



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Technologické trendy v silniční dopravě

6. etapa

oblast Autonomní vozidla

Ing. Tomáš Ondráček, PhD. (Artin), Ing. Jan Najvárek, PhD. (Artin),
doc. Ing. Petr Blaha, Ph.D. (CEITEC)

květen 2020



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Obsah

1	Charakteristika průmyslových a společenských změn.....	3
1.1	Vlastnictví vozu	4
1.2	Plynulost dopravy	4
1.3	Parkování	5
1.4	Nástupní a výstupní plochy	5
1.5	Počet a obnova vozidel	5
1.6	Nové typy vozidel	5
1.7	Pojištění	6
1.8	Pracovní trh	6
1.9	Mobilita pro mladé a hendikepované	7
1.10	Psychologické aspekty autonomního řízení.....	7
1.11	Nové hrozby (pandemie a následná krize).....	7
2	Popis hlavních trendů technologického vývoje	9
2.1	Asistenční systémy.....	9
2.2	Teleoperace v řízení vozidel	11
2.3	HMI v řízení vozidel	11
2.4	Automatizované řízení osobních vozidel	12
2.5	Automatizované řízení v MHD.....	13
2.6	Automatizované řízení nákladních vozidel	15
2.7	Carsharing.....	16
2.8	Mobility operátoři.....	16
2.9	Elektromobilita	17
2.10	Kroky EU k propojené, spolupracující a autonomní dopravě	17
3	Identifikace vhodných způsobů uplatnění nových technologií a přístupů	19
3.1	Nové senzorické systémy.....	19
3.2	Umělá inteligence	20
3.3	Získávání a anotace dat z provozu	24
3.4	Datová fúze	25
3.5	Monitorování integrity pro lokalizaci autonomních vozidel	25
3.6	Tvorba přesných a aktuálních map.....	26
3.7	Simulace.....	26
3.8	Systémy odolné proti selhání	27
3.9	Komunikace V2X	30
3.10	Bezdrátové datové komunikační technologie	30
4	Identifikace bariér bránících uplatnění nových technologií a přístupů v praxi	31
4.1	Technické bariéry.....	31
4.2	Bariéry v automobilovém segmentu	31
4.3	Legislativní bariéry	32
4.4	Společenské bariéry.....	32
5	Shrnutí.....	33
6	Seznam použité literatury	34



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



1 Charakteristika průmyslových a společenských změn

Po počáteční fázi nadšení a nekritického optimismu, kdy nebyla úplně zohledňována technologická náročnost plně autonomního provozu se segment autonomních vozidel dostává do fáze „vystřízlivění“ a reálnějších očekávání. Je otázkou, zda vůbec bude autonomie za všech myslitelných podmínek a situací, jak požaduje úroveň SAE 5, reálná. Pochybuje o tom mimo jiné i šéf firmy Waymo, současného lídra v oblasti autonomního řízení. [cnet 2018] Zde je třeba podotknout, že ani člověk nezvládá vždy všechny dopravní situace. Cílovým stavem vývoje pro reálné použití se tedy spíše stanou vozidla na úrovni autonomie SAE 4.



SAE J3016™ LEVELS OF DRIVING AUTOMATION

		SAE LEVEL 0	SAE LEVEL 1	SAE LEVEL 2	SAE LEVEL 3	SAE LEVEL 4	SAE LEVEL 5
What does the human in the driver's seat have to do?		You <u>are</u> driving whenever these driver support features are engaged – even if your feet are off the pedals and you are not steering			You <u>are not</u> driving when these automated driving features are engaged – even if you are seated in “the driver's seat”		
		You must constantly supervise these support features; you must steer, brake or accelerate as needed to maintain safety			When the feature requests, you must drive	These automated driving features will not require you to take over driving	
		These are driver support features			These are automated driving features		
What do these features do?		These features are limited to providing warnings and momentary assistance	These features provide steering OR brake/acceleration support to the driver	These features provide steering AND brake/acceleration support to the driver	These features can drive the vehicle under limited conditions and will not operate unless all required conditions are met		This feature can drive the vehicle under all conditions
		• automatic emergency braking • blind spot warning • lane departure warning	• lane centering OR • adaptive cruise control	• lane centering AND • adaptive cruise control at the same time	• traffic jam chauffeur	• local driverless taxi • pedals/steering wheel may or may not be installed	• same as level 4, but feature can drive everywhere in all conditions
Example Features							

Obrázek 1 Úrovně autonomie dle SAE (zdroj: SAE international)

Zatímco na plnou autonomii stupně SAE 5 bude tedy čekání ještě dlouhé, ke slovu se dostávají první reálné aplikace „jednodušší“ autonomie umožňující provoz v konkrétně definovaných a ohraničených podmínkách. I v oblasti autonomních vozidel je znovuoobjeven fakt, že největší síla a přínos automatizace je v řešení rutinních, jednoduchých a dlouhotrvajících činností.

Například automobilka Tesla je průkopníkem nasazování nových více či méně odladěných semiautonomních asistentů ve svých vozech a společnost Waymo již dosáhla u svého řešení autonomie stupně SAE 4 a provozuje autonomní taxislužbu pod značkou Waymo One v oblasti Phoenix East Valley. Také čínský technologický gigant Baidu spustil na konci roku 2019 masivní veřejné testování autonomní taxislužby Apollo s flotilou čítající 45 vozidel v sedmimilionovém městě Chang-ša. [KrASIA 2019] Stále pokračuje i postupné zavádění různých inteligentních asistentů do komerčně dostupných vozidel vyšší a i střední třídy.

Na druhou stranu začínají výrobci narážet na legislativní překážky využití pokročilé autonomie. Například avizovaný asistent jízdy v kolonách „Traffic Jam Pilot“ pro Audi A8 slibující jízdu na úrovni SAE 3 nakonec ještě uveden nebude. Příčinou je dle automobilky přenesení zodpovědnosti za provoz z řidiče na výrobce auta. V případě nehody v autonomním režimu by za ni zodpovídalo Audi, a to jak u nového vozu, tak i u staršího, třeba několikrát neautorizovaně opraveného. [Příbyl 2020]

Nicméně nehledě na to, zda cílovým stavem bude autonomie úplná či omezená na konkrétní podmínky, lze stále očekávat, že kromě zvýšené bezpečnosti provozu přinese využití autonomních vozidel celou řadu společenských změn, jež jsou podrobněji rozvedeny v následujících kapitolách.

1.1 Vlastnictví vozu

V průměru vozidlo 96 % své životnosti není používáno a pouze je zaparkováno a morálně zastarává. Toto jistě není efektivní využití zdrojů. Sdílení vozidla (taxi služba) je nyní používána v menší míře, převážně proto, že potřeba řidiče zvyšuje cenu takovéto služby. Nyní zaváděný Carsharing tradičních vozidel má zase nevýhodu malé penetrace a neobsloužení první a poslední míle. Už příklad aktuálních disruptorů odvětví taxi (Uber, Lyft, Liftago a další) ukázal, že když výrazněji klesne cena mobility, lidé ji začnou podstatně více využívat.

U autonomních vozidel je cena řidiče velmi malá (rozložená do ceny vozu) a proto se očekává prudký růst v oblasti mobility operátorů (taxi služeb). Ostatně i zmíněné firmy typu Uber či Liftago se netají tím, že berou dnešní situaci (s lidskými řidiči) jako přechodnou a jejich primární cíl je ovládnout budoucí trh mobility operátorů. Na pozici mobility operátorů ale aspirují i jiní hráči, jako jsou například výrobci automobilů, kteří nechtějí ztratit přímý vztah s finálním zákazníkem.

S rozvojem mobility operátorů klesne výrazně podíl soukromě vlastněných vozidel a vznikne potřeba společné infrastruktury (např. na objednávání jízdy), regulace a sdílení dat.

Pravděpodobně zůstane malá skupina majitelů vozidel, pro které je vozidlo i mobilním pracovištěm či skladem (např. řemeslníci).

1.2 Plynulost dopravy

Nasazení autonomních vozidel vzhledem k optimalizaci zrychlování i zpomalování zvýší plynulost dopravy – experimenty ukázaly, že i malý počet autonomních vozidel má velký vliv na zabránění vzniku dopravních front [Stern 2017], [Hyldmar 2019]. Dále se zvýší využití

stávajících zejména rychlostních komunikací, kdy může dojít k lepší časové optimalizaci – autonomní nákladní doprava bude využívat zejména noční hodiny provozu, kdežto osobní doprava denní dobu. To může být podpořeno i určitou formou regulace pomocí časově diferencované výše mýtného.

1.3 Parkování

S prudkým poklesem soukromého vlastnictví vozu se očekává, že razantně klesne potřeba parkování vozidel v centru měst a v rezidenčních čtvrtích – je tedy možné tvrdit, že je to šance pro města znovu se nadechnout, pročistit a přiblížit lidem. Ulice v rezidenčních čtvrtích tedy nebudou plné parkujících aut a lze dát větší prostor pro zeleň a společenské aktivity lidí.

Mezistupněm jsou ADAS systémy automatického parkování (Valet parking), v současné době se řada produktů chystá do produkce. Například Tesla zařadila do svých vozů první verzi funkčnosti zvané „Smart Summon“, která umožní na parkovišti mimo veřejné komunikace přivolat vozidlo telefonem a ono autonomně přijede na požadované místo.

Také je možné počítat s potřebou určité zásoby parkovacích míst ve frekventovaných oblastech (např. nákupní a kancelářská centra v pracovní době), kde bude čekat menší množství autonomních vozidel připravených k vyzvednutí pasažérů, místo toho, aby sem přijížděla z méně či více vzdáleného provozu až na konkrétní požadavek (analogie k systému vyrovnávacích „cache“ pamětí u dnešních počítačů).

Naopak v době snížené potřeby mobility (typicky v noci) budou autonomní vozidla zaparkována na odstavných parkovištích mimo centra měst – zde bude možné využít např. velká parkoviště u obchodních center, umístěných obvykle blízko páteřní dopravní infrastruktury, která jsou v dané době nevyužitá.

1.4 Nástupní a výstupní plochy

Počet parkovacích míst klesne, na druhé straně bude potřeba výrazně rozšířit nástupní a výstupní plochy pro pasažéry tak, aby mohlo dojít k bezpečnému nástupu a výstupu na frekventovaných místech.

1.5 Počet a obnova vozidel

Je odhadováno, že pro zajištění stávající potřeby transportu bude potřeba cca 30 % stávajícího počtu vozidel. Tato úspora vyplývá z většího sdílení vozového parku. Tato vozidla budou však mít cca 3x větší nájezd za rok, tudíž dalším pozitivním efektem bude rychlejší obnova vozového parku a rychlejší použití modernějších a úspornějších technologií.

1.6 Nové typy vozidel

Již aktuální rozšíření mobility služeb typu Uber či Liftago ukázalo, že tyto služby neberou své uživatele jen ze skupiny řidičů vlastních aut, ale také ze skupiny uživatelů městské hromadné dopravy. Dochází již tedy k tomu, že se provoz v centru měst ještě více zahušťuje. Aby se tomuto negativní efektu zabránilo, bude pravděpodobně potřeba vzniku nových typů vozidel, které překlenou rozdíl mezi osobními taxi a velkými vozy MHD – měly by udržet osobní a flexibilní formát dopravy, a přitom zvýšit hustotu pasažéru na silnici.



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Další oblastí, kde je očekávána velká míra změn, jsou doručovací služby. Řada společností již pracuje na typech vozidel speciálně vytvořených pro doručení poslední míle, jako například Nuro, Neolix či BringAuto u nás. Společnost Waymo zahájila začátkem roku 2020 spolupráci s doručovací službou UPS v jejímž rámci budou autonomní vozidla Chrysler Pacifica přepravovat balíčky v rámci Arizony. [Kilián 2020]



Obrázek 2 Doručovací vozidlo BringAuto

1.7 Pojištění

V současné době je povinné a havarijní pojištění vozidel jedním z velkých segmentů pojišťovnictví. S přechodem na autonomní řízení se budou pojišťovny muset přizpůsobit následujícím změnám:

- Nižší nehodovost vozidel (bude tlak na snížení ceny pojistného)
- Přesun vlastnictví většiny parku na mobility operátory, kteří budou požadovat vlastní, výhodnější podmínky pojištění anebo se budou samopojišťovat (pro velkou flotilu to dává ekonomický smysl)
- Vymizí trestní odpovědnost řidiče, na druhé straně bude společenský tlak na vyšší kompenzace v případě škod na majetku a zdraví osob

1.8 Pracovní trh

Rozvoj autonomní dopravy přinese zásadní dopady i do struktury pracovního trhu. Je možné očekávat úbytek pracovních míst řidičů nákladní dopravy. Tato místa se budou nejspíše restrukturalizovat na operátory telematického řízení a dále pracovníky v překládacích uzlech či řidiče obsluhující nejsložitější „poslední míli“ doručení zboží.

Také lze očekávat úbytek pracovních míst v oblasti poskytování TAXI služeb. Tento pracovní trh už je v současnosti do značné míry ovlivněn poskytovateli přepravních služeb typu Uber či Liftago a autonomní vozidla k tomuto trendu ještě přispějí.

1.9 Mobilita pro mladé a hendikepované

Autonomní vozidla přinesou výrazné zvýšení možnosti mobility pro hendikepované a starší lidi, kteří nemohou sami řídit. Samozřejmě pouze v případech, kdy není nutná následná asistence po vystoupení z vozu. Je možné očekávat rozvoj speciálně vybavených vozidel např. pro nevidomé či neslyšící pasažéry.

Možnost využití individuální mobility vzroste i pro nejmladší generaci. S rostoucí oblibou využívání mobility jako služby dojde ke zmenšování počtu lidí s řidičským oprávněním. Trend snižování počtu mladých lidí s řidičským oprávněním je již patrný [Morley 2017] a v současnosti se připisuje zejména vlivu moderní online komunikace. Autonomní řízení pravděpodobně přispěje k jeho prohloubení. Jako problém je možné vnímat především riziko dalšího omezení aktivního pohybu pro mladou generaci.

1.10 Psychologické aspekty autonomního řízení

Jízda v autonomním vozidle s sebou přinese i nové psychologické aspekty. Ne každý bude akceptovat ztrátu kontroly a bude chtít využívat autonomní jízdu (obdobu můžeme nalézt třeba ve strachu z létání letadlem). Dále bude zcela jiný přístup k řešení kritických situací, zejména pak od autonomie stupně 4 a 5, kdy posádka nebude již aktivně zasahovat přímo do řízení, ale pouze signalizuje nebezpečnou situaci formou tísňového tlačítka a tím spustí nouzový manévr (obdobu záchranné brzdy ve vlaku).

Dalším pravděpodobným důsledkem lidské nedůvěřivosti budou pokusy o "testování" chování autonomních vozidel ve smíšeném provozu ostatními účastníky provozu. Ještě více expresivnějším výrazem takového chování může být až "šikanování" autonomních vozidel lidskými účastníky provozu. Bude třeba hledat řešení těchto situací jak v legislativě, tak v zajištění záznamu, automatického zdokumentování a následného postihu podobného chování.

1.11 Nové hrozby (pandemie a následná krize)

Zajímavým novým aspektem ovlivňujícím vývoj v oblasti autonomního řízení a dopravy obecně je situace týkající se pandemie COVID-19 a s ní spojená krize. Jde totiž zcela proti dosavadnímu trendu sdílení přepravy a akcentuje spíše individuální dopravu. Důvody jsou zřejmé, v době rizika přenosu nemoci je třeba co nejvíce omezit fyzický kontakt mezi lidmi, ať už se děje v jednom okamžiku či postupným sdílením jednoho prostředku v čase.

Došlo tak k radikálnímu snížení využití hromadné dopravy, nicméně individuální doprava zůstala využívána jako bezpečná varianta. Uber a Lyft pozastavily zase kvůli pandemii možnost spolujízdy. Naopak tato situace může být příležitostí pro přepravu nákladu – při nástupu pandemie se často řešila situace, kdy řidiči byli vystaveni riziku při závozu do silně postižené oblasti. Autonomní doprava zboží by byla jistě možným řešením.

Výrazně zasaženy byly samozřejmě i služby carsharingu, kdy někteří provozovatelé zaznamenali během prvních týdnů pandemie pokles jízd o více než 40 %. [Bureš 2020] U těchto sdílených prostředků je třeba dořešit způsob desinfekce mezi jednotlivými použitími. Podobné by to bylo i v případě autonomní taxislužby.

Dalším dopadem může být i zpomalení vývoje v oblasti autonomních vozidel. Během pandemie například došlo k zastavení testování autonomních taxislužeb, a to včetně jízd zcela bez řidičů. Společnost Uber propustila v souvislosti s pandemií 6.700 ze svých 27.000 zaměstnanců a jako důvod uvedla prudké snížení poptávky po sdílených jízdách. Současně se rýsuje i výrazný ekonomický dopad v automobilovém průmyslu, který může následně způsobit snížení prostředků investovaných do vývoje.

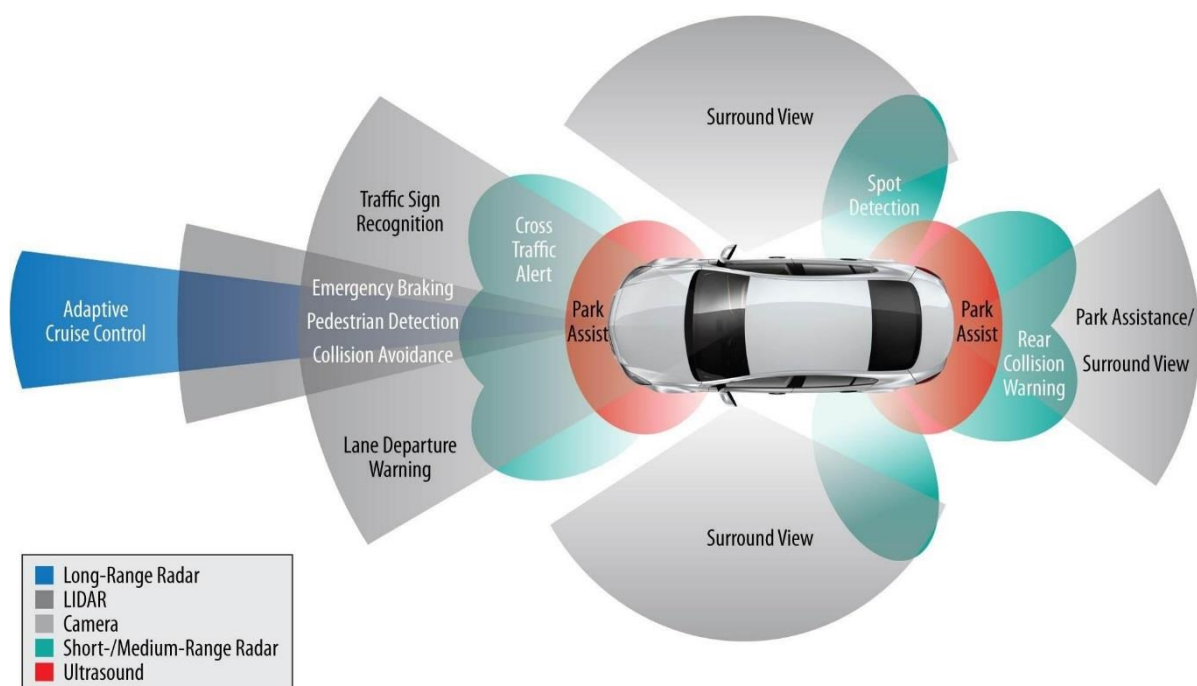
2 Popis hlavních trendů technologického vývoje

Problematika autonomních vozidel je v poslední době v centru technologického dění. Touto oblastí se intenzivně zabývají jak automobilky, tak i řada dalších firem včetně technologických gigantů jako Google (Waymo), Tesla, NVidia, Intel či Uber. Vzniká i řada nových firem – startupů – věnujících se konkrétně této problematice (např. Voyage, Drive.ai nebo Embark). Základní směry vývoje se pohybují od pokročilých asistenčních systémů řidiče (ADAS) až po kompletní koncept samořiditelného automobilu. Vládní i nevládní organizace a instituce se intenzivně zabývají legislativními a dalšími dopady této problematiky. [AP ITS ČR 2015-2020]

Rýsují se již hlavní směry technologického vývoje v této oblasti a uvažuje se o časovém horizontu 5–15 let, kdy autonomní systémy budou na komunikacích běžně v provozu.

2.1 Asistenční systémy

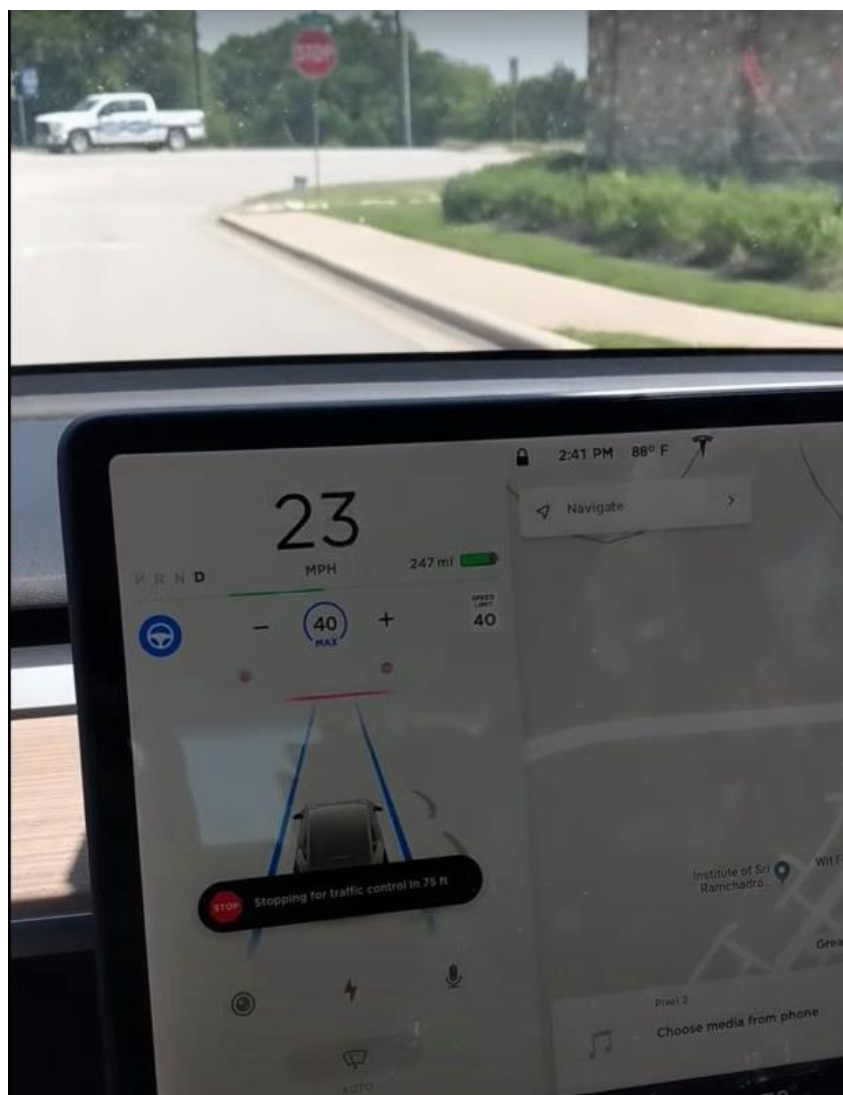
Asistenční systémy (ADAS) jsou cestou, kterou si jako primární směr k plně autonomnímu vozidlu zvolily především automobilky. Jak v reakci na přicházející legislativu [EU10 2017] tak i proaktivně zejména jako uživatelské vylepšení bezpečnosti.



Obrázek 3 : Nejběžnější asistenční systémy (zdroj: <https://www.mentor.com>)

V současné době existuje několik desítek využívaných asistenčních systémů [Wiki ADAS 2018] [IHS 2015], vozidla jsou běžně vybavena systémy jako Parkovací asistent (PA), Inteligentní tempomat (ACC), Automatické nouzové zastavení (AEB), Varování opuštění jízdního pruhu (LDW), Detekce dopravního značení (TSR), Detekce chodců (PD) či pokročilejší

Asistent udržení v jízdním pruhu (LKAS) nebo Asistent jízdy v kolonách (TJA). Instalované asistenční systémy vykazují stále vyšší míru inteligence a umožňují pokrýt stále více situací bez zásahu řidiče do řízení – jako zástupce této kategorie můžeme jmenovat Tesla Autopilot, Cadillac's Super Cruise, Mercedes Highway Pilot či Nissan Pro Pilot.



Obrázek 4 : Poslední verze Tesla Autopilot dokáže zastavit vozidlo před semaforem (zdroj [Electrek 2020])

V budoucnu se bude působnost ADAS rozšiřovat zejména o zvládnutí dalších dopravních situací (sledování okolních účastníků silničního provozu, křížení dopravy apod.) a postupně se budou objevovat systémy s obecným vyhodnocováním míry rizika zvoleného automatického manévru na základě pravděpodobnostního vyhodnocení aktuální dopravní situace [Eggert 2015]. Následně tyto systémy plynule přejdou v systémy plně autonomní.

2.2 Teleoperace v řízení vozidel

Vzdálené řízení (teleoperace) může být vhodným doplňkem k autonomnímu řízení vozidla a umožní řešení situací, které autonomní mód nezvládá. Nemůže jít o situace, při kterých je třeba reagovat v řádu jednotek sekund, spíše o dlouhodoběji trvající či dostatečně předvídatelné situace. Jako příklad lze uvést třeba projetí komplikovaného opravovaného úseku, objetí déle stojícího (popelářského či zásobovacího) vozu nebo třeba reakce na posunkové či slovní pokyny policisty. Využití se nabízí i v nebezpečných či lidem nepříznivých provozech jako jsou doly, lomy apod.

Pro spojení se vzdáleně řízeným vozidlem bude třeba využít bezdrátového datového spojení (mobilní síť 4G a pokročilejší). Předpokladem také je, že jeden operátor bude mít na starost větší množství (flotilu) vozidel a bude jejich požadavky na teleoperaci řešit postupně.

V mezičase vozidlo musí vyčkat jeho zásahu v bezpečném stavu.

Existují startupy, které se věnují přímo této problematice a vyvíjejí první komerční prototypy – např. Phantom Auto nebo Scotty Labs financovaná společností Google. [Bergen 2018] V České republice je to pak startup Roboauto (www.roboauto.tech).



Obrázek 5 : Pracoviště vzdáleného ovládání vozidla (zdroj: roboauto.tech)

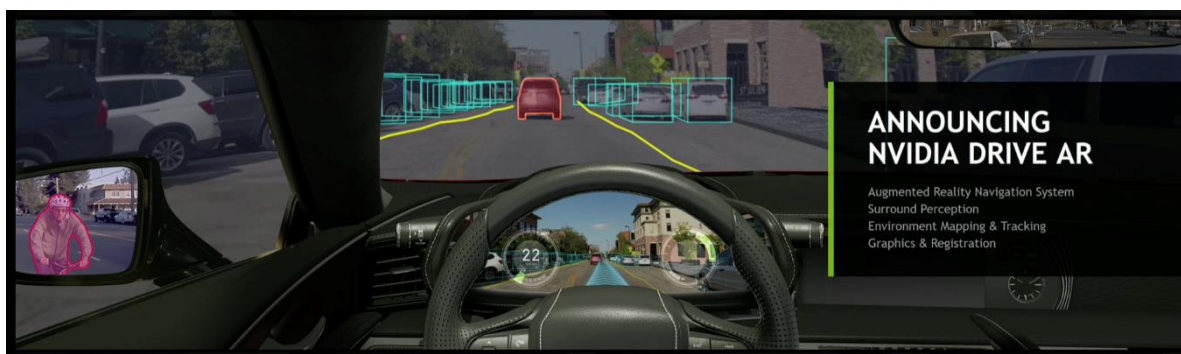
2.3 HMI v řízení vozidel

S rozvojem technologií dochází i k postupnému zdokonalování komunikačního rozhraní mezi člověkem a vozidlem (HMI z angl. Human Machine Interface).

Již běžně ve vozidlech můžeme narazit na asistenty zvládající verbální komunikaci a rozpoznávání řeči (např. pro ovládání hands-free nebo autorádia), rozšiřují se informativní či výstražná hlášení systému, klasické kontrolky jsou doplněny podrobnější informací na palubním displeji. V budoucnu můžeme očekávat další zdokonalování tohoto přístupu a stále „inteligentnější“ informační asistenty na úrovni pokročilých chatbotů, kteří budou schopni na základě verbálního požadavku podat informace jak o vozidle samotném, tak o aktuální trase, počasí, dopravní situaci, či třeba ovládat infotainment systém vozu.

Dalším viditelným trendem je úzké online propojení personálních mobilních zařízení s informačním systémem vozu a personalizace HMI. Informačním centrem se stává hlavní informační panel, případně rozšířený o doplňkové panely pro další pasažéry vozu. Nikdo již nepochybuje o nutnosti připojení vozidla do cloudu dané automobilové značky či obecně k internetu.

Dále se uvažuje o využití čelního skla vozidla jako displeje pro zobrazování doplňkových informací, a to i přímo v návaznosti na okolní prostředí jako obohacenou (augmented) realitu. [Khan 2018]



Obrázek 6 : Obohacená (augmented) realita umožňující zobrazit doplňující informace o provozu
(zdroj: [Khan 2018])

Dalším trendem je změna způsobu osvětlení interiéru vozidla, kde se stále více využívá rozptýleného (ambient) světla a světelných povrchů, které mohou sloužit pro další intuitivní komunikaci s posádkou vozu (např. změna osvětlení ovládacího prvku v případě potřeby změny nastavení apod.). [Rössger 2018]

2.4 Automatizované řízení osobních vozidel

Cílem dnešního vývoje je získat plně autonomní vozidlo schopné zvládat všechny běžné i nestandardní dopravní situace. Cesta k tomuto milníku však bude ještě poměrně dlouhá a během ní se prakticky uplatní i celá řada dílčích řešení. U osobních vozidel je možné očekávat postupný nástup autonomního řízení zejména v těchto praktických aplikacích:

- **Autonomní parkování** – umožní posádce vozidla vystoupit na místě, kde není dostupné vhodné parkování (typicky centra měst) a následně autonomně vyhledá volné parkovací místo v dosahu mimo centrum a zde zaparkuje. Zde bude čekat na opětovné přivolání a přistavení posádce zpět na původní (nebo jiné) místo nástupu. Vlastní řízení s posádkou nebude autonomní. Tato aplikace vhodně řeší jeden z hlavních problémů využitelnosti vozidel v centrech měst, navíc při autonomní jízdě z/na parkoviště je vozidlo bez posádky, což umožňuje jet nižší rychlostí a současně je vyřešena otázka bezpečnosti posádky vs. ostatních účastníků provozu při autonomní jízdě. V současné době již automobilky částečně tuto funkci nabízejí (např. Tesla Smart Summon)
- **Autonomní domácí parkování** – je obdobou předchozí aplikace s tím, že umožní parkovat vozidlo autonomně v garáži nebo parkovacím domě, který je více vzdálen od místa bydliště majitele vozu. Z hlediska míry autonomie se jedná o jednodušší úlohu než v předchozím případě, neboť místo parkování je vždy stejné, a proto je možné tento úkol řešit záznamem trasy a jejím opětovným projetím.
- **Autonomní jízda po dálnici a rychlostních komunikacích** – zde se jedná o automatizaci rutinní činnosti jízdy na větší vzdálenosti po rychlostních komunikacích, která klade (díky své délce často trvající hodinu a více) zvýšené nároky na pozornost a soustředění řidiče. Rychlostní komunikace jsou pro automatizaci vhodné z důvodu výrazně jednodušší dopravní situace (např. ve srovnání s městským provozem) – jízda v jednom směru bez křížení, kvalitní značení jízdních pruhů, absence ostatních účastníků silničního provozu (chodci, cyklisté, ...). Bude třeba vyřešit předání řízení z autonomního režimu zpět posádce na konci rychlostního úseku (zejména případ, kdy si řidič řízení zpět nepřevzme) – to mohou řešit např. speciální odstavné pruhy u sjezdů z dálnic, na kterých autonomní vozidlo v takovém případě automaticky zastaví.
- **Autonomní jízda v kolonách** – asistenty jízdy v kolonách jsou již dnes součástí některých komerčně dodávaných vozidel. Opět se jedná o vhodný případ pro automatizaci, kdy jsou jednoduché provozní podmínky – nízká rychlost, stanovený jízdní pruh, sledování předchozího vozidla. Lze očekávat takovéto specifické asistenty i pro další jednoduše vymezitelné dopravní situace.

2.5 Automatizované řízení v MHD

Provoz vozidel v rámci MHD má svá specifika. Tím hlavním je zejména přesná definice tras (linek) MHD a jejich zastávek, dále pak je to provoz převážně v městském prostředí, a tedy za nižších rychlostí (běžně do 50 km/h).



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Obrázek 7 : Nedávno byl vyroben 100. autonomní minibus Apollo od Baidu (zdroj: [Korosec 2018])

Tyto podmínky jsou výhodné pro zavedení automatizace v této oblasti. Zvláště pro zavedení MHD v menších městech, kde dosud nebyla tato služba občanům rentabilní, může být výhodné provozování autonomního minibusu, který nepřetržitě obsluhuje definovanou okružní trasu po obci s pevně stanovenými zastávkami a relativně bezpečnou rychlostí kolem 40 km/h. Odpadají významné náklady na řidiče, nutnost přestávek, je možné využít technologii projetí již dříve zaznamenané trasy. Na rozdíl od osobních vozidel je třeba vyřešit problém nastupování a vystupování a určení okamžiku bezpečného ukončení této fáze přepravy, a tedy možnosti pokračovat v jízdě. Z hlediska technického se jedná o dobře zvládnutelný úkol, společnost Baidu v Číně ohlásila nedávno 100. vyrobený autonomní minibus. [Korosec 2018]

Dalším možným využitím autonomního řízení jsou komunitní autonomní TAXI služby obsluhující opět menší území malé obce či městské čtvrti s jízdou v malé rychlosti využitelné např. pro seniory. Technicky je možné takovouto službu opět řešit kompletním přesným zmapováním daného poměrně malého území a jízdou v takovéto předem známé oblasti. Podobné projekty se již objevují např. projekt startupu Voyage v Kalifornii. [Hawkins 2017]

Podobné projekty se kromě Číny či USA začínají realizovat i v Evropě. Díky mezinárodnímu projektu SHOW má být v Brně navržen, realizován a testován dopravní model pro města budoucnosti, a to s ohledem na elektrifikaci, automatizaci a multimodální dopravu (od koloběžky po tramvaj). Projekt zahrnuje i autonomní / teleoperovaná taxi a minibusy včetně teleoperačního centra. Je zvažován koncept tzv. „bez koleje tramvaje“ což je klasický minibus na kolech, který ovšem jede po předem definované neměnné trase (jako po koleji), kterou nemůže autonomně opustit. V případě překážky na trase zastaví a vyžádá si zásah vzdáleného operátora, jenž s pomocí teleoperace situaci vyřeší – např. překážku objede a vrátí se zpět na „kolej“.



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



2.6 Automatizované řízení nákladních vozidel

V nákladní dopravě je pro automatizaci vhodná zejména část týkající se dlouhé jízdy vozu po dálnicích a rychlostních komunikacích, kdy se jedná o poměrně jednoduchou dopravní situaci podobně jako bylo zmíněno u osobních vozidel, běžné provozní rychlosti jsou v tomto případě výrazně nižší (cca 80 km/h). Současně je možné i využití řetězení nákladních vozidel (platooning), neboť pro náklad na rozdíl od lidských pasažérů nepředstavuje velká blízkost za následovaným vozidlem psychickou zátěž.

Zbývá dořešit vhodný způsob přechodu na lidské řízení po opuštění rychlostní komunikace, zvažuje se budování tranzitních uzlů na příslušných místech, kam vozy budou schopny autonomně zajet z dálnice a zde si je převezme pronajatá lidská posádka. Další možností je využití autonomního režimu jízdy v kombinaci s lidským řidičem nebo v kombinaci s dálkovým řízením vozu tak, že se výrazně (dle některých odhadů až 3x) zvýší efektivita využití vozu. Na dlouhých úsecích mohou řidiči spát či zpracovávat administrativní úkoly spojené s přepravou a tím eliminovat čas pro stání vozu během povinných pauz.



Obrázek 8 : Autonomní tahač Volvo Vera v přístavu v Göteborgu (zdroj: Volvo Vera)

Další využití autonomních nákladních vozidel je možné a děje se již dnes v konkrétních aplikacích jako jsou překladiště, přístavy, doly a další místa, kde je jasně ohraničené provozní

prostředí, omezený přístup ostatních účastníků silničního provozu i osob a nízká provozní rychlost. [Walker 2018] Jedním z příkladů takového řešení je projekt autonomního tahače Volvo Vera, který převáží kontejnery ve švédském přístavu v Göteborgu.

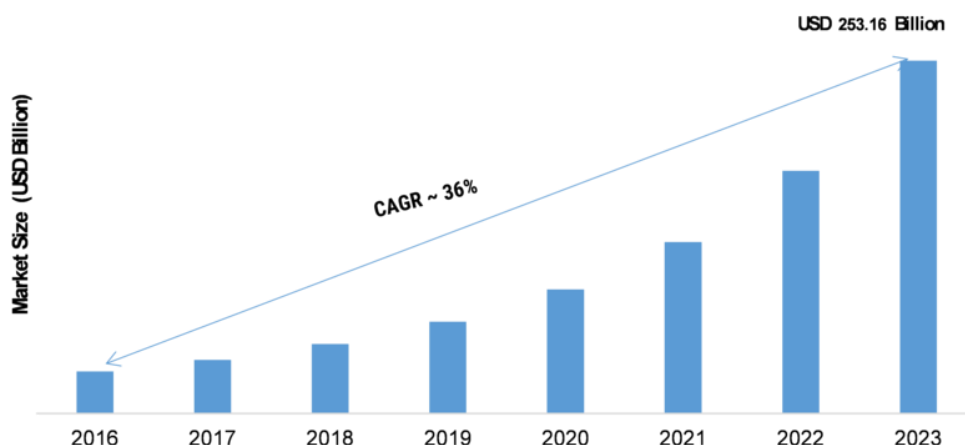
Dle některých odborníků přijde komerční využití autonomního řízení v nákladní dopravě výrazně dříve než v dopravě osobní, kvůli výše zmíněným vhodným podmínkám a výrazné ekonomické výhodnosti tohoto přístupu. V současnosti již zahájily zkušební provoz autonomní nákladní vozidla firem Uber, Waymo (Google) a Tesla. [Hanley 2018]

2.7 Carsharing

Výrazným trendem, který ovlivní budoucnost mobility, je zvyšování podílu sdílení namísto individuálního vlastnictví osobních vozidel. Moderní mobilní komunikační technologie umožňují výrazně zjednodušit proces rezervace, vyzvednutí, monitoring provozu či placení služby sdíleného vozu. Autonomní řízení do tohoto segmentu přinese zejména možnost samostatného přesunu vozidla na místo vyzvednutí klientem a tím zvýší i dostupnost carsharingu a přispěje k jeho rozmachu. [Frost 2016] Významný růst zaznamenalo toto odvětví i mezi lety 2016-2018, kdy se počet vozidel ve sdílených flotilách více než zdvojnásobil z počtu 157 tis. na 332 tis. [CISION 2019]

2.8 Mobility operátoři

Přirozeným následným krokem navazujícím na oblibu carsharingu je vytvoření trhu komerčních poskytovatelů služeb mobility pro širokou veřejnost MaaS (Mobility as a Service). Uživatelé budou mít jednotný přístup ke službám mobility např. prostřednictvím mobilní aplikace, mobility operátor bude sdružovat a kombinovat různé typy dopravních prostředků (letadlo, vlak, MHD, carsharing, autonomní vozidla) a uživatel bude za tyto služby platit cenu na základě zvoleného tarifu podobně, jako je tomu dnes u mobilních telefonních operátorů.



Obrázek 9 : Globální MaaS trh v letech 2017-2023 v mld. USD (zdroj: [MRFR 2018])

Tímto směrem se vydaly technologické firmy a startupy následovány automobilkami, které se chtějí na tomto budoucím trhu také podílet. Mezi klíčové hráče v této oblasti nyní dle studie Market Research Future patří firmy jako BMW Group (Germany), Alliance Corporation (Canada), Apple Inc. (U.S.), Xerox Corporation (U.S.), Lyft, Inc.(U.S.), Uber Technologies Inc. (U.S.), MaaS Global (Finland), Deutsche Bahn (Germany), Daimler AG (Germany), Communauto (Canada), Car2go (U.S.), Hailo (U.K.), Bridj (U.S.), Ola (India), Ridepal (U.S.), Make My Trip (India). Velký růst se v této oblasti očekává v Evropě, zejména v Německu, Finsku a Francii i v Severní Americe, zejména v USA a Kanadě. [MRFR 2018]

2.9 Elektromobilita

Automatické řízení není přímo závislé na elektromobilitě, ač je s ní často nesprávně spojováno. Systémy automatického řízení je možné stejně dobře využít i u "klasických" benzinových či naftových vozů.

Automatické řízení však bude přínosem pro rozvoj elektromobility, neboť umožní snadnější přístup k dobíjecím stanicím v libovolném čase nezávislém na času řidiče. Autonomní elektromobil se může kdykoli odjet sám dobít a následně se vrátit. To povede i k optimalizaci využití nabíjecích stanic. Co je třeba v tomto směru vyřešit je otázka technologie a bezpečnosti neasistovaného nabíjení elektromobilů.

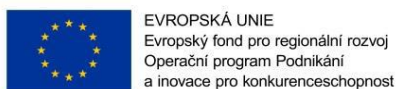
2.10 Kroky EU k propojené, spolupracující a autonomní dopravě

V EU je stále v platnosti Vídeňská úmluva o silničním provozu, která vyžaduje přítomnost řidiče v každém vozidle či soupravě vozidel jedoucích v silničním provozu. Členské státy se však shodují na tom, že článek 8 Vídeňské úmluvy musí být změněn tak, aby umožňoval řízení vozidel také automatickými systémy.

Vzhledem k tomu v dubnu 2016 přijaly tzv. Amsterodamskou deklaraci podepsanou všemi evropskými ministry dopravy. Členské státy EU se podpisem uvedené deklarace mimo jiné zavázaly k tomu, že identifikují a odstraní legislativní překážky pro testování a nasazení datově propojených a autonomních vozidel do provozu. [MD 2017]

V rámci Global Forum on Road Traffic Safety pořádaném organizací UNECE (Ekonomická komise Spojených národů pro Evropu) byla přijata v roce 2018 nezávazná rezoluce, jež má sloužit jako vodítko členským státům pro bezpečné zavádění vysoce či plně autonomních vozidel v silniční dopravě. Na základě výše uvedeného rámce jsou přijímány strategické a akční plány rozvoje autonomních vozidel, a to v rámci programů CCAM under Horizon Europe [CCAM 2020] či STRIA [EU 2019], jejichž cílem je dosažení bezpečné propojené, spolupracující a autonomní mobility a také přední pozice evropských zemí v rámci světové konkurence v tomto segmentu.

Ministerstvo dopravy ČR vychází ve svém Akčním plánu autonomního řízení [MD 2019] z předpokladu studií, jež předpovídají, že v celosvětovém měřítku nebudou vozidla s vysokým nebo plným stupněm automatizace nasazena do reálného silničního provozu dříve než v roce 2021. Do roku 2027 tato vozidla výrazně neovlivní tradiční vzorce dopravního chování a vozidla úrovně automatizace 4 a 5 budou nabízena na světovém trhu zákazníkům nejdříve mezi lety 2021 až 2040. Předpokládá se, že používání autonomních vozidel v běžném



silničním provozu bude v jednotlivých zemích EU upraveno zákonem do roku 2025. Snížení původní vysoké ceny autonomních vozidel při uvedení nového produktu na spotřebitelský trh se očekává až po roce 2030.

3 Identifikace vhodných způsobů uplatnění nových technologií a přístupů

3.1 Nové senzorické systémy

Snímání okolí vozu je klíčovou součástí systému autonomního řízení. S postupem času dochází ke zlepšování stávajících technologií a dále k jejich zlevňování, což umožňuje použití lepších senzorů ve standardních vozech.

3.1.1 Lidar

3D lidary jsou dnes již standardem jak u prototypů autonomních vozidel, tak i u vozidel vyšší třídy (Audi A4 již používá několik 3D Scala senzorů). Aktuální produkční typy 3D lidarů mají stále nevýhodu v tom, že obsahují pohyblivé části (rotující zrcátka či čočky). Nově se však na trhu objevují tzv. Solid State Lidars, které již pohyblivé součástky neobsahují, a tudíž mají potenciál menší velikosti, nižší výrobní ceny, a to vše při zachování kvality snímáče.

Mezi nejvýraznější hráče v oblasti Solid State lidarů patří Velodyne, LeddarTech, Quanergy, Ibeo a další.

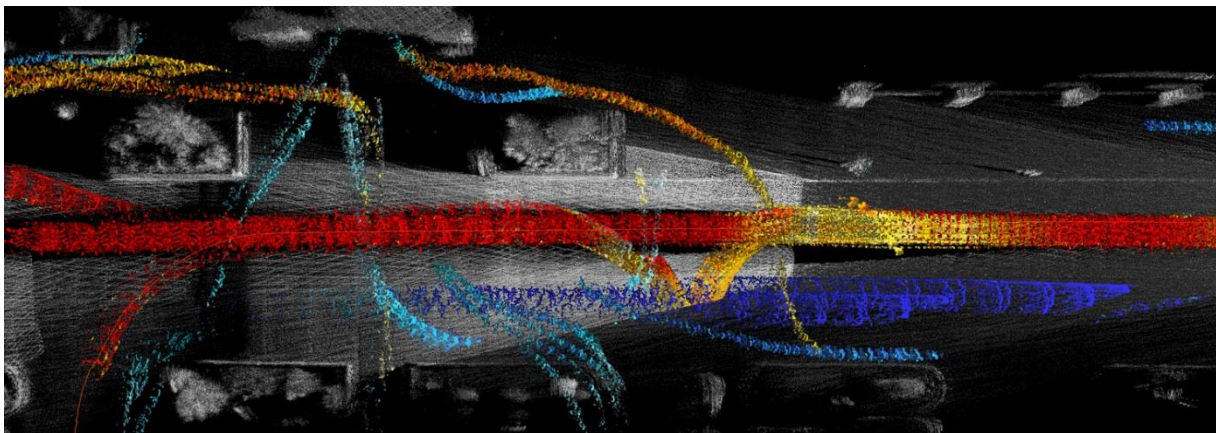


Obrázek 10 : Solid State Lidar od firmy Velodyne (Velarray) – zdroj <http://velodynelidar.com>

U běžných lidarů může docházet k vzájemnému rušení mezi jednotlivými snímači či od jiného zdroje světelného záření (slunce). Objevují se však technologie, které tyto nevýhody nemají či je kompenzují (FMCW lidar [Blackmore]).



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Obrázek 11 : FMCW Lidar s měřením rychlosti objektů [Blackmore]

3.1.2 Stereo kamery

Technologie stereo vize existuje již delší dobu, nicméně nebyla příliš využívána pro svou technologickou a výpočetní náročnost. V poslední době se objevují pokročilejší řešení, která umožňují její využití v automotive jako dalšího senzoru pro sledování vozovky a objektů na ní. To přináší nový pohled na využití stereometrie jako pasivní (bez nutnosti emise) alternativy k dnes již běžně využívanému 3D Lidaru. [Cremers 2017]

3.2 Umělá inteligence

V poslední době jsme svědkem obrovského posunu v oblasti aplikované umělé inteligence (AI). Rozvoj konvolučních neuronových sítí a strojového učení (primárně reinforcement learning) za posledních cca 8 let výrazně zlepšil možnosti počítačového řešení v oblastech jako je

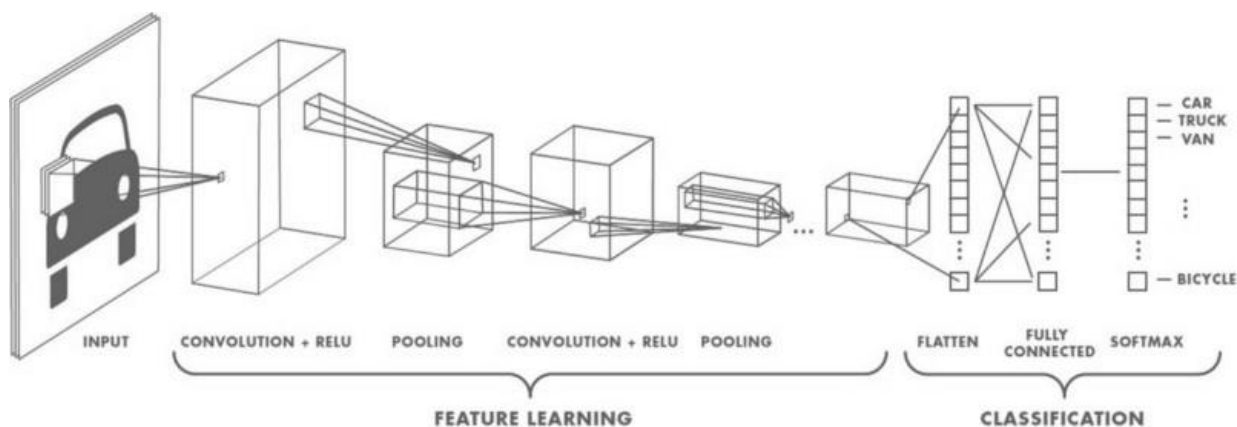
- zpracování obrazu, rozpoznání objektů
- zpracování dat ze snímačů, filtrace šumu
- plánování trasy
- adaptivní řízení

Vedoucí firma v oboru samoříditelných vozidel Waymo používá metody AI defacto v každé části systému samoříděného vozu [Waymo 2018-05].

Možné způsoby uplatnění prvků AI v autonomním řízení jsou rozebrány v následujících kapitolách.

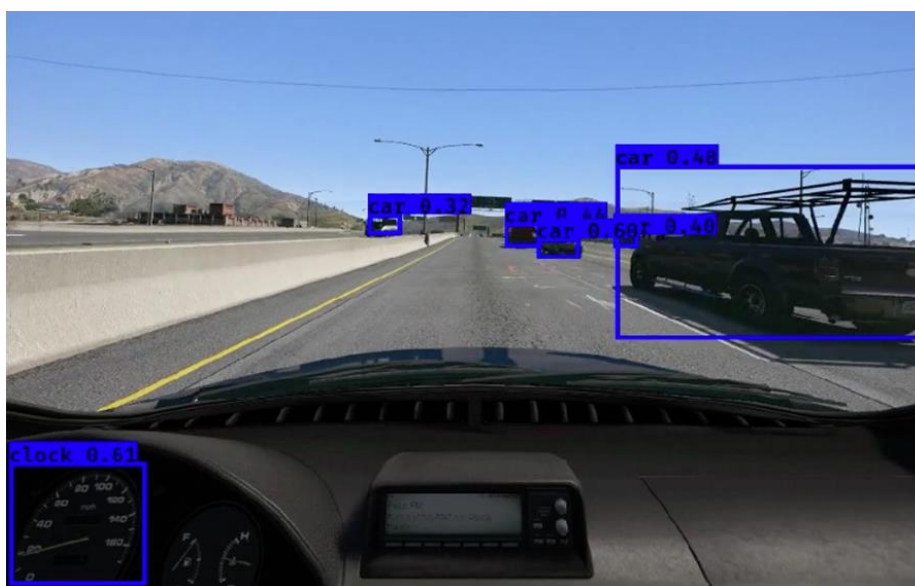
3.2.1 Zpracování obrazu

Rozvoj konvolučních neuronových sítí (Convolutional Neural Networks - CNN) v posledních letech umožnil výrazně zlepšit schopnosti počítačového vidění a identifikace objektů. Klíčovou vlastností CNN je schopnost rozpoznat v obraze tzv. význačné vlastnosti (features) pomocí konvolučních filtrů.



Obrázek 12 : Konvoluční neuronové sítě - zdroj [Udacity 2018]

V oblasti identifikace objektů stojí za zmínění algoritmus YOLO [YOLOv3], který se vyznačuje velkou rychlostí a dobrou spolehlivostí. Aplikuje neuronovou síť na celý obraz (frame) najednou, tato síť rozdělí obraz na oblasti a predikuje obrysové obdélníky (bounding boxes) a pravděpodobnosti pro každou oblast. YOLO zpracovává obraz zhruba 1000x rychleji než používaná metoda R-CNN a 100x rychleji než Fast R-CNN.



Obrázek 13 : Aplikace YOLO algoritmu v rozpoznávání vozidel v simulaci - zdroj [Roboauto-YOLO]

Další aplikovatelnou metodou je poslední verze již zmiňované metody R-CNN, a to tzv. Faster R-CNN [Faster RCNN]. Je sice procesorově náročnější než YOLO3, dosahuje však vyšší přesnosti.

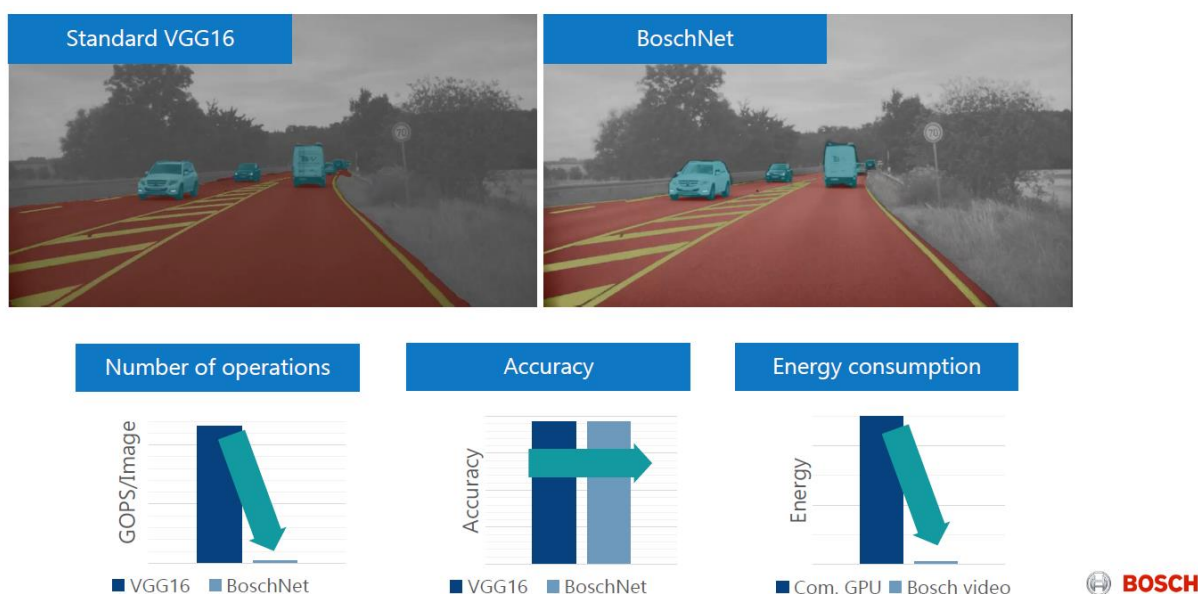
Jako další metody můžeme zmínit SSD: Single Shot MultiBox Detector [SSD 2016] či Region-based Fully Convolutional Networks [R-FCN 2016].

Další používanou metodou počítačového vidění je se segmentace obrazu, kdy se u každého bodu obrazu určuje, do které skupiny patří (cesta, vozidlo, chodec apod.)



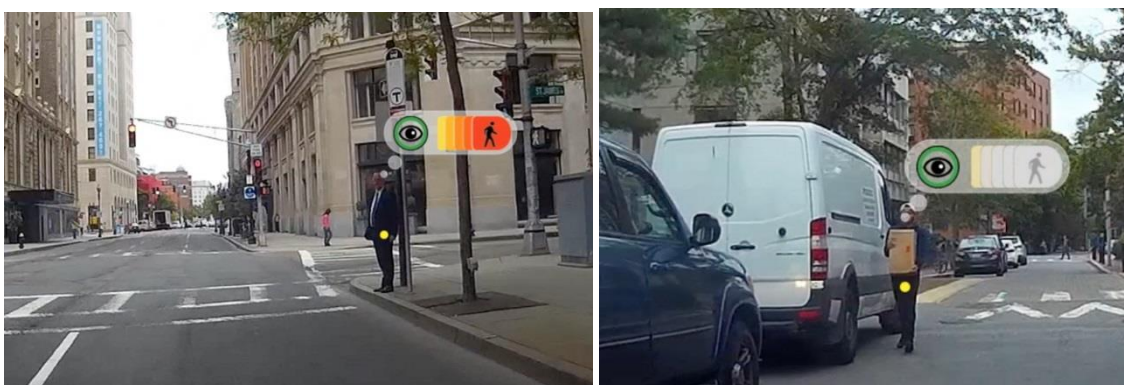
Obrázek 14 : Segmentace obrazu dopravní situace před vozidlem – zdroj [RoboautoSeg]

Tyto metody jsou již blízko k použití v ADAS systémech nové generace. Např. firma Bosch vyvinula neuronovou síť BoshNet, která je stejně rychlá a přesná jako standardní VGG16, ale má pouze 4 % náročnost na výpočetní kapacitu (a tedy i spotřebu).



Obrázek 15 : Porovnání BoschNet a standardní VGG16 sítě pro segmentaci obrazu – zdroj [Bosch 2018]

Neuronové sítě lze použít i pro předvídání chování ostatních účastníků silničního provozu, primárně chodců. K určení záměru chodců se používají vstupy jako kontext (jak daleko je chodec od vozovky), směr jeho pohybu, směr pohledu a postavení těla, případně posunky (gestures).



Obrázek 16 : Příklady rozpoznání záměrů chodců - zdroj [PerceptiveAutomata]

3.2.2 Zpracování dat ze snímačů

Při zpracování dat ze snímačů vozidla lze využít neuronových sítí těmito způsoby:

- Filtrování šumu daného senzoru – neuronové sítě mohou být naučeny na identifikaci měření, které je zatíženo šumem.
- Sensorová fúze – spojení dat z více snímačů většinou otevírá výzvy v tom, jak spojit jednotlivá data tak, aby byla využita veškerá informace ze snímačů (nedostatek jednoho snímače v dané situaci byl kompenzován jiným) a zároveň aby byla korelace dat použita k redukci šumu a nesprávně identifikovaných objektů (false positives).

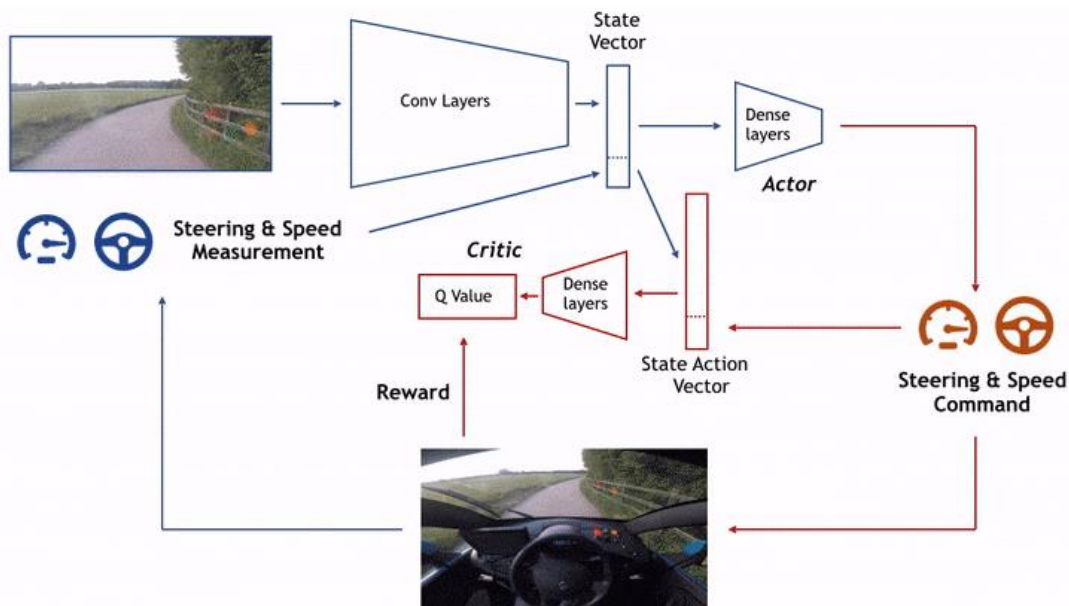
3.2.3 Reinforcement learning – průběžné zdokonalování

Zajímavým přístupem je použití Reinforcement learning (RL) pro samotné řízení vozidla. Princip RL spočívá v učení požadovaného chování pomocí ocenění (penalizaci) jednotlivých stavů a nalezení optimálního řešení s minimem penalizací.

Metody v této oblasti v poslední době rychle postupují a např. je znám i postup, jak během 20 min (11 iterací) lze naučit algoritmus pro udržení vozidla v jízdním pruhu a zdolat trasu o délce 250 metrů [Wayve 2018].



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



Obrázek 17 : Reinforcement learning pro řízení vozidla [Wayne]

3.3 Získávání a anotace dat z provozu

Využití umělé inteligence v oblasti autonomních vozidel s sebou přináší potřebu velkého množství anotovaných dat z reálného provozu jak pro učení, tak pro následné ověření správné funkčnosti AI algoritmů.

Do budoucna se uvažuje i o stochastickém přístupu pro ověření spolehlivosti nedeterministických AI algoritmů využitých v autonomním řízení, např. ve formě certifikované standardní sady scénářů, které musí daný algoritmus správně vyhodnotit. Tyto sady se následně budou rozšiřovat o další reálné situace, ve kterých AI vyhodnocení selhalo a tím bude zajištěna správná funkčnost v budoucích podobných případech.

Anotací dat se zabývají jak automobilky nebo dodavatelé v automotive průmyslu, tak specializované firmy, které danou problematiku řeší např. formou crowdsourcingu (Playment, Almotive, Mighty AI) nebo s využitím AI asistované anotace (understand.ai, Drive.ai). [Burke 2017] Umělou inteligenci je možné zapojit i ve fázi postprocesingu anotovaných dat pro úpravu počasí, denní doby, ročního období apod. například s využitím GAN neuronových sítí.

Dalším důležitým krokem je vytvoření katalogu tras pro testování autonomní jízdy, který nedávno dokončilo Centrum dopravního výzkumu ve spolupráci s Ministerstvem dopravy a Státním fondem dopravní infrastruktury. Katalog testovacích oblastí má přispět k vytvoření atraktivního prostředí pro vývoj, výzkum a testování autonomních a automatizovaných vozidel v České republice. Je tvořen dvěma oblastmi, každá v délce více než 500 km, dohromady v obou směrech tedy dva tisíce kilometrů. První se nachází v Čechách a zahrnuje města jako Praha, Mladá Boleslav anebo Ústí nad Labem. Druhá se rozprostírá na Moravě a

ve Slezsku, přičemž trasa vede přes Brno, Zlín či Kroměříž. Oblasti jsou segmentovány do jednotlivých sekcí, kterých je 3 434. [CDV 2020]

V rámci akčního plánu autonomního řízení Ministerstva dopravy ČR se též připravuje vybudování národního polygonu vhodného pro výzkum, testování a schvalování vozidel a prvků infrastruktury mimo běžný silniční provoz, dimenzovaný pro všechny třídy vozidel. [MD 2020] Další polygony připravují soukromí investoři a v plánu je jich hned několik – u Stříbra na Tachovsku, u Sokolova či v Hoškovicích u Mnichova Hradiště. [CTK 2020]

3.4 Datová fúze

Metody datové fúze jsou základem pro spojení dat získaných z různých senzorů na vozidle a jejich společné vyhodnocení. Tímto přístupem a vhodnou kombinací různých senzorů, jejichž vlastnosti se doplňují, je možné získat přesnější a věrohodnější obraz aktuální situace v okolí vozidla.

Pro datovou fúzi se často využívají základní přístupy spojující data dle pevně daných naprogramovaných pravidel. Budoucnost v této oblasti pak patří pravděpodobnostnímu přístupu a metodám, které využívají principy pravděpodobnostní robotiky v kombinaci s umělou inteligencí.

Hlavní výzvou této domény je nalezení pravděpodobnostního přístupu, který je dostatečně obecný a současně má výpočetní náročnost umožňující jeho realizaci na současných výpočetních systémech. Ačkoli řada řešení v této oblasti vede na exponenciální výpočetní složitost, objevují se první metody, které tuto otázku řeší a dosahují polynomiální či semilineární výpočetní složitosti. [Roboauto 2017]

3.5 Monitorování integrity pro lokalizaci autonomních vozidel

Klíčovou podmínkou pro úspěšné zavedení autonomních vozidel do provozu je přesná a spolehlivá lokalizace. Podle některých expertů je požadována přesnost 30 cm či méně v závislosti na prostředí, ve kterém se vozidlo pohybuje. Podobným výzvám čelil v minulosti i letecký průmysl, který zavedl pojem „integrity navigačního řešení“. Jedná se o míru důvěry ve správnost navigačního řešení poskytnutého systémem.

Integrity zahrnuje schopnost systému generovat upozornění v reálném čase, pokud navigační řešení nemůže být použito z důvodu nedostatečné jistoty v aktuální přesnosti jeho údajů. V opačném případě hovoříme o „Nebezpečí zavádějící informace (Hazardous Misleading Information)“. Je lepší vědět, že navigační řešení je nesprávné, a nepoužít jej než použít chybné informace.

Spolu s navigačním řešením se na základě dílčích pravděpodobností přispívajících k chybnému měření a použitím redundantních zdrojů lokalizace (jako např. GNSS satelit) vypočítá Úroveň ochrany (Protection Level), což je 3D prostor ve kterém se vozidlo nachází s velmi vysokou pravděpodobností (možnost chyby je menší než 10^{-7}). Pokud Úroveň ochrany přesahuje vyžadovanou úroveň přesnosti pro danou oblast a operaci (Alert Limit), musí systém do požadovaného času (Time to Alert) vygenerovat upozornění.

Dá se očekávat, že s rozvojem autonomní mobility se objeví i požadavky na monitorování integrity, která, pokud nebude splňovat požadavky pro danou oblast a operaci, bude vyžadovat zásah v řízení vozidla (zpomalení, alternativní navigaci, asistenci nebo vyčkání na znovuoobnovení požadované integrity). Proto se tímto směrem zaměřuje i evropský výzkum v rámci agentury ESA. [ESA 2018]

3.6 Tvorba přesných a aktuálních map

Stěžejním úkolem při robotickém řízení je přesná lokalizace – vozidlo musí mít k dispozici informaci s přesností na 20-30 cm, kde na vozovce se nachází. Tuto přesnost za běžných podmínek rozhodně neposkytují GNSS a nelze to očekávat ani v budoucnu. Velmi častým řešením tohoto problému je vytvoření naprosto přesných 3D map s doplněním informací ze senzorů nazývaných „DNA vozovky“, nejčastěji 3D lidarů a kamery. Do takto vytvořených map se pak vozidlo při dalších průjezdech daným úsekem přesně lokalizuje. Tento přístup využívá většina dnes reálně fungujících robotických vozidel (Google, Uber, Voyage, ...).

Tvorba těchto přesných map je však poměrně náročná i vzhledem k tomu, že mapy potřebují pravidelnou aktualizaci, aby co nejlépe odpovídaly skutečnosti a zejména kvůli obrovské velikosti dat (řádově TB/den/vozidlo), která v tomto objemu není možné přenášet běžně přes internet. Takto vytvořenou přesnou mapu pak může využívat více různých odběratelů – provozovatelů autonomních vozidel. Není tedy divu, že tvorba přesných map pro autonomní vozidla je nabízena jako služba a že v této oblasti se vytváří nový trh s přesnými mapami. Snaží se na něm prosadit jak firmy, které se dosud zabývaly automobilovými navigačními systémy (TomTom, Here) nebo nové startupy zaměřené přímo na tuto oblast (Carmara, DeepMap). Technologické firmy jako Google či Uber řeší tento problém využitím vlastních přesných mapových podkladů. [Hook 2018]

Vzhledem k řadě problémů spojených s tvorbou a využitím přesných map (např. možnost provozu pouze v omezené zmapované lokalitě, nutnost aktualizace apod.) odborníci hledají přístupy, které by závislost na přesných mapách eliminovaly – to je možné buď hledáním úspornějších metod uložení a práce s obrovskými přesnými mapami nebo zvyšováním inteligence autonomních vozidel tak, aby se dokázala lokalizovat i s využitím méně přesných map. [Ross 2018]

3.7 Simulace

Simulace se stávají velmi důležitou součástí vývoje i testování prvků ADAS systémů a autonomních vozidel. Např. vozy Waymo najezdily od počátku testování více než 5 milionů mil, zatímco v simulacích "urazí" jejich vozy cca 2.7 miliard mil ročně [Waymo 2017]. V současnosti je pro vývoj a testování automatického řízení využíváno buď interních simulačních nástrojů nebo nástrojů komerčně dostupných jejichž vývoj a množství se s poptávkou postupně zvyšuje.

Technologie simulací se postupně vylepšuje, na trhu jsou k dispozici simulační nástroje v celé škále schopností i ceny:

- Open source systémy jako Carla (<http://carla.org/>) či Microsoft AirSim

- Běžné simulační systémy (rFPro, IPG)
- Super-realistické simulační systémy běžící na serverových farmách či v cloud (např. Nvidia GTC)
- Software-in-the-loop (SIL) a hardware-in-the-loop (HIL) systémy

Použití nejnovějších simulačních systémů umožní vyvíjet, nasazovat a testovat prvky autonomního řízení rychleji a s vyšší mírou kvality samotných řešení.

3.8 Systémy odolné proti selhání

3.8.1 Od systémů bezpečných při selhání k systémům odolným proti selhání

Autonomní, nebo semi-autonomní systémy musí být schopné zvládat nouzové situace samy. Autonomní vozidla úrovně 4 a 5 musí být navržena na určitou míru tolerance chyb jak na straně hardware, tak na straně software. Musí zajišťovat dosažení plánovaného cíle i v případě poruchy. Nutnou podmínkou splnění těchto požadavků je přítomnost redundantních prvků. V případě systémů vyžadujících vysokou míru zabezpečení, jako jsou brzdy, zatáčení, ADAS systémy a další, se není možné vyhnout dvojnásobné, případně i vícenásobné redundanci. Přidaný hardware a software napomáhají hlavnímu systému převzít jeho funkci, když je hlavní systém postižen nějakou poruchou. Po úroveň 3 autonomního řízení je postačující, když je systém bezpečný při selhání (fail-safe), což v praxi znamená, že se v případě nějaké poruchy sám vypne. Pro vyšší úroveň autonomního řízení se jedná o systémy, které zvládají pracovat v případě chyby v systému, jsou takzvaně odolné proti selhání (fail-operational). Tato schopnost je brána jako bezpečnostní prvek autonomního vozidla, jako funkční bezpečnost. Funkční bezpečnost popisuje, jak je každý jednotlivý systém ve vozidle navržen, aby zajistil, že v případě poruchy nemůže způsobit nepřijatelnou úroveň rizika. Funkční bezpečnost je regulována normou ISO 26262. Opatření používají klasifikaci „ASIL“ (Automotive Safety Integrity Level), která zohledňuje nebezpečí pro uživatele („závažnost“), četnost výskytu („expozice“) a schopnost kontrolovat chybu („kontrolovatelnost“).

3.8.2 Použití redundance

Hyundai vyvinulo bezpečnostní brzdový systém, který vylepšuje bezpečnost provozu autonomních vozidel na úrovni čtyři a víc. Je označován jako redundantní brzdový systém a je navržený tak, aby mohla být brzda aktivována i při elektrické poruše nebo externím nárazu. Redundantní brzdící systém je složen ze dvou elektronických brzdících systémů, ECU a softwarové řídicí platformy. V normálním stavu jsou oba kontroléry propojeny a komunikují spolu. V případě poruchy hlavního brzdícího systému je tato detekována a dává povel záložnímu brzdícímu systému, aby se aktivoval. [Chin, 2019]. Vedle Hyundai se o vývoj redundantního brzdění snaží i mnozí další. Příkladem může být firma Bosch.

ACEINNA vyvinula inerciální měřicí jednotku pro použití v autonomních vozidlech (ale i v jiných zařízeních), která disponuje trojnásobnou redundancí [Hamblen, 2019]. Je postavena na technologii MEMS snímačů. Umožňuje správné fungování během zatáčení a při komplikovaných manévrech. V autonomním vozidle zaručuje elektronickou stabilizaci a

asistenci pro jízdu v pruhu. Sestává se ze tří nezávislých tříosých akcelerometrů a tříosých gyroskopů pro dosažení vysoké přesnosti a spolehlivosti. O zpracování dat se stará procesor ARM M4. Pozoruhodné jsou rozměry, které mají 11 x 15 x 3 mm (Obrázek 18). Vývoj v oblasti MEMS snímačů je považován za „žhavé téma“. MEMS technologie se stále zmenšují a získávají pokročilejší funkce. Snižuje se jejich spotřeba a prosazují se v široké škále aplikací. Jako příklad je možné uvést vývoj lidarů bez pohyblivých částí. Na poli automobilového průmyslu je po MEMS snímačích stále narůstající poptávka.



Obrázek 18 : Inerciální měřicí jednotka s trojnásobnou redundancí od firmy ACEINNA

Firma TDK vyrábí nový 3D magnetický snímač pro měření magnetických polí v kritických systémech z hlediska bezpečnosti. Nachází uplatnění v aplikacích automobilového průmyslu podle standardu ISO 26262, ale i v kritických průmyslových systémech. Nabízí několik druhů rozhraní, jako je číslicové, pulsně šířková modulace, případně SENT. Výhodou je jeho plná konfigurovatelnost přes digitální rozhraní.



Obrázek 19: 3D magnetický snímač od firmy TDK s dvojnásobnou redundancí (pouzdro SOIC8)

3.8.3 Speciální případy redundance

Pro snížení ceny mohou být jako redundantní systémy použity součásti, které jsou původně navrženy na jinou funkci. Jako příklad je možné uvést redundantní zatáčení vozidla realizované pomocí diferenciálního brzdění. Diferenciální brzdění způsobuje otáčení vozidla, které je možné v kritické situaci využít místo běžného natáčení kol. Chování vozidla a dosažitelné zakřivení trajektorie vozidla je významně ovlivněno účinky zavěšení kol. Použití je tak ovlivněno vytvořením vhodných modelů, které jsou potřebné pro generování řídicích signálů diferenciálního brzdění ze znalosti požadované trajektorie. Regulátor je navržen tak, aby kompenzoval rušení úhlu kola, ke kterému pravděpodobně dojde během řídicí události. Blíže je tato možnost popsána v článku [Johanson et al, 2018].

3.8.4 Rozmanitost v návrhu hardware a software

U redundantního systému bývá vyžadována rozmanitost (diverzita) jeho řešení, aby se předešlo souhlasné chybě, což je systémová chyba v návrhu hardware, nebo software. Redundantní snímač potom pracuje na jiném fyzikálním principu, redundantní vestavné řešení využívá jiné typy periférií mikrokontroléru, vícejádrové mikrokontroléry nemají analogicky koncipovaná jádra, software je naprogramovaný jinou skupinou vývojářů s tím, že se různé skupiny nesetkávají, aby diskutovaly řešený problém.

Autonomní systémy řízení vyžadují výběr vhodné nákladově efektivní architektury, která vyhoví požadavku na rozmanitost návrhu a poskytne dostatečný výkon pro běh v reálném čase, aby byly splněny požadavky na řešení provozní poruchy, které zajistí bezpečnost systému, pokud dojde k selhání během automatizovaného řízení. Klíčovým problémem je zajištění rychlého přepínání provozních módů v případě detekované poruchy. Článek [Ishigooka et al, 2018] se zabývá rozбором tří různých přístupů z hlediska schopnosti zajistit řízení v poruše, vytížením procesoru, množství spotřebované paměti. Z dosažených výsledků vyplývá, že navržené metody replikace jsou použitelné pro řízení autonomních dopravních systémů ve funkční poruše a jejich použití vede k diverzitě řešení.

3.8.5 Redundance v systémech zdrojů napájení

Funkční bezpečnost autonomních vozidel vychází ze zabezpečení správné činnosti zdrojů napájení. Tento problém je složitější, než se zdá. Vyžaduje koncepci napájení, která je schopná napájet zařízení, i když se stane s kabeláží a rozvody napájení téměř cokoliv. Výpadek napájení, nebo zkrat v běžných vozidlech způsobí většinou nepříjemné, ale řešitelné problémy způsobené ztrátou funkčnosti části nebo celého elektrického a elektronického subsystému. Naštěstí v běžných vozidlech většinou nejde o problémy katastrofální, protože stávající mechanické vazby umožňují i nadále pokračovat v relativně bezpečném řízení vozidla. Jinak je tomu u autonomních vozidel, která mají pouze částečné mechanické vazby, případně nemají mechanické vazby vůbec a jedná se o takzvané x-by-wire systémy. Pro rozvody napájení je nejjednodušší redundancí vybavení všech systémů dvěma napájecími přívody, které jsou také přivedeny do oddělených přírodních konektorů. Pokročilejší metodou je použití inteligentních kabelů, které v sobě mají integrované snímače, sloužící pro sebediagnostiku rozvodů napájení. Použití vestavěných teplotních pojistek je většinou pomalé, a proto nepoužitelné řešení. Řešením pak může jejich nahrazení snímači a polovodičovými spínači s inteligentním monitorovacím a řídicím systémem rozvodu elektrické energie ke komponentám [Morgenroth, 2019].

3.8.6 Probíhající projekty

Na národní úrovni je možné uvést projekt STARFOS Technologické Agentury České republiky. Běží v letech 2019-2022 a je zaměřený na vytvoření celostní virtualizované platformy odolné proti selhání pro automobilové subsystémy, které jsou kritické pro automatizované řízení (SAE Levels 3+), a umožnění mobility jako služby pro vysoce automatizovaná vozidla nové generace. Bližší informace lze nalézt na stránkách <https://starfos.tacr.cz/>. Na mezinárodní úrovni je možné uvést projekty AutoDrive a Prystine. Projekt AutoDrive (<https://autodrive-project.eu>) je pokračovatelem projektu 3CCar, jehož cílem bylo studium systémů bezpečných

při selhání. Autodrive se zaměřuje zejména na systémy odolné proti selhání. Cílem projektu je vytvoření pohonu plně elektrického pohonu, baterek a dalších komponent pro automobilový průmysl, které mají zabudovanou funkcionalitu odolnosti proti selhání. Projekt Prystine (<https://prystine.eu>) má několik cílů, jedním z nich je autonomní řízení se zaměřením na systémy odolné proti selhání pro městské a venkovské prostředí založené na fúzi dat. Také usiluje o zvýšení akceptace autonomních funkcí řízení.

3.8.7 Shrnutí

Z popisu v této podkapitole vyplývá jasný technologický trend směřující k dosažení větší spolehlivosti dílčích komponent, ze kterých se skládají autonomní vozidla, aby i celé vozidlo bylo spolehlivější a dostupnější. Přestože je snaha o to konstruovat zařízení tak, aby byla co nejspolehlivější, pravděpodobnost selhání se dá snížit, nikdy však vyloučit. Proto bude nadále probíhat další výzkum a vývoj v oblasti systémů odolných proti selhání. Bude pokračovat od systémů, které jsou kritické, kde je již dnes tento trend patrný a bude se přesouvat k systémům, které u dnešních automobilů kritické nejsou, ale s přibývajícím úrovní autonomie nároky na jejich spolehlivost rostou.

3.9 Komunikace V2X

Co se týče komunikace mezi vozidlem a ostatními vozidly v silničním provozu (V2V) či infrastrukturou (V2I) nebo cloudem (V2C), tato oblast stále naráží na velkou roztříštěnost, nedostatek standardizace a z toho plynoucí malou připravenost, i když této oblasti se věnuje velké úsilí a probíhá řada aktivit [Qualcomm 2018].

Z těchto důvodů je v současnosti a nejbližší době možné očekávat zejména využití komunikace V2C, která slouží zejména pro sdílení informací o provozu a aktualizaci online map mezi vozidly jedné flotily.

3.10 Bezdrátové datové komunikační technologie

Autonomní vozidla budou v mnohem větší míře využívat online připojení k internetu. Budou klást tedy větší požadavky na mobilní datové sítě, a to z důvodů:

- Načítání přesných map (Hi-Res) pro lokalizaci a navigaci vozidla
- Posílání aktualizace na datové servery (v případě zjištění odchylky od mapy, informace o sjízdnosti, překážkách)
- Umožnění tele-operace, tzn. dálkového řízení v nestandardních situacích či v případě chybějících map (poslední míle)
- Získávání aktualizace firmware

Speciálně pro tele-operaci je potřeba sítí nové generace – je třeba dostatečný datový tok i nízká latence, což by sítě 5G měly splňovat (propustnost až 20 GBit/s a latence 1 ms).

4 Identifikace bariér bránících uplatnění nových technologií a přístupů v praxi

Rozvoj autonomních vozidel je mezioborovou záležitostí, která zasáhne do velké škály aspektů našeho života. Proto, existuje celá řada oblastí, ve kterých je možné identifikovat překážky pro další rozvoj.

4.1 Technické bariéry

Hlavním technickým problémem je v současnosti chybějící řešení pro autonomii stupňů 4 a 5, přičemž panují obavy, že autonomie stupně 3 nebude prakticky použitelná z důvodů nemožnosti plnohodnotného předání řízení zpět řidiči v dostatečně krátkém čase. Hlavními technickými výzvami v této oblasti je zejména řešení první a poslední míle a komplexních dopravních situací.

Dále je třeba zmínit nedostatečnost stávající infrastruktury jako je komunikace car2x, dostupné HD mapy, testovací infrastruktura, realističtější simulace a anotovaná data.

Ne zcela vyřešenou otázkou je také spotřeba systémů autonomního řízení. [Silver 2017]

4.2 Bariéry v automobilovém segmentu

Pokud se jedná o připravenost výrobců automobilů, pak mluvíme v podstatě o "revoluci" v celém tomto segmentu. Do současnosti byly automobilky zejména výrobci hardware, nicméně situace se velice rychle mění a hlavní roli ve vozidlových systémech začíná hrát software. Musí zde tedy dojít k restrukturalizaci výrobních procesů a celého řetězce tak, aby se z automobilek stali výrobci software.

Dalším aspektem je cena autonomních systémů, které výraznou měrou mohou zvýšit cenu vozidel. Například 3D lidar, který je v současnosti klíčovým snímačem u velké většiny fungujících autonomních konceptů, svojí cenou převyšuje cenu vlastního vozidla. Proto je kladen důraz na hledání řešení, která budou schopna využít cenově dostupnější snímače, k čemuž je třeba zejména dořešení problematiky pokročilé fúze těchto snímačů. Současně se hledají cesty ke zefektivnění a zlevnění výroby stávajících drahých snímačů. Otázkou je, zda pro snížení ceny bude stačit pouhá masová výroba, nebo zda bude třeba výrazně zlepšit technologické řešení současných nákladných senzorů.

Dále je třeba vnímat nutnost postupné kompletní změny modelu výroby a prodeje vozidel, kdy zákazníci nebudou koncoví uživatelé ale spíše firmy poskytující mobilitu jako službu, tedy operátoři mobility. Jedná se tedy o změnu prodejního a servisního řetězce z B2C na B2B, čemuž se stávající výrobci automobilů musí přizpůsobit. Možností je i zapojení těchto výrobců do trhu s mobilitou a vznik velkých mobilních operátorů spojených s konkrétními automobilkami. Současně můžeme registrovat příchod nových výrobců z řad technologických firem s jiným přístupem k celé problematice (Tesla) a rizika s tím spojená.

4.3 Legislativní bariéry

Hlavní legislativní bariérou je chybějící legislativní rámec v EU a zatím pouze částečně vytvořená legislativa v USA. V Asii a Austrálii je situace podobná [AD 2017, NTC 2017], v afrických zemích zatím otázka autonomního řízení není na pořadu dne. [Grobler 2017]

V rámci legislativního procesu bude nutné dořešení otázek jako odpovědnost za provoz autonomního vozidla, etika provozu, úprava dopravních předpisů (např. dopravní kontroly), státní regulace (kontroly funkčnosti a bezpečnosti, povolování provozu a dalších).

4.4 Společenské bariéry

Pro plnohodnotné akceptaci a rozšíření autonomních vozidel bude nutno čelit i řadě společenských bariér, jako jsou:

- **Hluboce zakořeněné vlastnictví vozidla, společenský status**
Pro mnoho lidí je vlastnictví vozidla pevně daný bod, kterého se nebudou chtít vzdát. Mnohdy vozidlo dané značky slouží i jako společenský statusový symbol, jakou pozici daný člověk ve společnosti zaujímá. Nicméně autoři této práce očekávají, že funkci společenského statusu převzou jiné výrobky (dnes to již je např. mobilní telefon). Také diferenciací úrovně služeb mezi mobility operátory může fungovat jako společenský status (stejně tak jako economy a business třída u letecké dopravy).
- **Předsudky a obava z AI, nedůvěra**
Experimenty společnosti Waymo ukázaly, že předsudky a obava z automatické řízení vozu vyprchají velmi rychle a lidé vzápětí využívají nově získaný volný čas ke svým aktivitám
- **Vozidlo jako mobilní zavazadlo**
Mnohdy je vozidlo používáno mimo jiné jako mobilní základna/zavazadlo. Pravděpodobně ekonomické aspekty donutí většinu uživatelů tento způsob využití vozidla opustit.
- **Přechodné zvýšení hustoty dopravy**
Autonomní doprava může ve střednědobém horizontu paradoxně ještě zvýšit hustotu dopravy ve městech, protože se stane konkurencí hromadné dopravě. To bude kompenzováno až zavedením nových (víceúčelových) typů vozidel umožňujících zvýšení přepravní hustoty osob, případně regulačními opatřeními ve městech s důrazem na kombinaci různých druhů dopravy.

5 Shrnutí

V tomto dokumentu jsme shrnuli jak nadcházející průmyslové a společenské změny, tak aktuální směry technologického vývoje v oblasti snímačů, fúze, umělé inteligence, algoritmů řízení, zvyšování spolehlivosti a nastínili vhodné uplatnění těchto technologií a přístupů v oblastech autonomního řízení vozidla.

V nejbližší době můžeme očekávat první **aplikace nižších úrovní autonomie SAE 3 v reálném prostředí, pokročilejší autonomie** zůstane zatím pravděpodobně **v uzavřených areálech** či jiných oblastech mimo klasický silniční provoz, jako jsou areály podniků, logistické areály, přístavy, překladiště ale i zemědělská výroba. V komerčně dostupných vozidlech budou přibývat inteligentní asistenční služby pro ohraničené situace a úkony. V rámci **MHD** se objeví první reálně provozované autonomní **dopravní prostředky kombinující jednoduchou autonomii s teleoperací** („bez kolejové tramvaje“).

V dlouhodobějším měřítku spíše, než osobní vlastnictví autonomních vozidel, předpokládáme **komerční provozování flotil autonomních vozidel**, neboť tato činnost vyžaduje speciální a nepostradatelnou infrastrukturu pro provozování, kontrolu a servis takových vozidel. **Mobilita** bude pak těmito operátory **poskytována jako služba** koncovým zákazníkům z řad firem i soukromých osob.

Stále bude pokračovat rapidní vývoj a výzkum nových technologií v této oblasti a jejich postupné uplatňování v komerčních aplikacích.

Speciálně v oblasti **umělé inteligence** je vidět výrazný pokrok, který může stávající přístupy zcela změnit – je proto dobré tuto oblast sledovat a průběžně verifikovat možnosti uplatnění v automotive prostředí. Rostou také nároky na spolehlivost systémů a tvorbu **systémů odolných proti selhání**.

Výzvou je i postupné **snižování závislosti** autonomních vozidel **na přesných 3D mapách** a zvyšování jejich autonomní inteligence tak, aby zvládla projet i předem nezmapované úseky.

V oblasti snímačů jde hlavně o rozvoj **lidarů**, kde pravděpodobně dojde k rozšíření Solid State lidarů a dále k celkovému zlevnění produkce, a tedy i k většímu použití u běžných vozidel. Alternativou je i nahrazení lidarů kamerami doplněnými pokročilou umělou inteligencí pro získání obdobné kvality dat jako z lidarů.

Simulace je stále více a více využívána pro vývoj i testování prvků ADAS systémů a autonomního řízení. Technologie se zlepšuje a umožní i nasazení prvků umělé inteligence u produkčních vozidel – tyto nelze testovat deterministicky, a proto je potřeba provést mnohem rozsáhlejší stochastické otestování pomocí simulací.

Infrastruktura silniční sítě také musí být výrazně rozšířena pro použití autonomních vozidel. Jedná se o poskytování online hi-res map, komunikace mezi autonomním vozidlem a dopravní infrastrukturou (ať lokální, tak i centrální). Komunikační síť nové generace musí zvládnout podstatně větší datové toky a zároveň zajistit malou latenci pro časově kritické operace (tele-operace).

6 Seznam použité literatury

- [ACEA 2017] ACEA (9.5.2017) "**Truck industry gears up for wide-spread introduction of semi-automated convoys by 2023**", ACEA press release (<http://www.acea.be/press-releases/article/truck-industry-gears-up-for-wide-spread-introduction-of-semi-automated-conv>)
- [AD 2017] 2025AD Team (15.11.2017) "**How to Deal with the Constraints of China's Laws on Driverless Cars**", 2025AD press release (<https://www.2025ad.com/latest/2017-11/china-driverless-car-regulation/>)
- [ALEC 2017] ALEC (2017) "**Vehicle platooning for safety and efficiency act**", (<https://www.alec.org/model-policy/vehicle-platooning-for-safety-and-efficiency-act/>)
- [Anders 2018] Anders M. (2018) "**Metro Detroit cities prepare for autonomous vehicles with smart infrastructure**", Modelmedia, (<http://www.modelmedia.com/features/smart-infrastructure-launch.aspx>)
- [AP ITS ČR 2015-2020] Ministerstvo dopravy ČR (15.4.2015) "**Akční plán rozvoje inteligentních dopravních systémů (ITS) v ČR do roku 2020 (s výhledem do roku 2050)**", Strategický dokument resortu, (<https://www.databaze-strategie.cz/cz/md/strategie/akcni-plan-rozvoje-inteligentnich-dopravnich-systemu-its-v-cr-do-roku-2020-s-vyhledem-do-roku-2050>)
- [BBC 2017] BBC news (23. 11. 2017) "**Singapore to use driverless buses from 2022**", (<http://www.bbc.com/news/business-42090987>)
- [Bergen 2018] Bergen M. (28.3.2018) „**Google Backs Startup Working on Remote-Controlled Driverless Cars**“, Bloomberg Hyperdrive, (<https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-03-28/google-backs-startup-working-on-remote-controlled-driverless-cars>)
- [BI 2016] Radovanovic D., Muoio D. (4.10.2016) „**This is what the evolution of self-driving cars looks like**“, (<http://www.businessinsider.com/what-are-the-different-levels-of-driverless-cars-2016-10>)
- [Blackmore] Blackmore "**Blackmore Automotive Lidar**" 2018, (<https://blackmoreinc.com/auto>)
- [Bosch 2018] Stephan Stass, Bosch „**Pushing the limits of automated driving with artificial intelligence and connectivity**" 2018, presentation from Tech.AD 2018 conference
- [Burke 2017] Burke, K. (27.8.2017) „**Humans help train their robot replacements**“, Automotive News, (<http://www.autonews.com/article/20170827/OEM06/170829822/data-annotation-self-driving>)



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



- [Buspress 2016] (19.4.2016) „**Truck platooning zlepšuje bezpečnost a plynulost provozu i životní prostředí**“, buspress.eu, (<http://www.buspress.eu/truck-platooning-zleps-bezpecnost-a-plynulost-provozu-i-zivotni-prostredi/>)
- [CDV 2020] Centrum Dopravního Výzkumu (5.5.2020) „**Vznikl Katalog testovacích oblastí pro autonomní vozidla**“, tisková zpráva CDV, (<https://www.cdv.cz/file/tz-vznikl-katalog-testovacich-oblasti-pro-autonomni-vozidla/>)
- [CISION 2019] (21.11.2019) „**World Carsharing Telematics Market Report 2019**“, PR Newswire, (<https://www.prnewswire.com/news-releases/world-carsharing-telematics-market-report-2019---carsharing-membership-will-grow-at-a-cagr-of-35-percent-from-50-4-million-at-the-end-of-2018-to-227-1-million-by-2023--300962233.html>)
- [cnet 2018] Tibken S. (13.11.2018) „**Waymo CEO: Autonomous cars won't ever be able to drive in all conditions**“, (<https://www.cnet.com/news/alphabet-google-waymo-ceo-john-krafcik-autonomous-cars-wont-ever-be-able-to-drive-in-all-conditions/>)
- [Cremers 2017] Cremers D., Wang R. (2017) „**Stereo DSO: Large-Scale Direct Sparse Visual Odometry with Stereo Cameras**“, Research report page, (<https://vision.in.tum.de/research/vslam/stereo-dso>)
- [ČTK 2020] Dvořák F., ČTK (2020) „**Český investor postaví u Stříbra obří polygon pro testování aut bez řidiče**“, článek iDnes na základě tiskové zprávy ČTK, (https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/autonomni-auta-testovani-polygon-stribro-accolade.A200122_211235_automoto_fdv)
- [Eggert 2015] Eggert J., Klingelschmitt S., Damerow F. (20.11.2015) „**The Foresighted Driver: Future ADAS Based on Generalized Predictive Risk Estimation**“, FAST-zero 2015 Symposium, At Gothenburg, Sweden
- [Electrek 2020] „**Tesla releases new, highly anticipated Traffic Light and Stop Sign Control feature**“ (<https://electrek.co/2020/04/24/tesla-autopilot-traffic-light-and-stop-sign-control-feature/>)
- [ESA 2018] ESA „**INTEGRITY MONITORING AND PREDICTION CONCEPT FOR AUTONOMOUS CAR RESILIENCE AND SAFETY**“, EXPRO NAVISP ELEMENT 1, ESA Intended invitation to tender, (http://emits.sso.esa.int/emits/owa/emits_iitt.show_iitt?actref=18.154.04&user=Anonymous)
- [EU10 2017] Výbor pro dopravu a cestovní ruch (23.10.2017) „**Záchrana životů: zvyšování bezpečnosti vozidel v EU**“, Evropský parlament, (<http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A8-2017-0330+0+DOC+XML+V0//CS>)
- [EU 2019] Directorate-General for Research and Innovation (2019) „**STRIA Roadmap on Connected and Automated Transport: Road, Rail and Waterborne**“, European Commission

- [CCAM 2020] ERTRAC (13.4.2020) „**Connected, Cooperative and Automated Mobility (CCAM)**“, ERTRAC of European Commission
- [FasterRCNN] Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick, and Jian Sun “**Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks**” 6.1.2016
<https://arxiv.org/pdf/1506.01497.pdf>
- [Frost 2016] Frost & Sullivan (2.8.2016) „**Future of Carsharing Market to 2025**“, marketing study, (<http://www.frost.com/sublib/display-report.do?id=MB4D-01-00-00-00>)
- [Gorelik et al 2017] Gorelik, K., Kilic, A. and Obermaisser, R. “**Energy management system for automated driving: Optimal and adaptive control strategy for normal and failure case operation**”, 2017 Annual IEEE International Systems Conference (SysCon), Montreal, QC, 2017, pp. 1-8.
- [Grobler 2017] Grobler Ch. (28. 12. 2017) “**Why Self-driving Cars Won’t Work in South Africa Yet**”, Suzuki blog, (<http://blog.suzukiauto.co.za/blog/why-self-driving-cars-wont-work-in-south-africa.-.-yet>)
- [Hamblen, 2019] Hamblen, M. “**ACIENNA launches IMU for autonomous vehicles with triple redundancy**” [dostupné online:
<https://www.fierceelectronics.com/electronics/acienna-launches-imu-for-autonomous-vehicles-triple-redundancy>]
- [Hamilton 2017] Hamilton M., Hamilton E. (2017) “**Cities Should Not Design for Autonomous Vehicles**”, Market Urbanism,
(<http://marketurbanism.com/2017/11/13/cities-should-not-design-for-autonomous-vehicles/>)
- [Hanley 2018] Hanley S., (11.3.2018) „**Waymo, Uber, & Tesla Are Pushing Autonomous Truck Technology Forward**“, Clean Technica
(<https://cleantechnica.com/2018/03/11/waymo-uber-tesla-pushing-autonomous-truck-technology-forward/>)
- [Harris 2017] Harris H. (2017, February 2) “**The 2,578 Problems With Self-Driving Cars - Reports from companies testing autonomous vehicles in California show they are improving but still far from perfect**” (<https://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/the-2578-problems-with-self-driving-cars>)
- [Hawkins 2017] Hawkins A.J. (4.10.2018) „**Self-driving taxis are coming to residential neighborhoods**“, The Verge,
(<https://www.theverge.com/2017/10/4/16424286/voyage-self-driving-taxi-car-test-san-jose-retirement-community>)
- [Hook 2018] Hook L. (21.2.2018) „**Driverless cars: mapping the trouble ahead**“, Financial Times, (<https://www.ft.com/content/2a8941a4-1625-11e8-9e9c-25c814761640>)
- [Hyldmar 2019] “**Driverless cars working together can speed up traffic by 35 percent**”, Nicholas Hyldmar, Yijun He, Amanda Prorok

<https://www.cam.ac.uk/research/news/driverless-cars-working-together-can-speed-up-traffic-by-35-percent>)

- [Chauhan 2017] Chauhan G. (2017, November 14) "**What should one do when an automatic car's brakes fail? As there is no gear control to slow down the car, how does one get it to a halt?**" (<https://www.quora.com/What-should-one-do-when-an-automatic-cars-brakes-fail-As-there-is-no-gear-control-to-slow-down-the-car-how-does-one-get-it-to-a-halt.>)
- [Chin, 2019] Chin, S. „**Hyundai unveils redundant braking system for autonomous vehicles**“ [dostupné online: <https://www.fiercееlectronics.com/electronics/hyundai-unveils-redundant-braking-system-for-autonomous-vehicles>]
- [IHS 2015] Perslow H., Carslon J. (2015 June 17th) „**ADAS – Current & Future Perspectives**“, in IHS Automotive Seminar, Frankfurt, (https://ihsmarkit.com/pdf/IHS-ADAS-Current-and-Future-Perspectives_227834110913052332.pdf)
- [Isermann 2002] R. Isermann, R. Schwarz and S. Stolz (2002, October) "**Fault-tolerant drive-by-wire systems**" in IEEE Control Systems, vol. 22, no. 5, pp. 64-81. doi: 10.1109/MCS.2002.1035218
- [Ishigooka et al, 2018] Ishigooka, T., Honda, S. and Takada, H. "**Cost-Effective Redundancy Approach for Fail-Operational Autonomous Driving System**," 2018 IEEE 21st International Symposium on Real-Time Distributed Computing (ISORC), Singapore, 2018, pp. 107-115, doi: 10.1109/ISORC.2018.00023.
- [Johanson et al, 2018] Jonasson, M. & Thor, M. „**Steering redundancy for self-driving vehicles using differential braking**“, Vehicle System Dynamics, 56:5, 791-809, DOI: 10.1080/00423114.2017.1356929
- [Khan 2018] Khan A. (7.1.2018) „**CES 2018: NVIDIA CEO Unveils Drive AR Platform for Autonomous Vehicles**“, Shacknews (<http://www.shacknews.com/article/102724/ces-2018-nvidia-ceo-unveils-drive-ar-platform-for-autonomous-vehicles>)
- [Kilián 2020] Kilián K. (1.2.2020) „**UPS a Waymo spojují síly: balíčky v americké Arizoně budou vozit autonomní vozy**“, článek VTM (<https://vtm.zive.cz/clanky/ups-a-waymo-spojuji-sily--balicky-v-americke-arizone-budou-vozit-autonomni-vozy/sc-870-a-202246/default.aspx>)
- [Kluc 2016] Kluc M. (2016) "**Aplikace autonomních vozidel do běžného provozu**", DP ČVUT ÚBTI, (<https://dSPACE.cvut.cz/bitstream/handle/10467/68247/F6-DP-2016-Kluc-Michal-autonomni%20vozidla.pdf>)
- [Korosec 2018] Korosec K. (4.7.2018) „**Baidu just made its 100th autonomous bus ahead of commercial launch in China**“, Techcrunch (<https://techcrunch.com/2018/07/03/baidu-just-made-its-100th-autonomous-bus-ahead-of-commercial-launch-in-china/?guccounter=1>)

- [Krasia 2019] (2019, September 26) "**Baidu's robotaxi fleet starts to pick up real passengers in Central China's streets**" (<https://kr-asia.com/baidus-robo-taxis-fleet-start-to-pick-up-real-passengers-in-central-chinas-streets>)
- [Kumar 2013] Kumar S. (2013, April 15) "**What is limp home mode in a car?**" (<https://www.quora.com/What-is-limp-home-mode-in-a-car>)
- [MD 2017] Ministerstvo dopravy ČR (2017) "**Vize rozvoje autonomní mobility**", strategický materiál MDČR (https://www.czechspaceportal.cz/files/files/ITS_new/Ostatn%C3%AD/Vize%20rozvoje%20autonomn%C3%AD%20mobility.pdf)
- [MD 2020] Ministerstvo dopravy ČR (2019) "**Akční plán autonomního řízení**", strategický materiál MDČR (http://amsp.cz/wp-content/uploads/2019/02/Ak%C4%8Dn%C3%AD-pl%C3%A1n-autonomn%C3%ADho-%C5%99%C3%ADzen%C3%AD-ma_KORNB8UGXNR8.pdf)
- [Morgenroth, 2019] Morgenroth, K. "**Autonomous driving - no time for blackouts**" [dostupné online: <https://blog.leoni.com/autonomous-driving-no-time-for-blackouts>]
- [Morley 2017] Morley K. (10. 7. 2017) "**Record decline in teenagers learning to drive, figures show**", The Telegraph, (<https://www.telegraph.co.uk/news/2017/07/10/record-decline-teenagers-learning-drive-figures-show/>)
- [MRFR 2018] Market Research Future (July 2018) „**Mobility as a Service Market Research Report- Forecast 2023**“, Market research report, (<https://www.marketresearchfuture.com/reports/mobility-as-a-service-market-3109>)
- [Muio 2016] Muio D. (2016, September 14) "**I was behind the wheel when a self-driving Uber failed — here's what happens**" (<http://www.businessinsider.com/uber-self-driving-car-fails-2016-9>)
- [NHTS 2015] "**Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey.**" National Highway Traffic Safety Administration, February 2015. (<https://crashstats.nhtsa.dot.gov/Api/Public/ViewPublication/812115>)
- [NI 2017] National Instruments "**Altran and NI Demonstrate ADAS HIL With Sensor Fusion**" 10.10.2017 (<http://www.ni.com/white-paper/53961/en/>)
- [NTC 2017] NTC Australia (October 2017) "**Changing driving laws to support automated vehicles**", Discussion Paper, (<https://www.ntc.gov.au/current-projects/changing-driving-laws-to-support-automated-vehicles/>)
- [Pawsey 2017] Pawsey C. (2017) "**How Artificial Intelligence Is Key for Autonomous Vehicle Development**", Trucks.com news, 2017 (<https://www.trucks.com/2017/11/29/artificial-intelligence-key-autonomous-vehicle-development/>)

- [Pavsey, 2019] Pavsey, C. **“Towards highly redundant steering systems”** [dostupné online: <https://www.automotive-ig.com/chassis-systems/articles/towards-highly-redundant-steering-systems>]
- [PerceptiveAutomata] Sam Anthony **“Introducing Perceptive Automata: Human Intuition for Self-Driving Cars”** 2018 (<https://medium.com/perceptive-automata/introducing-perceptive-automata-human-intuition-for-self-driving-cars-3d2aaa05c083>)
- [Price 2017] Price R. (7.9.2017) **„You can ride a driverless shuttle bus around East London right now”**, Business insider UK, (<http://uk.businessinsider.com/self-driving-bus-trials-in-east-london-navya-2017-9>)
- [Příbyl 2020] Příbyl M. (4.5.2020) **“Nadšení z autonomní jízdy v kolonách výrazně ochladlo.” Audi A8 ji nakonec nedostane**, zpráva na serveru aktualne.cz (<https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/nadzeni-z-autonomni-jizdy-v-kolonach-vyrazne-ochladlo-audi-a/r~546812fc894b11ea9d470cc47ab5f122/>)
- [Qualcomm 2018] Qualcomm (4.7.2018) **„ConVex Consortium Hosts Europe’s First Live C-V2X Direct Communication Interoperability Demonstration Between Motorcycles, Vehicles, and Infrastructure”**, Qualcomm press release, (<https://www.qualcomm.com/news/releases/2018/07/04/convex-consortium-hosts-europes-first-live-c-v2x-direct-communication>)
- [R-FCN 2016] Jifeng Dai, Yi Li, Kaiming He, Jian Sun (21.6.2016) **“R-FCN: Object Detection via Region-based Fully Convolutional Networks”** (<https://arxiv.org/pdf/1605.06409.pdf>)
- [Roboauto-YOLO 2017] Roboauto **“YOLO implementation in GTA V.”** 1.12.2017 (<https://blog.roboauto.cz/yolo-implementation-in-gta-v-1fb6c2bfc198>)
- [RoboautoSeg 2017] Roboauto **„Segmentation of front camera video”** 2017 (<https://www.youtube.com/watch?v=P-PcyuF6dyk>)
- [Roboauto 2017] Roboauto (5.2.2018) **„Roboauto in year 2017”**, Roboauto blog, (<https://blog.roboauto.cz/roboauto-in-year-2017-91c245e6a1e5>)
- [Ross 2018] Ross P.E., (7.5.2018) **„Self-Driving Cars Won't Need Accurate Digital Maps, MIT Experts Say”**, IEEE Spectrum, (<https://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/self-driving/mit-experts-selfdriving-cars-wont-need-accurate-digital-maps>)
- [Salay et al, 2018] Salay, R., Queiroz, R., & Czarnecki, K. **“An Analysis of ISO 26262: Using Machine Learning Safely in Automotive Software.”** SAE Technical Paper, 2018-01-1075, 2018.
- [Salesky 2017] Salesky B. (16. 10. 2017) **“A Decade after DARPA: Our View on the State of the Art in Self-Driving Cars”**, Argo AI, (<https://medium.com/self-driven/a-decade-after-darpa-our-view-on-the-state-of-the-art-in-self-driving-cars-3e8698e6afe8>)

- [Silver 2018] Silver D. (2018) "**Car Washes for Self-Driving Cars**", Udacity
(<https://medium.com/self-driving-cars/car-washes-for-self-driving-cars-f7fdc52b7abd>)
- [SSD 2016] Wei Liu¹, Dragomir Anguelov², Dumitru Erhan³, Christian Szegedy³, Scott Reed⁴, Cheng-Yang Fu¹, Alexander C. Berg „**SSD: Single Shot MultiBox Detector**“ 29.12.2016
(<https://arxiv.org/pdf/1512.02325.pdf>)
- [SMPLC 2017] "**Shared Mobility Principles for Livable Cities**"
(<https://www.sharedmobilityprinciples.org/>)
- [Statt 2017] Statt N. (8. 11. 2017) "**A self-driving shuttle in Las Vegas got into an accident on its first day of service**", The Verge,
(<https://www.theverge.com/2017/11/8/16626224/las-vegas-self-driving-shuttle-crash-accident-first-day>)
- [Stern 2017] "**Dissipation of stop-and-go waves via control of autonomous vehicles: Field experiments**", Raphael E. Stern, Shumo Cui, Maria Laura Delle Monache, Rahul Bhadani, Matt Bunting, Miles Churchill, Nathaniel Hamilton, R'mani Haulcy, Hannah Pohlmann, Fangyu Wu, Benedetto Piccoli, Benjamin Seibold, Jonathan Sprinkle, Daniel B. Work (<https://arxiv.org/abs/1705.01693>)
- [Thierer 2014] Thierer A., Hagemann R. (2014) "**Removing Roadblocks to Intelligent Vehicles and Driverless Cars**", MERCATUS WORKING PAPER,
(<https://www.mercatus.org/system/files/Thierer-Intelligent-Vehicles.pdf>)
- [Udacity 2017] Dhanoop Karunakaran "**Semantic segmentation — Udaity's self-driving car engineer nanodegree**" (<https://medium.com/intro-to-artificial-intelligence/semantic-segmentation-udaitys-self-driving-car-engineer-nanodegree-c01eb6eaf9d>)
- [YOLOv3] Redmon, Joseph and Farhadi, Ali „**YOLOv3: An Incremental Improvement**“ arXiv 2018 (<https://pjreddie.com/darknet/yolo/>)
- [Walker 2016] Walker J. (26.10.2016) "**Are Fully Driverless Vehicles Coming Soon? Doubts, and Smarter Hopes**" (<http://humantransit.org/2016/10/are-fully-driverless-vehicles-coming-soon-reasons-for-doubt.html>)
- [Walker 2018] Walker Jon, (19.7.2018) „**Self-Driving Trucks – Timelines and Developments**“, Techemergence (<https://www.techemergence.com/self-driving-trucks-timelines/>)
- [Waymo 2017] Waymo, "**Waymo Safety Report - On the Road to Fully Self-Driving**", 15.11.2017 (<https://storage.googleapis.com/sdc-prod/v1/safety-report/waymo-safety-report-2017-10.pdf>)
- [Waymo 2018] "**Waymo's fully driverless minivans are already putting people to sleep**" Andrew J. Hawkins, The Verge,
(<https://www.theverge.com/platform/amp/2018/3/13/17114194/waymo-driverless-minivan-arizona-early-rider-video>)
- [Waymo 2018-05] () Dmitru Dolgov, Waymo, "**Google I/O Recap: Turning self-driving cars from science fiction into reality with the help of AI**" 8.5.2018



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



(<https://medium.com/waymo/google-i-o-recap-turning-self-driving-cars-from-science-fiction-into-reality-with-the-help-of-ai-89dded40c63>)

[Wayve 2018] Wayve “**Learning to drive in a day.**” 28.6.2018

(<https://wayve.ai/blog/learning-to-drive-in-a-day-with-reinforcement-learning>)

[Wiki ADAS 2018] wikipedia article „**Advanced driver-assistance systems**“

(https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_driver-assistance_systems)