



VPLYV TEPLoty PROSTREDIA NA SPOTREBU ELEKTRICKÝCH AUTOBUSOV

THE INFLUENCE OF AMBIENT TEMPERATURE ON ELECTRIC BUS CONSUMPTION

Kristián Čulík^{1,*}, Karol Hrudkay¹, Vladimíra Štefancová²

Abstrakt Tento príspevok je zameraný na výskum vplyvu okolitej teploty na spotrebu elektrickej energie elektrobusev. Východiskovým podkladom výskumu bola detailná databáza prevádzkových údajov a taktiež záznamy o priemernej teplote v mieste prevádzky elektrobusev. V úvode rozoberáme aj postupný nástup technológie elektrobusev v Slovenskej republike a mapujeme zloženie vozidlového parku. V tomto prípade sme analyzovali vozidlá Škoda Perun 26SH01, pričom sme sa zamerali na zimnú a letnú prevádzku. Analyzované mesiace boli výrazne odlišné priemernou dennou teplotou. Tá má zásadný vplyv na celkovú spotrebu elektrobusev, pretože analyzovaný typ má kabínu cestujúcich vykurovanú práve elektrickými ohrievačmi. V článku odpovedáme na niekoľko výskumných otázok súvisiacich so spotrebou elektrobusev v našich podnebných podmienkach.

Kľúčové slová elektromobilita, elektrický autobus, palivo, spotreba, prevádzka, batérie

Summary This paper focuses on the research of the influence of ambient temperature on the electricity consumption of electric buses. The fundamental material was a detailed database of operational data. We also used records of the average temperature at the place of operation of electric buses. In the introduction, we discuss the gradual advent of electric bus technology in the Slovak Republic. We also mapped the composition of the vehicle fleet. In this case, we analysed the Škoda Perun 26SH01 vehicles, focusing on operation during winter and summer. The analysed months had significantly different average daily temperatures. It has a significant impact on the overall consumption of the electric bus because the analysed type has a passenger cabin that is electrically heated. In this article, we answer several research questions related to the consumption of electric buses in our climatic conditions.

Keywords electromobility, electric bus, fuel, consumption, operation, batteries

1 ÚVOD

Vzhľadom na neustály tlak na znižovanie emisií skleníkových plynov a taktiež zvyšovanie kvality ovzdušia v mestách, je potreba zavádzať nové druhy pohonov dopravných prostriedkov. Obzvlášť v doprave je potreba hľadať alternatívy k tradičným fosílnym palivám. Sektor dopravy v členských štátoch EU spotrebuje približne 30% celkovej energie spotrebovanej v 27 európskych štátoch (Final energy

¹ Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitný vedecký park, Univerzitná 8215/1, 01026 Žilina, Slovenská republika

² Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, Katedra železničnej dopravy, Univerzitná 8215/1, 01026 Žilina, Slovenská republika

* korešpondenčný autor, tel.: +421 41 513 3507, e-mail: kristian.culik@fpedas.uniza.sk

consumption by sector, 2018). Tieto informácie vychádzajú z (Richter et al., 2012). V oblasti cestnej dopravy je potrebné hľadať alternatívu ku konvenčným spaľovacím motorom. V oblasti osobných vozidiel sú dnes k dispozícii nie len hybridné vozidlá (HEV), ktoré kombinujú bežný spaľovací a eklektický motor (Björnsson, Karlsson, 2017), ale aj čisto elektrické automobily (BEV). Okrem vozidiel s batériou sú ďalšou alternatívou vozidlá s palivovými článkami - fuel cell powered hybrid electric vehicles (FC-HEV) and plug-in hybrid electric vehicles (FC-PHEV) (Ribau et al., 2014).

Napriek uvedeným technológiám si mobilita založená na spaľovaní ropy si stále drží najväčší podiel na dopravnom trhu (Conti et al., 2015). Prienik alternatívnych technológií na trh je stále veľmi malý (Frost, 2013; Hurst, 2011). Je tomu tak z viacerých dôvodov, predovšetkým sú to ekonomické aspekty. V trhovom hospodárstve musia komerčný dopravcovia ale aj jednotliví koncoví používatelia sledovať ekonomickú efektivitu svojich investícií. To, či sú elektromobily ekonomicky efektívne, riešia viaceré zahraničné štúdie, napr. (Abotalebi et al., 2019; Vergis, Chen, 2015; Riyanto et al., 2019) prostredníctvom tzv. celkových nákladov na vlastníctvo elektromobilu. Na druhej strane, sú tu aj iné aspekty, ktoré bránia širokému využitiu alternatívnych pohonov v cestnej doprave. Problémom je uchovávanie energie – technológie v súčasnosti bránia vyššiemu dojazdu elektromobilov. Problematická môže byť a logistika energií a s ňou spojená infraštruktúra. Problémy s nedostačujúcou infraštruktúrou majú v začiatkoch všetky druhy palív. V nedávnej minulosti, na prelome tisícročí, sa s problémom nedostatočnej infraštruktúry stretol úplne iný druh pohonu než je elektrický. Bol to pohon na skvapalnený ropný plyn (LPG) (Scarponi et al., 2019). Dnes už nie je s čerpaním tohto paliva žiaden problém a stalo sa úplne bežnou komoditou a plnohodnotným konkurentom benzínu či nafty. Samozrejme, LPG a ani CNG či LNG nemôžeme považovať za dlhodobé strategické riešenie závislosti na rope.

Podľa (Miles, Potter, 2014) je zvädzanie nových progresívnych pohonov jednoduchšie v hromadnej osobnej doprave. Je tomu tak najmä z dôvodu pevných trás a liniek, centralizovaného depa dopravných podnikov a možnosti využívania jestvujúcej infraštruktúry (Pihlatie et al., 2014). V prostredí hromadnej osobnej dopravy je možné nové technológie testovať, optimalizovať, prevádzkovať a zároveň znižovať emisie v meste (Poullikkas, 2015; Tzeng, 2005). Okrem toho, dopravná obsluha je financovaná z verejných zdrojov a preto nie sú aspekty dosahovania zisku prvoradé (Poliak et al., 2017a; Poliak et al., 2017b). Môže tu byť preto priestor zavádzať ekologickejšie vozidlá na úkor ich investičnej návratnosti a efektivity. V súčasnosti je na trhu možné pozorovať progres v oblasti ponuky elektrických autobusov. Ide samozrejme najmä o mestské autobusy, prípadne autobusy využiteľné na krátke prímestské linky. Výber vhodného hnacieho ústrojenstva autobusu závisí od rôznych faktorov, ako sú cena, štruktúra siete, zdroj energie a jazdné podmienky. Pre optimálne využitie každej technológie je potrebný kompromis medzi rôznymi funkciami (Lajunen, 2014).

Zahraničné štúdie v oblasti elektrických autobusov skúmajú predovšetkým technicko-ekonomické a environmentálne vplyvy. Zameriavajú sa teda na tri najdôležitejšie aspekty prevádzky – environmentálnu, energetickú a ekonomickú efektívnosť. Environmentálne modely spomínané v (McKenzie, Durango-Cohen, 2012; Harantová et al., 2021), skúmajú potenciálne zníženie emisií skleníkových plynov z elektrických autobusov. Modely spotreby energie skúmajú energetickú účinnosť elektrických autobusov (Mahmoud et al., 2016; Nylund, Koponen, 2012). Ekonomické štúdie sa zameriavajú na analýzu nákladov a ekonomických prínosov prevádzky elektrických autobusov (Nurhadi et al., 2014). Koniec koncov, nemali by sme zabudnúť aj na používateľsky orientované štúdie, napr. (Kwon et al., 2020) alebo (Munim, Noor, 2020; Lebeau et al., 2013), ktoré skúmajú názor samotných cestujúcich, pre ktorých má elektrické vozidlo slúžiť.

Tento článok má priniesť praktické znalosti v oblasti prevádzkovania elektrických autobusov v strednej Európe. V nasledujúcej kapitole je popísaný jednak vývoj zavádzania elektrických autobusov do prevádzky v Slovenskej republike ako aj porovnanie s vybranými európskymi krajinami. Na základe literatúry sa pokúsime približne predpovedať vývoj budúceho stavu počtu vozidiel v prevádzke.

Hlavná časť tohto článku sa zameriava na detailné štatistické spracovanie získaných dát o prevádzke dvoch elektrických autobusov. Tieto dáta poskytol Dopravný podnik mesta Žilina, ktorý okrem týchto dvoch elektrických autobusov, prevádzkuje aj hybridné autobusy, trolejbusy a autobusy s konvenčným vznetrovým motorom.

V tejto štúdií sa zameriame predovšetkým na oblasť energetickú, teda na analýzu dostupných údajov, ktoré boli získané z reálnej praxe. Budeme overovať niekoľko hypotéz a odpovedať na niekoľko výskumných otázok, ktoré sú popísané v tretej kapitole.

2 ELEKTROBUSY V SLOVENSKEJ REPUBLIKE

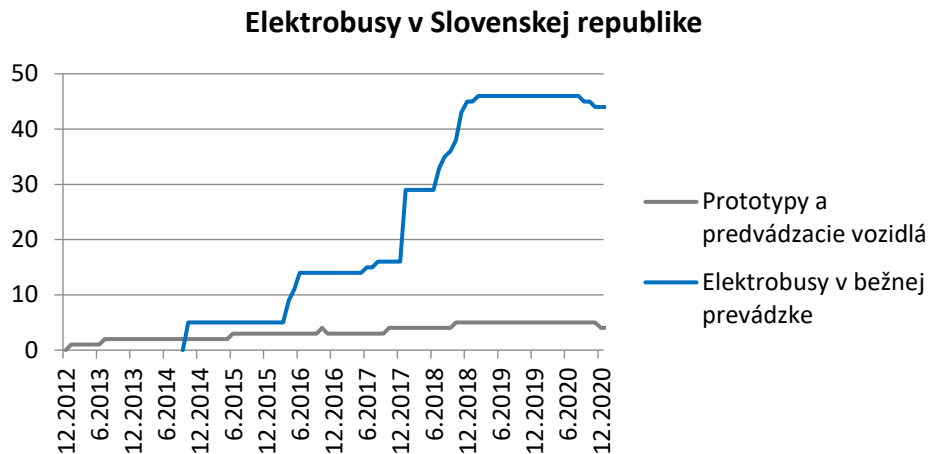
Podľa ministerstva hospodárstva SR, sa počet elektromobilov (BEV) ako aj hybridov (PHEV) postupne zvyšuje. Ak sa pozrieme len na osobné vozidlá, v roku 2015 jazdilo po slovenských cestách iba 86 plug-in hybridov a 224 elektromobilov. K 30. júnu 2020 sa ich počet zvýšil osemnásobne na 1021 PHEV a 1582 BEV. K tomuto dátumu existuje aj presný počet elektromobilov v jednotlivých kategóriách týchto vozidiel, išlo o BEV:

- kategórie L (motocykle): 606 vozidiel,
- kategórie L7e (štvorkolky): 139 vozidiel,
- kategórie M1 (osobné automobily do 3,5 t celkovej hmotnosti): 1 582 vozidiel,
- kategórie N1 (nákladné automobily do 3,5 t celkovej hmotnosti): 124 vozidiel,
- kategórie M3 (autobusy): 47 vozidiel,
- a 15 pracovných strojov.

Vzhľadom na veľmi nízky počet elektrických autobusov v Slovenskej republike je možné veľmi ľahko identifikovať ich zaradenie v dopravných podnikoch a špecifikovať presné typy a počty. Podarilo sa nám presne lokalizovať 46 zo 47 štatisticky vedených vozidiel nasledovne:

- 23 elektrobusev – Dopravný podnik mesta Košice,
- 18 elektrobusev – Dopravný podnik mesta Bratislava,
- 2 elektrobusev - Dopravný podnik mesta Žilina,
- 2 elektrobusev – SAD Poprad,
- 1 elektrobusev – Arriva Nové Zámky.

Až 41 vozidiel bolo dodaných výrobcom SOR Libchavy, 3 elektrobusev sú značky Škoda a 2 Slovenského výrobcu Troligabus. Postup zavádzania elektrobusev do prevádzky v priebehu času je možné vidieť na obrázku 1. Rovnako zobrazuje aj všetky prototypy a predvážacie vozidlá používané, ale neregistrované v Slovenskej republike.



Obr. 1 Počet elektrobuses prevádzkovaných v Slovenskej republike; zdroj: Evidencia vozidiel slovenských dopravcov








Okrem minulého vývoja zavádzania elektrických autobusov do prevádzky sa v nasledujúcich riadkoch zameriame aj na budúci vývoj. Na podmienky trhu verejnej osobnej dopravy Európskych štátov reaguje štúdia (Brdulak et al., 2020). Jej cieľom bola simulácia vývoja počtu autobusov s nulovými emisiami v členských krajinách Európskej únie. Štúdia sa však nezamerala na Slovenskú a Českú republiku. Môžeme sa však pozrieť a odhadnúť vývoj na základe ostatných okolitých krajín, teda Rakúska, Poľska a Maďarska. Jedna z výskumných otázok štúdie bola, zameraná na stanovenie roku, v ktorom daná krajina dosiahne úroveň 95% podielu autobusov s nulovými emisiami. Použitou metódou bol Bassov model, ktorý ukázal, že iba 4 členské krajiny EÚ budú pravdepodobne schopné dosiahnuť 95% podiel bez emisných autobusov pred rokom 2050 (Belgicko, Španielsko, Nórsko a Rumunsko).

Keď sa pozrieme na algoritmus výpočtu predpokladaného počtu ZEB (Zero Emission Buses = autobusy s nulovými emisiami) v budúcich obdobiach, zistíme, že sa uvažuje aj so štyrmi druhmi energie, resp. pohonu: elektrický, hybridný, plug-in hybridný a vodíkový pohon. Vo vyššie uvedenom texte spomíname, že vývoj počtu autobusov s nulovými emisiami by mohol približne kopírovať Poľsko či Maďarsko. Je tomu tak preto, lebo počet autobusov s nulovými emisiami, z ktorých výpočet vychádzal je približne rovnaký ako na Slovensku, teda pohybuje sa rádovo v desiatkach prevádzkovaných vozidiel. V slovenskej republike sa však v roku 2020 prevádzkovalo 46 elektrobuses, 16 hybridných autobusov a približne 250 trolejbusov - 131 v Bratislave, 31 v Banskej Bystrici, 46 v Žiline a 42 v Prešove (Trolejbusy na Slovensku). Celkovo ide teda až o zhruba 300 vozidiel s nulovými emisiami. Aj napriek tomu, je splnenie 95% podielu bezemisných autobusov pred rokom 2050 veľmi nepravdepodobné.

Vykonané analýzy ukazujú, že do roku 2050 budú iba štyria členovia EÚ schopní dosiahnuť 95% úroveň podielu čistých autobusov vo flotilách mestskej autobusovej dopravy. Je pravdepodobné, že iné krajiny to nemusia dosiahnuť ani do roku 2050.

Technické parametre elektrobuses, ktoré sú prevádzkované v SR sú pomerne podobné. Ide o sólo autobusy s dĺžkou 8 až 12 metrov s výkonom do 160 kW. Všetky parametre spolu s počtom zaradených vozidiel v prevádzke sú v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 1 Příklad tabulky; zdroj: Evidencia vozidiel slovenských dopravcov

ks.	Značka	Typ	Karoséria	Dĺžka [m]	Kapacita [osôb]*	Hmotnosť [kg]	Výkon motora [kW]	Max. rýchlosť [km/h]
18x	SOR	EBN 11		11,10	29+63	10 000	120	80
5x	SOR	EBN 10.5		10,37	19+54	10 200	120	80
2x	SOR	EBN 8		8,00	16+38	9 020	120	80
16x	SOR	ENS 12		12,00	33+72	12 350	160	80
2x	Škoda	Perun 26SH01		12,00	28+42	12 835	160	80
1x	Škoda	Perun 26BB HE		12,00	28+42	12 835	160	80
2x	Troliga	Leonis EV		12,00	28+42	13 000	160	80

V našom prípade sme sa zamerali na dve vozidlá Škoda Perun 26SH01. Podľa (iMHD.sk) ide o nízkopodlažné 12-metrové batérové elektrobusesy, ktoré vyrábala česká spoločnosť Škoda Electric z Plzne od roku 2013 s karosériami autobusu Solaris Urbino 12 tretej generácie. Od roku 2016 boli produkované s novými karosériami Urbino 12 štvrtej generácie. V roku 2017 vyhrala plzenská Škoda Electric verejnú súťaž na 2 nízkopodlažné 12-metrové elektrobusesy pre DPMŽ. Obe vozidlá Škoda Perun s karosériou Solaris Urbino 12 IV dodal výrobca v novembri 2018.

3 ANALÝZA DÁT A VÝSKUM

V tejto kapitole sme sa zamerali na samotnú matematicko-štatistickú analýzu získaných dát. Vzhľadom na to, že sme chceli matematicky popísať závislosť teploty a spotreby elektrickej energie, vybrali sme si 2 letné a tri zimné mesiace, počas ktorých bol skúmaný elektrobuses v dennej prevádzke.

Hypotézu H1, ktorú sme overovali znie: Medzi teplotou okolitého prostredia a celkovou spotrebou elektrickej energie elektrického autobusu je silná závislosť. Závislosť vyjadríme Pearsonovým koeficientom korelácie, pričom jeho interpretácia bude v zmysle (Štatistika v PSPP: Korelačná analýza) nasledovná: hodnoty koeficientu od 0 do 0,4 (resp. -0,4 až 0,0) budú považované za slabé, hodnoty od 0,4 až 0,8 (resp. -0,4 až -0,8) budú stredne silné a hodnoty 0,8 až 1 (prípadne -0,8 až -1,0) budú považované za zvlášť silné, teda medzi premennými existuje veľmi silná vzájomná závislosť.

Výskumné otázky, ktoré sme overovali zneli nasledovne: O1 - Aká je exaktná hodnota koeficientu korelácie medzi celkovou spotrebou elektrickej energie a teplotou? O2 - Aká je exaktná hodnota koeficientu korelácie medzi spotrebou elektrickej energie len na samotný pohon trakčných motorov a teplotou? O3 - Akou lineárnou alebo exponenciálnou funkciou je možné vyjadriť túto závislosť?

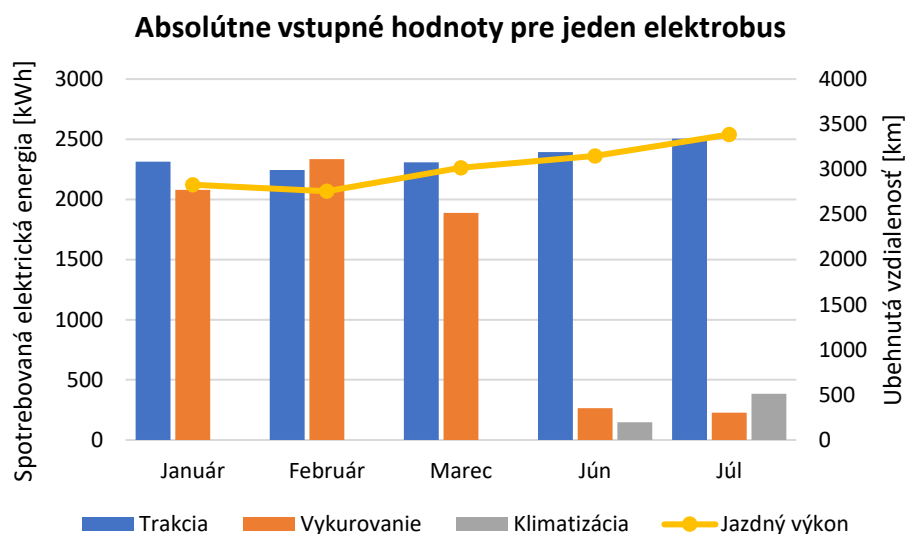
3.1 Vstupné dáta

Pre účely nášho výskumu sa nám podarilo získať veľkú základňu dát týkajúcu sa dvoch prevádzkovaných trolejbusov Perun 26SH01. Dáta sme získali z logu údajov, ktorý obsahoval nasledujúce dáta:

- Identifikačné údaje (číslo autobusu, VIN číslo) a časový rozsah zápisu dát.
- Celkový jazdný výkon v kilometroch.
- Celkové kWh nabíjania s rozdelením na:

- nabíjanie cez pantograf
- nabíjanie cez napájací kábel
- Celková spotreba s rozdelením na:
 - vnútornú spotrebu s prerozdelením energie: čistá trakcia, pomocné pohony, kúrenie, klimatizácia, energia pre spotrebiče na 24V,
 - vonkajšiu spotrebu.
- Na dennej báze dátový log obsahuje aj nabitú energiu, ubehnuté kilometre, spotrebu a počet balansovaní batérie.

Okrem týchto prevádzkových údajov sme použili aj verejne dostupné záznamy teplôt z daných dní – použité zo zdroja (MeteoInfo.sk: Žilina). Celkové údaje o spotrebovanej energii pre trakčné motory, kúrenie a klimatizáciu pre jeden z elektrobusov možno vidieť na obrázku 2.

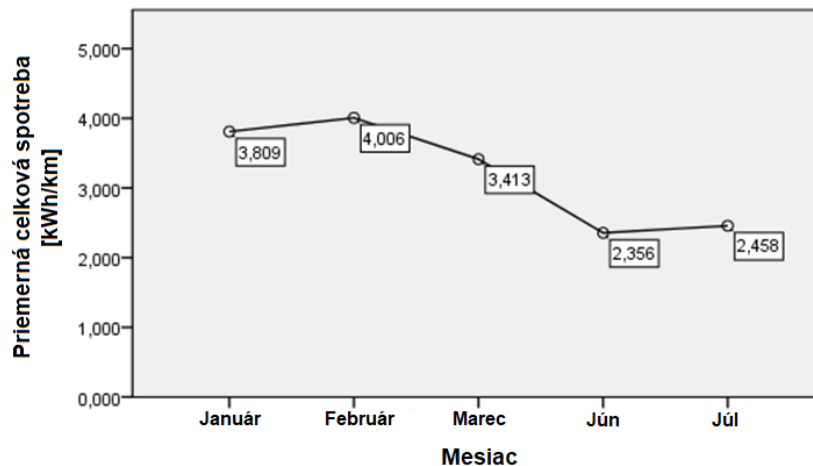


Obr. 2 Absolútna spotreba elektrickej energie a jazdný výkon; zdroj: Interné údaje

3.2 Dátová analýza

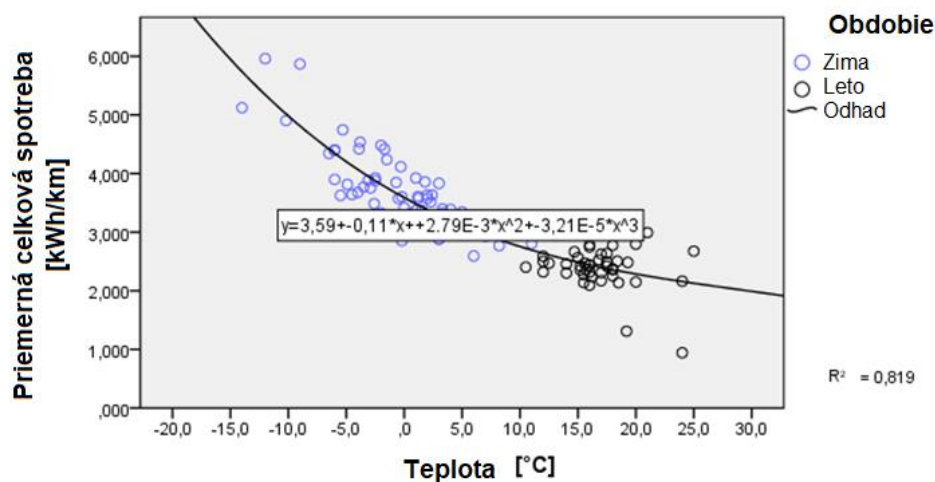
V prvom rade bolo nutné očistiť absolútne hodnoty spotrebovanej elektrickej energie od ubehnutej vzdialenosti. Rovnakým spôsobom boli prepočítané aj kWh spotrebovanej energie pre kúrenie a klimatizáciu. Ako možno vidieť z predchádzajúceho obrázka, v každom z mesiacov sa využívalo kúrenie, v dvoch letných mesiacoch sa využívala aj klimatizácia. Vplyv klimatizácie na spotrebu je v celkovom vyjadrení zanedbateľný.

Na základe vstupných údajov sme zistili, že Pearsonov koeficient korelácie medzi celkovou spotrebou elektrobusu a teplotou okolitého prostredia je na úrovni $-0,880$ na hladine významnosti $0,01$ (dvojstranný test). Do výpočtu bolo zahrnutých 105 hodnôt. Je možné predpokladať, že táto závislosť je spôsobená potrebou vykurovania kabíny pre cestujúcich pri nízkych teplotách. Z toho dôvodu sme sa zamerali aj na samotnú energiu spotrebovanú trakčnými motormi. V tomto prípade bol výsledný koeficient korelácie na úrovni $-0,496$ na hladine významnosti $0,01$ (dvojstranný test). Závislosť v oboch prípadoch bola nepriama, teda so znižujúcou teplotou sa zvyšuje množstvo spotrebovanej elektrickej energie. Prehľad priemernej celkovej spotreby elektrickej energie v kWh/km je na obrázku 2.



Obr. 3 Priemerná celková spotreba elektrickej energie vo vybraných mesiacoch; zdroj: Interné údaje

Regresná analýza bola vykonaná zvlášť pre vzťah celková spotreba – teplota, spotreba trakčných motorov – teplota. Vhodnosť zvolenej regresnej rovnice bol posudzovaný cez tzv. koeficient determinácie, ktorý vyjadruje stupeň príčinnej závislosti dvoch premenných a je definovaný ako druhá mocnina koeficientu korelácie r . Pri lineárnej regresii sa podarilo vysvetliť priamkou $y=3,71+-0,08x$ približne 77,4% hodnôt ($R^2=0,774$). V prípade preloženia nameraných hodnôt exponenciálnou funkciou sa podarilo vysvetliť viac ako 80% hodnôt (tzn. $R^2 = 0,819$). Túto krivku je možné vidieť na obrázku 3, v ktorom hodnoty spotreby v letných a zimných mesiacoch sú farebne odlíšené.



Obr. 4 Rozdelenie hodnôt a regresná analýza; zdroj: autori

Druhá časť matematicko-štatistickej analýzy bola zameraná na vzťah spotreby elektrickej energie na samotný pohon elektrobusu a teploty okolitého prostredia. Vzhľadom na pomerne nízky koeficient korelácie ($R=-0,496$) sa regresnou analýzou podarilo vysvetliť iba asi štvrtinu hodnôt spotreby. V prípade lineárnej regresie bol dosiahnutý koeficient determinácie $R^2 = 0,246$ a pri exponenciálnej funkcii $R^2 = 0,268$.

4 ZÁVER

V tomto článku bola overovaná hypotéza „Medzi teplotou okolitého prostredia a celkovou spotrebou elektrickej energie elektrického autobusu je silná závislosť.“ Vzhľadom na to, že táto spotreba zahŕňa aj energiu spotrebovanú na vykurovanie alebo klimatizáciu elektrobusu, skutočne sa tu preukázala silná závislosť. Hypotéza je teda potvrdená. Ďalej boli hľadané odpovede na nasledujúce výskumné otázky:

O1: Aká je exaktná hodnota koeficientu korelácie medzi celkovou spotrebou elektrickej energie a teplotou? Hodnota koeficienta korelácie je -0,880. Ide teda o silnú nepriamu závislosť.

O2: Aká je exaktná hodnota koeficientu korelácie medzi spotrebou elektrickej energie len na samotný pohon trakčných motorov a teplotou? Hodnota koeficienta korelácie je v tomto prípade na úrovni -0,496, čo možno interpretovať ako stredne silnú nepriamu závislosť.

O3: Akou lineárnou alebo exponenciálnou funkciou je možné vyjadriť túto závislosť? Pomocou regresnej analýzy je možné pomerne presne odhadnúť vývoj hodnôt celkovej spotreby elektrobusu v kWh/km v závislosti od teploty okolitého prostredia. Exponenciálna krivka a zároveň jej matematický zápis je uvedený na obrázku 2.

Z hľadiska nasadzovania elektrobusev v našom teplotnom pásme je veľmi podstatný spôsob ich vykurovania. Pri obstarávaní elektrobusev je potrebné zvážiť spôsob vykurovania, pretože časť súčasne využívaných elektrobusev v Slovenskej republike má elektrické vykurovanie (napr. Škoda Perun 26SH01 alebo Škoda Perun 26BB HE) a to výrazne ovplyvňuje spotrebu elektrobusev v zimnom období. Túto nadmernú spotrebu elektrického prúdu z trakčných batérií je možné odstrániť využitím nezávislého naftového vykurovania (všetky elektrobusey SOR), ktoré však spôsobuje potrebu čerpania vykurovacej nafty a zároveň spôsobuje emisie v mieste nasadenia elektrobusev.

Výsledky tohto výskumu je možné pomerne ľahko využiť v praxi, pri plánovaní denných jazdných výkonov v dopravných podnikoch prevádzkujúcich mestské elektrobusey. Predikcia spotreby elektrobusev mestskej hromadnej dopravy je o to významnejšia, ak kapacity ich batérií stále nie sú dostatočné. Ako bolo dokázané matematickou analýzou prevádzkových údajov, na spotrebu elektrobusev má významný vplyv teplota okolitého prostredia. Z toho možno usudzovať, že v našom teplotnom pásme, bude sledovanie okolitej teploty v mieste prevádzky nevyhnutné pre optimalizáciu výkonov týchto vozidiel.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra 2014 - 2020 pre projekt: Inovatívne riešenia pohonných, energetických a bezpečnostných komponentov dopravných prostriedkov, s ITMS kódom projektu 313011V334, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.



EURÓPSKA ÚNIA
Európsky fond regionálneho rozvoja
OP Integrovaná infraštruktúra 2014 – 2020



MINISTERSTVO
DOPRAVY A VÝSTAVBY
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Literatura

Abotalebi, E., Scott, D. M. a Ferguson, M. R. **2019**. Can Canadian households benefit economically from purchasing battery electric vehicles?. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 77, 292-302. <<https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.10.014>>

Björnsson, L. H. a Karlsson, S. **2017**. Electrification of the two-car household: PHEV or BEV?. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 85, 363-376. <<https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.09.021>>

Brdulak, A., Chaberek, G. a Jagodziński, J. **2020**. Development Forecasts for the Zero-Emission Bus Fleet in Servicing Public Transport in Chosen EU Member Countries. *Energies*, 13(16), 4239. <<https://doi.org/10.3390/en13164239>>

Conti, M., Kotter, R. a Putrus, G. **2015**. Energy efficiency in electric and plug-in hybrid electric vehicles and its impact on total cost of ownership. In *Electric Vehicle Business Models*, Springer, Cham 147-165. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-12244-1>

Evidencia vozidiel slovenských dopravcov: <https://evidencia-dopravcov.eu/> [prístup: 07.09.2021].

Final energy consumption by sector, EU-27, **2018** <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/> [prístup: 07.09.2021].

Frost, S. **2013**. *Strategic analysis of global hybrid and electric heavy-duty transit bus market (NC7C-01)*. New York: Frost & Sullivan Publication.

Harantová, V., Kalašová, A. a Kubíková, S. **2021**. Use of Traffic Planning Software Outputs When a New Highway Section Is Put into Operation. *Sustainability*, 13(5), 2467. <https://doi.org/10.3390/su13052467>

Hurst, D. **2011**. *Thinking outside the car: using electricity for two wheel vehicles, trucks, buses, locomotive, and off-road vehicles*. USA: Pike Research.

iMHD.sk: Vozidlá <https://imhd.sk/za/popis-typu-vozidla/887/%C5%A0koda-Perun-26SH> [prístup: 07.09.2021].

Interné údaje o prevádzke elektrobusev poskytnuté Dopravným podnikom mesta Žilina.

Kwon, Y., Kim, S., Kim, H. a Byun, J. **2020**. What Attributes Do Passengers Value in Electrified Buses?. *Energies*, 13(10), 2646. <https://doi.org/10.3390/en13102646>

Lajunen, A. **2014**. Energy consumption and cost-benefit analysis of hybrid and electric city buses. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.10.008>

Lebeau, K., Van Mierlo, J., Lebeau, P., Mairesse, O. a Macharis, C. **2013**. Consumer attitudes towards battery electric vehicles: a large-scale survey. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*, 5(1), 28-41. <https://doi.org/10.1504/IJEHV.2013.053466>

Mahmoud, M., Garnett, R., Ferguson, M. a Kanaroglou, P. **2016**. Electric buses: A review of alternative powertrains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 673-684. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.019>

McKenzie, E. C. a Durango-Cohen, P. L. **2012**. Environmental life-cycle assessment of transit buses with alternative fuel technology. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(1), 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2011.09.008>

MeteoInfo.sk: Žilina <https://meteoinfo.sk/stanice/1-zilina-solinky/archiv/datum-29-2-2021> [prístup: 07.09.2021].

Miles, J. a Potter, S. **2014**. Developing a viable electric bus service: The Milton Keynes demonstration project. *Research in Transportation Economics*, 48, 357-363. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2014.09.063>

Munim, Z. H. a Noor, T. **2020**. Young people's perceived service quality and environmental performance of hybrid electric bus service. *Travel Behaviour and Society*, 20, 133-143. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2020.03.003>

Nurhadi, L., Borén, S. a Ny, H. **2014**. A sensitivity analysis of total cost of ownership for electric public bus transport systems in Swedish medium sized cities. *Transportation Research Procedia*, 3, 818-827. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.10.058>

Nylund, N. O. a Koponen, K. **2012**. Fuel and technology alternatives for buses: Overall energy efficiency and emission performance. *VTT Technical Research Centre of Finland*.

Pihlatie, M., Kukkonen, S., Halmeaho, T., Karvonen, V. a Nylund, N. O. **2014**. Fully electric city buses-The viable option. In *2014 IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC)* (pp. 1-8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEVC.2014.7056145>

Poliak, M., Mrnikova, M., Jaskiewicz, M., Jurecki, R. a Kaciakova, B. **2017b**. Public transport integration. *Communications-Scientific letters of the University of Zilina*, 19(2), 127-132.

- Poliak, M., Semanová, Š., Mrníková, M., Komačková, L., Šimurková, P., Poliaková, A. a Hernandez, S. **2017a**. Financing public transport services from public funds, 12(4), 61-72. *Transport Problems*. <https://doi.org/10.20858/tp.2017.12.4.6>
- Poullikkas, A. **2015**. Sustainable options for electric vehicle technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 1277-1287. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.016>
- Ribau, J. P., Silva, C. M. a Sousa, J. M. **2014**. Efficiency, cost and life cycle CO2 optimization of fuel cell hybrid and plug-in hybrid urban buses. *Applied Energy*, 129, 320-335. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.015>
- Richter, M., Zinser, S. a Kabza, H. **2012**. Comparison of eco and time efficient routing of ICEVs, BEVs and PHEVs in inner city traffic. In *2012 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference* (pp. 1165-1169). IEEE. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2012.6422511>
- Riyanto, R., Riyadi, S. A., Nuryakin, C. a Massie, N. W. G. **2019**. Estimating the Total Cost of Ownership (TCO) of Electrified Vehicle in Indonesia. In *2019 6th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT)* (pp. 88-99). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEVT48285.2019.8994030>
- Scarponi, G. E., Vacca, P., Salzano, E., Tugnoli, A., Pastor Ferrer, E. a Cozzani, V. **2019**. *Report on LPG infrastructure impact at the WUI microscale*.
- Štatistika v PSPP: Korelačná analýza <https://statistikapspp.sk/korelacia/> [prístup: 07.09.2021].
- Trolejbusy na Slovensku <https://en.ppt-online.org/664967> [prístup: 07.09.2021].
- Tzeng, G. H., Lin, C. W. a Opricovic, S. **2005**. Multi-criteria analysis of alternative-fuel buses for public transportation. *Energy policy*, 33(11), 1373-1383. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.12.014>
- Vergis, S. a Chen, B. **2015**. Comparison of plug-in electric vehicle adoption in the United States: A state by state approach. *Research in Transportation Economics*, 52, 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2015.10.003>