DEVELOPMENTS IN MECHANICAL ENGINEERING
ISSN: 2720-0639 DOI: 10.37660/dme.2020.16.8.1 16(8)2020

Analiza ekonomiczna i ekologiczna użytkowania samochodów elektrycznych w warunkach polskich

Miłosz Baranowski[1*], Jakub Miler[2]

[1] Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Polska; e-mail: milbar002@utp.edu.pl
[2] Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Polska; e-mail: jakmil002@utp.edu.pl
[*] Autor korespondencyjny; e-mail: milbar002@utp.edu.pl

Streszczenie: W pracy przeanalizowano gotowość Polski do pełnej elektryfikacji w przemyśle motoryzacyjnym. Przedstawiono infrastrukturę ładowania samochodów elektrycznych w Polsce. Porównano koszty użytkowania pojazdów z napędem spalinowym oraz elektrycznym, jak również poddano je analizie w aspekcie ekologicznym. Obiektem oceny stały się popularne samochody osobowe segmentu C. Opracowane wyniki stanowią podstawę do założenia, iż obecnie Polska nie klasyfikuje się do państw, w których transport indywidualny realizowany przy użyciu pojazdów z napędem elektrycznym jest uzasadniony.

Słowa kluczowe: samochód elektryczny, ładowanie pojazdów elektrycznych, emisja CO_2, przemysł energetyczny

---

Economic and ecological analysis of the use of electric cars in Polish conditions

Miłosz Baranowski[1*], Jakub Miler[2]

[1] UTP University of Science and Technology, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Poland; e-mail: milbar002@utp.edu.pl
[2] UTP University of Science and Technology, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Poland; e-mail: jakmil002@utp.edu.pl
[*] Correspondent author; e-mail: milbar002@utp.edu.pl

Summary: In this article there is presented the availability Poland's for full electrification in the automotive industry. The infrastructure for charging electric cars in Poland was presented. The costs of using vehicles with internal combustion and electric drives were compared, and they were also analyzed in terms of ecology. The object of the analysis was the popular C segment passenger cars. The developed results constitute the basis for the assumption that Poland is currently not classified among the countries where individual transport using electric vehicles is justified.

Key words: electric car, charging electric vehicles, CO_2 emissions, energy industry

1. Wstęp

Popularyzacja samochodów elektrycznych ma charakter zarówno ekologiczny, jak i polityczny. Rosnąca świadomość o negatywnym wpływie spalin na środowisko stanowi jedną z głównych przyczyn do wzmożenia działań na rzecz jego ochrony. Obecnie dąży się do uniezależnienia się od paliw kopalnych, w tym ropy naftowej, której zasoby są ograniczone, a ceny w dużej mierze zależą od największych światowych producentów.

Polska jako kraj członkowski Unii Europejskiej zobowiązana jest do działań zgodnych z dyrektywami Parlamentu Europejskiego, który prowadzi politykę proekologiczną, również w sektorze transportu. W związku z tym, polski rząd stara się zachęcić obywateli do zakupu pojazdów z napędem elektrycznym, a zarazem ograniczyć emisję szkodliwych substancji do atmosfery, będących następstwem pracy konwencjonalnych silników spalinowych.

W artykule przedstawiono obecny stan infrastruktury ładowania pojazdów zasilanych energią elektryczną, a także opisano stymulanty rozwoju elektromobilności w Polsce. Dokonano ponadto analizy finansowej i ekologicznej, porównując ze sobą pojazdy elektryczne i spalinowe. Głównym celem pracy było określenie efektywności ekonomicznej i ekologicznej użytkowania pojazdu elektrycznego w warunkach polskich.

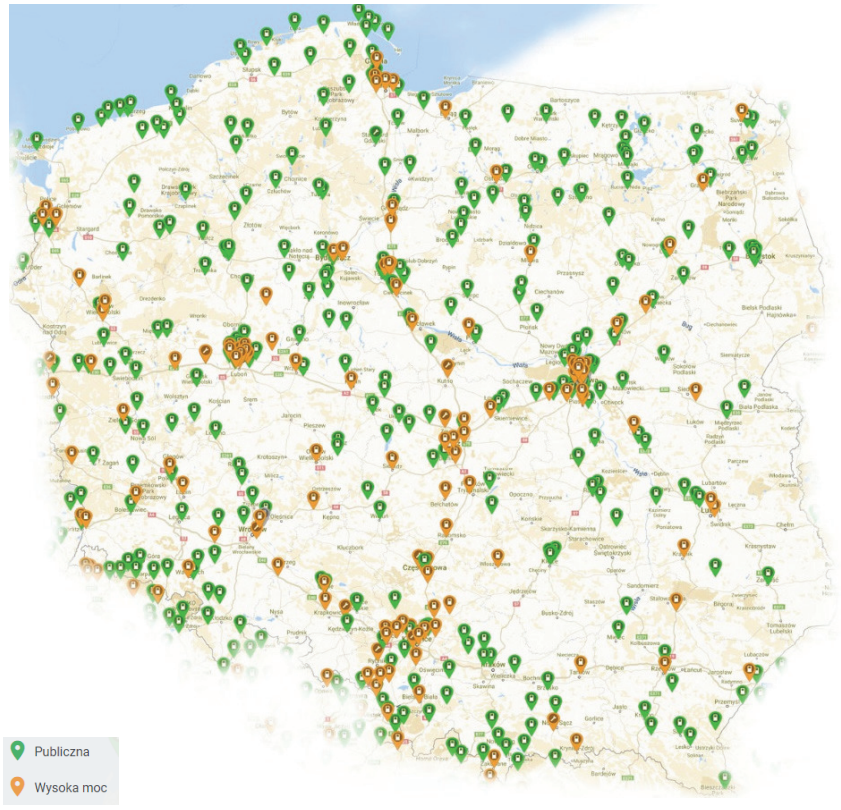
2. Infrastruktura ładowania pojazdów elektrycznych oraz stymulanty rozwoju elektromobilności w Polsce

Bezpośredni wpływ na rozwój użytkowania pojazdów elektrycznych na terenie Polski ma stan infrastruktury ładowania. Średni zasięg pojazdów z niekonwencjonalnym rodzajem napędu wynosi od około 200 do 400 kilometrów, dlatego dla komfortowego podróżowania wymagana jest wysoko rozwinięta infrastruktura. W Polsce wyróżnia się dwa rodzaje urządzeń umożliwiających naładowanie akumulatora pojazdu elektrycznego lub hybrydowego, nazywane punktami ładowania. Należą do nich:

- punkty ładowania o mocy normalnej – wyposażone w urządzenia o mocy ładowania od 3,7 kW do 22 kW (stacje prądu zmiennego AC);
- punkty ładowania o mocy dużej – większej niż 22 kW (stacje prądu stałego DC).

Punkt ładowania stanowi element infrastruktury drogowego transportu publicznego, który definiuje również występowanie wyznaczonego miejsca postojowego oraz jednostki monitorującej i sterującej ładowaniem, przystosowanej do pobierania opłat. Lokalizacja stacji ładowania zależna jest od obiektów wpływających na zwiększenie ruchu pojazdów, zatem najwięcej ładowarek znaleźć można przy drogach publicznych, na terenie parkingów oraz stacji benzynowych, przy centrach handlowych oraz innych obiektach, takich jak: parki, stacje serwisowe i restauracje.

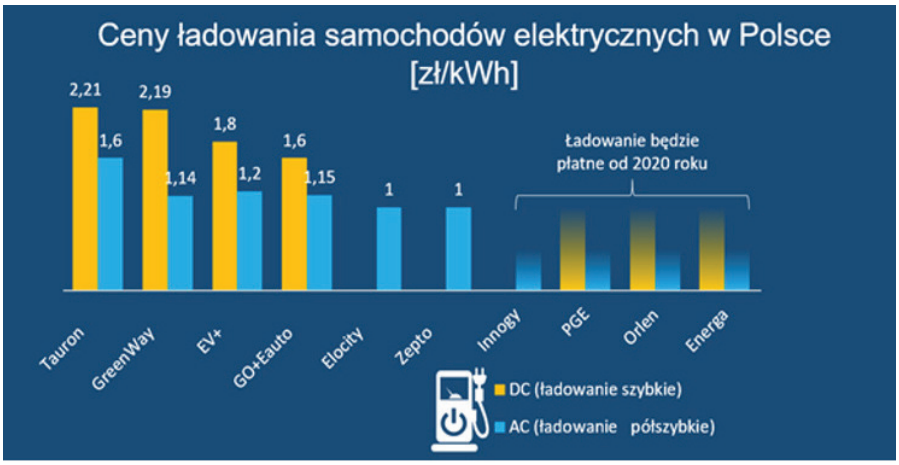
Zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2014/94/UE do końca 2020 roku we wszystkich państwach członkowskich UE na każde 10 zarejestrowanych pojazdów elektrycznych musi przypadać jeden publiczny punkt ładowania, co jest zgodne z aktualną sytuacją w Polsce. Według danych Polskiego Stowarzyszenia Paliw Alternatywnych w czerwcu 2020 roku w naszym kraju zasilono w energię elektryczną 1131 punktów ładowania, w tym 772 stacji prądu zmiennego. Nie należy jednak brać pod uwagę tej liczby jako liczby stacji ładowania, ponieważ większość z tych punktów stanowi gniazda o napięciu 230 V udostępnione do użytku zewnętrznego. Na rysunku 1 przedstawiono rozmieszczenie ładowarek na terenie Polski [2, 4, 5].



Rys. 1. Mapa stacji ładowania na terenie Polski [6]
Fig. 1. Map of charging stations in Poland [6]

Na południowo-wschodnim oraz północno-zachodnim obszarze kraju występuje znacząco mniejsza liczba stacji szybkiego ładowania, co utrudnia komfortowe podróżowanie pojazdem z napędem elektrycznym. W naszym kraju zdecydowanie łatwiejsze jest planowanie podróży krótkodystansowych dzięki większej liczbie punktów ładowania wysokiej mocy rozmieszczonych wokół dużych aglomeracji miejskich. Na tle krajów Unii Europejskiej Polska ze względu na stan infrastruktury (z wyszczególnieniem stacji szybkiego ładowania) zajmuje 17. miejsce [7].

Koszt podróży pojazdem z niekonwencjonalnym napędem zależny jest głównie od parametrów silnika elektrycznego stosowanego w konkretnym pojeździe oraz od bieżących cen energii elektrycznej, a więc idzie stawek ustanowionych przez operatorów będących właścicielami punktów ładowania (rys. 2) [8].



Rys. 2. Ceny ładowania pojazdów elektrycznych w Polsce z podziałem na operatorów [8]
Fig. 2. Vehicle charging prices in Poland divided into operators [8]

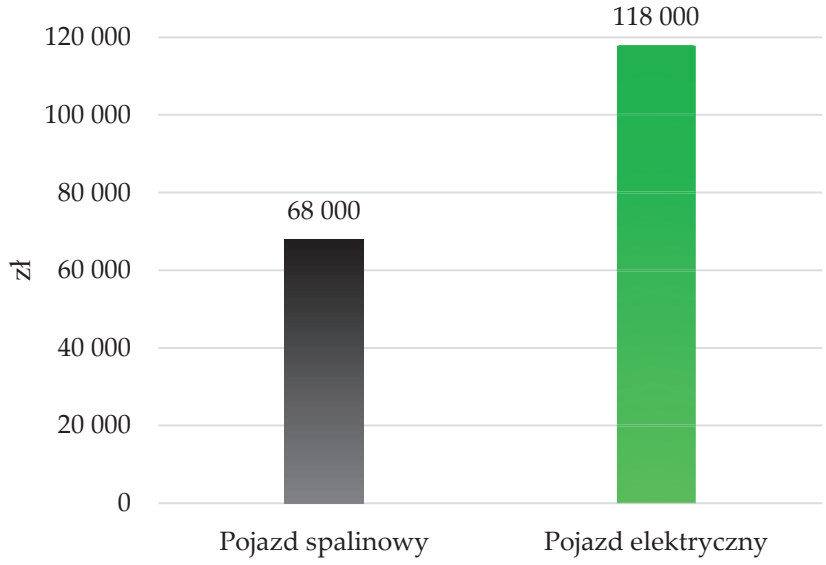
Czas ładowania akumulatora w pojeździe uzależniony jest natomiast od jego pojemności, mocy ładowarki oraz rodzaju prądu ładowania (prądu zmiennego AC lub stałego DC). Najkrótszy czas akumulacji energii ma miejsce dzięki wykorzystaniu prądu stałego DC.

W ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych z dnia 11 stycznia 2018 roku określono przywileje i udogodnienia płynące z posiadania pojazdu z napędem elektrycznym. Celem ich sformułowania było zachęcenie do zakupu takiego pojazdu, co skutkować miałoby pozytywnym wpływem na jakość środowiska oraz rozwoju szeroko rozumianej elektromobilności. Jednym z udogodnień dla posiadaczy pojazdów BEV (ang. *Battery Electric Vehicle*) jest prawo do poruszania się buspasami, czyli pasami ruchu wyznaczonymi dla ruchu pojazdów komunikacji miejskiej. Przywilej ten umożliwia uniknięcie zatorów drogowych, co skutkuje krótszym czasem podróży. Kolejną zaletą posiadania pojazdu z napędem elektrycznym jest darmowe parkowanie w strefach płatnego parkowania na terenie całego kraju. Są to korzyści płynące z posiadania pojazdu o napędzie niekonwencjonalnym, natomiast oprócz nich zostały również uchwalone postulaty stanowiące zachętę do zakupu takiego pojazdu. Jedną z zachęt stanowi zwolnienie z obowiązku opłacenia podatku akcyzowego przy zakupie pojazdu elektrycznego lub hybrydowego [4].

Uchwalona przez sejm ustawa z dnia 6 czerwca 2018 przyczyniła się do powstania w Polsce Funduszu Niskoemisyjnego Transportu. Jest to organizacja wspierająca finansowo projekty związane z elektromobilnością. W wyniku utworzenia tej organizacji powstało rozporządzenie związane z dofinansowaniem zakupu nowego pojazdu BEV przez klientów indywidualnych. Dopłata do kupowanego pojazdu stanowiła 30% jego ceny katalogowej, przy czym nie mogła wynosić więcej niż 37 500 złotych. W przypadku zakupu samochodu przez firmę maksymalna cena kupowanego pojazdu wynosiła 125 000 złotych netto. W 2020 roku z projektu skorzystało 344 beneficjentów. Ze względu na małe zainteresowanie dofinansowaniem spowodowane pandemią koronawirusa Narodowy Fundusz Środowiska i Gospodarki Wodnej przewiduje modyfikację i ogłoszenie nowych programów dofinansowań w pierwszym kwartale 2021 roku [4].

3. Analiza ekonomiczna

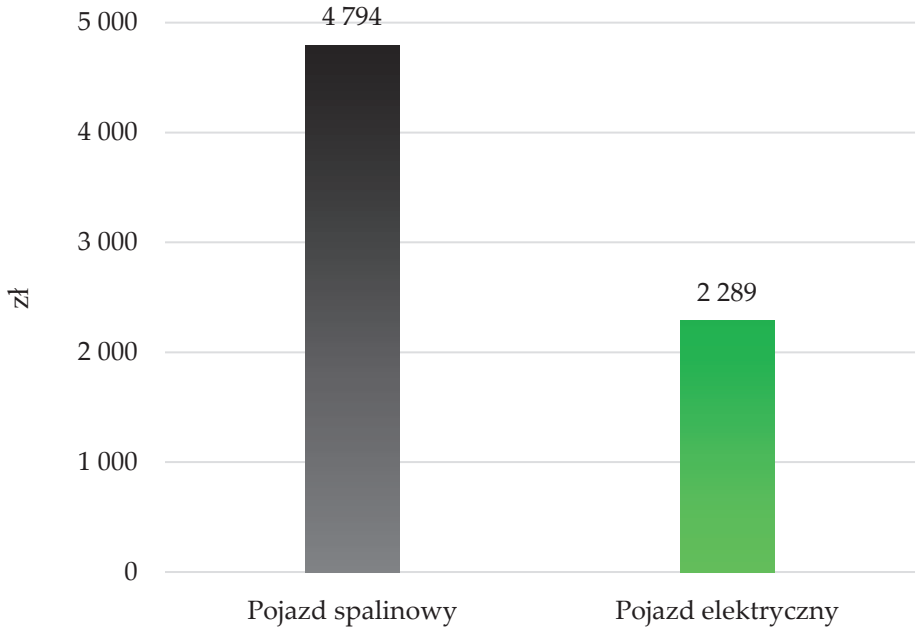
Rozwój technologii, a także zaostrzane normy emisji spalin oraz polityka proekologiczna przyczyniły się do spopularyzowania napędów elektrycznych, które stały się alternatywą dla konwencjonalnych układów napędowych wyposażonych w silniki spalinowe. Dla potencjonalnego użytkownika pojazdu z napędem wykorzystującym energię elektryczną istotnym czynnikiem będą koszty związane z eksploatacją auta. Biorąc pod uwagę, iż samochody elektryczne są zdecydowanie droższe od swoich spalinowych odpowiedników (rys. 3), należy przeanalizować, czy oszczędności wynikające z użytkowania pojazdu elektrycznego są w stanie pokryć różnicę w cenie. W celu ekonomicznego uzasadnienia wyboru samochodu z napędem elektrycznym oblicza się koszty całkowite, jakie poniesie kupujący podczas okresu jego eksploatacji oraz porównuje się je z kosztami użytkowania samochodu z napędem konwencjonalnym. W związku z powyższym przygotowano analizę obejmującą popularne w Polsce samochody osobowe segmentu C z napędem elektrycznym oraz spalinowym. Przyjęto roczne przebiegi pojazdów na poziomie 20 000 km, podczas 5-letniej eksploatacji w warunkach polskich [9, 10].



Rys. 3. Cena zakupu nowego pojazdu z napędem spalinowym oraz elektrycznym [9, 10]
Fig. 3. The purchase price of a new vehicle with internal combustion and electric drive [9, 10]

Nowy samochód z napędem elektrycznym jest o ok. 73% droższy od swojego benzynowego odpowiednika. Biorąc pod uwagę planowane rządowe dofinansowania do zakupu pojazdów elektrycznych, cena ta może ulec pomniejszeniu o wartość 19 000 zł. Wówczas koszt kupna analizowanego pojazdu typu BEV wyniósłby 99 000 zł, stanowiąc tym samym blisko 146% ceny pojazdu z napędem konwencjonalnym, co może zdecydowanie zmniejszać popyt, a zarazem ograniczać rozwój elektromobilności w Polsce. Kluczowym aspektem w tym kontekście jest rozkład kosztów wynikający z wieloletniej eksploatacji pojazdu. Samochody z napędem elektrycznym cechują się

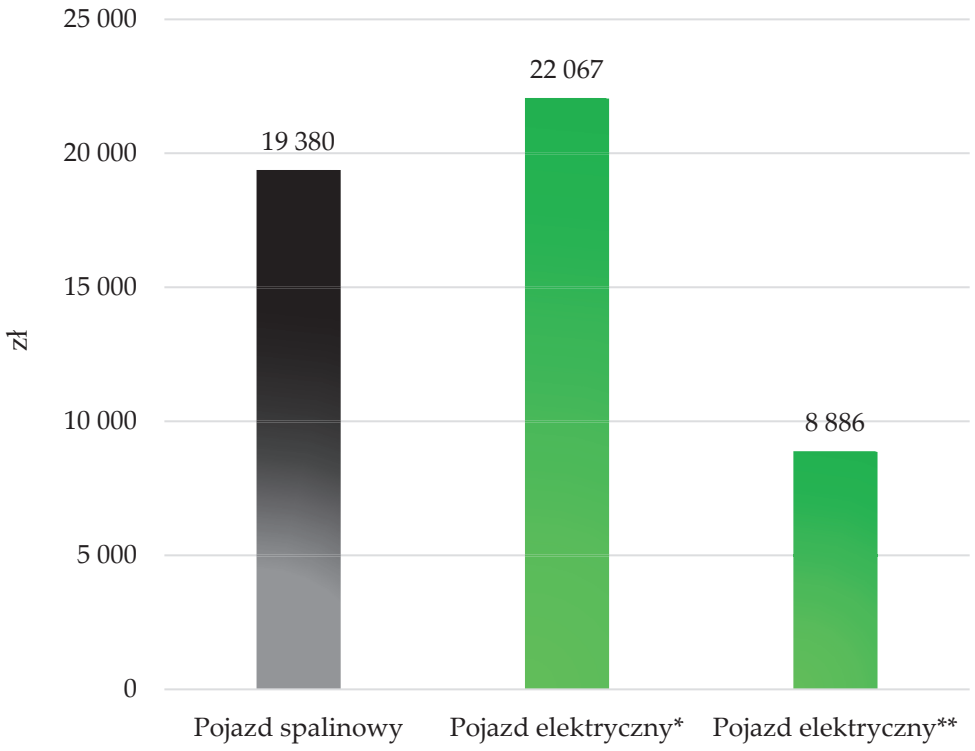
prostą konstrukcją, gdyż w porównaniu z pojazdami wyposażonymi w silnik spalinowy nie posiadają układów takich jak np.: układ dolotowy, wydechowy czy też układ chłodzenia i smarowania silnika. Mniejsza liczba części podlegających obsłudze technicznej to również mniejsze koszty, jakie poniesie użytkownik. Na rys. 4 przedstawiono przybliżone koszty serwisowania samochodów z różnymi rodzajami napędu, w zakładanym pięcioletnim okresie eksploatacji [3].



Rys. 4. Średni koszt serwisowania pojazdu spalinowego oraz elektrycznego w 5-letnim okresie eksploatacji [3]
Fig. 4. Average maintenance cost an internal combustion and electric vehicle over a 5-year period of operation [3]

W kwestii finansowej ważnym aspektem użytkowania pojazdu jest również koszt przejechania danego dystansu. Obecne silniki spalinowe charakteryzują się niewielkim zużyciem paliwa, wynikającym z udoskonalenia dobrze znanych konstrukcji. Samochód segmentu C wyposażony w benzynowy silnik o mocy 115 KM i pojemności 1197 cm^3 zużywa średnio 4,75l/100 km w cyklu mieszanym [9]. Podobnej klasy pojazd z napędem elektrycznym o mocy 149KM cechuje się poborem energii wynoszącym 14,81 kWh/100 km [11].

Na podstawie średnich cen paliwa (4,08 zł) i energii elektrycznej na płatnych stacjach ładowania (1,49 zł) obliczono koszt przejechania 100 tys. kilometrów pojazdem z silnikiem benzynowym oraz elektrycznym (rys. 5) [8, 12, 13].



* Ładowanie pojazdu na płatnych stacjach
** Ładowanie pojazdu z domowego przyłącza

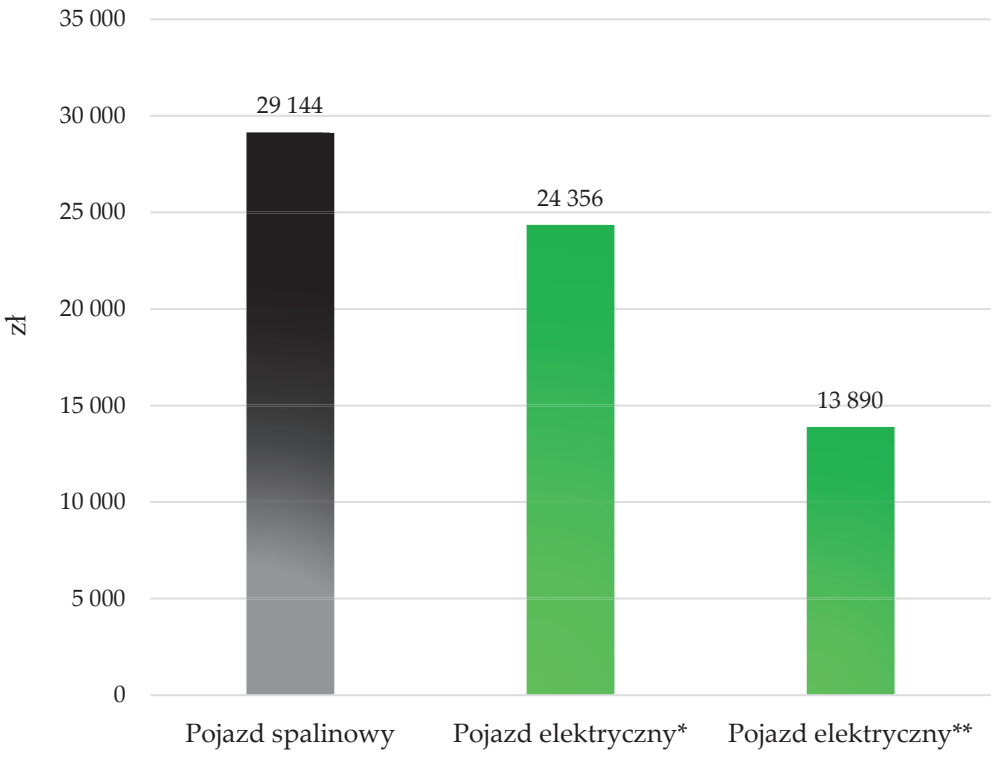
Rys. 5. Średni koszt przejechania 100 000 km w cyklu mieszanym [8, 12, 13]
Fig. 5. Average cost of traveling 100,000 km in the combined cycle [8, 12, 13]

Przy obecnych cenach paliwa oraz energii elektrycznej na płatnych stacjach ładowania podróżowanie pojazdem elektrycznym jest blisko 14% droższe niż samochodem z silnikiem benzynowym. Sytuacja zmienia się diametralnie w przypadku zaopatrywania akumulatora w energię z domowego przyłącza. Wykorzystując tylko ten sposób ładowania, koszt przejazdu może wynieść mniej niż połowę ceny, którą należałoby zapłacić za benzynę. Jest to jednak rozwiązanie wykluczające dalsze podróże z uwagi na ograniczony zasięg pojazdu i najlepiej sprawdzi się w przejazdach krótkodystansowych, np. na terenie miasta.

Do kosztów związanych z eksploatacją można dodać również obowiązkowe ubezpieczenie OC, które dla kierowcy bez zniżek w przypadku pojazdu elektrycznego wynosi około 543 zł, natomiast dla spalinowego 994 zł. W okresie 5 lat użytkowania będą to odpowiednio sumy 2715 zł oraz 4970 zł [13].

Istotnym czynnikiem jest również utrata wartości pojazdu, której koszt poniesie kupujący. Ze względu na znaczące różnice wartości - zależnej od producenta, wersji wyposażenia czy też stanu technicznego pojazdu, nie uwzględniono tej składowej.

Na rysunku 6 przedstawiono sumaryczne średnie koszty użytkowania pojazdu w okresie 5-letniej eksploatacji w zależności od zastosowanej technologii napędowej. Składowymi kosztów całkowitych są w tym przypadku: koszt serwisowania, koszt paliwa oraz ubezpieczenia OC.



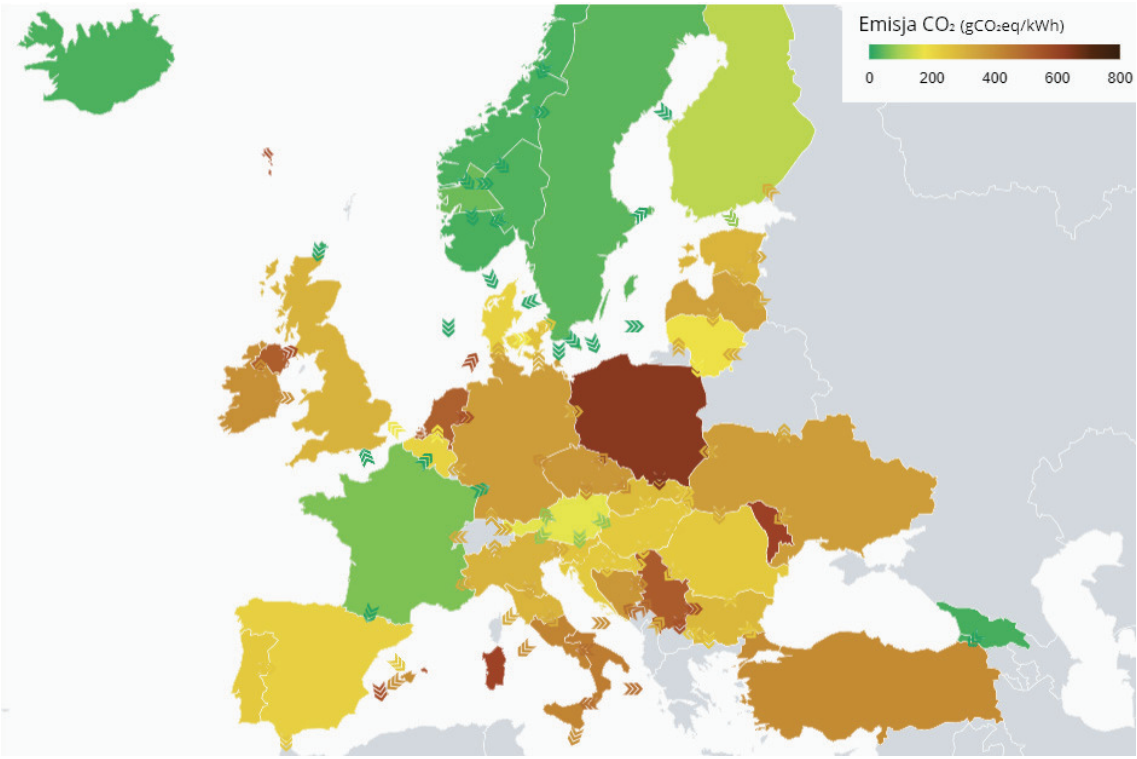
* Ładowanie pojazdu na płatnych stacjach
** Ładowanie pojazdu z domowego przyłącza

Rys. 6. Średnie koszty całkowite użytkowania pojazdu w 5-letnim okresie eksploatacji [3, 8, 12–14]
Fig. 6. Average total cost of using a vehicle over a 5-year service life [3, 8, 12–14]

4. Analiza ekologiczna

Obserwowany wzrost zainteresowania pojazdami z napędem elektrycznym jest warunkowany m.in. potrzebą redukcji szkodliwych związków emitowanych do atmosfery przez samochody zasilane silnikami spalinowymi, gdyż środki transportu wykorzystujące energię elektryczną pozwalają na zasadniczo bezemisyjne przemieszczanie się. Jednakże prąd konieczny do zasilania tego typu pojazdów produkowany jest w elektrowniach konwencjonalnych.

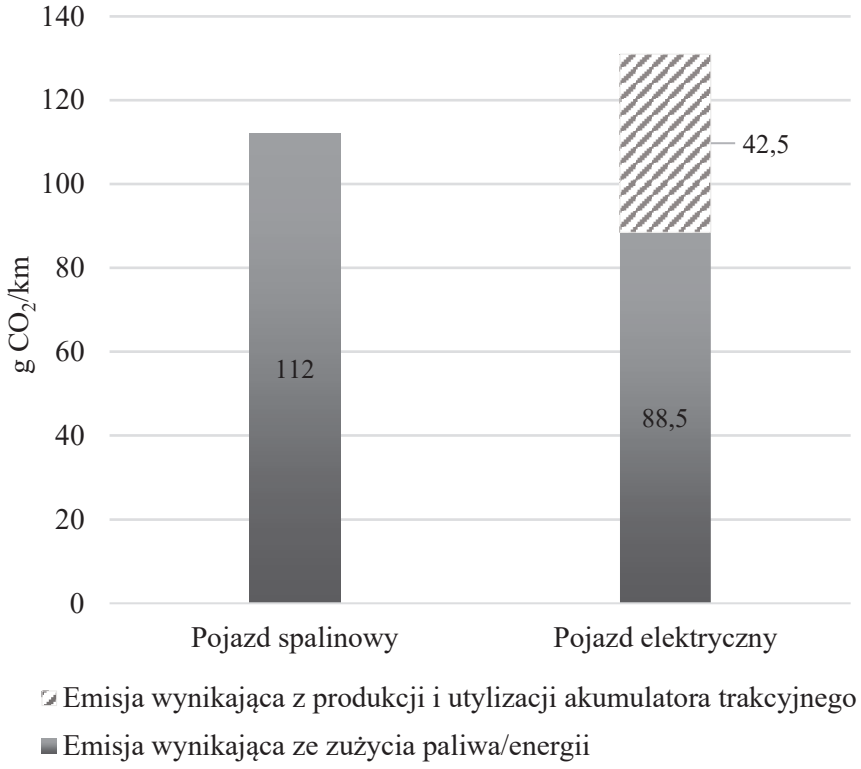
W Polsce aż 63% wyprodukowanej energii elektrycznej pochodzi ze spalania węgla. Elektrownie węglowe są zatem głównym emitentem CO_2 w ogólnokrajowej gospodarce energetycznej. Na każdą kilowatogodzinę wyprodukowanej energii przypada aż 598 g CO_2 wydzielanego do atmosfery (rys. 7). Dla porównania, państwa takie jak Szwecja oraz Norwegia cechujące się wysokorozwiniętą technologią odnawialnych źródeł energii emitują mniej niż 50 g CO_2/kWh wytworzonej energii, a w południowo-zachodniej części Norwegii emisja wynosi zaledwie 27 g CO_2/kWh [14].



Rys. 7. Emisja CO_2 na kWh wyprodukowanej energii w wybranych europejskich państwach [15]
Fig. 7. CO_2 emissions per kWh of energy produced in selected European countries [15]

Rzeczywisty wpływ użytkowania samochodu elektrycznego na emisję CO_2 można zobrazować prostym przykładem. Jeden z najpopularniejszych samochodów klasy kompakt z napędem elektrycznym zużywa średnio 0,148 kWh/km [11]. Można zatem przyjąć, że w warunkach polskich pośrednio emituje on 88,5 g CO_2 na każdy kilometr przebytej drogi. Samochód tego samego segmentu wyposażony w turbodoładowany silnik benzynowy o pojemności 1,0 litra charakteryzuje się emisją CO_2 na poziomie 112 g/km [9]. Dane pokazują, że pomimo nieekologicznej gospodarki energetycznej w Polsce samochód z napędem elektrycznym emituje mniej dwutlenku węgla do atmosfery niż swój benzynowy odpowiednik.

W rozważaniach dotyczących emisji CO_2 należy również wziąć pod uwagę fakt, iż produkcja oraz recykling akumulatorów trakcyjnych wpływają na zwiększenie emisji dwutlenku węgla. Szacuje się, że na każdą kilowatogodzinę pojemności akumulatora przypada od 145 do 195 kg emitowanego CO_2 [15]. Dla standardowego samochodu elektrycznego wyposażonego w baterie o pojemności 40 kWh wartość wyemitowanego CO_2 na potrzeby produkcji oraz utylizacji akumulatorów wynosi zatem między 5800 a 7800 kg. Zakładając średni czas żywotności baterii na poziomie 8 lat oraz roczne przebiegi rzędu 20 000 km, można podaną wartość przedstawić w postaci cząstkowej emisji CO_2 wynoszącej w tym przypadku dodatkowe 36,25–48,75 g/km. Dodając do tego wartość wynikającą ze zużycia energii koniecznej do jazdy otrzymuje się łącznie 124,75–137,25 g CO_2/km, co jest wyraźnie wyższą wartością w porównaniu z niewielką jednostką spalinową (rys. 8) [1, 9, 11, 15].



Rys. 8. Emisja g CO_2/km w zależności od rodzaju napędu [1, 9, 11, 15]
Fig. 8. Emission g CO_2/km depending on the type of drivetrain [1, 9, 11, 15]

5. Podsumowanie

Obecna prośrodowiskowa polityka państw Unii Europejskiej zakłada wyeliminowanie pojazdów zasilanych silnikami spalinowymi i zastąpienie ich samochodami z napędem elektrycznym. Przeprowadzona analiza nie wykazuje jednak całkowitej słuszności tego założenia w Polsce. Pojazdy elektryczne w sposób pośredni również emitują dwutlenek węgla do atmosfery w ilości większej niż pojazd spalinowy, co wynika zarówno ze struktury przemysłu energetycznego w Polsce, jak i wysoce energochłonnej produkcji akumulatorów. Idea wykorzystania prądu, jako paliwa dla samochodu, ma sens jedynie w państwach cechujących się wysokorozwiniętą technologią pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych. Obecnie przemysł energetyczny w Polsce bazuje na wykorzystaniu paliw kopalnych, które znacząco przyczyniają się do zanieczyszczania powietrza. W związku z tym w warunkach polskich użytkowanie samochodu elektrycznego nie ma charakteru przyjaznego dla otoczenia.

Ponadto pojazd wyposażony w napęd elektryczny jest zdecydowanie droższy od swojego spalinowego odpowiednika. Częściowo rekompensuje to fakt, iż serwisowanie pojazdów elektrycznych może być nawet o połowę tańsze, niż samochodu z silnikiem spalinowym, jednak okres zwrotu zainwestowanych pieniędzy może okazać się zbyt długi dla potencjalnego nabywcy. Także koszt energii elektrycznej

na stacjach ładowania przewyższa koszt paliwa konieczny do pokonania tego samego dystansu. Odpowiadająca analogicznej ilości paliwa energia elektryczna jest bowiem o blisko 14% droższa. Jedynie korzystając z domowego przyłącza można znacząco ograniczyć wydatki ponoszone na energię. Ładowanie z domowego punktu zasilania obniża koszty o 54% w stosunku do podróżowania samochodem z napędem spalinowym.

Biorąc pod uwagę obecnie istniejącą infrastrukturę ładowania pojazdów elektrycznych, a przede wszystkim strukturę przemysłu energetycznego, stwierdzono brak gotowości do całkowitego uniezależnienia się przemysłu motoryzacyjnego od paliw kopalnych w Polsce.

Bibliografia

[1] Buchal, Ch., Karl, H.-D., Sinn, H.-W., "Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO2-Bilanz?", Vol. 72, 25 kwietnia 2019 r.
[2] Figura, R., Sadowski, S., Siroić, R., „Stacje szybkiego ładowania dla pojazdów elektrycznych", *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 220(6), (2018): 836–842.
[3] Materiały informacyjne firmy Yama Sp. z oo.
[4] Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Dz.U. 2018 poz. 317.
[5] www.udt.gov.pl/systemy-ladowania (dostęp: 05.2020).
[6] www.electronite.eu/gdzie-w-polsce-mozna-znalezc-stacje-ladowania-samochodow-elektrycznych/ (dostęp: 01.2020).
[7] www.wysokienapiecie.pl/14252-zakazy-kontrole-kierowcy-przesiada-sie-elektrykow/ (dostęp: 01.2020).
[8] www.wysokienapiecie.pl/25501-darmowe-ladowanie-samochodow-elektrycznych-sie-konczy-ile-zaplacimy/ (dostęp: 01.2020).
[9] https://www.nissan.pl/pojazdy/nowe-pojazdy/pulsar/specifications.html (dostęp: 03.06.2020).
[10] https://www.nissan.pl (dostęp: 20.07.2020).
[11] https://www.nissan.pl/pojazdy/nowe-pojazdy/leaf/konfigurator.html#configure/BAG8/Am4/engine (dostęp: 03.06.2020).
[12] https://www.e-petrol.pl/notowania/rynek-krajowy/ceny-stacje-paliw (dostęp: 03.06.2020).
[13] https://zaradnyfinansowo.pl/ceny-pradu/ (dostęp: 08.01.2020).
[14] https://mubi.pl (dostęp: 03.06.2020).
[15] https://www.electricitymap.org/map (dostęp: 03.06.2020).

© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).