



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

Fakulta dopravní

Ústav dopravních prostředků

**Zvýšení bezpečnosti využitím kooperativních systémů u  
motocyklů**

**Increasing safety by using cooperative systems for motorcycles**

Diplomová práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Inteligentní dopravní systémy

Vedoucí práce: Ing. Josef Mík, Ph.D.

Ing. Martin Šrotýř, Ph.D.

**Bc. Michal Růžička**

---

**Praha 2019**



**K616.....Ústav dopravních prostředků**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE** (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Michal Růžička**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – IS – Inteligentní dopravní systémy**

Název tématu (česky): **Zvýšení bezpečnosti využitím kooperativních systémů u motocyklů**

Název tématu (anglicky): Increasing safety by using cooperative systems for motorcycles

### **Zásady pro vypracování**

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

- Popište dostupné aplikace kooperativních systémů
- Specifikujte odlišnosti aplikací kooperativních systémů pro automobily a motocykly a zhodnoťte použitelnost jednotlivých automobilových aplikací pro motocykly
- Analyzujte možnosti specifických uživatelských rozhraní kooperativních systémů pro motocykly
- Vyberte vhodné aplikace kooperativních systémů a navrhnete implementaci těchto aplikací pro použití u motocyklů
- Zhodnoťte navržené řešení a uveďte možné směry jeho dalšího rozvoje



Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: M Bayly, MA Regan, SG Hosking, Intelligent transport systems and motorcycle safety, Monash University Accident Research Centre, 2006

Odborné články IEEE

Normy, standardy a odborné časopisy

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Josef Mík, Ph.D.**

**Ing. Martin Šrotýř, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce:

**19. 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 diplomové práce:

**28. května 2019**

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. Petr Bouchner, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu dopravních prostředků



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Michal Růžička  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 3. prosince 2018

## Poděkování

Na tomto místě rád poděkoval vedoucím mé diplomové práce za podporu a odborné konzultace. Speciální poděkování patří Ing. Martinu Šrotýřovi, Ph.D. za věcné připomínky k problematice. Děkuji také rodině a blízkým přátelům za podporu v době studia a zpracovávání této práce

## Prohlášení

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

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

Nemám žádný 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 .....

.....

Bc. Michal Růžička

## Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je využít kooperativní systémy, které jsou primárně uvažované a dostupné hlavně pro automobily v silniční dopravě, u motocyklů a zvýšit tak bezpečnost ne jenom jezdce motocyklu, ale aby i motocykl byl více předvídatelný a méně nebezpečný pro další účastníky silničního provozu. Práce pojednává o kooperativních systémech, jejich prvcích a přenosových technologiích. Obsahem je přehled aplikací kooperativních systémů a jejich zhodnocení pro použití na motocyklu. Dále popis možných uživatelských rozhraní pro motocykly a jejich specifičnost z pohledu kooperativních systémů. Návrh systému pro varování jezdce motocyklu před potenciálně nebezpečnými situacemi pak zakončuje práci.

## Klíčová slova

Motocykl, kooperativní systémy, motocyklové nehody, V2V, V2I, V2X, DSRC, LTE, eCall, HMI na motocyklu, zkvalitnění dopravy

## Abstract

The subject of this dissertation is the use of cooperative systems, which are primarily considered and available mainly for cars in road transport, on motorcycles and thus increasing the safety not only of motorcycle rider, but also that the motorcycle be more predictable and less dangerous for other road users. This thesis explains the meaning and benefit of cooperative systems, its elements and usable technologies. Contains an applications overview of cooperative systems and their evaluation for use on a motorcycle. Next is a description of possible user interfaces for motorcycles and their specificity from the perspective of cooperative systems. By proposal of system for motorcycle rider warning on potentially dangerous situations is the thesis ends.

## Keywords

Motorcycle, cooperative systems, motorcycle accidents, V2V, V2I, V2X, DSRC, LTE, eCall, motorcycle HMI, improvement of traffic

# Obsah

1	Úvod .....	9
2	Bezpečnost jednostopých vozidel .....	10
2.1	Hlubková studie MAIDS [1] .....	10
2.1.1	Úvod do studie .....	10
2.1.2	Výsledky analýzy.....	10
2.1.3	Vyhodnocení analýzy.....	14
2.2	Vlastní zkušenost s dopravní nehodou motocyklu.....	16
2.2.1	Nehoda „Otec“ .....	16
2.2.2	Nehoda „bratr“ .....	18
2.2.3	Shrnutí a prevence obou nehod.....	19
3	Kooperativní systémy .....	21
3.1	Úvod do kooperativních systémů.....	21
3.1.1	Komunikace Vozidlo – Vozidlo (V2V) .....	22
3.1.2	Komunikace Vozidlo – Infrastruktura (V2I) .....	22
3.1.3	Komunikace Vozidlo – jiné zařízení (V2X) .....	23
3.1.4	Rozdělení typů zpráv .....	23
3.1.5	Funkční prvky kooperativních systémů .....	24
3.2	Technologie komunikace.....	26
3.2.1	Technologie krátkého a středního dosahu.....	27
3.2.2	Celulární princip .....	31
3.2.3	Budoucnost přenosových technologií .....	36
4	Přehled aplikací kooperativních systémů.....	39
4.1	Bezpečnostní aplikace .....	41
4.1.1	Upozornění na prudce brzdící vozidlo.....	41
4.1.2	Upozornění na blížící se vozidlo IZS.....	42
4.1.3	Upozornění na pomalá nebo stojící vozidla .....	42
4.1.4	Varování před kongescí .....	43
4.1.5	Upozornění na nebezpečná místa.....	43
4.1.6	Upozornění na práce na silnici .....	43
4.1.7	Upozornění na nepříznivé podmínky počasí .....	44
4.1.8	Zvýšení bezpečnosti cyklistů a chodců .....	44
4.1.9	Kooperativní varování před kolizí.....	45
4.1.10	Upozornění na motocykl .....	45
4.1.11	Varování před jízdou v protisměru.....	46

4.1.12	Varování před vozidlem nerespektující signál Stůj .....	46
4.1.13	Upozornění na úrovněový železniční přejezd ve výstraze .....	46
4.1.14	Nouzové vysílání - eCall.....	47
4.2	Aplikace pro řízení dopravy a přepravy.....	49
4.2.1	Zobrazování informací uvnitř vozu.....	49
4.2.2	Zobrazování maximálních rychlostí uvnitř vozu .....	50
4.2.3	Data vozidlové sondy .....	50
4.2.4	Zamezení šokových vln (stop and go vln).....	51
4.2.5	Optimalizace rychlosti pro zelenou (GLOSA).....	51
4.2.6	Bezpečnost křižovatek.....	52
4.2.7	Informace o provozu a chytré navigování.....	53
4.2.8	Dynamické přidělování jízdních pruhů .....	53
4.3	Aplikace pro řízení nákladní dopravy a logistiku .....	54
4.3.1	Preference vozidel.....	54
4.3.2	Informace o parkování na parkovištích.....	54
4.3.3	Informace a management parkování na ulici.....	55
4.3.4	Park & Ride informace.....	55
4.3.5	Přístup městských zón.....	56
4.3.6	Management nakládky a vykládky .....	56
4.3.7	Informace o možnostech tankování.....	57
4.4	Servisní aplikace .....	57
4.4.1	Vzdálená diagnostika vozidla .....	57
4.4.2	Aktualizace systému .....	58
4.5	Aplikace pro zábavu a pohodlí .....	58
4.5.1	Doplňkové informace .....	58
4.5.2	Funkce vysílačky .....	59
4.5.3	Zábava .....	59
5	Uživatelská rozhraní u motocyklů (HMI) .....	60
5.1	Čich.....	60
5.2	Chuť.....	61
5.3	Hmat.....	61
5.3.1	HMI skrze hmat na motocyklu .....	63
5.3.2	HMI skrze hmat na výstroji jezdce .....	63
5.3.3	Zhodnocení využití HMI skrze hmat.....	65
5.4	Sluch .....	65
5.4.1	HMI skrze sluch na motocyklu.....	65

5.4.2	HMI skrze sluch na výstroji jezdce.....	67
5.4.3	Zhodnocení využití HMI skrze sluch .....	67
5.5	Zrak.....	68
5.5.1	HMI skrze zrak na motocyklu .....	68
5.5.2	HMI skrze zrak na výstroji jezdce .....	69
5.5.3	Zhodnocení využití HMI skrze zrak.....	70
6	Využitelnost kooperativních systémů pro motocykly .....	71
6.1	Specifičnost motocyklů v oblasti kooperativních systémů .....	71
6.1.1	Uživatelské rozhraní .....	71
6.1.2	Konstrukční proporce motocyklu.....	72
6.2	Zhodnocení použitelnosti jednotlivých aplikací pro motocykl.....	74
6.2.1	Bezpečnostní aplikace .....	74
6.2.2	Aplikace řízení dopravy a přepravy .....	75
6.2.3	Aplikace řízení nákladní dopravy a logistiky.....	76
6.2.4	Servisní aplikace .....	77
6.2.5	Aplikace pro zábavu a pohodlí .....	77
6.3	Prototypy kooperativních systémů pro motocykly .....	77
6.3.1	Honda ASV.....	78
6.3.2	BMW ConnectedRide .....	79
6.3.3	BMW Motorrad eCall .....	81
7	Návrh systému pro varování motocyklu .....	83
7.1	Popis aplikace.....	83
7.1.1	Vyhodnocení nutnosti upozornění.....	84
7.1.2	Typ komunikace .....	85
7.1.3	Přenášená data.....	85
7.2	Uživatelské rozhraní.....	85
7.3	Příklady použití .....	86
7.3.1	Situace blížícího se rychlejšího vozidla zezadu.....	86
7.3.2	Situace vozidla na křižovatce .....	87
7.3.3	Situace vozidla za horizontem.....	87
7.3.4	Situace vozidla za směrovým obloukem .....	87
8	Závěr.....	88
8.1	Zhodnocení práce.....	88
8.2	Přínos práce.....	90



# 1 Úvod

Na úvod bych rád osvětil, proč jsem si vybral toto téma pro svoji diplomovou práci. V mé bakalářské práci jsem se zabýval návrhem a stavbou závodního motocyklu pro soutěž MotoStudent a dlouho dobu jsem měl v plánu zakončit magisterské studium stejným tématem. Vyvaroval bych se chyb, kterých jsem se dopustil, a vylepšil a dotáhl do konce nápady, které jsem nosil v hlavě po absolvovaných závodech ve Španělsku s naším studentským závodním týmem CTU Lions. Zvrat nastal po odevzdání semestrální práce z předmětu Telekomunikace pro ITS, kde jsme měli napsat úvahu na téma Telekomunikace a moje bakalářská práce. V této úvaze jsem psal o tom, jak se s motocykly do budoucna příliš nepočítá, a že pro ně nevznikají žádné „chytré“ systémy. Moje úvaha se mému vyučujícímu (nynější vedoucí této práce Ing. Martin Šrotýř, Ph.D.) líbila a navrhl mi, pokud bych chtěl, toto téma nějakým způsobem rozvést, ať se za ním stavím. Po čase jsme se sešli a domluvili na tématu této diplomové práce.

Diplomová práce má pojednávat o využití kooperativních systémů pro zvýšení bezpečnosti motocyklů. Na začátku je potřeba specifikovat, jaká nebezpečí motocyklům hrozí a na jaký typ situací či nehod je potřeba se zaměřit. Analýza bude provedena ze studie dopravních nehod motocyklů a z vlastní zkušenosti s motocyklovými nehodami. Po nalezení problémových faktorů se představí nástroj pro jejich eliminaci – kooperativní systémy – k čemu slouží, jak pracují, přínos do oblasti dopravy, popis funkčních prvků a popis technologií, včetně jejich zhodnocení.

Kooperativní systémy nabízejí mnoho aplikací a služeb ke zkvalitnění dopravy, ale často jsou popsány pouze názvem. Nutno podotknout, že název je často všeříkající. V této práci bude uveden strukturalizovaný přehled relevantních aplikací, včetně detailnějšího popisu funkce.

Motocykly jsou specifické svým uživatelským rozhraním, které se liší od automobilového. Bude představeno, jak je možné co nejefektivněji předávat informace jezdcí motocyklu a kde jsou největší rozdíly oproti automobilovému uživatelskému rozhraní.

Po určení odlišnosti motocyklu od automobilu z pohledu kooperativních systémů bude v práci naznačeno, jaké aplikace kooperativních systému jsou vhodné pro motocykl a jaké nikoliv. Představení již funkčních kooperativních systémů na motocyklech bude následovat.

Nakonec bude představen systém, který bude varovat jezdce motocyklu před potencionálně nebezpečnými situacemi. Tento systém by měl být postaven na nehodách z provedené analýzy tak, aby jim dokázal předejít.

## 2 Bezpečnost jednostopých vozidel

Jak název diplomové práce říká, bude se zabývat zvýšením bezpečnosti motocyklů. Na úvod je ale nutné specifikovat, jaké nebezpečí motocyklům hrozí a na co se tudíž zaměřit.

### 2.1 Hloubková studie MAIDS [1]

#### 2.1.1 Úvod do studie

Jako zdroj informací o nehodách jednostopých vozidel jsem si vybral rozsáhlou hloubkovou studii MAIDS 2.0 z roku 2009. MAIDS je zkratka odvozená z počátečních písmen Motorcycle Accidents In-Depth Study (česky Hloubková studie motocyklových nehod). Tato studie vznikla pod záštitou asociace ACEM, sdružující evropské výrobce motocyklů se sídlem v Belgii, a spoustou dalších asociací a federací. Mezi nejvýznamnější, o kterých bude dále zmínka, patří FEMA a FIM.

Studie byla provedena na případech z pěti evropských zemí – Francie, Německo, Itálie, Nizozemsko a Španělsko. Celkově bylo zanalyzováno přesně 921 nehod motocyklů různého stupně závažnosti. U každého případu bylo zaznamenáno více než 2 000 proměnných rozdělených do tří hlavních faktorů – člověk, vozidlo a podmínky.

Celá studie je volně dostupná (po registraci) z internetových stránek [www.maids-study.eu](http://www.maids-study.eu).

#### 2.1.2 Výsledky analýzy

Jako první je potřeba určit skladbu zkoumaných vozidel. Ze 40 % ji tvořili motocykly kategorie L1, do které patří mopedy (skútry) a motorizované bicykly. Zbýlých 60 % jsou motocykly kategorie L3, což jsou klasické motocykly. Pro tuto práci to není rozhodující faktor, práce má význam jak pro mopedy, tak pro velké cestovní motocykly.

Z celkového počtu 921 bylo 103 nehod fatálních (11 %) a zbylých 818 nefatálních.

Významnou informací je pro nás Tabulka 1, která říká, že více než 80 % nehod se stalo mezi motocyklem a jedním dalším vozidlem. Tato informace je pro tuto práci velmi cenná, protože nás upozorňuje na důležitost se na tento případ zaměřit.

Počet vozidel při nehodě	Četnost	Procent [%]
Jedno*	143	15,5
Dvě	738	80,2
Tři	36	3,9
Čtyři	4	0,4
<b>Celkem</b>	<b>921</b>	<b>100</b>

Tabulka 1 - Počet vozidel zapojených do nehody [1]

\*je myšleno jako nehoda samotného motocyklu bez dalších účastníků

Nutné je znát i prostředí, kde se nehoda odehrála. Z Tabulka 2 lze vyčíst, že 72,3 % všech nehod se odehraje v intravilánu. Mopedy jsou považovány za městské stroje, proto zde není statistika překvapující, ale u větších motocyklů je tomu stejně, což už vyvolává podezření zaměřit se více na urbanistické prostředí.

<i>Prostředí</i>	<b>L1 kategorie</b>		<b>L3 kategorie</b>		<b>Celkem</b>	
	<b>Četnost</b>	<b>Procent [%]</b>	<b>Četnost</b>	<b>Procent [%]</b>	<b>Četnost</b>	<b>Procent [%]</b>
<i>Intravilán</i>	342	85,9	324	62	666	72,3
<i>Extravilán</i>	43	10,8	186	35,6	229	24,9
<i>Jiné</i>	13	3,3	13	2,4	26	2,8
<b>Celkem</b>	<b>398</b>	<b>100</b>	<b>523</b>	<b>100</b>	<b>921</b>	<b>100</b>

*Tabulka 2 - Rozdělení oblastí nehody [1]*

Po rozdělení intravilán/extravilán je potřeba si říci, zda se nehody staly v křižovatce nebo na spojnicovém úseku. Tabulka 3 ukazuje poměrně vyrovnanou statistiku. U kategorie L1 je nehodovost výrazně vyšší v případě křižovatek, ale u větších motocyklů již tento faktor nepoukazuje na to, že by jedna z možností byla nebezpečnější. V součtu kategorií je pravděpodobnost nehody v křížení vyšší a to 54,3 % zatímco v mezi-křižovatkovém úseku 38,7 %.

<i>Prostředí</i>	<b>L1 kategorie</b>		<b>L3 kategorie</b>		<b>Celkem</b>	
	<b>Četnost</b>	<b>Procent [%]</b>	<b>Četnost</b>	<b>Procent [%]</b>	<b>Četnost</b>	<b>Procent [%]</b>
<i>Křižovatka</i>	248	62,3	252	48,2	500	54,3
<i>Mezi úsek</i>	120	30,2	237	45,3	357	38,7
<i>Jiné</i>	30	7,5	34	6,5	64	7,0
<b>Celkem</b>	<b>398</b>	<b>100</b>	<b>523</b>	<b>100</b>	<b>921</b>	<b>100</b>

*Tabulka 3 - Statistika prostředí nehody křižovatka – mezi úsek [1]*

Otázka příčin nehod, jaký faktor měl největší podíl na vzniku nehody a tím jej posuzujeme jako primární příčinu vzniku nehody, vyplývá z Tabulka 4. Tato analýza je pro tuto práci klíčová. Vyplývá z ní, že téměř 88 % nehod bylo způsobenou lidskou chybou, zatímco jenom 0,3 % technickou závadou a 7,7 % vlivem vnějších faktorů jako povětrnostní podmínky nebo stav vozovky. Takto obrovské číslo poukazující na lidskou chybu je alarmující, ačkoliv existují studie, kde je tato statistika ještě nepříznivější pro řidiče. Jednoznačně to ukazuje, na co je důležité se zaměřit a kde vězí klíč ke zvýšení bezpečnosti na silnicích – na snížení podílu lidské chyby v dopravním procesu.

<i>Primární příčina</i>	<b>Četnost</b>	<b>Procent [%]</b>
<i>Lidská chyba</i>	<b>809</b>	<b>87,9</b>
<i>Technická závada</i>	3	0,3
<i>Vnější faktory</i>	71	7,7
<i>Jiné</i>	38	4,1
<b>Celkem</b>	<b>921</b>	<b>100</b>

*Tabulka 4 - Tabulka primárních příčin vzniku nehody [1]*

Nyní se zaměříme na nejčastější primární příčinu vzniku nehody. Lidská chyba je potřeba dále rozdělit na chybu řidiče motocyklu nebo řidiče jiného vozidla. Výsledek tohoto porovnání nám může pomoci s rozhodnutím, koho před kým varovat. Z Tabulka 5 vyplývá, že za větší podíl nehod může řidič jiného vozidla. Z celkového počtu 809 nehod způsobených lidskou chybou zavinil řidič jiného vozidla 465 nehod, což činí 57,5 %. Analogicky řidič motocyklu může za 42,5 % nehod. Tento výsledek nám ukazuje, na koho se zaměřit jako na příčinu většího počtu nehod. Ale i přes to, že je rozdíl počtu nehod téměř pětinnový, nemůžeme se zaměřit pouze na jednoho původce, i řidič motocyklu způsobí nezanedbatelné množství nehod a je nutné toto číslo snížit.

<i>Lidská chyba</i>	<b>Četnost</b>	<b>Procent [%]</b>
<i>Řidič motocyklu</i>	344	42,5
<i>Řidič jiného vozidla</i>	<b>465</b>	<b>57,5</b>
<b>Celkem</b>	<b>809</b>	<b>100</b>

*Tabulka 5 - Původce lidské chyby [1]*

Tyto chyby lidských subjektů – řidiče motocyklu a řidiče jiného vozidla – je nutné dále rozebrat a rozdělit do základních okruhů, kterými jsou:

- **Chyba vnímání (Perception failure)**

Řidič motocyklu nebo řidič jiného vozidla nezpozoroval nebezpečí a provedl úkon vedoucí k nebezpečné situaci. Jednoduše chyba nepozornosti.

Příklad: Řidič jiného vozidla se nepodívá do zpětného zrcátka a vjede do přilehlého pruhu, kde vrazí do jedoucího motocyklu.

- **Neporozumění (Comprehension failue)**

Řidič danou situaci vnímal, ale nepochopil nebezpečí vycházející z dané situace.

Příklad: Vozidlo IZS v pohotovosti se blíží proti směru jízdy motocyklu, řidič motocyklu jej vnímá, ale již nepředpokládá, že vozidlo IZS provede úkon doleva těsně před ním.

- **Špatné vyhodnocení (Decision failure)**

Řidič špatně vyhodnotil danou situaci a nevyhnul se tak nebezpečné situaci. Také lze říci, že se řidič špatně rozhodnul.

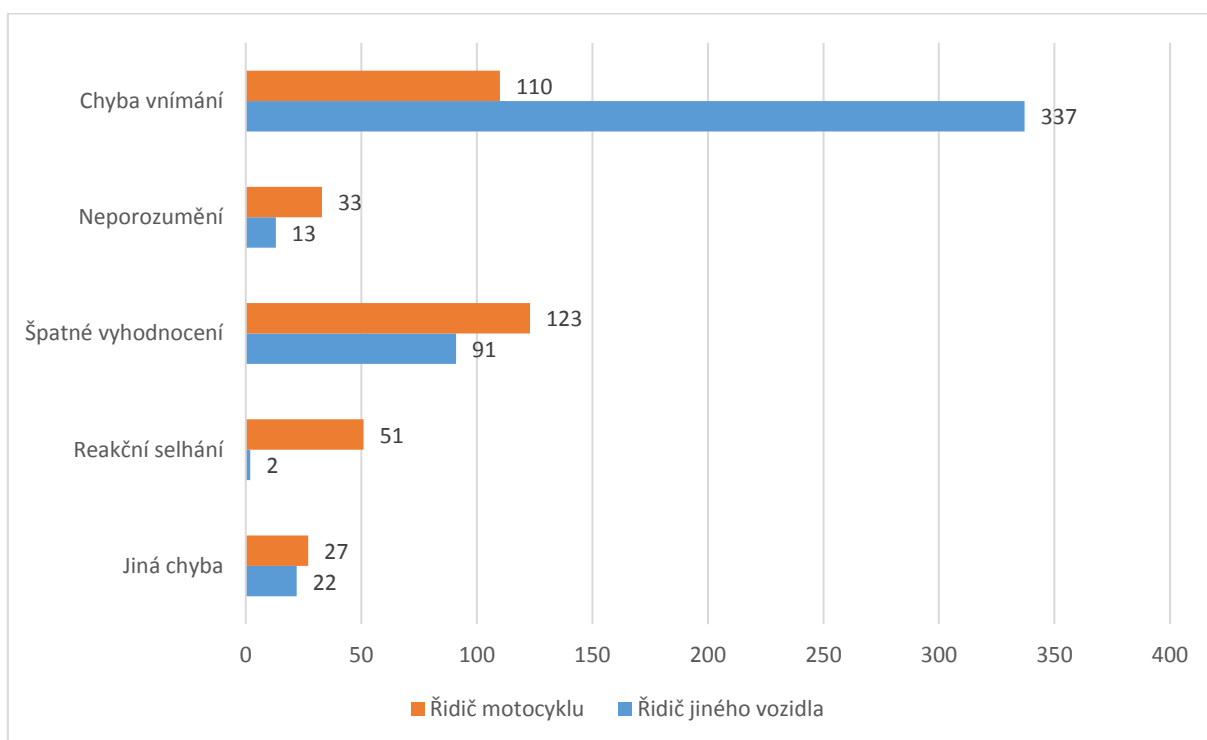
Příklad: Řidič motocyklu se rozhodne projet křižovatku na žlutou, ale nestihne to a narazí do již rozjetého automobilu v kolizním směru.

- **Reakční selhání (Reaction failure)**

Řidič nezareagoval na nebezpečnou situaci včas nebo vůbec.

Příklad: Řidič motocyklu vidí nerovnost na vozovce, ale nevyhne se, což vede k jeho pádu.

Graf 1 je výsledek vyhodnocení nehod s lidskou chybou a rozdělení do základních skupin lidských chyb popsanych výše jak pro chyby řidiče motocyklu, tak pro řidiče jiného vozidla. Každý z řidičů má nejméně zastoupenou jinou chybu.



Graf 1 - Statistika nehod zaviněných lidskou chybou [1]

U řidiče motocyklu je nejméně zastoupená nehoda způsobená chybou špatného vyhodnocení a druhá nejčastější je chyba nepozornosti. Špatné rozhodnutí vedlo řidiče motocyklu ke způsobení nehody v 35,8 % případů, tedy 123 nehod z celkového počtu 344. Nepozornost řidiče motocyklu zapříčinila nehodu ve 32 % (110 případů). U řidiče motocyklu je také nezanedbatelné číslo u chyby reakce, která může být způsobena vyššími rychlostmi a tím menším časovým intervalem na reakci. Špatná, pomalá nebo žádná reakce na vzniklou

situaci vyústila v nehodu v 51 případech (15 %). Nehoda v případě neporozumění situace ze strany řidiče motocyklu vznikla v 9,5 % případů. Dále 7,7 % nehod bylo způsobeno jinou lidskou chybou, která není blíže specifikována.

Řidič jiného vozidla má opačnou statistiku. Ten naopak nejvíce nehod zapříčiní chybou vnímání, tedy nepozorností. Tato chyba ze všech 465 nehod jím způsobených nehod činí 337 případů, což je více než 72 %. Druhá nejčastější chyba řidiče jiného vozidla je špatné rozhodnutí, což vedlo k 91 nehodám (19,5 %). Neporozumění nastalé situace bylo zjištěno u 13 případů - 2,8 %. Pozoruhodně malé číslo je u špatné reakce řidiče jiného vozidla. Tato chyba zavinila nehodu pouze ve dvou případech, což je 0,4 %. Blíže nespecifikovaná chyba byla u 22 případů (5,3 %).

### *2.1.3 Vyhodnocení analýzy*

Ze statistik výše se mohou dělat cenné závěry. První poznatek je, že nejčastější nehoda je mezi dvěma vozidly, tedy mezi motocyklem a jiným vozidlem. Je tedy třeba se zaměřit na tento druh kontaktu.

Obecně se nehoda pravděpodobněji v urbanistické části trasy než mimo město. Na tomto čísle mají největší zásluhu motocykly kategorie L1, protože se jedná o stroje typu skútr a moped určené hlavně pro města. Ve studii jich bylo necelých 400, což tvoří více než 40 % skladby motocyklů ve studii. Z celkového počtu 921 nehod se jich 666 (72,3 %) stalo ve městě. Je to logický výsledek, v zastavěné části je daleko větší pravděpodobnost přehlédnutí vzniklé situace, nepozornosti vlivem dění něčeho jiného v dohledu nebo jednoduše více budov a jiných předmětů překázejících ve výhledu. Ve městech a obecně zastavěných částech je nezbytné zlepšit bezpečnost.

Bavíme-li se o prostředí, kde se nehoda stala, je tu další důležitý faktor. Nehody motocyklu s jiným vozidlem se nejčastěji dějí na křižovatkách, kde se vozidla kříží a napojují na jiný směr trasy. Méně nehod je v přímém úseku, kde nehoda nejčastěji nastane při předjíždění, předně když motocykl předjíždí jiné vozidlo nebo ve směrovém oblouku, kde nejsou dobré rozhledové podmínky. Tento fenomén, kdy je křižovatka považována za nebezpečnější než rovný úsek, je obecné znám a neplatí jen u nehod motocyklů.

Nejdůležitější je znát příčinu nehody. Téměř v 90 % zkoumaných nehod mohl za nehodu člověk a jeho chyba, což je obrovské číslo. Technické závady stály za zrodem nehody ani ne u 0,5 % z celkového počtu nehod. Vnější faktory jako povětrnostní podmínky poté necelých 8 %. Z čísel vyplývá, že největším nebezpečím je lidská chyba, se kterou se musí pracovat.

Dalším rozbořením lidské chyby zjistíme, že za nehodu motocyklu s jiným vozidlem nejčastěji může řidič jiného vozidla. To je způsobené tím, že motocykl je obecně méně viditelný a

rozpoznatelný než jiné větší vozidlo. Další důvodem je menší předvídatelnost motocyklu, protože je mrštnější než jiná vozidla v obou stupních volnosti – zrychlení a brždění, zatočení doleva a doprava. Tyto faktory dělají motocykl pro řidiče jiného vozidla poměrně těžkým oříškem, protože jej lehce přehlédnou. A i když jej vidí, nedokáží přesně odhadnout jeho vzdálenost a rychlost, tudíž za jak dlouho se přiblíží k němu, proto se rozhodnou v zamýšleném úkonu pokračovat, což může vést k fatálním následkům. Jezdec motocyklu si je pak jeho výhod oproti jiným vozidlům vědom a často je použije nesprávně, například začne předjíždět automobil ve chvíli, kdy nevidí dostatečně daleko před sebe, a způsobí tím dopravní nehodu.

Existují čtyři hlavní typy lidských chyb – chyba vnímání, nepochopení situace, špatné vyhodnocení a reakční selhání. Nehody způsobené lidskou chybou, ať u řidiče motocyklu, tak u řidiče jiného vozidla, byly ve studii podrobně analyzovány a každé nehodě byl přiřazen hlavní typ lidské chyby, která měla největší podíl na způsobení nehody. Výsledkem bylo, že si řidič jiného vozidla nejčastěji ne všiml motocyklu, což potvrzuje tvrzení výše. Druhou nejzastoupenější chybou bylo špatné rozhodnutí, tedy opět potvrzení teorie o odstavec výše, že je pro řidiče jiného vozidla motocykl špatně předvídatelný. Jiné chyby u řidiče jiného vozidla jsou zanedbatelné. U řidiče motocyklu byla naopak nejčastější chyba špatného rozhodnutí druhá chyba vnímání a poměrně hojně zastoupená i chyba reakce. První dvě chyby jsou již vysvětleny, ale chyba reakce je zde nově. Ta může souviset s vyššími rychlostmi a tím má jezdec menší dobu na reakci. Často se také stává, že člověk v takové situaci „zamrzne“ a nerozhodne se nijak. Dále také nerovnost na silnici může pro motocykl znamenat něco jiného než pro automobil. Nerovnost může motocykl úplně rozhodit a katapultovat jezdce ze sedla, zatímco automobil jí projede a pouze jím otřese bez větších následků.

Je tedy jasné na co se zaměřit, chceme-li zvýšit bezpečnost motocyklů na silnicích.

- Brát v potaz všechny motocykly bez rozdílů jakýchkoliv parametrů (skútr x supersport, 50 ccm x 1200 ccm, 100 kg x 250 kg, ...).
- Zaměření převážně na městské prostředí a na křížení komunikací, ale extravilán a mezi-křižovatkové úseky se nesmí opomenout.
- Lidská chyba stojí za většinou nehod.
- Větší podíl na nehodách motocyklů s jiným vozidlem způsobili řidiči jiných vozidel, ale potřeba eliminace lidské chyby je na obou stranách – tedy i na řidiči motocyklu.
- Nejčastější chybou je chyba vnímání (nepozornosti) a špatné rozhodnutí. U motocyklů i chyba reakce.

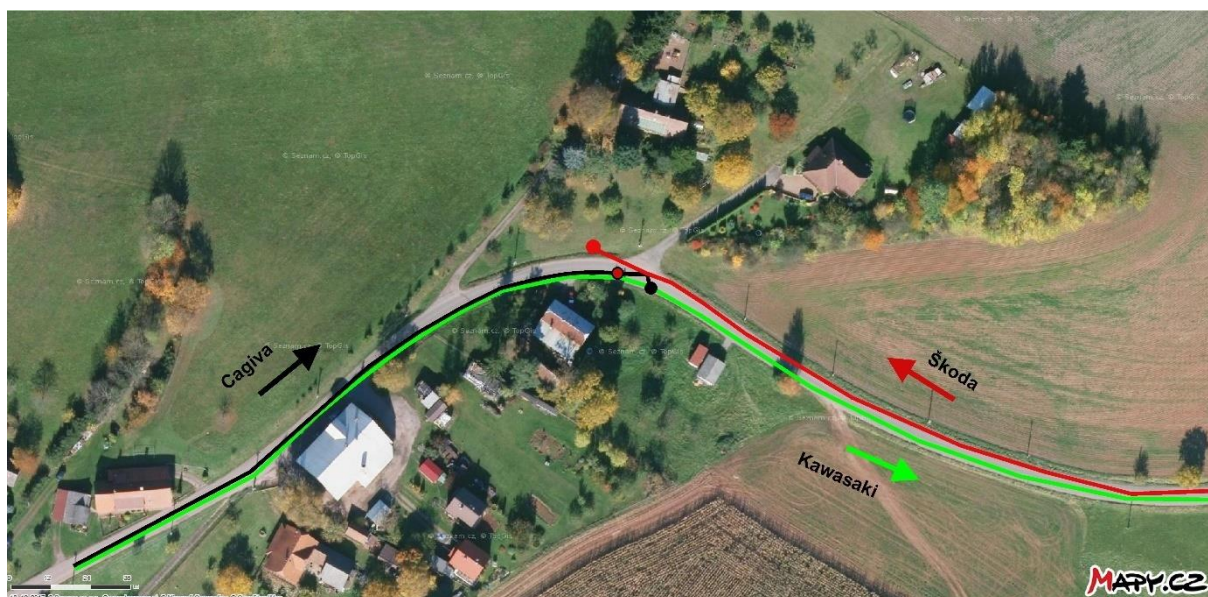
Pozn.: Byla prezentována pouze malá část ze studie MAIDS, která byla nejvíce relevantní pro tuto práci. Obsahuje velmi detailní informace o všech zanalyzovaných nehodách, ze kterých vyplývají zajímavé závěry. Velmi vhodná studie pro další práce na téma motocyklů a jako učební materiál. Studie je 10 let stará a za celou dobu nebyla aktualizována, ale i tak jsou data relevantní.

## 2.2 Vlastní zkušenost s dopravní nehodou motocyklu

Já, autor této práce, jsem také motocyklista a pocházím z motocyklové rodiny. Chtěl bych zde popsat a zanalyzovat nehody, kterých jsem byl nepřímo účastníkem. Tyto situace mám v živé paměti, dokážu si je představit a tím pádem i vymyslet smysluplné řešení, jak nejlépe předejít těmto situacím.

### 2.2.1 Nehoda „Otec“

Nehoda se stala 17. září 2015 cca v 17:00 na silnici třetí třídy číslo 28412 v obci Stará Paka – Brdo. Já a můj otec jsme jeli každý na svém motocyklu (oba motocykly kategorie L3 – otec na motocyklu značky Cagiva, já Kawasaki) směrem od Lomnice nad Popelkou na Novou Paku. Já první, otec za mnou. Ve zmíněné obci je z našeho jízdního směru pravotočivý směrový oblouk o necelých 90 stupních, který začíná pozvolna, ale poté se oblouku rapidně zmenší rádius, takzvaně se utáhne, a v oblouku začne mírné klesání. Proti nám jel v opačném směru automobil Škoda. Bylo polojasno, sucho s teplotou okolo 28 °C a povětrnostní podmínky dobré. Slunce v žádném úhlu neoslňovalo ani jednoho účastníka. Přilehlí pozemek s budovou a vegetací brání ve výhledu z obou směrů. Situace je popsána na Obrázek 1.



Obrázek 1 - Mapa s nástinem situace nehody "otec" [2]



Já jsem směrový oblouk projel jako první a s automobilem jsem se minul až několik metrů za obloukem. Co se stalo za mnou jsem viděl v levém zpětném zrcátku.

Otec projížděl obloukem až později a v bodě, kde se směrový oblouk „utáhne“ (na mapě červený bod s černým ohraničením v trajektorii motocyklu Cagiva), poprvé spatřil automobil v protisměru, zhruba 10 m před ním. Byl zrovna v lehkém náklonu doprava, odhadem 20° a rychlost měl okolo 35 km/h. Když uviděl automobil jedoucí v protisměru ve svém pruhu, zalekl se jej, na zlomek sekundy „zamrzl“ a když se blížil ke středu vozovky, v panice spadl s motocyklem na pravobok. Motocykl pokračoval ve své trajektorii přímo pod levé přední kolo automobilu. Řidič automobilu poté lehce strhl řízení doprava z jeho směru a zajel do příkopu na pravé straně vozovky. Motocykl se od automobilu odrazil a otočil o 180°. Otec naštěstí spadl blíže k pravému kraji vozovky a automobil i odražený motocykl jej minul. Skončil pouze s pohmožděným pravým kolenem.



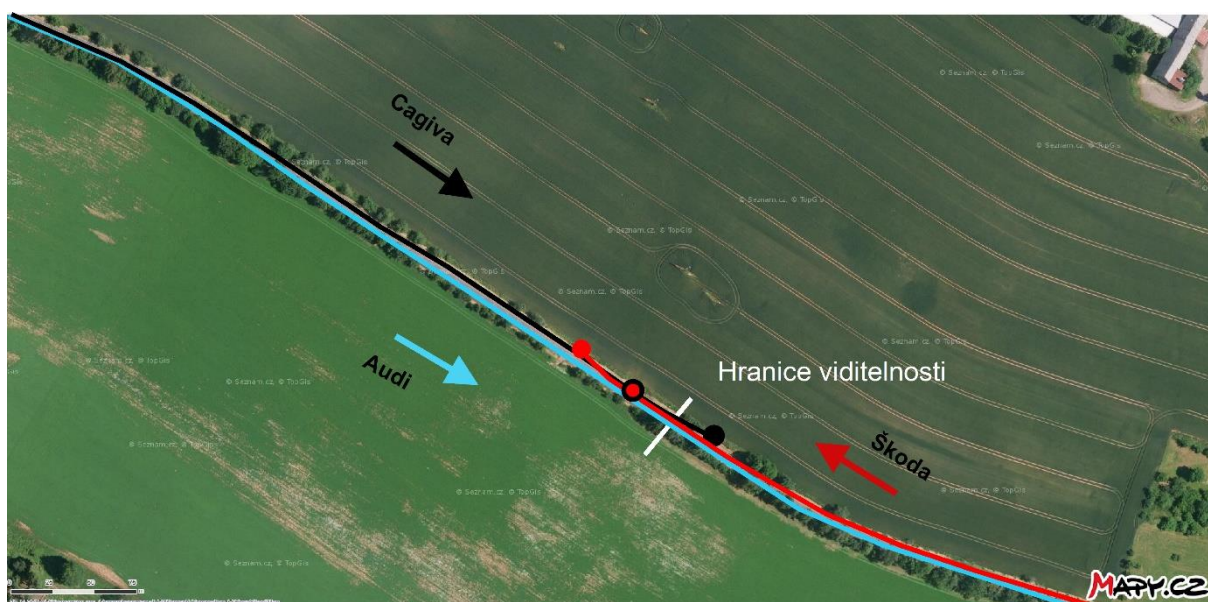
*Obrázek 2 - Vlastní fotografie z místa nehody "otec" (motocykl již odstraněn z vozovky)*

Analýzou nehody dojdeme k závěru, že nehoda se stala v intravilánu a na mezi-křižovatkovém úseku. Nehodu způsobil řidič motocyklu vlivem lidské chyby. Lidská chyba byla v tomto případě chyba reakce. Kdyby se otec neuleknul a „nezamrzl“, mohl v jízdě normálně pokračovat bez následků.

Prevence by byla odstranění překážek ve výhledu z jednoho konce směrového oblouku na druhý tak, aby byl jiný řidič varován před vozidlem v protisměru nebo obecně před jakýmkoliv nebezpečím.

## 2.2.2 Nehoda „bratr“

Tato nehoda se stala dne 29. října 2013 okolo 18:00 nedaleko obce Stružinec u Lomnice nad Popelkou na silnici druhé třídy č. 284. Záznam o nehodě od PČR je čísla 181106130382. Bylo oblačno až zataženo, místy přeháňky a teplota okolo 13 °C – pro jízdu na motocyklu poměrně nepříznivé podmínky. Můj bratr jel od Turnova směrem na Lomnici nad Popelkou, paradoxně na stejném motocyklu Cagiva jako můj otec při nehodě popsané výše. Nehoda se stala na rovném úseku, který je i se situací průběhu nehody zobrazena na Obrázek 3. Při nehodě nedošlo ke střetu mezi vozidly, ale jiná vozidla v ní figurovala. Automobil Škoda jel ve směru od Lomnice n/Pop na Turnov, další automobil Audi poté v opačném směru před mým bratrem, který jel na motocyklu. Tento úsek je nebezpečný, protože jde o rovný úsek zakončený vyvýšeninou, která blokuje ve výhledu a není vidět protijedoucí vozidlo. Tato hranice je naznačena na mapě.



Obrázek 3 - Zobrazení situace nehody "bratr" [2]

Můj bratr se vracel domů a na rovném, přehledném úseku se rozhodl předjet před ním jedoucím automobilem Audi. Při manévru dal řádně levý blinkr a přešel do protisměru. Když byl na úrovni automobilu, Audi začalo zrychlovat. Řidič automobilu si jej pravděpodobně nevšiml nebo jej nechtěl pustit před sebe, což je samozřejmě pouze spekulace. Jeli vedle sebe až na začátek středové plné vodorovné čáry značící zákaz předjíždění cca 20 m před hranicí viditelnosti. V té chvíli vyjel zpoza hranice viditelnosti vůz Škoda v protisměru. Jelikož se bratr s motocyklem nemohl zařadit do pravého pruhu kvůli souběžně jedoucímu automobilu Audi, musel strhnout řízení doleva. Řidič automobilu Škoda, v jistém úleku, nezazmatkoval a zabočil lehce doleva z jeho směru, aby udělal místo pro motocykl, ale zároveň neohrozil Audi. Bratr s motocyklem, ale manévr neustál vlivem vyjetí z vozovky, a skončil pádem mimo vozovku. Řidič Škody zastavil a pomohl, řidič Audi si pravděpodobně celého dění ani

nevšiml. Bratr byl pohmožděn a měl lehce zraněné pravé koleno. Jiná škoda na majetku, než na motocyklu nevznikla.



Obrázek 4 - Bližší pohled na místo nehody a hranici viditelnosti [3]

Nehoda se stala v extravilánu na rovném, mezi-křižovatkovém úseku. Viníkem nehody je opět řidič motocyklu, a to vinou lidské chyby. Jistou roli při nehodě hrál i řidič automobilu Audi, avšak bratr na motocyklu se špatně rozhodl a snažil se předjet automobil, na což výkon motocyklu nestačil. Místo snažení se předjet automobil měl zpomalit a včas se zařadit zpět za vozidlo, aby nedošlo přesně k této situaci, kdy se na horizontu objeví jiné vozidlo v protisměru.

Prevenčním opatřením by byl zákaz předjíždění v daném úseku nebo alespoň plná středová čára dříve před hranicí viditelnosti. V případě extrému by bylo možné vytvoření zářezu v krajině a vozovku zbavit této vyvýšeniny tak, aby vozidla měla větší viditelnost a byla informována o situaci v nyní zakrytých místech.

### 2.2.3 Shrnutí a prevence obou nehod

Ze studie MAIDS vyplývá, že častěji může za nehodu řidič jiného vozidla než motocyklu, ale v obou nehodách, které jsem uvedl z vlastní zkušenosti, byl viníkem řidič motocyklu, a to díky lidskému zavinění. Jednou to byla chyba reakce a podruhé špatné rozhodnutí, ale přesto měli obě nehody společného jmenovatele. Tím bylo nevědomí o protijedoucím autě, které bylo pro řidiče motocyklu neviditelné až do chvíle těsně před nehodou.

Jak tedy snížit počet podobných nehod a zajistit, aby měl řidič přehled o provozu předním i na místech, kde nevidí? Jedna z možností je upravit stávající vozovky do takového stavu, aby bylo vidět co nejdále za každé situace a odstranit překážky, které brání ve výhledu. To je

ovšem utopie. Bylo by to velmi nákladné, a ne vždy možné. Znamenalo by to mít okolo vozovky jakési čisté ochranné pásmo, které by mělo x metrů a zábor vozovky by tedy byl mnohonásobně vyšší. Dovedete si toto představit v zastavěné části města? Z toho vyplývá, že je to holý nesmysl.

Co ovšem nesmysl není, je předávání informací mezi vozidly o své poloze, směru jízdy a rychlosti. Takovýto systém by pomohl v podobných situacích a pomohl by eliminovat lidskou chybu tím, že by dával informace o stavu dopravy i v místech, kam řidič nevidí. A ne jenom to, takovéto předávání informací by se dalo využít pro mnoho dalších aplikací. Samozřejmě by se muselo jednat o bezdrátovou komunikaci, která bude rychlá a spolehlivá. A toto jsou přesně kooperativní systémy.

## 3 Kooperativní systémy

### 3.1 Úvod do kooperativních systémů

Kooperativní systémy jsou asistenční systémy založené na komunikaci (výměně dat) mezi samotnými účastníky dopravního provozu, tedy komunikace vozidlo-vozdlo, ale i mezi vozidlem a infrastrukturou či jiným vysílačem. Účelem je vzájemně si předávat informace o aktuálním dění a tím zefektivnit přepravu, a hlavně zvýšit bezpečnost celého dopravního systému. Tyto systémy slibují velké přínosy zejména v navýšení kapacity silniční sítě, snížení kongescí a znečištění, kratší a předvídatelnější dobu jízdy, zlepšení dopravní bezpečnosti pro všechny účastníky silničního provozu, nižší provozní náklady na vozidla, lepší organizaci a řízení dopravní sítě.

Pro předcházení dopravních nehod, excesů a jiných incidentů v silničním provozu je nutné předávat si velké objemy informací, které je nutné třídit a předávat mezi účastníky dopravního provozu. Nutnost třídění informací je velmi důležitý aspekt komunikace, protože některé informace mohou mít zcela zásadní význam pro účastníky dopravního systému, ale například pro dispečink již tak důležitá není. Pro základní třídění informací se rozlišují tři základní druhy bezdrátové komunikace: [4] [10] [1]

- Vozidlo – Vozidlo (V2V, C2C)
- Vozidlo – Infrastruktura (V2I, C2I)
- Vozidlo – Jiné typy (V2X, C2X)

Označení vychází z angličtiny, číslice 2 nahrazuje spojku „to“, česky „do“ a tedy V2V znamená „Vehicle to Vehicle“ a obdobně C2C je „Car to Car“. Dále tedy V2I a C2I představují „Vehicle/Car to Infrastructure“ a V2X či C2X „Vehicle/Car to X“.

Jelikož zkratky nejsou nijak pevně staveny, lze v dokumentech nalézt synonyma jako například V2R – „Vehicle to Roadside“ (česky vozidlo – okolí cesty), která znamená to stejné jako V2I. Nutno podotknout, že zkratky jsou v daném dokumentu vždy vysvětleny a většinou je lze intuitivně zařadit do příslušné kategorie.

Obě označení, ať už s použitím V nebo C, pojednávají o tom stejném a rozdíl mezi nimi je pouze v tom, že pojem Vozidlo (anglicky Vehicle) je používán pro zobecnění celé problematiky, jelikož silniční provoz se neskládá jenom z automobilů (anglicky Car).

Výrazy V2X a C2X jsou v literatuře používány pod dvěma různými významy. První je jako souhrnné označení komunikací V2V a V2I a druhé jako označení komunikace mezi vozidlem a jiným druhem přijímače.

Jelikož tato práce se má zaměřovat na motocykly, a ne na automobily, budu používat obecnější označení s V, které se dá i dobře přeložit do českého jazyka jako Vozidlo bez ztráty významu. Pojem V2X budu používat výhradně pro komunikaci vozidla s jiným typem přijímače.

### *3.1.1 Komunikace Vozidlo – Vozidlo (V2V)*

Základní typ bezdrátové komunikace uvažované pro kooperativní systémy v dopravním prostředí. Komunikace V2V je nezávislá na páteřní síti a infrastruktuře, při které si vozidla vzájemně vyměňují informace. Při této komunikaci se ovšem uvažuje o záložním/sekundárním bezdrátovém spojení pomocí mobilních sítí. [4]

Tento typ komunikace má své užití zejména v oblastech s nízkou hustotou RSU (Road Side Units) neboli přístupových bodů podél vozovky. Zároveň komunikace V2V slouží jako záložní komunikace v případě, že jsou přístupové body přetíženy nebo z technických důvodů nedostupné. V takovém případě by V2V nahrazovalo nebo částečně přebíralo přenosovou kapacitu nezbytnou k distribuci varovných zpráv. [12]

Pomocí V2V komunikace se také mohou posílat zprávy, které nejsou potřeba distribuovat do celé sítě jako je například výměna osobní komunikace mezi dvěma řidiči vozidel. Další důležitou funkcí je broadcast s možností opakující se zprávy umožňující nepřetržité vysílání zprávy do svého okolí, které využije například vozidlo IZS se zapnutými majáky nebo vozidlo při a po nehodě, tak aby se zvýšila pravděpodobnost včasného a přesného doručení informace. [12]

### *3.1.2 Komunikace Vozidlo – Infrastruktura (V2I)*

Druhá ze základních typů komunikace, kdy mezi sebou komunikují vozidla a infrastruktura, která je podél komunikací reprezentovaná pomocí RSU. Road Side Unit je taktéž přístupový bod pro připojení na páteřní síť a tím i spojení s ethernetovou sítí, díky kterému může vozidlu zprostředkovat přístup k internetu. [7]

V2I komunikace je zejména pro efektivní řízení dopravy. Typické je varování před nebezpečím typu kolona, nehoda, špatné počasí apod. Dále je používána pro velkokapacitní aplikace, které potřebují zajistit přenos velkého množství dat vozidlu. [4]

Problém spočívá v nákladném vybudování této infrastruktury a jednotlivých přístupových uzlů podél komunikací. Množství přístupových bodů na jednotku délky vozovky bude záviset na kapacitě vozovky, protože se musí zajistit rychlé a spolehlivé obslužení všech účastníků a patrné je, že s vyšším počtem připojených zařízení rychlost a spolehlivost klesá.

### 3.1.3 Komunikace Vozidlo – jiné zařízení (V2X)

V tomto typu komunikace je realizované spojení mezi vozidlem a jiným zařízením. Tím může být jakékoliv zařízení podporující stejnou telekomunikační technologii jako vozidlo. Typickými zařízeními jsou mobilní telefony, tablety, notebooky apod. Je tak možné dělat diagnostiku vozidla a otevírají se díky tomuto spojení brány s velkým potenciálem pro zábavu. Do budoucna může vzniknout nepřeberné množství aplikací pro zlepšení komfortu při cestování a vozidla se tak stanou více interaktivními. [4]

Velkým přínosem plynoucí z tohoto typu komunikace je zviditelnění chodce jako účastníka dopravního provozu. V dnešní době téměř každý člověk má a používá mobilní telefon, který má neustále u sebe. Díky tomu by telefon mohl sloužit jako vysílač podávající informace o pohybu chodce a varovat tak řidiče vozidla před jeho aktivitou v případě vstoupení na vozovku. Samozřejmě taková aplikace by mohla fungovat i obráceně a varovat chodce před vozidlem.

Tento typ komunikace má velký skrytý potenciál, který ještě nebyl ani hypoteticky zcela vyčerpán a dle mého úsudku na sebe nenechá dlouho čekat, protože již nyní entertainment vozidla dokáže komunikovat s chytrým telefonem (nejčastěji pomocí komunikační technologie Bluetooth) a provádět tak spoustu operací.

### 3.1.4 Rozdělení typů zpráv

Zprávy pro koncové uživatele se obecně dělí do dvou typů podle jejich charakteru. [4] [7] [12]

- **Vyvolaná zpráva** jako reakce na náhlou událost. Obecně je to zpráva o události na vozovce, kterou nemůže detekovat infrastruktura, ale jenom účastník, tedy vozidlo. Příkladem může být překážka nebo velká nerovnost na vozovce, náhlé brzdění vozidla nebo nehoda. Tento typ zprávy se nejčastěji používá při komunikaci mezi vozidly V2V.
- **Opakující se zpráva** je vysílána k příjíždějícím vozidlům s informací varovného nebo informativního charakteru. Ve většině případů jej použije infrastrukturní prvek RSU pro hlášení o lokálním nebezpečí typu *Kolona před Vámi* nebo *Pozor, odstavené vozidlo* a podobně. Z popisu vyplývá, že tato zpráva bude využívána převážně pro komunikaci V2I.

### 3.1.5 Funkční prvky kooperativních systémů

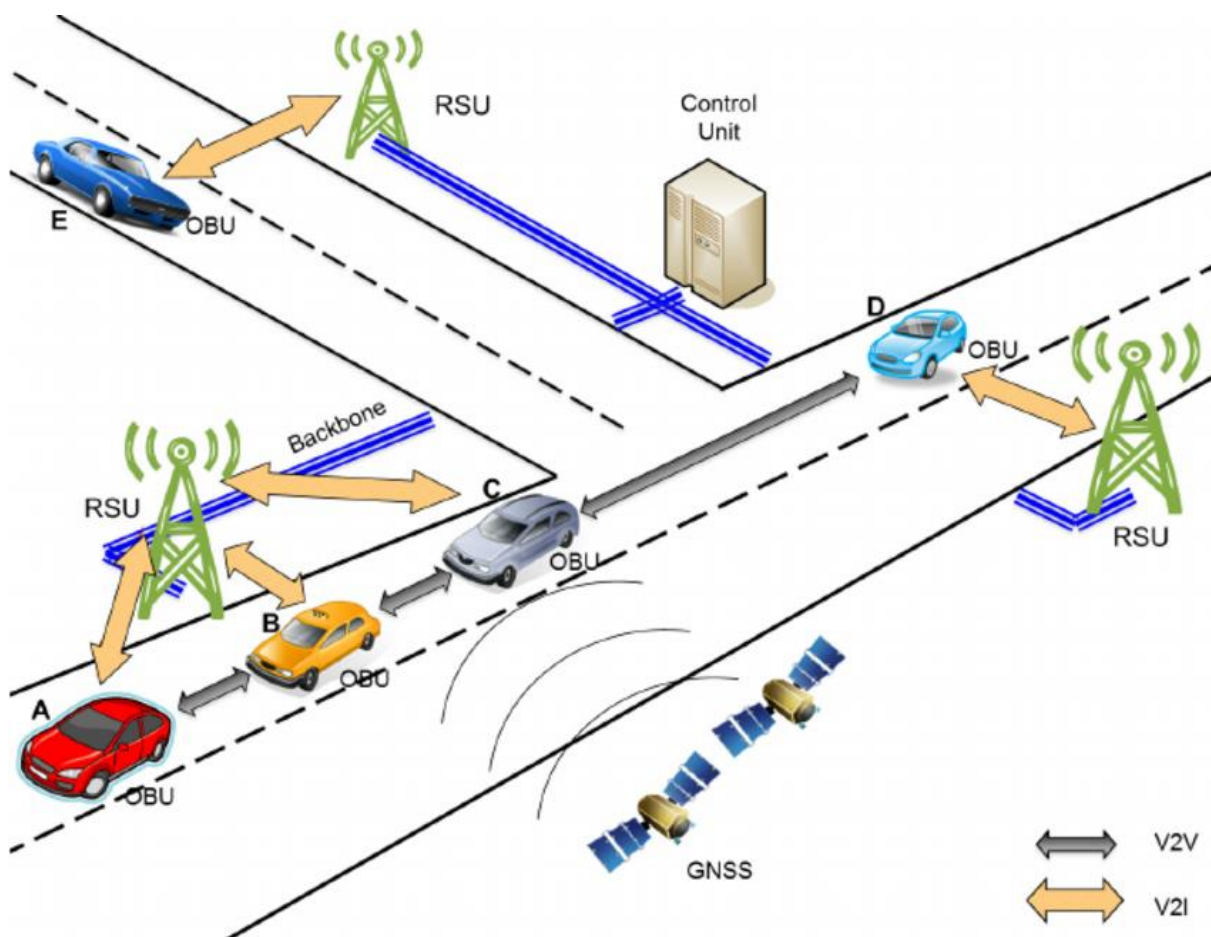
Aby mohl jakýkoliv kooperativní systém fungovat, musí obsahovat alespoň tyto tři základní prvky, kterými jsou: [4] [7] [12]

- **TCC – Traffic Control Centre** (česky Dopravní řídicí centrum) je nadřazený prvek, který zpracovává všechny informace získané z podřízených RSU nebo OBU jednotek, ze senzorů nebo jiných externích zdrojů jako například přilehlá TCC. Dopravní řídicí centrum musí rychle, a hlavně správně vyhodnotit obrovské množství informací, které poté zpětně vysílá účastníkům provozu všemi dostupnými sdělovacími prostředky (HMI, rádio, internet, ...). Tímto procesem řídí dopravu v přidělené oblasti. Komunikace mezi infrastrukturními prvky (například TCC a RSU) již nemusí být bezdrátová, jelikož se jedná o statické prvky. V jiné literatuře je možno zahlédnout zkratku TMC – Traffic Management Centre, což je synonymum.
- **RSU – Road Side Unit** (česky Infrastrukturní jednotka) je základním prvkem kooperativních systémů umístěná podél vozovky. Je to komunikační uzel, který je připojen na páteřní síť a na ethernet. Souhrnně se infrastrukturní prvek u vozovky nazývá RSE – Road Side Equipment (česky Infrastrukturní vybavení) jehož částí je právě RSU, která zajišťuje komunikaci mezi ním a OBU ve vozidlech a s dalšími prvky v systému. Pod RSE mohou spadat další jednotky, jako jsou například různé senzory (CCTV, RADAR, ...) nebo jednotky lokálního řízení (řízení světelné křižovatky apod.). Úplná a korektní funkčnost systému je závislá na vybudování sítě s RSU tak, aby dostatečně pokrývala dopravní síť.
- **OBU – On Board Unit** (česky Palubní jednotka) jsou protipólem RSU. Prvkem jsou osazená vozidla, ze kterých shromažďuje data z interních senzorů vozidla. Data vyhodnocuje a zajišťuje komunikaci mezi jinými prvky. Komunikace je obousměrná, tedy že OBU informace přijímá i odesílá. Problém nastává v situaci, kdy OBU začnou vysílat informace úplně všem příjemcům v okolí, čím se velmi jednoduše zahltní komunikační síť a zároveň každá jednotka by zpracovávala i pro ni irelevantní data. Tento problém je již delší dobou předmětem bádání. OBU jednotka, když vyhodnotí přijatá data, musí je co nejlépe interpretovat řidiči vozidla, k tomu se využívá HMI (Human-Machine Interface; česky Rozhraní člověk – stroj).
- **RVU – Road Vehicle Unit** (česky Infrastrukturní vozidlo) je kombinace OBU a RSU využívané správcem komunikace vozidla jako jsou stavební stroje a údržbová vozidla včetně pojízdných vozíků. RVU jednotka pracuje se dvěma módy – operačním a



uživatelským. V operačním módu jednotka komunikuje napřímo s TCC a má k dispozici speciální funkce. Uživatelský mód slouží ke komunikaci s OBU a RSU – chová se jako klasický účastník provozu.

- **PID – Pedestrian Information Devices** (česky Informační přístroje chodců) je pojem lehce zavádějící. Obsahuje totiž nejenom přístroje chodců, ale kohokoliv, kdo se sebemenším způsobem účastní dopravního provozu – cyklistů, pracovníků stavby a podobně. Jejich hlavním úkolem je podávat RSU informaci o poloze tak, aby RSU včasné varovalo vozidla o případném „vetřelci“ na vozovce. Zpětně může PID získat informace o blížícím se nebezpečí, například před příjezdem vozidla IZS a z toho plynoucí varování Nepřecházej přes přechod. Ideální PID jednotka je chytrý mobilní telefon. Tyto přístroje spadají do kategorie V2X komunikace.



Obrázek 5 - Ukázka prvků kooperativních systémů a jejich vztahů [18]

## 3.2 Technologie komunikace

Základním požadavkem inteligentních dopravních systémů je zprostředkování bezdrátového spojení mezi prvky. Protože v dopravě rozhodují sekundy, mnohdy pouze milisekundy, zda vznikne škoda na majetku nebo smrtelná nehoda, je na telekomunikační technologii kladeno mnoho požadavků. Mezi důležité parametry přenosové technologie patří spolehlivost, přenosová rychlost, přesnost, latence, dostupnost a další. [13]

Telekomunikační síť se dělí na tři základní části: [4]

- **Síťové uzly** – z pohledu telekomunikace uzly poskytují telekomunikační služby (zpracovávají data) a směrování v síti (routery, switche, ...). Uzlem je i koncové zařízení, například OBU i TCC.
- **Páteřní síť** – zajišťuje spojení (přenos dat) mezi jednotlivými síťovými uzly na úrovni „páteře“ (anglicky „backbone“) – při vztažení na ITS, mezi TCC jako vrcholným managementem a RSU jako koncový bod páteřní sítě – rozhraní mezi páteřní a přístupovou sítí. Páteřní síť nemusí být bezdrátová, jelikož uzly páteřní sítě jsou statické objekty, které se nepohybují. Páteřní síť musí mít především vysokou kapacitu pro přenos velkého objemu dat a zároveň všechny další parametry zmíněné výše. Fyzická přenosová cesta páteřní sítě je nejčastěji realizována optickými nebo metalickými kabely. Momentálně jsou optická vlákna nejrychlejším přenosovým médiem, která jsou schopná docílit přenosové rychlosti až v řádu Tb/s.
- **Přístupová síť** – zajišťuje připojení uživatelů do telekomunikační sítě. Jedná se o pohybující se objekty (vozidla, chodce, ...), a proto je potřeba realizovat spojení bezdrátově. Speciální požadavek je na rychlost připojení uživatele do sítě, aby mohl uživatel vysílat a přijímat data téměř okamžitě po připojení nebo předání mezi RSU. Tento požadavek stěžuje fakt, že se vozidla pohybují mnohdy i velkou rychlostí (při komunikaci V2V se rychlost protijedoucích vozidel sčítá a na dálnici může dosáhnout i více než 260 km/h).
- **Lokální síť** – by měla být v tomto výčtu také zmíněna, protože na lokální síti funguje komunikace V2V. Lokální síť je nejčastěji vytvořena za pomoci RSU jako řídicího prvku, proto se o ní často říká, že je součástí přístupové sítě.

Přenosová technologie na páteřní síti je řešena metalickým nebo optickým spojením a je dostačující pro správný chod systému. Problém může nastat při připojení do světa internetu, kde objem dat roste exponenciální křivkou a s plánovaným IoT mohou být i páteřní sítě nedostačující. Nicméně páteřní síť berme jako vyřešenou a dále se budeme zabývat přenosovou technologií přístupové sítě. [6]

Přístupová síť je klíčovým elementem pro plošnou implementaci kooperativních systémů. Technologie a infrastruktura musí být vyvinuta na dostatečnou úroveň pro správné fungování kooperativních systémů a jejich reálný dopad na dopravu. V současnosti existuje několik technologií přístupových sítí, ale ani jedna v momentální době nevyhovuje všem požadavkům v reálném provozu, proto je vývoj těchto technologií alfou omegou implementace kooperativních systémů. [6]

Technologie přístupových sítí pracující v mikrovlnném rádiovém spektru. Mikrovlny jsou elektromagnetické vlny o vlnové délce 1 mm až 1 m, jsou to pásma UHF (Ultra vysoké frekvence; 300 – 3000 MHz), SHF (Super vysoké frekvence; 3 – 30 GHz) a EHF (Extrémně vysoká frekvence; 30 – 300 GHz). Technologie přístupových sítí kooperativních systémů mohou pracovat na nelicencovaných frekvenčních pásmech (například nejvyužívanější 2,4 – 2,483 GHz), je zde ale problém s interferencí s jinými zařízeními a důsledkem toho je nemožné garantovat službu. Z tohoto důvodu byla alokována pásma pro potřeby ITS, rozdílné kmitočty pro kontinenty a některé země. [14]

### *3.2.1 Technologie krátkého a středního dosahu*

Je to soubor mnoha telekomunikačních technologií pro přenos informací na krátké vzdálenosti. Jejich největší odlišností a zároveň společným jmenovatelem je nutnost vybudování velkého počtu infrastrukturních prvků tak, aby poskytli dostupnost podél celé dopravní sítě. Tento technologický přístup má za protipól celulární systém, tedy mobilní síť. [7]

Pod skupinu technologií krátkého a středního dosahu patří hned několik technologií, které byly zastíněny historickým vývojem v telekomunikacích. Technologie jako IEEE 802.15, obecně známé jako Bluetooth, nebo IEEE 802.16 (WiMax) jsou také vhodné pro potřeby ITS, alespoň teoreticky, ale jejich vývoj pro prostředí ITS byl upozaděn jinými technologiemi. Důvodem této přednosti jiných technologií, byla velká penetrace na trhu a jejich vývoj byl tedy přirozený. Technologie, které jsou předmětem vývoje pro ITS a o kterých budou následující odstavce, pracují na stejném principu a základu, kterým je IEEE 802.11p. [6]

**IEEE 802.11** je velkou skupinou standardů od největší standardizační organizace IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), za kterou stojí pracovní skupina 11 a

standardizační komise 802. Základní standard byl vydán již v roce 1997, od té doby bylo vydáno mnoho nosných standardů, které se označují písmeny. Obecně je technologie známá pod názvem Wi-Fi. Název sám o sobě neměl žádný význam, ale časem mu byla vytvořena anglická slovní hříčka Wireless Fidelity (česky Bezdrátová věrnost). [6]

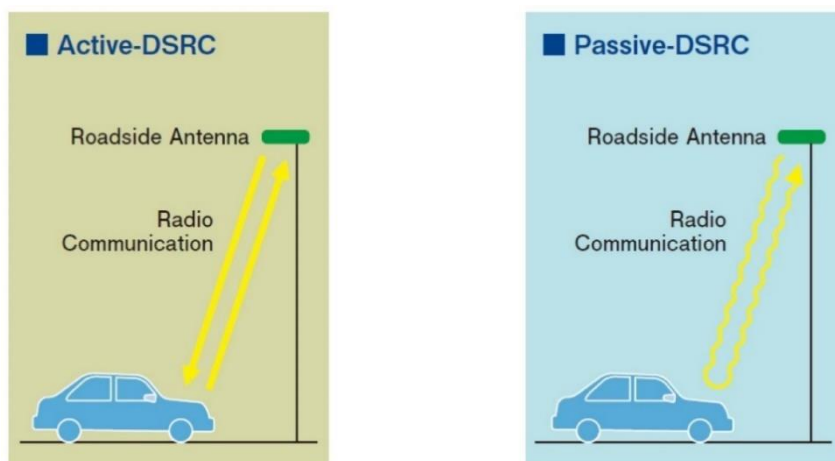
Wi-Fi zná i nejšířší laická veřejnost, protože se postupem času stala velmi používanou technologií pro přenos dat napříč různými aplikacemi. Za tento úspěch vděčí své jednoduchosti použití a kompatibilitě. Jednoduchost byla reprezentována nízkou kvalitou služeb jako špatné zabezpečení a žádná spolehlivost doručení paketu u prvních vydání standardu. Další nosné standardy přinášeli možnost zabezpečení, vyšší spolehlivost, vyšší přenosové rychlosti a podobně, což dovolilo Wi-Fi velmi penetrovat trh. S velkou poptávkou po daných přístrojích také rapidně klesla cena přístrojů, takže vznikl ideální produkt.

Nejdůležitějším nosným standardem pro ITS je **IEEE 802.11p**. Byl vyvinut již v roce 2004 na základě požadavků ITS pro bezdrátové spojení vozidel k infrastruktuře. Jedná se o úpravu předešlého nosného standardu IEEE 802.11a, který pracuje na nelicencovaném 5 GHz pásmu. IEEE 802.11p využívá licenčního pásma okolo 5,9 GHz (záleží na místě použití a aplikaci) a hlavní změnou je zjednodušení procesu inicializace a průběhu přenosu informací, společně se zárukou doručení paketu - spolehlivostí. Zjednodušené připojení uživatele do sítě je díky WBSS (WAVE Basic Service Set) velmi rychlé, RSU vyšle tento balík dat obsahující všechny nezbytné informace a parametry novému uživateli v dosahu a ten pouze přijme tuto „nabídku“. Podpora handoveru mezi RSU je nutnost pro plynulou funkci kooperativních systémů. Broadcast mód je samozřejmostí. Šířka kanálu je oproti Wi-Fi snížena z 20 MHz na 10 MHz. Kanály jsou rozděleny do 64 subnosných pásem, 48 pro přenos informací, 12 volných a 4 pilotní. Využívá OFDM modulace (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), která rozděluje frekvenční spektrum na mnoho subnosných kanálů a vysílat signál na více nezávislých frekvencích. Tím se dosahuje větší stability a odolnosti proti interferencím. Pro záruku doručení paketu je využíván jednoduchý mechanismus CSMA/CA (Carrier-sense multiple access / collision avoidance), pomocí kterého se sleduje síť a pokud nikdo nevysílá na daném pásmu, může vysílat. Společně s kódováním 64 QAM (Quadrature amplitude modulation) IEEE 802.11p dosahuje maximální přenosové rychlosti 27 Mb/s na vzdálenosti od vysílače 300 m až 1000 m. [15]

**DSRC (Dedicated Short-Range Communication)** je technologií od svého počátku vyvíjenou pro dopravní systémy. Spadá do skupiny technologií využívající RFID (Radio Frequency Identification) pro bezdrátovou identifikaci uživatele. Disponuje vysokou spolehlivostí a zabezpečením při nízké latenci. DSRC využívá jako základ fyzické a MAC vrstvy IEEE 802.11p.

DSRC může fungovat ve dvou módech: [12]

- Aktivní mód – OBU jednotka využívá vlastního napájení z baterie a je tak schopna vysílat v plném duplexu – přijímat a vysílat ve stejném časovém intervalu.
- Pasivní mód – RSU vyše elektromagnetickou energii, kterou OBU přijme a využije k napájení vlastního čipu a odeslání odpovědi. V tomto módu je pouze poloviční duplex. Většinou se jedná pouze o identifikaci vozidla.



Obrázek 6 - Princip funkce aktivního a pasivního režimu DSRC [12]

Již ze stručného popisu obou módů je patrné jejich využití. Pasivní mód je vhodný pro výběr mýta nebo jiných „jednoduchých“ aplikací. Zatímco aktivní mód nabízí plné telekomunikační využití a je plně využitelný pro aplikace ITS.

Podle použitého frekvenčního pásma dělíme DSRC:

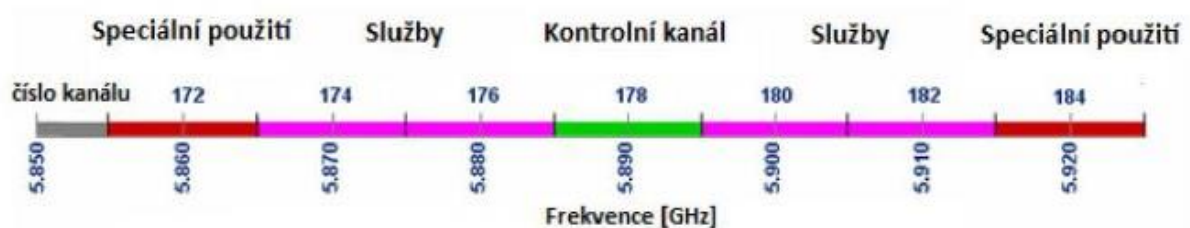
**DSRC 5,8 GHz** je celosvětově aktivně používaná technologie. V Evropě je DSRC 5,8 využíváné jak v aktivním, tak v pasivním módu převážně pro mýtné systémy (EFC - Electronic Fee Collection). Frekvenční pásmo 20 MHz (5,795 – 5,815 GHz) je pro něj vyhrazeno (Obrázek 9). V pasivním módu jej od 1.1.2007 využívá i Česká Republika pro výběr mýta na dálnicích a silnicích I. třídy pro nákladní automobily. DSRC 5,8 je v evropské dokumentaci někdy označováno jako CEN-DSRC, protože za ním stojí standardizační institut CEN (European Committee for Standardization, FR: Comité Européen de Normalisation). [6]



Obrázek 7 - Mýtná brána s enforcementem v ČR na bázi DSRC 5,8 od společnosti KAPSCH [16]

V Japonsku je DSRC 5,8 využíváné výhradně v aktivním módu taktéž pro EFC, ale do budoucna se uvažuje o využití toho pásma i pro kooperativní systémy. Japonci využívají šířku pásma 80 MHz (5,770 – 5,850 GHz) z toho je 20 MHz pro EFC systém a dalších 60 MHz alokovaných pro kooperativní systémy. V Evropě je plánované využít jiného pásma pro kooperativní systémy. [6]

**DSRC 5,9 GHz** je nyní využíváné převážně v Severní Americe, kde mají alokované frekvenční pásmo 75 MHz (5,850 – 5,925 GHz) již od roku 1999 pro účely bezpečnostních a mobilních aplikací. Pásmo je rozděleno na 7 kanálů po 10 MHz viz Obrázek 8.

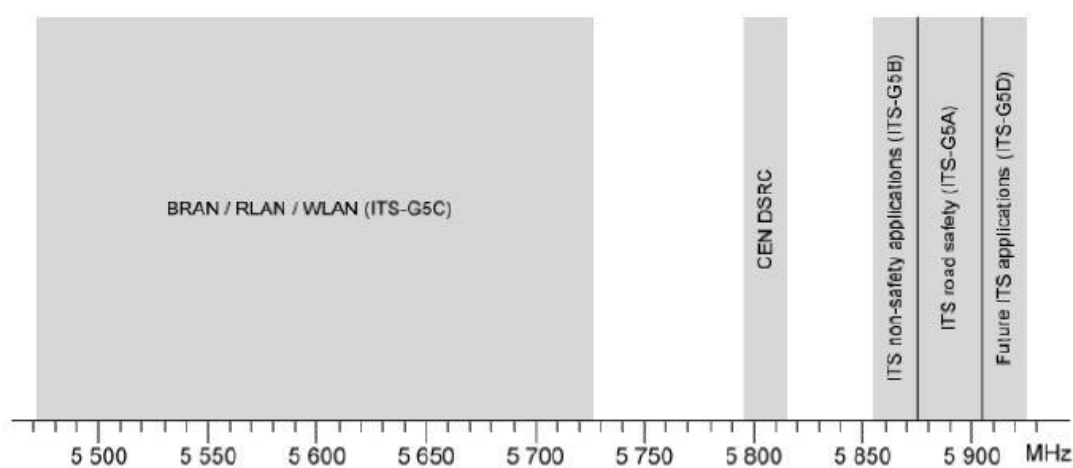


Obrázek 8 - Frekvenční spektrum WAVE používané v Severní Americe [12]

Standardy stojící za management kanálů DSRC 5,9 v Severní Americe je skupina IEEE 1609 a IEEE 802.11p za fyzickou a MAC vrstvou. Souhrnně jsou označovány jako **WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment)**. [6]

Na Evropském kontinentě pracuje na velmi podobné technologii ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Tato technologie pracuje obdobně jako WAVE na platformách DSRC 5,9 a IEEE 802.11p, ale má vlastní standard ETSI EN 302 663. Souhrnně se tato technologie nazývá **ITS-G5**. ITS-G5 využívá několika frekvenčních pásem, rozdělených podle nabízených služeb. [11] [17]

- ITS-G5A – bezpečnostní aplikace – 30 MHz (5,875 GHz – 5,905 GHz)
- ITS-G5B – aplikace nesouvisející s bezpečnostní – 20 MHz (5,855 GHz – 5,875 GHz)
- ITS-G5D – budoucí ITS aplikace – 20 MHz (5,905 GHz – 5,925 GHz)



Obrázek 9 - Využití frekvenčního pásma okolo 5,9 GHz technologií ITS-G5 [17]

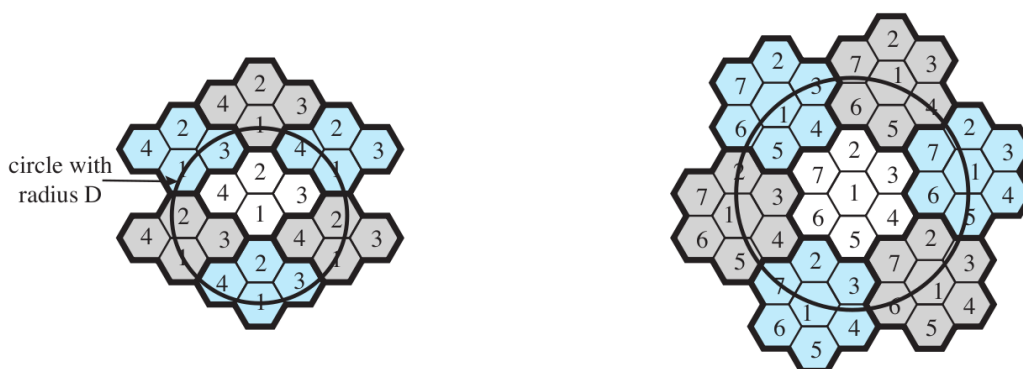
Největšími odlišnostmi ITS-G5 od WAVE je možnost vytvoření Ad-Hoc sítě pro komunikaci V2V pomocí protokolu Geo Network, decentralizovaný management sítě DCC a koexistence mezi DSRC 5,8 a DSRC 5,9. [11] [17]

### 3.2.2 Celulární princip

Celulární technologie, nebo jinak mobilní technologie, sice také pracují v mikrovlnném pásmu, ale od výše zmíněných technologií se odlišují větším přístupovým dosahem RSU a možnost napojení na stávající síť bez nutnosti vybudování zcela nové infrastrukturní sítě speciálně pro kooperativní systémy.

Mobilní síť je nedílnou součástí moderního člověka a těžko by si bez ní dokázal představit život. První bezdrátová komunikace na bázi celulární radiové sítě byla představena již roku 1979 v Japonsku. Od té doby ušla obrovský kus cesty a nyní je nejrozšířenější bezdrátovou komunikační technologií na světě. Důvod je zřejmý, možnost telefonního nebo datového spojení téměř odkudkoliv a kamkoliv (pokud je pokrytí), téměř kdykoliv (dostatečná baterie mobilního telefonu, ...) a téměř okamžitě pomocí přenosného zařízení – mobilního telefonu – ulehčila život a urychlila vývoj ve všech oblastech lidského dění.

Celula je latinský výraz pro buňku, proto lze najít český název Buňková rádiová síť. Oblast je rozdělná do mnoha podoblastí - buněk. Obecně se buňka prezentuje jako šestiúhelník, proto struktura sítě může připomínat plástev medu. Každá buňka používá jiné frekvenční pásmo (nebo frekvenční posun) tak, aby neinterferovala se sousední buňkou. Stejná frekvence tak může být opakovaně v buňce, kde sousední buňky mají jiné frekvence. Minimální počet rozdílných frekvencí pro zamezení interferencí se sousední buňkou je 3, ale nejpoužívanější reuse pattern (česky Vzor pro opětovné použití) je 7. Velikost buňky záleží na mnoha faktorech, v čele s výkonem vysílače, použité frekvenci, prostředí a provozu (počtu uživatelů – osídlení oblasti). Buňky se proto mohou dělit do menších v případě hustého provozu (např. město). Dříve byli všesměrové antény ve středu buňky, později se kvůli nárůstu uživatelů (zmenšování buněk -> potřeba více antén) začaly používat směrové antény o vyzařovacím úhlu  $120^\circ$ . Na jednom stožáru tak jsou tři směrové antény ( $3 \times 120^\circ = 360^\circ$ ). Stožár již není ve středu buňky, ale na pozici, kde se kříží tři buňky. [6] [19]



Obrázek 10 - Reuse pattern pro 4 (vlevo) a pro 7 (vpravo) rozdílných frekvencí [20]

Celulární technologie prošla postupným vývojem od analogového přenosu 1G (1. generace) sítě až po dnešní digitální 4G síť a budoucností v podobě 5G. Technologie se neustále vyvíjí a zrychluje. Nejvýznamnější skupina vyvíjející telekomunikační standardy je organizace 3GPP (3rd Generation Partnership Project), která je tvořena 7 lokálními standardizačními instituty z celého světa. Za EU je v projektu zainteresována již zmíněná ETSI. Organizace 3GPP stojí za vývojem standardů od 3G až po momentálně plánovanou 5G síť, které vydává v průběžných balíčcích standardů Release (česky Vydání). Důležitý je pro nás Release 14 (červen 2017), který pojednává hlavně o LTE-V síti s důrazem na služby pro V2V a V2I komunikaci. V březnu 2019 vyšel nejnovější Release 15, kde je zmíněna první fáze 5G sítí. [10]

Nultá (1946) a první (1979) generace mobilních sítí byla analogová a počínaje 2. generací se přešlo na digitální kódování, což otevřelo brány přenosu dat. Pro velmi krátké zprávy lze



z mobilních sítí využít i klasické nejrozšířenější GSM (2G; 1991) a jeho SMS, spousta bezpečnostních systémů jej využívá pro vyslání pohotovostní zprávy / zálohu při výpadku datového toku. Přenos dat jako takových začal s 2G transitional (česky 2G přechodné), kde bylo představeno GPRS (2.5G) a EDGE (2.75G). V 3. generaci přišlo UMTS (3G) a následovalo HSPA (3.5G) s HSPA+ (3.75G). Tyto standardy se vyvíjely postupně a každá přinesla zvýšení přenosové rychlosti a dalších parametrů. [6] [21]

První opravdu reálné parametry pro využití mobilních sítí pro ITS a potažmo kooperativní systémy má mobilní síť **LTE 3.9G** (Long Term Evolution), která vyšla v 3GPP Releasu 8 roku 2008. Jedná se stále o technologii 3G, přesto ji většina poskytovatelů mobilních sítí marketingově prezentovala jako 4G síť při nástupu na trh (2012). Využívá jak frekvenční spektrum předešlých generací, tak nově alokovaných pásem s kanály šířky 1,4; 3; 5; 10 a 20 MHz. [6]

Největší přínos LTE spočívá v příchodu OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) modulace do mobilních sítí (OFDM bylo již využíváno u technologií jako Wi-Fi nebo WiMax) a nahradilo tak CDMA (Code-division Multiple Access), oproti kterému je OFDM robustnější a odolnější vůči interferencím. OFDM využívá Fourierovu transformaci a několika stovek až tisíců subnosných vln, které jsou na sebe navzájem kolmé. Vede to k velkému nárůstu přenosové rychlosti a snížení latence. LTE využívá pro downlink (stahování) OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplex Access), kde je při použití nejvyššího 4x4 MIMO (Multiple Input Multiple Output) a 64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) modulace možnost dosáhnout přenosové rychlosti až 300 Mb/s. Pro uplink (odesílání) je SC-OFDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiplex Access) a nabízí přenosovou rychlost až 75 Mb/s a šetří tak baterii mobilního telefonu. Mobilita LTE je optimalizována pro rychlosti do 120 km/h, nad tuto hodnotu do 350 km/h je nabízena pouze základní podpora funkcí. Výhodou LTE je vyšší přenosová rychlost i při velkém počtu připojených uživatelů. [22]

V České republice LTE zasahuje do pěti frekvenčních pásem: [23] [24]

- 800 MHz – Toto pásmo bylo uvolněno pro LTE v roce 2014 po přechodu z analogového na digitální televizní vysílání (DVB-T). Pásmo se vyznačuje příznivým šířením radiového signálu a k 1.1.2017 úroveň pokrytí přesáhla 95 % obyvatel ČR.
- 900 MHz – Pásmo určené pro GSM síť. Někteří poskytovatelé pásmo využívali pro LTE před spuštěním pásma 800 MHz. Poté muselo LTE pásmo opustit z nařízení ČTÚ.
- 1800 MHz – První pásmo alokované jenom pro potřeby LTE využívané od 2012 poskytovateli mobilních sítí (tehdy společně s 900 MHz, na které se ale stahovali různé omezení). Toto pásmo dovoluje kratší dosah s velkou kapacitou, proto je

vhodné pro oblasti s velkým provozem – městská aglomerace a obzvláště místa jako obchodní centra, knihovny, univerzity a podobná veřejná místa.

- 2100 MHz – Primární pásmo pro UMTS, ale s příchodem technologie Huawei SingleRAN (2018), je možné z jednoho vysílače poskytovat více mobilních komunikačních standardů, tudíž i LTE.
- 2600 MHz – Vysokokapacitní pásmo opět s krátkým dosahem se používá jako doplněk k pásmům 800/1800/2100 MHz pro LTE-A. Pásmo vysoutěžili poskytovatelé mobilních sítí již v roce 2013, do roku 2014 museli zaplatit a vyřídit administrativu. Poté jim běžela dvouletá lhůta, během které museli začít pásmo aktivně využívat. V roce 2016 došlo ale pouze na zkušební a pilotní nasazení, pravé nasazení začalo rokem 2018 a pokračuje dodnes.

Požadavky na technologii 4. generace jsou přenosová rychlost pro stacionární zařízení 1 Gb/s a pro mobilní zařízení 100 Mb/s při rychlostech do 350 km/h. Tyto požadavky splňuje nadstavba LTE – **LTE-A** (Long Term Evolution – Advanced), která byla představena v 3GPP Release 10 v roce 2011. LTE-A představuje technologii CA (Carrier Aggregation), která umožňuje sloučení až 5 datových nosičů i různých šířek pásem na maximální šířku pásma 100 MHz (5 x 20 MHz). Je zde i vylepšené MIMO na 8x8 pro downlink a 4x4 pro uplink. OFDMA a SC-OFDMA je zachováno. LTE-A také přichází s o řád vylepšenou 128 QAM modulací. Pokud využijeme nejlepších podmínek pro LTE-A (CA – 100 MHz pásmo, MIMO 8x8 downlink / MIMO 4x4 uplink, 128 QAM), dostaneme teoretickou maximální přenosovou rychlost 3 Gb/s pro downlink a 1,5 Gb/s pro uplink s nízkou latencí okolo 5 ms. Tyto parametry jsou již přijatelné pro kooperativní systémy a obecně ITS. [25] [26]

I když se LTE-A (tedy 4G mobilních sítí) teprve implementuje pro využití v komerční sféře, 3GPP jde stále dopředu a vyvíjí další standardy. Dalším krokem je vývoj **5G** sítí. Tento krok by měl být velmi významný a od 5G sítí se očekává revoluce, která ovlivní dopravu, automatizaci a potažmo průmysl, až po všední život lidí. 5G se vyznačuje těmito vlastnostmi: [27]

- Přenosová rychlost za jakýkoliv podmínek nejméně 1 Gb/s (maximální jsou odhadovány na 10 až 100 Gb/s).
- Latence v řádu jednotek milisekund
- Podpora hlasových a video hovorů ve vysoké kvalitě s mnoha uživateli zároveň
- Obrovský nárůst uživatelů díky podpoře IoT (Internet of Things), 10-100x více než nyní
- Komunikace D2D (Device to Device)
- Lepší využití frekvenčního pásma a masivní MIMO technologie

- Snížení náročnosti na výkon vysílačů/přijímačů – vyšší výdrž přístrojů s baterií
- 5G NR (New Radio) – nová využitelná frekvenční pásma, pod 6 GHz a nad 24 GHz
- Využití malých buněk – veřejné prostranství jako zastávka autobusu, jednotlivé objekty jako domy apod.
- Samozřejmostí je kompatibilita s předešlými standardy

Je zcela jasné že 5G síť nám přinese zkvalitnění připojení, ale ona revoluce bude spočívat mimo jiné v již zmíněném IoT. IoT nabídne připojení do sítě přístrojům jako jsou běžné domácí spotřebiče, průmyslové stroje nebo jejich dílčí součásti atd. Pod IoT patří například i projekty Smart Cities, kde bude do sítě připojená například popelnice, která bude periodicky (nebo pouze na dotaz či pouze při stavu naplnění) vysílat svůj stav zaplnění a na základě této informace bude vyzvednuta sběrným vozem. Co je pro nás nejpodstatnější, IoT počítá i s připojením všech dopravních prostředků do sítě čili v sobě obsahuje samotné ITS, kooperativní systémy pro vozidla či dokonce autonomní vozidla. Komunikace D2D poté velmi připomíná zkratku z ITS pro komunikaci V2V a je to ve své podstatě to samé, kde se mohou různé zařízení spojit i bez bazové stanice jako řídicího prvku. Doprava má pro 5G velkou úlohu a specifické požadavky, proto se o ní mluví samostatně, i když patří do skupiny IoT. [6] [5] [29]

Release 14 od 3GPP již pojednává o 5G síti a pro naši oblast zaměření je velmi důležitý. Byly stanoveny požadavky pro připojení vozidel do sítě a v tomto releasu je nám mimo jiné představena technologie, která má velký potenciál pro ITS systémy. [29]

- Latence přenosu zpráv nesmí být delší než 100 ms, pro specifické služby max. 20 ms
- Přenos zpráv do velikosti 1200 bytů
- Podpora až 10 zpráv za sekundu v typických aplikacích, pro specifické aplikace dovolení až 50 zpráv za sekundu
- Dostatečný komunikační dosah tak, aby měl řidič dostatek času na odezvu (4 s)
- Podpora relativní rychlosti vozidel do 500 km/h
- Podpora V2X komunikace i bez pokrytí mobilní sítí

Technologie mobilních sítí splňující tyto požadavky dostala název **LTE-V** (Long Term Evolution - Vehicles) a patří do kategorie 5G sítí. Přímo 3GPP jej označuje jako V2XLTE (Vehicle to Everything LTE). Největší význam má LTE-V ve vylepšení spolehlivosti a zrychlení komunikace i pro velký počet připojených uživatelů a řešení komunikace V2V. V2V je v LTE-V možné provozovat ve dvou módech. První možnost je využití RSU jako řídicího členu, který zprostředkuje komunikaci mezi vozidly a přidělí jim vlastní kanál, kde si již komunikaci řídí sami. Druhou možností je komunikace mezi vozidly bez využití RSU, a tudíž může být komunikace provedena i v místech bez pokrytí mobilních sítí. Pro zahájení takové

komunikace je využit GNSS signál pro synchronizaci přenosu. V2I komunikace probíhá na stejné bázi jako při LTE, nechybí možnost prioritizace dané služby a jiné vlastnosti z předešlé generace. [29]

V poměrně nedávné době vyšel od 3GPP Release 15, který pojednává o první fázi 5G sítě. Součástí této fáze jsou i požadavky na důležité služby ITS, které budou potřebovat specifické funkce od přenosové technologie. Těmito službami jsou: [30]

- Vehicle platooning (česky Vozidlová uskupení)
- Advanced driving (česky Pokročilé řízení)
- Extended sensors (česky Rozšířené senzory)
- Remote driving (česky Dálkové řízení)
- General requirements (česky Obecné požadavky)

Požadavky se stále upřesňují, proto zde nejsou vypsány. Pro aktuální formu požadavků na tyto služby prosím vyhledejte na webu 3GPP specifikaci TS 22.186. Jelikož se jedná už o a služby/aplikace, budou popsány v kapitole 11. Standard nebo standardy pokrývající tyto služby by měly vyjít v Release 16 společně s druhou fází, a tedy finalizací 5G sítě, jehož vydání je plánované na rok 2020. [31]

### 3.2.3 *Budoucnost přenosových technologií*

Kooperativní systémy vyžadují přenosovou technologii, která zajistí dostatečně rychlý a spolehlivý přenos informací mezi uzly sítě. Otázkou posledních let je, kterou cestou se vydáme. Pro výběr správné technologie je důležité zvážit mnoho faktorů. Nejdříve je potřeba určit služby, které budou na dané oblasti/úseku/komunikaci podporované, kapacitní zátěž, dostatečná rychlost a spolehlivost přenosu při dané rychlosti pohybu vozidel, fungování i při kritických podmínkách a podobně. Interoperabilita v rámci státu či kontinentu je také třeba brát v potaz. ITS má k dispozici dvě principiální technologie, kdy každá má svoje výhody a nevýhody.

**DSRC 5,9 / WAVE / ITS-G5** je jednoduchou a funkční technologií, která je vhodná pro bezpečnostní aplikace, protože disponuje nízkou latencí i při vyšších rychlostech. Má jednoduché řešení V2I komunikace a handoveru mezi jednotkami. Komunikace V2V je ještě předmětem vývoje pro DSRC. Výhodou oproti mobilním sítím jsou alokovaná frekvenční pásma pro jednotlivé služby. Díky krátkému dosahu hrají vnější vlivy velkou roli na funkci RSU a díky základu ve Wi-Fi, je technologie relativně levná.

Přes tyto vlastnosti DSRC má mnoho nedostatků. Mezi hlavní patří značné zvýšení latence a chybovosti přenosu paketů při větším počtu připojených uživatelů k jedné RSU. Při kongesci tak může vzniknout problém, že uživatelé nebudou dostávat relevantní informace včas. S tím

souvisí i problém krátkého dosahu RSU, který je za normálních podmínek 300 – 500 m (až 1000 m podle prostředí), ale při kongesci se akční rádius zmenší na zhruba 100 m od RSU. Z krátkého dosahu vyplývá problém nutnosti vybudování husté sítě RSU podél dopravní komunikace a tím se zvýší pořizovací náklady. To je jenom pro případ první fáze implementace. S vyšší penetrací vozidel schopných komunikovat na bázi V2V se informace může šířit pomocí samotných vozidel a RSU nemusí pokrývat celou oblast. V Evropě je potřeba vyřešit koexistenci s DSRC 5,8, která může interferovat s blízkou frekvencí.

**LTE** je každou svou mutací rychlejší a obecně více vyhovující požadavkům ITS. LTE-A již nabízí slibné parametry, jeho implementace na trh právě probíhá a ITS prostředí má možnost technologii testovat. S 5G a LTE-V bude situace opět jiná, protože se jedná o technologii, která bude uzpůsobená speciálně pro ITS systémy. Může se zdát, že mobilní sítě je lepší volbou než DSRC, každá mutace počínaje LTE 3,9G nabízí lepší parametry připojení a je možné ji používat na stávající infrastrukturu bez většího zásahu, ale mobilní sítě mají také mnoho záporných vlastností.

Hlavní problém je fakt, že mobilní sítě nejsou prioritně pro ITS. Je to služba pro zákazníky využívají mobilní telefony, tedy hlas bude mít vždy přednost před daty. ITS služby nejsou samostatnou službou oddělenou od jiných služeb, a tak se dělí o stejnou kapacitu sítě. ITS služby v mobilních sítích nemají vlastní frekvenční pásmo, které by bylo využíváno jenom těmito službami. Zde leží velká výhoda DSRC technologie. Možná změna nastane s 5G sítěmi. Na podzim 2019 plánuje ČTÚ vypsat aukci na frekvenční pásma 5G sítě pro Českou republiku. [28]

Z výše popsaného ale vyplývá další neuduh mobilních sítí. Je to síť spravovaná mobilními operátory, ne státem jako v případě DSRC. Stát je motivovaný zvýšením bezpečnosti a efektivity dopravy, mobilní operátor jako každý jiný komerční subjekt, je motivován ziskem. ITS systémy by měly být pro uživatele zdarma, tudíž pro mobilního operátora má tento sektor téměř nulový potenciál. Stát by musel mobilní operátory nějakým způsobem motivovat k podpoře ITS, například systémem dotací. Další možností je zpoplatnit služby ITS.

S příchodem 5G sítě a IoT bude obrovský nárůst uživatelů do sítě a je tak možné, že stávající kapacita sítě bude nevyhovující a bude muset být navýšena vybudováním nových síťových uzlů. Modernizace síťových uzlů mobilních sítí kvůli přechodu na vyšší technologický stupeň / generaci a budování nových uzlů je velmi zdlouhavý, postupný a nákladný proces.

Naskýtá se ale otázka spojení několika technologií ve vytvoření **Hybridní telekomunikační sítě pro ITS systémy**. Ze spojení více přenosových technologií vyplývá několik zásadních požadavků. Technologie musí spolupracovat buď na bázi doplňování se nebo zálohy. Nesmí

se navzájem rušit a musí být definované za jakých podmínek se použije daná přenosová technologie shodná pro celé území (stát/kontinent). Nejvhodnější kombinace se jeví spojení DSRC 5,9 a LTE. DSRC disponuje relativně nízkou odezvou a spolehlivostí na krátké vzdálenosti, proto je vhodná pro bezpečnostní aplikace a tím pádem i použití na dálnicích a silnicích prvních tříd, kde je jeho obdoba DSRC 5,8 v ČR již využívána pro výběr mýta. Infrastruktura mýtných bran v ČR je již vybudována a kvůli interferenci není momentálně možné využívat DSRC 5,9 v blízkosti mýtných bran. Je proto nutné tuto koexistenci vyřešit, aby nevznikali „slepá místa“. LTE by mohlo pracovat jako záložní systém pro DSRC v případě výpadků nebo nedostatečné přenosové kapacity. Na méně frekventovaných dopravních komunikacích jako jsou silnice druhé a třetí třídy, by LTE mohlo pracovat samostatně. Přímá komunikace V2V od obou technologií podstatně ulehčí vytížení infrastruktury, ale to pouze v případě, že bude u vozidel s možností V2V komunikace dostatečně saturována skladba dopravního proudu. Hybridní technologie je momentálně pouze neotestovanou teorií, ale vše nasvědčuje tomu, že k této fúzi dojde. Už jenom kdyby se použilo DSRC jako hlavní přenosová technologie na celém území, mobilní síť by fungovala jako záložní technologie.

Pokud bude při vývoji 5G mobilních sítí kladen důraz na podporu ITS systémů, je možné, že se stane v budoucnu dominantní přenosovou technologií pro ITS. Jeho implementace bude postupná a zdlouhavá. Na zvýšení bezpečnosti a efektivity dopravy je kladen ze strany států velký důraz, proto je do vývoje DSRC 5,9 investováno velké množství prostředků z mnoha státních i komerčních zdrojů, a proto je toto řešení preferované, i když má několik nedostatků. DSRC 5,9 čeká na standard pro V2V komunikaci, který by mohl opět zlepšit parametry celé technologie.

## 4 Přehled aplikací kooperativních systémů

Kooperativní systémy jsou schopny poskytovat celou řadu aplikací. V této kapitole budou vypsány aplikace s největším potenciálem pro ITS. Aplikací je nezměrné množství. Některé jsou již popsány a otestované, jiné jsou pouze teorií. Až reálná implementace systémů do vozidel nám ukáže úplný potenciál a využití kooperativních systémů. Pojem aplikace a služba je v tomto kontextu branné jako synonymum.

Jedno z možného rozdělení aplikací kooperativních systémů je do těchto skupin: [10]

- **Bezpečnostní aplikace**

Účelem bezpečnostních aplikací je varovat řidiče v krizových situacích a tím zabránit dopravním nehodám případně snížit jejich následky. Od těchto aplikací je velké očekávání, proto jsou v současné době nejvíce zkoumány a testovány.

- **Aplikace pro řízení dopravy a přepravy**

Cílem těchto aplikací je zvýšit efektivitu řízení dopravního proudu a tím předejít zbytečnému zdržení na cestě v podobě kongescí nebo čekání na křižovatkách vybavených SSZ.

- **Aplikace pro řízení nákladní dopravy a logistiku**

Zákazníci v dnešní době očekávají dodání objednaného zboží v přesně daný čas a tyto aplikace pomáhají zefektivnit potřebné procesy. Do této skupiny patří i služby pro parkování.

- **Servisní aplikace**

Tyto aplikace pomáhají ke zkvalitnění údržby vozidla pomocí informací z interních senzorů ve vozidle a připojení k servisnímu středisku.

- **Aplikace pro zábavu a pohodlí**

Pohodlí se stává jedním z předních faktorů zákazníka při výběru nového vozidla. Aplikace využívající přístupu k internetu a tak dokáží zpohodlnit cestu / dobu strávenou ve vozidle.

Evropská komise ve svém vypracování zprávy o budoucnosti dopravy vyjmenovala několik aplikací, které doporučuje zavést jako první pro zvýšení bezpečnosti a efektivity dopravy. Aplikace rozdělili do dvou skupin – Day 1 a Day 1,5 – kdy Day 1 obsahuje aplikace s největším potenciálem pro zvýšení bezpečnosti, a proto by měli být nasazené jako první z kooperativních systémů. Soubor aplikací z Day 1,5 by měl následovat po vyšší penetraci trhu vozidly s kooperativními systémy. Na jejich standardizaci a jednotné struktuře pro EU se pracuje. Soubory aplikací jsou vypsané v Tabulka 6 a Tabulka 7. Tyto aplikace budou popsány dále spolu s dalšími. [32]

### *Aplikace Day 1*

#	Název aplikace	Zařazení
1	Upozornění na prudce brzdící vozidlo	Bezpečnostní aplikace
2	Upozornění na blížící se vozidlo IZS	Bezpečnostní aplikace
3	Upozornění na pomalá nebo stojící vozidla	Bezpečnostní aplikace
4	Varování před kongescí	Bezpečnostní aplikace
5	Upozornění na nebezpečná místa	Bezpečnostní aplikace
6	Upozornění na práce na silnici	Bezpečnostní aplikace
7	Upozornění na nepříznivé podmínky počasí	Bezpečnostní aplikace
8	Zobrazování informací uvnitř vozu	Aplikace pro řízení dopravy a přepravy
9	Zobrazování max. rychlostí uvnitř vozu	Aplikace pro řízení dopravy a přepravy
10	Data vozidlové sondy	Aplikace pro řízení dopravy a přepravy
11	Zamezení šokových vln (stop and go vln)	Aplikace pro řízení dopravy a přepravy
12	Optimalizace rychlosti pro zelenou (GLOSA)	Aplikace pro řízení dopravy a přepravy
13	Bezpečnost křižovatek	Aplikace pro řízení dopravy a přepravy
14	Preference vozidel	Aplikace pro nákladní dopravu a logistiku

*Tabulka 6 - Soubor aplikací návrhu Evropské komise - Day 1 [32]*

### *Aplikace Day 1,5*

#	Název aplikace	Zařazení
1	Informace o parkování na parkovištích	Aplikace pro nákladní dopravu a logistiku
2	Informace a management parkování na ulici	Aplikace pro nákladní dopravu a logistiku
3	Park & Ride informace	Aplikace pro nákladní dopravu a logistiku
4	Informace o možnostech tankování	Aplikace pro nákladní dopravu a logistiku
5	Informace o provozu a chytré navigování	Aplikace pro řízení dopravy a přepravy
6	Přístup městských zón	Aplikace pro nákladní dopravu a logistiku
7	Management nakládky a vykládky	Aplikace pro nákladní dopravu a logistiku
8	Zvýšení bezpečnosti cyklistů a chodců	Bezpečnostní aplikace
9	Kooperativní varování před kolizí	Bezpečnostní aplikace
10	Upozornění na motocykl	Bezpečnostní aplikace
11	Varování před jízdou v protisměru	Bezpečnostní aplikace

*Tabulka 7 - Soubor aplikací návrhu Evropské komise - Day 1,5 [32]*



Níže jsou popsány jednotlivé aplikace rozřazené do příslušných skupin. U každé je popis aplikace, vhodný typ komunikace (V2V / V2I / V2X), nejdůležitější přenášená data a mnou vytvořený parametr důležitosti. Nejdůležitější přenášená data jsou informace, které jsou nejvíce relevantní pro správnou funkci aplikace. Vůbec nejzákladnějšími daty jsou čas, identifikace vozidla (kategorie), identifikace aplikace a podobně. Téměř každá aplikace vyžaduje znát přesnou polohu vozidla, jeho směr, který jízdní pruh využívá a rychlost. Některé aplikace mají i specifické požadavky. V žádném případě se nejedná o celý výčet přenášených dat dané aplikace. Parametr důležitosti jsem vytvořil pro vyjádření náročnosti aplikace na rychlost a spolehlivost přenosu, pro přiřazení určité priority v komunikaci, pro přiřazení priority při implementaci a pro vyjádření přínosu pro zvýšení bezpečnosti a efektivity dopravy. Důležitost může nabývat těchto hodnot:

- **Vysoká** – aplikace vyžaduje vyšší prioritu v komunikačním toku, je nutné dosahovat latence v řádu milisekund, protože právě tyto milisekundy mohou hrát roli v existenci dopravního excesu či nikoliv. Tyto aplikace jsou důležité pro implementaci v prvních krocích kooperativních systémů a nejvíce mohou ovlivnit zvýšení bezpečnosti a efektivity dopravy.
- **Střední** – aplikace nevyžaduje vyšší prioritu v komunikaci, ale za určitých podmínek může vyžadovat rychlou odezvu. Za normálních podmínek může být latence v řádu několika desítek milisekund. Aplikace může pomoci zefektivnit dopravu, ale její vliv na bezpečnost není tak velký, protože přenášené informace by měly řidiče pouze informovat o stavu v předstihu tak, aby se na ně mohl připravit.
- **Nízká** – aplikace nevyžaduje prioritu, naopak může být upozaděna před jinými aplikacemi. Latence může být až do 100 ms. Tyto aplikace mají malý nebo nulový vliv na zvýšení bezpečnosti a efektivity dopravy. Často se jedná o aplikace pro zábavu a pohodlí.

## 4.1 Bezpečnostní aplikace

Nejdůležitější skupina aplikací kooperativních systémů. Aplikace mají za úkol předávat relevantní data tak, aby mohl řidič včas zareagovat a vyhnout se krizovému momentu. V případě nevyhnutelné nehody má za úkol maximálně snížit následky nehody.

### 4.1.1 *Upozornění na prudce brzdící vozidlo*

Popis aplikace: Aplikace upozorňuje řidiče na prudce brzdící vozidlo před ním. Prudce brzdící vozidlo zaznamená náhlou změnu rychlosti a vyšle zprávu všem vozidlům v okolí, aby na sebe upozornilo. Řidiči jedoucí za prudce brzdícím vozidlem tak mohou rychleji reagovat na náhle vzniklý stav a jsou o situaci informováni, i když tuto situaci přímo nevidí například zastíněným výhledem nebo špatnou viditelností vlivem počasí.

Vhodný typ komunikace: V2V

Nejdůležitější přenášená data: decelerace, rychlost, poloha, směr jízdy, jízdní pruh

Důležitost: vysoká

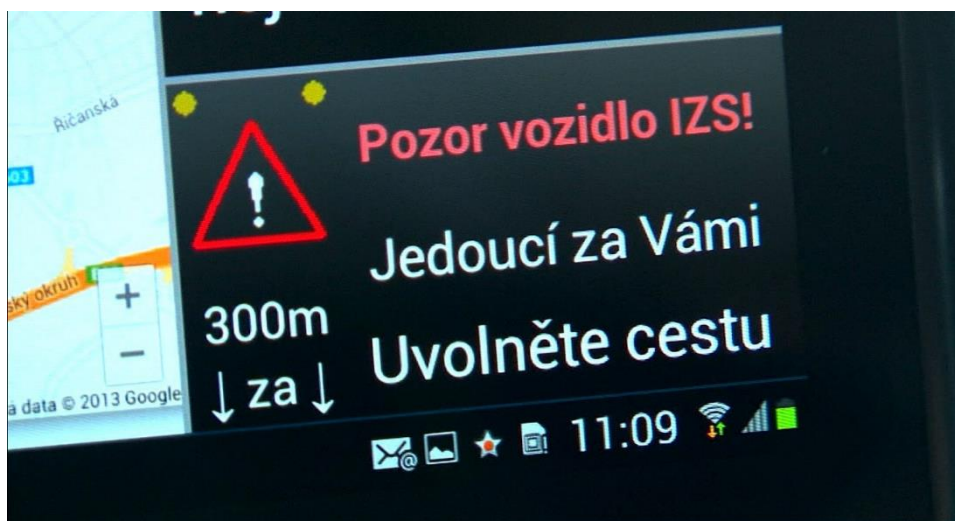
#### 4.1.2 Upozornění na blížící se vozidlo IZS

Popis aplikace: Služba varuje řidiče vozidel o přibližujícím se vozidlu/vozidlech IZS. Vozidla IZS vysílají data o své poloze a rychlosti všem vozidlům v dosahu a tím upozorňují na svůj průjezd k místu, kde vznikl problém. Řidiči vozidel jsou tak informováni často dříve, než mohou ono vozidlo vidět ve zpětných zrcátkách.

Vhodný typ komunikace: V2V

Nejdůležitější přenášená data: vozidlo IZS – rychlost, směr jízdy, poloha, jízdní pruh

Důležitost: vysoká



Obrázek 11 - Příklad upozornění na vozidlo IZS ve vozidle [33]

#### 4.1.3 Upozornění na pomalá nebo stojící vozidla

Popis aplikace: Aplikace upozorňuje řidiče vozidel o pomalu jedoucím či stojícím vozidle před nimi. Postižené vozidlo vysílá ostatním vozidlům svoji rychlost a polohu, čímž dává ostatním vozidlům možnost včas přizpůsobit jízdu. V této aplikaci je nutné stanovit, co znamená pomalu jedoucí vozidlo.

Vhodný typ komunikace: V2V

Nejdůležitější přenášená data: postižené vozidlo – rychlost, směr jízdy, poloha, jízdní pruh

Důležitost: vysoká

#### **4.1.4 Varování před kongescí**

Popis aplikace: Jedná se o způsob varování řidičů před kongescí před nimi. Varování musí být včasné tak, aby řidiči měli možnost přizpůsobit jízdu nebo změnit trasu a vyhnout se tak kongesci. Vozidla již v kongesci vysílají zprávu o kongesci RSU, ta nahromaděná data částečně sama zpracovává a vysílá do svého okolí zprávu o aktuální situaci. RSU současně data předává TCC, které kongesci vyhodnocuje jako celek z více lokálních RSU a zpětně vysílá podrobné informace o kongesci přes RSU uživatelům.

Vhodný typ komunikace: V2I, V2V v případě stop and go vln

Nejdůležitější přenášená data: rychlost vozidel, počátek kongesce – čas i místo, informace o důvodu kongesce, doba zdržení

Důležitost: střední / vysoká (závisí na vzdálenosti od začátku kongesce)

#### **4.1.5 Upozornění na nebezpečná místa**

Popis aplikace: Pokud řidič nebo samo vozidlo pomocí senzorů vyhodnotí místo jako nebezpečné, vyšle zprávu svému okolí s informací o tomto místě. Jiní účastníci dopravního proudu jsou tak varováni dopředu a mohou přizpůsobit jízdu dané okolnosti. Zrušení výstrahy na dané místo závisí na charakteru nebezpečí. Může jej zrušit například vozidlo údržby silnic.

Vhodný typ komunikace: V2V po bezprostředním zjištění nebezpečí, V2I pro uchování nebezpečí pro další vozidla

Nejdůležitější přenášená data: poloha, čas zaznamenání, původ nebezpečí

Důležitost: střední / vysoká (závisí na původu nebezpečí)

#### **4.1.6 Upozornění na práce na silnici**

Popis aplikace: Práce na silnici by měly být vždy plánované údržbou dopravních komunikací, a tedy TCC by mělo o takové situaci vědět dopředu a nasimulovat jejich následky. Informace by tak měla být s velkým předstihem předány účastníkům dopravního proudu tak, aby měli možnost změnit trasu nebo se připravit na případně zdržení.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: počátek a konec prací, doba zdržení,

Důležitost: střední



Obrázek 12 - Příklad upozornění na práce na silnici ve vozidle [34]

#### 4.1.7 Upozornění na nepříznivé podmínky počasí

Popis aplikace: Nepříznivé podmínky na komunikaci vyhodnocují jak sama vozidla (případně řidič), tak RSU. Vozidla vysílají zprávu o podmínkách RSU, potažmo TCC, které je zpracovávají a vyhodnocená data předávají s doporučením na změnu jízdy ostatním vozidlům.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: teplota, povětrnostní podmínky, voda/sníh na vozovce, mlha a podobně

Důležitost: střední / vysoká (v závislosti na daném jevu)

#### 4.1.8 Zvýšení bezpečnosti cyklistů a chodců

Popis aplikace: Služba využívá ke komunikaci i PID přístroje, jako jsou například chytré telefony, které mají chodci, cyklisté a jiní nepřímí účastníci dopravního provozu u sebe. Mohou tak být varováni před rychle jedoucím vozidlem IZS nebo jiným nebezpečím prostřednictvím onoho chytrého telefonu. Lze ovšem využít i opačnou variantu, kdy PID vyše zprávu o vstoupení chodce do vozovky a varuje tak řidiče vozidla před jeho přítomností. Jak bylo zmíněno v 3.1.3, jedná se o neprobádanou službu, která ještě bude předmětem vývoje.

Vhodný typ komunikace: V2X

Nejdůležitější přenášená data: poloha, rychlost, směr, charakter nebezpečí

Důležitost: vysoká (v případě vysílání pouze zpráv o nebezpečí)

#### 4.1.9 Kooperativní varování před kolizí

Popis aplikace: Tato služba spočívá v rozšíření senzorů vozidel. Může tak být provedeno například hlídání tzv. „slepého úhlu“ nebo nedodržení bezpečné vzdálenosti pomocí kooperativních systémů a mít tak stejnou funkci jako senzor na vozidle. Tím se zvýší povědomí o vozidlech v těsné blízkosti a sníží se pravděpodobnost nehody.

Vhodný typ komunikace: V2V

Nejdůležitější přenášená data: poloha, rychlost, jízdní pruh, směr, plánovaný manévr

Důležitost: střední / vysoká

#### 4.1.10 Upozornění na motocykl

Popis aplikace: Služba varuje vozidla před motocyklem, který se může nacházet před nimi i za nimi. Motocykl je v dopravním proudu lehce přehlédnutelný a také je často vnímán jako vetřelec v dopravním proudu. Často dosahuje vyšších rychlostí a akcelerací, stačí mu méně místa pro projetí než automobilu, a proto je těžce předvídatelný. Je tedy vhodné varovat řidiče jiných vozidel před jeho přítomností. OBU motocyklu periodicky vysílá svou polohu, směr jízdy, využitý jízdní pruh a rychlost všem vozidlům ve svém okolí a varuje tak řidiče jiných vozidel o své přítomnosti.

Vhodný typ komunikace: V2V

Nejdůležitější přenášená data: poloha, rychlost, směr, jízdní pruh

Důležitost: střední / vysoká (v závislosti na daných podmínkách)



Obrázek 13 - Ilustrace detekce motocyklu od společnosti Volvo [55]

#### 4.1.11 *Varování před jízdou v protisměru*

Popis aplikace: Jízdu v protisměru má možnost zpozorovat hned několik subjektů - samo jedoucí vozidlo v protisměru, jiné vozidlo v blízkosti nebo RSU s dohledem na danou oblast. Vždy je nutné důrazně upozornit vozidlo jedoucí v protisměru na tento problém a upozornit vozidla jedoucí v kolizním směru o jeho počínání, tak aby na danou situaci stačili zareagovat.

Vhodný typ komunikace: V2V i V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, rychlost, směr, jízdní pruh, oznámení o jízdě v protisměru

Důležitost: vysoká

#### 4.1.12 *Varování před vozidlem nerespektující signál Stůj*

Popis aplikace: Jedná se o podobné schéma aplikace jako Varování před jízdou v protisměru. Samo nerespektující vozidlo by mělo zaznamenat již dopředu, že nestačí zastavit na stop čáře při signálu Stůj na návěstí SSZ, a vyslat tak zprávu do svého okolí o této situaci. Zároveň důrazně upozornit řidiče, že nerespektuje signál.

Vhodný typ komunikace: V2V

Nejdůležitější přenášená data: poloha, rychlost, směr, jízdní pruh, oznámení o nerespektování signálu

Důležitost: vysoká

#### 4.1.13 *Upozornění na úrovnový železniční přejezd ve výstraze*

Popis aplikace: Železniční doprava je samostatný celek, ale se silniční dopravou inferuje. Křížení železnice se silniční komunikací je velmi nebezpečné místo, protože vlaková souprava má velmi dlouhou brzdnou dráhu a nedokáže včas reagovat na problém na přejezdu. Tato aplikace varuje řidiče vozidla před aktivovaným přejezdem a dává mu velmi důrazně najevo, že se blíží vlaková souprava. Vozidlo tak může dostat informaci ještě dříve, než uvidí samotný přejezd a výstražná blikající červená světla. Nezabezpečené přejezdy mohou být problém, protože RSU dostává informaci od jednotky řídící zabezpečení přejezdu. Proto je vhodné použít senzor přítomnosti vlakové soupravy na železnici před každým přejezdem. Tento senzor musí být v dostatečné vzdálenosti od přejezdu a musí předávat informace lokální RSU. Tento senzor musí být velmi spolehlivý a měl by mít i „horkou zálohu“, protože jeho špatná informace může vést k fatálním následkům. Daleko spolehlivější a přínosnější cesta je instalace OBU jednotek i do vlaků a propojení bezpečnostních systémů železniční a silniční dopravy. Pro železnici je již testován systém

ETCS (European Train Control System), který je obdobou připojených vozidel v silniční dopravě.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, rychlost, výstraha přejezdu, senzor přítomnosti vlaku na železnici

Důležitost: vysoká

#### 4.1.14 *Nouzové vysílání - eCall*

Popis aplikace: eCall je aplikací, a zároveň celým projektem Evropské komise pro snížení následků již vzniklé nehody. Tento projekt je svým charakterem součástí kooperativních systémů, a to jako bezpečnostní služba. eCall je již implementovanou službou, která je funkční na celém území EU. Od 1. 4. 2018 musí být všechny nové automobily (osobní a nákladní automobily do 3,5 tuny) prodávané na území EU povinně vybaveni touto technologií. Důvodem pro osamostatnění od kooperativních systémů a implementace bez infrastruktury ITS je značný přínos v oblasti bezpečnosti. Vývoj byl financován ze zdrojů EU a byl kladen důraz na brzké zavedení do dopravních prostředků. [35] [40]

Funkce eCallu spočívá ve vyslání záznamu o nehodě řídicímu centru IZS (centrum tísňového volání linky 112) bezprostředně po nehodě. IZS tak má informaci o dopravní nehodě a může se k ní ihned vydat záchranné vozidlo, není nutné čekat na oznámení účastníky z místa nehody.

eCall je uložen v OBU jednotce vozidla, která má dva základní moduly – GNSS modul pro určení místa a času, GSM modul pro komunikaci s centrem tísňového volání. Systém může být aktivován manuálně tlačítkem ve vozidle, kdy jej může aktivovat sama posádka automobilu například v případě zdravotních potíží někoho z pasažérů nebo je svědkem jiné dopravní nehody. Automatické spuštění systému je v případě, kdy OBU jednotka vyhodnotí stav vozidla jako nehodu (senzory jako akcelerometr, airbagy, deformační zóny apod.). Po aktivaci je odeslán minimální soubor dat (MSD; Tabulka 8) s informacemi o daném vozidle a je s vozidlem navázáno telefonické spojení. Na základě těchto informací vyhodnotí operátor tísňového centra závažnost nehody a vyšle potřebné složky IZS. [36][36]

OBU jednotka eCallu zastává také funkci černé skříňky, kdy v sobě uchovává informace o jízdě několik sekund před aktivací. Může tak objasnit okolnosti nehody a pomoci při vyšetřování. Mimo tuto funkci je celý systém neaktivní, dokud nedojde k jeho manuální či automatické aktivaci.

Vhodný typ komunikace: V2I

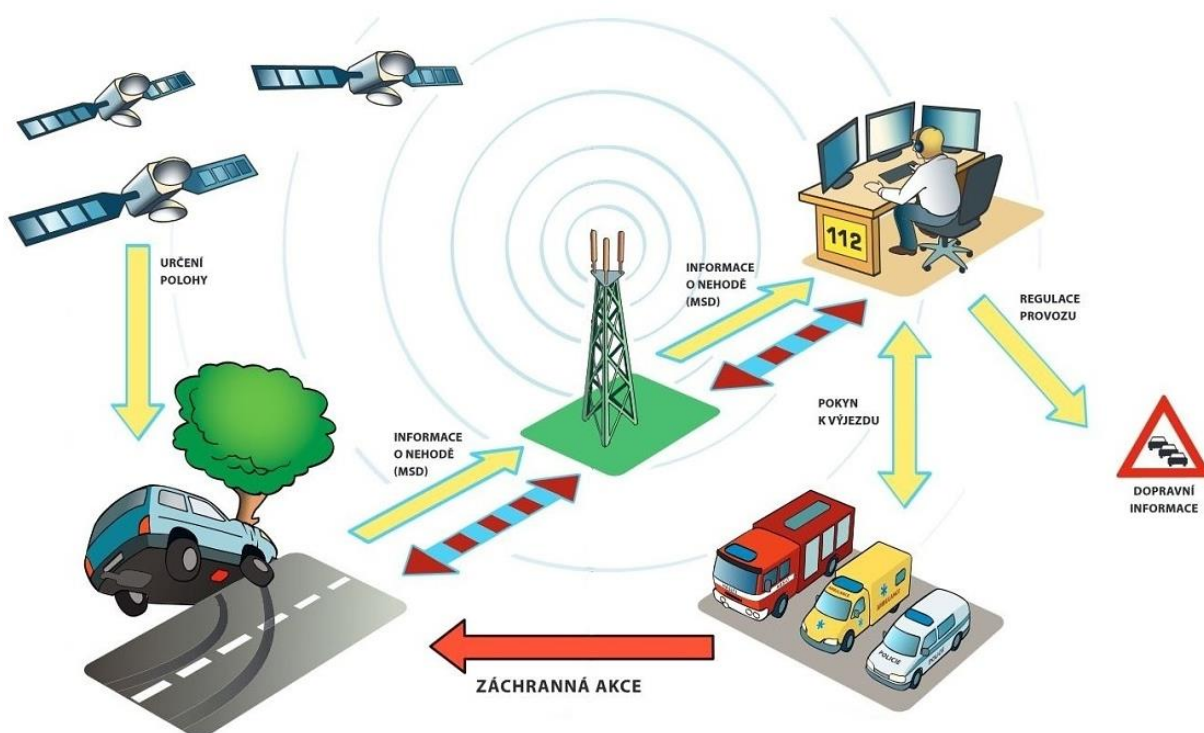
Nejdůležitější přenášená data:

### Minimální soubor dat MSD

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 passengers	Nepovinný údaj; počet zapnutým bezpečnostních pásů

Tabulka 8 - Minimální soubor dat MSD pro zprávu systému eCall [36]

Důležitost: vysoká



Obrázek 14 - Princip systému eCall [35]



## 4.2 Aplikace pro řízení dopravy a přepravy

Úkolem služeb z této skupiny je zefektivnění dopravy. Pod pojmem zefektivnění dopravy si lze představit snížení doby přepravy, snížení nákladů na přepravu a na potřeby dopravní infrastruktury, zvýšení kapacity dopravního toku a podobně. Nejčastěji se jedná o aplikace sbírající informace od mnoha účastníků dopravy pro TCC, které na základě vyhodnocení informací vydává doporučení pro optimalizaci dopravního toku.

### 4.2.1 Zobrazování informací uvnitř vozu

Popis aplikace: Jedná se o poměrně jednoduchou aplikaci, kdy se informace, které řidič získává z dopravního značení, informačních tabulí a podobně, zobrazují přímo ve vozidle. Výhodou je tak možnost velmi rychlého dynamického měnění dopravních omezení a upozornění, a to jenom pro určené vozidlo, skupinu vozidel nebo například daný jízdní pruh. Řidič osobního vozidla tak například nebude zatěžován informacemi o dopravním omezení určené pro vozidla nad 3,5 tuny a naopak. Virtuální dopravní značení poté spravuje TCC a kontinuálně předává informace jednotlivým RSU, které je poté vysílají do přidělené oblasti. Každý směr na daném úseku může mít jiné značení, proto je nutná informace o poloze a směru jízdy vozidla. Nastává pak otázka, zda by nemohlo být zrušeno reálné dopravní značení podél dopravních sítí, které vyžaduje poměrně velké pořizovací náklady a v případě dynamického značení i nákladnou údržbu. Dalším důvodem pro zrušení dopravního značení podél dopravních komunikací je i skutečnost, že se jedná o pevné překážky, do kterých mohou vozidla narazit. Reálné značení by mohlo být zachováno pro „zálohu“ v případě výpadku kooperativních systémů a hlavním důvodem je i již zažitá praxe řidičů a odebrání by muselo mít postupný charakter tak, aby si řidiči nejdříve zvykli na virtuální dopravní značení ve vozidle.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, směr, jízdní pruh, kategorie vozidla, daná omezení a upozornění na daném úseku a směru/jízdního pruhu

Důležitost: nízká (v případě doplňku pro stávající dopravní značení) / vysoká (v případě kompletního nahrazení dopravního značení podél vozovek)



Obrázek 15 – Vlastní fotografie ze simulátoru na K616 FD ČVUT při simulaci možnosti zobrazování dopravního značení přímo ve vozidle

#### 4.2.2 Zobrazování maximálních rychlostí uvnitř vozu

Popis aplikace: Aplikace je velmi podobná aplikaci pro zobrazování informací uvnitř vozu, s tím rozdílem, že tato bude zaměřená pouze na rychlost. Je tak možné vytvořit období liniového řízení přiřazením maximální rychlosti jednotlivým účastníkům dopravního proudu a tím zabezpečit plynulý průjezd úseku. Aplikace také může upozornit řidiče o překročení povolené maximální rychlosti. O řízení se opět stará TCC, které kontinuálně vysílá aktuální stav a doporučení rychlosti vozidel.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, směr jízdy, jízdní pruh, omezení maximální rychlosti pro daný úsek/jízdní pruh

Důležitost: vysoká

#### 4.2.3 Data vozidlové sondy

Popis aplikace: Jedná se o aplikaci shromažďující data o aktuální situaci dopravního toku přímo z vozidel (OBU). Tyto data jsou přes RSU předávána TCC, které na základě těchto dat vydává doporučení pro jiné aplikace a řídí dopravní tok. Jedná se také o vstupní data pro dopravní analýzy a modely.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, směr jízdy, jízdní pruh, rychlost, kategorie vozidla

Důležitost: nízká

#### ***4.2.4 Zamezení šokových vln (stop and go vln)***

Popis aplikace: Stop and Go vlny představují jedno z největších bezpečnostních rizik na dálnicích a rychlostních komunikacích. Spočívají v rozjíždění se a následnému opětovnému zastavení kolony vozidel. Aplikace doporučuje optimální rychlost jednotlivých vozidel tak, aby se dopravní tok stal opět plynulým. Aplikace může být zařazena i do skupiny bezpečnostních aplikací.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, směr, jízdní pruh, rychlost, akcelerace/decelerace

Důležitost: vysoká

#### ***4.2.5 Optimalizace rychlosti pro zelenou (GLOSA)***

Popis aplikace: GLOSA je v originálním znění Green Light Optimised Speed Advisory. Jak název napovídá, jedná se o službu doporučující vozidlům upravit rychlost tak, aby plynule projeli nadcházející křižovatku řízenou SSZ na signál volno. RSU zná signální plány přilehlých řízených křižovatek ve své oblasti a z OBU jednotek má informaci o vzdálenosti vozidla od křižovatky a jeho aktuální rychlost. RSU na základě těchto informací vypočte optimální rychlost vozidla tak, aby projelo křižovatku bez zastavení a ušetřilo palivo a vyprodukované emise. Zároveň je potřeba brát ohled na maximální rychlost na daném úseku, RSU nesmí doporučit vyšší rychlost než povolený rychlostní limit. Pokud již vozidlo nemůže stihnout signál Volno v daném intervalu, může mu být doporučeno snížit rychlost na takovou rychlost, kdy se přiblíží k stop čáře při novém intervalu a signálu Volno.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, směr jízdy, aktuální rychlost, doporučená rychlost

Důležitost: nízká



Obrázek 16 - Příklad uživatelského rozhraní GLOSA aplikace ve vozidle Audi [37]

#### 4.2.6 Bezpečnost křižovatek

Popis aplikace: Tato aplikace spočívá v informování řidičů o signálním plánu SSZ nejbližší křižovatky ve směru jízdy. OBU jednotkám je tak předávána zpráva o aktuálním stavu návěstí a čase v sekundách do změny stavu. Pro tuto aplikaci je vhodné využít informaci o jízdním pruhu, kde se vozidlo nachází a případně o zapnuté směrovce, protože poté je možné předat signální plán pouze pro směr odbočení a nezahlcovat tak řidiče zobrazováním stavu SSZ do všech směrů z konkrétního bodu. Aktuální stav signálního plánu zná přilehlá RSU, proto se jedná o komunikaci V2I. V případě, že vozidlo nezastaví před stop čarou nebo se rozjede na stůj, spustí se bezpečnostní aplikace Varování před vozidlem nerespektující signál Stůj. Aplikace bezpečnosti křižovatek také na základě předávaných dat může být využita jako doplněk nebo úplná náhrada k sensorům pro tvoření dynamického signálního plánu. Informace o počtu vozidel čekajícím nebo přijíždějícím ke křižovatce je znám z každého směru a informace by měla být přesnější než klasické indukční smyčky nebo video-detekce, které dokáží předat informaci pouze o přítomnosti vozidel na stop čáře a určité vzdálenosti od ní (nejčastěji 40 m). Informace o přesném počtu vozidel čekajícím na signál volno může vést k lepší optimalizaci signálního plánu.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, směr jízdy, rychlost, jízdní pruh

Důležitost: střední

#### 4.2.7 Informace o provozu a chytré navigování

Popis aplikace: Kooperativní systémy nepřetržitě sbírají informace o provozu, proto má TCC informace o plynulosti provozu na celé své přidělené oblasti. Tyto informace mohou být využity pro navigování vozidel tak, aby dosáhly cíle v nejkratší možný čas a zefektivnily tak dopravu.

Chytré navigování není novinkou na trhu, informace o plynulosti provozu již několik let sbírá služba od společnosti Google. Aplikace na mobilní telefony Google Maps pak dokáže využít tyto data pro optimalizaci trasy a navigovat vozidlo tak, aby se vyhnulo kongescím a dosáhlo cíle v nejkratší možnou dobu. Alternativou je taktéž mobilní aplikace Waze, která používá stejná data o provozu jako Google, ale přidává i možnost hlášení nebezpečných míst podél silničních komunikací. Tyto a podobné aplikace patří do skupiny kooperativních systémů.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, směr jízdy, jízdní pruh, rychlost, trasa, nebezpečí na trase, čas do příjezdu apod.

Důležitost: nízká

#### 4.2.8 Dynamické přidělování jízdních pruhů

Popis aplikace: Aplikace je určena k dočasnému zvýšení kapacity dopravního proudu tím, že mu přidělí jízdní pruh z opačného směru. Můžeme se tak například setkat s tříproudovou komunikací, kde krajní pruhy jsou využívány pro rozdílné směry jízdy a prostřední je využíván pro ten směr, který potřebuje navýšit kapacitu. Avšak tato aplikace má bezpečnostní rizika. Informace od RSU o využití jízdního pruhu musí být spolehlivé, jinak může docházet k čelním střetům vozidel za velkých rychlostí, které by měly fatální následky. Aby mohla být použita, musí být vybudované i informační tabule (infrastrukturní prvky), které zajistí předání informace o využitelnosti daného jízdního pruhu pro určitý směr jízdy i pro vozidla nedisponující OBU jednotky. Pokud vozidlo vjede do pruhu, který je momentálně určen pro protisměr, spustí se aplikace Varování před jízdou v protisměru.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, směr jízdy, jízdní pruh, rychlost, informace o náležitosti daného jízdního pruhu

Důležitost: vysoká

## 4.3 Aplikace pro řízení nákladní dopravy a logistiku

Nákladní vozidla představují značnou část vozového parku, která tvoří větší emisní zatížení než osobní automobily a nehody s těmito velkými a těžkými stroji představují větší bezpečnostní riziko. Je proto vhodné maximálně zefektivnit jejich počínání na dopravních komunikacích a minimalizovat pravděpodobnost nehody. K nákladní dopravě neodmyslitelně patří pojem logistika, která pojednává o správném a včasném doručení zboží. Do této skupiny aplikací ovšem patří i správa parkování, a to nejen pro nákladní vozidla.

### 4.3.1 Preference vozidel

Popis aplikace: Preference vozidel je aplikace, která má význam pro vozidla, které vyžadují právo přednostní jízdy. Může se tak jednat o vozidla IZS, které vyžadují absolutní přednost. Je upravován signální plán křižovatek a zároveň jsou ostatní vozidla upozorňována na jejich přítomnost. Další skupinou jsou vozidla MHD, která tak mohou být efektivnější při přepravě osob. Mohou to být ale i velká nákladní vozidla, která vytváří velké emise a tím, že se jim umožní plynulé projetí trasy, se tyto emise omezí. OBU jednotka preferovaného vozidla zašle informaci o plánované trase RSU, která na základě informací z OBU optimalizuje signální plány křižovatek. OBU jednotka preferovaného vozidla zároveň upozorňuje ostatní účastníky silničního provozu o své přítomnosti a záměrech.

Vhodný typ komunikace: V2V pro upozornění okolních vozidel, V2I pro řízení preference

Nejdůležitější přenášená data: poloha, směr jízdy, jízdní pruh, rychlost, plánovaná trasa

Důležitost: střední / vysoká (záleží na důležitosti preferovaného vozidla)

### 4.3.2 Informace o parkování na parkovištích

Popis aplikace: Profesionální řidiči mají povinnost pauzy každé 4 hodiny. Pauza znamená odstavení vozidla na parkovišti a odpočinek řidiče. Aplikace ukazuje řidiči volná místa na parkovištích při jeho trase. Řidič tak může lépe naplánovat svoji pauzu a parkovací místo si rezervovat na daný čas a danou dobu. Aplikace může nabízet doplňkové informace jako je vybavení parkoviště, obsazenost parkoviště a podobně.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, směr jízdy, rychlost, obsazenost parkovišť, rezervace parkovacího místa, doplňkové informace

Důležitost: nízká

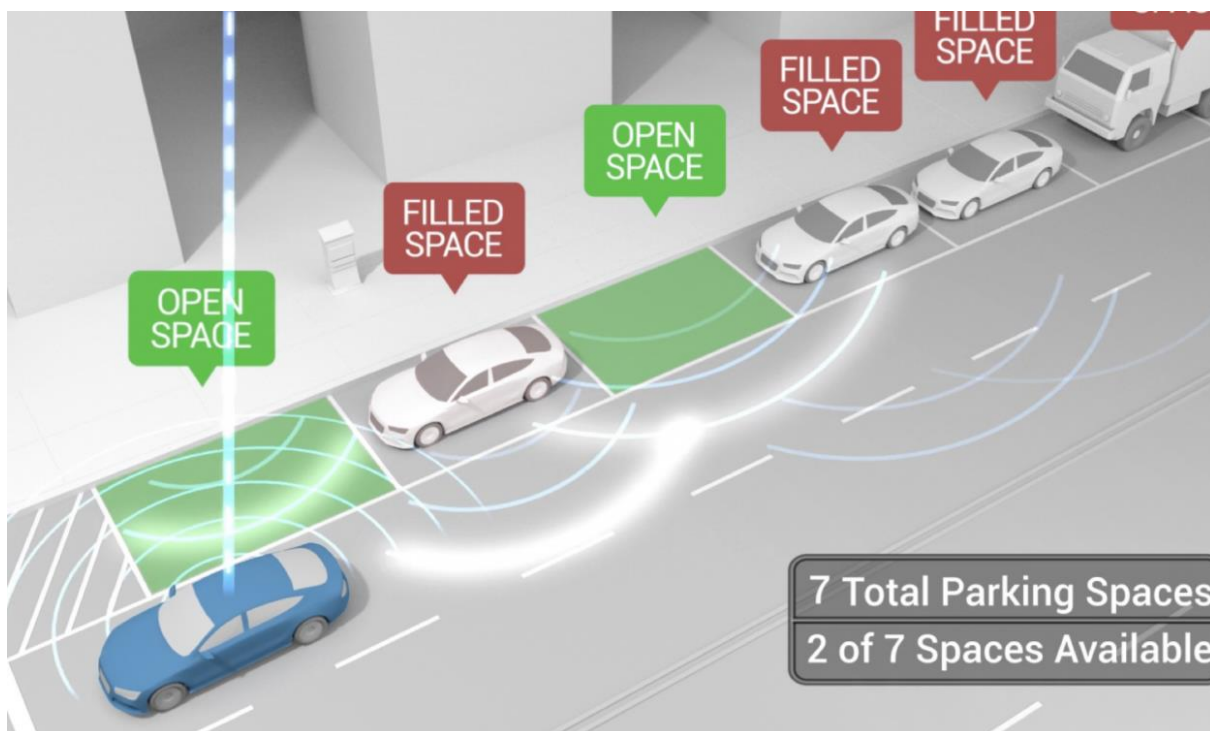
### 4.3.3 Informace a management parkování na ulici

Popis aplikace: Parkování vozidel mimo parkoviště, tedy na ulicích měst, může být spravováno touto aplikací. Aplikace ukazuje obsazenost parkovacích míst a dokáže rezervovat parkovací místo. Zároveň zastává funkci parkovacích hodin. Zná rozdělení parkovacích zón, kde můžou platit různá omezení jako maximální doba parkování a různé sazební tarify. Uživatel si tak může vyfiltrovat daná parkovací místa a zaparkovat na jemu nejvhodnějším místě. OBU jednotka po zaparkování odešle informaci o této skutečnosti RSU, která informaci uchová. Při opouštění parkovacího místa je RSU oznámeno uvolnění místa. Kooperativní systémy díky svému napojení na internet mohou rovnou zaplatit za zpoplatněné služby, a tak může být proces parkování a následné zaplacení příslušné částky zautomatizován, jako je tomu například u mýtných systémů.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, obsazenost parkovacích míst, parkovací zóny, platební tarify, případně platba

Důležitost: nízká



Obrázek 17 - Ilustrační obrázek pro management parkování na ulici [38]

### 4.3.4 Park & Ride informace

Popis aplikace: Park & Ride umožňuje řidičům zaparkovat své vozidlo na záchytném parkovišti a dále pokračovat v cestě prostředky MHD do centra města. Tyto záchytné

parkoviště bývají zpravidla na periferiích měst u stanice metra či dopravního uzlu MHD. RSU v přílehlé oblasti parkoviště P+R vysílá informace o obsazenosti parkoviště a dovoluje vozidlům rezervaci parkovacího místa. Aplikace by měla řidiče motivovat k zaparkování vozidla a pokračování pomocí veřejné dopravy tím, že mu vypočítá přibližnou úsporu času a případně i finanční úsporu, pokud tak udělá. Aplikace zná cíl cesty řidiče, jízdní řády MHD, informace o provozu na zamýšlené trase, spotřebu vozidla, sazební tarify MHD a další informace, a proto je schopna vypočítat tyto úspory.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, směr jízdy, rychlost, cíl trasy, časová úspora

Důležitost: nízká

#### ***4.3.5 Přístup městských zón***

Popis aplikace: Některé části městských aglomerací mohou zakazovat vjezd určitým kategoriím či typům vozidel. Nejčastější je zákaz vjezdu nákladních vozidel nad 3,5 t do městské aglomerace. Město však může vydat vozidlu oprávnění k vjezdu a aplikace by tak mohla toto oprávnění zohlednit. Dnešní dobou je často skloňované téma smogové podmínky ve městech, a proto je například omezen vjezd starších vznětových vozidel do centra měst v Německu. Tato aplikace využívá z OBU informace o vozidle a upozorňuje ho na městské zóny, kde pro něj platí omezení a případně jaká. Aplikace může navrhnout objízdnu trasu tak, aby se vyhnul těmto zónám nebo doporučit využití P+R parkoviště a pokračování pomocí veřejné dopravy.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, informace o vozidle, dané omezení pro typ vozidla a příslušné vytyčení zón

Důležitost: střední

#### ***4.3.6 Management nakládky a vykládky***

Popis aplikace: Přeprava zboží pomocí silniční dopravy je jednou z nejvyužívanějších na světě. Proces přepravy zboží se stále zdokonaluje a zrychluje, a to z důvodu vyšších nároků dodavatelů a spotřebitelů. Tato aplikace slouží k maximálnímu zvýšení efektivity procesu nakládky a vykládky tak, aby při tomto procesu strávil co nejméně času. Příjezd vozidel na nakládku či vykládku je možné plánovat na sekundy díky periodickému odesílání polohy vozidla. Vozidlo už dopředu může vyslat informaci o svém nákladu, a tím připravit vykládající stranu. Ta mu může dopředu alokovat vykládací místo a navést jej rovnou tam.



Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, rychlost, čas příjezdu, informace o nákladu, cíli cesty, identifikaci vozidla

Důležitost: nízká

#### ***4.3.7 Informace o možnostech tankování***

Popis aplikace: Tato aplikace poskytne vozidlům informace o čerpacích stanicích, o jejich možnostech tankování, cenách pohonných hmot a vybavení stanice. S rozmachem elektromobility se prodlouží intervaly tankování (dobíjení) z minut na desítky minut až hodiny a je proto nutné dobíjení dopředu plánovat. Aplikace umožní elektromobilním vozidlům rezervaci dobíjecího místa a dobíjecí výkon.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, směr jízdy, informace o čerpací/dobíjecí stanici – poloha a vybavení stanice, dostupné typy a ceny PHM, obsazenost dobíjecích slotů

Důležitost: nízká

### **4.4 Servisní aplikace**

Servisní aplikace se zabývají stavem vozidla. V případě poruchy vozidla, aplikace dokážou vyhodnotit závažnost poškození a udělat patřičné opatření. Jelikož se vždy jedná o interní nastavení vozidla, je nutné předejít zneužití aplikace a případného poškození vozidla. Připojení vozidla do sítě tak musí být zabezpečené a pouze oprávněný a ověřený uživatel může provést změny ve vozidle.

#### ***4.4.1 Vzdálená diagnostika vozidla***

Popis aplikace: Diagnostika vozidla může být provedena i na dálku, protože OBU má informace ze všech senzorů na vozidle a z celkového nastavení a stavu vozidla. OBU může vysílat data o vozidle přímo do smlouveného servisního střediska. Vysílání dat může být periodické nebo jenom na vyžádání. Aplikace také dokáže měnit nastavení vozidla, proto je důležité zabezpečení proti neoprávněnému vstupu a služba tak musí nabízet zabezpečené připojení. V případě závady nebo poškození na vozidle, může být informace odeslána do servisního střediska, kde mohou majiteli vozidla přímo vyčíslit náklady na opravu, objednat náhradní díly a rezervovat čas servisní prohlídky/opravy vozidla. V případě závažné poruchy, která znemožní pokračování vozidla v jízdě, je možné přes tuto aplikaci přivolat odtahovou službu. Ta bude informována o přesné poloze vozidla, jeho typu a závadě, takže vyše

vhodné odtahové vozidlo. Aplikaci by také mohli využívat pojišťovny poskytující například povinné a havarijní pojištění, a zlepšit tak poskytované služby svázané s pojistnou smlouvou vozidla.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: poloha, stav systémů, informace o vozidle, ověření přístupu

Důležitost: nízká / vysoká (v závislosti na poruše)

#### **4.4.2 Aktualizace systému**

Popis aplikace: Aktualizace jsou nedílnou součástí každého složitějšího systému. Mohou vylepšovat funkce, opravovat chyby a zvyšovat zabezpečení. Tato aplikace slouží k vzdálenému přístupu do systémů vozidel a aktualizaci těchto systémů. Aktualizace systému vydává nejčastěji výrobce vozidla. Jedná se o období aktualizací operačních systémů mobilních telefonů nebo počítačů. Jelikož se opět jedná o zásah do softwaru vozidla, musí být přístup řádně zabezpečen a pouze ověřený uživatel může provést změny na vozidle.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: informace o vozidle, stav systémů, autorizace

Důležitost: nízká / vysoká (v závislosti na charakteru aktualizace)

### **4.5 Aplikace pro zábavu a pohodlí**

Jsou to aplikace, které zpříjemňují čas strávený ve vozidle. Připojení na internet nabízí mnoho možností zábavy, poslech hudby, sledování videí, vyhledávání informací a podobně. Z vozidla se tak postupem času může stát samostatný přizpůsobivý nástroj, jako je chytrý telefon. Spousta aplikací pro zábavu a pohodlí již funguje ve vozidlech delší dobu bez použití infrastruktury ITS. Pracují na principu mobilní sítě, kdy je infotainment vozidla připojen pomocí vlastního modulu se SIM kartou do internetu nebo je propojen infotainment s chytrým telefonem, nejčastěji pomocí IEEE 802.15 Bluetooth, kde je telefon připojen do internetu. Důležitou poznámkou je, že aplikace pro zábavu by měly mít vždy nejnižší prioritu v prostředí ITS.

#### **4.5.1 Doplnkové informace**

Popis aplikace: Aplikace slouží k předání jakýchkoliv dalších informací z prostředí internetu posádce. Tyto informace nemusejí mít nic společného s bezpečností nebo řízením provozu.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: dotaz, odpověď

Důležitost: nízká

### 4.5.2 Funkce vysílačky

Popis aplikace: Funkci vysílačky mohou využít skupiny vozidel cestujících společně na stejné trase. Jednoduchá hlasová služba na bázi komunikace D2D.

Vhodný typ komunikace: V2V

Nejdůležitější přenášená data: hlas

Důležitost: nízká

### 4.5.3 Zábava

Popis aplikace: Aplikace nabízející širokou škálu zábavních služeb, jako je poslech hudby, streamování videa a podobně. Aplikace existují na trhu již nyní bez infrastruktury ITS. Přímé spojení vozidel s internetem pomocí infrastruktury ITS by mohlo tyto služby zkvalitnit a rozšířit jejich nabídku.

Vhodný typ komunikace: V2I

Nejdůležitější přenášená data: data zábavní služby

Důležitost: nízká



Obrázek 18 - Ilustrace budoucího entertainmentu v automobilech Volvo [39]

## 5 Uživatelská rozhraní u motocyklů (HMI)

Tato kapitola nám představí možnosti uživatelského rozhraní neboli Human – Machine Interakce (HMI) u motocyklů. Motocykl je z hlediska předávání informací jezdcí (jezdec je přesnější označení řidiče motocyklu) specifický oproti automobilům a nabízí omezenější možnosti. Obecně lze předávání informace jezdcí rozdělit do dvou sekcí podle využitých zdrojů. První je motocykl, který předává informace pomocí uživatelského rozhraní na sobě samém. Druhá sekce je vybavení jezdce. Jezdec musí být minimálně povinně vybaven přilbou a dále je důrazně doporučeno vhodné motocyklistické oblečení. [63]

HMI může být realizováno na základě tradičních 5 lidských smyslů, které pomáhají pomocí receptorů vnímat okolí organismu. Jsou to zrak, sluch, hmat, chuť a čich.



Obrázek 19 - Ilustrace základních lidských smyslů, které slouží k přijímání informací do mozku [41]

### 5.1 Čich

Čich patří mezi chemoreceptorové smysly tzn. schopnost vnímat látky rozpuštěné ve vodě nebo vzduchu. Různé druhy živočichů mají rozdílnou citlivost čichu. Lidský čich je poměrně slabý a obecně jsou pachy u každého člověka vnímány jinak. Na někoho může stejná vůně působit negativně a na jiného pozitivně. Z tohoto důvodu je předávání informací skrze tento smysl nevhodné a v reálném životě se nevyužívá. [42]

Utopickým příkladem je vpuštění nepříjemného zápachu do automobilu, kdyby se řidič choval, jakkoliv nevhodně nebo naopak za ukázkovou jízdu by byl po jízdě pochválen vpuštěním příjemné vůně.

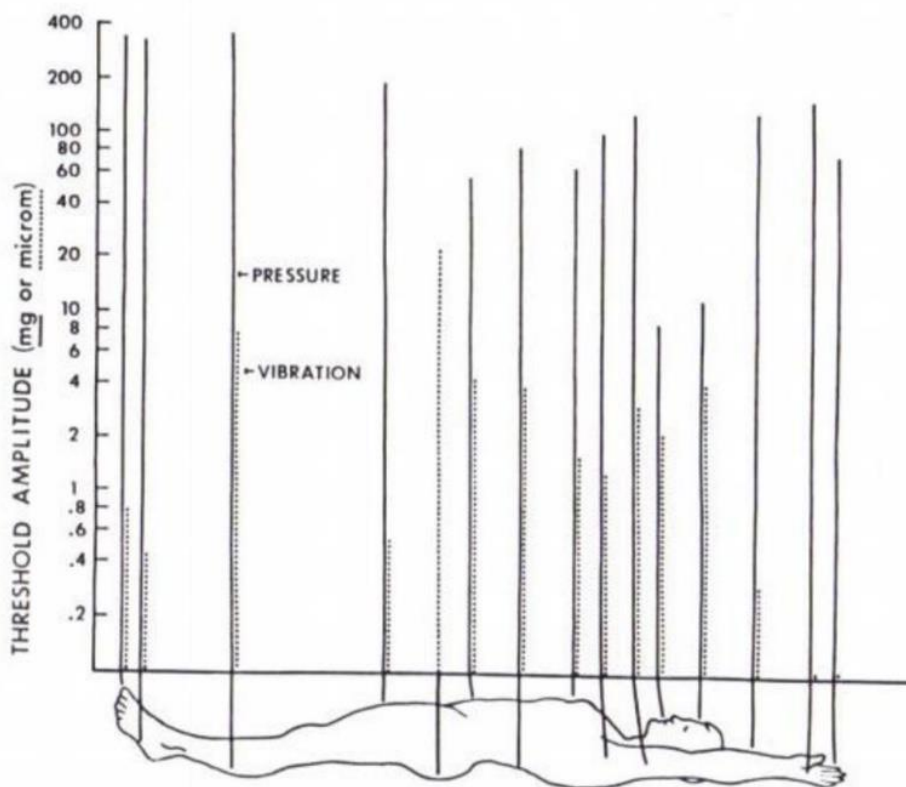
## 5.2 Chuť

Chuť velice úzce souvisí s čichem. Má podobné receptory tzn. schopnost vnímat látky rozpuštěné ve slinách nebo vodě. Receptory jsou umístěny v chuťových pohárcích, kterými jsme schopni vnímat hořkost, sladkost, slanost a kyselost. Stejně jako u čichu je citlivost u jednotlivých lidí značně rozdílná a každý jedinec vnímá chuť jinak. [43]

Reálnost využití tohoto smyslu pro předávání informace řidiči či jezdcí je mizivá.

## 5.3 Hmat

Haptika coby komunikace hmatem je způsob sdělení, které se předává tělesným kontaktem. Ve skutečnosti je hmat souborem několika různých smyslů, které získávají informace z bezprostředního okolí v místě kontaktu (dotek, vibrace) pomocí receptorů. Hmatové receptory jsou v kůži. Nejcitlivěji člověk reaguje na hmat na konečcích prstů a špičce jazyka, kde jsou nejhustěji rozprostřeny hmatové receptory, naopak nejméně jich je na zádech. Hmat je druhým nejcitlivějším smyslem s velkou informační a rozlišovací schopností. Lidské tělo nejcitlivěji reaguje na tlak a vibrace. [44]



Obrázek 20 – Vnímání tlaku a vibrací na různých částech těla [9]

Vibrace vozidla jsou pro řidiče velmi důležité. Díky nim dostává řidič zpětnou vazbu od vozidla a ví, co se s vozidlem právě děje např. prudké brzdění nebo smyk. Cítit vibrace ve vozidle je pro člověka přirozené. Příkladem přirozenosti vibrací je jízda v simulátoru, která umožňuje řidiči pouze vidět jako v autě bez možnosti zpětné vazby. Žádné otřesy, žádný pohyb těla v sedačce. Pro člověka nezvyklý stav, který může způsobit nevolnost.

Význam vibrací motocyklu je větší než u automobilu, protože jezdec je přímo vystaven prostředí a není krytý karoserií jako řidič automobilu. Jezdec tak nejen dostává tlakové a vibrační informace od motocyklu, ale i přímo z odporu větru a podobných okolních vlivů. Vibrace motocyklu jsou pro jezdce klíčové. Díky nim dostává informaci o přilnavosti povrchu s pneumatikou.

Příklad důležitosti vibrací motocyklu lze nalézt v závodním prostředí. V minulých letech napříč všemi technickými obory v oblasti konstrukcí zaznamenaly kompozitní materiály velký boom, kdy závodní týmy začaly vyvíjet motocykly s karbonovým rámem. Velká inovace, která se neujala. Kompozitní rám pohlcoval téměř veškeré vibrace a nepředával je jezdcovi do řídítek, stupaček a sedla. Byl příliš dokonalý. Podle výpovědí jezdců byl problém v tom, že nevěděli, kdy už jsou na hraně přilnavosti a velmi často padali. Proto se od těchto materiálů na čas upustilo a stále jsou nejpoužívanější materiály pro rám motocyklu hliník a šlechtěná ocel. Nyní se kompozitní materiály opět začínají vracet do konstrukcí motocyklů.



Obrázek 21 - Závodní motocykl Cagiva GP500 C194 (1994) s rámem z kompozitních materiálů [45]

### 5.3.1 HMI skrze hmat na motocyklu

Předávání různých informací pomocí smyslu hmatu je možné realizovat na motocyklu v místech, kde se jezdec dotýká motocyklu. Jsou to tyto místa: řídítka, stupačky, sedadlo, kolena u nádrže a podobně (viz Obrázek 22). Příkladem mohou být vibrační plošky na těchto místech, které budou naprogramované tak, že například vibrace pravé stupačky znamená blížící se limit přilnavost v náklonu doprava. Avšak zde nastává problém, že se jezdec těchto míst nedotýká vždy, protože se na motocyklu pohybuje (vysedání, zalehávání, ...). Často se jich nedotýká napřímo, ale přes oblečení, které bude vibrace tlumit. Proto se nejedná o vhodné uživatelské rozhraní na motocyklu, ale může sloužit jako doplňkové.



Obrázek 22 - Vibrační plošky na motocyklu; upravený obrázek z [46]

### 5.3.2 HMI skrze hmat na výstroji jezdce

Lepší variantou je umístění vibračních plošek do výstroje jezdce. Příklad umístění na kombinéze jezdce je vidět na Obrázek 23. Dalšími vhodnými prvky výstroje pro vibrační plošky jsou rukavice, boty a přilba. Výhodou je lepší dotek s kůží, který je neustálý a tím spolehlivější přenos vibrace / informace.

Komunikaci mezi vibračními ploškami a OBU by zajišťovala řídicí jednotka všitá do prvku výstroje jezdce. Ta by sdružovala vibrační plošky a bezdrátově komunikovala s OBU pravděpodobně pomocí Bluetooth.



● Vibrační ploška

Další možnosti jsou:

- V přilbě (zátylek, spánek, ...)
- V rukavicích (dlaň, zápěstí případně i každý prst zvlášť)
- V botách (chodidla, ...)

Obrázek 23 - Příklad umístění vibračních plošek na kombinéze jezdce; upravený obrázek z [47]

Informace předávána pomocí vibrací na vibračních ploškách ať už na motocyklu nebo na výstroji jezdce může být různého charakteru.

- **Informační**

*Příklad:* vibrace na zádech = blížící se vozidlo zezadu, intenzita vibrací může napovídat vzdálenost od tohoto vozidla

- **Bezpečnostní**

*Příklad:* vibrace na levé holeni = blíží se limit bezpečného náklonu, intenzita vibrací naznačuje blízkost limitu

- **Doplňkové**

*Příklad:* vibrace na předloktí = zapnutý blinkr na dané straně

Jednotlivé vibrační plošky mohou mít napevno přiřazenou poskytovanou informaci už od výrobce nebo mohou být programovatelné uživatelem. Výhodami uživatelské programovatelnosti je možnost vypnutí vibrací na místech, které by byly jezdcům nepříjemné a přizpůsobení si informací na místa podle jeho požadavků. Nevýhoda je pak odlišnost každého kusu vybavení. Řešení by mohlo být ve standardizaci, čímž by se zamezilo rozdílnosti u výrobců a možnost vypnutí nepříjemných vibrací.

Problém je také to, že informace není intuitivní. Pokud jezdcům zavibruje dané místo, nepoznají, co mu systém říká bez předešlého nastudování, co znamená, která vibrace. Také z toho vyplývá, že si jezdec musí navyknout na vibrace a na předávané informace.



### 5.3.3 Zhodnocení využití HMI skrze hmat

Hmat se nejvíce jeví jako vhodné rozhraní pro předávání informací jezdcům. Je velmi důležitý pro odezvu od vozidla k řidiči, ale předávat skrze něj informace není vhodné. Uživatelské rozhraní sice teoreticky existuje, ale nemá velký potenciál pro možnou nespolehlivost (neuvědomění si vibrace, špatný dotek s kůží, ...) a neintuitivnost. Práh vnímání vibrací má každý člověk jiný a některá vibrační místa by mohla být pro jezdce nepříjemná.

## 5.4 Sluch

Schopnost vnímat zvuky (neviditelná vibrace šířící se vzduchem). Je to třetí nejcitlivější smysl, který pomáhá k orientaci v prostoru stejně jako zrak. Člověk dokáže vnímat zvuky v rozmezí 20 Hz až 20 kHz. Ve srovnání například se psem, který slyší frekvenci v rozmezí 30 Hz až 45 kHz je lidský sluch slabší a s přibývajícím věkem se zhoršuje. Jednotlivec od jednotlivce má také jinou schopnost rozeznávat jednotlivé tóny, avšak vnímání zvuků ve srovnání s vnímáním pachů a chutí je u člověka konzistentní. [48]

Sluch je nejvhodnější pro mezilidskou komunikaci, hlasem si předáváme informace, které následně zpracovává a uchovává mozek. Avšak sluchem se nepřijímají informace pouze mluvené, ale všechny zvuky. Samotný zvuk vozidla jako zvuk motoru, potažmo výfuku, může být brán jako nechtěný, ačkoliv může být důležitý. Hlasitost zvuku motoru roste s přibývajícím otáčkami motoru a pouze na základě této informace lidé často řadí jiný rychlostní stupeň ve spalovacích vozidlech. S vozidly na elektřinu se hlasitost vozidla rapidně snížila, ale vyvstává problém, že si lidstvo na zvuk spalovacích motorů za více než 100 let své existence natolik navyklo, že nyní nízká hlasitost způsobuje problémy. Chodci například nedostávají zvukovou informaci o blížícím se vozidle.

Ve vozidlech se používá mnoho zvukových podnětů pro informovanost řidiče. Může se jednat o výstražné tóny (klakson, upozornění na rezervu dojezdu) nebo informativní zvuky jako zvuk zapnutých směrovek a zvuková odezva při stisku tlačítka nebo zvuky pro kulisu, kam spadá například poslech hudby. Tyto zvuky jsou nejčastěji generovány reproduktory, které jsou namontované přímo ve vozidle v kabině. Zvuk není tolik rušen okolními vlivy a sám je relativně izolován pouze pro kabinu vozidla.

### 5.4.1 HMI skrze sluch na motocyklu

Motocykl má na rozdíl od automobilu jednu zásadní odlišnost a to, že nemá kabinu. Využití reproduktorů přímo na motocyklu je sice možné, ale nemá velký význam, protože hlasitost by musela být tak velká, aby ji jezdec slyšel přes přilbu a přes všechny okolní zvuky jako je zvuk motoru/výfuku, zvuk odporu vzduchu a podobně. V tomto případě nastane také opačný

problém a to, že zvuk nebude izolován na kabinu a bude se šířit do svého okolí. Tím bude své okolí rušit a vytvářet zvukové emise ještě více než pouze zvukem ze samotné jízdy.

Příkladem z praxe mohou být směrovky, které mají po zapnutí vydávat zvukový signál. Snad každému jezdcí motocyklu se občas stane, že je zapomene vypnout, a to i přes to, že motocykl vydává zvukový signál. Jezdec jej neslyší a všimne si zapnutých směrovek až po čase a často po pohledu na přístrojovou desku s blikající kontrolkou.

Velké cestovní motocykly označované jako cruisery, mohou mít namontované reproduktory přímo na motocykl například pro poslech rádia a hudby. Dle mého systému jde o zbytečný prvek na motocyklu. Nicméně použití reproduktorů na motocyklu není zákony nikterak omezeno, ale nejedná se o spolehlivý přenos informace a zbytečně se zvyšuje zvuková emise. Význam má pouze případné hlasité upozornění na stav nouze.



Obrázek 24 - Motocykl Harley-Davidson s audio systémem zabodovaným v přístrojové desce [50]

### 5.4.2 HMI skrze sluch na výstroji jezdce

Výstroj jezdce svým způsobem nahrazuje funkci kabiny automobilu. Nejenže doplňuje karoserii a bezpečnostní prvky pro snížení následků nehody, ale dokáže také izolovat zvuk. Prvkem výstroje dovolující využití smyslu sluchu je přilba. Přilba izoluje zvuk pouze pro jezdce. Audio systémy do přilby umožňují poslech hudby, volání a podobné služby. Jsou buď drátově, nebo bezdrátově spojené s mobilním telefonem. V případě bezdrátové komunikace je využita technologie Bluetooth. V přilbě je tak umístěn jak mikrofon, tak reproduktor po každé straně přilby. Reproduktory jsou ve velmi těsném kontaktu s lidským uchem, a tudíž je potřeba pouze malého výkonu. Přítomnost mikrofonu nabízí možnost pro hlasové ovládání.

V případě využití přilby pro kooperativní systémy by přilba byla bezdrátově spojena s OBU jednotkou v motocyklu. Protože se jedná o spojení na krátkou vzdálenost, jako nejpravděpodobnější přenosová technologie se momentálně jeví IEEE 802.15 – Bluetooth. OBU by tak skrze přilbu předávala informace jezdci. Informace a upozornění by byly předávány pomocí hlasových zpráv nebo různými tóny.



Obrázek 25 - Příklad audio systému v motocyklové přilbě od výrobce Sena [51]

### 5.4.3 Zhodnocení využití HMI skrze sluch

Předávání informací pomocí zabudovaného audio systému v motocyklu není příliš vhodné řešení. Spolehlivost doručení informace je závislá na okolních vlivech a vlivu samotné jízdy (s vyšší rychlostí klesá spolehlivost). Audio systém ve výstroji jezdce, konkrétně v přilbě, má ale velký význam pro HMI na motocyklu. Přilba umožňuje spolehlivé předání informace jezdci.

## 5.5 Zrak

Pro člověka nejdůležitější smysl, kterým získává 80% informací. Pomocí tohoto smyslu lidé vnímají světlo, tvary a barvy, které na všechny působí stejně. Červená barva bude vždy červená, motocykl bude vždy motocykl. Smyslovým orgánem je oko. Zrak velmi významně pomáhá k orientaci v prostoru, která je také ovlivněna polohou očí, kdy každé oko přijímá nepatrně odlišný obraz, ze kterého mozek vytvoří prostorový obraz prostředí. Tím, že jsou oči citlivé na světlo se při setmění rozšíří zornice tak, aby oko mohlo přijmout co nejvíce světla. Ve tmě člověk přestává vidět barvy z důvodu méně citlivých světločivých buněk.

Vliv zraku na řízení jakéhokoliv vozidla není potřeba dopodrobna představovat. Při ztrátě zraku jako lidského smyslu, nelze řídit vozidla, zatímco bez sluchu jako druhé nejdůležitějšího smyslu ano. Zrak nám slouží ke sledování našeho okolí i přístrojů ve vozidle, umožňuje nám číst informace podél dopravní komunikace nebo ve vozidle. Nejdůležitější informace pro řízení řidič vozidla získává z okolí vozidla – chování dalších účastníků dopravního provozu a dopravních značení.

Ve vozidle poskytuje nejdůležitější informace přístrojová deska, která se nachází před řidičem v jeho zorném poli většinou v ose s volantem. Tato přístrojová deska udává základní informace, jako jsou aktuální rychlost, otáčky motoru, stav paliva, kontrolky a podobně. Přístrojová deska může mít analogové ciferníky nebo může být částečně či plně digitální. Výhoda digitálních přístrojových desek je v možnosti zobrazování více informací najednou a přizpůsobení vzhledu řidičem.

V automobilech mohou být nainstalované i další zobrazovací plochy pro různé doplňující informace o vozidle. Novodobé automobily většinou disponují velkým dotykovým displejem ve středovém panelu. Ovládá se a nastavuje se přes něj stále více funkcí ve vozidle a dokáže zobrazovat stále více informací. Automobil může také využít HUD (Head Up Display), který zobrazuje informace rovnou na čelní sklo a řidič tak často nemusí klesat pohledem z čelního skla na přístrojovou desku a plně sledovat okolí. Pro pasažéry na zadních sedadlech je možné mít vlastní obrazovku zabudovanou do předních sedadel, tyto obrazovky umožňují povětšinou služby pro zábavu a zpříjemnění tak cesty.

### 5.5.1 HMI skrze zrak na motocyklu

U motocyklů je možnost zobrazování informací poměrně omezená. Motocykl zpravidla disponuje pouze přístrojovou deskou, která zobrazuje základní informace. Přístrojová deska v porovnání s automobilovou je poměrně malá a má k dispozici méně informací. Novější motocykly nabízejí digitální přístrojové desky, které ukazují více informací a je možné přes ni provádět i různé nastavení motocyklu. Přístrojová deska u motocyklů z pravidla nebývá

dotykovou, ale má ovládání na řídítkách. Je také velmi často posazena poměrně nízko a není tak zcela čitelná za každých podmínek. Jezdci ji využívají relativně málo a často jenom pro základní informace jako je rychlost, otáčky motoru a stav paliva.

Přístrojové desky u motocyklů sice rostou a nabízí více funkcí, ale pravděpodobně nikdy nenabídnou to, co přístrojové desky v automobilech, protože jejich velikost a ovladatelnost bude omezená konstrukcí motocyklu. Nicméně přístrojová deska motocyklu dokáže promítnout dostatek informací, které jsou plánované pro kooperativní systémy. Avšak jako samostatný prvek pro předávání informace jezdcovi je nedostatečná. Jezdec by mohl velmi snadno přehlédnout upozornění na displeji a mohlo by tak dojít ke krizové situaci. Při spojení HMI na přístrojové desce a zvukových upozornění v přilbě by se situace změnila a stala vyhovující. Zvukové upozornění v přilbě jezdcovi informuje či upozorní na problém a na přístrojové desce se zpráva zobrazí i s více podrobnostmi.



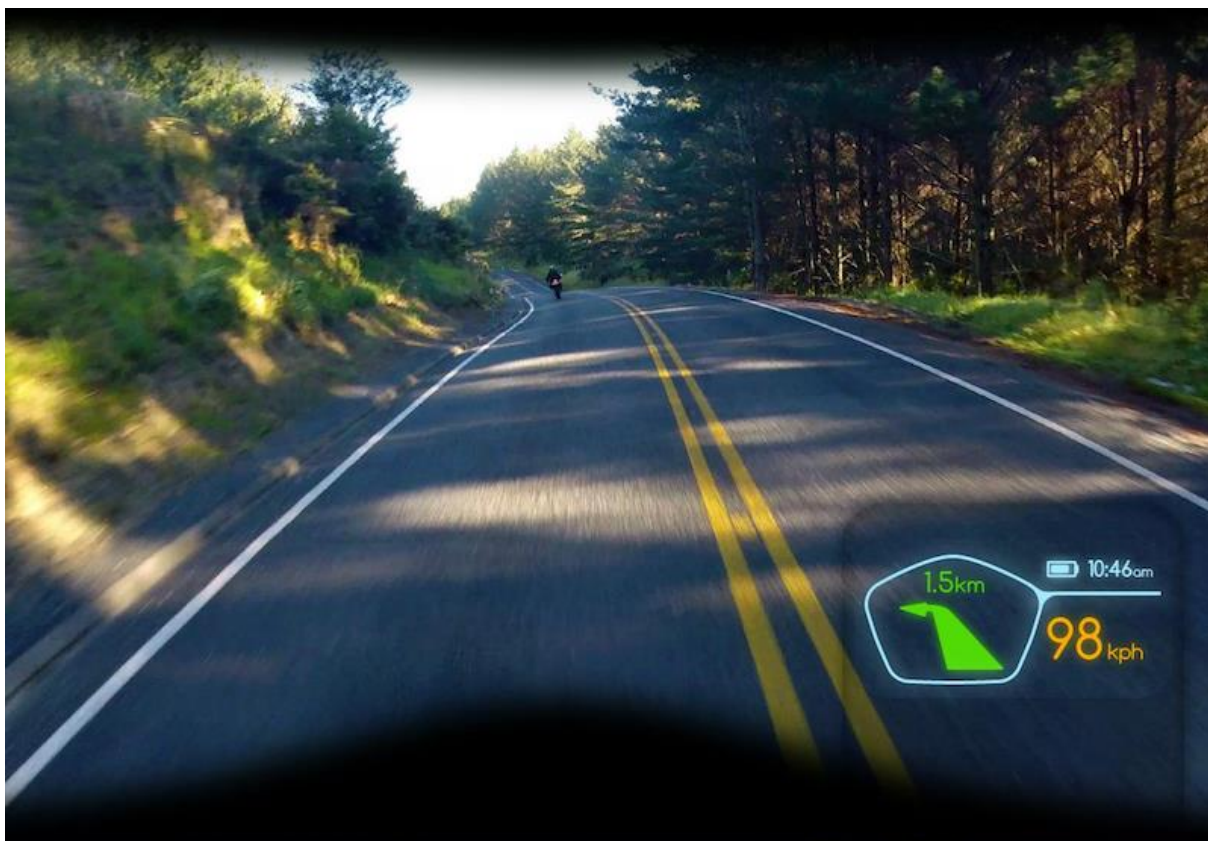
Obrázek 26 - Přístrojová deska moderního elektro-motocyklu Energica Ego (2018) [52]

### 5.5.2 HMI skrze zrak na výstroji jezdce

Stejně jako u sluchu, je možné využít přilbu pro zobrazování informací. Čirá část přilby neboli hledí supluje funkci čelního skla u automobilu. Nabízí se využití HUD nebo mini-displeje, které by měl jezdec před očima, a zobrazovali se mu na nich informace. Obrovskou výhodou

HUD je jeho průhlednost, kdy tak nesníží zorné pole, a fakt, že jezdec bude mít tyto informace neustále v zorném poli i při pohybu hlavou. Ovládání tohoto displeje nebo displejů musí být na řídítkách (doplňkově i na přilbě) tak, aby jej jezdec mohl ovládat za jízdy bez nutnosti pouštění se řídítek.

Přilba má vlastní řídicí jednotku, která může být společná pro audio i video systém, a komunikovat bezdrátově s OBU. Opět se jako nevhodnější komunikace jeví Bluetooth.



Obrázek 27 - Příklad výhledu z přilby při použití HUD [53]

### 5.5.3 Zhodnocení využití HMI skrze zrak

Zrak je nejdůležitější smysl pro řízení jakýchkoliv vozidel, a proto je vhodné jej využít i pro předávání informací v prostředí kooperativních systémů. Přístrojová deska na motocyklu je elementárním prvkem pro zobrazování zpráv kooperativních systémů, ale měla by být doplněna minimálně o zvukovou výstrahu v přilbě, protože jinak může dojít k přehlédnutí zprávy. Přilba nabízí i další možnosti zobrazování zpráv, HUD je momentálně nejlepší volbou, protože je průhledný. Výhoda přilby s HUD oproti jakékoliv jiné zobrazovací technice je v nepřetržitém zobrazování informací i při pohybu hlavou.

## 6 Využitelnost kooperativních systémů pro motocykly

V této kapitole bude nastíněno, jak by mohly fungovat kooperativní systémy na motocyklech. Kooperativní systémy budou nejefektivnější, pokud je bude mít úplně každé vozidlo účastníci se silniční dopravy. Motocykly se těší oblibě mezi mnoha lidmi na celém světě a je nepravděpodobné, že by se tato skutečnost měla měnit v nejbližší době, a proto je potřeba s nimi počítat i v kooperativních systémech. Kooperativní systémy mohou být použity na motocyklech stejně jako na jiných kategoriích vozidel, ale musí být motocyklům uzpůsobeny. Motocykly mají specifické požadavky na implementaci kooperativních systémů a na jejich funkci.

### 6.1 Specifičnost motocyklů v oblasti kooperativních systémů

Jak již bylo zmíněno, motocykly se v oblasti kooperativních systémů liší od jiných vozidel. Srovnání bude hlavně mezi motocykly a automobily. Největší odlišnosti budou podrobně popsány dále. Těchto rozdílů si musíme být vědomi auzpůsobit aplikace kooperativních systémů pro využitelnost na motocyklech. Nelze použít stejné rozhraní pro automobily a pro motocykly.

#### 6.1.1 Uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní neboli způsob předávání informace řidiči je na motocyklech specifický. HMI pro motocykly je podrobně popsáno v předešlé kapitole.

Automobil nabízí mnoho možností předávání informace. Jedná se o uzavřenou kabinu, kde se zvuk relativně izoluje a nezatěžuje tak okolí a zároveň z něj není rušen, proto je zvukové upozornění snadno realizovatelné pomocí reproduktorů. Při jakékoliv výstraze či informaci se ozve tón a na přístrojové desce se poté řidič dozví podrobnosti o dané výstraze či informaci. Zároveň lze nastavit hlasové přečtení zprávy.

Motocykl nemá kabinu a je tak nevhodné umístit reproduktory na motocykl, protože by zvuk byl rušen okolními vlivy a jezdec by často neslyšel upozornění. Přilba nabízí minimálně stejné možnosti jako zvuková upozornění v automobilech. V přilbě jsou reproduktory, které vydají tón nebo přečtou zprávu. Čtení zpráv má na motocyklu větší smysl, kvůli menší schopnosti zobrazení podrobných nebo doplňujících informací.

Automobil má několik možností zobrazování zpráv na několika displejích, které mohou být poměrně rozměrné. Nejdůležitější přístrojová deska může dosahovat velkých rozměrů a nabízí velkou variabilitu a přizpůsobitelnost řidiči. Středové displeje označované jako infotainment mohou doplňovat přístrojovou desku nebo mohou být využity pro jiné účely. Výhoda je i ovládání, protože jsou tyto displeje z pravidla dotykové a lehce dosažitelné. Je

tak možné na nich nastavovat mnoho funkcí i za řízení a nabízí obrovskou variabilitu využití. Velké čelní sklo automobilu lze využít pro předávání informací pomocí HUD a řidič tak nemusí odklánět zrak z okolního dění.

Motocykl disponuje pouze přístrojovou deskou, která je oproti automobilové poměrně malá a nenabízí takové možnosti. Je posazená poměrně nízko a je tak občas špatně čitelná za jízdy. Ovládání za jízdy je možné pomocí tlačítek na řídítkách, dotykový displej není vhodný pro ovládání na motocyklu. Motocykly mají opět možnost využít přilbu jezdce, která pak nabídne možnosti, které automobily nemají. Přilba může být osazena HUD, které budou zobrazovat informace přímo na hledí a jezdec tak uvidí informace stále na stejném místě i při pohybu hlavou.

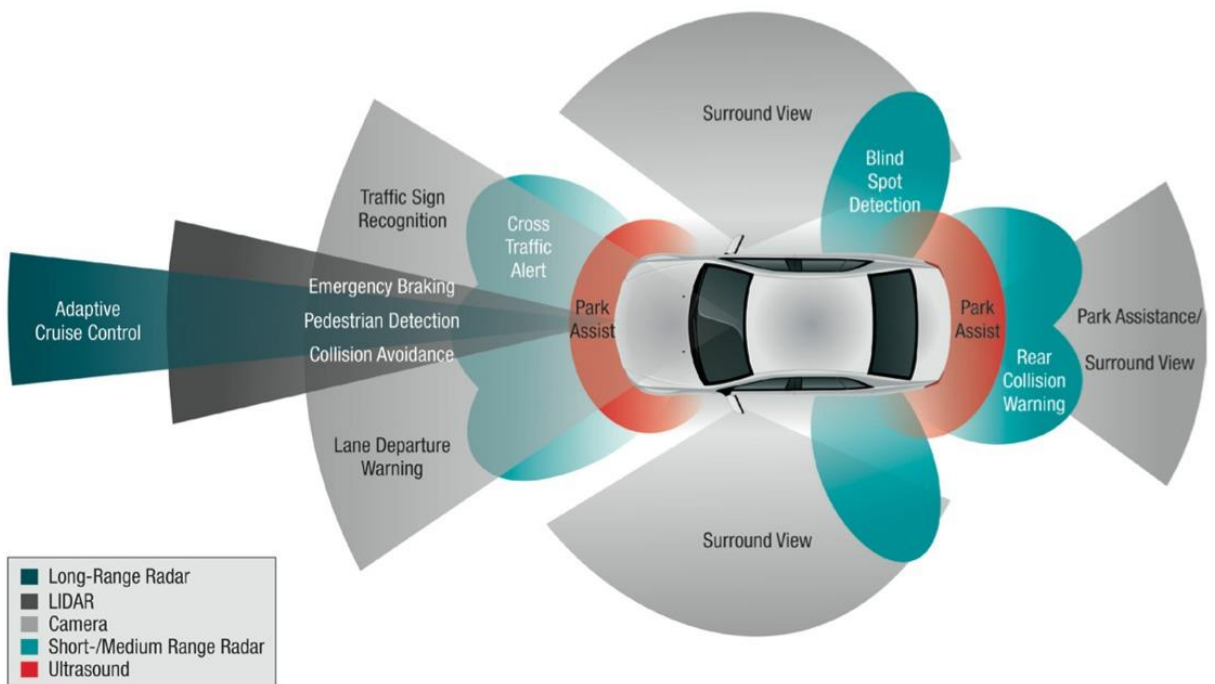
Motocyklová přilba tak hraje ještě větší roli v kooperativních systémech, než tomu bylo doposud. Její základní funkcí je ochránit hlavu jezdce před výrazným poškozením, a proto je to povinný bezpečnostní prvek výstroje motocyklisty. Při používání kooperativního systému na motocyklu bude mít přilba také roli přenášení informací jezdci. Komunikace mezi přilbou a OBU by měla být bezdrátová na bázi Bluetooth. V tomto případě by helma musela mít své vlastní napájení v podobě baterií. Baterie musí mít dostatečnou kapacitu na několika hodinové fungování tak, aby nebylo nutné zastavovat kvůli nabíjení přilby. Baterie zároveň nesmí být těžká, protože s rostoucí hmotností přilby klesá její pohodlnost a jezdci pak namáhá krční obratle.

### ***6.1.2 Konstrukční proporce motocyklu***

Konstrukce motocyklu je několikanásobně menší než konstrukce automobilu. Z toho vyplývá mnoho odlišností a problematik, které je nutné uzpůsobit. Samotná OBU je provázána s dalšími jednotkami zajišťující správnou funkci celého motocyklu a motocykl tak dochází prostor pro přidávání dalších jednotek a senzorů. Nabývání na hmotnosti je dalším negativním dopadem. S tím souvisí i problematika energetické náročnosti. Energetická náročnost celého motocyklu stoupá s každým přidaným prvkem a pro motocykl to znamená zvýšit výkon alternátoru a kapacitu baterie, což opět vede k nabývání na rozměrech a hmotnosti. Vyšší hmotnost a rozměry znamenají ztrátu výkonu a ovladatelnosti motocyklu.

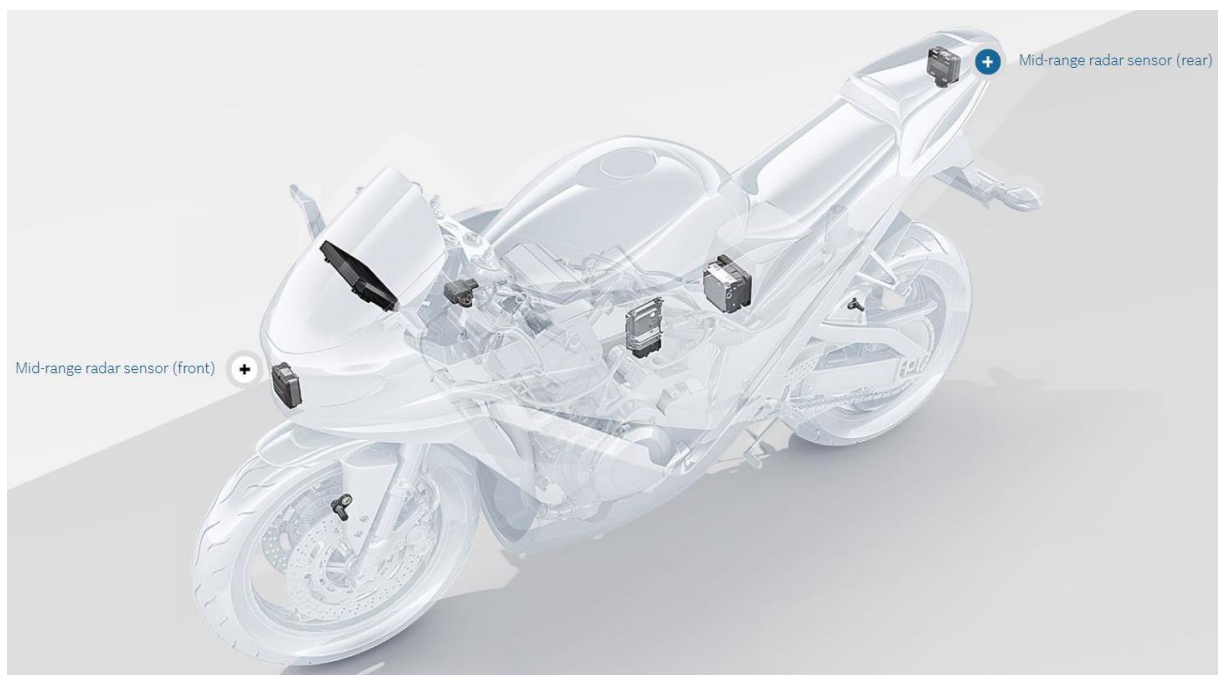
Senzory na vozidle jsou velmi důležité pro získávání informací o dění okolo vozidla. Pro kooperativní systémy jsou data ze senzorů vozidel alfou omegou správné funkce. Automobily využívají velkého počtu senzorů, které detekují okolí vozu. Pracují na různých fyzikálních principech, liší se dosahem a předávanou informací. Na Obrázek 288 je vidět grafické znázornění použitých senzorů na automobilu, včetně příkladů použití.





Obrázek 28 - Rozdělení senzorů v automobilu [54]

Z konstrukce motocyklu vyplývá, že stejné množství senzorů, jako má automobil nepojme. Avšak je otázkou, jestli by všechny tyto senzory byly na motocyklu využity. Motocykl teoreticky využije pro asistenční a detekční systémy radary středního dosahu. Společnost BOSCH vytvořila ilustraci pro využití senzorů na motocyklu. Ilustrace ukazuje přední a zadní radar středního dosahu, čidla ABS, řídicí jednotku motocyklu, GNSS modul, OBU a přístrojovou desku.



Obrázek 29 - Ukázka vnitřního zapojení senzorů a řídicích prvků od společnosti BOSCH na motocyklu [56]

Se skutečností, že má motocykl méně senzorů než automobil, a tudíž sbírá méně dat než automobil, musí být kooperativní systém vyrozuměn a nepožadovat je po motocyklu. Některé asistenční systémy, které jsou běžné pro automobily, nejsou na motocyklu využívány a stejná situace nastane s aplikacemi kooperativních systémů. Některé aplikace nebudou mít velký přínos pro motocykl, a proto nemusí být využity.

## 6.2 Zhodnocení použitelnosti jednotlivých aplikací pro motocykl

Minulé řádky nám nastínily, že některé aplikace nejsou vhodné pro motocykly z důvodu nedostačujících senzorů a nepotřebnosti některých běžných asistenčních systémů. Ovšem použití takové aplikace by mohlo být volitelné z pohledu jezdce motocyklu. Pokud aplikaci nebrání nedostačující senzory nebo jiné hardwarové prvky, může být spuštěna jezdce motocyklu. V následujících odstavcích budou popsány aplikace z kapitoly 1 z hlediska použitelnosti pro motocykly.

### 6.2.1 Bezpečnostní aplikace

Bezpečnostní aplikace jsou stěžejní částí kooperativních systémů a měly by tak být určeny pro každé vozidlo účastnící se dopravy. Motocykl je velmi křehký účastník dopravy a kooperativní systémy by mohly mít velký vliv na snížení nehodovosti, a hlavně nehod s vážnými následky. Pro motocykly budou kooperativní systémy přínosné hlavně po stránce bezpečnosti.

<b>Bezpečnostní aplikace</b>	<b>Využití pro motocykly?</b>
<i>Upozornění na prudce brzdící vozidlo</i>	ANO
<i>Upozornění na blížící se vozidlo IZS</i>	ANO
<i>Upozornění na pomalá nebo stojící vozidla</i>	ANO
<i>Varování před kongescí</i>	ANO
<i>Upozornění na nebezpečná místa</i>	ANO
<i>Upozornění na práce na silnici</i>	ANO
<i>Upozornění na nepříznivé podmínky počasí</i>	ANO
<i>Zvýšení bezpečnosti cyklistů a chodců</i>	ANO
<i>Kooperativní varování před kolizí</i>	ANO
<i>Upozornění na motocykl</i>	ANO
<i>Varování před jízdou v protisměru</i>	ANO
<i>Varování před vozidlem nerespektující signál Stůj</i>	ANO
<i>Upozornění na úroňový železniční přejezd ve výstraze</i>	ANO
<i>Nouzové vysílání - eCall</i>	ANO

Tabulka 9 - Využití bezpečnostních aplikací pro motocykly

Motocykly by měly využít všech bezpečnostních aplikací, a to v plném rozsahu, jako ostatní vozidla. U aplikace Upozornění na motocykl se může zpočátku zdát, že motocykl

nepotřebuje upozorňovat na sebe sama, ale opak je pravdou. Motocykl nemusí být osamocen v dopravním proudu a jiný motocykl může přehlédnout stejně jednoduše jako řidič automobilu. Je proto vhodné, aby informace o jiných motocyklech dostal i motocykl. Motocyklisté často jezdí ve skupinkách, a pokud budou mít mezi sebou přehled, napomůže to předejít srážce dvou motocyklů.

K bezpečnostním aplikacím využitelných motocykly by měla přibýt aplikace varování motocyklu, která je předmětem kapitoly 7.

### 6.2.2 Aplikace řízení dopravy a přepravy

Tyto aplikace slouží primárně ke zvýšení efektivity. Efektivita u motocyklů většinou není důležitá, protože motocykl je často řízen za účelem zábavy a požitku z jízdy. Opak může nastat například při využití motocyklů pro účely přepravy zboží (messenger, rozvoz, ...), kde by efektivita byla přínosem. Z těchto důvodů by některé aplikace měly být volitelné a využitelné po povolení jezdcem.

<b>Aplikace pro řízení dopravy a přepravy</b>	<b>Využití pro motocykly?</b>
<i>Zobrazování informací uvnitř vozu</i>	volitelné
<i>Zobrazování maximálních rychlostí uvnitř vozu</i>	ANO
<i>Data vozidlové sondy</i>	ANO
<i>Zamezení šokových vln (stop and go vln)</i>	volitelné
<i>Optimalizace rychlosti pro zelenou (GLOSA)</i>	volitelné
<i>Bezpečnost křižovatek</i>	volitelné
<i>Informace o provozu a chytré navigování</i>	ANO
<i>Dynamické přidělování jízdních pruhů</i>	ANO

Tabulka 10 - Využití aplikací řízení dopravy a přepravy pro motocykly

Aplikace Zobrazování informací uvnitř vozu je volitelná pro motocykly, z důvodu snížení redundance, protože uživatelské rozhraní na motocyklu nenabízí možnosti zobrazování velkého počtu informací. Je tedy na jezdcích, zda chce tyto informace dostávat nebo nikoliv. Pokud by tato aplikace nahradila stávající fyzické dopravní značení, stala by se povinnou pro všechny vozidla i pro motocykly.

Aplikace pro Bezpečnost křižovatek, jsou obdobou aplikace zobrazování informací uvnitř vozu (zobrazuje signální plán nadcházející křižovatky se SSZ) a platí pro ně stejný závěr. Pro snížení redundance by měla být volitelná až do doby, kdy by aplikace nahradila fyzicky světelná návěstidla. Optimalizace rychlosti pro zelenou (GLOSA) je doplňující službou doporučující rychlost pro plynulé projetí křižovatky. Motocykly většinou netíží spotřeba paliva a vyprodukované emise, proto by služba měla být volitelná.

Šokové vlny se motocyklů týkají okrajově. Tím, že mají menší rozměry, se mohou vejít do mezer a obecně nezabírají tolik místa v jízdním pruhu jako automobily. Aplikace Zamezení

šokových vln (stop and go vln) doporučuje rychlost pro zamezení šokových vln a jezdec může doporučení využít nebo doporučení nedostávat.

### 6.2.3 Aplikace řízení nákladní dopravy a logistiky

Tato skupina aplikací má nejmenší dopad na motocykly. Jedná se o aplikace hlavně pro nákladní dopravu a pro logistiku a plánování všech vozidel.

<b>Aplikace pro řízení nákladní dopravy a logistiku</b>	<b>Využití pro motocykly?</b>
<i>Preference vozidel</i>	ANO
<i>Informace o parkování na parkovištích</i>	volitelné
<i>Informace a management parkování na ulici</i>	volitelné
<i>Park &amp; Ride informace</i>	volitelné
<i>Přístup městských zón</i>	volitelné
<i>Management nakládky a vykládky</i>	volitelné
<i>Informace o možnostech tankování</i>	ANO

Tabulka 11 - Využití aplikací řízení nákladní dopravy a logistiky pro motocykly

Preference vozidel může pomoci například policii na motocyklech. Do budoucna je zcela možné, že motocykly začnou využívat i jiné složky či společnosti zajišťující služby, které mohou vyžadovat preferenci v dopravním proudu.

Všechny tři aplikace pro parkování by měly být volitelné pro motocykly. Mohou je využít v případě potřeby, ale aplikace by neměly aktivně vydávat doporučení například pro využití záchytného parkoviště. Motocykl navíc svými rozměry nezabere celé parkovací stání pro automobil a často se vejde do míst, kde se již automobil nevejde.

Nejsem si vědom a nikdy jsem neslyšel o městských zónách zakazující vjezd motocyklům. Není pro takové zóny důvod a pravděpodobně to tak nadále zůstane. Pokud by se takové zóny zavedly, aplikace by se stala využitelná i pro motocykly. Avšak aplikaci mohou jezdci využít například pro zjištění ceny parkovného v dané zóně.

Management nakládky a vykládky je primárně pro nákladní vozidla. Motocykly mohou tuto aplikaci využít například při rozvážce zboží. Jelikož se jedná o výjimečné případy, služba by měla být pro jezdce volitelná.

Informace o možnostech tankování jsou vhodnou aplikací pro každé vozidlo, motocyklů nevyjímaje. Aplikace bude mít velký dopad na elektromobilitu včetně elektromotocyklů.

## 6.2.4 Servisní aplikace

Servisní aplikace by měly být povinné při využití kooperativních systémů.

<b>Servisní aplikace</b>	<b>Využití pro motocykly?</b>
Vzdálená diagnostika vozidla	ANO
Aktualizace systému	ANO

Tabulka 12 - Využití servisních aplikací pro motocykly

Vzdálená diagnostika vozidla se pravděpodobně stane standardem a bude využívána stále častěji servisy. Svým způsobem může aplikace nabízet podobnou sužbu jako eCall, akorát pro případ poruchy vozidla.

Aktualizace systému musí být aktivní pro každé vozidlo vlastníci OBU.

## 6.2.5 Aplikace pro zábavu a pohodlí

Jedná se o skupinu aplikací, která by měla být volitelná pro každé vozidlo. Je tedy pouze na řidiči (či pasažérech), zda aplikace využijí.

<b>Aplikace pro zábavu a pohodlí</b>	<b>Využití pro motocykly?</b>
Doplňkové informace	volitelné
Funkce vysílačky	volitelné
Zábava	volitelné

Tabulka 13 - Využití aplikací pro zábavu a pohodlí pro motocykly

Aplikaci doplňkových informací může jezdec vyvolat hlasovým příkazem a dostat odpověď pomocí zobrazení v HUD v přilbě nebo na přístrojové desce motocyklu nebo opět pomocí hlasové zprávy.

Funkci vysílačky motocyklisté uvítají, často jezdí ve skupinách a mohou tak spolu hlasově komunikovat i za jízdy.

Zábavní aplikace motocykl nevyužije v plném rozsahu, protože ji často využívají pasažéři vozidla. Motocykl bývá zpravidla pouze pro jezdce nebo maximálně jednoho spolujezdce, který pravděpodobně nebude chtít sledovat videa za jízdy. Avšak služba může být využita například pro poslech hudby.

## 6.3 Prototypy kooperativních systémů pro motocykly

Výrobci motocyklů, kteří jsou členy sdružení ACEM, kam patří i výrobci dovážející motocykly do EU, se zavázali v roce 2014 představit alespoň jeden model motocyklu, který bude nabízet funkcionality kooperativních systémů do roku 2020. V závislosti na tuto skutečnost vzniklo v roce 2016 uskupení CMC (Connected Motorcycle Consortium), kde se mnoho výrobců spojilo s cílem zvýšení bezpečnosti motocyklů pomocí kooperativních systémů.

Zakládajícími členy byly BMW Motorrad, Honda a Yamaha, ale do konsorcia přispívají i další výrobci motocyklů a společnosti/uskupení/univerzity pohybující se svým zaměřením okolo motocyklů. [57]

Motocyklový průmysl se tak již snaží vyvíjet a testovat kooperativní systémy na motocyklech. Zajímavé projekty jsou popsány níže.

### 6.3.1 Honda ASV

Společnost Honda dlouhodobě pracuje na projektu s názvem ASV (Advanced Safety Vehicle), kde se pokouší vyvíjet systémy pro zvýšení bezpečnosti vozidel s využitím mimo jiné i kooperativních systémů. V Japonsku představila již v roce 2008 čtvrtou fázi vývoje této technologie (ASV-4), která se zabývala využitím kooperativních systémů u motocyklů.

Honda tak osadila motocykl OBU a vytvořila své rozhraní mezi jezdcem a motocyklem. OBU pracovala na bázi V2V komunikace a periodicky vysílala do svého okolí informace o poloze, směru jízdy a rychlosti. Honda bohužel nespecifikuje použitou přenosovou technologii. Automobily, před kterými měl motocykl jezdce varovat, měli OBU pracující na stejném principu.

Pro HMI byl využit jak lidský smysl sluchu, tak zraku. Hlavním prvkem byl vizuální indikátor v podobě LED pásku nad přístrojovou deskou tak, aby byl co nejvíce v zorném poli jezdce. Tento indikátor mohl měnit barvy, intenzitu, zapínat či vypínat jednotlivé LED diody a blikat s různou frekvencí. Zobrazení podrobností zprávy bylo zprostředkováno pomocí zabudovaného displeje pod klasickou analogovou přístrojovou deskou, který byl primárně určen pro navigaci. Oba prvky HMI jsou vidět na Obrázek 30. Uživatelské rozhraní motocyklu pak bylo doplněno o přilbu s audio výstupem, která byla spojena s OBU pomocí Bluetooth.



Obrázek 30 - Přístrojová deska s prvky HMI pro kooperativní systémy v projektu Honda ASV-4 [58]

V praxi to poté vypadalo tak, že se zaznamenaným vozidlem, které by mohlo křížit cestu s motocyklem nebo ho potenciálně ohrozit, se rozsvítil indikátor příslušné barvy, v přilbě se zahlásilo upozornění mluveným slovem o typu výstrahy a na displeji se objevili podrobnosti o výstraze, jako vzdálenost vozidla a z kterého směru se blíží. Podrobnosti o HMI, co přesně která barva indikátoru znamenala, jak byla využita frekvence blikání a poloha LED, nejsou k dispozici, ale pravděpodobně si to dokážeme představit.



Obrázek 31 - Motocykl Honda se systémem ASV-4 za jízdy [58]

Tento systém byl představen už v roce 2008 a myslím si, že byl povedený. Honda tvrdí, že indikátor je „logické a intuitivní“ rozhraní, ale dle mého názoru, by trvalo poměrně dlouho, než by si jezdec zvyknul a věděl, co která barva znamená za upozornění. V případě doplnění zvukového upozornění by proces učení mohl být uspišen. Podobnosti a další vývojové fáze systému ASV nejsou dostupné, nicméně Honda je jeden ze zakládajících členů CMC a proto pravděpodobně, že pracují na podobných projektech.

### 6.3.2 *BMW ConnectedRide*

BMW Motorrad jako jeden ze zakládajících členů CMC se zaměřuje na vývoj kooperativních systémů pro motocykly. BMW tak představilo svůj prototyp cestovní motocyklu BMW R 1200 RS ConnectedRide pro konferenci právě zmíněného konsorcia CMC v říjnu roku 2017. Tento prototyp by měl disponovat asistenčními systémy pro předcházení nehod mezi motocykly a automobily. Je vybavený OBU a systém dokáže upozornit na nebezpečí hrozící od okolních

vozidel, které také disponují OBU. HMI je zprostředkované pomocí barevného displeje nad horní hranou přístrojové desky. Tento displej se zdá být využíván pouze pro kooperativní systémy (Obrázek 32). Zda je HMI podporováno skrze přilbu jezdce není známo. Jelikož se jedná o prototyp, není mnoho informací poskytnuto veřejnosti. [59]



Obrázek 32 - Přístrojová deska motocyklu BMW R 1200 RS ConnectedRide [59]

BMW při této příležitosti nepřímo poukazuje na skutečnost, o které pojednává kapitola 6.1.2. Na Obrázek 33 a Obrázek 34 je boční pohled na motocykl a speciálně na jeho cestovní kufry. V nich se nachází OBU a všechna elektronika pro správnou funkci systému. Jak je vidět zabírá mnoho místa a musí být vyvedeno mimo motocykl, protože cestovní kufry jsou přídatné prvky a nejsou vždy součástí motocyklu. Samozřejmě se jedná o prototyp a elektronika není tak kompaktní jako při případné sériové výrobě OBU, ale i tak si lze představit, že OBU a veškerá řídicí elektronika potřebná pro zajištění správné funkce kooperativních systémů zabere na motocyklu poměrně hodně místa a bude nutné s ní počítat již při návrhu konstrukce motocyklu.



Obrázek 33 - Levý cestovní kufr prototypu BMW [59]



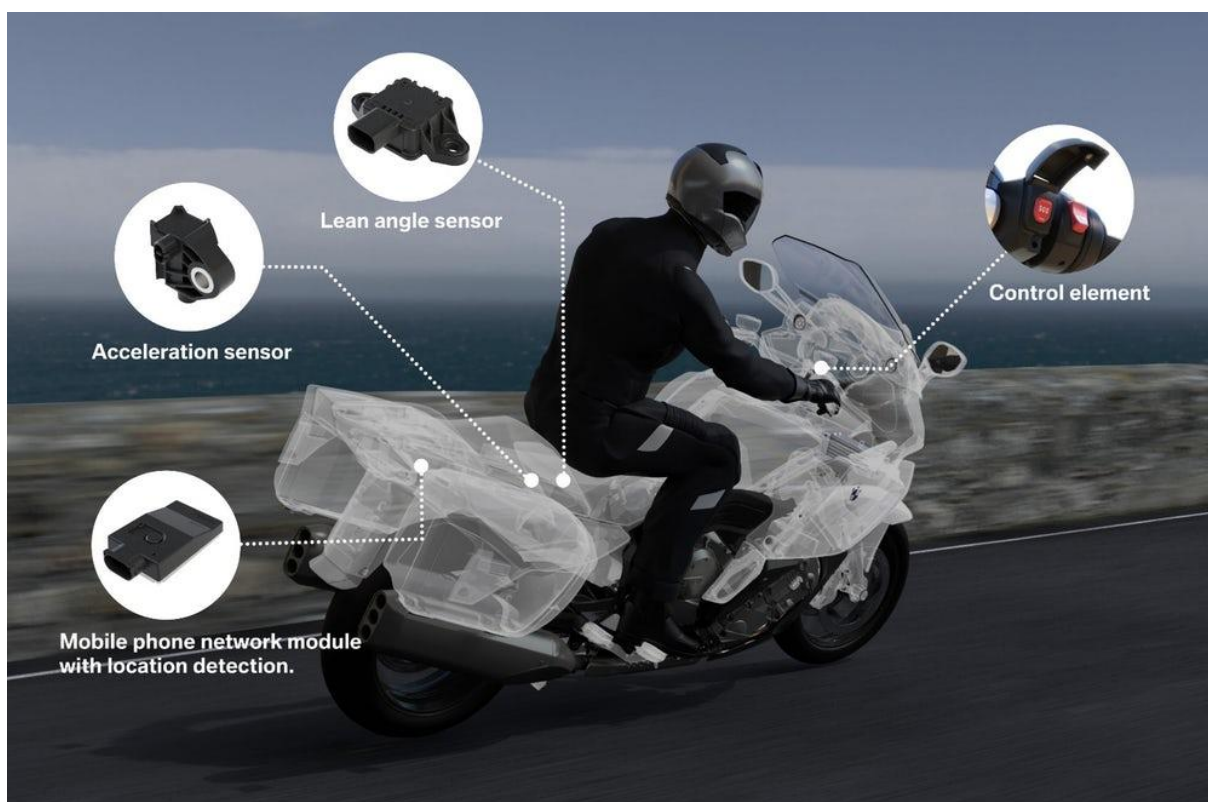
Obrázek 34 - Pravý cestovní kufr prototypu BMW [59]



### 6.3.3 BMW Motorrad eCall

Společnost BMW Motorrad byla mezi prvními výrobci motocyklů, který přišel se systémem eCall pro motocykly. Jeho princip funkce zůstává nezměněn. Systém odesílá stejnou MSD zprávu do centra tísňového volání pouze s tím rozdílem, že se uvádí jako motocykl. Centrum tísňového volání tak má informaci, že se jedná o motocykl a může zvážit jiný postup než v případě automobilu, protože například těžká technika pro stříhání karoserie nebude potřeba. [60]

Systém může být aktivován automaticky nebo manuálně. Tlačítko manuální aktivace je za normálního stavu přikryto krytkou tak, aby nedošlo k nechtěné aktivaci. Automatická aktivace může nastat pouze v případě zapnutého zapalování a v rychlostech vyšších než 10 km/h, čili pády motocyklu ze stojanu nebo při manipulaci nejsou hlášené jako nehody. Pro vyhodnocení nehody jsou využity data hlavně z akcelerometru a gyroskopů (úhel náklonu). Přehled prvků a jejich přibližné umístění na motocyklu BMW je vidět na Obrázek 35 [61]



Obrázek 35 - Prvky systému eCall na motocyklu BMW [60]

Při aktivaci se odešle MSD zpráva a vytvoří se telefonické spojení s centrem. Motocykl má v sobě zabudovaný audio systém (reproduktor a mikrofón), přes který probíhá komunikace s jezdcem (Obrázek 36). Pokud bude audio systém přilby připojen k OBU motocyklu, je možné provést komunikaci pomocí přilby. Zde je na řadě úvaha. Při nehodě motocyklu, jsou od sebe jezdec a motocykl odtrženy a po ustálení jejich pohybu mohou být od sebe vzdáleny

několik jednotek až desítek metrů. V případě telefonického spojení přes audio systém na motocyklu, jezdec nemůže reagovat (pokud je toho po nehodě schopen) vlivem vzdálenosti. Ve stejném případě, ale při zprostředkování hovoru audiosystémem v přilbě, může jezdec reagovat okamžitě (pokud je toho schopen). Avšak může nastat problém připojení. Pro spojení OBU s přilbou je uvažované Bluetooth, které má reálný dosah okolo 10 m a je tak výpadek reálný.



Obrázek 36 - Ovládací prvky eCall systému na motocyklu BMW [60]

## 7 Návrh systému pro varování motocyklu

V této kapitole bude navržen systém včetně uživatelského rozhraní, který bude varovat jezdce o vozidlech v okolí. Jak je pojednáváno v kapitole 2 v rozboru motocyklových nehod, mnoho nehod je zaviněno jezdce motocyklu vlivem špatného vyhodnocení situace, chybou vnímání situace anebo reakční selhání. Pokud by jezdec měl informaci o vozidle, které je zastíněno překážkou a dostal ji včas, mohl by se na danou situaci připravit a snížila by se tak pravděpodobnost dopravního excesu či nehody. Osobní motivací pro návrh tohoto systému vyplývá z nehod, které se staly v mém rodinném kruhu. Otec i bratr z nehody vyvázli bez velké újmy na zdraví, ale jelikož na motocyklu jezdí stále, mohla by se podobná situace opakovat. Systém by tak měl zafungovat v podobných situacích a snížit pravděpodobnost opakování takových nehod.

### 7.1 Popis aplikace

Aplikace pro varování motocyklu je bezpečnostní aplikace, která upozorňuje motocykl na vozidla ve svém okolí. Cílem není upozorňovat na každé vozidlo v okolí, ale pouze na vozidla, která jsou potencionální hrozbou. Služba přijímá zprávy od ostatních účastníků a vyhodnocuje, zda je dané vozidlo pro motocykl hrozbou nebo nikoliv. Pokud ano, upozorní na něj jezdce pomocí HMI. Vozidla, na která je potřeba upozornit jsou:

- a) Blížící se vozidlo zezadu vyšší rychlostí než motocykl (pravděpodobné předjetí)
- b) Vozidlo na křižovatce plánující zkřížit trajektorii motocyklu
  - a. Odbočení z protisměru doleva
  - b. Připojení se z pravého ramene do protisměru
  - c. Připojení se z pravého nebo levého ramene do směru jízdy
  - d. Průjezd křižovatkou
- c) Vozidlo za horizontem jak v protisměru, tak ve směru jízdy
- d) Vozidlo v protisměru na obousměrné komunikaci, pokud je mezi vozidly směrový oblouk s poloměrem menším než stanovená hraniční hodnota (doporučeno 100 metrů v extravilánu a 60 metrů v intravilánu)<sup>1</sup>

Uvedené situace jsou jedny z nejnebezpečnějších a stává se při nich nejvíce nehod motocyklů s jiným vozidlem. Pro snížení pravděpodobnosti kolize je nutné informovat jezdce motocyklu o vozidlech v této situaci vůči motocyklu.

---

<sup>1</sup> Doporučené poloměry směrových oblouků jsem stanovil empiricky. Z vlastních zkušeností jsem si představil několik směrových oblouků jak v intravilánu, tak v extravilánu, kde bych informaci o vozidle v protisměru uvítal. Na portálu mapy.cz jsem změřil přibližné poloměry takových směrových oblouků a stanovil hraniční hodnoty poloměrů tak, aby vyhovovali všem případům.

### 7.1.1 Vyhodnocení nutnosti upozornění

Po přijetí informace od jiného vozidla, OBU motocyklu vyhodnotí, zda je vozidlo pro motocykl hrozbou v podobě některé situace výše. Ke správně evaluaci potřebuje mít geografická data okolí. Níže jsou návrhy na vyhodnocení potenciálně nebezpečného vozidla vůči motocyklu.

- a) Z GNSS dat o své poloze a poloze jiného vozidla je vyhodnocen směr jízdy a jízdní pruh. Pokud se jiné vozidlo blíží k motocyklu zezadu ve stejném směru a jízdním pruhu a jeho rychlost je vyšší než rychlost motocyklu o určitý počet km/h, je jezdec upozorněn na toto vozidlo. Hodnota rozdílové rychlosti musí být stanovena tak, aby jezdec nebyl upozorňován na pomalu se přibližující vozidlo. Doporučená je rozdílová rychlost alespoň 10 km/h.
- b) Z GNSS známe polohu a směr vozidla blížícího se ke křižovatce nebo již čekajícího na stop čáře. Z informace o zapnutých směrovkách vozidla známe jeho úmysly, a zda se budou dráhy vozidla a motocyklu křížit či nikoliv. V případě že ano, systém upozorní jezdce. Upozornění přijde i v případě, že vozidlo již začalo vykonávat úkon s křížící se trajektorií v určité vzdálenosti před motocyklem, která již může motocykl ohrozit. Hranice vzdálenosti pro upozornění je závislá na rychlosti motocyklu, kdy s rychlostí exponenciálně roste (brzdná dráha vozidla roste s druhou mocninou rychlosti + reakční doba + rezerva pro upozornění).
- c) Jsou známi souřadnice X, Y, Z z GNSS systému pro motocykl i jiné vozidlo a je znám terén včetně nadmořské výšky. Výpočtem se proloží přímka mezi body (polohy motocyklu a vozidla) a pokud přímka protne terén, vozidla se nevidí, protože jsou zastíněna terénem a systém upozorní na skryté vozidlo. Upozornění je aktivní pouze pro vozidla před motocyklem, a to jak v protisměru, tak ve stejném jízdním směru.
- d) Systém zná polohy a směr jízdy motocyklu i jiného vozidla a také má k dispozici geografické podklady. Pokud je mezi vozidly směrový oblouk dopravní komunikace o poloměru menším než stanovená hranice pro dané prostředí, systém vyhodnotí situaci jako potenciálně nebezpečnou a upozorní jezdce na toto vozidlo. Upozornění probíhá na vozidla před motocyklem, ale nezáleží, jestli ve stejném směru jízdy nebo v protisměru.

Hraniční hodnoty veličin, které figurují v procesu vyhodnocení, musí být stanoveny přesněji. V diplomové práci jsou pouze doporučeny hodnoty založené na vlastní zkušenosti. Dané hodnoty by měly být simulovány a otestovány v reálném provozu tak, aby byly co možná nevhodnější.

### 7.1.2 Typ komunikace

Služba je nejefektivnější při využití komunikace V2V. OBU motocyklu přímo komunikuje s jinými vozidly ve svém okolí a nezatěžuje RSU. Dosah komunikace V2V závisí na použité přenosové technologii, kde není dosah zatím stanoven, ale předpokládá se okolo několika stovek metrů.

### 7.1.3 Přenášená data

OBU komunikující mezi sebou při použití této aplikace periodicky a vysílají všem vozidlům ve svém okolí informace o svém statusu:

- Poloha
- Směr jízdy
- Využitý jízdní pruh
- Rychlost
- Zapnuté směrovky (úmysl zabočení)

Periodické zprávy mohou být doplněny o několik dalších informací. Zde se jedná pouze o základní data, která jsou potřebná pro správnou funkci aplikace.

## 7.2 Uživatelské rozhraní

Pro předávání informace jezdcí motocyklu jsem vybral prvky uživatelského rozhraní, které jsou popsány níže. Prvky jsem vybral na základě vlastních požadavků, které bych měl na HMI motocyklu při použití takového systému.

- Přilba s audiosystémem (mikrofon a reproduktory) a průhledným HUD na pravé straně hledí s podobným výhledem jako v případě Obrázek 27. Přilba je napřímou spojená s OBU pomocí technologie Bluetooth.
- Velký displej, na obvyklém místě na motocyklu, tedy v ose motocyklu a co nejvíce položený v zorném poli jezdce. Displej zároveň zastává funkci přístrojové desky, je tak na motocyklu osamocen. Ovládací prvky jsou v podobě tlačítek (šipek) na levé straně řídítek. Předloha je v podobě motocyklu KTM 1290 Adventure R r.v. 2018 (Obrázek 37).



Obrázek 37 - Přístrojová deska v podobě velkého displeje u KTM 1290 Adventure R (2018) [62]

## 7.3 Příklady použití

Zde budou ukázány příklady předávání informace jezdcovi pomocí uživatelského rozhraní při konkrétní situaci. Zvukové upozornění do přilby jezdce musí být co nejkratší s jasně pochopitelným obsahem, aby jezdec dostal a zpracoval upozornění v co nejkratší době. U vizuálního zobrazení musí být grafika popisující situaci co nejvíce výstižná a intuitivně pochopitelná ze stejného důvodu.

### 7.3.1 Situace blížícího se rychlejšího vozidla zezadu

Motocykl jede rychlostí 80 km/h po rovném úseku obousměrné dopravní komunikace. Zezadu se k němu blíží automobil jedoucí stejným směrem a ve stejném jízdním pruhu, rychlostí 100 km/h. Vzdálenost mezi nimi je v momentě vyhodnocení dat z OBU automobilu 200 m. OBU motocyklu vyhodnotila situaci korektně jako potenciální nebezpečí a upozorňuje jezdce.

- Hlasovou zprávou do audiosystému v přilbě: „Blížící se rychlejší vozidlo zezadu“
- Upozornění v podobě ikony graficky znázorňující motocykl s vozidlem za zády na HUD přilby
- Upozornění v podobě stejné ikony jako v přilbě na displeji motocyklu s informací o aktuální vzdálenosti vozidla

### ***7.3.2 Situace vozidla na křižovatce***

Motocykl se blíží ke čtyřramenné křižovatce po hlavní silnici a z pohledu motocyklu z pravého ramene (vedlejší silnice) již čeká automobil, který má úmysl zabočit doleva (směrovky má zapnuté doleva) a přiřadit se tak do protisměrného pruhu stejné vozovky, po které jede motocykl. Automobil tak bude křížit trajektorii motocyklu a v případě jeho přehlédnutí a vjetí do křižovatky, by mohl motocykl narazit do levého boku automobilu. Jedná se tak o potenciálně nebezpečnou situaci a OBU varuje jezdce před touto možností.

- a) Hlasovou zprávou do audiosystému v přilbě: „Vozidlo s křížící se trajektorií zprava“
- b) Upozornění v podobě ikony graficky znázorňující vozidlo na pravém rameni křižovatky s úmyslem zabočit doleva a křížící se trajektorie na HUD přilby
- c) Upozornění v podobě stejné ikony jako v přilbě na displeji motocyklu s informací o aktuální vzdálenosti vozidla

### ***7.3.3 Situace vozidla za horizontem***

Motocykl je na vyvýšenině a v protisměru stoupá automobil. Mezi nimi je horizont, který znemožňuje vizuální kontakt mezi vozidly. OBU motocyklu dostává zprávu od OBU automobilu a z výpočtu je vyhodnocen potenciálně nebezpečný stav, který je potřeba prezentovat jezdci motocyklu.

- a) Hlasovou zprávou do audiosystému v přilbě: „Vozidlo v protisměru za horizontem“
- b) Upozornění v podobě ikony graficky znázorňující vozidlo v protisměru za horizontem na HUD přilby
- c) Upozornění v podobě stejné ikony jako v přilbě na displeji motocyklu s informací o aktuální vzdálenosti vozidla

### ***7.3.4 Situace vozidla za směrovým obloukem***

Motocykl se blíží ke směrovému oblouku doprava v intravilánu. Směrový oblouk má poloměr 45 m a na pravé straně vozovky je budova znemožňující výhled. V protisměru před směrovým obloukem jede automobil. OBU si navzájem předávají zprávy. OBU motocyklu vyhodnocuje situaci jako potenciální nebezpečí a upozorňuje na ni jezdce.

- a) Hlasovou zprávou do audiosystému v přilbě: „Vozidlo v protisměru ve směrovém oblouku“
- b) Upozornění v podobě ikony graficky znázorňující vozidlo v protisměru ve směrovém oblouku doprava na HUD přilby
- c) Upozornění v podobě stejné ikony jako v přilbě na displeji motocyklu s informací o aktuální vzdálenosti vozidla

## 8 Závěr

### 8.1 Zhodnocení práce

Na úvod jsem představil hloubkovou studii MAIDS, která pojednává o vyšetřování 921 nehod motocyklů na území EU. Z analýz jsem udělal několik závěrů, které mi napověděly, jakým směrem se vydat pro zvýšení bezpečnosti motocyklů. Mezi nejdůležitější závěry patří ten, že nejvíce nehod se stává na křižovatkách v intravilánu, lidská chyba stojí za většinou nehod, větší podíl na nehodách mají řidiči jiných vozidel a nejčastější lidskou chybou je chyba vnímání, špatného rozhodnutí a u motocyklů i chybou reakce. Dále jsem provedl analýzu dvou nehod, které se staly v mém rodinném kruhu a u kterých jsem byl osobně přítomen. Závěr z analýz těchto nehod je, že kdyby jezdci motocyklů měli informace o vozidlech, které neviděli vlivem překážky, nehody by se pravděpodobně nestaly.

V třetí kapitole jsem představil kooperativní systémy, jaký je jejich účel a jak mohou pomoci zlepšit dopravu. Dále jsem představil typy komunikací a funkční prvky kooperativních systémů. Stěžejní částí této kapitoly je rozsáhlá rešerše přenosových technologií na přístupové síti. Zde jsem nejvíce čerpal z poznatků, zápisků a prezentací získaných na přednáškách pana profesora Zelinky a pana doktora Šrotýře z předmětů zabývajících se telekomunikacemi na ČVUT Fakultě dopravní.

Prezentované technologie jsem vysvětlil od základní principů po možnost reálného využití pro kooperativní systémy. Prostředí ITS má možnost dvou principiálních typů přenosové technologie – technologie krátkého a středního dosahu a mobilní sítě. Jedná se o funkční technologie, ale jejich vývoj stále probíhá. Obě tak mají svá pozitiva i negativa.

V technologiích krátkého a středního dosahu dominuje přenosová technologie DSRC 5.9, potažmo jeho nadstavby WAVE (USA) a ITS-G5 (EU). DSRC 5.9 je poměrně jednoduchou technologií, která má své základy v standardu IEEE 802.11p, což je nosný standard známé Wi-Fi. Navzdory své jednoduchosti nabízí nízkou latenci připojení i při vyšších rychlostech a je tak vhodná pro bezpečnostní aplikace. Nevýhodou je zvýšení latence a chybovosti přenosu paketů při připojení vyššího počtu uživatelů k jedné RSU a při vyšší vzdálenosti od RSU. Nutnost vybudování sítě RSU podél dopravních komunikací je další nevýhodou, avšak až bude vyvinuta komunikace V2V pomocí DSRC 5.9 na dostatečnou úroveň a zvýší se penetrace vozového parku disponující OBU, infrastrukturní síť nebude muset být tak rozsáhlá.

U mobilních sítí je možné využít LTE 3.9G a všechny jeho nástupce. Obecně mobilní síť nabízí lepší parametry připojení než DSRC 5.9, bohužel jejich úskalí je v jejich podstatě.



Mobilní sítě jsou technologií určenou pro masové komerční využití, jsou spravovány mobilními operátory, jejichž motivací je zisk. Kooperativní systémy by měly být službou zdarma a zkvalitnění dopravy je pak motivací státu. Mobilní sítě tak nemají alokované pásmo jenom pro služby ITS a obecně nejsou určeny pro potřeby ITS. Změna může přijít s 5. generací mobilních sítí a speciálně LTE-V, které by mělo být uzpůsobené ITS. Jeho finální podoba by měla být známa v 3GPP Releasu 16, plánovaného na rok 2020.

Vše nasvědčuje tomu, že dojde k fúzi těchto dvou technologií a budou se moci použít obě paralelně. DSRC 5.9 by mohlo nalézt své uplatnění na dálnicích a rychlostních komunikacích, kde by LTE fungovalo jako záložní technologie, a v oblastech s nižším provozem by pracovalo LTE osamoceně.

Dále jsem představil přehled aplikací kooperativních systémů v kapitole 4. Jedná se o výčet aplikací s největším potenciálem pro zkvalitnění dopravy. Aplikace jsou rozděleny do 5 sekcí podle své charakteristiky a přínosu pro dopravu. Každá aplikace má strukturalizovaný obsah, tedy popis aplikace, typ komunikace, nejdůležitější přenášená data a důležitost. Důležitost je mnou vytvořený parametr naznačující přínos aplikace, její náročnost a prioritu při implementaci kooperativních systémů. Nejdůležitější aplikace z pohledu této práce je aplikace Upozornění na motocykl a Návrh systému pro varování motocyklu.

Pátá kapitola je věnována uživatelskému rozhraní (HMI) na motocyklu z pohledu lidských smyslů. Čich a chuť nemají schopnost předávání relevantní informací souvisejících s řízením. Hmat je pro řidiče vozidla důležitý (pro jezdce na motocyklu ještě více), ale využití pro předávání informace nevhodné. Přesto jsem navrhl možné rozhraní, ale jeho použití v realitě je nepravděpodobné. Sluch a zrak nabízí mnoho možností. Obrovský potenciál je v motocyklistické přilbě, která nabídne jak audiosystém, tak vizuální zobrazení informace. Samotný motocykl může mít také zabudovaný audiosystém, který je neefektivní. Vizualizace pomocí displeje na motocyklu je vhodnou formou předávání informace, ale nenabídne takovou variabilitu jako v automobilu.

Kapitola 6 Využitelnost kooperativních systémů pro motocykly nejdříve nastíní specifičnost motocyklů v oblasti kooperativních systémů, která tkví v uživatelském rozhraní a v konstrukčních proporcích motocyklu. Dále jsou aplikace z kapitoly 4 posouzeny pro vhodnost použití na motocyklu. Z posouzení vyplývá, že některé aplikace by měly být pro motocykl pouze volitelné, protože je jezdci prakticky nevyužijí. Následující řádky byly pro představení dvou rozdílných motocyklových prototypů, které využívaly kooperativní systémy. Motocyklový eCall od společnosti BMW byl podrobněji představen, protože se jedná o důležitou službu.

V konečné fázi, kapitole 7, jsem navrhl vlastní systém, tedy aplikaci i s uživatelským rozhraním, pro varování motocyklu. Popsal jsem situace, na které je vhodné jezdce upozornit a doporučil jsem proces vyhodnocení situace, za jakých podmínek by měl být jezdec varován a jak by měl být varován, společně s příklady použití.

## 8.2 Přínos práce

Ze studie MAIDS vyplývá, že větší část nehod motocyklů s jiným vozidlem způsobí řidič jiného vozidla. Přesněji 465 z 809 nehod s motocyklem zapříčinil řidič jiného vozidla (57,5 %) a je patrné, že pro zvýšení bezpečnosti motocyklů je nutné informovat tyto řidiče na přítomnost motocyklu. Z tohoto důvodu mají kooperativní systémy aplikaci Upozornění na motocykl (4.1.10), která varuje řidiče vozidel na přítomnost motocyklu. Jedná se dokonce o službu z návrhu aplikací Evropské komise a tato skutečnost dokazuje, že se jedná o významný problém.

Mnou navržený systém by měl pomoci protipólu, tedy nehodám zaviněnými jezdci motocyklů. Systém by mohl být velice efektivní v upozorňování na nebezpečné situace a tím přispět k snížení nehod zaviněných motocykly. Tento systém byl navržen tak, aby předcházel situacím a nehodám, které figurovali ve studii MAIDS a které zažil můj bratr a otec. Kdyby můj bratr a otec měli tento systém na svém motocyklu v daný moment a dostali informaci o vozidlech v protisměru včas, věřím, že by se zachovali jinak a k nehodě by nedošlo.

V části Vyhodnocení nutnosti upozornění (7.1.1) jsem navrhl popis algoritmu, jak by se mohla vyhodnotit potenciálně nebezpečná situace. Celý návrh je dělán empiricky na základě mých zkušeností. Některé hodnoty a funkce je potřeba blíže specifikovat a poté otestovat jak simulací, tak reálným testem. Nastavení algoritmu bude muset projít několika iteracemi testů a přenastavení, než se získá vyhovující funkčnost.

Uživatelské rozhraní pro předávání informace jezdci motocyklu jsem navrhl dle vlastních požadavků, a jak bych osobně chtěl, abych byl informován o daných situacích. Původním záměrem bylo vytvořit i návrh grafiky ikon zobrazovaných při jednotlivých situacích, ale po prvotních pokusech jsem zjistil, že nejsem tak zručný designér, a raději jsem je podrobně popsal. Tyto grafické ikony musí být velmi kvalitně zpracované, protože je nutné intuitivní a okamžité pochopení. Tvorba takových ikon si bude žádat mnoha návrhů a testování.

Využitelnost již uvažovaných aplikací kooperativních systémů pro motocykl tkví hlavně ve zvýšení bezpečnosti. Dle mého smýšlení motocykl není z hlediska dopravy vozidlem, které je potřeba řídit v dopravním proudu, proto by podobné aplikace měli být volitelné pro motocykl. Největší přínos mají kooperativní systémy u motocyklů ve varování na vozidla ve svém okolí, a naopak ve varování vozidel na přítomnost motocyklu.

Kooperativní systémy jsou silným nástrojem pro zkvalitnění dopravy, avšak jejich vývoj stále probíhá a na implementaci si ještě nějaký čas počkáme. S jistotou lze říci, že si vozidla mezi sebou budou „povídat“, otázkou je pouze, kdy tomu tak nastane. Motocykly by se neměli opomínat při návrhu kooperativních systémů, protože v nejbližší budoucnosti ze skladby dopravních vozidel nezmizí. Kooperativní systémy mohou navíc velmi přispět ke zvýšení bezpečnosti motocyklů a tím i k možnému zlepšení reputace obecného vnímání motocyklů, které často není zcela pozitivní. Ve vzdálenější budoucnosti, kdy se nám představí autonomní vozidla, bude motocykl postupně opadávat. S jistotou mohu říci, že autonomní motocykl nedává smysl a popírá podstatu využití motocyklu, proto se takové vozidlo neujme. Nicméně i v této době, budou existovat nadšenci, kteří budou chtít motocykl využít, ti budou buď odkázáni na závodní okruh anebo jim právě kooperativní systémy zajistí bezpečnost v autonomní dopravě.

## Literatura

- [1] MAIDS: Motorcycle Accidents In Depth Study [online]. Brusel: ACEM, 2009 [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <http://www.maids-study.eu>
- [2] Mapy.cz [online]. Praha: Seznam.cz, 2017 [cit. 2019-02-26]. Dostupné z: <https://mapy.cz>
- [3] Google Street View [online]. Praha: Google, 2011 [cit. 2019-02-27]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps>
- [4] Langr Martin, Hrubeš Pavel: přednášky na FD ČVUT: 20TSJ - Telematické systémy a jejich návrh. 2017
- [5] Jírovský Václav: přednášky na FD ČVUT: 23IV – Inteligentní vozidlo. 2017
- [6] Zelinka Tomáš, Šrotýř Martin: přednášky na FD ČVUT: 14TITS – Telekomunikace pro ITS. 2017
- [7] Růžička Jiří: přednášky na FD ČVUT: 20PTA – Pokročilé telematické aplikace. 2018
- [8] Derbek Přemysl: přednášky na FD ČVUT: 20GIL – Geografické, informační, lokalizační a navigační systémy. 2018
- [9] Mashko Alina: přednášky na FD ČVUT: 16MRJ – Modelování rozhraní člověk-stroj. 2018
- [10] C-Roads Czech Republic Specifikace systému: Obecná architektura. V 1.0. Praha, 2017.
- [11] 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)
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Radio spectrum. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-03-06]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Radio\\_spectrum](https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_spectrum)
- [15] ŠROTÝŘ, M.: Alternativní telekomunikační řešení n bázi IEEE802.11 v ITS aplikacích. ČVUT v Praze, Fakulta dopravní. 2007. Vedoucí bakalářské práce Tomáš Zelinka.
- [16] Mýtná brána. In: Moravské hospodářství [online]. Žlutý kopec: Magnus, 2019 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <http://moravskehospodarstvi.cz/article/nezarazene/douteze-na-mytny-system-po-roce-2019-se-prihlasili-ctyri-uchazeci/attachment/mytna-brana/>

- [17] 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 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)
- [18] Figure 1. In: ResearchGate [online]. 2017 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Combined-V2V-and-vehicle-to-infrastructure-V2I-communication-V2X-based-vehicular\\_fig1\\_287406124](https://www.researchgate.net/figure/Combined-V2V-and-vehicle-to-infrastructure-V2I-communication-V2X-based-vehicular_fig1_287406124)
- [19] DORDAL, Peter. Cellular Telephony [online]. Loyola: Loyola University CS Department [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://pld.cs.luc.edu/courses/346/sum15/mnotes/cellular.html>
- [20] DORDAL, Peter. Frequency reuse pattern. In: Cellular Telephony [online]. Loyola: Loyola University CS Department [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: <https://pld.cs.luc.edu/courses/346/sum15/mnotes/cellular.html>
- [21] List of mobile phone generations. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_mobile\\_phone\\_generations](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_mobile_phone_generations)
- [22] Radio-Electronics: 3G LTE Tutorial – 3GPP Long Term Evolution [online]. 2012 [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <http://www.radio-electronics.com/info/cellular/telecomms/lte-long-term-evolution/3g-lte-basics.php>
- [23] Průběh plnění rozvojových kritérií uložených ve Výběrovém řízení (aukci) 2013. In: Český telekomunikační úřad [online]. Praha: CRC data, 2017 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: <https://digi.ctu.cz/lte-rk/olte>
- [24] Long Term Evolution. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019 [cit. 2019-05-04]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Long\\_Term\\_Evolution](https://cs.wikipedia.org/wiki/Long_Term_Evolution)
- [25] LTE-A. In: 3GPP [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>
- [26] Feasibility study for Further Advancements for E-UTRA (LTE-Advanced). In: 3GPP [online]. 2012 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <http://www.3gpp.org/ftp/Specs/html-info/36912.htm>
- [27] What is 5G?. In: Techradar [online]. New York: Future US, 2019 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.techradar.com/news/what-is-5g-everything-you-need-to-know>
- [28] Experti varovali před ovlivněním dodavatelů techniky 5G. In: Novinky.cz [online]. Praha: Seznam.cz, 2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/internet-a-pc/bezpecnost/504021-experti-varovali-pred-ovlivnenim-dodavatelu-techniky-5g.html>
- [29] Release 14. In: 3GPP [online]. 2017 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.3gpp.org/release-14>
- [30] Release 15. In: 3GPP [online]. 2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.3gpp.org/release-15>

- [31] TS 22.186. In: 3GPP [online]. 2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3180>
- [32] C-ITS Platform: Final report. In: C-ITS [online]. 2016 [cit. 2019-05-02] Dostupné z: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/its/doc/c-its-platform-final-report-january-2016.pdf>
- [33] Datově propojená vozidla (C-ITS). In: Český kosmický portál [online]. NETservice, 2017 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/its---inteligentni-dopravni-systemy/oblasti-rozvoje-its/datove-propojena-vozidla-c-its>
- [34] Jaké služby C-ITS budou implementovány. In: C-ROADS Czech Republic [online]. Praha: Ministerstvo dopravy, 2018 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: [https://c-roads.cz/?page\\_id=1623](https://c-roads.cz/?page_id=1623)
- [35] MICHLOVSKÝ, Jakub. Od 1. dubna povinně pro všechna nová auta. Systém eCall bude zachraňovat životy. In: Mobilmania.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2019, 31. března 2018 [cit. 2019-05-10]. 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>
- [36] Projekt HeERO [online]. [cit. 2018-06-11]. Dostupné z: <http://www.heero-pilot.eu>
- [37] KREETZER, Alex. Audi Launches Industry-First Tech To Help Drivers Avoid Red Lights. In: Auto Futures [online]. 2019, 21.2.2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.autofutures.tv/2019/02/21/audi-launches-industry-first-tech-to-help-drivers-avoid-red-lights/>
- [38] The Importance Of Innovation Within Parking. In: Park-IT [online]. Birmingham: Park-IT Solutions, 2018 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://park-it-solutions.com/11-revolutionary-smart-parking-solutions-and-innovations/>
- [39] LOUGHRAN, Jack. Volvo demonstrates driverless in-car entertainment system. In: E&T [online]. London: The Institution of Engineering and Technology, 2019, 19.11.2015 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://eandt.theiet.org/content/articles/2015/11/volvo-demonstrates-driverless-in-car-entertainment-system/>
- [40] Systém tísňového volání eCall bude povinně instalován ve všech nových typech aut od jara 2018. In: Ministerstvo dopravy ČR [online]. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2019, 28.4.2015 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/Media/Media-atiskove-zpravy/System-tisnoveho-volani-eCall-bude-povinne-instalo>
- [41] SHILPA, Patil. What are the sense organs for human beings?. In: Quora [online]. 29.7.2017 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.quora.com/What-are-the-sense-organs-for-human-beings>
- [42] Čich. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cich>
- [43] Chuť. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Chu%C5%A5>

- [44] Haptika. In: Wikisofia [online]. Creative Commons, 2013 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://wikisofia.cz/wiki/Haptika>
- [45] Black gold: 8 motorcycles made with carbon fibre. In: Bikesales [online]. carsales.com, 2019, 14.11.2016 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.bikesales.com.au/editorial/details/black-gold-8-motorcycles-made-with-carbon-fibre-58210/>
- [46] SALAVEC, Martin a Radoslav HOLAN. Suzuki GSX-S 1000: Závodák do města! Nebo ne?. In: Silniční motorky [online]. silnicnimotorky.cz, 2019, 4.9.2016 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://silnicnimotorky.cz/motorky/testy-motorky/suzuki-gsx-s-1000-zavodak-do-mesta-nebo-ne/>
- [47] Pánská motocyklová kombinéza - jednodílná Held SLADE černá/červená, klokani/hovězí kůže. In: HELD [online]. A Spirit, 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: [http://www.moto-obleceni-held.cz/moto-obleceni-held/kombinezy/jednodiline/slade-\(1dil-\)-jednodiline\\_28174](http://www.moto-obleceni-held.cz/moto-obleceni-held/kombinezy/jednodiline/slade-(1dil-)-jednodiline_28174)
- [48] Sluch. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Sluch>
- [49] Zrak. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zrak>
- [50] 2019 HARLEY-DAVIDSON STREET GLIDE SPECIAL AUDIO SYSTEM AND LIGHTING UPGRADE. In: Audio Garage [online]. 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.theaudiogarage.com/show-gallery/2019-harley-davidson-street-glide-special-audio-system-and-lighting-upgrade/>
- [51] 10R Low Profile Motorcycle Bluetooth Headset and Intercom with Handlebar Remote. In: Prestige Custom Cycles [online]. New York: Prestige Custom Cycles, 2019 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.prestigecustomcycles.com/sena-10r-low-profile-motorcycle-bluetooth-headset-and-intercom-with-handlebar-remote-detail.htm?productId=26741016>
- [52] NEEVES, Michael Neeves. ENERGICA EGO (2016-on) Review. In: Motorcycle News [online]. London: Bauer Media Group, 2019, 4.10.2018 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://www.motorcyclenews.com/bike-reviews/energica/ego/2016/>
- [53] HINCHLIFFE, MARK. Retrofit head-up display for riders. In: Motorbike writer [online]. Brisbane: MOTORBIKE WRITER, 2018, 20.7.017 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <https://motorbikewriter.com/retrofit-head-display-riders/>
- [54] Benchmarking Sensors for Vehicle Computer Vision Systems. In: Michigan Tech Research Institute [online]. Ann Arbor, Michigan: Michigan Technological University, 2019 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://mtri.org/automotivebenchmark.html>
- [55] Self-driving cars: Automotive sensor market set for boom. In: Allianz Partners [online]. Saint Ouen, FR: Allianz Partners, 2019, 4.10.2017 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://allianzpartners-bi.com/news/self-driving-cars-automotive-sensor-market-set-for-boom-ef73-333d4.html>
- [56] Advanced rider assistance systems. In: BOSCH [online]. Gerlingen, DE: Robert Bosch, 2018 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility->

[solutions.com/en/highlights/automated-mobility/rider-assistance-systems-for-two-wheelers/](https://www.solutions.com/en/highlights/automated-mobility/rider-assistance-systems-for-two-wheelers/)

- [57] Together for Rider Safety. In: Connected Motorcycle Consortium [online]. CMC, 2018 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.cmc-info.net/>
- [58] TICHÝ, Filip. Honda - systém komunikace mezi vozidly. In: Motorkáři.cz [online]. Motorkáři.cz, 2019, 28.10.2008 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/clanky/moto-novinky/honda/honda-system-komunikace-mezi-vozidly-13000.html>
- [59] BMW Motorrad odhaluje R 1200 RS ConnectedRide. In: Silniční motorky [online]. Silnicnimotorky.cz, 2019, 13.10.2017 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://silnicnimotorky.cz/motorky/novinky/bmw-motorrad-odhaluje-r-1200-rs-connectedride/>
- [60] TSANTILAS, Spiros. BMW's motorcycle eCall system promises faster emergency response. In: New atlas [online]. GIZMAG, 2019, 7.5.2016 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://newatlas.com/bmw-motorcycle-intelligent-emergency-call/43203/>
- [61] INTELIGENTNÍ TÍŠŇOVÉ VOLÁNÍ (ECALL). In: BMW Motorrad CZ [online]. BMW Czech Republic, 2019 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.bmw-motorrad.cz/cs/experience/engineering/detail/safety/ecall.html>
- [62] FIRST RIDE: KTM 1290 ADVENTURE R. In: Australasian Dirt Bike Magazine [online]. Surry Hills: CITRUS MEDIA, 2019, 6.9.2017 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://adbmag.com.au/editorial/first-ride-ktm-1290-adventure-r/>
- [63] M Bayly, MA Regan, SG Hosking, Intelligent transport systems and motorcycle safety, Monash University Accident Research Centre, 2006



## Seznam zkratek a symbolů

Zkratka	Originální znění	Český překlad
2G	Mobilní síť 2. generace	
3G	Mobilní síť 3. generace	
3GPP	3rd Generation Partnership Project	Partnerský projekt třetí generace
4G	Mobilní síť 4. generace	
5G	Mobilní síť 5. generace	
ACEM	Association des Constructeurs Européens de Motocycles	Sdružení evropských výrobců motocyklů
ASV	Advanced Safety Vehicle	Vozidlo pokročilé bezpečnosti
C2C	Car to Car communication	Automobil - automobil komunikace
C2I	Car to Infrastructure communication	Automobil - infrastruktura komunikace
C2X	Car to Everything communication	Automobil - cokoliv komunikace
CA	Carrier Aggregation	Agregace nosiče
CCTV	Closed-Circuit Television	Kamerový systém
CDMA	Code-Division Multiple Access	Kódový multiplex
CEN	Comité Européen de Normalisation	Evropský výbor pro normalizaci
CMC	Connected Motorcycle Consortium	Konsorcium připojených motocyklů
CSMA/CA	Carrier-Sense Multiple Access / Collision Avoidance	Metoda snižování kolize paketů
CTU	Czech Technical University	České Vysoké Učení Technické
ČR	Česká Republika	
ČTÚ	Český Telekomunikační Úřad	
ČVUT	České Vysoké Učení Technické	
D2D	Device to Device communication	Komunikace zařízení - zařízení
DCC	Decentralized Congestion Control	Decentralizované řízení kongesce
DSRC	Dedicated Short-Range Communication	Dedikovaná komunikace na krátké vzdálenosti
DVB-T	Digital Video Broadcasting – Terrestrial	Pozemní digitální televizní vysílání
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution	
EFC	Electronic Fee Collection	Elektronický výběr poplatků
EHF	Extremely High Frequency	Extrémně vysoká frekvence
ETCS	European Train Control System	Evropský vlakový zabezpečovací systém
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Evropský ústav pro telekomunikační normy
EU	European Union	Evropská unie
FEMA	Federation of European Motorcyclists Associations	Federace evropských motocyklistických asociací
FIM	Fédération Internationale de Motocyclisme	Mezinárodní motocyklová asociace
GLOSA	Green Light Optimised Speed Advisory	Doporučení rychlosti pro dosažení zeleného signálu

<b>Zkratka</b>	<b>Originální znění</b>	<b>Český překlad</b>
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globální družicový polohový systém
GPRS	General Packet Radio Service	
GSM	Global System for Mobile communications	Globální systém mobilní komunikace
HMI	Human-Machine Interface	Rozhraní člověk-stroj
HSPA	High Speed Packet Access	Vysokorychlostní paketový přístup
HSPA+	High Speed Packet Access Plus	Vysokorychlostní paketový přístup plus
HUD	Head Up Display	Head Up displej
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
IoT	Internet of Things	Internet věcí
ITS	Intelligent Transportaion System	Inteligentní dopravní systémy
IZS	Integrovaný záchranný sbor	
LED	Light-Emitting Diode	Světelně emitující dioda
LTE	Long Term Evolution	
LTE-A	Long Term Evolution - Advanced	LTE pokročilé
LTE-V	Long Term Evolution - Vehicles	LTE vozidla
MAIDS	Motorcycle Accident In-Depth Study	Hlubková studie motocyklových nehod
MHD	Městská hromadná doprava	
MIMO	Multiple Input Multiple Output	Více vstupů více výstupů
MSD	Minimum Service Data	Minimální soubor dat
NR	New Radio	Nové rádio
OBU	On-Board Unit	Palubní jednotka
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	Ortogonalní multiplex s frekvenčním dělením
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiplex Access	Ortogonalní multiplexní přístup s frekvenčním dělením
P+R	Park and Ride parking	Zaparkuj a jeď parkoviště
PČR	Policie České Republiky	
PHM	Pohonné hmoty	
PID	Pedestrian Information Devices	Informační přístroje chodců
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Kvadraturní amplitudová modulace
QoS	Quality of Service	Kvalita služeb
RADAR	Radio Detection and Ranging	Rádiové rozpoznávání a zaměřování
RFID	Radio Frequency Identification	Identifikace na rádiové frekvenci
RSE	Road Side Equipment	Infrastrukturní vybavení
RSU	Road Side Unit	Infrastrukturní jednotka
RVU	Road Vehicle Unit	Infrastrukturní vozidlo
SC-OFDMA	Single Carrier - Orthogonal Frequency Division Multiplex Access	Jednosměrný ortogonalní multiplexní přístup s frekvenčním dělením
SHF	Super High Frequency	Super vysoká frekvence
SMS	Short Message Service	Služba krátké zprávy

<b>Zkratka</b>	<b>Originální znění</b>	<b>Český překlad</b>
SSZ	Světelné signalizační zařízení	
TCC	Traffic Control Centre	Dopravní řídicí centrum
TMC	Traffic Management Centre	Dopravní řídicí centrum
UHF	Ultra High Frequency	Ultra vysoká frekvence
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System	Univerzální mobilní telekomunikační systém
V2I	Vehicle to Infrastructure communication	Vozidlo - infrastruktura komunikace
V2V	Vehicle to Vehicle communication	Vozidlo - vozidlo komunikace
V2X	Vehicle to Everything communication	Vozidlo - cokoliv komunikace
V2XLTE	Vehicle to Everything LTE	Vozidlo - cokoliv komunikace pomocí LTE
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environment	Bezdrátový přístup v dopravním prostředí
WBSS	WAVE Basic Service Set	Základní komunikační jednotky WAVE
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access	Světová interoperabilita pro mikrovlnný přístup

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Mapa s nástinem situace nehody "otec" [2] .....	16
Obrázek 2 - Vlastní fotografie z místa nehody "otec" (motocykl již odstraněn z vozovky).....	17
Obrázek 3 - Zobrazení situace nehody "bratr" [2].....	18
Obrázek 4 - Bližší pohled na místo nehody a hranici viditelnosti [3] .....	19
Obrázek 5 - Ukázka prvků kooperativních systémů a jejich vztahů [18] .....	25
Obrázek 6 - Princip funkce aktivního a pasivního režimu DSRC [12] .....	29
Obrázek 7 - Mýtná brána s enforcementem v ČR na bázi DSRC 5,8 od společnosti KAPSCH [16] .....	30
Obrázek 8 - Frekvenční spektrum WAVE používané v Severní Americe [12].....	30
Obrázek 9 - Využití frekvenčního pásma okolo 5,9 GHz technologií ITS-G5 [17].....	31
Obrázek 10 - Reuse pattern pro 4 (vlevo) a pro 7 (vpravo) rozdílných frekvencí [20] .....	32
Obrázek 11 - Příklad upozornění na vozidlo IZS ve vozidle [33] .....	42
Obrázek 12 - Příklad upozornění na práce na silnici ve vozidle [34].....	44
Obrázek 13 - Ilustrace detekce motocyklu od společnosti Volvo [55] .....	45
Obrázek 14 - Princip systému eCall [35] .....	48
Obrázek 15 – Vlastní fotografie ze simulátoru na K616 FD ČVUT při simulaci možnosti zobrazování dopravního značení přímo ve vozidle .....	50
Obrázek 16 - Příklad uživatelského rozhraní GLOSA aplikace ve vozidle Audi [37] .....	52
Obrázek 17 - Ilustrační obrázek pro management parkování na ulici [38] .....	55
Obrázek 18 - Ilustrace budoucího entertainmentu v automobilech Volvo [39] .....	59
Obrázek 19 - Ilustrace základních lidských smyslů, které slouží k přijímání informací do mozku [41].....	60
Obrázek 20 – Vnímání tlaku a vibrací na různých částech těla [9] .....	61
Obrázek 21 - Závodní motocykl Cagiva GP500 C194 (1994) s rámem z kompozitních materiálů [45].....	62
Obrázek 22 - Vibrační plošky na motocyklu; upravený obrázek z [46].....	63
Obrázek 23 - Příklad umístění vibračních plošek na kombinéze jezdce; upravený obrázek z [47] .....	64
Obrázek 24 - Motocykl Harley-Davidson s audio systémem zabodovaným v přístrojové desce [50] .....	66
Obrázek 25 - Příklad audio systému v motocyklové přilbě od výrobce Sena [51] .....	67
Obrázek 26 - Přístrojová deska moderního elektro-motocyklu Energica Ego (2018) [52] .....	69
Obrázek 27 - Příklad výhledu z přilby při použití HUD [53].....	70
Obrázek 28 - Rozdělení senzorů v automobilu [54].....	73

Obrázek 29 - Ukázka vnitřního zapojení senzorů a řídicích prvků od společnosti BOSCH na motocyklu [56].....	73
Obrázek 30 - Přístrojová deska s prvky HMI pro kooperativní systémy v projektu Honda ASV-4 [58] .....	78
Obrázek 31 - Motocykl Honda se systémem ASV-4 za jízdy [58].....	79
Obrázek 32 - Přístrojová deska motocyklu BMW R 1200 RS ConnectedRide [59].....	80
Obrázek 33 - Levý cestovní kufr prototypu BMW [59] .....	80
Obrázek 34 - Pravý cestovní kufr prototypu BMW [59].....	80
Obrázek 35 - Prvky systému eCall na motocyklu BMW [60].....	81
Obrázek 36 - Ovládací prvky eCall systému na motocyklu BMW [60] .....	82
Obrázek 37 - Přístrojová deska v podobě velkého displeje u KTM 1290 Adventure R (2018) [62] .....	86

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Počet vozidel zapojených do nehody [1].....	10
Tabulka 2 - Rozdělení oblastí nehody [1].....	11
Tabulka 3 - Statistika prostředí nehody křižovatka – mezi úsek [1] .....	11
Tabulka 4 - Tabulka primárních příčin vzniku nehody [1] .....	12
Tabulka 5 - Původce lidské chyby [1].....	12
Tabulka 6 - Soubor aplikací návrhu Evropské komise - Day 1 [32].....	40
Tabulka 7 - Soubor aplikací návrhu Evropské komise - Day 1,5 [32].....	40
Tabulka 8 - Minimální soubor dat MSD pro zprávu systému eCall [36] .....	48
Tabulka 9 - Využití bezpečnostních aplikací pro motocykly .....	74
Tabulka 10 - Využití aplikací řízení dopravy a přepravy pro motocykly .....	75
Tabulka 11 - Využití aplikací řízení nákladní dopravy a logistiky pro motocykly .....	76
Tabulka 12 - Využití servisních aplikací pro motocykly.....	77
Tabulka 13 - Využití aplikací pro zábavu a pohodlí pro motocykly.....	77

## Seznam grafů

Graf 1 - Statistika nehod zaviněných lidskou chybou [1] .....	13
---	----