



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta dopravní
Ústav bezpečnostních technologií a inženýrství**

Aplikace autonomních vozidel do běžného provozu

Application of Autonomous Vehicles to Normal Operation

Diplomová práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Bezpečnost dopravních prostředků a cest

Vedoucí práce: JUDr. Milena Macková

Ing. Václav Jirovský, Ph.D.

Bc. Michal Kluc

Praha 2016



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní
d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1

K623Ústav bezpečnostních technologií a inženýrství

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Michal Kluc

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – BD – Bezpečnost dopravních prostředků a cest

Název tématu (česky): **Aplikace autonomních vozidel do běžného provozu**

Název tématu (anglicky): Application of Autonomous Vehicles to Normal Operation

Zásady pro vypracování

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

- Problematika autonomních vozidel - vývoj, současný stav, spolehlivost
- Metody automatického řízení vozidel - řídicí algoritmy, senzory
- Související právní normy autonomních vozidel
- Případová studie - nehody zaviněné asistenčními a jinými systémy, metodika zkoušení a testování
- Zhodnocení analýzy problému, závěry a doporučení

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: Autonomous Vehicle Technology - A guide for policymakers
KPMG Self-driving cars: The next revolution
Google Self-Driving Car Project Monthly Reports

Vedoucí diplomové práce: **JUDr. Milena Macková**
Ing. Václav Jirovský, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2015**
(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: **30. listopadu 2016**
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. Václav Jirovský, CSc.
vedoucí
Ústavu bezpečnostních technologií a inženýrství


L.S.


prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.


Bc. Michal Kluc
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 3. června 2016

Prohlášení

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

„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.

V Praze dne

.....

Podpis

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucím práce paní JUDr. Mileně Mackové a panu Ing. Václavu Jirovskému, Ph.D.

Abstrakt

Práce se zabývá aplikací autonomních vozidel do běžného provozu. Je popsáno, jakým způsobem lze umožnit provoz autonomních vozidel ve Spojených státech Amerických, Evropské unii a České republice. Byla navržena změna zákonů v České republice. Dále se práce zabývá algoritmem a simulací pro výpočet vyhýbacího manévru pro autonomní vozidlo. Dále výpočtem brzdné vzdálenosti autonomního vozidla. Byly uvedeny případové studie a zkušební metody autonomních vozidel. Byla popsána SWOT analýza a rizika. Dále byla navržena doporučení pro provoz autonomních vozidel v běžném provozu.

Abstract

The work deals with the application of autonomous vehicles to normal operation. It describes how can be enable the operation of autonomous vehicles in the United States, the European Union and the Czech Republic. It was proposed to change laws in the Czech Republic. Further the work deals with algorithms and simulations to calculate the evasive maneuver for autonomous vehicle. Further calculated braking distance of autonomous vehicles. Work describes case studies, testing methods of autonomous vehicles, SWOT analysis and risks. They were given recommendations for autonomous vehicles in normal operation.

Obsah

1	Úvod	9
2	Problematika autonomních vozidel	10
2.1	Definice autonomního vozidla - USA	10
2.2	Definice autonomního vozidla – J3016 SAE International.....	11
2.3	Vývoj a současný stav	12
2.4	Přínos autonomních vozidel – spolehlivost a bezpečnost, emise, spotřeba	13
3	Řídicí algoritmy a senzory	14
3.1	Senzory	14
3.2	Řídicí algoritmus	16
4	Právní normy autonomních vozidel.....	18
4.1	Vídeňská úmluva o silničním provozu 1968.....	18
4.2	Česká republika	20
4.2.1	Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích	20
4.3	Evropská unie	22
4.3.1	eIMPACT	24
4.4	Spolková republika Německo	28
4.4.1	Digitální dálnice A9, Spolková republika Německo	30
4.5	Spojené státy americké.....	31
4.5.1	Nevada (NRS 482.A and NAC 482.A)	32
4.5.2	Florida (Fla. Stat. Title XXIII, Ch. 319, S 145)	33
4.5.3	California (Cal. Veh. Code, Division 16.6).....	34
4.5.4	Washington, D.C. (L19-0278)	35
4.6	Autonomní vozidla Google	36
4.6.1	Lexus RX450h	36
4.6.2	Google Self-Driving Car Project	36
4.7	Mercedes-Benz Actros Highway Pilot.....	38
4.8	Audi piloted driving	39
4.9	Volvo Drive Me	40
4.10	AB Dynamics	42
4.11	Metodika zkoušení a testování	43

4.12	Kolik ujetých milí bude třeba pro prokázání spolehlivosti autonomních vozidel 47	
5	Aplikace autonomních vozidel do běžného provozu.....	48
5.1	Česká republika.....	50
5.1.1	Návrh právních předpisů.....	50
5.1.2	Provozování autonomních vozidel.....	52
5.1.3	Novela zákona o provozu na pozemních komunikacích.....	54
5.1.4	Ochrana osobních údajů.....	55
5.2	Odpovědnost za provoz vozidla v autonomním režimu.....	57
6	Rizika a bezpečnost.....	58
6.1	SWOT analýza.....	58
6.2	What-if analýza.....	59
6.3	Vyhodnocení analýz SWOT a What-If.....	60
7	Případová studie pro autonomní vozidlo.....	61
7.1	Nehody způsobené autonomními vozidly (autonomní řízení).....	61
7.1.1	Nehoda Lexus RX450h - autobus, 14. února 2016.....	61
7.1.2	Nehoda Tesla Model S – kamion, 7. květen 2016.....	64
7.2	Vyhodnocení situace pro nehodu Tesla model S a kamion.....	66
7.3	Kinematika hmotného bodu.....	67
7.4	Vyhýbací manévr.....	68
7.4.1	Vyhýbací manévr s dvěma kružnicovými oblouky.....	69
7.4.2	Poloměr.....	69
7.5	Vyhýbací manévr s dvěma kružnicovými oblouky a tečnou úměrnou poloměřům.....	70
7.5.1	Vývojový diagram algoritmu výpočtu vyhýbacího manévru s dvěma kružnicovými oblouky a tečnou.....	71
7.5.2	Způsob výpočtu vyhýbacího manévru s kružnicovými oblouky a tečnou.....	72
7.5.3	Doba příčného přemístění.....	72
7.5.4	Podmínka pro autonomní vozidlo.....	75
7.5.5	Počáteční kružnicový oblouk.....	75
7.5.6	Tečna.....	77
7.5.7	Koncový kružnicový oblouk.....	79
7.5.8	Intervaly pro určení polohy autonomního vozidla.....	81
7.6	Výpočet - kamion se nepohybuje, Tesla se pohybuje.....	82

7.6.1	Vyhýbací manévr s kružnicovými oblouky a tečnou	82
7.6.2	Bezkolizní zastavení před kamionem (překážkou)	85
7.7	Výpočet - kamion se pohybuje, Tesla se pohybuje	86
7.7.1	Přibrzdění / zrychlení autonomního vozidla Tesla model S	87
7.7.2	Vyhýbací manévr s kružnicovými oblouky a tečnou	89
7.8	Opravný algoritmus při použití klotoidy	90
7.8.1	Obecná rovnice klotoida	90
7.8.2	Opravný algoritmus při použití přechodnice – kružnicový oblouk, klotoida	91
7.8.3	Parametry přechodnice klotoidy	93
7.8.4	Opravný algoritmus pro vyhýbací manévr $x=4,5$ m, součinitel adheze 0,9	95
7.9	Závěr nehody kamion, Tesla model S	96
7.10	Výpočet limitní vzdálenosti LIDARu pro rychlost 130 km/h (limit v Německu)	96
8	Závěr	98
	Seznam použité literatury	100
	Seznam obrázků	105
	Seznam tabulek	106

Příloha

- I. Žádost k registraci autonomního vozidla
- II. Žádost k testování autonomního vozidla a registrace řidiče
- III. Znění zákona pro autonomní vozidla v Kalifornii
- IV. Žádost pro testování autonomních vozidel v Kalifornii
- V. Protokol o nehodě Google Lexus 14. února 2016
- VI. eIMPACT - Metoda hodnocení na papíře, Lane Keeping System
- VII. Algoritmus simulace dvou kružnicových oblouků a tečny v programu Scilab
- VIII. Algoritmus pro výpočet parametrů klotoidy v program Scilab
- IX. Návrh novely zákona o provozu na pozemních komunikacích pro provoz autonomních vozidel
- X. Protokol o nehodě autonomního vozidla Tesla model S a kamionu

1 Úvod

Autonomní vozidla v současné době nejsou ve velké míře provozována, avšak v posledních letech tato kategorie vozidel zaznamenala podstatný konstrukční vývoj. Úroveň technologie, automatického řízení a senzorů se stále zdokonaluje. Mnoho výrobců osobních vozidel zahájilo vlastní výzkum autonomních vozidel. Je to kategorie vozidel, která by mohla v budoucnosti přinést výhody jako je vyšší bezpečnost, spolehlivost a nižší spotřeba energie. Některé státy již mají právní normy pro provoz autonomních vozidel na pozemních komunikacích.

Diplomová práce se zabývá analýzou a aplikací autonomních vozidel do běžného života.

2 Problematika autonomních vozidel

Autonomní vozidlo je vozidlo, které je řízeno automaticky. Částečně nebo plně bez řidiče. Člověk jako řidič ovládá určité prvky vozidla, podle úrovně autonomního vozidla. Od prostého řízení po plně autonomní systém vozidla, kde člověk určí cíl cesty a nemusí se věnovat řízení vozidla.

2.1 Definice autonomního vozidla - USA

Národní úřad bezpečnosti dálničního provozu v USA (National Highway Traffic Safety Administration) rozděluje autonomní vozidla do pěti úrovní [1].

Úroveň 0, žádná automatizace - Řidič plně ovládá primární řízení vozidla (brzdění, řízení, zrychlení) v každém čase jízdy a je zodpovědný za kontrolu vozovky a bezpečných činností na vozidle. Žádný systém není oprávněn zasahovat do řízení vozidla. Asistenční systémy pouze upozorňují řidiče (forward collision warning, lane departure warning, blind spot monitoring).

Úroveň 1, specifické funkce automatizace – Automatizace této úrovně specifikuje jednu nebo více specifických funkcí řízení. Pokud je více funkcí automatizováno, každá funkce pracuje nezávisle. Řidič řídí vozidlo a je zodpovědný za bezpečnost obsluhy vozidla a může použít automatickou funkci pro ovládání primárního řízení (adaptive cruise control). Vozidlo může převzít omezenou pravomoc nad primárním řízením (elektronická kontrola stability). Nebo automatický systém může poskytnout přídavnou kontrolu jako pomoc řidiči v běžné jízdě nebo při hrozící situaci střetu (dynamic brake support). Vozidlo může mít více možností individuálně podporovat řidiče, ale nenahrazuje bdělost řidiče a odpovědnost za řízení je na řidiči. Automatický systém vozidla může ovládat primární ovládání vozidla – řízení, zrychlení / brzdění (nesmí ovládat oba zároveň). Řidič vozidla nesmí sundat ruce z volantu a nohy z pedálů ve stejném čase. Příklad: cruise control, automatic braking, and lane keeping.

Úroveň 2, kombinované funkce automatizace – Úroveň této automatizace zahrnuje nejméně dvě primární funkce řízení. Řidič je zodpovědný za kontrolu vozovky a bezpečnou obsluhu a je od něho očekáváno kdykoliv převzít řízení v jakýkoliv čas. Řidič vozidla může sundat ruce z volantu a nohy z pedálů ve stejný čas. Příklad: kombinace adaptive cruise control a lane centering.

Úroveň 3, omezená samostatně řídicí automatizace – Řidič se nemusí věnovat řízení. Od řidiče je očekáváno příležitostné řízení. Vozidlo je navrženo pro zajištění bezpečného provozu v průběhu automatizovaného jízdního režimu. Pokud vozidlo není schopné řídit automaticky, předá řízení vozidla řidiči tak, aby měl řidič čas převzít řízení vozidla. Rozdíl mezi úrovní 2 a 3, řidič nemusí kontrolovat při jízdě vozovku.

Úroveň 4, plná samostatně řídicí automatizace – Vozidlo je navrženo na všechny bezpečnostně kritické jízdní funkce a kontroluje podmínky na vozovce. Řidič určí destinaci a není od něho očekáván žádný zásah do řízení v průběhu jízdy. Zahrnuje vozidla s řidičem i bez řidiče v průběhu jízdy.

NHTSA: Některé státy v USA ve svých zákonech označují řidiče i osobu, která aktivuje vozidlo a není již přítomná ve vozidle.

2.2 Definice autonomního vozidla – J3016 SAE International

Sdružení odborníků z oblasti automobilového průmyslu navrhli normu J3016.

Definuje:

- 6 úrovní automatizace – žádná automatizace, plná automatizace
- Základní definice a limity na funkční aspekty technologie
- Popisuje rozlišení mezi jednotlivými úrovněmi
- Je v souladu s průmyslovou praxí
- Odstraňuje nejasnosti a jsou užitečná v celé řadě oborů (strojírenství, právní)
- Vzdělává širší komunitu vysvětlením každé úrovně, jakou má roli řidič (pokud vůbec nějakou má) při provádění dynamických jízdních úkonů, když je zapnutý autonomní systém

Zásadní rozdíl mezi prováděním dynamických jízdních úkonů, řidiče a autonomního jízdního systému je mezi úrovní 2 a úrovní 3.

Tab. 1: Úrovně řízení podle SAE J3016 (přeloženo z [2])

SAE úroveň	Název	Definice	Provádění řízení a akcelerace / zpomalení	Kontrola řízení	Nouzové provádění dynamických jízdních úkonů	Jízdní režimy (možnosti systému)
<i>Člověk řidič kontroluje řízení</i>						
0	Žádná automatizace	Po celou dobu jízdy člověk řidič provádí dynamické jízdní úkony, i když je upozorněn výstražnými a intervenčními systémy.	Člověk řidič	Člověk řidič	Člověk řidič	Nelze použít
1	Asistenční	Specifické jízdní režimy jsou	Člověk	Člověk	Člověk	Některé

	systém	vykonány asistenčním systémem. Řízení nebo zrychlení / zpomalení a očekává, že člověk řidič vykonává všechny zbývající jízdní úkony.	řidič a systém	řidič	řidič	jízdní režimy
2	Částečná automatizace	Specifické jízdní režimy jsou vykonány jedním nebo více asistenčními systémy (řízení, zrychlení / zpomalení) a očekává, že člověk řidič vykonává všechny zbývající aspekty dynamických jízdních úkonů.	Systém	Člověk řidič	Člověk řidič	Některé jízdní režimy
Automatický jízdní systém („systém“) kontroluje řízení						
3	Podmíněná automatizace	Specifický jízdní režim je vykonáván automatickým jízdním systémem, všech dynamických jízdních úkonů. Očekává od člověka řidiče, že bude přiměřeně reagovat na žádost k zásahu.	Systém	Systém	Člověk řidič	Některé jízdní režimy
4	Vysoká automatizace	Specifický jízdní režim je vykonáván automatickým jízdním systémem, všech dynamických jízdních úkonů. Člověk řidič nemusí vhodně reagovat na žádost k zásahu.	Systém	Systém	Systém	Některé jízdní režimy
5	Plná automatizace	Po celou dobu jízdy jsou všechny aspekty řízení a dynamické jízdní úkony vykonávány automatickým jízdním režimem na všech vozovkách a za jakýchkoliv přírodních podmínek, za kterých může řídit člověk řidič.	Systém	Systém	Systém	Všechny jízdní režimy

2.3 Vývoj a současný stav

První autonomní vozidlo bylo představeno v roce 1977 v Japonsku. Vozidlo bylo vyvíjeno konstruktérem Tsugawa a jeho spolupracovníky na Tsukuba Mechanical Engineering Laboratory. Vozidlo dosahovalo maximální rychlosti přibližně 32 km/h (20 mph).

V současné době jsou nově vyráběná vozidla vybavována asistenčními systémy, které se řadí do poloautomatického řízení vozidel. Například Škoda Superb modelový rok 2015 má ve výbavě Front Assist (varování před kolizí a aktivace brzy ve snaze zmírnit její následky), Lane Assist (prvek dokáže rozpoznat, že řidič nevědomky vyjíždí z jízdního pruhu, zobrazit vizuální varování na přístrojovém panelu a iniciovat korekci řízení) [3]. Další výrobci jako jsou Audi, Volkswagen, BMW, Volvo a jiní používají ve svých nových modelech poloautomatické systémy. Zpravidla u vozidel vyšších tříd.

Mercedes-Benz má ve svých vozidlech vysoce sofistikované poloautomatické systémy pro zajištění bezpečnosti při řízení vozidla. Mercedes-Benz testuje autonomní

vozidlo modelu „S 500 Intelligent drive“ [4]. V roce 2015 Mercedes-Benz/Daimler otestoval autonomní nákladní vůz Actros s návěsem na dálnici A8 nedaleko Stuttgartu [5].

V současné době je nejdále ve vývoji autonomního vozidla společnost Google. Testovací vozidla byla Toyota Prius, Audi TT a Lexus RX450h. V roce 2015 již Google používá jen vozidla značky Lexus RX450h a vyvíjí vlastní prototyp vozidla.

2.4 Přínos autonomních vozidel – spolehlivost a bezpečnost, emise, spotřeba



Autonomní vozidla a asistenční systémy mají přínos v oblasti bezpečnosti. Asistenční systémy reagují daleko rychleji než člověk. Odhaduje se, že v případě vybavení všemi vozidly asistenčními systémy jako je „varování před srážkou“ nebo „lane assist“ by mohly snížit nehodovost až o 30%. Tyto prvky jsou používané v nově vyráběných vozidlech vyšších tříd a zasahují do řízení nezávisle na řidiči v případě vzniklé rizikové situaci. Nařízením Evropského parlamentu a rady (ES) č. 661/2009 od 1. listopadu 2014 musí být všechny nově vyrobená a provozovaná osobní vozidla a lehká užitková vozidla (do 3,5t) v Evropské unii povinně vybavena systémem elektronickým stabilizačním programem ESP/DSC. Autonomní vozidla mohou snížit spotřebu energie v dopravě a také nižší produkci emisí díky algoritmům řízení, které zajišťují hladší průběh řízení a změny rychlosti vozidla. V budoucnosti může být výhodou autonomní vozidlo ve velkých městech, kde není možnost parkování. Autonomní vozidlo by přepravilo cestujících do místa určení ve městě a samo by odjelo mimo město na parkoviště určené pro tyto vozidla. V případě, že by chtěl cestující odjet z města, mohl by například pomocí telefonu a mobilní aplikace určit svojí polohu a vozidlo by pro cestujícího přijelo. Cestující by ušetřil čas, který by jinak vynaložil při hledání vhodného parkovacího místa. Vozidla Google mají za sebou více než 1,268,108 milí k 31. říjnu 2015 a dosahují vysoké spolehlivosti autonomního řízení, ale od začátku projektu v roce 2009 došlo k několika nehodám při použití autonomního systému.




3 Řídící algoritmy a senzory

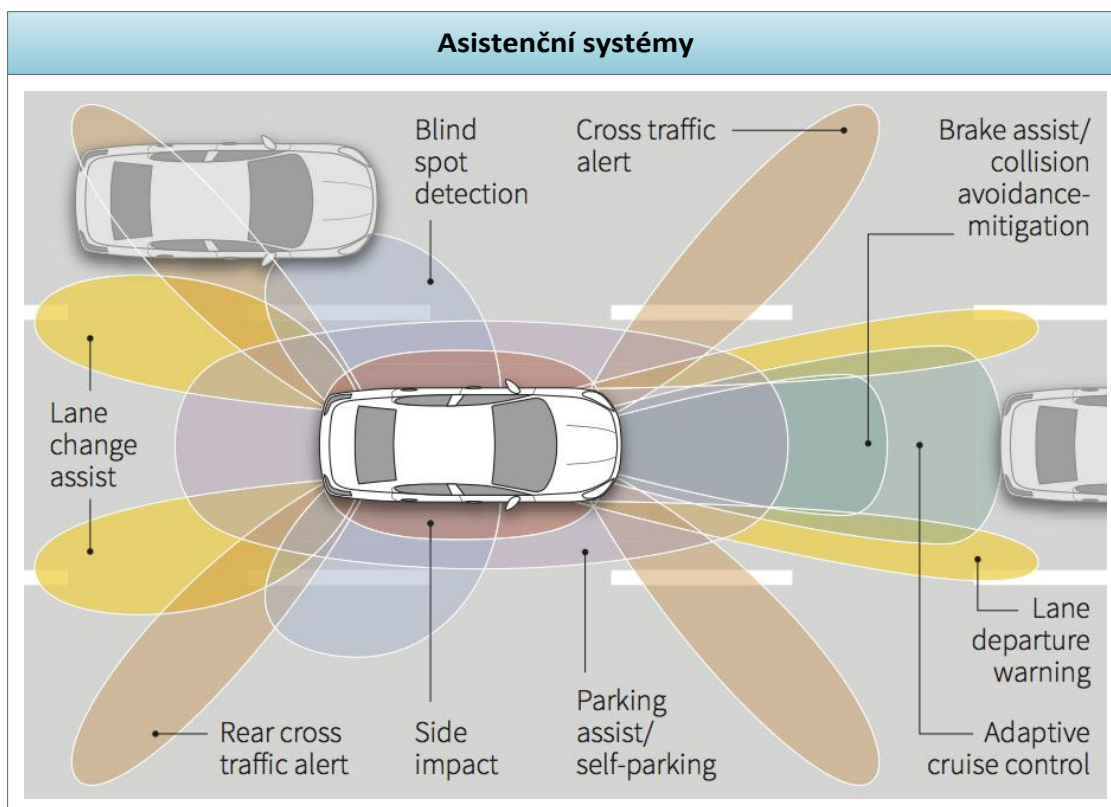
Řídící algoritmy a senzory jsou nejdůležitější pro provoz asistenčních systémů a autonomních vozidel. V případě provozu plně autonomního systému je nutné, aby vozidlo dokázalo plně rozpoznat své okolí, kde se pohybuje. Součástí určení polohy je zařízení pro určení polohy GPS a inerciální navigační systém. Senzory vozidla musí být kvalitní a vysoce spolehlivé. Systém vozidla by měl rozpoznat závadu na systému a včas informovat řidiče, případně vypnout daný prvek systému. Vozidla obsahují celou řadu senzorů pracujících na různých fyzikálních principech.

3.1 Senzory

Tab. 2: Senzory ve vozidle

Název senzoru / parametry	Popis
<p>Velodyne LIDAR HDL-64E</p> <p>Až 120m vzdálenost 2,2 milionu bodů za sekundu 64 laserů / detektorů $\lambda=905$ nm</p>	<p>Určuje vzdálenost objektů v prostoru 360° s použitím pulsního laseru</p> <p>Používá se u autonomních vozidel Google Lexus RX450h</p> 
<p>Multi Function Camera with Lidar</p> <p>Max. rozdíl rychlostí 50 km/h</p>	<p>Pro systémy nouzového brzdění</p> 
<p>Short Range Lidar</p> <p>Max. rychlost 50 km/h Max. rozdíl rychlostí 25 km/h</p>	<p>Pro systémy nouzového brzdění v městském prostředí</p> 
<p>Long range radar</p> <p>Frekvence 77 GHz</p>	<p>Pro adaptivní tempomat, systém nouzového brzdění, varování před čelní kolizí</p> 

<p>Short Range Radar Frekvence 24 GHz</p>	<p>Detekce slepého úhlu</p>	
<p>Multi Function Mono Camera</p>	<p>Lane keeping system, lane departure warning</p>	
<p>Multi Function Stereo Camera</p>	<p>Pro systém nouzové brzdění a rozeznání přechodů Stereo kamera umožňuje měřit vzdálenost objektů</p>	



Obr. 1: Asistenční systémy [6]

3.2 Řídící algoritmus

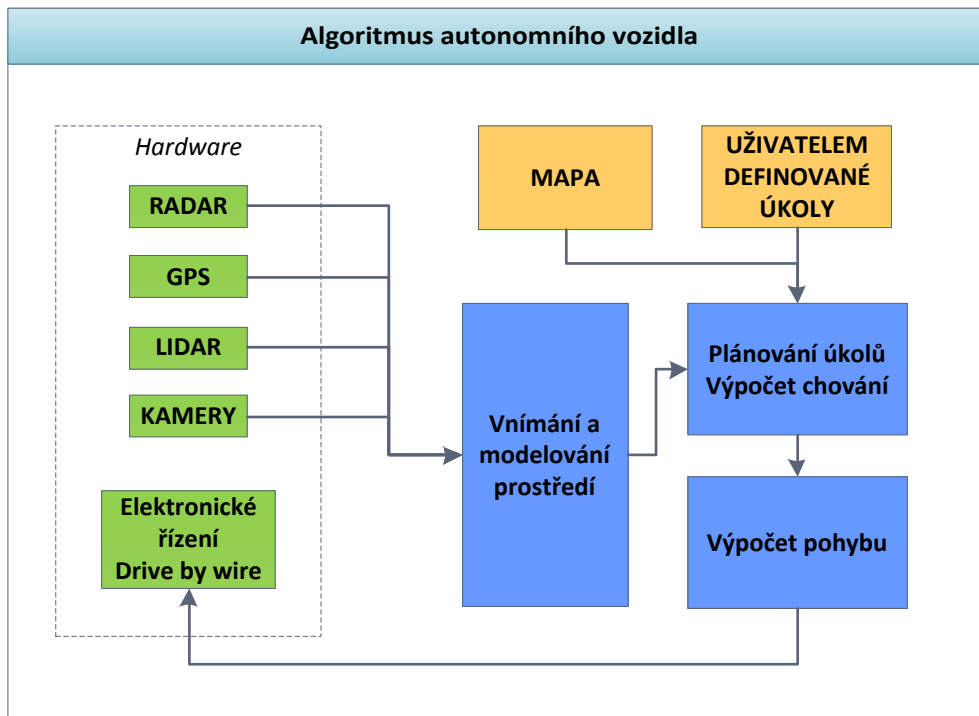
Autonomní vozidlo

System autonomního vozidla se skládá z hardwaru, výpočetní jednotky a vstupů od uživatele. Uživatel definuje úkol jako je cíl cesty a případně určí trasu jízdy na mapě. Tyto úkoly jsou vstupní data pro výpočetní jednotku autonomního vozidla. Dalšími vstupy jsou hodnoty ze senzorů: radar, gps, lidar a kamery. Pomocí senzorů si systém modeluje prostředí kolem vozidla. Pro autonomní jízdu je důležité, aby vozidlo mělo správně vymodelované prostředí kolem sebe, jako jsou ostatní účastníci provozu: vozidla, cyklisti, chodci apod. Následně se vypočítává chování a výpočet pohybu vozidla. Vozidlo je řízeno z jednotky výpočtu pohybu vozidla, která posílá příkazy do elektronického řízení vozidla.

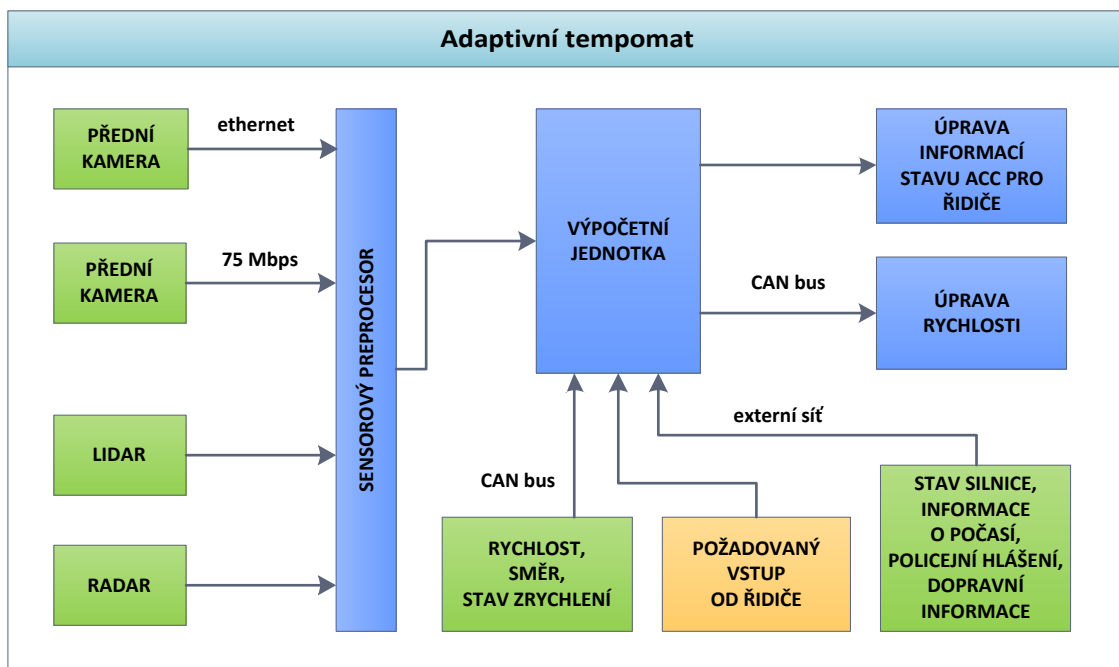
Schéma řídicího algoritmu je zjednodušené. Pro autonomní vozidlo se používají různé technologie vnímání prostředí a vyhodnocení. Důležité jsou také zpětné vazby do výpočetní jednotky chování a pohybu.

Adaptivní tempomat

System adaptivního tempomatu se skládá ze senzorů (kamery, radar, lidar), kamery jsou připojeny do systému ethernetem, preprocesoru – zpracovává data ze senzorů tak, aby mohly být dále zpracovány výpočetní jednotkou, výpočetní jednotka vyhodnocuje situaci podle dat ze senzorů a dat z ostatních senzorů vozidla ze sběrnice CAN bus (rychlost, směr jízdy, stav zrychlení) a stavu z externí sítě (stav silnice, informace o počasí, policejní hlášení, dopravní informace). Vstup od řidiče je požadovaná rychlost. Výpočetní jednotka vyhodnotí situaci a přes sběrnici CAN bus pošle požadavek na úpravy rychlosti vozidla a úpravu informací stavu ACC pro řidiče (display s informacemi o funkci ACC).



Obr. 2: Algoritmus autonomního vozidla



Obr. 3: Algoritmus adaptivního tempomatu (přeloženo a upraveno z [7])

4 Právní normy autonomních vozidel

Pro uvedení polo autonomních a plně autonomních vozidel na trh je nutné provozovat vozidla podle platných právních předpisů. V současné době je technický vývoj napřed oproti právním předpisům.

4.1 Vídeňská úmluva o silničním provozu 1968

Vídeň, 8. listopadu 1968

Pro zvýšení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích se konala konference Ekonomické a sociální rady Organizace spojených národů ve Vídni v období 7. října až 8. listopadu. Byla ratifikována 73 státy [8].

Česká republika:

Sbírka mezinárodních smluv č. 83/2013

České a Slovenské Federativní Republiky považuje s účinností od 1. ledna 1993 za smluvní stát Úmluvy o silničním provozu ze dne 8. listopadu 1968.

Vídeňská konvence definuje řidiče a motorové vozidlo:

ČLÁNEK 1

Definice

o) „Vozidlo s motorovým pohonem“ znamená jakékoliv samohybné silniční vozidlo, jiné než moped na území smluvních stran, které nepokládají mopedy za motocykly, a jiné než kolejové vozidlo.

p) „Motorové vozidlo“ znamená každé vozidlo s motorovým pohonem, které se normálně používá k přepravě osob nebo zboží po silnici, nebo k tažení vozidel používaných pro přepravu osob a zboží po silnici. Tento termín zahrnuje trolejbusy, to znamená vozidla napojená na elektrické vedení, nepohybující se po kolejích. Nezahrnuje vozidla, jako jsou zemědělské traktory, které se používají jen nahodile k přepravě osob nebo zboží po silnici, nebo k tažení vozidel používaných k přepravě osob a zboží po silnici.

ČLÁNEK 8

Řidiči

1. Každé pohybující se vozidlo nebo souprava vozidel musí mít řidiče.
2. Doporučuje se, aby vnitrostátní legislativa stanovila, že soumaři, potah nebo jezdecká zvířata a, vyjma speciálních prostorů označených u jejich vchodu, dobytek jednotlivě nebo ve stádech, nebo stáda menších zvířat, musí být vedeny osobou, která je řídí.
3. Každý řidič musí mít nezbytné fyzické i psychické schopnosti k řízení a při řízení musí být v dobrém fyzickém i psychickém stavu.
4. Každý řidič vozidla s motorovým pohonem musí mít znalosti a dovednosti nezbytné pro řízení vozidla; avšak tyto požadavky nebrání žákům autoškol v cvičných jízdách v souladu s vnitrostátní legislativou.
5. Každý řidič musí být vždy schopen řídit své vozidlo nebo vést svá zvířata.

ČLÁNEK 13

Rychlost a vzdálenost mezi vozidly

1. Každý řidič vozidla musí za všech okolností ovládat své vozidlo tak, aby byl schopen věnovat náležitou péči a pozornost řízení a byl za všech okolností schopen provádět všechny potřebné manévry. Při přizpůsobování rychlosti jízdy svého vozidla musí stále věnovat pozornost okolnostem, zejména terénu, stavu silnice, stavu a nákladu svého vozidla, povětrnostním podmínkám a hustotě provozu tak, aby mohl vozidlo zastavit na vzdálenosti, na kterou dohlédne a krátce před jakoukoli předvídatelnou překážkou. Je povinen zpomalit a případně zastavit, kdykoliv to situace vyžaduje, zejména za snížené viditelnosti.

Tab. 3: Státy, které podepsaly Vídeňskou konvenci z roku 1968

Stát	Podpis	Ratifikace
Česká republika		2. června 1993
Belgie	8. listopadu 1968	16. listopadu 1988
Německo	8. listopadu 1968	3. srpna 1978
Španělsko	8. listopadu 1968	
Švédsko	8. listopadu 1968	25. července 1985
USA	-	-

4.2 Česká republika

4.2.1 Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích

Parlament České republiky dne 14. září 2014 přijal zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů. Tento zákon upravuje práva a povinnosti účastníků provozu na pozemních komunikacích, pravidla provozu na pozemních komunikacích, úpravu a řízení provozu na pozemních komunikacích, řidičská oprávnění a řidičské průkazy, působnost a pravomoc orgánů státní správy a Policie České republiky ve věcech provozu na pozemních komunikacích.

Zákon definuje: řidiče (§ 2), motorové vozidlo (§ 2), povinnosti řidiče (§ 5), co nemůže řidič při jízdě vykonávat (§ 7). Tyto paragrafy jsou zajímavé z pohledu budoucího provozu autonomních vozidel. Podle současného znění zákona nelze provozovat autonomní vozidlo kategorie 3 a kategorie 4.

Autonomní vozidla jsou v rozporu:

§ 2 – ve vozidle nemusí být řidič ale cestující u kategorie 4, který zvolí cíl cesty

§ 5 - řidič autonomního vozidla se nebude věnovat plně řízení, zatímco vozidlo je plně automaticky ovládané (kategorie 4) nebo řidič dohlíží na jízdu (kategorie 3), ale podle zákona se nevěnuje plně řízení. Tento paragraf zakazuje se např. dívat za jízdy na film. Současně vyráběná vozidla vyšších tříd mají v palubních systémech možnost sledování digitálního televizního vysílání nebo vlastních filmů na záznamovém médiu (flashdisk). Při jízdě je tato funkce zakázána softwarově a neumožňuje řidiči si za jízdy pustit film. Existují softwarové možnosti, jak tento systém deaktivovat a sledovat za jízdy film, řidič ale porušuje paragraf 5. Při použití autonomního vozidla, které odveze cestujícího do cíle a následně samo bez řidiče odjede na parkovací místo např. za městem, z důvodu nízké kapacity parkovišť dnešních měst, kde je větší kapacita parkoviště.

§ 3 - autonomní vozidlo může převážet cestujícího, který nevlastní řidičské oprávnění, ale je seznámený s ovládním autonomního vozidla. S výhodou by mohli využívat autonomní vozidlo i osoby, které nejsou způsobilé pro řízení osobních vozidel (fyzicky nebo psychicky neschopni pro řízení, dočasně nezpůsobilý řidiči, kteří mohou mít dočasný úraz). V dnešní době mohou řídit vozidlo tělesně handicapované osoby, které jsou způsobilé pro řízení vozidla a používají např. automatickou převodovku, která automaticky řadí aktuální vhodný stupeň převodu podle algoritmu a výpočtů ze senzorů vozidla. S výhodou by mohli používat autonomní vozidla senioři, kteří již nejsou způsobilí pro řízení vozidla pro dopravu do nemocnice, za nákupy a dalších nezbytných míst pro důstojný a kvalitní život, kde by jinak byli odkázáni na jiné osoby.

§ 7 - řidič za jízdy nesmí držet telefon (telefonovat, který bude mít přiložený k uchu) nebo držet jakékoliv jiné záznamové zařízení, s výhodou by řidič / cestující mohl

telefon využívat u autonomního vozidla, kde by si vyřizoval pracovní e-maily, hovory apod.

§ 2

Vymezení základních pojmů

a) účastník provozu na pozemních komunikacích je každý, kdo se přímým způsobem účastní provozu na pozemních komunikacích

d) řidič je účastník provozu na pozemních komunikacích, který řídí motorové nebo nemotorové vozidlo anebo tramvaj; řidičem je i jezdec na zvířeti

g) motorové vozidlo je nekolejové vozidlo poháněné vlastní pohonnou jednotkou a trolejbus

§ 3

Základní podmínky účasti na provozu na pozemních komunikacích

(2) Řídit vozidlo nebo jet na zvířeti může pouze osoba, která je dostatečně tělesně a duševně způsobilá k řízení vozidla nebo jízdě na zvířeti a v potřebném rozsahu ovládá řízení vozidla nebo jízdou na zvířeti a předpisy o provozu na pozemních komunikacích

(3) Řídit motorové vozidlo může pouze

a) osoba, která je držitelem řidičského oprávnění pro příslušnou skupinu motorových vozidel (dále jen „skupina vozidel“) uděleného Českou republikou, státem, který je členským státem Evropské unie nebo smluvní stranou Dohody o Evropském hospodářském prostoru (dále jen „jiný členský stát“), nebo jiným státem podle mezinárodní smlouvy, kterou je Česká republika vázána a která upravuje oblast silničního provozu

(4) Nikdo nesmí používat technické prostředky a zařízení, které znemožňují nebo ovlivňují funkci technických prostředků používaných při dohledu na bezpečnost provozu na pozemních komunikacích (dále jen „antiradar“)

§ 5

Povinnosti řidiče

(1) Řidič je kromě povinností uvedených v § 4 dále povinen

b) věnovat se plně řízení vozidla nebo jízdě na zvířeti a sledovat situaci v provozu na pozemních komunikacích

§ 7

(1) Řidič nesmí

c) při jízdě vozidlem držet v ruce nebo jiným způsobem telefonní přístroj nebo jiné hovorové nebo záznamové zařízení

4.3 Evropská unie

Podle článku z EurActiv PressRelease, rok 2013: Evropská unie je současně době mírně pozadu za USA, kde jsou v současné době učiněny kroky k přijímání právních norem, které umožní testování vozidel na pozemních komunikacích. Evropská unie je pozadu za USA s restriktivními právními normami, které brání provozu autonomních vozidel. Největší překážkou pro zavedení autonomních vozidel je Vídeňská úmluva o silničním provozu z roku 1968, kde článek 8 uvádí, že každý řidič se musí věnovat řízení vozidla [9].

Podle článku z Reuters, rok 2014: Vozidla by mohli jezdit po světových ulicích daleko dříve, než se očekávalo a to díky změně v celosvětové úmluvě podporovanou Evropskými zeměmi. Organizace spojených národů souhlasila se změnou, kde řidič nemusí držet volant, kdy vozidlo je řízeno autonomním režimem. Na tuto změnu naléhalo Německo, Itálie a Francie. Výrobci vozidel věří, že jsou připraveni přiblížit se americkým průkopníkům a přinést na trh první autonomní vozidla. Němečtí výrobci prémiových vozidel mají vozidla vyšších tříd, které spoléhají ve vedení na trhu s nejvíce sofistikovanými funkcemi, které jsou k dispozici. Audi, Mercedes-Benz a BMW spolupracují s dodavateli Bosch a Continental na autonomních technologiích a polo-autonomních vozidlech. V současné době chce koncern Daimler zavést více automatizovaných funkcí do svých vozů jako automatické parkování, automatický systém stop-and-go pro jízdu v koloně. „Vyvinuly jsme autonomní vozidlo a nyní je potřeba právního rámce“, řekl mluvčí koncernu Daimler [10].

Pro zvýšení bezpečnosti vozidel bylo přijato nařízení č. 661/2009, podle studie [11] dopadů inteligentních bezpečnostních systémů ve vozidlech organizace eIMPACT, na kterou se odkazuje [12] Evropská komise.

Elektronické systémy kontroly stability: od 1. listopadu 2011 všechny nové typy vozidel, od 1. listopadu 2014 všechny nově vyráběná vozidla

Vyspělé systémy nouzového brzdění, Systém varování při vybočení z jízdního pruhu: 1. listopadu 2013 pro všechny nové typy těžkých užitkových vozidel, 1. listopadu 2015 pro všechny nově vyráběná těžká užitková vozidla.

Nařízení Evropského parlamentu a rady (ES) č. 661/2009

ze dne 13. července 2009 o požadavcích pro schvalování typu motorových vozidel, jejich přípojných vozidel a systémů, konstrukčních částí a samostatných technických celků určených pro tato vozidla z hlediska obecné bezpečnosti. Nařízení vstupuje v platnost ode dne 1. listopadu 2011.

Článek 3

Definice

- 1) „elektronickou kontrolou stability“ elektronická ovládací funkce vozidla, která zlepšuje dynamickou stabilitu vozidla;
- 4) „systémem varování při vybočení z jízdního pruhu“ systém, který řidiče upozorňuje na neúmyslné vybočení vozidla z jízdního pruhu;
- 5) „vyspělým systémem nouzového brzdění“ systém, který dokáže automaticky zjistit mimořádnou situaci, aktivovat brzdový systém vozidla a zpomalit vozidlo s cílem zabránit srážce nebo ji zmírnit;

Článek 10

Vyspělé systémy pro vozidla

1. S výhradou výjimek stanovených v souladu s čl. 14 odst. 3 písm. a) musí být vozidla kategorií M 2 , M 3 , N 2 a N 3 vybavena vyspělým systémem nouzového brzdění, který splňuje požadavky tohoto nařízení a prováděcích opatření k němu.

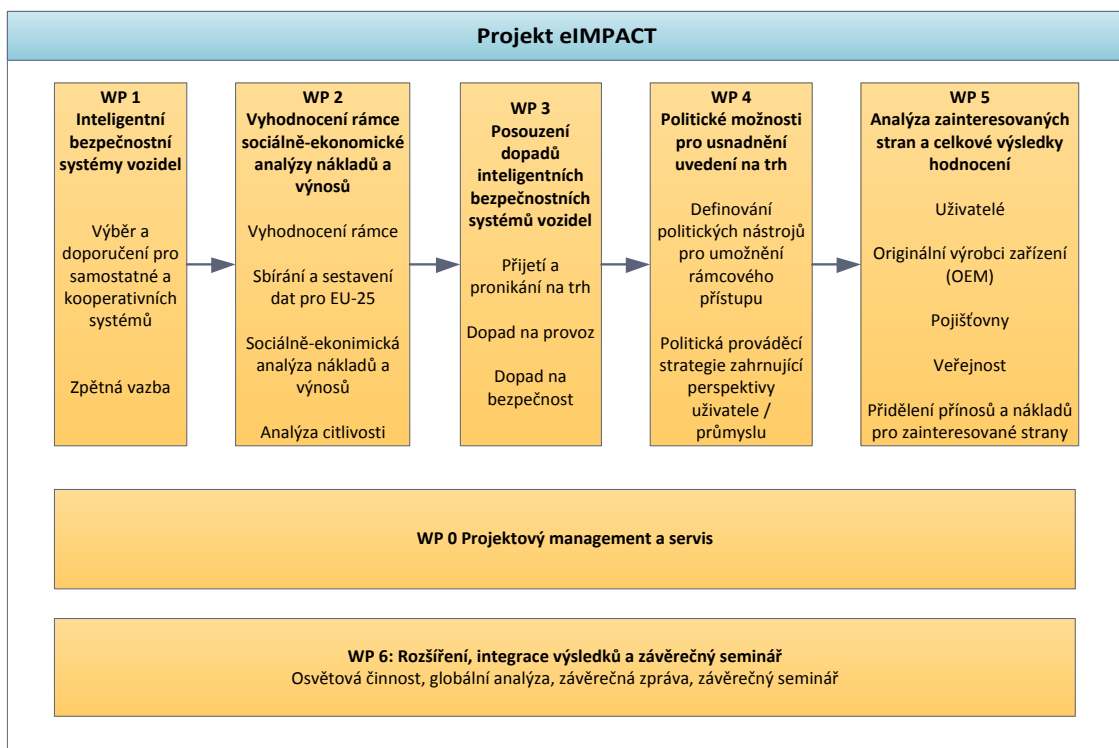
Článek 12

Elektronické systémy kontroly stability

1. Vozidla kategorií M 1 a N 1 musí být vybavena elektronickým systémem kontroly stability, který splňuje požadavky tohoto nařízení a prováděcích opatření k němu.

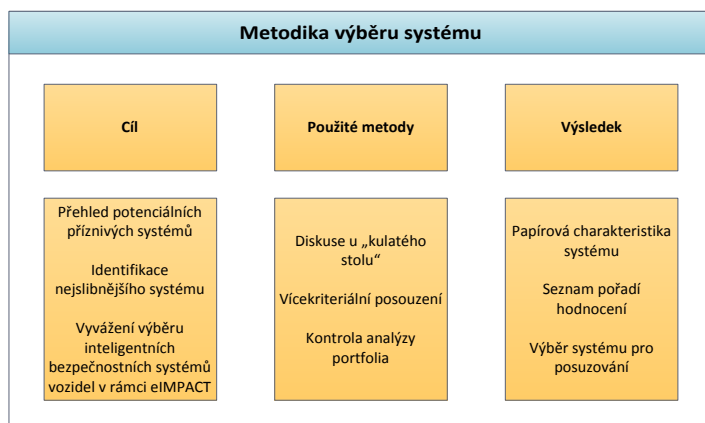
4.3.1 eIMPACT

Projekt Evropské unie eIMPACT je výzkum sociálně-ekonomické posouzení dopadů samostatných a kooperativních inteligentních bezpečnostních systémů vozidel. Hodnotí sociálně-ekonomické účinky inteligentních asistenčních systémů vozidel (IVSS-Intelligent Vehicle Safety Systems) na provoz, bezpečnost a efektivitu. eIMPACT je součástí šestého rámcového programu Evropské unie podporujícího vědu a výzkum. eIMPACT hodnotí kvantitativní dopady dvanácti inteligentních asistenčních systémů z hlediska bezpečnosti, provozních nákladů a přínosů. Výsledky hodnotí přínos IVSS ke snížení smrtelných úrazů na pozemních komunikacích jak je popsáno v bílé knize EU o dopravě.



Obr. 4: Projekt eIMPACT (přeloženo z [18])

Výběr a analýza inteligentních bezpečnostních systémů vozidel



Obr. 5: Metodika výběru systému (přeloženo z [18])

Metodologie výběru je přístup založený na posouzení dopadů vyvinutý a aplikovaný v eIMPACT.

- Míra rozšíření (osobní vozidla, nákladní vozidla) s použitím informací o aktuálním složení vozového parku a počtu ujetých kilometrů, informace o roku uvedení na trh a očekávané přijetí systémů na trhu
- Posouzení dopadů na dopravu. Analýza rozlišuje mezi přímými a nepřímými dopady:
 - Přímé: vliv na tok dopravy, např. změna rychlosti a intervalů (analyzováno pomocí mikrosimulace)
 - Nepřímé: snížení kongescí, z důvodu snížení smrtelných úrazů a zranění
- Posuzování bezpečnostních dopadů. Zahrnuje všechny (zamýšlené a nezamýšlené) účinky asistenčních systémů s použitím náhledu do systému a chování řidiče. Tento přístup se dívá na všechny tři složky analýzy bezpečnosti provozu (expozice, nebezpečí srážky, hrozící kolize s následkem zranění nebo smrtelného zranění). Tato metoda používá dostupné obecné údaje k nehodám z databáze CARE (Evropská databáze silniční nehodovosti), relevantní údaje o nehodách (počet smrtelných úrazů a zranění v zemích EU).

Metoda hodnocení na papíře

Osoby hodnotí jednotlivé systémy na jednostránkovém formuláři. O jednom systému může být vyplněno až 25-30 informací. Hodnocení poskytuje informace: funkce a technický popis, jakým typem nehody se systém zabývá, úroveň kooperace nebo zdali je systém samostatný, jak systém funguje – varování, zasahuje do řízení i na krátkou dobu, použití hardwaru pro více systémů najednou – snížení nákladů, přínosy

pro řidiče / zákazníků / uživatele, odhadované náklady pro řidiče / zákazníky / uživatele – např. náklady na infrastrukturu, výzvy a rizika výzkumu a vývoje, v jakém stavu vývoje se systém nachází, nejvyšší hodnocení systém byl uveden na trh nebo bude uveden během 1-2 let, naplánováno uvedení na trh – výchozí hodnoty: 2010, 2015, 2020, 2020+

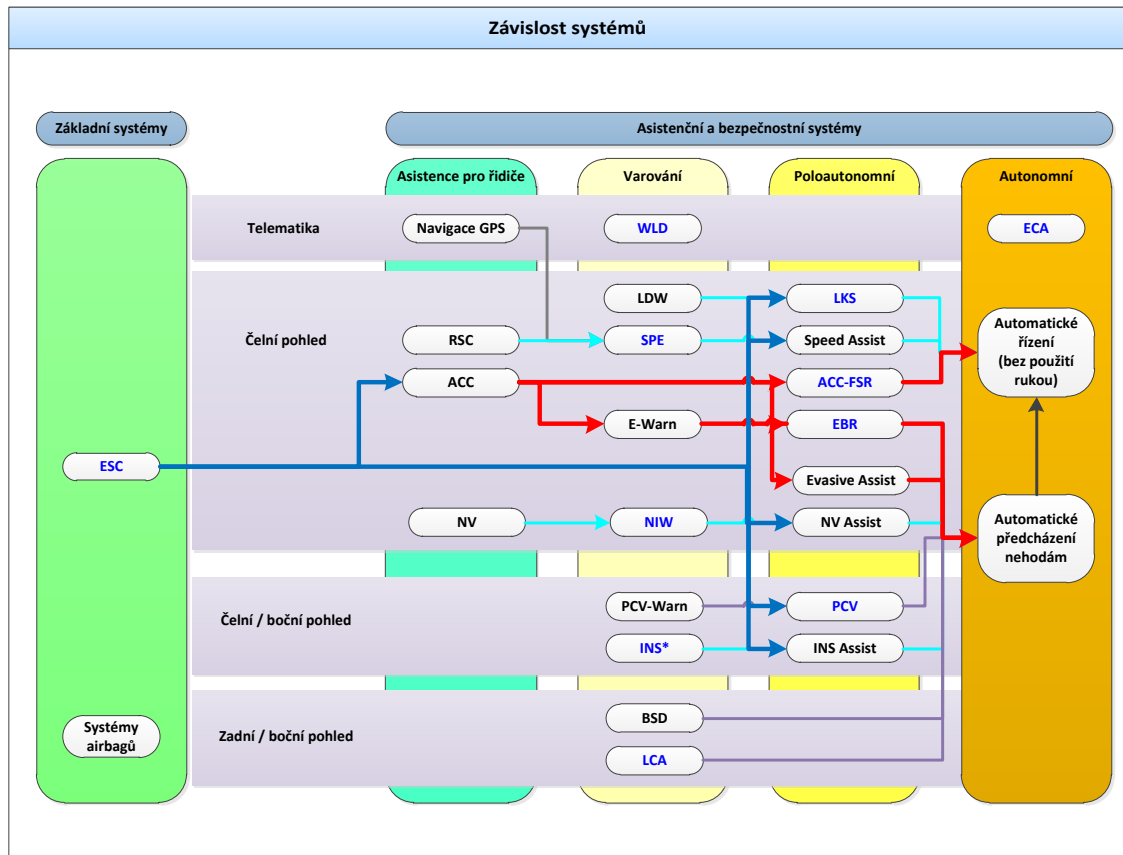
Metoda posouzení sociálně-ekonomických dopadů

- Analýza nákladů a přínosů
- Analýza efektivnosti nákladů
- Vícekriteriální analýza

Kritéria splnilo dvanáct asistenčních systémů

Tab. 4: eIMPACT - seznam inteligentních bezpečnostních systémů

Název systému	Označení	Popis
Electronic Stability Control	ESC	Stabilizuje vozidlo v mezích fyzických limitů a zabráňuje smyku aktivním brzdění a ovládní točivého momentu motoru
Full Speed Range ACC	FSR	Přizpůsobení rychlosti a vzdálenosti vozidlům, které jsou před vozidlem, včetně zastavení „stop and go“
Emergency Braking	EBR	Plně automatický systém, zabráňuje nehodám, pouze brzdí
Pre-Crash Protection of Vulnerable Road Users	PCV	Detekce zranitelných účastníků silničního provozu a plně automatické nouzové brzdění
Lane Change Assistant (Warning)	LCA	Upozornění okolních vozidel jedoucích vedle nebo za vozidlem, že vozidlo bude měnit jízdní pruh
Lane Keeping Support	LKS	Asistence jízdy v jízdním pruhu s aktivní podporou řízení
NightVisionWarn	NIW	Noční vidění infračervenými senzory, včetně varování před překážkou
Driver Drowsiness Monitoring and Warning	DDM	Varování řidiče, když je ospalý
eCall (one-way communication)	ECA	Automatické tísňové volání o pomoc v případě nehody
Intersection Safety	INS	
Wireless Local Danger Warning	WLD	Komunikace mezi vozidly včasného varování před nehodou, překážkami, špatnou viditelností
SpeedAlert	SPE	Varování pro omezení rychlosti, když je překročena povolená rychlost

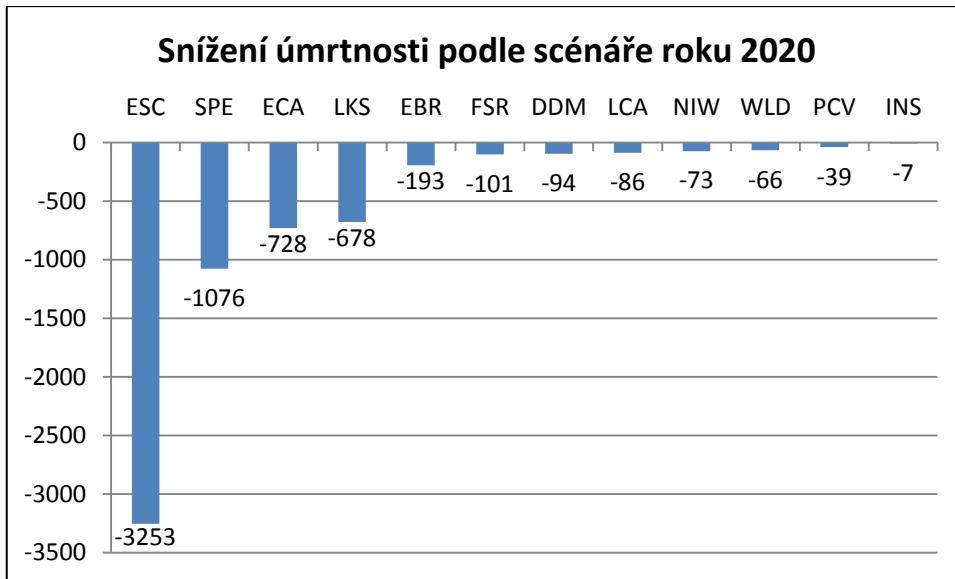


Obr. 6: Závislost systémů (přeloženo z [19])

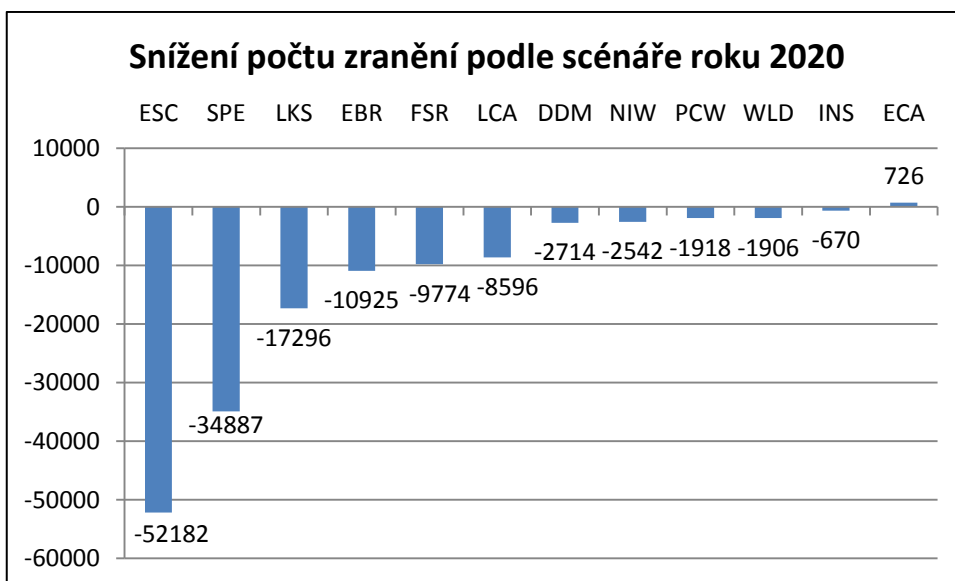
Výsledky posouzení dopadů inteligentních bezpečnostních systémů vozidel

Výsledky posouzení dopadů jsou použity jako vstup do analýzy nákladů a přínosů (sociálně-ekonomické posouzení dopadů samostatných a kooperačních asistenčních systémů pro vozidla), pro specifické oblasti, snížení podmínek na úroveň EU-25.

Ve výhledu roku 2020: elektronický stabilizační program ECS snížil o 3150 počet úmrtí (-14%) a okolo 50000 zraněných (-5,7%) za rok, asistence řízení v jízdním pruhu -3,3% úmrtí za rok.



Obr. 7: Změna počtu úmrtnosti podle scénáře roku 2020 (upraveno z [11])



Obr. 8: Změna počtu zranění podle scénáře roku 2020 (upraveno z [11])

4.4 Spolková republika Německo

Německá spolková vláda představila strategii pro autonomní a digitální řízení [13]. Cílem reformy je úprava stávajících předpisů pro usnadnění autonomního řízení. Podle spolkového ministerstva dopravy a digitální infrastruktury je cílem uvést autonomní vozidla do roku 2020. Vozidla by mohla být provozována na dálnicích a v oblastech s nízkou rychlostí (parkoviště). Spolková republika Německo je v současné

době nejbliže z Evropských států pro změnu právních předpisů pro provoz autonomních vozidel. Němečtí výrobci vozidel jako Mercedes-Benz, BMW a další uvádějí, že budoucnost vozidel je v autonomním řízení.

Úpravu vídeňské konvence o silničním provozu

Článek 1, odstavec v, přidání: „řidič“ systém s plnou kontrolou nad vozidlem.

Úprava nařízení NO. 79 OSN o řídicím vybavení vozidla (steering equipment)

Organizace UNECE¹ - úprava nařízení NO. 79 [14], úprava navržena odborníky ze Spolkové republiky Německo.

2.3.4.1. Automatické funkce směrového řízení (ACSF)² znamená funkci v rámci systému, kde automatické vyhodnocování signálu v palubní jednotce vozidla může mít za následek ovládní směrového řízení.

2.3.4.1.1. Kategorie 1 ACSF znamená, funkce pracující při rychlosti ne větší než 10 km/h a asistuje řidiči (na požádání) k manévrování při nízké rychlosti nebo parkování.

2.3.4.1.2. Kategorie 2 ACSF znamená, funkce pracující při rychlosti ne větší než 130 km/h, která může provést manévr (např. změna jízdního pruhu), když je vozidlo ovládáno řidičem.

2.3.4.1.3. Kategorie 3 ACSF znamená, funkce pracující při rychlosti ne větší než 130 km/h a která indikuje možnost manévru (např. změna jízdního pruhu), ale funkci je zapnuta pouze na základě příkazu od řidiče.

2.3.4.1.4. Kategorie 4 ACSF znamená, funkce pracující při rychlosti ne větší než 130 km/h, která je ovládaná na příkaz řidiče a která nepřetržitě určuje možnost manévru (např. změna jízdního pruhu) a dokončit tyto manévry po delší době bez dalšího povelu řidiče.

Německá vyhláška o silničním provozu Straßenverkehrsgesetz (StVG)

úprava vyhlášky pro povolení autonomního řízení

Bezpečnost autonomních systémů

¹ United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) – Evropská hospodářská komise OSN

² Automatically commanded steering function (ACSF) – automatické funkce směrového řízení

Nové normy pravidelného technických kontrol vozidel musí být definovány a zahrnuty do směrnic:

SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2014/45/EU ze dne 3. dubna 2014 o pravidelných technických prohlídkách motorových vozidel a jejich přípojných vozidel a o zrušení směrnice 2009/40/ES

SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2007/46/ES ze dne 5. září 2007, kterou se stanoví rámec pro schvalování motorových vozidel a jejich přípojných vozidel, jakož i systémů, konstrukčních částí a samostatných technických celků určených pro tato vozidla

Bezpečnost informačních technologií

Podle spolkového ministerstva dopravy a digitální infrastruktury musí automobilový průmysl zajistit bezpečné šifrování dat a komunikace. Bude nutné kontrolovat a certifikovat tyto systémy. Musí být vytvořeny bezpečnostní normy a předloženy Evropské hospodářské komisi OSN. Dále úpravu normy funkční bezpečnost silničních vozidel ISO 26262. Uživatel musí souhlasit se sběrem dat a anonymních údajů a svůj souhlas může odvolat. Uživatel musí mít možnost vypnutí datových služeb. Je nutné dodržovat zásadu soukromí.

4.4.1 Digitální dálnice A9, Spolková republika Německo

Německá spolková vláda vytvořila strategii pro autonomní a digitální řízení. Součástí inovace „mobility 4.0“ je dálnice A9. Spolkový ministr dopravy a digitální infrastruktur Alexander Dobrindt dne 9. dubna 2015 podepsal projekt pro vytvoření digitální testovací dálnice [24]. Testovací dálnice bude určena pro: automobilový průmysl, dodavatele, pro výrobce digitálních zařízení a výzkumné instituce. Všichni budou moci testovat vyvinuté zařízení v reálném provozu na dálnici. Podle Matthiase Wissmanna, prezidenta Sdružení automobilového průmyslu, bude automobilový průmysl investovat 16-18 miliard eur v příštích 3-4 let. Autonomní a digitálně propojená vozidla budou pro bezpečnější, pohodlnější a efektivnější jízdu [24]. V roce 2030 se předpokládá zvýšení provozu osobní automobilové dopravy o 13% a nákladní dopravy o 38%. Digitální dálnice by byla vhodná pro zvýšení provozu vozidel.

Dálnice A9

Digitální infrastruktura: podle spolkové vlády by měla být nejnižší rychlost přenosové kapacity internetové sítě 50 Mbit/s do roku 2018. Ministerstvo dopravy a digitální infrastruktur založilo projekt Síťová aliance pro digitální Německo. Digitální síť bude na frekvenci 700 MHz.

Změna legislativy: Změna Vídeňské konvence silničního provozu, změna nařízení OSN č. 79 – autonomní jízdy z 10 km/h na 130 km/h.

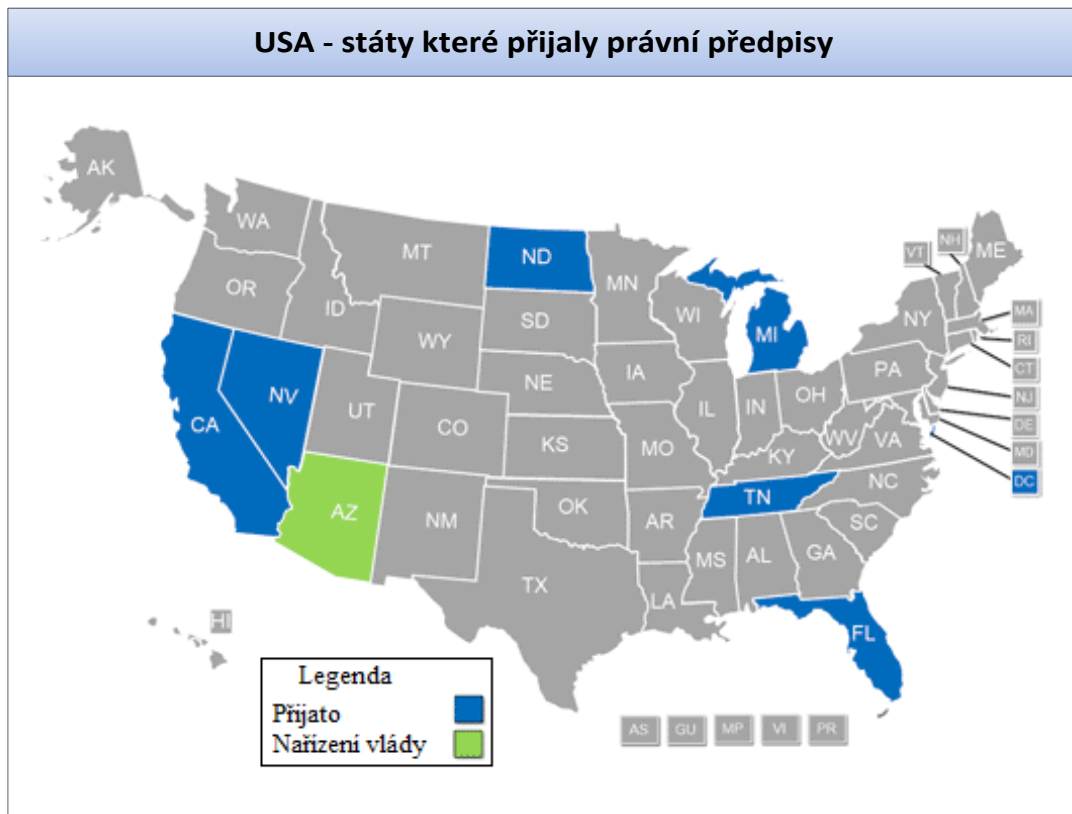
Výcvik řidičů: Nutné bude připravit nařízení pro školení učitelů pro autonomní řízení a nařízení pro licencování řidičů.

Technické podmínky: Spolková vláda by ráda změnila nařízení pravidelných technických kontrol 2014/45/EU, 2007/46/EC a nařízení OSN.

4.5 Spojené státy americké

Spojené státy americké jako první povolili provoz autonomních vozidel. Ve státě Nevada bylo jako první povoleno provoz autonomních vozidel. Následující státy: Florida, Kalifornie, District of Columbia a Washington D. C., vycházely z právních norem pro stát Nevada. Právní norma je specifikována různými požadavky pro provoz autonomního vozidla. Definiuje, co je to autonomní vozidlo a autonomní technologie, případně autonomní režim vozidla. Mezi autonomní režimy vozidla podle právní normy nepatří vyspělé systémy aktivní bezpečnosti a asistenční systémy vozidla jako jsou detekce slepého úhlu, nouzové brzdění, parkovací asistent, adaptativní tempomat, asistence řízení v jízdním pruhu, varování při vyjetí z jízdního pruhu, pokud nejsou používány pro autonomní režim vozidla. Za upravené vozidlo na autonomní vozidla třetí stranou nenese původní výrobce vozidla odpovědnost v případě, že následná porucha nebyla způsobena vadou na původní části vozidla. Vozidlo může ovládat lidský operátor, který musí mít platný řidičský průkaz. V ostatních státech, kde je možné provozovat autonomní vozidlo, musí být lidský operátor pověřený od výrobce vozidla a výrobce autonomní technologie řízení s příslušnou kategorií pro dané vozidlo. Důležité je, aby vozidlo bylo vybaveno optickým indikátorem, že autonomní režim řídí vozidlo. Řidič musí být schopen kdykoliv převzít kontrolu nad vozidlem a vozidlo musí být vybaveno ovladačem na odpojení autonomního režimu. Důležité je, aby systém pracoval spolehlivě a proto musí být vozidlo vybaveno systémem, který určí, zdali autonomní systém pracuje bez poruchy nebo v závadě. Vozidla musí být pojištěna a to zaplacením kaucí nebo vlastním pojištěním. V určitých státech je testování autonomních vozidel povoleno pouze na určité oblasti.

Spojené státy americké nepodepsaly a neratifikovaly Vídeňskou úmluvu o silničním provozu z roku 1968. Jejich právní normy nejsou v rozporu s článkem 8, kde se řidič musí plně věnovat řízení vozidla.



Obr. 9: USA - státy které přijaly právní předpisy pro autonomní vozidla, 23. 2. 2016 (přeloženo z [15])

4.5.1 Nevada (NRS 482.A and NAC 482.A)

Přeloženo z publikace [16]

Přijato: červen 2011, změněno červenec 2013.

Definice autonomního vozidla: Autonomní technologie znamená technologii, která je součástí vozidla a umožňuje řídit motorové vozidlo bez aktivního řízení nebo monitorování lidským operátorem. Termín nezahrnuje aktivní systém bezpečnosti nebo systém pro podporu řidiče (asistenční systémy), detekce slepého úhlu, nouzové brzdění, parkovací asistent, adaptativní tempomat, asistence řízení v jízdním pruhu, varování při vyjetí z jízdního pruhu, samostatného systému nebo kombinaci s ostatními systémy.

Účel: Testování, individuální vlastnictví.

Co musí vozidlo splňovat: Vozidlo musí mít osvědčení pro provozování vozidla bez lidského operátora ve vozidle. Licencovaní prodejci mohou prodávat autonomní vozidla s osvědčením pro provozování vozidla výrobcem vozidla nebo s autorizovanou certifikací technického zařízení autonomního vozidla.

Kdo může vozidlo ovládat: Nařízení stanoví poznámku do řidičského průkazu.

Technická certifikace zařízení: Vytvoření certifikace pro provoz soukromého zařízení. Žadatel musí prokázat nezbytné znalosti a zkušenosti, aby certifikoval bezpečnost zařízení autonomního vozidla, zaplatí nevratný poplatek \$ 300, zaplatí záruku, částku (vklad), kauci \$ 500000.

Odpovědnost: Výrobce vozidla neručí za škody, které jsou způsobené úpravou vozidla třetí stranou.

Požadavky oddělení motorových vozidel: Přijmout nařízení 1. března 2012.

Pojištění pro zkoušení: Žadatelé pro testování musí zaplatit nevratný poplatek ve výši \$ 100 s ručením \$ 1.000.000 za testování méně než 5 autonomních vozidel, \$ 2.000.000 za šest až devět autonomních vozidel, \$ 3.000.000 za deset a více autonomních vozidel.

Výjimky: Testování je omezeno na určité zeměpisné oblasti.

4.5.2 Florida (Fla. Stat. Title XXIII, Ch. 319, S 145)

Přeloženo z publikace [16]

Přijato: duben 2012.

Definice autonomního vozidla: Autonomní technologie znamená technologii, která je součástí vozidla, která má schopnost řídit vozidlo bez aktivní kontroly nebo monitorování lidským operátorem. Nezahrnuje vozidla s aktivními bezpečnostními systémy nebo asistenčními systémy jakou jsou detekce slepého úhlu, nouzové brzdění, parkovací asistent, adaptivní tempomat, asistence řízení v jízdním pruhu, varování při vyjetí z jízdního pruhu, pokud se nepoužívají samostatně nebo v kombinaci s ostatními systémy, umožňující vozidlu řídit bez aktivní kontroly nebo monitorování ze strany lidského operátora.

Účel: Testování, vývoj a provoz.

Co musí vozidlo splňovat: Vozidla musí splňovat federální standardy a předpisy pro motorová vozidla v souladu s platnými zákony pro motorová vozidla na Floridě. Musí mít bezpečnostní mechanismy pro připojování a odpojování technologie, vozidlo musí být vybaveno indikátorem, že je provozováno v autonomním režimu a varováním operátora při selhání této technologie, lidský operátor musí být přítomný ve vozidle, monitorovat vozidlo a zasáhnout do řízení, pokud je to nutné, pokud se vozidlo zkouší na uzavřené trati.

Kdo může vozidlo ovládat: Vozidlo může ovládat osoba, která vlastní platný řidičský průkaz.

Odpovědnost: Výrobce vozidla neodpovídá za zranění v důsledku úpravy vozidla třetí stranou, závadou způsobenou úpravou vozidla, nebo zařízení, která byla upravena, pokud závada nebyla na původní části vyrobeného vozidla.

Požadavky oddělení motorových vozidel: Nutné připravit a předložit zprávu týkající se bezpečnosti provozu vozidel vybavených autonomními technologiemi do 12. února 2014.

Pojištění pro zkoušení: Před začátkem testování ve státě, žadatelé musí předložit pojištění, ručení nebo vlastní pojištění částkou \$ 5.000.000, která je přijatelná pro úřad.

Výjimky: Federální předpisy nahradí tento zákon, pokud je v rozporu.

4.5.3 California (Cal. Veh. Code, Division 16.6)

Přeloženo z publikace [16]

Přijato: září 2012.

Definice autonomního vozidla: „Autonomní technologie“ je definována jako technologie, která řídí vozidlo bez aktivní fyzické kontroly nebo monitorování lidským operátorem. „Autonomní vozidlo“ je každé vozidlo, které je vybavené autonomní technologií, která je ve vozidle. Nezahrnuje vozidla, která jsou vybavena jedním nebo více systémy jako jsou detekce slepého úhlu, nouzové brzdění, parkovací asistent, adaptivní tempomat, asistence řízení v jízdním pruhu, varování při vyjetí z jízdního pruhu nebo podobné systémy, které poskytují podporu řízení, ale nejsou schopny, společně nebo jednotlivě, řídit vozidlo bez aktivní kontroly nebo monitorování lidským operátorem.

Účel: Testování a provoz.

Co musí vozidlo splňovat: Vozidlo musí mít zařízení pro zapínání a vypínání autonomní technologie, které je certifikováno výrobcem, optický indikátor, který zobrazuje, zdali je autonomní režim zapnutý, systémem bezpečnostního upozornění operátora, když je systém v poruše a je zapnutý autonomní režim a řidič, který je na sedadle řidiče, monitoruje bezpečnost provozu systému autonomního vozidla a je okamžitě schopen převzít manuální řízení.

Kdo může vozidlo ovládat: Testovat vozidlo mohou pouze zaměstnanci, dodavatelé nebo jiné osoby určené výrobcem autonomní technologie s náležitou kategorií licence pro daný druh provozovaného vozidla.

Odpovědnost: Žádná zmínka o odpovědnosti.

Požadavky oddělení motorových vozidel: Oddělení motorových vozidel vypracuje a přijme právní předpis od ledna 2015.

Pojištění pro zkoušení: Před začátkem testování v tomto státě, výrobce musí být pojištěn, kaucí, nebo vlastním pojištěním na částku \$ 5.000.000.

Výjimky: Nezahrnuje ostatní bezpečnostní předpisy a požadavky na vlastnosti vyžadované státem a federálními zákony.

Povolení pro testování autonomních vozidel:

Ke dni 3. Prosince 2015 [16] mají povolení od oddělení motorových vozidel (California Department of Motor Vehicles) k testování autonomních vozidel:

Volkswagen Group of America, Mercedes Benz, Google, Delphi Automotive, Tesla Motors, Bosch, Nissan, Cruise Automation, BMW, Honda, Ford

4.5.4 Washington, D.C. (L19-0278)

Přeloženo z publikace [16]

Přijato: leden 2013.

Definice autonomního vozidla: Vozidlo je řízeno bez aktivní kontroly řidičem, je schopné se navigovat po okresních komunikacích pomocí některého z řídicích systémů vozidla. Mezi to nepatří aktivní bezpečnostní systémy nebo systémy, které pomáhají řidiči v řízení vozidla, včetně systémů jako jsou detekce slepého úhlu, nouzové brzdění, parkovací asistent, adaptivní tempomat, asistence řízení v jízdním pruhu, varování při vyjetí z jízdního pruhu, pokud systémy jednotlivě nebo v kombinaci s jinými systémy neumožňují vozidlu, řídit bez aktivní kontroly nebo monitorování lidským operátorem.

Účel: Testování a provoz.

Co musí vozidlo splňovat: Vozidlo musí mít funkci, která kdykoliv umožňuje řidiči převzít řízení, vozidlo musí být schopné provozu v souladu s platnými okresními dopravními zákony a zákony pro motorová vozidla.

Odpovědnost: Výrobce vozidla není odpovědný za vadu na vozidle, která je způsobena úpravou třetí stranou nebo zařízením, pomocí kterého je vozidlo upraveno, pokud se vady nevyskytly na původně vyrobeném vozidle (okres Columbia, 2013, §4). Úprava vozidla na autonomní vozidlo je omezena na vozidla vyrobené od roku 2009 a později, nebo vozidel upravené na autonomní vozidla do 4 let, podle toho, které vozidlo je novější.

4.6 Autonomní vozidla Google

Společnost Google vyvíjí a upravuje vozidla pro autonomní řízení. Google je jednou z nejvíce pokrokových firem v oblasti autonomního řízení. Google informuje veřejnost v pravidelných zprávách, které vycházejí jednou měsíčně. Důležitou součástí testování je učení systému autonomního řízení. V simulaci, kde počítač učí počítač, autonomní vozidlo ujede 3 miliony mílí denně [20]. Do nedávné doby se upravená vozidla Lexus považovali za velmi bezpečná vozidla v oblasti autonomního řízení. Dne 14. února vozidlo Lexus způsobilo první nehodu, ze které bylo označeno jako viník nehody. Google má velmi vhodné zázemí pro autonomní vozidla – velké serverové budovy a Google mapy. Hlavním senzorem vozidel Google je LIDAR, který je umístěn na střeše vozidel.

Google testuje vozidla (březen 2016) [21]

- 23 Lexus RX450h
- 33 prototypů Google vozidla

4.6.1 Lexus RX450h

Google testuje 23 autonomních vozidel Lexus RX450h: 14 Mountain View, CA; 8 Austin, TX; 1 Kirkland, WA.

4.6.2 Google Self-Driving Car Project

Google vyvíjí vlastní prototyp autonomního vozidlo. Nazývá se „Google Self-Driving Car project“. Zajímavostí tohoto vozidla je, že nemá žádný prvek ovládání (volant). Vozidlo je poháněno elektrickým motorem a akumulátory. Senzory na vozidle jsou: lidar, radary, kamery. Vozidlo je zálohované pro: řízení směru, brzdění, pro systémy počítače. Google testuje 33 prototypů: 26 in Mountain View, CA; 7 Austin, TX.

Google Lexus RX450h



Obr. 10: Google Lexus RX450h [22]

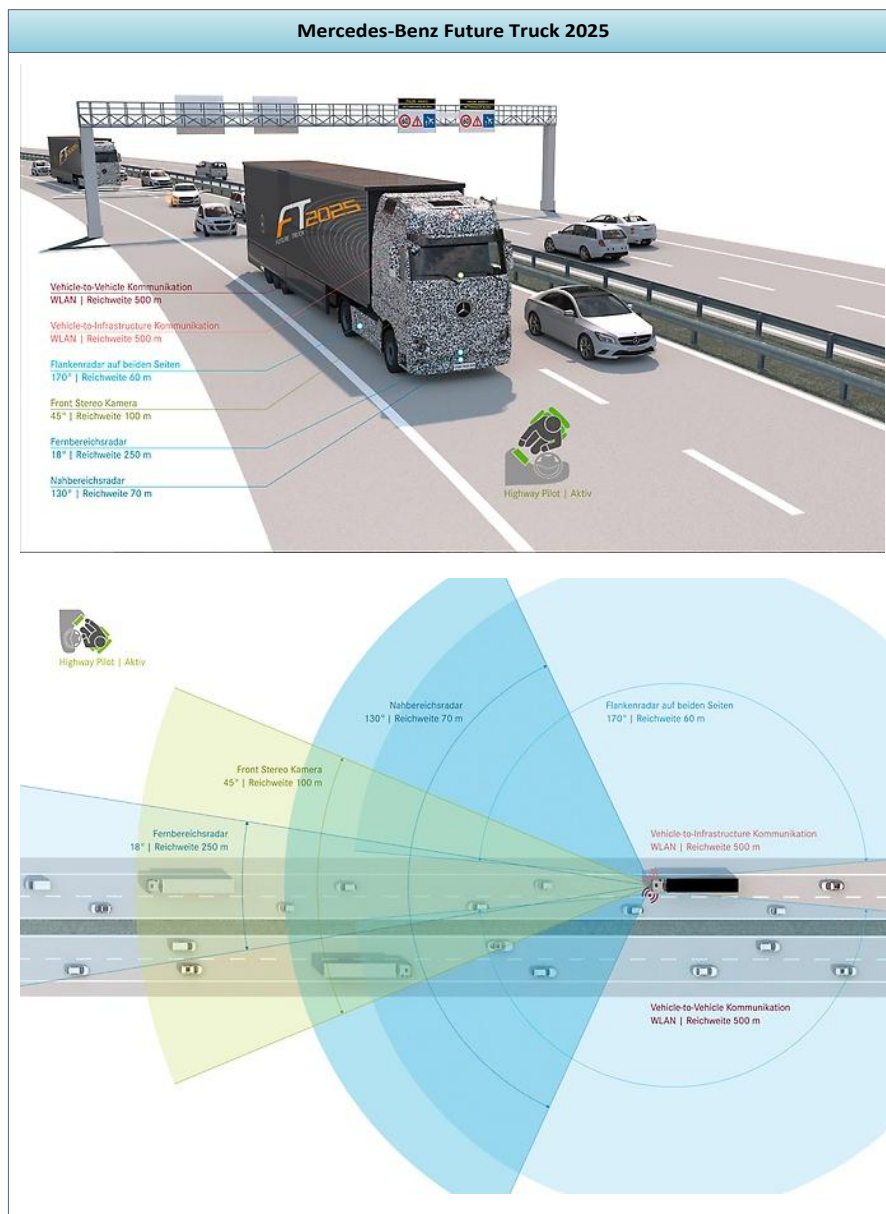
Google Self-Driving Car



Obr. 11: Google Self-Driving Car Project [23]

4.7 Mercedes-Benz Actros Highway Pilot

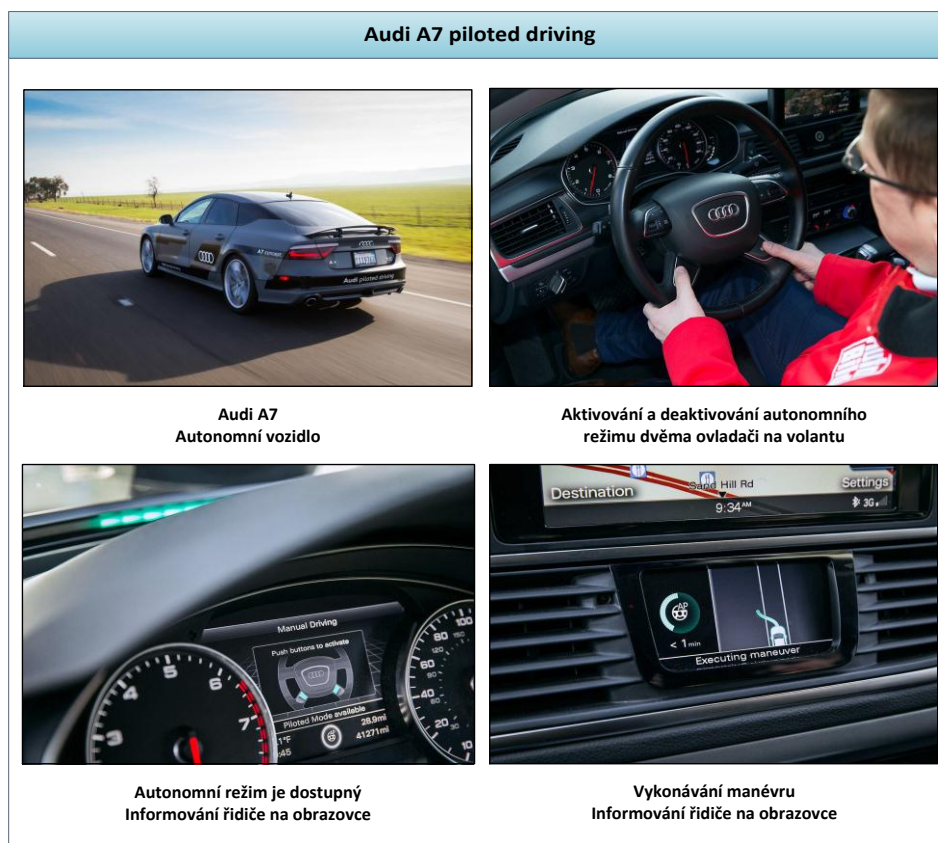
Koncern Daimler představil kamion Mercedes-Benz Actros 2025 s automatickou funkcí řízení Highway Pilot. Dne 2. října 2015 byl kamion Mercedes-Benz Actros poprvé vyzkoušen v reálném provozu na dálnici A8 [25]. Kamion byl řízen ředitelem oddělení nákladních vozidel a autobusů, cestující byl německý spolkový ministr Bádenska-Württemberska. Zařízení vozidla: Vozidlo je schopné se bezdrátově spojit s ostatními vozidly (v2v). Stereokamera monitoruje prostor před vozidlem a dopravní značení, monoskopická kamera je použita pro Lane Departure Warning system. Kamery rozeznají jízdní pruhy, přechody, pohybující a nepohybující objekty. To zajišťuje precizní výpočet prostředí okolo vozidla.



Obr. 12: Mercedes-Benz Future Truck 2025 [26]

4.8 Audi piloted driving

Audi představilo projekt piloted driving. Vozidlo Audi A7 bylo upraveno pro autonomní řízení. Zařízení vozidla: 6 radarů, 3 kamery, 2 LIDAR senzory. Společnost Audi by ráda představila autonomní vozidla do 3-4 let. Koncern Volkswagen školí řidiče pro autonomní řízení. Školení na autonomní vozidlo Audi A7 trvá podle novinářů pozvaných k výcviku 5 minut. Zapnutí autonomního režimu na dálnici: Vozidlo informuje řidiče, že je dostupný autonomní režim a řidič stiskne ve stejný čas dva ovladače autonomního režimu na volantu a vozidlo se pohybuje v autonomním režimu. O stavu systému je řidič informován na obrazovce na přístrojové desce a LED pás mezi předním oknem a přístrojovou deskou. LED pás: modro-zelená - autonomní režim, žlutá – připravení pro manuální ovládání (15 vteřin výstraha), červená – řidič manuálně řídí vozidlo. Když řidič nepřevzme manuální ovládání vozidla, vozidlo zapne výstražná světla a zpomalí a zastaví. Vypnutí autonomního režimu: stisknutím dvou ovladačů autonomního režimu, stisknutím pedálů brzdy a plynového pedálu, nebo zásahem do řízení na volantu. Společnost Audi chce od roku 2018 testovat autonomní vozidla v městském provozu. Testovací úsek bude mít vzdálenost 1,6 km na jih od Ingolstadtu. Ministerstvo dopravy a digitální infrastruktury projekt podpoří [26]. Audi testovalo autonomní vozidlo A7 bez řidiče na závodním okruhu Hockenheimring.



Obr. 13: Audi A7 piloted driving (upraveno z [27])

4.9 Volvo Drive Me

Výrobce vozidel Volvo testuje autonomní vozidla od roku 2013. Do roku 2017 chce testovat až 100 autonomních vozidel v oblasti Gothenburgu ve Švédsku. Trasa bude dlouhá přibližně 50 km. Jedná se o největší projekt testování autonomních vozidel v běžném provozu.

Vozidla XC90 jsou vybavena:

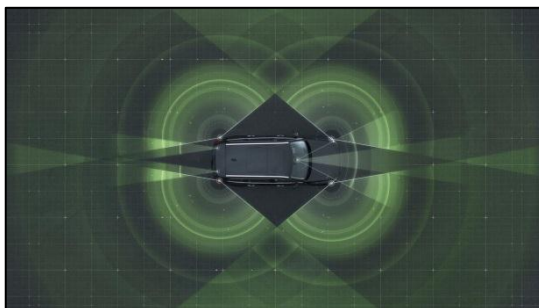
- Kamery: 4 kamery, úhel 180°
- Stereoskopické zařízení: zařízení se 3 kamerami na předním okně pro zjišťování vzdálenosti objektů, úhel 140°, vzdálenost 150 m
- Radary 76 Ghz, 4x prostorový radary, úhel 140°, vzdálenost 60m, 3x long range radar, úhel 20°, vzdálenost 150 m
- laser scanner: vředu na vozidle, úhel 130°, vzdálenost 150 m
- ultrazvukové senzory: 4x vpředu, 4x vzadu, 4x na stranách
- mapovými podklady
- připojení na vzdálený server cloud
- připojení na dopravní centrum
- automatické parkování



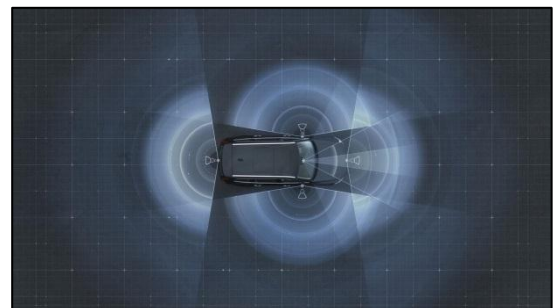
Obr. 14: Volvo XC90 Drive Me [28]



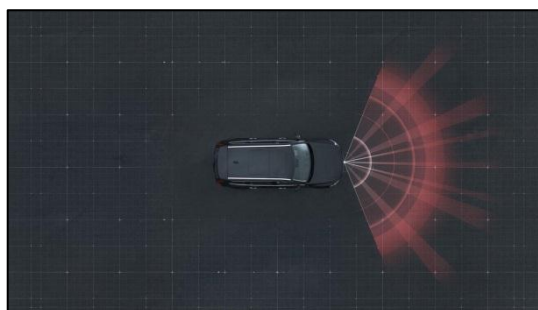
Obr. 15: Volvo XC90 Drive Me obrazovka řidiče [28]



Obr. 16: Rozložení radarů [29]



Obr. 17: Rozložení kamer [29]



Obr. 18: Laserový scanner [29]

4.10 AB Dynamics

Společnost AB Dynamics se sídlem ve Velké Británii poskytuje software a hardware autonomního řízení vozidel. Při zkoušení vozidel nemusí být řidič ve vozidle. Společnost vyvinula robotické řízení, které je možno přidat do jakéhokoli vozidla (i s manuální převodovkou). Základem je přesné řízení robotem, satelitní navigace GPS s přesností 2 cm, telemetrie pomocí bezdrátové sítě se základní stanicí pro ovládání a dohled nad vozidly, kde se nachází osoby dohlížející nad testování vozidel. Vozidlo je možné okamžitě zastavit ze základní stanice. Také je možné testovat více vozidel na jedné dráze. Tento systém je možné využít pro zkoušení nebezpečných manévru vozidel (rychlá změna jízdního pruhu, losí manévr), kde by se mohla zranit posádka testovaného vozidla.



Obr. 19: Testování Toyoty bez řidiče [30]



Obr. 20: Testování Audi A8 bez řidiče [30]



Obr. 21: Základní stanice pro ovládání a dohled nad vozidly [30]

4.11 Metodika zkoušení a testování

Důležitou částí v aplikaci autonomních vozidel do běžného života je zkoušení a testování vozidel.

Nařízení č. 79 OSN – řízení vozidel

V současné chvíli se diskutuje o změně o nařízení č. 79 OSN – řízení vozidel. Němečtí odborníci navrhuji změny pro rychlosti do 130 km/h, které souvisí se změnou zákonů pro řízení autonomních vozidel v Německu. Nařízení č. 79 obsahuje veškeré informace, které má splňovat řízení vozidla včetně testování a zkoušení.

- Kategorie 1 < 10 km/h, řízení v nízké rychlosti, parkování
- Kategorie 2 < 130 km/h, změna jízdních pruhů, kdy je vozidlo řízeno řidičem
- Kategorie 3 < 130 km/h, změna jízdního pruhu, řidič dohlíží nad vozidlem
- Kategorie 4 < 130 km/h, změna jízdních pruhů a jiné manévry bez dohledu řidiče

Dále se definuje:

- vodorovné dopravní značení, jízdní pruhy,
- viditelné vodorovné dopravní značení, dopravní značení je přímo viditelné z vozidla při řízení (není pokryto sněhem apod.),
- vedoucí vozidlo je vozidlo, které jede před autonomním vozidlem, požadavek na manuální ovládání vozidla,
- procedura převzetí kontroly nad řízením,
- minimální a maximální rychlost pro použití autonomního řízení,
- podmínky pro bezpečné řízení, hranice řízení (manévry, které nejsou možné vykonat automatickým řízením),
- stav automatického řízení,
- rozeznání bdělosti řidiče,
- provedení manévru autonomním řízením s nejmenším rizikem

Testovací podmínky

Test by měl probíhat na rovném a suchém asfaltu s dobrou adhezí. Teplota okolí by měla být od 0°C do 45°C. Vodorovné dopravní značení (jízdní pruhy) musí být viditelné a splňovat normy. Označení a rozložení vodorovného dopravního značení musí být zaznamenáno. Test by měl být proveden za snížené viditelnosti, které umožňují bezpečnou jízdu v požadované rychlosti.

Vedoucí vozidlo musí být běžné osobní vozidlo kategorie M1 z velké výrobní série, které bude autonomní vozidlo detekovat.

Přechod – chodec, chodec jako měkký cíl musí být zastoupen předmětem dospělého člověka z hlediska jeho detekčních vlastností, které utrpí minimální škodu a způsobí minimální poškození vozidla v případě nárazu.

Testy

Funkční test 1

Vozidlo jede s aktivovaným systémem automatického řízení nejméně 5 minut za vedoucím vozidlem. Mezera mezi vozidly musí být mezi 2s a 3s za vedoucím vozidlem. Vedoucí vozidlo musí jet v rámci dopravního značení po trati s různými zakřiveními s vodorovným dopravním značením na každé straně při různých rychlostech od minimální a maximální rychlosti použití autonomního řízení. Rychlost vedoucího vozidla musí být zvolena, aby boční zrychlení vedoucího vozidla nebylo větší než 1 m/s^{-2} . Test je splněný pokud vozidlo v průběhu testu nepřejede libovolný pruh dopravního značení.

Funkční test 2

Jízda s autonomním vozidlem s aktivním automatickým řízením nejméně 5 minut bez vedoucího vozidla. Vozidlo musí jet na trati s různými zakřiveními s vodorovným dopravním značením na obou stranách různými rychlostmi (od minimální až po maximální rychlost v autonomním režimu). Rychlost musí být zvolena, aby boční zrychlení vozidla nebylo větší než 1 m/s^{-2} . Test je splněný pokud vozidlo v průběhu testu nepřekročí libovolný pruh dopravního značení.

Test přechodu 1

Vozidlo jede s aktivovaným systémem autonomního řízení nejméně 1 minutu za vedoucím vozidlem. Mezera mezi vozidly musí být mezi 2s a 3s za vedoucím vozidlem. Vedoucí vozidlo musí jet v rámci dopravního značení po trati s různými zakřiveními s vodorovným dopravním značením na každé straně rychlostí o 10 km/h méně, než

vozidlo s maximální rychlost v autonomním režimu. Po rovném úsek nejméně 200 m vedoucí vozidlo vstupuje na křivku větší než 90° , kde je boční zrychlení větší než 3 m/s^{-2} . Řidič autonomního vozidla nesmí převzít řízení vozidla. Test je splněný pokud boční zrychlení překročí 3 m/s^{-2} a je provedeno manévru s nejmenším rizikem, které je stanoveno výrobcem. Vozidlo nesmí překročit libovolný pruh dopravního značení před zahájením manévru s nejmenším rizikem.

Test přechodu 2

Jízda s autonomním vozidlem s aktivním automatickým řízením nejméně 1 minutu bez vedoucího vozidla. Vozidlo musí jet na trati s vodorovným dopravním značením na obou stranách rychlostí o 10 km/h méně než je maximální rychlost v autonomním režimu. Po rovném úseku dlouhém nejméně 200 m vozidlo vstupuje do křivky větší než je 90° , kde je boční zrychlení větší než 3 m/s^{-2} . Řidič autonomního vozidla nesmí převzít řízení vozidla. Test je splněný pokud boční zrychlení překročí 3 m/s^{-2} a je provedeno manévru s nejmenším rizikem, které je stanoveno výrobcem. Vozidlo nesmí překročit libovolný pruh dopravního značení před zahájením manévru s nejmenším rizikem.

Test přechodu 3

Vozidlo jede s aktivovaným systémem autonomního řízení nejméně 1 minutu za vedoucím vozidlem. Mezera mezi vozidly musí být mezi 2s a 3s za vedoucím vozidlem. Vedoucí vozidlo musí jet v rámci dopravního značení po trati s různými zakřiveními s vodorovným dopravním značení na každé straně rychlostí o 10 km/h méně, než vozidlo s maximální rychlost v autonomním režimu. Po rovném úseku dlouhém nejméně 200 m vedoucí vozidlo vstupuje na úsek o délce 200 m pouze s jedním jízdním pruhem na straně řidiče. Řidič autonomního vozidla nesmí převzít řízení vozidla. Test je splněný pokud vozidlo v průběhu testu nepřekročí libovolný pruh dopravního značení, pokud byl požadavek na přechod 0 s, než vozidlo vstoupilo na úsek s chybějícím značení jízdního pruhu manévrem s minimálním rizikem podle výrobce.

Test přechodu 4

Jízda s autonomním vozidlem s aktivním automatickým řízením nejméně 1 minutu bez vedoucího vozidla. Vozidlo musí jet na trati s vodorovným dopravním značením na obou stranách rychlostí o 10 km/h méně než je maximální rychlost v autonomním režimu. Po rovném úseku dlouhém nejméně 200 m autonomní vozidlo vstupuje na úsek o délce 200 m pouze s jedním jízdním pruhem na straně řidiče. Řidič autonomního vozidla nesmí převzít řízení vozidla. Test je splněný pokud vozidlo v průběhu testu nepřekročí libovolný pruh dopravního značení, pokud byl požadavek na

přechod 5 s, než vozidlo vstoupilo na úsek s chybějícím značením jízdního pruhu manévrem s minimálním rizikem podle výrobce.

Nouzový test 1

Vozidlo jede s aktivovaným systémem autonomního řízení nejméně 1 minutu za vedoucím vozidlem. Mezera mezi vozidly musí být 3s za vedoucím vozidlem. Vedoucí vozidlo musí jet na trati s vodorovným dopravním značením na obou stranách rychlostí o 10 km/h méně než je maximální rychlost v autonomním režimu. Vedoucí vozidlo brzdí 6 m/s^2 a ryv brzd 6 m/s^3 v první vteřině brzdění. Test je splněný, pokud autonomní vozidlo nekoliduje s vedoucím vozidlem.

Nouzový test 2

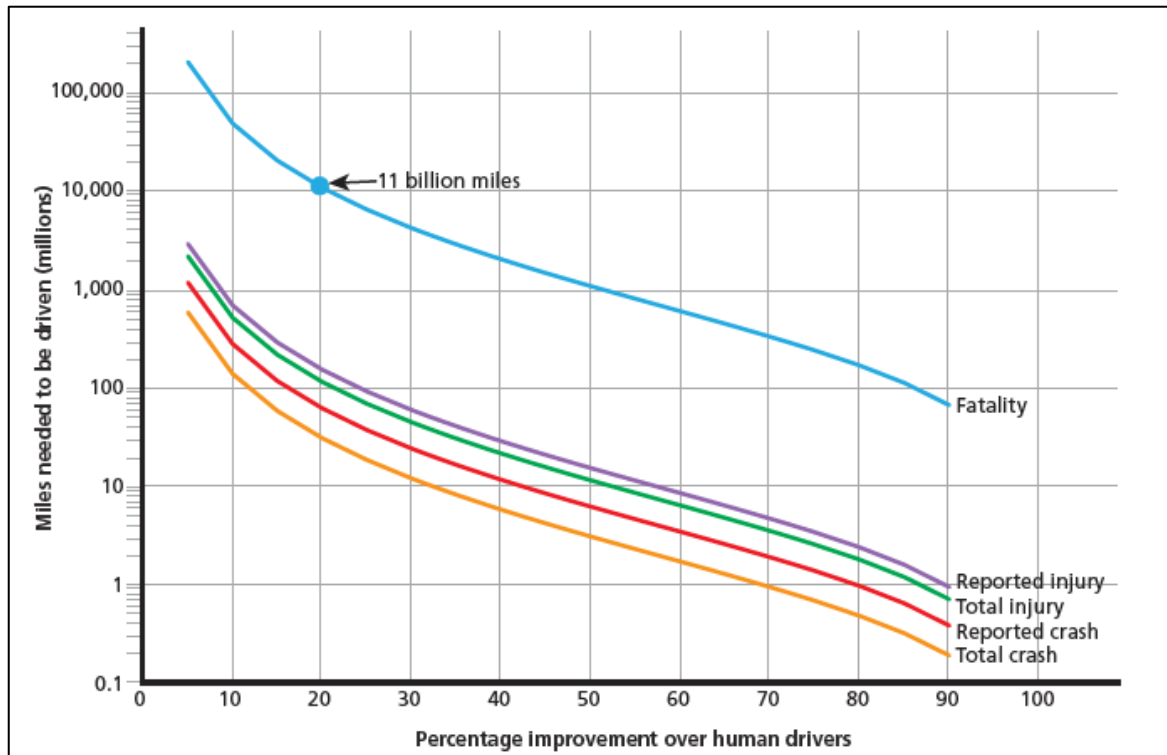
Jízda s autonomním vozidlem s aktivním automatickým řízením nejméně 1 minutu bez vedoucího vozidla. Vozidlo musí jet na trati s vodorovným dopravním značením na obou stranách rychlostí o 10 km/h méně než je maximální rychlost v autonomním režimu. Vozidlo musí směřovat k přechodu pro chodce, kde je ve středu přechodu umístěný předmět měkkého cíle (figurína). Test je splněný, pokud autonomní vozidlo nekoliduje s měkkým cílem (figurínou).

Nouzový test 3

Jízda s autonomním vozidlem s aktivním automatickým řízením nejméně 1 minutu. Vozidlo musí jet na trati s vodorovným dopravním značením na obou stranách rychlostí o 30 km/h nižší než je maximální rychlost v autonomním režimu nebo minimální rychlostí v autonomním režimu, podle toho, která rychlost je vyšší. Jízda musí být mezi dvěma ostatními vozidly. Mezera mezi vozidly musí být 3s za vedoucím vozidlem. Vyvolat vyšší rychlostí změnu jízdního pruhu. V průběhu změny jízdního pruhu přijíždí vozidlo zezadu rychlostí o 50 km/h vyšší než je maximální rychlost v autonomním režimu. V okamžiku, kdy autonomní vozidlo překračuje jízdní pruh, další předjíždějící vozidlo musí být 2s TTC (čas do střetu). Test je splněný, pokud vozidlo nekoliduje s jiným vozidlem a přerušuje manévr změnu jízdního pruhu.

4.12 Kolik ujetých míl bude třeba pro prokázání spolehlivosti autonomních vozidel

Ve Spojených státech Amerických ročně zemře na silnicích 32 000 lidí. Z 90% jsou nehody způsobené lidskou chybou. Autonomní vozidla mohou být spolehlivější než lidé. Článek popisuje výpočet, jak určit kolik musí ujet autonomní vozidla míl pro prokázání spolehlivosti vyšší než člověk.



Obr. 22: Prokázání nižší chybovosti autonomních vozidel než u lidského řidiče s 95% jistotou [46]

Prokázání nižší chybovosti autonomních vozidel než u lidského řidiče s 95% jistotou

- 11 miliard míl
- 100 autonomních vozidel, 24 hodin denně, 365 dní v roce, průměrná rychlost 25 míl za hodinu

Celková doba testování 518 let

5 Aplikace autonomních vozidel do běžného provozu

Aplikace autonomních vozidel v současné době roku 2016 do běžného provozu je velice komplikovaná. Technický vývoj jako vždy v historii je o krok dále než právní předpisy. Je nutné, aby právní předpisy byly upraveny. Automobilový výrobci naléhají na vlády a politiky, aby se předpisy změnili. Avšak změna zákonů trvá dlouhou dobu. Technickými překážkami provozu autonomních vozidel je spolehlivé předání kontroly nad vozem mezi řidičem a autonomním režimem. Dalšími jsou bezpečnost a spolehlivost těchto systémů. A také ochrana před neoprávněným zásahem do systému vozidla nebo ochrana osobních údajů při sběru dat z vozidel. Zásadní je pro nové autonomní systémy vozidel, jako jsou asistenční systémy, zdali budou přínosné. Tyto systémy musí pracovat správně, být certifikovány a nesmí uživateli vozidla způsobit života ohrožující situaci v případě špatného vyhodnocení situace nebo nesprávného rozhodnutí na základě chybného sběru dat, do které by se vozidlo bez asistenčního systému nedostalo.

Spojené státy americké

Ve Spojených státech amerických je provoz autonomních vozidel povolený v některých státech, jako je například Kalifornie, Nevada, Florida. V USA není zcela jednoduché provozovat tyto vozidla. Žadatel musí splňovat celou řadu kritérií od pojištění po provoz vozidla. Právní předpisy pro autonomní vozidla jsou v jednotlivých státech odlišné. Obecně podobnou definicí autonomního vozidla je v právních předpisech Spojených států amerických následovné: autonomní technologie znamená technologii, která řídí vozidla bez aktivního zásahu a monitorování operátora-řidiče. Do kategorie autonomních vozidel nepatří asistenční systémy, které nejsou přímo používané k autonomnímu režimu jízdy. Mezi první státy se řadí Kalifornie, kde společnost Google testuje upravené vozidlo Lexus RX450h. Vozidlo musí být pojištěno poměrně vysokou částkou \$ 5.000.000, která je podmínkou při žádosti pro povolení testování autonomního vozidla. Vozidlo musí být vybaveno optickou signalizací, zdali je zapnutý autonomní režim jízdy a vozidlo řídí samo. Nezbytnou výbavou musí být prvek, který odpojuje autonomní režim vozidla a řidič musí být proškolen od výrobce autonomní technologie pro provoz vozidla a ovládání autonomního systému.

Spolková republika Německo

Mezi nejvíce se rozvíjející země v Evropské unii patří Spolková republika Německo. Do tohoto rozvoje patří i německý automobilový průmysl, který je velice inovativní. V současné době se nejvíce rozvíjejí autonomní technologie v Německu,

kteří očekává autonomní provoz od určité úrovně řízení od roku 2020. Německá vláda představila strategii pro autonomní vozidla. Na mezinárodní automobilové výstavě ve Frankfurtu nad Mohanem v roce 2015 představili výrobci nové koncepty autonomních vozidel. Hlavní překážkou pro provoz vozidel v autonomním režimu je nejen pro Německo ale i pro ostatní státy je Vídeňská konvence pro silniční provoz z roku 1968. Němečtí experti navrhuji změnu Vídeňské konvence a také změnu nařízení směrnice o směrovém řízení vozidla Evropské hospodářské komise OSN. Zajímavostí je, že Německo připravuje na testování autonomních vozidel a propojení vozidel bezdrátovou sítí (technologie V2V – vehicle to vehicle, V2X – vehicle to infrastructure) dálnici A9.

Evropská unie

V Evropské unii podle studie eIMPACT bylo přijato nařízení č. 661/2009. V tomto nařízení je povinnost elektronické systémy kontroly stability od 1. listopadu 2011 všechny nové typy vozidel, od 1. listopadu 2014 všechny nově vyráběná vozidla. Povinností jsou také vyspělé systémy nouzového brzdění, systém varování při vybočení z jízdního pruhu: 1. listopadu 2013 pro všechny nové typy těžkých užitkových vozidel, 1. listopadu 2015 pro všechny nově vyráběná těžká užitková vozidla. Podle studie eIMPACT by asistenční systémy měly snížit úmrtnost a zranění při nehodách, jak je uvedeno v bílé knize. Zajímavostí tohoto projektu je metoda výpočtu přínosu těchto systémů. eIMPACT se skládá z několika dokumentů, kde jsou analýzy těchto systémů. Výběr a hodnocení systémů bylo prováděno na seminářích zástupci organizací, odborníků a výrobců na seminářích tzv. papírovou metodou. Účastníci vyplňovali formulář (papírovou metodu – formulář o velikosti papíru A4, která je pro příklad uvedena v příloze) a hodnotili přínosy systémů podle studií. Následně bylo vybráno vícekritériální analýzou dvanáct asistenčních systémů. Na těchto systémech byla vypočítána složitou metodou přínos v oblasti záchrany lidských životů a snížení zranění při nehodách. Zda-li je studie eIMPACT správná, ukáže nová zkušenost s těmito systémy v nejbližších letech v reálných podmínkách silničního provozu.

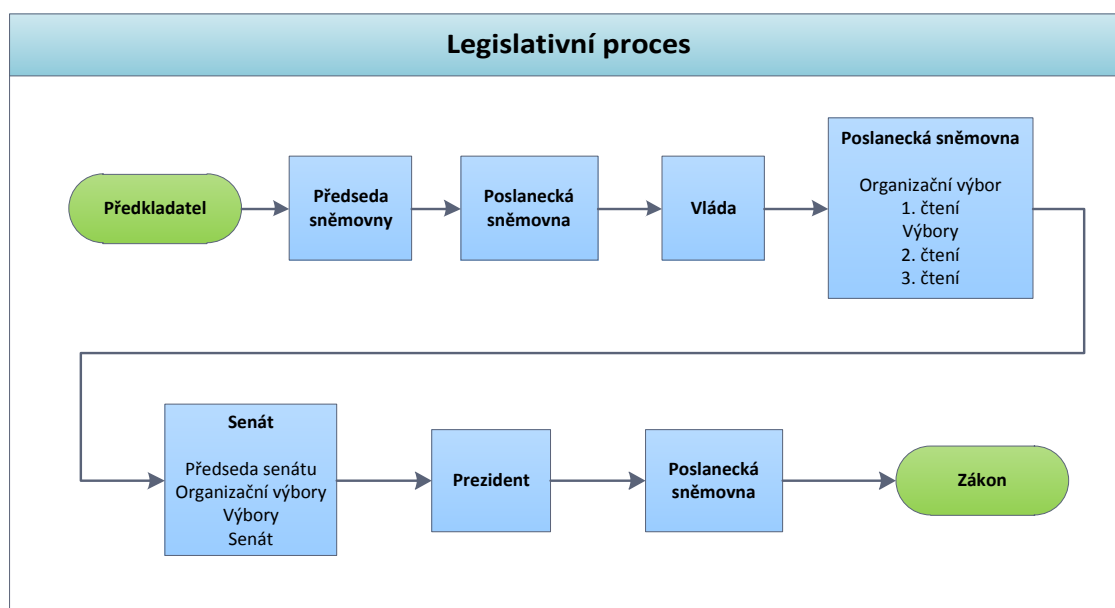
5.1 Česká republika

Provoz autonomních vozidel v České republice k roku 2016 není možné. Neexistuje zatím žádný právní předpis, který by umožnil provoz autonomních vozidel. Situace v ČR je stejná jako v ostatních zemích Evropské unie. Umožnění provozu autonomních vozidel na pozemních komunikacích by mohlo být podle nařízení evropského parlamentu a rady (ES). Nařízení EU je pro všechny členské státy právně závazné. Další možností umožnění provozu autonomních vozidel by mohla být změna právních předpisů v ČR.

5.1.1 Návrh právních předpisů

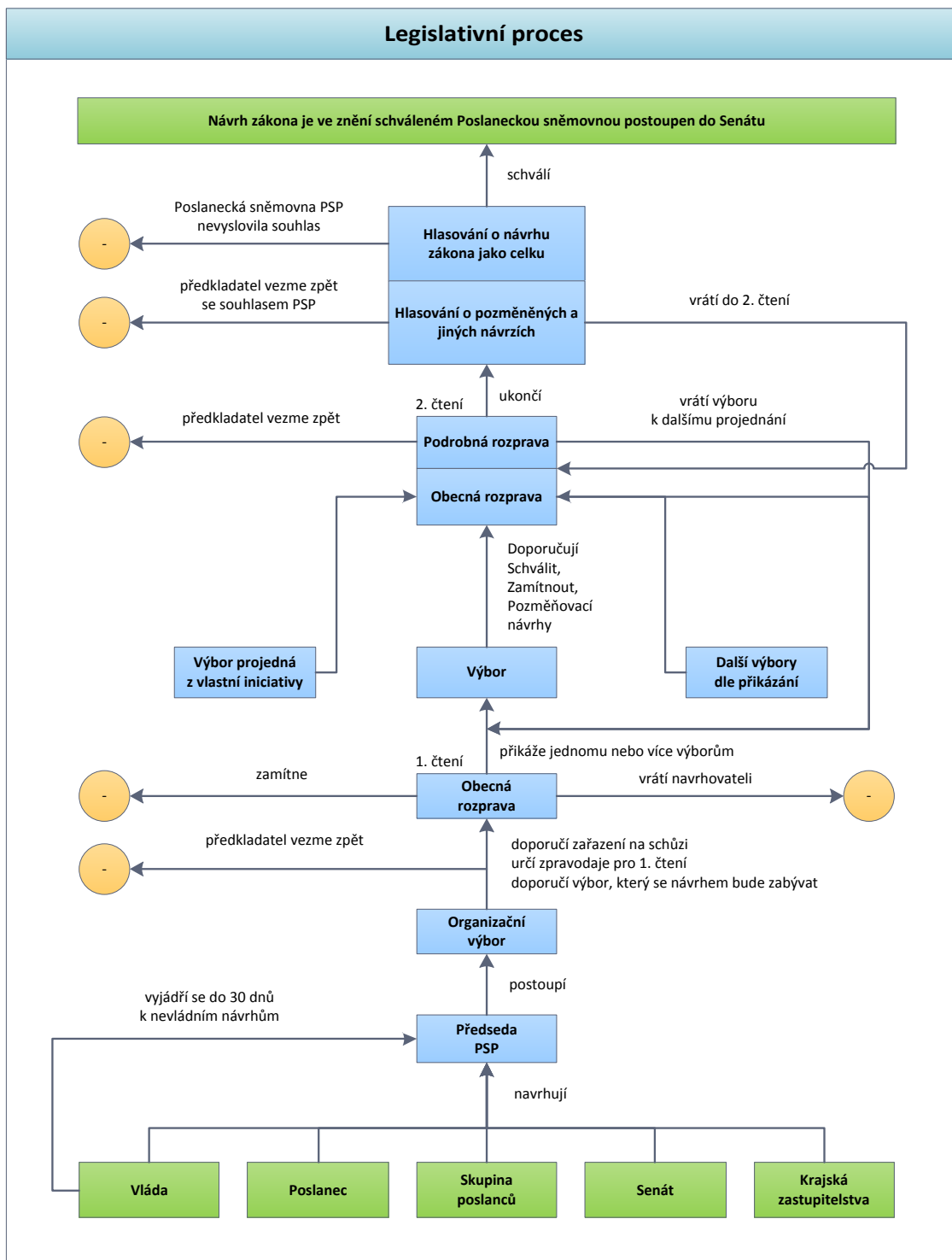
Legislativní proces

Návrh a tvorba zákonů v České republice je složitá a zdlouhavá. Nejkratší doba celého legislativního procesu je přibližně dva roky.



Obr. 23: Legislativní proces v České republice (upraveno z [32])

Předkladatelem je vláda (Ministerstvo dopravy České republiky)



Obr. 24: Legislativní proces v Poslanecké sněmovně Parlamentu České republiky (upraveno z [33])

5.1.2 Provozování autonomních vozidel

Po změně právních předpisů je důležité, jakým způsobem mohou být vozidla provozována na pozemních komunikacích. Za proces registrace a certifikátu testu bezpečnosti autonomní technologie vozidla bude zodpovídat Ministerstvo dopravy České republiky. Proto je nutné navrhnout postup aplikace autonomních vozidel do běžného života.

Ministerstvo dopravy České republiky

Proces certifikace je složitý proces a je nutné ho právně upravit, aby byl v souladu se všemi platnými zákony (zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích, vyhláška č. 341/2014 Sb., o schvalování technické způsobilosti a o technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích, zákon č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů a dalších předpisů a zákonů).

Ministerstvo bude mít odpovědnost:

- certifikát testu bezpečnosti autonomní technologie
- registraci autonomního vozidla
- databáze nehod autonomních vozidel

Certifikát testu bezpečnosti autonomní technologie

Autonomní technologii se rozumí systém, který řídí vozidlo bez zásahu řidiče do řízení a hodnotí se jako celek – autonomní vozidlo. Bude nutné vytvořit skupinu úředníků a odborníků na dopravu a elektronické technologie. Tato skupina bude součástí procesu certifikace autonomního vozidla. Další zúčastněné strany: výrobce vozidla, výrobce autonomní technologie, vlastník vozidla, provozovatel vozidla a testovací řidič. Odborníci na dopravu a elektronické technologie určí postup testování vozidla. Návrh situací pro testování, simulace dopravních situací – křižovatka, přechody a chodci, přednost v jízdě, čtení dopravního značení, jízda v noci a za zhoršených klimatických podmínek, jak se senzory chovají v případě jejich nesprávné funkce (zda-li systém pozná, že sensor nefunguje správně, případně jak se vozidlo chová, pokud vyhodnotí bezpečnou situaci jako kritickou). Je nutné zabezpečit bezpečný provoz za všech podmínek – jízda v noci za deště nebo za silného sněžení, kde nelze rozeznat jízdní pruhy. Případně určit omezení pro testování vozidla. Je nutné zajistit proces, který umožňuje opakovat testování vozidla za stejných podmínek, aby bylo měření spolehlivé. Tento proces musí být pro všechny individuálně upravená vozidla stejná bez jakýchkoliv výjimek. Možností by byla realizace dopravní stavby pro testování těchto

vozidel. Bezpečnost je nejdůležitější pro hodnocení vozidla, pro ochranu ostatních účastníků provozu a zranitelných účastníků provozu.

Registrace autonomního vozidla

Vozidlo bude registrováno individuálně podle žádosti registrace autonomního vozidla. Bude nutné vytvořit registr autonomních vozidel, případně upravit současný registr vozidel. Formuláře je nutné upravit, aby splňovali právní předpisy: Zákon č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů a dalších předpisů a zákonů. Zákon č. 328/1999 Sb., o občanských průkazech. Zákon č. 329/1999 Sb., o cestovních dokladech. Zákon č. 326/1999 Sb., o pobytu cizinců na území České republiky. Registraci vozidla je možné provést pouze po získání certifikátu testu bezpečnosti autonomní technologie, který se bude přikládat k žádosti k registraci autonomního vozidla. V současné době a technickém rozvoji by bylo vhodné zajistit bezhotovostní platby na pokladně úřadu. Následně také i poslání formuláře v elektronické formě. Provozovatel nebo vlastník vozidla obdrží od úřadu SPZ v počtu dvou kusů registračních tabulek ve specifickém formátu (F 0000) pro testovací vozidla. Vozidlo musí být konstrukčně upravené tak, že se senzory a jiné důležité prvky pro řízení vozidla nebudou nacházet na specifickém místě pro registrační tabulku.

Databáze nehod autonomních vozidel

Všechny nehody autonomních vozidel bude nutné podrobně zaznamenat. Při návrhu postupu vyšetřování nehod je nutné přizvat zkušené soudní znalce z oboru silničních nehod s letitou praxí. Zároveň by se měl změnit systém záznamu nehod a příčin do databáze. Aby z databáze mohly vycházet případně další výzkumy s vhodnými daty z databáze. Případně je nutné spustit diskuse na celoevropské úrovni o změně evropské databáze CARE.

Lokalita testování

Autonomní vozidla by mohla být testována na veřejných pozemních komunikacích po získání certifikace a registrace. Lokalita testování by měla být určena Ministerstvem dopravy ČR. Následně by měli být seznámeni starostové obcí, kde by testy měly probíhat. Ti následně vyrozumí obyvatele. V případné nespokojenosti obyvatel můžou uspořádat veřejné referendum v daných obcích, zdali souhlasí nebo nesouhlasí s provozem těchto vozidel. Účinnost pro testování vozidel by mělo být až po určité době, kdy se můžou podat připomínky a uspořádat referendum. Nejdůležitější je brát ohled na obyvatele a nelze tyto vozidla testovat, kdy se lidé cítí ohroženě. Je nutné nalézt vhodnou lokalitu pro provoz. Vždy s ohledem na obyvatele.

Trestní odpovědnost

Podle zákona č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích má zodpovědnost řidič. § 5 Povinnosti řidiče, b) věnovat se plně řízení vozidla nebo jízdě na zvířeti a sledovat situaci v provozu na pozemních komunikacích. § 47, Dopravní nehoda, (1) Dopravní nehoda je událost v provozu na pozemních komunikacích, například havárie nebo srážka, která se stala nebo byla započata na pozemní komunikaci a při níž dojde k usmrcení nebo zranění osoby nebo ke škodě na majetku v přímé souvislosti s provozem vozidla v pohybu.

Řidič

Řidičem musí být osoba, která musí mít platné veškeré doklady: doklad totožnosti, řidičský průkaz, technický průkaz, doklad o pojištění vozidla. Kategorie vozidla určí výrobce vozidla. Řízení motorového vozidla bez držení příslušné skupiny nebo podskupiny řidičského oprávnění – bodové hodnocení 4. Řidič musí být proškolen výrobcem autonomní technologie, jakým způsobem vozidlo ovládat a předávat řízení mezi řidičem a autonomním režimem.

Pojištění vozidel a odpovědnosti

Autonomní vozidlo musí být pojištěno jako vozidlo, podle zákona č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích, § 6, (8) Řidič motorového vozidla musí mít při řízení u sebe, c) doklad prokazující pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla podle zvláštního právního předpisu. Vozidlo je nutné pojistit vysokou částkou, minimální částka je 35 milionů Kč. Zákon č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla). § 3a, Limity pojistného plnění, (2) Limit pojistného plnění musí odpovídat, a) při újmě podle § 6 odst. 2 písm. a) nejméně 35000000 Kč na každého zraněného nebo usmrceného včetně náhrady nákladů vynaložených na péči hrazenou z veřejného zdravotního pojištění a regresního nároku podle § 6 odst. 4, b) při újmě podle § 6 odst. 2 písm. b) a c) nejméně 35000000 Kč bez ohledu na počet poškozených; převyšuje-li součet nároků uplatněných více poškozenými limit pojistného plnění uvedený v pojistné smlouvě, pojistné plnění se každému z nich snižuje v poměru tohoto limitu k součtu nároků všech poškozených. Vhodná částka pojištění je 100 milionů Kč.

5.1.3 Novela zákona o provozu na pozemních komunikacích

Pro aplikaci autonomních vozidel do běžného života je nutné změnit zákon č. 361/2000 Sb. V novele je nutné vymezit základní pojmy: kdo je provozovatel a vlastník autonomního vozidla, autonomní vozidlo, autonomní režim řízení, nouzové

odpojení autonomního režimu. Dále úrovně řízení autonomního vozidla podle SAE J3016. Jaké bude mít řidič autonomního vozidla povinnosti, v manuálně nebo automaticky řízeném vozidle. Z důvodu bezpečnosti provozu autonomního režimu jízdy je nutné vybavit vozidla nouzovým odpojením autonomní technologie, aby řidič mohl okamžitě převzít řízení nad vozidlem. Výrobce vozidla neodpovídá za nehodu způsobenou vozidlem, které bylo upraveno třetí stranou, pokud nehodu nezpůsobila původní neupravená část vozidla. Ministerstvo dopravy České republiky určí území a podmínky pro provoz autonomního vozidla.

Návrh novely zákona č. 361/2000 Sb., je součástí přílohy č. X této práce.

Je na rozhodnutí Ministerstva dopravy České republiky, zdali v případě aplikace autonomních vozidel do běžného provozu vytvoří novelu zákona č. 361/2000 Sb., nebo vytvoří úplně nový zákon.

5.1.4 Ochrana osobních údajů

V případě shromažďování dat pro vyhodnocování provozu autonomních vozidel v běžném provozu by měli být vlastníci vozidel informováni, jaká data jsou shromažďována výrobcem vozidel, správcem, který zpracovává osobní informace. Je nutné, aby v souladu se zákony České republiky bylo respektováno soukromí a osobní údaje vlastníků a provozovatelů vozidel. Podle zákona č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů.

Vymezení pojmů § 4

e) zpracováním osobních údajů jakákoliv operace nebo soustava operací, které správce nebo zpracovatel systematicky provádějí s osobními údaji, a to automatizovaně nebo jinými prostředky. Zpracováním osobních údajů se rozumí zejména shromažďování, ukládání na nosiče informací, zpřístupňování, úprava nebo pozměňování, vyhledávání, používání, předávání, šíření, zveřejňování, uchovávání, výměna, třídění nebo kombinování, blokování a likvidace,

f) shromažďováním osobních údajů systematický postup nebo soubor postupů, jehož cílem je získání osobních údajů za účelem jejich dalšího uložení na nosič informací pro jejich okamžité nebo pozdější zpracování,

i) likvidací osobních údajů se rozumí fyzické zničení jejich nosiče, jejich fyzické vymazání nebo jejich trvalé vyloučení z dalších zpracování,

j) správcem každý subjekt, který určuje účel a prostředky zpracování osobních údajů, provádí zpracování a odpovídá za něj. Zpracováním osobních údajů může správce zmocnit nebo pověřit zpracovatele, pokud zvláštní zákon nestanoví jinak,

k) zpracovatelem každý subjekt, který na základě zvláštního zákona nebo pověření správcem zpracovává osobní údaje podle tohoto zákona,

Při shromažďování citlivých informací je možné pouze za předpokladu souhlasu vlastníka nebo provozovatele vozidla (§ 5 odst. 1). V rámci vývoje a výzkumu bezpečnosti vozidel, statistik apod. bude předpokládáno, že výrobce určité informace bude shromažďovat. Mohlo by se jednat o anonymní data jako typ vozidla, ujeté kilometry, zaznamenaná trasa podle družicové navigace, chyby systému vozidla. Samozřejmostí bude zabezpečení shromážděných dat u správce. Správce je možné definovat jako subjekt, který má zodpovědnost za shromažďování dat. Může to být například určité oddělení u výrobce vozidel. Správce je povinen stanovit účel, k němuž mají být osobní údaje zpracovány, stanovit prostředky a způsob zpracování osobních údajů. Data mohou být shromažďována pomocí modemu 3G/4G nebo při preventivních prohlídkách vozidel. Při použití modemu 3G/4G je nutné zvážit přínosy a rizika tohoto shromažďování dat. Například při neoprávněném přístupu do vozidla přes komunikační síť. Správce je povinen zpracovat pouze přesné osobní údaje, které získal v souladu s tímto zákonem. Je-li to nezbytné, osobní údaje aktualizuje. Zjistí-li správce, že jím zpracované osobní údaje nejsou s ohledem na stanovený účel přesné, provede bez zbytečného odkladu přiměřená opatření, zejména zpracování blokuje a osobní údaje opraví nebo doplní, jinak osobní údaje zlikviduje (§ 5 odst. 1 písm. c). Může tedy shromažďovat osobní údaje odpovídající pouze stanovenému účelu a v rozsahu nezbytném pro naplnění stanoveného účelu (§ 5 odst. 1 písm. d). Správce si musí určit dobu, v jaké bude data uchovávat. V případě uchovávání výše uvedených typů informací bude potřeba velkých kapacit úložných datových serverů. Správce bude mít povinnost zabránit neoprávněnému přístupu k datovým nosičům (Povinnosti osob při zabezpečení osobních údajů § 13 odst. d), tj. zabránit přístupu k úložným datovým serverům. Správce může uchovávat osobní údaje pouze po dobu, která je nezbytná k účelu jejich zpracování. Po uplynutí této doby mohou být osobní údaje uchovávány pouze pro účely státní statistické služby, pro účely vědecké a pro účely archivnictví. Při použití pro tyto účely je třeba dbát práva na ochranu před neoprávněným zasahováním do soukromého a osobního života subjektu údajů, a osobní údaje anonymizovat (§ 5 odst. 1 písm. e). Proto je možné tyto data charakterizovat za předpokladu, že jsou anonymní, jako možná pro použití pro vědecké účely. Informaci o blokování, opravě, doplnění nebo likvidaci osobních údajů je správce povinen bez zbytečného odkladu předat všem příjemcům (§ 5 odst. 1 písm. c). Je nutné dodržovat shromažďování osobní údajů pouze otevřeně; je vyloučeno shromažďovat údaje pod záminkou jiného účelu nebo jiné činnosti (§ 5 odst. 1 písm. g). Tedy je nutné zamezit, aby se data shromažďovala pro jiné účely, než je vymezeno, tj. např. pro obchodování s citlivými informacemi. V případě odpovědnosti za případnou nehodu vozidla bude mít výrobce (např. technická porucha), může shromažďovat data bez souhlasu vlastníků nebo provozovatelů vozidel pokud je to nezbytné pro ochranu práv a právem chráněných zájmů správce, příjemce nebo jiné dotčené osoby; takové zpracování osobních údajů

však nesmí být v rozporu s právem subjektu údajů na ochranu jeho soukromého a osobního života (§ 5 odst. 2 písm. e). Subjekt údajů musí být při udělení souhlasu informován o tom, pro jaký účel zpracování a k jakým osobním údajům je souhlas dáván, jakému správci a na jaké období. Souhlas subjektu údajů se zpracováním osobních údajů musí být správce schopen prokázat po celou dobu zpracování (§ 5 odst. 4). Tedy správce musí mít archiv, který bude muset být zabezpečen proti úniku citlivých informací a souhlas nesmí ztratit. Pokud by byli výrobci v určitém obchodním sdružení (koncern, aliance) bude nutné v případě sdílení dat mezi jednotlivými subjekty za vědeckým a výzkumným účelem právně ošetřit.

Likvidaci osobních údajů podle § 20

(1) Správce nebo na základě jeho pokynu zpracovatel je povinen provést likvidaci osobních údajů, jakmile pomine účel, pro který byly osobní údaje zpracovány, nebo na základě žádosti subjektu údajů podle § 21.

(2) Zvláštní zákon stanoví výjimky týkající se uchovávání osobních údajů pro účely archivnictví a uplatňování práv v občanském soudním řízení, trestním řízení a správním řízení.

5.2 Odpovědnost za provoz vozidla v autonomním režimu

Podle platných zákonů České republiky, podle zákona č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích, článek 5, Povinnosti řidiče, (1) Řidič je kromě povinností uvedených v § 4 dále povinen, b) věnovat se plně řízení vozidla nebo jízdě na zvířeti a sledovat situaci v provozu na pozemních komunikacích.

V současné chvíli není možné provozovat autonomní vozidla na pozemních komunikacích v České republice. V případě změny zákonů by měl odpovědnost za případnou nehodu řidič. Dále se jedná o etický problém, zdali počítač-stroj může mít odpovědnost.

Výrobce vozidel Volvo ve svých prezentacích slibuje, že zaplatí škodu a převezme odpovědnost za nehodu způsobenou autonomním vozidlem [34]. S nejvyšší pravděpodobností jsou to pouze obchodní sdělení pro prezentaci jejich autonomních vozidel, v budoucnosti by záleželo na zákonech určité země, které jsou vždy nadřazené.

6 Rizika a bezpečnost

Riziko podle definice je možné nebezpečí (tj. možný stav vzniku újmy) pro chráněné zájmy a důraz je na slovo „možné“, kdežto samotný výraz „nebezpečí“ označuje jistou aktuální újmu pro chráněné zájmy [37]. Metody určení rizik může být pomocí SWOT analýzy a What-If analýzy.

6.1 SWOT analýza

SWOT analýza je metoda pro identifikování silných stránek (strengths), slabých stránek (weaknesses), příležitostí (opportunities) a hrozeb (threats) v určitém projektu.

<p style="text-align: center;">Strengths - silné stránky</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pohodlnější jízda na delší vzdálenosti na dálnici • Možnost využít volného času pro jiné aktivity • Bezpečnější doprava • Rychlejší reakce než u člověka • Méně stresových situací • Možnost ovládat vozidla pro hendikepované nebo starší lidi, kteří nemají řidičské oprávnění • Vozidlo může zaparkovat za městem a být přivoláno majitelem 	<p style="text-align: center;">Weaknesses - slabé stránky</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vyhodnocení dat • Požadavek na kvalitu infrastruktur • V současné chvíli málo zkušeností s autonomními vozidly • Nejsou schváleny zákony pro autonomní vozidla • Cena nového vozidla pro běžný provoz • Cena provozu autonomního vozidla
<p style="text-align: center;">Opportunities - příležitosti</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nové oblasti vývoje a výzkumu • Snížení emisí hledáním ideální trasy jízdy a režimu vozidla 	<p style="text-align: center;">Threats – hrozby</p> <ul style="list-style-type: none"> • spolehlivost autonomního systému bezpečně vyhodnocovat a reagovat na vzniklou situaci • Odpovědnost za nehodu člověk / výrobce • Pojištění vozidel • Etický problém • Rušení pracovních míst v přepravních společnostech • Shromažďování citlivých dat pro výzkum • Zabezpečení proti vniknutí do vozidel přes komunikační síť a následné ovládnutí systému vozidel • Zabezpečení proti sledování pozice vozidel

6.2 What-if analýza

What-if analýza je to, co se stane, když. Analýza je vhodná pro identifikace rizik. [37]

Tab. 5: What-if analýza

Možné dopady na životy a zdraví lidí	V případě poruchy hardwaru a softwaru, případně neovladatelnosti vozidla může dojít ke zranění řidiče v případě nehody nebo ostatních účastníků dopravy (chodci)
Jak se bude chovat vozidlo v případě situace, kterou neumí vyhodnotit	Výrobce autonomních vozidel musí zajistit, aby vozidlo mělo signalizační zařízení poruchy (akustický a světelný signál), autonomní režim se musí vypnout
Neproškolený řidič	Nesprávné ovládání vozidla, může dojít k zranění řidiče v případě nehody nebo ostatních účastníků dopravy (chodci)
Neoprávněné připojení do vozidla přes telekomunikační síť (3G/4G)	Možnost ovládání vozidla bez řidiče ve vozidle, panika řidiče, může dojít k zranění řidiče v případě nehody nebo ostatních účastníků dopravy (chodci)
Provoz autonomního režimu bez platných zákonů	Řidič se dopouští přestupku, případně trestného činu, protože v současné chvíli musí držet volant a věnovat se plně řízení vozidla
Nehoda způsobená autonomním vozidlem	Nedůvěra lidí v autonomní řízení
Nevhodné povětrnostní podmínky (déšť, mráz, teplo, vlhko)	Nutné vyhodnotit výrobcem autonomního vozidla, za jakých podmínek je bezpečné provozovat autonomní režim řízení
Špatná kvalita dopravní infrastruktury (špatně čitelné vodící linie, špatně čitelné dopravní značení)	Výrobce autonomních vozidel musí zajistit, aby vozidlo mělo signalizační zařízení poruchy (akustický a světelný signál), autonomní režim se musí vypnout
Neovladatelné vozidlo, u kterého nelze vypnout autonomní režim	Ve vozidle musí jít vždy vypnout autonomní režim, případně jej hardwarově odpojit z kabiny vozidla, může dojít k nehodě
Jak se budou chovat dvě autonomní vozidla, případně více autonomních vozidel, pokud se setkají	Vozidla musí správně vyhodnotit situaci, případně odpojit autonomní technologii, umět vyhodnotit např. vzájemné rušení lidarů

6.3 Vyhodnocení analýz SWOT a What-If

Cílem SWOT analýzy a What-If analýzy bylo určení rizik na základě bezpečnosti k lidskému zdraví.

Pro bezpečnost autonomních prostředků je důležité identifikovat rizika, analyzovat rizika, vyhodnotit rizika, rozhodnout o riziku, vypořádat se s riziky. Tedy identifikovat rizika, kde by mohlo dojít ke zranění řidiče, spolucestujících, ostatních osob a také zranitelných účastníků provozu jako jsou chodci. Největší riziko je spolehlivost autonomního systému bezpečně vyhodnocovat a reagovat na vzniklou situaci.

Je nutné zajistit, aby vozidlo bylo za každé situace ovladatelné i v případě poruchy hardwaru na vozidle. Výrobce by měl vybavit vozidlo akustickým a signalizačním zařízením poruchy. Také je nutné vybavit vozidlo nouzovým odpojením autonomního režimu, které musí být funkční za jakékoliv situace. Tedy i v případě ohrožení zdraví lidí. Řidič musí být proškolený, nesmí dojít k situaci, že bude vozidlo ovládané neproškoleným řidičem, který není seznámený s řízením vozidla. Dalším rizikem může být neoprávněné připojení do vozidla a tím i úmysl ohrozit lidské zdraví. Nutné je také se vypořádat s rizikem, kdy jsou dvě autonomní vozidla na komunikaci a jak se budou chovat.

Všechny tyto identifikovaná rizika jsou velice závažná a je nutné je minimalizovat. Školením řidičů, důslednou kontrolou technického stavu, zkouška nouzového odpojení vozidla, vydávání aktuálních softwarů pro vozidla, zabezpečení datové komunikace vozidla.

Dalším závažným rizikem může být odmítnutí autonomních vozidel veřejností v případě narůstání nehod způsobených autonomními vozidly, kdy by se lidé mohli cítit ohroženi strojem a dále přijmutí odpovědnosti za provoz těchto vozidel.

7 Případová studie pro autonomní vozidlo

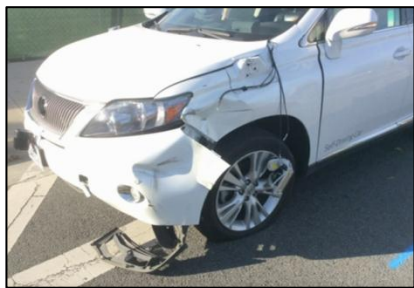
V případové studii se bude zabýváno vyhýbacím manévrem pro autonomní vozidlo. Mezi nejdůležitější manévry v běžném provozu jsou: bezkolizní zastavení (brzdění), vyhýbací manévr. Tyto manévry jsou důležité pro bezpečnost provozu. Veškeré manévry je důležité počítat s reakční dobou autonomního vozidla.

7.1 Nehody způsobené autonomními vozidly (autonomní řízení)

V současné době se začínají čím dál více objevovat autonomní vozidla v běžném provozu v USA. Společnost Google testuje autonomní vozidla Google Lexus RX 450h a vlastní prototyp autonomních vozidel. Nejvíce provozovaným sériově vyráběným vozidlem s autonomním řízením v USA je Tesla model S. Bohužel v roce 2016 způsobily autonomní vozidla dvě nehody, kde bylo prokázáno zavinění autonomním řízením vozidla.

7.1.1 Nehoda Lexus RX450h - autobus, 14. února 2016

Goole Lexus RX 450h jel po ulici El Camino Real v Mountain View v pravém jízdním pruhu ke křižovatce s ulicí Castro St. Vpředu na křižovatce byla červená fáze na světelném signalizačním zařízení a vozidla stála. Poté nastala zelená fáze na světelném signalizačním zařízení a vozidla se rozjela. Když se Lexus RX 450h blížil ke křižovatce, musel objet přes střední průběžný pruh pytle s pískem, které blokovali jízdní pruh. Několik vozů projelo střední průběžný pruh a poté Lexus RX 450h se začal řadit do středního průběžného pruhu. Zezadu se k němu blížil autobus, ale řidič vozidla Lexus RX 450h věřil, že autobus zastaví nebo zpomalí. Následně došlo ke středu vozidla Lexus RX 450h a autobusu. Vozidlo Lexus RX 450h jelo rychlostí 2 mph a autobus jel rychlostí 15 mph. Škody na vozidle Lexus RX 450h byly: levý přední blatník, levé přední kolo, jeden z postranních senzorů na straně řidiče. Nehoda byla bez zranění.



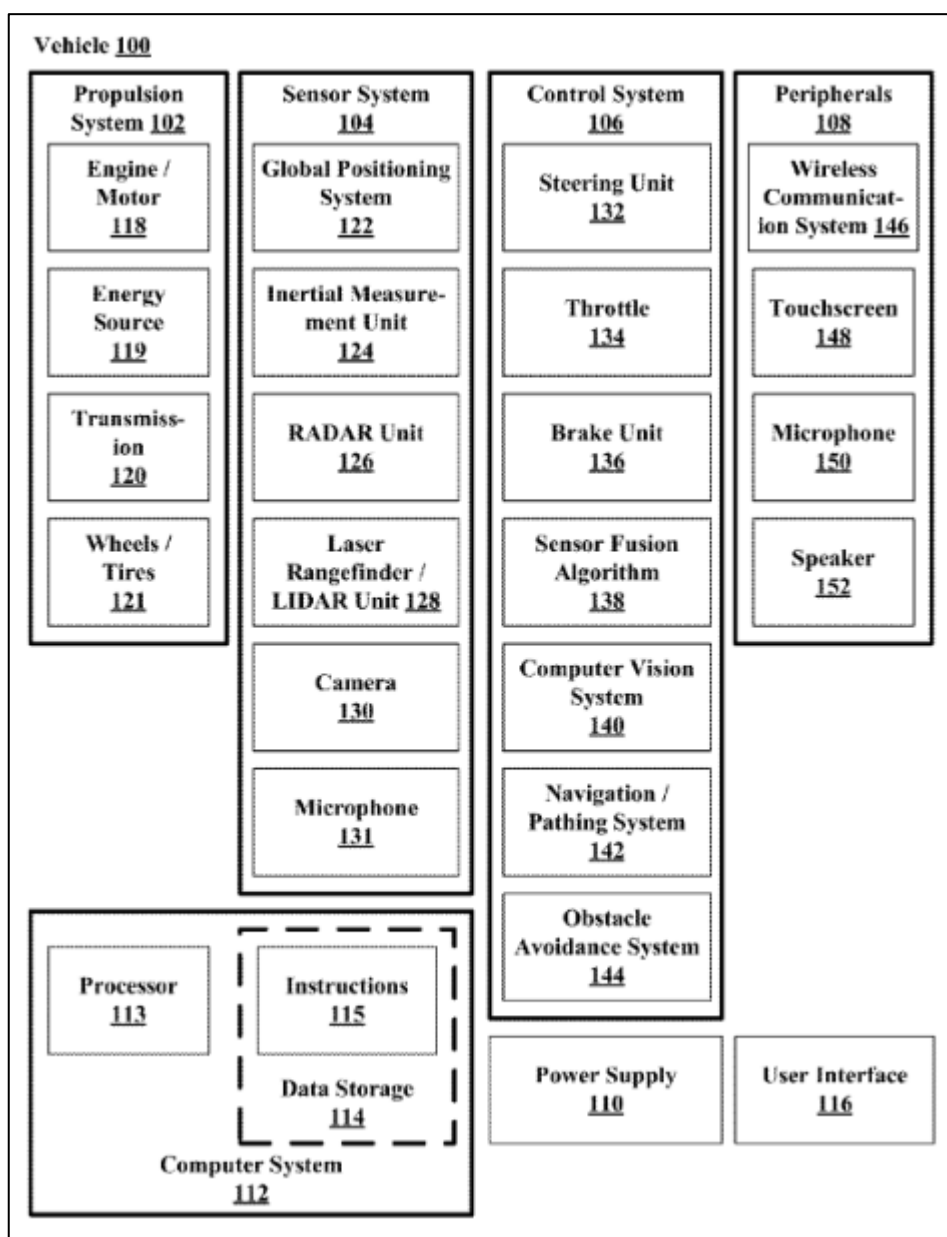
Obr. 25: Bok autobusu po nehodě [zdroj: AP]



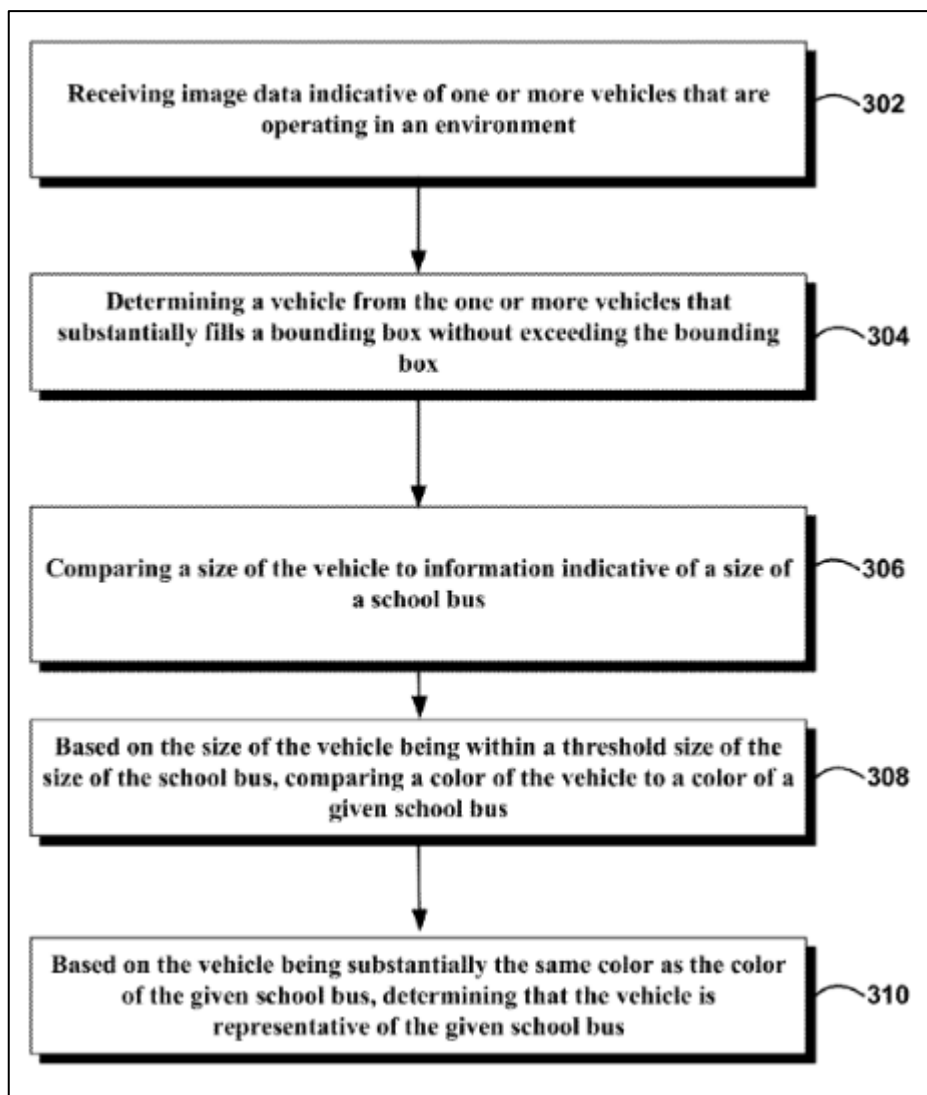
Obr. 26: Google Lexus RX 450h [zdroj: AP]

Patent č. US 9,280,710 B1, dne 8. března

Google si nechal po této nehodě patentovat rozeznávání školních autobusů. V patentu je popsáno, jakým způsobem systém rozezná školní autobus. Rozhodovací algoritmus funguje tak, že systém obdrží obraz jednoho nebo více vozidel, které jsou v prostředí. Následně se provádí určování, zdali obraz vozidla nebo vozidel nepřekračuje hranice velikosti rámce. Následně se provede porovnání velikostí z obrazu vozidla s velikostí školního autobusu. Poté se porovná barva vozidla se školním autobusem. Celý proces rozhodování je popsán v patentu.



Obr. 27: Systémy autonomního vozidla [patent č. US 9,280,710 B1]



Obr. 28: Rozhodovací algoritmus [patent č. US 9,280,710 B1]

Záznam nehody Google Lexus RX 450h

SECTION 5 — ACCIDENT DETAILS - DESCRIPTION	
<input checked="" type="checkbox"/> Autonomous Mode	<input type="checkbox"/> Conventional Mode
<p>A Google Lexus-model autonomous vehicle ("Google AV") was traveling in autonomous mode eastbound on El Camino Real in Mountain View in the far right-hand lane approaching the Castro St. intersection. As the Google AV approached the intersection, it signaled its intent to make a right turn on red onto Castro St. The Google AV then moved to the right-hand side of the lane to pass traffic in the same lane that was stopped at the intersection and proceeding straight. However, the Google AV had to come to a stop and go around sandbags positioned around a storm drain that were blocking its path. When the light turned green, traffic in the lane continued past the Google AV. After a few cars had passed, the Google AV began to proceed back into the center of the lane to pass the sand bags. A public transit bus was approaching from behind. The Google AV test driver saw the bus approaching in the left side mirror but believed the bus would stop or slow to allow the Google AV to continue. Approximately three seconds later, as the Google AV was reentering the center of the lane it made contact with the side of the bus. The Google AV was operating in autonomous mode and traveling at less than 2 mph, and the bus was travelling at about 15 mph at the time of contact.</p> <p>The Google AV sustained body damage to the left front fender, the left front wheel and one of its driver's-side sensors. There were no injuries reported at the scene.</p>	

Obr. 29: Záznam nehody Google Lexus RX 450h [protokol o nehodě - příloha]

7.1.2 Nehoda Tesla Model S – kamion, 7. květen 2016

Autonomní režim vozidla Tesla Model S způsobil smrtelnou nehodu dne 7. května 2016. V odpoledních hodinách se pohybovalo vozidlo Tesla Model S a autonomní režim vozidla nereagoval na kamion v protisměru, který odbočoval vlevo. Pravděpodobně nebyl rozeznán návěs bílé barvy. Vozidlo Tesla projelo skrz návěs a pokračovalo dále do prostranství cca. 30 metrů do prostranství. Řidič byl na místě nehody nalezen mrtev. Řidič Tesly se nevěnoval řízení. Florida je jeden ze států, kde je možné provozovat vozidlo v autonomním režimu.

Rychlost vozidla Tesla: 104,6 km/h (65 mph)

ID Number	Rank	Name	Troop / Post	Officer Agency	Phone Number	Date Created
3882	TROOPER	FULTON, D. M.	B	FLORIDA HIGHWAY PATROL	352-498-1374	May 08, 2016

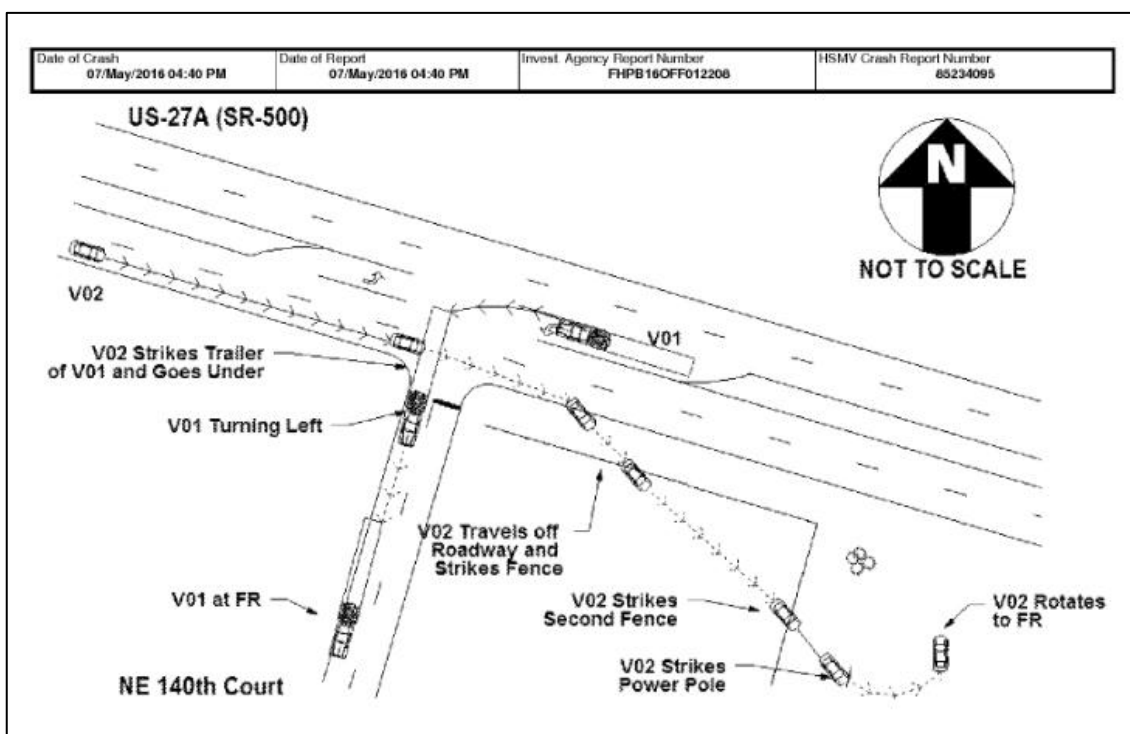
Vehicle 01 (V01) was traveling westbound on US-27 Alternate in the left turn lane to NE 140th Court. Vehicle 02 (V02) was traveling eastbound on US-27 Alternate in the outside lane.

V01 proceeded to make a left turn on to NE 140th Court directly in front of V02 as it was oncoming. V02's roof struck the underside of V01's trailer and passed underneath V01's trailer. V02 continued to travel eastbound on US-27A until V02 traveled off of the roadway on to the southern shoulder of US-27A's eastbound lanes. V02 traveled along the shoulder in a southeasterly direction until V02's front right struck a wire fence. V02 traveled through the fence and across a field until V02's front struck another wire fence. V02 passed through the fence and continued to move in a southeasterly direction until the front left of V02 struck a utility power pole. V02 rotated in a counter-clockwise direction while sliding southeast until V02 came to final rest facing in a northerly direction, approximately 100 feet south of US-27A.

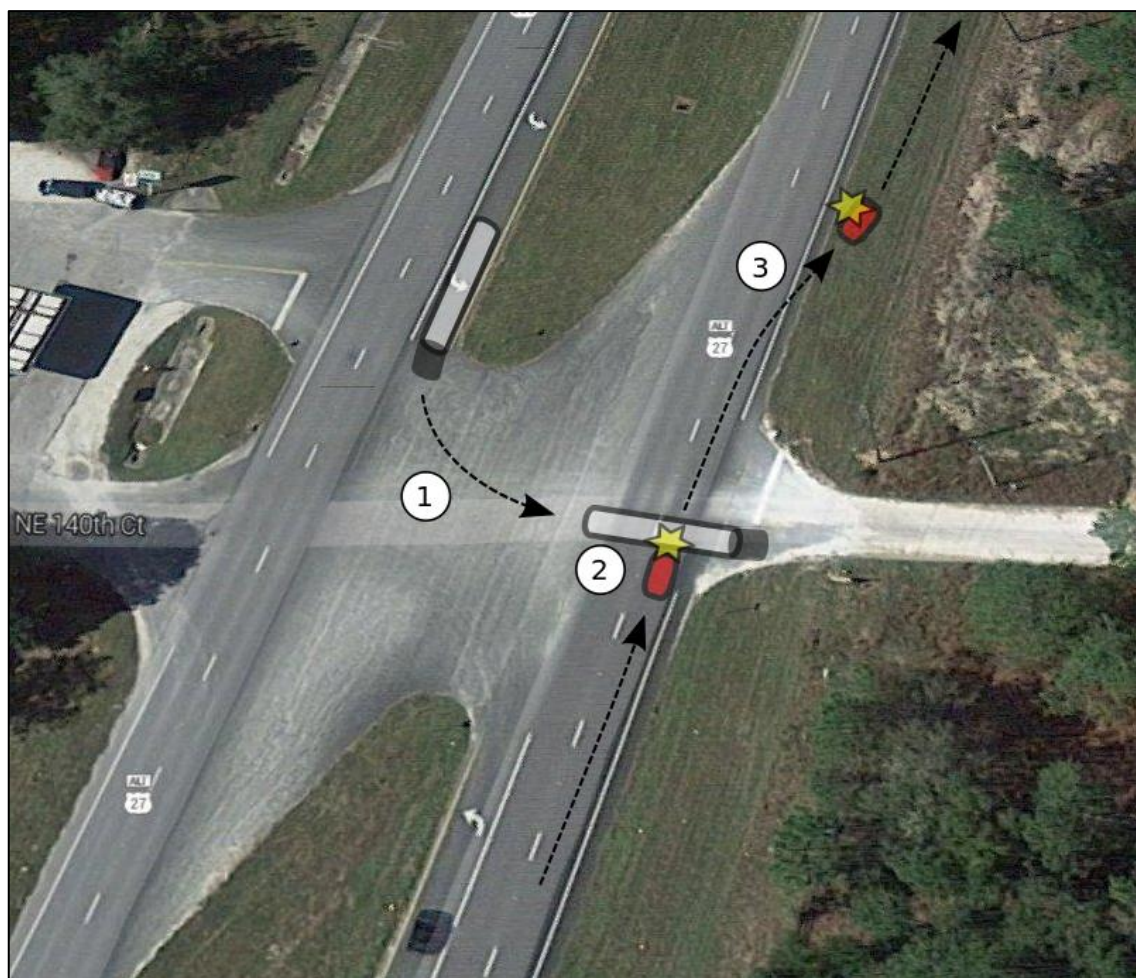
Driver 02 (D02), Joshua David Brown (DOB: 01/20/1976) was pronounced deceased at 4:51pm by Lt. Gonzalez of the Levy County Fire Rescue. A voluntary blood draw was taken from D01 and was turned in to Troop B Evidence in Cross City for safekeeping.

Traffic Homicide Case #: 716-39-007
 Traffic Homicide Investigator: Cpl. Daphne P. Yuncker
 Photographs by: Cpl. Daphne P. Yuncker & Cpl. Shaun R. Lattinville

Obr. 30: Záznam o dopravní nehodě Tesla model S [31]



Obr. 31: Náčrt nehody [31]



Obr. 32: Nehoda Tesla model S - kamion, satelitní pohled [41]

S nejvyšší pravděpodobnosti autonomní systém vozidla Tesla model S nedetekoval kamion a tím došlo k nehodě.

7.2 Vyhodnocení situace pro nehodu Tesla model S a kamion

Pro vyhodnocení nehody se výpočty rozdělí na dvě kategorie – kamion v pohybu (reálný případ) a kamion, který v pohybu není a zastaví uprostřed komunikace.

Před nehodou mohly nastat tyto situace:

Kamion je v pohybu

- Vozidlo Tesla model S mohlo přibrzdit a vyhnout se srážce
- Vozidlo Tesla model S mohlo provést vyhýbací manévr bez brzdění

Kamion se zastavil ve vozovce

- Vozidlo Tesla model S může provést manévr bezkolizního zastavení
- Vozidlo Tesla model S může provést vyhýbací manévr na šířku jízdního pruhu

Parametry pro nehodu

Tesla model S

- rychlost: 29 m/s
- šířka vozidla: 1,964 m

Kamion

- rychlost 15,6 m/s
- délka vozidla: 16,7 m (podle kategorie heavy)

Šířka komunikace: 9,5 m

7.3 Kinematika hmotného bodu

Pro výpočet jsou uvedeny základy kinematiky hmotného bodu.

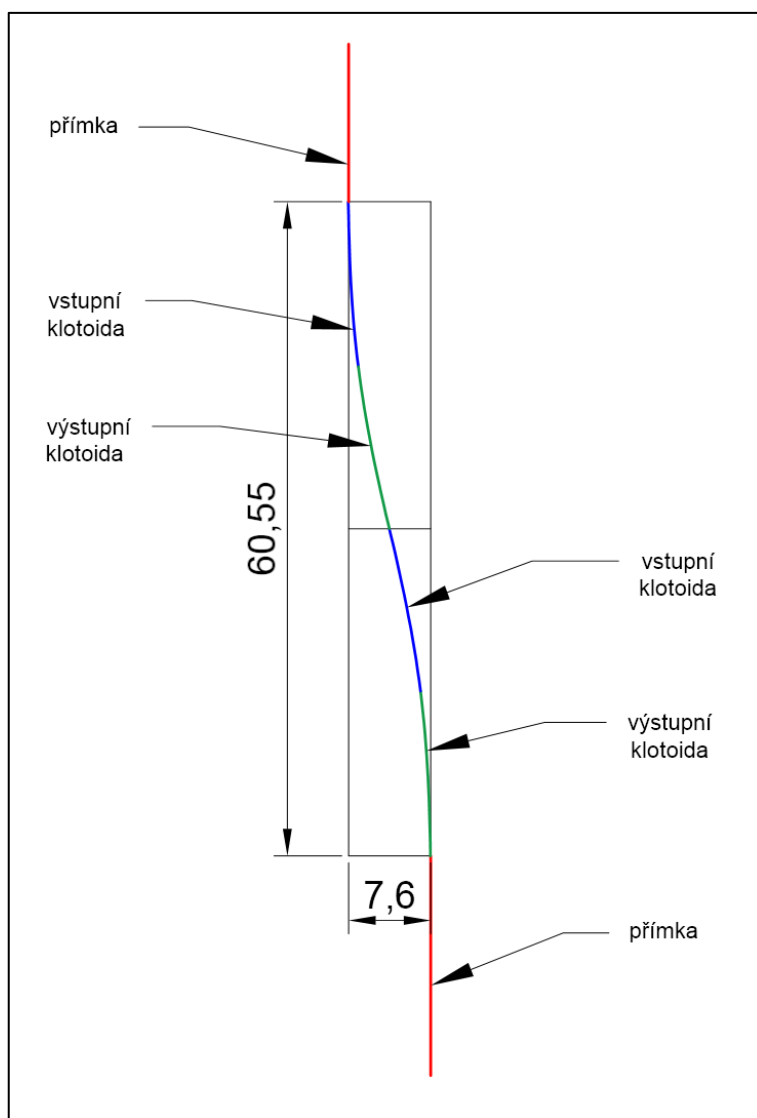
Tab. 6: Kinematika hmotného bodu

Pohyb rovnoměrný	
rychlost	$v = konst.$
dráha	$s = v \cdot t \quad s = s_0 + v \cdot t$
Pohyb rovnoměrně zrychlený	
zrychlení	$a = konst.$
rychlost	$v = \int a dt$ $v = v_0 + a \cdot t$
dráha – zrychlení	$s = \int v dt = \int (v_0 + a \cdot t)$ $s = s_0 + v \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$ konkávní parabola
dráha – zpomalení	$s = \int v dt = \int (v_0 - a \cdot t)$ $s = s_0 + v \cdot t - \frac{1}{2} a \cdot t^2$ konvexní parabola

7.4 Vyhýbací manévr

Vyhýbací manévr je v reálném případě složitý proces. Reálný vyhýbací manévr je složený z přechodnic klotoid. Následné výpočty jsou zjednodušeny pro případ výpočtu. Jsou rozděleny do dvou skupin:

- vyhýbací manévr s kružnicovými oblouky
- vyhýbací manévr s kružnicovými oblouky a tečnou
- vyhýbací manévr s přechodnicemi – klotoidy



Obr. 33: Skutečný vyhýbací manévr s přechodnicemi klotoida

7.4.1 Vyhýbací manévř s dvěma kružnicovými oblouky

Pro pozdější výpočet vyhýbacího manévřu je třeba určit vyhýbací manévř s kružnicovými oblouky. Zjištěním poloměru se určí vzdálenost y . Kružnicové oblouky jsou na sebe tečné.

7.4.2 Poloměr

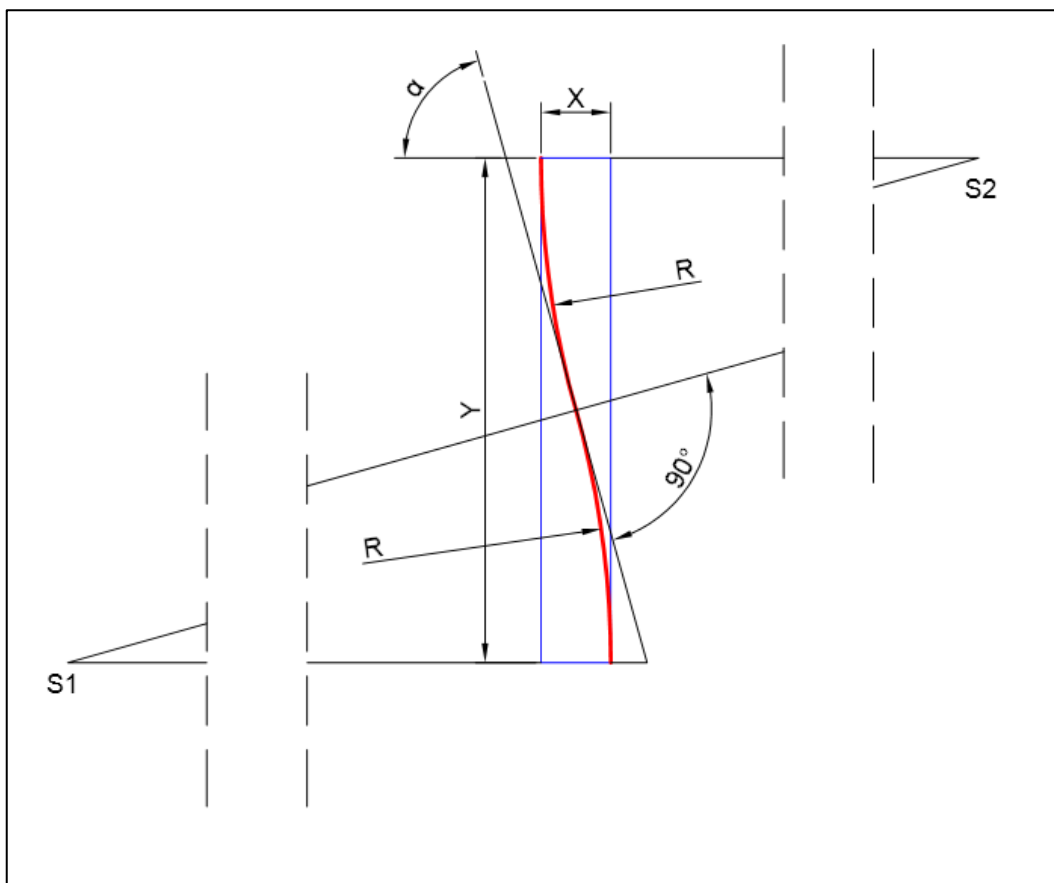
Poloměr R vychází z rovnice pro maximální poloměr za určitého součinitele adheze

$$F_T = F_o$$

$$m \cdot g \cdot \mu_{y\max} = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$v = \sqrt{\mu_{y\max} \cdot g \cdot R}$$

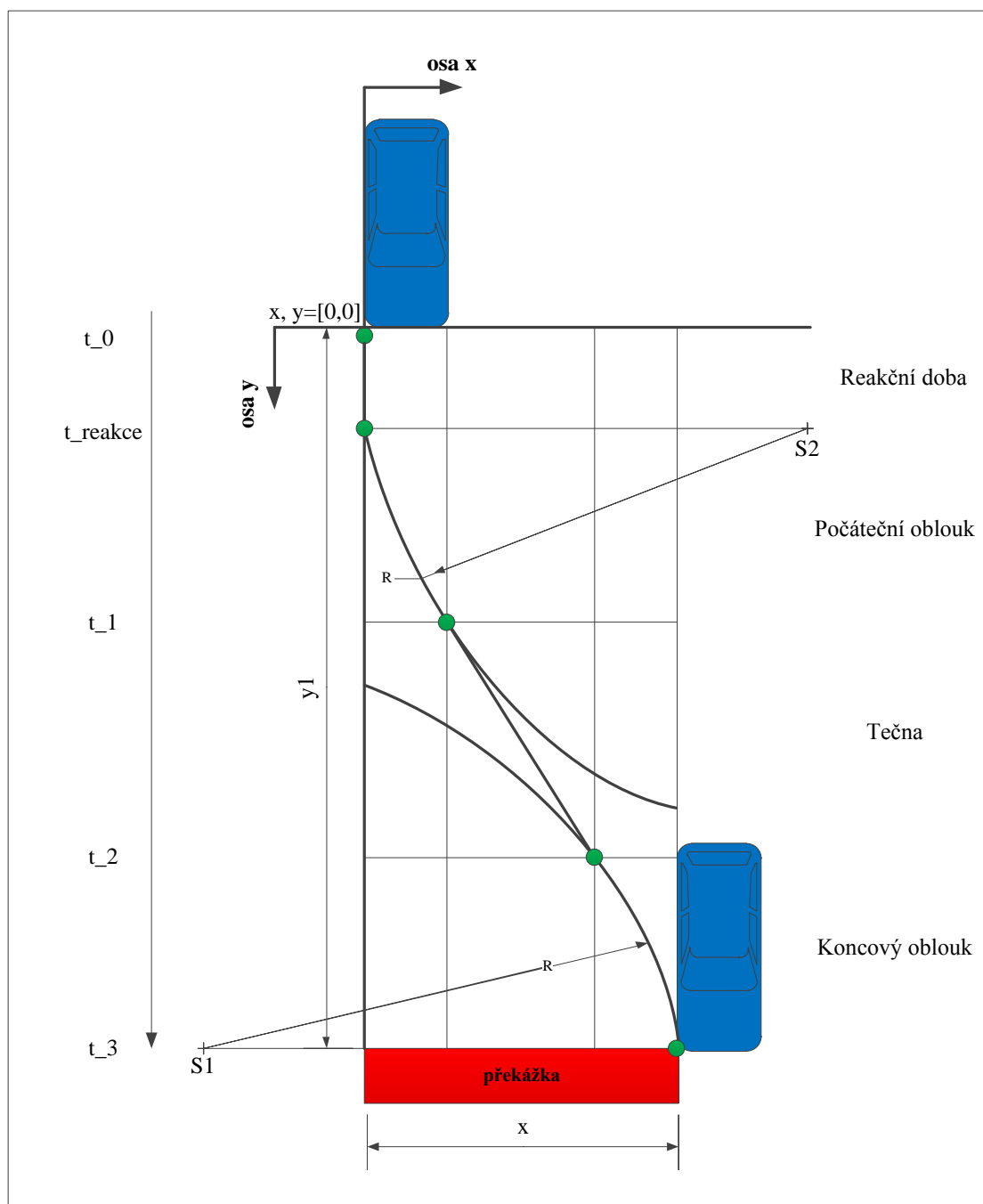
$$R = \frac{v^2}{g \cdot \mu_{y\max}}$$



Obr. 34: Původní vyhýbací manévř bez tečny

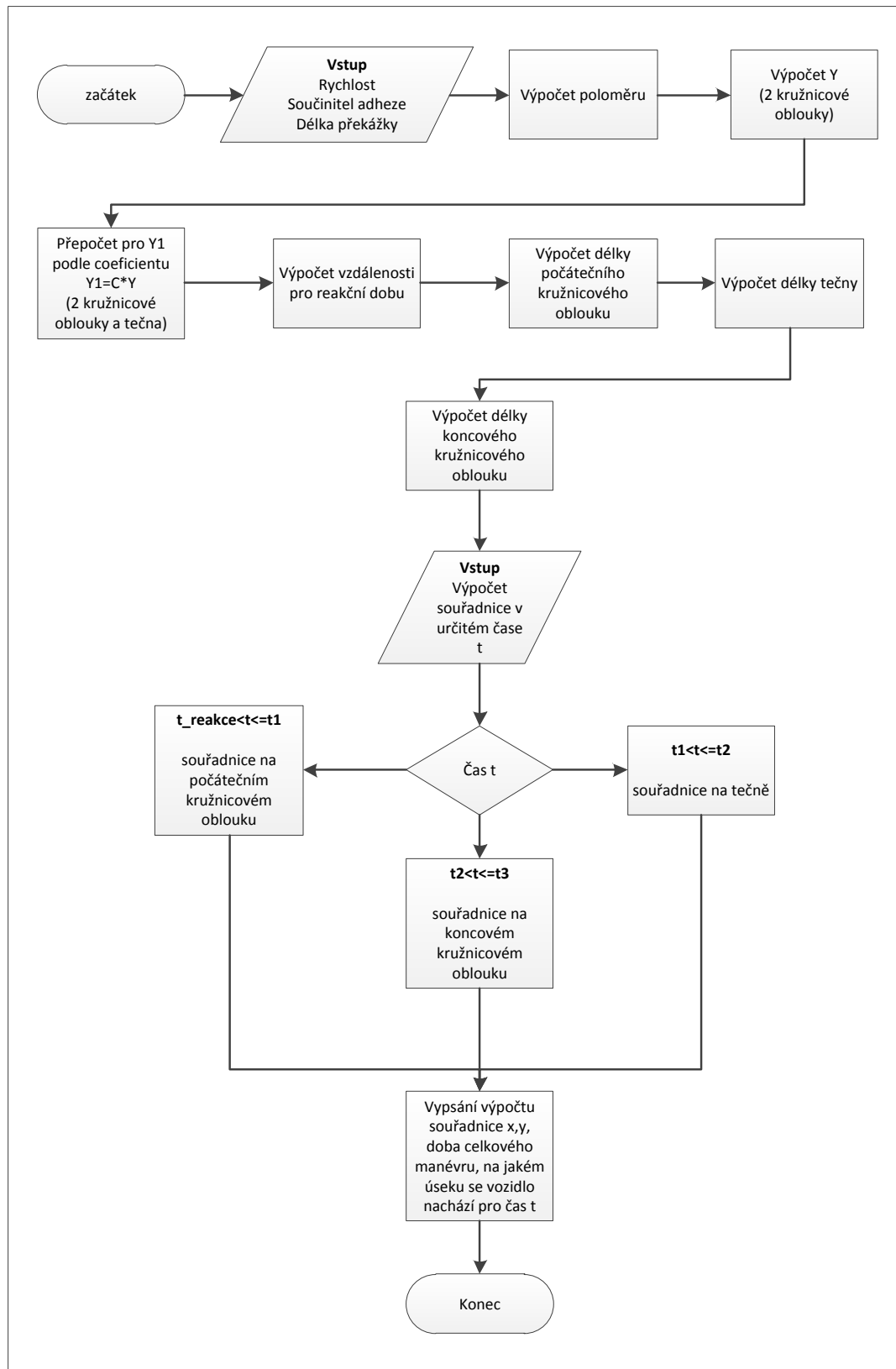
7.5 Vyhýbací manévr s dvěma kružnicovými oblouky a tečnou úměrnou poloměrům

Rozšířením předchozího případu kružnicových oblouků o tečnu vznikne vyhýbací manévr s dvěma kružnicovými oblouky a tečnou úměrnou poloměrům. Tedy tento algoritmus je vhodný pro výpočet v případě jakýchkoliv počátečních hodnot a srovnání mezi různými parametry (rychlosti, šířka překážky).



Obr. 35: Vyhýbací manévr autonomního vozidla

7.5.1 Vývojový diagram algoritmu výpočtu vyhýbacího manévru s dvěma kružnicovými oblouky a tečnou



Obr. 36: Vývojový diagram výpočtu

7.5.2 Způsob výpočtu vyhýbacího manévru s kružnicovými oblouky a tečnou

1. vstup rychlost, součinitel adheze, šířka překážky
2. výpočet poloměru kružnicových oblouků a vzdálenosti y (pro případ vyhýbacího manévru s kružnicovými oblouky)
3. přepočítání vyhýbacího manévru s kružnicovými oblouky na vyhýbací manévr s kružnicovými oblouky a tečnou, určení y_1 (přepočítání vzdálenosti y na $y_1=y \cdot c$, c =koeficient 1,05), tedy prodloužení vzdálenosti y koeficientem (velmi malé číslo) a tím prostor pro vznik tečny mezi dvěma kružnicovými oblouky
4. určení reakční vzdálenosti pro autonomní vozidlo
5. výpočet délky vstupního kružnicového oblouku
6. výpočet délky tečny
7. výpočet délky koncového kružnicového oblouku
8. výpočet souřadnic: vstupní kružnicový oblouk, tečna, koncový kružnicový oblouk
9. výpočet časů: vstupní kružnicový oblouk, tečna, koncový kružnicový oblouk
10. výpočet délky: vstupní kružnicový oblouk, tečna, koncový kružnicový oblouk
11. vstup času, pro který se má vypočítat souřadnice autonomního vozidla, výpočet souřadnic a určení, na jaké části z vyhýbacího manévru se vozidlo nachází
12. vypsání všech vstupních a vypočtených parametrů

7.5.3 Doba příčného přemístění

Dalším vztahem je empiricky odvozený vztah z experimentálního měření pro vyhýbání s dvěma oblouky s přechodnicemi [42]

$$t = 3,13 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_{y\max}}}$$

3,13 – koeficient

t – doba příčného přemístění [s]

y – vzdálenost příčného přemístění [m]

$a_{y\max}$ – maximální příčné zrychlení [$m \cdot s^{-2}$]

V zahraničí se používá empirický Weissův vzorec, který uvažuje přechodnice, liší se koeficientem 2,67 [42]

$$t = 2,67 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_{y\max}}}$$

Vyhýbací manévry je složen ze třech částí, 2 kružnicové oblouky a tečny. Základem pro výpočet jsou dvě kružnice na sebe tečné o určitém poloměru R. Následně je vytyčen prostor manévru podle šířky manévru x. Hledaná neznámá je y.

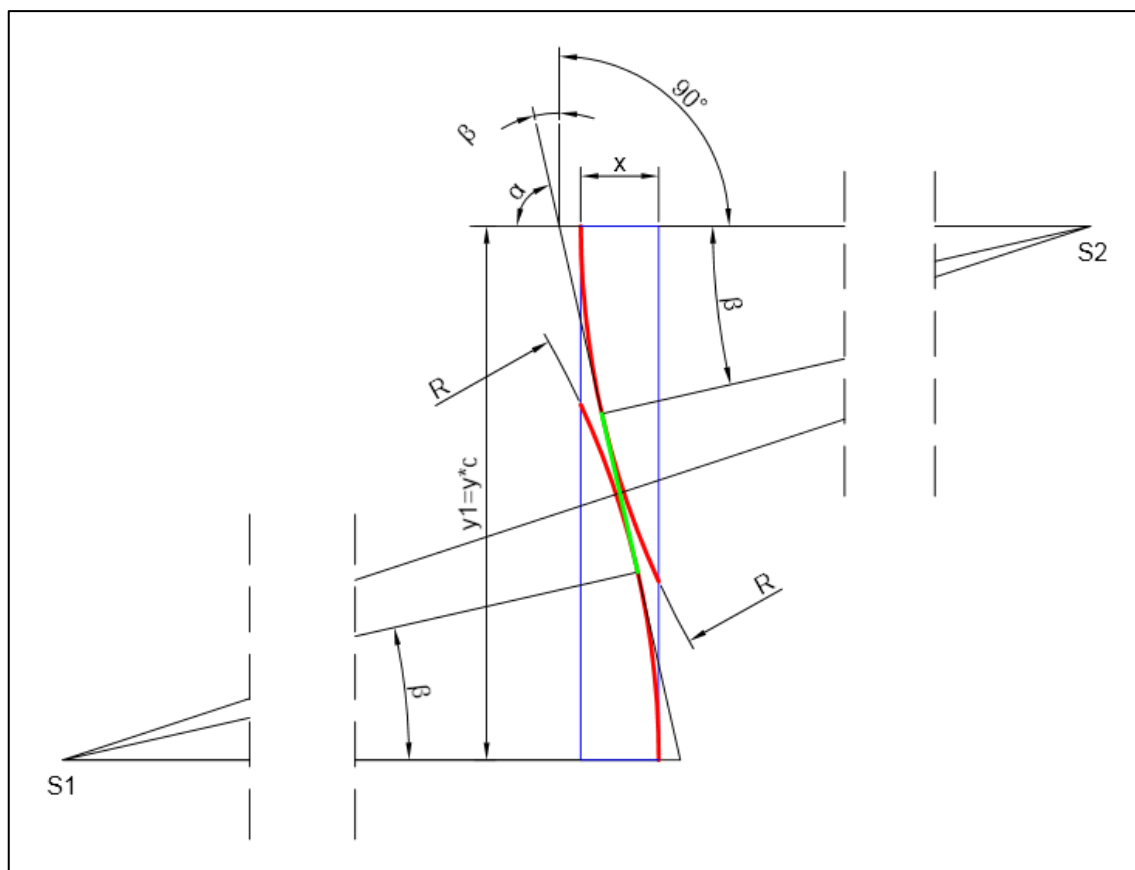
Aby byla mezi kružnicovými oblouky tečna, která bude poměrově stejná pro různé poloměry R, bylo zvoleno druhého případu, kde se vzdálenost Y přepočítala na Y_1 podle vzorce

$$Y_1 = Y \cdot C$$

Y – původní vzdálenost

C – koeficient

Za koeficient lze dosadit například hodnotu 1,05. Tedy při poloměru kružnice R 120 m je tečna dlouhá 21,8 m. Nejideálnějším případem by byla tečna co nejkratší (v reálném případě by byla nahrazena klotoidou). V dalších vzorcích klotoida není uvažována, protože její délka je zanedbatelná proti celé délce manévru.



Obr. 37: Vyhýbací manévr s tečnou úměrnou k různým poloměrům

Z podobnosti trojúhelníků lze určit úhel beta. Úhel beta určuje délku kružnicového oblouku. Tečna dvou kružnicových oblouků určuje úhel alfa, hodnoty a , b jsou pomocné k dalším výpočtům

$$a = \frac{2 \cdot R - x}{4}$$

$$b = \frac{y_1}{4}$$

Důležité je vypočítat bod středu tečny, kterým prochází spojnice středů kružnicových oblouků

$$x_T = \frac{ar^2 + br \cdot \sqrt{4 \cdot (a^2 + b^2) - r^2}}{2 \cdot (a^2 + b^2)}$$

$$y_T = \sqrt{r^2 - x_T^2}$$

Poloha souřadnice středu tečny

$$x_S = 2a$$

$$y_S = 2b$$

Délka tečny

$$l_{tečna} = 2\sqrt{(x_S - x_T)^2 - (y_S - y_T)^2}$$

Úhel alfa je goniometrickou funkcí arcus tangent

$$\alpha = \arctg \left| \frac{y_S - y_T}{x_S - x_T} \right|$$

7.5.4 Podmínka pro autonomní vozidlo

Pro základní výpočet je důležitá hodnota t_{reakce} . Jedná se o čas, za který si vozidlo vyhodnotí situaci včetně zásahů do řízení. Doba reakce autonomního vozidla je odvozena od vzorkovací frekvence. Vzorkovací frekvence je obvykle 10 Hz. Nutné je vyhodnotit 3 snímky za sebou stejně, aby se vozidlo podle algoritmu mohlo rozhodnout a spustit děj (reakci) [43]. Dalším omezením může být vzdálenost, na kterou dokáže LIDAR bezpečně určit vzdálenost.

$$t_{reakce} = 0,3 \text{ s}$$

7.5.5 Počáteční kružnicový oblouk

Počáteční kružnicový oblouk o poloměru R . α je vypočtený úhel. Délka kružnicového oblouku je

$$l_{oblouk} = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180^\circ}$$

Vzorce pro rychlost

$$v = \frac{l}{t}$$

v – rychlost [$m \text{ s}^{-1}$]

l – délka [m]

t – čas [s]

Souřadnice y

$$\sin(\beta) = \frac{y}{R}$$

$$y = \sin(\beta) \cdot R$$

Souřadnice x

$$\frac{y}{x} = \operatorname{tg}\left(\frac{180^\circ - \beta}{2}\right)$$

$$x = \frac{y}{\operatorname{tg}\left(\frac{180^\circ - \beta}{2}\right)}$$

7.5.6 Tečna

Podle vzorce se určí délka tečny

$$l_{tečna} = 2\sqrt{(x_S - x_T)^2 - (y_S - y_T)^2}$$

autonomní vozidlo se pohybuje konstantní rychlostí a čas t_2 je v koncovém bodu tečny

$$t_2 = t_1 + \frac{l_{tečna}}{v}$$

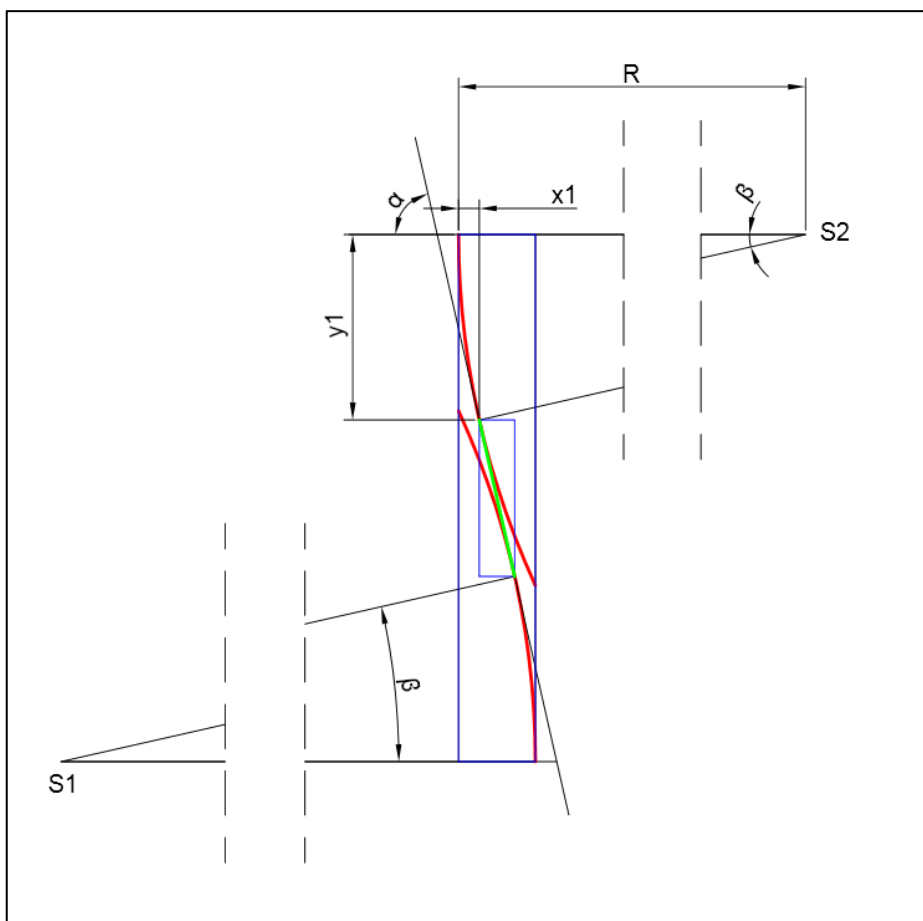
Pro určení souřadnic je nutné určit koncový bod počátečního kružnicového oblouku, tedy hodnoty x, y pro čas t_1 . Následně tyto hodnoty jsou přičítány k hodnotám na tečně. Hodnota času určuje souřadnice na tečně, protože je lineární a platí pro její délku

$$t_{pohybu\ po\ tečně} = t - t_1$$

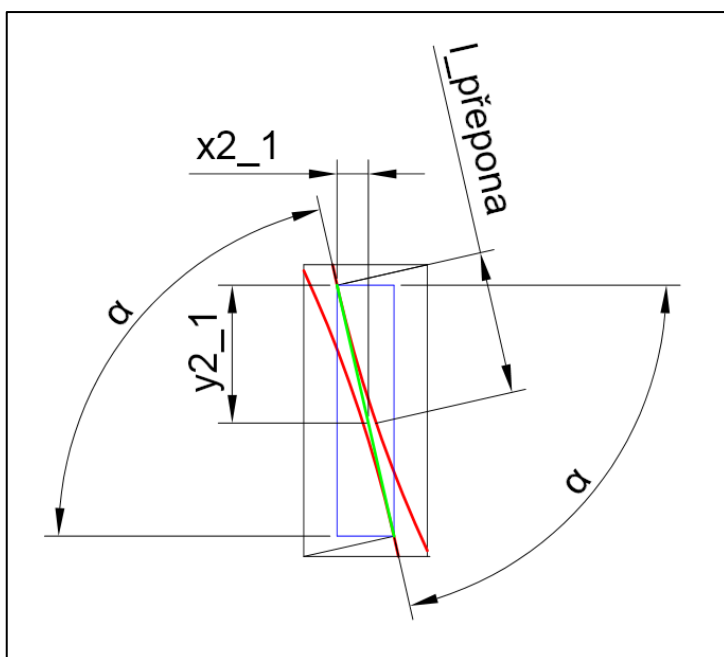
$t_{pohybu\ po\ tečně}$ – je přepona v trojúhelníku

Následně délka přepony

$$l_{přepona} = v \cdot t_{pohybu\ po\ tečně}$$



Obr. 39: Geometrie tečny



Obr. 40: Detail geometrie tečny

Souřadnice y

Nejdříve se vypočítá souřadnice y a poté lze vypočítat souřadnici x

$$\sin(\alpha) = \frac{y_{2_1}}{l_{\text{přepona}}}$$

$$y_{2_1} = \sin(\alpha) \cdot l_{\text{přepona}}$$

$$y_1 = \sin(\beta) \cdot R$$

$$y = y_1 + y_{2_1}$$

Souřadnice x

$$x_1 = \frac{y_1}{\operatorname{tg}\left(\frac{180^\circ - \beta}{2}\right)}$$

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{y_{2_1}}{x_{2_1}}$$

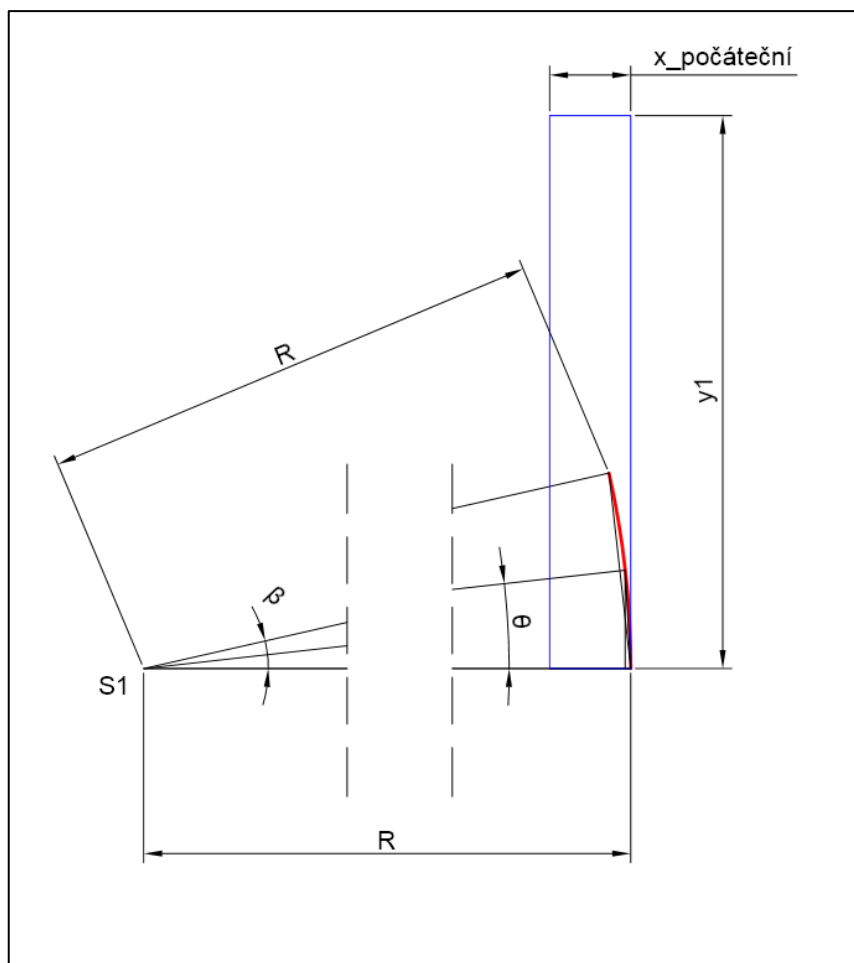
$$x_{2_1} = \frac{y_{2_1}}{\operatorname{tg}(\alpha)}$$

$$x = x_1 + x_{2_1}$$

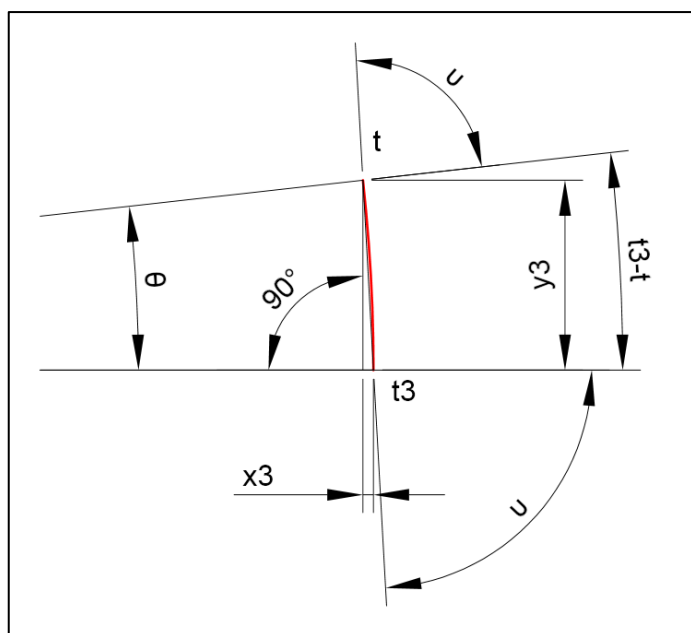
7.5.7 Koncový kružnicový oblouk

Určení intervalu času t_3 (konečný bod na počátečním oblouku), po kterém se autonomní vozidlo pohybuje po počátečním kružnicovém oblouku

$$t_3 = t_1 + t_2 + \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha}{180^\circ \cdot v}$$



Obr. 41: Geometrie koncového oblouku



Obr. 42: Detail geometrie koncového oblouku

Souřadnice času t lze vypočítat odečtením od času t_3

$$t_{oblouk} = t_3 - t$$

$$t_{oblouk} * v = \frac{\pi \cdot R \cdot \theta}{180^\circ}$$

$$(t_3 - t) * v = \frac{\pi \cdot R \cdot \theta}{180^\circ}$$

$$\theta = \frac{(t_3 - t) \cdot v \cdot 180^\circ}{\pi \cdot R}$$

Výpočet úhlu ν

$$180^\circ = \theta + 2 \cdot \nu$$

$$\nu = \frac{180^\circ - \theta}{2}$$

Souřadnice y

$$\sin(\theta) = \frac{y_3}{R}$$

$$y_3 = \sin(\theta) \cdot R$$

$$y = y_1 - y_3$$

Souřadnice x

$$tg(\nu) = \frac{y_3}{x_3}$$

$$x_3 = \frac{y_3}{tg(\theta)}$$

$$x = x_{počáteční} - x_3$$

7.5.8 Intervaly pro určení polohy autonomního vozidla

Pro určení polohy vozidla v čase t je nutné si určit intervaly, kde se vozidlo nachází

Tab. 7: Intervaly pro určení polohy autonomního vozidla

Přímka, reakční doba	$t \leq t_{reakce}$
Počáteční kružnicový oblouk	$t_1 \Rightarrow t > t_{reakce}$
Tečna	$t_2 \Rightarrow t > t_1$
Koncový kružnicový oblouk	$t_3 \Rightarrow t > t_2$

7.6 Výpočet - kamion se nepohybuje, Tesla se pohybuje

Tato situace může nastat, pokud se kamion zastaví na komunikaci a vytvoří překážku.

7.6.1 Vyhýbací manévr s kružnicovými oblouky a tečnou

Autonomní vozidla Tesla model S se bude vyhýbat kamionu, který tvoří překážku. Pro tento případ je počítáno s překážkou 7,6 m. Je zde prostor 1,9 m pro vyhýbací manévr autonomního vozidla Tesla model S.

Pro výpočet byl napsán algoritmus pro matematický software Scilab.

Ověření empirického vztahu pro příčné přemístění

$$t = t_{\text{vyhýbací_manévr}} = 3,13 \cdot \sqrt{\frac{y}{a_{y\max}}}$$

$t_{\text{manévru}}$ = celková doba manévru bez reakční doby

$$y = y_{\text{šířka_vozovky}} - y_{\text{šířka_tesla}} = 9,5 - 1,9 = 7,6 \text{ m}$$

$$a_{y\max} = 6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$t_{\text{vyhýbací_manévr}} = 3,13 \cdot \sqrt{\frac{7,6}{8}} = 3,52 \text{ s}$$

Podle empirického vzorce je doba příčného přemístění 3,52 s.

Další výpočet je vyhýbací manévr. Jsou vypočítány parametry vyhýbacího manévru (součinitel adheze, následně ze součinitele adheze a rychlosti poloměr kružnicového oblouku) pro dobu vyhýbacího manévru $t = 3,52 \text{ s}$. Vypočítaný vyhýbací manévr je porovnáván s empirickým vzorcem pro vyhýbací manévr.

$$\text{součinitel adheze} = 0,32$$

$$x = 7,6 \text{ m}$$

příčné přemístění $x=7.6 \text{ m}$

rychlost $v=29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

součinitel adheze 0.32

koeficient $c=1.05$

poloměr kružnicových oblouku $R=267.9$ m

reakční doba $t=0.3$ s

reakční vzdálenost 8.7 m

celková doba manévru 3.52 s

celková délka manévru 103.1 m

y celkem =103.1 m

čas souřadnice $t=2$ s

souřadnice na tečně

souřadnice $x=4.0$

souřadnice $y=49.1$

U výpočtů trajektorie autonomního vozidla Audi TTS [44], který se řadí mezi úspěšné projekty, je pro výpočty používán součinitel adheze 0,7. Součinitel adheze vychází 0,32 u simulace příčného přemístění. Tedy je výrazně menší, než hodnota, kterou používá autonomní vozidlo Audi TTS [44].

Reálnějších hodnot vychází při

$$\text{součinitel adheze} = 0,7$$

$$x = 7,6 \text{ m}$$

kde celková doba vyhýbacího manévru je 2,49 s.

příčné přemístění $x=7.6$ m

rychlost $v=29$ m.s-1

součinitel adheze 0.7

koeficient $c=1.05$

poloměr kružnicových oblouku $R=122.5$ m

reakční doba $t=0.3$ s

reakční vzdálenost 8.7 m

celková doba manévru 2.49 s

celková délka manévru 72.2 m

y celkem =72.3 m

čas souřadnice $t=2$ s

souřadnice na koncovém oblouku

souřadnice $x=6.8$ souřadnice $y=49.4$ **Přepočítání pro empirický vztah**

Empirický vztah pro vyhybací manévr vychází ze vzdálenosti příčného přemístění, maximálního bočního zrychlení a koeficientu. Tento koeficient je přepočítán pro adhezi 0,32, kde doba vyhybacího manévru je 3,52 s.

$$t_{\text{vyhybací_manévr}} = C_{\text{empirický_vztah}} \cdot \sqrt{\frac{y}{a_{y\text{max}}}}$$

$$C_{\text{empirický_vztah}} = \sqrt{\frac{t_{\text{manévr}}^2 + a_{y\text{max}}}{y}}$$

$$t_{\text{manévr}} = 3,52 - t_{\text{reakce}} = 3,52 - 0,3 = 3,22 \text{ s}$$

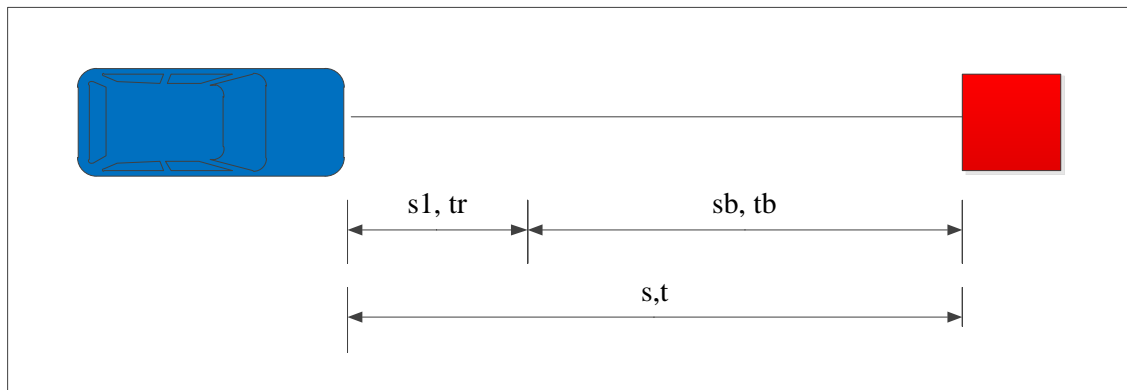
$$C_{\text{empirický_vztah}} = \sqrt{\frac{3,22^2 + 6}{7,6}} = 1,47$$

Tedy vzorec odvozený pro empirický vztah výpočtu času příčného přemístění není vhodný. Pro případ příčného přemístění podle simulace vychází koeficient 1,47, který je

výrazně odlišný než původní koeficient 3,13 a 2,67. Simulace neuvažuje přechodnici klotida, ale i v případě použití klotoidy, která by byla v řádech centimetrů, by nebylo reálné podle empirického vztahu vypočítat dobu vyhýbacího manévru.

7.6.2 Bezkolizní zastavení před kamionem (překážkou)

Pro zachování bezpečnosti je nutné vypočítat bezkolizní zastavení před překážkou. Tedy manévru bez kontaktu s překážkou.



Obr. 43: Bezkolizní zastavení

Bezkolizní zastavení

$$W = \Delta E_k$$

$$m \cdot a_B \cdot s_B = \frac{1}{2} m v_0^2 - \frac{1}{2} m v_n^2$$

$$2 \cdot a_B \cdot s_B = v_0^2 - v_n^2 \Rightarrow v_0 = \sqrt{2 \cdot a_B \cdot s_B + v_n^2}$$

$$t_B = \frac{v_0 - v_n}{a_B} = \frac{v_0}{a_B} = \frac{\sqrt{2 \cdot a_B \cdot s_B + v_n^2}}{a_B} = \sqrt{\frac{2 \cdot s_B}{a_B} + \frac{v_n^2}{a_B^2}}$$

$$s_B = \frac{(v_0 - v_n)^2}{2 \cdot a_B}$$

W – práce

E_k – kinetická energie

v_0 – počáteční rychlost vozidla

v_n – koncová rychlost vozidla

m – hmotnost

a_B – brzdový zpomalení

s_B – dráha brzdění

t_B – čas brzdění

Dráha a čas

$$s_1 = v_0 \cdot t_r$$

$$s = s_B + s_1$$

v_0 – počáteční rychlost vozidla

t_r – reakční doba autonomního

s_1 – vzdálenost ujetá v průběhu reakční doby

s – celková vzdálenost

$v_0 = 29 \text{ m/s}$ (rychlost vozidla Tesla při nehodě s kamionem)

$v_n = 0 \text{ m/s}$ (koncová rychlost)

$$s_B = \frac{(v_0 - v_n)^2}{2 \cdot a_B} = \frac{(29 - 0)^2}{2 \cdot 8} = 52,6 \text{ m}$$

$$s_1 = v \cdot t_r = 29 \cdot 0,3 = 8,7 \text{ m}$$

$$s = s_B + s_1 = 52,6 + 8,7 = 61,3 \text{ m}$$

$$t_B = \frac{v}{a} = \frac{29}{8} = 3,63 \text{ s, bez započítání reakční doby}$$

$$t_B = \sqrt{\frac{2 s_B}{a_B}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 52,6}{8}} = 3,63 \text{ s, bez započítání reakční doby}$$

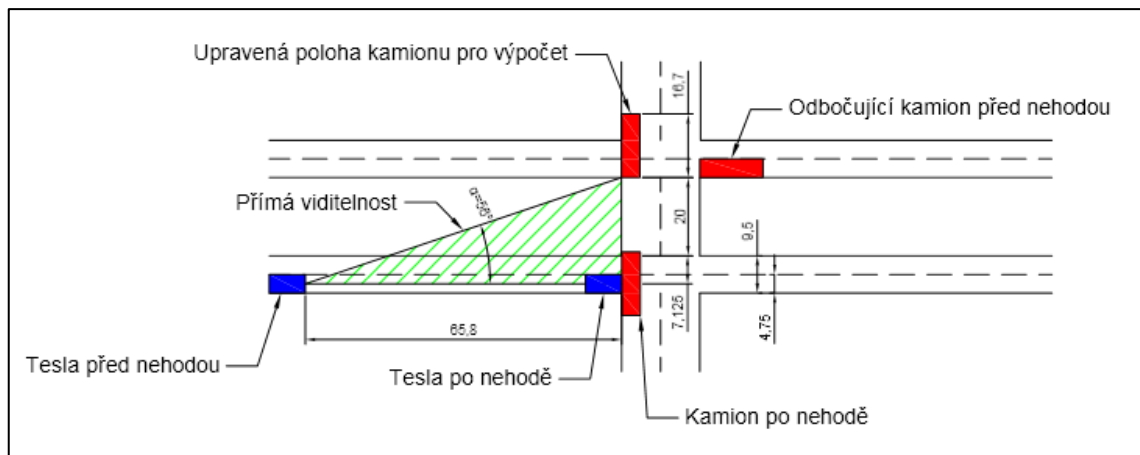
$$t_r = 0,3 \text{ s}$$

$$t = t_r + t_B = 3,63 + 0,3 = 3,93 \text{ s}$$

Celková doba pro bezkolizní zastavení autonomního vozidla jedoucího 29 m/s je 3,93 s. Dráha potřebná k bezkoliznímu zastavení je 61,3 m.

7.7 Výpočet - kamion se pohybuje, Tesla se pohybuje

Situace kamionu a autonomního vozidla Tesla model S popisuje skutečnou událost, která nastala při nehodě. V počátku výpočtu je nutné určit, na jakou vzdálenost mohlo autonomní vozidlo detekovat kamion. Náraz vozidla Tesla model S do kamionu je ve středu kamionu.



Obr. 44: Situace nehody kamion – Tesla model S

Poloha vozidel

Kamion

$$s = 20 + 4,75 + \frac{4,75}{2} + \frac{16,7}{2} = 35,5 \text{ m}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{35,5}{15,6} = 2,27 \text{ s}$$

Tesla

$$s = v \cdot t = 29 \cdot 2,27 = 65,8 \text{ m}$$

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{20 + 4,75 + \frac{4,75}{2}}{65,8} \right) = 56^\circ$$

7.7.1 Přibrzdění / zrychlení autonomního vozidla Tesla model S

Zabráněním nehody by mohlo být přibrzděním nebo zrychlením vozidla Tesla mode S.

Kamion

$$s = \frac{4,75}{2} + \frac{16,7}{2} = 10,7 \text{ m}$$

Tesla

Čas, o který se prodlouží nebo zkrátí doba jízdy Tesla

$$t = \frac{s}{v} = \frac{10,7}{15,9} = 0,67 \text{ s}$$

$$s_{reakce} = 29 \cdot 0,3 = 8,7 \text{ m}$$

Vzdálenost Tesly od kamionu bez reakční vzdálenosti

$$s = 65,8 - 8,7 = 57,1 \text{ m}$$

Úprava parametrů nehodyPůvodní parametry

$$t = \frac{s}{v} = \frac{57,1}{29} = 1,97 \text{ s}$$

$$s = 57,1 \text{ m}$$

Upravené parametry

Čas je upravený o čas průjezdu poloviny kamionu (aby nedošlo k nehodě)

Pro brzdění

$$t = 1,97 + 0,67 = 2,64 \text{ s}$$

Pro zrychlení

$$t = 1,97 - 0,67 = 1,3 \text{ s}$$

Výpočet brzdění

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2}at^2$$

$$a = \frac{2 \cdot (s - v_0 \cdot t)}{t^2} = \frac{2 \cdot (57,1 - 29 \cdot 2,64)}{2,64^2} = -5,58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Pro zabránění nehody by muselo vozidlo Tesla zahájit brzdění $a = -5,58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ na vzdálenosti 57,1 m.

7.7.2 Vyhýbací manévr s kružnicovými oblouky a tečnou

V případě vyhýbacího manévru bude předpokládáno, že vyhýbací manévr bude proveden na šířku jízdního pruhu, tedy $x=4,75$ m. Část kamionu (4,75 m) se nachází v jízdním pruhu vozidla Tesla model S.

Kamion

$$s = \frac{16,7}{2} = 8,4 \text{ m}$$

$$t = \frac{s}{v} = \frac{8,4}{15,9} = 0,52 \text{ s}$$

Tesla

$$s = v \cdot t = 29 \cdot 0,52 = 15,1 \text{ m}$$

$$s = 65,8 - 15,1 = 50,7 \text{ m}$$

Vzdálenost na provedení vyhýbacího manévru vozidla Tesla je 50,7 m včetně reakční doby. Podle simulace pro $x=4,75$ m je potřeba 59,1 m. Tedy není možné použít pouze vyhýbací manévr. Je třeba tento manévr doplnit i o brzdění. Záleží na situaci, zdali se pohybuje nějaké další vozidlo v jízdním pruhu apod.

příčné přemístění $x=4.75$ m

rychlost $v=29$ m.s-1

součinitel adheze 0.7

koeficient $c=1.05$

poloměr kružnicových oblouku $R=122.5$ m

reakční doba $t=0.3$ s

reakční vzdálenost 8.7 m

celková doba manévru 2.04 s

celková délka manévru 59.1 m

y celkem =59.1 m

7.8 Opravný algoritmus při použití klotoidy

Pro ověření správné funkce algoritmu vyhýbacího manévru s kružnicovými oblouky a tečnou je nutné manévr simulovat také reálnější přechodnicí klotoidou. Pro ověření byl použit nástroj klot.lsp pro AutoCAD. Klotoida byla nakreslena způsobem: nástroj klot.lsp požaduje pro nakreslení klotoidy kružnicový oblouk a úsečku, poté klotoidu automaticky vykreslí a určí parametr křivosti A.

7.8.1 Obecná rovnice klotoida

Klotoida je nejbližší křivka popisující reálný vyhýbací manévr.

Obecné rovnice klotoidy jsou převzaty z [45]. Klotoida je křivka, jejíž křivost v každém bodě Q je lineární funkcí délky křivky s (Q).

Přirozené rovnice klotoidy

$$1_k = as + b$$

$$2_k = 0$$

$$s \in (0, \infty)$$

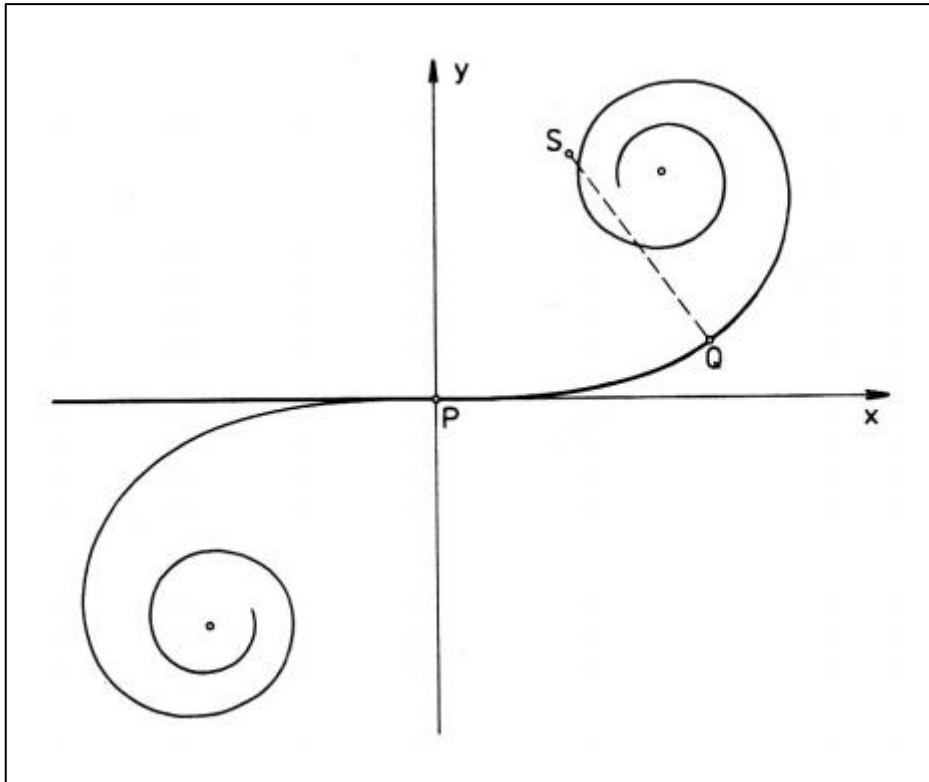
kde

1_k je první křivost křivky (na obrázku je $1_k = \frac{1}{|sQ|}$ pro bod Q klotoidy)

2_k je druhá křivost, která je rovná nule vzhledem k tomu, že klotoida je rovinná křivka

a, b jsou konstantní parametry; pokud je inflexní bod klotoidy (zde P, také jde o její případ střed souměrnosti) umístěn v počátku soustavy souřadnic, je $b=0$

s je parametr určující délku křivky



Obr. 45: Klotoida [45]

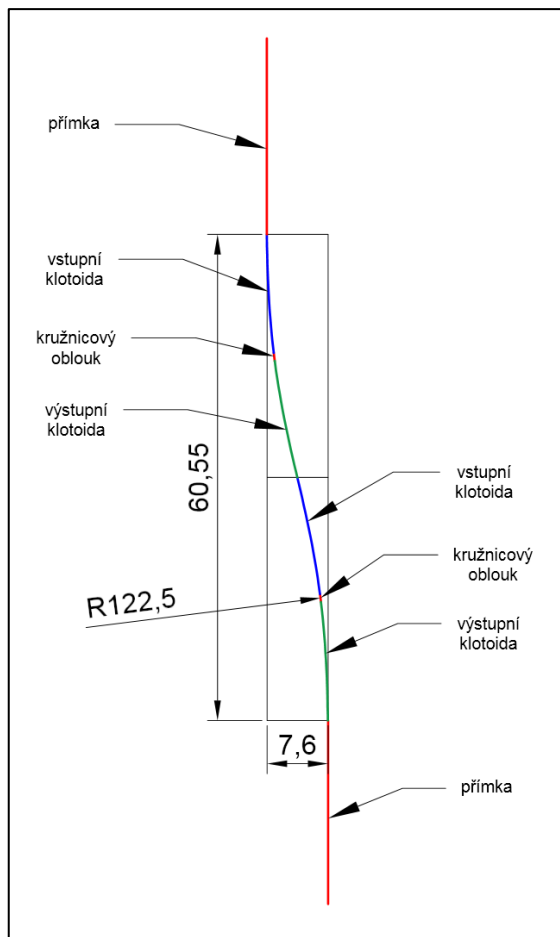
Parametrické rovnice klotoidy, Fresnelovy integrály

$$x = \int_0^t \cos\left(\frac{at^2}{2}\right) dx$$

$$y = \int_0^t \sin\left(\frac{at^2}{2}\right) dx$$

7.8.2 Opravný algoritmus při použití přechodnice – kružnicový oblouk, klotoida

Pro zvýšení přesnosti výpočtu byl v určitém případě proveden opravný výpočet. Vyhýbací manévr je složený z: přímka, vstupní klotoida, kružnicový oblouk, výstupní klotoida, vstupní klotoida, kružnicový oblouk, výstupní klotoida, přímka. Klotoida byla vypočítána pro parametry $R=122,5$ m, $A=45,148$, délka kružnicových oblouků 1 m.



Obr. 46: Vyhýbací manévru s přechodnicemi klotoida

Parametry vyhýbacího manévru

$$R = 122,5 \text{ m}$$

$$v = 29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{délka vyhýbacího manévru} = 63,5 \text{ m}$$

Opravný algoritmus

$$L_{\text{klotidy}} = C_{\text{opravy}} * L_{\text{simulace}}$$

L_{klotidy} – celková délka (4 klotoidy, 2 kružnicové oblouky)

L_{simulace} – celková délka (2 oblouky, tečna)

C_{opravy} – opravný koeficient

Opravný algoritmus výpočet

$$\text{délka klotoidy vstupní} = 14,8 \text{ m}$$

$$\text{délka klotoidy výstupní} = 14,8 \text{ m}$$

$$\text{délka kružnicového oblouku} = 1 \text{ m}$$

$$L_{\text{klotidy}} = 4 * 14,8 + 2 * 1 = 61,2 \text{ m}$$

$$L_{\text{klotidy}} = C_{\text{opravy}} * L_{\text{simulace}}$$

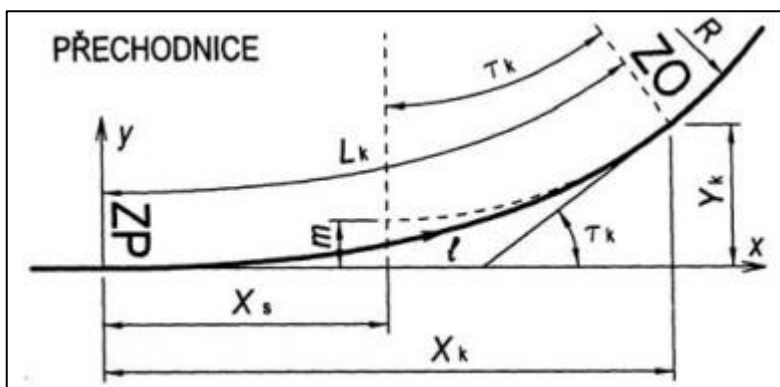
$$C_{\text{opravy}} = \frac{L_{\text{klotidy}}}{L_{\text{simulace}}}$$

$$C_{\text{opravy}} = \frac{61,2}{63,5} = 0,96$$

Vyhýbací manévr pomocí 4 klotoid a 2 kružnicových oblouků je dlouhý 61,2 m. Vypočítaný vyhýbací manévr s 2 kružnicovými oblouky a tečnou je dlouhý 63,5 m. Přesnější výsledek je při použití klotoid, tedy je nutné vypočítaný vyhýbací manévr opravit koeficientem 0,96. Tento opravný koeficient je pouze pro konkrétní případ $R = 122,5 \text{ m}$, $v = 29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

7.8.3 Parametry přechodnice klotoidy

Pro výpočet přechodnice klotoidy se používají odvozené vzorce. Byly zjišťovány parametry pro klotoidu délky 15,3 m.



Obr. 47: Parametry klotoidy [36]

Tab. 8: Parametry přechodnice klotoidy

délka přechodnice v ose L_k [m]	L_k
poloměr navazujícího kružnicového oblouku R [m]	R
vzdálenost libovolného bodu osy přechodnice od jejího začátku l [m]	l
okamžitý poloměr křivosti přechodnice v jejím libovolném bodě (ve vzdálenosti l od jejího začátku) r [m]	r
parametr klotoidy A [m]	$A^2 = R \cdot L_k = r \cdot l$
úhel tečny v koncovém bodě přechodnice τ_k [rad]	$\tau_k = \frac{L_k}{2 \cdot R}$
svislá souřadnice koncového bodu přechodnice Y_k [m]	$Y_k = \frac{L_k^2}{6 \cdot R} - \frac{L_k^4}{336 \cdot R^3} + \frac{L_k^6}{42240 \cdot R^5}$
vodorovná souřadnice koncového bodu přechodnice X_k [m]	$X_k = L_k - \frac{L_k^3}{40 \cdot R^2} + \frac{L_k^5}{3456 \cdot R^4}$
odsazení kružnicového oblouku m [m]	$m = \frac{L_k^2}{24 \cdot R} - \frac{L_k^4}{2668 \cdot R^3}$
vodorovná souřadnice středu kružnicového oblouku X_s	$X_s = \frac{L_k}{2} - \frac{L_k^3}{240 \cdot R^2}$
svislá souřadnice přechodnice v místě kolmice k tečně, která prochází středem oblouku Y_s [m]	$Y_s \approx \frac{X_s^3}{6 \cdot R \cdot L_k}$

Výpočet klotoidy, délka 15,3 m, $R=122,5$ m

$l_k = 15.3$ m
$r = 122.5$ m
$uhel_tecna = 0.0624490$ rad
$y_k = 0.3184011$ m
$x_k = 15.294034$ m

$$m = 0.0796114 \text{ m}$$

$$x_s = 7.6490055 \text{ m}$$

$$y_s = 0.0397957 \text{ m}$$

7.8.4 Opravný algoritmus pro vyhýbací manévr $x=4,5$ m, součinitel adheze 0,9

Pro výpočet ideální stavu na suché vozovce byl použit součinitel adheze 0,9.

$$R=95,3 \text{ m}, A= 34,1528$$

Parametry vyhýbacího manévru

$$R = 95,3 \text{ m}$$

$$v = 29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{délka vyhýbacího manévru} = 53,1 \text{ m}$$

Opravný algoritmus

$$L_{\text{klotidy}} = C_{\text{opravy}} * L_{\text{simulace}}$$

$$L_{\text{klotidy}} - \text{celková délka (4 klotoidy)}$$

$$L_{\text{simulace}} - \text{celková délka (2 oblouky, tečna)}$$

$$C_{\text{opravy}} - \text{opravný koeficient}$$

Opravný algoritmus výpočet

$$\text{délka klotoidy vstupní} = 10,9 \text{ m}$$

$$\text{délka klotoidy vvýstupní} = 10,9 \text{ m}$$

$$L_{\text{klotidy}} = 4 * 10,9 = 43,6 \text{ m}$$

$$L_{\text{klotidy}} = C_{\text{opravy}} * L_{\text{simulace}}$$

$$C_{\text{opravy}} = \frac{L_{\text{klotidy}}}{L_{\text{simulace}}}$$

$$C_{opravy} = \frac{43,6}{53,1} = 0,82$$

Při použití parametru součinitele adheze 0,9 by pro zahájení vyhýbacího manévru muselo být při použití 4 klotoid vzdálené 42,3 m od místa nehody.

7.9 Závěr nehody kamion, Tesla model S

Autonomní vozidlo Tesla model S mělo možnost nehodě zabránit. Vozidlo Tesla jelo rychlostí 29 m/s. Kamion jel rychlostí 15,9 m/s. Úhel pro identifikaci kamionu byl 56°. Ve výhledu Tesly nebyla žádná překážka, tedy kamion identifikovaný být mohl. Před nehodou mohlo vozidlo Tesla identifikovat kamion, kdy vozidlo Tesla se nacházelo 65,8 m od srážky. Kamion byl ve vzdálenosti 27,125 m od srážky. Pro zabránění nehody by muselo vozidlo Tesla zahájit brzdění $a = -5,58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ na vzdálenosti 57,1 m. Pravděpodobně by nehodě zabránil i vyhýbací manévr vozidla Tesla. V případě použití parametru součinitel adheze 0,9 a použití 4 klotoid by vozidlo Tesla potřebovalo 42,3 m pro provedení úspěšného manévru před překážkou $x=4,75 \text{ m}$ (šířka jízdního pruhu). Před nehodou vozidlo Tesla vůbec nereagovalo a pokračovalo rychlostí 29 m/s do srážky. Srážka byla v polovině délky kamionu.

7.10 Výpočet limitní vzdálenosti LIDARu pro rychlost 130 km/h (limit v Německu)

Ve spolkové republice Německo bude v nejbližší době povolen pohyb vozidel po dálnicích v autonomním režimu do 130 km/h. Vozidlo potřebuje 66,7 m pro provedení úspěšného manévru a doba vyhýbacího manévru je 1,85 s. Limitní vzdálenost LIDARu by měla být tato vzdálenost. Běžné LIDARy rozeznávají na vzdálenost až 120 m (LIDAR Velodyne). Šířka jízdního pruhu je 3,75 m.

$$v = 130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 36,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$x = 3,75 \text{ m}$$

příčné přemístění $x=3.8 \text{ m}$

rychlost $v=36.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

součinitel adheze 0.7

koeficient $c=1.05$

poloměr kružnicových oblouku $R=189.8 \text{ m}$

reakční doba $t=0.3$ s

reakční vzdálenost 10.8 m

celková doba manévru 1.85 s

celková délka manévru 66.7 m

y celkem =66.7 m

čas souřadnice $t=2$ s

souřadnice na koncovém oblouku

souřadnice $x=3.7$

souřadnice $y=61.4$

8 Závěr

Cílem této práce bylo hledání metod, jak by bylo možné umožnit provoz autonomních vozidel v běžném životě, na pozemních komunikacích s běžným provozem a také zvyklostmi člověka. Definice autonomního vozidla je vozidlo, které je řízeno automaticky. Částečně nebo plně bez řidiče. Definicí se zabývá Sdružení odborníků z oblasti automobilového průmyslu, kteří navrhli normu J3016. Ta obsahuje 6 kategorií, jakým způsobem je řízeno vozidlo. Od vozidla řízeného člověkem až po plnou automatizaci bez člověka. Dále byly uvedeny přínosy autonomních vozidel, spolehlivost a bezpečnost, bez lidského faktoru. Bohužel v poslední době (ke dni 31. října 2016) se začínají vyskytovat nehody způsobené autonomní vozidlem a špatného vyhodnocení situace. Byly popsány, jaké senzory se obecně používají u autonomních vozidel. Jedná se nejvíce o laserový senzor měřící vzdálenost LIDAR a také videokamery. Práce se zabývala obecným a teoretickým algoritmem řízením autonomního vozidla.

Právní řád České republiky je jednou ze dvou hlavních částí této práce. Je důležité najít úpravy zákonů, aby bylo možné provozovat autonomní vozidla v běžném provozu (Česká republika, Evropská unie). V roce 1968 spousta států podepsala ratifikaci OSN Vídeňské úmluvy o silničním provozu. Bohužel tato úmluva neumožňuje provoz autonomních vozidel, protože se zde vyskytuje článek, podle kterého se řidič musí plně věnovat řízení a držet volant. V současné době se vyskytují první ohlasy, podle kterých by bylo vhodné tento článek změnit. V České republice by bylo případně nutné změnit zákon č. 361/2000 Sb. V práci je navržena novela zákona o provozu na pozemních komunikacích pro provoz autonomních vozidel (v příloze č. X) a také navrženy postupy zkoušení, registrace autonomních vozidel a řidičů těchto vozidel. Doporučení pro Ministerstvo dopravy České republiky. Je na rozhodnutí Ministerstva dopravy České republiky, zdali v případě aplikace autonomních vozidel do běžného provozu vytvoří novelu zákona č. 361/2000 Sb., nebo vytvoří úplně nový zákon. Dále doporučení pro: certifikát testu bezpečnosti autonomní technologie, registraci autonomního vozidla, databázi nehod autonomních vozidel, lokalitu testování, trestní odpovědnost, řidič, pojištění vozidel a odpovědnosti. Dále úpravou zákona č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů. Protože vozidla sbírají např. GPS pozici. Tedy aby byla zachována ochrana osobních údajů. Obecně nejvíce ohlasů je ze Spolkové republiky Německo, kde připravují změny zákonů a digitální dálnici A9. Zde by bylo možné provozovat autonomní vozidla do rychlosti 130 km/h. Evropská unie má případovou studii e-Impact pro autonomní technologie. Případová studie se zabývá, jaké autonomní technologie by zabránili ve smrtelných nehodách a zraněních. Ve Spojených státech Amerických je možné v některých státech jako jsou Nevada, Florida, Kalifornie a Washington provozovat autonomní vozidla. Zajímavostí je, že v každém státě, kde je provoz autonomních vozidel umožněný, jsou zákony mírně odlišné. Nejvíce autonomních vozidel se testuje firma Google v Mountain View, Kalifornie. Firma Google je na předním místě ve vývoji autonomních vozidel.

Provozuje 23 upravených vozidel Google Lexus 450 h. Dále vyvíjí vlastní autonomní vozidlo jako Google Self-Driving Car Project. Dalšími projekty autonomních vozidel jsou Mercedes-Benz Actros Highway Pilot, Audi piloted driving, Volvo Drive Me, Tesla Motors a další. Protože budoucnost automobilů je právě v autonomních technologiích, všichni výrobci vozidel se zaměřují na autonomní technologie řízení. Bohužel v nástupu autonomních vozidel se začínají objevovat nehody, u kterých bylo dokázáno zavinění ze strany autonomního vozidla. Nehoda vozidla Google Lexus RX 450 h a autobusem. Později Google upravil software a také si nechal patentovat algoritmus pro identifikaci autobusů. Další nehodou byla nehoda vozidla Tesla model S a kamionu. Bohužel tato metoda byla smrtelná pro řidiče Tesly. Počáteční vyšetřování zjistilo, že vozidlo Tesla model S kamion neidentifikovalo. Bylo by vhodné vybavit autonomní vozidla záznamovým zařízením vyhodnocování a stavu systému pro případné vyhodnocení. Vše ale v souladu s ochranou osobních údajů.

Pro prokázání větší spolehlivosti autonomních vozidel než u člověka by podle studie [46] bylo nutné najezdit 11 miliard milí, 100 autonomních vozidel, 24 hodin denně, 365 dní v roce, průměrná rychlost 25 milí za hodinu. Celková doba testování 518 let.

Odpovědnost za provoz autonomního vozidla v autonomním režimu. Podle platných zákonů České republiky, podle zákona č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích, článek 5, Povinnosti řidiče, (1) Řidič je kromě povinností uvedených v § 4 dále povinen, b) věnovat se plně řízení vozidla nebo jízdě na zvířeti a sledovat situaci v provozu na pozemních komunikacích.

Dále byla identifikována rizika provozu autonomních vozidel. Pro identifikaci rizik byla použita SWOT analýza a What-If analýza. Největší riziko je spolehlivost autonomního systému bezpečně vyhodnocovat a reagovat na vzniklou situaci.

Další částí práce byla technická část výpočtu brzdné dráhy autonomního vozidla a vyhybacího manévru autonomního vozidla. Byl navržen algoritmus výpočtu vyhybacího manévru s dvěma kružnicovými oblouky a tečnou. Algoritmus byl počítán pomocí matematického softwaru Scilab. Byla zjišťována vzdálenost pro vyhybací manévry pro rychlost 130 km/h (rychlost 130 km/h – maximální povolená rychlost ve Spolkové republice Německo pro autonomní vozidla). Pro výpočet byla použita náhrada dvou kružnicových oblouků a tečny. Pro reálnější situaci je vhodné použít klotoidy. V určitém případě byla použita klotoida a navržen opravný algoritmus pro přepočítání z kružnicových oblouků a tečny pro dosažení přesnějších výsledků. Byly určeny parametry klotoidy.

Byly vypočítány a vyhodnoceny všechny možné situace, které mohly nastat při nehodě kamionu a autonomního vozidla Tesla model S. Nehodě mohlo být zabráněno, pokud by vozidlo Tesla začalo reagovat brzděním nebo byl zahájen vyhybací manévry.

Seznam použité literatury

- [1] *U.S. Department of Transportation Releases Policy on Automated Vehicle Development* [online]. National Highway Traffic Safety Administration [cit. 2015-12-01]. Dostupné z: <http://www.nhtsa.gov/About+NHTSA/Press+Releases/U.S.+Department+of+Transportation+Releases+Policy+on+Automated+Vehicle+Development>
- [2] *SAE J3016*. SAE International, 2014.
- [3] *Bezpečnost Škoda Superb* [online]. Škoda Auto [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: <http://www.skoda-auto.cz/models/novy-superb/bezpecnost/>
- [4] *Autonomous long-distance drive* [online]. Mercedes-Benz [cit. 2015-12-04]. Dostupné z: <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/autonomous-long-distance-drive/>
- [5] *Self-driving truck hits the highway in world first* [online]. Gizmag [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: <http://www.gizmag.com/daimlers-production-autonomous-truck-debuts-public-roads/39701/>
- [6] *Automotive safety technology* [online]. Reuters, Thomson [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: http://blog.thomsonreuters.com/index.php/automotive-safety-technology-graphic-of-the-day/?adbid=UPDATE-c1400-5938418574379991040&adbpl=li&adbpr=1400&cid=social_20141112_35486387
- [7] *Advanced Driver Assistant System Threats, Requirements, Security Solutions* [online]. Intel [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/advanced-driver-assistant-system-paper.pdf>
- [8] *United Nations Treaty Collection* [online]. United Nations [cit. 2015-12-13]. Dostupné z: https://treaties.un.org/Pages/ViewDetailsIII.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XI-B-19&chapter=11&Temp=mtdsg3&lang=en
- [9] *Adoption of autonomous driving in Europe: the debate starts at EU level* [online]. EurActiv Press Release [cit. 2015-12-25]. Dostupné z: <http://pr.euractiv.com/pr/adoption-autonomous-driving-europe-debate-starts-eu-level-97552>

-
- [10] *Cars could drive themselves sooner than expected after European push* [online]. Reuters [cit. 2015-12-25]. Dostupné z: <http://www.reuters.com/article/us-daimler-autonomous-driving-idUSKBN0DZ0UV20140519>
- [11] *Impact assessment of Intelligent Vehicle Safety Systems* [online]. eIMPACT [cit. 2015-12-21]. Dostupné z: http://www.eimpact.info/download/eIMPACT_D4_v2.0.pdf
- [12] *Mobility and transport* [online]. European Commission [cit. 2015-12-21]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/transport/themes/its/road/application_areas/vehicle_safety_systems_en.htm
- [13] *Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren* [online]. Die Bundesregierung [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/StB/broschuere-strategie-automatisiertes-vernetztes-fahren.pdf?__blob=publicationFile
- [14] *Proposal for amendments to Regulation No. 79 to include ACSF* [online]. United Nations Economic Commission for Europe [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <https://www2.unece.org/wiki/download/attachments/25270933/ACSF-02-03%20-%20Proposal%20R79.pdf?api=v2>
- [15] *National conference of state legislatures* [online]. NCSL [cit. 2016-03-09]. Dostupné z: <http://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehicles-legislation.aspx>
- [16] ANDERSON, James M., Nidhi KALRA, Karlyn D. STANLEY, Paul SORENSEN, Constantine SAMARAS a Oluwatobi A. OLUWATOLA. *Autonomous Vehicle Technology A Guide for Policymakers*. 2014. ISBN 978-0-8330-8398-2.
- [17] *Autonomous Vehicles in California* [online]. California Department of Motor Vehicles [cit. 2016-03-09]. Dostupné z: <https://www.dmv.ca.gov/portal/dmv/detail/vr/autonomous/testing>
- [18] *D2* [online]. eIMPACT [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: http://www.eimpact.info/download/eIMPACT_Deliverable_D2_V10_060424.pdf
- [19] *D9 D10* [online]. eIMPACT [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: http://www.eimpact.info/download/eIMPACT_D9_D10_v2.0.pdf

-
- [20] *Google Self-Driving Car Project Monthly Report January 2016* [online]. Google [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/cs//selfdrivingcar/files/reports/report-0116.pdf>
- [21] *Google Self-Driving Car Project Monthly Report February 2016* [online]. Google [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/cs//selfdrivingcar/files/reports/report-0216.pdf>
- [22] *The future is here! Google's self-driving cars hit the streets for a test drive* [online]. firstpost.com [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <http://www.firstpost.com/world/the-future-is-here-googles-self-driving-car-hit-the-streets-for-a-test-drive-2449810.html>
- [23] *Google Self-Driving Car Project* [online]. Google [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <https://www.google.com/selfdrivingcar/>
- [24] *Dobrindt startet Digitales Testfeld Autobahn* [online]. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2015/084-dobrindt-startet-digitales-testfeld-autobahn.html>
- [25] *Daimler-Truck auf Premieren-Geisterfahrt* [online]. Auto Bild [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.autobild.de/artikel/autonomer-lkw-test-in-baden-wuerttemberg-5971499.html>
- [26] *The auto pilot for trucks - Highway Pilot* [online]. Daimler [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <https://www.daimler.com/innovation/autonomous-driving/special/technology-trucks.html>
- [27] *Pilotiertes Fahren in Ingolstadt* [online]. Auto Bild [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: <http://www.autobild.de/artikel/audi-will-autonome-autos-in-der-stadt-testen-7188915.html>
- [28] *Insuring the Future* [online]. automobilemag.com [cit. 2016-09-02]. Dostupné z: <http://www.automobilemag.com/news/insuring-the-future/>
- [29] *Volvo Drive Me Autonomous Project Is On The Way And First Autonomous Cars Are On The Roads Right Now* [online]. gearheads.org [cit. 2016-09-02]. Dostupné z: <http://gearheads.org/volvo-drive-me-autonomous-project-is-on-the-way-and-first-autonomous-cars-are-on-the-roads-right-now/>

-
- [30] *Driverless Testing - Autonomous Vehicle Track Testing Systems* [online]. AB Dynamics [cit. 2016-08-30]. Dostupné z:
http://www.abd.uk.com/en/driverless_testing
- [31] *Self-Driving Tesla Was Involved in Fatal Crash, U.S. Says* [online]. New York Times [cit. 2016-10-17]. Dostupné z:
<http://www.nytimes.com/2016/07/01/business/self-driving-tesla-fatal-crash-investigation.html>
- [32] *Legislativní proces projednávání návrhů zákonů* [online]. Poslanecká sněmovna parlamentu České republiky [cit. 2016-03-19]. Dostupné z:
<https://www.psp.cz/sqw/hp.sqw?k=331>
- [33] *Legislativní proces v Poslanecké sněmovně Parlamentu České republiky* [online]. Poslanecká sněmovna Parlamentu České republiky [cit. 2016-03-19]. Dostupné z:
http://www.psp.cz/files/okv/plakat_legisl_proces_IV.2007.pdf
- [34] *Volvo převezme odpovědnost za nehody svých autonomních vozů* [online]. autorevue.cz [cit. 2016-09-02]. Dostupné z: <http://www.autorevue.cz/volvo-prevezme-odpovednost-za-nehody-svych-autonomnich-vozu>
- [35] *Klotoida* [online]. [cit. 2016-11-05] Dostupné z:
<http://geometrie.kma.zcu.cz/work/KS/Klotoida/Klotoida.pdf>
- [36] *Krajní přechodnice tvaru klotidy* [online]. Lukáš Týfa [cit. 2016-10-24]. Dostupné z: <https://www.fd.cvut.cz/personal/tyfal/str/predmety/pkd-cv/prechodnice.pdf>
- [37] PROCHÁZKOVÁ, Dana. *Analýza a řízení rizik*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04841-2.
- [38] *Justia US law - California - VEH DIVISION 16.6. Autonomous Vehicles § 38750* [online]. Justia US law [cit. 2016-03-09]. Dostupné z:
<http://law.justia.com/codes/california/2013/code-veh/division-16.6/section-38750/>
- [39] *AUTONOMOUS VEHICLE TESTER (AVT) PROGRAM APPLICATION FOR MANUFACTURER'S TESTING PERMIT* [online]. DVM California [cit. 2016-03-09]. Dostupné z: <https://www.dmv.ca.gov/portal/dmv/forms/forms/ol/ol311.pdf>
- [40] *REPORT OF TRAFFIC ACCIDENT INVOLVING AN AUTONOMOUS VEHICLE* [online]. DVM California [cit. 2016-02-23]. Dostupné z:
<https://www.dmv.ca.gov/portal/wcm/connect/3946fbb8-e04e-4d52-8f80-b33948df34b2/Google+Auto+LLC+02.14.16.pdf?MOD=AJPERES>
-

-
- [41] *Tesla's flirt with the hand-off valley* [online]. saistent.com [cit. 2016-11-10].
Dostupné z: <http://www.saistent.com/tesla-flirt-with-hand-off-valley>
- [42] *PŘÍČNÉ PŘEMÍSTĚNÍ VOZIDEL PŘI ANALÝZE SILNIČNÍ NEHODY* [online].
Albert Bradáč [cit. 2016-11-10]. Dostupné z: <http://www.sinz.cz/archiv/docs/si-2005-05-267-273.pdf>
- [43] JIROVSKÝ, Václav. *METODIKA HODNOCENÍ SYSTÉMŮ INTEGROVANÉ BEZPEČNOSTI OSOBNÍCH AUTOMOBILŮ*. 2015.
- [44] THEODOSIS, Paul Alan. *PATH PLANNING FOR AN AUTOMATED VEHICLE USING PROFESSIONAL RACING TECHNIQUES*.
- [45] *Klotoida* [online]. [cit. 2016-11-13]. Dostupné z:
<http://geometrie.kma.zcu.cz/work/KS/Klotoida/Klotoida.pdf>
- [46] KALRA Nidhi, PADDOCK Susan M., *Driving to safety, How Many Miles of Driving Would It Take to Demonstrate Autonomous Vehicle Reliability?* [online].
[cit. 2016-11-16]. Dostupné z:
http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR1400/RR1478/RAND_RR1478.pdf

Seznam obrázků

Obr. 1: Asistenční systémy [6]	15
Obr. 2: Algoritmus autonomního vozidla	17
Obr. 3: Algoritmus adaptivního tempomatu (přeloženo a upraveno z [7])	17
Obr. 4: Projekt eIMPACT (přeloženo z [18]).....	24
Obr. 5: Metodika výběru systému (přeloženo z [18]).....	25
Obr. 6: Závislost systémů (přeloženo z [19])	27
Obr. 7: Změna počtu úmrtí podle scénáře roku 2020 (upraveno z [11]).....	28
Obr. 8: Změna počtu zranění podle scénáře roku 2020 (upraveno z [11])	28
Obr. 9: USA - státy které přijaly právní předpisy pro autonomní vozidla, 23. 2. 2016 (přeloženo z [15]).....	32
Obr. 10: Google Lexus RX450h [22]	37
Obr. 11: Google Self-Driving Car Project [23]	37
Obr. 12: Mercedes-Benz Future Truck 2025 [26]	38
Obr. 13: Audi A7 piloted driving (upraveno z [27]).....	39
Obr. 14: Volvo XC90 Drive Me [28]	40
Obr. 15: Volvo XC90 Drive Me obrazovka řidiče [28].....	41
Obr. 16: Rozložení radarů [29]	41
Obr. 17: Rozložení kamer [29]	41
Obr. 18: Laserový scanner [29]	41
Obr. 19: Testování Toyoty bez řidiče [30]	42
Obr. 20: Testování Audi A8 bez řidiče [30]	42
Obr. 21: Základní stanice pro ovládání a dohled nad vozidly [30].....	42
Obr. 22: Prokázání nižší chybovosti autonomních vozidel než u lidského řidiče s 95% jistotou [46].....	47
Obr. 23: Legislativní proces v České republice (upraveno z [32]).....	50
Obr. 24: Legislativní proces v Poslanecké sněmovně Parlamentu České republiky (upraveno z [33])	51
Obr. 25: Bok autobusu po nehodě [zdroj: AP]	61
Obr. 26: Google Lexus RX 450h [zdroj: AP].....	61
Obr. 27: Systémy autonomního vozidla [patent č. US 9,280,710 B1]	62
Obr. 28: Rozhodovací algoritmus [patent č. US 9,280,710 B1].....	63
Obr. 29: Záznam nehody Google Lexus RX 450h [protokol o nehodě - příloha].....	63
Obr. 30: Záznam o dopravní nehodě Tesla model S [31].....	64
Obr. 31: Náčrt nehody [31].....	64
Obr. 32: Nehoda Tesla model S - kamion, satelitní pohled [41]	65
Obr. 33: Skutečný vyhýbací manévr s přechodnicemi klotoida	68
Obr. 34: Původní vyhýbací manévr bez tečny	69
Obr. 36: Vývojový diagram výpočtu	71
Obr. 37: Vyhýbací manévr s tečnou úměrnou k různým poloměrům	74
Obr. 38: Geometrie počátečního oblouku.....	76
Obr. 39: Geometrie tečny.....	78

Obr. 40: Detail geometrie tečny.....	78
Obr. 41: Geometrie koncového oblouku.....	80
Obr. 42: Detail geometrie koncového oblouku.....	80
Obr. 43: Bezkolizní zastavení.....	85
Obr. 44: Situace nehody kamion – Tesla model S.....	87
Obr. 45: Klotoida [45]	91
Obr. 46: Vyhýbací manévr s přechodnicemi klotoida	92
Obr. 47: Parametry klotoidy [36].....	93

Seznam tabulek

Tab. 1: Úrovně řízení podle SAE J3016 (přeloženo z [2]).....	11
Tab. 2: Senzory ve vozidle	14
Tab. 3: Státy, které podepsaly Vídeňskou konvenci z roku 1968.....	19
Tab. 4: eIMPACT - seznam inteligentních bezpečnostních systémů	26
Tab. 5: What-if analýza	59
Tab. 6: Kinematika hmotného bodu	67
Tab. 7: Intervaly pro určení polohy autonomního vozidla	81
Tab. 8: Parametry přechodnice klotoidy.....	94