

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií



Bakalářská práce

Autonomní mobilita

Vítek Pospíšil

© 2024 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vítek Pospíšil

Informatika

Název práce

Autonomní mobilita

Název anglicky

Autonomous mobility

Cíle práce

Bakalářská práce je tematicky zaměřena na automatizaci osobních automobilů jako jeden z nejdiskutovanějších výsledků rychlého vývoje tzv. Internetu Věcí (IoT). Cílem práce je představit a zhodnotit nový segment automobilového průmyslu, který s sebou přináší nové změny a výzvy hned v několika oblastech.

Dílčím cílem je:

- analyzovat aktuální technologie pro autonomní řízení a rizika související s autonomními vozy;
- nalezení nejlepšího předpokládaného směru vývoje autonomního řízení do budoucna;
- uvést sociální a ekonomický přínos, včetně právních aspektů a pohledu společnosti na toto téma;
- formulace závěrů.

Metodika

Metodika řešené problematiky je založena na studiu a analýze odborných informačních zdrojů. Hlavními zdroji jsou odborné články, ze kterých je vytvořen ucelenější náhled na všechna dílčí témata, dále pak knižní literatura. Vlastní práce spočívá v analýze a na základě zvolených kritérií objektivní komparaci vybraných autonomních vozidel s následným vyhodnocením. Na základě syntézy teoretických poznatků a výsledků praktické části budou formulovány závěry bakalářské práce.

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

Klíčová slova

Autonomní řízení, Automobil, Bezpečnost, Visual computing, Umělá inteligence, Monitorovací zařízení

Doporučené zdroje informací

ANDERSON, James, et al. Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers. Santa Monica: RAND, 2014. ISBN: 978-0-8330-8398-2.

KOCKELMAN, Kara, et al. Implications of Connected and Automated Vehicles on the Safety and Operations of Roadway Networks: A Final Report. Austin: The University of Texas, 2016.

KOOPMAN, Philip and WAGNER, Michael. Autonomous Vehicle Safety: An Interdisciplinary Challenge. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine 9, 2017.

LITMAN, Todd. Autonomous Vehicle Implementation Predictions, Implications for Transport Planning, Victoria: Victoria Transport Policy Institute, 2015.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Eva Kánská, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 4. 7. 2023

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 11. 2023

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 15. 03. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Autonomní mobilita" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.3.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval mé vedoucí Ing. Eva Kánská, Ph.D., za její odborné vedení a cennou zpětnou vazbu k mé závěrečné práci. Dále chci poděkovat mým přátelům a rodině za podporu.

Autonomní mobilita

Abstrakt

Bakalářská práce se zaměřuje na představení problematiky autonomního řízení a zhodnocení nejnovějších vývojų, které přináší změny a výzvy v oblastech technologie, bezpečnosti, právních aspektů a sociálně-ekonomických pohledů. Práce analyzuje současné technologie autonomního řízení a s ním související rizika, předpovídá směr vývoje a diskutuje o sociálních a ekonomických přínosech autonomní mobility. Na základě rozsáhlého studia odborné literatury, analýzy a následného objektivního porovnání vybraných autonomních vozidel, konkrétně systémů Waymo Driver a Tesla Full Self-Driving (FSD), jsou v práci formulovány závěry týkající se stávajícího stavu a nejlepšího budoucího směru vývoje autonomního řízení. SWOT analýzy obou systémů zkoumají silné a slabé stránky, příležitosti a hrozby spojené s každým z nich, zatímco porovnání ukazuje na různé přístupy k řešení výzev autonomní mobility. Práce konstatuje, že autonomní vozidla mají potenciál výrazně zlepšit bezpečnost na silnicích a efektivitu dopravy, avšak zdůrazňuje i existující výzvy, včetně technologických limitací, právních a etických otázek. V závěru práce jsou shrnuty hlavní poznatky a doporučení pro další vývoj v oblasti autonomní mobility.

Klíčová slova: Autonomní řízení, Automobil, Bezpečnost, Autonomní vozidla, Vstupní technologie, Strojové učení, Umělá inteligence, Asistenční systémy

Autonomous mobility

Abstract

This bachelor's thesis focuses on introducing the issues surrounding autonomous driving and assessing the latest developments that bring changes and challenges in the areas of technology, safety, legal aspects, and socio-economic perspectives. The thesis analyzes current autonomous driving technologies and associated risks, predicts the direction of development, and discusses the social and economic benefits of autonomous mobility. Based on an extensive study of articles, literature, analysis, and subsequent objective comparison of selected autonomous vehicles, specifically the Waymo Driver and Tesla Full Self-Driving (FSD) systems, the thesis formulates conclusions regarding the current state and defines the best possible direction of future autonomous systems advancements. The thesis examines both systems in regards to their strengths, weaknesses, opportunities, and threats, while the comparison highlights their different approaches to addressing the challenges of autonomous mobility. The thesis states that autonomous vehicles have the potential to significantly improve road safety and traffic efficiency but also emphasizes the existing challenges, including technological limitations, legal and ethical issues. The conclusions of the thesis summarize the main findings and recommendations for further development in the field of autonomous mobility.

Keywords: Autonomous driving, Automobile, Safety, Autonomous vehicles, Input technology, Machine learning, Artificial intelligence, Assistance systems

Obsah

1 Úvod.....	11
2 Cíl práce a metodika	12
2.1 Cíl práce	12
2.2 Metodika	12
3 Teoretická část práce	13
3.1 Uvedení do Autonomního řízení.....	13
3.2 Autonomní prvky	14
3.3 Počátky autonomní mobility	14
3.3.1 Da Vinciho Samohybné vozidlo 15. století	14
3.3.2 Torpédo Whitehead 1866.....	15
3.3.3 Autopilot v leteckém průmyslu.....	15
3.3.4 American wonder, 1925.....	17
3.3.5 Tempomat, Ralph Teetor	17
3.4 SAE standard pro rozdělení autonomního řízení	19
3.4.1 Stupeň 0	19
3.4.2 Stupeň 1	20
3.4.3 Stupeň 2	20
3.4.4 Stupeň 3	20
3.4.5 Stupeň 4	21
3.4.6 Stupeň 5	22
3.5 Waymo	23
3.6 Tesla	24
3.7 Vstupní technologie pro autonomní vozidla	24
3.7.1 Lidar.....	24
3.7.2 Radar.....	25
3.7.3 Kamery.....	26
3.7.4 Sonar	26
3.7.5 GPS	26
3.7.6 V2X (Vehicle-to-Everything) komunikace	27
3.8 Technologické systémy užívané pro autonomní vozidla	29
3.8.1 LKAS	29
3.8.2 ACC	29
3.8.3 Autonomní řízení na dálnici	29
3.8.4 Autonomní řízení i mimo dálnici.....	29
3.8.5 ADAS.....	30

3.9	Etický pohled na autonomní vozidla	31
3.10	Budoucnost autonomie	32
4	Vlastní práce	33
4.1	Analýza Waymo Driver systému	33
4.1.1	Swot analýza Waymo tabulka	34
4.1.2	Silné stránky	34
4.1.3	Slabiny	36
4.1.4	Příležitosti	37
4.1.5	Hrozby	39
4.2	Analýza Tesla FSD systému	43
4.2.1	SWOT analýza Tesla FSD tabulka	43
4.2.2	Silné stránky	44
4.2.3	Slabiny	46
4.2.4	Příležitosti	47
4.2.5	Hrozby	48
4.3	Výsledná komparace Waymo Driver a Tesla FSD systémů	50
5	Výsledky a diskuse	52
6	Závěr	54
7	Seznam použitých zdrojů	56
8	Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk	66
8.1	Seznam obrázků	66
8.2	Seznam tabulek	66

1 Úvod

V moderní době nebývalého technologického pokroku přichází autonomní mobilita jako znamenitý inovativní prvek, transformující osobní dopravu skrze rozvoj strojového učení, snímacích sensorů a internetu věcí. Tato bakalářská práce se zaměřuje na současné technologie autonomního řízení, analyzuje s nimi spojená rizika a predikuje nejlepší předpokládaný směr jejich vývoje do budoucna, kladouc důraz na sociální a ekonomické přínosy. Práce detailně zkoumá a následně komparuje autonomní systémy Waymo Driver a Tesla FSD, snaží se identifikovat jejich potenciál, výzvy, a integraci s reálným světem. Klíčovou metodou je studium odborných článků, studií, literatury a objektivní komparací zmíněných technologií, jejímž cílem je poskytnout komplexní pohled na současný stav a nejlepší možný budoucí vývoj autonomního řízení, což bylo také jednou z hlavních motivací práce. Bakalářská práce dále reflektuje právní, etické a sociální aspekty autonomní mobility, čímž přispívá k hlubšímu porozumění potenciálních dopadů těchto technologií na společnost.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Bakalářská práce je tematicky zaměřena na automatizaci osobních automobilů jako jeden z nejdiskutovanějších výsledků rychlého vývoje strojového učení a Internetu Věcí (IoT). Cílem práce je představit a zhodnotit nový segment automobilového průmyslu, který s sebou přináší nové změny a výzvy hned v několika oblastech.

Dílčím cílem je:

- analyzovat a charakterizovat aktuální technologie pro autonomní řízení a rizika související s autonomními vozy;
- nalezení nejlepšího předpokládaného směru vývoje autonomního řízení do budoucna;
- uvést sociální a ekonomický přínos, včetně právních aspektů a pohledu společnosti na toto téma;
- formulace závěrů.

2.2 Metodika

Metodika řešené problematiky je založena na studiu a analýze odborných informačních zdrojů. Hlavními zdroji jsou odborné články, ze kterých je vytvořen ucelenější náhled na všechna dílčí témata, dále pak knižní literatura. Vlastní práce spočívá v charakteristice a analýze dvou autonomních vozidel. Následně na základě zvolených kritérií objektivní komparaci vybraných autonomních vozidel s vyhodnocením a diskusí. Na základě syntézy teoretických poznatků a výsledků praktické části budou formulovány závěry bakalářské práce.

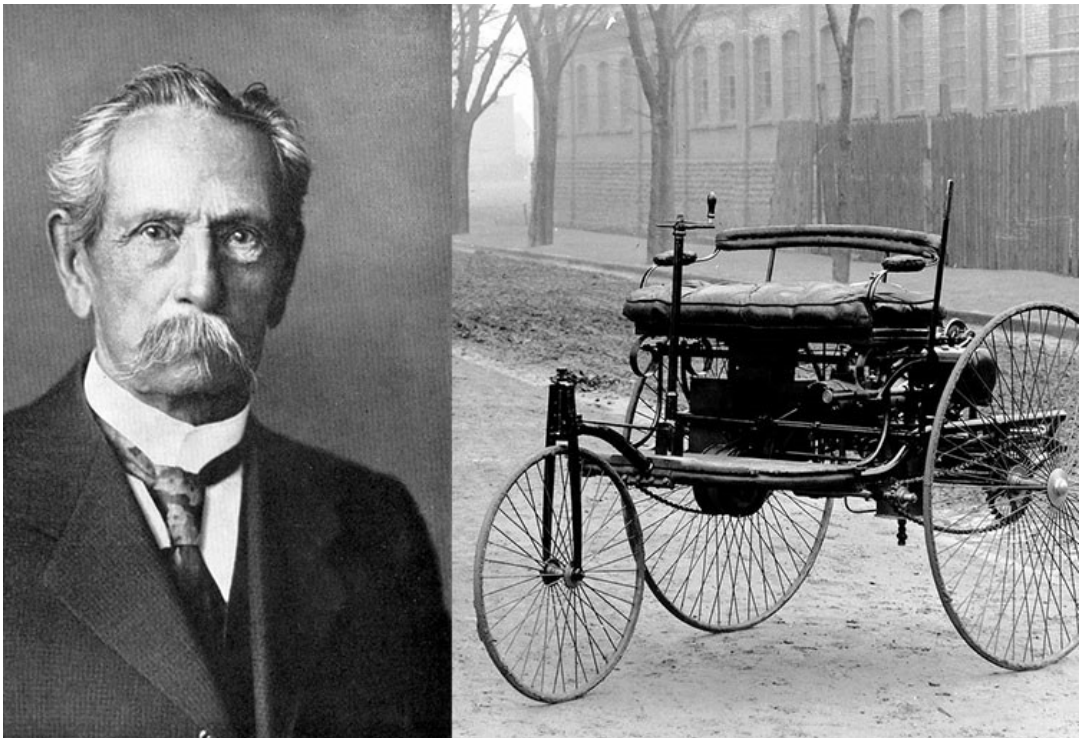
3 Teoretická část práce

V teoretické části je představen počáteční vývoj Autonomie a Autonomního řízení jako celku, který obsahuje jak sociální, tak ekonomické přínosy. Dále současné rozdělení a představení jednotlivých autonomních stupňů dle světově rozšířeného standardu dle sae.org, přičemž každý ze stupňů je vysvětlen ve vlastní kapitole. Následně jsou popsány klíčové technologie a sensory, které jsou užívány autonomními vozidly a dále byl zkoumán etický pohled na tyto vozidla a možný budoucí vývoj.

3.1 Uvedení do Autonomního řízení

První automobil byl zkonstruován v roce 1885 automobilovým konstruktérem jménem Karl Benz. Již při prvním veřejném testu naboural Karl Benz svůj prototyp do zdi. Od roku 1885 uplynulo již 138 let a za tu dobu se automobilový průmysl změnil prakticky k nepoznání. Ale to jediné, co se od té doby nezměnilo, je k naší smůle i ta nejnebezpečnější část automobilu jako takového, a to jeho řidič. [1]

Obrázek 1 Karl Benz a první automobil [75]



Jako plně autonomní vozidlo je chápáno vozidlo, již je schopné samostatně plnit funkci řidiče. Můžeme si ho představit jako zcela robotické, samostatně smýšlející robo-auto, které

nevyžaduje žádného zásahu cestujícího. Takovéto čistě autonomní vozidlo ještě dnes, ani zítra v provozu nenajdeme. Co ale dnes již máme, jsou automobily s tzv. autonomními prvky. Tyto automobily pomáhají řidiči vozidla v případech, kdy je to potřeba a tím úspěšně zabraňují nehodám a skutečně zachraňují životy. Autonomní systémy dělají vozidla bezpečnější a ekonomičtější, převážně díky jejich vlastnosti nadlidského vnímání okolního světa a plynulejšího řízení. [2]

Pro rozdělení autonomního řízení vozidla je celosvětově uznávaný standard vytvořený společností SAE International. [3]

3.2 Autonomní prvky

Je důležité si uvědomit, že nejsou všechny bezpečnosti moderní technologie chápány jako autonomní prvky, ačkoliv je drtivá většina autonomních prvků právě bezpečnostní. To znamená, že i když je ABS (protiskluzový systém brždění) zcela automaticky použitý, pokud je ho potřeba, při sešlápnutí brzdového pedálu, stále není považován za autonomní bezpečnostní prvek.

Autonomní prvky mohou řidiči vozidla plně zasáhnout do řízení. Například pouhý tempomat autonomní prvek není, ale adaptivní tempomat, který sleduje automobil či překážku, před vozidlem je již požadovaný za Level 1 autonomního řízení, jelikož řidiči sám zasahuje do řízení ovládním plynu a brzd. [4]

3.3 Počátky autonomní mobility

3.3.1 Da Vinciho Samohybné vozidlo 15. století

Za první návrh autonomního vozidla se považuje Da Vinciho samohybné vozidlo, které navrhl proslulý Italský malíř a vynálezce Leonardo Da Vinci a to ještě stovky let před zkonstruováním prvního skutečně funkčního automobilu v 19. století. Tento stroj byl poháněn na bázi setrvačnicku tvořeného dvěma symetrickými pružinami, umožňoval vozidlu samohybný pohyb, bez závislosti na tlačení či tahání jiným pohonným mechanismem, jako bylo tehdy běžné formou tažených koňů. Brzdový mechanismus umožňoval pouhé odbrzdění vozidla, nikoliv zastavení při pohybu. Směr jízdy tohoto Samohybného vozidla bylo možné určit předem s pomocí komplexního mechanismu připomínající diferenciál. Italské Muzeum Galileo ve Florencii, tehdy ještě pod jménem Institut a Muzeum Historie a Vědy, vytvořilo

na počátku 21. století plně funkční prototyp Da Vinciho Samohybného vozidla v plném měřítku. [5][6]

Obrázek 2 Da Vinciho Samohybné vozidlo [76]



3.3.2 Torpédo Whitehead 1866

Zbraň, která zapříčinila evoluci využití autonomních technologií ve vojenském průmyslu. Na základech návrhu Giovanniho Luppise vyvinul Robert Whitehead první samostatně poháněné torpédo. Bylo schopné urazit 180 metrů rychlostí až 19 km/h. Pohon zajišťoval tříválcový motor na stlačený vzduch navržený Petrem Brotherhoodem. Hloubku torpéda korigovala technologie kyvadla a hydrostatiky přezdívaná ‚The Secret‘. K držení směru a vypořádání s větrem a proudy sloužil Gyroskop, který pomocí kormidel automaticky upravuje výkyvy osy od zamýšleného kurzu. Vynálezcem tohoto autonomního prvku pro torpéda byl Rakouský inženýr Ludwig Obry. Obryho Gyroskop vyřešil problematiku rychlosti roztáčení rotoru, pomocí pohonu stlačeným vzduchem. [7][8]

3.3.3 Autopilot v leteckém průmyslu

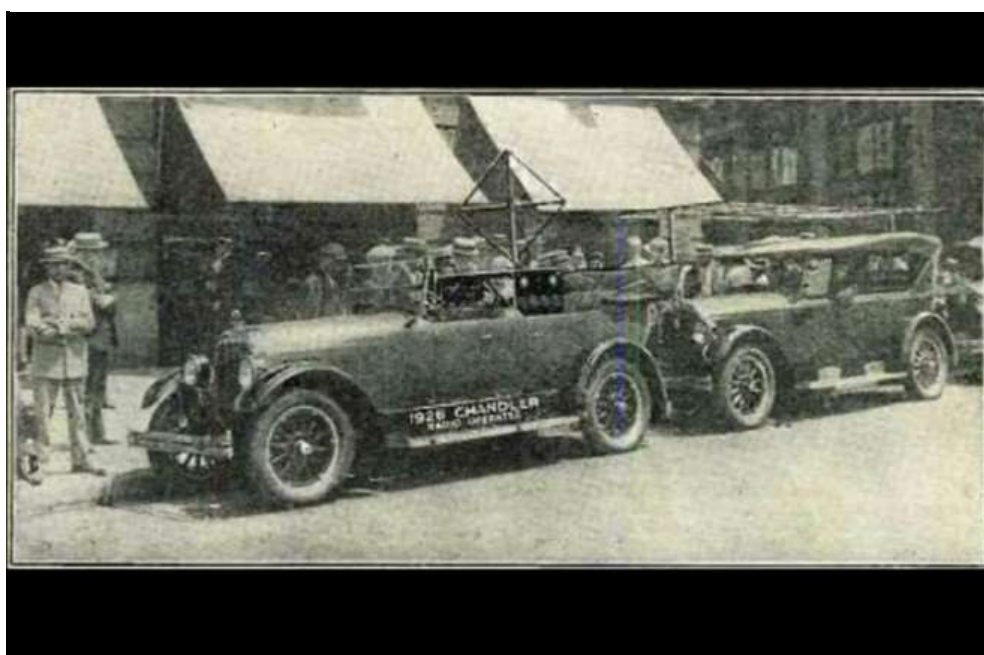
V roce 1912 vynalezli Američané Elmer a Lawrence Sperry prvního leteckého autopilota, který dokázal bez zásahu pilota držet výšku i směr daný kompasem, což pilotům značně ulehčilo pracovní vytížení. Tento autopilot se skládal ze dvou gyroskopů a to směrového a výškového. Gyroskopy byly poháněné vzduchem 15 000 otáček za minutu, piloti měli

možnost měnit směr i výšku bez toho aniž by museli autopilota vypnout. V roce 1931 byl stanoven rekord letu okolo světa a to za 8 dní. Rekordu dosáhli Wiley Post a jeho navigátor Harold Gatty v letadle Lockheed Vega 5C se jménem Winnie Mae. Klíčovým nástrojem pro tento úspěch byl autopilot ‚Mechanical Mike‘ od firmy Sperry. Roku 1933 Wiley Post tento let zopakoval, ale již bez svého navigátora, za pomoci nového vylepšeného autopilota od Sperryho a rádiového kompasu. Díky vývoji autopilotů nemuseli piloti hodiny letu nepřetržitě hlídat směr a výšku svých letadel, což vedlo k delším a bezpečnějším letům.[9]

3.3.4 American wonder, 1925

Za první automobil bez konvenčního řidiče lze považovat vozidlo společnosti Houdina Radio Control pod názvem American (Linrrican) Wonder. Jednalo se o vozidlo ovládané přes radiové vlny. Francis P Houdina vybavil automobil značky Chandler 1926 přijímací anténou na zádi vozu a elektrickými motory ovládající řídicí prvky vozu. Toto vozidlo bylo ovládáno vysílačem, kterým disponovalo konvenční vozidlo následující jej. Francis Houdiny představil veřejnosti jeho radiově řízený automobil roku 1925 v New Yorku, kdy s vozidlem projel přes Broadway až na Fifth Avenue a to za plného provozu. American Wonder v ulicích New Yorku zatáčel, troubil, zrychloval i zpomaloval, ale dle článku New York Times nakonec kvůli špatně připevněnému aparátu na hřídeli havaroval do automobilu plného fotografů. Tento vynález byl veřejnosti znázorněn, pod jménem ‚Phantom Auto‘, ještě dvakrát, roku 1926 v Millwaukee a 1932 ve Fredericksburgu. [10] [11]

Obrázek 3 American Wonder [77]



3.3.5 Tempomat, Ralph Teetor

Slepý Americký vizionář, který vymyslel tempomat. Dle informací poskytnutých Teetorovou rodinnou přišel Ralph Teetor s vynálezem tempomatu, tedy se zařízením, které udržuje stálou rychlost, díky neplynulému řízení jeho patentového zástupce Harryho Lindsay. První prototyp byl vytvořen v roce 1945 po deseti letech vývoje a fungoval na bázi

vakuového pístu, který byl schopný přidávat plyn a tím udržovat stálou rychlost automobilu. Roku 1950 získal Ralph Teetor patent na svůj vynález pod názvem ‚Speedostat‘. [12]

Do komerčního užití byl však zařazen až roku 1958 firmou Chrysler a to jako luxusní příplatková možnost pro vozidlo Chrysler Imperial pod názvem ‚Autopilot‘. Díky popularitě ho následovně začal Chrysler nabízet ve všech svých automobilech. Další značkou, která měla v nabídce tempomat, byl Cadillac, ten začal nabízet tempomat pod jménem ‚Cruise Control‘, což vydrželo až do dnes. Do roku 1973 byl tempomat považován za pouhý komfortní příplatek, ale s příchodem krize pohonných hmot v USA právě v roce 1973, byl zpopularizován také díky schopnosti snížení spotřeby paliva. [12]

3.4 SAE standard pro rozdělení autonomního řízení

Tento standard byl vytvořen v roce 2014 a je nejvíce využívaným standardem pro popis Autonomních prvků a vozidel v celém automobilovém průmyslu. Je neustále zdokonalován a nejnovější popis jednotlivých stupňů (levelů) byl naposledy aktualizován v roce 2021. Tyto stupně jsou na škále od stupně 0, ten značí vozidlo bez Autonomních prvků, až po vozidlo stupně 5, které je dokonale autonomní. [3]

Obrázek 4 SAE Stupně Autonomního řízení [78]

SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION™
 Learn more here: [sae.org/standards/content/j3016_202104](https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104)

Copyright © 2021 SAE International. The summary table may be freely copied and distributed AS-IS provided that SAE International is acknowledged as the source of the content.

	SAE LEVEL 0™	SAE LEVEL 1™	SAE LEVEL 2™	SAE LEVEL 3™	SAE LEVEL 4™	SAE LEVEL 5™
What does the human in the driver's seat have to do?	You are driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You are not driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in “the driver’s seat”		
	You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	
	These are driver support features			These are automated driving features		
What do these features do?	These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met		This feature can drive the vehicle under all conditions
Example Features	<ul style="list-style-type: none"> • automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering OR • adaptive cruise control 	<ul style="list-style-type: none"> • lane centering AND • adaptive cruise control at the same time 	<ul style="list-style-type: none"> • traffic jam chauffeur 	<ul style="list-style-type: none"> • local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed 	<ul style="list-style-type: none"> • same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions

3.4.1 Stupeň 0

Do stupně 0 by se řadí většina automobilů v provozu. Tyto automobily mohou mít asistenční prvky jako zvuková upozornění při změně pruhu, kontrolu mrtvého úhlu, parkovacího asistenta, zadní a přední kameru, ale nemají prvky, které řidiči aktivně zasahují do řízení. Výjimkou tohoto pravidla jsou aktivní bezpečnostní prvky, které do řízení zasahují v momentálních nebezpečných situacích jak ESC, AEB a LKA. [3]

3.4.2 Stupeň 1

Tento stupeň již zahrnuje aktivní asistenci řidiči vozidla. Vozidlo v tomto stupni dokáže řidiči zasáhnout do řízení na základě podmětů, zjištěných svými senzory z okolního prostředí. Takovými prvky jsou například aktivní držení v jízdních pruzích, adaptivní tempomat. [3]

3.4.3 Stupeň 2

Automatizace tohoto stupně je středně pokročilá v evoluci autonomního řízení. Vozidlo tohoto stupně je vybaveno pokročilými technologiemi ADAS, ta dokáže za řidiče převzít více povinností, jako držení volantu, zatáčení i například změnu pruhu a odbočování. Za řízení automobilu je však stále plně odpovědný řidič, který musí stále kontrolovat co se okolo něj děje a být připravený do jízdy, když bude potřeba, zakročit a převzít řízení nazpět. [13]

3.4.4 Stupeň 3

Autonomní vozidla tohoto stupně jsou schopné zcela samostatného řízení vozidla na předem určených cestách, za předem určených podmínek. Tohoto stupně 3 dokázal Mercedes dosáhnout dříve než Tesla a nabízí již možnosti autonomního řízení nejen v Německu, ale dokonce i ve Spojených Státech Amerických. Ačkoliv má Tesla lepší autonomní systém po stránce adaptování na jakoukoliv cestu. Mercedes povoluje svůj Intelligent Drive pouze na vybraných dálnicích a v nízkých rychlostech. V Arizoně USA je například autopilot omezený na 65 km/h. Oproti Tesle však v Mercedesu nemusíte v autonomním režimu sledovat vozovku a legálně například hrát za jízdy videohru. [14]

Stupeň 3 má však do plně autonomního vozidla ještě stále velmi daleko, protože se pořád spoléhá hlavně na asistenční systémy, které sice dokážou řídit vozidlo, ale pokud nastane situace, kterou vozidlo nedokáže vyřešit, vyžaduje od řidiče, aby přestal hrát svojí hru a převzal řízení zpět do svých rukou. Systém levelu 3 tudíž stále nedokáže řešit problémové situace, na které nebyl předem naprogramován. Slouží tak hlavně jako šofér v koloně na dálnicích za běžného počasí. Oproti Tesle využívá Mercedes nejen kamery, ale také Lidar umístěný v mace vozu.

Rozdíl mezi druhým a třetím stupněm se zdá v případě Mercedesu a Tesly hlavně právní záležitostí. V reálném světě je skok mezi Stupněm 3 a Stupněm 2 ohromný, jelikož legální následky za nehody ve Stupni tři nese plně Autonomní systém vozidla Stupně 3. Z technologického hlediska pokrok již tak velký rozhodně není, jelikož v porovnání s Mercedesem je Tesla v některých aspektech rozhodně napřed, ale hlavním kamenem úrazu pro Teslu je zde garance bezpečnosti. [15]

Obrázek 5 Mercedes Benz SAE level 3 [79]



3.4.5 Stupeň 4

Autonomní řízení Stupně 4 je druh autonomního řízení, které umožňuje vozidlům provozovat se bez zásahu člověka v určitých situacích, například na dálnicích a v kontrolovaných prostředích. Na této úrovni je vozidlo schopné ovládat všechny aspekty řízení, včetně akcelerace, brzdění a řízení, bez jakéhokoliv vstupu od řidiče. Systém stále vyžaduje, aby člověk převzal kontrolu, pokud se situace stane příliš složitou nebo když vozidlo narazí na neočekávanou překážku. Ale oproti Stupni 3 dokáže nečekanou situaci vyřešit bezpečným odstavením vozidla a vyčkáním na pomoc. Tyto vozidla jsou například schopné dělat taxíky, lídrem ve vývoji autonomního řízení stupně 4 je společnost Waymo.

Tento stupeň autonomie vyžaduje významné pokroky v technologii, včetně zlepšení sensorové technologie, umělé inteligence a strojového učení. I když Stupeň 4 představuje významný skok v automatizaci řízení, je důležité poznamenat, že ještě není široce dostupná a zůstává ve vývojové fázi. [16]

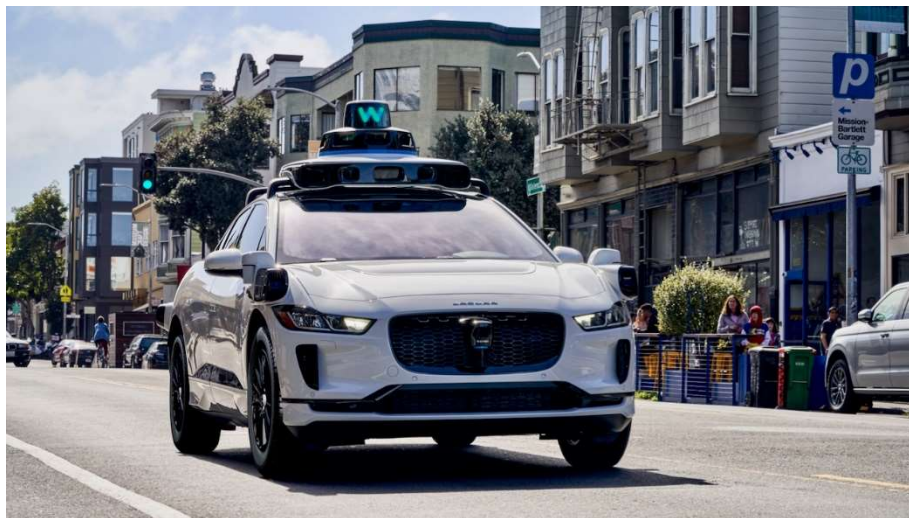
3.4.6 Stupeň 5

Autonomní řízení stupně 5 je nejvyšší možná úroveň autonomie, při které vozidlo funguje bez zásahu člověka. Na této úrovni je auto plně autonomní a může jezdit v jakémkoli prostředí nebo podmínkách bez nutnosti, aby řidič převzal kontrolu. Vozidlo bude vybaveno pokročilými senzory, kamerami a jinými technologiemi, pravděpodobně v současné době nám stále neznámými, které mu umožňují vnímat a reagovat na své okolí v reálném čase. Technologie autonomního řízení stupně 5 je stále ve vývoji a ani zdaleka není k dispozici pro spotřebitelské využití. Jakmile bude dosaženo autonomie úrovně 5, bude možné výrazně snížit nehody způsobené lidskou chybou až prakticky na nulu, zvýšit efektivitu dopravy a poskytnout větší mobilitu lidem s postižením nebo omezeným přístupem k dopravě. [17]

3.5 Waymo

Waymo je společnost zaměřená na technologie autonomního řízení, která patří pod mateřskou společnost Alphabet Inc., kterou vlastní Google. Waymo vyvinula autonomní řízení Stupně 4, které se v současné době používá v jejich taxi službě, Waymo One. Tato služba funguje v metropolitní oblasti Phoenixu, Los Angeles, San Franciscu, Austinu a umožňuje uživatelům objednat si plně autonomní taxíky pro své dopravní potřeby. Vozidla jsou vybavena řadou senzorů a kamer, které umožňují navigaci na silnicích, identifikaci překážek a rozhodování na základě okolního prostředí, systém pohánějící tyto vozidla se nazývá Waymo Driver (Waymo řidič). I když je služba v současné době dostupná pouze v omezených oblastech, Waymo má plány na rozšíření svých operací do dalších měst v USA a mimo ně. Společnost je považována za lídra v oblasti autonomního řízení a pracuje na vývoji dalších pokročilejších technologií, které by mohly přinést plně autonomní vozidla široké veřejnosti. [18]

Obrázek 6 Waymo One Taxi [80]



3.6 Tesla

Tesla je americká společnost zabývající se výrobou a vývojem jejich elektrických vozidel, baterií a na rozvoj autonomních systémů, které ve svých elektrických vozidlech nabízí. Již od svého založení se silně zaměřuje na inovace právě v autonomním řízení, což se stalo jednou z klíčových charakteristik jejich vozidel. Do roku 2021 využívala Tesla pro své autonomní systémy kombinaci více sensorů a to Radaru, Sonaru a kamer, jejím nejnovějším vývojem byl však přechod na používání pouze kamerových sensorů, což jde proti trendům ostatních automobilek. Nejnovější a nejpokročilejším autonomním systémem je Tesla FSD (Full Self Driving), který dále zvyšuje schopnosti předchozích autonomních systémů Autopilota a pokročilého Autopilota. I přes dlouholetý vývoj autonomních technologií se stále systém Tesla FSD kvalifikuje pouze jako SAE level 2, tudíž se z právního hlediska jedná pouze o asistenční systém, jelikož za případnou nehodu způsobenou při užívání Tesla FSD plně odpovídá reálný řidič. [19]

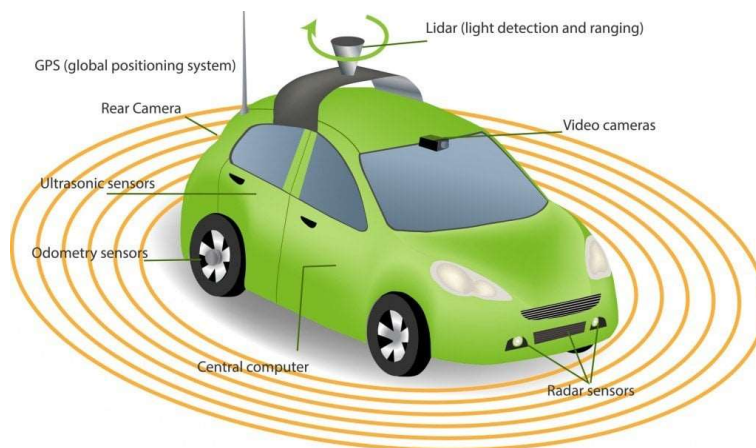
3.7 Vstupní technologie pro autonomní vozidla

3.7.1 Lidar

Lidar je systém využívající detekci světelných paprsků k měření vzdálenosti, podobně jako Radar. Namísto radiových vln využívá laserovou diodu k vyzařování krátkých pulzů světla a měří jejich odraz k výpočtu vzdálenosti. Původně se Lidar používal ke zkoumání atmosféry a oceánů, byl vyvinut společností NASA v sedmdesátých letech. Výhodou Lidaru nad Radarem je schopnost měření vzdálenosti ve větším rozsahu, také lépe funguje za nepříznivých podmínek, a jeho měření není ovlivnitelné elektrickým rušením, ale k přesnějšímu měření vyžaduje více snímačů jako například kamery, aby měl dostatečně

přesné výsledky. Přesnost jako taková je nevýhodou oproti Radaru při počítání rychlosti objektu. Lidar totiž potřebuje dvě měření vzdálenosti a závisí na GPS k určení polohy. [20]

Obrázek 7 Lidar na střeše auta [81]



3.7.2 Radar

Radar využívá krátké elektromagnetické vlny k detekování a následnému určení lokace a vzdálenosti ke snímaným objektům. Funguje na principu Dopplerova Efektu a vysílá vlny, které se následně odráží od zachyceného objektu a na tomto principu kalkuluje vzdálenost. Radar se v automobilovém průmyslu nevyužívá jen u ACC, ale také v systémech pro krizové brždění. Mikrovlny využívané v radaru jsou schopné detekce solidních objektů (aut, zdí, betonových zátaras), ale mají problém při rozeznávání méně solidních předmětů jako chodců a zvířet. [21]

Obrázek 8 Radar [82]



3.7.3 Kamery

Kamery jsou klíčovým prvkem ve všech autonomních vozidlech, slouží k získávání informací o okolním prostředí. Tyto kamery zachycují obrazové data, ze kterých se po zpracování algoritmy strojového učení mění na informace, s kterých následně vozidlo pomocí dokáže rozeznat a identifikovat různé objekty, jako jsou jiná vozidla, chodci, což umí i Radar i Lidar. Ale navíc slouží k rozpoznávání dopravních značek a jízdních pruhů. Vizuelní data pořízená kamerami pomáhají autonomnímu systému vozidla při rozhodování o manévrování a navigování v jeho provozním prostředí. Kamery jsou v porovnání s Lidarem i Radarem značně levnější, z toho důvodu je dnes nalezneme na všech vozidlech schopných stupně 2 autonomního řízení, což neplatí pro dražší Lidar i Radar. [22]

3.7.4 Sonar

Navigace a detekce založená na zvuku jménem Sonar se využívá pro čidla v automobilech již řadu let a jedná se o levnější sensor než-li je Lidar, Sonar i kamery. Senzory sonaru fungují na principu vysílání ultrazvukových vln, které se od detekovaných objektů odrazí zpět k senzoru. Vypočítáním času návratu zpětné vlny se určí vzdálenost překážek. Díky tomuto principu funguje sonar i za snížené viditelnosti, ale silně ho limituje jeho závislost na rychlosti zvuku. Tato technologie je proto určena hlavně pro krátké vzdálenosti v porovnání s již zmiňovanými. Slouží tak zejména jako asistence při parkování, či zcela autonomním parkování a při vyhýbání se překážkám ve špatných podmínkách. [23]

3.7.5 GPS

Slouží jako navigační stavební kámen pro autonomní vozidla. Pokaždé když chce autonomní vozidlo vyrazit na cestu, GPS a GNSS mu vytvoří trasu, kterou bude následovat. Satelitní navigace vozidlu poskytuje aktuální přehled o jeho poloze, a to do přesnosti jednotek několika metrů, lepší GPS přijímače až centimetrů. Výzvu v přesnosti satelitní navigace tvoří například centra měst, kde výškové budovy a jiné stavby mohou GPS signál vyrušit, tento fenomén se nazývá ‚Urban Canyon efekt‘. Tyto problémy řeší automobilky lepšími GPS přijímači, které dokáží zachytávat i slabší signály, dále použitím map s vysokým rozlišením, kde navigační systémy předpovídají a kompenzují pohyby vozidla. Nebo využitím technologií pro zlepšení signálu například filtrací šumu. Častým řešením pro

autonomní vozidla je integrace s dalšími dostupnými senzory (Lidar, akcelerometry) i dalšími polohovacími systémy, jako na bázi mobilních sítí a Wi-fi. [24]

3.7.6 V2X (Vehicle-to-Everything) komunikace

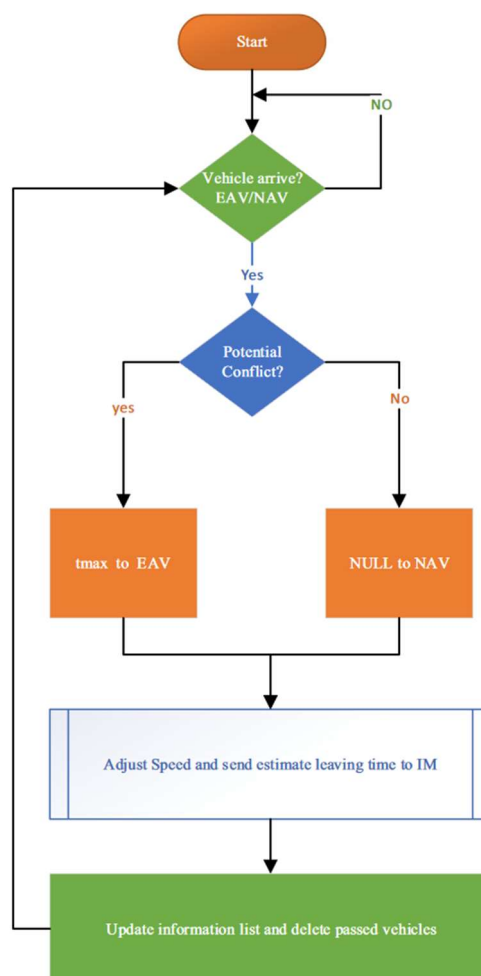
V2X komunikace hraje zásadní roli ve vývoji a budoucnu autonomních dopravních systémů. Umožňuje vozidlům vybavených touto technologií komunikovat s ostatními vozidly, dopravní infrastrukturou, chodci a jejich síťovými zařízeními. Jejím hlavním cílem je zlepšení bezpečnosti a zejména efektivity dopravy.

Klíčovým aspektem V2X komunikace je systém AIMS (Autonomous Intersection Management System). Tento systém automaticky rozlišuje vozidla nouzových služeb (EAV) a běžnými vozidly účastníci se provozu, díky tomu nouzovým vozidlům přiděluje vyšší prioritu v dopravním toku, to jim zajišťuje rychlejší průjezd. Na základě těchto priorit systém AIMS efektivně spravuje křižovatky podle předem přiřazených priorit, toto zahrnuje i plánování tras a regulaci rychlosti vozidel. Těmito praktikami tak dochází k plynulejšímu provozu a především předcházení kolizí.

Pro testování a optimalizaci strategií řízení dopravy využívá systém AIMS simulace, jako je SUMO (Simulation of Urban Mobility). To umožňuje analyzovat různé dopravní scénáře a upravit parametry systému pro zlepšení jeho výkonu.

AIMS implementuje specifické algoritmy pro řízení dopravy, pseudokód, který vidíme na obrázku, je prováděn I.M. (Intersection Management) jednotkou. Jsou zde detailně popsány rozhodovací kroky používané při řízení přístupu vozidel ke křižovatkám. Pro minimalizaci zpoždění pro všechny účastníky provozu je užíváno pravidlo FIFO (první přišel, první odešel), funguje na jednoduchém principu pořadí vozidel v jakém ke křižovatce přijela. Při příjezdu prioritních vozidel (ambulance) je pravidlo FIFO upraveno pro rychlý průjezd právě nouzových vozidel. Po průjezdu například ambulance se systém vrátí zpět k pravidlu FIFO. [25]

Obrázek 9 AIMS diagram [83]



3.8 Technologické systémy užívané pro autonomní vozidla

3.8.1 LKAS

System pro udržování vozu v jízdním pruhu se spoléhá na kameru, obvykle umístěnou v horní části vozu za čelním sklem. Tato kamera snímá vozovku před automobilem a rozpoznává dobře viditelné pruhy na vozovce. System z informací v kameře vypočítá polohu vozidla a pokud je to potřeba mírně zasáhne řidiči do řízení. Jelikož se LKAS spoléhá pouze na kameru, je za snížené viditelnosti takřka nepoužitelný. [26]

3.8.2 ACC

Adaptivní tempomat dokáže dle potřeby okolního provozu zrychlit i zpomalit vozidlo. Pro zjištění polohy vozidla využívá ACC snímače systému ABS a ESP, ty dodávají informace o rychlosti automobilu, rychlosti otáčení po svislé ose a příčném zrychlení. Nejdůležitější je pro ACC snímání okolních automobilů, k tomu využívá buďto Radar, Lidar, Kameru nebo i Laser. [27]

3.8.3 Autonomní řízení na dálnici

Kia, Hyundai, Ford a mnoho dalších značek dnes již nabízí možnost na určitých dálnicích předat kontrolu nad řízením vozidla jejich autonomnímu systému (pro Ford se tento systém jmenuje BlueCruise). Vozidlo za řidiče dokáže držet se v jízdních pruzích, reagovat na okolní provoz, a i částečně navigovat. Řidič je však nucen po celou dobu jízdy autopilota hlídat. [27]

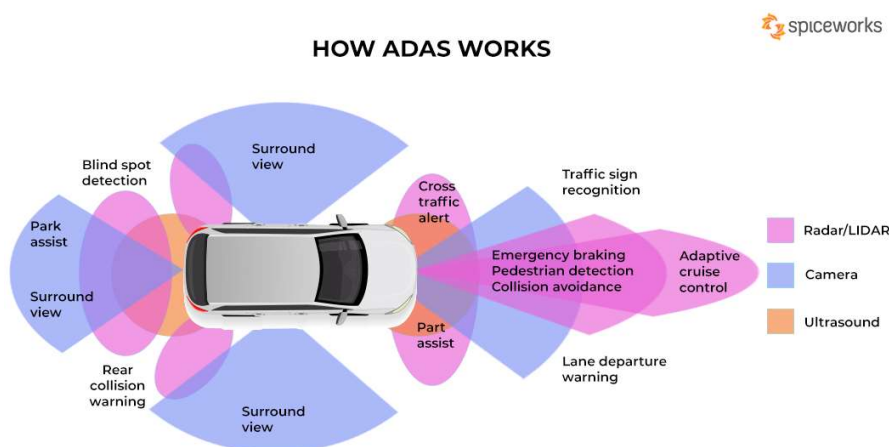
3.8.4 Autonomní řízení i mimo dálnici

V tomto odvětví před konkurencí výrazně vede Tesla a také nám zároveň ukazuje proč ještě nepostoupila do třetího stupně autonomizace. Využívá primárně kamerový systém, který od sebe rozeznává jednotlivé objekty. Oproti kamerovému systému pro asistenci jízdy v pruhu a adaptivního tempomatu, je ten Tesly mnohem pokročilejší a dokáže rozeznat kužely, uzavírky, zastavená vozidla a tak podobně. Ačkoli má Tesla s tímto systémem výrazně více informací o autonomním řízení než jiné automobilky, stále se jí nedaří zbavit se primitivních bugů a nedokáže řídit bez toho, aniž by její autonomní systém kontroval řidič. [27]

3.8.5 ADAS

Jsou inteligentní asistenční systémy, které řidiči přímo zasahují do řízení vozidla. Mají sloužit k zefektivnění řízení a ke zvýšení bezpečnosti, stejně jako všechny ostatní asistenční systémy. Využívají sensory, kamery a vše již zmiňované v předešlých stupních. Následkem spojení většího množství sensorů je vzniku redundantních dat a tzv. šumu. To vede k nepotřebným a nadbytečným datům, které vozidlo přijímá. V těchto případech v ADAS systémech dochází k přetížení množstvím informací a je nezbytné aby byli tyto systémy schopné rychle a přesně zpracovat a reagovat na tento šum, aby nedošlo k narušení jejich funkčnosti. Proto jsou sofistikované systémy pro správu dat a prioritizaci v ADAS zásadní pro efektivní zvládnání redundantního šumu. [28]

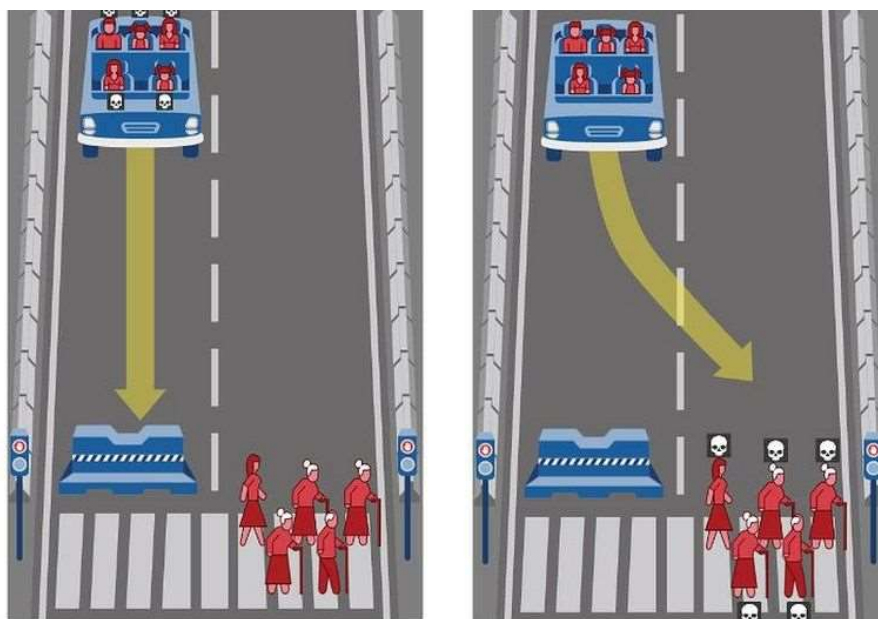
Obrázek 10 ADAS znázornění [84]



3.9 Etický pohled na autonomní vozidla

Jedním z hlavních etických problémů s autonomními vozy je otázka rozhodování v potenciálně životu ohrožujících situacích. Například v situaci, kdy autonomní auto musí vybrat mezi sražením motorkáře a sražením s SUV vedle, jaké rozhodnutí by mělo učinit? To vytváří otázky ohledně toho, jak by měl být vůz naprogramován a kdo má na starosti tyto rozhodnutí. V tomto případě bychom asi zvolili, aby vozidlo narazilo do SUV, jelikož bude větší pravděpodobnost neohrožení lidského života. Ale co když si bude muset vozidlo zvolit mezi sražením motorkáře bez helmy a motorkáře s helmou? Má nabourat do motokáře s helmou, protože je větší pravděpodobnost, že přežije? Nebo srazit motorkáře bez helmy, protože nedodrжуje dopravní předpisy a sám se tak ohrožuje? A co když začne naše vozidlo počítat i naším životem, kupoval by někdo automobil, který obětuje svého řidiče, místo toho aby srazilo motorkáře?

Obrázek 11 Etické dilema [85]



Kromě toho existuje obava z možnosti, že hackeři převzou kontrolu nad autonomními vozidly a způsobí škodu nebo chaos. Další etické otázky zahrnují zodpovědnost v případě nehod s autonomními vozy. Potenciální ztrátu pracovních míst v průmyslech jako je kamionová doprava a taxikářství. Tyto etické problémy jsou složité a budou vyžadovat pečlivé zvážení a regulaci, jakmile se autonomní technologie bude nadále rozvíjet. [29]

3.10 Budoucnost autonomie

Navzdory významným pokrokům v technologii autonomních vozidel je nepravděpodobné, že budou v blízké budoucnosti na veřejných silnicích jezdit autonomní vozidla stupně 5. Vývoj technologie autonomního řízení je složitý a náročný proces, vyžadující významné investice do výzkumu, vývoje a testování. Stále existují mnohé technické, právní, a hlavně etické výzvy, kterým je třeba čelit, než se úplné autonomní řízení pátého stupně stane skutečností. Kromě toho existují obavy ohledně bezpečnosti a zabezpečení autonomních vozidel a také otázky týkající se veřejného přijetí a důvěry. Zatímco úroveň 5 autonomie se v budoucnu může stát skutečností, pravděpodobně to bude mnoho let, možná nikdy, než ji nalezneme na veřejných silnicích.[27]

4 Vlastní práce

V této části práce se provádí analýza a na jejím základě následná komparace dvou odlišných autonomních systémů.

Waymo Driver je autonomní systém SAE levelu 4, je schopný plnohodnotného řízení vozidla a funguje jako robo-taxi, kdy při jízdě za volantem nesedí reálný člověk. Tento systém vlastní společnost Waymo a využívá ho ve své službě Waymo ONE, která nabízí jízdy zákazníkům v oblastech Phoenixu, San Francisca a Los Angeles. V případě nehody za vozidlo nese plnou odpovědnost společnost Waymo. Waymo Driver využívá pro získávání informací z okolního světa širokou škálu technologií, z nichž hlavními jsou sensory Lidaru, Radaru a kamer.

Tesla FSD je autonomní systém společnosti Tesla, který je plně závislý na kamerových senzorech, což představuje ojedinělý směr vývoje autonomního systému. Tesla uvádí, že tento systém směřuje za dosažením plné autonomie, avšak v současné době se nachází pouze na SAE levelu 2, který stále od řidiče vyžaduje, aby i při používání tohoto systému stále věnoval plnou pozornost řízení. V případech nehod nese právě řidič plnou odpovědnost za řízení vozidla, nikoliv autonomní systém řízení Tesla FSD.

4.1 Analýza Waymo Driver systému

Tato SWOT analýza zkoumá Silné a Slabé stránky, Příležitosti a Hrozby autonomního řídicího systému úrovně SAE level 4 Waymo Driver. Dále poskytuje přehled o současném stavu této technologie, pozici na trhu a budoucí možné vyhlídky.

Společnost Waymo poskytuje veřejnosti širokou škálu jejich studií a zakládají si na sdílení jejich poznatků a pokroků a díky tomu je možnost nahlédnout hluboko do jednotlivých principů, mechanismů a praktik již Waymo provozuje.

4.1.1 Swot analýza Waymo tabulka

Zde je zobrazena SWOT tabulka zkoumající autonomní vozidlo společnosti Waymo pro lepší přehlednost.

Tabulka 1 SWOT analýza Waymo Driver

Silné stránky	Slabé stránky
<ul style="list-style-type: none">• Technologický náskok a inovace• Rozsáhlé testování a sběr dat• Důraz na bezpečnost• Pokročilé AI a ML aplikace• Přínos pro bezpečnější dopravu	<ul style="list-style-type: none">• Složitost městského řízení• Závislost na HD mapách• Vysoké náklady na technologie• Omezené prostředí provozu• Potřeba udržování vozidel
Příležitosti	Hrozby
<ul style="list-style-type: none">• Expanze do nových trhů• Spolupráce a partnerství• Využití pokroků v AI a ML• Reakce na globální trendy• Rozvoj v nových aplikacích	<ul style="list-style-type: none">• Právní a regulační překážky• Konkurence• Technologické výzvy• Přijetí veřejnosti• Odpovědnost a pojištění

Zdroj: vlastní zpracování

4.1.2 Silné stránky

Technologický náskok a inovace v Lidar detekci

Implementace LidarAugmentu pro 3D detekci objektů v Point Cloudech ukazuje převahu společnosti Waymo v její technologii. Jedná se o metodickou inovaci, která umožnila Waymu dosáhnout nejnovějších výsledků na Waymo Open Datasetsu, kde ho Waymo experimentálně ověřilo. LidarAugment metoda dosáhla nových rekordních výsledků, zlepšila výkon jak konvulčních, tak transformerových modelů a umožnila tak lepší škálování

modelů 3D detektorů. Využitím zjednodušeného přístupu na vyhledávací bázi pro 3D data augmentaci Waymo efektivně snížilo komplexitu potřebnou pro trénink a optimalizaci modelů. To demonstruje schopnost společnosti Waymo posouvat hranice kupředu v technologii autonomního řízení. [30]

Rozsáhlé testování a sběr dat

Waymo využívá k rozsáhlému testování a sběru dat pro autonomní řízení v centrech velkoměst hierarchický model založený na model-based generative adversarial imitation learning (MGAIL).

Toto testování probíhá na velkém shromážděném datasetu, který obsahuje 10 milionů expertních trajektorií pocházejících z flotily Waymo autonomních vozidel, což představuje více než 100 000 mil ujetých přímo ve městě San Francisco reálnými vozy. Ty jsou rozděleny do setů 80% trénování, 10% validace, 10% testy. Každá množina setů obsahuje nesouvislé jízdy, tudíž trajektorie z jednoho vozidla nebudou v množině s tratorii z vozidla druhého. Zmíněné trajektorie zahrnují stav vlastního vozidla (např. pozici) a exteroceptivní stav z robotického percepčního systému (např. ohraničující boxy jiných účastníků, stav semaforů), sladěné s rámcem vysoko definiční mapy.

Na testování obtížných situací využívá Waymo klasifikátor strojového učení, ten hodnotí segmenty řízení dle potenciálu pro kolize nebo těsné situace. Pomáhá identifikovat a prioritizovat náročné scénáře pro hlubší pochopení selhání v kritických situacích. Tyto procesy napomáhají vývoji a zlepšování politik autonomního řízení pro bezpečnou navigaci a provoz v městských prostředích. [31]

Důraz na bezpečnost

Waymo autonomní taxi vozidla dosáhla koncem minulého roku milníku 7,1 milionu ujetých mil zcela bez řidiče za volantem, a to pouze v centrech Amerických velkoměst, 5,34 milionu mil ve Phoenixu, 1,76 milionu mil v San Franciscu a 0,0467 milionu (46 tisíc) mil v Los Angeles. Data z prosince roku 2023 ukazují snížení nehod se zranění o 85 % v komparaci s lidským benchmarkem, to znamená 6,8krát menší míru nehod se zraněním. Nehod hlášených policejním složkám bylo k 57 % méně, 2,3krát menší míra oznámených nehod policii než u lidského benchmarku. Tyto komplexní porovnání poukazují na významný bezpečnostní výkon autonomních taxi služeb společnosti Waymo. [32]

4.1.3 Slabiny

Složitost městského řízení

S mnoha nečekanými aktéry, kteří mohou autonomnímu vozidlu překřížit cestu, se musí autonomní vozidlo Waymo eventuelně setkat a situaci s nimi bezpečně vyřešit. Pro bezpečnost autonomního řízení je zásadní s těmito aktéry neboli vzácnými objekty počítat a naučit na ně autonomní modely správně reagovat. Avšak zde čelí Waymo výkonnostním nedostatkům, kdy se vzácné neočekávané překážky často neobjevují ve výcvikových datech jejich autonomních modelů. Anotace dat potřebná pro 3D detekci, je nákladná a časově náročná, což omezuje schopnost rychle rozšiřovat tréninkové datasey. Ve vztahu k vzácně vyskytujícím se objektům je zapotřebí specifických znalostí a času, čímž se zvyšuje cena a komplikuje se jejich nacházení.

Dalším nedostatkem týkající se této problematiky je omezené množství dat pro vzácné objekty, kde se ukazuje, že ani 7,1 milionu městských ujetých mil nestačí na dostatečné pokrytí extrémních situací do kterých by se Waymo taxi vozidlo mohlo dostat. [33]

Nová prostředí

Z důvodu silné závislosti autonomních vozidel Waymo na vysoko definičních HD mapách pro modelování okolí, plánování tras, značení jízdních pruhů, dopravních značek a podobných statických prvků, je obtížné aplikovat Waymo vozidla v nových lokalitách. Nové lokality potřebují nové datasey, ty obsahují informace z různorodých městských a příměstských geografí, které se liší město od města. To znamená, že rozdíly mezi těmito geografiami vedou k výrazné diferenci domén, což představuje výzvu pro algoritmy autonomního řízení při adaptaci na nové podmínky v nových lokalitách.

Dalším faktorem jsou odlišné podmínky počasí a osvětlení, ty mohou velmi ovlivnit výkon systému pro vnímání. Zvláště rozdíly mezi dnem a nocí vyžadují robustní detekční a sledovací algoritmy schopné práce v širokém spektru vizuálních podmínek.

Také je potřeba zmínit prostředí ve kterých se Waymo zatím nenachází. Ačkoliv již začátkem roku 2024 začala firma Waymo testovat jízdu i na dálnicích, reálný taxi autonomní vůz na dálnici stále nemůže, tím pádem mohou některé cesty zákazníkům Waymo ve

Phoenixu, kde se také aktuálně autonomní model na dálnicích testuje, zabrat déle než dvojnásobek doby. [34] [35]

Autonomní vozidla Waymo v dnešní době nejsou schopna čelit vysoce nekvalitním podmínkám silnic, například v České Republice by na rozbité okresní silnici bez jakýchkoliv vodorovných dopravních značení jenom těžko vozidla rozpoznávala kde je silnice. Dalšími nevhodnými prostředími jsou oblasti s omezeným GPS signálem, oblasti nedostatečně zmapované nebo například složité dopravní situace v oblastech třetího světa, kde lidé nedodrží pravidla silničního provozu, tak jak je známe.

Vysoké náklady na provoz a rozvoj technologií

Integrace LiDARu společně s dalšími sensorickými technologiemi, jako jsou kamery a radarové senzory s milimetrovými vlnami (MMW), významně zvyšuje náklady na autonomní vozidla. To je způsobeno tím, že tyto sensorické technologie, když jsou přidány na straně vozidla, vedou k vyšším jednotkovým nákladům na kilometr, ačkoliv zvyšují schopnost autonomního systému předcházení nehodám.

Nejde však pouze o vyvíjení nových technologií, aby Waymo mohlo provozovat svou flotilu taxíků na levelu 4 SAE. Ostatní náklady zahrnují opravy, udržování, čištění těchto vozidel a též všech jejich sensorů na nich. Obzvláště udržování čistoty sensorů je stěžejní pro zachování vozidel plně funkčních, dále je potřeba vynaložit čas, prostory, vybavení a pracovní sílu na pravidelné nabíjení vozidel. Podobně pokud si pasažér Waymo taxi něco ve vozidle zapomene, nebo se dopustí znečištění vozidla, firma musí tyto situace detekovat a vyřešit, než bude moci pokračovat v jízdě pro dalšího zákazníka. Zkrátka nahrazení řidiče za volantem Autonomním systémem se nevypořádá s ostatními funkcemi, které musí dnešní běžný lidský řidič řešit. [36]

4.1.4 Příležitosti

Expandování do nových trhů

Waymo začalo nabízet své SAE level 4 autonomní taxi služby široké veřejnosti pod jménem Waymo One ve Phoenixu v prosinci roku 2018, od tohoto milníku se jejich služby rozšířili po celé Americe do San Francisca, Los Angeles a Austinu. Díky velkému důrazu na bezpečí nejen okupantů autonomního vozidla, ale i na všechny ostatní účastníky provozu se nabízí

otázka o expanzi společnosti Waymo a jejich služeb do Evropy. Evropská Unie se svým 2050 Vision Zero prohlášením oznámila své plány na bezpečnější silniční provoz, který by eventuelně vedl ke snížení fatálních nehod na silnicích na nulu do roku 2050. Vzhledem na omezení potřeby Autonomního systému na HD mapy, kvalitní silnice a dopravní značení, by Evropská velkoměsta byla pro Waymo One službu ideální cestou pro rozšíření jejího image a získání tak více zájemců pro její služby. Další atraktivní vlastností Evropy je silná presence Automobilového průmyslu.

Zajímavou možnost expanze nabízí též Kanada, specificky Ontario by z právního hlediska bylo správnou volbou, a to právě i pro Autonomní systému SAE level 4. Rozmanité klimatické podmínky Kanady představují unikátní příležitost pro Waymo testovat jejich vozidla v různých podmínkách a zároveň přitom necestovat přes půl světa. [37]

Švédsko a Finsko mají též zájem o inovativní řešení v dopravě a testovaly autonomní vozidla. Jejich závazek k bezpečnosti, environmentální udržitelnosti a technologické inovaci je v souladu s cíli společnosti Waymo. Mezi další země odhodlané integrovat smart technologie, jako je autonomní řízení vozidel, do svých městských krajín jsou Singapur, Jižní Korea, Japonsko, a i Spojené arabské emiráty. [38] [39]

Spolupráce a partnerství

Aktuálně navázalo Waymo partnerství s mnohými nejrůznějšími organizacemi, zaměřujících se na bezpečnost, přístupnost, rozvoj komunit i zdraví. Její budoucí spolupráce by se mohli rozšířit právě v těchto oblastech, cílících na skupiny, které budou z autonomní budoucnosti nejvíce prospívat nebo jí budou mocí přispět k vývoji.

Kolaborace s výrobcí automobilů, pravděpodobně převážně zaměřená na luxusní značky, by mohla zásadně pomoci technologii Waymo rozšířit její klientelu. Právě u luxusních značek lze očekávat zájem zákazníků o nejnovější technologie a sensory, jako například Lidar, Radar a kamery fungující v harmonii, jak Waymo předvádí.

Jistý zájem a spolupráci by se také nabízel s technologickými firmami nebo například vládními agenturami, spolupráce právě s nimi by vedla k jistému usnadnění integrace autonomního řízení do spotřebitelských vozidel, či systémů veřejné dopravy. [40]

Významné pokroky ve strojovém učení a AI

Strojové učení a umělá inteligence jsou základem pro každý autonomní systém. Pro automatizaci vytváření návrhů využívá Waymo existující AutoML architektury se spoluprací s Google AI. Tato spolupráce umožnila zkoumání tisíce architektur neuronových sítí a k nalezení těch, které vyvažují kvalitní výkon s nízkou latencí, to je velmi důležité pro rozhodování autonomních systémů v reálném čase. Neurální sítě generované tímto způsobem jsou schopné rozpoznat objekty na silnici až o 30 % rychleji s o 8% vyšší přesností. [41] [42]

Umělá inteligence hraje v operacích společnosti Waymo nedílnou součást, při nichž spoléhá na techniky Deep ML (hlubokého strojového učení) ve spolupráci s týmem Google Brain, dnes pod jménem Google DeepMind. Tyto techniky jsou aplikovány napříč různými systémy ve vozidle, včetně vnímání, predikování, plánování a simulace. Waymo také využívá ekosystém TensorFlow a TPUs od Google pro trénování svých neuronových sítí, čímž zvyšuje jejich efektivitu až patnáctkrát. Tento postup tréninku a testování umožňuje Waymo rychle nasadit nejnovější modely do svých autonomních vozidel. [43]

Inovace v integraci AI a LIDAR technologií umožňují jejich vozidlům bezpečnou navigaci ve složitých městských prostředích. Díky nim je přesné 3D mapování v reálném čase rychlejší a tím pádem i bezpečnější a také spolehlivější. Takovéto pokroky kladně zlepšují vnímání veřejnosti a důvěru ve společnost Waymo a napomáhají k budoucím komerčním nasazením a partnerstvím.

Průkopnické úsilí a potencial budoucího vývoje, který Waymo se svým SAE level 4 autonomním systémem a spoluprací s Googlem představuje, v oblastech AI a strojového učení slibuje bezpečnější a efektivnější řešení dopravy. [44]

4.1.5 Hrozby

Právní předpisy

Ve světě existuje mnoho zemí a států, které se odlišují ve svých právních systémech a předpisech, mnohé odlišnosti lze nalézt i v jejich odlišných postojích vůči autonomním vozidlům operujících na vysoké úrovni autonomie SAE level 4. [45]

Ve Spojených státech Amerických musí provozovatelé autonomních vozidel dbát na jak státní, tak federální směrnice. Tato kombinace tvoří složité prostředí pro implementaci a operování těchto vozidel. Federální politika poskytuje rámec fungování pro autonomní vozidla, který však není dostatečně striktní, což vede k nejistotě v oblastech například odpovědnosti, bezpečnostních standardů či ochraně dat. Právní obtíže zde vyžadují sladění státních a federálních předpisů a řešení v oblasti kybernetické bezpečnosti se s sdílením dat o vozidlech. [45]

Přístup Velké Británie je k autonomním vozidlům velmi proaktivní se svým zaměřením na přizpůsobování dosavadních zákonů pro akomodaci zmiňovaných technologií. Kupříkladu zavedla zákon The Automated and Electric Vehicles Act 2018 (AEVA 2018), ten pojednává o odpovědnosti a pojištění autonomních vozidel. Hlavní hrozbou je zde nedostatek ve formě definování jasných standardů pro bezpečnost jako takovou, a i bezpečnost kybernetickou. Komplexita regulací ochrany dat v kontextu autonomních vozidel zde představuje hlavní obtíže. [45]

Po zavedení legislativy týkající se testování a provozování autonomních vozidel pod určitými podmínkami je Německo, jakožto mateřská země pro několik znamenitých automobilek, lídrem v autonomních technologiích a obzvláště pak jejich testování. Předpis pro jejich provoz byl novelizován v Straßenverkehrsgesetz (Zákoně o silničním provozu). Přes tyto pokroky však stále existují výzvy v potřebě přesnějšího vyjasnění otázek odpovědnosti ve smíšených dopravních scénářích, kde figurují vozidla autonomní s vozidly řízenými člověkem. [45]

Ani Čína nezůstává s adaptací svého právního systému ve směru týkající se autonomních vozidel velmi pozadu, v roce 2022 urychlila vývoj standardů pro tyto vozidla a zvýšila důraz na bezpečnost jejich dat. Vydala též dokumenty podporující vývoj a regulaci, zahrnující pokyny pro rozvoj moderních dopravních systémů a V2X komunikaci. Oproti zbytku světa však stále značně zaostává, do budoucího vývoje chybí mezinárodní spolupráce pro ustanovení standardů pro autonomní vozidla celosvětově a dále definování odpovědnosti a pojištění Autonomních vozidel. [45]

Konkurence

Prostor týkající se budoucnosti autonomního řízení je vysoce konkurenční, existuje hned několik společností a až zdá se neomezený počet nových a nových startupů, které se snaží

právě v tomto odvětví prolomit. Představa plně autonomního vozidla (SAE levelu 5) je na hledáčku mnoha z nich, avšak pouze pár je v tomto závodě tak daleko jako firma Waymo a její SAE level 4 taxi. Stále ale představují jistou hrozbu, vzhledem k vlastnosti firem vyvíjejících autonomní vozidla na takto vysoké úrovni zaniknout, například jako projekt Fordu a Volkswagenu jménem Argo AI. [46]

Tesla, známá svými elektrickými vozidly, učinila významné kroky směrem k dosažení plně autonomního řízení. Jejich nejpokročilejší systém je předváděn pod názvem FSD, Full-Self-Driving, v překladu plně autonomní, nabízí různé úrovně asistence při řízení, vyvinul se tak, aby zahrnoval funkce jako například kontrola semaforů a značek STOP, stejně jako navigace městskými ulicemi. Oproti Waymo a vzato všem ostatním firmám vede Tesla agresivní tah proti užívání Lidaru ve svých vozidlech a veškerou důvěru vkládá do kamerových systémů a vysokému objemu nasbíraných dat, kterým disponuje. [47]

Cruise je společností patřící pod Americkou automobilku General Motors, počínajíc rokem 2022 testovala své Robotaxi vozidla napříč Californií a následně Phoenixem a Austinem. Oproti Waymo nabízela větší počet taxi vozidel s menším důrazem na pohodlí a jak se ukázalo v roce 2023 i s menší kvalitou bezpečnosti. Následkem více nehod stát Kalifornie suspendoval práva společnosti Cruise na provozování autonomních taxi vozidel SAE level 4. Cruise hodlá nadále provozovat a plánuje znovuobnovení svých služeb, tentokrát ale v menších městech a s vyšším důrazem na bezpečnost a odpovědnost. Incidentsy z roku 2023 poukazují na nebezpečí pro ostatní firmy provozující autonomní taxi služby a na důležitost bezpečnosti při vývoji, neboť možné nehody mohou vést k až devastujícím následkům i pro firmy, které doposud bezpečnostní aféry neřešili. [48]

Mercedes ve spolupráci s výrobcem grafických karet NVIDIA zahrnul v roce 2022 v Německu do svojí nabídky automobilů první SAE level 3 autonomní systém pod jménem DRIVE PILOT. Dalšího významného průlomu bylo dosaženo získáním povolení ve Spojených státech, též jakožto první v historii. Tento systém, při splnění podmínek pro jeho aktivaci, řidiči automobilu umožňuje plně předat vozidlu kontrolu na řízením a též se zbavit právní odpovědnosti pod dobu jeho užívání, v realitě funguje DRIVE PILOT hlavně jako plně autonomní šofér na dálnicích při menších rychlostech v kolonách. [49]

Přijetí a důvěra veřejnosti

Pro širokou veřejnost jsou moderní technologie španělskou vesnicí, v kombinaci se silnou nedůvěrou lidí ve vše nové a neznámé je jejich převážně negativní postoj vůči bezpečnosti automobilů bez řidičů očekávaný, zejména mezi staršími lidmi, ženami a těmi, kteří nemají předchozí znalosti o autonomních vozidlech. Role vzdělání a osvěty jsou v minimalizaci dopadu negativního vnímání veřejnosti klíčové pro úspěch a adaptování autonomních vozidel do životů běžných lidí. Zlepšením veřejného porozumění všem výhodám a bezpečnostním funkcím autonomních vozidel je v dalších vývoji těchto vozidel nezbytné. Zjištění potvrzují význam cílených komunikačních strategií pro řešení demografických rozdílů ve vnímání a vliv mediálního pokrytí na veřejné mínění. [50]

4.2 Analýza Tesla FSD systému

SWOT analýza autonomního systému úrovně SAE level 2 Tesla FSD komplexně zkoumá jeho Silné a Slabé stránky, Příležitosti a Hrozby, které s tímto systémem souvisí a ovlivňují jej.

4.2.1 SWOT analýza Tesla FSD tabulka

V této tabulce je zobrazen přehled SWOT analýzy autonomního systému Tesla FSD.

Tabulka 2 SWOT analýza Tesla FSD

Silné stránky	Slabé stránky
<ul style="list-style-type: none">• Popularita značky• Velké množství dat• Cena sensorů• Vertikální integrace• Pole působnosti	<ul style="list-style-type: none">• Bezpečnostní obavy• Závislost na kamerách• Soudní spory• Zavádějící reklama• Použití za zhoršených podmínek
Příležitosti	Hrozby
<ul style="list-style-type: none">• Dostupná autonomní vozidla• Vývoj kamerových sensorech• Rozšíření trhu s elektromobily• Technologický pokrok• Expanze působnosti	<ul style="list-style-type: none">• Právní předpisy• Konkurence• Závislost na Elona Muska• Veřejné vnímání bezpečnosti• Technologická omezení

Zdroj: vlastní zpracování

4.2.2 Silné stránky

Popularita značky

Tesla je celosvětově známou automobilkou, která značně zpopularizovala elektrifikaci osobních vozidel, v současné době je známá svým velmi agresivním marketingem v čele s její hlavní tváří Elonem Muskem. Vedoucí postavení společnosti na trhu s elektrickými vozidly, spolu s jejím závazkem k inovacím a udržitelnosti, ji činí jednou z nejvíce diskutovaných a sledovaných značek v automobilovém průmyslu. [51]

Popularita Tesly jako značky je zdůrazněna například její schopností udržení zákazníků ve svém specifickém ekosystému, to dokazují její vysoké míry opakovaných nákupů. V prvním polovině roku 2023 dosáhla Tesla nejvyšší míry opakovaného nákupu jejích elektromobilů v automobilovém průmyslu podle analýzy společnosti S&P Global Mobility. K tomu napomáhá v Americe ojedinělý přístup k prodeji vozidel prostřednictvím přímé interakci se spotřebitelem a nezapojování se do tradičního prodeje skrze dealerství. Toto přispívá k odlišné identitě značky a loajalitě zákazníků, podobně jako minimalistický design a nekonvenční přístup k designovým inovacím. [52]

Objem dat

Flotila testovacích vozidel Tesly FSD je příkladem agresivního sběru dat společnosti. Kamerové systémy vozidel Tesly shromažďují velké objemy dat pro trénink neuronových sítí, které pohánějí autopilota a systémy FSD. V roce 2023 urazila flotila přes 500 milionů mil a z každé z nich nasbírala mnoho užitečných dat. [53]

Sběr dat zahrnuje analýzu zásahů řidiče do řízení během režimu autopilota pro zlepšení kvality systému. Při aktualizaci softwaru jsou v Tesle využívány OTA (over the air) updaty, to ušetří mnoho času i peněz, jelikož nemusí vozidlo pro aktualizace do servisu za profesionálním technikem. [54]

Klíčovým postupem pro trénink FSD systémů je pracovní postup pro strojové učení Data Engine, tyto postupy využívají scénáře skutečného řízení k provozování algoritmů strojového učení, které jsou následně použity k trénování neuronových sítí pro autonomní systém. V praxi je využíván tzv. stínový režim, vedle jednoho FSD aktivního řídicího systému běží souběžně druhý, který se chová přesně jako systém aktivně řídicí a při zasažení

reálného řidiče do FSD řídicího systému, uloží druhý stínový systém informaci o nesprávnosti do paměti. Retroaktivně jsou následně takto získaná data ukládána. Následně jsou tyto data verifikována a pokud jsou uznána za legitimní, prověřuje Tesla zda existuje více těchto podobných nesprávností a tyto příklady jsou poté člověkem popsány a použity na trénování neurální sítě Autonomního systému. Zmiňované postupy demonstrují sofistikovaný přístup k ohromnému množství dat Tesly, které umísťuje Teslu na čelní pozice cesty k plné autonomii. [55] [56]

Vertikální integrace

Důležitá výhoda vertikální integrace byla u Tesly prokázána, zejména během období globálního nedostatku čipů a pandemie Covid-19. Tato strategie umožnila kontrolu nad majoritní částí výrobního procesu, od výroby jednotlivých komponent až po vyvíjení a vylepšování vlastního softwaru, čímž se odlišila od tradičních automobilových výrobců, kteří též nabízejí asistenční systémy SAE levelu 2, ti byli nuceni kvůli závislosti na dodavatelích výrobu a vývoj jejich automobilů v těchto obdobích snížit a adaptovat na nedostatek čipů. Tento přístup k výrobě vlastních součástí se ukázal jako neocenitelný a zajišťující možnost rychlejší adaptace na změny a vývoj trhu. [57]

Cena sensorů

Technologický přístup Tesly na řešení jejich autonomních FSD systémů výrazně zdůrazňuje její postoj na použití pouze kamerových systémů, v tomto postoji jde Tesla výhradně proti konkurenčním společnostem, jako jsou Waymo, Mercedes, Cruise, Audi a General Motors. Tyto společnosti staví jejich autonomní systémových přístupech typu ADAS, tedy spoléhání se na kombinaci vícero vstupních sensorů, včetně lidarů a radarů. Rozhodnutí tohoto přístupu Tesly je zakořeněno v přesvědčení, že kamery mohou sloužit k dostatečně efektivnímu trénování autonomních systémů shromažďováním ohromným množstvím dat. Právě využitím těchto dat, které byly Teslou získány z více jak milionu jejich vozidel na silnicích, se snaží Tesla vyvíjet svou technologii autonomního řízení s použitím sensorů za výrazně menší náklady. [58]

Přechod na systém založený pouze na kamerách byl zahájen s odstraněním radarových a sonarových sensorů z vozidel Tesla Model 3 a Model Y, které se nyní spoléhají plně na soubor osmi externích a jedné interní kamery. Tento krok odráží důvěru Tesly v potenciál

pouze kamerových systémů v autonomním řízení a jejich potencionální schopnosti dosažení vysokých úrovní bezpečnosti a spolehlivosti bez potřeby integrování dražších sensorů do jejich FSD modelu. [59]

4.2.3 Slabiny

Bezpečnost

Autonomní systém SAE levelu 2 od společnosti Tesla byl předmětem zkoumání kvůli bezpečnostním obavám, za jeho hlavní problém je jeho závislost čistě na technologii kamer. Ten je dle zkoumání často ovlivněn nepříznivými environmentálními podmínkami, jako je tma, přímé oslnění kamer sluncem, silný déšť, sníh a mlha. Přístup společnosti Tesla k plnému přechodu k využívání pouze kamerových sensorů byl bodem sporu. [60]

Dle studie Ch. Bartnecka se Tesla dopouští zavádějícího značení a propagaci. Použití termínů ‚Autopilot‘ a v jejich nejnovějším systému ‚Full Self-Driving‘ společností Tesla bylo kritizováno a stalo se předmětem pro právní zkoumání za potencionálně zavádějící. Tyto značení působí dojmem, že je vozidlo schopné vyšších SAE levelů autonomie, než ve skutečnosti je. Jelikož i funkce nejnovějšího systému FSD stále spadají do SAE levelu 2, tudíž pro jejich operaci vyžadují z hlediska právního aktivní dohled řidiče nad vozidlem po celou dobu operování vozidla, což může u řidičů Tesly vést k nadhodnocení schopností systému a následným bezpečnostním rizikům nejen pro ně, ale i pro všechny ostatní účastníky silničního provozu. [61]

Závislost na kamerách

Vývoj posledních let znamenal pro Teslu velmi agresivní vizi, v čele s Elonem Muskem, na odebrání Radarů z jejich vozidel a plnou závislost na kamerových systémech. Tesla neuvádí přesné informace o nehodách jejich vozidel, což mimo jiné vedlo k jejich zkoumání. Dle článku Washington Post od F. Siddiqui J. Merrilla vedlo odebrání radarových sensorů k nárůstu hlášených incidentů. Z hlediska fyzikálního principu fungování je radar nezbytným senzorem pro Autonomní vozidla hlavně za zhoršených podmínek viditelnosti, kde i dnešní kamerové systémy čelí problémům. Ačkoli Tesla tvrdí, že jejich technologie je bezpečnější než řízení člověkem, zaznamenané incidenty zdůrazňují výzvy a potenciální

rizika spojená s velkou závislostí na kamerách bez jistícího faktoru, který poskytují radarové sensory. [62]

4.2.4 Příležitosti

Dostupné autonomní vozidlo

Data o prodejkách z roku 2023 hovoří o jasném trendu zvýšení popularity elektrických vozidel, nejprodávanějším celosvětovým vozidlem světa se stala v roce 2023 Tesla model Y s 1,23 miliony prodaných kusů. Porazila tak Toyotu RAV4 s 1,07 miliony a Toyotu Corollu s 1,01 miliony. Z dat prodejů roku 2023 lze implikovat nemalou popularitu SUV a elektrických vozidel. Dalším nejvíce prodejným kusem Tesly se stal její nejlevnější model 3 s 0,6 miliony kusy. [63] [64]

Jak model 3 a model Y disponují pouze kamerovými autonomními systémy SAE levelu 2. Již před několika lety bylo Elonem Muskem oznámeno, že Tesla plánuje dostupné elektrické vozidlo. Z tohoto vyplývá jasná příležitost Tesly vyvinout malé levné SUV, jakožto kombinaci vozidel modelu Y a modelu 3, které by též plnilo jejich vizi autonomního řízení závislého na kamerách a tím umožnila přívětivé ceny pro potencionální kupce. K rekapitulaci jsou snahy Tesly o výrobu cenově dostupnějšího elektrického vozidla považovány za podstatný krok ke zvýšení přijetí elektrických vozidel, rozšíření tržního dosahu Tesly a tím pádem i jejich autonomních systémů. [65]

Inovace v kamerových technologiích

Tesla učinila pokrok v jejím vývoji založeném na vizuálních kamerových technologiích, minulý rok byl Teslou představen jejich ‚Vision Park Assist‘. Tento nový prvek představuje návrat měření krátké vzdálenosti pro vozidla bez ultrazvukových sensorů, které byly při přechodu na kamerové systémy odstraněny. Ačkoliv bylo očekáváno, že vizuálně založený přístup nebude alespoň v počátcích tak přesný jako použití ultrazvukových sensorů, nabízí jedno čistě softwarové vylepšení oproti řešení založenému na hardwaru. Systém Park Assist založený na vizuální technologii nejen měří vzdálenosti k objektům před a za vozidlem, ale také detekuje objekty po stranách, kde na mnohých konkurenčních vozidlech disponujících ultrazvukovými sensory nejsou, což poskytuje 360° pokrytí kolem vozidla. [66]

Další inovací bylo v minulém roce rozšíření a zdokonalení schopností autonomního řízení prostřednictvím funkcí ‚Actually Smart Summon‘ (ASS) a ‚Tap to Park‘. Funkce ASS je navržena k vylepšení navigace vozidla na parkovištích ke svému majiteli za pomoci GPS souřadnic, což má sloužit k napodobení osobní parkovací služby. Dále ‚Tap to Park‘ bylo navrženo k identifikaci vhodných parkovacích míst, což umožňuje řidiči vystoupit z vozidla a nechat ho autonomně zaparkovat, aby řidič například neměl problém s místem na vyládku. Tyto inovace poukazují na potenciál kamerových systémů, a i na jejich vlastnost ‚napodobit‘ odlišné senzory, viz napodobení ultrazvukových sensorů s 360° pokrytím. [67]

4.2.5 Hrozby

Konkurence

Rostoucí konkurence jak v oblasti elektromobilů, tak ve vývoji autonomního řízení Tesle čelí na domácím trhu ve Spojených státech, kde operují SAE level 4 taxi služby firem Waymo a Cruise, nově také Mercedes s příchodem SAE level 3 jeho autonomního systému Drive Pilot. [68]

V Číně, důležitém trhu pro Teslu, se společnost setkala s vlnou místních konkurentů, ti na tamním trhu přímo konkurují Tesle jak v technologii, tak v ceně. Tito konkurenti těží z místní výroby, porozumění preferencím spotřebitelů a možně i z příznivé podpory regulátorů, což z nich činí značné rivaly. Mezi lídra elektrických vozidel v Číně se považuje firma BYD. [69]

Dále čelí konkurenci v Evropě, tradiční výrobci se zde adaptují na aktuální trend elektrických automobilů a zároveň též vyvíjejí vlastní autonomní systémy. Evropské automobilky jsou jako Tesla známí svou kvalitou, ačkoliv právě u Evropských automobilek je jejich pověst výrobní kvality kladná, naopak Tesla nikoliv. Volbu Evropského spotřebitele dále také ovlivňuje věrnost tamním značkám, z toho lze usuzovat, že s představením elektrických verzí dosavadních modelů, či zcela nových, konkurence na Evropském velice prestižním trhu Tesle značně zhoustne a tím pádem i klesne zájem o její autonomní systém. [70]

Právní předpisy

FSD systém Tesly je schopen zvládnutí široké škály řídičských dovedností, ale při jeho fungování vyžaduje pozornost řidiče nad jeho počínáním, tento fakt omezuje schopnosti autonomního systému Tesly FSD na SAE level 2, jelikož i když řídí vozidlo FSD, lidský řidič musí být připraven zasáhnout a nese v případě nehody plnou odpovědnost. Jako významná překážka k autonomii SAE levelu 3, kde za specifických podmínek nemusí řidič sledovat řízení a nese za vozidlo za těchto podmínek odpovědnost, je označena aktuální vize Elona Muska začlenit do vozidel Tesly více sensorů, které by pomohli s validací dat z kamer a vedli by k vyšší bezpečnosti, a tudíž i k možnosti Tesly učinit krok vpřed k vyšším stupňům autonomie. Hlavním diferencujícím faktorem je zde právní odpovědnost za řízení vozidla při nehodě. [71]

Tesla je zapojena do mnoha nejrůznějších soudních sporů a má s nimi i víceletou historii. Již zmiňovaný soudní spor ve Spojených státech se zavádějícími informacemi o jejich autonomním systému tak není jediným. Mezi další probíhající soudní spory spadají nehody zahrnující Autopilota, které způsobili vážná zranění policistům ve službě, problémy s náhodným neúmyslným bržděním a několik smrtelných nehod. Kupříkladu v Německu byl soudní spor týkající se falešných zavádějících informací vyřešen již v roce 2020, soud rozhodl pro zákaz termínu ‚Autopilot‘ pro pojmenování jejich autonomního systému úrovně SAE level 2, a z toho důvodu se v Německu tento systém nazývá ‚Autodrive‘. [72] [73]

Závislost na Elonu Muska

Majorita reputace firmy Tesla je postavena na jejím světoznámém extravagantním výkonném řediteli Elonu Muskovi, jehož často impulzivní reakce a chování ovlivňují tuto značku. Jeho rozhodnutí o vývoje autonomního systému závislého pouze na kamerách, mělo po svém okamžitém zavedení praktické důsledky pro první uživatele, u vozidel opatřených pouze kamerovými sensory hlásili zákazníci nárůst bezdůvodného a prudkého brždění vozidla a nespolehlivá měření sensorů při parkování. Ačkoliv Tesla představuje tento krok jako inovativní, pomalá adaptace a nepatrný vývoj ho naznačuje v tomto světle jako krok obchodní. [74]

4.3 Výsledná komparace Waymo Driver a Tesla FSD systémů

Na základě provedených SWOT analýz dvou autonomních vozidel byli dle výzkumu vybrány objektivní komparační faktory a jim následně přiřazena váha, podle důležitosti jednotlivých faktorů na škále 1 až 5. Tyto faktory jsou sepsány v prvním sloupečku tabulky nazvaném Faktory. Ve sloupečcích pojmenovaných Tesla a Waymo se nachází bodové ohodnocení založené na SWOT analýze každého z autonomního systému, a to na škále 1 až 9.

Faktor Bezpečnost odráží pohled na celkovou bezpečnost autonomního systému. Byla mu přiřazena nejvyšší možná váha 5 z důvodu klíčové role bezpečnosti z hlediska vývoje autonomních systémů, jak je vidět v definici plně autonomního vozidla. Aby se člověk plně vzdal své funkce řízení vozidla, musí být autonomní systém bezpečný.

Vývoj technologií představuje množství a důležitost pokroků, kterých každá z firem v posledních letech dosáhla a jejich oznámené plány na testování a vývoj v nejbližší době. Byla mu přiřazena váha 5 ze závažné podstaty dosažení cíle dokonalé autonomie. Jelikož stále nebyla autonomie SAE levelu 5 ani zdaleka dosažena, je důležité, aby se autonomní systémy vyvíjeli a přinášely nové pokroky, bez kterých tohoto cíle nikdy nelze dosáhnout, jak bylo zjištěno výzkumem.

Náklady na pořízení hodnotí celkovou cenu za vytvoření každého ze systémů. Byla jim přiřazena váha 2, z důvodu neustálého vývoje v ceně sensorů potřebných pro autonomní vozidla. Dále také s příkladem Tesly a její popularitou bylo analýzou potvrzeno, že náklady na pořízení jednoho z těchto systémů s větším objemem výroby klesají.

Množství kompatibilních cest se zabývá množstvím jednotlivých silnic, na kterých tyto autonomní systémy plně fungují. Tomuto faktoru byla přiřazena váha 4, v závislosti na rozhodující vlastnosti autonomních systému k fungování na co největším množství cest. Ale zároveň k adaptaci schopností dnešních automobilů v situacích na silnicích, jako například kritické povodně, nebo neprůjezdné pokrytí vozovky sněhovou lavinou. Situacích kde by i dokonalý řidič nemohl pokračovat v jízdě.

Objem zpracovaných dat dostal váhu 2, představuje závažnost souvislosti s funkčností autonomního systému a objemem nasbíraných dat použitých pro jeho učení. Nízká váha odráží zkoumaný případ Tesly, která se svými miliony prodaných vozů nasbíral značně vyšší

množství dat než Waymo, ale i přes to nedokázala dosáhnout vyššího stupně autonomie než SAE level 2.

Zákony zahrnují získaná povolení od zemí a států, dále i odráží zákony z pohledu jejich dodržování. Zde byla přiřazena váha 3 na základě analýzy legislativních pokroků obou systémů. Kde Waymo i Tesla poukazují na nutný vývoj legislativ pro možné použití jejich autonomních systémů a Tesla odráží jistou možnost fungování jejich systémů i přes sporné přístupy k dodržování zákonů.

Součinem váhy a bodového ohodnocení dle faktorů jsou získány bodové výsledky každého faktoru, které lze vidět ve sloupečcích součinů. Následným součtem byli získány výsledky celkového porovnání systému Tesla FSD a Waymo Driver.

Tabulka 3 Komparace Tesla FSD a Waymo Driver

Faktory	Váha	Tesla	Waymo	Součin Tesla	Součin Waymo
Bezpečnost	5	4	8	20	40
Vývoj technologií	5	4	8	20	40
Náklady na pořízení	2	9	4	18	8
Množství kompatibilních cest	4	6	3	24	12
Objem zpracovaných dat	2	8	5	16	10
Zákony	3	4	8	12	24
Celkem: získaných bodů:	Tesla:	110			
	Waymo:	134			

Zdroj: vlastní zpracování v programu Excel

5 Výsledky a diskuse

Z hlediska pohledu na porovnání dvou autonomních systémů, a to Tesly FSD a Waymo Driver, cílených na nalezení nejlepšího předpokládaného směru vývoje autonomního řízení do budoucna, bylo vytvořeno objektivní hodnocení každého ze systémů. To bylo založeno na předešlé SWOT analýze obou z nich.

Ve faktorech Bezpečnosti byl dle analýz Tesla FSD ohodnocen lehce podprůměrnými 4, z důvodu jeho bezpečnostních slabín pramenících v závislosti pouze na kamerové sensory a problémem s redundancí získaných dat. Naopak Waymo Driver byl ohodnocen 8, což odráží jeho důraz na bezpečnost a využívání sensorů Lidaru, Radaru i kamer.

Ve Vývoji technologií byl Tesla FSD ohodnocen 4 body, jelikož byl přestupem na pouze kamerové systémy vývoj značně ovlivněn a jeho nejnovější inovací bylo vrácení předešlých schopností jeho autonomního systému, jako například funkce parkovacích sensorů závislých na kamerách, kterou dříve zajišťovali ultrazvukové sensory. Waymo Driver zde byl ohodnocen vysokými 8 body, z důvodu analýzy jeho značných pokroků ve vývoji, jako expanze do nového města (Los Angeles) a v blízké budoucnosti i dálnic.

V Nákladech na pořízení získal Tesla FSD nejvyšší možné ohodnocení 9, z důvodu jeho přesunu na používání pouze kamerových systémů, které jsou dle analýz nejlevnějším možným přístupem k autonomnímu řízení. Waymo Driver zde naopak získal pouze 4 body, kvůli jeho závislosti na dražší sensory, hlavně Lidaru, u kterého však cena v uplynulých letech klesá.

Množství kompatibilních cest ohodnoceno ve prospěch Tesla FSD, kde Tesla FSD obdržela ohodnocení 6 bodů a Waymo Driver 3 body. Tesla FSD nabízí značně vyšší pokrytí světových cest, avšak funguje převážně na dálnicích a ve městech jenom zřídka. Zatímco Waymo Driver precizně zvládá Městské prostředí a na dálnicích zatím v současné době pouze testuje.

Objem zpracovaných dat byl ohodnocen též ve prospěch Tesla FSD, kvůli podstatně vyššímu nájezdu ujetých mil, avšak hlavně na rychlostních silnicích či dálnicích. Zatímco Waymo má majoritu svých ujetých mil a tím pádem nasbíraných dat právě z center měst. Tesla FSD zde bylo ohodnoceno 8 body a Waymo Driver 5 body.

Z hlediska Zákona bylo Waymo ohodnoceno 8 body a Tesla 4 body. Kde obě automobilky mají zákonné povolení na svůj provozovaný SAE level autonomního řízení, avšak Tesla FSD pouze SAE level 2 a Waymo Driver SAE Level 4. Zároveň má Tesla FSD na svém kontě již nemálo soudních sporů týkající se zavádějící reklamy, což ohrožuje veřejné vnímání tohoto autonomního systému.

Výsledek porovnání ukazuje na autonomní systém Waymo Driver jako lepší volbu pro snahy o dosažení dokonalé autonomie na SAE levelu 5. Ačkoliv systém Tesla získal vyšší ohodnocení v nákladech na pořízení, množstvím kompatibilních cest a objemu zpracovaných dat, systém Waymo Driver odráží v porovnání značný náskok v nejdůležitějších faktorech, a to bezpečnosti, pokroku ve vývoji technologií a legislativě, svým získaným hodnocením.

Je nutné zmínit, že bylo toto porovnání provedeno na základě informací datujícím se k březnu roku 2024 a starším. Můžeme dle něj vidět, že pokud by společnost Tesla v budoucnu dosáhla převratných inovací kamerových systémů a dosáhla tak svých vizí pokročilejšího autonomního řízení, toto současné porovnání by dosáhlo odlišných výsledků.

U všech faktorů porovnání je klíčové pohlížet na ně z hlediska zmíněného cíle, a to nalezení nejlepšího předpokládaného směru vývoje autonomního řízení, tedy porovnat pokročilost jednotlivých systémů z tohoto pohledu a následně ohodnotit. Pokud by například cílem porovnání bylo zjistit jaký ze systémů je bezpečnější z hlediska zachráněných životů. Vzhledem k omezenému poli působení systému Waymo One a nižšímu počtu ураžených mil by byl systém Tesla FSD ohodnocen jako bezpečnější. Jelikož jezdí s vozidly Tesla a s jejich asistenčními systémy značně větší množství uživatelů.

Také je podstatné poukázat na slabiny všech nabízených současných autonomních systému, jejichž hlavním omezením jsou dobré podmínky pozemních komunikací a dodržování účastníků provozu jejich pravidel. V zemích třetího světa, kde silnice připomínají terénní překážkovou trasu a řidiči se v nich chovají nepředvídatelně, jsou i nejpokročilejší autonomní systémy nepoužitelné a nemohou zabránit nehodám tak, jako jim zabráňují v USA, Evropě, Číně atd.

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce, bylo představit čtenářům problematiku Autonomní mobility osobních automobilů, její rozdělení a seznámení se systémy, na kterých stojí.

Teoretická část obsahuje představení počátečního vývoje Autonomie a Autonomního řízení jako celku. Následně se zabývá současným rozdělením a představením jednotlivých autonomních stupňů světově rozšířeného standardu dle sae.org, kde je každý ze stupňů vysvětlen ve vlastní kapitole. Byly popsány klíčové technologie a sensory, které autonomní vozidla užívají a dále je zkoumán etický pohled na tyto vozidla.

Dalším cílem bylo analyzovat a dle objektivního porovnání nalézt nejlepší předpokládaný směr vývoje autonomního řízení. Tímto cílem se zabývá vlastní část práce, kde jsou dle SWOT analýz zkoumány dva hlavní autonomní systémy Waymo Driver a Tesla FSD. Zkoumání hledí na všechny aspekty spojené s těmito systémy, včetně právních aspektů, sociálního a ekonomického přínosu a pohledu společnosti na ně. Tyto SWOT analýzy jsou použity pro vytvoření objektivní komparace s následným vyhodnocením dvou zkoumaných autonomních systémů s cílem nalezení nejlepšího předpokládaného směru vývoje autonomního řízení do budoucna.

Díky technologickému náskoku a inovacím byl systém Waymo Driver bodovým ohodnocením shledán za nadřazený systému Tesla FSD, a to hlavně kvůli bezpečnostním kvalitám, kterých dosahuje inovativní a komplexní integrací sensorů, Lidaru, Radaru i kamer, což mu umožňuje lépe vnímat okolní svět. Z těchto výsledků porovnání byl za nejlepší směr budoucího vývoje autonomního řízení vybrán Waymo Driver.

Práce nicméně upozornila na výzvy a rizika spojená s těmito technologiemi, včetně potřeby komplexní právní adaptace, otázek odpovědnosti a etických dilemat při rozhodovacích procesech autonomních systémů. Důraz byl také kladen na důležitost veřejného vnímání a důvěry v autonomní systémy, které jsou též klíčové pro jejich úspěšné přijetí společností.

Informace získané zkoumáním poukazují na odlišný přístup a řešení autonomního systému obou firem, postoj k vývoji a inovacím, na rozdílnou kvalitu pokroku

v bezpečnosti. Ale zásadně také poukazují na účinnost schopností autonomních systémů jako takových ve snižování rizikových situací a nehod na silnicích. Na závěr lze konstatovat, že autonomní mobilita představuje technologii s potenciálem radikálně změnit způsob, jakým cestujeme, a to k lepšímu.

7 Seznam použitých zdrojů

1. J. Norman, „Karl Benz Builds the First Automobile : History of Information". Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://historyofinformation.com/detail.php?entryid=2536>
2. *2023 AutoSens | How Safe is the Waymo Driver?*, (2023). Viděno: 15. březen 2024. [Online Video]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=9-Qu6HNZu8g>
3. SAE International, „SAE Levels of Driving AutomationTM Refined for Clarity and International Audience". Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.sae.org/site/blog/sae-j3016-update>
4. „Self-driving car", *Wikipedia*. 13. březen 2024. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Self-driving_car&oldid=1213576845
5. Rossella Lorenzi, „News in Science - Da Vinci sketched an early car - 26/04/2004". Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.abc.net.au/science/news/stories/s1094767.htm>
6. „<https://www.elenco.com/wp-content/uploads/2017/10/EDU61008-2.pdf>". Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.elenco.com/wp-content/uploads/2017/10/EDU61008-2.pdf>
7. „Whitehead torpedo", *Wikipedia*. 25. únor 2024. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Whitehead_torpedo&oldid=1210162663
8. „NOVA Online | Hitler's Lost Sub | How an Automobile Torpedo Works". Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.pbs.org/wgbh/nova/lostsub/torpworks.html>
9. E. Cruiser, „Exo Cruiser: ‚Mechanical Mike‘ (The Evolution of the Modern Airplane Autopilot)", *Exo Cruiser*. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://dodlithr.blogspot.com/2013/07/mechanical-mike-1930s-forefather-of.html>

10. C. Engelking, „The ‚Driverless‘ Car Era Began More Than 90 Years Ago“, Discover Magazine. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.discovermagazine.com/technology/the-driverless-car-era-began-more-than-90-years-ago>
11. J. Sorensen, „The Self-Driving Car Series — Part 1 – SocialUnderground“. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://socialunderground.com/2015/06/self-driving-car-series-part-1/>
12. D. Sears a D. Sears, „The Sightless Visionary Who Invented Cruise Control“, Smithsonian Magazine. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.smithsonianmag.com/innovation/sightless-visionary-who-invented-cruise-control-180968418/>
13. Ilbová, „5 úrovní autonomního řízení. Jaké jsou a proč si brzy nezařídíte?“ Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://insmart.cz/stupne-autonomniho-rizeni/>
14. „The State of Level 3 Autonomous Driving in 2023“, AUTOCRYPT. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://autocrypt.io/the-state-of-level-3-autonomous-driving-in-2023/>
15. Mercedes level 3 Autonomous Drive Pilot hands-on, (2021). Viděno: 15. březen 2024. [Online Video]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=5TWKFHsvseo>
16. „Autonomous Level 4 is here!“, CabiBUS. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://cabibus.com/autonomous-Level-4.html>
17. Singh, „ADAS Level 0 to Level 5: Autonomous/self-driving grades explained“, *The Times of India*, 24. květen 2022. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://timesofindia.indiatimes.com/auto/cars/adas-level-0-to-level-5-autonomous-cars-self-driving-level-2-kia-ev6-features-explained/articleshow/91762964.cms>
18. „Waymo“, Wikipedia. 6. březen 2024. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Waymo&oldid=1212212127>

19. Stoklosa, „Tesla Drops Parking Sensors, Leaving Only ‚Tesla Vision‘”, MotorTrend. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.motortrend.com/news/tesla-model-3-y-x-s-vision-camera-ultrasonic-sensor-detection/>
20. „What is LiDAR and How Does it Work? | Synopsys". Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.synopsys.com/glossary/what-is-lidar.html>
21. Srivastav a S. Mandal, „Radars for Autonomous Driving: A Review of Deep Learning Methods and Challenges". arXiv, 27. září 2023. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <http://arxiv.org/abs/2306.09304>
22. H. A. Ignatious, H.-E.- Sayed, a M. Khan, „An overview of sensors in Autonomous Vehicles", *Procedia Computer Science*, roč. 198, s. 736–741, led. 2022, doi: 10.1016/j.procs.2021.12.315.
23. C. D. Kordelia a A. Armizoprades, „Autonomous Vehicle Radiation Based on Traffic Flow Analysis", *Jurnal Teknik, Komputer, Agroteknologi Dan Sains*, roč. 1, č. 1, Art. č. 1, srp. 2022, doi: 10.56248/marostek.v1i1.21.
24. L. Zephyr, „Autonomous Vehicles and GPS: Navigating the Future of Transportation - trackstick". Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://trackstick.com/autonomous-vehicles-and-gps-navigating-the-future-of-transportation/>
25. B. Naeem, A. M. Soomro, H. M. Saim, a H. Malik, „Smart road management system for prioritized autonomous vehicles under vehicle-to-everything (V2X) communication", *Multimed Tools Appl*, říj. 2023, doi: 10.1007/s11042-023-16950-1.
26. „Impact of lane keeping assist system camera misalignment on driver behavior", *Journal of Intelligent Transportation Systems*, roč. 25, č. 2, s. 157–169, led. 2021, doi: 10.1080/15472450.2020.1822174.
27. „The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained | Synopsys Automotive". Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html>

28. „What is ADAS (Advanced Driver Assistance Systems)? – Overview of ADAS Applications | Synopsys". Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.synopsys.com/automotive/what-is-adas.html>
29. The ethical dilemma of self-driving cars - Patrick Lin, (2015). Viděno: 15. březen 2024. [Online Video]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ixIoDYVfKA0>
30. Z. Leng et al., „LidarAugment: Searching for Scalable 3D LiDAR Data Augmentations". arXiv, 24. říjen 2022. doi: 10.48550/arXiv.2210.13488.
31. E. Bronstein et al., „Hierarchical Model-Based Imitation Learning for Planning in Autonomous Driving". arXiv, 17. říjen 2022. doi: 10.48550/arXiv.2210.09539.
32. K. D. Kusano, J. M. Scanlon, a Y.-H. Chen, „Comparison of Waymo Rider-Only Crash Data to Human Benchmarks at 7.1 Million Miles".
33. C. M. Jiang, M. Najibi, C. R. Qi, Y. Zhou, a D. Anguelov, „Improving the Intra-class Long-tail in 3D Detection via Rare Example Mining". arXiv, 15. říjen 2022. doi: 10.48550/arXiv.2210.08375.
34. P. Sun et al., „Scalability in Perception for Autonomous Driving: Waymo Open Dataset". arXiv, 12. květen 2020. doi: 10.48550/arXiv.1912.04838.
35. „From surface streets to freeways, safely expanding our rider-only testing", Waymo. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://waymo.com/blog/2024/01/from-surface-streets-to-freeways-safely-expanding-our-rider-only-testing>
36. H. Tan, F. Zhao, W. Zhang, a Z. Liu, „An Evaluation of the Safety Effectiveness and Cost of Autonomous Vehicles Based on Multivariable Coupling", Sensors, roč. 23, č. 3, Art. č. 3, led. 2023, doi: 10.3390/s23031321.
37. „Automated Vehicle Pilot Program | ontario.ca". Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <http://www.ontario.ca/page/automated-vehicle-pilot-program>
38. „Expanding our Waymo One fleet with Geely’s all-electric vehicle designed for riders first", Waymo. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://waymo.com/blog/2021/12/expanding-our-waymo-one-fleet-with>

39. S. Doll, „The top five best-equipped countries to support autonomous vehicles – Who’s leading the self-driving revolution?“, Electrek. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://electrek.co/2022/03/04/the-top-five-best-equipped-countries-to-support-autonomous-vehicles-whos-leading-the-self-driving-revolution/>
40. „Partners and community | Let’s Talk Autonomous Driving“. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://waymo.community/partners.html>
41. „AutoML: Automating the design of machine learning models for autonomous driving“, Waymo. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://waymo.com/blog/2019/01/automl-automating-design-of-machine>
42. Machine Learning at Waymo, (2019). Viděno: 15. březen 2024. [Online Video]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=18Xg9bpKsvs>
43. M. Rangaiah, „How Waymo is using AI for autonomous driving? | Analytics Steps“. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.analyticssteps.com/blogs/how-waymo-using-ai-autonomous-driving>
44. „Case Study: Waymo - Pioneering Self-Driving Technology with AI and LIDAR“, AITroT. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://aitrot.com/case-study-waymo-pioneering-self-driving-technology-with-ai-and-lidar/applications/>
45. „Global Guide to Autonomous Vehicles 2023“. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.dentons.com/en/insights/guides-reports-and-whitepapers/2023/march/8/global-guide-to-autonomous-vehicles-2023>
46. Why Ford And VW Shut Down Their Multi-Billion Dollar Self-Driving Project, (2023). Viděno: 15. březen 2024. [Online Video]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=NivbrZ2BWTg>
47. Steve, „Tesla Autonomous Full Self-Driving Capabilities in 2024“, AutoPilot Review. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.autopilotreview.com/tesla-autonomous-full-self-driving/>

48. „Cruise Imploded in 2023. Can the Robotaxi Industry Recover in 2024?“, The San Francisco Standard. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://sfstandard.com/2023/12/29/cruise-waymo-robotaxis-2024-predictions/>
49. „Automated driving revolution: Mercedes-Benz announces U.S. availability of DRIVE PILOT – the world’s first certified SAE Level 3 system for the U.S. market“. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://media.mbusa.com/releases/automated-driving-revolution-mercedes-benz-announces-us-availability-of-drive-pilot-the-worlds-first-certified-sae-level-3-system-for-the-us-market>
50. K. Othman, „Public attitude towards autonomous vehicles before and after crashes: A detailed analysis based on the demographic characteristics“, Cogent Engineering, roč. 10, č. 1, s. 2156063, pro. 2023, doi: 10.1080/23311916.2022.2156063.
51. „Tesla (automobilka)“, Wikipedie. 2. únor 2024. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Tesla_\(automobilka\)&oldid=23615056](https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Tesla_(automobilka)&oldid=23615056)
52. „Tesla Had The Auto Industry’s Highest Repeat Buyer Rate In H1 2023“, InsideEVs. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/690805/tesla-had-auto-industry-highest-repeat-buyer-rate-h1-2023/>
53. S. Alvarez, „Tesla FSD Beta program reaches half a billion cumulative miles“, TESLARATI. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.teslarati.com/tesla-fsd-beta-program-half-a-billion-cumulative-miles/>
54. „How Tesla Uses Big Data“, Robots.net. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://robots.net/fintech/how-tesla-uses-big-data/>
55. „Autonomous Vehicle Training & Tesla’s Data Engine“, Arrow.com. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/autonomous-vehicle-training-and-teslas-data-engine-explained>
56. M. Harris, „The Radical Scope of Tesla’s Data Hoard: Every Tesla is providing reams of sensitive data about its driver’s life“, IEEE Spectr., roč. 59, č. 10, s. 40–45, říj. 2022, doi: 10.1109/MSPEC.2022.9915627.

57. P. Wong, „Tesla’s Digital Strategy for Becoming A Trillion Dollar Company“, Headless E-Commerce Platform | fabric. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://fabric.inc/blog/commerce/tesla-strategy>
58. „Now Revealed: Why Teslas Have Only Camera-Based Vision“, Engineering.com. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.engineering.com/story/now-revealed-why-teslas-have-only-camera-based-vision>
59. „Explainer: Tesla drops radar; is Autopilot system safe? | Reuters“. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/tesla-drops-radar-is-autopilot-system-safe-2021-06-02/>
60. H. Jin, M. Spector, D. Shepardson, a M. Spector, „Insight: A life and death question for regulators: Is Tesla’s Autopilot safe?“, Reuters, 21. září 2021. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/life-death-question-regulators-is-teslas-autopilot-safe-2021-09-21/>
61. C. Bartneck, „Autonomous Vehicles - Do We Really Know The Risks?“.
62. „17 fatalities, 736 crashes: The shocking toll of Tesla’s Autopilot“, Washington Post. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.washingtonpost.com/technology/2023/06/10/tesla-autopilot-crashes-elon-musk/>
63. O. Šámal, „Nejprodávanější auto na světě už není Toyota. Teď je to nový hit českého trhu“, auto.cz. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/nejprodavanejsi-auto-na-svete-uz-neni-toyota-ted-je-to-novy-hit-ceskeho-trhu-151361>
64. „Best-selling electric car models 2023“, Statista. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/960121/sales-of-all-electric-vehicles-worldwide-by-model/>
65. „Why Tesla’s new electric car will be significantly cheaper than Model 3 and Model Y“, CarsGuide. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.carsguide.com.au/car-news/why-teslas-new-electric-car-will-be-significantly-cheaper-than-model-3-and-model-y-89109>

66. K. Armstrong, „Tesla Vision Park Assist: Bringing Back Distance Measurements for Cars without Ultrasonic Sensors“, Not a Tesla App. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.notateslaapp.com/news/1280/tesla-vision-park-assist-bringing-back-distance-measurements-for-cars-without-ultrasonic-sensors>
67. K. Armstrong, „Tesla Guide: Number of Cameras, Their Locations, Uses and How To View Them“, Not a Tesla App. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.notateslaapp.com/news/1452/tesla-guide-number-of-cameras-their-locations-uses-and-how-to-view-them>
68. M. K. Jatera, „12 Best Self Driving Cars in 2024: Autonomous Excellence“, High Stuff. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.highstuff.com/self-driving-cars/>
69. M. Broersma, „Tesla Falls Behind In Fast-Growing China EV Market“, Silicon UK. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.silicon.co.uk/e-innovation/green-it/tesla-china-2-553838>
70. F. Capital, „Tesla: Headwinds In 2024 (NASDAQ:TSLA) | Seeking Alpha“. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://seekingalpha.com/article/4663092-tesla-headwinds-in-2024>
71. Krietzberg, „What’s stopping Tesla from achieving Level 3 self-driving“, TheStreet. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.thestreet.com/technology/whats-stopping-tesla-from-achieving-level-3-self-driving>
72. „List of lawsuits involving Tesla, Inc.“, Wikipedia. 13. březen 2024. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List_of_lawsuits_involving_Tesla,_Inc.&oldid=1213489313
73. M. Taylor, „German Court Bans Tesla ‘Autopilot’ Name For Misleading Customers“, Forbes. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/michaeltaylor/2020/07/14/german-court-bans-tesla-autopilot-name-for-misleading-customers/>

74. T. L. Speaks, „The Promise and Pitfalls of Camera-Only Autonomy“, Medium. Viděno: 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://thelaymanspeaks.medium.com/the-promise-and-pitfalls-of-camera-only-autonomy-00bf74f35736>
75. Obrázek, Viděno 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: https://www.historyhit.com/app/uploads/2022/05/Carl_Benz.jpg
76. Obrázek, Viděno 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo%27s_self-propelled_car#/media/File:Leonardo_Amboise_Automobile.jpg
77. Obrázek, Viděno 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://images.ctfassets.net/cnu0m8re1exe/4KN10xON15jxXf0quLw23/e9c7181ab9923a63b2cd4b5889ebb519/houdina.jpg?fm=jpg&fl=progressive&w=660&h=433&fit=fill>
78. Obrázek, Viděno 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: https://www.sae.org/binaries/content/gallery/cm/content/news/sae-blog/j3016graphic_2021.png
79. Obrázek, Viděno 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://group.mercedes-benz.com/bilder/innovation/produktinnovation/autonomes-fahren/drive-pilot/drive-pilot-nevada-01-w1920xh1080-cutout.jpg>
80. Obrázek, Viděno 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: https://eu-images.contentstack.com/v3/assets/blt31d6b0704ba96e9d/blt3aa15d64130b7747/665be975b7fe4b040a1c4bb9/Waymo_SF.jpeg
81. Obrázek, Viděno 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: <https://circuitdigest.com/sites/default/files/field/image/What-is-LiDAR-and-How-does-it-Work.png>
82. Obrázek, Viděno 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTMrlJxcA0uGD_inkiAuMy95CINuu56GGMElN&usqp=CAU

83. Obrázek, Viděno 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z:
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-023-16950-1>
84. Obrázek, Viděno 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z:
<https://www.spiceworks.com/tech/iot/articles/what-is-adidas/>
85. Obrázek, Viděno 15. březen 2024. [Online]. Dostupné z:
<https://www.bbc.com/news/technology-45991093>

8 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk

8.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 Karl Benz a první automobil [75].....	13
Obrázek 2 Da Vinciho Samohybné vozidlo [76].....	15
Obrázek 3 American Wonder [77].....	17
Obrázek 4 SAE Stupně Autonomního řízení [78]	19
Obrázek 5 Mercedes Benz SAE level 3 [79]	21
Obrázek 6 Waymo One Taxi [80].....	23
Obrázek 7 Lidar na střeše auta [81]	25
Obrázek 8 Radar [82].....	25
Obrázek 9 AIMS diagram [83]	28
Obrázek 10 ADAS znázornění [84].....	30
Obrázek 11 Etické dilema [85]	31

8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 SWOT analýza Waymo Driver.....	34
Tabulka 2 SWOT analýza Tesla FSD	43
Tabulka 3 Komparace Tesla FSD a Waymo Driver	51