Strategická výzkumná agenda 2019

Autonomní vozidla

Obsah

[Popis současného stavu 2](#_Toc8814433)

[Hlavní problémy výzkumu a vývoje v oblasti 4](#_Toc8814434)

[Jízda podle přesných mapových podkladů 4](#_Toc8814435)

[Jízda založená na rozpoznání infrastruktury 4](#_Toc8814436)

[Bezpečnost a odolnost proti selhání 4](#_Toc8814437)

[Testování autonomních systémů 5](#_Toc8814438)

[Aktuální domácí a evropské dokumenty 6](#_Toc8814439)

[Vize budoucího stavu v roce 2030 7](#_Toc8814440)

[Asistenční systémy 7](#_Toc8814441)

[Plně automatizované řízení osobních vozidel 7](#_Toc8814442)

[Plně automatizované řízení MHD 8](#_Toc8814443)

[Carsharing a operátoři mobility 8](#_Toc8814444)

[Nákladní autonomní doprava a návaznost na TEN-T 8](#_Toc8814445)

[Autonomní parkování mimo centra a infrastruktura měst 9](#_Toc8814446)

[Bezpečnost a odolnost proti selhání 9](#_Toc8814447)

[Elektromobilita podpořená autonomním řízením 9](#_Toc8814448)

[Inteligentní navigace s online daty o provozu a daty pro autonomní řízení 9](#_Toc8814449)

[Přizpůsobení dopravní infrastruktury 9](#_Toc8814450)

[Teleoperace 10](#_Toc8814451)

[Mobilita pro mladé a hendikepované 10](#_Toc8814452)

[Nové typy vozidel 10](#_Toc8814453)

[Pracovní trh 11](#_Toc8814454)

[Nástin obsahu a zaměření hlavních výzkumných témat 12](#_Toc8814455)

[Výzkum a vývoj základních a pokročilých technologií pro autonomní dopravní systémy 12](#_Toc8814456)

[Tvorba a sdílení přesných mapových podkladů 12](#_Toc8814457)

[Inteligentní dopravní infrastruktura 13](#_Toc8814458)

[Testování, validace a certifikace 13](#_Toc8814459)

[Teleoperace 13](#_Toc8814460)

[Vývoj systémů odolných proti selhání 14](#_Toc8814461)

[Závěr 16](#_Toc8814462)

# Popis současného stavu

V současnosti je téma robotického řízení vozidel velmi aktuální a je patrné značné úsilí ve vývoji a praktickém nasazení automatizovaných systémů řízení. V současné době jsou pilotně nasazeny technologie automatického řízení úrovně 2 a částečně 3 (dle klasifikace SAE). Po počátečním nadšení se obor dostává do stavu „reálných očekávání“, kdy je jasně vnímáno, že úroveň automatizace 5 (tj. zvládnutí řízení za všech podmínek) je velmi těžké (pokud vůbec možné) dosáhnout, nicméně stále není sériově dosaženo ani plného stupně 3 nebo 4. Vývojem automatizovaných systémů řízení se zabývají jak velké technologické firmy, jako například Waymo(Google) se svým projektem „self-driving car“, Tesla se svým autonomním asistentem řízení či Uber se svým „self-driving car“ programem, tak i výrobci automobilů (OEM), kteří jdou spíše cestou postupného zavádění pokročilých inteligentních asistenčních systémů (inteligentní tempomat, sledování jízdního pruhu, zabránění kolizi, asistent jízdy v kolonách apod.). V řadě nejen evropských měst jsou zase zkušebně nasazovány automatizované prostředky hromadné dopravy – nejčastěji autonomní autobusy; například čínská společnost Baidu již vyrobila více než 100 autonomních minibusů Apollo. V Evropě jsou k dispozici první testovací úseky silnic a dálnic, kde je umožněn provoz autonomních vozidel, a další se připravují či plánují. V USA již několik států tento provoz povolilo plošně na celém svém území. Celá oblast autonomního řízení je předmětem zásadních investic a je součástí strategie snad všech hráčů v automobilovém průmyslu.

Poměrně nový trend carsharingu a poskytování mobility jako služby, našel velmi rychle svoje uplatnění v celosvětovém měřítku a stále se rozvíjí, ať už se jedná o sdílení osobních vozidel v rámci skupin na sociálních sítích nebo s využitím dedikovaných systémů (spolujízda.cz) nebo poskytování těchto služeb na komerční bázi (Uber). Služba Uber, stále ještě s lidskými řidiči, se stala v některých lokalitách dokonce tak populární a dostupná, že je využívána na úkor hromadné dopravy a negativně ovlivňuje dopravní zatížení měst.

Z využitých technologií je třeba zmínit jak přesné laserové snímače (LIDAR) – zde dochází k přechodu na zařízení bez pohyblivých částí tzv. Solid State Lidars, kamerové systémy, radary, jejichž informace jsou zpracovány s využitím principů umělé inteligence, pravděpodobnostní robotiky a pokročilých řídicích algoritmů včetně využití hlubokých umělých neuronových sítí. V současnosti se již do sériově vyráběných vozidel přímo ve výrobě integrují výše uvedené pokročilé snímače, přestože pro ně zatím nemusí být plné využití. Předpokladem je, že v budoucnu pak budou využity třeba právě pro pokročilé autonomní funkce, které se „zapnou“ pouze instalací příslušného nového software v těchto vozidlech. Inspirací je zde bezesporu koncept automobilky Tesla, která tento přístup již běžně provozuje a aktualizuje palubní systém svých vozidel uživatelům online několikrát ročně.

Z hlediska využitých senzorových technologií můžeme v této oblasti registrovat dva hlavní proudy. První z nich se vydává cestou využití přesných laserových (LIDAR) aktivních snímačů a budování podrobných map infrastruktury obsahujících tzv. DNA vozovky (zejména údaje z přesných snímačů). Vozidla se pak lokalizují v této mapě s centimetrovou přesností opět na základě aktuálně snímaných přesných dat v provozu. Druhým proudem je využití kamerového systému (typicky 3-10 kamer), jako pasivního snímače a zpracování údajů z něj pomocí umělé inteligence, zejména konvolučních neuronových sítí. První z přístupů přirozeně poskytuje data v 3D formátu vhodném pro budování reálného 3D modelu okolí. U druhého přístupu přímá informace o prostorové konfiguraci okolí není k dispozici, proto se jako doplňková technologie v tomto případě často využívá stereometrie pro získání 3D informace z obrazu.

Oba přístupy mají své výhody a nevýhody a v současnosti není zcela zřejmé, který z nich ve výsledku převáží, či zda půjde nakonec o jejich kombinaci. Zatím nejpokročilejší autonomní systém od společnosti Google je založen na LIDAR technologii, o využití čistě kamerového přístupu s doplňkovými snímači jako radar nebo ultrazvukové senzory zase usiluje autonomní řešení od dodavatele elektromobilů Tesla.

Zajímavým doplňkovým konceptem k plné autonomii je vzdálené řízení (teleoperace) vozidel, které může najít uplatnění v řadě případů, kdy by plná autonomie vyžadovala příliš složité nebo příliš nákladné řešení. Může být s výhodou využita zejména tam, kde je jeden operátor schopen obsluhovat větší flotilu vozidel s postupnými požadavky na jejich přemístění a možností počkat na zásah operátora. Dále může být vhodná k řešení dopravních situací, se kterými si aktuální autonomie neporadí a u kterých je možné počkat na zásah operátora (např. vyřešení složité situace způsobené rekonstrukcí vozovky či objetí popelářského vozu). Z hlediska infrastruktury potřebné pro teleoperaci je již většina prostředků k dispozici v produkčním stavu. Jedná se zejména o datové mobilní připojení 4G a nově připravované pokročilé 5G připojení, pro něž mobilní operátoři hledají vhodné využití.

Jak je možné sledovat v oblasti vývoje nových komponent, jejich výrobci si začínají uvědomovat, že současné produkty budou v řadě případů jen stěží použitelné v autonomních systémech úrovně SAE 4 a 5. Zajištění vysoké spolehlivosti dopravních systémů vyžadují systematickou změnu na všech úrovních. U jejich nových výrobků je proklamována skutečnost, že jsou vyvinuty s ohledem na implementaci v systémech s vysokou úrovní autonomnosti. U těchto výrobků je uvedené, že jsou bezpečné při selhání, případně dokonce odolné proti selhání. Bezpečné při selhání znamená, že jsou schopny svoji poruchu detekovat a přejít do bezpečného stavu. U systémů odolných proti selhání je systém schopen pokračovat, třeba jen v omezeném režimu, v dalším fungování.

Přechod k vyšším stupňům autonomního řízení je doprovázen přechodem k drive-by-wire systémům řízení. Tento vývoj není otázkou poslední doby. První takovýto systém byl použit automobilkou BMW již v 90. letech minulého století. Zajímavostí je, že v leteckém průmyslu to bylo ještě o dvacet let dříve (systém fly-by-wire). Od té doby se podařilo odstranit dřívější nedostatky těchto systému, jako byla dlouhá latence odezvy a nízká spolehlivost a přichystat tyto systémy k masovému použití.

# Hlavní problémy výzkumu a vývoje v oblasti

Základním technologickým problémem v oblasti autonomního řízení je přesná navigace, která umožní udržet vozidlo na silnici ve správném jízdním pruhu. K tomu je třeba dosáhnout přesnosti v řádu centimetrů (běžně se udává hranice do 10-20 cm).

## Jízda podle přesných mapových podkladů

Některé přístupy autonomního řízení nevyžadují speciální úpravu infrastruktury a fungují na stávající běžné silniční infrastruktuře, často využívají tvorby přesných mapových podkladů s daty z výše zmíněných senzorů. Tento přístup se potýká zejména s velkým objemem dat potřebných pro vytvoření přesných mapových podkladů, kdy se jedná řádově o terabajty informací. Z tohoto pohledu je obtížný zejména proces jejich aktualizace, neboť pro tato data je zásadní jejich aktuálnost, a dále přenos aktualizovaných dat do vozidel v provozu. Pro takto velké objemy dat navíc násobené množstvím vozidel v současnosti neexistuje vhodný on-line přenosový kanál s dostatečnou datovou propustností. Díky tomuto problému jsou autonomní vozidla využívající tento přístup často limitována pouze nevelkou omezenou oblastí (část města, čtvrť), ve které je ještě možné aktualizaci mapových podkladů zajistit. Dalším problémem je zajištění dostatečné infrastruktury, zejména vozového parku, pro neustálou aktualizaci map – buď se jedná o specializovaná dedikovaná vozidla, která aktuální informace sbírají a přenášejí do centra ke zpracování, nebo je snaha využívat data poskytovaná přímo vozidly účastnícími se běžného provozu. Na řešení této problematiky se zaměřily některé firmy, které poskytují aktualizované mapy ve formě služby (Mapbox, Deepmap, Carmera, Civil Maps, …).

## Jízda založená na rozpoznání infrastruktury

Jiné přístupy naopak spoléhají na bezvadně provedenou infrastrukturu, zejména pak vodorovné značení. Systém pak na základě vstupů ze senzorů (nejčastěji kamery a lidar) s využitím postupů umělé inteligence rozpozná klíčové orientační body a vytvoří mapu nejbližšího okolí, ve které je schopen dostatečně přesné a bezpečné navigace. Podobně funguje například autopilot ve vozidlech Tesla, který se spoléhá zejména na obraz z kamery zpracovaný s využitím neuronových sítí a dalších přístupů umělé inteligence. Většina těchto systémů však stále není schopna provozu za špatného počasí, sněhu, či jinak zhoršených přírodních podmínek. Nezvládají typicky nestandardní nebo komplikované dopravní situace jako dočasnou změnu značení, větší množství chodců či obecně složitý městský provoz. Situace se však velmi rychle vyvíjí a systémy se stále zdokonalují.

## Bezpečnost a odolnost proti selhání

S přechodem k autonomnímu řízení dochází k tomu, že jsou postupně další komponenty označovány jako kritické z hlediska bezpečnosti a zabezpečení. Mohou to být ty, které v současných autech nejsou obsaženy vůbec (percepce okolí, lokalizace), nebo ty, které dříve za kritické označovány nebyly (pohon, navigace).

Hlavním předpokladem pro realizaci systémů bezpečných při selhání/odolných proti selhání je diagnostika poruchy, pro kterou se využívá redundance. To s sebou přináší cenový nárůst komponent, který se nakonec přenáší do ceny celého vozidla.

V současné době se otevírá cesta k řešení řady problémů použitím principů umělé inteligence. Využití umělé inteligence přináší radikální nárůst požadavku na výpočetní výkon. Paralelní zpracování těchto úloh je umožněno vývojem GPU a multiprocesorových systémů. Na druhé straně je vysoký výpočetní výkon vykoupen vysokými požadavky na spotřebovaný elektrický výkon, který se nepříznivě projevuje v dojezdové vzdálenosti autonomních vozidel.

## Testování autonomních systémů

Technologie autonomního řízení jsou velmi komplexní, testovacích scénářů je téměř nekonečné množství a některé z technologií (zejména z oblasti umělé inteligence) nejsou deterministické. Tato kombinace faktorů činí testování autonomních systémů řízení extrémně komplikovaným ve srovnání s testováním současných automobilových systémů. Automobilový průmysl obecně klade zásadní důraz na spolehlivost a proto očekává stejný přístup i v této nové oblasti.

Je tedy třeba stanovit postupy pro testování autonomních systémů, které však budou naprosto originální oproti stávajícím přístupům. Kromě budování specializované infrastruktury a polygonů pro testování autonomního řízení se dá očekávat zahrnutí stochastických metod testování algoritmů umělé inteligence, víceúrovňové testování HW a SW (Hardware in the Loop, Software in the Loop a následné integrační testy) a zejména pak využití simulací pro testování. Pro srovnání – vozy flotily Waymo najezdily od počátku testování více než 5 milionů mil, zatímco v simulacích "urazí" virtuální testovací vozy cca 2.7 miliard mil ročně. 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.

# Aktuální domácí a evropské dokumenty

**Report on autonomous driving in European transport** (2018/2089(INI)), European Parliament, Committee on Transport and Tourism

**Connected Automated Driving Roadmap** – ERTRAC Working Group 8.3.2019

**Long Distance Freight Transport** - A roadmap for System integration of Road Transport - ERTRAC Working Group 26.2.2019

**Mobility.E** je iniciativa podporující mapování směrů vývoje v oblasti smart mobility směřující k bezpečným, automatizovaných/autonomních a propojených vozidel. Jejím hlavním cílem je nasazení systémů inteligentní mobility vedoucí k nulovým emisím a nulové nehodovosti, které budou dostupné široké veřejnosti. Vytváří tak obchodní příležitosti v automobilovém a polovodičovém průmyslu.

**AutoDrive** je ECSEL JU projekt s celým názvem „Advancing fail-aware, fail-save, fail-operational electronics comonents systems and architectures for highly and fully automated driving to make the future mobility safer, more efficient, affordable and end user acceptable“, který je jedním ze základních stavebních kamenů iniciativy Mobility.E.

**Horizon 2020 Work Programme** 2016 – 2017

Akční plán rozvoje inteligentních dopravních systémů (ITS) v ČR do roku 2020 (s výhledem do roku 2050)

**PRELIMINARY INPUT FOR THE PREPARATION OF THE WP 2018-2020 Transport Challenge**: Smart, green and integrated transport

**AUTOMATED DRIVING – LEVELS OF DRIVING AUTOMATION DEFINED IN NEW SAE INTERNATIONAL STANDARD** J3016

# Vize budoucího stavu v roce 2030

Při výhledu do roku 2030 v oblasti automatizovaných systémů řízení můžeme vycházet zejména z předpokladu širšího využití aktuálně fungujících či pilotně testovaných systémů a jejich zdokonalení. Jejich nasazování do praxe má vždy určitou setrvačnost a souvisí i s cykly obnovování vozového parku.

## Asistenční systémy

Aktuální snaha automobilek na zavádění inteligentních asistenčních služeb se promítne do plošného rozšíření těchto asistentů. Bude se jednat zejména o asistenty pro zvýšení bezpečnosti (např. automatické nouzové brzdění, automatické vyhnutí kolizi, automatická detekce chodců, automatická detekce nebezpečných dopravních situací) tak o asistenty aktivní jízdy (např. asistent jízdy v pruhu, inteligentní tempomat, asistent jízdy v kolonách, asistent jízdy na dálnici). Tyto asistenční systémy se již v současnosti objevují v nejnovějších modelech sériově dodávaných vozidel. U všech těchto asistentů stále je, a i nadále bude, předpokládána přítomnost lidského řidiče ve vozidle a jeho minimálně pasivní (dozorovací) role a schopnost převzít řízení v případě potřeby či limitu fungování automatického asistenta. Naopak v případě selhání či ztráty pozornosti řidiče (mikrospánek, zdravotní indispozice, apod.) budou systémy schopny převzít kontrolu nad vozidlem a bezpečně s ním pokračovat nebo zastavit. Těmito systémy již bude vybavena naprostá většina osobních vozidel a všechna vozidla MHD a nákladní přepravy (což bude i legislativně vyžadováno).

Při testování přebírání řízení od asistenčních systémů na úrovni 3 bylo zjištěno, že člověk, který předtím nevěnoval pozornost řízení ani okolnímu provozu, potřebuje poměrně dlouhý čas (8-12 vteřin) na zorientování v aktuální dopravní situaci, aby mohl bezpečně převzít zpět kontrolu nad vozidlem. Z toho vyplývá, že převzetí kontroly řidičem v neočekávaných kritických situacích nebude pravděpodobně vůbec možné a z tohoto důvodu některé automobilky se chystají stupeň 3 autonomie vynechat a postupovat přímo na stupeň 4.

## Plně automatizované řízení osobních vozidel

Technologický pokrok v oblasti automatizovaných systémů řízení přinese i značné rozšíření autonomních systémů, nicméně díky jejich pořizovacím nákladům budou rozšířeny méně a pravděpodobně ještě nebudou tvořit většinu aktivního vozového parku v osobní dopravě. Mohou však již v této době převládat v MHD nebo nákladní dopravě, a to v některých oblastech, státech či městech – půjde o nerovnoměrné rozprostření způsobené jak ekonomickou situací, tak rychlostí změn v legislativě jednotlivých zemí a samosprávných celků. Masivní využití autonomních systémů je také možné očekávat v zemědělství, kde již dnes automatizace hraje významnou roli.

Technologicky bude autonomní řízení nejspíše zajišťováno zařízeními vyvinutými předními technologickými firmami, které mají dostatek finančních a lidských zdrojů na zvládnutí složitých technologií, jejich testování a ověření spolehlivosti – v současnosti tímto směrem míří třeba Google, Uber, NVidia apod. Tato zařízení pak budou po své homologaci nabídnuta jak automobilkám, tak specializovaným firmám zabývajícím se jejich zástavbou a budou instalovaná do vozidel jako rozšiřující vybavení. Budou zvládat autonomní řízení ve smíšeném provozu (tj. spolu s neautonomními vozidly) a to především na dálnicích či jiných vyhrazených úsecích dopravních komunikací. Některá z nich mohou pak fungovat jen v oblastech s přizpůsobenou dopravní infrastrukturou a značením. Je možné, že budou mít jistá striktnější provozní omezení než neautonomní vozidla (např. nižší rychlostní limit).

Otázkou je, zda v této době bude dostatečně dobře zvládnutá i autonomní technologie řízení ve městech a jiných složitých dopravních situacích. Dle aktuálního vývoje nejspíše do roku 2030 nelze očekávat dosažení stupně autonomie 5, spíše stupně 3-4.

Bude existovat zákonné pojištění pro případ nehod těchto autonomních systémů, jednotný odškodňovací systém s vyloučením trestní odpovědnosti při dodržení zákonných podmínek provozování těchto systémů. Současně bude na jejich provoz dohlížet autorita, která bude vyšetřovat nehody a eliminovat rizika při nich zjištěná vydáváním dalších podmínek pro provoz těchto systémů (obdobně jako je tomu dnes v letectví).

## Plně automatizované řízení MHD

Dojde k rozšíření (již dnes pilotně využívaných a testovaných) automatických řídicích systémů v MHD, nejprve v jednotlivých městech, postupně se pokrytí bude zvyšovat. Bude se nejspíše jednat v největší míře o kolejový způsob přepravy (tramvaje, metro, nadzemní železnice, železnice obecně …), u kterého je autonomie řádově jednodušší díky kolejovému vedení. U silničních vozidel se bude jednat zejména o autobusy a trolejbusy jezdící po stále stejných trasách, což opět umožňuje jednodušší zvládnutí autonomního řízení a je možné a ekonomicky přijatelné upravit silniční infrastrukturu těchto tras o prostředky podporující autonomní řízení (speciální značení, navigační tagy apod.). Vzhledem k vyšší individualizaci osobní dopravy obecně bude tento trend patrný i v oblasti MHD, kdy bude v provozu širší škála zejména menších vozidel hromadné dopravy s nižší přepravní kapacitou (do 25 míst) a variabilními (zejména z hlediska počtu zastávek) linkovými trasami.

## Carsharing a operátoři mobility

Běžným a dostupným způsobem přepravy bude i carsharing s tím, že naprostá většina těchto dopravních prostředků již bude využívat autonomního řízení nebo teleoperace minimálně pro přemístění nevyužitých nebo odstavených vozidel blíže k dalším zákazníkům. Operátoři mobility (Mobility as a Service – MaaS) pak budou nabízet multimodální dopravní řešení, tj. kombinaci různých navazujících typů přepravy integrovaných do jednotného plánovacího systému. Takto se přirozeně sníží i potřeba osobního vlastnictví dopravních prostředků a výrazně vzroste efektivita při jejich využití. Osobní vozy již nebudou většinu svého času trávit na parkovištích čekajíc na příchod majitele, ale budou v provozu (v případě potřeby) téměř neustále. To bude mít i vliv na častější obnovu vozového parku a pozitivní dopad v oblasti inovací.

## Nákladní autonomní doprava a návaznost na TEN-T

Využití automatizovaných systémů řízení v nákladní dopravě bude jednou z priorit přepravních společností zejména z důvodu ekonomického přínosu tohoto řešení a získání konkurenční výhody. Současně v jejich zavádění sehraje roli i neustále přetrvávající a prohlubující se nedostatek kvalifikovaných profesionálních řidičů na trhu práce. Přepravní společnosti budou také ochotny investovat do nákladnějších plně autonomních řešení, navíc přeprava nákladu je méně kontroverzní z hlediska odpovědnosti v případě nehody. Proto jejich zavádění do praxe od okamžiku dostupnosti prvního komerčně ověřeného řešení bude velmi intenzivní. V roce 2030 můžeme očekávat již významné rozšíření těchto systémů při přepravě nákladu, je možné, že již budou v této oblasti převažujícím řešením. Umožní také snadnější využití multimodální přepravy a můžeme očekávat navázání na systém evropské dopravní sítě TEN-T, jehož jádro by mělo již být v této době v provozu. Více nákladů přepravovaných na střední vzdálenosti (300-1000 km) bude tedy takto přepravováno po železnici a na transitní uzly bude navazovat právě automatizovaná kamionová doprava. Vzhledem k tomuto vývoji dojde i k restrukturalizaci profesí v nákladní přepravě a posunu od řidičů k operátorům transitních uzlů, pracovníků překladišť a řidičů lokální dopravy. Nejsložitější pro autonomii je totiž tzv. poslední míle, která s sebou nese i další požadavky jako je nakládka, vykládka či přímé jednání s koncovým zákazníkem – zde tedy můžeme očekávat nové uplatnění stávajících řidičů dálkové kamionové přepravy.

## Autonomní parkování mimo centra a infrastruktura měst

S využitím carsharingu a autonomního řízení dojde k zásadní přeměně center (nejen) velkých měst. Nebude zde již třeba současný obrovský počet parkovacích míst a ploch, neboť vozidla v centru pouze zastaví, aby umožnila výstup pasažérů, a následně buď odjedou obsloužit dalšího zákazníka nebo se zaparkují na odstavném parkovišti mimo centrum města. Z tohoto důvodů přibude naopak potřeba vhodných míst pro nástup/výstup pasažérů realizovaných nejspíše jako dopravní zálivy. Ve městech spíše než nasazení plně autonomních systémů řízení je možné očekávat funkci inteligentního parkovacího asistenta (zajistí zaparkování bez posádky na odstavném parkovišti) instalovanou do „ručně“ řízených vozidel, takže tato možnost bude dostupná v naprosté většině provozovaných vozidel.

## Bezpečnost a odolnost proti selhání

V následujících letech bude pokračovat transformace komponent pro automobilový průmysl směrem k použití v systémech vyžadujících vysokou úroveň bezpečnosti se současnou vysokou úrovní zabezpečení. Budou vyvíjeny nové komponenty s vestavěnými funkcemi zajišťujícími odolnost proti selhání. Narůstající komplexita a zvyšující se počet součástek i součástí vede ke snižování spolehlivosti celého vozidla, která musí být udržena, případně zvýšena navýšením spolehlivosti jednotlivých komponentů.

## Elektromobilita podpořená autonomním řízením

Autonomní řízení bude také podpůrným principem pro využití elektromobilů, neboť odpadne čekání lidské posádky na dobití vozidla a toto se bude realizovat na místech, kam se vozidlo přesune v autonomním režimu. Bude tedy možné lépe řídit energetický management vozidel a zvýší se efektivita využití dobíjecích míst.

## Inteligentní navigace s online daty o provozu a daty pro autonomní řízení

Pro systémy autonomního řízení bude pravděpodobně třeba zajistit aktuální přesné mapy s údaji ze všech dostupných senzorů. Tyto informace budou zajišťovány jak dedikovanými vozidly, tak budou získávány přímo z vozidel během jejich provozu. Autonomní vozidla tedy budou současně tyto mapy využívat i aktualizovat. Jejich součástí bude přirozeně i velmi přesná a aktuální informace o provozu, a proto bude možné lepší plánování tras s ohledem na aktuální dopravní situaci. Vzhledem k citlivosti a strategické povaze těchto informací bude třeba zajistit jejich bezchybnou distribuci v reálném čase a také zabezpečit tato data proti napadení a svévolnému pozměnění. Je pravděpodobné, že tato data budou poskytována nějakou veřejnoprávní autoritou ručící za jejich bezchybnost, nicméně v začátcích provozu autonomních vozidel můžeme očekávat izolované zdroje dat pro různé autonomní systémy.

## Přizpůsobení dopravní infrastruktury

Systémy pro autonomní řízení jsou nyní vyvíjeny tak, aby respektovaly stávající infrastrukturu. Nicméně z hlediska technologického řešení a spolehlivosti pravděpodobně některé řešené problémy bude snadnější a ekonomičtější vyřešit naopak pomocí přizpůsobení infrastruktury pro autonomní řízení. Půjde zejména o nevizuální komunikaci mezi prvky infrastruktury a vozidly, doplnění infrastrukturních prvků zvyšujících přesnost a spolehlivost přesné navigace (inteligentní značení, navigační tagy atd.). Jejich zavádění bude postupné, nejprve s ním můžeme počítat na páteřních rychlostních komunikacích, odkud se budou rozšiřovat na další komunikace nižší třídy a do měst. Ve městech bude budována inteligentní dopravní infrastruktura umožňující provoz zejména autonomních vozidel MHD.

## Teleoperace

Teleoperace bude součástí a doplňkem autonomního řízení ve vhodných segmentech:

**Carsharing** – zde může teleoperace sloužit k přesunu odstavených vozidel k novým zákazníkům. Operátor bude mít na starosti celou flotilu takových vozidel, která po odstavení mohou počkat na převzetí tímto operátorem a přemístění na nové cílové místo.

**Nákladní doprava** – v nákladní dopravě bude carsharing používán jako doplněk pro řešení nestandardních situací nebo pro překonání úseků, kde nebude umožněna plně autonomní jízda, opět za předpokladu, že daná situace umožňuje vyčkání zásahu operátora

**Doručovací služby v centrech měst** – v přepravě zboží a jeho dodání koncovým zákazníkům se uplatní malé doručovací platformy částečně autonomní, avšak s dohledem a možností vzdáleného řízení operátorem doručovacího centra

**Autonomní parkování** – zde bude teleoperace vhodným doplňkem částečné autonomie pro případ složitých dopravních situací nebo oblastí či úseků bez možnosti plně autonomní jízdy. V takovém případě si operátor převezme odstavené vozidlo na cestě k autonomnímu zaparkování a po překonání problematického úseku jej opět přepne do plně autonomního režimu.

**Zemědělství** – již dnes je v zemědělství ve značném rozsahu využíváno autonomní řízení zemědělských strojů, neexistuje však snadné řešení problematických situací (překážky, zvěř apod.). Zde opět bude prostor pro uplatnění vzdáleného řízení flotily zemědělských strojů operátorem, který bude řešit tyto nestandardní situace.

Podobně jako v některých ostatních oblastech můžeme očekávat realizaci teleoperace jako služby nabízené koncovým zákazníkům (Teleoperation as a Service – TaaS), kdy poskytovatelé vzdáleného řízení budou disponovat týmem a infrastrukturou pro zajištění této potřeby pro různé okruhy zákazníků. Půjde o hotová řešení, která bude možné integrovat do různých dopravních platforem. Součástí takových řešení bude i částečná autonomie pro bezpečné zvládnutí případného výpadku spojení s operátorem během vzdáleně řízené jízdy.

## 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 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.

## 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.

## 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 překladových 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.

# Nástin obsahu a zaměření hlavních výzkumných témat

## Výzkum a vývoj základních a pokročilých technologií pro autonomní dopravní systémy

**Cíle výzkumu**

Jedná se o výzkum základních technologií a principů použitelných pro tvorbu řešení autonomních dopravních systémů, zejména pak

1. zpracování obrazu, detekce objektů v obraze
2. zpracování dat laserových snímačů, detekce objektů v těchto datech
3. fúze informací z různých snímačů (LIDAR, radar, kamera, …)
4. velmi přesná odometrie v reálném čase
5. deep learning a jeho využití ve výše uvedených oblastech
6. cenově dostupné 2D/3D laserové snímače (LIDAR)
7. vyřešení interferencí signálů z více snímačů při jejich hromadném nasazení
8. teleoperace
9. kybernetická bezpečnost

**Popis výzkumné úlohy**

V oblasti autonomních dopravních systémů se ještě stále hledají základní přístupy a fungující řešení, zejména v oblasti velmi přesné navigace vozidla sloužící pro udržení na vozovce či v jízdním pruhu, dále pak vytvoření reálného modelu okolního provozu s využitím fúze dat z řady dostupných snímačů, jako jsou laserové snímače (LIDAR), radar a samozřejmě zpracování obrazu z palubních kamer. Poslední z těchto oblastí se svojí náročností člení na další podoblasti a přístupy, v současnosti je nejlepších výsledků dosahováno s využitím umělých neuronových sítí s přístupem hlubokého učení. Další otázkou je zdokonalování stávajících a vývoj takových nových řešení, která budou cenově dostupná a umožní masové rozšíření technologií autonomního řízení.

Cílem výzkumu je nalezení funkčních a cenově dostupných dílčích řešení v jednotlivých základních problémech autonomního řízení tak, aby mohly být následně uplatněny v komerční sféře.

## Tvorba a sdílení přesných mapových podkladů

**Cíle výzkumu**

Jedním z rozšířených přístupů pro řešení přesné lokalizace v autonomním řízení je vytváření velmi přesných mapových podkladů obsahujících kromě klasických 2D/3D GIS informací i data ze senzorů umístěných v mapovacím vozidle, zejména pak z laserových snímačů (LIDAR), kamer a dalších. Tyto mapové podklady je třeba jednak vytvořit, validovat, aktualizovat a zajistit jejich distribuci pro automatické systémy řízení.

**Popis výzkumné úlohy**

Je třeba navrhnout rozšiřitelný systém a formát ukládání přesných mapových podkladů, dále pak způsob snímání a uchování informací z jednotlivých snímačů, způsob fúze a prostorového ztotožnění dat z různých senzorů. Dále pak je třeba navrhnout a implementovat proces distribuce těchto přesných mapových podkladů, které představují velké objemy dat, s ohledem na časovou a prostorovou složitost řešení a také na přenosové kapacity distribučního kanálu. Je třeba navrhnout způsob validace takto vytvořených mapových podkladů a dále pak jejich aktualizaci ať už s využitím dedikovaných mapovacích vozidel či údajů poskytnutých zpět přímo uživateli těchto mapových podkladů.

## Inteligentní dopravní infrastruktura

**Cíle výzkumu**

Modifikace či doplnění dopravní infrastruktury o prvky, které usnadní řešení některých základních problémů autonomního řízení (např. přesná navigace či komunikace s infrastrukturou) za předpokladu jednoduchosti a ekonomičnosti tohoto řešení. Také je třeba klást důraz na funkčnost a spolehlivost těchto prvků za různých světelných a povětrnostních podmínek.

**Popis výzkumné úlohy**

Vývoj a testování navigačních tagů umístěných na automobilových komunikacích sloužících pro podporu či zdokonalení přesné navigace autonomního vozidla. Zjištění minimálního a optimálního nutného pokrytí těmito tagy v rámci komunikace pro správnou navigaci a zachování spolehlivosti v případě výpadku jednotlivých tagů. Detekce poruch jednotlivých tagů pro možnost jejich nahrazení. Funkčnost tagů za nepříznivých světelných a povětrnostních podmínek (tma, mlha, déšť, sníh, …). Návrh a implementace nevizuální komunikace prvků dopravní infrastruktury s autonomními (ale i asistenčními) systémy řízení (např. značky, semafory, vozidla, …).

## Testování, validace a certifikace

**Cíle výzkumu**

Zajištění vhodných metod testování, validace a certifikace autonomních (ale i asistenčních) systémů řízení, vybudování potřebné infrastruktury pro toto testování.

**Popis výzkumné úlohy**

Stanovení konkrétní oblastí autonomního řízení a definice jednotlivých případů, které musí autonomní systém řízení řešit a návrh vhodných metod pro testování validního chování autonomních (asistenčních) systémů v těchto případech. Výzkum a návrh vhodných metod a technických prostředků či přípravků pro testování. Návrh procesu certifikace autonomních dopravních systémů a jeho zahrnutí do stávajícího homologačního procesu. Definice podmínek a pravidel, za kterých je možné autonomní dopravní systémy provozovat, včetně definice požadovaných vlastností komunikací umožňujících jejich provoz. Podpora a budování infrastruktury pro testování autonomních vozidel (speciální polygony, či úseky silnic a dálnic sloužící pro testování).

## Teleoperace

**Cíle výzkumu**

Zmapování prvků potřebných pro úspěšné zavedení teleoperace (vzdálené řízení člověkem) jako řešení problému poslední míle či problémů s neočekávánými vlastnostmi prostředí.

**Popis výzkumné úlohy**

Dosavadní pilotní projekty ukázaly, že automatizované systémy řízení dokážou zvládat běžné situace, ale v případě nestandardních událostí či nezmapovaného prostředí nesplňují tyto systémy očekávání. Jako slibným řešením se jeví kombinovat systémy automatizovaného řízení s teleoperací, které umožní pokrýt všechny situace a zajistit 100% fungování jak z hlediska pokrytí trasy, tak i možných konfigurací prostředí.

Příklady situací, které nebudou v blízké době řešitelné automatizovaným řízením a bude zde nutná intervence lidského řidiče:

* Akce vyplývající z pokročilého kontextu situace
  + Rozpoznání, zda je před vozidlem kolona (není možno jet dále) či jde o překážku, kterou je možno objet (kurýrní vozidla, práce na silnici, nehody)
  + Řešení speciálních situací (živelné události – požáry/povodně, nehody, silniční úpravy, demonstrace, obecně události s výskytem velkého množství chodců či nezvyklých předmětů na vozovce)
* Nezmapované oblasti pro “poslední míli” - logistické areály, doprava osob v rámci soukromého areálu či vzdálených venkovských oblastí

Teleoperace jako taková není technologicky náročná, nicméně jde o integraci mnoha technologií a je zde mnoho aspektů, které je třeba ve fungujícím prostředí zohlednit:

* Technologie kodeků a zajištění co nejmenší latence a robustnosti datového toku
* Technologie komunikace (4G/5G sítě, multi-provider a multi-channel kanály)
* Vybavení operátorského stanoviště operátora (typy předávaných dat – obraz, zvuky, otřesy, virtuální realita)
* Fail-over řešení (identifikace výpadku ve spojení, nouzový lokální automatizovaný řidič a bezpečné odstavení pohybujícího se vozidla)
* Kybernetická bezpečnost řešení (několikastupňová ochrana před narušením či neautorizovaným přístupem k vozidlu či do teleoperation infrastruktury)
* HW nenáročné řešení pro řešení malých robotů, např. řešení poslední míle pro doručovatele potravin či jiného drobného zboží
* Poskytování služeb Teleoperace jako služba (řešení v cloudu)
* Integrační služby

## Vývoj systémů odolných proti selhání

**Cíle výzkumu**

Vyvinout nové architektury systémů odolných vůči selhání a jejich integrace v komponentách s vysokými požadavky na bezpečnost, spolehlivost a zabezpečení. Při vývoji budou sledovány následující vlastnosti

* Cenová dostupnost – redundance použitá pro diagnostiku systému musí obsahovat optimalizovaný počet součástek s ohledem na minimální cenové navýšení.
* Požadavky na odolnost proti poruše – výskyt poruchy (ze sady analyzovaných nejčastějších poruch) nesmí vyřadit danou součást z provozu. V některých případech je tolerováno omezení funkčnosti, například omezení maximálního dosažitelného výkonu pohonu.
* Činnost v reálném čase – diagnostika poruch a následná rekonfigurace řídicího systému musí probíhat v reálném čase.
* Diverzita systémů – zdvojená řešení musí být realizována pomocí různého hw řešení a tím současně i softwarového vybavení, aby byla potlačena možnost vzniku systémové chyby.

**Popis výzkumné úlohy**

Výzkum v oblasti systémů odolných proti selhání je možné rozčlenit do následujících tematických celků:

* Vývoj nových architektur pro snížení komplexity, ceny a hmotnosti systémů s požadavkem na odolnost proti selhání.
* Optimalizace využití redundance, hledání optimálních redundantních architektur.
* Vývoj diagnostických metod. Použití deterministických metod postavených na fyzikálních principech, použití umělo inteligenčních přístupů využívajících hloubkové učení a postupy analýzy velkých dat.
* Vývoj v oblasti samo se rekonfigurovatelných systémů v reálném čase.
* Využití diagnostických metod postavených na znalosti modelů, které jsou simulovány v reálném čase a porovnávány s reálným chováním subsystémů.

# Závěr

Vzhledem k rychlému vývoji v této oblasti je zavedení a následné masové rozšíření autonomních dopravních systémů otázkou blízké budoucnosti. Nejspíše nepůjde o plnou autonomii úrovně 5 ale částečnou autonomii úrovně 3-4 dle SAE. Tyto systémy však pokryjí celou řadu aplikačních oblastí a stanou se tak tvůrci revoluce v dopravě. K tlaku na jejich využití přispějí i značné ekonomické, ekologické a bezpečnostní dopady těchto technologií. Ve vyspělém světě již se zavedením těchto technologií počítají a Evropská unie nezůstává samozřejmě stranou. Klíčové bude postupné vytvoření legislativní, technologické a infrastrukturní podpory těchto systémů.

Na to reflektují i navržená výzkumná témata, která pokrývají oblast základního technologického výzkumu autonomních systémů řízení, tvorby a poskytování přesných mapových podkladů, teleoperaci, budování inteligentní dopravní infrastruktury, vývoj a nasazení systémů odolných proti selhání a testování, validaci a certifikaci autonomních systémů včetně budování testovacích polygonů a komunikací.

Pokud se podaří všechna nebo alespoň značnou část uvedených témat úspěšně naplnit, bude Česká republika velmi dobře připravena na příchod a zavedení autonomních dopravních systémů a může být v tomto ohledu jedním z předních států EU, kde se tyto systémy budou realizovat.