ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

Vojtěch Sejkora

Analýza KPI u kooperativních systémů a jejich aplikace na projekt C-ROADS

Bakalářská práce

2018

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta dopravní
děkan
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K614.....Ústav aplikované informatiky v dopravě

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Vojtěch Sejkora

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – ITS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Analýza KPI u kooperativních systémů a jejich aplikace na projekt C-ROADS**

Název tématu (anglicky): KPI analysis for cooperative systems and their application to the C-ROADSproject

Zásady pro vypracování

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

- Vypracujte rešerši existujících pilotních projektů kooperativních systémů.
- Analyzujte užívané KPI u uvedených projektů kooperativních systémů.
- Zhodnoťte stávající přístupy a uveďte možnosti aplikace jednotlivých KPI u projektu C-ROADS.
- Na základě předchozí analýzy navrhněte kompletní soubor KPI vhodných pro integraci do projektu C-ROADS.
- Navržené řešení zhodnoťte a uveďte možnosti jeho dalšího rozvoje.

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 síťových odvětví, Grada 2009

Odborné články IEEE

Normy, standardy a odborné časopisy

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Šrotýř, Ph.D.**

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

L. S.

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.

Vojtěch Sejkora
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 13. června 2017

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mě podporovali nejen při psaní bakalářské práce, ale i během studia. Chtěl bych poděkovat Ing. Martinu Šrotýřovi, Ph.D. za ochotu a velmi cenné rady, které mi velice pomohly při psaní bakalářské práce.

Velké poděkování patří mé rodině, která mi pomohla v těžkých chvílích a podporovala mě během celého studia.

Prohlášení

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

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

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

V Praze dne …….. ……

Vojtěch Sejkora

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Analýza KPI u kooperativních systémů a jejich aplikace na projekt C-ROADS

Bakalářská práce

Červen 2018

Vojtěch Sejkora

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou KPI u kooperativních dopravních systémů a návrhem KPI pro projekt C-ROADS. První část je věnována popisu těchto systémů, jejich částem, přenosovým technologiím a možnostem využití. Dále je podán přehled o evropských projektech z oblasti kooperativních dopravních systémů. Ve druhé části je u vybraných projektů provedena analýza užitých KPI na jejíž základě je navržen postup pro vytváření KPI. Poslední část práce je věnována návrhu na vytvoření KPI u projektu C-ROADS a jeho zhodnocení s poznatky zjištěnými v první části práce.

Klíčová slova

Kooperativní dopravní systémy, KPI, C-ROADS

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

KPI analysis of cooperative systems and its application to the project C-ROADS

Bachelor thesis

June 2018

Vojtěch Sejkora

Abstract

This Bachelor thesis deals with the analysis of KPIs used in cooperative transport systems and proposes a KPI solution to the project C-ROADS. First part is dedicated to description of these systems, their parts, transmission technologies and opportunities for usage. Then an overview of European projects concerning cooperative transport systems is provided. In the second part, an analysis of selected projects is conducted on the basis of which a procedure for creating KPIs is proposed. Last part is dedicated to proposition for creation of KPI in project C-ROADS and its evaluation based on findings gained in the first part of the thesis.

Keywords

Cooperative systems, KPI, C-ROADS

Obsah

Seznam zkratek 8
Úvod 10
1. Úvod do kooperativních dopravních systémů 12
1.1 Části kooperativní systémů 13
1.2 Přenosové technologie 14
1.2.1 IEEE 802.11p 15
1.2.2 DSRC 15
1.2.3 Mobilní datové sítě – LTE A 16
1.3 Služby poskytující kooperativní systémy 16
1.3.1 Seznam a rozdělení služeb kooperativních systémů 17
1.4 Projekty z oblasti kooperativních systémů 18
1.4.1 COOPERS 18
1.4.2 C-ITS Corridor 21
1.4.3 Projekt SCOOP 22
1.4.4 NordicWay 23
1.4.5 eCall 24
1.4.6 C-ROADS 26
2. KPI u vybraných projektů C-ITS systémů 29
2.1 Studie KPI pro Inteligentní dopravní systémy 29
2.2 ITS Deployment and Benefit KPIs 30
2.3 KPI u projektu NordicWay 31
2.4 KPI u projektu eCall 33
2.5 Zhodnocení stávajících přístupů 35
3. KPI u projektu C-ROADS 37
3.1 Přístup při vytváření KPI 37
3.2 Soubor KPI integrovaných do projektu C-ROADS 37
3.2.1 Upozornění na práce na silnici 37
3.2.2 Vyobrazování dopravních informací v autě 38
3.2.3 Upozornění na nebezpečná místa 39
3.3 Zhodnocení návrhu uvedených KPI a možnost dalšího rozvoje 39
Závěr 40
Seznam literatury 41
Seznam tabulek 43

Seznam obrázků.....43

Seznam zkratek

Zkratka	Anglický název	Český název
3G	3th Generation of Wireless mobile Telecomunicatons Technology	Třetí generace mobilních telekomunikačních technologií
4G	4th Generation of Wireless mobile Telecomunicatons Technology	Čtvrtá generace mobilních telekomunikačních technologií
C – ITS	Cooperative Inteligent Transport Systems	Kooperativní dopravní systémy
C2C	Car to Car	Vozidlo – Vozidlo
C2I	Car to Infrastructure	Vozidlo – Infrastruktura
C2X	Car to X	Vozidlo – X
CO_2	Carbon Dioxide	Oxid uhličitý
COOPERS	Cooperative Systems for Intelligent Road Safety	Výzkumný projekt zaměřený kooperativní systémy v rámci bezpečnosti
CSC	COOPERS Control Centre	COOPERS řídící středisko
ČR	Czech Republic	Česká republika
DG MOVE	Directorate General for Mobility and Transport	Generální ředitelství pro mobilitu a transport
DSRC	Dedicated Short Range Communications	Dedikovaná komunikace s krátkým dosahem
DT	Deployment & Test	Nasazení & pilotní testování
eCall	Emergency Call	Automatické tísňové volání
EU	European Union	Evropská Unie
EU EIP	EU ITS Platform	Evropská ITS platforma
GLOSA	Green Light Optimized Speed Advisory	Aplikace pro optimální rychlost na signál volno
GPS	Global Positioning Systém	Globální poziční systém
HeERO	Harmonised eCaal European Pilot	Evropský projekt řešící eCall
HMI	Human-Machine-Interface	rozhraní mezi člověkem a strojem
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Profesní združení elektrických a elektronických inženýrů
IVS	In-Vehlicle System	Systém uvnitř vozu
IZS		Integrovaný záchranný systém
KPI	Key Performance Indicators	Klíčové ukazatele výkonnosti
LTE – A	Long Term Evolution – Advanced	Vysokorychlostní mobilní technologie pro přenos dat
MSD		Minimální soubor dat

OBU	On-Board Unit	Palubní jednotka
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Ortogonální multiplex s frekvenčním dělením
PSAP	Public Service Answering Point	Centrum tísňových volání
RSE	Road Side Equipment	Vybavení infrastrukturní komunikační jednotky
RSU	Road Side Unit	Infrastrukturní komunikační jednotka
RWW	Road Works Warning	Upozornění na práce na silnici
SZZ		Světelné signalizační zařízení
TCC	Traffic Control Centre	Řídící dopravní centrum
TEN-T	Trans-European Transport Networks	Transevropská dopravní síť
TMC	Traffic Managment Centre	Dopravní řídící centrum
VIN	Vehicle Identificator Number	Identifikační číslo vozidla
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environment	Bezdrátový přístup v prostředí vozodel
WDM	Wawelength-division Multiplexing	Vlnový multiplex
Wi-Fi	Wireless Fidelity	Bezdrátový přenos ve sdíleném pásmu

Úvod

Kooperativní inteligentní dopravní systémy jsou systémy založené na výměně dat mezi vozidly samotnými, vozidly a infrastrukturou a dalšími zařízeními. Tyto systémy mj. výrazně snižují dobu, za kterou můžou být relevantní dopravní informace řidiči k dispozici a zvyšují kvalitu a spolehlivost těchto informací. Historie kooperativních systémů sahá až do 80. let, kde byl vývoj těchto systému limitován tehdejšími technickými omezeními. Prvním průkopnickým projektem, který zkoumal možnosti kooperativních systémů, byl Wolfsburger Welly projekt. Tento projekt řešil přenos informací mezi vozidlem a komunikačním zařízením umístěným u světelného signalizačního zařízení. Dával řidiči informaci o době, která zbývala do signálu Volno. Od dob toho projektu uplynulo již třicet let a v dnešní době toho kooperativní systémy zvládají mnohem víc. Od aplikací pro podporu bezpečnosti, zefektivnění řízení dopravního proudu, po oblasti aplikací pro zábavu (video, sociální sítě apod.). Kooperativní systémy nejsou tedy žádná novinka a v dnešní době brání k jejich širokému nasazení velká finanční náročnost, zdlouhavá standardizace a vývoj norem pro světovou kompatibilitu. Inteligentní dopravní systémy toho umění opravdu mnoho, je zde tedy velký potenciál široké základny uživatelů, kteří budou mít o tyto systémy zájem.

Hlavní motivací pro implementaci kooperativních dopravních systémů je zvýšení bezpečnosti na pozemních komunikacích. Většina dopravních nehod s vážnými zraněnými nebo mrtvými je způsobena neukázněnými nebo nezkušenými řidiči. Mezi hlavní příčiny nehod patří nevěnování se řízení (posílání SMS zpráv, ladění rádia, telefonování atd.), nedodržení bezpečnostní vzdálenosti, nedodržení maximální povolené rychlosti, nedání přednosti v jízdě nebo předjíždění bez dostatečných rozhledových podmínek. Většině těchto příčin se dá pomocí inteligentních dopravních systémů vyhnout. Mezi další přínosy těchto systémů patří snížení kongescí na silniční infrastruktuře, čím dojde ke snížení i ekonomických ztrát. Mezi další přínosy patří: kratší a spolehlivější jízdní doby, zvýšení kapacity silniční sítě a zvýšení efektivity hromadné dopravy. Kooperativní dopravní systémy jsou také jednou z cest, jak snížit spotřebu paliva a emise CO_2.

V současné době dochází k velkému rozvoji těchto systémů. Především prostřednictvím mnoha evropských a světových aktivit, kteří tvoří hybnou sílu v oblasti vývoje a standardizace. Implementací pilotních projektů kooperativních systémů se šíří povědomí o těchto systémech mezi širokou veřejnost.

V současné době probíhá vývoj, výstavba a testování pilotního projektu C-ROADS, který má za úkol vybudování infrastruktury pro kooperativní dopravní státy v členských zemích

Evropské unie. Jedním z přístupů, jak projekt v tak velkém projektu zhodnotit výkonnost, je využití KPI. V této práci bude provedena rešerše využívaných KPI u současných kooperativních systému a bude analyzován přístup zavádění KPI u projektu C-ROADS.

1. Úvod do kooperativních dopravních systémů

V dnešní době má silniční doprava nezastupitelnou roli. Nároky na její zlepšování neustále rostou, a jednou z možností je i implementace kooperativních dopravních systémů do běžného provozu. Silniční doprava je totiž velmi specifickým druhem dopravy. Najdeme v ní spoustu různých dopravních prostředků, od těžkých nákladních automobilů až po jízdní kola. Dalším specifikem je, že provádět obsluhu těchto prostředků může téměř kdokoli. Na řidiče nejsou kladeny nějaké přísné požadavky. Stačí si pouze udělat příslušné řidičské oprávnění a člověk může vyrazit do ostrého provozu. To zapříčiňuje fakt, že se na silnicích potkávají řidiči všech věkových skupin o různých dovednostech. Dále velkou roli v rámci silniční dopravy hraje stav infrastruktury a počasí. Díky těmto různým aspektům tak dochází k velkému počtu incidentů, které je nutné řídit a zpracovávat v reálném čase. Informace z těchto incidentů je pak potřeba zasílat ostatním účastníkům dopravního provozu, ve formě doporučení a upozornění. Pro šíření těchto zpráv jsou určeny tři základní druhy bezdrátové komunikace [1] [2] [3]:

- Vozidlo – Vozidlo
  Komunikace Vozidlo – Vozidlo (anglicky Car to Car – C2C) umožňuje komunikaci vozidel mezi sebou. Tato možnost komunikace je vhodná pro bezpečností aplikace, kde je žádoucí dostat informaci v co nejkratším čase. Dále je tento způsob komunikace vhodný na místech, kde není hustá síť přístupových bodů. Komunikace C2C je decentralizovaná, není tudíž závislá na páteřní síti. Aby uplatnitelnost této komunikace byla úspěšná, je důležité mít dostatek vozidel vybavenými OBU jednotkami.

- Vozidlo – Infrastruktura
  Komunikace Vozidlo – Infrastruktura (anglicky Car to Infrastructure – C2I) propojuje vozidlo s přístupovými uzly instalovanými podél pozemních komunikací a realizuje tak připojení na páteřní síť, ke které jsou připojeny všechny přístupové uzly a umožňuje tak napojení na ethernetovou síť. Tento typ komunikace se primárně používá pro efektivní řízení dopravního proudu. Typicky jsou to varování o nadcházející kongesci, varování o dopravní nehodně, informace o počasí apod. Jednou z největších nevýhod a omezení C2I komunikace spočívá v nákladném budování infrastruktury podél silnic.

- Vozidlo – X
  Komunikace Vozidlo – X (anglicky Car to X – C2X), kde X je jakýkoli jiný typ komunikačního zařízení, než je vozidlo nebo komunikační bod u infrastruktury. Může tak propojovat vozidlo s mobilními telefony či tablety. Velkým potenciálem této komunikace je v možnosti integrace do oblasti bezpečnosti. Díky tomu, že mobilní telefon dnes vlastní téměř každý, lze tento mobilní telefon lokalizovat a předat řidiči informaci, že se poblíž pohybuje člověk. To má hlavně smysl v případech, kdy jsou zhoršeny viditelností podmínky, či špatné rozhledové poměry.

Díky těmto druhům komunikací se přenášejí dva druhy zpráv [1]:

- Jednorázová zpráva
  Poskytuje informace řidiči o událostech vyvolaných nebezpečnou situací před ním, jako např. varování před překážkou, kritické brždění vozidla před ním, informace o stavu infrastruktury. Jedná se tedy o lokální informace detekované vozidly. Tyto informace využívají především komunikace C2C.

- Opakující se zpráva
  Tento druh zprávy informuje řidiče o dalekosáhlejších událostech odehrávajících se před ním. Můžeme zde zahrnout informace o vznikajících kongescích, omezeních na silnici, stavu infrastruktury, povětrnostních podmínkách apod. Pro šíření těchto typů zpráv bude zpravidla využívána komunikace C2I.

1.1 Části kooperativní systémů

Každý kooperativní systém se musí minimálně skládat ze 3 základních částí. Ty musí, pro zajištění správné funkčnosti, mezi sebou komunikovat. Jedná se o [3] [4]:

- Řídící a kontrolní dopravní centrum
  Dopravní centrum má v rámci kooperativních systémů nezastupitelnou úlohu. Musí shromažďovat, zpracovávat, třídit a distribuovat velké množství dat. Tyto data se získávají mocí dopravních senzorů, vozidel vybavenými OBU jednotkami, meteorologických stanic a mnoho dalších. Na základě těchto dat centrum vyhodnocuje daná opatření a ty dále rozesílá účastníkům silničního provozu.

- OBU

  OBU (palubní jednotka) je komunikační zařízení nacházející se ve vozidlech. Jejím primárním účelem je získávat data z integrovaných senzorů ve vozidle, zpracovávat je, rozesílat je ostatním vozidlům v okolí i komunikačním uzlům umístěným podél komunikace. Stejně, jako data odesílat, musí jednotka umět data vysílána z ostatních vozidel přijímat. Je nutné vybrat, které informace bude jednotka přijímat, protože velké množství zpráv by ji mohla zahltit. Proto je nutné implementovat filtry, které zajistí přijímání jen relevantních informací. Dalším důležitým krokem je nakonfigurování jednotky tak, aby přehledně a čitelně zobrazovala přijaté informace. Této oblasti se již velmi intenzivně zabývají odborníci z oblasti HMI, kteří řeší vhodnost umístění obrazovky a způsob vyjádření informace.

- RSE (RSU)

  RSE (Road Side Equipment) je prvek kooperativních dopravních systémů, který je instalován podél silniční infrastruktury. Naproti tomu RSU (Road Side Unit) je samostatný komunikační zařízení jako takové. Tyto prvky je žádoucí rozmístit podél pozemní komunikace v takové míře, aby mohly poskytovat kvalitní služby zejména v distribuci informací všem vozidlům nacházejícím se v jejich oblasti. Jejich práce je tedy rozesílání dat OBU jednotkám v jednotlivých vozidlech, ostatním komunikačním uzlům napojených na páteřní síť i komunikaci s okolní světem (dopravní centra apod.).

1.2 Přenosové technologie

Všeobecně se telekomunikační sítě, které mají za účel poskytovat nejrůznější typy služeb, skládají ze tří základních částí:

- Zařízení síťových uzlů – slouží k poskytování služeb, obsahuje informační zdroje (servery) a jejich spojovací zařízení (ústředny, routery, switche).
- Páteřní síť – slouží k přenosu dat mezi komunikačními uzly a telekomunikačními sítěmi.
- Přístupová síť – slouží k přenosu dat mezi účastníky a komunikačními uzly.

Páteřní síť tvoří spojnice a uzly. Spojnice tvoří fyzické přenosové cesty, které jsou v dnešní době nejčastěji realizované pomocí optických či metalických kabelů. S využitím technologií pro páteřní systémy, mezi které řadíme technologie využívající WDM, můžeme na těchto sítích docílit přenosové rychlosti v rámci až desítek Tb/s.

Přístupová síť zajišťuje uživateli připojení do telekomunikační sítě. V případech kooperativních dopravních systémů se tak musí logicky jednat o bezdrátové technologie, které jsou schopny zajistit spojení uživatele za pohybu. [5]

U přenosových technologiích určených pro kooperativní dopravní systémy jsou kladeny velké nároky, a to z důvodu, že jedním z jejich nejdůležitějších úkolů je zabránit stavu, který by byl ohrožující bezpečí člověka. Mezi tyto požadavky na přenosové technologie patří přenosová rychlost, zpoždění, dostatečné pokrytí, spolehlivost, přesnost, dostupnost a mnoho dalších. Tyto požadavky, spolu s požadavky na mobilitu, splňují, nebo se snaží splnit, následující bezdrátové standardy. V současnosti ještě není vyvinuta technologie, která by byla vhodná pro všechny potřeby kooperativních systémů. Proto se zatím využívají pro různé aplikace různé komunikační technologie. [6]

1.2.1 IEEE 802.11p

IEEE 802.11p je jedním standardem z početné rodiny standardů IEEE 802.11. Standardy 802.11 patří k nejrozšířenějším a nejpoužívanějším bezdrátovým technologiím na trhu přístupových sítí. Takovému rozšíření vděčí faktu, že je provozována v bezlicenčním pásmu, pouze na základě veřejného oprávnění a neklade si za cíl možnost splňovat služby. Díky své popularitě a rozšířenosti jsou náklady na výrobu minimální. To s sebou přináší i stinnou stránku, která vyúsťuje v zahlcenost bezlicenčního pásma a nemožnost poskytovat garantované služby. Proto standard 802.11p pracuje v licencovaném pásmu 5,9 GHz. IEEE 802.11p je určen pro mobilní zařízení (WAVE – Wireless Access in Vehicular Environment). Tento standard rozšiřuje soubor standardů IEEE 802.11 o podporu pro mobilní telematické aplikace. Byl schválen jako základ technologie DSRC a také nového evropského standardu pro inteligentní dopravní systémy ITS-G5. Díky tomu je v současnosti nejpoužívanější technologií pro projekty v oblasti kooperativních dopravních systémů. Šířka, oproti 20 MHz pro technologii Wi-Fi, je 10 MHz a taky tento standard využívá multiplexovou metodu OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Tento standard garantuje mobilitu až do rychlosti 200 km/h a dosah se pohybuje až v řádu jednotek kilometrů. [5] [7]

1.2.2 DSRC

DSRC je mikrovlnná technologie vyvinutá speciálně pro použití v dopravě. Pracuje ve dvou pásmech, které jsou geograficky rozlišené. Pásmo 5,8 GHz se používá převážně v Evropě a Japonsku. Pásmo 5,9 GHz se používá v Severní Americe. Každé pásmo má svoji sadu standardů a protokolů. Zařízení pracující v jednom pásmu bohužel není kompatibilní se zařízeními pro pásmo druhé. V Evropě se této technologie používá v systémech na výběr

mýtného (kromě Německa a Slovenska). První mýtný systém byl instalován v Rakousku v roce 2004. Výhoda DSRC je její nízká latence, odolnost vůči povětrnostním a klimatickým podmínkám a vysoká mobilita (až do 250 km/h). [8]

1.2.3 Mobilní datové sítě – LTE A

V současnosti se největší naděje v přístupových technologiích pro kooperativní dopravní systémy vkládají do nejnovější technologie v oblasti mobilních datových sítí – do LTE-A (Long Term Evolution – Advanced). LTE A svým pojetím navazuje na technologii LTE, která byla roku 2009 komerčně nasazena. Jedná se stále ještě o technologii 3. generace. Vývoj nové technologie LTE – A ještě nebyl zcela ukončen, i když už probíhaly pilotní testy. Tato technologie, patřící do sítí 4. generace, musí splňovat určité požadavky. Konkrétně přenosová rychlost pro stacionární zařízení musí dosahovat 1 Gb/s a pro mobilní zařízení 100 Mb/s. Dále musí mít možnost bezproblémově poskytovat připojení zařízením až do rychlosti 350 km/s. Nespornou výhodou sítí LTE – A je v tom, že její výstavbu a provoz zajišťují telekomunikační společnosti, které na ně využívají prostředky vybrané od koncových zákazníků. Tudíž se jedná o technologii velmi oblíbenou mezi obyvatelstvem a o velkém pokrytém území. [5] [7]

1.3 Služby poskytující kooperativní systémy

Služeb či aplikací, které jsou kooperativní systémy schopny poskytovat, je celá řada. Obecně lze tyto aplikace kooperativní dopravních systémů rozdělit do 5 kategorií. Konkrétně [4]:

- Bezpečností aplikace
  Služby a aplikace z této oblasti jsou nejvíce zkoumány a testovány. Tlak na jejich zavádění velký, neboť se od nich očekává, že by mohly přispět ke snížení dopravních excesů. Účelem těchto aplikací je varovat řidiče v krizových situacích. Mezi takovéto aplikace patří nouzová elektronická brzdová světla, varování před překážkou, informace o stavu vozovky a dopravy, asistent jízdy na křižovatce a mnoho dalších.

- Aplikace pro řízení dopravy
  Aplikace sloužící k řízení dopravy si kladou za cíl zvýšení efektivity řízení dopravního proudu a zabránit tak zdržení v rámci kongescí, nebo zbytečnému čekání na křižovatkách vybavených SZZ.

- Ekologické aplikace
  Aplikace ke zlepšení životního prostředí mají taky jistě svoji část v rámci kooperativních systémů. V dnešní době se čím dál více dbá na zlepšení životního prostřední a doprava patří k jedněm z největších znečišťovatelů. Hlavně ve velkých městech se dnes zbrojí proti znečišťování prostředí. K dalším jistě důležitým aplikacím budou aplikace vedoucí ke snížení spotřeby.

- Aplikace pro nákladní dopravu a logistiku
  Aplikací pro nákladní dopravu je celá řada a jistě se budou i nadále rozšiřovat. V dnešní době, kdy většina zákazníků očekává dodání zboží přesně na čas, můžou tyto aplikace zefektivnit potřebné procesy. Mezi hlavní aplikace v současné době patří mýtné systémy. V budoucnu se počítá s nasazením systémů, jakou jsou inteligentní tachografy, managment nakládky i vykládky, správa vozového parku apod.

- Servisní aplikace
  Jedná se aplikace sloužící ke zkvalitnění údržby vozidel. Využívá se k připojení vozidel k servisním střediskům a přenos informací z interních čidel vozidla. Mezi typické aplikace řadíme například vzdálenou kalibraci, či hlídání servisních intervalů.

1.3.1 Seznam a rozdělení služeb kooperativních systémů

Odborníci Evropské Unie na kooperativní systémy sestavili seznam služeb, které budou v rámci projektů kooperativních dopravních systémů implementovány a testovány v rámci pilotních projektů. Tyto služby byly vybrány pro jejich důležitost a jejich perspektivnost v rámci všeobecných společenských potřeb, jako například zvýšení bezpečnosti účastníků silničního provozu.

Tento seznam maximalizuje šance dosáhnutí celoevropského pokrytí a pokračování ve výstavbě kooperativních dopravních systémů v co nejkratší době. Seznam byl rozdělen na dvě části. Takzvané Služby Day 1 a Služby Day 1.5 (můžeme vidět v tabulkách 1 a 2). Seznam, tak jak byl setříděn, spojuje služby podle důležitosti, potřeby a možností aktuálního nasazení. Má za úkol vytvoření celoevropského trhu s kooperativními dopravními systémy, které budou kompatibilní a bude zde prostor k rozšiřování služeb. [9]

Tabulka 1- Služby Day 1, přeloženo z [9]

	Služby Day 1
1	Upozornění na prudce brzdící vozidlo
2	Upozornění na blížící se vozidlo IZS
3	Upozornění na pomalá nebo stojící vozidla
4	Varování před nadcházející kongescí
5	Upozornění na nebezpečná místa
6	Upozornění na práce na silnici
7	Upozornění na povětrnostní podmínky
8	Zobrazovaní informací uvnitř vozu
9	Zobrazovaní maximálních rychlostí uvnitř vozu
10	Data vozidlové sondy
11	Zamezování šokových vln
12	GLOSA
13	Bezpečnost na křižovatkách
14	Preference vozidel IZS

Tabulka 2 - Služby Day 1.5, přeloženo z [9]

	Služby Day 1.5
1	Informace o parkování na parkovištích
2	Informace a managment parkování na ulici
3	Parkovací a cestovní informace
4	Informace o možnostech tankování
5	Informace o provozu a chytré navigování
6	Přístup městských zón
7	Managment nakládky a vykládky
8	Zvýšení bezpečnosti cyklistů a chodců
9	Kooperativní varování před kolizí
10	Indikaci přibližující se motorky
11	Zamezení jízdy v protisměru

1.4 Projekty z oblasti kooperativních systémů

V Evropě již bylo zrealizováno několik projektů, které sloužili k implementaci a testování především C2X a C2I komunikací. V rámci této podkapitoly bych popsal několik málo projektů, které dle mého názoru patřily ke stěžejním, a nejvíce se zasadily o pokrok v této oblasti. Dále zde bych zde zmínil současně probíhající projekty.

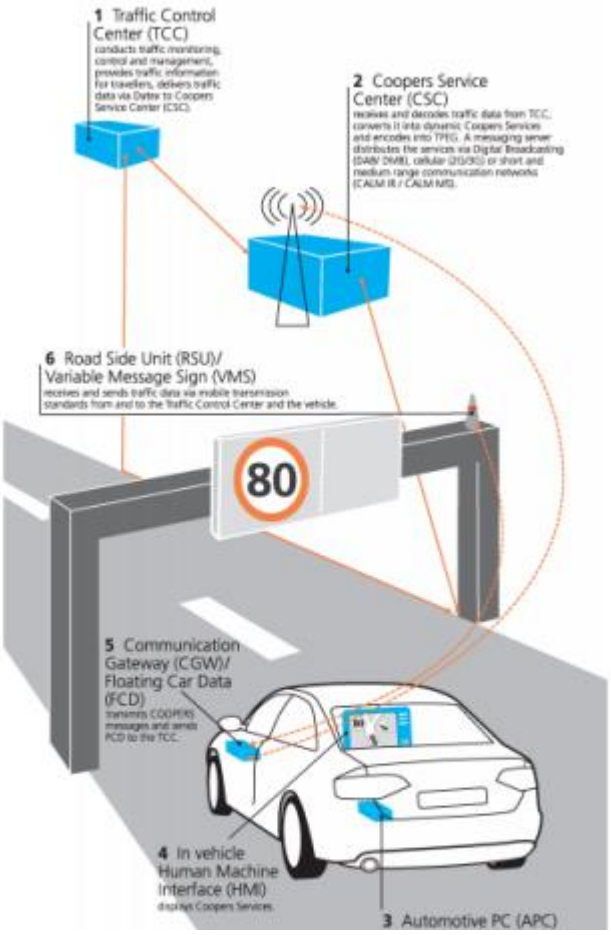
1.4.1 COOPERS

Projekt COOPERS probíhal v letech 2006 až 2010. Projekt byl spolufinancován Evropskou Unií (9,6 miliard Euro) a účastnilo se ho na 40 dalších firem (např. Ascom, Swarco, BMW), kteří projekt financovali dalšími 16,8 miliardy Euro. Cílem projektu bylo navrhnout, vyvinout a

zrealizovat kooperativní dopravní systém, který bude propojovat vozidla a infrastrukturu pomocí bezdrátových technologií a tento systém otestovat v reálném provozu. Hlavním cílem měla být výměna dat a informací o okolí vozidla. Dalšími dílčími cíli mělo byt zvýšení bezpečnosti a efektivnější řízení dopravy. [10]

Navržený systém se skládal z několika subsystémů (viz. obrázek 1):

- TCC – Traffic Control Centre: Má za úkol řídit a kontrolovat dopravu. Dalším úkolem je přes síť zasílat informace účastníků silničního provozu a poskytovat dopravní data do COOPERS Service Center.
- CSC – COOPERS Service Center: Přijímá a vyhodnocuje dopravní data z TSC, poskytuje COOPERS služby a rozesílá informace pomocí bezdrátových technologií.
- RSU – Road Side Unit: Zabezpečuje přenos dopravních dat mezi TCC a ostatními účastníky silničního provozu
- OBE – on-board equipment set: Pomocí HMI ve vozidle zobrazuje COOPERS služby



Obrázek 1 - Prvky systému COOPERS [10]

Obrázek 2 - Prvky systému COOPERS [10]

Systém byl testován v roce 2010 (leden až červen) na velmi zatížených komunikacích převážně v západní Evropě (viz. obrázek 2), kde byly COOPERS služby instalovány. Testy byly rozděleny do několika sekcí, ve kterých probíhaly zkoušky různých částí systému.

- Test 1: Testovalo se zde zvýšení dopravy pomocí služeb COOPERS a koncept zasílání dopravních informací. Testy probíhaly na silnicích v Rakousku, Německu a Itálii.

- Test 2: Zde byly testy zaměřeny nejen na efektivitu řízení dopravy, ale i efektivitu řídících systémů vozidla. Testy probíhali v Nizozemí a Belgii.

- Test 3: Během tohoto testování se ověřovala funkčnost systému v městském prostředí. Testování probíhalo v rámci Berlína.

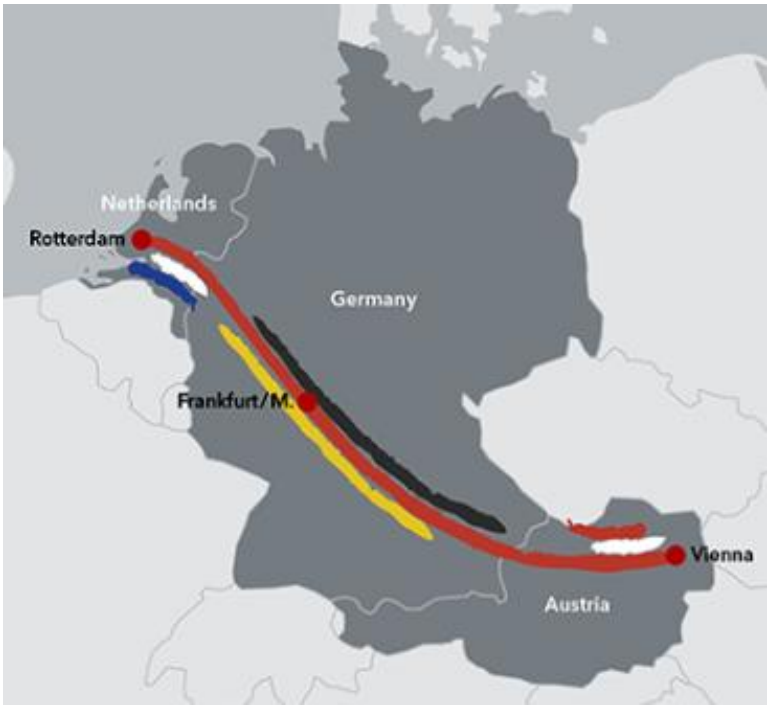
- Test 4: V tomto testu byly testovány COOPERS služby, jejich efektivita, vliv na bezpečnost a reakce ze strany uživatelů. Testy probíhaly na území Francie.

Obrázek 3 - Testovací lokace projektu COOPERS [10]

Testování proběhlo úspěšně. Bylo prokázáno zvýšení bezpečnosti i zvýšení efektivity řízení provozu. Dále byly získány důležité poznatky v rámci vývoje HMI a způsobů zobrazování informací. [10]

1.4.2 C-ITS Corridor

V červnu roku 2013 státy Německo, Nizozemí a Rakousko, spolu s operátory komunikací a automobilovým průmyslem, odstartovaly projekt s názvem C-ITS Corridor. Ten si klade za cíl vytvoření koridoru procházejícími těmito státy, kde budou instalovány služby kooperativních dopravních systémů. Hlavními cíli jsou zvýšení bezpečnosti a efektivnosti dopravy a snížení ekologické zátěže. Dalším cílem je zvýšit komfort dopravy a položit základy pro budoucí nasazení autonomních vozidel. [11]



Obrázek 4 - Mapa C-ITS Corridor [11]

Koridor (viz. obrázek 3) spojuje nizozemský Rotterdam, německý Frankfurt nad Mohanem a rakouskou Vídeň. V první fázi zde budou spuštěny dvě hlavní služby:

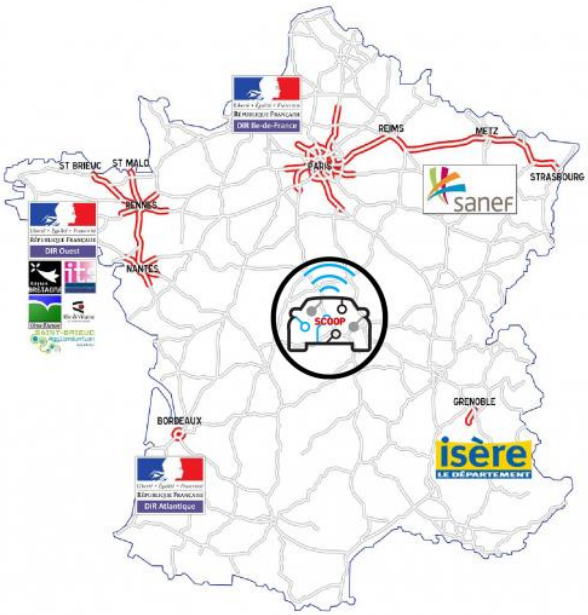
- Upozornění na práce na silnici (RWW)
  Tato služba bude varovat řidiče před blížícím se místem, kde probíhají práce na silnici. Vozidla přibližující se místu opravy dostanou upozornění skrz svůj display. Jedná se o doplňkovou službu k mobilnímu svislému dopravnímu značení, od které se očekávají výhody v podobě: zvýšení bezpečnosti jednotlivců, zvýšení bezpečnosti na celé dopravní síti, poskytování informací řídícím dopravním centrům ohledně současných míst probíhajících prací a zlepšení managmentu celé dopravní sítě.

- Poskytování dopravních dat pro zlepšení managmentu dopravy
  Nově vybudovaná C-ITS infrastruktura bude zaznamenávat data o projíždějících vozidlech a bude je odesílat do dopravních řídících center. Tam budou získaná data vyhodnocována a budou používaná k optimalizaci toků na dopravní síti: předcházení kongescí pomocí hledání nejrychlejší cesty, snížení počtu incidentů, poskytování dopravních dat komerční sféře pro využití v aplikacích třetích stran.

Projekt plánuje být v budoucnu rozšiřován i o další služby Day 1 a Day 1.5. Jako komunikační technologie bude použita hybridní síť spojující celulární datové sítě operátorů a technologie ITS-G5. Od projektu se slibuje rychlá penetrace trhu s kooperativními dopravními systémy a zvýšení všeobecného zájmu o tyto technologie.

1.4.3 Projekt SCOOP

Projekt SCOOP je jedním z největších projektů v oblasti kooperativních dopravních systémů. Jeho vývoj a testování probíhá ve Francii (viz. obrázek 4). Projekt je v současné době ve své druhé fázi, kdy dochází k reálné výstavbě a testování v praxi. První fáze, která probíhala mezi lety 2014 a 2015, se zaměřovala na definici priorit, služeb a standardů, které budou v projektu využívány. Ve druhé fázi, která probíhá od roku 2016, dochází k reálnému nasazení a testování. Na projektu spolupracuje 18 partnerů skrz komerční a státní sektor. Projekt nadále spolupracuje s ostatními evropskými projekty (C-ITS Corridor, C-ROADS) a podílí se na vývoji standardu ITS-G5. [12]



Obrázek 5 - Pilotní lokace projektu SCOOP

1.4.4 NordicWay

Hlavním předmětem projektu NordicWay bylo otestovat a prokázat funkčnost interoperability kooperativních dopravních systémů pro osobní i nákladní dopravu mezi různými státy. Do projektu byly zainteresovány čtyři severské země, a to Norsko, Švédsko, Finsko a Dánsko. Měl poskytovat čtyři základní služby [13]:

- Varování před nepříznivými povětrnostními podmínkami a stavu vozovky
- Varování před nebezpečnými úseky
- Varování ohledně prací na silnici
- Poskytování dopravních informací z vozidel

NordicWay měl následující hlavní cíle [13]:

- Zlepšit výkonnost dopravní sítě (efektivita, vlivy na životní prostředí, bezpečnost) za účelem vylepšení současné silniční sítě, což může přinést snížení počtu kongescí a úmrtí.
- Pomocí kooperativních dopravních systémů zlepšit hlavní bezpečnostní služby (varování před nepříznivými povětrnostními podmínkami a nebezpečnými úseky). Toho se mělo dosáhnout získáváním a používáním dopravních informací z vozidel.
- Demonstrovat výhody kooperativních dopravních systémů mezi širokou veřejnost a poskytnout jí přesnější dopravní data, které pomůžou jejich cestu udělat příjemnější, bezpečnější a co nejkratší.
- Vytvořit trh s kooperativními dopravními systémy pro komerční sféru, která bude vyvíjet a implementovat nové služby.

Klíčové inovace, které přinesl projekt NordicWay [13]:

- Byl to první projekt tak velkého rozsahu, který demonstroval technickou proveditelnost. Primárně ukázal na schopnost tak velkého systému využívat k získávání dopravních informací z vozidel hybridní telekomunikační technologie používající mobilní data veřejných operátorů (3G, LTE a 4G) kombinované se standardem ITS-G5.
- Nabízel uživatelům průběžné interoperabilní služby mezi různými mobilními sítěmi, nezávisle na hranicích jednotlivých států. Nabízel C-ITS služby s velmi podobnými uživatelským prostředím ve všech čtyřech státech.
- Byl to business - průmyslově orientovaný projekt s důrazem na vytvoření udržitelného a konkurenceschopného modelu (veřejný sektor, C-ITS operátoři, automobilový průmysl, telekomunikační společnosti).

- Byl realizován velkorozpočtový projekt financován z veřejných prostředků v rámci ITS Směrnice 2010/40/EU (poskytování bezpečnostních a aktuálních dopravních informací), který poskytoval aktuální dopravní informace účastníkům silničního provozu zobrazující se do jejich automobilů (vestavěné displeje či chytré mobilní telefony.
- NordicWay prokázal reálné zlepšení bezpečnosti na silnicích.
- NordicWay byl plně založen na evropských a globálních standardech a byl tlačen k dosáhnutí plné interoperability ve všech čtyřech zainteresovaných státech s možností rozšíření i do jiných států EU.

V současné době probíhá projekt s názvem NordicWay2, který staví na základech prvního projektu a jeho cílem je rozšíření stávajících služeb o služby nové (Day 1 a Day 1.5). Největší výzvou je implementace služeb věnující se redukcí emisí CO_2. Dále dochází k testování a vývoji hardwarových částí systému, které se musí přizpůsobit tamějšímu podnebí (zima, pohoří). V neposlední řadě dochází k propojení stávajícího projektu do celoevropského projektu C-ROADS. [14]

1.4.5 eCall

eCall byl projekt Evropské komise, který měl za úkol navrhnout, otestovat a implementovat stejnojmennou službu do nově vyrobených vozidel na území Evropské unie. Testování systému eCall bylo prováděno v rámci celoevropského projektu HeERO, který byl ukončen koncem roku 2013. Ve vybraných zemích Evropské unie, včetně ČR, měla testovací vozidla za úkol simulovat dopravní nehody pro ověření bezchybného přenosu dat a hlasového spojení mezi vozidlem a centrem tísňového volání.

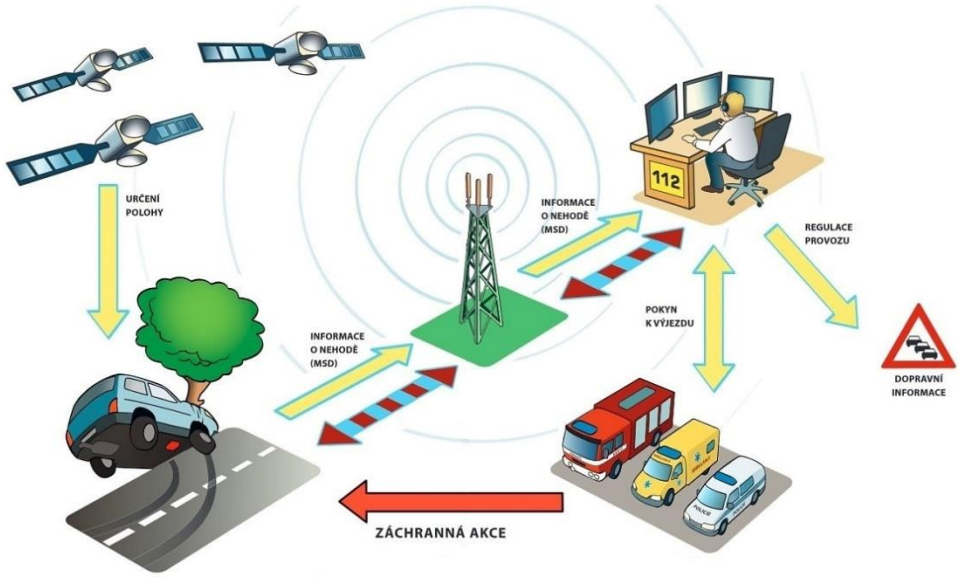
Cílem tohoto systému je pomoct motoristům, kteří se stali účastníky dopravní nehody. Systém eCall je dostupný na celém území Evropské unie. Systém funguje na bázi jednotného evropského tísňového volání 112. eCall se skládá ze tří základních částí: z OBU jednotky, z center tísňového volání a telekomunikační sítě. OBU jednotka sleduje kritické veličiny snímaných ze senzorů ve voze a obsahuje dva základní komponenty. Jedná se o GPS modul, který poskytuje přesnou informaci o poloze vozu v době aktivace, a GSM modul, který má za úkol zkontaktovat se s centrem tísňového volání a předat mu informace. Systém může být aktivován dvěma způsoby, automatickým a manuálním. Manuální způsob může aktivovat sám řidič při vzniku mimořádné situace, např. při zdravotních obtížích posádky vozidla, či se stane svědkem dopravní nehody. Manuální aktivace probíhá stisknutím příslušného tlačítka. Automatická aktivace se spustí v případě, že OBU jednotka systému eCall vyhodnotí nehodu jako vážnou. Při těchto aktivacích se OBU jednotka spojí s příslušným centrem tísňového

volání, naváže hlasové spojení mezi řidičem a operátorem v centru a odešle minimální soubor dat o nehodě (tzv. MSD, viz. tabulka 3). Na základě těchto informací, které bude mít operátor k dispozici, by se mělo rozhodnout o rozsahu záchranné akce v co nejkratší době, aby se eliminovali vážné zdravotní následky zraněných účastníků nehody. [15]

Tabulka 3 - Obsah MSD [15]

Název elementu	**Popis**
ID	Verze formátu MSD
Message Identifier	Identifikátor eCall sady
Control	Typ aktivace, důvěryhodnost polohy a typ vozidla
VIN	VIN kód vozidla
Propulsion Storage Type	Typ paliva
Timestamp	Čas eCall události
Vehicle Location	Poloha vozidla – zeměpisná šířka a délka
Vehicle Direction	Směr jízdy před nárazem
Recent Vehicle Location	Nepovinný údaj; předchozí polohy vozidla
Number of passangers	Nepovinný údaj; počet zapnutým bezpečnostních pásů

Projekt eCall dosáhl mimořádného milníku na poli zavádění kooperativních dopravních systémů v tom, že od 1. dubna roku 2018 musí všichni evropští výrobci automobilů instalovat palubní jednotky do všech nově homologovaných osobních aut a nákladních vozidel do 3,5 tuny. Jde o jeden z největších kroků směrem ke zvýšení bezpečnosti na silnicích a snížení fatálních následků dopravních nehod. Jen v roce 2014 si nehody v EU vyžádaly 25 700 obětí a s tímto systémem by se tento počet měl snížit asi o 10 %. [16]



Obrázek 6 - Princip fungování systému eCall [16]

1.4.6 C-ROADS

C-Roads je celoevropský projekt, který má za úkol nasadit novou technologii pro kooperativní dopravní systémy do reálného provozu na vybraných úsecích silniční sítě. C-Roads, jako společná koordinační platforma (založena roku 2016) pro zavádění C-ITS systémů, slouží ke sdílení znalostí a zkušeností v této oblasti. Projekt zabezpečuje koordinaci spolupráce a vývoje společných technických specifikací, které budou sloužit jako základ pro všechny pilotní nasazení kooperativních systémů v rámci C-Roads.

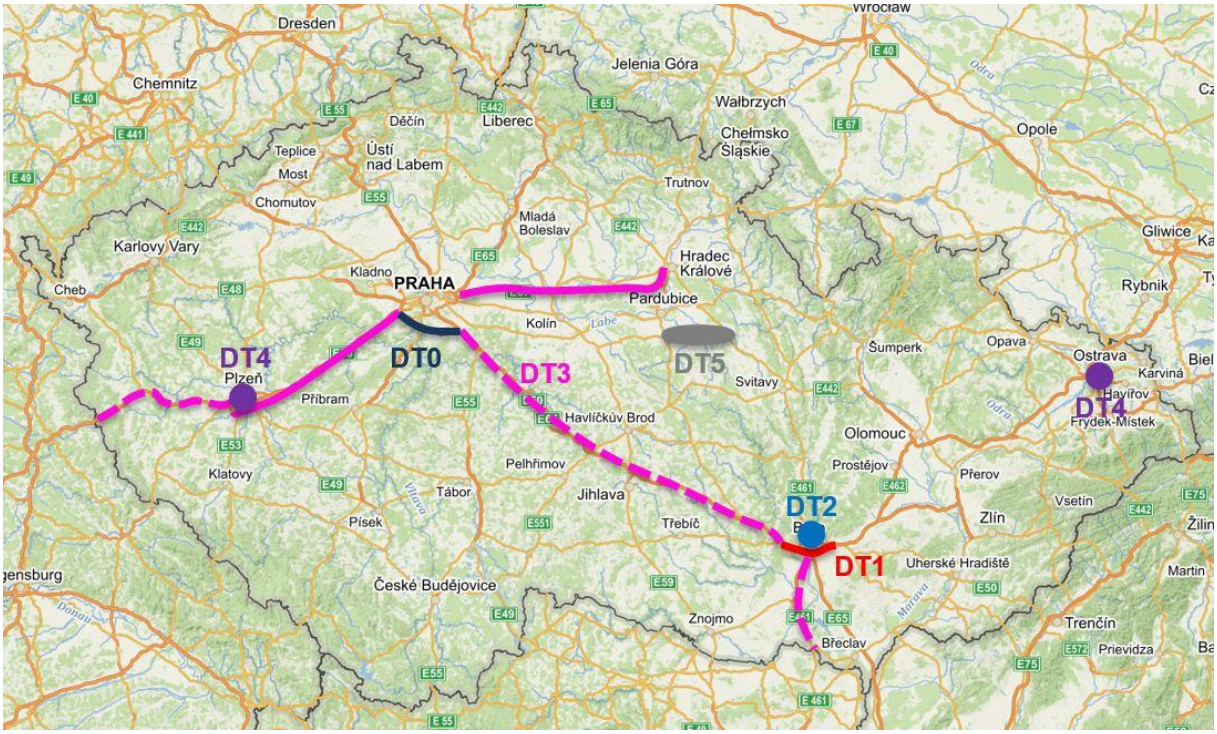
Platforma primárně sdružuje státy realizující projekty C-Roads. Mezi tyto země patří Česká republika, Rakousko, Německo, Slovinsko, Belgie a Francie. Dále se do tohoto projektu integrují i jiné pilotní projekty kooperativních dopravních systémů, jako například projekt NordicWay, či InterCor, který se zaměřuje spíše na využívání kooperativních dopravních systémů pro silniční nákladní vozidla. [17]

Projekt C-Roads Česká republika spojuje státní instituce a soukromé firmy, které se spojili dohromady za účelem vývoje a testování nejmodernějších systému vedoucích ke zvýšení bezpečnosti a plynulosti dopravy. Oproti ostatním evropským projektům je ten český unikátní v tom, že řeší problematiku nasazení kooperativních systémů na zabezpečení železničních přejezdů a do vozidel městské hromadné dopravy. [17]

Partneři a jejich role [17] :

- Ministerstvo dopravy: projektový koordinátor projektu C-Roads Česká republika,
- Ředitelství silnic a dálnic České republiky: prováděcí subjekt Ministerstva dopravy a nasazení kooperativních systémů na vybrané úseky silniční sítě,
- Společnosti Správa železniční dopravní cesty a AŽD Praha: implementace a testování kooperativních systémů na vybraných železničních přejezdech s cílem snížení počtu zraněných osob v důsledku střetu s vlakem,
- Město Brno: nasazování systémů v rámci města Brna a jeho aglomerace,
- Konsorcium komerčních společností INTENS Corporation, O2 Czech Republic a T-MOBILE: technický návrh, implementace a pilotní provozování kooperativních systémů,
- Dopravní podnik Ostrava a Plzeňské městské dopraví podniky: aplikace pro preferenci MHD,
- ČVUT Fakulta dopravní: hodnocení a posuzování implementovaných systémů.

Česká republika definovala šest pilotních oblastí (viz. obrázek 6) pro implementaci a testování C-ITS systémů a služeb. Tyto pilotní projekty jsou označeny jako DT (Deployment & Test, Nasazení & pilotní testování).



Obrázek 7 - Pilotní lokality projektu C-Roads [17]

Pilotní lokality [17]:

- DT0: implementace C-ITS systémů na pražském okruhu (D0) a menších úsecích dálnic D1 a D5,
- DT1: vybudování C-ITS služeb na silnicích v brněnské aglomeraci,
- DT2: rozmístění kooperativních systémů v rámci města Brna, aby navazovaly na hlavní silnici vybavené v rámci projektu DT1,
- DT3: vybudování C-ITS infrastruktury na dálnicích D1, D5, D11 a D52,
- DT4: implementace C-ITS systémů v rámci veřejné hromadné dopravy ve městech Ostrava a Plzeň,
- DT5: zabezpečení železničních přejezdů C-ITS technologií,
- DT6: přeshraniční testování interoperability C-ITS služeb poskytovaných českými a zahraničními partnery v rámci platformy C-Roads.

V rámci českého pilotního projektu bude implementována a testována většina služeb definovaných jako Služby Day 1. Konkrétně [17]:

- upozornění na práce na silnici,
- upozornění na prudce brzdící vozidlo,
- upozornění na nebezpečné místo,
- upozornění na povětrnostní podmínky,
- vyobrazení dopravních informací přímo v autě,
- data vozidlové sondy,
- upozornění na pomalu jedoucí nebo stojící vozidlo,
- upozornění na blížící se vozidlo IZS,
- upozornění na blížící se kongesci,
- nerespektování návěstí SSZ na křižovatce,
- přednost veřejné dopravy,
- úrovňový železniční přejezd,
- bezpečnost veřejné hromadné dopravy.

V dalších fázích vývoje by mělo docházet ke zprovozňování dalších navazujících služeb definovaných jako Služby Day 1.5.

Mezi hlavní cíle projektu C-Roads patří zvýšení bezpečnosti silničního provozu, ochrana zdraví a majetku osob, snížení nehodovosti a zvýšení plynulosti dopravy. Mezi širší cíle můžeme zařadit harmonizaci a spolupráci při zavádění C-ITS systémů členských států Evropy, což povede k vytvoření jednotného a kompatibilního trhu na poli s kooperativními dopravními systémy. [17]

2. KPI u vybraných projektů C-ITS systémů

KPI (Key Performance Indicators, česky Klíčové ukazatele výkonosti) jsou indikátory, ukazatele či metriky výkonnosti přiřazeného procesu, službě, organizačního útvaru, celé organizaci, které vyjadřují požadovanou výkonnost (kvalitu, efektivnost nebo hospodárnost). [18]

Výkonnostní měření je základním principem správného řízení. Měření výkonnosti je důležité, neboť identifikuje výkonnostní mezery mezi současnou a požadovanou výkonností a poskytuje informace o možnostech, jak a čím tímto mezery uzavřít. Pečlivě vybrané klíčové ukazatele výkonnosti identifikují a přesně poukazují na to, co je potřeba vylepšit, aby se dosáhlo požadované výkonnosti. [19]

Na poli implementací pilotních projektů kooperativních dopravních systémů jsou KPI velmi aktuální téma. Dávají totiž všem zúčastněným stranám možnost nadefinování si konkrétních cílů, kterých by měly projekty kooperativních dopravních systémů dosáhnout. Následně lze pomocí KPI sledovat, jak se plnění těchto cílů vyvíjí. Zároveň lze z pozorovaných výkonnostních indikátorů získat informace o tom, jaké výhody nám implementace těchto systémů může přinést. Tyto poznatky pak mohou být součástí celkového zhodnocení projektů.

V této kapitole budou uvedeny základní doporučené KPI, tak jak je definují oddělení EU, které by měly pokrývat primární účely budování C-ITS systémů. Dále zde budou vypsány KPI u vybraných projektů kooperativních dopravních systémů. Nakonec proběhne zhodnocení jejich užití.

2.1 Studie KPI pro Inteligentní dopravní systémy

Tato studie byla objednána Generálním ředitelstvím pro mobilitu a dopravu Evropské komise, aby byl vytvořen soubor společných KPI pro inteligentní dopravní systémy. Tím byla pověřena společnost AECOM. Zadáním bylo vypracovat tehdejší přehled KPI vztahujících se k inteligentním dopravním systémům napříč všemi členskými státy EU. Na základě této rešerše byl definován nový soubor společných KPI. Ten obsahuje celkem 15 KPI rozdělených podle typu do dvou kategorií: KPI doporučené pro zavádění ITS a doporučené výstupní KPI (anglicky: Recommended Deployment KPIs and Recommended Benefit KPIs). [20]

KPI doporučené pro zavádění jsou (přeloženo) [20]:

- délka dopravní sítě pokrytá službami poskytující dopravní a cestovní informace,

- počet zastávek veřejné dopravy poskytující dynamická cestovní data,
- délka dopravní sítě pokrytá: senzory, dopravními informačními službami, plány pro dopravní opatření a vybavení pro jejich zavádění, vybavení pro C-ITS služby a inteligentní bezpečnostní služby pro hendikepované,
- počet křižovatek vybavených dynamickým řízením SZZ,
- délka dopravní sítě pokrytá detektory dopravních incidentů,
- délka dopravní sítě pokrytá automatickým měřením rychlosti,
- poskytování inteligentních služeb na síti TEN-T: online dopravní data, bezpečnostní informace, volná parkovací místa pro nákladní vozidla,
- počet nových vozidel vybavenými inteligentními funkcemi.

Doporučená výstupní KPI jsou (přeloženo) [20]:

- procentuální změna cestovní doby ve špičce,
- procentuální změna dopravního proudu ve špičce,
- procentuální změna cestovní doby během celého dne (snížení kongescí),
- procentuální změna typu dopravy na koridorech,
- procentuální změna v počtu excesů,
- procentuální změna v ročních emisích CO_2
- čas mezi začátkem spojení eCall služby a zobrazením obsahu MSD zprávy na stole operátora

2.2 ITS Deployment and Benefit KPIs

Tento dokument byl vytvořený Evropskou ITS Platformou (EU EIP). Tato organizace spojuje Ministerstva dopravy členských států EU, silniční úřady, provozovatele silnic a další partnery ze soukromého a veřejného sektoru. Tato organizace dohlíží nad zaváděním ITS služeb v rámci EU.

V rámci tohoto dokumentu byly vytvořeny KPI pro zavádění ITS služeb v rámci Evropy. Snažil se spojit rozlišné přístupy pojetí KPI do uceleného celku. Obsah tohoto dokumentu výrazně čerpá z rozlišných zdrojů, především z dokumentu vydaným DG MOVE (popsán v podkapitole 2.1) a svých vlastních studiích. [21]

KPI jsou rozdělená podle typu do dvou kategorií: Deployment KPI a Benefit KPI.

Seznam Deployment KPI (přeloženo) [21]:

- délka silniční sítě pokrytá detektory incidentů,
- délka silniční sítě pokrytá automatickým měřením rychlosti
- počet zastávek veřejné dopravy poskytující dynamická cestovní data,
- délka dopravní sítě pokrytá službami poskytující dopravní a cestovní informace,
- počet křižovatek vybavených dynamickým řízením SZZ,
- počet nových vozidel vybavenými inteligentními funkcemi,
- poskytování inteligentních služeb na síti TEN-T: online dopravní data, bezpečnostní informace, volná parkovací místa pro nákladní vozidla,
- délka silniční sítě vybavená poskytováním informací o rychlosti,
- délka silniční sítě vybavená poskytováním informací o počasí,
- délka dopravní sítě pokrytá systémem: Dynamické změny pruhů,
- délka dopravní sítě vybavená systémem pro vytvoření dodatečného pruhu,
- délka dopravní sítě umožňující zakázání předjíždění pro nákladní vozidla,
- počet nájezdů vybavených systémem: Ramp metering.

Seznam Benefit KPI (přeloženo) [21]:

- změna dopravního proudu,
- změna cestovní doby
- změna v počtu kongescí
- změna v dopadech pro cestování
- změna typů dopravy
- změna v počtu incidentů
- změna ve vyprodukovaných emisích CO_2
- počet použití služby eCall
- změna hlukových emisí

2.3 KPI u projektu NordicWay

Projekt NordicWay byl jedním z prvních projektů své velikosti, který se snažil o jasné definování KPI za účelem přesného zhodnocení dopadů na reálný provoz. [22]

Hodnocení projektu probíhalo v osmi hlavních rovinách (přeloženo) [22]:

- technické provedení a kvalita
- chování uživatelů
- analýza benefitů a dopadů
- přijetí uživatelů
- bariéry a úspěšné faktory pro implementaci
- socio-ekonomické zhodnocení
- základní znalosti pro budou rozšiřování
- finanční zhodnocení a možnost rozšíření trhu

Aby bylo možné zhodnocení provést, sestavili odborníci z projektu NordicWay klíčové ukazatele výkonosti. Jelikož se jednalo o projekt probíhající ve čtyřech severských zemích (Norsko, Švédsko, Finsko, Dánsko), tak si každá vytvořila svůj seznam KPI. Výčet některých KPI můžeme vidět níže.

Seznam KPI – Dánsko (přeloženo) [22]:

- přesnost polohy
- zpoždění při odesílání/příjmu dat
- počet úspěšně přijatých/odeslaný zpráv
- čas, kdy byl systém funkční
- integrita
- dostupnost služeb
- čas mezi přijetím zprávy v dopravním centru, do jejich zpracování
- latence (čas interakce mezi jednotlivými části systému)

Seznam KPI – Finsko (přeloženo) [22]:

- velikost flotily
- využití flotily
- velikost dostupné zóny
- cestovní doba
- celková cestovní doba od dveří ke dveřím
- přebytečná doba způsobená dopravnímu excesy
- rychlost
- počet km procestovaných v kongescích

- stabilita dopravního proudu
- počet zpoždění
- úspěšnost informačních služeb
- průměrná intenzita dopravního proudu
- průměrná cestovní rychlost
- průměrné zpoždění v kongescích
- délka dopravních zácp
- dobrovolnost zaplatit za službu

Seznam KPI – Norsko (přeloženo) [22]:

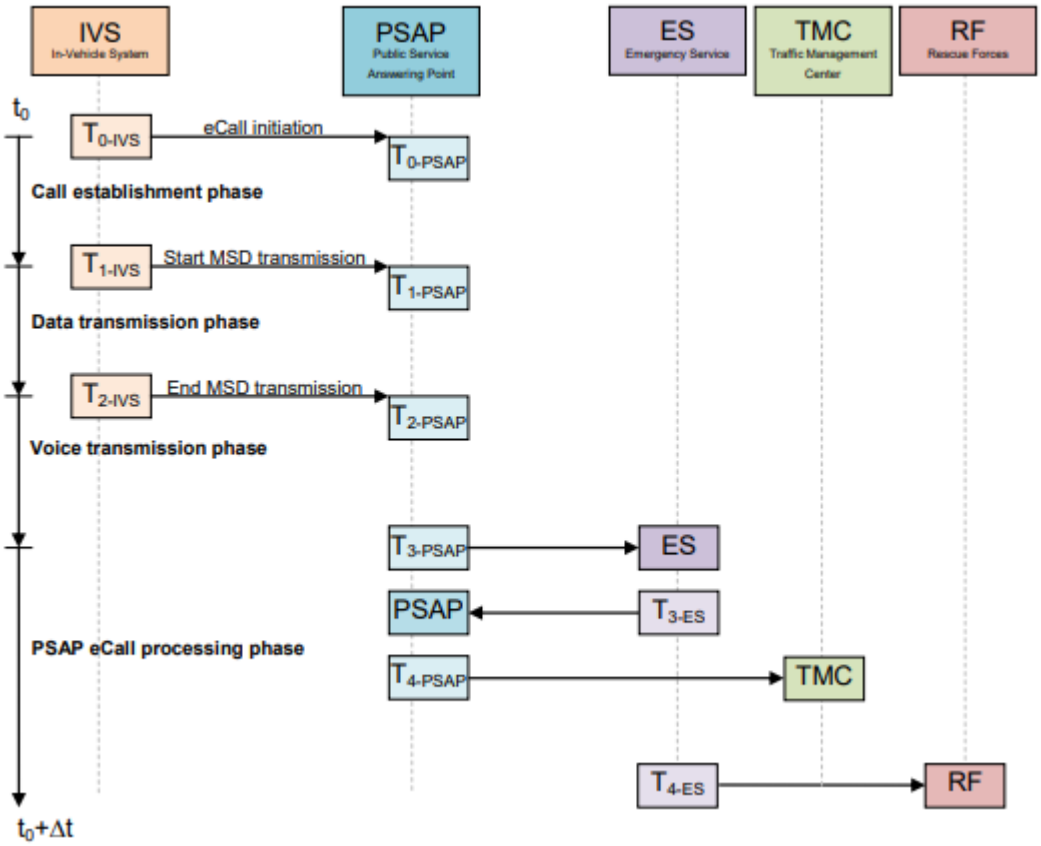
- cena za provozování vozidlové flotily
- počet vybavených vozidel
- počet přídavného vybavení
- hmotnost použité soli
- pokrytí silniční sítě službami
- počet detekovaných událostí
- počet chybně detekovaných událostí
- cena
- vnímaná užitečnost

Seznam KPI – Švédsko (přeloženo) [22]:

- velikost flotily
- fyzické pokrytí
- počet vybavených vozidel
- přesnost polohy
- časové údaje ohledně zpráv
- úspěšnost přijatých zpráv

2.4 KPI u projektu eCall

Při vývoji a testování systému eCall v rámci projektu HeERO bylo zavedeno 28 klíčových ukazatelů výkonnosti. Díky relativně jednoduchému principu fungování daného systému, nebylo obtížné rozklíčovat elementární procesy v celkové posloupnosti událostí (viz. obrázek 7), od aktivace služby eCall, po kontaktování záchranných složek. [15]



Obrázek 8 - Časová posloupnost procesů služby eCall [15]

Kvůli kvalifikaci jednotlivých KPI, musely být jasně definovány významné okamžiky v celém procesu (přeloženo) [15]:

- $T_{0\text{-IVS}}$: IVS spouští službu eCall
- $T_{1\text{-IVS}}$: IVS začíná posílat MSD
- $T_{2\text{-IVS}}$: Konec přenosu
- $T_{0\text{-PSAP}}$: Spuštěná služba eCall je indikovaná v PSAP
- $T_{1\text{-PSAP}}$: Začátek přijmu MSD zprávy PSAP
- $T_{2\text{-PSAP}}$: Začátek přenosu zvuku
- $T_{3\text{-PSAP}}$: Začátek odesílání informací ohledně incidentu záchranným složkám
- $T_{4\text{-PSAP}}$: Začátek odesílání informací ohledně incidentu do dopravního informačního centra
- $T_{3\text{-ES}}$: Začátek potvrzování že zpráva došla do PSAP
- $T_{4\text{-ES}}$: Okamžik výjezdu vozidel záchranných složek

Na základě těchto poznatků lze následně definovat zavedená KPI. Výběr některých z nich je popsán níže.

Seznam vybraných KPI (přeloženo) [15]:

- úspěšnost úspěšně dokončených eCall
  jednotka: [%]
  definice: eCall úspěšnost = úspěšné eCall / všechny zahájené eCall * 100%
- čas potřebný k zobrazení MSD v centru tísňového volání
  jednotka: [s]
  definice: čas MSD zobrazení = čas zobrazení MSD na stole operátora tísňového volání ($T_{2\text{-}PSAP}$) – čas kdy vnitřní vozidlový systém spustil službu eCall ($T_{0\text{-}IVS}$)

Z principu služby je zřejmé, že hlavní úlohu v tomto systému hraje čas a spolehlivost systému. Proto byla všechna KPI vedena v tomto duchu.

2.5 Zhodnocení stávajících přístupů

V rámci rešerše jednotlivých pojetí různých organizací k problematice KPI jsme se mohli seznámit s několika příklady pojetí klíčových výkonnostních indikátorů různých systémů. Z toho se následně můžeme naučit, jak postupovat při vytváření a vybírání KPI u nových projektů.

- V prvním a druhém případě jsme se seznámili s obecnými postupy při vytváření KPI u projektů inteligentních dopravních systémů. Tyto přístupy byly popsány ve strategických dokumentech Evropské unie. Tyto dokumenty mají poskytnou obecný návod při implementacích inteligentních dopravních systémů. Je v nich jasně popsáno, na co se momentálně klade největší důraz (jaké služby mají být v rámci ITS řešeny). Jelikož je v dnešní době valná většina projektů více či méně spolufinancovaných z fondů Evropské unie, je žádoucí zmíněné KPI zahrnovat do finálních zpráv projektů.

  Z mého pohledu jsou vytvořené a uvedené návrhy KPI až moc obecné. V obou případech se KPI opakují. Seznam, který vypracovala EIP je, obecně řečeno, více detailnější a vybrané KPI by se daly použít v procesech hodnocení projektů. Naopak KPI vypracované DG MOVE jsou až moc obecné, poslouží však členským zemím EU v jejich povinnosti odevzdávat reporty Evropské Komisi.

- Ve třetím případě jsme se seznámili s oblastmi, ve kterých probíhalo zhodnocení projektu NordicWay. Hodnocení obsahuje všechny oblasti, které je při vytváření nového konceptu kooperativních dopravních systému, nutné brát na zřetel.

  Uvedené KPI, které byly použity při zhodnocování systému, byly z mého pohledu vybrány až moc chaoticky. Nevidím přístup vybírání KPI podle země jako moc přínosný. Indikátory se v jednotlivých seznamech opakovaly, což působilo velmi neuspořádaně. Naopak oceňuju výběr některých KPI, které přímo souvisí s požadavky na systém.

- Ve čtvrtém případě jsem se seznámili s přístupem ke KPI u projektu eCall. V rámci své bakalářské práce jsem jej uvedl proto, neboť se dle mého názoru jedná o velmi povedený příklad vytváření a implementace KPI. Je to i samozřejmě dáno tím, že je to v principu jednoduchá služba.

Při vytváření KPI u nového systému kooperativních dopravních systémů bych se poučil z výše popsaných případů. Nejdřív bych si ujasnil, jaké KPI jsou pro mě relevantní. Dále bych indikátory vytvářel podle ucelených technických a hodnotících celků. A na závěr bych si vybral takovou rozlišovací úroveň, která je pro daný systém dostatečná.

3. KPI u projektu C-ROADS

V rámci platformy C-ROADS byl vydán dokument, který se věnuje evaluaci a posouzení pilotních implementací projektu. Na vytváření dokumentu se podíleli odborníci ze všech zainteresovaných států.

V rámci této kapitoly je popsáno, jakým způsobem bylo postupováno při vytváření klíčových výkonnostních indikátorů a jejich uvedení. Následně je provedeno zhodnocení vybrané metody s výstupy uvedenými v minulé kapitole. Nakonec jsou uvedeny možnosti dalšího rozvoje.

3.1 Přístup při vytváření KPI

Během testů v reálném provozu bude možné měřit nebo vypočítat různé parametry, které mohou odhalit důvody odlišného chování řidiče. Nás bude zajímat takové chování řidiče, který bude mít k dispozici informace poskytované pomocí kooperativních dopravních systémů. V principu nám stačí změřit chování jednoho řidiče, neboť lze předpokládat, že bude mít jen velmi zanedbatelný dopad na celý dopravní tok. Toto měření bude poskytovat první indikaci dopadů implementace projektu C-Roads a to v následujících vybraných oblastech:

- Bezpečnost
- Efektivita dopravy
- Životní prostředí

Pro správné měření budou potřeba relevantní data. Ty získáme ze součástí kooperativních dopravních systémů, jako jsou vozidlová ITS-jednotka, log ze systému GPS a dopravní monitorovací systém. V současné době se budeme soustředit pouze na analyzování možných efektů uvedených jako Služby Day 1, neboť ty jsou momentálně ve fázi implementace.

Hlavním cílem evaluace bude uvést KPI kooperativních dopravních systémů v porovnání s případem, kdy nejsou C-ITS služby k dispozici. Nakonec budou uveden odhad KPI v případě, kdy budou C-ITS služby více rozšířené. [23]

3.2 Soubor KPI integrovaných do projektu C-ROADS

3.2.1 Upozornění na práce na silnici

Pro tuto službu byl vybrán testovací scénář, kde dochází k uzavření jízdního pruhu. [23]

KPI pro bezpečnost a efektivitu dopravy (přeloženo):

- změna rychlost
- adaptace rychlosti
- cestovní doba/průměrná rychlost
- okamžitá akcelerace a zpomalování
- místo změny pruhu
- maximální úhel odbočení

KPI pro zlepšení životního prostředí (přeloženo):

- změna rychlosti
- okamžitá akcelerace a zpomalování
- spotřeba paliva
- úroveň hluku
- maximální úhel odbočení
- adaptace rychlosti
- místo změny pruhu

3.2.2 Vyobrazování dopravních informací v autě

Pro tuto službu byl vybrán testovací scénář, který informuje řidiči o změně maximální povolené rychlost. [23]

KPI pro bezpečnost a efektivitu dopravy (přeloženo):

- adaptace rychlosti
- změna rychlosti
- okamžitá akcelerace a zpomalení

KPI pro zlepšení životního prostředí (přeloženo):

- adaptace rychlosti
- změna rychlosti
- okamžitá akcelerace a zpomalení
- spotřeba paliva
- úroveň hluku

3.2.3 Upozornění na nebezpečná místa

Pro tuto službu byly vybrány všechny testovací scénáře mimo upozornění na povětrnostní podmínky a kluzkou vozovku. [23]

KPI pro bezpečnost a efektivitu dopravy (přeloženo):

- změna rychlost
- adaptace rychlosti
- cestovní doba/průměrná rychlost
- okamžitá akcelerace a zpomalování
- místo změny pruhu
- maximální úhel odbočení

KPI pro zlepšení životního prostředí (přeloženo):

- změna rychlosti
- okamžitá akcelerace a zpomalení
- spotřeba paliva
- úroveň hluku
- místo změny pruhu
- maximální úhel odbočení

3.3 Zhodnocení návrhu uvedených KPI a možnost dalšího rozvoje

Při vytváření KPI pro jednotlivé testovací scénáře byl jasně a přehledně uveden postup, který definoval uvedené indikátory pro každou ze tří vybraných oblastí. [23]

Po porovnání přístupu k navrhování KPI u projektu C-ROADS s mnou navrhovaným postupem uvedeným v předchozí kapitole lze konstatovat, že použité postupy byly adekvátní pro vytvoření nadmíru vyhovujících klíčových indikátorů výkonnosti.

V další fázi vývoje KPI pro projekt C-ROADS bych se zaměřil na návrh výpočtu jednotlivých indikátorů s učením jasné metriky, která by pomohla v celkovém zhodnocení procesů projektu.

Závěr

V úvodu této práce byly obecně popsány kooperativní systémy, přenosové technologie a možnosti služeb, které tyto technologie nabízejí.

Jako další část byla vypracována rešerše existujících pilotních projektů v rámci inteligentních dopravních systémů. U vyhledaných projektů proběhl pokus o vyhledání užitých KPI. Bohužel se povedlo dohledat užití klíčových výkonnostních indikátorů pouze u dvou projektů. U ostatních pravděpodobně KPI nebyly zpracovány, nebo relevantní informace nebyly dostupné veřejnosti.

U nalezených projektů byly popsány přístupy využití KPI v rámci zhodnocení celého systému. Tyto přístupy byly zanalyzovány a na základě proběhlé analýzy byla vytvořena metodologie pro implementaci KPI do kooperativních dopravních systémů.

V rámci projektu C-ROADS již proběhlo vytvoření užívaných KPI. Proto se tato práce odchýlila od svého cíle navrhnutí jednotlivých KPI a pouze zhodnotila systém přístupu odborníků řešící tuto problematiku.

S návrhem užitých KPI jsem se ztotožnil, neboť systém implementace těchto indikátorů se blíží poznatkům nabitým v rámci realizace této práce. Nakonec byl ještě přidán návrh na rozšiřování jednotlivých KPI pro další služby, kterých má být v rámci projektu C-ROADS dosáhnuto. Věřím, že tyto poznatky a navržená řešení použiji i ve své další práci.

Seznam literatury

[1] BĚLINOVÁ, Z.: Přednášky na Fakultě dopravní. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. 2018.

[2] PÍPA, M.: Kooperativní systémy v dopravě [online]. [cit. 2018-05-30]. Dostupný z WWW: http://www.cdv.cz/kooperativni-systemy-v-doprave/

[3] MATĚJKA, P.: Využití kooperativních systémů ke snížení spotřeby vozidel [online]. [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: http://www.fd.cvut.cz/projects/k614x1g/clovek/files/2014_BP_Matejka.pdf. Bakalářská práce. ČVUT v Praze.

[4] SVÍTEK, M., ZELINKA, T., VOTRUBA, Z., LOKAJ, Z., BUREŠ, P., BĚLINOVÁ, Z., ŠROTÝŘ, M.: Studie aplikací kooperativních systémů v prostředí městské aglomerace se zaměřením na možnosti jejich využití v hl.m. Praze. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. 2012. Verze 3.00.

[5] ZELINKA, T., ŠROTÝŘ, M.: Přednášky na Fakultě dopravní. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. 2017.

[6] ZELINKA, T., SVÍTEK, M.: Telekomunikační řešení pro informační systémy síťových odvětví. 1. vydání Praha, Grada Publishing, a.s., 2009. ISBN 978-80-247-3232-9.

[7] ŠROTÝŘ, M.: Alternativní telekomunikační řešení n bázi IEEE802.11 v ITS aplikacích. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. 2007. Vedoucí bakalářské práce Tomáš Zelinka.

[8] KAREL, M.: Nové trendy v technologiích DSRC pro dopravní aplikace. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. 2010. Vedoucí bakalářské práce Tomáš Zelinka

[9] C-ITS Platform. Final report [online]. 2016 [cit. 2018-06-10]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/its/doc/c-its-platform-final-report-january-2016.pdf

[10] Co-operative Systems for Intelligent Road Safety [online]. 2010 [cit. 2018-05-30]. Dostupný z WWW: https://ieeexplore.ieee.org/

[11] Cooperative ITS Corridor [online]. 2018 [cit. 2018-06-11]. Dostupné z: http://c-its-korridor.de/?menuId=1&sp=en

[12] Projekt SCOOP [online]. 2018 [cit. 2018-06-11]. Dostupné z: http://www.scoop.developpement-durable.gouv.fr/en/project-r2.html

[13] NordicWay [online]. [cit. 2018-06-11]. Dostupné z: http://vejdirektoratet.dk/EN/roadsector/Nordicway/NordicWay1/Pages/Default.aspx

[14] NordicWay2 [online]. [cit. 2018-06-11]. Dostupné z: http://vejdirektoratet.dk/EN/roadsector/Nordicway/Pages/Default.aspx

[15] Projekt HeERO [online]. [cit. 2018-06-11]. Dostupné z: http://www.heero-pilot.eu

[16] MICHLOVSKÝ, J.: Od 1. dubna povinně pro všechna nová auta. Systém eCall bude zachraňovat životy [online]. 31. března 2018 [cit. 2018-06-12]. Dostupné z: https://www.mobilmania.cz/clanky/od-1-dubna-povinne-pro-vsechna-nova-auta-system-ecall-bude-zachranovat-zivoty/sc-3-a-1341405/default.aspx

[17] C-ROADS [online]. [cit. 2018-06-13]. Dostupné z: http://c-roads.cz/

[18] KPI (Key Performance Indicators) - klíčové ukazatele výkonnosti [online]. [cit. 2018-06-13]. Dostupné z: https://managementmania.com/cs/key-performance-indicators

[19] WEBER, A., THOMAS R.: KEY PERFORMANCE INDICATORS [online]. [cit. 2018-06-13]. Dostupné z: http://www.computerised-maintenance-management-systems.com/articles/KPIs.pdf

[20] AECOM: STUDY ON KPI FOR ITS FINAL REPORT [online]. 2015 [cit. 2018-06-13]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/its/studies/doc/its-kpi-final_report_v7_4.pdf

[21] EU EIP: ITS Deployment and Benefit KPIs definitions [online]. [cit. 2018-06-13]. Dostupné z: https://www.its-platform.eu/filedepot_download/2112/6107

[22] BJERKAN, K.: NordicWay Evaluation Outcome Report [online]. [cit. 2018-06-13]. Dostupné z: http://vejdirektoratet.dk/EN/roadsector/Nordicway/Documents/NordicWay%20Evaluation%20Outcome%20Report%20M_13%20(secured).pdf

[23] WG 3 - Evaluation and Assessment. Evaluation and Assessment Plan.

Seznam tabulek

Tabulka 1- Služby Day 1, přeloženo z [9] 18
Tabulka 2 - Služby Day 1.5, přeloženo z [9] 18
Tabulka 3 - Obsah MSD [15] 25

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Prvky systému COOPERS [10] 19
Obrázek 1 - Prvky systému COOPERS [10] 19
Obrázek 2 - Testovací lokace projektu COOPERS [10] 20
Obrázek 3 - Mapa C-ITS Corridor [11] 21
Obrázek 4 - Pilotní lokace projektu SCOOP 22
Obrázek 5 - Princip fungování systému eCall [16] 25
Obrázek 6 - Pilotní lokality projektu C-Roads [17] 27
Obrázek 7 - Časová posloupnost procesů služby eCall [15] 34