Velkou pozornost přitahuje komunikace vozidel a ostatních jednotek v prostředí V2X. Její možné využití je v mnoha různých aplikacích hlavně v městské prostředí pro bezpečnost nebo i zábavní aplikace. Jedno z možných řešení pro V2X komunikaci je Hybridní technologie. Ta představuje komunikaci různých technologií a sdílení informací navzájem. Hybridní technologie i komunikace V2X oproti ostatním technologiím není tolik rozšířena a vyzkoušena.

Rozvoj kooperativních systémů je neustále v průběhu, jeho směřování se však již delší dobu formuje. Postupně přichází fáze zprovoznění jednotlivých služeb na vybraných úsecích a možné využití služeb koncovými zákazníky. Ukáže se tedy vhodnost návrhu jednotlivých řešení pilotních projektů. Další možnosti realizace nových technologií jsou stále otevřené.

## 7. Literatura

- [1] Cooperative, connected and automated mobility (CCAM). In: European Commission [online]. [cit. 2018-06-2]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its\\_en](https://ec.europa.eu/transport/themes/its/c-its_en)
- [2] ETSI EN 302 665: Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture. V1.1.1. 2010. Dostupné také z: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/302665/01.01.01\\_60/en\\_302665v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302665/01.01.01_60/en_302665v010101p.pdf)
- [3] C-Roads Czech Republic Specifikace systému: Obecná architektura. V 1.0. Praha, 2017.
- [4] Components. In: Project Scoop [online]. 2016 [cit. 2018-06-2]. Dostupné z: <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en/components-a6.html>
- [5] Connected Vehicle Pilot Deployment Program Phase 2: Data Management Plan – New York City. 2017. Dostupné také z: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/35363>
- [6] Final draft ETSI EN 302 637-2: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2 Specification of Cooperative Awareness Basic Service. V1.3.1. 2014. Dostupné také z: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/30263702/01.03.02\\_60/en\\_30263702v010302p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263702/01.03.02_60/en_30263702v010302p.pdf)
- [7] Final draft ETSI EN 302 637-3: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service. V1.2.1. 2014. Dostupné také z: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/30263703/01.02.01\\_30/en\\_30263703v010201v.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/30263703/01.02.01_30/en_30263703v010201v.pdf)
- [8] SAE J2735 DSRC Message List. In: SNIP Knowledge Base [online]. June 9, 2017 [cit. 2018-06-2]. Dostupné z: <https://www.use-snip.com/kb/knowledge-base/sae-j2735-dsrc-message-list/>
- [9] C-ITS Platform: Final report. 2016. Dostupné také z: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/its/doc/c-its-platform-final-report-january-2016.pdf>
- [10] Towards an Architecture for Cooperative ITS Applications in the Netherlands. 2015. Dostupné také z: <http://is.ieis.tue.nl/staff/pgrefen/research/publications/pdf/DITCM%202015.pdf>

- [11] InterCor: Milestone 8 – Pilot planning. 2017. Dostupné také z: <http://intercor-project.eu/library/>
- [12] Project Scoop Messages [online]. [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en/messages-a7.html>
- [13] Project Scoop Newsletter. No. 1. 2014. Dostupné také z: <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en/newsletters-scoop-a31.html>
- [14] Pilot sites. In: Project Scoop [online]. 2018 [cit. 2018-06-2]. Dostupné z: <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en/pilot-sites-a8.html>
- [15] In: TRIMIS [online]. 2015 [cit. 2018-06-2]. Dostupné z: <https://trimis.ec.europa.eu/project/scoopf-part-2>
- [16] Services. In: Project Scoop [online]. 2016 [cit. 2018-06-2]. Dostupné z: <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en/services-r6.html>
- [17] Project Scoop Newsletter. No. 4. 2014. Dostupné také z: <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en/newsletters-scoop-a31.html>
- [18] Project Scoop Newsletter. No. 3. 2014. Dostupné také z: <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en/newsletters-scoop-a31.html>
- [19] Project Scoop Newsletter. No. 6. 2014. Dostupné také z: <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en/newsletters-scoop-a31.html>
- [20] Project Scoop Newsletter. No. 7. 2014. Dostupné také z: <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en/newsletters-scoop-a31.html>
- [21] Eco-System. In: Project Scoop [online]. 2016 [cit. 2018-06-2]. Dostupné z: <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en/eco-system-a5.html>
- [22] Project Scoop Newsletter. No. 5. 2014. Dostupné také z: <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en/newsletters-scoop-a31.html>
- [23] Project Scoop Newsletter. No. 7. 2014. Dostupné také z: <http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en/newsletters-scoop-a31.html>
- [24] Nordic Way [online]. [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: <https://www.liikennevirasto.fi/web/en/projects/pilots/nordicway2#.Wx2FalozZPZ>
- [25] Nordic Way Evaluation Outcome Report. 3.0. 2017. Dostupné také z: <http://vejdirektoratet.dk/EN/roadsector/Nordicway/NordicWay1/Pages/Default.aspx>

- [26] Nordic Way Architecture, Services and Interoperability. 2017. Dostupné také z: <http://vejdirektoratet.dk/EN/roadsector/Nordicway/NordicWay1/Pages/Default.aspx>
- [27] Nordic Way Final Report. 2017. Dostupné také z: <http://vejdirektoratet.dk/EN/roadsector/Nordicway/NordicWay1/Pages/Default.aspx>
- [28] InterCor CPilot planning. 2017. Dostupné také z: <http://intercor-project.eu/library/#>
- [29] InterCor. In: TRIMIS [online]. 2018 [cit. 2018-06-2]. Dostupné z: <https://trimis.ec.europa.eu/project/intercor#tab-outline>
- [30] In: Codecs project [online]. [cit. 2018-06-12]. Dostupné z: [http://www.codecs-project.eu/fileadmin/user\\_upload/pdfs/Workshop\\_C-ITS\\_Deployment\\_underway\\_II/Hanson\\_InterCor\\_UK.pdf](http://www.codecs-project.eu/fileadmin/user_upload/pdfs/Workshop_C-ITS_Deployment_underway_II/Hanson_InterCor_UK.pdf)
- [31] InterCor TESTFEST ITS-G5. 2017. Dostupné také z: <http://intercor-project.eu/library/#>
- [32] InterCor Common set of upgraded specifications for ITS-G5. 2017. Dostupné také z: <http://intercor-project.eu/library/#>
- [33] InterCor Common set of upgraded specifications for Hybrid communication. 2018. Dostupné také z: <http://intercor-project.eu/library/#>
- [34] C-ITS Corridor [online]. [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: <http://c-its-korridor.de/?menuId=1&sp=en>
- [35] Applications. In: C-ITS Corridor [online]. 2018 [cit. 2018-06-2]. Dostupné z: <http://c-its-korridor.de/?menuId=10&sp=en>
- [36] Connected Vehicle: Pilot [online]. [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: <https://www.its.dot.gov/pilots/index.htm>
- [37] Program Overview. In: U.S. Department of Transportation [online]. 2018 [cit. 2018-06-5]. Dostupné z: [https://www.its.dot.gov/pilots/pilots\\_overview.htm](https://www.its.dot.gov/pilots/pilots_overview.htm)
- [38] New York City (NYC) DOT Pilot. In: U.S. Department of Transportation [online]. 2018 [cit. 2018-06-5]. Dostupné z: [https://www.its.dot.gov/pilots/pilots\\_nycdot.htm](https://www.its.dot.gov/pilots/pilots_nycdot.htm)
- [39] Connected Vehicle Pilot Deployment Program Phase 2: Data Privacy Plan – New York City. 2016. Dostupné také z: <https://www.its.dot.gov/pilots/index.htm>
- [40] Connected Vehicle Pilot Deployment Program: NEW YORK CITY, NEW YORK [online]. [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: [https://www.its.dot.gov/factsheets/pdf/NYCCVPilot\\_Factsheet\\_020817.pdf](https://www.its.dot.gov/factsheets/pdf/NYCCVPilot_Factsheet_020817.pdf)

- [41] Connected Vehicle: Pilot Thea [online]. [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: [https://www.its.dot.gov/pilots/pilots\\_thea.htm](https://www.its.dot.gov/pilots/pilots_thea.htm)
- [41] Connected Vehicle Pilot Deployment Program Phase 1, Concept of Operations (ConOps) – Tampa (THEA). 2016. Dostupné také z: <https://www.its.dot.gov/pilots/index.htm>
- [42] GET INVOLVED. In: Tampa pilot [online]. 2017 [cit. 2018-06-4]. Dostupné z: <https://www.tampacvpilot.com/get-involved/>
- [43] Connected vehicle pilot deployment program phase 2: Data management plan - Tampa (THEA). 2017. Dostupné také z: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/32763>
- [44] Connected Vehicle: Pilot Wyoming [online]. [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: [https://www.its.dot.gov/pilots/pilots\\_wydot.htm](https://www.its.dot.gov/pilots/pilots_wydot.htm)
- [45] Connected Vehicle Pilot Deployment Program Phase 1, Concept of Operations (ConOps), ICF/Wyoming. 2015. Dostupné také z: <https://www.its.dot.gov/pilots/index.htm>
- [46] Connected Vehicle Pilot Deployment Program Phase 2: Data Management Plan – Wyoming. 2017. Dostupné také z: <https://www.its.dot.gov/pilots/index.htm>
- [47] Connected Vehicle: Security Credential Management System (SCMS) [online]. [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: <https://www.its.dot.gov/resources/scms.htm>
- [48] Connected Vehicle Pilot Deployment Program Phase 2: Data Privacy Plan – New York City. 2016. Dostupné také z: <https://www.its.dot.gov/pilots/index.htm>
- [49] ENLARGEMENT OF THE C-ROADS PLATFORM TO 16 EUROPEAN STATES. In: C-Roads [online]. 2018 [cit. 2018-06-4]. Dostupné z: <https://www.c-roads.eu/platform/about/news/News/entry/show/enlargement-of-the-c-roads-platform-to-16-european-states.html>
- [50] Pilotní lokality. In: C-Roads [online]. 2018 [cit. 2018-06-4]. Dostupné z: <http://c-roads.cz/pilotni-lokality/>
- [51] Detailed pilot overview report. V 1.0. 2017. Dostupné také z: <https://www.c-roads.eu/platform/documents.html>

- [52] ENLARGEMENT OF THE C-ROADS PLATFORM TO 16 EUROPEAN STATES. C-Road [online]. [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: <https://www.c-roads.eu/platform/about/news/News/entry/show/enlargement-of-the-c-roads-platform-to-16-european-states.html>
- [53] Zelinka, Tomáš.: Přednášky na Fakultě dopravní. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. Telekomunikace a místní sítě: Kooperativní systémy. 2018.
- [54] Šrotýř, Martin.: Přednášky na Fakultě dopravní. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. Telekomunikace a místní sítě: Kooperativní systémy. 2018.
- [55] 5.9 GHz DEDICATED SHORT RANGE COMMUNICATION (DSRC) OVERVIEW. 2015. Dostupné také z: <http://manualzz.com/doc/29339696/dsrc-spectrum-sharing-and-operational-testing>
- [56] LOKAJ, Zdeněk. HABILITAČNÍ PRÁCE: Návrh a úprava kooperativních systémů na základě vlivu systémových parametrů na jejich fungování. 2014.
- [57] Draft ETSI EN 302 663: Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band. V1.2.0. 2012. Dostupné také z: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/302663/01.02.00\\_20/en\\_302663v010200a.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302663/01.02.00_20/en_302663v010200a.pdf)
- [58] ETSI TS 102 687: Intelligent Transport Systems (ITS); Decentralized Congestion Control Mechanisms for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz range; Access layer part. V1.1.1. 2011. Dostupné také z: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102600\\_102699/102687/01.01.01\\_60/ts\\_102687v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/102687/01.01.01_60/ts_102687v010101p.pdf)
- [59] ETSI TS 102 792: Intelligent Transport Systems (ITS); Mitigation techniques to avoid interference between European CEN Dedicated Short Range Communication (CEN DSRC) equipment and Intelligent Transport Systems (ITS) operating in the 5 GHz frequency range. V1.2.1. 2015. Dostupné také z: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102700\\_102799/102792/01.02.01\\_60/ts\\_102792v010201p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102700_102799/102792/01.02.01_60/ts_102792v010201p.pdf)
- [60] ETSI EN 302 636-4-1: Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 4: Geographical addressing and forwarding for point-to-point and point-to-multipoint communications; Sub-part 1: Media-Independent Functionality. V1.2.0. 2013. Dostupné také z:



[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/302600\\_302699/3026360401/01.02.00\\_20/en\\_3026360401v010200a.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/3026360401/01.02.00_20/en_3026360401v010200a.pdf)

- [61] A.M. AHMED, Shreeren, Sharifah H.S. ARIFFIN a Norsheila FISAL. Overview of Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE) Protocols and Standards. V1.2.0. Indian Journal of Science and Technology, 2013. Dostupné také z: <http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/viewFile/34355/27974>
- [62] LTE. In: 3GPP [online]. 2018 [cit. 2018-06-4]. Dostupné z: <http://www.techplayon.com/lte-handover-latency-calculation-access-node/>
- [63] 4G. RF Wireless World [online]. [cit. 2018-06-5]. Dostupné z: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/4G.html>
- [64] 4G Evolution for Mobile Operators. 3GPP[online]. [cit. 2018-06-5]. Dostupné z: <http://www.3gpp.org/news-events/partners-news/1335-4G-Evolution-for-Mobile-Operators>
- [65] LTE-A. 3GPP [online]. [cit. 2018-06-5]. Dostupné z: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>
- [66] 3GPP system standards heading into the 5G era. In: 3GPP [online]. 2018 [cit. 2018-05-25]. Dostupné z: [http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1614-sa\\_5g](http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1614-sa_5g)
- [67] ONG, Don. Wireless Mobile Technology: It's Only Getting Faster And Faster. Medium [online]. [cit. 2018-06-5]. Dostupné z: <https://medium.com/@don.ong/wireless-mobile-technology-its-only-getting-faster-and-faster-e2c740ab00fc>
- [68] MASEGOSA, Ragael Molina a Javier GOZALEVZ. Ready to roll: A New 5G Technology for Short-Range Vehicle-to-Everything Communications. 2017. Dostupné také z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8080373/>
- [69] LTE-B. Medium [online]. [cit. 2018-06-5]. Dostupné z: [http://www.telecomreviewna.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=747:is-there-really-an-lte-b&catid=54:july-august-2014&Itemid=108](http://www.telecomreviewna.com/index.php?option=com_content&view=article&id=747:is-there-really-an-lte-b&catid=54:july-august-2014&Itemid=108)
- [70] Ready to roll: Why 802.11p beats LTE and 5G for V2x. Dostupné také z: <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>

- [71] ECKHOFF, David, Nikoletta SOFRA a Reinhard GERMAN. A Performance Study of Cooperative Awareness in ETSI ITS G5 and IEEE WAVE. 2013. Dostupné také z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6578347/>
- [72] 5.9 GHz DEDICATED SHORT RANGE COMMUNICATION (DSRC) OVERVIEW. 2015. Dostupné také z: <http://manualzz.com/doc/29339696/dsrc-spectrum-sharing-and-operational-testing>
- [73] Zelinka, T., Svítek, M.: Telekomunikační řešení pro informační systémy sítí. odvětví, Grada 2009, ISBN 978-80-247-3232-9.
- [74] LTE-V. *Huawei* [online]. [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: <http://www.huawei.com/minisite/hwmbbf15/en/lte-v.html>
- [75] W. MATOLAK, David a Qiong WU. *Performance of LTE in Vehicle-to-Vehicle Channels*. 2011. Dostupné také z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6092899>
- [76] S. SONG, Yoo a Shin K. LEE. *Analysis of Periodic Broadcast Message for DSRC Systems under High-density Vehicle Environments*. 2017. Dostupné také z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8190839/>