



## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-17-0190**

**Vývoj autonómneho vozidla na otvorenej platforme elektromobilu**

Zodpovedný riešiteľ **doc. Ing. Peter Drahoš, PhD.**

Príjemca **Slovenská technická univerzita v Bratislave - Fakulta elektrotechniky a informatiky**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Ústav automobilovej mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Žiadne.

### Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

1. Prihláška patentu: PP 99-2022 z 5.10.2022. Spôsob lokalizácie autonómneho vozidla a zapojenie vizuálneho systému na lokalizáciu autonómneho vozidla. Medzinárodné triedenie: G01C 21/00. Prihlasovateľ: Slovenská technická univerzita v Bratislave; Vazovova 5. Pôvodcovia: Drahoš Petr, Haffner Oto, Valocký Frederik, Kocúr Michal, Ťapák Peter.
2. Prihláška úžitkového vzoru: PUV 127-2022 z 5.10.2022. Spôsob lokalizácie autonómneho vozidla a zapojenie vizuálneho systému na lokalizáciu autonómneho vozidla. Medzinárodné triedenie: G01C 21/00. Prihlasovateľ: Slovenská technická univerzita v Bratislave; Vazovova 5. Pôvodcovia: Drahoš Petr, Haffner Oto, Valocký Frederik, Kocúr Michal, Ťapák Peter.
3. HAFFNER, Oto - KUČERA, Erik. Spôsob kontroly držania volantu vozidla a zapojenie Úžitkový vzor č. 9551, Dátum o zápise ÚV : 30.06.2022, Vestník ÚPV SR č.: 04/2022. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2022.
4. HAFFNER, Oto - KUČERA, Erik. Spôsob korigovania ťažiska automobilu a zapojenie : Úžitkový vzor č. 9103, Dátum o zápise ÚV : 14. 4. 2021, Vestník ÚPV SR č. 7/2021. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2021.
5. STARK, Erich - KUČERA, Erik - HAFFNER, Oto. Spôsob monitorovania a ovládania mechatronických systémov s využitím rozšírenej reality a technologická zostava : prihláška úžitkového vzoru č. 200-2019, dátum zverejnenia prihlášky: 3. 9. 2020, Vestník ÚPV SR č.: 09/2020, Dátum zápisu a sprístupnenia ÚV č. 9011 : 7. 1. 2021. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2020.
6. STARK, Erich - KUČERA, Erik - HAFFNER, Oto. Spôsob a systém vzdialeného ovládania vozidla : Úžitkový vzor č. 8379, Dátum o zápise ÚV : 1.3.2019, Vestník ÚPV SR č. 3/2019. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva SR, 2019.

### Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

HAFFNER, Oto - DRAHOŠ, Peter - VALOCKÝ, Frederik - KUČERA, Erik. Visual systems for the experimental platform of autonomous EV. In 2022 Cybernetics & Informatics (K&I) [elektronický zdroj] : Proceedings ; 31st International Conference; 11-14 September 2022 Visegrád, Maďarsko. 1. vydanie. Danvers, Massachusetts, USA : IEEE, 2022, [7] s. ISBN 978-1-6654-8774-0.

BÉLAI, Igor - SEDLÁR, Tibor. Experimental electric vehicle platform for autonomous vehicle development. In 2022 Cybernetics & Informatics (K&I) [elektronický zdroj] : Proceedings ; 31st International Conference; 11-14 September 2022 Visegrád, Maďarsko. 1. vydanie. Danvers, Massachusetts, USA : IEEE, 2022, [6] s. ISBN 978-1-6654-8774-0.

KOCÚR, Michal - ĽAPÁK, Peter - KÉPEŠIOVÁ, Zuzana - KOZÁK, Štefan. Advanced intelligent platform for small autonomous vehicles. In 2022 Cybernetics & Informatics (K&I) [elektronický zdroj] : Proceedings ; 31st International Conference; 11-14 September 2022 Visegrád, Maďarsko. 1. vydanie. Danvers, Massachusetts, USA : IEEE, 2022, [6] s. ISBN 978-1-6654-8774-0.

VALOCKÝ, F., GRNÁČ, A., ORGOŇ, M., BOHÁČIK, A. (2023). AVL Based on Fusion of IMU, GPS and Camera Sensors. In: Silhavy, R., Silhavy, P., Prokopova, Z. (eds) Software Engineering Application in Systems Design. CoMeSySo 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 596. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-21435-6\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-031-21435-6_31)

VALOCKÝ, F., MOKRÝ, D., ORGOŇ, M., BOHÁČIK, A. (2023). Road Traffic Control Management and Creation of VANET Networks by VanetSim Simulator. In: Silhavy, R., Silhavy, P., Prokopova, Z. (eds) Data Science and Algorithms in Systems. CoMeSySo 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 597. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-21438-7\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-031-21438-7_36)

VALOCKÝ, Frederik - ORGOŇ, Miloš - FUJDIÁK, Ina. Experimental autonomous car model with safety sensor in wireless network. In PDeS 2019 : 16th IFAC conference on programmable devices and embedded systems. High Tatras, Slovakia. October 29-31, 2019. 1. vyd. Laxenburg : IFAC, 2019, S. 92-97. ISSN 2405-8963. V databáze: DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.12.739 ; WOS: 000507495200017 ; SCOPUS: 2-s2.0-85081557813.

VALOCKÝ, Frederik - DRAHOŠ, Peter - HAFFNER, Oto - KOZÁKOVÁ, Alena - ORGOŇ, Miloš. Design of a R-ID in order to determine the position of the vehicle. In FedCSIS : Proceedings of the 2020 federated conference on computer science and information systems. Sofia, Bulgaria. September 6-9, 2020. Piscataway : IEEE, 2020, S. 435-441. ISBN 978-83-955416-9-8. V databáze: DOI: 10.15439/2020F128 ; IEEE: 9222860.

VALOCKÝ, Frederik - DRAHOŠ, Peter - HAFFNER, Oto. Measure distance between Camera and Object using Camera Sensor. In 2020 Cybernetics & Informatics (K&I), Velke Karlovice, Czech Republic, 2020, pp. 1-4. DOI: 10.1109/KI48306.2020.9039879. V databáze: IEEE 9034461, SCOPUS.

BÉLAI, Igor. Semi-physical model of a vehicle for platooning. In Process Control 2019 : 22nd International Conference on Process Control, Štrbské Pleso, Slovensko, 11.-14.6.2019. 1. vyd. Danvers : IEEE, 2019, S. 185-190. ISBN 978-1-7281-3758-2. V databáze: IEEE: 8815248.

MIKLE, Dávid - BAŤA, Martin. Torque vectoring for an electric all-wheel drive vehicle. In PDeS 2019: 16th IFAC conference on programmable devices and embedded systems. High Tatras, Slovakia. October 29-31, 2019. 1. vyd. Laxenburg : IFAC, 2019, S. 163-169. ISSN 2405-8963. V databáze: DOI: 10.1016/j.ifacol.2019.12.750.

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Vyvinuté elektrické autonómne vozidlo ako otvorená platforma na konštrukčnej báze buggy slúži ako vývojový prototyp a vzor s unikátnym senzorickým systémom schopným spresňovať alebo úplne nahradiť GNSS vďaka snímaniu absolútnej polohy cestných identifikátorov tzv. R-ID. Vďaka presnosti a funkčnej bezpečnosti (v kombinácii s ďalšími senzormi) môže byť použité nielen na navigáciu, ale aj priamo na riadenie vozidla po zvolenej trajektórii.

Podľa tohto vzoru vyrobené autonómne vozidlo bude určené najmä pre prevádzku v otvorených ohraničených areáloch, napríklad letisko, výrobný podnik, priemyselný park, logistické centrum, turistický prírodný areál a tiež vo vnútri budov typu výrobná hala, sklad, hangár a pod.

Odberateľ výsledkov VaV tohto projektu, firma Virtual Reality Media Trenčín vo svojom zámere uvažuje vybudovanie automatického transportného systému (ATS) vo forme

skupiny autonómnych elektromobilov, ktoré budú navzájom koordinované a navigované na určené ciele pomocou centrálného navigačného systému (centrálny server a komunikačný systém) v rámci definovaného areálu.

Mimoriadnym výsledkom je podaná patentová prihláška PP 99-2022: "Spôsob lokalizácie autonómneho vozidla a zapojenie vizuálneho systému na lokalizáciu autonómneho vozidla". Aktuálne prebiehajú rešeršné konania Úradu priemyselného vlastníctva. Po ich ukončení v priebehu pol roka pripravujeme na STU medzinárodnú patentovú ochranu v európskom priestore. Publikované skúsenosti a výsledky z projektu formou odborných a vedeckých článkov budú pokračovať publikovaním ďalších hodnotných výsledkov, najmä po skončení patentovej rešerše.

Vyvinutý prototyp autonómneho vozidla bude slúžiť pre ďalší vývoj a výskum. Unikátne vlastnosti prototypu otvárajú viaceré možnosti: napríklad prebiehajú jednania s univerzitou v Bochumi o spolupráci a podaní medzinárodného projektu, alebo aj v rámci domácich projektov je možné rozvíjať témy ako krížová kalibrácia senzorických systémov alebo zdokonalovanie a overovanie dlhodobých prevádzkových vlastností nového vizuálneho lokalizačného SS a pod. Očakávame tiež, že modul riadiaceho systému autonómneho vozidla (RS-AV) aj s celým senzorickým systémom a jeho fúziou môže byť pomerne jednoducho prenesený na inú platformu elektrického vozidla (napr. sériovo vyrábanú platformu) s elektrickým ovládaním natočenia kolies a bŕzd.

Vyvinutý autonómny elektromobil poskytuje benefity v pedagogike univerzity. Na jeho vývoji odborne vyrastali riešitelia - učitelia, doktorandi a prípadne diplomanti. Funkčný prototyp elektromobilu je zároveň učebnou pomôckou ako celok, ako aj jeho jednotlivé komponenty, algoritmy a metodiky poskytujú rozsiahly učebný materiál pre multidisciplinárnu výučbu automobilovej mechatroniky.

V neposlednom rade autonómny elektromobil slúži na propagáciu štúdia a popularizáciu vedy jednak formou videí alebo priamym predvádzaním počas dňa otvorených dverí (napr. teraz 27.1.2023) a exkurzií študentov alebo návštev odborníkov z praxe.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)**

Hlavným výsledkom projektu je vyvinuté autonómne elektrické vozidlo (EV) schopné samostatne sa pohybovať v ohraničenom areáli stanovenou rýchlosťou do stanoveného cieľa podľa lokálnej navigačnej mapy v palubnom počítači systému. Presná vizuálna lokalizácia vozidla je dosiahnutá nekonvenčným patentovaným spôsobom (PP 99-2022) s využitím kamery a cestného identifikátora (R-ID). Vyvinuté autonómne vozidlo disponuje funkčnou bezpečnosťou na báze redundancie senzorických systémov pre určenie polohy (GNSS, IMU, odometria, kamera a lidar) a nezávislého senzorického a riadiaceho systému pre spoľahlivú detekciu prekážok v jazdnej dráhe a bezpečné zabrzdzenie. Autonómne EV bolo vyvinuté ako otvorená platforma, čo znamená, že riešiteľský kolektív má prístup k znalostiam (vytvorené modely, simulácie, metodiky) a má pod kontrolou všetky HW a SW prostriedky pre spracovanie signálov, dát a riadenie v reálnom čase. Otvorená platforma vznikla elektro-mechanickými úpravami vozidla typu buggy na elektrické vozidlo (EV). Má vlastný riadiaci systém (RS-EV) pre riadenie hlavného elektropohonu, automatické natáčanie predných kolies a elektrické ovládanie bŕzd. Komunikuje s nadradeným počítačom (RS-AV), ktorému posiela informácie z odometrie kolies a prijíma príkazy pre riadenie pohybu. RS-EV má tri režimy činnosti: automatický, ručný a testovací. Nadradený riadiaci systém autonómneho vozidla (RS-AV) je založený na nástroji pre riadenie autonómnych vozidiel ROS (Robot Operating System) a plní viacero funkcií. Hlavné sú spracovanie a fúzia signálov zo senzorov (Kalmanov filter) a generovanie dráhy na základe žiadanej rýchlosti a natočenia kolies pre RS-EV podľa lokálnej mapy prostredia. Nad pôvodný zámer boli vyvinuté 1. menšia mobilná platforma elektrického vozidla (MOPAS) pre vývoj senzorov autonómnych EV, vybavená riadiacim systémom, odometriou a senzormi, ktoré sú prenosné medzi oboma platformami. MOPAS umožňuje flexibilnejšie a bezpečnejšie overovanie senzorických systémov vo vnútorných priestoroch, najmä pri odstávke „veľkého“ EV na báze buggy; 2. originálny spôsob vizuálnej lokalizácie (kamera a R-ID), ktorý umožňuje určenie presnej absolútnej polohy vozidla, a teda presné riadenie jazdy (bez jazdných pruhov). Cestné identifikátory R-ID majú vopred stanovenú absolútnu polohu, ktorá je uložená v databáze a vo virtuálnej mape. Vyvinutý vizuálny lokalizačný systém umožňuje: A) funkčne plne a trvale nahradiť GNSS pri jeho výpadku vo vnútri budov

alebo na miestach, kde nie je priama viditeľnosť satelitov („satelitný tieň“). B) funkčne nahradiť tzv. pokročilú diferenciálnu GNSS známu ako Real Time Kinematic a pri jej výpadku po zosnímaní R-ID spresňovať za pohybu „hrubú“ polohu z GNSS. Všetky ciele projektu boli splnené. Niektoré úlohy boli splnené viacnásobne - vývojom alternatívnych zdokonalených riešení, a niektoré výsledky projektu boli realizované nad rámec pôvodných cieľov.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)**

The main outcome of the project is a developed autonomous electric vehicle (EV) able to move autonomously within a delimited area at a set speed to a set destination according to a local navigation map in the system's on-board computer. Accurate visual localization of the vehicle is achieved by an unconventional patented method (PP 99-2022) based on a camera and a road identifier (R-ID). The developed autonomous vehicle is functionally safe based on the redundancy of positioning sensor systems (GNSS, IMU, odometry, camera and lidar) and an independent sensor and control system for a reliable detection of obstacles in the path and safe braking. The autonomous EV has been developed as an open platform, which means that the research team has access to all the knowledge (models, simulations, methodologies developed) and having under control all HW and SW means for signal and data processing, and real-time control. The EV open platform was created by electro-mechanical modifications of a buggy-type vehicle with its own control system (RS-EV) for control of the main electric drive, automatic front-wheel steering and electric brakes. It communicates with a higher-level computer (RS-AV) to which it sends wheel odometry information and receives commands for motion control. The RS-EV can operate in three operation modes: automatic, manual and testing. The master control system of the autonomous vehicle (RS-AV) based on the Robot Operating System (ROS – an autonomous vehicle management tool) performs several functions, mainly processing and fusion of signals from sensors (using Kalman filter) and path generation for the RS -EV according to the local environment map based on the EV's required speed and wheel rotation. Beyond the original project aim the following outcomes were achieved: 1. development of a smaller EV mobile platform for development of autonomous EV sensors (MOPAS) equipped with a control system, odometry and sensors that are portable between the two platforms. MOPAS allows for more flexible and safer indoor verification of sensor systems, especially during the shutdown of a "big" buggy-based EV; 2. an original method of visual localization (camera and R-ID) allowing to determine the exact absolute position of the vehicle and thus a precise driving control (without driving lanes). Road identifiers (R-IDs) have a predetermined absolute location stored in a database and in the virtual map. The developed visual localization system allows: A) fully and permanently functionally replace the GNSS when it fails inside the buildings or in places where the satellites are not directly visible ("satellite shadow"). B) functionally replace the so-called advanced differential GNSS known as Real Time Kinematic and, on its fail after capturing the R-ID to refine in motion the 'coarse' position from the GNSS.

All project objectives have been completed. Some tasks have even been accomplished multiple times by developing alternative improved solutions, and some results have been realized beyond the originally set objectives.