



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



Technologické trendy v silniční dopravě

1. etapa

Popis problémů současného stavu,
oblast autonomní vozidla

Ing. Tomáš Ondráček, PhD. (Artin), Ing. Jan Najvárek, PhD. (Artin),

doc. Ing. Petr Blaha, Ph.D. (CEITEK)

březen 2018



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



Obsah

Popis problémů současného stavu v oblasti autonomních vozidel	3
Plně automatizované řízení vozidel.....	3
Ověření spolehlivosti stochastických algoritmů v autonomním řízení	7
Simulace	8
Systémy odolné proti selhání	9
Plně automatizované řízení nákladních vozidel a návaznost na TEN-T	12
Plně automatizované řízení v MHD	12
Carsharing	13
Elektromobilita.....	13
Legislativa a autonomní řízení	14
Společenské změny.....	14
Vlastnictví vozu.....	14
Plynulost dopravy.....	15
Parkování.....	15
Nástupní a výstupní plochy	15
Počet a obnova vozidel.....	15
Nové typy vozidel	15
Pojištění	15
Pracovní trh	16
Mobilita pro mladé a hendikepované	16
Psychologické aspekty autonomního řízení	16
Identifikace bariér bránících rozvoji oblasti autonomních vozidel	17
Technické bariéry	17
Bariéry v automobilovém segmentu	17
Legislativní bariéry	18
Společenské bariéry.....	18
Shrnutí	18
Seznam použité literatury	20



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



Popis problémů současného stavu v oblasti autonomních vozidel

Problematika autonomních vozidel je v poslední době v centru technologického dění. Celý obor získává velké momentum a všechny automobilky a řada dalších firem nyní věnuje značné úsilí a ohromné investice prvkům asistenčních systémů řidiče (ADAS) či celému konceptu samořiditelného automobilu.

Podle statistik z USA **94 procent** nehod je způsobeno lidskou chybou [NHTS 2015], je tedy jasné, že autonomní vozidla a ADS systémy mohou eliminovat velkou část zranění/úmrť lidí a materiálních škod. Proto je v tyto technologie vkládáno tolik nadějí.

Cílem tohoto dokumentu je stručně shrnout současný stav ve zmíněné oblasti a zmínit nejdůležitější problémy, které je nutno řešit.

Plně automatizované řízení vozidel

Senzory

Pro spolehlivé autonomní řízení je základní potřebou mít informace, jak vypadá prostředí okolo řízeného vozidla a dále informace pro sebelokalizaci vozidla.

Aktuálně používané senzory:

Typ senzoru	Výhody	Nevýhody
Kamera	Velký dosah Pasivní sensor	Produkuje velký obsah dat, počítačově náročné zpracování Snížená funkčnost při špatném počasí či protisvětle
Radar	Spolehlivé při různém počasí Měří i rychlost objektů	Nepřesnost v pozici identifikovaného objektu Neměří ve vertikální ose
Lidar	Přesné měření okolí s cm přesností Nejsou citlivé na osvětlení scény	Vysoká cena Snížená funkčnost při špatném počasí (mlha, déšť) Necitlivost na objekty s nízkou odrazivostí (tmavé vozy)
Ultrazvuk	Nízká cena	Malý dosah (metry)
GPS	Nízká cena	Malá přesnost Nefunguje tam, kde není přímý a dostatečně velký průhled na oblohu (tunely, města, les)



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



Aktuální problémy senzorů:

- Vysoká cena (u prototypových vozidel řádově přesahují cenu běžného vozu)
- Snížená citlivost v horším počasí
- Vysoká spotřeba energie
- Odolnost proti vlivu prostředí (čištění vozidla, posypová sůl a štěrk)

Jako další senzor se v dnešní době považuje i digitální podrobná mapa (HiRes maps). U této je potřeba zajistit její maximální aktuálnost, proto se plánuje její dostupnost pomocí online konektivity vozidla a aktualizaci i pomocí jiných autonomních vozidel. Kromě klasických map s objektovým popisem jednotlivých částí (vozovka, počet pruhů, rychlostní omezení, značky, semaforey atd.) se také uvažuje o tzv. DNA vozovky, což je senzorový otisk (LiDAR či RADAR obraz) daného místa v mapě.

Algoritmy

V oblasti algoritmů pro řízení autonomního vozidla lze vyčlenit tyto oblasti:

- **Zpracování dat snímačů (Sensor data processing)**
Z hlediska zpracování dat jednoho druhu snímače je nejnáročnější zpracování obrazu. V posledních pár letech došlo k významnému posunu schopností metod v oblasti umělé inteligence (AI), konkrétně hlubokých neuronových sítí (DNN). Tyto metody se jeví jako výrazně lepší než starší metody, přinášejí však problém v potřebě vysokého výpočetního výkonu centrálních jednotek a také se jedná o nedeterministické systémy z hlediska testování bezpečnosti metod. Dalším problémem je pak vysoká spotřeba takovýchto počítačově výkonných prvků. Zpracování velkého množství dat přináší i nutnost vysoké datové prostupnosti sběrnic používaných v automobilovém průmyslu (CAN bus, FlexRay, Ethernet) a potřebu datových úložišť s velkou hustotou pro logování historie událostí.
- **Senzorová fúze (Sensor fusion)**
Fúzí dat z více snímačů lze pokrýt celé okolí vozidla a také lze kompenzovat rušení či nedostatky jednoho typu senzoru v dané situaci. V aktuální době senzorová fúze řeší primárně spojení segmentů jednotlivých snímačů, kompenzace rušení a nedostatků je zatím v rané fázi.
- **Lokalizace (Localization)**
Schopnost lokalizovat vozidlo v lokální mapě s přesností na 5-20 cm je klíčovou potřebou autonomních vozidel. V současné době se používá metoda přesných GPS s kombinací HiRes map s DNA vozovky. Výzvou je získání a aktualizace HiRes map a také chování vozidla v případě, kdy tyto mapy nejsou dostupné (problematika poslední míle).
- **Modelování okolí, predikce chování okolních objektů (Environment modelling)**



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



Na základě informací ze senzorů je možné vytvořit model reálného okolí vozidla, který je nezbytný pro stanovení jízdní trasy, vyhýbání případným překážkám, reakce na chování dalších účastníků okolního provozu, čtení dopravního značení, zjištění stavu vozovky vzhledem k počasí apod. V oblasti modelování okolí je hlavním problémem nalezení dostatečně komplexního modelu, který umožní autonomní jízdu a současně bude možné jej vypočítat s dostupným výpočetním výkonem ve vozidle.

- **Plánování cesty (Path planning)**
- **Řízení vozidla**

Komunikace

Komunikace vozidla s okolím lze rozdělit na:

- Komunikace mezi vozidly (V2V)
- Komunikace vozidla s infrastrukturou (V2I)
- Komunikace vozidla s Cloud službami (V2C)

V této oblasti dochází k postupné standardizaci. Nicméně zatím není klíčovou součástí autonomních vozidel, jelikož v přechodovém období smíšeného provozu vozidel klasických a autonomních nelze spoléhat, že vozidla či infrastruktura kolem autonomního vozidla bude podporovat nové standardy. Z tohoto hlediska se největšímu použití blíží V2C komunikace, kdy již stávající produkční vozy s pokročilými ADAS systémy poskytují data výrobcům těchto automobilů. Diskutovaným tématem je využití těchto dat, jejich sdílení i monetizace.

Trénovací data

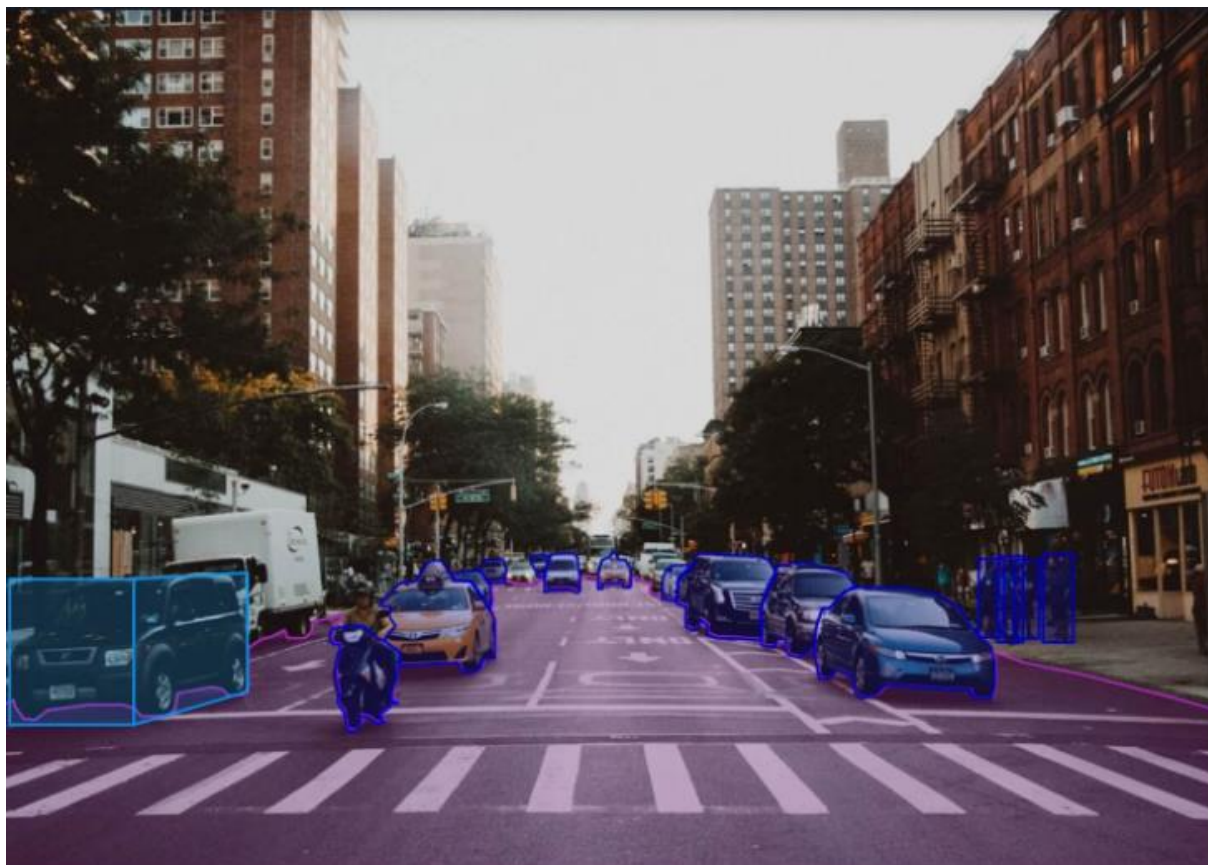
Použití metod umělé inteligence přináší potřebu tvorby velkého množství trénovacích, validačních a testovacích dat s anotacemi, tedy s informacemi, co daná data zobrazují (ground true).

Existuje několik možností anotace obrazových dat:

- Pixel perfect – objekt je klasifikován s přesností na jednotlivé body
- Bounding box - objekt je klasifikován obdélníkem kopírující obrys
- Cuboidal - objekt je klasifikován 3D kvádrem kopírující obrys



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



Obrázek 1 Příklad anotovaného obrázku Zdroj:playment.io

Mezi známé problémy patří:

- Anotace smíšených objektů (člověk držící zavazadlo – je vhodné jej zahrnout?)
- Vysoká cena anotací (pro kvalitní anotaci je nutno až 7 postupných anotací)
- Anotace překrývajících se objektů

V současné době existuje již řada firem, které se tomuto problému věnují (Playment, understandAI a další), některé i formou crowdsourcingu. Pracnost a tedy i vysokou cenu anotací se snaží řešit předzpracování pomocí pokročilých AI nástrojů.

Aktuální stav v oblasti autonomního řízení (stupeň 3 / 2+)

V současné době jsou k dispozici masově vyráběna vozidla s ADAS systémy s úrovní automatizace Level 2 či s částečnou funkcionalitou Level 3 (např. Audi Traffic Jam Pilot, Mercedes Valet Parking). V prototypové fázi či ve fázi pilotního provozu několika stovek vozidel jsou plně autonomní vozidla Level 4/5 (Waymo, Cruise, Voyage).



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



AUTOMATION LEVELS OF AUTONOMOUS CARS

LEVEL 0  There are no autonomous features.	LEVEL 1  These cars can handle one task at a time, like automatic braking.	LEVEL 2  These cars would have at least two automated functions.
LEVEL 3  These cars handle "dynamic driving tasks" but might still need intervention.	LEVEL 4  These cars are officially driverless in certain environments.	LEVEL 5  These cars can operate entirely on their own without any driver presence.

SOURCE: SAE International

BUSINESS INSIDER

Obrázek 2 Úrovně automatizace řízení podle SAE (Society of Automotive Engineers) Zdroj: [BI 2016]

Co se týče produkčních vozidel, přechod na Level 3 otevírá některé otázky, které zatím nejsou vyřešeny. Tato úroveň automatizace umožňuje řidiči neudržovat pozornost s ohledem na provoz kolem něj a věnovat se i jiným činnostem. Nicméně testy ukázaly, že řidič potřebuje několik sekund (až 10 sekund) na získání přehledu o aktuální dopravní situaci a spolehlivém převzetí řízení vozidla. Tato doba je příliš dlouhá na to, aby systém automatizovaného řízení bezpečně řídil vozidlo v případě, že rozeznal situaci, na kterou není schopen obsáhnout a je tedy otázkou, zda Level 3 lze použít při zajištění potřebné bezpečnosti provozu. Společnost Waymo se rozhodla tuto úroveň neimplementovat [Waymo 2017].

Ověření spolehlivosti stochastických algoritmů v autonomním řízení

Současná vozidla jsou navrhována a testována jako deterministické systémy. Automatické řízení však řeší natolik složité situace, že deterministický přístup nebude dostačovat. Již nyní je jasné, že pro řešení autonomie stupně 3 a výše bude třeba využití umělé inteligence jejíž přístupy jsou velmi často stochastické. Umělá inteligence, konkrétně hluboké neuronové sítě (DNN), se již nyní úspěšně uplatňují zejména při zpracování obrazu.

Zásadní otázkou je způsob testování těchto stochastických systémů, který je opět pouze stochastický. Pro tento přístup však není plně zavedena ani infrastruktura ani potřebné



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



procesy, proto se v automobilovém průmyslu takovéto systémy stále nedostávají do produkčního stavu v oblastech souvisejících s bezpečností provozu.

Dosud často používaná metrika uvádějící počet incidentů na počet ujetých km se nejeví jako vhodná, neboť nepostihuje jejich zásadní kvalitativní rozdílnost (např. část ujetá na dálnici v jednoduchých podmínkách vs. část ujetá ve výrazně složitějším městském provozu, za ztížených povětrnostních podmínkách apod.). Z tohoto důvodu se stále více výrobců přiklání ke změně této metriky na definici konkrétní množiny scénářů, které musí daný systém bezpečně zvládnout. Definice a vytvoření těchto testovacích scénářů jsou ovšem velmi komplikované a nákladné i vzhledem k tomu, že pro následné ověření je třeba znát přesnou situaci (ground truth), což je dosažitelné pouze s využitím přesných anotací dat. [Salesky 2017]

Také je důležité, aby scénáře vytvořené různými výrobci měly stejnou kvalitu. Zvažovaným přístupem je (v automobilovém průmyslu dosud nepříliš vídané) sdílení těchto informací a případné vytvoření jednotné databáze scénářů, která by se postupně doplňovala o další scénáře pokrývající co největší oblast možných situací.

Simulace

Pro ověření bezpečného a bezporuchového chování systému pro automatické řízení je třeba vyzkoušet obrovské množství různých situací. Výrobci autonomních řešení, jako např. Google, disponují proto vždy flotilou testovacích vozů, které v nepřetržitém provozu sbírají data a ověřují funkčnost autonomních systémů. Množství možných situací je však natolik obrovské a systémy natolik komplexní, že pro jejich skutečné ověření by byl třeba nereálný počet ujetých km, tedy počet vozů a množství času. Navíc každá změna komplexního automatického systému by vedla k nutnosti nového kompletního ověření, což také není reálné.

Z těchto důvodů se ověřování funkčnosti přesouvá do roviny simulátorů, které mohou ověřit dostatečný počet scénářů v dostupném čase (simulace může probíhat i rychleji než v reálném čase). Také nabízejí možnost generování i méně pravděpodobných krajních situací, které není při běžném provozu snadné navodit. Např. vozy Waymo najezdily od počátku testování více než 5 milionů mil zatímco v simulacích "urazí" jejich vozy cca 2.7 miliard mil ročně [<https://waymo.com/ontheroad/>]. 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.

Hlavními otázkami v této oblasti je zajištění dostatečné věrnosti simulace a vztah mezi bezpečně ujetými km v rámci simulace a v reálném prostředí. Je zřejmé, že pro otestování automatického řízení bude třeba kombinace simulace a reálného testovacího provozu, otázkou je správný poměr mezi těmito přístupy.



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



Systémy odolné proti selhání

Problémem dnešních autonomních vozidel je jejich nedokonalost, náchylnost k selhání. Při jednom testování autonomních vozidel, které probíhá každoročně v lednu v Kalifornii, musí výrobci testovaných vozidel poskytovat report o tom, jak často jejich vozidlo vyžadovalo během autonomního provozu zásah řidiče. Výsledky těchto testů jsou za rok 2017 popsány v [Harris 2017]. Je možné o nich polemizovat, jak se ostatně děje v komentářích ke článku, ale současně je možné je zobecnit do následujících bodů. Jednak je možné sledovat výrazný pokrok ve srovnání s výsledky z předchozích let, což svědčí o intenzivní činnosti v této oblasti. Dále je vidět, že autonomní řízení stále potřebuje čas, aby dozrálo v použitelnou alternativu klasické dopravy s řidičem.

Ukázky takovýchto selhání je možné sledovat na kanálu youtube. Je možné se o nich dočíst i v různých, třeba i ne odborných, článcích publikovaných na internetu [Chauhan 2017, Muoio 2016]. Tyto videa a články na jedné straně možná u široké veřejnosti snižují důvěru v autonomní vozidla, na druhé straně však přinášejí další myšlenky a podněty na jejich vylepšení. Vozidlo může být odolné jen vůči těm poruchám, které si dovedeme představit, na které je při návrhu brán zřetel. Na webových stránkách firmy Bosch se uvádí, že 90 procent současných dopravních nehod je způsobeno lidským faktorem a že tento podíl je možné snížit využitím autonomního řízení.

Pokud o nějakém systému řekneme, že je „fail-safe“, máme tím na mysli, že se v případě poruchy, nebo selhání vrátí do bezpečného stavu. Problém u autonomních vozidel spočívá v tom, že neexistuje jediný bezpečný stav, do kterého je nutné v případě selhání přejít. Bezpečný stav záleží na dalších okolnostech, jakými mohou být typ komunikace, dopravní situace, denní doba, případně počasí, ve kterém k problémové situaci došlo. V některých případech je bezpečným stavem postupné zpomalování, jinde je to rychlé brzdění. Na dálnici nemusí být bezpečným stavem ani jedna z těchto možností. Bezpečné může být co možná nejrychlejší přesunutí se do pomalejšího a následně do odstavného pruhu.

Různé oblasti požadují k přechodu do bezpečného stavu různý čas. V případě letadel se jedná často o hodiny provizorního letu nutné k přistání. U vozidel je tento čas zkrácen spíše na jednotky minut. Tato skutečnost výrazným způsobem ovlivňuje požadavky na návrh součástí pro různé oblasti.

Odtud vidíme, že po autonomním vozidlu požadujeme, aby i po vzniku poruchy bylo schopné dalšího fungování a rozhodování. Proto je nutné se u autonomních vozidel zabývat vyšším stupněm zabezpečení, které je označované jako „fail-operational“.

V dnešních vozidlech se běžně setkáváme s prvky, které jsou navrženy tak, aby byly bezpečné v případě selhání. Jedná se o kritické části, kterými jsou brzdy a manévrovatelnost, tedy řízení. Tyto prvky nejsou nikterak nové a byly vytvářeny v době, kdy se o autonomním řízení ještě moc nemluvilo. Příkladem může být článek [Isermann 2002], kde se řeší odolnost proti poruše systémů „drive-by-wire“, tedy systémů, kde je zrušena mechanická vazba mezi



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



řidičem a aktuátorem a je nahrazena snímačem, s následným přenosem informace k aktuátoru. S příchodem autonomního řízení se k těmto kritickým částem přidává také pohon, který by měl zůstat funkční i v případě poruchy, jakož i systémy pro sebelokalizaci, monitorování okolí a rozhodování.

Princip fail-operational využívá různosti a redundance [Kohn 2015]. Redundance (z lat. redundare, přebývat) znamená využití nadbytečných součástí, které z hlediska normální funkčnosti bez poruchy nejsou nezbytné a nepřinášejí pro systém žádné vylepšení. Zvyšování počtu součástí bohužel vede i ke zvýšení pravděpodobnosti vzniku poruchy. Růzností se myslí využití součástí, které plní stejnou funkci, ale pracují na jiném principu, nebo byly vytvořeny jiným výrobcem, nebo naprogramovány jiným člověkem. Jako příklad může být snímač úhlového natočení, jeden realizovaný jako absolutní inkrementální snímač a druhý postavený na GMR principu. Podobným příkladem na vyšší úrovni je hybridní pohon, který se skládá ze spalovacího motoru a elektrického motoru, kdy mohou oba pracovat nezávisle. V případě poruchy spalovacího motoru může být na chvíli (v závislosti na velikosti vestavěného akumulátoru) využit elektrický motor.

Redundance se na straně hardware dosahuje poměrně snadno, navyšuje však významným způsobem cenu a v některých případech značně i rozměry a hmotnost zařízení. Na straně software je potřeba využít redundantních hodnot k diagnostice. Tato část tvorby programového vybavení může být časově velmi náročná. Tím se zvyšují náklady na vývoj zařízení. Každá možná porucha, na kterou má systém umět reagovat se na straně programu promítne jako modifikace stávajícího algoritmu řízení, případně kompletní změna algoritmu řízení. Cena je ovlivněna nejen zvýšenými požadavky na výpočetní výkon, ale zejména na velikost paměti.

Příklady redundance v autonomních vozidlech Waymo [Waymo 2017]:

- Redundantní řídicí počítač
- Redundantní brzdový systém
- Redundantní řízení kol
- Redundantní zdroj energie
- Záložní antikolizní systém
- Záložní inerciální systém pro určení polohy

Otázka odolnosti proti selhání je v oblasti automobilového průmyslu poměrně nová. Přesto již existují řešení subsystémů, které jsou takto koncipované. Jako příklad je možné uvést systém Servolectric od firmy Bosch (<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/steering-systems/electric-power-steering-systems/fail-operational/>). Jedná se o systém pro natáčení kol při řízení. Je postavený tak, aby byl odolný proti selhání a je prezentovaný jako systém řízení pro mobilitu zítřka. I přes vestavěnou redundanci je u něj dosaženo snížení hmotnosti o 20 procent ve srovnání s předchozím řešením. Při návrhu



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



těchto subsystémů je možné částečně vycházet z řešení, které byly navrženy pro oblast výpočetní techniky, kde se otázka odolnosti vůči poruchám řeší poměrně dlouho. Slovo částečně je použito záměrně, protože některá tato řešení připomínají v oblasti vozidel situaci, kdy auto při zjištění poruchy zavolá taxi, aby mohla posádka pokračovat v cestě. Tento postup však neřeší, co se děje s vozidlem od reakce na poruchu po příjezd náhradního vozidla a není tedy jednoduše aplikovatelný.

V systémech s vysokými požadavky na bezpečnost jsou používány architektury 3 ze 4, nebo 2 ze 3. Druhá z nich se v současné době hojně používá v letectví. Systém je složen ze tří stejných komponent a za správné se považuje to, v čem se minimálně dvě shodují – nadpoloviční většina. Někdy, přestože se vyžaduje stejná funkcionality, jsou komponenty různé, aby se vyloučil vliv vestavěných chyb. To zase komplikuje následné rozhodování. U tohoto přístupu dochází k extrémnímu nárůstu ceny. Dá se předpokládat, že tento přístup nebude u autonomních vozidel akceptovatelný. U architektury 1 ze 2 je v případě poruchy problém určit, která komponenta pracuje správně a která je v poruše. Využití je možné pouze v případě, že jsou komponenty schopné vlastní diagnostiky a dokážou se samy prohlásit za porouchané.

Dalším krokem snižování výsledné ceny je podrobnější diagnostika postavená na modelování. Chování systému je srovnáváno s matematickým modelem a na základě vzájemných odchylek je usuzováno o správné činnosti. Tento postup je také použitelný u architektury 1 ze 2. Znalost a využití modelu umožňuje nahradit některé snímače odhadem z modelu. Eliminace snímače vede ke zvýšení spolehlivosti, protože snímač, který v systému není, se nemůže pokazit. Tento postup je však možné aplikovat pouze v omezené míře. Pro správnou diagnostiku je nutné využít velké množství snímačů. Zvláště u komplikovanějších komponent hrozí nesprávná diagnostika z důvodu překrývajících se symptomů, kdy se jedna porucha skrývá za druhou – fault overlapping.

Často není nutné dosáhnout po poruše stejného chování jako před ní. Například nemusí být nutné, aby motor vozidla byl po vzniklé poruše schopen pracovat s maximálním výkonem. U vozidel se v poslední době hovoří o takzvané funkci limp home, která je popsána například v [Kumar 2013]. Ta umožňuje autonomnímu vozidlu se v případě poruchy dopravit nouzovým způsobem domů, nebo do nejbližšího servisu. Výkon vozu může být omezen z důvodu vzniklé poruchy. Další provoz musí být bezpečný a nesmí dojít k dalšímu poškození ani zničení vozidla.

Dosažení provozuschopnosti i v případě poruchy není možné pouze na úrovni návrhu a realizace řídicích algoritmů na vyšší úrovni. Je k tomu potřebná podpora na všech úrovních, od vozidla jako celku, přes subsystémy jako pohon, brzdy, řízení, sebelokalizace, počítačového vidění okolí vozidla a komunikační moduly až po jednotlivé komponenty jako jsou snímače, součástky a mikrokontrolery. Otevírá se tak široký prostor pro výzkum a vývoj ve všech těchto oblastech.



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



Plně automatizované řízení nákladních vozidel a návaznost na TEN-T

Technologie pro automatizované řízení nákladních vozidel se v dnešní době zásadně neliší od technologií používaných v oblasti vozidel osobních. U nákladních vozidel je výhodou lepší poměr ceny vybavení pro autonomní jízdu (senzorů, řídicích jednotek a dalších komponent) vůči celkové ceně nákladního vozidla. Také předpokládané komerční využití nákladních vozidel dává prostor pro přijatelnější cenovou návratnost investice do pokročilých systémů autonomního řízení.

V současné době je aktuálním tématem nákladní dopravy využití tzv. "Track platooning" tedy poloautomaticky jedoucích konvojů kamionů s jedním vedoucím vozidlem. Zabývá se jím iniciativa „European Truck Platooning Challenge“ v rámci níž proběhla i první demonstrační jízda šesti „platoonů“ z různých evropských měst a byla úspěšně zakončena začátkem dubna 2016 v nizozemském Rotterdamu [Buspress 2016]. Řešením vodícího vozidla může být jak lidská posádka tak i autonomní systém – pak je možné hovořit o plně automatizovaném konvoji. Zvažuje se také varianta teleoperace, kdy dohled nad provozem těchto kamionů by byl realizován vzdáleně z operačního centra včetně případného zásahu do řízení. Zde je zásadním hlediskem zajištění dostatečně propustné a spolehlivé komunikační infrastruktury umožňující tento přístup. Tento přístup je také vnímán jako vhodný mezikrok mezi současným stavem a stavem plně automatického řízení. Hlavními důvody jsou, částečná legislativní připravenost pro využití platooningu [ALEC 2017, ACEA 2017], společensky přijatelnější postupný přechod k plné automatizaci a pozitivní ekologické dopady (úspora pohonných hmot a CO₂ při jízdě v konvoji).

Ve všech těchto případech je však třeba zvažovat i další operace potřebné k doručení nákladu, tedy především nakládku či vykládku. Tyto by mohly být opět realizovány s využitím externích pracovníků, či napojením na celoevropský přepravní systém transevropské dopravní sítě TEN-T.

Plně automatizované řízení v MHD

MHD je jednou z nejvhodnějších domén pro zavedení autonomního řízení, neboť vykazuje řadu vlastností usnadňujících implementaci autonomního řízení [Walker 2016]. Trasy vozidel MHD jsou předem určeny, tedy je výrazně jednodušší vytvořit a udržovat jejich podrobnou aktuální mapu. V těchto případech je možné uvažovat i o úpravě či doplnění infrastruktury o prvky podporující automatizované řízení, neboť v tomto měřítku budou ekonomicky dostupné. MHD je provozováno s výrazně nižšími rychlostmi (např. ve srovnání s dálničním provozem), což zjednoduší technické řešení automatizovaného řízení a bude klást nižší nároky na dosah senzorů i výpočetní výkon. Také vybavení vozidel MHD nákladnějšími senzorickými technologiemi dává vzhledem k počtu přepravovaných osob i ceně vozidla větší ekonomický smysl než u individuální dopravy. Města mají také výrazně větší možnost



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



regulace a např. vymezení koridorů sloužících výhradně pro automatizované dopravní systémy.

Překážkou naopak mohou být výrazně složitější dopravní podmínky ve městech spojené s menší flexibilitou automatizovaného řízení a schopností reagovat na nepředvídatelné situace (ve srovnání s lidským řidičem) [Statt 2017]. Pravděpodobně nepůjde o situace ohrožující bezpečnost cestujících, ale spíše omezující plynulost jízdy (např. nutnost objet popelářský či zásobovací vůz zaparkovaný v rozporu s předpisy apod.)

Již nyní můžeme sledovat první pilotní projekty nasazení částečně či plně automatizovaných prostředků MHD, nejčastěji menších autobusů, v některých evropských či asijských městech [BBC 2017, Price 2017].

Carsharing

Sdílení dopravních prostředků (carsharing) je jedním z velkých témat dotýkajících se i automatického řízení. Můžeme se setkat s prvními velkými poskytovateli jako Zipcar s rozvinutou infrastrukturou a velkým vozovým parkem. Rozvoj technologií podpořil a zjednodušil i možnost sdíleného využití osobních vozidel, vznikají první aktivity poskytovatelů, měst a dalších vládních i nevládních organizací s cílem dosáhnout úpravy pravidel sdílení dopravních prostředků zahrnující i aspekt autonomních vozidel [SMPLC 2017].

Aktuálně je hlavním problémem carsharingu malá penetrace a ztížená dostupnost sdílených prostředků v lokalitě uživatele. Automatizované řízení umožňující překlenout tyto problémy pravděpodobně povede k výraznému nárůstu využití carsharingu.

Elektromobilita

Automatické řízení není přímo závislé na elektromobilitě, ač je s ní často nesprávně spojováno. Systémy automatického řízení však 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 prostě 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.



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



Legislativa a autonomní řízení

Současná legislativa v automobilismu vychází z Vídeňské úmluvy z r. 1968 (ratifikována ČR 2.6.1993) a je v ČR upravena Zákonem o provozu na pozemních komunikacích. Tyto právní normy jsou však v rozporu s potřebami pro autonomní řízení stupně 3 a vyšší [Kluc 2016].

V současné době je možné sledovat legislativní aktivity jak na národní úrovni (Platforma pro autonomní vozidla ustanovená MDČR), tak na evropské úrovni (projekt eIMPACT). Jsou vymezeny první veřejné testovací úseky dálnic, jako např. Dálnice A9 v SRN nebo připravovaný úsek dálnice D1 mezi Brnem a Bratislavou. V USA je více než 7 států, kde je provoz autonomních vozidel již povolen.

Předpokládá se, že legislativa pro autonomní vozidla se postupně rozšíří na většinu států USA. Souběžně s tím bude pokračovat vypracování legislativního rámce v EU, který následně budou harmonizovat do své legislativy jednotlivé členské státy.

Společenské změny

Kromě zvýšené bezpečnosti provozu lze od nasazení autonomních vozidel očekávat celou řadu společenských změn:

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 výrazněji 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 vznikne potřeba společné infrastruktury (např. na objednávání jízd), regulace a sdílení dat.

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



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



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] 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 určitou formou regulace pomocí časově diferencované výše mýtného.

Parkování

S prudkým zmenšením 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 se znovu 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.

Mezistupně jsou ADAS systémy automatického parkování (Valet parking), v současné době se řada produktů chystá do produkce.

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.

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.

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 hromadné městské 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 segmentů vozidel, které překlenou rozdíl mezi osobními taxi a velkými vozy MHD – měly by udržet osobní a flexibilní formát dopravy, a přitom zvýšit densitu pasažérů na silnici.

Pojištění

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

- Nižší nehodovost vozidel (bude tlak i snížení ceny pojistného)



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



- Přesun vlastnictví většiny parku na mobility operátory, kteří budou požadovat vlastní, výhodnější podmínky pojištění a nebo 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

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 překládových uzlech.

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.

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.

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 (obdoba záchranné brzdy ve vlaku).

Dalším pravděpodobným důsledkem lidské nedůvěřivosti budou pokusy o "testování" chování autonomních vozidel ve smíšeném provozu ostatními účastníky provozu. Ještě více



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



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 podobného chování.

Identifikace bariér bránících rozvoji oblasti autonomních vozidel

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.

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]

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



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



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.

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], 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).

Společenské bariéry

Pro plnohodnotné akceptaci a rozšíření autonomních vozidel bude nutno prorazit i řadu 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 i slouží jako společenský statusový symbol, jako pozici daný člověk ve společnosti zaujímá.
Nicméně autoři této práce očekávají, že funkci společenského statusu převzou jiné výrobky (dneska to již je např. mobilní telefon) a i diferenciací úrovně službami mezi mobility operátory může také fungovat jako společenský status (stejně tak jako economy a business třída u letecké dopravy).
- **Předsudky a obava z AI, nedůvěra**
Experimenty společnosti Wymo ukázaly, že předsudky a obava z automatické řízení vozu vyprchá 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/zavadlo.
Pravděpodobně ekonomické aspekty donutí většinu uživatelů tento způsob využití vozidla opustit.

Shrnutí

Tento dokument stručně popsat stávající stav asistenční systémů a autonomních vozidel.

Identifikované problémy současného stavu můžeme shrnout v následující tabulce:



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



Oblast	Popis
Senzory	Vysoká cena
	Snížená citlivost v horším počasí
	Vysoká spotřeba energie
	Odolnost proti vlivu prostředí
Centrální řídicí jednotky	Nízký výpočetní výkon pro náročné zpracování velkého množství dat
	Vysoká spotřeba energie
	Dostatečný prostor pro ukládání dat
	Datová propustnost sběrnic
Algoritmy	Počítačové vidění – umělá inteligence
	Umělá inteligence – potřeba anotovaných dat
	Senzorová fúze – kompenzace rušení a kombinace různých typů senzorů
Bezpečnost	Redundance klíčových systémů
	Verifikace nedeterministických prvků systému
	Testovací scénáře
	Nákladnost testování
	Odolnost proti hackingu
Infrastruktura	Nákladnost vybudování infrastruktury
	Chybějící standardy, rychle se rozvíjející technologie
	HiRes mapy – dostupnost, sdílení, aktualizace, DNA vozovky
	Více ploch pro nástup a výstup, méně parkovacích míst
Automobilový segment	Změna automobilek z výrobců HW na výrobce SW
	Přechod ze segmentu B2C na B2B
	Cenově dostupná řešení
Komunikace	Standardizace V2V, V2I, V2C
	Přechodné období se smíšeným provozem podporujících a nepodporujících vozidel/infrastruktury
Legislativa	Chybějící legislativa, formující se společenský konsensus
	Definice zodpovědnosti za případné škody
	Legislativní rámec a regulace pro mobility operátory
Společenské změny a bariéry	Potřeba nových druhů vozidel (mezičlánek mezi taxi a MHD)
	Vozidlo jako vlastnictví a společenský statut
	Předsudky a nedůvěra
	Dopady na pracovní trh zejména v nákladní dopravě a TAXI službách
	Změna pojistných produktů (rozdílný pojištěný)



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



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.modeldmedia.com/features/smart-infrastructure-launch.aspx>)
- [BBC 2017] BBC news (23. 11. 2017) "**Singapore to use driverless buses from 2022**", (<http://www.bbc.com/news/business-42090987>)
- [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>)
- [Buspress 2016] (19.4.2016) „**Truck platooning zlepší bezpečnost a plynulost provozu i životní prostředí**“, buspress.eu, (<http://www.buspress.eu/truck-platooning-zlepsí-bezpecnost-a-plynulost-provozu-i-zivotni-prostredi/>)
- [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>)
- [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/>)
- [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>)
- [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.>)



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



[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

[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>)

[Kohn 2015] A. Kohn, M. Käßmeyer, R. Schneider, A. Roger, C. Stellwag and A. Herkersdorf (2015) "**Fail-operational in safety-related automotive multi-core systems**" 10th IEEE International Symposium on Industrial Embedded Systems (SIES), Siegen, pp. 1-4. doi: 10.1109/SIES.2015.7185051

[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>)

[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/>)

[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>)

[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/>)

[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>)

[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 2017] Silver D. (2017) "**Autonomous Vehicles are Power Hungry**", Udacity (<https://medium.com/self-driving-cars/autonomous-vehicles-are-power-hungry-976658d8ab41>)

[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>)



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



[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>)

[Walker 2016] Wolker 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>)

[Waymo 2017] (15.11.2017) **“Waymo Safety Report - On the Road to Fully Self-Driving”** Waymo, (<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>)