

Jozef Király, Dušan Medveď, Tomáš Sokol

Prevádzka elektrických vozidiel v režime „vozidlo do siete“ z pohľadu vplyvu prevádzkových režimov vozidla

Článok sa zaoberá porovnávaním vplyvu profilu trasy na spotrebu energie batériového elektrického vozidla. Pri tomto porovnávaní sa zohľadňuje podrobnejší popis trasy, charakteristiky akcelerácie a brzdenia vozidla, vrátane rekuperácie energie. Na vykonanie simulácií boli vytvorené modely trás na základe reálnych mapových údajov zo Slovenska. Tieto modely sa potom použili v prostredí Matlab Simulink na vyhodnotenie spotreby energie pre rôzne vybrané trasy. Skúmanie uvedeného bolo zvolené práve s prihliadnutím na vplyv prevádzky týchto vozidiel v režime vozidlo do siete.

Kľúčové slová: Spotreba elektrického vozidla; jazdný cyklus; vozidlo do siete

The article focuses on comparing the impact of the route profile on the energy consumption of a battery electric vehicle. This comparison takes into account a more detailed description of the route, vehicle acceleration and deceleration characteristics, including energy recuperation. To conduct these simulations, route models were created based on real map data from Slovakia. These models were then utilized in the Matlab Simulink environment to assess energy consumption for various selected routes. This investigation was chosen with consideration for the influence of vehicle-to-grid operation of these vehicles. **(The operation of electric vehicles in the "vehicle-to-grid" mode from the perspective of the impact of vehicle operating modes.)**

Keywords: Electric vehicle energy consumption; ride cycle; vehicle 2 grid

I. ÚVOD

Jednou z hlavných výziev v oblasti súčasnej elektromobility z pohľadu elektroenergetiky je hodnotenie jej vplyvu na prevádzku distribučných sietí počas nabíjania a rovnako počas dodávky do siete. Z tohto hľadiska je kľúčové definovať a popísať prevádzkový režim vybíjania a nabíjania vozidla, pretože môže výrazne ovplyvniť energetickú bilanciu v konkrétnych bodoch distribučnej siete. Ďalším v budúcnosti stále dôležitejším aspektom bude práve schopnosť dodávať elektrickú energiu z vozidiel do siete, alebo naopak, známa ako „vehicle 2 grid“ (V2G). Táto schopnosť, najmä v kontexte zdieľanej energie v rámci zariadení, ponúka potenciálne riešenie pre vyvažovanie zaťaženia počas nabíjania (pripojenia k nabíjacej stanici).

Množstvo elektrickej energie potrebnej na nabíjanie, resp. je dostupné na dodávku späť do siete, je hlavne určené tým, ako je vozidlo používané. Faktory ako prejedaná vzdialenosť, profil trasy, teplota okolia a štýl jazdy významným spôsobom ovplyvňujú spotrebu elektrickej energie a teda konečný stav nabitia batérie (SoC).

II. SÚČASNÝ STAV ELEKTROMOBILITY A JEJ VPLYV NA ELEKTROENERGETIKU

VÝVOJ POČTU ELEKTRICKÝCH VOZIDIEL

Rast počtu elektrických vozidiel je popísaný exponenciálnym nárastom, pričom výrazný nárast nebol pozorovaný len v Ázii, ale po celom svete. Tento trend potvrdzujú zistenia štúdie [1], ktorá ilustruje rýchly rast počtu elektrických vozidiel v rôznych regiónoch.

Vzhľadom na súčasné potvrdenie štúdií [2,3], ktoré predpovedajú exponenciálny rast elektrických vozidiel medzi rokmi 2012, možno predpokladať, že tento rast bude určitým spôsobom pokračovať v období rokov 2020 do 2030. Tento rast bude podporovaný faktormi, ako sú pokroky v technológii, zvyšujúci sa dopyt spotrebiteľov a iniciatívy vlád na podporu elektrickej mobility a znižovania emisii spôsobených dopravou. [4]

VPLYV POČIATOČNÝCH PARAMETROV ELEKTRICKÝCH VOZIDIEL A PARAMETROV TRASY

V kontexte elektrických vozidiel je ich správanie hlavne ovplyvnené počiatočnými parametrami spojenými so skúmaným vozidlom. Tieto parametre zahŕňajú významné aspekty, ako je počiatočný stav nabitia batérie elektrického vozidla (SOC_1), stanovené hranice stavu nabitia batérie (SOC_{min} a SOC_{max}) a nominálny elektrický výkon vozidla (P_{EV}), ktorým sa vozidlo môže nabíjať, resp. dodávať energiu do siete (ak vychádzame z premisy, že to umožňuje).

Z hľadiska riadenia siete a jej elektrických zdrojov je zásadné efektívne komunikovať a zohľadňovať dve kľúčové informácie: celkový počet skúmaných elektrických vozidiel (n_{EV}) a predpovedaný čas, kedy tieto vozidlá budú pripojené k sieti (t_{EVch}). Správne zohľadnenie týchto parametrov je kľúčové pre optimalizáciu využitia a integrácie elektrických vozidiel v rámci distribučnej siete.

Okrem uvedených počiatočných parametrov elektrických vozidiel, spôsob využitia týchto vozidiel má významné dôsledky pre mechaniku prevádzky z pohľadu výkonových bilancií. Tento spôsob využitia je definovaný niekoľkými prepojenými faktormi: demografickým rozptýlením používateľov, geografickým prostredím, v ktorom vozidlo funguje (vrátane rozsahu skúmaného regiónu, rozloženia rôznych cieľov ciest atď.) a vonkajšími vplyvmi, ktoré kumulatívne ovplyvňujú dopyt po individualizovanej doprave. Na upresnenie, technické vlastnosti elektrického vozidla (kapacita batérie, účinnosť pohonného ústrojenstva alebo schopnosť rekuperácie brzdného účinku) zohrávajú kľúčovú úlohu. Avšak rozdiel medzi skutočným používaním, alebo definovaným jazdným cyklom má významný vplyv na výkonové bilancie. Demografické rozdelenie používateľov ovplyvňuje tieto jazdné cykly, pretože rôzne skupiny obyvateľov môžu vykazovať odlišné jazdné správanie - od frekvencie a dĺžky ciest, po rýchlosť a štýl jazdy. Napríklad výskum naznačuje, že mladší používatelia môžu mať vyššiu frekvenciu ciest, zatiaľ čo starší používatelia môžu svoje vozidlá využívať šetrnejšie. [5]

Geografické prostredie, v ktorom elektrické vozidlo (EV) operuje, tiež ovplyvňuje jeho jazdný cyklus. Vo vozidlách v mestskom prostredí často dochádza k zastaveniam a štartom v dôsledku hustej dopravy, čo vyžaduje časté zrýchľovanie a brzdenie. Naopak, vo vidieckom prostredí môžu elektrické vozidlá dosahovať vyššie udržiavané rýchlosti a znižuje sa počet zastavení a štartov. Toto má vplyv na rôzne parametre prevádzky vozidla, ako je spotreba energie, životnosť batérie a potreba údržby súvisiacich komponentov (napr. systémy rekuperácie pri brzdení). Pri tomto hodnotení je dôležité zohľadniť veľkosť skúmaného územia, geografické rozloženie rôznych cieľov ciest a charakteristiky regiónu, ako je terén a klimatické podmienky. Vonkajšie faktory, ako je dostupnosť verejnej dopravy a miesta, kde sa cesty začínajú, tiež zohrávajú významnú úlohu. Účinnosť infraštruktúry verejnej dopravy môže mať vplyv na dopyt po individuálnej doprave. Okrem toho geografické rozmiestnenie miest štartu, ako sú obytné oblasti vzhľadom na umiestnenie pracovísk, vzdelávacie inštitúcie alebo nákupné centrá, ovplyvňujú požiadavku využitia individuálnej dopravy. Ak sú tieto miesta menej dostupné verejnej doprave, môže to viesť k väčšej závislosti na individuálnej doprave. [6,7]

Z hľadiska validného porovnania a analýzy dát je nevyhnutné určiť a stanoviť presné testovacie postupy. V súčasnom kontexte testovania vozidiel často používame špecifické štandardné testovacie cykly, ako je celosvetový harmonizovaný testovací postup pre ľahké vozidlá (WLTP), Federálny testovací postup 75 (FTP-75) alebo Nový európsky jazdný cyklus (NEDC). Tieto protokoly nám poskytujú kontrolovaný a konzistentný rámec pre hodnotenie výkonnosti vozidiel.

Ako bolo spomenuté v [8,9], rozdiely medzi týmito jednotlivými jazdnými cyklami sú pomerne minimálne, približne okolo 8%. Táto malá odchýlka zdôrazňuje spoľahlivosť a konzistenciu týchto testovacích metód pri porovnávaní rôznych vozidiel alebo technológií.

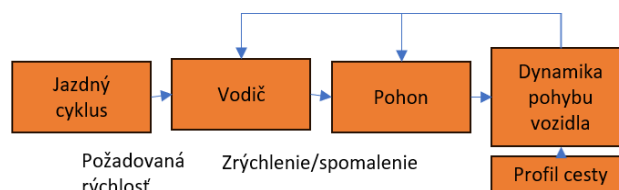
Z tohto hľadiska možno tvrdiť, že rozdiely medzi rôznymi metodikami z pohľadu cyklov nie sú štatisticky významné. Preto je najdôležitejším aspektom skutočne použitie takejto metódy počas simulácie a porovnania spotreby vozidla (akéhokoľvek paliva).

III. SIMULÁCIA A MODEL ELEKTRICKÉHO VOZIDLA

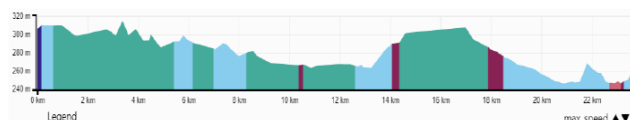
Vytvorenie realistického modelu elektrického vozidla je zložitý a časovo náročný proces, ktorý vyžaduje znalosti z rôznych oblastí, ako sú elektrotechnika, riadiace systémy, strojárstvo a ďalšie. Takéto systémy zahŕňajú vysoké investičné náklady a značné množstvo času. S cieľom urýchliť proces a znížiť náklady ponúka simulácia prostredníctvom náhradného modelu jednoduchý a nákladovo efektívny prístup k dosiahnutiu požadovaných výsledkov. Na vyvinutie presného dynamického modelu a jeho správania je potrebné správne navrhnuť systém a zohľadniť rôzne vonkajšie a vnútorné vplyvy na model. Simulácie boli vytvorené v prostredí MATLAB-Simulink. V definovanom modeli je možné upraviť kľúčové parametre vozidla, ako sú hmotnosť, čelná plocha vozidla a jeho aerodynamika, resp. rôzne druhy trenia vplývajúce na celkový výsledok simulácie.

Všeobecne platí, že okrem samotného modelu elektrického vozidla simulácia používa vstupné parametre, ako je profil nadmorskej výšky trasy, želaná rýchlosť, ako aj profily zrýchlenia a brzdenia, ako je znázornené na obrázku č. 2.

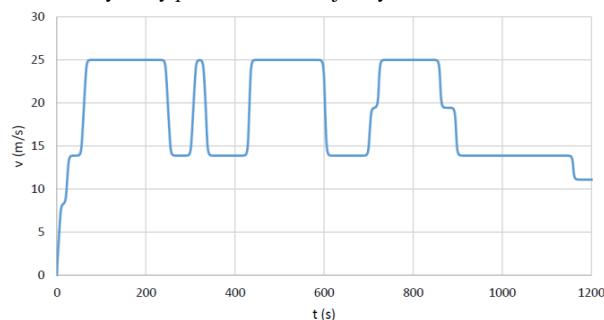
Hlavnou časťou uvedeného modelu je vstupný jazdný cyklus, ktorý bude simulovaný. Vstupné dáta pre jazdný cyklus sú získané z máp Graphhopper, ktoré zobrazujú maximálne rýchlosti na danej trase a obsahujú aj profil nadmorskej výšky. V uvedenom príklade ide o rýchlosti na trase medzi dvoma obcami. Táto spomínaná simulačná metóda však môže byť aplikovaná v zásade na akúkoľvek trasu.



Obr. 1. Zjednodušený model simulácie elektrického vozidla.

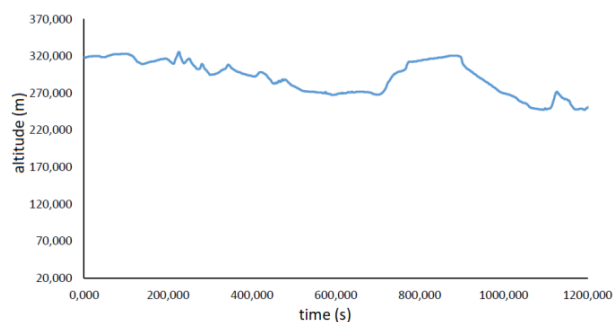


Obr. 2. Výškový profil simulovanej trasy.

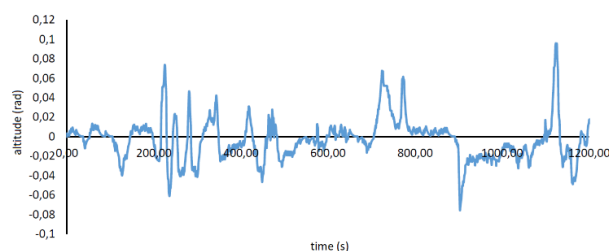


Obr. 3. Závislosť rýchlosti vozidla od trasy.

Z uvedeného grafu rozdelíme trasu na jednotlivé rýchlosti a priradíme im maximálne povolené rýchlosti. Následne sa vytvorí vzťah medzi rýchlosťami a časom v/t , ktorý sa potom upraví z hľadiska rýchlosti nárastu v dôsledku rýchleho zrýchlenia modelu vozidla, čo môže viesť k nežiaducim podmienkam, ako je strata trakcie, čo by mohlo viesť k nesprávnym výstupom. Finálny upravený profil rýchlosti vozidla je zobrazený na obrázku č. 3.



Obr. 4. Závislosť prevýšenia trasy od času.



Obr. 5. Závislosť gradientu trasy od času

Dôležitým parametrom pre simuláciu je aj závislosť nadmorskej výšky od času (obr. 4), ktorá významne ovplyvňuje spotrebu energie potrebnú na prejsenie trasy. Pre potreby modelu bolo nevyhnutné vytvoriť závislosť vzostupu a klesania vzhľadom na čas, ako je znázornené na obrázku č. 5. [10,11]

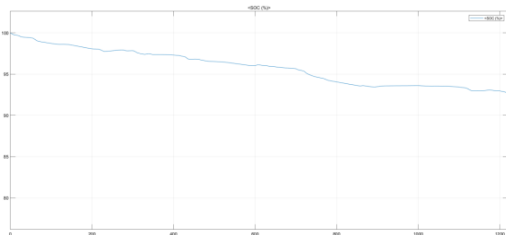
Tieto parametre zohrávajú kľúčovú úlohu pri stanovení energetickej efektívnosti a výkonnosti elektrického vozidla počas simulácie. V rámci simulácie boli riešené nasledujúce kľúčové parametre vozidla:

Hmotnosť (m - 1600 kg): Hmotnosť vozidla priamo ovplyvňuje jeho spotrebu energie a to najmä v režime zrýchľovania a udržiavania rýchlosti pri stúpaní.

Koeficient aerodynamického odporu ($c_d=0,28$): Aerodynamický odpor je ovplyvnený tvarom a dizajnom vozidla. Nižší koeficient odporu naznačuje lepšiu aerodynamiku a menší odpor pri pohybe vzduchom. Vylepšený aerodynamický dizajn môže minimalizovať energetické straty spôsobené odporom vzduchu.

Plocha prednej časti vozidla (S_v - 2,28 m²): Priesečniková plocha prednej časti vozidla priamo súvisí s koeficientom aerodynamického odporu a teda optimalizácia tvaru vozidla a minimalizácia prednej plochy môžu prispieť k úsporám energie.

Kapacita Batérie Vozidla (v prípade skúmaného vozidla 54 kWh): Kapacita batérie priamo určuje množstvo energie, ktoré vozidlo môže uchovávať. Väčšia batéria umožňuje dlhší dojazd, ale tiež pridáva na hmotnosť vozidla. Rovnováha medzi kapacitou batérie, hmotnosťou a energetickými požiadavkami je nevyhnutná pre dosiahnutie optimálneho výkonu. Voľba kapacity batérie z pohľadu prevádzky vozidla v režime vozidlo do siete predstavuje významný parameter pre posúdenie vplyvu na distribučnú sieť.



Obr. 6. Závislosť vybijania akumulátora od času na simulovanej trase

IV. VYHODNOTENIE SIMULÁCIÍ A VPLYV PREVÁDZKY VOZIDLO DO SIETE

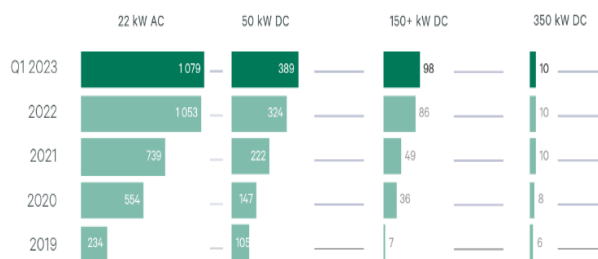
V rámci simulácie elektrické vozidlo prešlo celkovo 22,7 kilometra so spotrebou 14,49kWh/100km, pričom spotrebovalo 3,29 kWh energie. Ekvivalentné vozidlo s benzínovým spaľovacím motorom a obsahom energie približne 9,7 kWh v litri paliva, vyžaduje pre priame porovnanie uvažovať s účinnosťou spaľovacieho motora. Napríklad, ak by sme zväzili vozidlo so spaľovacím motorom, ktoré priemerne spotrebuje 6 litrov paliva na 100 km, spotreba energie na rovnakú vzdialenosť, 22,7 kilometra by bola približne 1,51 litra benzínu, čo by predstavovalo približne 14,67 kWh energie. Treba však poznamenať, že ide o hrubé porovnanie, pretože skutočná spotreba energie by závisela od niekoľkých faktorov, vrátane konkrétnej presnej účinnosti motora, podmienok jazdy a správania vodiča.

Rekuperácia energie počas brzdných udalostí, ktorá bola 0,43 kWh v simulácii EV, je vlastnosťou výhradne EV a hybridné vozidlá v dôsledku ich systémov rekuperačného brzdzenia.

Z pohľadu spotreby energie na jednotku vzdialenosti vyžadoval model EV cca 0,15 kWh na kilometer. V porovnaní, ekvivalentná

spotreba energie vo vozidle so spaľovacím motorom s účinnosťou približne 15 km/l by sa rovnala približne 0,65 kWh na kilometer, čím sa podčiarkuje vyššia energetická efektívnosť dosiahnuteľná s elektrickými vozidlami. Simulácia EV skončila s hladinou nabitia batérie (SoC) 92,7%, čo naznačuje, že model bol schopný zachovať významnú časť svojej uchovanej energie počas priebehu simulovanej cesty.

Úroveň vplyvu prevádzky elektrických vozidiel na distribučnú sieť je potrebné posúdiť z pohľadu typu nabíjania, ktorým sú vozidlá prevádzkované. Ako je zrejme z údajov zverejnených v [12], väčšina nabíjajúcich staníc sú nabíjacie stanice s výstupom striedavého prúdu (AC), kde nabíjací výkon je obmedzený palubnou nabíjačkou vozidla, ktorá zvyčajne poskytuje nabíjací výkon 11 kW.



Obr. 7. Rozdelenie počtu nabíjajúcich bodov podľa výkonu v SR

Pre prípad uvažovania dodávky el. energie do siete budeme uvažovať s nabíjacou stanicou typu DC s nominálnym výkonom 25kW.

Dáta o spotrebe vyplývajúce zo simulácie sú uvedené v tabuľke I. Pre vyhodnotenie boli zvolené dve počiatkové hodnoty stavu nabitia batérie a to 100% a 50%. Z pohľadu dodávky elektrickej energie do siete boli zvolené minimálne dostupné kapacity batérie a to na úrovni 30%. Z uvedeného vyplýva, že dostupná kapacita pre dodávku do siete v režime V2G bola 34,51kWh a 15,61kWh.

Pre stanovenie vplyvu dodávky do siete sme stanovili scenár pozostávajúci z uvažovanej priemernej spotreby na odbernom mieste (p.a. a denne), pričom sme uvažovali so 100% pokrytím spotreby domácnosti. Počet domácností s vybudovanou infraštruktúrou bol stanovený empiricky, podľa predpokladu výskytu týchto nabíjajúcich staníc, pričom pre dobíjanie batérie vozidla bolo uvažované s inštalovaným FV zdrojom s definovanou dennou výrobou na úrovni 32kWh (dáta podľa PVGIS). Záver uvedenej simulácie potvrdzuje predpoklad, že batériové vozidlo v uvedenom režime a rozsahu používania, ktorý je ovplyvnený dĺžkou a profilom prejazdenej trasy, dokáže nahradiť a pokryť spotrebu el. energie priemernej uvažovanej domácnosti.

TABUĽKA I
Definovanie vstupných parametrov a výsledky simulácie na testovacej trase

| Prípado | Maximálna kapacita batérie vozidla (kWh) | Počiatočná kapacita batérie vozidla (kWh) | Počet prejedných km | Priemerná spotreba(kWh/100km) | Spotreba energie za určenú trasu (kWh) | Zostatková kapacita batérie (kWh) | Minimálna dostupná kapacita SoC (%) | Minimálna dostupná kapacita SoC (kWh) | Dostupná povolená kapacita pre V2G (kWh) |
|--|--|---|---------------------|-------------------------------|--|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Dodávka do siete, plne nabitá batéria | 54 | 54 | 22,7 | 14,49 | 3,29 | 50,71 | 30 | 16,2 | 34,51 |
| Dodávka do siete, polovične nabitá batéria | 54 | 27 | 22,7 | 14,49 | 3,29 | 23,71 | 30 | 8,1 | 15,61 |

TABUĽKA II
Uvažovaný scenár nasadenia V2G

| Priemerná spotreba domácnosti p.a. (kWh) | Priemerná denná spotreba (kWh) | Percentuálne pokrytie dennej spotreby z V2G (%) | Počet rodinných domácností podľa ŠÚ SR | Percentuálny podiel domácností s nabíjacími stanicami V2G (%) | Teoretický počet domácností s nabíjacími stanicami V2G a FV zdrojom (ks) | Teoretická výroba FV zdroja domácnosti (kWh) | Celkové množstvo energie vyrobené, uskladnené vo V2G a neodobraté z DS p.a. (MWh) |
|--|--------------------------------|---|--|---|--|--|---|
| 3500 | 9,59 | 359,85 | 1436078 | 0,1 | 1436 | 32 | 5026,5 |
| 3500 | 9,59 | 162,77 | 1436078 | 0,1 | 1436 | 32 | 5026,5 |

V. ZÁVER

Spôsob využívania elektrického vozidla nielen ako vozidla, ale rovnako ako batériového úložiska predstavuje výzvu v optimalizácii využitia konvenčných zdrojov energie spolu s efektívnejším využitím obnoviteľných zdrojov v miestach rezidenčných oblastí, ale rovnako v komerčnom nasadení. Konkrétny spôsob využitia vozidla, tak ako to bolo simulované v tomto článku a teda vplyv prejazdenej trasy priamo ovplyvňujúci zostatkovú využiteľnú kapacitu batérie predstavujú nezanedbateľnú premennú v možnostiach a miere využitia týchto vozidiel. Skúmanie nielen vplyvu profilu trasy a modelov správania sa používateľov ale rovnako vplyvu poveternostných podmienok vplývajúcich na spotrebu týchto vozidiel spolu s ich možnosťou dobíjania z obnoviteľných zdrojov energie predstavujú ďalší dôležitý smer výskumu v tejto oblasti.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok bol podporený Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-19-0576.

LITERATÚRA

- [1] J. G. Schmidt et al., "Forecasts and Impact on the Electrical Grid with the Expansion of Electric Vehicles in Northeast of Brazil," 2022 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), New Orleans, LA, USA, 2022, pp. 1-5, doi: 10.1109/TD43745.2022.9816978.
- [2] M. Vražić, D. Vuljaj, A. Pavasović and H. Pauković, "Electric vehicle number assessment for year 2020 in Croatia," 2014 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON), Cavtat, Croatia, 2014, pp. 1531-1536, doi: 10.1109/ENERGYCON.2014.6850626.
- [3] C. Liu, X. Yu and G. Wen, "Optimal Photovoltaic System Expansion Based on Electric Vehicle Charging Station in Smart Grid," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 2020, pp. 166-171, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152464.
- [4] A. Govindarasu and A. S. Venkatesh, "Electric Vehicle Vision 2030 Challenges and Solutions," 2019 IEEE Transportation Electrification Conference (ITEC-India), Bengaluru, India, 2019, pp. 1-3, doi: 10.1109/ITEC-India48457.2019.ITECINDIA2019-35.
- [5] M. W. Mudiyansele et al., "A Multi-Agent Framework for Electric Vehicles Charging Power Forecast and Smart Planning of Urban Parking Lots," in IEEE Transactions on Transportation Electrification, doi: 10.1109/TTE.2023.3289196.
- [6] J. Zhang, J. Yan, Y. Liu, H. Zhang, and G. Lv, "Daily electric vehicle charging load profiles considering demographics of vehicle users," Applied Energy, vol. 274, p. 115063, 2020.

- [7] R. Kubaisi, F. Gauterin and M. Giessler, "A method to analyze driver influence on the energy consumption and power needs of electric vehicles," 2014 IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC), Florence, Italy, 2014, pp. 1-4, doi: 10.1109/IEVC.2014.7056215.
- [8] D. Zhao, C. Ran, C. Chen and R. Yu, "From NEDC to WLTP for Vehicles: The Impact on Fuel Efficiency Calculation and Algorithm Optimization," 2022 International Conference on Data Analytics, Computing and Artificial Intelligence (ICDACAI), Zakopane, Poland, 2022, pp. 311-315, doi: 10.1109/ICDACAI57211.2022.00067.
- [9] N. Kammuang-lue and J. Boonjun, "Simulation and Comparison on Energy Consumption between Electric and Diesel Buses: Feasibility Study on Electric Rubber-Tire Bus Potential in Chiang Mai," 2019 IEEE 10th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE), Brussels, Belgium, 2019, pp. 490-496, doi: 10.1109/ICMAE.2019.8880940.
- [10] N. Noura, I. Erradi, A. Desreuveaux and A. Bouscayrol, "Comparison of the Energy Consumption of a Diesel Car and an Electric Car," 2018 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), Chicago, IL, USA, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/VPPC.2018.8605020.
- [11] Q. Xing et al., "Charging Demand Forecasting Model for Electric Vehicles Based on Online Ride-Hailing Trip Data," in IEEE Access, vol. 7, pp. 137390-137409, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2940597.
- [12] SEVA Report 2023 [online]. Bratislava, Slovensko, 2023 [cit. 2023-07-24]. Available on: https://www.seva.sk/wp-content/uploads/2023/06/SEVS_VS_23.pdf

ADRESY AUTOROV

Jozef Király, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, jozef.kiraly@tuke.sk
Dušan Medved', Technická Univerzita Košice, elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, dušan.medved@tuke.sk
Tomáš Sokol, Technická Univerzita Košice, elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika