

ELEKTROMOBILITA A JEJ VZŤAH S EKONOMICKÝM ROZVOJOM A ZNEČISTENÍM OVZDUŠIA V PRIESTORE EÚ

Erik Šoltés*, Ivan Brezina**, Juraj Pekár**

* Ekonomická univerzita v Bratislave, Fakulta hospodárskej informatiky, Katedra štatistiky, Dolnozemska cesta 1, 852 35 Bratislava, erik.soltes@euba.sk

** Ekonomická univerzita v Bratislave, Fakulta hospodárskej informatiky, Katedra operačného výskumu a ekonometrie, Dolnozemska cesta 1, 852 35 Bratislava, ivan.brezina@euba.sk, juraj.pekar@euba.sk

Electromobility and its relationship with the economic development and air pollution in the EU area

The article provides an assessment of 23 out of EU-28 countries in terms of electromobility based on cross-sectional data for 2018, taking into account its relationship with the economic conditions for the development of electromobility and with the air pollution by greenhouse gas emissions in these countries. The paper analyses aggregated statistics provided by Eurostat and ACEA to (1) verify whether they confirm that countries with a higher penetration of electric vehicles in passenger transport have significantly lower greenhouse gas emissions, and (2) in view of the economic maturity of countries, to identify which ones achieve higher and which lower intensity of electromobility. Since the economic conditions and the intensity of electromobility are assessed by several indicators, it was necessary to use multivariate statistical methods, especially factor and cluster analysis, to assess the relationship between these multidimensional phenomena.

Key words: electric vehicles, electromobility, economy, greenhouse gas emission, factor analysis, cluster analysis, European Union

ÚVOD

Klimatické zmeny, vrátane globálneho otepľovania, predstavujú veľké riziko pre ľudstvo, pretože majú zásadný vplyv na poľnohospodárstvo, ekosystémy, vznik živelných katastrof, ale aj na ľudské zdravie (Lionello a Scarascia 2018). Tieto klimatické zmeny prekračujú národné hranice, preto je nevyhnutné prijať účinné opatrenia na zníženie emisií skleníkových plynov (najmä CO₂), ktoré k týmto zmenám preukázateľne prispievajú (Anderson et al. 2016 a Szulejko et al. 2017).

Od roku 1990 do roku 2017 klesli emisie skleníkových plynov (ďalej len ESP) v štátoch Európskej únie (ďalej EÚ-28) o 23,5 %. Jediným významným hospodárskym odvetvím, v ktorom sa ESP zvýšili, je doprava, pričom toto odvetvie v roku 2017 produkovalo viac ako štvrtinu ESP v EÚ-28 (EEA 2019). Od roku 1990 do roku 2017 sa podarilo znížiť ESP z dopravy len dvom krajinám EÚ-28, a to Švédsku a Litve. V priestore EÚ-28 zaznamenalo najväčší nárast ESP z dopravy Poľsko a zvýšenie na viac ako dvojnásobok pozorujeme aj v Luxembursku, Írsku, Slovinsku a na Malte. V roku 2017 takmer tri štvrtiny ESP z dopravy pripadali na cestnú dopravu, pričom najväčší podiel na tvorbe emisií z dopravy mali osobné automobily. V snahe znížiť ESP sa v súčasnosti veľká nádej vkladá do elektromobility. Uvedené skutočnosti nás motivovali k tomu, aby sme preskúmali, či v priestore EÚ je vyššia intenzita elektromobility preukázateľne spojená s menším znečistením ovzdušia ESP.

Hlavným skleníkovým plynom je oxid uhličitý (CO₂), preto sa EÚ snaží jeho produkciu znižovať. Na základe nariadenia Európskeho parlamentu a Rady EÚ 2019/631 budú v EÚ pre nové osobné automobily a ľahké úžitkové vozidlá platiť prísnejšie emisné normy CO₂, a to 95 g CO₂/km. Kým v roku 2020 mal výrobca automobilov dosiahnuť tento cieľ pre 95 % nových automobilov s najnižšími emisiami, tak od roku 2021 sa budú priemerné emisie počítať zo všetkých nových zaregistrovaných automobilov výrobcu (European Commission 2019).

Napriek tomu, že sa prijali viaceré stratégie, ktoré by mali viesť k znižovaniu ESP pochádzajúcich z dopravy, stále nebol dosiahnutý významný pokrok. Podľa Transport and Environment (2019) je dôvodov niekoľko, a to:

- malé zníženie emisií, ktoré sú produkované automobilmi so spaľovacím motorom. Od roku 2013 do roku 2018 sa emisie z benzínových a dieselových vozidiel znížili len o 4,9 g CO₂/km, resp. 5,3 g CO₂/km;
- malý podiel vozidiel s nulovými a nízkymi emisiami;
- nárast predaja vozidiel kategórie SUV v Európe zo 7 % v roku 2009 na 36 % v roku 2018.

Pre environmentálnu udržateľnosť dopravy je nevyhnutná jej dekarbonizácia. Jednou z možností je elektromobilita, ktorá môže reálne prispieť k ochrane životného prostredia, ku skvalitneniu života (hlavne v mestách), ale bude mať zásadný vplyv aj na pracovný trh a ekonomiku krajín EÚ. Pozitívne efekty elektromobility na skvalitnenie ovzdušia nie sú sice ešte empiricky potvrdené, ale mnohé vedecké štúdie ukazujú, že elektromobilita môže výrazne prispieť k ochrane životného prostredia. Casals et al. (2016) zistili, že napriek tomu, že viaceré krajiny Európy majú dobrú štruktúru elektrární (vysoký podiel výroby elektriny z obnoviteľných zdrojov), tak zavádzanie elektromobility nemá požadovanú intenzitu. Dôvodom je, že poskytujú menej finančných stimulov ako napríklad Nórsko. Moro a Lonza (2018) prostredníctvom metódy well-to-wheels, ktorá uvažuje s uhlíkovou intenzitou od výroby až po jej spotrebu, kvantifikovali, že využívanie elektrických vozidiel namiesto benzínových a naftových vozidiel môže ušetriť okolo 60 %, resp. 50 % ESP vo väčšine štátov EÚ.

Článok sa zameriava na analýzu elektromobility v priestore EÚ, ktorej primárnym cieľom je zodpovedať tieto dve výskumné otázky:

- Potvrdzujú aktuálne agregované štatistiky, že v priestore EÚ majú krajiny s vyšším podielom elektricky nabíjateľných vozidiel a hybridných elektrických vozidiel v osobnej doprave významne nižšie znečistenie ovzdušia emisiami skleníkových plynov?
- Je intenzita elektromobility v krajinách EÚ preukázateľne ovplyvnená ekonomickou vyspelosťou?

Zámerom našej štúdie bolo navyše odhaliť vzťahy medzi tromi dimenziami: intenzita elektromobility, ekonomické predpoklady na rozvoj elektromobility a znečistenie ovzdušia emisiami skleníkových plynov. Z tohto zámeru pramenia tieto ciele:

- posúdiť vzťahy medzi uvedenými dimenziami na základe empirických údajov za krajiny EÚ,
- odhaliť podobnosti a odlišnosti krajín EÚ v elektromobilite,
- zhodnotiť, ktoré krajiny EÚ doposiaľ využili svoje ekonomické predpoklady na rozvoj elektromobility lepšie a ktoré naopak v tejto oblasti zaostávajú.

Na zodpovedanie uvedených výskumných otázok a na dosiahnutie uvedených cieľov sú v článku využité najmä viacrozmerné štatistické metódy, ktoré sú aplikované prostredníctvom štatisticko-analytického softvéru SAS.

ELEKTROMOBILITA V EURÓPE A POZNATKY O FAKTOROCH, KTORÉ JU OVPLVŇUJÚ

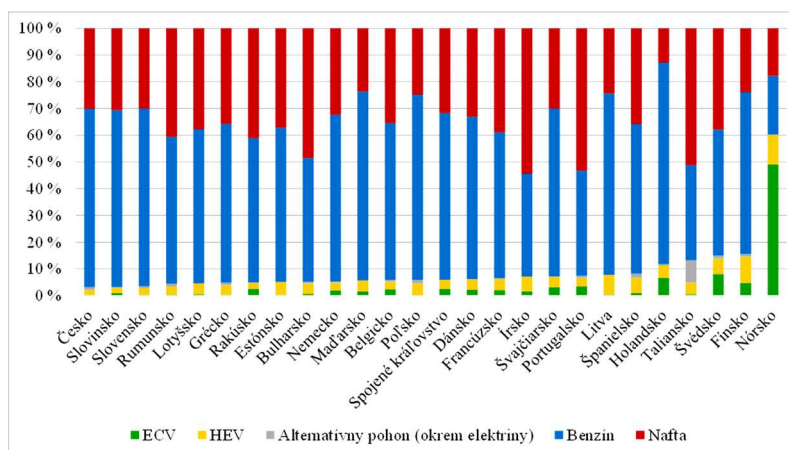
Asociácia európskych automobilových výrobcov ACEA rozdeľuje trh elektrických vozidiel (EV – electric vehicles) do dvoch hlavných kategórií:

– Elektricky nabíjateľné vozidlá (ECV – electrically-chargeable vehicles), ktoré zahŕňajú elektrické vozidlá s batériou (BEV – battery electric vehicles) a plug-in hybridy (PHEV – plug-in hybrid electric vehicles). BEV využívajú na pohon výlučne elektromotor, pričom elektrickú energiu získavajú primárne z dobíjajúcich staníc a uchovávajú ju v batériách. BEV nie sú vybavené palivovou nádržou. PHEV majú palivovú nádrž a batériu, ktorú možno priamo nabíjať. Pri nedostatku energie je batéria v PHEV dobíjaná spaľovacím motorom.

– Hybridné elektrické vozidlá (HEV) sú poháňané spaľovacím motorom (benzínovým alebo naftovým), ale majú tiež elektrický motor napájaný z batérie, ktorý slúži na doplnenie konvenčného motora. Ich elektrina sa vyrába interne, takže nepotrebuje dobíjajúcu infraštruktúru.

Odborníci sa zhodujú, že proces dekarbonizácie automobilov v Európe sa rozbieha pomaly a podiel ECV a HEV na celkovom počte vozidiel je veľmi nízky. Podľa ACEA (2019a) bol v Európe v roku 2018 medzi zaregistrovanými osobnými automobilmi najväčší podiel EV v Nórsku (10,7 %), za ktorým nasledujú Holandsko (1,6 %) a Švédsko (1,3 %). V uvedených krajinách pozorujeme aj najväčší podiel HEV. Ak sa pozrieme na využívané palivo medzi novými osobnými vozidlami (obr. 1), tak dominancia Nórska v elektromobilite sa ešte podčiarkuje.

Nórsko má najväčšie finančné stimuly orientované na zákazníka EV (EASAC 2019). Lévy et al. (2017) zistili, že už v roku 2014 malo Nórsko také fiškálne stimuly, vďaka ktorým boli EV z pohľadu celkových nákladov na vlastníctvo automobilu konkurencieschopné vozidlám so spaľovacím motorom. V ostatných siedmich krajinách, ktoré analyzovali, bola väčšina elektromobilov stále nákladnejšia ako ich páry so spaľovacím motorom. Autori tohto výskumu ukázali, že malé, stredné a veľké vozidlá vykazujú odlišné vzťahy medzi predajom a celkovými nákladmi na vlastníctvo automobilu a že tieto rozdiely treba zohľadniť pri finančných stimuloch. Broadbent et al. (2018) identifikovali relevantné faktory ovplyvňujúce mieru penetrácie EV. Zistili, že aj keď je cenová dostupnosť EV pre väčšinu spotrebiteľov mimoriadne dôležitá, tak s poklesom cien EV sa bude v blízkej budúcnosti dôležitosť vládnych dotácií na nákup EV znižovať. Naopak, bude narastať význam ďalších faktorov, ako sú adekvátna verejná sieť nabíjajúcich staníc, poskytovanie aktuálnych informácií o EV (napr. prostredníctvom smartfónových aplikácií s mapami dobíjajúcich staníc) alebo mäkké stimuly (napr. odpustenie diaľničného mýta, elektrická energia vo verejných nabíjajúcich staniciach zadarmo a pod.). Vilchez a Thiel (2019) však na základe výsledkov simulačného modelu zistili, že napriek priaznivému vývoju cien batérií zatiaľ stále zostávajú najúčinnjším opatrením na podporu elektromobility dotácie na nákup EV. Regresnou analýzou empirických údajov z 32 európskych krajín za obdobie rokov 2010 až 2017 Münzel et al. (2019) kvantifikovali, že za podmienky ceteris paribus zvýšenie finančných stimuloov o 1 000 eur spôsobí nárast podielu predaja ECV v relatívnom vyjadrení o 5 až 7 %.



Obr. 1. Zastúpenie jednotlivých typov paliva vo vozovom parku nových automobilov vo vybraných krajinách Európy v roku 2018

Vysvetlivky: ECV – elektricky nabíjateľné vozidlá, HEV – hybridné elektrické vozidlá.

Zdroj údajov: ACEA (2019a).

Mimoriadne dôležitým aspektom pre zvýšenie elektromobility je postoj zákazníkov. Sovacool et al. (2019) prostredníctvom prieskumu v severných štátoch zistili, že nesúlad medzi skutočným vlastníctvom EV a preferenciami takéhoto typu osobnej dopravy pramení z podmienok na trhu automobilov. Kým vo Švédsku sú to relatívne nízke ceny automobilov, v Nórsku je to relatívne vysoká úroveň príjmov a finančné stimuly na nákup EV, vo Fínsku je to pomerne nízka úroveň príjmov a na Islande je to pocitovaná závislosť od fosílnych palív. Ortar a Ryghaug (2019) analýzou online diskusií identifikovali problémy, ktoré laická verejnosť vidí pri prechode na EV. Ide najmä o sociálnu a priestorovú nerovnosť využívania EV v každodennom živote a environmentálne vplyvy EV (recyklácia batérií a zvýšená potreba nových nerastných surovín na ich výrobu). Význam názorov spotrebiteľov na rozvoj trhu s EV si uvedomujú aj Noel et al. (2020), ktorí využili zhukovú analýzu pri identifikácii bariér, ako sú napr. dojazd a cena EV, infraštruktúra verejných nabíjaciech staníc, ktoré odrádzajú potenciálnych vlastníkov EV od ich kúpy. Christidis a Focas (2019) prostredníctvom klasifikačných stromov zistili, že sklon k nákupu EV silno koreluje s príjmom, dosiahnutým vzdelaním a stupňom urbanizácie a že v období rokov 2014 – 2018 pozitívny postoj ku kúpe EV významne vzrástol vo všetkých sociálno-ekonomických skupinách obyvateľstva.

Pre nárast elektromobility sú potrebné aj koordinované politické opatrenia, avšak niektoré krajiny majú v tejto oblasti málo ambiciózne ciele (Transport and Environment 2020). Thiel et al. (2019) odhalili, že ak by sa naplnili národné politické rámce členských štátov EÚ, tak podiel EV na celkovej počte osobných vozidiel by sa v EÚ zvýšil len o 1,2 %.

ZDROJE ÚDAJOV A POUŽITÉ METÓDY

Výsledky vlastného výskumu prezentovaného v článku sú založené na časovo a medzinárodne porovnateľných údajoch, ktoré zverejňuje Eurostat a asociácia ACEA. Vychádzame z troch skupín ukazovateľov. Prvou sú ukazovatele odrádzajúce ekonomické predpoklady krajín na elektromobilitu:

- HDP na obyvateľa v parite kúpnej sily (v %; EÚ27 2020=100 %) – *HDP_obyv*,
- výdavky na výskum a vývoj (v eur/obyvateľa) – *VaV*,
- priemerný vek osobných automobilov (v rokoch) – *Priemerný_vek*.

Výber uvedených ukazovateľov je podporený niektorými vedeckými štúdiami. Yong a Park (2017) považujú ekonomickú vyspelosť krajiny meranú HDP na obyvateľa za dôležitý faktor ovplyvňujúci intenzitu elektromobility. Podľa Ajanovica a Hassa (2016) je ochota platiť za EV vyššia v krajinách s vyšším HDP na obyvateľa. Predpokladáme, že nielen súčasná ekonomická vyspelosť krajiny, ale aj budúci vývoj v oblasti hospodárskeho rastu bude mať zásadný vplyv na elektromobilitu. Z dlhodobého hľadiska je ekonomický rast signifikantne pozitívne ovplyvnený výdavkami krajiny na vedu a výskum (pozri napr. Yazgan a Yalçinkaya 2018). Práve preto vstupujú do našej analýzy ako ďalší ukazovateľ výdavky na výskum a vývoj prepočítané na obyvateľa. Tretím ukazovateľom je priemerný vek osobných automobilov. Ide o indikátor, ktorý prepája dimenziu ekonomických predpokladov a dimenziu znečistenia ovzdušia emisiami. Navyše v krajinách, kde je nižší priemerný vek automobilov, sa vozový park rýchlejšie obmieňa, a teda môže dôjsť k rýchlejšiemu nahradeniu automobilov využívajúcich fosilne palivá elektromobilmi, prípadne vozidlami na alternatívny pohon. Tucki et al. (2019) predpokladajú, že tento ukazovateľ je zásadný pri prognózovaní ESP vyprodukovaných automobilovou dopravou, a preto ho použili pri predikcii priemernej ročnej produkcie emisií CO₂ na 1 km na území EÚ, Nórska a Švajčiarska.

Druhú skupinu tvoria charakteristiky intenzity elektromobility medzi osobnými automobilmi:

- podiel ECV medzi osobnými automobilmi (v %) – *ECV*,
- podiel HEV medzi osobnými automobilmi (v %) – *HEV*,
- podiel ECV medzi novými osobnými automobilmi (v %) – *ECV_nové*,
- podiel HEV medzi novými osobnými automobilmi (v %) – *HEV_nové*.

Tretiu skupinu tvoria ukazovatele znečistenia ovzdušia emisiami:

- ESP v ovzduší (CO₂, N₂O a CH₄ v jednotkách CO₂ ekvivalentu; v g/osobu) – *ESP_celkové_obyv*,
- ESP v ovzduší z prepravných aktivít (CO₂, N₂O a CH₄ v jednotkách CO₂ ekvivalentu; v g/osobu) – *ESP_preprava_obyv*,
- emisie CO₂ v ovzduší (v g/osobu) – *CO₂_celkové_obyv*,
- emisie CO₂ v ovzduší z prepravných aktivít (v g/osobu) – *CO₂_preprava_obyv*,
- priemerné emisie CO₂ z nových automobilov (v g CO₂/km) – *CO₂_nové*.

Uvedené ukazovatele sú analyzované za rok 2018 (najnovšie dostupné údaje) pre skupinu týchto 23 krajín EÚ-28: Belgicko (BE), Česko (CZ), Dánsko (DK), Nemecko (DE), Estónsko (EE), Írsko (IE), Grécko (EL), Španielsko (ES), Francúzsko (FR), Taliansko (IT), Lotyšsko (LV), Litva (LT), Maďarsko (HU), Holandsko (NL), Rakúsko (AT), Poľsko (PL), Portugalsko (PT), Rumunsko (RO), Slovinsko (SI), Slovensko (SK), Fínsko (FI), Švédsko (SE) a Spojené kráľovstvo (UK). Z dôvodu nedostupnosti aktuálnych údajov neboli do analýzy zahrnuté tieto krajiny EÚ-28: Bulharsko, Cyprus, Chorvátsko, Luxembursko a Malta.

Na dosiahnutie cieľov je aplikovaná korelačná, regresná, faktorová a zhluková analýza. Korelačná analýza (pozri napr. Šoltés 2019) je použitá na overenie závislosti medzi vstupnými ukazovateľmi. V našom výskume pôvodné ukazovatele transformujeme na lineárne nezávislé faktory, a to prostredníctvom faktorovej analýzy (pozri napr. Hair et al. 2018), výsledkom ktorej je redukcia pôvodného počtu premenných a vytvorenie nových dimenzií – faktorov, ktorými hodnotíme elektromobilitu. Výsledky faktorovej analýzy sú v článku kľúčové pre zhlukovú analýzu (pozri napr. Hair et al. 2018 a Reiff et al. 2018), prostredníctvom ktorej sa objekty (v našom prípade 23 krajín EÚ) spájajú do zhlukov tak, aby objekty patriace do toho istého zhluku boli podobné (blízke) a objekty patriace do rôznych zhlukov boli odlišné (vzdialené). Na meranie podobnosti objektov v jednotlivých zhlukoch využívame štvorec euklidovskej vzdialenosti. V článku aplikujeme Wardovu hierarchickú metódu zhlukovania, ktorá vytvára zhluky maximalizáciou vnútrozhlukovej homogenity (Reiff et al. 2016), a má tendenciu spájať zhluky s malým počtom pozorovaní a konzistentne dosahuje výborné výsledky (Löster a Pavelka 2013). Na prepojenie výsledkov faktorovej analýzy a zhlukovej analýzy využívame aj jednoduchú lineárnu regresiu (pozri napr. Šoltés 2019).

ANALÝZA VHODNOSTI A TRANSFORMÁCIA VSTUPNÝCH ÚDAJOV

Keďže jedným z nástrojov na dosiahnutie cieľov výskumu bola zhluková analýza, ktorá predpokladá nezávislosť vstupných premenných, tak pôvodnú množinu korelovaných ukazovateľov sme museli transformovať na lineárne nezávislé premenné. Na tento účel bola využitá faktorová analýza. Na posúdenie vhodnosti zdrojových ukazovateľov poslúžila Kaiser-Meyer-Olkinova miera, ktorej hodnoty nad úrovňou 0,5 (pozri napr. Vojtková a Stankovičová 2020) identifikovali z pôvodnej množiny 12 ukazovateľov 7 ukazovateľov (tab. 1) vhodných na ďalšiu analýzu.

Tab. 1. Hodnoty Kaiser-Meyer-Olkinovej miery pre vybrané ukazovatele

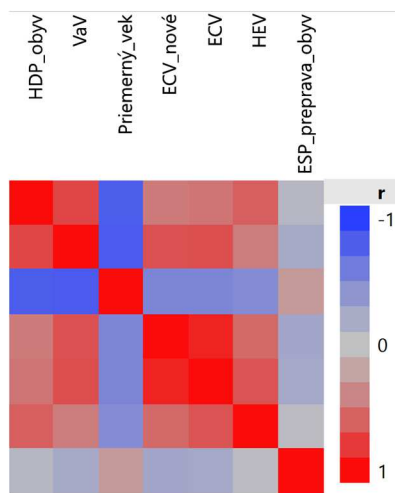
Kaiser-Meyer-Olkinová miera výberovej vhodnosti: Celkové MSA = 0,7509						
VaV	ECV_nové	ECV	HEV	Priemerný_vek	HDP_obyv	ESP_preprava_obyv
0,7826	0,7913	0,6918	0,6892	0,7980	0,7659	0,6550

Zdroj: Eurostat (2020) a ACEA (2019a), vlastné spracovanie v SAS Enterprise Guide.

Pretože premenné vstupujúce do faktorovej analýzy by mali byť navzájom lineárne závislé (Vojtková a Stankovičová 2020, pp. 92 – 93), tak prostredníctvom korelačnej analýzy sme ešte posúdili intenzitu (obr. 2) a štatistickú významnosť (tab. 2) závislosti medzi všetkými dvojicami vybraných siedmich ukazovateľov.

V silnej priamej korelácii sú HDP na obyvateľa a výdavky na výskum a vývoj prepočítané na jedného obyvateľa príslušnej krajiny. Priemerný vek osobných automobilov je v nepriamej lineárnej závislosti so všetkými posudzovanými ukazovateľmi, pričom je v najtesnejšom vzťahu s HDP na obyvateľa a výdavkami na výskum a vývoj. Podiel ECV a podiel HEV v skupine osobných automobilov, ako aj podiel ECV medzi novými osobnými automobilmi, sú v silnom priamom lineárnom vzťahu. Najslabšie korelácie pozorujeme pre jediný indikátor kvality ovzdušia (*ESP_preprava_obyv*). Matica p-hodnôt pre test štatistickej významnosti korelácie

medzi uvedenými siedmimi ukazovateľmi (tab. 2) však odhalila, že ukazovateľ *ESP_preprava_obyv* nie je na hladine významnosti 0,05 signifikantne korelovaný so žiadnym z ostatných šiestich ukazovateľov (všetkých šesť *p*-hodnôt je väčších ako hladina významnosti 0,05). Toto zistenie je v súlade so zisteniami iných prác (EASAC 2019 a Gryparis et al. 2020), podľa ktorých vplyv elektromobility na zlepšenie kvality ovzdušia v EÚ zatiaľ nie je empiricky preukázateľný. Dôvodom je nízka intenzita elektromobility, ako aj významný podiel elektrární založených na fosílnych palivách.



Obr. 2. Korelačná matica vybraných ukazovateľov

Zdroj: Eurostat (2020) a ACEA (2019a), vlastné spracovanie v SAS JMP.

Tab. 2. Matica *p*-hodnôt pre test štatistickej významnosti koeficienta korelácie medzi dvojicami vybraných ukazovateľov

	<i>HDP_obyv</i>	<i>VaV</i>	<i>Priemerný_vek</i>	<i>ECV_nové</i>	<i>ECV</i>	<i>HEV</i>	<i>ESP_preprava_obyv</i>
<i>HDP_obyv</i>	<,0001	<,0001	<,0001	0,0258	0,0168	0,0018	0,6783
<i>VaV</i>	<,0001	<,0001	<,0001	0,0004	0,0002	0,0305	0,3192
<i>Priemerný_vek</i>	<,0001	<,0001	<,0001	0,0101	0,0107	0,0241	0,1989
<i>ECV_nové</i>	0,0258	0,0004	0,0101	<,0001	<,0001	0,0060	0,2520
<i>ECV</i>	0,0168	0,0002	0,0107	<,0001	<,0001	0,0005	0,2957
<i>HEV</i>	0,0018	0,0305	0,0241	0,0060	0,0005	<,0001	0,8228
<i>ESP_preprava_obyv</i>	0,6783	0,3192	0,1989	0,2520	0,2957	0,8228	<,0001

Zdroj: Eurostat (2020) a ACEA (2019a), vlastné výpočty v SAS JMP.

Ďalej budeme uvažovať so šiestimi závislými ukazovateľmi, ktorých vhodnosť pre účely faktorovej analýzy potvrdzujú hodnoty Kaiser-Meyer-Olkinovej miery (tab. 3). Jej priemerná hodnota 0,7536 poukazuje na nadpriemerne dobrú vhodnosť. Na základe parciálnych hodnôt tejto miery je vhodnosť jednotlivých ukazovateľov

na priemernej (v prípade ECV a HEV) a na nadpriemerne dobrej úrovni (pozri napr. Vojtková a Stankovičová 2020).

Tab. 3. Hodnoty Kaiser-Meyer-Olkinovej miery pre vybrané ukazovatele

Kaiser-Meyer-Olkinova miera výberovej vhodnosti: Celkové MSA = 0,7536					
VaV	ECV_nové	ECV	HEV	Priemerný_vek	HDP_obyv
0,7808	0,7825	0,6873	0,6876	0,8254	0,7638

Zdroj: Eurostat (2020) a ACEA (2019a), vlastné spracovanie v SAS Enterprise Guide.

Naším cieľom vo faktorovej analýze je z množiny šiestich vybraných ukazovateľov vytvoriť lineárne nezávislé faktory, ktoré budú z hľadiska elektromobility primerane interpretovateľné a ktoré v sebe zahrnú aspoň 80 % informácií poskytovaných pôvodnými šiestimi ukazovateľmi. Túto podmienku spĺňajú už prvé dva faktory, ktoré sú podľa tab. 4 (stĺpec Kumulatívne percento) nositeľmi 83,8 % pôvodných informácií. Navyše obidva faktory sú významné na hladine významnosti 0,01, čo potvrdzujú *p*-hodnoty uvedené v poslednom stĺpci tab. 4 ($p < 0,0001$, $p = 0,0003$), ktoré sú menšie ako hladina významnosti $\alpha = 0,01$.

Tab. 4. Vlastné čísla korelačnej matice a overenie štatistickej významnosti faktorov

Počet	Vlastné číslo	Percento	Kumulatívne percento	Chí-kvadrát	Stupne voľnosti	p-hodnota
1	4,1430	69,050	69,050	112,822	13,959	<,0001
2	0,8859	14,765	83,815	40,239	14,341	0,0003
3	0,5960	9,933	93,748	23,208	10,036	0,0102
4	0,1572	2,620	96,368	2,540	6,258	0,8823
5	0,1415	2,358	98,726	1,633	2,068	0,4578
6	0,0764	1,274	100,000	.	.	.

Zdroj: Eurostat (2020) a ACEA (2019a), vlastné výpočty v SAS JMP.

Z faktorových váh (pozri napr. Lubyová a Vojtková 2014) uvedených v tab. 5 môžeme vidieť, v akej korelácii sú pôvodné premenné s rotovanými faktormi. Prvý faktor je v najtesnejšom vzťahu s ukazovateľmi *ECV*, *ECV nové* a *HEV*, čo potvrdzujú vypočítané koeficienty korelácie (0,9605; 0,8414; 0,5968). Na základe uvedeného môžeme povedať, že 1. faktor charakterizuje intenzitu elektromobility v sledovaných krajinách EÚ. Všimnime si, že ukazovatele charakterizujúce zastúpenie elektricky nabitelných vozidiel (*ECV* a *ECV nové*) podstatne silnejšie korelujú s 1. faktorom ako podiel HEV. Druhý faktor je silne korelovaný s HDP na obyvateľa a s výdavkami na výskum a vývoj. Avšak tento faktor je najväčšou mierou determinovaný priemerným vekom osobných automobilov, pričom v tomto prípade ide o nepriamu koreláciu (-0,9032). Kým v prípade ukazovateľov – HDP na obyvateľa a výdavky na výskum a vývoj – je žiaduce dosiahnuť čo najvyššie hodnoty, tak priemerný vek osobných automobilov by mal byť čo najnižší, pretože ten korešponduje s lepšou finančnou situáciou v príslušnej krajine a zároveň vytvára predpoklady na rýchlejšiu obnovu vozového parku, čo je dôležitý atribút pre

rýchlosť procesu elektromobility. Vzhľadom na determinujúce ukazovatele (vrátane ich smeru závislosti) môžeme 2. faktor označiť ako faktor ekonomických predpokladov na rozvoj elektromobility. Za zmienku ešte stojí zistenie, že ukazovateľ výdavky na výskum a vývoj významne determinuje nielen 2. faktor (faktorová váha ukazovateľa VaV je 0,7426), ale aj 1. faktor (faktorová váha 0,5109).

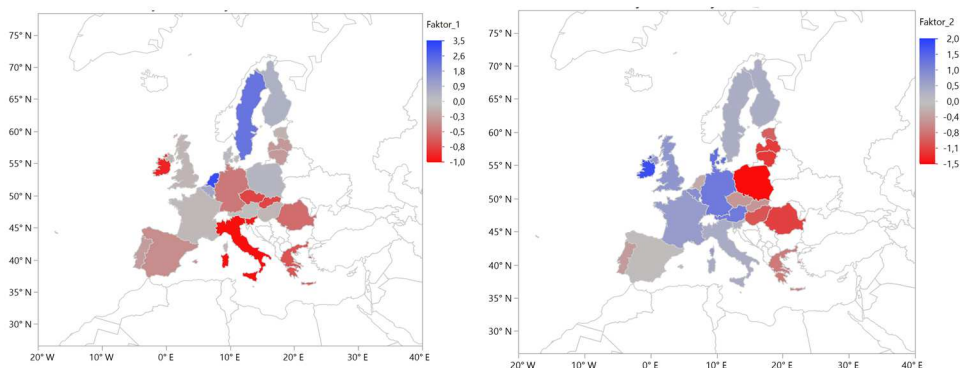
Tab. 5. Faktorové váhy po rotácii metódou equamax

	Faktor 1	Faktor 2
<i>HDP_obyv</i>	0,2795	0,8073
<i>VaV</i>	0,5109	0,7426
<i>Priemerný_vek</i>	-0,2812	-0,9032
<i>ECV_nové</i>	0,8414	0,3144
<i>ECV</i>	0,9605	0,2783
<i>HEV</i>	0,5968	0,3454

Zdroj: Eurostat (2020) a ACEA (2019a), vlastné výpočty v SAS JMP.

VÝSLEDKY

Z interpretácie faktorov, ktorú sme uviedli v predchádzajúcej časti článku, je zrejmé, že je žiaduce, aby obidva faktory dosahovali čo najvyššiu hodnotu. Potom teplotné mapy na obr. 3 ukazujú, akú intenzitu elektromobility (1. faktor; obr. 3 vľavo) a aké ekonomické predpoklady na elektromobilitu (2. faktor; obr. 3 vpravo) mali posudzované krajiny v roku 2018.



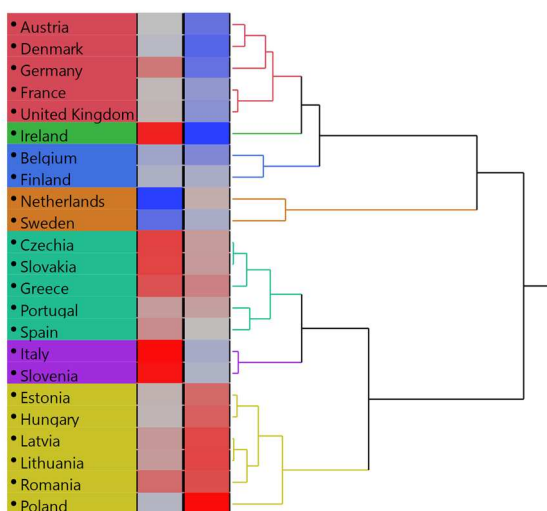
Obr. 3. Mapa intenzity elektromobility (vľavo) a ekonomických predpokladov na rozvoj elektromobility (vpravo) pre vybrané krajiny EÚ v roku 2018

Zdroj: Eurostat (2020) a ACEA (2019a), vlastné spracovanie v SAS JMP.

V roku 2018 mali z analyzovaných krajín najvyššiu intenzitu elektromobility Holandsko a Švédsko. Za nimi je s veľkým odstupom Belgicko a Fínsko. Najnižšiu intenzitu elektromobility sme odhalili v Írsku, Slovinsku a Taliansku, za ktorými nasleduje Česko, Slovensko a Grécko. Nízke hodnoty však evidujeme aj v Rumunsku, Nemecku, Španielsku, v pobaltských krajinách (mierne vyššie hodnoty sú

v Estónsku) a Portugalsku. Podľa hodnôt 2. faktora (obr. 3 vpravo) mnohé krajiny, ktoré dosahovali v roku 2018 slabú intenzitu elektromobility, mali dobré ekonomické predpoklady na jej rozvoj. Do tejto kategórie patria najmä Írsko a Nemecko. Najhoršie ekonomické predpoklady na rozvoj elektromobility dosahovalo v roku 2018 Poľsko, nasledované pobaltskými štátmi, Rumunskom, Maďarskom, Gréckom, Slovenskom, Českom a Portugalskom. Česko a Slovensko mali síce lepšie ekonomické predpoklady na rozvoj elektromobility ako ostatné krajiny V4, napriek tomu v roku 2018 dosahovali nižšiu intenzitu elektromobility ako Poľsko a Maďarsko.

Získané lineárne nezávislé faktory sú vhodným vstupom do zhlukovej analýzy. Pri využití Wardovej metódy je jej výsledkom dendrogram na obr. 4. Ten je doplnený o teplotné mapy 1. faktora (intenzita elektromobility) a 2. faktora (ekonomické predpoklady na rozvoj elektromobility), prostredníctvom ktorých budeme zhluky interpretovať.



Obr. 4. Dendrogram zhlukov vybraných krajín EÚ z hľadiska elektromobility v roku 2018
Zdroj: Eurostat (2020) a ACEA (2019a), vlastné spracovanie v SAS JMP.

1. (červený) zhluk tvorí päť krajín (Rakúsko, Dánsko, Nemecko, Francúzsko a Spojené kráľovstvo), ktorý je charakterizovaný veľmi dobrými ekonomickými predpokladmi na rozvoj elektromobility (2. faktor). S výnimkou Nemecka mal tento zhluk v roku 2018 po krajinách Beneluxu a krajinách Škandinávského polostrova (vrátane Fínska) najvyššiu intenzitu elektromobility v kategórii osobných automobilov.

2. (zelený) zhluk je tvorený len Írskom, ktoré je veľmi špecifické, pretože v roku 2018 malo najlepšie ekonomické predpoklady na rozvoj elektromobility, ale spolu s krajinami 6. zhluku dosiahlo najnižšiu intenzitu elektromobility.

3. (modrý) a 4. (oranžový) zhluk sú tvorené krajinami Beneluxu a krajinami Škandinávského polostrova (okrem Nórska, ktoré nebolo zahrnuté do analýzy). V roku 2018 evidovali krajiny týchto zhlukov priemerné až nadpriemerne dobré predpoklady na rozvoj elektromobility a dosahovali v nej najlepšie výsledky. Atri-

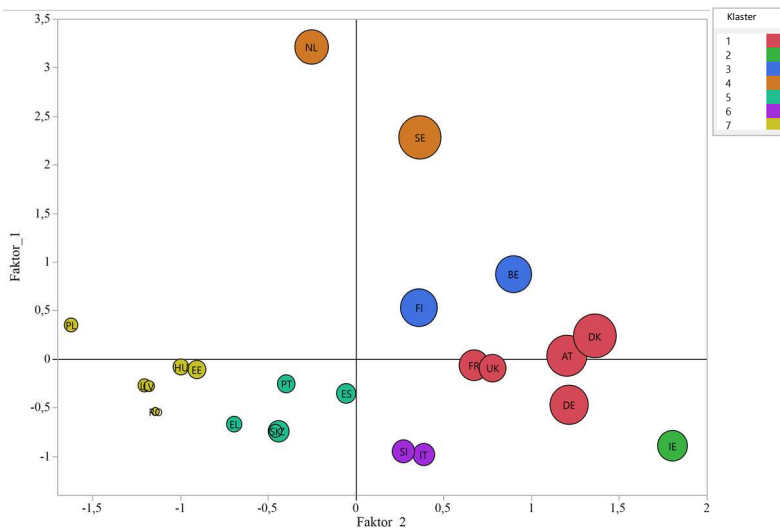
bút, v ktorom sa uvedené dva zhluky líšia, je intenzita elektromobility, ktorá bola v roku 2018 v 4. zhluku (Holandsko a Švédsko) výrazne vyššia ako v 3. zhluku (Belgicko a Fínsko). Musíme zdôrazniť, že v oboch zhlukoch bola intenzita elektromobility signifikantne vyššia ako v ostatných zhlukoch.

Prvé štyri sú tvorené krajinami západnej a severnej Európy, ktoré mali v roku 2018 vo všeobecnosti nadpriemerne dobré predpoklady na rozvoj elektromobility a s výnimkou Írska a Nemecka dosiahli priemernú a v prípade krajín Beneluxu a krajín Škandinávského polostrova nadpriemernú intenzitu elektromobility. Ostatné tri zhluky zahŕňajú krajiny južnej Európy (Grécko, Portugalsko, Španielsko a Taliansko), krajiny strednej Európy (krajiny V4 a Slovinsko) a pobaltské krajiny spolu s Rumunskom.

V krajinách 5. (tyrkysového) zhluku (Česko, Slovensko, Grécko, Portugalsko a Španielsko) sme kvantifikovali podpriemerné ekonomické predpoklady na rozvoj elektromobility, ako aj podpriemernú intenzitu elektromobility. Česko a Slovensko mali z krajín 5. zhluku najnižšiu intenzitu elektromobility a výrazne sa približovali ku krajinám 6. zhluku, ktorý dosiahol v tomto smere najhoršie výsledky.

6. (fialový) zhluk vykazuje najväčšiu homogenitu. Taliansko a Slovinsko, ktoré tvoria tento zhluk, mali v roku 2018 síce ekonomické predpoklady na rozvoj elektromobility na priemernej úrovni, ale dosiahli najnižšiu intenzitu elektromobility.

7. (žltý) zhluk je najpočetnejší a tvorí ho šesť krajín (tri pobaltské štáty, Poľsko, Maďarsko a Rumunsko). Charakterizujú ho slabé ekonomické predpoklady na rozvoj elektromobility a intenzita elektromobility na podpriemernej (Litva, Lotyšsko a Rumunsko) až priemernej úrovni (Poľsko, Estónsko a Maďarsko).



Obr. 5. Bodový diagram intenzity elektromobility (os Y; 1. faktor) a ekonomických predpokladov na rozvoj elektromobility (os X; 2. faktor) vo vybraných krajinách EÚ v roku 2018

Legenda: veľkosť kruhu udáva výdavky na výskum a vývoj.

Zdroj: Eurostat (2020) a ACEA (2019a), vlastné spracovanie v SAS JMP.

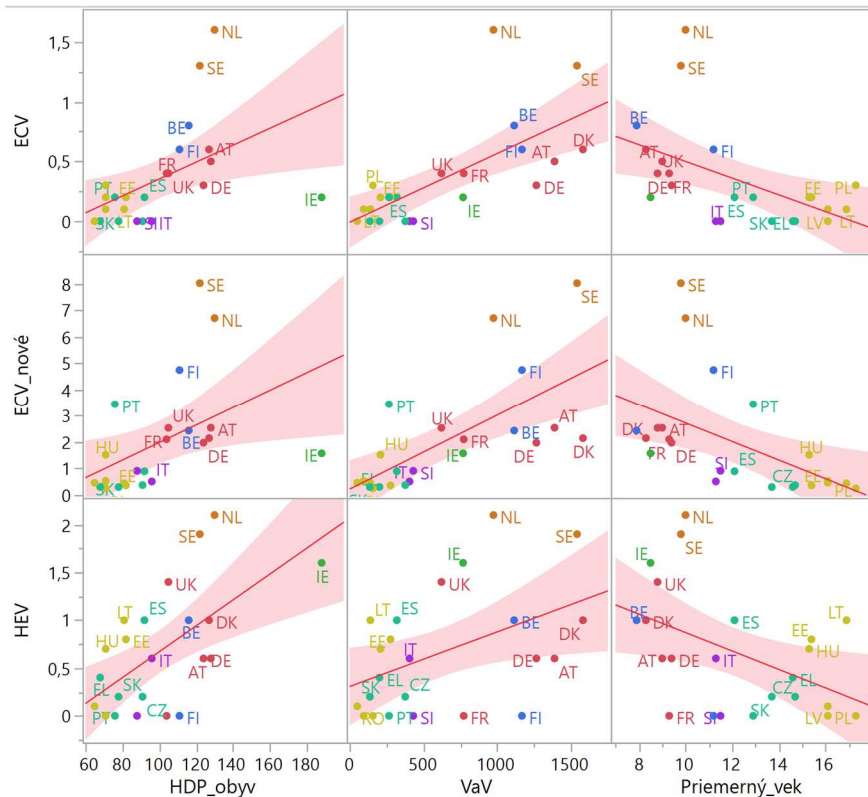
Na základe výsledkov faktorovej a zhlukovej analýzy posúdime, ktoré krajiny do roku 2018 využili svoju ekonomickú situáciu na rozvoj elektromobility lepšie a ktoré horšie. Na obr. 5 súradnicové osi rozdeľujú grafické pole na štyri kvadranty (číslované v protismere pohybu hodinových ručičiek):

1. kvadrant (kladné hodnoty oboch faktorov) je charakterizovaný nadpriemernými ekonomickými predpokladmi na rozvoj elektromobility a nadpriemernou intenzitou elektromobility,

2. kvadrant (kladné hodnoty 1. faktora a záporné hodnoty 2. faktora) zahŕňa len Holandsko a Poľsko a charakterizuje ho nadpriemerne vysoká intenzita elektromobility napriek podpriemerným ekonomickým predpokladom,

3. kvadrant (záporné hodnoty oboch faktorov) zahŕňa krajiny, v ktorých v roku 2018 boli aj ekonomické predpoklady a aj intenzita elektromobility na podpriemernej úrovni,

4. kvadrant (záporné hodnoty 1. faktora a kladné hodnoty 2. faktora) je charakterizovaný nadpriemerne dobrými ekonomickými predpokladmi, ktoré sa však v dostatočnej miere doposiaľ neprejavili v elektromobilitate.



Obr. 6. Matica bodových diagramov medzi vybranými ukazovateľmi charakterizujúcimi intenzitu elektromobility (os y; ukazovatele *HEV*, *ECV nové* a *ECV*) a charakterizujúcimi ekonomické predpoklady na rozvoj elektromobility (os x; *HDP_obyv*, *VaV* a *Priemerný_vek*) vo vybraných krajinách EÚ v roku 2018

Zdroj: Eurostat (2020) a ACEA (2019a), vlastné spracovanie v SAS JMP.

Z obr. 5 je zrejماً podobnosť krajín spadajúcich do jedného zhluku. Postsocialistické krajiny zo strednej a východnej Európy zahrnuté do žltého a tyrkysového zhluku sú v 3. kvadrante. Výnimkou je Poľsko, ktoré vykazuje mierne nadpriemernú intenzitu elektromobility. Z analyzovaných postsocialistických krajín sa do 3. kvadrantu nedostalo ešte Slovinsko, ktoré patrí do fialového zhluku umiestneného v 4. kvadrante. Pre krajiny tohto kvadrantu sú charakteristické nadpriemerne dobré ekonomické predpoklady, ktoré sa však doposiaľ neprejavili v očakávanej miere v intenzite elektromobility. Štvrtý kvadrant zahŕňa popri krajinách fialového zhluku aj Írsko a väčšinu krajín červeného zhluku. Napriek tomu, že Dánsko a Rakúsko dosiahli kladné hodnoty 1. faktora a dostali sa do 1. kvadrantu, nemôžeme tvrdiť, že do roku 2018 svoje dobré ekonomické predpoklady adekvátne využili na elektromobilitu.

Za úspešné krajiny v oblasti elektromobility môžeme považovať tie, ktoré sa nachádzajú nad osou 1. a 3. kvadrantu a súčasne dosiahli pozoruhodnú intenzitu elektromobility. Tieto podmienky spĺňajú len krajiny oranžového zhluku (Holandsko a Švédsko). Graf na obr. 5 zachytáva aj výdavky krajín na výskum a vývoj (prepočítané na osobu) prostredníctvom veľkosti bublín. Krajiny severnej a západnej Európy začlenené do prvých štyroch zhlukov (červený, zelený, modrý a oranžový zhluk) majú výrazne vyššie relatívne výdavky na výskum a vývoj ako postsocialistické krajiny EÚ a krajiny južnej Európy. Poznamenajme ešte, že v oblasti elektromobility vykazujú najväčšiu podobnosť Česko so Slovenskom a Lotyšsko s Litvou, čo potvrdzuje dendrogram na obr. 4, ale aj prekryvanie týchto dvojíc krajín na obr. 5.

Pozrime sa na vzťahy medzi parciálnymi ukazovateľmi (*ECV*, *ECV_{nové}* a *HEV*), ktoré sa relevantne podieľali na kreovaní 1. faktora, a parciálnymi ukazovateľmi (*HDP_{obyv}*, *VaV* a *Priemerný vek*), ktoré signifikantne determinovali 2. faktor. Vo všetkých deviatich grafoch na obr. 6 sa potvrdilo, že krajiny severnej a západnej Európy (krajiny červeného, modrého, oranžového a zeleného zhluku) sa v roku 2018 významne odlišovali od postsocialistických krajín EÚ a od krajín južnej Európy (krajiny žltého, tyrkysového a fialového zhluku). Krajiny severnej a západnej Európy mali vyšší HDP (na obyvateľa) a nižší priemerný vek osobných automobilov. Tieto tri ukazovatele podľa tab. 2 na hladine významnosti 0,05 štatisticky významne korelovali s ukazovateľmi *ECV*, *ECV_{nové}* a *HEV*. Tieto korelácie pre premennú *HDP_{obyv}* a *VaV* boli priame lineárne, čo vystihujú aj rastúce vyrovnávajúce priamky na obr. 6 a pre premennú *Priemerný vek* sme podľa očakávania zistili nepriame korelácie.

V severnej a západnej Európe je v porovnaní s postsocialistickými krajinami EÚ a krajinami južnej Európy vyšší celkový podiel ECV a podiel ECV medzi novými automobilmi (výnimkou je Portugalsko). V prípade podielu HEV už dominancia severnej a západnej Európy nie je taká jednoznačná. Aj keď je v krajinách EÚ počet HEV vyšší ako počet ECV, tak v roku 2018 len štyri krajiny evidovali podiel HEV nad 1 % (Holandsko, Švédsko, Írsko a Spojené kráľovstvo).

V roku 2018 bol podiel ECV medzi všetkými osobnými vozidlami vyšší ako 1 % len v krajinách oranžového zhluku (Holandsko a Švédsko). V mnohých krajinách (vrátane Česka a Slovenska) bol tento podiel takmer nulový. Pokiaľ ide o ECV medzi novými osobnými vozidlami, tak podiel nad 1 % dosiahla väčšina posudzovaných krajín (12 z 23), ale podiel nad 5 % bol opäť len v krajinách oranžového zhluku (Švédsko a Holandsko). V Nemecku, Spojenom kráľovstve a vo

Francúzsku, teda v krajinách, ktoré v roku 2018 mali najväčší automobilový trh v rámci EÚ-28 (3,4 mil., 2,4 mil. a 2,2 mil. predaných áut), bol podiel ECV medzi novými osobnými vozidlami na úrovni 2 až 2,5 %.

Aj keď Švédsko a Holandsko dosahujú signifikantne lepšie výsledky v elektromobilitate ako zvyšné analyzované krajiny, tak stále výrazne zaostávajú za Nórskom, ktoré v roku 2018 evidovalo medzi všetkými osobnými automobilmi 10,7 % ECV a 3,9 % HEV. Dokonca nové osobné automobily so spaľovacím motorom boli v Nórsku v menšine, keď ECV a HEV spolu tvorili až 3/5 všetkých nových osobných automobilov. Vo Fínsku, Švédsku a Holandsku bol tento podiel pod 15 % a v ostatných krajinách Európy bol pod 10 %. Najnižší podiel ECV a HEV medzi novými osobnými vozidlami mali Česko a Slovensko.

Medzi všetkými osobnými automobilmi, ako aj medzi novými osobnými automobilmi je podiel ECV v najtesnejšom vzťahu s výdavkami na výskum a vývoj (pozri obr. 2 a tab. 2). Regresné priamky pre tieto závislosti znázornené na obr. 6 majú rovnice:

$$\widehat{ECV} = -0,009334 + 0,000575 \cdot VaV$$

$$\widehat{ECV}_{nové} = 0,2189 + 0,0028 \cdot VaV$$

V oboch prípadoch ide o stredne silnú priamu koreláciu (obr. 2). Z odhadu regresného koeficientu s hodnotou 0,000575 môžeme konštatovať, že krajiny ktoré mali v roku 2018 výdavky na výskum a vývoj o 1 000 eur na obyvateľa vyššie, dosiahli v uvedenom roku v priemere o 0,575 p. b. vyšší podiel ECV, ak hovoríme o všetkých osobných vozidlách. Ak uvažujeme o nových osobných automobiloch, tak nárast výdavkov na výskum a vývoj o 1 000 eur korešponduje s priemerným nárastom podielu ECV až o 2,8 p. b.

DISKUSIA A ZÁVER

Článok poskytuje hodnotenie 23 krajín EÚ-28 z hľadiska elektromobility na základe prierezových údajov za rok 2018, pričom berie do úvahy jej vzťah s hospodárskymi predpokladmi na rozvoj elektromobility a so znečistením ovzdušia emisiami skleníkových plynov v týchto krajinách. Prostredníctvom korelačnej analýzy a analýzy vhodnosti vstupných premenných pre faktorovú analýzu sme zistili, že podľa aktuálnych agregovaných štatistík z krajín EÚ nie je preukázateľné, že vyššia penetrácia elektricky nabíjateľných vozidiel a hybridných elektrických vozidiel v osobnej doprave je spojená s nižším znečistením ovzdušia emisiami skleníkových plynov. To však nie je v rozpore s vedeckými štúdiami (napr. Moro a Lonza 2018 a Tucki et al. 2019), ktoré ukázali potenciálne pozitívne účinky elektromobility na redukcii skleníkových plynov. Naše analýzy len potvrdzujú, že elektromobilita zatiaľ nepriniesla preukázateľné zlepšenie kvality ovzdušia, čo môže byť spôsobené tým, že nízka intenzita elektromobility, aká je v súčasnosti v EÚ, nemá zásadný vplyv na redukcii emisií skleníkových plynov. Tento efekt môže byť zatienený aj inými skutočnosťami, ako napríklad nárastom predaja SUV, ktoré majú vyššiu produkciu CO₂/km (Transport and Environment 2019). Navyše, priaznivé efekty elektromobility na životné prostredie závisia aj od ďalších faktorov, a to hlavne od toho, do akej miery je zdroj elektrickej energie „ekologicky čistý“ (Casals et al. 2016).

Z uvedeného dôvodu sa ďalší výskum zúžil na posúdenie vzťahu medzi ekonomickými predpokladmi krajín EÚ a intenzitou elektromobility. Aby sme získali čo najkomplexnejší obraz o tomto vzťahu, tak sme prostredníctvom faktorovej analýzy z pôvodných ukazovateľov vytvorili dva lineárne nezávislé faktory, pričom 1. faktor charakterizoval intenzitu elektromobility a 2. faktor reprezentoval ekonomické predpoklady na rozvoj elektromobility. Faktor ekonomických predpokladov na rozvoj elektromobility bol zásadne determinovaný ukazovateľmi, ako sú HDP na obyvateľa, výdavky na výskum a vývoj a priemerný vek osobných automobilov. Keďže HDP a výdavky na výskum a vývoj (v oboch prípadoch prepočítané na obyvateľa) sú vo vzájomnom priamom vzťahu a priemerný vek osobných automobilov v príslušnej krajine s nimi vykazuje nepriamu koreláciu, tak prvé dva ukazovatele sa na tvorbe faktora pre dimenziu ekonomických predpokladov podieľali priamo (kladné váhy) a priemerný vek osobných automobilov zasa nepriamo (záporná váha). Každý z týchto ukazovateľov bol v roku 2018 signifikantne korelovaný s podielom elektricky nabíjateľných vozidiel a s podielom hybridných elektrických vozidiel v celej skupine osobných automobilov, ale aj s podielom elektricky nabíjateľných vozidiel medzi novými zaregistrovanými osobnými autami. Uvedené tri podielové ukazovatele významne kreovali faktor intenzity elektromobility.

Korelačná analýza, ale aj na ňu nadväzujúca faktorová analýza a zhuková analýza jednoznačne potvrdili, že ekonomická vyspelosť krajiny, či už charakterizovaná uvedenými tromi parciálnymi ukazovateľmi, alebo z nich vytvoreným faktorom, podstatne ovplyvňuje intenzitu elektromobility. Tieto zistenia sú v súlade s tvrdením Yonga a Parka (2017), že v krajinách s vysokým ekonomickým statusom je oveľa pravdepodobnejšie osvojenie si elektromobility. Yong a Park (2017) však poukazujú na to, že samotná ekonomická vyspelosť krajiny nemusí postačovať, pretože dôležitú úlohu zohráva podpora elektromobility formou oslobodenia od daní alebo formou dotácií na nákup elektrických vozidiel podstatný vplyv má aj nabíjacia infraštruktúra. V našej analýze sme s rozvojom infraštruktúry nabíjajúcich staníc neuvažovali, pretože dostupné štatistiky o počte nabíjajúcich staníc neinformujú o tom, aké regióny a akú časť populácie príslušnej krajiny táto infraštruktúra pokrýva. Táto informácia je pritom dôležitá, pretože podľa Mortona et al. (2018) má rozvoj infraštruktúry lokálny vplyv, čo znamená, že registrácia elektrických vozidiel v danom regióne nie je preukázateľne ovplyvnená dostupnou infraštruktúrou nabíjajúcich staníc v susedných regiónoch. Poznamenajme, že empirické výskumy (napr. Hanzl et al. 2018) potvrdzujú, že podobne ako intenzita elektromobility, aj rozvoj infraštruktúry nabíjajúcich staníc ide ruka v ruku s hospodárskym rozvojom krajiny.

Keďže je intenzita elektromobility preukázateľne asociovaná s ekonomickými predpokladmi na jej rozvoj, tak sme analyzované krajiny EÚ-28 podrobili zhukovej analýze vychádzajúcej z uvedených dvoch faktorov charakterizujúcich dimenziu elektromobility a dimenziu ekonomických predpokladov. Takto sme odhalili sedem relatívne homogénnych zhukov krajín z pohľadu posudzovaných dimenzií a identifikovali sme ich špecifiká. Interpretácia zhukov prostredníctvom faktorov potvrdila, že v severnej a západnej Európe je v porovnaní s postsocialistickými krajinami EÚ a s krajinami južnej Európy vyššia intenzita elektromobility. Postsocialistické krajiny EÚ a krajiny južnej Európy mali v roku 2018 podpriemerné ekonomické predpoklady na rozvoj elektromobility a aj nízku intenzitu elektromobility. Tento stav môže byť ovplyvnený aj skutočnosťou, že v roku 2018 v uvedených častiach Európy poskytovali vlády štátov dotácie na nákup EV len v Portugalsku,

Rumunsku, Slovinsku a na Malte (Tucki at al. 2019). Aj keď v roku 2019 viaceré krajiny prijali opatrenia na podporu elektromobility, tak stále zostali štyri postsocialistické krajiny, ktoré ako jediné v rámci EÚ-28 nemali daňové výhody a ani finančné stimuly na podporu elektromobility. Ide o Estónsko, Chorvátsko, Litvu a Poľsko (ACEA 2019b).

Z našich analýz vyplýva, že najhoršie svoje ekonomické východiská na rozvoj elektromobility využilo Írsko, ktoré v roku 2018 malo spolu s Talianskom a Slovinskom najnižšiu intenzitu elektromobility, a to aj napriek tomu, že v Írsku a Slovinsku sa poskytovala finančná dotácia pri kúpe EV a vlády všetkých troch uvedených krajín (vrátane Talianska) zaviedli daňové výhody a nefinančné stimuly pre EV.

Napriek oveľa lepším ekonomickým predpokladom, ani väčšina krajín západnej Európy zatiaľ nedosiahla výrazný stupeň elektromobility. Do tejto skupiny zaradujeme aj najväčšie automobilové trhy v rámci EÚ-28 – Nemecko, Spojené kráľovstvo a Francúzsko, ktoré majú pomerne vysoký počet nabíjajúcich staníc (v roku 2018 mali spolu približne 1/2 nabíjajúcich staníc v EÚ-28) a majú zavedené nákupné stimuly pre EV.

Dobrá ekonomická situácia sa relatívne úspešne pretavila do elektromobility vo Fínsku a Belgicku a najmä vo Švédsku a Holandsku. Zaujímavosťou je, že Holandsko – na rozdiel od ostatných troch krajín – nemá stimuly na nákup EV, ale má najväčší počet nabíjajúcich staníc v EÚ (viac ako 1/4 všetkých nabíjajúcich staníc v EÚ-28). V našej analýze sme síce nebrali do úvahy Nórsko, ale na základe dostupných štatistík a podľa mnohých prác, na ktoré v článku upriamujeme pozornosť, je Nórsko absolútne najpokrokovejšie v predmetnej oblasti. Naš výskum teda potvrdil jednoznačnú dominanciu krajín Škandinávského polostrova a štátov Beneluxu v oblasti elektromobility.

Napriek tomu, že 1. faktor, ktorý bol výsledkom faktorovej analýzy, vytvára ucelenejší obraz o ekonomických predpokladoch na rozvoj elektromobility ako parciálne ukazovatele, ktoré sa na jeho tvorbe podieľali, pozreli sme sa aj na vzťahy medzi parciálnymi ukazovateľmi 1. faktora (faktor ekonomických predpokladov) a parciálnymi ukazovateľmi 2. faktora (faktor intenzity elektromobility). Regresná a korelačná analýza ukázali, že medzi všetkými osobnými automobilmi, ako aj medzi novými osobnými automobilmi je podiel ECV v najtesnejšom vzťahu s výdavkami na výskum a vývoj. Tento ukazovateľ sa navyše ako jediný signifikantne podieľal na tvorbe obidvoch faktorov, čo znamená, že výdavky na výskum a vývoj sú úzko späté nielen s faktorom ekonomických predpokladov na rozvoj elektromobility, ale aj s faktorom charakterizujúcim jej intenzitu. Naše analýzy potvrdili signifikantnú pozitívnu koreláciu medzi výdavkami krajín na výskum a vývoj a penetráciou ECV do osobnej dopravy. V súčasnosti je nárast výdavkov na výskum a vývoj o 1 000 eur obyvateľa spojený priemerným nárastom podielu ECV medzi osobnými vozidlami o 0,5 p. b. a v prípade podielu ECV medzi novými vozidlami je tento efekt ešte päťnásobne väčší.

Vplyv elektromobility na redukcii emisií skleníkových plynov nie je v súčasnosti na národných úrovniach krajín EÚ empiricky preukázateľný, avšak veríme, že s nárastom intenzity elektromobility sa jej pozitívny vplyv v dohľadnom čase prejaví a bude čitateľný z agregovaných štatistík. V rámci EÚ majú viaceré krajiny ekonomické predpoklady na intenzívnejšiu elektromobilitu, avšak výrazne zaostávajú za lídrami v tejto oblasti, ktorými sú štáty Škandinávského polostrova a Bene-

luxu. Aj keď intenzita elektromobility je významne determinovaná ekonomickou situáciou, sú tu aj ďalšie faktory, ktoré treba „nastaviť“ tak, aby podporili elektromobilitu, či už hovoríme o ekologickom povedomí, daňových, finančných a nefinančných stimuloch alebo o infraštruktúre nabíjajúcich staníc. Disparity medzi krajinami treba vziať do úvahy v kontexte ekonomických predpokladov, ktoré zväčša v krátkom časovom horizonte nemožno zásadne zmeniť, ale vo výrazne kratšom čase sa dajú zaviesť stimuly alebo aj vybudovať vhodná nabíjacia infraštruktúra. Na základe našej kvantitatívnej analýzy sú identifikované krajiny, ktoré sú pri porovnateľnej ekonomickej situácii v oblasti elektromobility úspešnejšie a nich by mali hľadať inšpiráciu menej úspešné krajiny.

Viacrozmerné štatistické metódy, ktoré boli využité v článku, splnili svoj účel, ale musíme zdôrazniť, že ich efektívnosť by sa ešte zvýšila, ak by boli analýzy realizované na menších územných jednotkách (napr. NUTS 2 alebo NUTS 3). Na takýchto územných jednotkách by bolo vhodné kvantifikovať aj vplyv ďalších faktorov, ako napr. infraštruktúry nabíjajúcich staníc, avšak príslušné inštitúcie alebo organizácie (napr. Eurostat alebo ACEA) štatistiky o elektromobilitate na takomto územnom členení v súčasnosti nesledujú.

Príspevok vznikol ako čiastkový výstup projektu APVV SK-SRB-18-0009 Optimalizácia logistických procesov s využitím elektromobilov a ich IKT riešenia a projektu VEGA 1/0339/20 Využitie skrytého Markovovho modelu vo finančnom modelovaní.

LITERATÚRA

- ACEA (2019a). *ACEA Report: Vehicles in use – Europe 2019*. (European Automobile Manufacturers' Association).
- ACEA (2019b). *Interactive map: Electric vehicle purchase incentives per country in Europe (2019 update)*. (European Automobile Manufacturers' Association), [Online]. Dostupné na: <https://www.acea.be/statistics/article/interactive-map-electric-vehicle-incentives-per-country-in-europe-2018> [cit: 29-12-2020].
- AJANOVIC, A., HAAS, R. (2016). Dissemination of electric vehicles in urban areas: Major factors for success. *Energy*, 115, 1451-1458. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.040>.
- ANDERSON, T. R., HAWKINS, E., JONES, P. D. (2016). CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Calendar to today's Earth System Models. *Endeavour*, 40, 178-187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2016.07.002>.
- BROADBENT, G. H., DROZDZEWSKI, D., METTERNICHT, G. (2018). Electric vehicle adoption: An analysis of best practice and pitfalls for policy making from experiences of Europe and the US. *Geography compass*, 12(2), 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1111/gec3.12358>.
- CASALS, L., MARTINEZ-LASERNA, E., AMANTE, B., NIETO, N. (2016). Sustainability analysis of the electric vehicle use in Europe for CO₂ emissions reduction. *Journal of cleaner production*, 127, 425-437. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.120>.
- CHRISTIDIS, P., FOCAS, C. (2019). Factors affecting the uptake of hybrid and electric vehicles in the European Union. *Energies*, 12, (18), 3414. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12183414>.
- EASAC (2019). *Decarbonisation of transport: options and challenges*. EASAC policy report 37. Halle (German National Academy of Sciences Leopoldina).
- EEA (2019). *Greenhouse gas emissions from transport in Europe*. Copenhagen (European Environment Agency).

- EUROPEAN COMMISSION (2019). *Reducing CO₂ emissions from passenger cars*, [Online]. Dostupné na: https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en [cit: 14-3-2020].
- EUROSTAT (2020). *Data*, [Online]. Dostupné na: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> [cit: 9-2-2020].
- GRYPARIS, E., PAPADOPOULOS, P., LELIGOU, H. C., PSOMOPOULOS, C. S. (2020). Electricity demand and carbon emission in power generation under high penetration of electric vehicles. A European Union perspective. *Energy Reports*, 6, 475-486. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.09.025>.
- HAIR, J., BLACK, W., BABIN, B., ANDERSON, R. (2018). *Multivariate data analysis, 8th ed.* New York (Cengage Learning EMEA).
- HANŽIĆ, K., MARKSEL, M., BOŽIČNIK, S. (2018). Interdependence between GDP and electric vehicles' charging infrastructure in the EU. In Seme, S., Hadžiselimović, M., Štumberger, B., eds. *7th International Symposium on Applied Electromagnetics: Conference Proceedings*. Maribor (University of Maribor Press), pp. 97-101. DOI: <https://doi.org/10.18690/978-961-286-241-1.12>.
- LÉVAY, P. Z., DROSSINOS, Y., THIEL, C. (2017). The effect of fiscal incentives on market penetration of electric vehicles: A pairwise comparison of total cost of ownership. *Energy Policy*, 105, 524-533. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.02.054>.
- LIONELLO, P., SCARASCIA, L. (2018). The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Regional Environmental Change*, 18, 1481-1493. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1290-1>.
- LÖSTER, T., PAVELKA, T., eds. (2013). Evaluating of the results of clustering in practical economic tasks. In *7th International Days of Statistics and Economics, Conference proceedings*. Prague (University of Economics in Prague), pp. 804-818.
- LUBYOVÁ, M., VOJTKOVÁ, M. (2014). Analýza miery atraktívnosti národných ekonomík pre zahraničných investorov v novom globalizovanom prostredí. *Ekonomický časopis*, 62, 557-578.
- MORO, A., LONZA, L. (2018). Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 64, 5-14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.012>.
- MORTON, C., ANABLE, J., YEBOAH, G., COTTRILL, C. (2018). The spatial pattern of demand in the early market for electric vehicles: Evidence from the United Kingdom. *Journal of Transport Geography*, 72, 119-130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.08.020>.
- MÜNDEL, C., PLÖTZ, P., SPREI, F., GNANN, T. (2019). How large is the effect of financial incentives on electric vehicle sales? – A global review and European analysis. *Energy Economics*, 84, 1-21. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104493>.
- NOEL, L., DE RUBENS, G. Z., KESTER, J., SOVACOOOL, B. K. (2020). Understanding the socio-technical nexus of Nordic electric vehicle (EV) barriers: A qualitative discussion of range, price, charging and knowledge. *Energy Policy*, 138, 1-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111292>.
- ORTAR, N., RYGH AUG, M. (2019). Should all cars be electric by 2025? The electric car debate in Europe. *Sustainability*, 11, 1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11071868>.
- REIFF, M., SURMANOVÁ, K., BALCERZAK, A. P., PIETRZAK, M. B. (2016). Multiple criteria analysis of European Union agriculture. *Journal of International Studies*, 9(3), 62-74. DOI: <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2016/9-3/5>.
- REIFF, M., IVANIČOVÁ, Z., SURMANOVÁ, K. (2018). Cluster analysis of selected world development indicators in the fields of agriculture and the food industry in European Union countries. *Agricultural Economics*, 64, 197-205. DOI: <https://doi.org/10.17221/198/2016-AGRICECON>.
- SOVACOOOL, B. K., KESTER, J., NOEL, L., de RUBENS, G. Z. (2019). Income, political affiliation, urbanism and geography in stated preferences for electric vehicles (EVs) and vehicle-to-grid (V2G) technologies in Northern Europe. *Journal of Transport Geography*, 78, 214-229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.06.006>.

- SZULEJKO, J. E., KUMAR, P., DEEP, A., KIM, K. H. (2017). Global warming projections to 2100 using simple CO₂ greenhouse gas modelling and comments on CO₂ climate sensitivity factor. *Atmospheric Pollution Research*, 8, 136-140. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2016.08.002>.
- ŠOLTÉS, E. (2019). *Regresná a korelačná analýza s aplikáciami v softvéri SAS*. Bratislava (LetraEdu).
- THIEL, C., JULEA, A., IBORRA, B. A., de MIGUEL ECHEVARRIA, N., PEDUZZI, E., PISONI, E., VILCHEZ, J. J. G., KRAUSE, J. (2019). Assessing the impacts of electric vehicle recharging infrastructure deployment efforts in the European Union. *Energies*, 12, 1-23. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12122409>.
- TRANSPORT AND ENVIRONMENT (2019). *Mission possible: How car makers can reach their 2021 CO₂ targets and avoid fines*. Brussel (European Federation for Transport and Environment AISBL).
- TRANSPORT AND ENVIRONMENT (2020). *Recharge EU: How many charge points will Europe and its Members States need in the 2020s*. Brussel (European Federation for Transport and Environment AISBL).
- TUCKI, K., ORYNYCZ, O., ŚWIĆ, A., MITORAJ-WOJTANEK, M. (2019). The development of electromobility in Poland and EU States as a tool for management of CO₂ emissions. *Energies*, 12, (15), 2942. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12152942>.
- VILCHEZ, J. J. G., THIEL, C. (2019). The effect of reducing electric car purchase incentives in the European Union. *World Electric Vehicle Journal*, 10(4), 64. DOI: <https://doi.org/10.3390/wevj10040064>.
- VOJTKOVÁ, M., STANKOVIČOVÁ, I. (2020). *Viacrozmerné štatistické metódy s aplikáciami v softvéri SAS*. Bratislava (LetraEdu).
- YAZGAN, Ş., YALÇINKAYA, Ö. (2018). The effects of research and development (R&D) investments on sustainable economic growth: Evidence from OECD countries (1996 – 2015). *Review of Economic Perspectives*, 18, 3-23. DOI: <https://doi.org/10.1515/revecp-2018-0001>.
- YONG, T., PARK, C. (2017). A qualitative comparative analysis on factors affecting the deployment of electric vehicles. *Energy Procedia*, 128, 497-503. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.066>.

Erik Šoltés, Ivan Brezina, Juraj Pekár

ELECTROMOBILITY AND ITS RELATIONSHIP WITH THE ECONOMIC DEVELOPMENT AND AIR POLLUTION IN THE EU AREA

Currently, more than 25% of greenhouse gas (GHG) emissions within the European Union come from transport, transport is also the only primary economic sector in which GHG emissions have increased since 1990. A major GHG is carbon dioxide, so one of the most important strategies for the reduction of GHG emissions is the decarbonization of transport. A progressive trend in the process of decarbonization of transport is electromobility. There are promising prospects that this will contribute to the protection of the environment, to improvements in the health of the population, and an increase in the quality of people's lives. The potential for the positive effects of electromobility has been confirmed by many scientific studies, although there are also some aspects which still need to be addressed concerning ecology, whether it be the recycling of batteries or the production of electricity from renewable sources.

The article provides an assessment of 23 out of EU-28 countries in terms of electromobility based on cross-sectional data from 2018, taking into account their relationship with the economic preconditions for the development of electromobility and air pollution from

GHG emissions in these countries. The presented results of our research are based on multivariate statistical methods such as correlation analysis, factor analysis, cluster analysis, as well as, to some extent, regression analysis. Through correlation analysis and analysis of the suitability of input variables for factor analysis, we found that according to current aggregated statistics from EU countries, it is not demonstrable that a higher penetration of electrically-chargeable vehicles (ECV) and hybrid electric vehicles (HEV) in passenger transport is associated with lower air pollution from GHG emissions. In the EU, the intensity of electromobility is so low that it does not yet have a significant impact on the reduction of GHG emissions.

We evaluated the relationship between the economic conditions in the EU countries and the intensity of electromobility based on 6 indicators: GDP (at purchasing power parity) per capita, expenditure on R&D per capita, the average age of passenger cars, ECV share and HEV share among all passenger cars and ECV share among new passenger cars. In order to obtain the most comprehensive view on this relationship, 2 linear independent factors were created from the original indicators through factor analysis, with the 1st factor characterizing the intensity of electromobility and the 2nd factor representing the economic conditions for the development of electromobility. The correlation analysis of the original indicators, as well as the assessment of the relationship between the factors that were the result of the factor analysis, clearly confirmed that the intensity of electromobility is significantly associated with the economic development of the country. The view of the relationship between the particular dimensions in the EU area is completed with a cluster analysis. It reveals 7 relatively homogeneous clusters of countries from the point of view of the assessed dimensions. To describe the specifics, we use the above mentioned 2 factors characterizing the dimension of the electromobility intensity and the dimension of economic conditions. In Northern and Western Europe, there is a higher intensity of electromobility compared to the post-socialist countries of the EU and the countries of Southern Europe. In 2018, the post-socialist countries of the EU and the countries of Southern Europe had below-average economic preconditions for the development of electromobility and a low intensity of electromobility, while other than these countries the intensity of electromobility badly reflected the economic situation in Slovakia and Czechia. However, its economic potential for the development of electromobility was worst used by Ireland, which also had the lowest intensity of electromobility, as well as Italy and Slovenia, despite the fact that the governments of Ireland and Slovenia provide financial subsidies for the purchase of electric vehicles (EVs) and the governments of all 3 countries (including Italy) introduced tax benefits and non-financial incentives for EVs. Despite significantly better economic prospects, most western European countries (including the largest car markets within the EU-28 – Germany, the United Kingdom and France) have not attained a notable intensity of electromobility. The best results in electromobility have been achieved by the countries of the Scandinavian Peninsula and the Benelux.

Our quantitative analyses have shown that disparities in electromobility within the EU need to be assessed in the context of economic situations. Countries that are less successful in electromobility should naturally seek inspiration from more successful countries. However, this success is significantly influenced by economic conditions that are difficult to change in the short term, therefore less successful countries should seek inspiration not only in the most successful countries but also in those ones that achieved a noticeable intensity of electromobility while having a comparable economic situation. This article identifies which countries have been more successful in the field of electromobility and which have been less successful, with similar economic preconditions for the development of electromobility. In addition, the article lists some other factors, of which, the impact on the intensity of electromobility has been confirmed by other scientific studies. Compared to economic assumptions, these can be favourably adjusted in a much shorter time frame.

Regression and correlation analysis has shown that among all passenger cars, as well as among new passenger cars, the share of ECV is most closely related to R&D expenditure

per capita. Currently, an increase in research and development expenditure by €1,000 is associated with an average increase in the share of ECV among passenger cars by 0.5 percentage points. With regard to the share of ECV among new vehicles, this effect is five times greater.



Article first received: July 2020
Article accepted: February 2021

