

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301      Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Roboauto – silniční vozidlo bez řidiče

Autor:                      **Martin HORÁK**

Vedoucí práce:        **Doc. Ing. Ladislav NĚMEC, CSc.**

Akademický rok 2016/2017

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin HORÁK**  
Osobní číslo: **S13B0155P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**  
Název tématu: **Roboauto silniční vozidlo bez řidiče**  
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Popsat systémy satelitní navigace, orientace v digitalizovaných mapách a podmínky pro jejich využití při provozu roboauta. Vyjmenujte sledovací systémy, kterými mohou být tato vozidla vybavena, princip a úkol jejich činnost, význam jejich využití. Uveďte hlavní důvody omezení vlivu člověka na řízení vozidla a několik příkladů postupného vyřazování lidského vlivu. Vysvětlete, kde jsou rozdílné důvody pro zavádění robopilotáže u osobních a nákladních aut.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. orientace vozidla na pozemních komunikacích
2. orientace v silničním provozu
3. důvody omezování vlivu lidského faktoru na pohyb vozidla
4. postup omezování vlivu člověka
5. rozdíly v procesu u osobních a nákladních vozidel

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999**

**VLK, F. Stavba motorových vozidel. Brno: nakl. Vlk, 2003**

*Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.*

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Ladislav Němec, CSc.**

Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Roubal**

Expert z praxe

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2017**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan



Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2016

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

# ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Horák	Jméno Martin	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	23-35-8 „Dopravní a manipulační technika“		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) doc. Ing. NĚMEC, CSc.	Jméno Ladislav	
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	Nehodící se škrtněte
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Roboauto – silniční vozidlo bez řidiče		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	40	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	40	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Bakalářská práce obsahuje dvě části, první část je rešeršní, ta obsahuje informace o orientaci vozidla v prostoru a na pozemních komunikacích, dále důvody omezování člověka jako řidiče, vývoj systémů podpory řízení vedoucí k autonomnímu řízení, rozdělení autonomie, současný stav vývoje, využití autonomních vozidel v nákladní dopravě. Druhá část obsahuje poznatky, předpoklady budoucího vývoje a problémy této oblasti shrnuté a vytvořené na základě předchozí rešerše.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p>Autonomní vozidla, systémy satelitní navigace, mapy, senzory, systémy podpory řidiče, vývoj minulý, současný a budoucí, člověk a systémy, nákladní doprava</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Horák	Name Martin	
<b>FIELD OF STUDY</b>	23-35-8 “Transport and handling machinery“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) doc. Ing. NĚMEC, CSc.	Name Ladislav	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLÓMA</b>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Autonomous car		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2017
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	40	<b>TEXT PART</b>	40	<b>GRAPHICAL PART</b>	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	<p>This thesis dissert on autonomous cars systems. It consists of two parts. At first the principles of localization and mapping are introduced, then the sensors for autonomous driving are described. Reasons for eliminating the human factor are explained. Development of supporting systems is evaluated and autonomous trucks are compared to cars. The second part contains problems that are still facing to autonomous driving and ideas based on previous search.</p>
<b>KEY WORDS</b>	<p>Autonomous cars, satellite navigation, maps, sensors, driver assistance systems, development, autonomous trucks</p>

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval svému konzultantovi, panu Roubalovi, za jeho čas strávený nad řešením problémů mé práce, za cenné rady, za jeho velkou snahu a výraznou podporu a motivaci k práci. Dále bych rád poděkoval svému vedoucímu, panu Němcovi, za jeho pomoc a rady a společnosti MBTech za poskytnutí informací a zodpovězení mých dotazů.

## Obsah

Úvod .....	3
1 Orientace vozidla na pozemních komunikacích.....	4
1.1 Určení polohy vozidla.....	4
1.2 Mapový podklad .....	4
1.3 Skutečné prostředí.....	4
1.4 GPS (Global Position System).....	5
1.4.1 Princip fungování GPS.....	5
1.4.2 Nevýhody GPS pro autonomní vozidla.....	5
1.5 GPS + SLAM.....	5
1.6 Systém Galileo .....	6
1.6.1 Popis systému.....	7
1.7 Služba EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) .....	7
1.8 Zlepšení polohové přesnosti vozidel při výpadku signálu satelitní navigace.....	8
2 Orientace v provozu .....	8
2.1 Princip fungování .....	9
2.2 Stereokamery .....	10
2.3 Sonar .....	11
2.4 Radar.....	11
2.5 Lidar.....	11
2.5.1 Otočný lidar .....	11
2.5.2 Pevný 3D scanner .....	12
2.5.3 Nevýhody laserových snímačů .....	12
2.5.4 Použití lidarů.....	12
2.6 Porovnání vhodnosti senzorů autonomních vozidel.....	13
3 Důvody omezování vlivu lidského faktoru na pohyb vozidla.....	14
3.1 Bezpečnost provozu na silničních komunikacích.....	14
3.1.1 Silniční komunikace.....	15
3.1.2 Silniční vozidla .....	15
3.1.3 Lidský faktor .....	15
3.1.4 Nárůst intenzity a rozsahu dopravního provozu na silnicích .....	16
3.1.5 Limity lidských možností .....	16
3.1.6 Srovnání člověka a systémů.....	18



3.2 Úspora finančních prostředků.....	19
3.3 Pohodlí řidiče.....	19
3.4 Nové možnosti v oblasti dopravy .....	19
3.5 Marketing.....	20
4 Postup omezování vlivu člověka.....	20
4.1 Přehled a rozdělení asistenčních systémů.....	21
4.2 Časový vývoj systémů .....	22
4.3 Stupně automatizace řízení .....	24
4.4 Aktuální situace dosažené automatizace řízení .....	25
4.4.1 BMW.....	25
4.4.2 Tesla .....	25
4.4.3 Google.....	26
5 Osobní x nákladní.....	28
5.1 Porovnání principů .....	29
5.2 Porovnání cílů osobní a nákladní dopravy .....	29
5.2.1 Bezpečnost .....	29
5.2.2 Dopad na životní prostředí.....	30
5.2.3 Úspora nákladů .....	30
5.3 Současné příklady využití v nákladní dopravě.....	33
5.3.1 Systém iSee.....	33
5.3.2 Doručení prvního zboží nákladním vozem Volvo od společnosti Uber .....	34
5.3.3 Patent společnosti Google na dodávky bez řidiče.....	34
5.3.4 Jízda autonomních kamionů Evropou.....	34
6 Analýza na základě předchozí rešerše.....	35
6.1 Poptávka po autonomních vozidlech a smysl jejich vývoje .....	36
6.2 Problémy autonomních vozidel .....	37
6.2.1 Bezpečnost .....	37
6.2.2 Legislativa.....	38
6.3 Etické principy.....	38
6.4 Důležitost autonomních vozidel .....	39
6.5 Vyspělost autonomních vozidel.....	40
Závěr.....	41
Použitá literatura .....	42

## Úvod

Vozidlo bez řidiče, roboauto, automatické vozidlo - ať už tento obdivovaný, zatracovaný, přeceňovaný, a především nedokončený a zatím také zcela nepochopený výkřik techniky budeme nazývat jakkoliv, je třeba úvodem říci, že aby mohlo bezstarostně a bez rizika vyrazit do ulic, bude se toho muset ještě podstatně víc změnit kolem něj, než v něm. Oponent může namítnout: Když vymyslíte auto bez řidiče, tak postavte takové, aby se kvůli němu nic měnit nemuselo, to tam potom můžeme toho řidiče nechat sedět. V současné době je hodně řidičů, možná většina, kteří si nedovedou představit, že by svého miláčka nemohli „kočírovat“, hoblovat jeho pneumatiky v zatáčkách, odírat jeho lak ve vždy příliš úzkých vjezdech do garáží a jeho interiér nasycovat kouřem svých cigaret a drobtý svých baget. Je ovšem také již řada majitelů dopravních firem, kteří si dovedou představit, jak jejich kamiony putují po Evropě mezi logistickými centry a jsou řízeny dopravními operátory prostřednictvím internetu z pohodlí podnikové kanceláře. Řídicí systém vozidla bez řidiče nikdy nebude nevyspalý, nebude mít potíže se zlobivými dětmi a nebude jej bolet hlava ani záda. Navíc jeho oči nepotřebují žádné brýle, mají stokrát větší rozlišovací schopnost než naše a jeho řídicí systém pracuje tisíckrát rychleji než náš mozek. Ovšem náš mozek nejde „hacknout“, zatímco řídicí systémy roboaut ještě tak zabezpečené nejsou. Už dnes je však jasné, že vývoj automobilů se tímto směrem bude ubírat, že řidič doposud v lidské podobě bude dostávat další a další pomocníky v podobě elektronických asistentů, kteří mu budou spolehlivě a účinně pomáhat až do té chvíle, kdy sám zjistí, že je zbytečné mít před sebou volant a nohy na pedálech. Lidé dnešní společnosti se již připravují na roli pasažérů roboauta, když za jízdy píší SMS a vyhledávají zprávy na internetu. V zavedení auta bez řidiče do našeho života sehraji možná rozhodující roli zcela nečekané věci a také to nebude zítra. Ve své práci se snažím důvody pro jeho zavedení shrnout a problémy, které dosud čekají na vyřešení, přiblížit.



Obrázek 1 Představa o budoucnosti v dopravě [22]

## 1. Orientace vozidla na pozemních komunikacích

Přistoupíme-li k základnímu úkolu, který nazýváme navigace, jako k obecné orientaci v prostoru, musíme nejprve určit bod, kde se nacházíme, pak bod, kterého chceme dosáhnout a za třetí pak můžeme zvolit trasu našeho přesunu. Pokud byl tento úkol před čtyřiceti lety před posádkou vozidla a posádka věděla, kde se nachází, vzali si mapu, našli na ní místo, kam se chtějí dostat, a zvolili trasu cesty. Na trase pak našli body, kterými musí projíždět, aby se dostali do cíle své cesty. Překážky na trase, např. objízďky, pak řešili operativně cestou.

### 1.1 Určení polohy vozidla

Automaticky řízené vozidlo se však musí být schopno orientovat v prostoru nepřetržitě. Tato orientace sestává z několika částí. Jednou z nich je informace o poloze na zemi vyjádřená souřadnicovým systémem. K tomu se využívá systém satelitní navigace. Tento systém je schopen využívat souřadnicový systém zeměpisné šířky a délky, který pokrývá s poměrně velkou přesností celou zemkouli, a od nás vyslaný signál pak prostřednictvím svých satelitů vyjádřit právě v těchto souřadnicích. Zde je třeba podotknout, že právě satelitní navigace přivedla vývojové inženýry na myšlenku postavit auto, které se bude pohybovat samo po předem určené trase.

### 1.2 Mapový podklad

Pokud tedy dokážeme určit přesné souřadnice, je možné udělat další krok, kterým je umístění pozice do mapového podkladu. Jeho zpracování v digitální podobě je však technologicky náročný problém, který v potřebném formátu s požadovanou přesností dokáže vyrobit jen několik firem na světě. Dále pak musí být tento mapový systém schopen do sebe trvale a průběžně začleňovat aktuální informace o změnách. Mapový podklad pro běžné uživatele satelitní navigace je zpracován v komerčních navigacích ve 2D formátu. Pro autonomní vozidlo je výhodnější využít 3D mapový podklad. Ten například umožňuje díky znalosti výškového reliéfu upravit parametry jízdy na nejvýhodnější výkonovou konfiguraci. Příkladem může být zvýšení rychlosti jízdy a změna převodového stupně před stoupáním. [7]

### 1.3 Skutečné prostředí

Informace, které jsou získány při znalosti souřadnic a jejich umístění v mapovém podkladu, tedy takové, které vypovídají o poloze vozidla v souřadnicovém systému, musí být konfrontovány se skutečným prostředím, ve kterém se vozidlo v daném okamžiku nachází. Srovnání reality, která je snímána vozidlem, s informacemi digitální mapové předlohy je v první řadě potvrzením polohy vozidla, dále pak potvrzením správnosti mapového podkladu a za třetí, v případě diferencí mezi předlohou a skutečností, možností k průběžné aktualizaci mapového podkladu nebo naopak k hledání náhradní trasy. Právě způsoby průběžné aplikace operativních změn určují kvalitu a využitelnost navigačních map pro pohyb na silničních komunikacích. Existuje ještě jedna oblast možnosti ovlivňování map a jejich spolehlivé využitelnosti, a to je záležitost legislativní vazby, která musí zaručit povinnost nahlašovat všechny zásahy do silničních komunikací správci mapového systému, tzn. všechny ty, které ovlivní jejich průjezdnost - např. oslavy, demonstrace, opravy, úpravy a havárie. [7]

## 1.4 GPS (Global Position System)

Nejpoužívanějším systémem pro orientaci v terénu je v současné době systém GPS. Jedná se o americký vojenský sledovací družicový systém uvolněný k civilnímu využívání.

### 1.4.1 Princip fungování GPS

Systém využívá třiceti dvou družic obíhajících na šesti kruhových drahách vzájemně posunutých o 60°. Skládá se ze tří hlavních segmentů:

- Uživatelský segment - tedy příjemce signálu, který získá informace o své poloze
- Vesmírný segment - družice obíhající po oběžné dráze a vysílající signál uživatelskému segmentu a přijímající signál od řídicího segmentu
- Řídicí segment - obsahuje všechna zařízení určená k ovládní systému. Patří sem řídicí střediska, kontrolní stanice satelitů a stanice zajišťující interakci se satelity. [23]

### 1.4.2 Nevýhody GPS pro autonomní vozidla

Nevýhodou GPS je každý faktor, který může narušovat jeho signály. Základním problémem je již to, že síla signálu sama o sobě není příliš velká a pokud se k tomu přidají ještě další okolnosti, jako jsou bouře, silné elektromagnetické vlnění, zalesněné nebo hornaté oblasti, snadno dojde k jeho výpadku. Paradoxně právě tyto podmínky jsou ty, které jsou pro řízení více náročné a kde by využití spolehlivého autonomního řídicího systému bylo účelné.

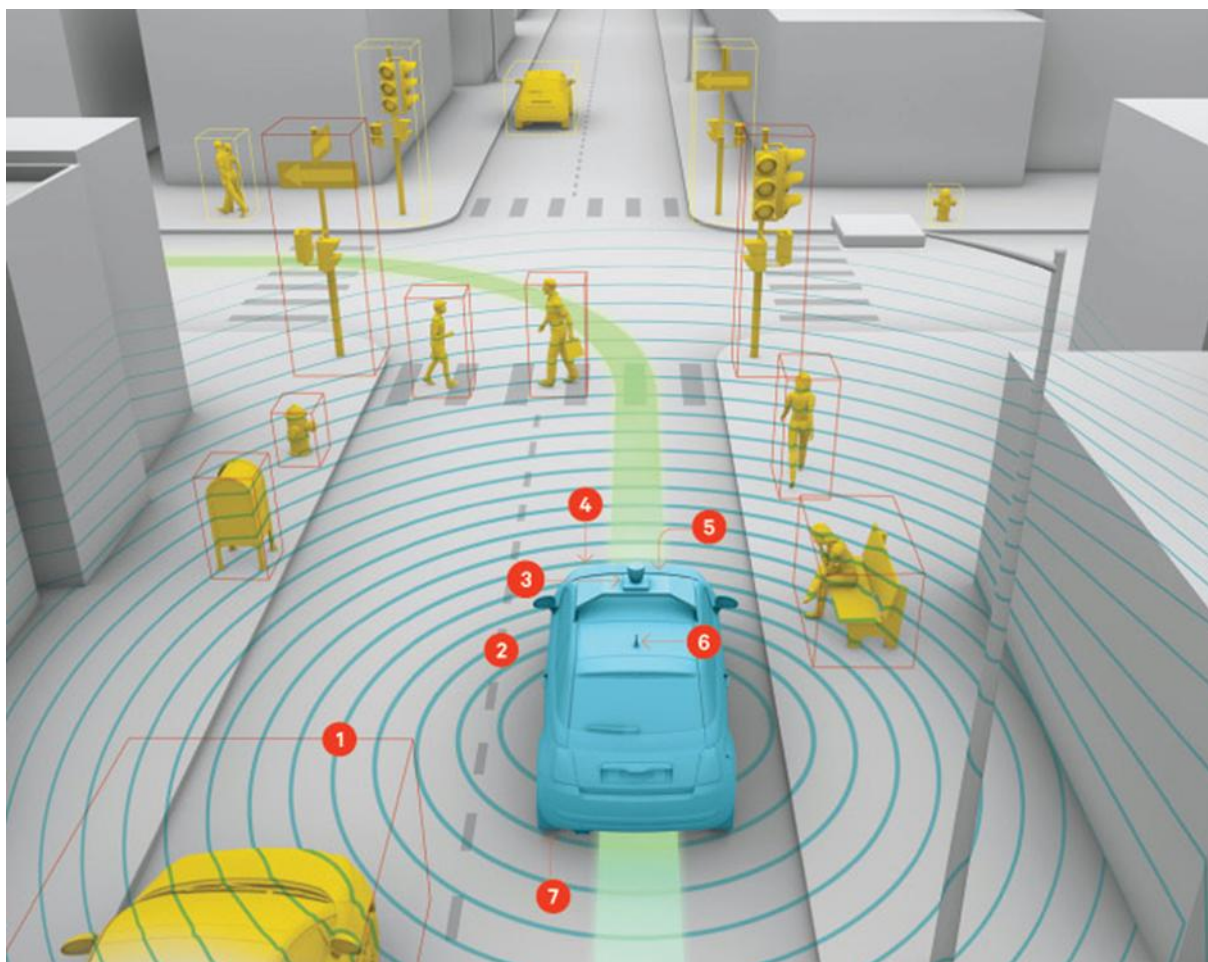
Z důvodu problémů s přijímáním signálu GPS nutné, aby pro orientaci v prostoru byly tyto nedostatky kompenzovány jinými prostředky. To je například schopnost nainstalovaného softwaru vést vozidlo dále po zvolené trase na základě průběžné konfrontace aktuální vizualizace s mapovým podkladem, který má řídicí systém trvale k dispozici, a který je průběžně aktualizován. [7]

## 1.5 GPS + SLAM

K tomu, aby byl mapový podklad pro vozidlo co nejpřesnější a co nejvíce odpovídal realitě, lze využít kombinaci nějakého z navigačních systémů, tedy v současnosti hlavně GPS, se systémem SLAM - simultaneous localization and mapping, v překladu kontinuální lokalizace a mapování. Výhody, které by mohla tato kombinace přinést, jsou zvýšení přesnosti lokalizace vozidla, větší podrobnost a schopnost poskytnout vozidlu mapu v detailnějším měřítku. [24]

Na pozadí systému SLAM stojí složité matematické rovnice. Princip fungování je ten, že vozidlo se řídí předem definovanou mapou, ale současně mapuje prostor, ve kterém jede. Data z poskytnuté mapy a data, která samo zaznamená, následně porovná a propojí, takže mapu, podle které se řídí, aktualizuje do nové podoby. Znamená to, že auto se podle mapy řídí, ale v ten samý moment ji také upravuje, takže při každém projetí vozidla, je mapa místa zpřesněna. Dokonalou mapu prostoru tedy mohou vytvářet sama vozidla, přičemž s počtem projetí se přesnost dat zvyšuje. [2]

Čím více jsou tedy vozidla používána, tím dokonalejší mapu mají k dispozici. Výsledkem je to, že je možné vytvořit mapu s vysokou vypovídací schopností pouze na základě běžného užívání, tedy s nízkou nutností využití finančních zdrojů. Síťové propojení vozidel umožňuje následnou aktualizaci databáze dat. Znamená to, že informace, které vozidlo získá, mohou být ihned odeslány a uloženy k dalšímu zpracování. V závislosti na rozšíření počtu autonomních vozidel je pak možné získávat informace z určitého místa s určitou statistickou hodnotou závislou na četnosti sběru dat. K tomu je vhodné využít kontinuálního sběru dat o jakémkoliv pohybu vozidla. Na základě tohoto sběru a následného zpracování mohou být data určená k orientaci vozidel aktualizována na přesnější verzi.



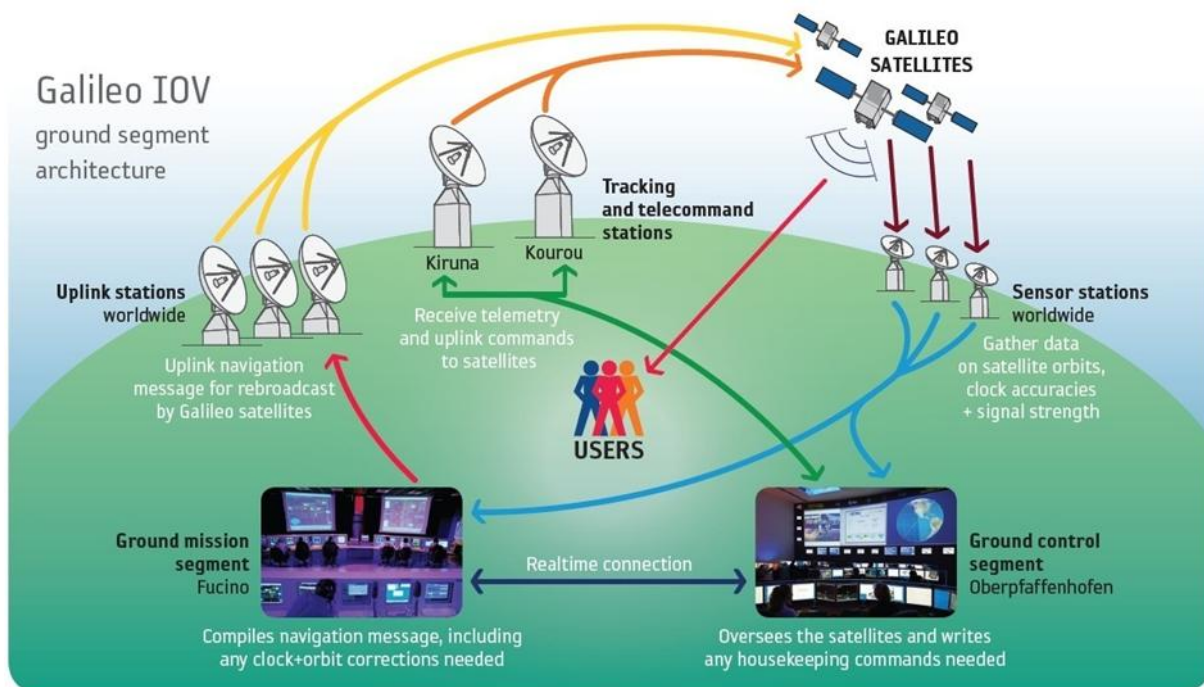
Obrázek 2 Příklad, jakým způsobem si automobil vytváří přehled o prostředí, ve kterém se pohybuje. [5]

## 1.6 Systém Galileo

Dalším budoucím možným řešením satelitní navigace je zavedení systému Galileo. Jak již bylo zmíněno, systém GPS je původně vojenský systém a jeho využití v autodopravě má své nedostatky a omezení. Může například dojít k částečnému omezení nebo výpadku signálu. Projekt Galileo je naopak primárně navržen pro použití v civilním sektoru, je vytvořen později s využitím vyspělejších současných technologií a měl by proto nabízet vylepšenou verzi satelitní navigace, která bude i pro autonomní vozidla výhodnější. [1]

### 1.6.1 Popis systému Galileo

Galileo je systém satelitní navigace vyvinutý státy Evropské unie. Počet družic je třicet. Tyto družice obíhají ve třech rovinách po kruhových drahách na střední oběžné dráze Země. Každá z rovin dráhy bude svírat s rovinou rovníku úhel  $56^\circ$ , což umožní využívat navigační systém bez potíží až do míst ležících na  $75^\circ$  zeměpisné šířky. Tři z družic fungují jako záložní a jsou tedy použity k zajištění spolehlivé funkčnosti systému i v případě, že některá družice bude mít problémy. Přesnost určení polohy systému Galileo je větší než jeden metr. [1]



Obrázek 3 Princip fungování satelitní navigace Galileo [1]

Obrázek výše popisuje princip fungování satelitní navigace Galileo. Signály vysílané z družice jsou přijímány zařízeními uživatelů, tedy v případě autonomních vozidel přijímačem signálu v automobilu, a dále pak senzory stanicí sbírajícími informace ze satelitů a předávajícími je dál do řídicích a administrativních středisek na zemi. Informace zde jsou zpracovávány dál a předávány telekomunikačním stanicím, které zpětně vysílají signály družicím.

### 1.7 Služba EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)

Problémy nepřesnosti satelitních navigací je možné řešit dalšími způsoby, jako je například služba EGNOS. Tato služba vysílá navigační zprávu o stejném kmitočtu, jaký vysílá systém GPS, tedy na kmitočtu 1575.42 MHz. Navigační zpráva obsahuje informace o integritě systému GPS, dlouhodobé odchylky od předpokládaných drah satelitů, dlouhodobé odchylky atomových hodin a parametry ionosférického modelu – tedy informace o zpoždění signálu při průchodu ionosférou. Přijímače signálu mohou využít navigačních zpráv k provedení korekcí. Díky tomu je možné získat přesnější údaje o aktuální poloze. [25]

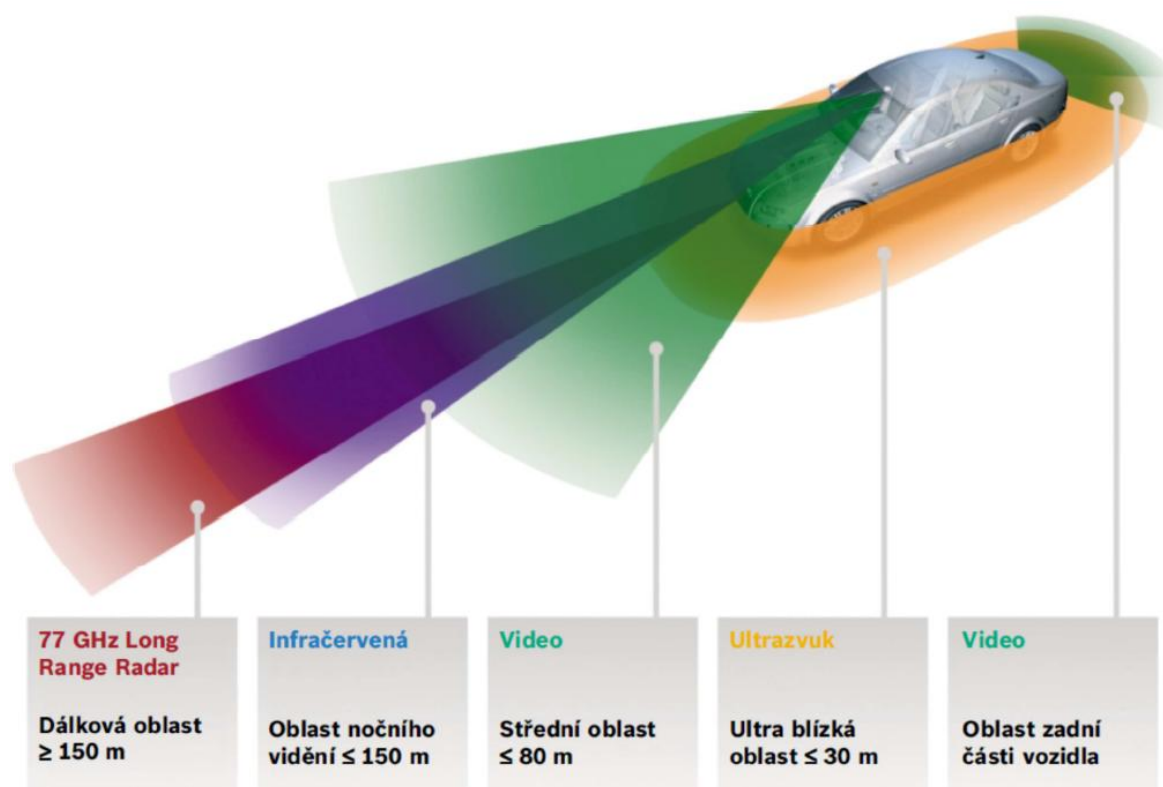
## 1.8 Zlepšení polohové přesnosti vozidel při výpadku signálu satelitní navigace

Při výpadku signálu můžeme využít také dopočítání polohy na základě měřených veličin pomocí inerciálního systému. Je to možnost, jakou lze určit polohu vozidla, i pokud dojde k výpadku signálu. Jejím principem je sledování dráhy vozidla od místa, kde byla poloha přesně známa, tedy než došlo k výpadku signálu. Funguje to na principu měření rychlosti, zrychlení vozidla, úhlové rychlosti a magnetického pole. Kromě použití běžně používaných rychloměrů je možné zkombinovat měření s dalšími měřidly a použít akcelerometry (měření zrychlení), gyroskopy (úhlová rychlost), magnetometry (magnetické pole). Tyto údaje lze ještě doplnit informacemi například o natočení kol. Vyhodnocením měřených hodnot můžeme sledovat polohu vozidla i v případech, kdy dojde ke ztrátě signálu ze satelitní navigace. Podobné systémy jsou využívány v letadlech a ve vojenském sektoru například u raket. [26]

## 2. Orientace v provozu

Mapa a prostředí, ve kterém se vozidlo pohybuje, se mění jen velmi málo, tzn. v řádu měsíců nebo let. Jsou to například budovy nebo tvar a zakřivení vozovky, které je možné trvale zaznamenat a brát tyto informace jako předem definované, než se vozidlo vydá na cestu. Podobné je to i s cílem cesty a trasou, kterou vozidlo projíždí. To je vše známo a propočítáno před tím, než se vozidlo rozjede. Sledování aktuální polohy je opět záležitostí, kterou předpokládáme. Víme, kde se vozidlo nachází, kam pojedete, a předpokládáme dobu, kterou to bude trvat. Mnohem závažnějším problémem je ale řešení situací, které se odehrávají poměrně rychle v reálném čase a nelze je předem předpokládat. Sledování dopravní situace a bezpečná jízda je záležitostí, která vyžaduje u člověka postřeh, zkušenosti a předvídatost, a dá se říci, že je téměř uměním. A je uměním, kterému se musí vyrovnat i počítač. A nejen se mu vyrovnat.

Jak již bylo v minulosti dokázáno, počítač dokáže dělat některé věci lépe, než člověk. Dokáže například extrémně rychle počítat třeba diferenciální rovnice a předat výsledek s téměř nulovou pravděpodobností chyby, pokud je správně naprogramován. A stejně tak dokáže sledovat dopravní situaci v extrémně malých časových jednotkách (například zařízení lidar dokáže vytvořit více, než jeden milion snímků za sekundu). Počítač dokáže zmapovat nepohyblivé i pohyblivé objekty ve svém okolí a zároveň vyhodnotit jejich rychlost. Srovnáním s rychlostí svého vlastního pohybu dokáže velmi rychle vyhodnotit všechna potenciální nebezpečí a okamžitě přizpůsobit rychlost vozidla. Znamená to například, že pokud se z vedlejší silnice blíží automobil příliš vysokou rychlostí a mohlo by dojít k případné kolizi, dokáže okamžitě zareagovat například snížením nebo naopak zvýšením své vlastní rychlosti. Stejně tak dokáže zareagovat na předjíždějícího motorkáře nebo detekovat chodce poblíž vozovky. Všem těmto faktorům může být program přizpůsobený. Počítač tedy dokáže nejen velmi dobře vyhodnotit dopravní situaci, ale dokáže na základě toho také předvídat. A rozhodně mnohem efektivněji a nesrovnatelně rychleji, než to dokáže člověk.



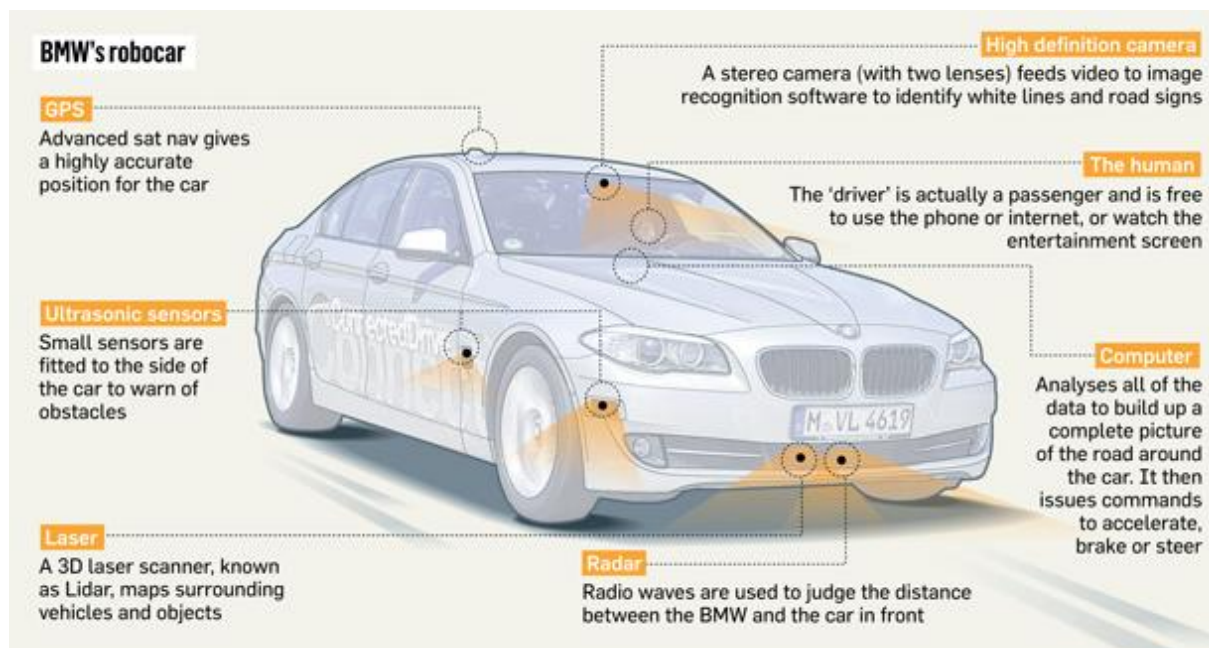
Obrázek 4 Snímání okolí pomocí různých typů senzorů [33]

Obrázek výše popisuje jednotlivé sféry, kterými vozidlo snímá okolí. Kombinace těchto čidel je pouze příkladem a liší se podle jednotlivých výrobců. Zároveň se může lišit vzdálenost, kterou jsou jednotlivá čidla schopna zpracovat a na kterou jsou nastavena.

## 2.1 Princip fungování

K tomu, aby se tedy vozidlo bylo schopné pohybovat po silnicích samo, je zapotřebí několik zařízení. Jedná se většinou o zařízení, která se již v současnosti běžně používají v asistenčních systémech automobilů – tedy v systémech, které jsou vlastně jednotlivými frakcemi autonomního řízení. Při takovém řízení není možné spoléhat pouze na záznamy z jednoho zařízení, ale je nutné použít kombinaci dat z několika subsystémů, jejichž výsledným zpracováním je možné sledovat okolní prostředí kontinuálně s dostatečnou přesností a v dostatečné kvalitě. Použití více subsystémů je také kontrolou správnosti měření. Pokud by některý ze subsystémů selhal a například nezaznamenal objekt, bude tento objekt zaznamenán jiným senzorem. Takovou situaci nebo situaci, při které by se měření některého ze senzorů lišilo, je možné identifikovat jako chybu a dát vozidlu povel k nepokračování v jízdě.





Obrázek 5 autonomní systém v automobilu BMW [30]

Výše je uveden popis součástí na vozidle BMW, které se skládají z antény pro příjem signálu GPS, ultrazvukových senzorů (sonaru) k zaznamenání objektů v bezprostřední blízkosti vozidla, radaru umístěného v nárazníku vozidla k měření vzdálenosti od objektů vpředu, 3D laseru (lidaru) zabudovaného po stranách v přední části vozidla k mapování okolí, kamery s dvěma čočkami k rozeznávání svislého a vodorovného dopravního značení a počítače ke zpracování dat naměřených senzory a vydání příkazů k ovládní vozidla a nakonec je zde řidič, který je ve skutečnosti pasažérem.

## 2.2 Stereokamery

Jedním ze základních prvků, kterými vozidlo vytváří obraz prostředí, jsou stereokamery. Jsou to kamery, které fungují na podobném principu jako lidské oči. Mají dvě čočky s malou mezerou mezi sebou, takže díky překryvu obrazů je možné vytvořit 3D snímek. Z takového snímku je pak možné odečíst vzdálenosti. Softwarovým zpracováním obrazu je možné rozpoznat svislé i vodorovné dopravní značení, tedy rozpoznat bílé čáry na vozovce, semaforey a přečíst dopravní značky. Dnes se využívají takové kamery v asistenčních systémech – hlídání jízdního pruhu, sledování dopravních značek atd. Kamery pro autonomní automobil jsou rozmístěny po celém obvodu vozidla, přičemž přesnost snímání kamery je omezena jen do určité vzdálenosti. Platí, že čím dále kamera „vidí“, tím více kamer musí být použito k vytvoření kompletního obrazu v rozsahu 360°. Je to z toho důvodu, že čím je větší ohnisková vzdálenost, tím užší výřez získáváme. Používá se tedy kombinace kamer s různým dosahem. Rozlišovací vzdálenost kamer s krátkým dosahem je do třiceti metrů, u některých výrobců do šedesáti metrů. To jsou kamery, které se používají většinou na sledování bočního okolí. Kamery na sledování vpřed a vzad mají dosah sto až sto padesát metrů a kamery na sledování prostředí vpředu ve velké vzdálenosti mají dosah až 250 metrů. [3] [4]

## 2.3 Sonar

Jakýmsi pojistným senzorem autonomního vozidla je sonar. Ten vysílá ultrazvukové vlny a přijímá zpět odražený signál. Sonar funguje spolehlivě zpravidla do vzdálenosti šesti metrů a slouží k detekci bezprostřední překážky. V situacích, kdy jedoucímu vozidlu náhle do cesty například vběhne dítě, je nezbytná okamžitá detekce objektu a následná reakce – tedy přinejmenším aktivace brzd. Reakční doba řidiče je poměrně dlouhá a vozidlo za tu dobu ujede velkou vzdálenost. K této době se pak připojují další časy, jako je čas prodlevy brzd a doba náběhu brzdy, a teprve poté dojde k plnému brzdění. Doba reakce se prodlužuje u řidičů s věkem. U autonomního vozidla je však možné tuto dobu minimalizovat. Senzomotorická reakce je nahrazena reakcí stroje a doba nutná k zaznamenání dítěte a vyhodnocení situace je zkrácena zpracováním procesorem. [3]

K detekci objektů, které se náhle objeví před vozidlem, slouží tedy ultrazvuk. Výsledky čtení sonaru dají podnět k úhybnému manévru, aktivaci brzd a předepnutí bezpečnostních pásů. Je to senzor, který slouží pro případ nouze a nebo při parkování. Ostatně již v současné době je možné se s takovým zařízením běžně setkat u parkovacích senzorů automobilů.

## 2.4 Radar

S radarem je možné se běžně setkat v rámci provozu na dopravních komunikacích a využívá se jako zařízení k měření rychlosti pohybujících se objektů. Stejnou funkci zastává i v autonomním vozidle, tedy měří rychlost a vzdálenost od objektů v okolí vozidla. Takové měření je přesnější než to, které je možné získat z kamer. Radary jsou zamontované v nárazníku vozidla a jejich okamžité měření je podnětem pro ovládání akcelerace a brzd vozidla. Podobným systémem, dnes již běžně používaným, je adaptivní tempomat. Příkladem je, že pokud vozidlo jede po silnici za jiným vozidlem, je rychlost vozidla uzpůsobena rychlosti automobilu vpředu tak, aby vozidla od sebe udržovala bezpečnou vzdálenost. [3] [4]

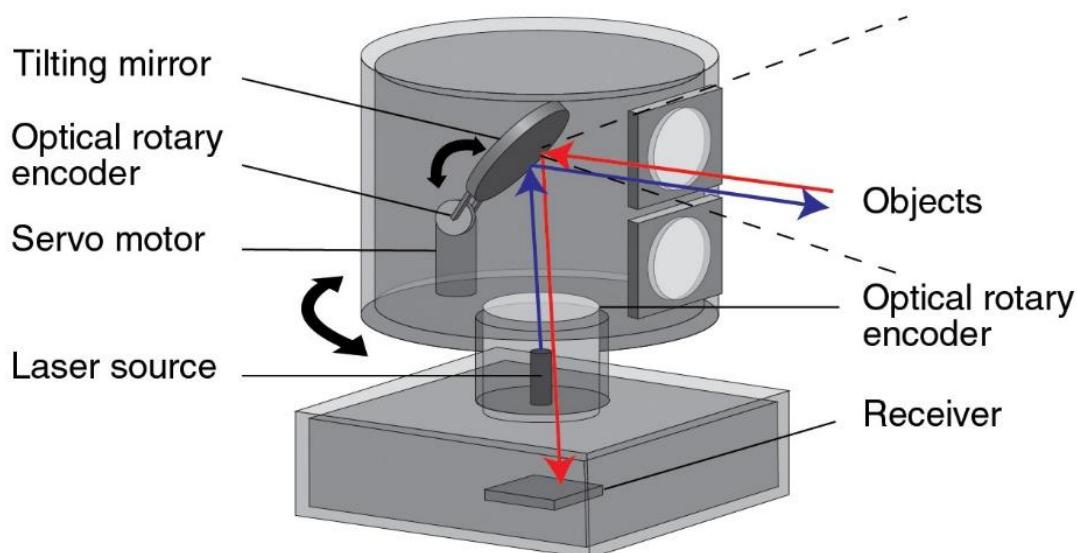
## 2.5 Lidar

Významnou roli mezi senzory hraje lidar, což je laserový snímač. Dokáže vytvořit až 1,3 milionu snímků za sekundu. Lidar je velmi přesný do vzdálenosti sta metrů a svojí přesností převyšuje ostatní používané technologie. Funguje na principu měření odrazu laserových paprsků, ze kterého je pak možné vyčíst přesné vzdálenosti jednotlivých objektů a vytvořit dokonalou mapu prostředí. Existují dva typy laserových snímačů. [27]

### 2.5.1 Otočný lidar

Je to otočný laserový snímač připevněný ke střeše vozidla, který snímá prostředí v rozsahu 360°. Díky jeho poloze na střeše vozidla je zaručen dostatečný rozhled ve všech směrech. Princip fungování je zřejmý z obrázku Obrázek 6. Zdroj laserového paprsku je pevně připevněn. Ten vysílá paprsek na zrcátko, které je upevněno v ochranné skříni. Tato skříň je poháněna servomotorem a otáčí se dokola. Od zrcadla odražený paprsek projde čočkou ven ze skříně a po odrazu od okolního prostředí se stejnou cestou vrátí zpět. Zrcátko ho přesměruje na přijímač, který získaná data předá k dalšímu zpracování. Rychlost otáčení je dostatečně

vysoká k vytvoření celistvého záznamu. Výhodou je použití pouze jednoho zdroje laserového paprsku a jednoho přijímače. Nevýhodou je vzhled vozidla a další nevýhody jako aerodynamika. Vozidlo s připevněným lidarem je na obrázku Obrázek 7. [3]



Obrázek 6 Princip fungování otočného lidaru [27]

### 2.5.2 Pevný 3D scanner

Tento snímač se pravděpodobně více přibližuje sériovému provedení. Funguje na stejném principu, ale není otočný a není zabudován na střeše vozidla. Na rozdíl od otočného lidaru se tento skládá z několika jednotlivých zařízení, z nichž každé obsahuje laserový zdroj a laserový přijímač. Je to tedy několik laserů rozmístěných po obvodu vozidla a zabudovaných v karoserii. Výhodou takového systému je, že je pevně umístěn v karoserii a nenarušuje vzhled vozidla. Nevýhodou je větší složitost, protože obraz není vytvářen jedním zařízením, ale je skládán z dat jednotlivých senzorů po obvodu vozidla, což je náročnější na softwarové zpracování. V České Republice jsou takové senzory vyvíjeny firmou Valeo.

### 2.5.3 Nevýhody laserových snímačů

Laserové snímače, ačkoliv jsou dosti přesné a může se zdát, že jsou trumfem nad ostatními technologiemi, tak mají také své nevýhody. Kromě problémů popsanych v části 2.6 hrozí v případě většího rozšíření autonomních vozidel riziko interference mezi jednotlivými vozidly. Lidary by se mohly navzájem ovlivňovat, pokud by vysílaly laserové paprsky stejnou frekvencí, a zkreslovat zaznamenaný obraz.

### 2.5.4 Použití lidaru

Lidar je i přes své výhody zařízení, které není nutné k provozu autonomního vozidla. Společnost Tesla Lidar ve svých vozech nepoužívá. Automobil je schopný autonomního řízení i bez něj. Současná vozidla této společnosti však nedosahují nejvyššího stupně

autonomie. V případě nejvyššího stupně autonomie však není cílem pouze to, aby automobil fungoval, ale aby fungoval bezchybně a aby se na něj řidič (tedy spíše pasažér) mohl spolehnout bez starostí. V tomto případě by systém senzorů musel být dokonalý a byla by zřejmě vhodná kombinace právě s laserovým senzorem, což je systém, který používá u svých vozidel například společnost Google.



Obrázek 7 Google-auto s připevněným otočným lidarem na střeše [28]

## 2.6 Porovnání vhodnosti senzorů autonomních vozidel

Je nutné říci, že i když výše popsané senzory dělají dojem dokonalých součástí, tak některé z nich mají různá úskalí, která je potřeba vyřešit k tomu, aby systém fungoval za všech podmínek. Jedním z hlavních problémů je optika vozidla – tedy stereokamery a lidar. Tato zařízení mohou podávat zkreslené informace – například mohou zaznamenat oblak prachu nebo sněhu jako objekt, což může způsobit velké obtíže. Proto je nutná kombinace s radarem, který dokáže rozlišit hmotné objekty od nehmotných. Dále jsou optická zařízení velmi náročná na údržbu, protože se nesmí zašpinit nebo poškrábat. Zároveň nesmí být orosená, zamlžená nebo zamrzlá. To vše může zhoršit kvalitu záznamu a způsobit klamné vyhodnocení údajů. To jsou problémy, které je ještě nutné dořešit, protože mohou výrazně ovlivnit spolehlivost systému autonomního řízení.



Obrázek 8 Pokrytí okolního prostředí pomocí senzorů na vozidle Tesla [4]

Obrázek 8 ukazuje rozmístění jednotlivých senzorů na vozidle Tesla. Pro bezprostřední okolí se používá ultrazvuk, pro měření objektů vpředu radar a pro snímání celkového okolí kamery s různým dosahem rozmístěné po obvodu vozidla.

### 3. Důvody omezování vlivu lidského faktoru na pohyb vozidla

Zde jsou uvedeny důvody, principy a statistické údaje, ze kterých je patrný velmi značný dopad autonomních vozidel na bezpečnost provozu. Je vysvětleno, proč je tomu tak, je popsána důležitost bezpečnosti silničního provozu, dále faktory, které do ní vstupují, a problém lidského faktoru. Důležitost omezení lidského faktoru však nezakrývá, že by zvýšení bezpečnosti bylo jedinou výhodou autonomních vozidel. Zavádění autonomie vozidel probíhá i z dalších důvodů plynoucích z výhod, která tato vozidla nabízejí. Tyto důvody, výhody a možnosti jsou popsány níže od části 3.2

#### 3.1 Bezpečnost provozu na silničních komunikacích

Tato kapitola je po krátké předmluvě doplněna statistickými údaji, které jsou aktuální, a i pro člověka, který se bezpečností silniční dopravy nezabývá, jsou určité překvapivě špatné. Do složitého procesu, který nazýváme provoz silničních vozidel na pozemních komunikacích, vstupují tři základní faktory:

- silniční komunikace
- silniční vozidla
- lidský faktor



Obrázek 9 Příklad selhání lidského faktoru [17]

### 3.1.1 Silniční komunikace

Údržbu a výstavbu silničních komunikací zajišťují stát a jeho nižší územně správní celky podle platné legislativy. Je to záležitost investičně velice nákladná. Zde jsou určité rezervy v plnění zákonem určených povinností, ale technický stav dálkových a rychlostních komunikací odpovídá požadavkům vnitrostátního i mezinárodního provozu díky zvýšeným investicím v posledních létech.

### 3.1.2 Silniční vozidla

Velké společnosti, které vlastní a kontrolují takřka 100 % výroby silničních vozidel, jak osobních, tak nákladních, existují ve své podstatě za účelem vytváření zisku. Ten mohou vytvořit jen s výrobky, které uspějí v konkurenci na trhu, kde prvním požadavkem je vysoká míra bezpečnosti pro posádku vozidla. Technický stav vozidel, která jsou již v provozu, je zabezpečován dnes už vyspělým a zaběhnutým systémem pravidelných kontrol, který je dán legislativně. [35]

### 3.1.3 Lidský faktor

Podle dále uvedených faktů se jeví jako nejslabší strana pomyslného trojúhelníku z hlediska bezpečnosti sebe samého – lidský faktor. Procentuální vyjádření důvodů vzniku dopravních nehod je podle statistiky organizace NHTSA ve Washingtonu [36] následující:

Lidský faktor	<b>94 %</b> +/- 2,2%
Vozidlo	<b>2 %</b> +/- 0,7%
Prostředí	<b>2 %</b> +/- 1,3%
Přesně neurčitelné důvody	<b>2 %</b> +/- 1,4%

Tab. 1 Statistika důvodů vzniku dopravních nehod [36]

### 3.1.4 Nárůst intenzity a rozsahu dopravního provozu na silnicích

Selhání lidského faktoru jako hlavní příčina vzniku dopravních nehod je tedy problém zásadní. Čtyřicetitunoví giganti, kterým říkáme kamiony, se v počtu mnoha a mnoha tisíc řítí po evropských dálnicích. Skoro každé osobní vozidlo, počínaje už těmi, která jsou považována za malá, snadno dosáhne rychlosti 150 km/hod a je možné pokračovat dále ve výčtu toho, jaká technika se pohybuje na silnicích, jejíž provoz má v sobě velký potenciál pro vytváření rizikových situací.

Ročně zemřelo na silničních komunikacích celého světa v posledních pěti letech průměrně 1,3 milionu lidí, což je 3 287 každý den. [37]

Nárůst nehodovosti		
Rok	Automobilů v provozu v mil.	Počet mrtvých v tisících
1983	300	300
2000	1 000	900
2015	1 700	1 300

Tab. 2 Nárůst počtu uhynulých osob na silnicích v závislosti na počtu automobilů v provozu [37]

To jsou bohužel ztráty nejtragičtější, které jsou však doprovázeny přibližně 2,5ti násobkem těžce raněných a 6,5ti násobkem lehce raněných. Materiální ztráty se odhadují v řádu bilionů dolarů ročně. Již jenom zde uvedená fakta dokazují, že člověk tuto techniku sám nezvládá.

### 3.1.5 Limity lidských možností

#### 3.1.5.1 Smyslové vnímání

Základním zdrojem informací o dopravní situaci a o dalších okolnostech je pro řidiče smyslové vnímání. Zrakový vjem jako nejdůležitější zdroj informací ovlivňují tyto faktory:

- zraková ostrost
- velikost zorného pole
- barvocit
- schopnost prostorového vidění
- oslnování
- optické klamy
- rychlost optického postřehu
- další smyslové orgány využívané při řízení, a to sluch a hmat

Proces smyslového vjemu je zážitek složený postupně:

- z vnímání
- z uvědomění si
- z určení vztahů v soustavě vnímaných předmětů a dějů

Pro řešení situací v dopravním provozu je rychlost procesu smyslového vjemu maximálně důležitá a tvoří podklad pro jeho následné rozhodnutí. [13]

### 3.1.5.2 Psychologie řidiče a jeho reakce

Z pohledu zajištění bezpečnosti silničního provozu je možné prohlásit: Jsme schopni vyrobit téměř dokonalá vozidla, postavit takřka dokonalé silniční komunikace, vybrat jako řidiče zdravého člověka, toho dobře vycvičit v autoškole, ale stále to bude člověk - člověk, který musí být schopen v každém okamžiku, kdy řídí silniční vozidlo, učinit na základě svých smyslových vjemů a daných okolností vždy správné rozhodnutí - člověk, na kterého působí teplo, zima, únava, roční období, počasí, který má osobní starosti, rodinné a pracovní problémy, který se málo vyspal, špatně najedl nebo má citové strádání atd.

V případě každého člověka se nelze zbavit vlivu jeho psychiky na jeho rozhodování za volantem. A na tomto místě je nutné zdůraznit, že rychlost jeho rozhodnutí je maximálně důležitá pro jeho následnou reakci. Na této rychlosti pak mohou záviset lidské životy. Vliv psychiky na řízení je dále popsán v kapitole pět. [13]

### 3.1.5.3 Reakční doba řidiče při nouzovém brždění

Postup a rozdělení fází v průběhu činnosti systému „řidič – vozidlo“ při nouzovém brždění:

- optická reakce řidiče: řidič podvědomě sleduje všechny objekty v zorném poli svého zrakového vnímání a vyhodnocuje jejich vztah k předpokládané trase svého vozidla včetně eventuálních rizik. Pro vytvoření představy o náročnosti zrakového vnímání je nutné uvést:
  - a) celý proces optického vnímání probíhá při pohybu vozidla
  - b) rozsah ostrého vidění je přibližně jeden úhlový stupeň kolem osy oka
  - c) pokud se předmět zájmu ve chvíli zaregistrování nachází mimo oblast ostrého vidění, je pozorován tzv. periferním viděním s následnou delší reakční dobou
- psychická reakce řidiče: dobou psychické reakce nazýváme čas od optického zafixování rizikového objektu do počátku svalové reakce, to znamená do počátku pohybu, kterým řidič snímá nohu z akcelérátoru.
- svalová reakce řidiče: dobou svalové reakce rozumíme čas mezi koncem psychické reakce a počátkem dotyku nohy s brzdovým pedálem. Tuto dobu může ovlivnit ergonomie ovládacích prvků nebo vhodnost obuvi.



Pak následuje tzv. odezva vozidla, která se skládá ze dvou částí:

- prodleva brzd: doba od prvního dotyku nohy řidiče s pedálem do prvního vzájemného dotyku třecích částí brzdového systému
- doba náběhu maximálního brzdového účinku: čas mezi prvním dotykem třecích částí do okamžiku, kdy pneumatiky začnou díky zablokování zanechávat stopu na vozovce.

Údaje a fakta uvedená v této kapitole zdaleka nejsou všechna, která jsou už dobrým důvodem k postupnému nahrazování člověka jako řidiče vyspělými asistenčními systémy až do jeho úplného nahrazení. Jako konkrétní příklad zde nyní bude uvedeno srovnání reakce člověka při krizovém brždění a sledovacího systému, který je dnes ve výbavě všech silničních vozidel bez řidiče. [13] [35]

### 3.1.6 Srovnání člověka a systému

V této části je srovnán člověk a rychlost jeho reakce se sledovacím systémem:

- Reakční doba dobrého řidiče (součet časů trvání optické, psychické a svalové reakce) je asi 1-2 sec.
- Sledovací systém (od zaznamenání rizikového objektu do předání informace brzdovému systému) do 3 milisec. [35]

Jak je z uvedeného textu a údajů v něm obsažených zjevné, je rozdíl v rychlosti reakce nahrazující člověka v hodnotě tří řádů. V souvislosti s bržděním je zde možno uvést, že když vozidlo vybavené dříve standartním brzdovým systémem se při jen trochu intenzivnějším zabrzdění na kluzké vozovce dostane do neovladatelného smyku s rotací, tak vozidlo vybavené systémem ABS tuto situaci zvládne.



Obrázek 10 Následky dopravní nehody s nákladním vozidlem [19]

### 3.2 Úspora finančních prostředků

Odladěné systémy jsou schopny dosáhnout stylu jízdy odpovídajícímu chování nejzkušenějších řidičů. Vylučují faktory jako je nervozita, únava, vztek, obecně řečeno vylučují vliv psychiky člověka. Příkladem takového použití je níže popsáný systém iSee od Volvo Trucks. V případě plně autonomních užitkových vozidel snižují náklady na mzdy řidičů. Tyto výhody jsou více rozebrány v kapitole pět

### 3.3 Pohodlí řidiče

Asistenční systémy zvyšují pohodlí řidiče, autonomní řízení pak umožňuje věnovat se jiným činnostem nebo relaxovat. Tím se odstraňuje problém únavy z dlouhodobého řízení, systémy dokáží pracovat nepřetržitě.

### 3.4 Nové možnosti v oblasti dopravy

Plně autonomní vozidla umožňují svobodné cestování i lidem bez řidičského průkazu, tedy i nevidomým, dětem, seniorům. Umožňují svobodnou přepravu materiálu, zboží a všech osob. Odstraňují nutnost použití lidské práce, snižují náklady na mzdy a nejsou ovlivněny nutností přestávek. Kromě snahy umožnit neomezenou mobilitu lidem, kteří nejsou schopni řídit automobil, nabízí autonomní vozidla velké usnadnění práce. Měla by být schopna odvézt děti do školy, vyzvednout zboží, posloužit jako své vlastní taxi nebo umožnit věnovat se během jízdy jiným činnostem – například příprava na jednání během cesty do práce.



Obrázek 11 První jízda slepého muže autonomním vozidlem [29]

### 3.5 Marketing

Všechny stupně autonomie přicházejí s novými zajímavými trendy s řadou výše uvedených výhod. Možnosti, jak vylepšovat současná vozidla tak, aby movití zákazníci toužili po obměně vozidla, jsou omezené. Právě autonomní řízení je novinkou, která výrazně odlišuje moderní automobily od těch tradičních. Autonomní řízení rozšiřuje možnosti movitým zákazníkům toužícím po něčem extravagantním a zároveň prezentuje schopnosti firmy.

## 4. Postup omezování vlivu člověka

Snaha vytvořit autonomní automobil nevznikla náhodou. Již v počátcích automobilu byly snahy vytvořit podmínky pro řidiče co nejpříjemnější a řízení mu co nejvíce usnadnit. Například předchůdce dnešního tempomatu existoval již od vzniku automobilu. První automobily měly ruční ovládání plynu, které se nevracelo samo, ale mechanicky. Pak se začal používat nožní systém, který byl ale v mnoha případech doprovázen i pákou pro ruční nastavení, takže vozidlo mohlo udržovat rychlost samo bez řidiče. Snaha vylepšit řízení se projevovala v mnoha aspektech, ať už to byla snaha o zlepšení ergonomie, pohodlí, zjednodušení ovládání nebo snížení nutných servisních úkonů a hlavně bezpečnosti. Významným milníkem, kdy byla práce člověka usnadněna prací stroje, bylo například zavedení elektrického startéru. Řidič už nemusel použít svoji sílu k nastartování, ale práci za něj vykonal stroj. Stejně tak vynález synchronizace u převodovky. Umění řidiče vyrovnat otáčky obou hřídelů přestalo být nutností, protože tato práce byla převedena na stroj, který pomocí synchronizačních spojek vyrovnával otáčky sám. V ještě dokonalejším případě to byl vynález automatické převodovky, jejíž popularita stále roste. Pak byly ale objeveny systémy, které měly za úkol zvýšit bezpečnost odstraněním nedostatků řidiče v ovládání vozidla a zaručit ovladatelnost i v náročných situacích, kdy zručnost člověka není dostatečná. Byly to systémy jako ABS, ESP nebo ASR. Postupně začaly být tyto systémy používány i u běžně dostupných automobilů. S dalším rozvojem byly vyvinuty ještě mnohem sofistikovanější asistenční systémy, které kromě pohodlí zvyšovaly především aktivní bezpečnost. Automobily vyšší třídy jsou těmito asistenty vybaveny již běžně. Autonomní automobil je v principu jen kombinací již existujících asistenčních systémů. Rozdíl však nastává v tom, jak vysoké úrovně autonomie chceme dosáhnout. Je zásadní diference mezi automobilem, který je schopen autonomní jízdy, a automobilem, který zvládá autonomní řízení natolik, že již není nutná kontrola člověka.

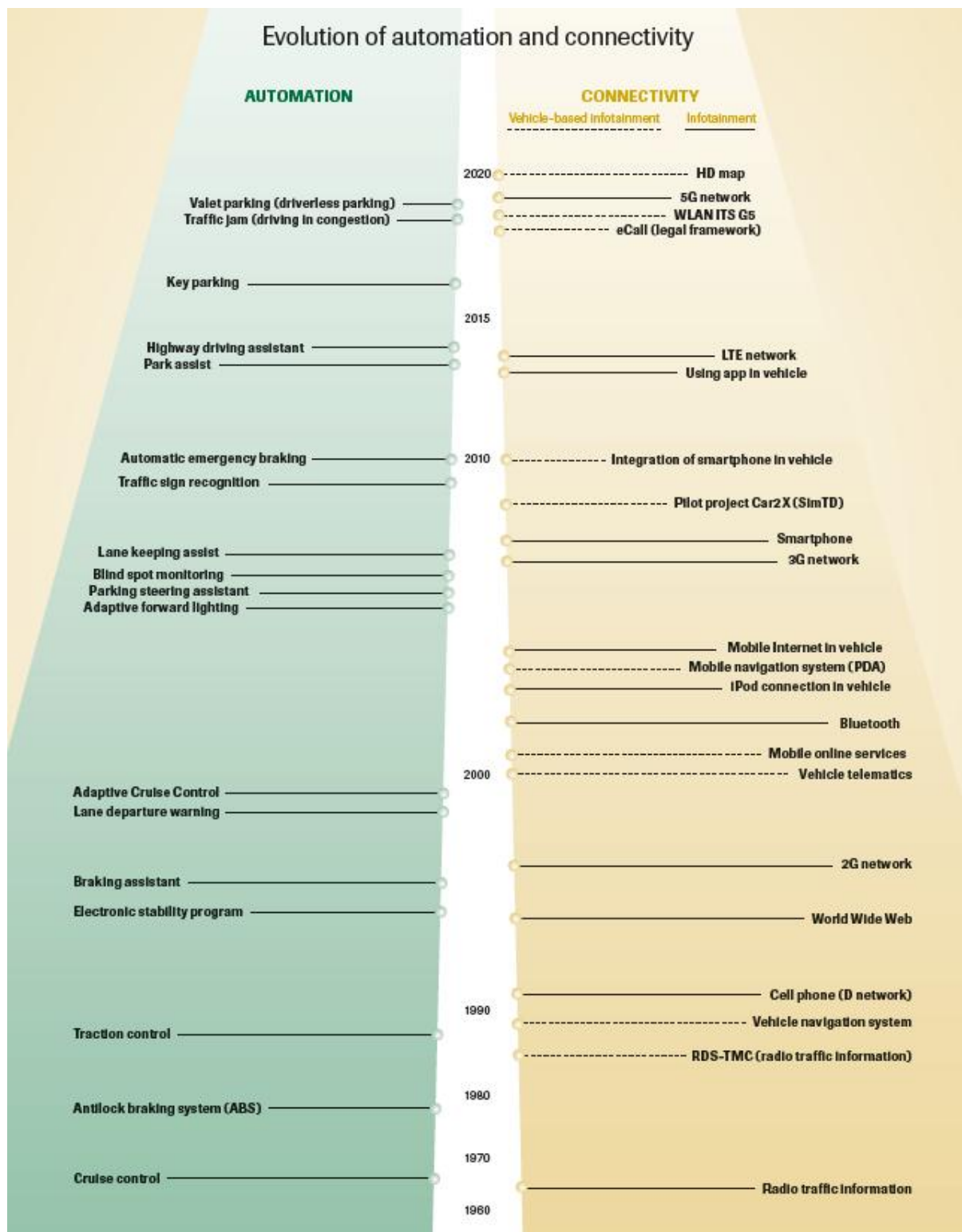
#### 4.1 Přehled a rozdělení asistenčních systémů

- Asistenční systémy pro bezpečnou jízdu (Primárním cílem těchto systémů je zvýšení aktivní bezpečnosti, přímo zasahují do ovládání vozidla):
  - Protiblokovací systém ABS
  - Protiprokluzový systém ASR
  - Elektronická stabilizace jízdy ESP
  - Elektronická distribuce brzdné síly EBV/EBC
  - Aktivní stabilizace podvozku AFS
  - Systémy pro automatické nouzové brzdění ABN
- Asistenční systémy podporující řidiče (Tyto systémy usnadňují řidičovu práci, zvyšují komfort nebo se také podílejí na zvýšení aktivní bezpečnosti):
  - Adaptivní kontrola vzdálenosti ACC
  - Virtuální zobrazovač HUD
  - Infračervené noční vidění
  - Asistenční systém udržování jízdního pruhu LDW, kontrola mrtvého úhlu
  - Parkovací asistenční systém APS
  - Navigační systém GPS
  - Aktivní světlomety
  - Systém rozpoznávání dopravních značek
  - Kontrola (a zamezení) mikrospánku
- Podélná regulace vozidla (do této kategorie patří systémy, které zasahují do ovládání akcelerace a brzd, ale nezasahují do řízení):
  - Cruise control (CC)
  - Active/Adaptive cruise control (ACC)
  - ACC Stop and go
  - iBrake, Brems – Assistent Plus
- Příčné vedení vozidla (Systémy, které neovládají brzdy ani akceleraci, ale zasahují do řízení):
  - Lane Departure Warning (LDW)
  - Lane Change Assistant (LCA)
  - Semiautonomní parkování [33]

## 4.2 Časový vývoj systémů

V této části je zachycen chronologický vývoj systémů, které byly ve vývoji automobilů zásadní a které předcházely tomu, čemu dnes říkáme autonomní řízení:

- Tempomat - již v počátku vývoje automobilu bylo používáno zařízení, které je možné považovat za předchůdce tempomatu. Nejdříve to byla jen mechanická součást držící nastavenou úroveň otevření plynu.
- Automatická převodovka – první automatická převodovka byla vyvinuta v roce 1921 v Kanadě vynálezcem Alfredem Hornerem Munro, patentována byla v roce 1923. Zpočátku využívala stlačeného vzduchu.
- ABS - systém zabraňující zablokování kol. První širší uplatnění našlo ABS v roce 1971 v automobilu Chrysler Imperial.
- ASR - traction control - první využití v roce 1971 ve vozidle Buick Riviera, systém využíval snímače otáček kol vozidla a počítačově porovnával otáčky hnaných kol s nehnanými a podle toho omezoval výkon motoru.
- ESP - elektronický stabilizační program - přerozděluje a omezuje přenášený točivý moment a zabraňuje, aby se vozidlo dostalo do smyku po nájezdu do zatáčky příliš velkou rychlostí.
- Varování o vozidle ve vedlejším pruhu – asistent vyvinutý v devadesátých letech a fungující na principu sledování okolní dopravní situace pomocí snímačů, které dokáží detekovat vozidlo jedoucí ve vedlejším pruhu.
- Adaptivní tempomat -adaptive cruise control ACC – tempomat spojený se snímačem sledujícím vzdálenost od vozidla jedoucího vpředu a upravujícím podle toho rychlost.
- Parkovací senzory – sledují vzdálenost objektů od vozidla při parkování, fungují na principu odrazu ultrazvukových signálů.
- Asistent držení jízdního pruhu – pomocí kamery jsou sledovány vodorovné čáry, počítač ovládá polohu volantu tak, aby udržel vozidlo uprostřed jízdního pruhu.
- Rozpoznávání značek – dopravní značky jsou rozpoznávány pomocí kamer, rozpoznané značky se zobrazují řidiči na displej vozidla, aby měl například informace o maximální dovolené rychlosti v daném úseku.
- Automatické nouzové brzdění – v případě detekce objektu před vozidlem a nevčasné reakce řidiče je aktivováno nouzové brzdění tak, aby nedošlo ke kolizi s objektem vpředu.
- Jízda v dopravní zácpě a automatická jízda po dálnici – asistent, který kombinuje několik výše zmíněných asistentů – přinejmenším držení jízdního pruhu a adaptivní tempomat. Vozidlo je udržováno v jízdním pruhu, a pokud je silnice volná, zrychlí na požadovanou rychlost. Pokud se vpředu nachází jiné vozidlo, zpomalí a udržuje bezpečnou vzdálenost.
- Zaparkování a jízda bez řidiče – automatické zaparkování, které již není u sériových vozidel příliš velkou novinkou, je ukázkou postupného přibližování se k autonomnímu řízení. [34]



Obrázek 12 Vývoj u osobních automobilů z hlediska automatizace a konektivity. Důležité části časové osy jsou popsány v textu výše. [5]

### 4.3 Stupně automatizace řízení

Níže uvedené schéma popisuje systém členění autonomie vozidel dle normy SAE. Škála začíná úrovní nula, nazvanou neautonomní. To jsou běžné automobily bez složitých asistenčních systémů. Následuje úroveň jedna a dva, tedy asistence řidiče a částečné autonomní řízení. Zde je již vozidlo schopno provádět některé úkony autonomního řízení, jako je například automatická akcelerace nebo brzdění. Úroveň tři je nazvaná podmíněně autonomní řízení. Takové vozidlo je schopno autonomního řízení za určitých podmínek – například jen po určitou dobu nebo jen v určitém prostředí, kde je například dobře znatelné dopravní značení. Řízení je povinen kontrolovat řidič, a pokud je k tomu vyzván, musí se chopit řízení sám a autonomní systém se vypíná. Vysoce autonomní systém má úroveň čtyři. To je systém, který opět potřebuje řidiče, podpora autonomního řízení není za každých podmínek. Tento systém se však nevypne, pokud řidič okamžitě nereaguje na výzvu k tomu, aby převzal řízení. Poslední úroveň je úroveň pět, tedy plně autonomní řízení. Tato úroveň nepotřebuje na rozdíl od všech předchozích žádného řidiče, protože podpora autonomního řízení je nepřetržitá za všech podmínek, a nepotřebuje ani řídicí kokpit pro řidiče, je možná absence volantu a pedálů. [7]

SAE úroveň	0	1	2	3	4	5	
Označení	neautonomní	asistence řidiče	částečně autonomní	podmíněně autonomní	vysoce autonomní	plně autonomní	
Řízení / akcelerace/ decelerace Monitorování prostředí Zpětná vazba Dostupnost	Nepřetržitá podpora řidiče u všech aspektů dynamických úloh	Specifický jízdní mód řízení nebo akcelerace/ decelerace realizován asistenčním systémem s ohledem na informace o jízdním prostředí	Specifický jízdní mód řízení a akcelerace/ decelerace realizován jedním nebo více asistenčními systémy s ohledem na informace o jízdním prostředí	Specifický jízdní mód realizován autonomním systémem ve všech aspektech dynamických úloh mimo stav, kdy je řidič vyzván k zásahu	Specifický jízdní mód realizován autonomním systémem ve všech aspektech dynamických úloh i v případě, že řidič náležitě nereaguje na výzvu	Nepřetržitá podpora autonomního jízdního systému za všech podmínek prostředí a podmínek na pozemní komunikaci	
	Human driver	Human driver and system	System	System	System	System	
	Řidič	Řidič	Řidič	System	System	System	
	Řidič	Řidič	Řidič	Human driver	System	System	
	n/a	některé módy řízení	některé módy řízení	některé módy řízení	některé módy řízení	veškeré módy řízení	

Obrázek 13 Schéma rozdělení stupňů automatizace dle SAE [7]

## 4.4 Aktuální situace dosažené automatizace řízení

### 4.4.1 BMW

Aktuální stav: úroveň autonomního řízení 2

BMW v současné době nabízí částečně autonomní řízení v podobě výbavy Driving Assistant Plus. Rychlost vozidla je udržována automaticky, zastavení a rozjezd vozidla je uskutečněn pomocí funkce Stop & Go, udržování v jízdním pruhu taktéž pomocí asistentu. Znamená to, že vůz je schopný jet po dálnici předem nastavenou rychlostí, ovládání volantu je automatické, při zhoustnutí provozu vůz zpomalí a udržuje bezpečnou vzdálenost od vpředu jedoucího vozidla, přidávání plynu a brzdění je automatické. Kromě těchto funkcí nabízí bezpečnostní prvky jako je varování před neúmyslným opuštěním jízdního pruhu, ochrana proti boční kolizi nebo aktivace brzd bránící střetu s chodcem. [8]

Budoucí stav: úroveň autonomního řízení 5. Plánovaný vstup do sériové výroby 2021.

Vývoj vozidla s autonomním řízením na úrovni 5 je zatím ve fázi vývoje. Společnost BMW na vývoji spolupracuje se společnostmi Intel a Mobileye. Následujícím krokem v krátké budoucnosti je plánovaná předváděcí autonomní jízda s vysoce automatizovaným prototypem HAP (Highly Automated Prototype). [8]

Postupem následujícím v příštích letech je vyladění systému zohledňujícím specifika provozu ve všech zemích světa. Automobil je nutné naučit specifikům provozu v jednotlivých částech světa. Ty se mohou významně lišit – od spořádaného jízdního provozu ve střední Evropě po chaotický a nevyzpytatelný provoz v asijských zemích. V současné době proto dle tvrzení společnosti BMW probíhají jízdní zkoušky v Číně tak, aby systém autonomního řízení byl přizpůsobený i místním poměrům. [8]

### 4.4.2 Tesla



Obrázek 14 Automobil Tesla vybavený hardwarem pro autonomní řízení [4]



Tesla v současnosti nabízí pokročilého autopilota (úroveň 3/4). To znamená, že auto dokáže samo řídit, ale zodpovědnost za řízení má řidič. Aby bylo zajištěno, že řidič nebude nechávat řízení na Tesle, auto si vynutí jeho pozornost tím, že po určité době vydá několik varování a poté autopilota vypne. Novinkou pak bude nový systém, který umožní plně autonomní řízení (úroveň 5). Současné modely Tesla jsou již vybaveny potřebným hardwarem pro plně autonomní řízení (tedy mají vše potřebné k aktivaci systému), pouze zatím není dostupný patřičný software. Je to z toho důvodu, že systém ještě není odzkoušen a není vyřešena legislativa. Zatím bude systém fungovat pouze ve sledovacím módu – to znamená, že bude pouze sbírat a vyhodnocovat data z jízdy a nebude nikterak působit na řízení. Z těchto dat, která nasbírají běžní uživatelé, pak bude možné vytvářet a v pasivním režimu testovat software, který pak umožní plně autonomní řízení.

Systém automobilu Tesla je složen z osmi kamer, jednoho radaru, jednoho sonaru a počítače, který vstupní data zpracovává a vyhodnocuje pomocí neuronové sítě. Systém osmi kamer zaručuje mapování prostoru v rozsahu 360°, které je nutné pro plně autonomní řízení

Současná verze stávajícího autopilota (úroveň 3/4) umožňuje například automatickou změnu jízdního pruhu, pokud řidič dá znamení ke změně směru jízdy. Dále umožňuje plně automatické paralelní parkování. Mapový podklad byl vytvořen samotnou společností Tesla. Flotila automobilů Tesla je vzájemně síťově propojena, takže softwarové změny je možné aplikovat na celou flotilu naráz. [4]



Obrázek 15 Automobil Tesla v autonomním režimu [4]

#### 4.4.3 Google

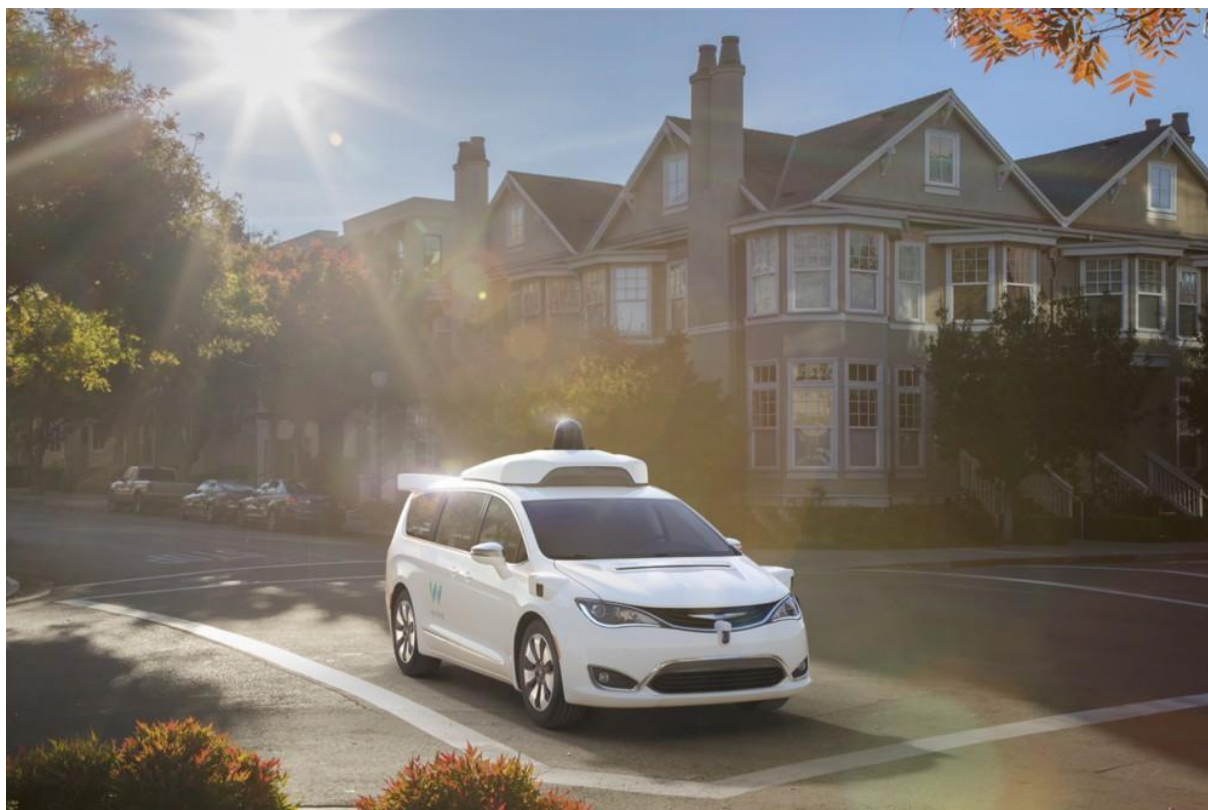
Společnost Google svým prototypem míří rovnou na úroveň pět, tedy na plně autonomní řízení. Její projekt je nazvaný Waymo, tedy zkratka z way of mobility, way of movements. Tento projekt je ukázkou cíle, kam se mají vozidla budoucnosti dostat, tedy k plně autonomnímu řízení, díky jemuž je možné plně otevřít všechny výhody a nové

možnosti, které tato auta nabízí. Jinak řečeno všechny důvody pro provoz autonomních vozidel, které jsou uvedeny v této práci, je možné získat, využít a dát jim reálnou podobu, protože nejsou okleštěny omezeními nižších úrovní autonomie. [32]

Waymo – dříve Google car – nemá volant ani pedály, nepotřebuje řidiče. Může tedy být autem pro nevidomé a podobně. Stav vývoje je možné usuzovat podle Googlem prohlášeného počtu najetých zkušebních autonomních kilometrů, který údajně činí přes dva miliony mil po silnicích Spojených států. Období spuštění vozidla do sériové výroby nelze odhadnout mimo jiné také z důvodů nejasností v současné legislativě. Předpoklad je však pozitivní z hlediska rychlosti, jakou jsou v USA schvalovány nové zákony. [32]



Obrázek 16 Waymo - prototyp plně autonomního vozu společnosti Google [32]



Obrázek 17 Novinka roku 2017 - plně autonomní Chrysler Pacific vybavený technologií z předchozího vozidla z projektu Waymo [32]

## 5 Osobní x nákladní

Přestože celý vývoj automatizovaného řízení silničního vozidla probíhal od prvních počátků na osobních vozidlech, lze s jistotou předpokládat, že výsledky vývoje budou postupně, a nejen s velkým úspěchem, ale s vysokým ekonomickým efektem využívány v nákladní dopravě. Je celkem pochopitelné, že všechny systémy využívané k provozu roboauta se musely mnohokrát vyzkoušet za jízdy v různých provozních podmínkách. Provádět všechny tyto experimenty s nákladním vozidlem je nepředstavitelné. Naopak namontovat na nákladní vozidlo spolehlivě vyzkoušený a pro větší hmotnost a rozměry upravený subsystém je již reálné, účelné, a navíc vysoce efektivní, viz brzdový protiblokovací systém. Ten, jak známo, zabrání zablokování kol při brždění na kluzkém povrchu a tím umožňuje trvale směrovou ovladatelnost vozidla. Je obrovský rozdíl v napáchaných škodách, které způsobí neovladatelných cca 2 000 kg osobního sedanu nebo 40 000 kg neovladatelného kamionu. Navíc v porovnání s osobní dopravou najezdí tato auta v průměru za rok zhruba 7x více kilometrů, než osobní.

Výhody, které přináší autonomní vozidla, jsou u nákladní dopravy mnohem výraznější. U osobních automobilů jsou některé výhody autonomních vozidel zanedbatelné, zatímco u nákladních jsou tyto výhody velmi důležité. U osobních vozidel byly důvody omezování vlivu člověka zřejmé a bylo to zejména zvýšení bezpečnosti. Pro pasažéry je tento aspekt důležitý. Další velmi zásadní výhodou, kterou tato vozidla pasažérům přináší, je možnost věnovat se při jízdě jiným činnostem než řízení, což přináší úsporu času. V osobním

sektoru však poněkud mizí finanční úspora například šetřením paliva, protože v poměru s pořizovací cenou se tato úspora vytrácí. Naopak finanční úspora je zcela zásadní při použití těchto vozidel v podnikatelské sféře.

## 5.1 Porovnání principů

Princip využití systémů potřebných k ovládní vozidla a pro jeho bezpečný pohyb v silničním provozu je velmi podobný jako u osobní dopravy. Orientace pomocí globální navigace, využití sledovacích snímačů a vyhodnocovací hardware i software jsou v podstatě stejné. Navíc velmi vhodné je zde využití 3D mapy. Díky znalosti výškového reliéfu terénu mohou vozidla velmi efektivně reagovat právě na změnu terénu stoupáním a klesáním tím, že mohou tuto změnu předvídat. Příkladem takového využití je třeba akcelerace vozidla před stoupáním nebo včasné nasazení pomocných brzdících systémů před dlouhým klesáním.

## 5.2 Porovnání cílů osobní a nákladní dopravy

Některé cíle jsou sice podobné, ale některé se zásadně liší. Rozdíl je v účelu a zaměření jednotlivých cílů. Jestliže si jako jeden z cílů pro roboauto vytkneme osvobodit člověka od povinnosti sledovat silniční provoz a věnovat se místo řízení svého osobního vozidla jiné, pro něho příjemnější činnosti, tak řidiče nákladáku zbavíme smyslu jeho práce. Jestliže autonomní vozidlo umožní mnoha lidem se zdravotním hendikepem, lidem příliš mladým a příliš starým, se bez problémů dopravit kamkoliv bez cizí pomoci, tak jeho nákladní verzi je třeba již v současné době nutně chápat jako součást vysoce produktivních výrobních systémů, s kterými již dnes počítají projektanti výrobních procesů. V jejich kalkulacích se jedná o manipulační prostředek na trochu větší vzdálenosti. Proto také z tohoto pohledu téma této bakalářské práce zpracovávané na Oddělení dopravní a manipulační techniky Katedry konstruování strojů není vůbec futuristické.

### 5.2.1 Bezpečnost

Vliv provozu autonomních vozidel na bezpečnost silničního provozu je v každém případě nejvíce důležitý. Při nehodě nákladního automobilu s osobním je ohrožena posádka osobního vozu nepoměrně více. Nákladní automobil kvůli své vysoké hmotnosti a velké hybnosti dokáže způsobit škody jako několik osobních vozů najednou. Právě zde hrají roli schopnosti řidičů. V praxi jsou však tyto potřebné schopnosti snižovány mnoha okolnostmi, které nelze opomenout ani vyloučit. Zdlouhavé monotónní trasy profesionálních řidičů snižují výrazně jejich pozornost, snadno se může projevit únava nebo dokonce smrtelně nebezpečný mikro spánek. Zdlouhavé předjíždění se kamionů navzájem je také ohrožujícím aspektem. Toto předjíždění má minimální vliv na časovou úsporu a je zcela zanedbatelné ve srovnání s časovou úsporou autonomních aut. Výhody roboaut pro zvýšení bezpečnosti jsou tedy v odstranění těchto problémů, zabránění tomu, že řidič usne, že je ovlivněn únavou a následnou ztrátou pozornosti. Elektronické systémy zároveň eliminují všechny psychické a sociální problémy člověka a zamezí jeho zbytečným riskantním manévřům. [5]

## 5.2.2 Dopad na životní prostředí

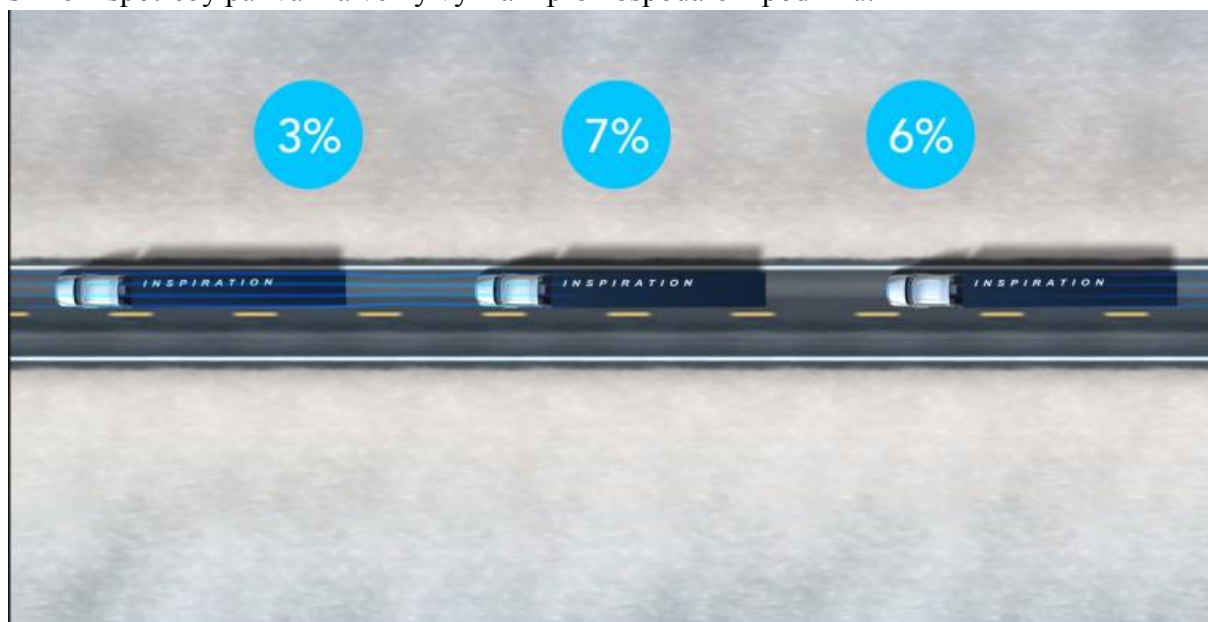
Autonomní vozidla mají pozitivní dopad na životní prostředí už vlivem snížení spotřeby paliva, následným zvýšením efektivity provozu a omezením počtu havárií, při kterých dochází k úniku škodlivých látek. Při velkých objemech motorů nákladních vozidel a vysokých výkonech, kterými disponují, jsou možnosti úspor paliva cestou dokonalejšího spalování reálné. Optimalizace spalovacího procesu, která vychází ze znalosti trasy, kdy využití výkonu je odvozováno ze znalosti odchylek od přímého směru, a především pak od výškového charakteru s potřebným předstihem pro efektivní využití hybnosti vozidla, snižuje spotřebu paliva a tedy i emise naprosto jednoznačně. [5]

## 5.2.3 Úspora nákladů

Je to velmi široký pojem. Budeme-li se zabývat náklady na provoz jednoho nákladního vozidla, je nutné ještě rozlišit, k jakému účelu bude využíváno a v jakých provozních podmínkách bude pracovat. U roboauta se už nemusíme zabývat otázkou, kdo jej bude řídit. Předpokládáme, že vyspělá elektronika. Z předchozího je ale zřejmé, že je pořízeno za nějakým účelem a za nějakou cenu. Jednoduše řečeno, bude si na sebe muset vydělat, zaplatit investici vloženou do jeho nákupu a pokrýt průběžné náklady na svůj provoz. Nejprve je tedy nutné investovat do nákupu robovozidla a není nutné zakrývat, že to bude zpočátku velká investice a využití drahého vozidla bude muset být velmi dobře připraveno z hlediska zajištění jeho produktivity.

### 5.2.3.1 Spotřeba paliva

Podnikání je hospodářská činnost za účelem vytvoření zisku.  $Zisk = Příjmy - Náklady$ . Úspora nákladů je pro podnikání zásadní, až tak významnou roli však nemusí hrát při běžném používání rodinného automobilu. Nákladní vozidla jezdí dálkové trasy, mají velké motory s velkou spotřebou a dopravci disponují většinou flotilou vozidel, takže již malé snížení spotřeby paliva má velký význam pro hospodaření podniku.



Obrázek 18 Úspora paliva může být zvýšena například možností snížení vzájemných rozestupů [31]

Autonomní řízení zajišťuje plynulost při provozu. Vozidlo je seznámeno s terénem předem díky použití 3D map a díky dokonalé znalosti reliéfu jízdní trasy může účelně přizpůsobit jízdu. Například stejně jako zkušený řidič zvýší rychlost před kopcem, a naopak ubere před vrcholem kopce nebo využije klesání k akceleraci. Vozidla mohou využívat vzájemné komunikace mezi sebou a počítač hlídá spotřebu nepřetržitě. Běžného řidiče ovlivňují faktory, které zhoršují kvalitu jeho pracovního výkonu. Příkladů může být několik. Jedním z nich je, že řidič málokdy přemýšlí nad efektivitou jízdy a většinou svoji práci provádí rutinně. Pokud řidič nemá motivaci jezdit ekonomicky, bude spotřeba paliva sice konstantní, ale nebude klesat. Jde o vhodné řazení, předvídání, využívání hybnosti vozidla k jízdě bez brzdění, správný průjezd kopcem, vyhýbání se zbytečné akceleraci. Styl jízdy může být ovlivněn psychikou. Je možné se zde inspirovat odbornými předměty z oblasti kvality, ergonomie a racionalizace práce a prohlásit, že se zde projevuje Maslowova pyramida potřeb. První musí být uspokojeny fyziologické potřeby, především dostatek spánku, jídla, tekutin, což u řidičů kamionů nemusí být vždy zaručeno, dále potřeba bezpečí - potřeba bezpečí při jízdě, jistota v zaměstnání, zázemí v rodině apod. Rovněž jsou to společenské potřeby, jako potřeba uznání a respektu, což může být při povolání řidiče kamionu v české společnosti diskutabilní faktor. Pokud nejsou splněny tyto základní požadavky, nemá řidič kamionu potřebu věnovat se řízení plně s využitím svých schopností a potenciálu. Jeho snahou je splnit zadaný úkol a ztrácí zájem o to ostatní, tedy snaží se dovézt zboží z místa A do místa B a nezajímá ho při tom, jestli jede ekonomicky, ohleduplně a racionálně. Pokud je člověk nahrazen strojem, je problém lidského faktoru částečně vyřešen, a bývalého řidiče můžeme rekvalifikovat při současném nedostatku pracovních sil na jinou pozici, která nepochybně vznikne již například při potřebě zdokonalení kvality pozemních komunikací nebo v jiném odvětví, kde si potřeba zavádění provozu autonomních vozidel vyžádá posílení pracovních sil. [5]



*Obrázek 19 popisuje Maslowovu teorii potřeb, která byla aplikována na předpoklad principů, které ovlivňují kvalitu řízení člověka a potažmo vedlejší dopady jako je spotřeba paliva [16]*

Další možností úspory paliva je vytvoření flotily za sebou jedoucích vozidel. První vozidlo má hlavní funkci a udává rychlost jízdy, další vozidla ho následují. Funguje vzájemná kooperace mezi jednotlivými vozidly, vozidla mohou být i částečně síťově propojena – to umožňuje například synchronizovanou akceleraci a brzdění. Vzdálenost rozestupů může být výrazně snížena, neboť v momentě, kdy začne brzdit první vozidlo, další vozidla ho dokáží okamžitě následovat. Úspora paliva u dvou jedoucích kamionů se v takovém případě vlivem snížení odporu vzduchu pohybuje ve výši přibližně 4%. [31] Příklad využití tohoto principu je uveden níže v části 5.3.4.

### 5.2.3.2 Náklady na mzdy

Nahrazením řidiče řídicím softwarem logicky vyplývá, že dojde ke snížení nákladů na mzdy. Obecně je známo, že mzdové náklady tvoří přibližně třetinu celkových nákladů jakékoliv činnosti. Náklady na provoz každého z vozidel budou tedy sníženy o mzdu řidiče, kterého již není třeba. Bylo by velmi naivní předpokládat, že částka, která bude takto ušetřena, navýší zisk dopravní společnosti. K provozu autonomních vozidel bude zapotřebí na rozdíl od řidičů celé řady vysoce kvalifikovaných pracovníků jako dispečerů, programátorů a techniků pro údržbu takových vozidel, na kterou běžný automechanik již stačit nebude. Tím výrazně vzrostou nároky na řízení a organizaci dopravních podniků a dopravních úseků všech ostatních firem. Lze očekávat, že sice bude jistá úspora na mzdách řidičů, ale vznikne problém, zda tyto peníze budou stačit na zaplacení daleko kvalifikovanějších zaměstnanců.

### 5.2.3.3 Zkrácení časů

Jedním ze základních problémů v autodopravě je nutnost pravidelných přestávek. Ty zvyšují čas nutný k přepravě o desítky procent. To je možné eliminovat použitím autonomních vozidel, ty nepotřebují spát a odpočívat. Zkrácení přepravních časů otevírá nové možnosti. Potraviny přepravované nákladní dopravou budou doručeny čerstvější, což umožňuje například snížení množství přidaných látek. Čas jsou finance a snížení přepravních časů může přinést velké úspory jak na straně dopravce, tak na straně zákazníka, který si přepravu objednal. Navíc je pravděpodobné, že by ke snížení přepravního času došlo i zvýšením plynulosti provozu, jak je popsáno výše a také v kapitole o systému iSee.

### 5.2.3.4 Opotřebení vozidla

Vývoj autonomních vozidel si vyžádá podstatné zvýšení kvality dopravní infrastruktury natolik, aby byla vhodná pro jejich využití. Tím není myšlena jen obvyklá kvalita a trvanlivost jejich povrchu, se kterou zápasí firmy provádějící dopravní stavby v České republice, ale jejich celková kvalita včetně dopravního značení, trvalé péče o něj a zajištění jeho funkcí. Pravidelná a vysoce kvalitní, jak zimní, tak letní, údržba silničních komunikací bude v době robotů bezpodmínečně nutná. Splnění všech těchto podmínek bude nejlepším předpokladem pro snižování opotřebení vozidla během jeho provozu. Efektivností a plynulostí provozu se také sníží opotřebení motorů. [5]

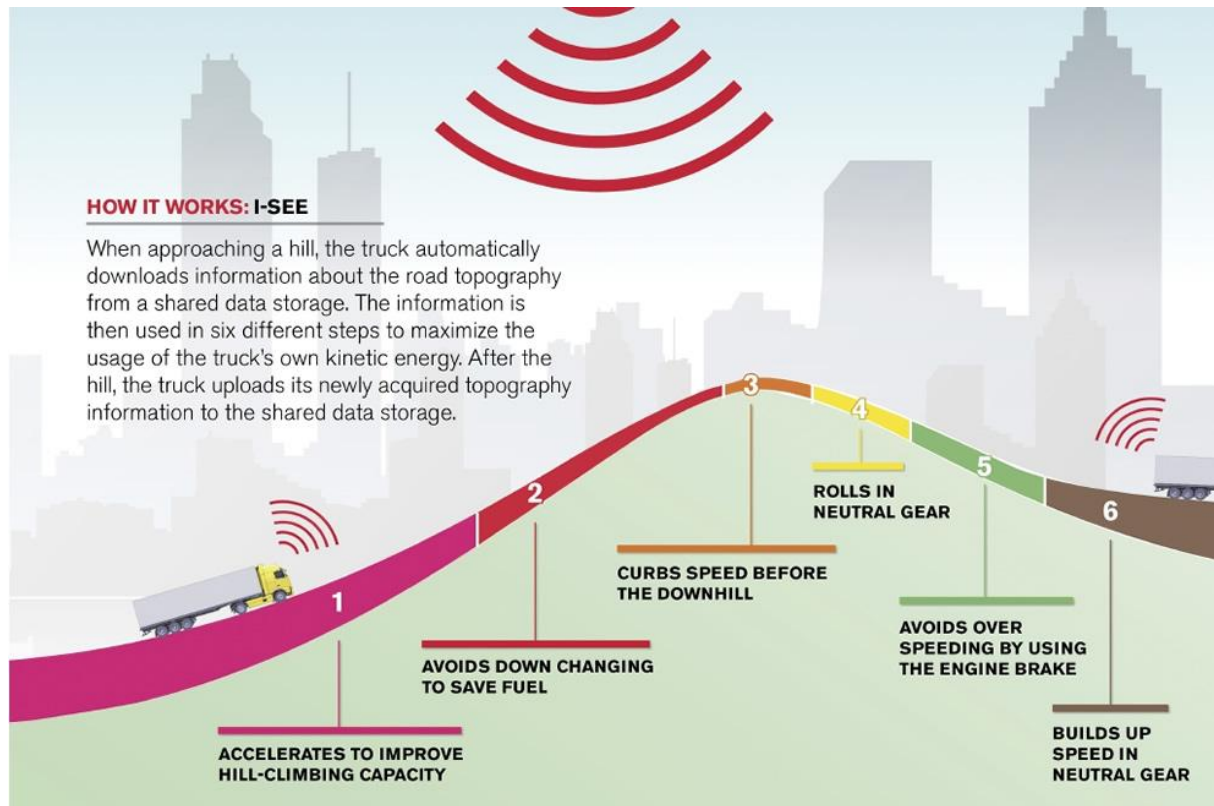
## 5.3 Současné příklady využití v nákladní dopravě

### 5.3.1 Systém iSee

Příkladem zavádění částečné autonomie v praxi je systém iSee používaný u nákladních vozidel Volvo. Tento systém přebírá v kopcích ovládání vozidla, aby zajistil nejekonomičtější průjezd kopcem. Systém se chová jako zkušený řidič. Jeho naprogramování bylo vytvořeno systematickým sběrem dat ze záznamů jízd nejlepších řidičů a doplněno dynamickými výpočty o pohybu vozidla. Tím je možné zajistit dokonalý průjezd trasy bez ohledu na zkušenosti nebo únavu řidiče. Systém trvale sbírá data o průjezdu a porovnává je se svým programem, takže je neustále vylepšován. Při přiblížení ke kopci jsou do vozidla automaticky staženy údaje o topografii vozovky a vozidlo se pak již samo postará o průjezd kopcem s nejekonomičtějším využitím kinetické energie. [15]

Fáze průjezdu kopcem:

1. Vytvoření kinetické energie - vozidlo zrychlí
2. Podřazení ve vhodný okamžik - vozidlo se snaží zachovat vyšší stupeň co nejdéle
3. Zpomalení na horizontu - před horizontem není nutné nutit vozidlo k výkonu
4. Klesání na volnoběh
5. Optimální regulace brzd a brzdění motorem - vozidlo ví, kde svah začíná a kde končí, k brzdění používá nejdříve motor
6. Příprava na další stoupání - Pokud je před vozidlem další stoupání, iSee nechá vozidlo nabrat energii z předchozího kopce [15]



Obrázek 20 popisuje funkci iSee s vyobrazením jednotlivých fází průjezdu kopcem [15]



### 5.3.2 Doručení prvního zboží nákladním vozem Volvo od společnosti Uber

Společnost Uber, respektive společnost Otto vlastněná společností Uber, vybavila konvenční nákladní automobil Volvo systémem autonomního řízení využívajícího výše popsaných senzorů, tedy kamer, pevně zabudovaných lidarů a radaru. Tento automobil 20.10.2016 doručil v režimu autonomního řízení první dovážku zboží a odvezl náklad piva po trase dlouhé 120 mil v americkém Coloradu. Paket senzorů v tomto vozidle byl vyvinut společností Otto. [12]



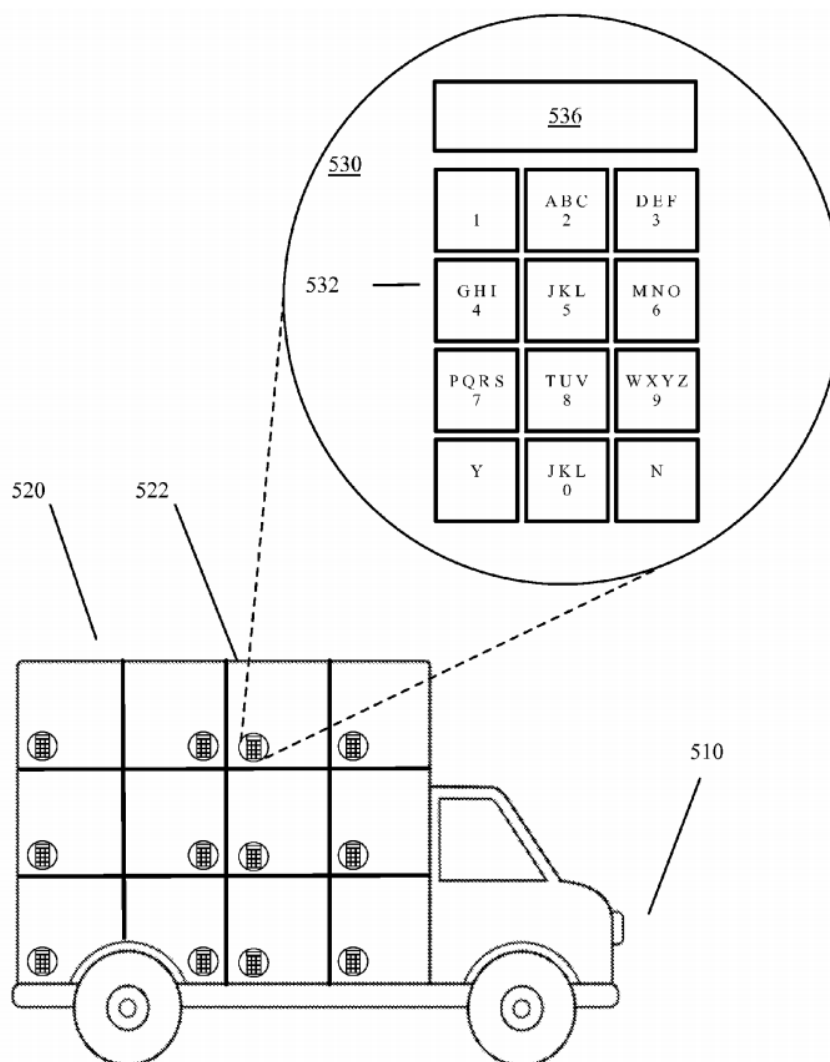
Obrázek 21 První dovážka autonomním kamionem [20]

### 5.3.3 Patent společnosti Google na dodávky bez řidiče

Společnost Google získala 9.2.2016 patent na dodávky bez řidiče, které budou doručovat objednané zboží přímo do domu zákazníka. Tyto dodávky budou vybaveny boxy a konkrétní zákazníci si budou moci otevřít box pomocí karty nebo pinu. [11]

### 5.3.4 Jízda autonomních kamionů Evropou

V dubnu 2016 projela Evropou kolona autonomních kamionů společnosti Scania s nájezdem přes dva tisíce kilometrů. Díky vzájemné komunikaci mezi vozidly byl u těchto vozidel snížen rozestup na vzdálenost, než jaká je běžná nebo nutná pro běžného řidiče, a tím snížen odpor vzduchu a snížena spotřeba pohonných hmot. To je důležitý aspekt, který by mohl patřit do skupiny faktorů, které budou v budoucnosti použity ke snížení nákladů na provoz autonomních vozidel. [14]



Obrázek 22 popisující princip fungování patentu společnosti Google. [11]

## 6 Analýza na základě předchozí rešerše

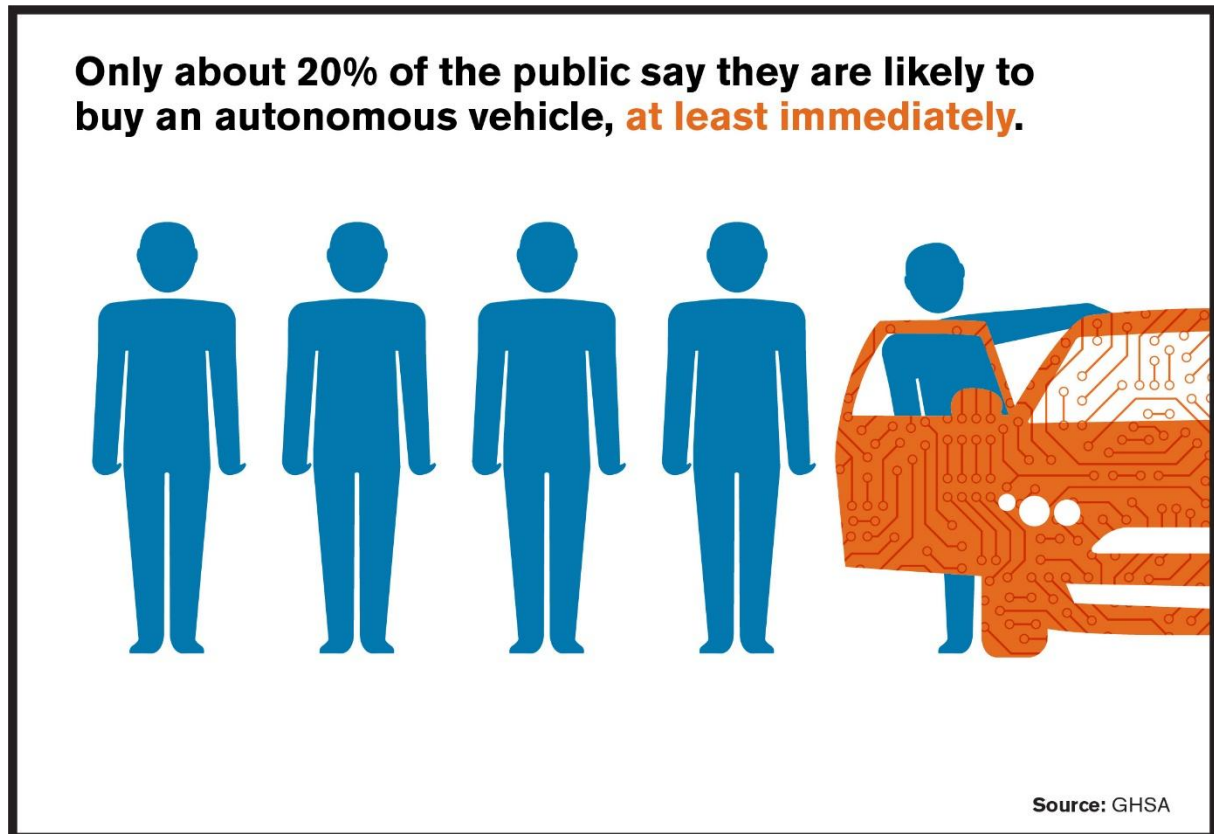
K jakým závěrům jsem dospěl na základě předchozí rešerše... Principy a systémy, které jsou nezbytné k provozu autonomního vozidla, jsou v naprosté většině již nyní dobře známy a běžně používány. Jejich využití se rozšiřuje tak, jak stoupá poptávka po dokonalejších autech (Běžně si nechceme koupit nové auto, které je výbavou chudší, než to, které vlastníme nyní). Senzory, které jsou nutné, jsou běžně používány v asistenčních systémech. Nemluvíme tedy o sci-fi z budoucnosti, ale spíše o zcela logickém vyústění současné situace. Programové zpracování podkladů, které dostaneme od senzorů, to také není příliš velkou novinkou. Autonomní vozidlo je tedy pouze zkompletování znalostí a systémů, které již známe, do jednoho celku. Vytvořit program, který dokáže řešit dopravní situace, to také není problém.

## 6.1 Poptávka po autonomních vozidlech a smysl jejich vývoje

Ve třetí kapitole jsem shromáždil již známé a navrhl vlastní důvody a výhody provozu autonomních vozidel. To, že přínos takových vozidel je značný, je z této kapitoly zřejmé. Pojdme se ale zamyslet také nad rozšířením autonomních vozidel a nad jednou ze základních otázek skeptiků i příznivců autonomního vozidla. Bude o ně tedy existovat skutečná poptávka a budeme chtít jezdit v autech, která nemůžeme sami řídit?

V první řadě je třeba říci, že takovou otázkou přeskakujeme několik fází vývoje a že ptát se na ni je téměř zbytečné. Smysl má první část otázky. V kapitole pět jsem porovnal použití autonomních vozidel v osobní a nákladní dopravě. Je zřejmé, že hlavními a prvotními zájemci budou autodopravci, kterým může použití takových vozidel přinést značnou úsporu finančních zdrojů a ušetřit plýtvání penězi a mrhání časem například nutností přestávek u řidičů. Takže ano, pokud tato vozidla skutečně budou schopna zajistit úsporu peněz, je nepochybné, že po nich bude značná poptávka.

Pokud se podíváme na druhou část otázky, tak zde je již potřeba říci, že je zbytečná. Pokud bychom udělali průzkum deseti lidí v našem okolí, mohlo by se stát (ale samozřejmě také nemuselo), že by všichni odpověděli, že si svá auta chtějí řídit sami. Tím jsme ale přeskočili vývoj o desítky let a ptali jsme se na otázku, která je nereálná. Autonomní vozidla v první fázi nemohou být záležitostí masovou. Desítky let po vynalezení helikoptéry také nikdo z nás nemá vlastní vrtulník ani heliport. U autonomních vozidel jsme zatím ve fázi vývoje a prvními zákazníky asi nebudou běžné rodiny s dětmi. V Plzni asi nebudeme za pár let běžně předjíždět autonomní vozidla, ale to ani není účelem. V oblasti soukromého vlastnictví pro osobní účely bude takové vozidlo spíše záležitostí velkých měst s infrastrukturou tomu uzpůsobenou a bude zpočátku nejspíše záležitostí pro značně zámožnou klientelu. To však neubírá takovému vozidlu na jeho důležitosti. Pokud by v Plzni jezdilo takové vozidlo jedno, budou jich ve velkoměstech jezdit desítky nebo stovky a v celosvětovém měřítku se pak bude jednat o obrovská čísla. A to, že mají výrobci ambice nabídnout taková vozidla po celém světě, o tom nemůže být pochyb. Úvahy o masovém rozšíření jsou tedy zatím zbytečné, autonomní vozidlo bude celosvětově zajímavým artiklem i v případě, že budeme v Plzni jezdit ještě desítky let s běžnými auty se spojkou a manuálními převodovkami.



Obrázek 23 Průzkum společnosti vytvořený organizací GHSA [10]

Jeden z častých argumentů proti autonomním vozidlům je, že o ně nebude zájem. Obrázek výše říká, že pouhých 20% společnosti projevuje o taková vozidla zájem. Jak výše usuzují, autonomní vozidla nebudou určena pro širokou veřejnost. Budou určena pro úzkou klientelu nejbohatších a podobně. To je potřeba vzít v úvahu. Široká veřejnost si taková auta nikdy kupovat nebude, již jen z důvodu jejich ceny a svého stereotypu. To však nepopírá důležitost těchto vozidel.

## 6.2 Problémy autonomních vozidel

Důležitá otázka, která by mohla zaznít po vytvoření této práce, je to, jak daleko se zatím dostal vývoj autonomních vozidel a jaké problémy je ještě potřeba vyřešit. Cesta k autonomním vozidlům není zcela přímočará a existují záležitosti, kterými je ještě potřeba se zabývat.

### 6.2.1 Bezpečnost

V kapitole tři jsem popsal zásadní důležitost autonomních vozidel na bezpečnost provozu a výsledek je zřejmý. Pokud se však bavíme o bezpečnosti, vyvstává jedna důležitá otázka a to je problém zabezpečení. Vše, co je připojeno k síti, je možné „hacknout“. Již jen upgrade systémů bude realizován síťově, což se u společnosti Tesla již děje. Tyto automobily jsou vybaveny hardwarem pro autonomní řízení (tedy senzory, popsanými v kapitole dva, a podobně) a software autonomního řízení je možné dokoupit a nahrát na dálku. Pravděpodobně bude tedy vždy existovat nějaký způsob, jak se nabourat do systémů aut a převzít nad nimi

kontrolu. A sedět v autě bez pedálů a bez volantu, které pasažéry odváží neznámo kam, to asi není příjemný pocit. Znamená to tedy, že roboauto může být teoreticky použito také jako zbraň. Příkladem je například hackerský útok z července 2015, kdy se skupinka dvou programátorů (tzv. bílých hackerů) nabourala do elektroniky automobilu a převzala řízení. Dokázali vypínat a zapínat motor, ovládat akceleraci a dokonce volant, takže dovolili vozidlu prudké zatáčení ve vysoké rychlosti.

Podobná situace je však i u letadel. I ta jsou schopna robopilotáže a předpokládám, že je možné se nabourat do jejich systému. To se však doposud nestávalo, a pokud prozatím došlo k únosu nějakého letadla, tak se používaly primitivnější způsoby přímého únosu, nikoliv softwarového napadení. Pokud někdo bude chtít spáchat zločin, tak existuje mnoho způsobů a nemusí se k tomu zrovna povolávat tým zkušených programátorů. Problém zabezpečení však existuje a je potřeba nebrat ho na lehkou váhu. Možnost stoprocentního zabezpečení neexistuje, existují však způsoby, jak možnost hackerského útoku zkomplikovat, a to je záležitost, která nesmí být výrobcí autonomních vozidel podceněna.

### 6.2.2 Legislativa

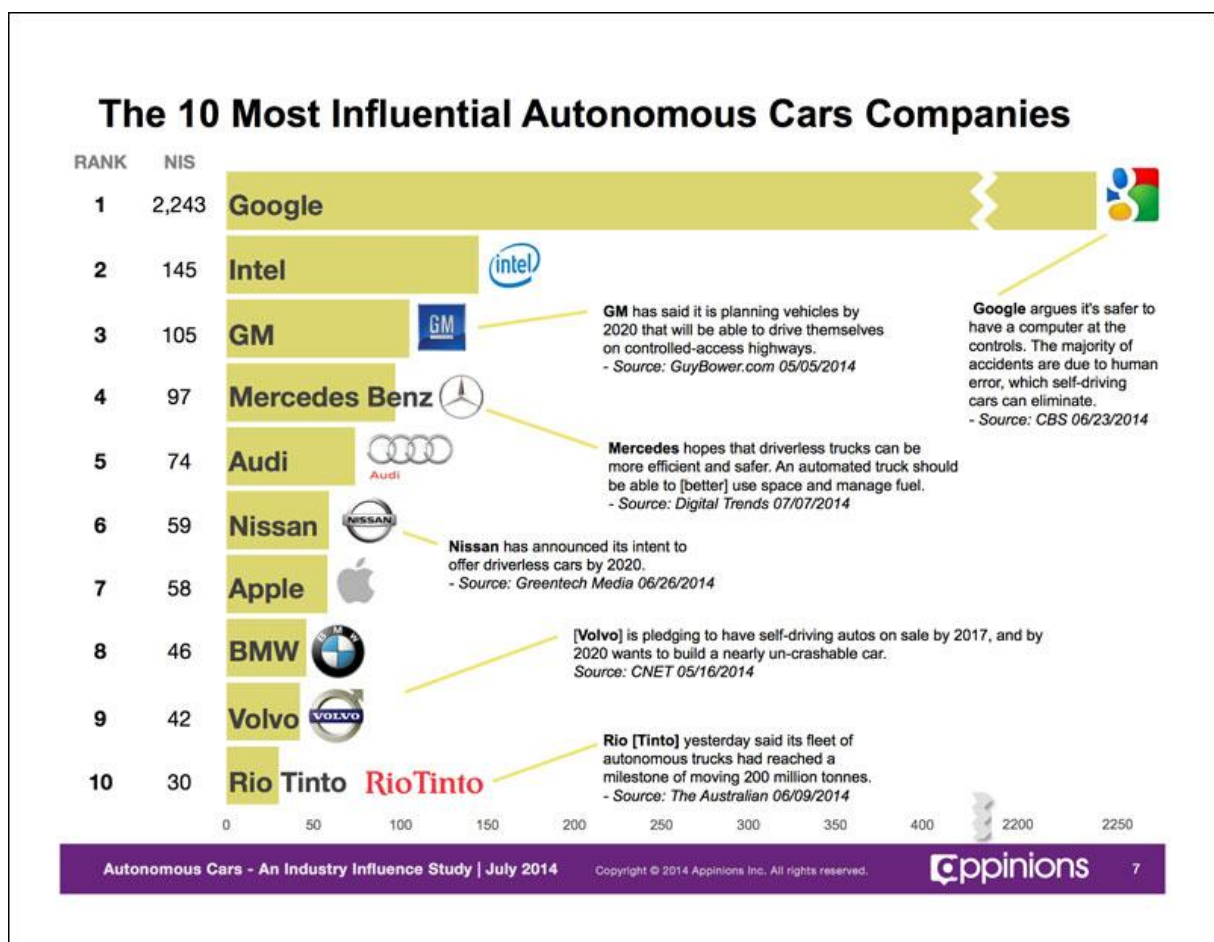
Dalším problémem, který souvisí s provozem autonomních vozidel, je legislativa. Kdo v případě nehody ponese odpovědnost. Zdali to bude výrobce? Jednou ze záležitostí je vůbec schválení takových vozidel pro provoz. Přestože Spojené státy jsou autonomním vozidlům otevřenější, v Evropě je to spíše dlouhodobý proces. Řešení pro následující roky vidím v omezení autonomie na stupeň čtyři dle SAE a požadavku na nutnost kontroly takového vozidla řidičem, který zároveň ponese odpovědnost, pokud by systém selhal. Takové řešení je v rámci dosud platné legislativy a umožňuje vychytávat nedostatky a připravovat plynule nástup plně autonomních vozidel.

### 6.3 Etické principy

Velmi diskutovanou záležitostí je požadavek na etiku vozidla. Představme si krizovou situaci, kdy je nevyhnutelná kolize a vozidlo má na výběr dvě možnosti, jestli například srazit dítě nebo starého muže. Otázka zní, jak bude v takových situacích automobil naprogramován a jak se tedy bude muset rozhodnout, co je správné. Je to jedna z dosud nezodpovězených otázek. Odpověď na ni je jednoduchá, protože žádné rozhodnutí není správné. Úkolem vozidla je eliminovat kolize a co nejvíce jim předcházet. Požadavek na takovou etiku vozidla je nesmysl. Lidský život má právně i morálně naprosto stejnou hodnotu a nelze říci, jestli má větší hodnotu život dítěte nebo život starce. Ani není žádoucí vytvářet tak komplikovaný program, který by musel uvažovat takové scénáře. Místo toho je důležitější bavit se o uspořávaných životech díky vysoké aktivní bezpečnosti těchto aut. Dokonalost systému musí být v jeho spolehlivosti, nikoliv v řešení situací, na které není možné určit odpověď, a o kterých nedokáže rozhodnout ani sám člověk a jedná při nich intuitivně. Při vytváření této práce jsem se potkával s podobnými otázkami velmi často a toto je tedy má odpověď na základě znalostí principu fungování, kterých jsem během toho nabyl.

## 6.4 Důležitost autonomních vozidel

V této rešerši byly zdůrazněny důležité aspekty a výhody autonomních vozidel, jak při použití v soukromém sektoru, tak při použití v nákladní dopravě. Důležitost autonomních vozidel a víru v jejich budoucnost si uvědomují světoví giganti a věnují jejich vývoji velké finanční prostředky, neboť předpokládají návratnost svých investic, respektive musí být přesvědčeni o takové návratnosti, jinak by tolik pozornosti a financí takovému vývoji nedopřávali. Kromě společnosti Google je možné jmenovat další firmy jako je BMW, Tesla, VW, Scania, Mercedes, Iveco, Otto a další. V České Republice není vývoj v tomto odvětví příliš patrný, až na společnost Valeo. Perspektivy tohoto odvětví jsou zřejmé. Vzhledem k tomu, že se jedná o odvětví, které je teprve v začátcích a vyvíjí se, pak vstoupit do takového odvětví není tolik náročné, neboť mnoho ještě musí být vymyšleno a „vlak ještě zatím neujel“, ačkoliv velké firmy mají již dobře nastartováno a sledování vývoje nezanedbávají. Vstup do takového odvětví totiž nabízí možnosti využít světového potenciálu, neboť autonomní vozidla mají ambice být celosvětovým fenoménem. V České Republice vývoj v tomto odvětví téměř neprobíhá, reflexe českých firem je nízká. Nepružnost českého systému reagovat na téma, které je středem zájmů světových firem, jej odklání od možnosti hospodářského zisku z tohoto odvětví a odsouvá jej na vedlejší kolej.



Obrázek 24 Deset nejvýznamnějších společností zabývajících se vývojem autonomního řízení automobilu [18]

Obrázek 24 zobrazuje důležité hráče, tedy společnosti, které mají významnou roli v oblasti autonomních vozidel. Jedná se o velké známé společnosti. I z toho je možné usuzovat na důležitost tohoto tématu.

## 6.5 Vyspělost autonomních vozidel

Na základě předchozí rešerše a vysvětlení principu fungování, stejně tak na základě informací z médií (doplňuji, že informací o tématu, které je zajímavé i pro laickou veřejnost, nejen pro technicky zaměřenou společnost), se může spousta lidí zdát, že autonomní vozidla již klepou na dveře. Zkrátka, že budoucnost je již tady. Skutečně tomu tak je, ovšem jen do určité míry (do určité, značně omezené míry). Vytvořit vozidlo, které je schopno jezdit za určitých podmínek samo, to je na současný technický vývoj poměrně hračkou. Jak je však v kapitole čtyři zmíněno, existuje mnoho stupňů autonomie a zásadní věc je ta, že mezi nimi je obrovská propast. Auto, které zvládne jezdit samo, nestačí. Požadavky na plně autonomní automobil, jsou neskutečně obrovské a mnohonásobně vyšší, než „pouze“ na automobil, který zvládá autonomní jízdu. Možnost autonomní jízdy je příjemným asistentem. Plně autonomní vozidla bez volantů a pedálů, která nám prezentují výrobci a o kterých slyšíme v médiích, jsou však o několik úrovní výše a to je potřeba si uvědomit.

Není neuskutečnitelné, pokud automobil jede v upraveném prostředí velkých měst, kde je k jejich provozu upravená infrastruktura, silnice jsou hladké s dobře viditelným dopravním značením. K tomu všemu se přidává funkční informační systém, který informuje o uzavírkách a aktuální dopravní situaci, takže trasu je možné propočítat tak, aby byla co nejnáze průjezdná. To jsou optimální podmínky pro provoz roboauta. Navíc je to prostředí, kam jsou tato auta zacílena a kde najdou své zákazníky. Představa je však taková, že by roboauto mohlo být plnohodnotným ekvivalentem k autu s lidským řidičem. V tom případě se ale požadavky dost značně rozšiřují. Jízda po silnicích třetí třídy je často značnou improvizací, nikoliv podmínkami podobnými simulaci ideálního prostředí. Vodorovné dopravní značení dost často chybí, okraj vozovky je často špatně rozpoznatelný, dělicí čára také není jistotou. Jak má například takové vozidlo rozpoznat, kde končí asfalt a začíná šterk při okraji? To vyžaduje dobré rozlišovací schopnosti. Pokud vozidlo jede po polní cestě, je potřeba určitých algoritmů, které určí, kde se v docela přírodním prostředí cesta vůbec nachází. Toto jsou podmínky, které dokáže počítač zvládnout, jsou však o dost složitější – například když se již nejedná o přesně definovaný tvar vozovky a k orientaci je potřeba určitý lidský důvtip - a nároky na roboauto se zvyšují.

Pokud má být takový automobil univerzálně použitelný, musí také znát rozdíly v dopravních předpisech jednotlivých zemí. A zcela komplikovaná je situace v méně rozvinutých zemích, kde je infrastruktura velmi špatná a zvyklosti místních řidičů nerespektují pravidla silničního provozu, nebo pak ve velkých přelidněných asijských velkoměstech. Výrobci prohlašují, že probíhá intenzivní testování vozidel ve všech částech světa, avšak skutečný stav vývoje nelze příliš odhadnout. Pokud je autonomní vozidlo představeno na předváděcí akci, tak jede po předem určené trase, která byla vybrána, otestována a je ideálním vyzkoušeným prostředím pro takový provoz a o vyspělosti autonomních vozidel neříká téměř nic.

Autonomní auta jsou tedy skutečně přicházející budoucností, avšak jen do určité míry. Na druhou stranu je potřeba říci, že jejich intenzivní testování probíhá i na území České republiky a konkrétně v Plzni jsou taková vozidla přímo testována společností MBtech. Jedná se především o vozidla Mercedes a Iveco a je možné se s nimi potkat přímo v ulicích Plzně, což poukazuje na to, že snahy o vyspělost a univerzálnost takových vozidel jsou vyšší, než jen při používání v městech s tomu uzpůsobenou infrastrukturou.

## **Závěr**

V této bakalářské práci byl popsán systém autonomního řízení z několika aspektů. Bylo popsáno, jakým způsobem se vozidlo pohybuje v prostoru a v provozu. Byly rozebrány některé principy s tím související, jako je fungování satelitní navigace, problémy nepřesnosti a výpadku signálu a návrhy, jak je vyřešit, dále principy orientace v mapovém podkladu a možnosti kontinuálního vylepšování metodou SLAM. V rámci orientace v prostoru byly popsány senzory autonomního řízení a srovnány z hlediska vhodnosti jejich použití. Důvody omezování člověka byly podloženy statistickými údaji, z jejichž hodnot byly tyto důvody zřejmé. Následně byla tato část rozšířena o další důvody zavádění autonomních vozidel rozebírající podrobněji jejich smysl. Jako další byl popsán postup omezování člověka zahrnující informace o již v historii zavedených systémech nahrazujících práci řidiče, dále bylo popsáno rozdělení autonomie do několika stupňů, které jsou nebo teprve mají být zaváděny, a zmapována současná situace a vývoj. V páté části bylo srovnáno zavádění autonomie u osobních a nákladních vozidel. Na základě znalostí získaných při tvorbě této práce byly zformulovány vlastní myšlenky a nápady, týkající se této problematiky, a zhodnoceny problémy, které bude potřeba v oblasti autonomních vozidel ještě vyřešit.



## Použitá literatura a publikace na internetu

- [1] NETservis. *GALILEO - Evropský globální navigační družicový systém - Český Kosmický Portál - Odbor ITS, kosmických aktivit a VaVAI*. <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/galileo/>. 2017
- [2] CARLSON, J. *Mapping Large, Urban Environments with GPS-Aided SLAM*. [http://www.ri.cmu.edu/pub\\_files/2010/8/carlson\\_dissertation\\_final.pdf](http://www.ri.cmu.edu/pub_files/2010/8/carlson_dissertation_final.pdf). Pennsylvania: Georgia Institute of Technology. 2010
- [3] WHITWAM, R. *How Google's self-driving cars detect and avoid obstacles - ExtremeTech*. <http://www.extremetech.com/extreme/189486-how-googles-self-driving-cars-detect-and-avoid-obstacles>. 2016
- [4] TESLA. *Autopilot*. [https://www.tesla.com/en\\_EU/autopilot?redirect=no](https://www.tesla.com/en_EU/autopilot?redirect=no). 2017
- [5] VDA (VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE). *From Driver Assistance Systems to Automated Driving*. [http://www.iaa.de/fileadmin/user\\_upload/2015/english/downloads/press/Automation-from\\_Driver\\_Assistance\\_Systems\\_to\\_Automated\\_Driving.pdf](http://www.iaa.de/fileadmin/user_upload/2015/english/downloads/press/Automation-from_Driver_Assistance_Systems_to_Automated_Driving.pdf). Berlin, 2015
- [6] LAMBERT, F. *Tesla's software timeline for 'Enhanced Autopilot' transition means 'Full Self-Driving Capability' as early as next year*. <https://electrek.co/2016/10/20/tesla-enhanced-autopilot-full-self-driving-capability/>. 2016
- [7] EPoSS. *Smart Systems for Automated Driving*. [http://www.smart-systems-integration.org/public/documents/publications/EPoSS%20Roadmap\\_Smart%20Systems%20of%20Automated%20Driving\\_V2\\_April%202015.pdf](http://www.smart-systems-integration.org/public/documents/publications/EPoSS%20Roadmap_Smart%20Systems%20of%20Automated%20Driving_V2_April%202015.pdf). Berlin, 2015
- [8] BMW. *BMW řady 7: Asistenční systémy*. <http://www.bmw.cz/cs/all-models/7-series/sedan/2015/driver-assistance.html>. 2015
- [9] DOW, J. *Tesla's new self-driving car can only make you money on the ride-sharing 'Tesla Network', not Uber or Lyft*. <https://electrek.co/2016/10/19/teslas-new-self-driving-car-can-only-make-you-money-on-the-ride-sharing-tesla-network-not-uber-or-lyft/>. 2016
- [10] UTAH DEPARTMENT OF PUBLIC SAFETY. *Autonomous Vehicles | DPS – Highway Safety*. <https://highwaysafety.utah.gov/other-focus-areas/autonomous-vehicles/>. 2017
- [11] POPPER, B. *Google just won a patent on a self-driving truck that delivers packages*. <http://www.theverge.com/2016/2/9/10951964/google-patent-self-driving-delivery-truck-packages>. 2016
- [12] DAVIES, A. *Uber's Self-Driving Truck Makes Its First Delivery: 50,000 Beers*. <https://www.wired.com/2016/10/ubers-self-driving-truck-makes-first-delivery-50000-beers/>. 2016
- [13] ROUBAL, J., HUDEČEK. *Provoz silničních vozidel*. Plzeň: ZČU, 2002
- [14] SCANIA ČESKÁ REPUBLIKA. *Scania předvedla autonomní dopravní systém*. [https://www.scania.com/cz/cs/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2016/06/rel-scania\\_p\\_edvedlaautonomnidopravnisystem-60-597814.html](https://www.scania.com/cz/cs/home/experience-scania/news-and-events/News/archive/2016/06/rel-scania_p_edvedlaautonomnidopravnisystem-60-597814.html). 2016
- [15] VOLVO TRUCKS. *Volvo FH – systém I-See šetří palivo a snižuje emise CO2*. <http://www.volvotrucks.cz/cs-cz/trucks/volvo-fh-series/features/i-see.html>. 2017
- [16] [http://www.filosofie-uspechu.cz/jak-motivovat-zamestnance/maslowova\\_pyramida/](http://www.filosofie-uspechu.cz/jak-motivovat-zamestnance/maslowova_pyramida/).

- [17] POLICIE ČESKÉ REPUBLIKY. <http://www.policie.cz/clanek/tragicka-dopravni-nehoda-783718.aspx>
- [18] ROGERS, B. *Google Dominates Autonomous Cars Influence as Automakers Lag Behind*. <https://www.forbes.com/sites/brucerogers/2014/07/23/google-dominates-autonomous-cars-influence-as-auto-makers-lag-behind/#34a2bf2c34a2>. 2014
- [19] <http://6abc.com/tag/truck-crash/>.
- [20] STEWART, J. <https://www.wired.com/2016/05/otto-retrofit-autonomous-self-driving-trucks/>
- [21] VANDERBILT, T. *Let the Robot Drive: The Autonomous Car of the Future Is Here*. [https://www.wired.com/2012/01/ff\\_autonomoucars/](https://www.wired.com/2012/01/ff_autonomoucars/). 2012
- [22] [https://1gr.cz/fotky/idnes/15/113/org/FDV5f7675\\_169545\\_Concept\\_26.jpg](https://1gr.cz/fotky/idnes/15/113/org/FDV5f7675_169545_Concept_26.jpg). 2017
- [23] GPS.gov. *GPS Overview*. <http://www.gps.gov/systems/gps/>. 2016
- [24] RIISGARD, S. *SLAM for Dummies* [https://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-412j-cognitive-robotics-spring-2005/projects/1aslam\\_blas\\_repo.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-412j-cognitive-robotics-spring-2005/projects/1aslam_blas_repo.pdf)
- [25] ČESKÝ KOSMICKÝ PORTÁL. *EGNOS - Český Kosmický Portál - Odbor ITS, kosmických aktivit a VaVaI*. <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/gnss-systemy/egnos/>. 2015
- [26] HOMOLKA, M. *Inerciální navigační systém*. [https://dSPACE.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/27270/INS\\_Martin\\_Homolka\\_134496.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://dSPACE.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/27270/INS_Martin_Homolka_134496.pdf?sequence=2&isAllowed=y). Brno: VUT, 2013
- [27] RENISHAW. *Optical encoders and LiDAR scanning*. <http://www.renishaw.com/en/optical-encoders-and-lidar-scanning--39244>. 2017
- [28] LOMAS, N. *Dont blame the robot drivers*. <https://techcrunch.com/2015/10/09/dont-blame-the-robot-drivers/>. 2015
- [29] ETHERINGTON, D. *Google's self-driving car unit becomes Waymo*. <https://techcrunch.com/2016/12/13/googles-self-driving-car-unit-spins-out-as-waymo/>
- [30] CAMPBELL, H. *Future of driverless cars*. <http://www.kurzweilai.net/the-daily-conversation-future-of-driverless-cars>. 2015
- [31] CANNON, J. *Truck platooning boosts fuel economy*. <http://www.overdriveonline.com/nacfe-truck-platooning-viable-boosts-fuel-economy/>
- [32] WAYMO. *Waymo*. <https://waymo.com/>. 2017
- [33] BLAŽEK, J. *Pokročilé asistenční systémy řidiče*. [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=39642](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39642). Brno: VUT, 2011
- [34] JANOŮŠEK, J. *Systémy na podporu řízení*. <http://k612.fd.cvut.cz/vyuka/its/prace/ITS%202012%20-%20Ji%5B0159%5D%C3%AD%20Janou%5B0161%5Dek%20-%20Syst%C3%A9my%20na%20podporu%20%5B0159%5D%C3%ADzen%C3%AD.pdf>. Praha: ČVUT, 2012
- [35] VLK, F.: *Stavba motorových vozidel*. Brno: nakl. Vlk, 2003
- [36] NHTSA, U.S. Department of Transportation. *Traffic Safety Facts*. <https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812115>. Washington, 2015
- [37] ASIRT, Association for safe international road travel. *Road Crash Statistics*. <http://asirt.org/initiatives/informing-road-users/road-safety-facts/road-crash-statistics>. 2017