

# Porównanie emisji zanieczyszczeń pojazdów z napędem elektrycznym i spalinowym

Emil Król


## 1. Wstęp

Zanieczyszczenia powietrza emitowane przez samochody z różnymi typami napędu obecnie stają się coraz istotniejszą kwestią. Skutki zanieczyszczenia powietrza są najbardziej odczuwalne w centrach miast, gdzie zanieczyszczenia komunalne sumują się z zanieczyszczeniami transportowymi. Władze wielu państw wprowadzają coraz bardziej restrykcyjne normy emisji dla samochodów z napędem spalinowym, a producenci samochodów starają się sprostać tym normom. Ze względu na wielokrotne przekroczenia ilości pyłów oraz innych zanieczyszczeń w powietrzu, w wielu polskich miastach planowane są zaostżenia norm emisji lub nawet całkowite zakazy wjazdu do centrów miast pojazdami z napędem spalinowym. Żaden z zakazów ruchu w centrach miast, dotyczący emisji zanieczyszczeń, nie dotyczy samochodów i innych pojazdów wyposażonych w napęd elektryczny, gdyż te pojazdy nie emitują zanieczyszczeń powietrza w miejscu ich użytkowania. Zgodnie z krajowym raportem inwentaryzacyjnym z 2016 r. [7], wykonanym przez KOBIZE, głównym źródłem emisji CO<sub>2</sub> w Polsce jest spalanie paliw. Udział tej kategorii stanowił 91,8% w całkowitej emisji CO<sub>2</sub> w roku 2014. Udziały głównych podkategorii są następujące:

- przemysł energetyczny – 51,51%;
- przemysł wytwórczy i budownictwo – 9,58%;
- transport – 14,06%;
- inne sektory – 16,65%.

Emisja dwutlenku węgla jest traktowana jako wyznacznik emisji zanieczyszczeń. Dwutlenek węgla jest postrzegany przez wiele instytucji jako trucizna, a tak w rzeczywistości nie jest. Dwutlenek węgla powstaje podczas spalania węgla i wszelkiego rodzaju węglowodorów; jego ilość w rzeczywistości mówi o ilości spalonego paliwa. O wiele bardziej istotne są pozostałe składniki spalania, które wydostają się z rur wydechowych pojazdów z silnikami spalinowymi oraz kominów elektrowni i elektrociepłowni, które w bezpośredni sposób wpływają na zdrowie i życie ludzi. Dwutlenek węgla jest wprawdzie gazem cieplarnianym, jednak podczas spalania wytwarza się także wiele innych szkodliwych substancji. Dwutlenek węgla jest bezwonny i bezbarwny gazem, który każdy z nas wydycha i spożywa w wodzie gazowanej oraz innych produktach ogólnie dostępnych.

**Streszczenie:** W artykule omówiono podstawowe źródła emisji CO<sub>2</sub> oraz innych zanieczyszczeń powstających w trakcie spalania paliw kopalnych wykorzystywanych w gospodarce polskiej. Omówiono emisję dwutlenku węgla oraz innych szkodliwych dla zdrowia ludzkiego zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery przez samochody z napędem elektrycznym oraz samochody z napędem spalinowym. Porównano deklaracje producentów samochodów spalinowych dotyczące emisji dwutlenku węgla z realnymi badaniami oraz wyliczono emisję dwutlenku węgla dla samochodów z napędem elektrycznym. Opisano zalety i wady pojazdów z napędem elektrycznym, ze szczególnym uwzględnieniem ich wpływu na zanieczyszczenie powietrza w centrach miast.

 **Abstract:** The article describes the main sources of carbon dioxide and other pollutants produced by combustion of fuel in the Polish economy. It discusses the emissions of carbon dioxide and other pollutions harmful to human health. The pollutions released into the atmosphere by electric cars and cars with combustion engine. Compared declarations of combustion car manufacturers on emissions of carbon dioxide from real research and calculated carbon dioxide emissions for electric cars. An article describes the advantages and disadvantages of electric vehicles with a particular focus on impact on air pollution in centers of cities.

## 2. Emisja dwutlenku węgla oraz innych zanieczyszczeń przez samochody z silnikami spalinowymi

Powszechnie stosowane w samochodach z napędem spalinowym paliwa konwencjonalne oraz efekty ich spalania wpływają bardzo niekorzystnie na stan środowiska. Spalanie paliw płynnych powoduje w skali roku wprowadzenie do atmosfery wielu tysięcy ton CO<sub>2</sub> oraz innych szkodliwych substancji. Ponadto istnieje duże ryzyko zanieczyszczenia gruntów i wód, związane z wydobywaniem, składowaniem i przechowywaniem

paliw płynnych. Unia Europejska stara się wprowadzać określone wymogi ograniczające zanieczyszczenie środowiska przez pojazdy z napędem spalinowym. Zgodnie z Normą Euro 6, obowiązującą dla nowych samochodów od września 2015 r., nie mogą one emitować w miejscu użytkowania więcej niż 120 g CO<sub>2</sub> (średnio) [9] na jeden przejechany kilometr. Powyższy poziom emisji CO<sub>2</sub> przekłada się na średnie zużycie paliwa nie większe niż 5,6 l na 100 km. Ograniczenie ilości zużycia paliwa oraz ograniczenie emisji szkodliwych zanieczyszczeń wiąże się ze znacznym skomplikowaniem konstrukcji silników samochodów spalinowych. Producenci samochodów z napędem spalinowych do perfekcji opanowali sztukę ograniczania emisji CO<sub>2</sub> oraz zanieczyszczeń jedynie podczas testów laboratoryjnych wg NEDC. Z danych zebranych przez International Council of Clean Transportation (ICCT) [8] z ponad pół miliona pojazdów z napędem spalinowym wynika, że średnia rozbieżność emisji CO<sub>2</sub> między danymi wynikającymi z homologacji (testy laboratoryjne) i testów drogowych wynosiła około 8% dla pojazdów wyprodukowanych w 2001 roku do około 38% dla pojazdów wyprodukowanych w 2013 roku [8]. Rzeczywiste drogowe zużycie paliwa jest zatem o około 38% wyższe niż deklarują to producenci samochodów z napędem spalinowym. Rozbieżność pomiędzy rzeczywistą emisją a deklarowaną przez producentów samochodów z roku na rok robi się coraz większa [8]. Jeszcze większych różnic należy się spodziewać między deklarowaną a rzeczywistą emisją innych toksycznych związków zawartych w spalinach. Z opublikowanych badań przeprowadzonych na zlecenie Krajowego Urzędu ds. Środowiska, Pomiarów i Ochrony Przyrody Badenii-Wirtembergii wynika, że nowoczesne diesle, spełniające najnowszą normę Euro 6, w warunkach drogowych emitują średnio 8,5 razy więcej tlenków azotu (NO<sub>x</sub>) niż dopuszcza to norma. Tlenki azotu, w przeciwieństwie do CO<sub>2</sub>, stanowią realne zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi. Jednak ograniczenie ilości tlenków azotu w spalinach wymaga obniżenia temperatury oraz ciśnienia podczas spalania paliwa, co niestety powoduje obniżenie sprawności silnika spalinowego. Zachowanie niezmięnionej mocy silnika wymagałoby zwiększenia ilości spalanej paliwa, co jest z kolei niekorzystne z punktu widzenia kierowców i producentów samochodów oraz wiąże się z trudnościami ze spełnieniem normy emisji CO<sub>2</sub>. W nowoczesnych silnikach spalinowych dąży się jedynie do ograniczenia pojemności skokowej oraz ograniczenia emisji CO<sub>2</sub>, stałe podnoszenie mocy silników powoduje, że paliwo spala się przy bardzo wysokich temperaturach i ciśnieniu, co z kolei sprzyja poprawie sprawności, ale bardzo podnosi emisję tlenków azotu, równocześnie sprzyja też niższej emisji cząstek stałych uważanych za bardzo niebezpieczne dla zdrowia i życia ludzkiego.

W Polsce w 2013 r. zgodnie z raportem [12] wyemitowano do atmosfery 798 233,4 ton NO<sub>x</sub>, z czego na transport przypada 32%, a procesy spalania w sektorze produkcji i transformacji energii emitują tylko 30,5%. Silniki spalinowe stosowane w samochodach muszą spełniać, przynajmniej w laboratorium, coraz ostrzejsze normy emisji spalin. Obecnie obowiązująca norma emisji w miejscu użytkowania to Euro 6, jednak norma

ta dotyczy tylko nowych samochodów, a po drogach jeździ bardzo dużo starszych pojazdów, które nie spełniają już jakichkolwiek norm emisyjności spalin. Należy również zaznaczyć, że przetwarzanie ropy naftowej na paliwa płynne nie odbywa się bez udziału emisji zanieczyszczeń. Podczas procesów rafineryjnych ropy naftowej zanieczyszczenia odprowadzane są do powietrza [13]. W produktach rafineryjnych występują węglowodory o wysokiej toksyczności i szkodliwości dla zdrowia (np. benzen) [13]. Podczas rafinacji ropy naftowej część używanych paliw płynnych jest spalana w celu uzyskania ciepła niezbędnego do przeprowadzenia rafinacji. Podczas spalania paliw w rafineriach powstaje emisja: dwutlenku siarki, tlenków azotu, tlenku węgla, pyłu oraz dwutlenku węgla. Średnia światowa emisja CO<sub>2</sub> w trakcie procesu rafinacji ropy naftowej wynosi około 130 kg na tonę ekwiwalentu ropy naftowej [14], co określono na podstawie danych [15] i założeniu, że średnia gęstość ropy naftowej wynosi 850 kg/m<sup>3</sup>, a z 1000 kg ropy naftowej średnio można uzyskać 532 litry benzyny i 280 litrów oleju napędowego. Dla powyższych danych można wyliczyć średnią emisję CO<sub>2</sub> podczas produkcji benzyny i oleju napędowego wynoszącą około 110 g/l.

### 3. Emisja dwutlenku węgla przez samochody z napędem elektrycznym

Samochody z napędem elektrycznym, ze względu na wykorzystanie podczas jazdy wyłącznie silnika elektrycznego, przetwarzają energię elektryczną zgromadzoną w akumulatorach. Przetwarzanie energii elektrycznej na mechaniczną wiąże się jedynie z emisją niewielkich ilości ciepła wynikającą ze strat podczas przetwarzania energii. Praca napędu w samochodzie elektrycznym charakteryzuje się bardzo dużą czystością ekologiczną. Zredukowana jest do zera emisja całkowita w miejscu użytkowania pojazdu, zostaje zmniejszona ilość szkodliwych pyłów ze ścierających się klocków i okładzin hamulcowych oraz zdecydowanie ograniczony jest hałas generowany przez napęd. Ogólna emisja CO<sub>2</sub> oraz zanieczyszczeń pojazdu ogranicza się do emisji CO<sub>2</sub> oraz zanieczyszczeń źródła energii elektrycznej. W przypadku wykorzystywania do napędu pojazdu czystej energii elektrycznej, pochodzącej z odnawialnych źródeł energii lub biogazu, emisja takiego pojazdu wynosi 0. W Polsce energia elektryczna w głównej mierze pochodzi ze spalania węgla. Referencyjny wskaźnik jednostkowej emisyjności dwutlenku węgla przy produkcji energii elektrycznej wynosi 812 kg CO<sub>2</sub>/MWh. Jest on podawany przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. Podczas produkcji energii elektrycznej powstają również inne zanieczyszczenia, jednak z uwagi na dobrze kontrolowany proces spalania paliwa w elektrowniach zawodowych emisja tych zanieczyszczeń jest na znacznie niższym poziomie niż w przypadku silników spalinowych. Dodatkowo na podstawie całkowitej emisji NO<sub>x</sub> stwierdzono [10], że średni czas utrzymywania się NO<sub>2</sub> w atmosferze wynosi około trzech dni, zaś NO czterech dni. Tlenki azotu są usuwane z powietrza atmosferycznego poprzez procesy-reakcje fotochemiczne. W rezultacie końcowym produktem przemian NO<sub>x</sub> jest kwas azotowy usuwany z atmosfery pod postacią soli

przez opady deszczu lub wraz z pyłami [10]. Całkowita emisja zanieczyszczeń samochodów z napędem elektrycznym jest przeniesiona do elektrowni i zwykle jest znacznie oddalona od miast, zanieczyszczenia te mają niewielki wpływ na zdrowie i komfort życia większości mieszkańców. Należy również wziąć po uwagę, że zgodnie z raportem rządowym [11] około 30% wyprodukowanej w Polsce energii elektrycznej pochłaniają potrzeby własne energetyki oraz straty w przesyłce i dystrybucji. Tak duże potrzeby własne negatywnie oddziałują na emisję CO<sub>2</sub> i zanieczyszczeń przypadającą na jedną wyprodukowaną kWh energii.

**4. Porównanie emisji pojazdów z napędem spalinowym oraz z napędem elektrycznym**

W związku z tym, że zanieczyszczenia takie, jak NOX oraz pyły i inne zanieczyszczenia wytwarzane pośrednio przez samochody z napędem elektrycznym, nie docierają do większości mieszkańców, do porównania napędów wybrano emisję dwutlenku węgla. Emisja dwutlenku węgla jest jednym z parametrów, dzięki któremu możemy porównać ogólne emisje innych zanieczyszczeń przez samochody z różnymi typami napędów. Jako pojazd z napędem elektrycznym wybrano samochód osobowy Fiat Panda III, który jest wynikiem zrealizowanego przez KOMEL projektu badawczo-rozwojowego pt. „Bezemisijny napęd elektryczny nowej generacji (E-Kit) do samochodów osobowych i dostawczych o masie całkowitej do 3,5 t”

Wyniki zużycia paliwa dla silnika spalinowego zaczerpnięto z danych katalogowych producenta samochodu. Następnie urealniono zgodnie z wynikami badań International Council of Clean Transportation [8] oraz dodano emisję wynikającą z produkcji paliwa w rafinerii; wyniki znajdują się w tabeli 1. Następnie z określonego zużycia paliwa lub energii elektrycznej wyliczono emisję CO<sub>2</sub>. Wyniki badań na hamowni [2] oraz wyniki badań terenowych [1, 5] z napędem elektrycznym przedstawiono w tabeli 2. Na fot. 1 widoczny jest omawiany pojazd. Z przedstawionych pomiarów i obliczeń wynika, że samochód Panda III z napędem elektrycznym w ruchu miejskim emituje

**Tabela 1.** Wyniki całkowitej emisji CO<sub>2</sub> dla napędu spalinowego

	l / 100 km	Emisja CO <sub>2</sub> /100 km [kg]
Deklarowane przez producenta zużycie paliwa (silnik 1.2L 69HP, tryb mieszany)	5,2	12,5
Realne zużycie paliwa (silnik 1.2L 69HP, tryb mieszany)	7,17	17,3
Deklarowane przez producenta zużycie paliwa (silnik 1.2L 69HP, tryb miejski)	6,7	16,1
Realne zużycie paliwa (silnik 1.2L 69HP, tryb miejski)	9,2	22,2

**Tabela 2.** Wyniki emisji CO<sub>2</sub> dla napędu elektrycznego Fiata Pandy III

	kWh / 100 km	Emisja CO <sub>2</sub> /100 km [kg]
Zużycie energii elektrycznej test NEDC	14,56	11,8
Zużycie energii elektrycznej na hamowni dla 50 km/h	8,90	7,2
Zużycie energii elektrycznej na hamowni dla 70 km/h	12,8	10,4
Zużycie energii elektrycznej na hamowni dla 90 km/h	15,97	13,0
Zużycie energii elektrycznej test drogowy (ruch miejski)	10,26	8,3
Zużycie energii elektrycznej test drogowy (trasa mieszana v do 70 km/h)	10,64	8,6
Zużycie energii elektrycznej test drogowy (trasa mieszana v do 90 km/h)	12,84	10,4

8,6 kg CO<sub>2</sub>, a taki sam pojazd z napędem spalinowym emituje 22,2 kg CO<sub>2</sub>. Fiat Panda III z napędem elektrycznym w mieście emituje poprzez „komin elektrowni” ponad 3 razy mniej dwutlenku węgla niż ten sam samochód w miejscu użytkowania z napędem spalinowym, ponadto emisja pyłów i NOx z napędu elektrycznego jest w większości przypadków przeniesiona poza aglomeracje miejskie, gdzie jest szybko rozkładana na substancje nietoksyczne [10].

Jako drugi pojazd do porównania emisji CO<sub>2</sub> wybrano samochód dostawczy Honker Cargo (dawniej DZT Pasagon) z napędem spalinowo-elektrycznym, w którym oprócz tradycyjnego silnika spalinowego zamontowano nowoczesny napęd elektryczny [6] Testy drogowe były wykonane na tej samej trasie, w tym samym dniu, z użyciem napędu spalinowego, a później z użyciem napędu elektrycznego. Pojazd obciążono ładunkiem około 1000 kg [6]. Honker Cargo został zbudowany tak, aby silnik spalinowy można było wykorzystywać do przejazdów na dłuższych odcinkach poza miastami lub poza terenami zabudowanymi, natomiast na obszarach miejskich rolę głównego napędu



**Fot. 1.** Samochód Fiat Panda III zelektryfikowany zestawem E-Kit

Tabela 3. Wyniki emisji CO<sub>2</sub> dla napędu spalinowego i elektrycznego Honker Cargo

Honker Cargo (hybryda bimodalna)			
	l/100 km	kWh / 100 km	Emisja CO <sub>2</sub> /100 km [kg]
Napęd spalinowy – test drogowy zużycie paliwa (ruch miejski)	14	–	32,3
Napęd elektryczny – zużycie energii elektrycznej test drogowy (ruch miejski)	–	31,44	25,5

powinien stanowi silnik elektryczny. Wyniki badań zamieszczono w tabeli 2.

W przypadku Honkera Cargo przy użyciu tylko napędu elektrycznego emisja CO<sub>2</sub> na przejechane 100 km jest o 6,7 kg mniejsza niż w analogicznym samochodzie z napędem spalinowym. Biorąc jednak pod uwagę, że pojazdy tego typu w ciągu roku przejeżdżają dziesiątki tysięcy kilometrów, przewożąc towary, można znacząco ograniczyć emisję CO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>, szczególnie w aglomeracjach miejskich.

### Podsumowanie

W wyliczonych emisjach, zarówno dla samochodów z napędem elektrycznym, jak i spalinowym, została uwzględniona emisja dwutlenku węgla oraz pochodnych zanieczyszczeń od poziomu produkcji energii napędowej. Dla napędu elektrycznego jest to emisja wytworzenia energii w elektrowniach lub innych zakładach energetycznych, a dla napędu spalinowego jest to emisja podczas produkcji paliwa oraz podczas jego spalania w silniku spalinowym.

Zastosowanie napędu elektrycznego w samochodach elektrycznych przynosi znaczące korzyści ze względu na to, że całkowite emisje zostają przeniesione poza obszary o największym zaludnieniu. W obszarach o największym zaludnieniu i centrach miast zredukowana jest do zera emisja szkodliwych spalin i CO<sub>2</sub> do atmosfery. Używanie napędu elektrycznego pozwala również odzyskiwać energię podczas zwalniania i hamowania, co dodatkowo korzystnie wpływa na zmniejszenie ilości pyłów pochodzących ze ścierających się klocków i okładzin hamulcowych. Napęd elektryczny przyczynia się również do zmniejszenia hałasu w centrach miast, co łącznie z brakiem emisji znacząco podnosi komfort życia. W przypadku wykorzystywania energii elektrycznej pochodzącej ze źródeł o niskiej emisji lub z odnawialnych źródeł energii, emisja dwutlenku węgla przez pojazdy elektryczne może być równa zero. Kolejnym elementem zmniejszenia emisji samochodów, szczególnie dostawczych, jest zastosowanie napędu hybrydowego. Pojazdy dostawcze zajmujące się zaopatrzeniem przez większość czasu jeżdżą w mieście, jest to idealne środowisko pracy dla napędu elektrycznego, poza miastem mogłyby używać napędu spalinowego. Samochody z napędem elektrycznym to nie tylko zmniejszenie emisji szkodliwych zanieczyszczeń i dwutlenku węgla, ale również znaczące obniżenie kosztów eksploatacji.

### Literatura

- [1] ROSSA R.: *Badania eksploatacyjne samochodu osobowego zelektryfikowanego zestawem e-Kit*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 2(102)/2014.
- [2] KRÓL E., ROSSA R.: *Badanie napędu elektrycznego e-Kit w małym samochodzie osobowym w aspekcie zwiększenia zasięgu jazdy*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 2/2015.
- [3] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Pojazd\\_elektryczny](https://pl.wikipedia.org/wiki/Pojazd_elektryczny).
- [4] [https://pl.wikipedia.org/wiki/Silnik\\_dwusuwowy](https://pl.wikipedia.org/wiki/Silnik_dwusuwowy).
- [5] ROSSA R., BĘDKOWSKI B., BERNATT J., MEINICKE T.: *Badania eksploatacyjne miejskiego samochodu dostawczego z napędem elektrycznym e-Kit*. „Logistyka” 6/2014.
- [6] KRÓL E., SKĘCZEK W.: *Autobus miejski z napędem spalinowo-elektrycznym. Wyniki badań drogowych*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 1/2015.
- [7] KOBIZE – Krajowy raport inwentaryzacyjny 2016, Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce dla lat 1988–2014.
- [8] <http://www.theicct.org/laboratory-road-2015-update>.
- [9] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (we) nr 443/2009 z dnia 23 kwietnia 2009 r. określające normy emisji dla nowych samochodów osobowych w ramach zintegrowanego podejścia Wspólnoty na rzecz zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> lekkich pojazdów dostawczych.
- [10] MUSKAŁA W.: *Tworzenie i destrukcja tlenków azotu W procesach energetycznego spalania paliw*. Projekt „Plan rozwoju Politechniki Częstochowskiej”.
- [11] Projekt VI raportu rządowego oraz raportu dwuletniego dla Konferencji Stron Ramowej Konwencji NZ w sprawie zmian klimatu – Projekt raportu przygotowano przez IOŚ-PIB na podstawie informacji dostarczonych przez Ministerstwa i KOBiZE oraz ekspertyzy IMGW-PIB i dr Anny Kalinowskiej.
- [12] Krajowy bilans emisji SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO. W układzie klasyfikacji SNAP i NFR. Raport podstawowy. Warszawa 2015. Raport opracowany przez: Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE). Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy.
- [13] MIHULEKA M.: *Charakterystyka technologiczna rafinerii ropy i gazu w Unii Europejskiej*. Ministerstwo Środowiska. Warszawa, wrzesień 2003 r.
- [14] Ekaterina Gavenas, Knut Einar Rosendahl and Terje Skjerpen – CO<sub>2</sub> – emissions from Norwegian oil and gas extraction. Kwiecień 2015 r.
- [15] <http://www.eia.gov>

mgr inż. Emil Król

Instytut Maszyn i Napędów Elektrycznych KOMEL,

e-mail: e.krol@komel.katowice.pl