

<sup>1</sup>Karol Żebrowski, <sup>2</sup>Tomasz Detka, <sup>3</sup>Konrad Małek  
Przemysłowy Instytut Motoryzacji PIMOT, Zakład Elektromobilności, Warszawa

## ANALIZA PORÓWNAWCZA DANYCH Z RAPORTÓW DOTYCZĄCYCH EMISJI CO<sub>2</sub> ORAZ CAŁKOWITYCH KOSZTÓW POSIADANIA (TCO) POJAZDU ELEKTRYCZNEGO W ODNIESIENIU DO POJAZDU Z NAPĘDEM KONWENCJONALNYM

### COMPARATIVE ANALYSIS OF DATA FROM REPORTS OF CO<sub>2</sub> EMISSIONS AND TOTAL COST OF OWNERSHIP (TCO) OF AN ELECTRIC VEHICLE IN RELATIONS TO A CONVENTIONAL VEHICLE

**Streszczenie:** Obecnie rynek pojazdów elektrycznych rozwija się w sposób niezwykle dynamiczny, spowodowane jest to między innymi aspektami ekologicznym i ekonomicznym, oba te tematy budzą bardzo duże zainteresowanie w świecie nauki i biznesu. W związku z tym powstaje wiele publikacji związanych z analizą emisji gazów cieplarnianych, a w szczególności dwutlenku węgla oraz całkowitych kosztów użytkowania pojazdu elektrycznego, w porównaniu do pojazdów z napędem konwencjonalnym. W swoich analizach autorzy przyjmują różne założenia wstępne i dochodzą do rozbieżnych wniosków, które w różnym stopniu przemawiają na korzyść pojazdów elektrycznych. W związku z bardzo dużą ilością danych i analiz na ten temat, wynika potrzeba ich krytycznego zestawienia i podjęcia próby wyciągnięcia jednolitych spójnych wniosków – na tą potrzebę stworzono niniejszy artykuł. Zestawia on założenia, główne dane i płynące z nich wnioski, z raportów i artykułów pochodzących zarówno z kraju, jak i ze świata w celu oceny ich wiarygodności i spójności.

**Abstract:** Nowadays, the electric vehicle market is growing rapidly, due to among other things, ecological and economic aspects, both these issues arouse great interest in the world of science and business. As a result, many publications related to the analysis of CO<sub>2</sub>, greenhouse gases emissions and the total cost of ownership of the electric vehicle are created. In analyzes, the authors take different initial assumptions and reach different conclusions, which in varying degrees, indicate in favor of electric vehicles. Due to large amount of data and analyzes connected with the subject, it should be critically compared and attempt to draw conclusions – in this need this article was created. It summarizes the assumptions, the main data and conclusions from reports and articles from both the country and the world, in order to assess their reliability and consistency.

**Słowa kluczowe:** pojazdy elektryczne, całkowity koszt posiadania, TCO (Total Cost of Ownership), ekologia, emisja, gazy cieplarniane

**Key words:** electric vehicles, total cost of ownership, ecology, greenhouse gas emission

#### 1. Wstęp

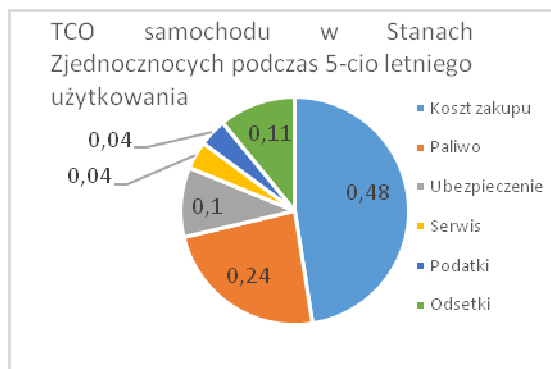
Porównując opłacalność kosztów użytkowania pojazdu elektrycznego względem pojazdu z napędem konwencjonalnym należy wziąć pod uwagę nie tylko koszt zakupu, ale także całkowity koszt posiadania pojazdu - TCO (*ang. Total Cost of Ownership*), w którego skład wchodzi: koszt zakupu, koszt paliwa, ubezpieczenie, serwis i naprawy, podatki oraz dopłaty. Obecnie cena zakupu pojazdu elektrycznego jest wyższa, niż w przypadku pojazdu tej samej klasy z napędem spalinowym. Różnica w TCO jest możliwa do zniwelowania w trakcie eksploatacji pojazdu, ponieważ koszty eksploatacji samochodów elektrycznych mogą być niższe.

Z uwagi na mniejszą liczbę elementów ruchomych, brak filtrów i konieczności wymiany olejów można osiągnąć niższe koszty serwisowania. Na TCO pojazdu elektrycznego ma również wpływ wiele czynników gospodarczych, tj. cena energii, różnica w stawkach ubezpieczeń pojazdów elektrycznych względem spalinowych oraz polityka w zakresie wspierania elektromobilności (istnienie i wysokość ulg oraz dopłat do samochodów elektrycznych). W celu dokonania oceny czy pojazd elektryczny może być z biznesowego punktu widzenia konkurencyjną dla pojazdów konwencjonalnych, przeanalizowano raporty zawierające dane dotyczące

TCO. Obecne problemy związane z globalnym ociepleniem spowodowane są m. in. wysoką emisją gazów cieplarnianych, których znaczącym źródłem emisji jest transport. Nie jest to jednak jedyne wyzwanie. Istotnym zagrożeniem jest smog, który występuje przede wszystkim w dużych aglomeracjach miejskich. Jednym z założeń prezentowanej pracy było przeprowadzenie analizy dostępnych danych, która miała pomóc odpowiedzieć na pytanie czy pojazdy elektryczne znacząco wpływają na redukcję emisji CO<sub>2</sub> i szkodliwych związków do atmosfery, w odniesieniu do pojazdów z napędem konwencjonalnym. Aby kompleksowo podejść do problemu należy odnieść emisje szkodliwych związków w okresie całego życia pojazdu, od jego produkcji do momentu zezłomowania. W celu postawienia jednoznacznych wniosków dotyczących zmniejszenia emisji szkodliwych związków do atmosfery na skutek elektryfikacji transportu drogowego zestawiono i przeanalizowano aktualne raporty i artykuły o tej tematyce.

## 2. Raport *Research in Transportation Business & Management*

Statystyczny rozkład całkowitych kosztów użytkowania pojazdu w Stanach Zjednoczonych przedstawiono na diagramie poniżej.



Rys. 1. Statystyczny rozkład kosztów użytkowania pojazdu w USA [2]

W Stanach Zjednoczonych, przeważająca część konsumentów finansuje tylko część kosztów zakupu pojazdu bezpośrednio, pozostała część kosztów jest rozkładana na oprocentowane raty spłacane regularnie. Ze względu na ten fakt na diagramie uwzględniono też czynnik, jakim są odsetki, który bezpośrednio wpływa również na TCO pojazdu.

W raporcie podjęto się oszacowania TCO dla 4 samochodów tej samej klasy: dwóch o napędzie

spalinowym, samochodu hybrydowego i samochodu elektrycznego. Badania przeprowadzono dla Szwecji zakładając, że 30-letni mężczyzna będzie użytkował auto przez 3 lata pokonując 15 tysięcy kilometrów rocznie. Na tej podstawie określono stawki ubezpieczenia, podatków i dodatkowych świadczeń oraz koszty eksploatacji. Zużycie paliwa i energii przyjęto wyższe niż podane przez producentów samochodów, określono je na podstawie średniej światowej zużycia dla tych modeli pojazdów. Przyjęte wartości przedstawiono w tabeli poniżej.

Tabela 1. Oszacowanie kosztów TCO dla 4 modeli samochodów

	Volvo V40 D3	Volvo V40 T4	Toyota Prius	BMW i3
Zużycie paliwa/energii na 100 km	6,61	8,591	5,011	16,52 kWh
Koszt zakupu [€]	12 815	12 605	14 412	19 905
Koszt paliwa [€]	4132	5814	3391	633
Koszt serwisu i naprawy [€]	374	374	1029	0
Odsetki [€]	1355	1332	1524	1660
Ubezpieczenie [€]	908	844	714	926
Podatki i ulgi [€]	343	189	0	-4202
TCO [€]	19 927	21 158	21 070	18 922
TCO miesięczne [€]	554	588	585	526
TCO na kilometr [€]	0,443	0,470	0,468	0,420

Z tabeli wynika, że najniższe TCO uzyskał pojazd elektryczny BMW i3, należy jednak zauważyć, że bez dopłaty rządowej w wysokości 4202 €, TCO tego pojazdu byłoby najwyższe spośród analizowanych. Założono także darmowy serwis w 3-letnim okresie użytkowania samochodu elektrycznego, a taką usługę w przypadku BMW i3 producent oferuje tylko przez okres dwóch lat, więc przyjęto, że w trzecim roku użytkowania pojazd nie będzie wymagał żadnych napraw [1] Na podstawie analiz zawartych w raporcie można stwierdzić, że obecnie pojazd elektryczny jest opłacalny wyłącznie przy wsparciu ze strony rządu. Naturalnie wyniki analiz przeprowadzone w innym kraju różniłyby się ze względu na inne ceny energii i ropy oraz wysokości subwencji ze strony rządu.

### 3. Raport Innogy – Autostrada do elektromobilności

Kolejna analiza kosztów użytkowania zawarta w raporcie *Innogy – Autostrada do elektromobilności*, sporządzona została na podstawie danych pozyskanych podczas użytkowania floty firmy *Innogy Polska*. W raporcie zostały przeanalizowane całkowite koszty użytkowania TCO samochodów elektrycznych, w porównaniu do pojazdów z silnikiem spalinowym o podobnych gabarytach i użyteczności w aglomeracji miejskiej. Do analizy przyjęto miesięczny przebieg na poziomie 2000 km. Należy zauważyć, że w raporcie przyjęto użytkowanie pojazdów w leasingu z okresem finansowania 60 miesięcy z bezpłatnym ubezpieczeniem i serwisem. Dane zestawiono w tabeli poniżej:

Tabela 2. Porównanie kosztów TCO dla pojazdów z floty innogy Polska

	Samochód z silnikiem diesla, Segment C	Samochód elektryczny, Segment B
Przebieg miesięczny	2000 km	2000 km
Zużycie paliwa/energii na 100km	5,86 l **	13 kWh
Cena paliwa/energii*	3,62 zł**	0,55 zł
Koszt paliwa/energii*	424 zł	143 zł
Miesięczny koszt finansowania*	1500 zł***	2100 zł***
Miesięczny koszt całkowity	1924 zł	2243 zł
TCO (60 miesięcy)	115 500 zł	134 600 zł

\*wartość netto,\*\* Dane floty innogy Polska z 2016 roku, \*\*\* kalkulacja na podstawie danych innogy Polska

Z przeprowadzonej analizy wynika, że TCO przy założonych miesięcznych przebiegach w danym okresie jest wyższe o kilkanaście procent w przypadku pojazdu elektrycznego, lecz gdyby użytkownik pojazdu pokonywał większą liczbę kilometrów miesięcznie (około 4000 km) całkowity koszt użytkowania byłby bardzo zbliżony, pomimo znacznie wyższej ceny katalogowej pojazdu elektrycznego. Warto jednak zauważyć, że do powyższych rozważań przyjęto do kalkulacji cenę paliwa netto, ponieważ analiza dotyczyła wykorzystania floty pojazdów przez firmę.

### 4. Raport TOR – Elektromobilność w Polsce, perspektywy rozwoju, szanse i zagrożenia

Kolejna analiza kosztów użytkowania pojazdów elektrycznych zawarta została w raporcie *TOR – Elektromobilność w Polsce, perspektywy rozwoju, szanse i zagrożenia* i bierze pod uwagę nie tylko samochody osobowe, lecz także autobusy, ponieważ coraz więcej miast inwestuje w ekologiczny transport publiczny. Jako obiekt analiz przyjęto Autobus Solaris Urbino 12 i Solaris Urbino 12e, dane pozyskano z MPK Kraków. W przypadku samochodów osobowych raport nie uwzględnia analizy TCO, a jedynie koszty eksploatacji: samochodu spalinowego, porównywalnego samochodu elektrycznego (np. Volkswagen e-Golf) ładowanego nocą i samochodu elektrycznego według ostrożnej oceny Ministerstwa Energii.

Tabela 3. Koszt eksploatacji samochodu osobowego

	Ostrożna ocena Ministerstwa Energii	Porównywalny samochód elektryczny ładowany nocą	Samochód spalinowy
Zużycie energii na 100km [kWh]	20	13	-
Cena za kWh [zł]	0,50	0,30 <sup>1</sup>	-
Zużycie paliwa płynnego na 100km [l]	-	-	7
Przyjęta cena za litr paliwa płynnego [zł]	-	-	5
Koszt przejechania 100km [zł]	10	3,90	35

<sup>1</sup> Stawka zgodna z zapowiedziami Ministerstwa Energii dotyczącymi cen w taryfie nocnej do ładowania aut elektrycznych

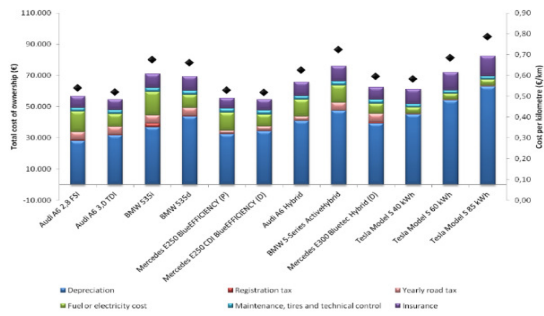
Tabela 4. Koszt użytkowania autobusów Urbino 12 i Urbino 12e

Autobus 12m Urbino wg MPK Kraków			
	Z ogrzewaniem	Z klimatyzacją	Bez ogrzewania i klimatyzacji
Zużycie energii [kWh/100km]	190	170	135
Cena za 1 kWh [zł]	0,35		
Koszt energii elektrycznej na 100 km [zł]	66,50	59,50	47,25
Zużycie paliwa płynnego [l/100km]	40	40	38
Cena za litr paliwa [zł]	3,60		
Koszt paliwa na 100 km [zł]	144	144	136,80
Cena Solaris Urbino 12e [zł]	2 008 794		

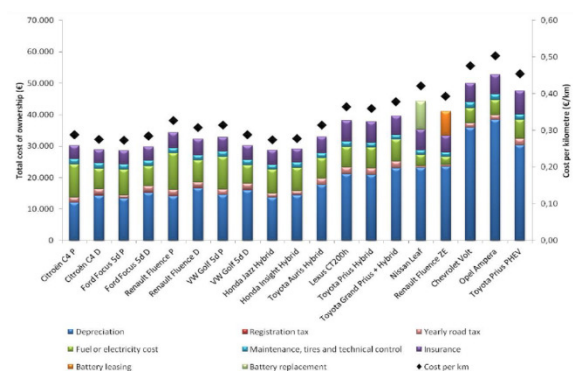
Cena Solaris Urbino 12 [zł]	971 615		
Całkowity przebieg	600 000		
Koszt eksploatacji autobusu spalinowego [zł]	864 000	864 000	820 800
Koszt eksploatacji autobusu elektrycznego [zł]	399 000	357 000	283 500
TCO autobusu spalinowego [zł]	1 835 615	1 835 615	1 792 415
TCO autobusu elektrycznego [zł]	2 407 794	2 365 794	2 292 294
Dodatkowy koszt autobusu elektrycznego [zł]	572 179	530 179	499 879
Dodatkowy koszt autobusu elektrycznego na 100 km [zł]	95,36	88,36	83,31

Z powyższej analizy wynika, że w związku z wysokimi kosztami zakupu autobusu elektrycznego w porównaniu do spalinowego odpowiednika, nawet przy założonym przebiegu 600 tysięcy kilometrów przyniesie straty finansowe w wysokości około 500 tys. złotych. Ogrzewanie i klimatyzacja wpływa znacząco na zużycie energii autobusów elektrycznych przez, co stają się droższe w eksploatacji i ich zasięg maleje. Rozwiązaniem tego problemu może być opracowanie specjalistycznych energooszczędnych systemów klimatyzacji dedykowanych dla autobusów elektrycznych. Należy zauważyć, że powyższa analiza TCO jest niepełna, ponieważ uwzględnia jedynie koszty zakupu i eksploatacji, a pomija koszty serwisu oraz ubezpieczenia. Pomimo większego kosztu zakupu autobusy elektryczne coraz częściej są użytkowane w transporcie publicznym, szczególnie w dużych aglomeracjach miejskich. Dzieje się tak ze względu na potrzebę zmniejszenia lokalnej emisji CO<sub>2</sub> i związków toksycznych. W odniesieniu do samochodów osobowych w raporcie zastawiono jedynie koszty eksploatacyjne pojazdów, które przemawiają zdecydowanie na korzyść pojazdów elektrycznych. Jednakże niezwykle istotnym aspektem w kontekście całkowitych kosztów użytkowania samochodu jest jego koszt zakupu, który pominięto w analizowanym raporcie. Obecnie (2018 r.) samochody elektryczne mają znacznie wyższą cenę zakupu niż auta tej samej klasy z napędem konwencjonalnym, w związku z czym wynik analizy TCO będzie się znacznie odbiegał od analizy wyłącznie samych kosztów eksploatacji.

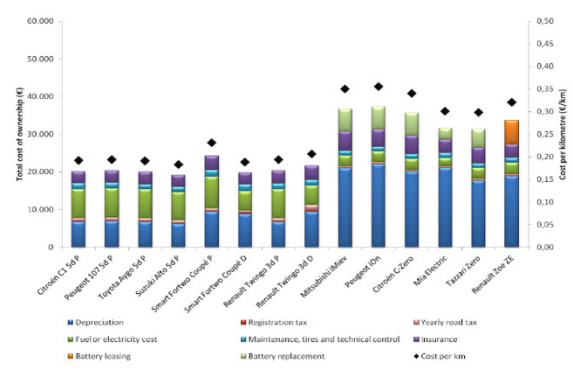
5. Artykuł *How expensive are electric vehicles? A total cost of ownership analysis*



Rys. 2. TCO samochodów marki premium [5]



Rys. 2. TCO samochodów średniej klasy [5]



Rys. 4. TCO dla małych miejskich samochodów [5]

W artykule przedstawiono modele całkowitych kosztów użytkowania pojazdu dla trzech różnych segmentów aut. Celem było zbadanie opłacalności samochodów elektrycznych względem samochodów z napędem konwencjonalnym. Analizę przeprowadzono dla klasy małych samochodów miejskich, samochodów średnich rozmiarów oraz aut klasy premium. W analizie uwzględniono praktycznie wszystkie koszty, które generuje posiadanie samochodu: koszt zakupu, podatek rejestracyjny, podatek drogowy, koszty serwisowania i wymiany opon, koszty ubezpieczenia, koszt paliwa lub

energii oraz w przypadku samochodów elektrycznych koszt wymiany baterii elektrochemicznej. Założono, że pojazd poruszał się będzie w Belgii, gdzie przeciętny czas użytkowania pojazdu wynosi 7 lat; pojazd rocznie pokona 15 000 km, co daje 105 tys. km przez cały okres użytkowania. Ceny paliwa i energii przyjęto zgodnie ze średnimi stawkami brutto obowiązującymi w roku 2012 w Belgii: benzyna – 1,7076 €/litr, ropa 1.5318 €/litr i energia elektryczna 0.21€ / kWh. Zużycie paliwa bądź energii określono na podstawie danych producentów, które prezentowały zużycie paliwa w cyklu NEDC (cykl ten najczęściej zaniża wartość zużycia paliwa). Ponadto założono zgodnie z panującymi przepisami, że pojazdy elektryczne i plug-in hybrid są zwolnione z podatku rejestracyjnego. Koszty napraw pojazdów elektrycznych z reguły są niższe niż samochodów z napędem konwencjonalnym, wynika to z mniejszej liczby części ruchomych, braku konieczności wymiany filtrów i olei więc założono, że koszty serwisu pojazdu elektrycznego wynoszą 65% względem kosztów serwisu pojazdów spalinowych. Wyniki analiz prezentują się następująco:

W segmencie aut miejskich zauważana jest dosyć wyraźna różnica w TCO pomiędzy pojazdami elektrycznymi i hybrydowymi, a spalinowymi, wynika to z dużej różnicy w kosztach zakupu pojazdów tej klasy. Najistotniejszym czynnikiem jest koszt baterii elektrochemicznej, niektórzy producenci oferują usługę leasingu baterii chcąc w ten sposób obniżyć koszt zakupu pojazdu. W przypadku aut klasy średniej całkowity koszt użytkowania pojazdu jest znacznie mniej zróżnicowany. W przypadku gdy bateria jest leasingowana, pojazd elektryczny jest tańszy od pojazdów plug-in hybrid z tego samego segmentu oraz konkurencyjny w stosunku do pojazdów z napędem konwencjonalnym. Rozpatrując segment aut klasy premium wysokość TCO w kontekście pojazdów elektrycznych głównie zależy od pojemności baterii. W przypadku baterii 40kWh model Tesla S okazuje się być bardziej opłacalny od pojazdów hybrydowych i niektórych spalinowych, lecz niska pojemność baterii niesie za sobą ograniczenia związane z zasięgiem, co jest istotnym utrudnieniem z punktu widzenia użytkownika. W analizie nie uwzględniono dopłat rządowych do pojazdów ekologicznych, co wpływa na uzyskane wyniki. W Belgii można było się starać o dopłatę przy

zakupie samochodu elektrycznego wynoszącą maksymalnie 30% wartości samochodu, lecz nie większą niż 9 190 €. W przypadku wystąpienia takiej dopłaty mogłoby okazać się, że TCO będzie najniższe dla pojazdów elektrycznych.

## 6. Podsumowanie TCO

Na całkowite koszty użytkowania pojazdu ma wpływ wiele różnych parametrów tj. koszt zakupu, podatki, koszty serwisu i napraw, koszt ubezpieczenia, aktualne ceny paliw i energii elektrycznej, w przypadku pojazdów elektrycznych dodatkowo koszt wymiany baterii, koszt jej ewentualnego leasingu oraz wysokość dopłat rządowych. Jednoznaczne porównanie analiz dotyczących TCO jest trudne, ponieważ różne źródła przyjmują znacząco różne założenia, tj. dystans pokonywany przez pojazd, czas jego użytkowania, stawki ubezpieczeń i podatków, ceny energii i paliwa, szacowana cena serwisu itp. Próbując podsumować wszystkie przedstawione analizy można wyciągnąć pewne spójne wnioski: **aby całkowite koszty użytkowania pojazdu elektrycznego były porównywalne z kosztami pojazdów z napędem konwencjonalnym obecnie musi występować inicjatywa inwestycji w rozwój transportu ekologicznego ze strony rządu o odpowiednio dobranych wysokościach dopłat. Innym aspektem jest wysoka cena zakupu pojazdu elektrycznego, która głównie jest spowodowana wysoką ceną baterii elektrochemicznej, jeżeli w przyszłości ceny akumulatorów elektrochemicznych spadną to pojazdy elektryczne mogą stać się opłacalne nawet bez wsparcia rządu.** Kolejnym istotnym wnioskiem jest znaczący wpływ pokonywanego dystansu na TCO. Dla pojazdu elektrycznego całkowite koszty użytkowania będą się zmniejszać względem pojazdu spalinowego wraz ze wzrostem liczby przejechanych kilometrów. Jednakże, dzienny dystans pokonywany przez pojazdy elektryczne ograniczony jest ich zasięgiem i koniecznością ładowania.

## 7. Raport *Elektromobilność w Polsce, perspektywy rozwoju, szanse i zagrożenia*

Autorzy raportu podają, że zanieczyszczenia komunikacyjne nie są istotną przyczyną przekraczania norm stężenia pyłu zawieszonego PM10 i przyczyniają się do jego powstawania jedynie w zakresie 5,4-7%. Inaczej jest w dużych aglomeracjach miejskich, np. w Warsza-



wie, gdzie emisja ze źródeł związanych z transportem pojazdów samochodowych i paliwami (tzw. źródeł liniowych) stanowiła 63% całkowitej wielkości emisji PM10. W pojazdach elektrycznych użytkowanych w Polsce redukcja gazów cieplarnianych w układzie pojazd-elektrownia wynosi pomiędzy 18-41%.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Dane pozyskane z kontroli NIK Ochrona Powietrza przed zanieczyszczeniami, Dane procentowe dla Aglomeracji Warszawskiej z 2011 roku

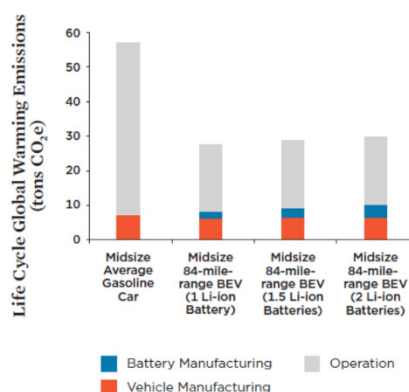
## 8. Raport *Cleaner Cars from Cradle to Grave*

Według wielu źródeł pojazdy elektryczne emitują więcej gazów cieplarnianych i związków szkodliwych na etapie produkcji niż pojazdy z napędem konwencjonalnym. Związane jest to z koniecznością wydobycia surowców ziem rzadkich, na przykład litu wykorzystywanego do produkcji ogniw elektrochemicznych oraz z samym procesem ich wytworzenia. Według raportu *Cleaner Cars from Cradle to Grave* sporządzonego przez *Union of Concerned Scientists*, wyprodukowanie dużego pojazdu elektrycznego (np. Tesla Model S) może generować emisję CO<sub>2</sub> nawet o 51% większą niż w przypadku pojazdu o tych samych rozmiarach, z napędem konwencjonalnym. Istotny jest jednak fakt, że podczas użytkowania samochodu elektryczny jest bezemisyjny w środowisku, w którym się porusza, jedynym źródłem emisji jest w takim przypadku wytworzenie energii elektrycznej do naładowania pojazdu. Liczba kilometrów, jaką musi pokonać pojazd elektryczny, aby „zniwelować” nadwyżkę gazów cieplarnianych wytworzonych podczas jego produkcji jest więc zależna od miksu energetycznego danego kraju lub regionu. Mniejszy udział paliw kopalnianych, a większy udział energii wytwarzanej przez źródła odnawialne zintegrowane z siecią elektroenergetyczną znacząco obniża emisję związków szkodliwych podczas wytwarzania energii niezbędnej do naładowania pojazdu elektrycznego.

Kolejnym aspektem, który negatywnie wpływa na ekologiczność aut elektrycznych może być konieczność wymiany baterii po pewnym okresie (ok. 10 lat) na skutek starzenia, co generuje dodatkową emisję związaną z wytworzeniem nowej baterii. Potencjalnym rozwiązaniem tego problemu jest rozwój recyklingu ogniw, mający na celu odzyskanie części materiałów.

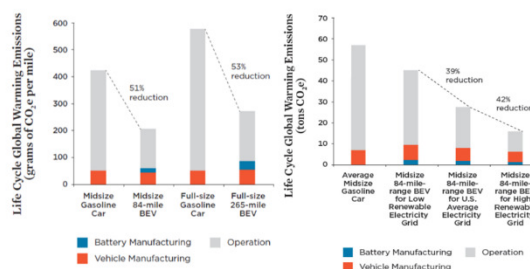
Poniżej przedstawiono diagramy z analiz dotyczących gazów cieplarnianych i związków

szkodliwych emitowanych przez pojazdy napędem elektrycznym i napędem konwencjonalnym.



Rys.

5. Przebiegi obrazujące redukcję emisji CO<sub>2</sub> w zależności od rodzaju napędu i miksu energetycznego [6]



Rys. 6. Redukcja emisji CO<sub>2</sub> wraz z uwzględnieniem konieczności wymiany baterii [6]

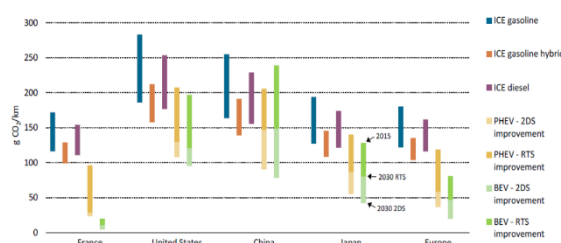
Analiza emisji CO<sub>2</sub> dla dwóch klas pojazdów (małego pojazdu miejskiego oraz dużego samochodu osobowego), uwzględnia emisję dwutlenku węgla podczas wytwarzania baterii elektrochemicznej, użytkowania pojazdu oraz jego produkcji. Rozważa 3 miksy energetyczne oraz konieczność wymiany baterii. Do oszacowania emisji podczas produkcji pojazdu wykorzystano ze średniej emisji sieci elektroenergetycznej w USA z 2015 roku. Wykazuje, że użytkowanie pojazdu elektrycznego pozwala obniżyć emisję dwutlenku węgla nawet o ponad 50% w porównaniu do pojazdu z napędem konwencjonalnym.

## 9. Raport *Global EV Outlook 2017 -International Energy Agency*

W raporcie prognozuje się emisję CO<sub>2</sub> pojazdów w 2030 roku, w poszczególnych krajach tj. Stany Zjednoczone, Francja, Chiny, Japonia oraz średnią emisję w Europie dla założonych

dwóch scenariuszy rozwoju pojazdów elektrycznych.

Scenariusz rozwoju *RTS- Reference Technology Scenario*, który zakłada, że w 2030 roku liczba pojazdów elektrycznych na świecie wzrośnie 26-krotnie względem roku 2016 i będzie wynosiła 56 milionów. Natomiast zgodnie z drugim scenariuszem rozwoju *2DS* prognozuje się nagły wzrost pojazdów elektrycznych, aż do 160 milionów w roku 2030, który rzekomo ma być spowodowany efektem globalnego ocieplenia klimatu i wzrostem średniej temperatury na świecie o 2<sup>0</sup>C. Na podstawie zamieszczonej grafiki, można stwierdzić, że rozwój pojazdów ekologicznych może znacząco obniżyć emisję dwutlenku węgla do atmosfery, lecz zależy to od sposobu wytwarzania

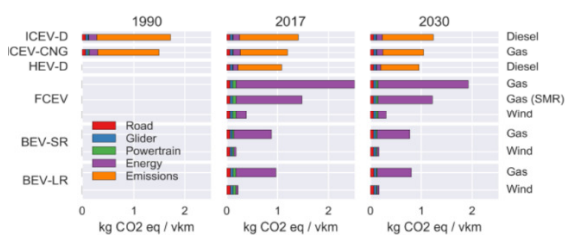


Rys. 7. Redukcja emisji CO<sub>2</sub> w poszczególnych regionach świata dla różnych scenariuszy rozwoju pojazdów elektrycznych [8]

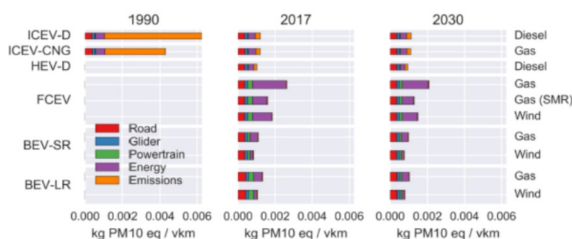
energii elektrycznej przez dany region. Najbardziej zauważalne jest to na przykładzie Francji, gdzie energia elektryczna jest wytwarzana głównie przez elektrownie atomowe i odnawialne źródła energii, co skutkuje bardzo dużą redukcją emisji CO<sub>2</sub> niezależnie od założonego scenariusza. W przypadku Chin w obecnym momencie pojazdy elektryczne generują porównywalne ilości dwutlenku węgla, co pojazdy napędzane paliwami kopalnianymi, lecz w roku 2030 niezależnie od scenariusza sytuacja ta ulegnie zmianie na korzyść pojazdów elektrycznych. Natomiast w Europie, przy bardziej zróżnicowanych sposobach wytwarzania energii elektrycznej można zauważyć znaczne obniżenie emisji CO<sub>2</sub> na kilometr, gdzie nawet przy założeniu mniej korzystnego scenariusza RTS emisja ta w 2030 roku będzie na poziomie 50g CO<sub>2</sub>/km. Należy jednak pamiętać, że w powyższej analizie założono jedynie prognozowane dane, które niekoniecznie będą miały swoje odzwierciedlenie w rzeczywistości.

### 10. Artykuł *Environmental assessment of current and future urban buses with different energy sources*

W artykule przeanalizowano emisję szkodliwych związków produkowanych przez autobusy o różnych układach napędowych w ciągu 12 lat ich pracy, podczas której pokonują 750 tys km. Emisję dwutlenku węgla oraz pyłu zawieszonego PM10 dla poszczególnych układów napędowych produkowanych w 1990 i 2017 roku oraz prognozowanych na 2030 rok przedstawiono poniżej:



Rys. 8. Emisja dwutlenku węgla dla autobusów z różnymi układami napędowymi [1]



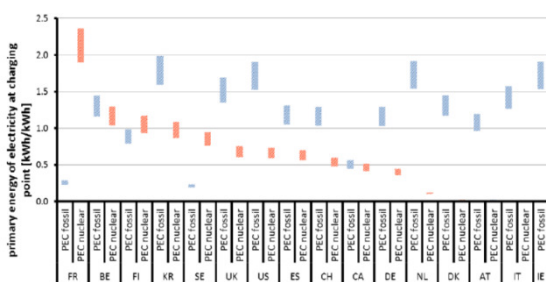
Rys. 9. Emisja pyłu zawieszonego PM10 dla autobusów z różnymi układami napędowymi [1]

Biorąc pod uwagę bilans globalnej emisji spalin, autobusy elektryczne wypadają lepiej (nawet w przypadku produkcji energii elektrycznej metodą konwencjonalną), natomiast warto zwrócić uwagę na możliwości jakie daje wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, czyli kilkukrotne obniżenie wartości emisji. Mimo, ograniczonego zasięgu autobusów elektrycznych możliwe jest wykonanie infrastruktury szybkiego ładowania na stacjach końcowych, co daje potencjał do ciągłego wykorzystania taboru zelektryfikowanego. W przypadku linii wymagającej większego zasięgu alternatywą jest napęd wodorowy.

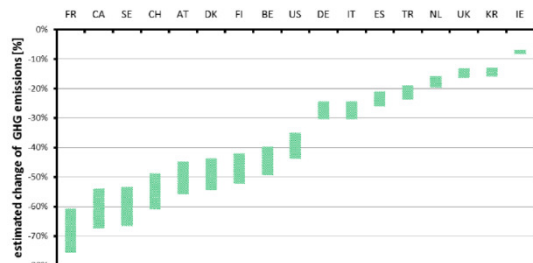
## 11. Life-cycle Based Environmental Effects of 1.3 Mio. Electric Vehicles on the Road in 35 Countries - Facts & Figures from the IEA Technology Collaboration Program on hybrid & Electric Vehicles

Praca przedstawia możliwość redukcji emisji dwutlenku węgla w zależności od mixu energetycznego w poszczególnych krajach w przypadku, gdy pojazdy elektryczne zaczną wypierać pojazdy spalinowe.

Główne źródła wytwarzania energii elektrycznej w poszczególnych państwach:



Rys. 10. Główne źródła wytwarzania energii elektrycznej w poszczególnych państwach [4]  
FR- Francja, BE- Belgia, FI- Finlandia, KR- Korea Południowa, SE- Szwecja UK- Wielka Brytania, US- Stany Zjednoczone, ES- Hiszpania, CH- Szwajcaria, CA- Kanada, DE- Niemcy, NL- Holandia, DK- Dania, AT- Austria, IT- Włochy, IE- Irlandia



Rys. 11. Możliwość redukcji gazów cieplarnianych w poszczególnych państwach przy elektryfikacji transportu drogowego w obecnym mixie energetycznym [4]

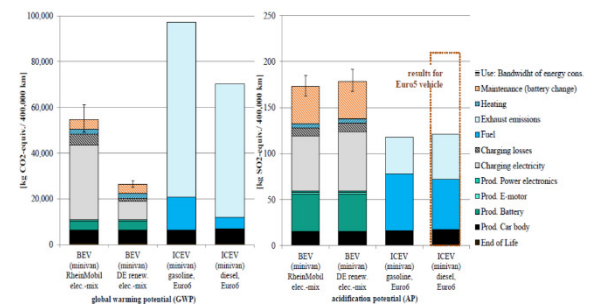
FR- Francja, BE- Belgia, FI- Finlandia, KR- Korea Południowa, SE- Szwecja UK- Wielka Brytania, US- Stany Zjednoczone, ES- Hiszpania, CH- Szwajcaria, CA- Kanada, DE- Niemcy, NL- Holandia, DK- Dania, AT- Austria, IT- Włochy, IE- Irlandia

Na podstawie powyższych wykresów można stwierdzić, że najlepszy efekt z użytkowania pojazdów elektrycznych uzyskują państwa, które swoją gospodarkę energetyczną opierają na elektrowniach atomowych i odnawialnych źródłach energii. W takich przypadkach emisja gazów cieplarnianych może spaść nawet

o ponad 70%. Kraje wykorzystujące do produkcji energii węgiel odniosą niewielką korzyść z elektryfikacji transportu, lecz nawet przy tak skrajnie niekorzystnym mixie energetycznym emisja gazów cieplarnianych zmniejszy się o kilka lub kilkanaście procent względem panującej przy używaniu pojazdów w napędem konwencjonalnym.

## 12. Life cycle assessment of electric vehicles in shuttle traffic -field test results of the project RheinMobil- Electric Vehicles

Artykuł dotyczy testu terenowego siedmiu minivanów z napędem elektrycznym testowanych przez 2,5 roku. Zbierano dane nt. zużycia energii i emisji poszczególnych związków. Do analizy rezultatów analizowano dwa mixy energetyczne RheinMobil (50/50) i niemiecki mix energetyczny oparty w głównej mierze na energii odnawialnej.



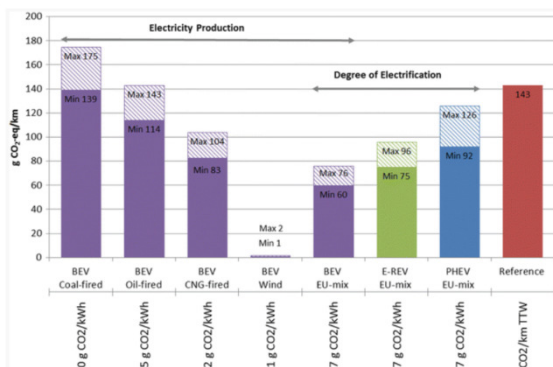
Rys. 12. Wyniki testów obrazujące emisje CO<sub>2</sub> i SO<sub>2</sub> przez pojazdy typu minivan w dwóch mixach energetycznych [3]

Analizując powyższy diagram warto zauważyć, że istotny wpływ ma również norma emisji spalin pojazdu z napędem konwencjonalnym. W przypadku dwutlenku siarki pojazd z silnikiem spalinowym wyemituje mniejszą ilość SO<sub>2</sub> w ciągu czasu użytkowania, niż pojazd z napędem elektrycznym, jeżeli będzie spełniał normę EURO 6. Dodatkowa emisja szkodliwych związków podczas produkcji jest niwelowana podczas użytkowania pojazdu, ponieważ wytworzenie i dostarczenie energii elektrycznej do akumulatorów pojazdu powoduje znacznie niższą emisję CO<sub>2</sub> i SO<sub>2</sub> niż w przypadku wytworzenia i dostarczenia paliwa kopalnianego do pojazdu z napędem konwencjonalnym. Dane z powyższego artykułu można uznać za rzetelne, ponieważ dotyczyły one rzeczywistego testu, w którym zbadano emisję związków toksycznych oraz dwutlenku węgla na każdym etapie użytkowania i wytwarzania pojazdu.



### 13. Artykuł - *Electric vehicle life cycle analysis and raw material availability*

W artykule przedstawiono analizę emisji dwutlenku węgla w zależności od źródła, z którego produkowana jest energia elektryczna oraz od stopnia elektryfikacji pojazdu. Uwzględniono tu emisje *Well-to-wheel*, czyli od momentu produkcji paliwa do faktycznego zużycia go przez pojazd. Wyniki prezentują się następująco:



Rys. 13. emisja CO<sub>2</sub> w zależności od źródła produkcji energii oraz od stopnia elektryfikacji pojazdu [7]

Analizując powyższe dane można zauważyć, że emisja pojazdów elektrycznych w głównej mierze zależy od panującego miksu energetycznego. Przy produkcji energii głównie z węgla (tak jak ma to miejsce w Polsce) emisja pojazdu elektrycznego jest porównywalna jak pojazdu z napędem konwencjonalnym, w najgorszym przypadku jest nieco większa. Gdy energię pozyskuje się wyłącznie z elektrowni wiatrowych emisja jest niemalże na poziomie zerowym. Warto podkreślić, że przy europejskim miksie energetycznym wykorzystanie pojazdu elektrycznego zamiast spalinowego pozwala dwukrotnie zmniejszyć emisję CO<sub>2</sub> do atmosfery. Pojazdy hybrydowe również powodują zmniejszenie emisji dwutlenku węgla do atmosfery, lecz nie jest to aż tak wyraźna różnica jak w przypadku pojazdów elektrycznych (pozwala zredukować emisję o 10-35% względem pojazdów z napędem spalinowym).

### 14. Fundacja Promocji Pojazdów Elektrycznych - *Napędzamy Polską Przyszłość*

W raporcie podjęto próbę oszacowania emisji dwutlenku węgla i gazów NO<sub>x</sub>. Przy założeniu analizowanego scenariusza, w którym samochody spalinowe będą spełniały coraz wyższe restrykcje związane z emisją gazów cieplarnianych (55g CO<sub>2</sub>/km w 2030r.), nastąpi

rozwój rynku pojazdów elektrycznych oraz polski miks energetyczny ulegnie zróżnicowaniu (w tym będzie obejmował elektrownie jądrowe), emisje szkodliwych związków do atmosfery mają rzekomo spaść o ponad 80% do roku 2050 w odniesieniu do stanu bieżącego (2018 r.). Natomiast w drugim analizowanym scenariuszu zakładającym zakaz sprzedaży samochodów spalinowych po 2030 roku, oraz że samochody elektryczne staną się technologią dominującą stwierdzono, że emisja NO<sub>x</sub> i pyłu zawieszanego PM10 do roku 2050 spadnie niemal do zera. Natomiast przy założeniu scenariusza „węglowego”, w którym polski miks energetyczny nie ulegnie zmianie, samochody elektryczne mają emitować corocznie nieznacznie więcej dwutlenku węgla do atmosfery w porównaniu do samochodów z napędem konwencjonalnym, aż do 2032 roku.

### 15. Podsumowanie dotyczące ekologii pojazdów elektrycznych

Emisja gazów cieplarnianych i związków szkodliwych podczas całego życia pojazdu elektrycznego jest zależna od bardzo wielu aspektów tj. wielkości pojazdu, źródeł wytwarzania energii w danym regionie, sposobu ich użytkowania, konieczności wymiany baterii elektrochemicznej czy też efektywności i opłacalności jej recyklingu. Pomimo, że na etapie produkcji emisja dwutlenku węgla i innych związków jest wyższa niż w przypadku pojazdów z silnikiem spalinowym, to na etapie eksploatacji pojazd elektryczny jest znacznie bardziej ekologiczny. Niezwykle istotny jest fakt, że pojazd elektryczny jest bezemisyjny w miejscu użytkowania, ma to szczególne znaczenie w dużych aglomeracjach miejskich, gdzie stężenie związków szkodliwych jest wysokie i w dużym stopniu generowane jest przez transport.

Po przeanalizowaniu wszystkich zawartych artykułów można wyciągnąć spójny wniosek: **pojazdy elektryczne w kontekście produkcji i użytkowania pozwalają zredukować emisję gazów cieplarnianych. Wyjątkiem może być przypadek, gdy w danym kraju miks energetyczny jest skrajnie niekorzystny (oparty wyłącznie na energii wytwarzanej z węgla), wtedy emisja pojazdu elektrycznego jest zbliżona do pojazdu spalinowego.**

### 16. Literatura

[1]. Cox1 Brian, Castillo Analy, Mutel Chris - Environmental assessment of current and future

urban buses with different energy sources - EVS30 Symposium Stuttgart, Germany, October 9 - 11, 2017.

[2]. Hagman Jens, Ritzén Sofia, Janhager Stier Jenny, Susilo Yusak - Research in Transportation Business & Management - KTH The Royal Institute of Technology, Sweden, 2016.

[3]. Held Michael, Schücking Maximilian - Life cycle assessment of electric vehicles in shuttle traffic -field test results of the project RheinMobil-Electric Vehicles- EVS30 Symposium Stuttgart, Germany, October 9 - 11, 2017.

[4]. Jungmeier Gerfried, Elgowainy Amgad, Canella Lorenza, Ehrenberger Simone, Benveniste Perez Gabriela, Roy Pierre-Olivier - Life-cycle Based Environmental Effects of 1.3 Mio. Electric Vehicles on the Road in 35 Countries - Facts & Figures from the IEA Technology Collaboration Program on hybrid & Electric Vehicles- Gerfried Jungmeier, Amgad A.

[5]. Lebeau Kenneth, Lebeau Philippe, Macharis Cathy, Van Mierlo Joeri - How expensive are electric vehicles? A total cost of ownership analysis. - - EVS27 Barcelona, Spain, November 17-20, 2013

[6]. Nealer Rachael, Reichmuth David - Cleaner Cars from Cradle to Grave -2015.

[7]. Electric vehicle life cycle analysis and raw material availability, 2017.

[8]. Global EV Outlook 2017 -International Energy Agency, 2017.

[9]. Innogy – Autostrada do elektromobilności, 2017

[10]. Napędzamy polską przyszłość, Fundacja Promocji Pojazdów Elektrycznych, 2018.

[11]. TOR – Elektromobilność w Polsce, perspektywy rozwoju, szanse i zagrożenia.

### **Autorzy**

1. inż. Karol Żebrowski – Inżynier ds. napędu elektrycznego, Zakład Elektromobilności, Przemysłowy Instytut Motoryzacji PIMOT  
e-mail: k.zebrowski@pimot.eu
2. mgr inż. Tomasz Detka – p.o. Kierownika Zakład Elektromobilności, Przemysłowy Instytut Motoryzacji PIMOT  
e-mail: t.detka@pimot.eu
3. inż. Konrad Małek – p.o. Zastępcy Kierownika, Zakład Elektromobilności, Przemysłowy Instytut Motoryzacji PIMOT  
e-mail: k.malek@pimot.eu