

Dr hab. inż. Arkadiusz Dyjakon
 Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
 ORCID: 0000-0003-3618-2099
 e-mail: arkadiusz.dyjakon@upwr.edu.pl

Łukasz Sobol
 Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
 e-mail: lukaszsobolmobile@gmail.com

Mateusz Strojek
 Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
 e-mail: matstrojek@gmail.com

Wpływ źródeł energii na poziom pośredniej emisji dwutlenku węgla wynikającej z użytkowania samochodów z napędem elektrycznym

The influence of energy sources on the level of indirect carbon dioxide emissions resulting from the use of electric cars

Streszczenie

Od wielu lat, aglomeracje miejskie zmagają się z coraz poważniejszym problemem zanieczyszczenia powietrza, które może prowadzić do powstawania zjawiska smogu. Jednym z głównych źródeł tych zanieczyszczeń, są samochody z silnikami wewnętrznego spalania, które emitują do atmosfery niepożądane związki, w tym cząstki stałe, tlenek azotu, tlenek węgla oraz CO₂. W celu ograniczenia emisji zanieczyszczeń w miastach dąży się do wykorzystywania ekologicznych środków transportu. Dobrym rozwiązaniem mogą być samochody elektryczne, mające duży potencjał ekologiczny z uwagi na brak bezpośredniej emisji spalin oraz niski poziom hałasu. Jednak ze względu na konieczność pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną samochód elektryczny może przyczyniać się do generowania zanieczyszczeń pośrednich.

Celem pracy była analiza ilości emitowanych zanieczyszczeń do atmosfery przez samochód z napędem elektrycznym i określenie wpływu tej emisji na środowisko w skali lokalnej oraz globalnej. Zbadano poziom pośredniej emisji dwutlenku węgla z pojazdów elektrycznych w zależności od źródła pochodzenia energii elektrycznej, wykorzystywanej do ich ładowania oraz porównano otrzymane wyniki z poziomem emisji zanieczyszczeń, powstających podczas użytkowania pojazdów z silnikiem wewnętrznego spalania.

Słowa kluczowe:

pojazdy elektryczne, energia elektryczna, emisja zanieczyszczeń, smog miejski

Abstract

Since many years, urban agglomerations are facing a growing problem of air pollution, which can lead to the smog formation. One of the main sources of these pollutants are cars with internal combustion engine, which emit undesirable compounds into the atmosphere (including particulates, nitrogen oxides, carbon monoxide and carbon dioxide). In order to reduce the emission of pollutants in the cities, the use of eco-friendly transport means is preferred. A good solution may be the use of electric cars with high ecological potential, due to the lack of direct emissions and low noise levels. However, because of the need to cover an electricity demand, an electric car can contribute to the generation of indirect pollution.

The aim of this work was to analyse the amount of pollutants emitted to the atmosphere by an electric vehicle and its environmental impact on the local and global scale. For this purpose, the amount of energy consumed by an electric vehicle was determined and the emissions from a vehicle with a typical internal combustion engine were compared with the pollutants generated by different electric energy sources.

Key words:

electric vehicles, electricity, pollutants emission, urban smog

JEL: Q21, Q31, Q42

Wprowadzenie

W sektorze polskiego transportu przewozy samochodami osobowymi są dominującą formą przewozów pasażerów pod względem liczby pasażerokilometrów (Główny Urząd Statystyczny, 2019). Na podstawie danych opracowanych przez GUS od wielu lat obserwuje się zauważalny wzrost liczby samochodów osobowych w przeliczeniu na 1000 mieszkańców. W porównaniu z 2005 r. wskaźnik ten zwiększył się blisko dwukrotnie (rysunek 1). Liczba zarejestrowanych samochodów osobowych w 2018 r. wynosiła 23,4 mln, co oznacza wzrost ogólny na poziomie 4,1% w porównaniu z rokiem poprzednim.

Rosnąca liczba samochodów osobowych wynika z łatwości poruszania się po drogach publicznych, wzrostu standardu życia obywateli, wyższych zarobków, potrzeby niezależności oraz próby zaoszczędzenia czasu potrzebnego na dotarcie do miejsca docelowego, bez czekania oraz zbędnych przesiadek. Istotnymi czynnikami wpływającymi na decyzję wyboru komunikacji samochodowej zamiast publicznego transportu zbiorowego są również (Roman, 2017):

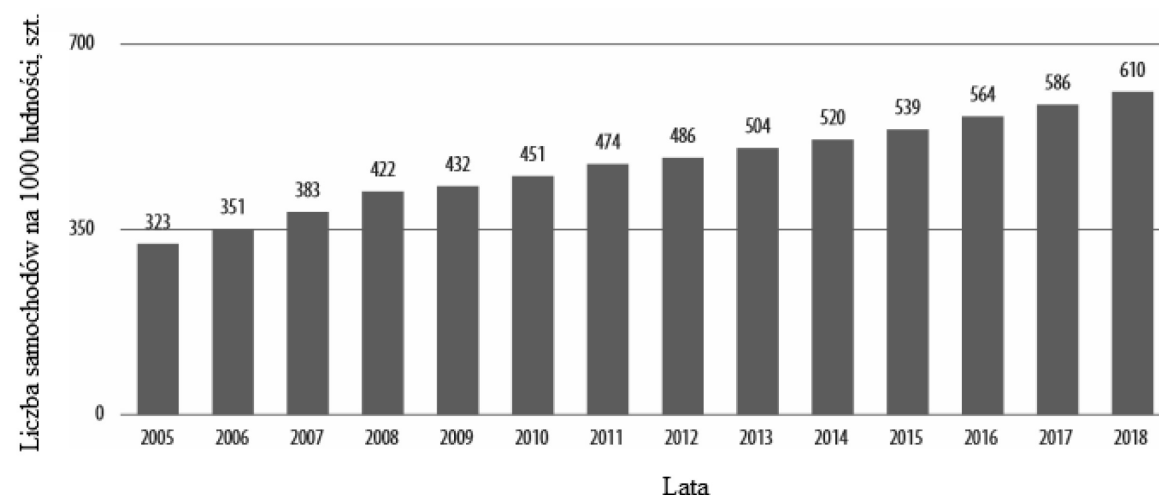
- wyższy komfort,
- brak konieczności czekania na pociąg, tramwaj lub autobus,
- brak konieczności dojścia na przystanek,
- oszczędność czasu w przypadku konieczności dotarcia do wielu miejsc oddalonych od siebie,
- brak konieczności noszenia zakupów i wszelkiego rodzaju przedmiotów/materiałów,
- większa prywatność (brak współdzielenia przestrzeni z obcymi ludźmi),
- możliwość szybkich zmian planów przejazdu.

Jednak masowo zwiększający się udział transportu samochodowego w skali kraju skutkuje powstawaniem wielu negatywnych zjawisk. Wiążą się one nie tylko ze zwiększonym natężeniem środków transportu, które w wielu przypadkach przewyższają możliwą przepustowość dostępnej infrastruktury drogowej, ale również z powstawaniem zanieczyszczeń powietrza, szczególnie w aglomeracjach miejskich (rysunek 2) (European Environment Agency, 2019). Uznaje się, że największy wpływ na zanieczyszczenia powstające w sektorze transportu samochodowego mają: CO, CO₂, SO₂, NO_x, PM_{2,5} oraz PM₁₀, powstające głównie na skutek spalania paliw tradycyjnych w silnikach benzynowych i Diesla (Merkisz-Guranowska, Pielecha, 2014). W związku z tym powinno się podjąć działania zmierzające do redukcji emisji tych związków w sektorze transportu drogowego towarów oraz transportu lądowego pasażerskiego, miejskiego i podmiejskiego przy jak najmniejszym ograniczeniu swobód użytkowników samochodów osobowych.

Jednym z możliwych rozwiązań jest użytkowanie pojazdów z napędem elektrycznym. Obecnie na rynku dostępnych jest wiele typów napędów, wykorzystujących w różnym stopniu napęd elektryczny (rysunek 3). Najczęściej stosowane typy to: samochody w 100% o napędzie elektrycznym (EV), samochody o napędzie hybrydowym, wykorzystujące napęd elektryczny typu plug-in (PHEV), oraz samochody z rozszerzonym zasięgiem, posiadające wbudowany silnik spalinowy, działający jako napęd prądnicy doładowującej akumulatory (E-REV) (Łosiewicz, Sendek-Matysiak, 2018). W Polsce również obserwuje się wzrost liczby samochodów elektrycznych na ulicach miast (rysunek 4).

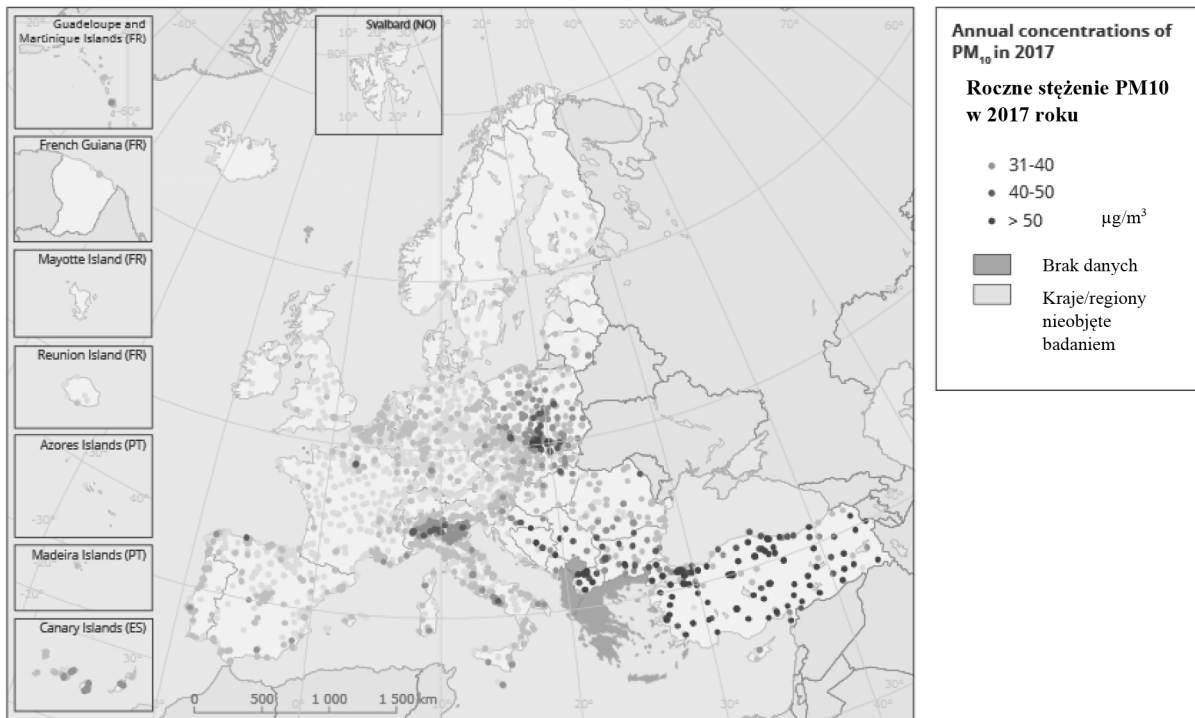
Rysunek 1

Liczba samochodów osobowych w Polsce na 1000 ludności



Źródło: Główny Urząd Statystyczny, 2019.

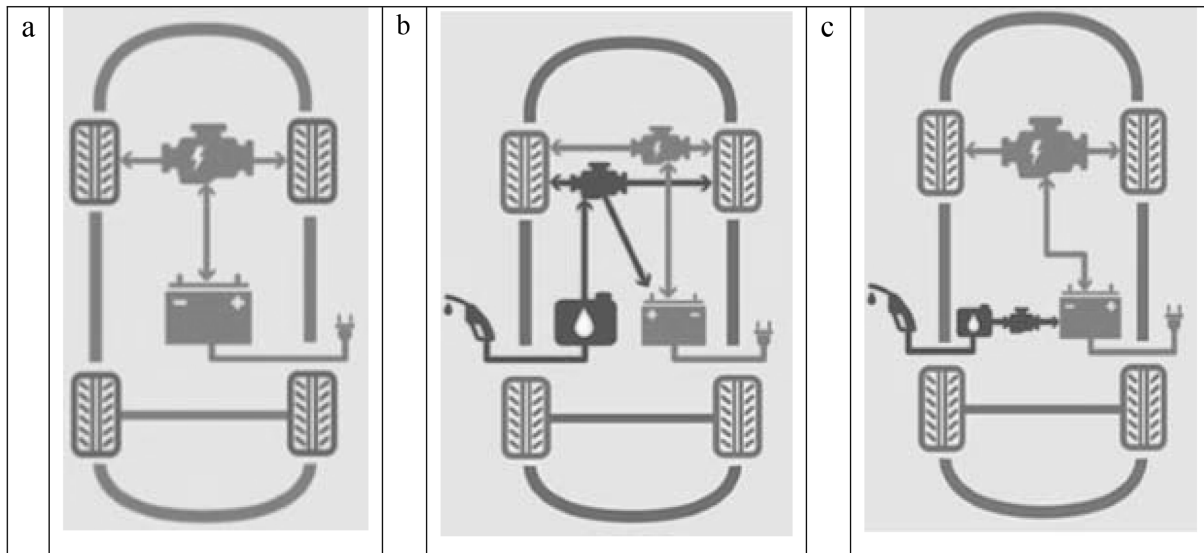
Rysunek 2

Roczne stężenie PM₁₀ w Europie w 2017 r.

Źródło: European Environment Agency, 2019.

Rysunek 3

Typy napędów wykorzystujących napęd elektryczny: a — EV; b — PHEV; c — E-REV

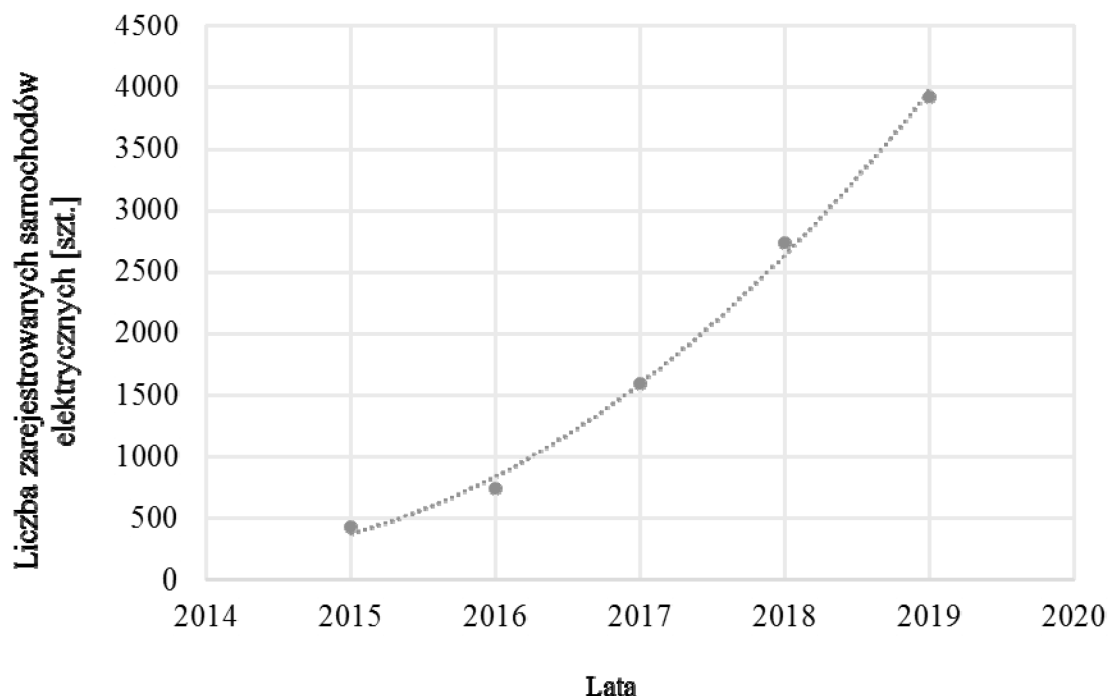
Źródło: <https://electricmobility.expert/czym-jest-samochod-elektryczny/> (14.12.2019).

Silnik elektryczny w porównaniu z silnikiem wewnętrznego spalania, cechuje się lepszą wydajnością, brakiem bezpośredniej emisji zanieczyszczeń, mniejszą awaryjnością układu napędowego, pozwala szyb-

ciej uzyskać moc maksymalną oraz generuje mniej hałasu podczas ruchu¹. Brak hałasu odbierany jest przez opinię publiczną dwójako, z jednej strony jako dodatkowy komfort podczas jazdy, a z drugiej jako źródło

Rysunek 4

Liczba zarejestrowanych samochodów elektrycznych EV w Polsce w latach 2015–2019 [szt.]

Źródło: Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych (2019). Licznik elektromobilności: 6 tys. EV w Polsce, <http://pspa.com.pl> (13.12.2019).

dotaddkowego zagrozenia wypadkiem, zwlaszcza podczas poruszania sie po mieście. Negatywnym aspektem użytkowania pojazdów elektrycznych jest problem tworzenia cząstek stałych, powstających podczas ścierania się tarcz hamulcowych lub opon, lecz zjawisko to ma znacznie mniejszą skalę niż w przypadku aut z silnikami wewnętrznego spalania (Merkisz, Pielecha, 2014). Zauważalnymi ograniczeniami są również obecnie znacznie mniejszy zasięg większości samochodów elektrycznych oraz mocno ograniczona liczba punktów ich ładowania.

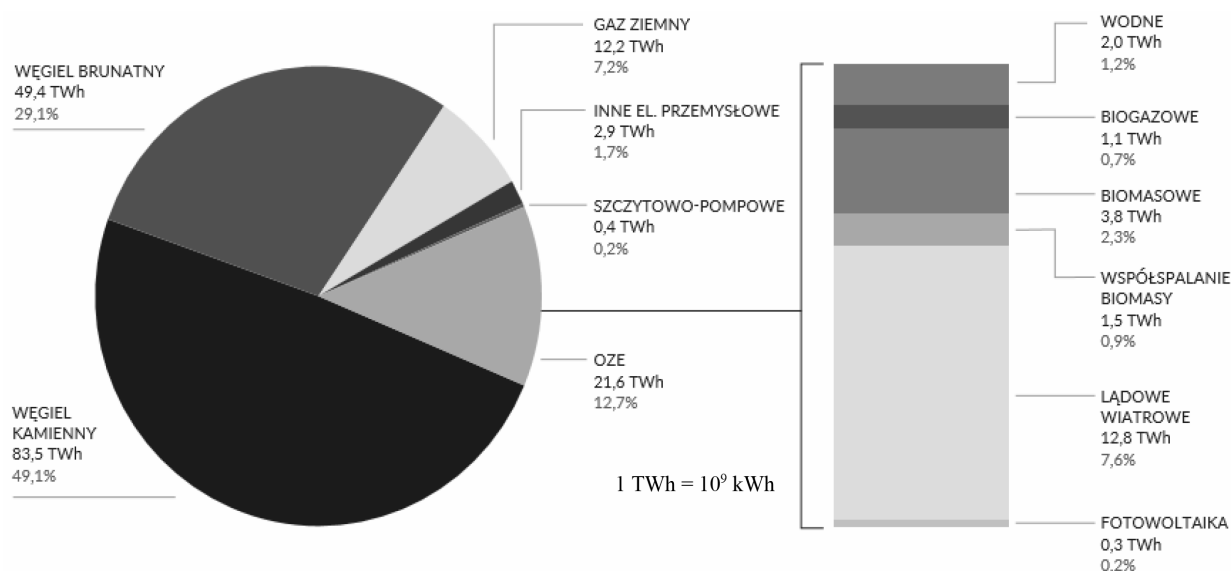
Użytkowanie samochodów z napędem elektrycznym jest zgodne z wieloma założeniami zrównoważonego rozwoju. Według raportu Europejskiej Agencji Środowiska (EEA) z 2018 r., dotyczącego mechanizmu sprawozdawczego w zakresie transportu i środowiska (TERM), samochody elektryczne mogą okazać się ważnym narzędziem do walki ze zmianami klimatycznymi, jak również z zanieczyszczeniem powietrza, którego jakość stale się pogarsza. Przedstawione w raporcie wyniki badań pokazują, że pomimo negatywnego wpływu na środowisko, jaki generują procesy wydobywcze materiałów oraz procesy produkcyjne samochodów z napędem elektrycznym, największy udział w ogólnie generowanym zanieczyszczeniu ma emisja powodowana użytkowaniem pojazdów z silnikiem wewnętrznego spalania (European Environment Agency, 2018).

Emisja zanieczyszczeń przez samochody z silnikami wewnętrznego spalania zależy głównie od zużycia paliwa oraz stosowanych technik jego ograniczania. Powszechnie wykorzystuje się katalizatory, recyrkulację gorących spalin, układy sprężania powietrza czy filtry cząstek stałych (DPF) w silnikach Diesla, a w przypadku samochodów napędzanych benzyną odpowiednio dostosowane filtry GPF. Niezależnie od stosowanych rozwiązań nie jest możliwe całkowite uniknięcie emisji zanieczyszczeń przez samochody z silnikami wewnętrznego spalania. Pozwalają one jednak zredukować i relatywnie ustabilizować poziom bezpośredniej emisji zanieczyszczeń w całym okresie użytkowania auta. W przypadku samochodów elektrycznych brak jest bezpośredniej emisji zanieczyszczeń, niemniej mogą one wpływać na generowanie emisji pośredniej, związanej ze źródłem wytworzenia energii elektrycznej. W Polsce produkcja energii elektrycznej jest mało zróżnicowana i oparta głównie na węglu (rysunek 5). W takiej sytuacji w przypadku samochodów elektrycznych zmienia się jedynie miejsce emisji szkodliwych związków.

W przeszłości podejmowano wiele prac badawczych mających na celu analizę rzeczywistą emisji dwutlenku węgla, wynikającą z użytkowania samochodów z napędem elektrycznym, w zależności od krajowego udziału poszczególnych źródeł w produkcji energii elektrycznej. Williams (2012), prze-

Rysunek 5

Udział poszczególnych źródeł w produkcji energii elektrycznej w Polsce w 2018 r.



Źródło: Macuk i in., 2019.

przewodził studium przypadku dla 15 krajów i wykazał, że pojazdy elektryczne mogą mieć bardziej szkodliwy wpływ na środowisko niż samochody z silnikami wewnętrznego spalania. Podobne wnioski przedstawili Pan i in. (2011), analizując miks energetyczny Szwecji, Chin, Francji oraz Stanów Zjednoczonych, oraz Kurien i Srivastava (2020) dla indyjskiego studium przypadku.

Celem artykułu jest analiza poziomu pośredniej emisji dwutlenku węgla generowanej przez pojazdy elektryczne w zależności od źródła pochodzenia energii elektrycznej, wykorzystywanej do ich ładowania oraz porównanie otrzymanych wyników z poziomem emisji zanieczyszczeń, powstających podczas użytkowania pojazdów z silnikiem wewnętrznego spalania.

Metodyka badawcza

Założenia koncepcyjne

W celu dokonania analizy poziomu pośredniej emisji dwutlenku węgla pojazdów elektrycznych oraz porównania wyników z emisją CO₂ generowaną przez samochody z silnikami wewnętrznego spalania poczyniono następujące założenia:

- przyjęto dane techniczne dla samochodów marki Volkswagen o zbliżonej mocy silnika (tabela 1);
- dzienny dystans pokonywany przez pojazd to 60 km;
- zużycie paliwa przez silnik benzynowy — 6,1 dm³·100 km⁻¹;

Tabela 1

Dane techniczne analizowanych pojazdów

Parametry techniczne	Volkswagen e-Golf 100 kW	Volkswagen Golf IQ Drive 1.5 TSI ACT 110 kW	Volkswagen Golf IQ Drive 2.0 TDI 110 kW
Napęd	silnik elektryczny	silnik benzynowy	silnik Diesla
Moc silnika	136 KM	150 KM	150 KM
Masa własna	1615 kg	1335 kg	1415 kg
Moment obrotowy	290 Nm	250 Nm	340 Nm

Źródło: <https://www.volkswagen.pl> (10.12.2019).

- zużycie paliwa przez silnik Diesla — $5,2 \text{ dm}^3 \cdot 100 \text{ km}^{-1}$;
- zużycie energii przez silnik elektryczny — $15,3 \text{ kWh} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$;
- pod uwagę brane są tylko emisje bezpośrednie generowane przez użytkowane pojazdy.

Obliczenie dziennej emisji CO_2

Dobową wartość emisji dwutlenku węgla do atmosfery, generowanej przez użytkowanie samochodów obliczono według równania:

$$E_{\text{CO}_2} = E_{\text{KAT}-\text{CO}_2} \cdot L, \quad (1)$$

gdzie:

- E_{CO_2} — dobowa emisja dwutlenku węgla do atmosfery, generowana przez użytkowanie samochodów [$\text{kg} \cdot \text{doba}^{-1}$];
- $E_{\text{KAT}-\text{CO}_2}$ — katalogowa wartość emisji dwutlenku węgla do atmosfery (tabela 2) [$\text{kg} \cdot \text{km}^{-1}$];
- L — dobowy dystans pokonywany przez użytkowany samochód (dla trybu miejskiego przyjęto $L = 60 \text{ km} \cdot \text{doba}^{-1}$) [$\text{km} \cdot \text{doba}^{-1}$].

Wielkość emisji dwutlenku węgla do atmosfery, powstałej w wyniku ładowania akumulatora samochodu z napędem elektrycznym, w zależności od rodzaju spa-

lanego paliwa, obliczono na podstawie opracowanych przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) wskaźników emisyjności dla energii elektrycznej, pochodzących z instalacji spalania, według równania (Urząd Regulacji Energetyki, 2019):

$$E_{P-\text{CO}_2} = 360 \cdot \frac{We_{\text{CO}_2}}{\eta}, \quad (2)$$

gdzie:

- $E_{P-\text{CO}_2}$ — emisja dwutlenku węgla dla danego paliwa [$\text{kg} \cdot \text{MWh}^{-1}$];
- We_{CO_2} — wskaźnik emisyjności dwutlenku węgla dla danego paliwa (tabela 3) [$\text{kg} \cdot \text{GJ}^{-1}$];
- η — sprawność wytwarzania energii elektrycznej w danej instalacji spalania (tabela 3) [%].

Ilość energii zużytej podczas jednego dnia pracy samochodu elektrycznego wyliczono, korzystając z równania:

$$E = L \cdot E_{\text{KAT}-\text{EN}_{EL}}, \quad (3)$$

gdzie:

- E — ilość energii zużyta podczas jednego dnia pracy samochodu elektrycznego [kWh];
- $E_{\text{KAT}-\text{EN}_{EL}}$ — katalogowa wartość zużycia energii elektrycznej przez silnik elektryczny (przyjęto $E_{\text{KAT}-\text{EN}_{EL}} = 15,3 \text{ kWh} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$) [$\text{kWh} \cdot 100 \text{ km}^{-1}$].

Tabela 2

Katalogowe wartości bezpośredniej emisji dwutlenku węgla do atmosfery badanych pojazdów

Parametr	Volkswagen e-Golf 100 kW	Volkswagen Golf IQ Drive 1.5 TSI ACT 110 kW	Volkswagen Golf IQ Drive 2.0 TDI 110 kW
NEmisja CO_2 [$\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$]	0	142	134

Źródło: jak w tabeli 1.

Tabela 3

Wskaźnik We_{CO_2} oraz sprawność elektrowni w zależności od rodzaju spalanego paliwa

Paliwo	Wskaźnik We_{CO_2} [$\text{kg CO}_2 \cdot \text{GJ}^{-1}$]	Sprawność elektrowni [%]
Węgiel kamienny	95,48	44,20
Węgiel brunatny	110,76	41,80
Gaz ziemny	56,10	52,50
Oleje (ON, OP)	74,10	44,20

Źródło: jak w tabeli 1.

Dobową wielkość emisji dwutlenku węgla do atmosfery podczas jednego dnia pracy samochodu elektrycznego obliczono według wzoru:

$$M_{CO_2} = E \cdot \sum K_i \cdot E_{P-CO_2}, \quad (4)$$

gdzie:

M_{CO_2} — ilość dwutlenku węgla wyemitowana podczas jednego dnia pracy samochodu elektrycznego [g];

K_i — udział danego paliwa w produkcji energii elektrycznej [%].

Wyniki i dyskusja

W pracy wyznaczono dzienną emisję dwutlenku węgla do atmosfery, generowaną przez użytkowanie samochodów z napędem elektrycznym oraz samochodów z silnikami wewnętrznego spalania (rysunek 6). Ze względu na ograniczoną liczbę samochodów z napędem elektrycznym na rynku i brak odpowiedników napędów spalinowych, porównano silniki o zbliżonej mocy maksymalnej.

Najwyższą emisją dwutlenku węgla spośród badanych pojazdów cechuje się samochód z silnikiem benzynowym — emisja ta kształtuje się na poziomie 8520 g CO₂·doba⁻¹. W przypadku samochodu z silnikiem Diesla emisja jest niewiele niższa i wynosi 8040 g CO₂·doba⁻¹. Użytkowanie samochodu z napędem elektrycznym nie generuje bezpośredniej emisji dwutlenku węgla do atmosfery.

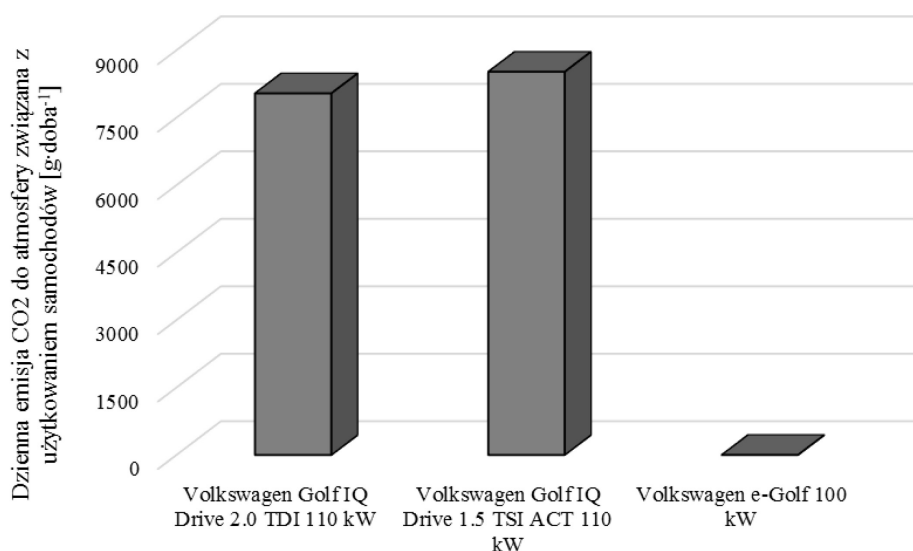
Jednak w przypadku samochodów z napędem elektrycznym, pomimo iż nie generują one emisji bezpośredniej, należy uwzględnić pośrednią emisję dwutlenku węgla, związaną ze źródłem wytworzenia energii elektrycznej. W zależności od stosowanego paliwa lub źródła energii emisja ta cechuje się dużym zróżnicowaniem (rysunek 7).

Przyjmując dane zestawione w tabeli 3, możemy stwierdzić, że zdecydowanie największa emisja przypada na elektrownie węglowe. Jeśli energia do zasilania akumulatora samochodu z napędem elektrycznym pochodziłaby ze spalania węgla brunatnego, emisja dwutlenku węgla wynosiłaby 953,9 g CO₂·kWh⁻¹, zaś węgla kamiennego — odpowiednio 777,6 g CO₂·kWh⁻¹. Wynik ten jest bardzo zbliżony do emisji dla przedstawionego na rysunku 4 polskiego miks energetyczny (778 g CO₂·kWh⁻¹). Mniejszą emisją cechują się elektrownie zasilane gazem ziemnym (384,7 g CO₂·kWh⁻¹) oraz olejami (603,5 g CO₂·kWh⁻¹). Najkorzystniejsze z punktu widzenia środowiskowego byłoby ładowanie samochodu elektrycznego energią pochodzącą z odnawialnych źródeł energii, które nie wytwarzają emisji bezpośredniej.

W zależności od źródła pochodzenia energii elektrycznej samochód z napędem elektrycznym może cechować się mniejszą lub większą emisją dwutlenku węgla do atmosfery w porównaniu z samochodami z silnikami wewnętrznego spalania (rysunek 8). Najgorzej sytuacja kształtuje się, gdy akumulator samochodu z napędem elektrycznym zasilany jest energią elektryczną pochodzącą z elektrowni opalanych węglem brunatnym, które mają w Polsce prawie 30-procentowy udział w produkcji energii elektrycznej. W tym przypadku dobową ilość emisji dwutlenku wę-

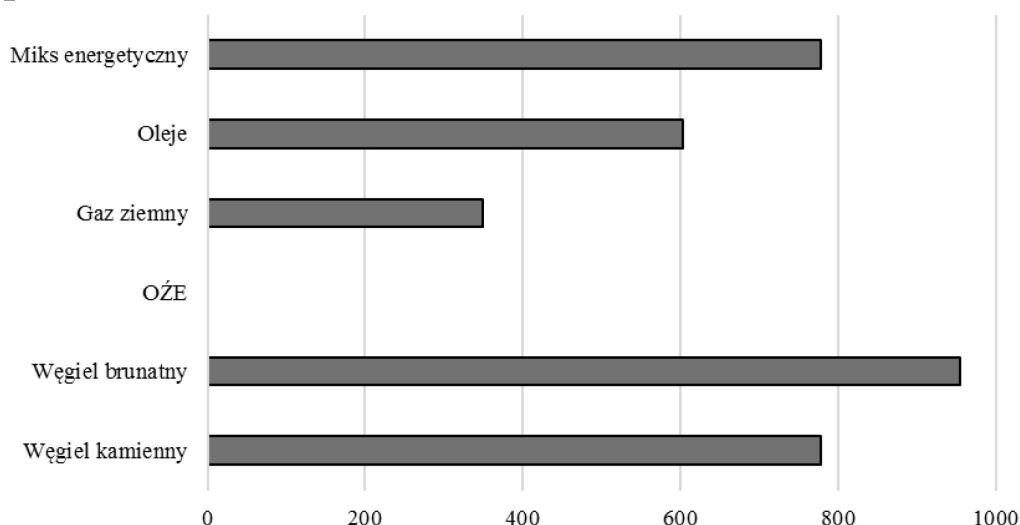
Rysunek 6

Dzienna emisja CO₂ do atmosfery związana z użytkowaniem samochodu w mieście



Źródło: opracowanie własne.

Rysunek 7

Emisja dwutlenku węgla w zależności od źródła energii elektrycznej [g·kWh⁻¹]

Źródło: opracowanie własne.

gła do atmosfery jest większa o 716 g CO₂ w porównaniu z samochodem z silnikiem Diesla oraz o 236 g CO₂ w porównaniu z silnikiem benzynowym. W przypadku pozostałych badanych źródeł energii emisja dla samochodów z napędem elektrycznym jest niższa niż dla samochodów z silnikiem wewnętrznego spalania.

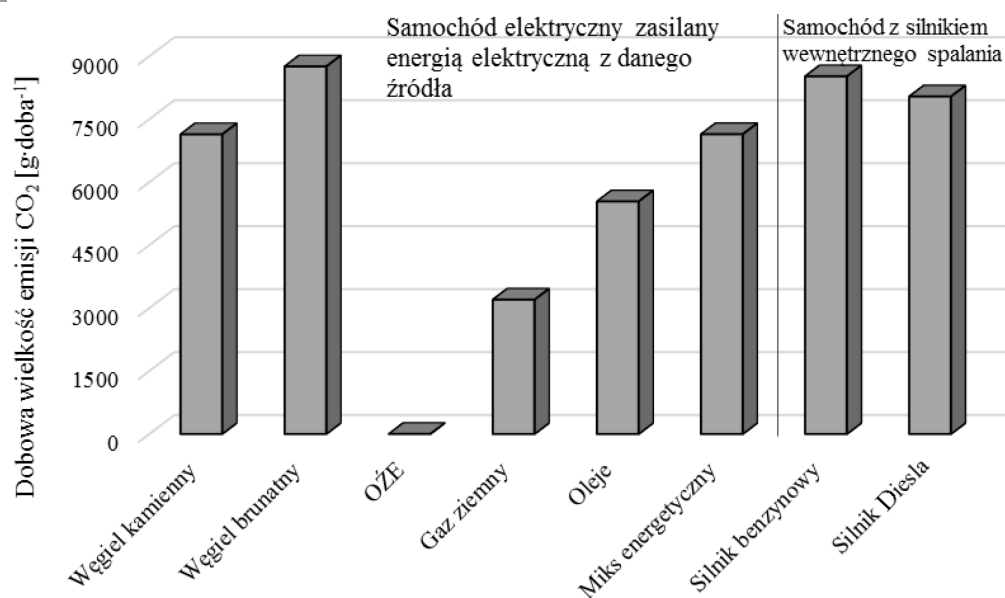
Biorąc pod uwagę wskaźniki emisyjności dla końcowych odbiorców energii elektrycznej w Polsce, a także około ośmioletni cykl życia akumulatorów² produkowanych dla samochodów elektrycznych, są one w stanie wymiennie ograniczyć emisję dwutlenku

węgla do atmosfery w sektorze transportu. Podczas tego okresu, przy założonym dobowym dystansie $L = 60 \text{ km} \cdot \text{doba}^{-1}$ pojedynczy samochód z napędem elektrycznym wygeneruje o 689,12 kg CO₂ mniej niż samochód z silnikiem benzynowym oraz o 2090 kg CO₂ mniej niż samochód z silnikiem Diesla, co stanowi wymierny efekt środowiskowy.

Ze względu na prognozowany wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej w Polsce, podyktowanej zmianą polityki energetycznej Polski do 2040 r. (Ministerstwo Ener-

Rysunek 8

Porównanie bezpośredniej dobowej emisji dwutlenku węgla do atmosfery przez samochód elektryczny i samochód z silnikiem wewnętrznego spalania



Źródło: opracowanie własne.

gii, 2019) emisja pośrednia związana z ładowaniem akumulatorów samochodów z napędem elektrycznym będzie ulegać stopniowemu zmniejszeniu.

Wnioski

Przy porównywaniu emisji związanej z użytkowaniem samochodów z silnikiem wewnętrznego spalania z emisją pośrednią pojazdu elektrycznego, związaną ze źródłem wytworzenia energii elektrycznej można zauważyć, iż przy obecnym udziale poszczególnych źródeł w produkcji energii elektrycznej w Polsce, silniki z napędem elektrycznym są niewiele mniej szkodliwe od silników z napędem benzynowym oraz Diesla. Najbardziej ekologicznym rozwiązaniem jest ładowanie pojazdów energią wytwarzaną ze źródeł odnawialnych, dla których emisja bezpośrednia jest zerowa. Wśród paliw kopalnych umiarkowaną

emisją CO₂ podczas produkcji energii elektrycznej charakteryzuje się gaz ziemny.

Wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej będzie pozytywnie wpływał na zmniejszenie poziomu pośredniej emisji dwutlenku węgla generowanej przez ładowanie akumulatorów pojazdów elektrycznych. Należy jednak pamiętać, że wraz ze wzrostem liczby takich samochodów, zapotrzebowanie na energię elektryczną wzrośnie, co może stwarzać kolejne problemy dla polskiej energetyki zawodowej i sieci elektroenergetycznej.

Zamiana samochodu z silnikiem wewnętrznego spalania na elektryczny nie zapewnia zerowej emisji zanieczyszczeń. Rozwiązuje jedynie problem dużej kumulacji zanieczyszczeń, odczuwalnej najbardziej w dużych miastach, poprawiając lokalnie jakość powietrza oraz zmniejszając poziom hałasu, co niewątpliwie wpływa na poprawę komfortu i jakości życia ich mieszkańców.

Przypisy/Notes

¹ Na podstawie: <https://www.eea.europa.eu/pl/articles/pojazdy-elektryczne-madry-wybor-dla-srodowiska#tab-zobacz-r%C3%B3wnie%C5%BC> (15.12.2019).

² https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_1003a_battery_aging_in_an_electric_vehicle_ev (08.08.2020).

Bibliografia/References

Literatura/Literature

- European Environment Agency (2018). Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives. EEA Report No. 13/2018, 6–7, 57–68.
- European Environment Agency (2019). Air quality in Europe — 2019 report. EEA Report No 10/2019.
- Główny Urząd Statystyczny (2019). *Transport — Wyniki działalności w 2018 roku*, Warszawa.
- Kurien, C., Srivastava, A. K. (2020). Impact of Electric Vehicles on Indirect Carbon Emissions and the Role of Engine Posttreatment Emission Control Strategies. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 16(2), 234–244. <https://doi.org/10.1002/ieam.4206>
- Łosiewicz, Z., Sendek-Matysiak, E., (2018). Rozwój elektromobilności — w aspekcie eksploatacji samochodów z napędem elektrycznym, *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* (12), 126–128. <https://doi.org/10.24136/atest.2018.368>
- Macuk, R., Maćkowiak-Pandera, J., Rubczyński, A., Gawlikowska-Fyk, A. (2019). *Transformacja energetyczna w Polsce* | Edycja 2019.
- Merkisz, J., Pielecha, J. (2014). *Emisja cząstek stałych ze źródeł motoryzacyjnych*. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
- Merkisz-Guranowska, A., Pielecha, J. (2014). *Emisja zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych, a parametry ruchu drogowego*. Warszawa–Poznań: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Ministerstwo Energii (2019). *Polityka Energetyczna Polski do 2040 r.*, Warszawa.
- Pan, Y., Zhang, Y., Zhang, Z., Cao, Q. (2011). *Striving for Synthetic Benefits: Is Your Country Suitable for the Widespread Use of Electric Vehicles*. International Conference on Management and Service Science, Wuhan, 12–14.08.2011. <https://doi.org/10.1109/icmss.2011.5998108>
- Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych (2019). *Licznik elektromobilności: 6 tys. EV w Polsce*, <http://pspa.com.pl> (13.12.2019)
- Roman, K., (2017). Ocena funkcjonowania transportu miejskiego w policentrycznych ośrodkach metropolitalnych na przykładzie trójmiasta. *Studia Miejskie*, 27, 51–65. <https://doi.org/10.25167/sm2017.027.04>
- Urząd Regulacji Energetyki (2019). Informacja Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki Nr 34 /2017 w sprawie zasad ustalania poziomu emisyjności CO₂ na potrzeby aukcyjnego systemu wsparcia, o którym mowa przepisach ustawy o odnawialnych źródłach energii, Warszawa.
- Williams, A. R. (2012). Electricity, Mobility and the Neglected Indirect Emissions. In: O. Inderwildi, D. King (eds.), *Energy, Transport, & the Environment, Addressing the Sustainable Mobility Paradigm*, 115–134. London: Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2717-8_7

Strony internetowe/Web sites

https://batteryuniversity.com/learn/article/bu_1003a_battery_aging_in_an_electric_vehicle_ev (08.08.2020)

<https://electricmobility.expert/czym-jest-samochod-elektryczny/> (14.12.2019)

<https://www.eea.europa.eu/pl/articles/pojazdy-elektryczne-madry-wybor-dla-srodowiska#tab-zobacz-r%C3%B3wnie%C5%BC> (15.12.2019)

<https://www.volkswagen.pl> (10.12.2019)

Dr hab. inż. Arkadiusz Dyjakon

Absolwent Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej. Od 2010 r. zatrudniony na stanowisku adiunkta na Uniwersytecie Przyrodniczym we Wrocławiu w Zakładzie Niskoemisyjnych Źródeł Energii i Gospodarki Odpadami. Od 20 lat zajmuje się problematyką wytwarzania energii elektrycznej i ciepła z paliw kopalnych i odnawialnych źródeł energii.

Łukasz Sobol

Student trzeciego roku studiów inżynierskich, kierunku odnawialne źródła energii i gospodarka odpadami na Wydziale Przyrodniczo-Technologicznym Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, członek Studenckiego Koła Naukowego SKN „BioEnergia”.

Mateusz Strojek

Student trzeciego roku studiów inżynierskich, kierunku odnawialne źródła energii i gospodarka odpadami na Wydziale Przyrodniczo-Technologicznym Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Członek Studenckiego Koła Naukowego SKN „BioEnergia”.

Dr hab. inż. Arkadiusz Dyjakon

A graduate of the Faculty of Mechanical and Power Engineering at the Wrocław University of Technology. From 2010, he is employed as an assistant professor at the Wrocław University of Environmental and Life Sciences in the Department of Low-Emission Energy Sources and Waste Management. Since 20 years his scientific area of interest focused on the issues of generating electricity and heat from fossil fuels and renewable energy sources.

Łukasz Sobol

Third-year student of engineering studies at the The Faculty of Life Sciences and Technology of the Wrocław University of Environmental and Life Sciences in the field of Renewable Energy Sources and Waste Management. Member of the "Bioenergy" Student Research Circle.

Mateusz Strojek

Third-year student of engineering studies at the The Faculty of Life Sciences and Technology of the Wrocław University of Environmental and Life Sciences in the field of Renewable Energy Sources and Waste Management. Member of the "Bioenergy" Student Research Circle.

Material Economy and Logistics Journal

www.pwe.com.pl

Gospodarka Materiałowa i Logistyka

www.gmil.pl

ZNAJDZIESZ NAS TU

www.gmil.pl

tel. 795 155 583

ul. Podwale 17

00-252 Warszawa

