



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Nikola Strnadová

Návrh metod pro testování AD vozidel od úrovně
automatizace 3

Bakalářská práce

2020



K616.....Ústav dopravních prostředků

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Nikola Strnadová

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – ITS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Návrh metod pro testování AD vozidel od úrovně automatizace 3**

Název tématu (anglicky): Design of methods for testing AD vehicles from automation level 3

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Navažte na předchozí studentské práce s tématem legislativních a spotřebitelských testů C2C a C2X (vč. vzájemné komunikace) a tyto aktualizujte nejnovějšími trendy
- Vypracujte souhrn konfigurací testů z evropských (mimoevropských - např. USA, Japonsko, Singapur) výzkumných projektů v letech 2018 a 2019
- Na základě bezp. analýzy, statistik nehod a specifčnosti CZ prostředí navrhnete nové testy.
- Proved'te a vyhodnot'te některý z testů (vč. vyhodnocení vhodnosti, přesnosti a opakovatelnosti)

Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce

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

Seznam odborné literatury: Publikace firem Bosch, Continental
Publikace Euro NCAP
Výzkumné projekty Pegasus, C-Roads

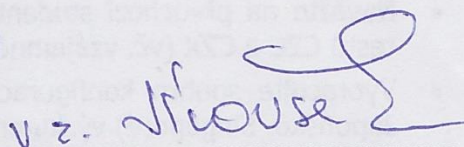
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Šotola, Ph.D.**
Ing. Josef Mík, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: **10. června 2019**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **10. srpna 2020**
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

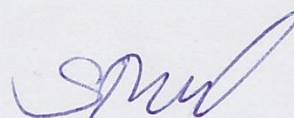


doc. Ing. Petr Bouchner, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních prostředků



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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.



Nikola Strnadová
jméno a podpis studenta

V Praze dne 10. června 2019

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala oběma vedoucím mé bakalářské práce, a to Ing. Martinu Šotolovi, Ph.D. a Ing. Josefu Míkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a konzultování této práce. Dále bych ráda poděkovala všem zúčastněným při měření za jejich čas, ochotu a spousty cenných informací. A v neposlední řadě chci poděkovat své rodině a přáteli, kteří mě během celého studia podporovali.

Prohlášení

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

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

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

V Praze dne 20. července 2020

.....

podpis

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je shrnout principy testování AD vozidel v zahraničí a v České republice a navrhnout metody pro testování AD vozidel vzhledem ke specifitě českého prostředí.

První část této práce, tedy teoretická část, je zaměřena na shrnutí některých technologií, které používají autonomní vozidla pro orientaci v prostoru a pro předcházení nehodovým situacím. Ve druhé části, tedy praktické, byly navrženy metody testování AD vozidel a jedna z metod byla reálně testována. Testování bylo následně vyhodnoceno.

Klíčová slova: autonomní vozidlo, senzory, pre-crash, metody testování autonomních vozidel

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to summarize the principles of testing AD vehicles abroad and in the Czech Republic and design methods for testing AD vehicles due to the specificity of the Czech environment.

The first part of this work, the theoretical part, is focused on summarizing some technologies of autonomous vehicles for orientation in space and for the prevention of accident situations. In the second part, the practical part, are designed methods of testing AD vehicles and one of the methods was practically tested. The testing was subsequently/then evaluated.

Key words: autonomous vehicle, sensors, pre-crash, methods of testing autonomous vehicles

Obsah

| | |
|--|----|
| Seznam použitých zkratk | 9 |
| 1 Úvod | 1 |
| 2 Autonomní řízení | 2 |
| 2.1 Přehled základních senzorů autonomních vozidel | 2 |
| 2.2 Pre-crash systémy | 4 |
| 3 Souhrn konfigurací testů výzkumných projektů let 2018 – 2019 | 6 |
| 3.1 Výzkumné projekty | 6 |
| 3.1.1 Pegasus | 6 |
| 3.1.2 CETRAN | 8 |
| 3.2 Testování | 8 |
| 3.3 Testování ve virtuálním světě | 8 |
| 3.4 Zkoušky na testovacích okruzích | 9 |
| 3.4.1 V České republice | 9 |
| 3.4.2 Ve světě | 10 |
| 3.5 Testování v silničním provozu | 12 |
| Praktická část | 14 |
| 4 Navržení metod testování na základě bezpečnostní analýzy, statistik nehod a specifčnosti českého prostředí | 14 |
| 4.1 Scénář č. 1 | 14 |
| 4.1.1 Návrh testu | 15 |
| 4.1.2 Předpis EHK s podobným testovacím scénářem scénáři č. 1 | 15 |
| 4.2 Scénář č. 2 | 16 |
| 4.3 Scénář č. 3 | 18 |
| 4.3.1 Příklady asistenčních systémů, řešících podobné situace | 18 |
| 4.4 Další potenciálně rizikové situace | 19 |
| 4.4.1 Přejíždění přes nezabezpečený železniční přejezd | 19 |
| 4.4.2 Objíždění cyklisty přes odbočovací pruh | 19 |
| 4.4.3 Přehlédnutí cyklisty nebo motocyklisty přes vyvýšený kruhový objezd | 20 |
| 5 Testování a vyhodnocení systémů ACC a AEB na reakci na statickou překážku | 21 |
| 5.1 Specifikace testovaných systémů | 22 |
| 5.1.1 ACC | 22 |
| 5.1.2 Front Assist vozidla A | 22 |
| 5.1.3 AEB vozidla B | 22 |
| 5.2 Specifikace objektů ze scénáře | 23 |
| 5.2.1 Měkký cíl | 23 |
| 5.2.2 Vozidlo A | 24 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.2.3 | Vozidlo B | 25 |
| 5.3 | Testovací vozidlo A..... | 26 |
| | Výsledky testování systémů vozidla A | 27 |
| 5.3.1 | Grafické zpracování výsledků | 28 |
| 5.4 | Testovací vozidlo B..... | 29 |
| 5.4.1 | Výsledky měření vozidla B..... | 30 |
| 5.4.2 | Grafické zpracování výsledků | 31 |
| 5.5 | Vyhodnocení části testování | 33 |
| 6 | Závěr | 34 |
| 7 | Použité zdroje | 35 |
| 8 | Seznam obrázků..... | 39 |
| 9 | Seznam tabulek | 39 |

Seznam použitých zkratek

ACC – Adaptive Cruise Control, adaptivní tempomat

ACR - Active Control Retractor, aktivní navíječ bezpečnostních pásů

AD – Autonomous Driving, autonomně řízený

AEB – Autonomous Emergency Braking, samočinné nouzové brzdění

ALKS – Automated Lane Keeping System, automatizovaný systém pro udržení v jízdním pruhu

ASR – Anti Slip Regulation, systém regulace prokluzu kol

CETRAN - Centre of Excellence for Testing & Research of AVs – NTU

EHK – Evropská hospodářská komise

ESC – Electronic Stability Control, elektronický stabilizační systém

GVT – Global vehicle target, měkký cíl

IZS – Integrovaný záchranný systém

Lidar – Light Detection And Ranging, světelná detekce a zaměřování

MMW – Millimeter Wave Radar, milimetrový radar

NTU – Nanyang Technological University, technologická univerzita v Nanyangu

Radar – Radio Detection and Ranging, rádiová detekce a zaměřování

SAE – Society of Automotive Engineers, společnost automobilových inženýrů

Sonar – Sound Navigation And Ranging, zvuková navigace a zaměřování

SRR - Short Range Radar, automobilový radiolokátor s krátkým dosahem

TTC – Time to Collision, čas do srážky

V2V – Vehicle to vehicle, komunikace mezi vozidly

V2I – Vehicle to infrastructure, komunikace mezi vozidly a infrastrukturou

V2X – Vehicle to everything, komunikace vozidel se vším

VUT - Vehicle under test, testované vozidlo

ZF – Zeppelin Foundation

1 Úvod

V dnešní době doprava ovlivňuje náš každodenní život. Všechna odvětví, včetně silniční dopravy, se neustále vyvíjí a zdá se, že další úrovní vývoje bude vozidlo bez řidiče. Nasazení plně autonomních vozidel, tedy vozidel stupně automatizace 5 podle stupnice vytvořené sdružením SAE, předchází ještě spousta práce ohledně vývoje, testování i úprav legislativy. [1]

Autonomní vozidla jsou v dnešní době hojně diskutované téma, a to oprávněně. Bezesporu jsou budoucností a jakousi revolucí silniční dopravy. Lidé by se během jízdy automobilem mohli na místo řízení věnovat spoustě jiných věcí, čímž by ušetřili čas a cestu si zpříjemnili. AD vozidla udělají mobilnějšími mladistvé, seniory a handicapované. Mohla by ulevit centrům měst od vozidel tím, že posádku vysadí u požadovaného cíle, ale pro odstavení využijí parkovací místa i ve větší vzdálenosti, než by se tak stalo v případě, kdy řídí řidič. Předpokladem fungování těchto vozidel je jejich vzájemná komunikace (V2V), komunikace s infrastrukturou (V2I), nebo zjednodušeně komunikace se vším (V2X). Vozidla by tedy v každé situaci byla schopna sestavit optimální cestu ke svému cíli, věděla by o pohybu vozidel integrovaných záchranných složek, o nehodách na silnici, o úsecích s vyšším stupněm dopravy, o stavu komunikace nebo o obsazenosti parkovacích míst v okolí.

Výhody jsou zřejmé. S vyhlídkou vyššího komfortu, efektivity, praktičnosti a bezpečnosti je plně autonomní řízení v silničních vozidlech již po nějakou dobu očekáváno.

Tato bakalářská práce je zaměřena na návrhy metod testování AD vozidel od úrovně automatizace 3 výše (dle stupnice SAE). Metody testování jsou v této práci nastíněné pomocí několika scénářů. Jeden z testovacích scénářů pak byl reálně zkoušen a výsledky jsou v rámci této bakalářské práce vyhodnoceny. [1]

Teoretická část

2 Autonomní řízení

Aby bylo možné uvažovat, že řidiče plně nahradí stroj, je potřeba mít vhodně nastavené legislativní prostředí a k dispozici dostatečnou úroveň technologií. Mezi takové technologie, které jsou u AD vozidel potřebné, a u vozidel nižších úrovní automatizace nebyly, jsou bezesporu senzory pro vnímání okolí. Pracují na různých principech a jednotlivé druhy senzorů jsou specializované pro různá využití.

2.1 Přehled základních senzorů autonomních vozidel

Tabulka 1 - Senzory na autonomních vozidlech

| Senzor | Funkce | Přibližný rozsah | Enviromentální omezení | Využití |
|-----------|---|--------------------|---|--|
| Sonar | Měří vzdálenost objektů v úzkém okolí vozidla | 0,2 – 3 m ± 70° | Bez výrazného omezení | Parkovací asistent, pojistný senzor pro řízení, sledování slepých úhlů |
| Radar | Měří rychlost a vzdálenost okolních objektů | Do 200 m ± 45° | Ve větrném či prašném prostředí mohou být hodnoty zkreslené | ACC |
| MMW radar | Měří vzdálenost okolních objektů | Do 150 m ± 4° | Bez výrazného omezení | ACC |
| SRR | Mapuje blízké okolí vozidla, vytváří zjednodušený model okolí | Do 95 m ± 75° | Bez výrazného omezení | Asistenční systémy pro malé rychlosti, sledování slepých úhlů, pre-crash systémy |

| | | | | |
|---------------------|---|------------------|--|---|
| Lidar | Měří vzdálenost objektů v okolí vozidla s vyšší přesností | Do 250 m 360° | Nižší přesnost za deště, sněžení, mlhy, v prašném prostředí, při dopadání slunečních paprsků na detektor | Pro detekování statických překážek, chodců, motocyklů, vozidel, pro samočinné parkování, pro jiné asistenční systémy |
| Kamera | Zaznamenává překážky, dopravní značky, jízdní pruhy | Do 250 m 360° | Negativní ovlivnění při zhoršených světelných podmínkách, za mlhy, deště, sněžení | Pro systém udržující vozidla v jízdním pruhu, rozlišení dopravních značek |
| Infračervená kamera | Snímání záření z objektů v okolí vozidla | Do 300 m | Bez omezení | Pro přesnější a rychlejší mapování okolí na delší vzdálenosti za horších světelných podmínek, a především pohyblivých objektů |

[2] [3] [4] [6]

V tabulce jsou mimo jiné uvedena i environmentální omezení senzorů. V rámci jednotlivých systémů, se při použití senzorů, uvádí mnohem více omezení. Například v případě ACC vozidel Ford, jež nezajišťuje správnou funkci detekování objektů, které nejedou vprostřed jízdního pruhu, pokud je jízdní pruh příliš úzký nebo široký, na nové vozovce, nebo v oblasti stavebních prací. U vozidel Volvo ACC nezaručuje detekci nízkých přívěsů, malých vozidel, nebo motocyklů, které nejedou ve středu jízdního pruhu. [4] [5]

Lidary a kamery, které jsou součástí systémů pro rozpoznávání cyklistů, chodců, či zvířat mají ve vozidlech povolených českou legislativou pouze podpůrnou funkci. Dle manuálů k vozidlům, se na tyto systémy nelze spolehnout ve spoustě případů. Příkladem je detekce velkého zvířete, které je vzhledem k systémům vidět jen zepředu nebo zezadu, cyklista, člověk či zvíře, kteří jsou částečně zakrytí, anebo příliš rychle se pohybující zvíře. [4] [5]

2.2 Pre-crash systémy

Nepostradatelnou součástí řízení autonomních vozidel jsou pre-crash systémy. Pre-crash systém je systém, který vyhodnocuje kritické jízdní situace a vozidlo připraví do optimálního nastavení, pro zajištění maximální ochrany cestujících v případě kolize. Systém může zahrnovat například zavření oken pro optimální funkci hlavových a bočních airbagů nebo napnutí bezpečnostních pásů, a tím pevné ukotvení cestujícího do sedačky. Někdy bývá mezi tyto systémy řazené i autonomní brzdění. Pre-crash systémy vyhodnocují rizikovou situaci na základě informací z dostupných systémů a senzorů vozidla. K vyhodnocení dochází na základě monitorování dynamiky vozidla či akcí řidiče, které mohou být v nastalých situacích panické nebo při detekci překážek před i za vozidlem, kterým se není možné vyhnout, ani k nim bezpečně dobrzdit.

Pre-crash systémy vybraných společností:

Volkswagen

Vozy Volkswagen jsou na předních sedadlech vybavené předpínači bezpečnostních pásů. Dále obsahují systémy na zavření dveřních i střešních oken, uzamčení dveří či systém pro aktivaci varovných světel při hrozícím zadním nárazu jiného vozidla. [7]

Seat

Automobilka Seat nabízí systémy napnutí bezpečnostních pásů, uzavření všech oken a aktivace výstražných světel. Tato příprava vozidla na kritickou situaci probíhá v čase 0,2 s. Pro případ převrácení je navržen a zařazen systém Rollover Assist, který aktivuje e-Call, odemkne dveře a vypne motor. [8]

Volvo

Pre-crash systémy Volva zahrnují především funkce zabezpečující polohu cestujícího, jako napnutí bezpečnostních pásů nebo systém ochrany proti hyperflexi páteře druhé generace (WHIPS). [9]

Mazda

Vozy Mazda disponují pre-crash systémy, jako jsou předpínač bezpečnostních pásů, či zasunutí sloupku řízení pro eliminaci zranění hrudníku řidiče. [10]

Mercedes

Mercedes-Benz nazývá své pre-crash systémy jako PRE-SAFE. Systém PRE-SAFE při hrozícím nárazu nastaví přední sedadla do vzpřímené polohy a předepne bezpečnostní pásy. Při hrozícím bočním nárazu systém PRE-SAFE Impuls side posune přední sedadla blíže ke středu vozidla, aby co nejvíce eliminoval zranění posádky. Součástí systému PRE-SAFE je také zvuk, tzv. růžový šum, který je spuštěn při nevyhnutelnosti kolize. Růžový šum připraví

sluchové ústrojí posádky na hluk během nehody, a snižuje tím pravděpodobnost trvalého poškození sluchu. PRE-SAFE PLUS je nadstavbou PRE-SAFE. Při hrozícím zadním nárazu vizuálně upozorní řidiče blížícího se vozidla pomocí výstražných světel, a následně plně zabrzdí vozidlo, aby bylo po kolizi zabráněno nárazu do dalšího vozidla vpředu. [11] [12]

Bosch

Společnost Bosch vyrábí pre-crash systémy, které na základě dat ze senzorů vyhodnotí, jaký typ srážky nejspíše nastane a adekvátně k dané hrozící kolizi přizpůsobí vozidlo. Systém uvede sedadla do ideální pozice pro danou kolizi a zároveň nastaví bezpečnostní pásy, které se dle potřeb povolují či napínají. [13]

ZF Friedrichshafen

Společnost ZF představila jako první na světě bezpečnostní systém obsahující vnější airbag, který se aktivuje několik milisekund před očekávaným bočním nárazem do vozidla. Tento bezpečnostní prvek by mohl snížit závažnost zranění posádky při kolizích tohoto typu až o 40 procent. [14]

Dále společnost ZF nabízí aktivně řízený naviják bezpečnostního pásu, který funguje na základě dat ze senzorů ACC. Tento naviják bezpečnostních pásů je použit i ve vozech Mercedes-Benz. [15]

3 Souhrn konfigurací testů výzkumných projektů let 2018 – 2019

3.1 Výzkumné projekty

Jak má vypadat vozidlo bez autonomních prvků, nebo jen s autonomními prvky na úrovni asistenčních systémů řidiče má poměrně jasná pravidla. V případě plně autonomních vozidel se nabízí nové možnosti v mnoha ohledech. Přes možnou krásu této variability je prioritou nastavení mezí, abychom i nadále udrželi kontrolu nad stroji, jež se budou pohybovat v reálném provozu a tím byla zajištěna bezpečnost všech účastníků silničního provozu. Z tohoto důvodu vzniklo několik projektů, které se zaměřily právě na vytváření norem a standardů pro nově vznikající autonomní systémy.

3.1.1 Pegasus

Pegasus je výzkumný projekt, který stojí na myšlence, že pro schvalování vozidel s vyšší úrovní automatizace, dle SAE od stupně 3 výše, je nezbytné vytvořit standardy pro testování. Je sponzorován německým ministerstvem hospodářství a ekonomiky. V rámci projektu se řeší odpovědi na otázku, jaké vůbec jsou požadavky na autonomní vozidla a jak lze ověřit jejich spolehlivost a bezpečnost. Aby byly postupy testování co nejlepší, spojil Pegasus automobilové společnosti, technologické firmy a výzkumná zařízení. Mezi partnery z řad automobilek patří na příklad Audi, BMW, Opel či Volkswagen AG, z řad technologických firem pak Bosch, Continental, Daimler AG nebo TÜV SÜD. [16]

Obecně přijímané standardy se týkají testování v simulacích, na testovacích okruzích i ve skutečném silničním provozu. Měly by být respektovány napříč všemi automobilovými i jinými technologickými společnostmi, aby byla zaručena funkčnost postupů a tím i jednotnost v hodnocení. Pegasus si vzal za své integrovat testy už do raných fází procesů výroby, čím se předejde pozdějším komplikacím. [16]

Projekt Pegasus se dělí na 4 subprojekty:

1. Analýza scénářů a měření kvality

Tento subprojekt definuje metody vytváření scénářů. Inspirací mu je systém dálničního pilota, kde jsou autonomní systémy porovnávány s člověkem. Na základě toho pak lze systém hodnotit. Aby společnost vozidla s autonomním řízením přijala, je nutné, aby byly alespoň tak spolehlivé, jako člověk. Konkrétně dálniční pilot je zde velmi podrobně zkoumán a popsán. Pro určování kritické dopravní situace se využívají základní údaje o nehodách

získané ze skutečných jízd i jízd na simulátorech. Získané informace jsou podkladem testů, využívané opět pro reálné i simulační jízdy. [16]

2. Proces implementace

V procesu implementace se analyzují testovací metody, které se již používají a upravují pro aktuální potřebu. Projekt se tedy zaměřuje na vývoj způsobu testování. Metody se definují poměrně obecně, aby bylo možné implementovat je i na již existující procesy. Bonusem je možnost implementace na systémy o vyšším stupni automatizace. [16]

3. Testování

V rámci testování jsou připravovány metody pro testování AD vozidel v simulacích, na testovacích okruzích i ve skutečném silničním provozu. Množství jízdních situací, které musí systém obsáhnout je dán stupněm automatizace. V rámci tohoto subprojektu je třeba vytyčit pro každý scénář přesné oblasti zkoumání a komplexně jednotlivé testy popsat. Nejdříve se scénář testuje v simulaci, poté se implementuje na testovací okruh. Scénáře jsou často složité a obsahují několik vozidel. [16]

4. Výsledky projektu a možnosti další aplikace

Jednou z posledních fází je ověřování kvality scénářů pro otestování systémů. Kromě kvality se v této fázi posuzuje i význam testu. Pokud test není dostatečně významný, upouští se od něj. Kontroluje se i univerzálnost postupů, aby bylo možné přenést scénáře do jiných aplikací např. takových, které mají vyšší stupeň automatizace. Výstupy projektu Pegasus jsou významné pro řešení budoucí autonomní mobility. [16]

Na symposiu v roce 2019 došlo k usnesení na 5 základních částech ověřování a kontroly systémů s vyšší automatizací. Jedná se o:

- a. definici požadavků,
- b. zpracování dat,
- c. uložení informací,
- d. zpracování informací v databázi,
- e. posouzení systémů s vyšší automatizací,
- f. odůvodnění výsledků.

V každém využití metodiky pro testování autonomních systémů navržené projektem Pegasus je důležité dodržet v dané posloupnosti těchto 5 bodů. Při tvorbě testovacích scénářů se v principu používají dva způsoby. Prvním je využít teoretické znalosti, z nichž se vychází při systematické tvorbě scénářů. Druhým je využít data z měření (vytvoří se rekonstrukce situací, jež nastaly) a následné uložení dat v obvyklé formě pro scénáře do databáze scénářů. Vytvoří

se směrnice a standardy, které definují přesné parametry testů, což je důležité pro jejich jednoznačnost i napříč různými státy. [16]

3.1.2 CETRAN

CETRAN (Centre of Excellence for Testing & Research of AVs – NTU) je společný projekt singapurské vlády a technologické univerzity v Nanyang v Singapuru (NTU). Cílem projektu je zlepšit městskou infrastrukturu, a to nikoli vývojem nových autonomních technologií, ale zjištěním, jak by měly takové technologie vypadat. V projektu jde tedy o vypracování nových mezinárodních standardů pro technologie autonomních vozidel. Projekt se zabývá fungováním systémů v městském prostředí. Řeší například problém tzv. první a poslední míle, bezpečnost účastníků silničního provozu, a to i tu kybernetickou, nebo rozšíření kladného vztahu k autonomním vozidlům. Na projektu spolupracují i další společnosti, jako například TÜV SÜD, který se podílí převážně na oblasti bezpečnosti, simulací a zkoušení. Bezpečnost řeší na úrovni uživatelů vozidel, chodců, ale zabývá se i výše zmíněnou kyberbezpečností. Přezkoumává situace z testování v reálném provozu Singapuru a případně je klasifikuje do testovacích scénářů. Simulace dopravních situací vytváří TÜV SÜD za účelem snížení nutnosti reálných zkoušek, což vede k časovým a ekonomickým úsporám. Pro zkoušení vytváří taková pravidla, aby dostatečně ověřilo AD systémy a testování bylo jednoznačně hodnotitelné. Jako i jiné projekty, je CETRAN limitován současným stavem a vybaveností infrastruktury. AD technologie pro své fungování potřebují spolupráci ze strany infrastruktury, například ve formě elektronického mýtného systému nebo inteligentních křižovatek. [17] [18]

3.2 Testování

Téměř všechny zainteresované společnosti do autonomní mobility se shodují, že nasazení samořiditelných vozidel do provozu pro širokou veřejnost je otázkou až budoucích let, přesto testování již několik let probíhá. Autonomní vozidla se dají testovat více způsoby. Může jít o testy pomocí počítačových simulací, zkušebních jízd na testovacích okruzích nebo testování v silničním provozu. Nejčastěji se jedná o kombinaci uvedených způsobů, za účelem dosažení potřebného množství testovacích hodin a ověření všemožných scénářů. Názor na ideální poměr mezi testovanými hodinami v simulaci a v reálném provozu se u různých odborníků i společností značně liší.

3.3 Testování ve virtuálním světě

Testování v počítačových simulacích má oproti testování v silničním provozu několik nesporných výhod. V první řadě to je množství najetých kilometrů. V reálném provozu by bylo náročné a předpokládám i nemožné, urazit pro testy potřebné množství kilometrů, proto z časových i ekonomických důvodů jsou počítačové simulace vhodnou alternativou. Vzhledem

k tomu, že existují situace, se kterými se v provozu setkáváme jen výjimečně, není díky počítačové simulaci problém i takové situace otestovat. Výhodou je, že při takovémto testování nepotřebujeme samotná vozidla, používá se jen jejich software. Další varianta simulace používá data naměřená testovacím vozidlem v reálném provozu, a ta přetvoří do podoby scénáře. Toho se využívá zejména v případech, kdy záložní řidič musel převzít řízení. Z dat ze senzorů je vytvořen scénář, na kterém se pak zkouší upravený software, u něhož by už nebyl nutný zásah řidiče. [19]

3.4 Zkoušky na testovacích okruzích

3.4.1 V České republice

V České republice se v současné době neprovozuje žádný okruh určený přímo pro testování autonomních vozidel. Automobilky v současné době používají své vlastní okruhy, ale i Česká republika v budoucnu počítá s těmi specializovanými, na testování autonomní mobility.

Schválenou výstavbu už má společnost BMW, která plánuje okruh u Sokolova. Zde by se měly testovat vozy BMW, Mini a Rolls-Royce. Areál pro výstavbu má 600 hektarů, ze kterého by mělo být zastavěno zhruba 150 hektarů. Zbývající část areálu by měla být, s ohledem na životní prostředí, zachována v přírodním stavu. Dle aktuálního plánu má testovací okruh obsahovat přes 7 kilometrů dlouhou oválnou dráhu. Dále také část simulující městské prostředí včetně mnoha druhů křižovatek typických nejen pro české prostředí, část simulující okresní silnice, ale i části pro testování fyzikálních vlastností vozidla, např. se stoupáním, klesáním nebo s různými povrchy. [20]



Obrázek 1 - Vizualizace testovacího polygonu BMW na Sokolovsku. Zdroj: BMW. [20]

Další český polygon s podobným zaměřením bude u Stříbra. Ten připravuje investiční skupina Accolade. Jednou z dominant polygonu by měla být simulace města s křižovatkami s horšími rozhledovými poměry, jako jsou Lisabon, Řím nebo pražské Staré město, protože stávající testovací okruhy jsou zaměřené především na „města pravých úhlů“ jako je New York. Bude se zde testovat komunikace mezi vozidly (V2V), komunikace vozidlo-infrastruktura (V2I), stávající technologie (čtení dopravních značek, ACC, detekce překážek), ale i ty budoucí. [21]



Obrázek 2 - Návrh testovacího areálu u Stříbra. [21]

Dále je v České republice připravován testovací okruh pod záštitou ministerstva dopravy ČR. Na ten je nyní vypsána soutěž. Tento okruh by měl být veřejně přístupný a sloužil by jak pro testování autonomních vozidel, tak pro testování infrastruktury vybavené 5G sítí.

3.4.2 Ve světě

V zahraničí se nachází hned několik polygonů pro testování autonomních vozidel. V této práci bych ráda uvedla jen pár vybraných.

Michiganská univerzita vystavěla na ploše 13 hektarů malé testovací městečko Mcity (plánek viz obrázek 4). Důvodem výstavby bylo především zahájení vlastního výzkumu v oblasti autonomních vozidel, přesto bývá polygon propůjčován i průmyslovým partnerům Mcity. Polygon má téměř 7 kilometrů komunikací o různých površích, několik různých křižovatek, včetně světelně řízených, přechody pro chodce, na kterých se pohybují platformy s měkkým cílem simulujícím chodce, železniční přejezd nebo parkovací místa. To vše je doplněno o kulisy budov. Funkci bezdrátových komunikací a senzorů pro orientaci vozidla a detekci objektů má pak otestovat kovový most a tunel. [22]



Obrázek 3 - Plánek testovacího areálu Mcity. [23]

Velice univerzální testovací areál se nachází v německém Immendingenu, který vlastní společnost Mercedes (fotografie viz obrázek 4). V areálu jsou terénní i silniční polygony, tratě pro testování jízdní dynamiky, elektroniky vozidel a spousty dalších oblastí. Pro účely testování autonomních vozidel zde byla vybudována trať zvaná Bertha, obsahující i část simulující město. Je určena pro testování samotných autonomních vozidel, komunikace V2V a V2I. [24]



Obrázek 4 – Immerdingen. Zdroj: Mercedes-Benz. [24]

3.5 Testování v silničním provozu

Ačkoliv zatím povolují testování samoříditelných vozidel v provozu jen některé státy, jejich počet se pomalu navyšuje. V České republice zatím testování autonomních vozidel stupně 3 a výše na veřejných komunikacích povolené není, nicméně směřujeme k tomu, že to do budoucna možné bude. Již nyní se jedná o vybraných úsecích převážně dálniční sítě. Jak už bylo řečeno, ve světě jsou o něco dále. Pro představu bych ráda uvedla nějaké příklady.

Ohio (nařízení z roku 2019)

Ohio investovalo v rámci skupiny Drive Ohio spoustu financí do dálniční sítě, díky čemu se teď řadí mezi nejlepší v zemi. Podél spousty silnic přibylo nové síťové pokrytí pro potřeby autonomních vozidel (Smart Mobility Corridor, Lake Effect Corridor, Smart Line). Ohio je domovem společnosti Transport Research Center (TRC), který vlastní největší zkušební areál v Severní Americe. Testovací areál TRC je zároveň jediným, které využívá Národní správa bezpečnosti silničního provozu. Národní správa se podílí na definování standardů pro zkoušky systémů předcházejících srážkám, diagnostiky závad a testování kyberbezpečnosti. Ohio získalo grant od MD USA na testování autonomních technologií v provozu především ve venkovských oblastech. [25]

Singapur (nařízení z roku 2019)

Testování autonomních vozidel je povolené také v západní části Singapuru. První implementace autonomních vozidel v Singapuru z roku 2017 řeší poskytnutí dopravy obyvatelům na tzv. první a poslední kilometr. Dnešní oblast pro testování zahrnuje asi 1000 km silnic. Mezi hlavní podmínky pro testování na zdejších komunikacích patří přítomnost záložního řidiče na palubě testovaného vozidla. Všechny zkoušky navíc podléhají schválení Úřadu pro pozemní dopravu. [26]

Současně je zde aktivní projekt CETRAN, který je spoluprací singapurské vlády a technologické univerzity v Nanyang v Singapuru (NTU). CETRAN má zlepšit dopravní infrastrukturu a přizpůsobit ji pro potřeby autonomních vozidel (např. vybavení o technologie elektronického mýtného). Dále má cíl začlenit autonomní vozidla do singapurské veřejné dopravy. [26] [17]

Japonsko

V Japonsku se autonomní vozidla po veřejných komunikacích pohybují například ve městě Čiba. Byl zde do provozu nasazen autobus stupně automatizace 4, který tu funguje jako kyvadlová linka. Vozidlo bylo představeno na japonském technologickém veletrhu CEATEC 2019. Vyvinula ho francouzská Navya. Tento jedenáctimístný autobus nemá volant, ani

brzdový a plynový pedál, a proto má záložní řidič pro případ nouze palubní ovladač, kterým by spustil nouzové brzdění. Vozidlo jezdilo rychlostí 18 km/h trasou o 1,5 km se sedmi světelně řízenými křižovatkami. [27]

Dalším vozidlem zkoušeném ve městě Čiba je samořiditelný autobus EZ10. Jedná se o elektrický vůz, který má kapacitu 12 osob. Byl vyvinutý japonskou internetovou společností DeNA ve spolupráci s francouzskou společností EasyMile. Vzhledem k tomu, že do loňského roku v Japonsku nebylo možné testovat vozidla na veřejných komunikacích, testy často probíhaly uvnitř soukromých areálů. Tento autobus byl nasazen v Toyosuna parku v Čibě a působil zde od roku 2016 do roku 2019. [28] [29]

Čína

V červnu roku 2019 byl v čínské metropoli Zhengzhou zahájen provoz autonomních autobusů Yutong, které obsluhují okružní trasu o délce 1,5 km se 3 zastávkami. Trasa je kompletně pokrytá 5G sítí. Autobusy poskytují data a zkušenosti, což má vést k neustálému zlepšování a vyladování systémů. [30]

Dalších 100 elektrických autonomních autobusů Yutong bylo v březnu roku 2020 dodáno do čínské provincie Guangdong. [31]

Praktická část

4 Navržení metod testování na základě bezpečnostní analýzy, statistik nehod a specifičnosti českého prostředí

4.1 Scénář č. 1

Odbočování na dvouproude silnici bez odbočovacího pruhu

Tato kritická situace může vznikat na více různých místech. Příkladem takového místa je čtyřpruhová silnice v obci na obrázku 5 a 6 s maximální povolenou rychlostí 50 km/h a odbočkou vlevo (bez odbočovacího pruhu), za jejíž hranicí okamžitě následuje povolená rychlost 70 km/h.

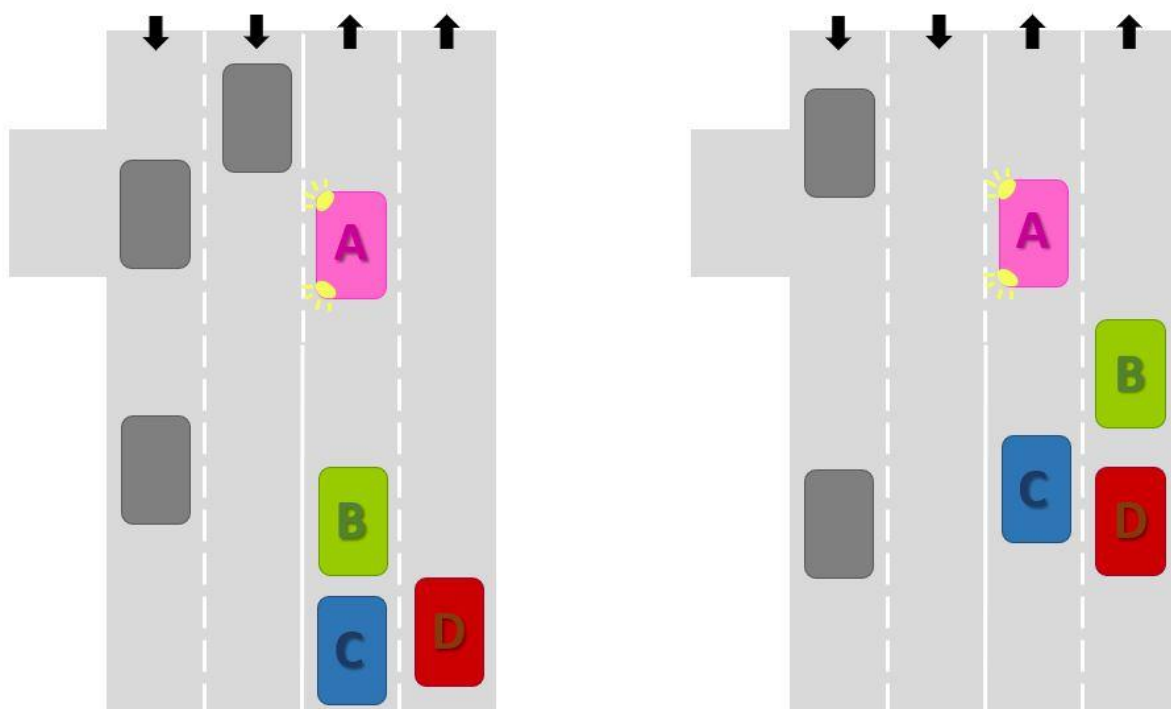


Obrázek 6 - Fotografie místa pro scénář č. 1, přiblížená (Zdroj: Google Street View)



Obrázek 5 - Fotografie místa pro scénář č. 1 (Zdroj: Google Street View)

Kritická situace zde nastává, pokud za sebou jedou v levém jízdním pruhu 2 vozidla, vozidlo B a vozidlo C, která dojíždějí stojící vozidlo A chystající se odbočovat vlevo. První z dojíždějících vozidel, vozidlo B, před sebou zaznamená stojící vozidlo A a v pravém jízdním pruhu další vozidlo D, před které chce přejet. Druhé z dojíždějících vozidel, vozidlo C, jede stejnou rychlostí jako vozidlo B a stojící vozidlo A zatím nemůže zaznamenat. Poté, co vozidlo B přejede do pravého jízdního pruhu a pokračuje v jízdě před vozidlem D, vozidlo C zaznamená stojící vozidlo A a obsazený pravý jízdní pruh. V tuto chvíli nezbývá než zahájit prudké brzdění.



Obrázek 7 - Vozidlo stojící před odbočkou vlevo

4.1.1 Návrh testu

Stojící vozidlo A představuje nejlépe měkký cíl. Vozidlo B a vozidlo C, které je testovacím vozidlem, jedou za sebou konstantní rychlostí a dojíždějí vozidlo A. Vozidlo B udělá v určité vzdálenosti před vozidlem A úhybný manévř a sleduje se reakce vozidla C.

4.1.2 Předpis EHK s podobným testovacím scénářem scénář č. 1

Testovací scénář s podobnou konfigurací se vyskytuje v právě vznikajícím předpisu EHK, který je na rozdíl od scénářů v této bakalářské práci zaměřen na testování systému pro automatické udržení v jízdním pruhu, tedy ALKS. Tento scénář se ve zmiňovaném předpisu objevil v průběhu vzniku této bakalářské práce, a to v květnu tohoto roku. Testování ALKS má v předpisu 2 varianty, jsou to:

A. Následování vedoucího vozidla

Tato zkouška má prokázat schopnost ALKS udržovat bezpečnou vzdálenost za předním vozidlem i v případě, že vozidlo brzdí s maximální možnou brzdou silou.

Zkouška má být prováděna:

- a. v celém rozsahu rychlostí ALKS,
- b. pro konstantní i proměnlivé rychlosti předního vozidla,
- c. v rovných i zakřivených úsecích,
- d. pro různé polohy předního vozidla v jízdním pruhu,
- e. se zpomalením testovaného vozidla alespoň 6 m/s^2 .

B. Změna jízdního pruhu jiného vozidla před testované vozidlo

V této variantě má ALKS prokázat schopnost zabránit kolizi s vozidlem přejíždějícím z vedlejšího jízdního pruhu do jízdního pruhu před testované vozidlo. Kritériem kritičnosti manévrů je zde tzv. čas do kolize, tedy TTC. Zkouška má být prováděna:

- a. pro různé hodnoty TTC,
- b. pro různé vzdálenosti a rychlosti testovaného vozidla,
- c. pro konstantní, snižující se i zvyšující se rychlost vozidla měnícího jízdní pruh.

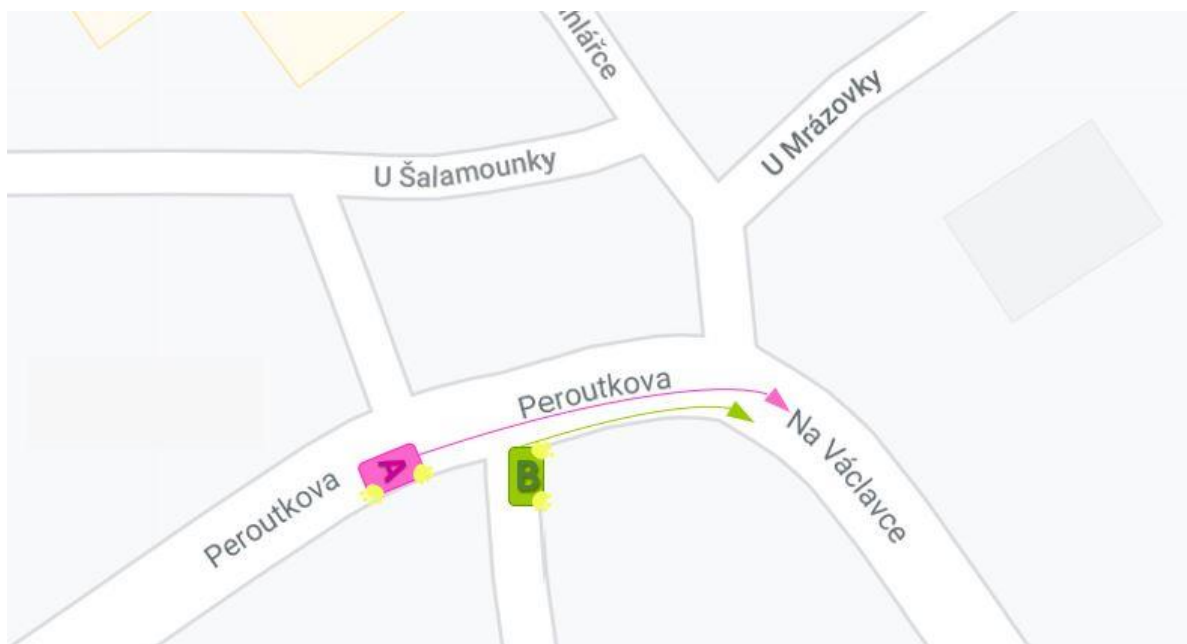
Bezpečnost systému je ověřována nasimulováním chyb v každé jednotlivé části systému. Chyby je možné nasimulovat danými výstupními signály na elektrické jednotce, nebo mechanickými prvky vloženými do systému. [32]

4.2 Scénář č. 2

Sporné použití směrových světel

Následující situace může nastat na jakémkoliv víceramenné křižovatce, kde je více odboček stejným směrem blízko za sebou, v místě, kde bude hlavní silnice vedena v oblouku, přičemž stejným směrem s obloukem povede odbočka, nebo v několika dalších případech.

Konkrétní případ místa, kde se můžeme setkat s potenciálními nedorozuměními způsobenými použitím směrových světel mezi AD vozidly, popř. AD vozidlem a řidičem druhého vozidla, je křižovatka na Praze 5 (viz obrázek 8). Jeden z možných testovacích scénářů je zakreslen v obrázku č. 4, kde šipky značí zamýšlený směr vozidel.



Obrázek 8 - Situace se sporným použitím směrových světel (Zdroj – Google maps, vlastní zdroj)

V principu jde o to, že pokud autonomní vozidlo B zaregistruje u druhého vozidla A směrová světla a milně usoudí, že vozidlo A bude odbočovat do jeho aktuálního směru, může zahájit jízdu, čímž vznikne nehodová situace.

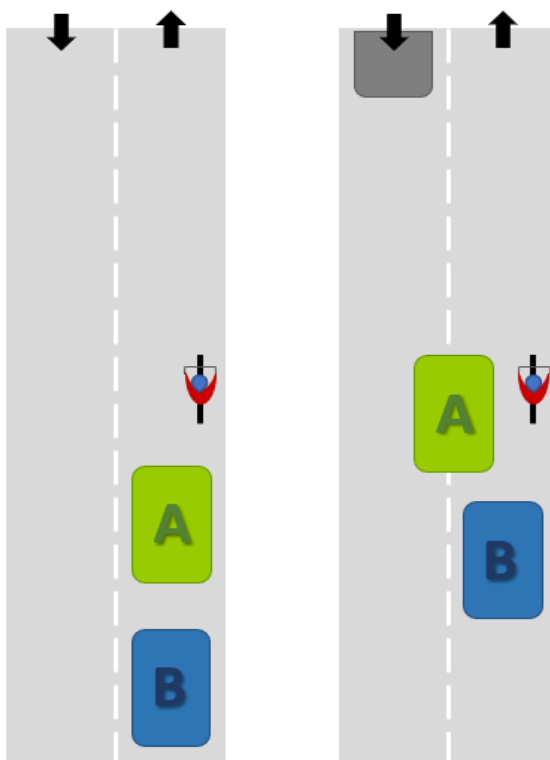
Nehodová situace může vzniknout i pokud se role obrátí. Tedy pokud bude vozidlo A autonomní a bude nastavené tak, že nějakou danou dobu před odbočením má aktivovat směrová světla. Pro vozidlo B to může vypadat jako by vozidlo A zamýšlelo odbočit do směru, kde se nachází vozidlo B, a to tedy zahájí jízdu.

Znamení o změně směru jízdy musí dávat řidič dle zákona o pozemních komunikacích vždy při změně směru jízdy, vybočování z něho nebo pokud to vyžaduje bezpečnost provozu na pozemních komunikacích, pokud se nejedná o případy uvedené v jiných ustanoveních. Zejména část, ukládající použít směrová světla v závislosti na bezpečnosti provozu může být u autonomních vozidel obtížnou oblastí. Testování použití směrových světel u autonomních vozidel v různých tvarech a typech víceramenných křižovatek by dle mého názoru bylo zajímavé a určitě velice přínosné pro další vývoj těchto funkcí AD vozidel. [33]

4.3 Scénář č. 3

Předjíždění cyklisty

K následující situaci dochází na dvoupruhové pozemní komunikaci, kdy za sebou jedou dvě vozidla, vozidlo A a B. Vozidla dojíždějí cyklistu, vzdálenější vozidlo B o cyklistovi neví. Vozidlo A nemá v protisměru žádné protijedoucí vozidlo a cyklistu předjede. Vozidlo B má před sebou najednou velice blízko pomalejšího cyklistu, kterého senzory jakožto menší objekt mohou rozpoznávat déle než vozidlo. V protisměru již jede protijedoucí vozidlo a předjet cyklistu nemůže. Musí zahájit brzdění.



Obrázek 9 - Předjíždění cyklisty

4.3.1 Příklady asistenčních systémů, řešících podobné situace

Příkladem řešení detekce cyklistů je systém automobilky Seat. Přibližně 1,5 až 2 s před očekávanou srážkou s cyklistou se na přístrojové desce objeví vizuální výstraha podpořená zvukovou výstrahou. Pokud řidič nezareaguje, systém asi 0,8 až 1 s před očekávanou srážkou začne brzdít. Zjednodušeně lze vypočítat, že při rychlosti vozidla 50 km/h začne systém brzdít přibližně 14 metrů před cyklistou. Při dané rychlosti by pro vozidlo v dobrém technickém stavu za normálních povětrnostních podmínek neměl být problém na 14 metrech zastavit. Pokud ale vozidlo nebude v dobrém technickém stavu nebo povětrnostní či rozhledové podmínky nebudou ideální, mohla by tato situace být pro autonomní systémy obtížná. Obzvláště bude-li se vozidlo pohybovat vyššími rychlostmi. [34]

Příklad systému pro detekci cyklistů můžeme nalézt i u Volva. Automobilka Volvo disponuje asistenčním systémem pro detekci cyklistů, který umí rozpoznat cyklistu jedoucího stejným směrem s vozidlem. Cyklista musí mít jasné a plně viditelné obrysy těla i jízdního kola a být zezadu v ose vozidla. Je potřeba, aby měl cyklista viditelnou červenou odrazku alespoň 70 cm nad vozovkou. Funkce systému je omezená za soumraku nebo při svítání. [35]

4.4 Další potenciálně rizikové situace

4.4.1 *Přejíždění přes nezabezpečený železniční přejezd*

V budoucnu by mohla být řešením nezabezpečených jízdních přejezdů pro autonomní vozidla aplikace C-Roads. Spojením aplikace s informacemi z vozových jednotek získáme komplexní informace o provozu. Kromě toho, že autonomní vozidla komunikují mezi sebou, mohou komunikovat s vozidly IZS, dopravními značkami, semaforem, nebo právě železničními přejezdy. [36]

Aplikace C-Roads využívá hybridní komunikaci, kdy kombinuje vysokorychlostní mobilní síť a WiFi. Pro její fungování je tedy nutné dobré pokrytí signálem. Je tedy možné, že v odlehlých oblastech se na tento systém zatím nebudeme moci spolehnout. Navíc je v současné době uvedená aplikace řazena pouze mezi podpůrné informační systémy. Nyní musí být tedy vozidla schopná rozhodnout, zda je železniční přejezd volný, a to pouze na základě vlastních systémů pro snímání okolí. [36]

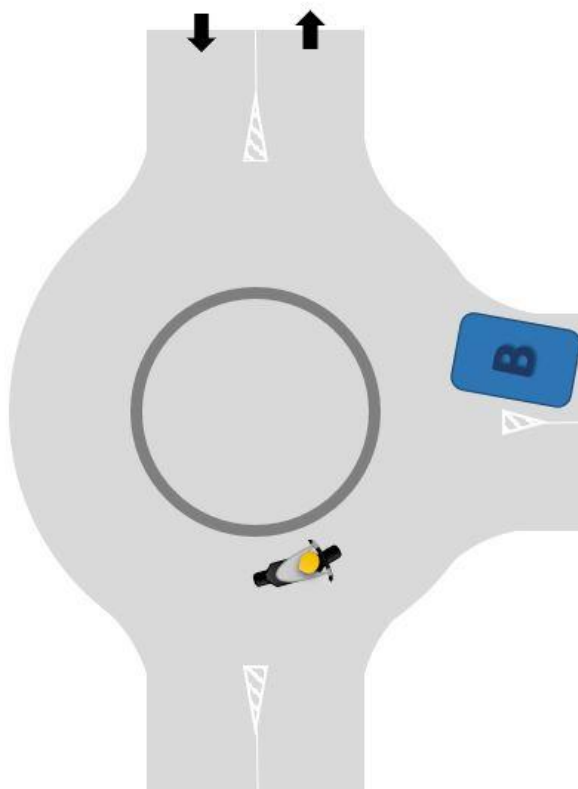
Nabízí se otázka, jestli jsou rozhledové podmínky na všech českých železničních přejezdech dostatečné. Obzvláště v České republice je spousta lokálních železničních tratí a nepřehledné množství křížení s pozemními komunikacemi. Často je to v místech, kde je železniční trať v oblouku, okolí trati je hustě zarostlé vegetací, nebo je trať v místě kolem přejezdu v klesání či stoupání. V takovém případě bychom z vozidla na pozemní komunikaci mohli vidět pouze střechu železničního vozidla. Pro člověka to na vyhodnocení není obtížné, ovšem radaru nebo lidarů by vyhodnocení mohlo způsobit potíže. Poněkud extrémními případy jsou nepřehledné nezabezpečené železniční přejezdy, před kterými jsou strojvedoucí zvyklí použít zvukové výstražné znamení, kterým řidiče upozorní na blížící se železniční vozidlo, s čímž by si AD vozidlo nemělo šanci poradit.

4.4.2 *Objíždění cyklisty přes odbočovací pruh*

Jedná se o situaci podobné té, v kapitole 5.3, s tím rozdílem, že v pravém jízdním pruhu je přidán odbočovací pruh pro levé odbočení. Tímto vznikne prostor pro další rizikové situace, a to pokud 1. vozidlo použije při předjíždění cyklisty směrová světla, 2. vozidlo vyhodnotí situaci tak, že předpokládá, že přední vozidlo odbočuje a začne první vozidlo podjíždět. Cyklistu pak spatří na poslední chvíli a při nedostatečně rychlé detekci cyklisty hrozí kolize.

4.4.3 Přehlédnutí cyklisty nebo motocyklisty přes vyvýšený kruhový objezd

Pokud je kruhový objezd tvořený např. vyššími panely či náspy s vegetací, cyklista či motocyklista jedoucí kruhovým objezdem v náklonu je z větší části nebo i zcela zakrytý stavbou objezdu. Pokud budeme uvažovat, že jezdci je vidět pouze hlava nebo jen část helmy, mohou být pro AD obtížněji detekovatelní.



Obrázek 10 - Přehlédnutí motocyklisty

Kromě výše uvedených situací existují i takové, které člověk bez váhání vyhodnotí jako nebezpečné, a jízdu nastalé situaci přizpůsobí. Je ale možné na všechny neobvyklé situace připravit i autonomní vozidla? Příkladem takové situace může být kamion, který se vlivem povětrnostních podmínek rozhoupe. Běžný řidič vyhodnotí situaci tak, že si raději nechá větší než běžnou bezpečnou vzdálenost. Dle mého názoru je to i v situaci, když se v běžném provozu setkáme s opilým cyklistou. I opilý cyklista může představovat hrozbu, a od tohoto účastníka silničního provozu si necháme mnohem větší odstup než od běžného cyklisty, protože počítáme i s jeho nepředvídatelným chováním.

5 Testování a vyhodnocení systémů ACC a AEB na reakci na statickou překážku

Pro reálné měření byl vybrán testovací scénář č.1, tedy dojíždění stojícího vozidla dvěma za sebou jedoucimi vozidly, kdy první vozidlo udělá za stojícím vozidlem úhybný manévr a druhé vozidlo se už musí spolehnout pouze na brzdění, protože nemá v pravém jízdním pruhu volný prostor. Pro účely měření byl využíván měkký cíl a dvě různá vozidla. Vozidlo A bylo vybaveno systémy ACC a Front Assist. Vozidlo B mělo systémy ACC a AEB.

Měkký cíl stál v levé části jízdního pruhu, aby jeho pozice co nejlépe odpovídala pozici vozidla chystajícího se k odbočení. Vozidla k měkkému cíli přijížděla vprostřed jízdního pruhu. Bylo provedeno i několik jízd pro ověření, zda bude radar reagovat výrazně lépe pokud bude přesně v ose měkkého cíle. Rozdíl nebyl zřejmý, a proto se pokračovalo jízdami vprostřed jízdního pruhu.

Testování probíhalo ve třech různých rychlostech vozidel B a C, a to ve 30, 50 a 70 km/h. Při rychlosti 30 km/h se vozidlo B vyhýbalo vozidlu A ve vzdálenosti 5 m. Při rychlostech 50 a 70 km/h to bylo 10 m za vozidlem A. Tyto vzdálenosti za vozidlem A byly označeny dopravními kužely (viz obrázek 11). Kromě rychlosti se nastavoval stupeň odstupu od předchozího vozidla systému ACC, kde se vždy testovala varianta s nejmenším, středním a největším možným odstupem. Všechny kombinace rychlostí a stupně odstupu systému ACC byly provedeny u obou testovacích vozidel třikrát.



Obrázek 11 - Vzdálenosti pro úhybné manévry označené dopravními kužely

Řidič ve 2., tedy testovaném, vozidle měl za úkol provést na poslední chvíli před nevyhnutelnou srážkou úhybný manévr. Důvodem bylo uspořit čas a nezbořit měkký cíl téměř každou jízdou.

Měření se uskutečnilo na mezinárodním civilním letišti v Mnichově Hradišti. Při měření nedocházelo k žádnému negativnímu vlivu okolí. Testování probíhalo za slunečného počasí při teplotě 23 °C a povrchem byly suché betonové panely.

5.1 Specifikace testovaných systémů

5.1.1 ACC

ACC udržuje nastavenou rychlost. Pokud se vozidlo přiblíží k jinému, automaticky svou rychlost sníží, aby byl dodržen nastavený odstup. Tento systém je určen především pro jízdu na dálnici. [37]

5.1.1.1 ACC Vozidla A

Rozsah rychlostí u vozidla A, na které je možné ACC nastavit je 30 – 160 km/h (při vyšší třídě výbavy až do 210 km/h). Odstup od předchozího vozidla je v rámci ACC možné nastavit v 5 různých úrovních. Zorný úhel radaru nepokryje celou šíři jízdního pruhu, proto výrobce upozorňuje na situace, kdy je třeba být obezřetný. Je to na příklad změna jízdního pruhu ostatních vozidel, úzký, nebo souběžně jedoucí dopravní prostředek, nebo statické objekty. [37]

5.1.1.2 ACC vozidla B

Rozsah rychlostí u vozidla B, na které je ACC možné nastavit je 30 – 180 km/h, pokud před tímto vozidlem pojedou jiná vozidla, je možné nastavit ACC už od 10 km/h. Použití ACC se nedoporučuje na křižování komunikací, na parkovištích, za deště či námrazy, v prudkých kopcích nebo třeba v zatáčkovitém úseku silnice. Systém také nedokáže rozpoznat stojící vozidlo nebo chodce. Odstup od předchozího vozidla je v rámci ACC možné nastavit ve 4 různých úrovních. [38]

5.1.2 Front Assist vozidla A

Front Assist upozorňuje na nedodržení bezpečnostní vzdálenosti od předchozího vozidla. Nejdříve řidiče upozorní varováním zobrazeným na přístrojové desce. V mezních situacích pomáhá řidiči brzdit. Pokud vozidlo jede rychlostí do 50 km/h, Front Assist začne brzdit bez varování. Systém funguje u rychlostí nad 5 km/h a až po 30 s po rozjezdu. Problém může mít při průjezdu zatáčkou, nebo při zásahu ESC. [37]

5.1.3 AEB vozidla B

AEB tohoto vozidla je definován jako podpůrný systém řidiče. Na základě rozpoznání vzdálenosti od předchozího vozidla nebo chodce systém řidiče varuje, nebo sám začne brzdit. AEB nemusí fungovat při nedodržení bezpečnostní vzdálenosti, když vozidlo, s nímž hrozí

kolize, přijíždí ze strany a nemusí rozpoznat ani vozidlo zaparkované v horizontálním směru. Nerozpoznává vozíky, bicykly, motocykly, zavazadla, kočárky a zvířata. [38]

5.2 Specifikace objektů ze scénáře

5.2.1 Měkký cíl

Tato maketa automobilu je dodávána společností AB Dynamics. Je složena z robotické platformy a měkkého vozidlového cíle, který se skládá z několika částí. Měkký cíl je konstruován tak, aby se při nárazu rozletěl na části a platforma, aby vydržela přejezd vozidlem. Robotická platforma se může pohybovat až do rychlosti 100 km/h, a to s přesností polohy na 2 cm. Celý měkký cíl má hmotnost 320 kg. [39]



Obrázek 13 - Měkký cíl



Obrázek 12 - Měkký cíl

5.2.2 Vozidlo A

Jako první vozidlo pro testování se použil model Škoda Karoq s rokem výroby 2019. Vozidlo disponuje systémy ACC, který je určen spíše pro jízdu na dálnicích a Front Assist, který má varovat při nedodržení bezpečné vzdálenosti a v mezní situaci pomoci s brzděním. Toto vozidlo není vybaveno systémem AEB, pro nějž byl tento test původně určen. Výrobce uvádí, že systém ACC není konstruován pro zastavení před statickou překážkou. Přesto, pro porovnání chování systémů obou testovaných vozidel, bylo testu vystaveno. [37]

Vozidlo bylo osazeno pneumatikami o šířce 225 mm s profilovým číslem 55 % s radiální konstrukcí a o průměru ráfku 17”.



Obrázek 15 - Palubní počítač vozidla Škoda Karoq a nastavení rozestupu od předchozího vozidla na maximální

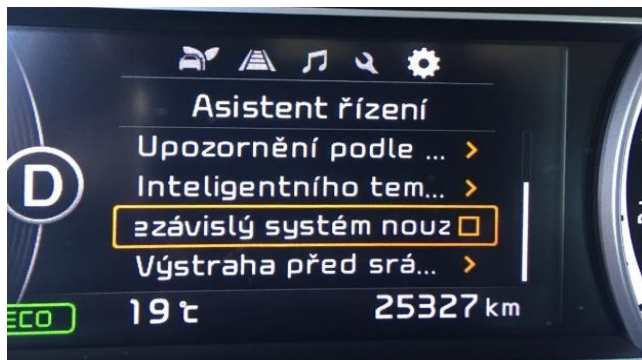


Obrázek 14 - Palubní počítač vozidla Škoda Karoq a nastavení rozestupu od předchozího vozidla na minimální

Vozidlo B

Jako druhé vozidlo pro testování byl použit model Kia Niro s rokem výroby 2019. Následující vozidlo disponuje kromě systému ACC i systémem AEB.

Vozidlo bylo osazeno pneumatikami o šířce 225 mm s profilovým číslem 45 % s radiální konstrukcí a o průměru ráfku 18".



Obrázek 17 - Palubní počítač vozidla Kia Niro značící deaktivovaný AEB



Obrázek 16 - Palubní počítač vozidla Kia Niro značící aktivovaný AEB



Obrázek 18 - Palubní počítač vozidla Kia Niro; šipka označuje aktuální nastavení rozestupu od předchozího vozidla

5.3 Testovací vozidlo A

Řidič vozidla A měl za úkol provést v každém z pokusů při najíždění na měkký cíl úhybný manévr. Nicméně ani v jednom z pokusů by pravděpodobně k zastavení před překážkou nedošlo. Radar tohoto vozidla poměrně dlouho detekoval překážku a často ji dokonce nezaznamenal vůbec.

Jak můžeme vidět v tabulce 2, při nastavení ACC na střední odstup od předchozího vozidla došlo ke znatelnému zlepšení výsledků oproti jízdám při nastavení na nejnižší odstup. Při nastavení na nejvyšší možný odstup vozidlo při rychlostech 50 a 70 km/h zaznamenalo překážku vždy a zareagovalo téměř vždy. Z naměřených dat vyplývá, že radar vozidla A reagoval lépe při rychlostech 50 a 70 km/h oproti nižším 30 km/h, při kterých nebylo spuštěno ani jednou varování. To může být způsobené již výše uvedenou skutečností, že vozidlo nedisponuje systémem AEB, ACC není konstruován pro detekci statických objektů a Front Assist spouští varování až od rychlosti 50 km/h. Do této rychlosti zasahuje automaticky bez varování řidiče. Front Assist má několik podmínek fungování. Mezi takové podmínky patří nutnost mít zapnutý systém ASR, rychlost jízdy vyšší než 5 km/h a nefunguje současně s aktivním ESC nebo 30 s po rozjezdu. [37]

Nicméně je nutné podotknout, že i přesto, že vozidlo ani jednou při tomto scénáři nenaznačovalo úplně zastavení, častokrát rychlost snížilo, a tím by snížila i závažnost případné kolize.

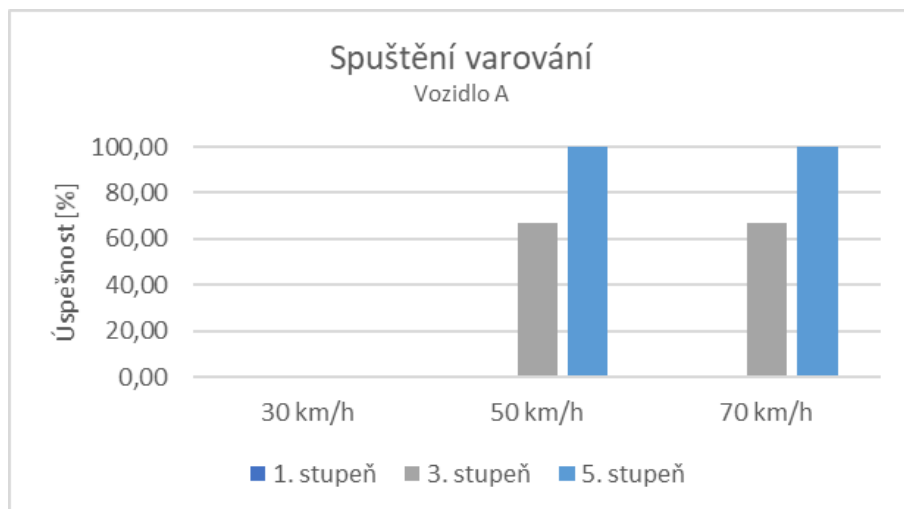
5.3.1 Výsledky testování systémů vozidla A

Tabulka 2 - Výsledky testování systémů vozidla A

| Stupeň odstupu u systému ACC (1-5) | Rychlost obou za sebou jedoucích [km/h] | Číslo pokusu v daném nastavení | Varování před překážkou | Zásah vozidlových systémů | Dobrzdnění bez pomoci řidiče (vzdálenost od GVT [cm]) | Poznámky |
|------------------------------------|---|--------------------------------|-------------------------|---------------------------|---|--|
| 1 | 30 | 1 | NE | NE | NE | 1. Po úhybu vozidla před testovaným vozidlem došlo ke drobnému zpomalení ze strany vozidla 2. Po přenastavení jízdního režimu z „normal“ na „snow“ došlo k varování i zásahu systému vozidla, přesto by ke srážce s GVT došlo 3. Automatické přenastavení stupně odstupů vozidla v systému ACC 4. Po úhybu předchozího vozidla testované vozidlo ještě zrychlilo, než detekovalo pomocí radarů překážku |
| | | 2 | NE | NE | NE | |
| | | 3 | NE | NE ¹ | NE | |
| | 50 ² | 1 | NE | NE | NE | |
| | | 2 | NE | NE | NE | |
| | | 3 | NE | NE | NE | |
| | 70 ³ | 1 | NE | NE | NE | |
| | | 2 | NE | NE | NE | |
| | | 3 | NE | NE | NE | |
| 3 | 30 | 1 | NE | NE | NE | |
| | | 2 | NE | NE | NE | |
| | | 3 | NE | NE | NE | |
| | 50 | 1 | ANO | ANO | NE | |
| | | 2 | NE | NE | NE | |
| | | 3 | ANO | ANO | NE | |
| | 70 | 1 | ANO | ANO | NE | |
| | | 2 | ANO | ANO | NE | |
| | | 3 | NE | NE | NE | |
| 5 | 30 | 1 | NE | NE | NE | |
| | | 2 | NE | NE | NE | |
| | | 3 | NE | NE | NE | |
| | 50 | 1 | ANO | ANO | NE | |
| | | 2 ⁴ | ANO | ANO | NE | |
| | | 3 ⁴ | ANO | ANO | NE | |
| | 70 | 1 | ANO | NE | NE | |
| | | 2 | ANO | ANO | NE | |
| | | 3 | ANO | ANO | NE | |

5.3.2 Grafické zpracování výsledků testování vozidla A

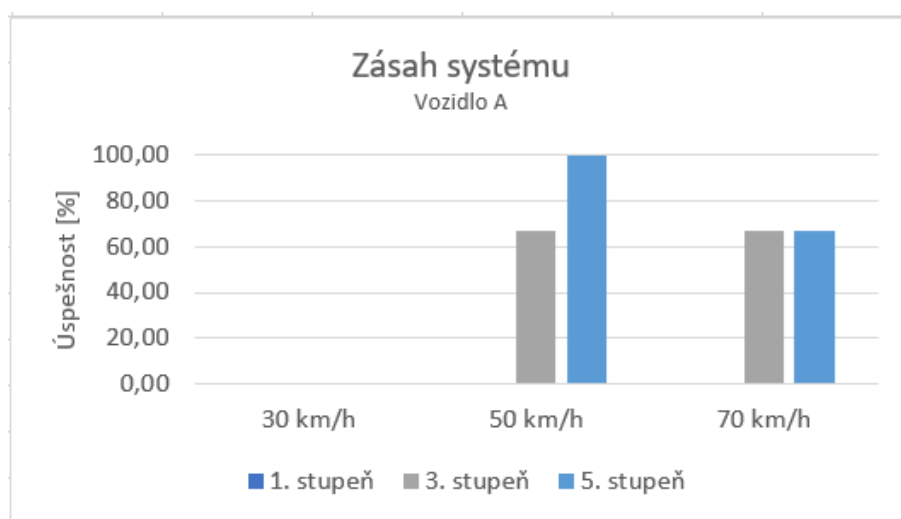
Spuštění varování:



Obrázek 19 - Varování (vozidlo A)

Jak již bylo řečeno v kapitole 5.3, při nastavení odstupu od předchozího vozidla na 1. stupeň, nezávisle na rychlosti, nedošlo ani v jednom z pokusů ke spuštění varování. Při rychlosti 30 km/h se varování nespustilo ani v jednom z pokusů nezávisle na způsobu nastavení odstupu od předchozího vozidla. Při rychlosti 50 km/h a nastavení ACC na 3. stupeň, už ale ve 2 ze 3 pokusů systém varoval řidiče před hrozící kolizí. Při nastavení odstupu na maximum pak došlo k varování ve všech pokusech. Při rychlosti 70 km/h byly obdobné výsledky jako u rychlosti 50 km/h. Při nastavení na 3. stupeň varování spustilo ve 2 ze 3 pokusů a při nastavení na 5. stupeň při všech pokusech.

Zásah systému:



Obrázek 20 - Zásah systému (vozidlo A)

Nezávisle na nastavení ACC při 30 km/h systém ani v jednom z pokusů nijak nezasáhl. Při žádné rychlosti nezasáhl ani při nastavení ACC na odstup od předchozího vozidla na 1.

stupeň. Při rychlosti 50 km/h a při nastavení ACC na 3. stupeň systém zasáhl při 2 ze 3 pokusů. Při shodné rychlosti a nastavení ACC na 5. stupeň zasáhlo použitím brzd pokaždé. Při rychlosti 70 km/h vozidlový systém zasáhl a začal brzdit ve 2 ze 3 pokusů při nastavení na 3. i 5. stupeň.

5.4 Testovací vozidlo B

Vozidlo B během testování několikrát zastavilo před měkkým cílem bez zásahu řidiče. Případy, kdy vůbec překážku nezaregistrovalo byly pouze dva. Do úplného zastavení vozidlo dobrzdilo bez zasažení cíle především při nastavení odstupů na stupně 1 a 4, tedy minimální a maximální. Ani jednou vozidlo nezastavilo do nulové rychlosti z rychlosti 70 km/h (viz tabulka 3).

Při nastavení ACC na maximální úroveň odstupů, tedy na úroveň 4 při rychlosti 70 km/h při 3. pokusu vozidlo B zasáhlo měkký cíl. Překážku zaregistrovalo, zareagovalo na ni a s dodatečnou pomocí řidiče snížilo rychlost na minimum. Prudkost nárazu byla tedy velice nízká, což samozřejmě bylo způsobeno z velké části materiálem a konstrukcí měkkého cíle, ale přispěla tomu i minimální rychlostí nárazu.

Stejně jako v případě testovacího vozidla A ve většině případů rychlost před hrozící kolizí vozidlo B více či méně snížilo, čímž by bezpochybně snížilo i dopady nehody.

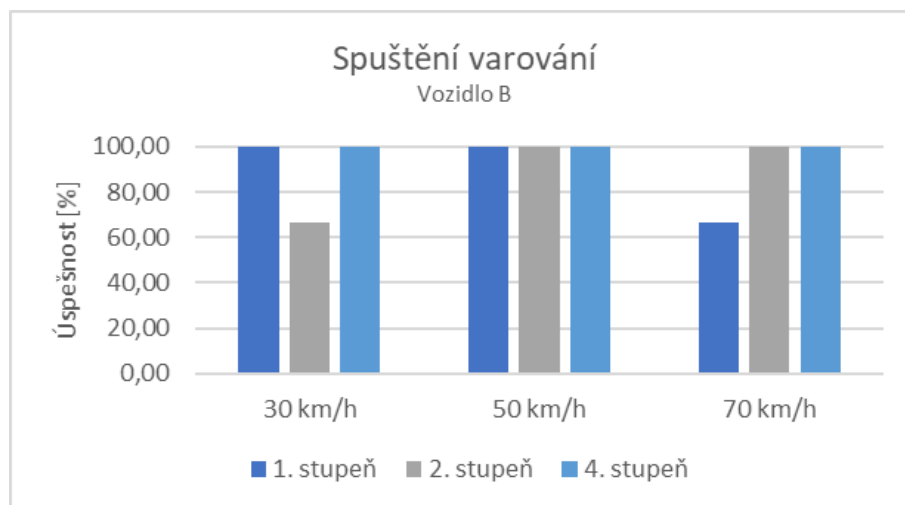
5.4.1 Výsledky měření vozidla B

Tabulka 3 - Výsledky měření vozidla B

| Stupeň odstupu u systému ACC (1-4) | Rychlost obou za sebou jedoucích [km/h] | Číslo pokusu v daném nastavení | Varování před překážkou | Zásah systém u AEB | Dobrzdnění bez pomoci řidiče (vzdálenost od objektu [cm]) | Poznámky |
|------------------------------------|---|--------------------------------|-------------------------|--------------------|---|---|
| 1 | 30 | 1 | ANO | ANO | ANO (83) | 1. Namísto úhybného manévru řidič brzděním podpořil systém, vozidlo samo by v tomto pokusu před překážkou nedobrzdilo |
| | | 2 | ANO | ANO | ANO (121) | |
| | | 3 | ANO | ANO | ANO (130) | |
| | 50 | 1 | ANO | ANO | NE ¹ | |
| | | 2 | ANO | ANO | ANO (200) | |
| | | 3 | ANO | ANO | ANO (147) | |
| | 70 | 1 | ANO | ANO | NE | |
| | | 2 | ANO | ANO | NE | |
| | | 3 | NE | NE | NE | |
| 2 | 30 | 1 | ANO | ANO | NE | 2. Řidič úmyslně nevykonal úhybný manévr, pomohl systému brzděním, čímž pouze zmírnil náraz do objektu |
| | | 2 | NE | NE | NE | |
| | | 3 | ANO | ANO | NE | |
| | 50 | 1 | ANO | ANO | NE | |
| | | 2 | ANO | ANO | NE | |
| | | 3 | ANO | ANO | NE | |
| | 70 | 1 | ANO | ANO | NE | |
| | | 2 | ANO | NE | NE | |
| | | 3 | ANO | NE | NE | |
| 4 | 30 | 1 | ANO | ANO | NE | |
| | | 2 | ANO | ANO | NE | |
| | | 3 | ANO | ANO | ANO (180) | |
| | 50 | 1 | ANO | ANO | ANO (180) | |
| | | 2 | ANO | ANO | ANO (160) | |
| | | 3 | ANO | ANO | ANO (145) | |
| | 70 | 1 | ANO | ANO | NE | |
| | | 2 | ANO | ANO | NE | |
| | | 3 | ANO | ANO | NE ² | |

5.4.2 Grafické zpracování výsledků

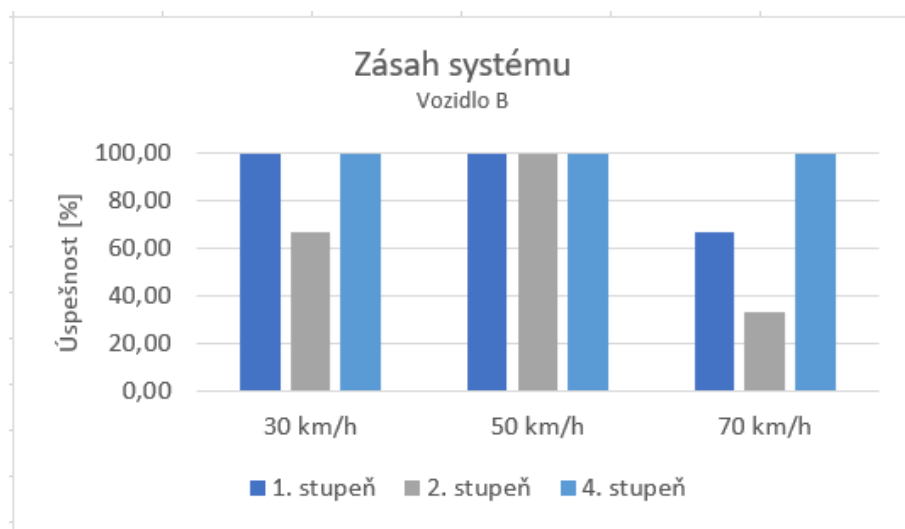
Spuštění varování:



Obrázek 21 - Varování (vozidlo B)

Při rychlosti 30 km/h a nastavení odstupů u ACC na 1. a 4. stupeň vozidlo spustilo varování v každém pokusu. Při shodné rychlosti a nastavení odstupů na 2. stupeň vozidlo varovalo řidiče ve 2 z 3 pokusů. Při rychlosti 50 km/h vozidlo varovalo řidiče pokaždé, nezávisle na nastavení ACC. Při rychlosti 70 km/h a nastavení ACC na odstup od předchozího vozidla na 1. stupeň se varování spustilo ve 2 z 3 pokusů. Při shodné rychlosti a nastavení ACC na 2. a 4. stupeň se varování spustilo vždy.

Zásah vozidla:

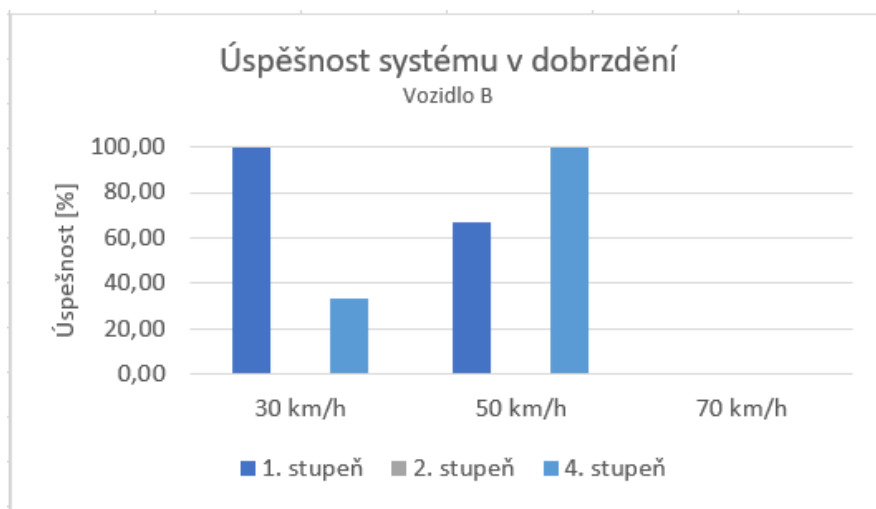


Obrázek 22 - Zásah systému (vozidlo B)

Při rychlosti 30 km/h systém při nastavení odstupů od předchozího vozidla v systému ACC na 1. a 4. stupeň v každém pokusu. Při nastavení na 2. stupeň zasáhl ve 2 z 3 pokusů. Při rychlosti 50 km/h systém zasáhl ve všech pokusech na každý z testovaných stupňů nastavení ACC. Při rychlosti 70 km/h a nastavení na 1. stupeň zasáhl ve 2 z 3 pokusů. Ve shodné

rychlosti a nastavení na 2. stupeň zasáhl pouze v 1 ze 3 pokusů, ale na stupeň 4 při všech 3 pokusech.

Úspěšnost systému v dobrzdění:



Obrázek 23 - Dobrzdění do zastavení vozidla (vozidla B)

Při rychlosti 30 km/h a odstupu nastaveném na 1. stupeň systém dobrzdil při každém z pokusů do plného zastavení. Při shodné rychlosti a 2. stupni ani jednou, a při 4. stupni 1 ze 3 pokusů. Při 50 km/h a nastavení na 1. stupeň systém plně zastavil vozidlo ve 2 ze 3 pokusů. Při shodné rychlosti a nastavení na 2. stupeň vozidlo nezastavilo ani jednou, a při nastavení na 4. stupeň pak naopak při každém z pokusů. Při rychlosti 70 km/h vozidlo nezastavilo ani jednou nezávisle na nastavení ACC.

5.5 Vyhodnocení části testování

Osobně shledávám testování za úspěšné. O různých asistenčních systémech různých vozidel se díky těmto testům získala spousta významných dat pro účely této bakalářské práce.

Původně byla mezi zamýšlenými variantami i varianta testování s pomocí přesnější měřicí techniky, jako je GPS, nebo robot pro otáčení volantem. Na základě spousty okolností bylo ale nemožné měření provést s větším předstihem, a proto bylo potřeba zvolit méně časově náročnou variantu měření. Pro testování v této „zjednodušené“ verzi byla využita 2 vozidla, měkký cíl, dopravní kužely, kamera a metr pro měření rezervní vzdálenosti po dobrzdění před měkkým cílem.

Jak je již zmíněno v úvodu kapitoly 5, testování probíhalo ve 3 různých rychlostech a u každého z testovaných vozidel ve 3 různých nastaveních ACC. Nastavení ACC bylo vždy na nejnižší, střední a nejvyšší možný odstup od předchozího vozidla. Každé nastavení bylo v každé z rychlostí testováno třikrát.

U testovaného vozidla A byla možnost volit mezi 5 stupni. Testovány byly stupně 1, 3 a 5. Testované vozidlo B mělo možnost nastavení odstupů od předchozího vozidla mezi 4 stupni. Testovány byly stupně 1, 2 a 4. U vozidla B byly při krajních nastaveních odstupů výsledky příznivější. Nicméně mohlo jít o náhodný úkaz. Pro přesnější vyvozování závěrů by byla potřeba více opakování.

Pokud bychom chtěli porovnat systémy AEB vozidla B a Front Assist vozidla A, přičemž jsou oba systémy na asistenční úrovni, o něco lépe se za daných podmínek vedlo systému AEB. Výsledky odpovídají skutečnosti, že testovací scénář byl sestaven právě pro otestování AEB.

Je nutné zopakovat, že oba systémy se jako pomoc řidiči osvědčily. Mnohokrát by snížily následky nehody, popř. nehodě úplně zabránily.

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout nové testovací scénáře pro autonomní vozidla od stupně automatizace 3.

V úvodu teoretické části byly řešeny některé technologie autonomních vozidel pro orientaci v prostoru. Byl sestaven přehled senzorů, které AD vozidla využívají. Vychází především z již vytvořených prací a byl doplněn o nové informace. Další kapitola se věnovala pre-crash systémům, které byly nejprve všeobecně popsány, a pak byly přiblíženy pre-crash systémy vybraných společností.

V další kapitole jsou přiblíženy výzkumné projekty Pegasus a CETRAN. Následuje obecný popis testování v simulacích, na testovacích okruzích a v reálném provozu.

V úvodu praktické části jsou navrženy metody testování autonomních vozidel vzhledem k českému dopravnímu prostředí. Tato část zahrnuje několik konkrétnějších návrhů na testování různých kritických situací a následuje výčet některých rizikových situací, ke kterým běžně dochází a AD vozidla by s nimi mohla mít problém.

Praktickou část uzavírá měření jednoho ze scénářů. Předmětem testování byly asistenční systémy dvou různých vozidel, které mají eliminovat čelní srážky. Vozidlo A bylo vybaveno systémy ACC a Front Assist. Kombinace těchto dvou systémů fungovala nejlépe při nastavení na maximální možný odsup od předchozího vozidla a také při vyšších rychlostech. Rychlost 30 km/h byla pro fungování systému nejspíše moc nízká. ACC tohoto vozidla je řešený spíše pro využití na dálnici. Systém v žádném z pokusů nezvládl za předchozím stojícím vozidlem dobrzdit do zastavení. Přesto ve vyšších stupních nastavení odstupů od předchozího vozidla ve většině případů začal brzdit, a snížil by tak následky nehody.

Vozidlo B vybavené systémem AEB fungovalo výrazně lépe v krajních mezích nastavení odstupů od předchozího vozidla, tedy na úrovni 1 a 4. Při těchto nastaveních testovací vozidlo několikrát dobrzdilo před stojícím vozidlem až do zastavení. Nejlepší výsledky mělo při nižších rychlostech do 50 km/h.

Závěrem je nutné ale říct, že pro jednoznačnější závěry by byla potřeba více opakování na více testovacích objektech. Přesto věřím, že poznatky získané při tvorbě této práce a zkušenosti z měření využiji i v budoucnu ve své další práci.

7 Použité zdroje

- [1] SAE International Releases Updated Visual Chart for Its “Levels of Driving Automation” Standard for Self-Driving Vehicles. SAE International [online]. [cit. 22. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.sae.org/news/press-room/2018/12/sae-international-releases-updated-visual-chart-for-its-%E2%80%9Clevels-of-driving-automation%E2%80%9D-standard-for-self-driving-vehicles>
- [2] PIKSA, Ondřej. Sensorické systémy autonomních vozidel. Praha, 2018. [cit. 21. 3. 2020]. Diplomová práce. Fakulta dopravní, ČVUT.
- [3] Sensors. Continental [online]. [cit. 21. 3. 2020]. Dostupné z: <https://www.continental-automotive.com/en-gl/2-Wheeler/Safe-Mobility/Sensors>
- [4] Návod k obsluze Volvo V90 Crosscountry [online]. [cit. 21. 3. 2020]. Dostupné z: <https://www.volvocars.com/cz/support/manuals/v90-cross-country/2020-early>
- [5] Kuga Vignale Návod k obsluze pro vlastníky [online]. [cit. 21. 3. 2020]. Dostupné z: http://www.fordservicecontent.com/Ford_Content/vdirsnet/OwnerManual/Home/Index?Variantid=7842&languageCode=CS&countryCode=CZE&marketCode=WD&bookcode=O181667&VIN=&userMarket=CZE&div=f
- [6] Automatizace dopravy. Proelektrotechniky.cz [online]. [cit. 23. 3. 2020]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/automatizace-dopravy.php>
- [7] Touareg. Volkswagen Group [online]. [cit. 15. 4. 2020]. Dostupné z: <https://www.volkswagen.cz/modely/touareg/system-proaktivni-ochrany-cestujicich-precrash>
- [8] Bezpečnost, Tarraco. Seat [online]. [cit. 21. 4. 2020]. Dostupné z: <https://www.seat.cz/tarraco/bezpecnost>
- [9] Bezpečnost na vysoké úrovni. Volvo Cars [online]. 2018. [cit. 15. 4. 2020]. Dostupné z: <http://www.volvodirect.cz/download/volvo-vize-bezpecnosti-2018.pdf>
- [10] Pre-crash safety technology. Mazda [online]. [cit. 15. 4. 2020]. Dostupné z: https://www.mazda.com/en/innovation/technology/safety/precrash_safety/
- [11] Bezpečnost. Mercedes-Benz [online]. [cit. 5. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.cz/passengercars/mercedes-benz-cars/models/e-class/saloon-w213/safety/highlights.module.html>

- [12] Pink Noise: Pre-Safe® Sound available in the new E-Class, kanál uživatele Mercedes-Benz, YouTube [online]. 18. 12. 2015. [cit. 16. 4. 2020]. Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.com/en/innovation/connected/pre-safe-sound-playing-pink-noise-in-the-split-second-before-impact/>
- [13] Integrované bezpečnostní systémy. Bosch [online]. [cit. 16. 4. 2020]. Dostupné z: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driving-safety-systems/integrated-safety-systems/>
- [14] World's First Pre-crash External Side Airbag Systém. eMove360° [online]. 2. 7. 2019. [cit. 16. 4. 2020]. Dostupné z: <https://www.emove360.com/worlds-first-pre-crash-external-side-airbag-system/>
- [15] ZF Releases New Active Control Retractor Seat Belt Systém. ZF Friedrichshafen AG [online]. 25. 9. 2018. [cit. 26. 4. 2020]. Dostupné z: https://press.zf.com/press/en/releases/release_2985.html
- [16] Pegasus [online]. 14. 5. 2019. [cit. 2. 5. 2020]. Dostupné z: <https://www.pegasusprojekt.de/en/home>
- [17] Project CETRAN – How TÜV SÜD is collaborating with Singapore to prepare for the automated driving revolution. TÜV SÜD [online]. 2017 [cit. 11. 5. 2020]. Dostupné z: <https://www.tuvsud.com/en/e-ssentials-newsletter/automotive-essentials/e-ssentials-2-2017/project-cetran-preparation-for-the-automated-driving-revolution>
- [18] Centre of Excellence for Testing & Research of AVs - NTU (CETRAN). Nanyang Technological University Singapore [online]. [cit. 11. 5. 2020]. Dostupné z: <http://erian.ntu.edu.sg/Programmes/IRP/FMSs/Pages/Centre-of-Excellence-for-Testing-Research-of-AVs-NTU-CETRAN.aspx>
- [19] KILIÁN, Karel. Proč autonomní auta najíždějí v simulátorech více kilometrů než na silnicích? VTM.cz. [online]. 4. 8. 2018. [cit. 11. 5. 2020]. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/proc-autonomni-auta-najizdeji-v-simulatorech-vice-kilometru-nez-na-silnicich/sc-870-a-194440/default.aspx>
- [20] ŠIDLÁK , Martin. Víme jak bude vypadat tajný testovací okruh BMW u Sokolova. iDNES.cz [online]. 4. 10. 2019. [cit. 11. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/testovaci-areal-bmw-sokolov-podkrusnohori.A190930_140321_automoto_fdv

- [21] Accolade připravuje testovací polygon pro autonomní auta u Stříbra. Accolade [online]. 25. 10. 2017. [cit. 11. 5. 2020]. Dostupné z: <https://accolade.eu/aktuality/92/accolade-pripravuje-testovaci-polygon-pro-automni-auta-u-stribra>
- [22] PATÍKOVÁ, Nikol. Jak naučit auta řídit? Michiganská univerzita jim vystavěla malé městečko. 100+1 [online]. [cit. 1. 5. 2020]. Dostupné z: <https://www.stoplusjednicka.cz/jak-naucit-auta-ridit-michiganska-univerzita-ijim-vystavela-male-mestecko>
- [23] Mcity Test Facility Features. Mcity University of Michigan [online]. [cit. 6. 8. 2020]. Dostupné z: <https://mcity.umich.edu/our-work/mcity-test-facility/>
- [24] Mercedes má testovací polygon snů. Prověřuje i auta budoucnosti. Novinky.cz [online]. 3. 11. 2019. [cit. 11. 5. 2020]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/auto/clanek/mercedes-ma-testovaci-polygon-snu-proveruje-i-auta-budoucnosti-40302004>
- [25] DEWINE, Mike. Re-establishing DriveOhio as the Statewide Center for Smart Mobility [online]. 25. 10. 2019. [cit. 28. 4. 2020]. Dostupné z: http://custom.statenet.com/public/resources.cgi?id=ID:exec_order:OH201926&ciq=ncsl&client_md=8f068ef63086aa6a6976c427d0eb7a34&mode=current_text
- [26] MARK SMITH, Lamont a ANKEL Sophia. Singapore is opening up more than 600 miles of public roads to test self-driving cars [online]. 24. 10. 2019. [cit. 26. 4. 2020]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/600-miles-public-roads-close-singapore-test-self-driving-cars-2019-10?amp>
- [27] KOIZUMI, Masumi. CEATEC 2019 features driverless shuttle bus and avatar tech among exhibits [online]. 15. 10. 2019. [cit. 11. 5. 2020]. Dostupné z: <https://www.japantimes.co.jp/news/2019/10/15/business/tech/ceatec-2019-features-driverless-shuttle-bus-avatar-tech-among-exhibits/#.Xm9zCahKjQB>
- [28] Driverless bus demo at Roppongi Hills, kanál uživatele The Japan Times, YouTube [online]. 11. 7. 2016. [cit. 18. 5. 2020]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=N_2G4hkU4Xo
- [29] Self-Driving Shuttle Bus System Trial Makes Slow And Cautious Start In Chiba. Getty Images [online]. 1. 8. 2016. [cit. 12. 5. 2020]. Dostupné z: <https://www.gettyimages.com/detail/video/unmanned-self-driving-buses-began-ferrying-passengers-on-news-footage/585580076>

- [30] 5G driverless smart bus on trial runs in Zhengzhou, China, kanál uživatele New China TV, YouTube [online]. 19. 6. 2019. [cit. 18. 5. 2020]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=97jA9fGjHok>
- [31] 100 Yutong full electric buses delivered to Guangdong. Yutong [online]. 31. 3. 2020. [cit. 12. 5. 2020]. Dostupné z: <https://en.yutong.com/pressmedia/yutong-news/2020/2020DALZoPmUm6.html>
- [32] Evropská hospodářská komise. Proposal for a new UN Regulation on uniform provisions concerning the approval of vehicles with regards to Automated Lane Keeping System. Ženeva, červen 2020. [cit. 18. 7. 2020].
- [33] Zákon 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích/ČÁST PRVNÍ/HLAVA II/Díl 3/Oddíl 1/§ 30. [cit. 17. 7. 2020].
- [34] Konečně. Auta budou umět správně předjíždět cyklisty. Forbes [online]. [cit. 2. 8. 2020]. Dostupné z: <https://www.forbes.cz/konecne-auta-budou-umet-spravne-predjizdet-cyklisty/>
- [35] Upozornění na nebezpečí kolize – detekce cyklistů. Volvo cars. 23. 7. 2018. [cit. 1. 8. 2020]. Dostupné z: <https://www.volvocars.com/cz/support/manuals/s60/2018/podpora-ridice/system-varovani-pred-srazkou/upozorneni-na-nebezpeci-kolize---detekce-cyklistu>
- [36] Pilotní lokality. C-roads Czech republic [online]. [cit. 13. 4. 2020]. Dostupné z: <https://c-roads.cz/c-roads/pilotni-lokality/>
- [37] ŠKODA AUTO a.s. Návod k obsluze, Škoda Karoq. Listopad 2019. [cit. 14. 7. 2020].
- [38] Kia MOTORS Corp. Příručka pro majitele, Kia Niro. 2017. [cit. 14. 7. 2020].
- [39] DVOŘÁK, Jakub. Speciální moduly. Autoprofi. Září 2019. [cit. 13. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.tuv-sud.cz/uploads/images/1568211034508822570405/autoprofi-zari-2019-specialni-moduly.pdf>

8 Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 - Vizualizace testovacího polygonu BMW na Sokolovsku. Zdroj: BMW. [20]..... | 9 |
| Obrázek 2 - Návrh testovacího areálu u Stříbra. [21] | 10 |
| Obrázek 3 – Immerdingen. Zdroj: Mercedes-Benz. [24]..... | 11 |
| Obrázek 4 - Plánek testovacího areálu Mcity. [23] | 11 |
| Obrázek 5 - Fotografie místa pro scénář č. 1, přiblížená (Zdroj: Google Street View) | 14 |
| Obrázek 6 - Fotografie místa pro scénář č. 1 (Zdroj: Google Street View) | 14 |
| Obrázek 7 - Vozidlo stojící před odbočkou vlevo..... | 15 |
| Obrázek 8 - Situace se sporným použitím směrových světel (Zdroj – Google maps, vlastní zdroj) | 17 |
| Obrázek 9 - Předjíždění cyklisty..... | 18 |
| Obrázek 10 - Přehlédnutí motocyklisty..... | 20 |
| Obrázek 11 - Vzdálenosti pro úhybné manévry označené dopravními kužely | 21 |
| Obrázek 12 - Měkký cíl | 23 |
| Obrázek 13 - Měkký cíl | 23 |
| Obrázek 15 - Palubní počítač vozidla Škoda Karoq a nastavení rozestupu od předchozího vozidla na minimální | 24 |
| Obrázek 14 - Palubní počítač vozidla Škoda Karoq a nastavení rozestupu od předchozího vozidla na maximální | 24 |
| Obrázek 16 - Palubní počítač vozidla Kia Niro značící deaktivovaný AEB | 25 |
| Obrázek 17 - Palubní počítač vozidla Kia Niro značící aktivovaný AEB | 25 |
| Obrázek 18 - Palubní počítač vozidla Kia Niro; šipka označuje aktuální nastavení rozestupu od předchozího vozidla | 25 |
| Obrázek 19 - Varování (vozidlo A) | 28 |
| Obrázek 20 - Zásah systému (vozidlo A) | 28 |
| Obrázek 21 - Varování (vozidlo B) | 31 |
| Obrázek 22 - Zásah systému (vozidlo B) | 31 |
| Obrázek 23 - Dobrzdění do zastavení vozidla (vozidla B) | 32 |

9 Seznam tabulek

| | |
|---|--|
| Tabulka 1 - Senzory na autonomních vozidlech..... | Chyba! Záložka není definována. |
| Tabulka 2 - Výsledky měření vozidla A | 27 |
| Tabulka 3 - Výsledky měření vozidla B | 30 |