

Dr hab. inż. Dorota Burchart-Korol, prof. PŚ

Politechnika Śląska

ORCID: 0000-0002-2452-5050

e-mail: dorota.burchart-korol@polsl.pl

Mgr inż. Adam Łamacz

Valeo Electric and Electronic Systems

e-mail: adamlam207@student.polsl.pl

# Wpływ elektromobilności w transporcie publicznym na emisję gazów cieplarnianych w państwach członkowskich Unii Europejskiej

*The Impact of Electromobility in Public Transport in EU Member States on Greenhouse Gas Emission*

## Streszczenie

Celem artykułu jest ocena emisji gazów cieplarnianych elektrycznych autobusów miejskich w państwach członkowskich Unii Europejskiej. W pracy przedstawiono wyniki oceny emisji gazów cieplarnianych w następstwie ładowania akumulatorów autobusów miejskich z wykorzystaniem sieci elektroenergetycznej w poszczególnych krajach. Analizy obejmowały ramy czasowe od 2015 do 2050 r. Wykonano również analizę porównawczą emisji gazów cieplarnianych autobusu elektrycznego oraz autobusu z silnikiem spalinowym.

## Słowa kluczowe:

transport publiczny, elektromobilność, emisje gazów cieplarnianych, państwa członkowskie Unii Europejskiej

## Abstract

The purpose of the paper is to assess the greenhouse gas emissions of electric city buses in the Member States of the European Union. The paper presents the results of the greenhouse gas emission assessment for charging city bus batteries using the power grid in each EU country. The analysis covered the time frame from 2015–2050. A comparative analysis of greenhouse gas emissions of an electric bus and a bus with an internal combustion engine was also carried out.

## Key words:

Public Transport, Electromobility, Greenhouse Gas Emission, EU Member States

JEL: Q54

## Wprowadzenie

Sektor transportu jest drugim co do wielkości źródłem zanieczyszczeń w całej Unii Europejskiej, około 70% tych zanieczyszczeń emituje transport drogowy (Cholewa, 2015, s. 41–52). Zagadnienia związane z emisją gazów cieplarnianych są istotnym problemem zarówno dla systemów logistycznych, jak i transportowych. Problem ten jest również ważny w odniesieniu do wytycznych Komisji Europejskiej, a także nowych wyzwań w modelu gospodarki o obiegu zamkniętym. Transport publiczny, zwłaszcza w aspekcie autobusów miejskich, zajmuje ważne miejsce w strategii Unii Europejskiej (UE) odnośnie do ogranicza-

nia wpływu transportu na środowisko. Zgodnie z wytycznymi Komisji Europejskiej istotny jest rozwój elektromobilności w komunikacji miejskiej. Głównym dokumentem Unii Europejskiej wymuszającym zmiany w sektorze transportu na krajach członkowskich jest Biała Księga transportu. Zgodnie z wytycznymi Białej Księgi do 2030 r. w miastach ma poruszać się o połowę mniej pojazdów napędzanych paliwami konwencjonalnymi, a do 2050 r. mają one zniknąć całkowicie i zostać zastąpione samochodami niskoemisyjnymi. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/33/WE nakłada na instytucje państwowe oraz niektórych operatorów logistycznych obowiązek uwzględnienia przy zakupie nowych pojazdów ich

wpływu na środowisko, emisji gazów cieplarnianych oraz zużycia energii, co w znacznym stopniu przyczynia się do promowania pojazdów zasilanych alternatywnie. Rosnąca liczba miejskich autobusów elektrycznych jest obserwowana na terenie całej Unii Europejskiej. Dotychczas w literaturze przedstawiono problemy związane z zastosowaniem biopaliw wykorzystywanych w transporcie Państw Członkowskich w świetle regulacji prawnych UE (Kupczyk i in., 2017) oraz bezpieczeństwa transportu morskiego w świetle strategii UE (Usewicz, 2018). Analizy dotyczyły również rozwoju zrównoważonego transportu (Borucka, Załęski, 2017). Efektywność ekonomiczna została przedstawiona w literaturze (Zalewski, 2016), natomiast odnośnie do aspektów środowiskowych nadal brakuje kompleksowych opracowań związanych z tym obszarem naukowo-badawczym.

Celem artykułu jest analiza emisji gazów cieplarnianych powodowanych przez miejskie autobusy elektryczne państw członkowskich Unii Europejskiej. W pracy skupiono się na energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej poszczególnych krajów, wykorzystywanej do ładowania akumulatorów autobusów elektrycznych. Analiza obejmowała cykl życia paliwa alternatywnego, którym jest napęd elektryczny z uwzględnieniem sieci elektroenergetycznej w poszczególnych krajach Unii Europejskiej. Badania dotyczyły również zmian w energetyce poszczególnych krajów w latach 2015–2050. Analizy obejmowały ponadto porównanie napędów elektrycznych i konwencjonalnych na przykładzie autobusów miejskich.

## Założenia do analiz i metodyka badań

Przeprowadzony przegląd literatury wykazał, iż etap eksploatacji autobusów z napędem elektrycznym jest praktycznie bezemisyjny, należy jednak zauważyć, że w przypadku pojazdów elektrycznych istotne jest

dokonanie analizy wpływu na środowisko źródeł energii do ładowania akumulatorów (Burchart-Korol, Fołęga, 2019; Jursova i in., 2019). Wykazano, że energia elektryczna jest głównym czynnikiem determinującym wpływ na emisję gazów cieplarnianych w przypadku pojazdów elektrycznych (Burchart-Korol i in. 2018; Ercan, Tatari, 2015). Dla celów niniejszej pracy założono, że badany autobus jest w całości zasilany z baterii akumulatorowych. Przy założeniu, że użytkowanie pojazdu nie emituje szkodliwych związków do atmosfery, określono jego wpływ na środowisko związany z ładowaniem akumulatorów. Ładowanie odbywa się z ogólnodostępnej sieci elektrycznej, więc na wpływ na środowisko będzie miał sposób wytworzenia energii elektrycznej do naładowania akumulatorów w autobusie. Obiektem badań w niniejszej pracy był dwunastometrowy autobus marki Solaris. Wybór ten jest podyktowany faktem, iż na terenie Unii Europejskiej użytkuje się najczęściej autobusów o długości 12 metrów. W tabeli 1 pokazano podstawowe dane techniczne autobusu Solaris.

Zużycie energii przez autobus elektryczny zależy od wielu czynników i od różnych warunków jazdy. Na podstawie przeglądu literatury stwierdzono, że zużycie energii przez dwunastometrowy autobus elektryczny w warunkach realnej eksploatacji z pasażerami na pokładzie oraz włączonymi dodatkowymi układami, takimi jak na przykład klimatyzacja, może wynosić do 175 kWh/100 km (Boya i in., 2016).

Analizy wykonano z zastosowaniem metody oceny cyklu życia LCA (Life Cycle Assessment), uwzględniając cykl życia wszystkich źródeł energii dla poszczególnych krajów. Zgodnie z danymi (The International Energy Agency, 2016) wykonano analizy dla stanu z roku 2015 oraz prognozy dla lat 2020, 2030 oraz 2050. Zasady zastosowania LCA w transporcie zostały opisane w pracy (Burchart-Korol, 2019). LCA wykorzystano do oceny potencjalnego wpływu na środowisko ładowania akumulatora w elektrycznych autobusach miejskich. Metoda LCA została wybrana do analiz ze względu na fakt, iż

Tabela 1

Podstawowe dane techniczne autobusu Solaris U12E

Podstawowe dane techniczne	
Producent	Solaris Bus & Coach SA
Model	12 Electric
Długość	12 m
Pojemność pasażerska — całkowita	70
Miejsca siedzące	25
Baterie litowo-jonowe	208 kWh/686 V
Główny silnik napędowy — asynchroniczny	160 kW/460 V
System ładowania — przystosowany do pantografowego	Plug-In
Czas ładowania	noc: 4–5 godz.; szybkie: 2 godz.

Źródło: Kuźmiński, 2016.

umożliwia ocenę środowiskową cyklu życia energii elektrycznej. Analizy wykonano zgodnie z wytycznymi ISO 14040:2006 i ISO 14044:2006, przy użyciu oprogramowania SimaPro z bazą danych Ecoinvent.

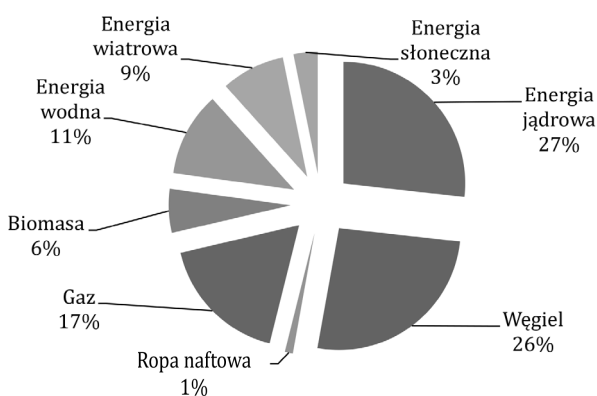
Celem pracy była ocena wpływu na środowisko ładowania akumulatorów elektrycznych autobusów miejskich w krajach Unii Europejskiej. Zakres pracy obejmował przeprowadzenie analizy aktualnej i prognozowanej struktury źródeł energii elektrycznej oraz analizę środowiskową z uwzględnieniem emisji gazów cieplarnianych. W celach porównawczych wszystkie analizy zostały odniesione do tej samej jednostki funkcjonalnej (FU — *Functional Unit*) wynoszącej 100 km. Do przeprowadzenia oceny oddziaływania na środowisko ładowania elektrycznych autobusów miejskich zastosowano metodę IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), która została opracowana przez Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC 2013). Metoda IPCC służy do oceny emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia produktu oraz umożliwia wyliczenie wskaźnika na podstawie potencjału tworzenia efektu cieplarnianego GWP (Global Warming Potential).

## Rezultaty i dyskusja wyników

### Analiza sieci elektroenergetycznej w państwach członkowskich UE

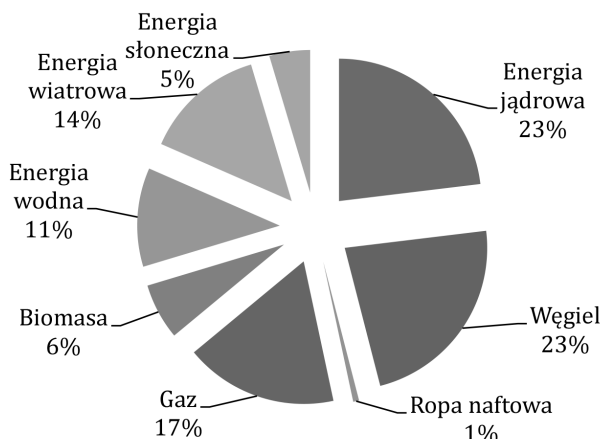
Na podstawie danych z raportu dotyczącego wytwarzania energii elektrycznej w krajach UE, sporządzonego przez Politechnikę Ateńską dla Komisji Europejskiej (REF2016), zestawiono liczbę poszczególnych źródeł energii w 28<sup>1</sup> krajach Unii Europejskiej. Udział poszczególnych źródeł energii dla całej Unii Europejskiej w kolejnych latach analizy przedstawiono na rysunkach 1–4.

**Rysunek 1**  
Udział źródeł energii w wytwarzaniu energii elektrycznej w UE w 2015 r.



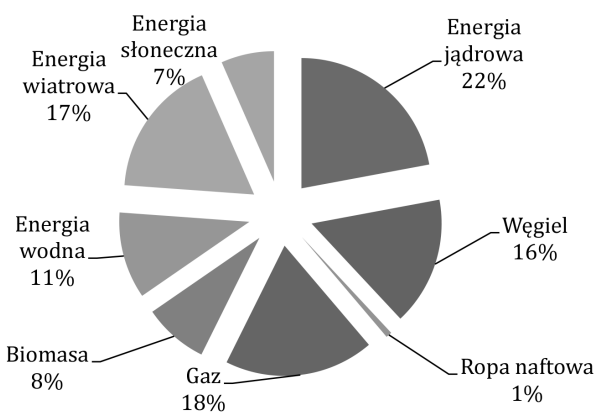
Źródło: The International Energy Agency, 2016.

**Rysunek 2**  
Udział źródeł energii w wytwarzaniu energii elektrycznej w UE. Prognoza na 2020 r.



Źródło: jak rysunku 1.

**Rysunek 3**  
Udział źródeł energii w wytwarzaniu energii elektrycznej w UE. Prognoza na 2030 r.

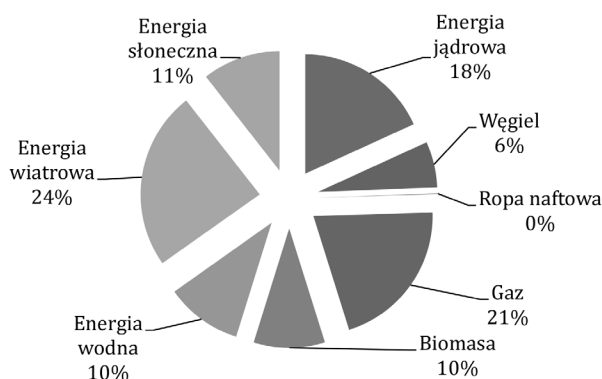


Źródło: jak rysunku 1.

Jak widać na rysunkach 1–4, udział poszczególnych źródeł energii w wytwarzaniu energii elektrycznej w UE ulega w kolejnych latach znaczącym zmianom. W roku 2015 największy udział w wytwarzaniu energii elektrycznej miały elektrownie jądrowe (27%), węglowe (26%) oraz w mniejszym stopniu gazowe (17%), natomiast udział odnawialnych źródeł energii był na bardzo niskim poziomie. W roku 2020 udział elektrowni jądrowych (23%) oraz węglowych (23%) zmniejszy się o kilka procent. Udział elektrowni gazowych pozostanie na tym samym poziomie (17%), natomiast zauważalna jest tendencja wzrostowa udziału źródeł odnawialnych, takich jak energia

Rysunek 4

Udział źródeł energii w wytwarzaniu energii elektrycznej w UE. Prognoza na 2050 r.



Źródło: jak rysunku 1.

wodna (14%) czy słoneczna (5%). Prognozy na rok 2030 pokazują dalsze zmniejszenie udziału elektrowni węglowych (16%) przy wzroście wykorzystania energii wiatrowej (17%) oraz słonecznej (7%). Udział elektrowni wykorzystujących biomasę również ma się zwiększyć do 8%. W prognozach na rok 2050 zdecydowanie widać zmniejszenie udziału elektrowni węglowych (6%). W większości zostanie on zastąpiony energią z elektrowni wiatrowych (24%). Nieznacznie wzrośnie wykorzystanie elektrowni gazowych (21%), elektrowni zasilanych biomasą (10%) oraz energią słoneczną (11%). Według prognoz w ciągu 30 lat od chwili obecnej wykorzystanie elektrowni węglowych, emitujących najwięcej gazów cieplarnianych, ulegnie zdecydowanemu zmniejszeniu na rzecz odnawialnych źródeł energii.

Wykonano również analizę źródeł energii wykorzystywanych do wytwarzania energii elektrycznej we wszystkich krajach UE w latach 2015–2050. Analizując źródła energii elektrycznej w strukturze mixu energetycznego poszczególnych krajów Unii Europejskiej w roku 2015, stwierdzono, iż w wielu z nich dominujący udział w wytwarzaniu energii elektrycznej miał węgiel (Polska, Czechy, Bułgaria, Estonia, Niemcy, Grecja). Jeśli chodzi o źródło energii, jakim jest węgiel, najwyższy udział odnotowano dla Polski (85%) oraz Estonii (80%). Ciekawymi przypadkami są niewielkie kraje, takie jak Cypr czy Malta, których energetyka bazuje na ropie naftowej. W roku 2015 najwyższy udział w wykorzystaniu energii jądrowej do wytwarzania energii elektrycznej miała Francja (76%), wysokie udziały miały również Węgry (54%) oraz Słowacja (54%). Ropa naftowa do wytwarzania energii elektrycznej była wykorzystywana w UE w niewielkim stopniu poza Maltą (92%) oraz Cyprzem (89%), gdzie energia elektrycz-

na jest pozyskiwana głównie z tego źródła. Największy udział energii z gazu ziemnego miały Luksemburg (83%) oraz Holandia (53%) i Irlandia (47%). Biomasa była wykorzystywana przede wszystkim w Finlandii (19%), na Litwie (13%) oraz w Danii (12%). Energia wodna miała największy udział w wytwarzaniu energii elektrycznej w Austrii (69%), Chorwacji i Łotwie (52%) oraz w Szwecji (45%). Energia wiatrowa miała największy udział w Danii (43%), wysokie udziały miały również Irlandia oraz Portugalia (23%). Energia słoneczna w całej Europie w 2015 r. była wykorzystywana w niewielkim stopniu, jednak najczęściej korzystano z niej we Włoszech (8%) oraz w Grecji i na Malcie (7%).

Następnie dokonano analizy prognoz dotyczących kształtowania się udziału źródeł energii w krajach Unii Europejskiej w roku 2020. W przypadku energii jądrowej nadal najwyższy udział będzie miała Francja (66%), wysoki — również Słowacja (60%), Belgia (48%) oraz Węgry (45%). Energia pozyskiwana z węgla w dalszym ciągu będzie najintensywniej wykorzystywana w Polsce oraz Estonii (80%). Duże zmiany prognozowane są dla wykorzystania ropy naftowej — w 2020 r. największy udział przewidziano dla Grecji (9%). Malta i Cypr, których energetyka bazowała głównie na ropie, mają przejść na korzystanie z gazu, odpowiednio 86% dla Malty i 70% dla Cypru. Kraje te mają w największym stopniu korzystać z energii z gazu ziemnego, obok Luksemburga (70%) i Litwy (67%). Biomasa do wytwarzania energii elektrycznej będzie wykorzystywana najczęściej w Danii (27%), wysoki udział prognozuje się również dla Finlandii (15%). Największy udział energii wodnej w wytwarzaniu energii elektrycznej prognozowany jest dla Austrii (60%), Łotwy (48%) oraz Chorwacji (45%). Z energii wiatrowej w największym stopniu korzystać mają Dania (50%) oraz Irlandia (35%). Największy udział energii słonecznej będą miały Malta (13%) i Cypr (12%).

Zgodnie z prognozami sporządzonymi na 2030 r. największy udział energii jądrowej w wytwarzaniu energii elektrycznej będą miały Węgry (82%), a także Słowacja (77%) oraz Litwa (65%). Energia pozyskiwana z węgla w dalszym ciągu będzie mieć największe zastosowanie w Estonii (73%) oraz w Polsce (65%). Ropa naftowa będzie wykorzystywana tylko w niewielkim stopniu, najwięcej w Portugalii (3%). Największy udział energii z gazu nadal będzie przypadać na Maltę (87%), Luksemburg (77%) oraz Cypr (70%). Biomasa nadal ma być stosowana głównie w Danii (24%) z istotnym udziałem również w takich krajach jak Finlandia (15%) i Wielka Brytania (14%). Wysoki procent wykorzystania elektrowni wodnych przewidywany jest dla Austrii (56%), Chorwacji (45%) oraz Łotwy (42%). Widać wzrost wykorzystania elektrowni wiatrowych, gdzie największy udział ma Dania (56%), duży udział prognozowany jest także dla Irlandii (36%) oraz Portugalii (32%). Zauwa-

żalny wzrost wykorzystania elektrowni słonecznych przewiduje się dla krajów takich jak Cypr (18%), Grecja i Hiszpania (po 17%) oraz Malta (13%).

Prognozy na 2050 r. dotyczące kształtowania się udziału źródeł energii w wytwarzaniu energii elektrycznej w krajach UE wykazały zauważalny spadek wykorzystania energii jądrowej we wszystkich krajach Unii, w których energia ta była wcześniej wykorzystywana. Dla kraju takiego jak Polska przewiduje się, że energia jądrowa będzie alternatywą dla elektrowni węglowych. Największy procent wykorzystania elektrowni jądrowych w 2050 r. jest przewidywany dla Słowacji (59%), Węgier (58%) oraz Czech (54%). Warto w tym miejscu zaznaczyć, iż udział energii jądrowej w wytwarzaniu energii elektrycznej we Francji zostanie zredukowany do 39% na rzecz odnawialnych źródeł energii. Przewidywany jest znaczny spadek wykorzystania elektrowni węglowych. Największy ich udział przewiduje się dla Polski (26%), a następnie dla Bułgarii i Niemiec (21%). Ropa naftowa ma nie być używana do wytwarzania energii elektrycznej. Wykorzystanie elektrowni gazowych zdecydowanie wzrośnie na terenie całej Unii. Najwyższe prognozuje się dla Luksemburga (82%) i Malty na (78%). Wysoki wskaźnik wykorzystania gazu będą także miały Belgia (59%) i Cypr (58%). Biomasa do zasilania elektrowni ma być w największym stopniu wykorzystywana w Estonii (25%), Finlandii (25%) oraz Danii (22%). Elektrownie wodne w większości będą wykorzystywane w Austrii (51%). Znaczny ich udział widać też w Chorwacji i Portugalii (37%). Podstawą energetyki Unii Europejskiej mają być elektrownie wiatrowe. Największy ich udział ma być notowany w Danii (56%), Irlandii (49%) oraz Estonii (42%). Elektrownie słoneczne największe wykorzystanie znajdą w krajach takich jak Hiszpania (33%), Grecja (28%) oraz Cypr (26%).

Analizując prognozy dotyczące kształtowania się energetyki w kolejnych latach, stwierdzono, że we wszystkich państwach Unii Europejskiej energetyka bazująca na paliwach kopalnych ma być stopniowo zastępowana źródłami odnawialnymi, głównie elektrowniami wiatrowymi. Co ciekawe, w krajach, w których już teraz rozwinięta jest energetyka oparta na elektrowniach jądrowych (np. we Francji), wykorzystanie tych elektrowni w kolejnych latach będzie malało na rzecz elektrowni wiatrowych. Istotny jest fakt, iż w krajach, w których nie ma elektrowni jądrowych, takich jak Polska czy Litwa, te właśnie elektrownie są brane pod uwagę jako alternatywa dla zmniejszenia udziału węgla (Polska) czy gazu (Litwa) w energetyce.

### Analiza emisji gazów cieplarnianych w transporcie publicznym

Na podstawie wyników analiz udziału poszczególnych źródeł energii w wytwarzaniu energii elektrycznej w krajach Unii Europejskiej oraz analiz dotyczą-

cych emisji gazów cieplarnianych dla każdego ze źródeł energii oszacowano wielkość emisji gazów cieplarnianych (GHG) autobusów elektrycznych w każdym z 28 krajów Unii Europejskiej. W celu dokonania obliczeń emisji gazów cieplarnianych autobusów elektrycznych opracowano wzór (1). Danymi niezbędnymi do obliczeń emisji GHG dla autobusów elektrycznych (w jednostce g CO<sub>2</sub> eq/100km) były: udział procentowy poszczególnych źródeł energii dla każdego kraju Unii Europejskiej dla wszystkich lat uwzględnionych w analizach ( $U_{zr}$ ), wartość emisji poszczególnego źródła ( $GHG_{zr}$ ) (wyrażona w g CO<sub>2</sub> eq/kWh) dla każdego źródła energii oraz zużycie energii do ładowania akumulatora w autobusie na 100 km (FU).

$$GHG_{autobus} = (GHG_{zr 1-8} * U_{zr 1-8}) * E_{autobusu}, (1)$$

gdzie:

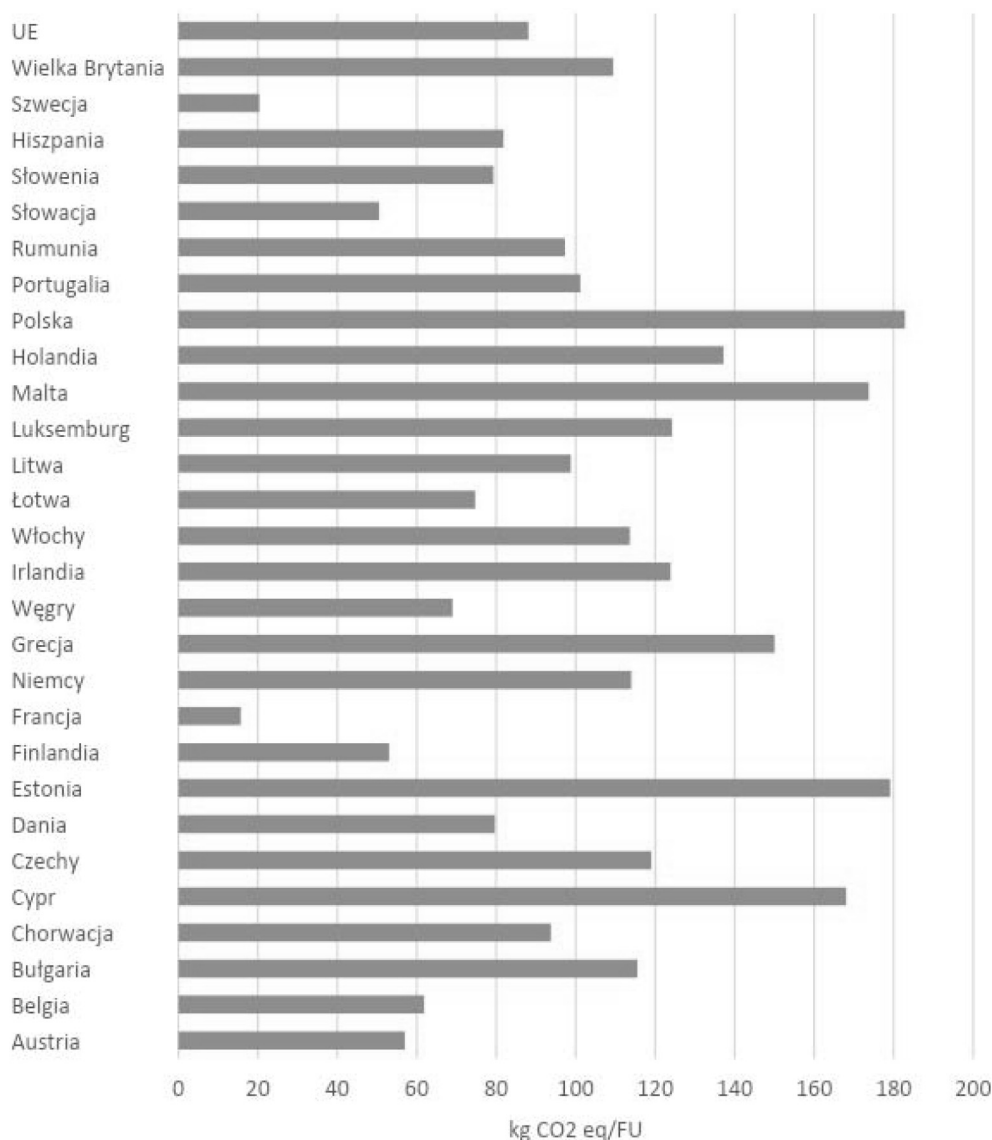
- $GHG_{autobusu}$  — emisja gazów cieplarnianych generowanych przez autobus, g CO<sub>2</sub> eq/100km;
- $GHG_{zr 1-8}$  — emisja gazów cieplarnianych z wytwarzania 1kWh dla poszczególnych źródeł energii, g CO<sub>2</sub> eq/kWh;
- $U_{zr 1-8}$  — procentowy udział źródła energii w miksie energetycznym danego kraju UE;
- $E_{autobusu}$  — zużycie energii elektrycznej do ładowania akumulatora w autobusie.

Na podstawie przeanalizowanych danych oraz wykorzystując wzór (1), wykonano obliczenia emisji gazów cieplarnianych w 28 krajach Unii Europejskiej, biorąc pod uwagę mikś energetyczny każdego z krajów stosowany do wytwarzania energii elektrycznej. Wyniki dla 2015 r. oraz prognozy na lata 2020, 2030 i 2050 przedstawiono na rysunkach 5–8.

Jak widać na rysunku 5, w 2015 r. najwyższy wskaźnik emisji gazów cieplarnianych elektrycznych autobusów miejskich wykazano dla Polski, natomiast najniższy dla Francji. Wynika to z faktu, że francuski mikś energetyczny bazuje przede wszystkim na elektrowniach jądrowych, dla których emisja gazów cieplarnianych jest na niskim poziomie. W Polsce natomiast energetyka bazuje na elektrowniach zasilanych węglem, stąd tak wysoki wskaźnik emisji gazów cieplarnianych przy ładowaniu elektrycznych autobusów. Podobnie wysoki wskaźnik emisji GHG wykazano dla Estonii, której energetyka również opiera się na elektrowniach węglowych, oraz dla Malty, gdzie mikś energetyczny bazuje na elektrowniach zasilanych ropą naftową. Wielkość emisji gazów cieplarnianych w tych ostatnich jest zbliżona do emisji w elektrowniach węglowych. Niski wskaźnik emisji GHG przy ładowaniu elektrycznych autobusów miejskich wykazano dla

Rysunek 5

Emisja GHG związana z ładowaniem autobusów elektrycznych w krajach UE w 2015 r.



Źródło: opracowanie własne.

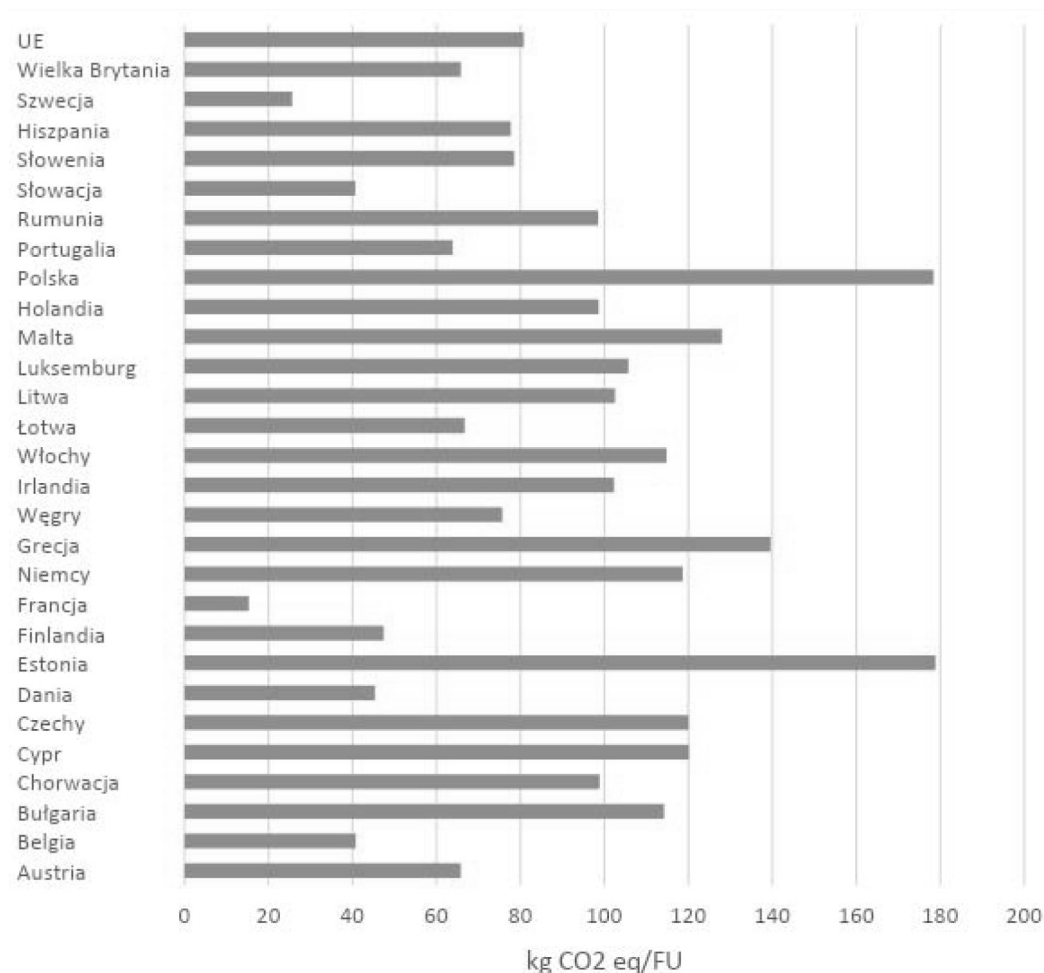
Szwecji. Wynika to z faktu, iż wytwarzanie energii elektrycznej w tym kraju bazuje głównie na elektrowniach wodnych (45%) oraz jądrowych (36%).

Na rysunku 6 przedstawiono prognozę emisji GHG związanej z ładowaniem miejskich autobusów elektrycznych na rok 2020. Tak jak w roku 2015 najniższymi wskaźnikami emisji GHG wykazują się Francja i Szwecja, natomiast najwyższymi Estonia i Polska. Należy jednak zaznaczyć, iż wskaźniki te ulegają zmniejszeniu w wyniku redukcji wykorzystania elektrowni węglowych w energetyce na rzecz bardziej ekologicznych rozwiązań, takich jak odnawialne źródła energii. Tendencja ta jest obserwowana w większości krajów Unii Europejskiej, w których wykorzystuje się elektrownie zasilane węglem.

Jak pokazano na rysunku 7, w roku 2030 przewidywane jest dalsze zmniejszanie wskaźników emisji GHG przy ładowaniu autobusów elektrycznych w wyniku odchodzenia od źródeł energii emitujących znaczne ilości gazów cieplarnianych, takich jak węgiel czy ropa naftowa i zastępowanie ich bardziej ekologicznymi, takimi jak gaz czy odnawialne źródła energii (głównie elektrownie wiatrowe). W przypadku tych krajów, które charakteryzują się najwyższymi wskaźnikami emisji GHG powodowanej przez autobusy elektryczne, czyli Polski i Estonii, widać konsekwentne dążenia do ograniczenia zużycia węgla w energetyce i zastępowania go elektrowniami gazowymi oraz wiatrowymi. We Francji, gdzie wskaźnik takiej emisji jest najniższy, widocz-

## Rysunek 6

Emisja GHG związana z ładowaniem autobusów elektrycznych w krajach UE. Prognoza na 2020 r.



Źródło: opracowanie własne.

ne są tendencje do zastępowania elektrowni jądrowych elektrowniami korzystającymi ze źródeł odnawialnych. Kraje takie jak Słowacja czy Węgry uzyskują zmniejszenie wskaźników emisji poprzez stawianie na rozwój elektrowni jądrowych, którymi zastępują elektrownie węglowe. Dania natomiast zmniejsza emisję GHG, rozwijając elektrownie wiatrowe i zasilane biomasą, które zastępują te zasilane węglem.

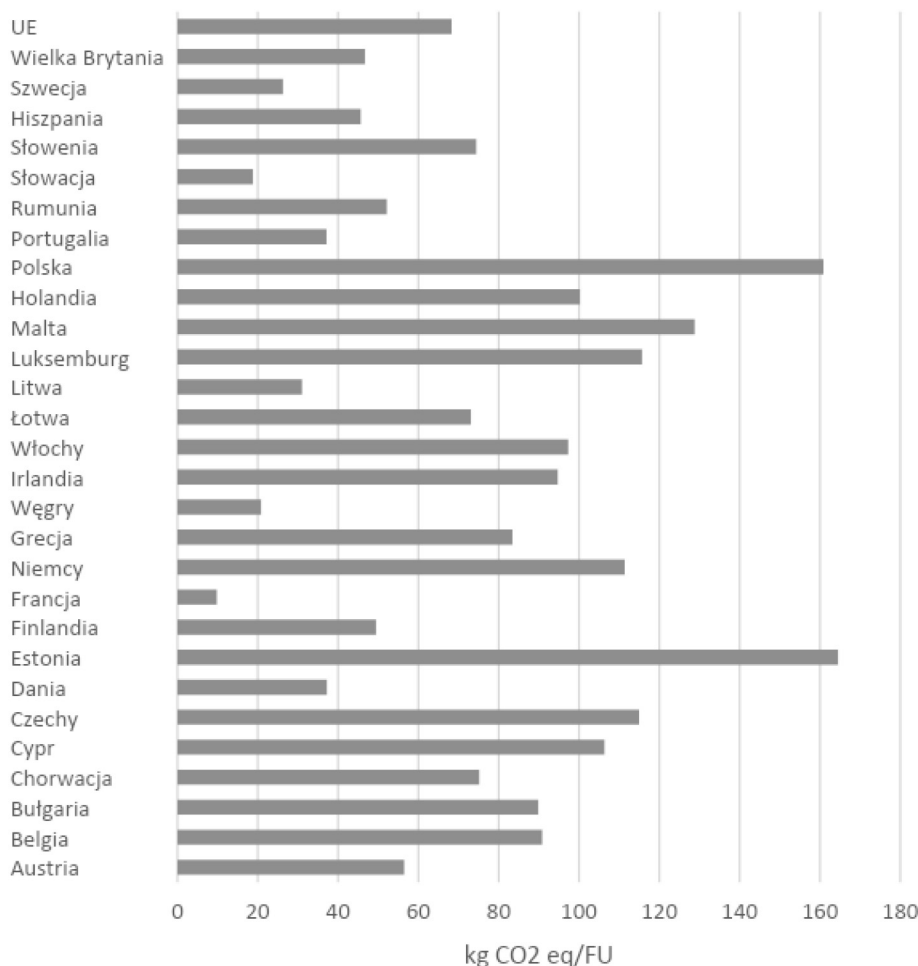
Na rysunku 8, gdzie przedstawiono prognozy na rok 2050, widać zdecydowane zmniejszenie wskaźników emisji GHG dla krajów, których energetyka bazowała na elektrowniach węglowych. W Polsce do tego czasu mają pojawić się elektrownie jądrowe oraz ciągle ma postępować rozwój elektrowni wiatrowych. W Estonii, również charakteryzującej się najwyższymi wskaźnikami emisji GHG przy ładowaniu autobusów elektrycznych, uzyskano ich zmniejszenie przez rozwój elektrowni korzystających z odnawialnych źródeł energii oraz dalsze zastępowanie elektrowni węglowych elektrowniami zasilanymi gazem i biomasą.

### Analiza porównawcza autobusu elektrycznego z autobusem z silnikiem spalinowym

Dodatkowo przeprowadzono analizę porównawczą emisji gazów cieplarnianych dla elektrycznych autobusów miejskich oraz emisji gazów cieplarnianych generowanej przez autobusy o konwencjonalnym napędzie, zasilane silnikiem wysokoprężnym klasy emisji Euro 5. Zgodnie ze wskazaniami literatury przedmiotu emisja GHG autobusu z silnikiem spalinowym kształtuje się na poziomie od 95,4 do 99,4 kg CO<sub>2</sub> eq/FU (Pielecha i in., 2016; eaf0.eu). Na podstawie przeprowadzonych analiz wykazano, że w wielu krajach Unii Europejskiej, w tym w Polsce, użytkowanie autobusu elektrycznego jest dziś bardziej szkodliwe dla środowiska niż korzystanie z konwencjonalnego autobusu z silnikiem spalinowym. Jest to związane z ładowaniem akumulatorów z sieci elektroenergetycznej, w której głównym źródłem energii jest węgiel. Z drugiej strony jednak, w większej liczbie krajów

## Rysunek 7

Emisja GHG związana z ładowaniem autobusów elektrycznych w krajach UE.  
Proгноza na 2030 r.



Źródło: opracowanie własne.

UE, gdzie energia elektryczna jest pozyskiwana z ekologicznych źródeł, wymiana taboru z silnikiem spalinowym na tabor elektryczny przyniesie znaczne korzyści dla środowiska, na przykład we Francji, Szwecji, Słowacji itd. Co więcej, na podstawie przeprowadzonych prognoz zużycia energii w poszczególnych krajach i zmian w miksach energetycznych krajów Unii Europejskiej, gdzie użytkowanie autobusów elektrycznych będzie stawać się coraz bardziej ekologiczne, można twierdzić, że wymiana taboru pojazdów spalinowych na elektryczne powinna odbywać się już teraz. Prognoza na rok 2050 pokazuje, iż prawie we wszystkich krajach Unii Europejskiej użytkowanie autobusów elektrycznych będzie miało znacznie mniejszy negatywny wpływ na środowisko, związany z emisją gazów cieplarnianych, niż ma to miejsce w przypadku autobusów z silnikiem spalinowym.

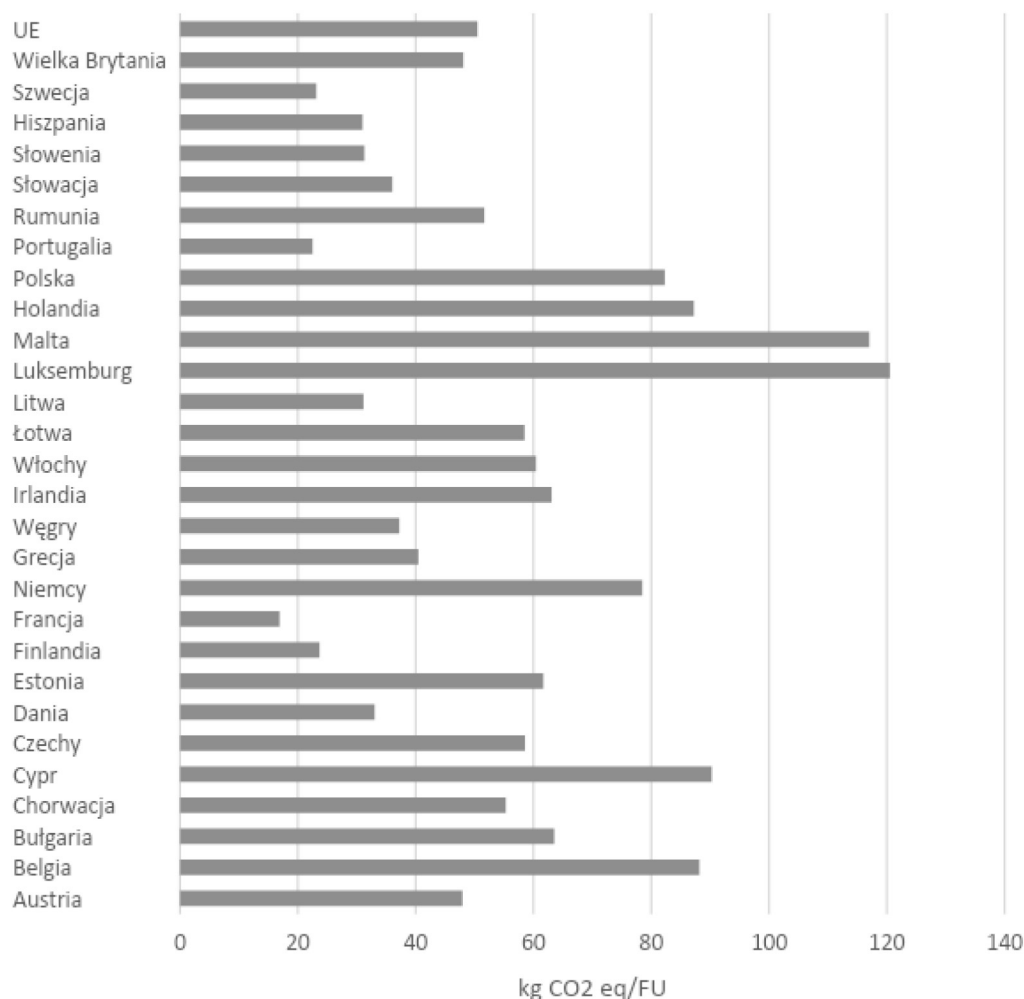
## Wnioski

W artykule dokonano analizy emisji gazów cieplarnianych związanej z ładowaniem autobusów elektrycznych w poszczególnych krajach Unii Europejskiej. Wykazano, iż sektor transportu, będący jednym z głównych sektorów emitujących najwięcej szkodliwych zanieczyszczeń do atmosfery, musi zostać poddany zmianom. Ze względu na wyczerpywanie się złóż ropy naftowej, poszukiwane są różne zamienniki napędów w transporcie drogowym. Alternatywą, która zyskuje największą popularność, jest napęd elektryczny. Najszybszy rozwój tego napędu można zaobserwować w autobusowym transporcie miejskim. Zachęty stosowane przez Komisję Europejską znacznie przyczyniają się do poprawy ekologiczności transportu na terenie całej Unii oraz rozwoju alternatywnych napędów w transporcie drogo-



Rysunek 8

Emisja GHG związana z ładowaniem autobusów elektrycznych w krajach UE. Prognoza na 2050 r.



Źródło: opracowanie własne.

wym. Podobną funkcję pełnią obostrzenia zniechęcające do inwestowania w napędy konwencjonalne.

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że w państwach, w których energetyka bazuje na energii jądrowej bądź na źródłach odnawialnych, ładowanie akumulatorów w miejskich autobusach elektrycznych charakteryzuje się najniższym wskaźni-

kiem emisji gazów cieplarnianych. Wykazano także, że przy aktualnym systemie energetycznym niektórych krajów napęd elektryczny nie jest bardziej ekologiczny od napędu konwencjonalnego, lecz w miarę zachodzenia zmian, jakie wymusza Unia Europejska, miejskie autobusy elektryczne staną się przyszłością zrównoważonego transportu publicznego.

## Przypisy/Notes

<sup>1</sup> Analizę prowadzono przed brexitem, a zatem uwzględniono w niej także Wielką Brytanię.

## Bibliografia/References

- Borucka, A., Załęski, Ł. (2017). Car-pooling w aspekcie zrównoważonego rozwoju transportu. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (5), 51–64.
- Boya, Z., Ye, W., Bin, Z., Renjie, W., Wenwei, K. (2016). Real-world performance of battery electric buses and their life-cycle benefits with respect to energy consumption and carbon dioxide emissions. *Energy*, 96, 603–613. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.041>
- Burchart-Korol, D. (2019). *The possibilities and challenges for application of life cycle assessment for support sustainable transport*. W: 8th Carpathian Logistics Congress. CLC 2018, November 3rd–5th 2018, Prague, Czech Republic. Conference proceedings. Ostrava: Tanger, 157–163.

- Burchart-Korol, D., Fołęga, P. (2019). Impact of road transport means on climate change and human health in Poland. *Promet-Traffic & Transportation*, (2), 195–204
- Burchart-Korol, D., Jursova, D., Fołęga, P., Korol, J., Pustejovska, P., Blaut, A. (2018). Environmental life cycle assessment of electric vehicles in Poland and the Czech Republic. *Journal of Cleaner Production*, 202, 476–487. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.145>
- Cholewa, M. (2015). Planowanie gospodarki niskoemisyjnej — proekologiczne rozwiązania w transporcie. W: J. Kulczyka (red.). *Spolecznie odpowiedzialne zarządzania w teorii i praktyce*. Kraków: AGH.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/33/WE z dnia 23.04.2009 r. w sprawie promowania ekologicznie czystych i energooszczędnych pojazdów transportu drogowego. Dz. Urz. UE, 15.05.2009 r.
- Ercan, T., Tatari, O. (2015). A hybrid life cycle assessment of public transportation buses with alternative fuel options. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, (5), 1213–1232. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0927-2>
- GUS (2019). Transport i łączność: Przewozy ładunków transportem drogowym. Raport roczny. Warszawa: GUS.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). IPCC Fifth Assessment Report. *The Physical Science Basis*. Available online: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> (8.06.2019). <https://doi.org/10.1080/01944363.2014.954464>
- ISO (2006). ISO 14040:2006 Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.1065/lca2005.03.001>
- ISO (2006). ISO 14044:2006 Environmental Management-Life Cycle Assessment-Requirements and Guidelines; International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.3403/30290345u>
- Jursova, S., Burchart-Korol, D., Pustejovska, P. (2019). Carbon footprint and water footprint of electric vehicles and batteries charging in view of various sources of power supply in the Czech Republic. *Environments*, (38), 1–11. <https://doi.org/10.3390/environments6030038>
- Kupczyk, A., Mączyńska, J., Sikora, M., Gawron, J., Tucki, K. (2017). Stan obecny i przyszłość biopaliw wykorzystywanych w transporcie Państw Członkowskich w świetle regulacji prawnych UE. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (10), 16–22.
- Kuźmiński, J. (2016). *Miejskie Zakłady Autobusowe Warszawa: Autobusy niskoemisyjne w Warszawie*. 10 Konferencja naukowo techniczna miasto i transport. Warszawa, [http://www.miastoittransport.il.pw.edu.pl/4\\_MIT2016.pdf](http://www.miastoittransport.il.pw.edu.pl/4_MIT2016.pdf)
- Morawska-Kolasińska, K., Mazurkiewicz, G. (2018). Realizacja koncepcji zrównoważonego transportu na przykładzie żeglugi śródlądowej na górnej Łabie. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (7), 155–167.
- Pielecha, J., Magdziak, A., Markowski, J., Jasiński, R. (2016). Ekologiczna ocena eksploatacyjna autobusów miejskich z zastosowaniem wybranych stabilizatorów do paliw. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, (12), 1289–1296.
- The International Energy Agency. (2016). — Data inventory of electricity generation mix, Energy Policies of IEA Countries — EU28: Reference scenario National Technical University of Athens.
- Uzewicz, T. (2018). Bezpieczeństwo transportu morskiego w świetle strategii Unii Europejskiej w zakresie bezpieczeństwa morskiego. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, (12), 1251–1261. [www.eafo.eu/vehicles-and-fleet/m1](http://www.eafo.eu/vehicles-and-fleet/m1) (4.09.2019).
- Zalewski, W. (2016). *Rachunek kosztów działań w zarządzaniu przedsiębiorstwem transportu drogowego*. Toruń: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika. <https://doi.org/10.33141/po.2018.12.03>

#### Dr hab. inż. Dorota Burchart-Korol, prof. PŚ

W roku 1999 ukończyła studia na Wydziale Organizacji i Zarządzania Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W 2014 r. uzyskała stopień doktora habilitowanego w dyscyplinie inżynieria środowiska w Głównym Instytucie Górnictwa. Jest profesorem nadzwyczajnym na Wydziale Transportu i Inżynierii Lotniczej Politechniki Śląskiej. Specjalność — transport i inżynieria środowiska.

#### Mgr inż. Adam Łamacz

W roku 2019 ukończył studia na Wydziale Transportu Politechniki Śląskiej w Katowicach na kierunku Transport i Spedycja Drogowa. Od sierpnia 2019 r. pracuje na stanowisku młodszego specjalisty ds. zakupów w firmie Valeo Electric and Electronic Systems w Czechowicach-Dziedzicach.

#### Dr hab. inż. Dorota Burchart-Korol, prof. PŚ

In 1999 she graduated from the Faculty of Organization and Management at the Silesian University of Technology in Gliwice. In 2014, she obtained the degree of habilitated doctor in the discipline of environmental engineering at the Central Mining Institute. She is an associate professor at the Faculty of Transport and Aviation Engineering of the Silesian University of Technology. Specialization — transport and environmental engineering.

#### Mgr inż. Adam Łamacz

In 2019 he graduated from the Faculty of Transport at the Silesian University of Technology in Katowice on specialization Road Transport and Spedition. Since August 2019 he works as Junior Purchasing Specialist in Valeo Electric and Electronic Systems in Czechowice-Dziedzice.