**AKTUALIZACE**

**IMPLEMENTAČNÍHO AKČNÍHO PLÁNU**

**OBLAST AUTONOMNÍ VOZIDLA**

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

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

listopad 2019

Obsah

[Obsah 2](#_Toc25187641)

[1. Oblast Autonomní vozidla 3](#_Toc25187642)

[1.1 Dlouhodobé cíle v oblasti 3](#_Toc25187643)

[1.2 Návrhy na změnu prostředí a podmínek pro podporu VaVaI 4](#_Toc25187644)

[1.3 Návrhy projektů 5](#_Toc25187645)

[1.3.1 Automatizace MHD – autonomní minibus 5](#_Toc25187646)

[1.3.1.1 Stručný popis projektu 5](#_Toc25187647)

[1.3.1.2 Současný stav poznání a předchozí řešení 5](#_Toc25187648)

[1.3.1.3 Potřebnost a aktuálnost projektu 5](#_Toc25187649)

[1.3.1.4 Očekávané výsledky a dopady projektu 6](#_Toc25187650)

[1.3.1.5 Postup realizace projektu 9](#_Toc25187651)

[1.3.1.6 Odhad doby a nákladů na řešení projektu 10](#_Toc25187652)

[1.3.2 Automatizace doručování zásilek 10](#_Toc25187653)

[1.3.2.1 Stručný popis projektu 10](#_Toc25187654)

[1.3.2.2 Současný stav poznání a předchozí řešení 10](#_Toc25187655)

[1.3.2.3 Potřebnost a aktuálnost projektu 10](#_Toc25187656)

[1.3.2.4 Očekávané výsledky a dopady projektu 11](#_Toc25187657)

[1.3.2.5 Postup realizace projektu 11](#_Toc25187658)

[1.3.2.6 Odhad doby a nákladů na řešení projektu 12](#_Toc25187659)

[1.3.3 Vývoj algoritmů pro pohon odolný proti selhání 12](#_Toc25187660)

[1.3.3.1 Stručný popis projektu 12](#_Toc25187661)

[1.3.3.2 Současný stav poznání a předchozí řešení 12](#_Toc25187662)

[1.3.3.3 Potřebnost a aktuálnost projektu 13](#_Toc25187663)

[1.3.3.4 Očekávané výsledky a dopady projektu 13](#_Toc25187664)

[1.3.3.5 Postup realizace projektu 13](#_Toc25187665)

[1.3.3.6 Odhad doby a nákladů na řešení projektu 14](#_Toc25187666)

[1.4 Shrnutí 14](#_Toc25187667)

[1.5 Seznam použité literatury 14](#_Toc25187668)

# Oblast Autonomní vozidla

## Dlouhodobé cíle v oblasti

V současnosti je téma robotického řízení vozidel velmi aktuální a je patrné značné úsilí ve vývoji a praktickém nasazení automatizovaných systémů řízení. Aktuálně 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.

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem, je aktuálně nejvyšší čas začít realizovat (a tedy i podporovat) reálné aplikace základní (částečné) autonomie do oblastí, kde je jejich využití účelné a dává ekonomický smysl. Dalším krokem k plné autonomii je využití částečné autonomie v kombinaci se vzdáleným řízením pomocí teleoperace pro případy, kdy autonomní přístup danou situaci nezvládne plně obsloužit. Tímto přístupem dospějeme k praktickému využívání částečně autonomních řešení s podporou vzdálených lidských operátorů, od kterých je pak přirozená cesta k plně autonomnímu řešení. Nicméně pro koncového uživatele tento přechod již nepřinese výraznější rozdíl v používání, a tak se může dařit lépe odbourávat počáteční nedůvěru k autonomním řešením.

Dle [Ministerstvo dopravy, 2017] má být autonomní vozidlo navrženo tak, aby provádělo všechny kritické bezpečnostní funkce. Tento dokument připouští, že možné selhání technologií může být problematické v případě, kdy ve vozidle již nebudou ovládací prvky řízení. Vývoj systému autonomního vozidla musí na tuto skutečnost reagovat. Již v návrhu je nutné zajistit minimalizaci pravděpodobnosti selhání. Návrh musí najít k tomuto postupu podporu na úrovni výběru vhodných komponent a subsystémů.

Podoblast Systémy odolné proti selhání zapadá do akčního plánu [Ministerstvo dopravy, 2019] v kapitole 4.4.1 Podpora výzkumu a vývoje v autonomním řízení tím, že se podílí na zvýšení bezpečnosti v dopravě. Vývoj systémů odolných proti selhání je zcela v souladu s větou převzatou z akčního plánu: „Z tohoto důvodu je třeba navrhovat technická zařízení jak ve vozidle, tak na souvisejících zařízeních na silniční síti takovým způsobem, aby žádná předvídatelná porucha v rámci fungování systému nevedla k nebezpečnému stavu.“

Vývoj subsystémů odolných proti selhání bude postupně probíhat v pořadí jejich důležitosti, tedy podle požadovaného zabezpečení podle stupnice ASIL, od nejvyššího zabezpečení směrem dolů. Společně s tím bude probíhat vývoj elektronických součástek pro podporu tohoto vývoje. Firma Bosch již vyvinula systém natáčení kol odolný proti selhání, který nazývají Servoelectric (registrovaná značka firmy Bosch). Tento systém splňuje požadavky na automatizované řízení úrovně SAE 4. Využívá vysoký stupeň redundance čímž dosahuje maximálního garanci požadované činnosti. Podrobný popis je možné nalézt na www stránkách <https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/steering-systems/electric-power-steering-systems/fail-operational/>. V současné době probíhá intenzivní vývoj v oblasti ADAS systémů a komunikačních systému V2X a X2V. I ty jsou navrhovány tak, aby byly také odolné proti selhání. Mírně jiná je situace u vývoje pohonů. Existující plně elektrické pohony jsou zatím dostačující pro současně dosahované úrovně SAE 2 a 3. Pro dosažení vyšších úrovní SAE bude nutné přesunout pohon ze stávajícího ASIL B, nově do zabezpečení ASIL C a pro dosažení plně autonomního řízení a maximálního využití pohonu pro brzdění rekuperací výhledově i do ASIL D.

## Návrhy na změnu prostředí a podmínek pro podporu VaVaI

Na evropské úrovni funguje podpora výzkumu, vývoje a inovací pro oblast elektronických zařízení velmi dobře. ECSEL (Electronic Components and Systems for European Leadership) Joint Undertaking podporuje projekty vývoje nových elektronických součástek, růst výroby polovodičových součástek v Evropě, posílení vůdčí pozice v oblasti návrhu zařízení a v systémovém inženýrství a další podobné oblasti. Členové ECSEL JU jsou EPoSS, AENEAS a ARTEMIS Industry Association, což jsou hráči v oblasti vývoje mikroelektroniky, nanoelektroniky a pokročilých vestavných a kyberfyzikálních systémů. Největším rámcovým programem pro podporu výzkumu a inovací je Horizont 2020. Podporuje dříve uvedené programy a vytváří vlastní výzvy. Česká republika se aktivně podílí na všech těchto programech a podporuje je na národní úrovni. Standardním problémem na národní úrovni je financování rizikových projektů. Stále je příliš velký tlak na to, aby se za každou cenu dodalo to, co se naplánovalo. Případné nedodání je penalizováno. Tak vznikají a následně se financují málo inovativní projekty.

Dalším důležitým aspektem při realizaci výzkumu a vývoje je možnost testování prototypových řešení v reálných podmínkách. Zde by pomohlo zavedení jednoduché legislativy pro testování pilotních aplikací autonomní dopravy, zejména pak soubor jednoduchých pravidel a stanovení odpovědností za provoz takovéhoto pilotního systému v rámci speciálního povolení, tak aby je bylo možné získat v řádu několika týdnů, a ne mnoha měsíců, jak je tomu nyní.

Významné by bylo i vytvoření dostupného testovacího prostředí (testovací úseky silnic, dálnic, polygony), kde by bylo možné ověřit funkčnost nových systémů před jejich nasazením do pilotního provozu. Důležitý je v tomto směru rovný přístup k těmto kapacitám pro všechny subjekty působící v segmentu autonomní dopravy (výzkumné a další instituce, školy, soukromý sektor, …)

## Návrhy projektů

* + 1. Automatizace MHD – autonomní minibus
       1. Stručný popis projektu

Předmětem projektu je vytvoření prototypu řešení pro automatizaci MHD v menších a středních městech za účelem provozu okružních či kyvadlových linek v rámci intravilánu města.

Zde se jako nejvhodnější jeví automatizované využití minibusů s kapacitou 10-20 osob, které jsou schopny v době provozu v podstatě nepřetržitě obsluhovat danou linku. Technické řešení je možné založit na jednoduché autonomii doplněné o možnost vzdáleného řízení a zásahu vzdáleného operátora.

* + - 1. Současný stav poznání a předchozí řešení

V současnosti jsou v MHD v ČR využívána výhradně lidmi řízená vozidla. Kapacita vozidel se přizpůsobuje dle nasazení a obsazenosti na daných linkách (od klasických autobusů až po mikrobusy), větší města zřizují a provozují za tímto účelem vlastní dopravní podniky, menší obce službu MHD občanům buď neposkytují nebo ji pronajímají od externích dopravců.

Při realizaci těchto služeb se naráží jednak na cenu provozování MHD linek, jejich kolísající vytíženost, a tedy neekonomičnost provozu, ale třeba i na nedostatek řidičů z povolání.

Jako vhodné řešení se jeví automatizace v této oblasti. Toto téma je podpořeno rychlým rozvojem autonomních a asistenčních systémů se stupněm autonomie SAE 2-3 v běžné osobní dopravě, nicméně masové použití těchto systémů ještě není na pořadu dne. Začínají se objevovat první plně autonomní řešení – např. Navya autonom shuttle ve Francii (https://navya.tech) či Apollo minibus v Číně (https://apollo.auto/minibus) deklarující stupeň autonomie SAE 4. Tato řešení však narážejí na poměrně značnou komplexnost a z toho plynoucí vysokou cenu řešení.

Mnohem dále v praktickém využití jsou dnes již dlouhodobě úspěšně používané přepravní systémy v podnikových areálech, nemocnicích a skladech. Pro navigaci používají jednoduchý systém naváděcích prvků začleněných přímo do infrastruktury spojený s antikolizním systémem. Použití obdobných řešení v MHD může přinést požadovaný poměr cena / výkon a praktickou využitelnost takových systémů. Důležité je však doplnit řešení o systém, který zajistí efektivní zvládnutí neplánovaných situací blokujících autonomní provoz – tím by mohlo být využití vzdáleného řízení (teleoperace) jako doplňku jednoduché autonomie. Pokud se podaří dosáhnout vysoké míry autonomie s nutností pouze občasných zásahů vzdáleného operátora, bude řešení prakticky použitelné.

* + - 1. Potřebnost a aktuálnost projektu

Zajištění hromadné dopravy v malých a středních městech (8-12 tis. obyvatel) je pro městské samosprávy poměrně nesnadno dostupné. Většinou se jim nevyplatí provozování vlastního dopravního podniku, a tak tuto službu poptávají po externích dopravních podnicích, případně dotují meziměstské linky, aby zajížděly i na další zastávky. Výsledné řešení je pak kompromisem mezi možnostmi, dostupností a cenou.

Alespoň částečná automatizace v oblasti MHD má potenciál přinést:

* lepší poměr cena / výkon této služby (velký podíl nákladu činí mzdy řidičů)
* lepší obslužnost (náklady na provoz vozidel řízených lidmi jsou vyšší mimo běžnou pracovní dobu)
* lepší dostupnost pro seniory, mládež a hendikepované – možnost obsloužit za stejné náklady více tras a širší časové rozmezí
* zlepšení kvality ovzduší díky vyššímu využití hromadné dopravy namísto individuální navíc s potenciálem využití nízkoemisních technologií (elektropohony, CNG)
  + - 1. Očekávané výsledky a dopady projektu

Výsledkem projektu bude vytvoření prototypu autonomního dopravního systému dle níže uvedené specifikace. Předmětem vývoje nejsou nutně jednotlivé subsystémy, ale především integrace již existujících komponent a řešení do výsledného prototypu.

V případě úspěšného nasazení prototypu do praxe dojde k zásadní změně v pojetí hromadné dopravy v menších a středních městech a bude to krok na cestě k plně autonomním systémům osobní hromadné dopravy.

Řešení bude splňovat následující parametry:

**Provedení minibusu**

Nízkopodlažní minibus s přípravkem (např. prodloužená rampa) pro nástup invalidního vozíku nebo kočárku. Kapacita minibusu je 10-20 míst, z toho minimálně 8 míst k sezení. Preferovaným pohonem je elektropohon případně CNG. Pro účely zrychlení vývoje prototypu je možné využít i vůz na benzinový či naftový pohon s doloženou možností přestavby na preferovaný typ pohonu.

**Autonomní navigace**

Navigace minibusu bude zajištěna prostým sledováním speciálních navigačních značek pevně spojených s dopravní infrastrukturou (speciální čára na vozovce, speciální tagy na svislém dopravním značení apod.) a bude mít následující vlastnosti:

* Budou využita minimálně dvě nezávislá značení tak, aby bylo možno odhalit chybu značení – v okamžiku, kdy nesouhlasí navigace podle obou značení současně, v navigaci se nebude pokračovat.
* Navigační trasu nebude možné opustit. Pokud dojde při autonomním provozu k opuštění navigační trasy, vozidlo neprodleně zastaví.
* Navigační značení bude obsahovat speciální značení pro zastávky minibusu tak, aby bylo možné detekovat zastávku a realizovat zastavení s výstupem a nástupem cestujících.
* Vhodná je volba značení, které spolehlivě funguje za různých povětrnostních podmínek (včetně deště a sněhu).
* Požadovaná provozní rychlost bude maximálně 20-25 km/h, přičemž průměrná rychlost projetí celé trasy (bez započtení času stání na zastávkách a křižovatkách kvůli dávání přednosti) neklesne pod 10 km/h.
* Požadovaná míra autonomie je minimálně 80 % provozního času v autonomním režimu

Výběr a provedení značení a volba vhodných snímačů pro jeho snímání bude součástí návrhu prototypového řešení. Provedené značení musí být v souladu s normami a předpisy pro dopravní infrastrukturu.

**Antikolizní systém**

Řešení bude zahrnovat systém předcházení a zabránění kolizi minibusu s libovolnými objekty v navigační trase minibusu, přičemž není nutné rozpoznání kategorie daného objektu. Minimální velikost detekovaného objektu bude 40x40x40 cm.

V případě detekce překážky v plánované trase minibus provede akce v uvedeném pořadí s tím, že pokud po provedení daného kroku překážka z kolizní trasy zmizí, další kroky již neprovádí:

* pozvolné zpomalení tak, aby takto získaný čas na spontánní odstranění překážky byl aspoň 1s
* následně zvukový výstražný signál
* zastavení v bezpečné vzdálenosti min. 150 cm před překážkou
* pokud překážka nezmizí do 5 vteřin od zastavení, pak automatické vyžádání obsluhy vzdáleného operátora

Antikolizní systém nebude autonomně realizovat žádné manévry, které by vedly k opuštění plánované trasy (např. objíždění překážek).

**Řešení dopravních situací**

Autonomní systém bude řešit tyto dopravní situace:

* dodržení maximální povolené rychlosti v úseku (pokud bude nižší než maximální provozní rychlost minibusu)
* dání přednosti v jízdě při výjezdu z vedlejší komunikace na hlavní a výjezdu ze zastávky
* V případě, že systém není schopen autonomního opuštění křižovatky či výjezdu ze zastávky po dobu delší než 15 vteřin, požádá o zásah vzdáleného operátora.
* další dopravní situace, které vyplynou z konkrétního nasazení prototypu systému

Informace o dopravních předpisech implementovaných na daném úseku trasy (maximální rychlost, přednost v jízdě, …) mohou být uloženy v plánu trasy a budou průběžně aktualizovány operátorem, není třeba jejich dynamické snímání pomocí senzorů během provozu.

**Zastávky, výstup a nástup**

* systém zajistí automatické zastavení na určených zastávkách v definované trase
* bude zajištěno bezpečné nastoupení a vystoupení cestujících a monitoring nástupních prostorů ve vozidle i bezprostředním okolí vozidla za účelem zjištění jejich uvolnění před zahájením jízdy
* zavírání dveří a zahájení jízdy bude vhodně komunikováno pasažérům (např. zvukovým signálem či slovním pokynem)
* V případě, že systém není schopen dokončit operaci výstupu a nástupu do 1 minuty od jejího zahájení, požádá o zásah vzdáleného operátora

**Teleoperace**

Minibus bude vybaven systémem pro vzdálené ovládání operátorem ze vzdáleného operátorského stanoviště tak, aby byla zajištěna obsluha situací, které nezvládne autonomní podsystém.

Teleoperace bude splňovat následující vlastnosti

* Poskytnutí vizuální informace potřebné pro řízení minibusu (situace před, za i v okolí vozidla) pro vzdáleného operátora
* Poskytnutí vizuální a zvukové informace o situaci uvnitř minibusu a ve výstupně nástupním prostoru pro vzdáleného operátora
* Poskytnutí možnosti vzdáleného ovládání vozidla (volant, plyn, brzda, ukazatele směru, světla …) pro vzdáleného operátora
* Poskytnutí možnosti vzdáleného ovládání dalších akčních prvků (dveře, osvětlení, topení, …) pro vzdáleného operátora
* Poskytnutí zvukového kanálu pro přímou hlasovou komunikaci vzdáleného operátora s pasažéry ve vozidle
* Poskytnutí informace vzdálenému operátorovi o tom, zda vůz je/není správně umístěn ve značené autonomní trase a může dále pokračovat autonomně
* Na stanovišti vzdáleného operátora budou ergonomicky sestavené vizualizační a ovládací prvky umožňující vzdálené ovládání vozidla, dále systém pro správu flotily takovýchto vozidel, systém evidující jednotlivé požadavky na teleoperaci dle jejich priority
* Spojení mezi vozidlem a vzdáleným operátorem musí být dostatečně zabezpečené proti vnějším útokům, včetně pokusů o zamezení vzdálené kontroly nad vozidlem či pokusům o převzetí kontroly nad vozidlem

**Černá skříňka**

Bude zajištěn monitoring a záznam situace uvnitř a vně vozidla během provozu, který nebude běžně dostupný cestujícím ani operátorovi a bude sloužit pro zpětné posouzení nestandardních a krizových situací orgány tomu příslušnými (policie). Takový záznam se bude uchovávat pouze po dobu nezbytně nutnou (předpoklad v řádu jednotek dní) a bude zabezpečen proti zneužití.

**Nouzové systémy**

Minibus bude vybaven nouzovými tlačítky, která budou snadno dostupná uvnitř i vně vozidla. Stisk tohoto tlačítka přeruší autonomní jízdu a požádá o zásah vzdáleného operátora. V blízkosti dveří bude dostupný systém pro nouzové otevření dveří.

**Automatická komunikace s pasažéry**

Minibus bude vhodným způsobem komunikovat chystanou či právě prováděnou akci vůči pasažérům ve vozidle, například formou hlasovou („ukončete nástup a výstup, dveře se zavírají“, „vůz se rozjíždí, „vůz čeká před překážkou“, „vůz čeká na zásah vzdáleného operátora“, „zastávka xxx, následuje zastávka yyy“, …)

* + - 1. Postup realizace projektu

Navrhovaný harmonogram projektu:

* Prvních 6 měsíců
  + Popis a analýza stávajícího stavu
  + Průzkum trhu a zjištění vhodných řešení pro jednotlivé subsystémy
  + Návrh architektury řešení
* 6-18. měsíc
  + Realizace prototypu
* 18-24. měsíc
  + Pilotní provoz, zapracování poznatků, návrh změn
* 24-36. měsíc
  + Aplikace poznatků z pilotního provozu do prototypu a návrhu řešení
  + Vytvoření finální verze prototypu
    - 1. Odhad doby a nákladů na řešení projektu

Předpokládaná velikost řešitelského týmu 5-15 členů, ze které plynou odhadované náklady celkem cca 15-25 mil. Kč, při délce projektu 2-3 roky.

* + 1. Automatizace doručování zásilek
       1. Stručný popis projektu

Doprava poslední míle (Last mile delivery) je nyní velmi palčivý problém e-komerce, v podstatě není možný další růst tohoto odvětví bez získání více kurýrů-řidičů, kteří jsou nyní na trhu značně nedostatkoví. Cílem projektu by mělo být najít optimální model robotického doručování zásilek s ohledem na cenu, škálovatelnost, uživatelskou přívětivost (UX) a nejmenšího zatížení městské dopravní infrastruktury.

* + - 1. Současný stav poznání a předchozí řešení

V současné době se doprava zásilek řeší pomocí lidského řidiče (kurýra) a vozidla, které obsahuje zásilky pro celou směnu či rozvážku (cca 10-100 zásilek). Za jednu směnu (8 hodin) je řidič schopen rozvést zásilky na cca 20-50 adres (v závislosti na velikosti trasy a provozu).

Problémy:

* Vysoké mzdové náklady řidičů (cca 80% ceny dopravy)
* Obtížná škálovatelnost

Existují vědecké/komerční týmy, které se snaží tuto oblast zautomatizovat a přijít s řešením, které splní potřeby jak provozovatelů e-komerce, tak i zákazníků. Výběr nejznámějších z nich:

* Starship (Estonsko), Amazon (USA), KiwiBot (USA)– doprava menších zásilek pomocí malých robotů pohybujících se po chodnících, v některých případech i pomocí dronů
* Fedex Bot (USA), Postman Serve (USA)– větší roboti v podobě nákupního vozíku
* Nuro.ai (USA), Neolix.ai (Čína), Kar-go (Velká Británie), JD.com (Čína) – silniční roboti dopravující jednu či více zásilek najednou
  + - 1. Potřebnost a aktuálnost projektu

Aktuální požadavky na zvýšení přepravních kapacit kladou na přepravní společnosti nejen v ČR stále větší nároky. Komplikací jsou i značné sezónní výkyvy (např. během vánoční sezóny) a celý sektor naráží na nedostatek lidské síly (řidičů).

Proto se přichází s alternativními metodami, které zcela nesplňují potřebu zákazníků (doprava na žádanou adresu), jako jsou výdejní boxy v exponovaných místech (Alzaboxy, Mallboxy apod.) či doprava do nejbližších prodejen (Zásilkovna.cz a jiné).

* + - 1. Očekávané výsledky a dopady projektu

Očekáváné výsledky projektu jsou:

* Doporučený způsob řešení last mile delivery pro malé a střední zásilky pro větší a střední města v Evropě
* Realizovaný prototyp robotického vozidla s podporou vzdáleného řízení, semi-autonomního řízení a autonomního řízení
* Doporučený postup zavádění řešení do běžné praxe

Oblasti, které by projekt měl řešit:

* Parametry doručovacího robota
  + Druh pohonu, požadavky na dojezd
  + Snímače a jejich rozmístění
  + Velikost přepravních schránek, způsob předávání zásilek
  + UX komunikace se zákazníkem
  + Optimalizace ceny doručení
  + Fungování v rámci městského provozu a infrastruktury
  + Spolupráce s integrovaným záchranným systémem
  + Bezpečnost
  + Legislativní požadavky (současné a budoucí vývoj)
* Způsob řízení (vzdálené, semi-automatické, automatické) – přechod mezi nimi, jaké podmínky musí být splněny na přechod na další úroveň
* Centrální řízení
  + Fungování ve fleetu, robustnost
  + Operativa logistiky, plnění a nabíjení robotů
    - 1. Postup realizace projektu

Navrhovaný harmonogram projektu:

* Prvních 6 měsíců
  + Popis a analýza stávajícího stavu (na mezinárodním poli)
  + Návrh řešení s ohledem na zadání (pro malé a střední zásilky pro větší a střední města v Evropě)
* 6-18. měsíc
  + Realizace prototypu se vzdáleným řízením (pro teleoperation lze použít stávající technologie)
* 18-24. měsíc
  + Pilotní provoz, zapracování poznatků, návrh změn
* 24-36. měsíc
  + Aplikace poznatků z pilotu do prototypu a návrhu řešení
  + Realizace finálního prototypu i návrhu řešení
    - 1. Odhad doby a nákladů na řešení projektu

Odhadované náklady celkem cca 10-30 mil Kč, délka projektu 2-3 roky.

* + 1. Vývoj algoritmů pro pohon odolný proti selhání
       1. Stručný popis projektu

Projekt se zabývá vývojem algoritmů a software pro pohon plně elektrického autonomního vozidla, který je navržen tak, aby byl odolný proti selhání. Vývoj bude probíhat podle standardu ISO 26262:2018. Pohon bude použitelný v autonomních vozidlech úrovně SAE 4.

* + - 1. Současný stav poznání a předchozí řešení

Projekt volně navazuje na předchozí projekty řešené na pracovišti navrhovatele. Výchozím bodem je evropský projekt MotorBrain programu Eniac JU, který by řešen v letech 2012-2014. Výsledkem projektu byl návrh prototypu vysoce integrovaného vícefázového pohonu pro použití v plně elektrických automobilech [Burkhardt et al, 2014]. Projekt ukázal, že vhodné využití redundance nemusí nutně vést k výraznému nárůstu ceny pohonu a může být využita pro diagnostiku bezchybného chodu pohonu. Navazující projekt 3Ccar programu ECSEL JU využíval nově vyvinutých součástek k realizaci elektrického pohonu, který je bezpečný při selhání. Článek [Kozovsky et al, 2016] prezentující vyvinuté řídicí algoritmy pro vícefázové pohony získal na konferenci ICCSCE ocenění Best paper award. Během projektu se ukázalo, že pohon, který je bezpečný při selhání, není dostačující pro koncept plně autonomního vozidla. Důvod je ten, že definuje jeden bezpečný stav, kterým je zastavení vozila. V praxi však existuje více bezpečných stavů, které jsou ovlivněny aktuální dopravní situací. Problémem je, že bezpečným stavem je v některých případech požadavek na pokračování v jízdě. Tato skutečnost s sebou nese požadavek na běh pohonu i v případě poruchy, chování anglicky označované jako „fail opearational“, český ekvivalent odolný proti selhání.

Při řešení navrhovaného projektu se budou hodit zkušenosti s řešením národních projektů TAČR a center excelencí. Řešitelský tým se podílel na řešení projektu Centrum Aplikované Kybernetiky 3 (navazoval na předchozí dvě centra excelence CAK1 a CAK2) a CIDAM, oba v rámci TAČR. Zde byla řešena problematika prediktivního řízení elektrických pohonů a problematika diagnostiky poruch průmyslových pohonů.

Při implementaci algoritmů do cílové řídicí platformy budou využity myšlenky a výsledky projektu SafeAdapt [Hussein et al, 2017], který se zabýval vývojem nové architektury pro implementaci adaptivních systémů s požadavkem na vysoký stupeň zabezpečení a rekonfiguraci v případě poruch. Výhody přístupu jsou rychlé obnovení provozu v případě poruchy, optimalizace využití výpočetního systému a adaptace umožňující rozšíření systému pokročilými funkcemi.

* + - 1. Potřebnost a aktuálnost projektu

Vývoj v oblasti automobilového průmyslu směřuje k postupnému začleňování asistenčních prvků. Prvky jako adaptivní tempomat, asistent udržující auto v jízdních pruzích a asistent nouzového brzdění se dnes stávají běžnou výbavou automobilů. Od prvních aplikací, které trpěly „dětskými nemocemi“ a jejichž použití bylo proto omezené, jsme se postupně dostali k poměrně použitelné sestavě asistentů, které nám usnadňují řízení a dělají ho bezpečnějším. Tento vývoj postupně odsouvá člověka na pozadí procesu řízení a řízení se stává čím dál tím více automatickým. Na konci transformačního řetězce bude plně autonomní vozidlo, které nebude vyžadovat žádnou interakci s člověkem, tedy řidičem. Přestože se začínají objevovat první aplikace autonomních vozidel, na jejich masové rozšíření bude nutné ještě počkat.

Proces transformace vyžaduje vývoj nových komponent, které budou vysoce spolehlivé za cenu minimálního nárůstu jejich ceny. Předložený projekt se zabývá návrhem softwarového vybavení, který bude od základu navržen jako odolný proti selhání a bude tak do tohoto konceptu zapadat.

* + - 1. Očekávané výsledky a dopady projektu

Výsledkem projektu bude návrh řídicích a diagnostických algoritmů pro pohon pro plně elektrické vozidlo a jejich implementace do mikrokontroléru (např. AURIX 2G firmy Infineon), který splňuje požadavky kladené na zajištění stupně ASIL D a současně nabízí dostatek výpočetního výkonu pro implementaci bezpečnostních adaptivních řídicích algoritmů i algoritmů pro diagnostiku poruch. Výsledný pohon bude navržen podle standardu ISO26262:2018, který definuje systém řízení kvality při vývoji a výrobě elektronických komponent v automobilové dopravě. Software poběží na jádrech provozovaných v režimu lockstep, bude obsahovat prvky diverzity na úrovni periferií, kdy budou vstupy i výstupy realizovány zdvojeně pomocí různých periferií. Například měření proudu bude realizováno pomocí převodníku s postupnou aproximací SADC i pomocí delta-sigma převodníku DSADC. Redundance v počtu měření proudu bude využita pro detekci porouchaného vstupu a výběru správně pracujícího vstupu. Samotné algoritmy řízení, monitorování a diagnostiky poběží nezávisle na dvou jádrech procesoru. Jádra budou průběžně testována prostředky Safety Management Unit, které jsou vestavěné v procesoru, jako je test na zamrznutí jádra, testování paměti a další. Uvedenými postupy se předpokládá zlepšení střední doby mezi poruchami (Mean Time Between Failures MTBF) o jeden řád.

Projekt vyvine algoritmy a softwarové vybavení pohonu pro autonomní vozidla pro provoz na úrovni SAE 4. Činnost algoritmů bude předvedena na reálném demonstrátoru pohonu, který bude sestaven z motoru, měniče, budičů a řídicí elektroniky.

* + - 1. Postup realizace projektu

Projekt bude navržen jako tříletý. V první fázi projektu (měsíc 1-6) bude provedena klasifikace rizikovosti pohonu a rozbor dopadů v případě jeho selhání. Budou specifikovány požadavky na rychlost správné diagnostiky chyb a požadavky na kvalitu řízení ve funkční poruše. V druhé fázi (měsíc 7-20) budou naplánovány postupy vedoucí ke snížení rizik. Souběžně bude probíhat vývoj algoritmů pro diagnostiku chyb a algoritmů pro řízení pohonu ve funkční poruše. Ve třetí části (měsíc 21-30) bude probíhat simulační testování v prostředí MATLAB Simulink metodou Model Based Design. Ve čtvrté části (měsíc 31-36) proběhne integrace algoritmů do mikrokontroléru a jejich validace na reálném demonstrátoru pohonu. Při řešení projektu budou nově vyvinuté algoritmy postupně publikovány formou konferenčních a časopiseckých publikací na národním i mezinárodním fóru.

* + - 1. Odhad doby a nákladů na řešení projektu

Odhadovaný náklad celkem cca 10-15 mil. Kč, délka projektu 3 roky.

## Shrnutí

V současnosti jsou již k dispozici technologie umožňující praktické aplikace autonomního řízení, v reálném provozu. Stále nedořešeny jsou sice otázky legislativního rámce, nicméně i pro tuto oblast existují legální postupy a řešení umožňující pilotní nebo testovací provoz takových aplikací. Právě nyní je tedy vhodná doba pro podporu a realizaci takovýchto praktických projektů.

Pokud se podaří uskutečnit projekty navržené v rámci tohoto implementačního akčního plánu, bude to velký krok směrem k plné autonomii v dopravě nákladu i osob, který rozhodně přispěje k nastartování tohoto technologického odvětví v České Republice a k našemu zařazení do evropské špičky v této oblasti.

## Seznam použité literatury

[Burkhardt et al, 2014] Y. Burkhardt, A. Spagnolo, P. Lucas, M. Zavesky and P. Brockerhoff, "Design and analysis of a highly integrated 9-phase drivetrain for EV applications," *2014 International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, Berlin, 2014, pp. 450-456.

[ECSEL JU] 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.

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

[ERTRAC 2019/1] Connected Automated Driving Roadmap – ERTRAC Working Group 8.3.2019

[ERTRAC 2019/2] Long Distance Freight Transport - A roadmap for System integration of Road Transport - ERTRAC Working Group 26.2.2019

[Horizon 2020] Horizon 2020 Work Programme 2016 – 2017

[Hussein et al, 2017] M. Hussein, R. Nouacer, and A. Radermacher, „Safe adaptation of vehicle software systems”. Microprocessors and Microsystems, vol. 52, pp. 272–286. 2017.

[Kozovsky et al, 2016] M. Kozovsky, P. Blaha and P. Vaclavek, "Verification of nine-phase PMSM model in d-q coordinates with mutual couplings," 2016 6th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), Batu Ferringhi, 2016, pp. 73-78.

[Ministerstvo dopravy, 2017] Ministerstvo dopravy „Vize rozvoje autonomní mobility“ [Dostupné online: <https://www.czechspaceportal.cz/files/files/ITS_new/Ostatn%C3%AD/Vize%20rozvoje%20autonomn%C3%AD%20mobility.pdf>], říjen, 2017.

[Ministerstvo dopravy, 2019] Ministerstvo dopravy „Akční plán autonomního řízení“ [Dostupné online: http://amsp.cz/wp-content/uploads/2019/02/Akčn%C3%AD-plán-autonomn%C3%ADho-ř%C3%ADzen%C3%AD-ma\_KORNB8UGXNR8.pdf] , únor, 2019.

[Mobility E] 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.

[SAE 2019] AUTOMATED DRIVING – LEVELS OF DRIVING AUTOMATION DEFINED IN NEW SAE INTERNATIONAL STANDARD J3016, <https://www.sae.org/news/2019/01/sae-updates-j3016-automated-driving-graphic>

[TPSD 2019] Strategická Výzkumná Agenda 2019 - Automatizované systémy řízení

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