

Andrzej MACIEJCZYK

SAMOCOHODY Z NAPĘDEM ELEKTRYCZNYM. MITY I RZECZYWISTOŚĆ

W artykule omówiono temat pojazdów z napędem elektrycznym w aspekcie eksploatacyjno-ekonomicznym. Przedstawiono skutki określania zasięgu poprzez zużycie energii elektrycznej za pomocą przeznaczonego dla pojazdów z silnikami spalinowymi testu NEDC. Oceniono rzeczywiste zużycie energii i zasięg samochodów elektrycznych. Przeanalizowano koszty produkcji akumulatorów i oceniono ich udział w cenie pojazdu. Obliczono koszt energii niezbędnej do przejazdu 100 km odcinka trasy. Podano przykłady cen pojazdów z napędem elektrycznym.

WSTĘP

Samochody osobowe z napędem elektrycznym wzbudzają swego rodzaju sensację, u niektórych wywołują pobłażliwy uśmiešek. Wśród fanów motoryzacji są częstym tematem rozmów i dywagacji. Dodatkowe emocje i komentarze wzbudza deklaracja wicepremiera RP odnośnie miliona aut z tego typu napędem do 2025 roku. W roku 2015 zarejestrowano w Polsce 337 pojazdów z napędem elektrycznym z tzw. grupy ECV, do której zaliczane są:

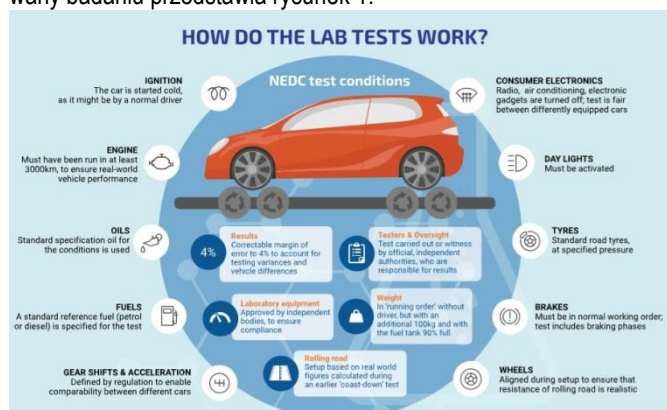
- battery electric vehicles (BEV),
- extended-range electric vehicles (EREV),
- fuel cell electric vehicles (FCEV),
- plug-in hybrid electric vehicles (PHEV).

Rok 2016 to 557 zarejestrowanych samochodów [1].

W świetle powyższego ten milion pojazdów elektrycznych to oczywista mrzonka. Jednakże z punktu widzenia nie tylko ekologii, ale także kosztów eksploatacyjnych pojazdy z napędem elektrycznym mogą okazać się interesującą alternatywą dla środków transportu wykorzystujących tradycyjne silniki spalinowe. Niestety jeszcze nie teraz. Na wstępie potencjalnego nabywcę wręcz odstrasza mocno wygórowana cena. Dalej niepokój budzi: ograniczony zasięg, rzeczywiste zużycie energii, trwałość akumulatorów oraz brak stacji ładowania, zwłaszcza tych szybkich. Czy przedstawione powyżej obawy i zastrzeżenia są słuszne?

1. TEST NEDC

Test NEDC (New European Driving Cycle) został wprowadzony w latach 90. Podczas testu określona zostaje średnia emisja CO₂ i substancji szkodliwych. Niejako przy okazji ustalane jest średnie zużycie paliwa. Wymagania wstępne jakie ma spełniać pojazd poddawany badaniu przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Wymagania wstępne dla badanego pojazdu [2]

Test oczywiście odbywa się w warunkach laboratoryjnych na hamowni podwozowej i składa się z dwóch cykli: miejskiego oraz pozamiejskiego. Cykl miejski trwa 13 minut i został podzielony na trzy identyczne części. Samochód zostaje powoli rozpędzany do prędkości 15, 32 oraz 50 km/h. Po każdym rozpędzeniu pojazdu następuje jego zatrzymanie na ściśle określony czas. Łączny czas postoju to ponad 3 minuty. Przez większość tego czasu manualna skrzynia biegów pozostaje w pozycji neutralnej z włączonym sprzęgłem (to temu postojowi zawdzięczamy wynalazek start-stop).

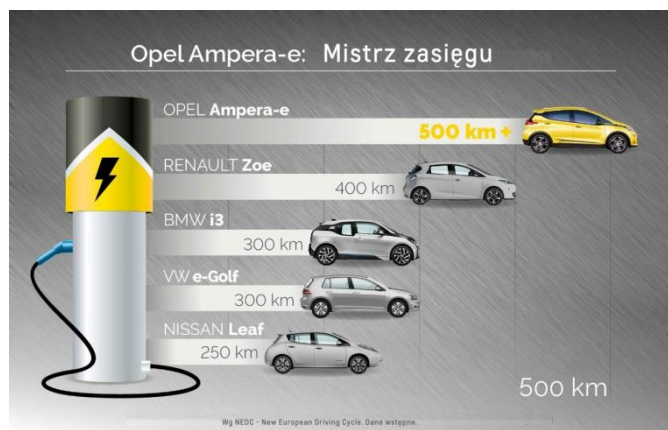
Cykl pozamiejski trwa niecałe 7 minut i polega na rozpędzeniu samochodu do 70, 100 i 120 km/h. Nie występuje tu zatrzymanie pojazdu, a jedynie jednokrotne zmniejszenie prędkości do 50 km/h na 69 sekund. W cyklu pozamiejskim samochód pokonuje dystans około 7 km ze średnią prędkością 62,6 km/h.

Jaki ma to związek z pojazdami elektrycznymi? Wg tego testu producenci określają zasięg ich pojazdu, a co za tym idzie zużycie energii. Ponieważ test nie ma nic wspólnego z rzeczywistymi warunkami eksploatacyjnymi, rzeczywiste zużycie paliwa w pojazdach z napędem konwencjonalnym, jak i rzeczywiste zużycie energii w samochodach z napędem elektrycznym muszą się różnić w istotny sposób w porównaniu z danymi podawanymi przez producentów. Raporty z badań Międzynarodowej Rady Czystego Transportu (ICCT) [3] oraz tygodnika Motor [4] wskazują różnice od kilkunastu do powyżej 30 % w przypadku aut miejskich i nawet do 50% dla pojazdów większych.

Znacznie bardziej wiarygodne są wartości zużycia energii/paliwa uzyskane w oparciu o amerykański test EPA (*Environmental Protection Agency*), jako że próby przeprowadzane są w warunkach bardziej zbliżonych do rzeczywistych. W przypadku pojazdów z napędem elektrycznym ich zasięg określony wg testu EPA jest o 30% mniejszy w stosunku do określonego z użyciem NEDC. Wartości te należy uznać za znacznie bardziej realne. Nie należy jednak przyjmować ich jako ostateczne. Warto pamiętać, że podczas testów w pojazdach nie uruchamia się klimatyzacji, systemu audio, szyby ogrzewanej, wycieraczek itp. urządzeń (patrz rys. 1), które potrafią skonsumować niebagatelną ilość energii. W ostatecznym bilansie energii nie bez znaczenia będzie również dynamika prowadzenia pojazdu wynikająca z temperamentu kierowcy.

2. ZUŻYCIE ENERGII / ZASIĘG

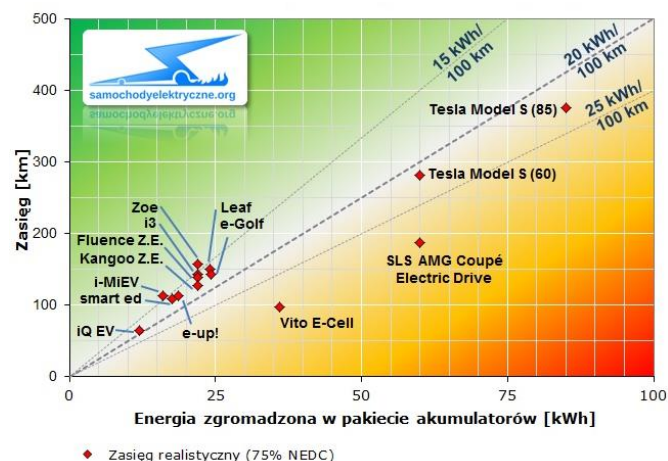
Najczęściej w określeniu zużycia energii, a co za tym idzie zasięgu pojazdu, producenci podają wartości ze wskazaniem testu, za pomocą którego je uzyskano. Zwykle odniesienie stanowi test NECD, czasami EPA. Nie brakuje także diagramów porównawczych, będących tylko i wyłącznie reklamą, bądź chwytym marketingowym. Przykład takowego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Diagram porównawczy zasięgów pojazdów elektrycznych [5]

Podstawową niecisłością jest porównywanie aut różnych wielkości z zainstalowanymi pakietami akumulatorów o różnych ilościach zgromadzonej w nich energii. Należy jednak przyznać, że diagram wykonano z należyтым poszanowaniem konkurencji.

Dodatkowym źródłem informacji dotyczących zużycia energii w samochodach elektrycznych mogą być dane przedstawione na rysunku 3. Istotne jest to, że zasięg rzędu 75 % NEDC uznano za realistyczny, co wydaje się mocno dyskusyjne.



Rys. 3. Porównanie zużycia energii aut elektrycznych [11]

Zdecydowanie bardziej logiczne wydają się wartości zawarte w tabeli 1. Przedstawiono w niej zasięgi uzyskane wg testów EPA. Jednakże dla celów porównawczych w pierwszej kolumnie tabeli wpisano wartości uzyskiwane według NEDC. Dodatkowo uwzględniono ilość energii zgromadzonej w pakietach akumulatorów poszczególnych pojazdów. Zasięg samochodu jest ewidentnie zależny od ilości energii w akumulatorach i jednostkowego jej zużycia. Jednostkowe

zużycie energii deklarowane przez producentów pojazdów zwykle wynosi 12-13 kWh/100km. Jest to wartość ewidentnie zaniżona, co wykazano w kolejnych kolumnach tabeli 1.

Znacznie szersza lista marek i modeli pojazdów w stosunku do tabeli 1 dostępna jest w [6].



Rys. 4. Profile jazdy wg BMW [12]

Zarówno dane z tabeli 1, jak i z rysunku 3 niestety nie uwzględniają szeregu aspektów eksploatacji pojazdu.

Producent samochodu BMW model i3 jako jedyny specyfikuje dodatkowo tzw. „profile jazdy” [12] (rysunek 4).

Pierwszy z profili to dynamiczna jazda miejska ze średnią prędkością 30 km/h realizowana w warunkach letnich i zimowych. Drugi to profil dojazdowy uwzględniający 1/3 jazdy miejskiej i 2/3 pozamiejskiej ze średnią prędkością 80 km/h, również z uwzględnieniem pór roku. Dla warunków letnich i jazdy miejskiej zasięg pojazdów z akumulatorami o pojemności 60 Ah i 94 Ah uznano za zgodne z zasięgiem wg EPA. Zasięgi profilu miejskiego i dojazdowego w warunkach zimowych oraz profilu dojazdowego w warunkach letnich w sposób zdecydowany skorygowano.

Oznacza to, że rzeczywisty zasięg pojazdu w warunkach wzmożonego popytu na energię podczas eksploatacji w warunkach jesienno-zimowych (zapewne także w okresie letnim, przy intensywnym wykorzystywaniu klimatyzacji) może ulec skróceniu o 20 do 50 km w stosunku do zasięgu wg testów EPA. Zapewne nie popełnimy błędu, jeśli realny, średni zasięg pojazdu przyjmiemy na zaprezentowanym powyżej poziomie, zwłaszcza że nie jesteśmy w stanie oszacować wpływu na tę wartość zachowania kierowcy i jego stylu jazdy.

3. KOSZT PAKIETU AKUMULATORÓW

W zakresie doboru przez producenta pakietu akumulatorów do konkretnego modelu pojazd, wydaje się obowiązywać zasada: mały

Tab. 1. Zasięgi i zużycie energii pojazdów elektrycznych [6,7,8,9,10]

| Marka/model | Zasięg [km] | | Energia akumulatorów [kWh] | Zużycie energii na 100 km [kWh] | | |
|-----------------------------------|-------------|---------|----------------------------|---------------------------------|-------|---------|
| | NEDC | EPA | | miasto | trasa | średnio |
| BMW i3 | 190 | 130 | 22 | 15,3 | 18,9 | 16,9 |
| BMW i3 (2016) | 300 | 200 | 33 | 16,2 | 19,8 | 17,7 |
| Chevrolet Bolt EV/ Opel Ampera | 500 | 380 | 60 | 16,4 | 19 | 17,6 |
| Renault ZOE | 240 | 160 | 24 | bd | bd | bd |
| Renault ZE40 | 400 | 270 | 40 | bd | bd | bd |
| Nissan Leaf | 190 | 135 | 24 | 16,6 | 20,7 | 18,4 |
| Nissan Leaf 2016 | 250 | 170 | 30 | 16,9 | 20,7 | 18,7 |
| Tesla S60D | 500 | 350 | 60 | 20,7 | 19,6 | 21,2 |
| Tesla S90D | 600 | 470 | 90 | 20,7 | 19,6 | 20,4 |
| Tesla X90D | 600 | 410 | 90 | 23,3 | 22,3 | 22,8 |
| Tesla 3 | bd | 350/500 | 55/80 | bd | bd | bd |
| VW Golf E | 300 | 200 | 35,8 | bd | bd | 17,6 |

samochód miejski – mały akumulator (niewielka ilość energii w akumulatorach), pojazd większy – większy akumulator. Logika poniekąd słuszna. Auto typowo miejskie - małe i stosunkowo lekkie. Akumulator może być mniejszy, a co za tym idzie lżejszy. Zasięg niewielki, ale w warunkach eksploatacji zgodnie z przeznaczeniem, głównie w obrębie aglomeracji miejskiej (powinien wystarczyć także na dojazd na podmiejską działkę) nie powinno być problemów z doładowywaniem. Mniejszy pakiet akumulatorów będzie także tańszy. Pojazd o większych gabarytach powinien mieć większy zasięg. Pakiet akumulatorów większy, czyli więcej energii w nim zgromadzonej. Tu zapewne przewidziano już wykorzystanie samochodu do poruszania się pomiędzy aglomeracjami.

Jednakże dla potencjalnego użytkownika pojazdu elektrycznego zasięg jest stale zbyt ograniczony. Nie powinno to nikogo dziwić, bo niby dla czego użytkownik nie może mieć możliwości dojazdu np. z Łodzi do Gdańska pojazdem typowo miejskim i to najlepiej bez konieczności doładowywania akumulatorów?

Za przyczynę takiego stanu uznaje się akumulatory.

- zajmują dużo miejsca – tak, ale na pewno zmieści się jeszcze jakiś pakiet,
- są ciężkie – nowoczesne pakiety nie są już tak ciężkie, jak poprzednich generacji,
- są drogie - relatywnie tak, ale sukcesywnie tanieją.

Im większy pakiet akumulatorów, tym wyższa jego cena. Jednocześnie koszt pakietu akumulatorów stanowi niebagatelną część przyszłej ceny pojazdu. Nie należy zatem się dziwić, że producenci samochodów nie są skłonni do wyposażania swoich pojazdów w duże pakiety baterii.

Zastępczy pakiet akumulatorów dla Chevroleta Bolt EV (rys. 5) kosztuje w USA 15.734,29 USD [13].



Rys. 5. Pakiet akumulatorów do Chevroleta

W przeliczeniu daje to około 262 USD/kWh, czyli 980 zł/kWh. Koszt całego pakietu to ok. 58 000 zł. To oczywiście prawda, ale ta kwota jest ceną detaliczną de facto części zamiennej. Niestety części zamienne nie są tanie.

Wg [14] w końcu 2015 roku koncern General Motors ogłosił, że koszt produkcji akumulatora li-ion spadł do 145 USD/kWh.

Na chwilę obecną koszt produkcji akumulatora szacuje się na 100 USD/kWh. Do tego należy jeszcze doliczyć koszt złożenia akumulatorów w pakiet i koszt BMS (Battery Management System), czyli prawdopodobnie 10-30 tys. zł. w zależności od wielkości pakietu.

Obserwowany trend spadkowy kosztów produkcji ogniw, jak na razie nie przekłada się na spadek cen pojazdów o napędzie elektrycznym. Co prawda począwszy od roku 2016 w części modeli pojazdów montowane są większe pakiety akumulatorów. Jednakże ceny tych samochodów są wyższe w stosunku do modeli z lat poprzednich.

4. ŁADOWANIE AKUMULATORÓW / KOSZT ŁADOWANIA AKUMULATORÓW

Z punktu widzenia potencjalnego użytkownika pojazdu z napędem elektrycznym możliwość przejazdu bez konieczności ładowania akumulatorów na trasie z centralnej Polski nad morze lub w góry należy uznać za pożądany. Prawdopodobnie do zaakceptowania jest jeden postój rzędu 30-45 minut z przeznaczeniem na odpoczynek, kawę, czy też posiłek po pokonaniu ok. 70 % trasy. W tym czasie powinno być możliwe doładowanie akumulatorów z użyciem szybkiej ładowarki do poziomu przynajmniej 60 - 70%. Taka ilość energii pozwoli nie tylko dojechać do celu, ale także na poruszanie się po okolicy lub też bezstresowy dojazd do stacji ładowania. Ażeby było to możliwe, konieczne jest wykorzystanie ładowarek o mocy rzędu min. 50 kW (125 A). To z kolei wymaga takiego doboru pojemności pakietu baterii, ażeby możliwe było ich ładowanie dużym prądem. Ładowanie baterii zwykle odbywa się prądem rzędu do 2C. W przypadku baterii li-ion producenci dopuszczają ładowanie nawet prądem odpowiadającym pojemności 7C, ale najprawdopodobniej odbije się to w przyszłości na trwałości pakietu.

Powyższe rozważania prowadzą do konkluzji, że niezbędny, rzeczywisty zasięg pojazdu przeznaczonego do przejazdów pozamiejskich to 400 km.

W przypadku pojazdu wykorzystywanego w miastach, ewentualnie na krótkich trasach dojazdowych w obrębie aglomeracji, gdzie występują przerwy w podróży (np. dojazd do i z pracy) oraz jest łatwiejszy dostęp do punktów ładowania, jego zasięg powinien wynosić 200 km. Jednocześnie mniej istotny okazuje się tu czas niezbędny do doładowywania akumulatorów.

Przyjmując zużycie energii miejskiego auta elektrycznego na poziomie 16 kWh/100 km i koszt energii elektrycznej rzędu 0,6 zł/kWh, cena przejazdu stukilometrowego odcinka rzędu 10 złotych nie wydaje się wygórowana.

W przypadku ładowania pojazdu w godzinach nocnych w miejscu zamieszkania i korzystania z nocnej taryfy - 0,3-0,4 zł/kWh, cena za przejazd 100 km będzie jeszcze bardziej atrakcyjna.

5. CENY POJAZDÓW Z NAPĘDEM ELEKTRYCZNYM

Dla potencjalnego użytkownika, oprócz parametrów pojazdu niezmiernie ważna jest cena jego zakupu. Dane odnośnie cen najpopularniejszych modeli przedstawiono w tabeli nr 2. Ceny modeli podstawowych zaczerpnięto ze stron www producentów.

Szacunkowy koszt pakietu akumulatorów dla poszczególnych modeli wyliczono w oparciu o przyjętą we wcześniejszych rozważaniach cenę 100 USD/kWh z uwzględnieniem przewidywanego kosztu systemu BMS.

Tab. 2. Ceny pojazdów z napędem elektrycznym

| Marka model | Cena od | Ilość energii w akumulatorach [kWh] | Szacunkowy koszt pakietu baterii [zł] | Uwagi |
|-------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---|
| BMW i3 | 162 100 zł [11] | 22 | 18 000 | Podane ceny dotyczą modeli podstawowych |
| Opel Ampera | 33 000 Euro (Niemcy)/138 200 zł [5] | 60 | 40 000 | |
| Renault ZOE | 89 900 zł [9] | 24 | 20 000 | |
| Nissan Leaf | 133 000 zł [10] | 30 | 25 000 | |
| Tesla 3 | 35 000 USD / 122 500 zł [8] | 55 | 40 000 | |
| VW Golf E | 35 900 Euro (Niemcy)/ 150 780 zł [7] | 35,8 | 28 000 | |

PODSUMOWANIE

Obecnie rynek pojazdów z napędem elektrycznych w Polsce można uznać za szczytkowy. Potencjalnych nabywców odstrasza absurdalna dla naszych realiów cena oraz relatywnie niewielki zasięg. Konsekwencją znikomego zainteresowania tego typu pojazdami jest brak odpowiedniej infrastruktury w postaci sieci łatwo dostępnych szybkich ładowarek. Nie bez znaczenia jest także brak przejrzystego i stabilnego programu wsparcia ze strony państwa stymulującego rozwój tego rynku.

Według prognoz, po 2020 roku 35 % nowo kupowanych aut na świecie będzie samochodami elektrycznymi.

Norwegia, w której już obecnie 25 % pojazdów to samochody z napędem elektrycznym wprowadza od 2025 roku zakaz sprzedaży pojazdów spalinowych. Do podobnych regulacji prawnych przymierza się Holandia [15].

BIBLIOGRAFIA

- <http://www.cire.pl/item,141174,1,0,0,0,0,0,ile-aut-elektrycznych-zarejestrowano-w-europie-i-polsce-w-2016-r.html>
- http://www.caremissionstestingfacts.eu/nedc-how-do-lab-tests-work/?gclid=EAlalQob-ChMlw8ap99zy1gIVwRbTCh2oVgzUEAYASAAE-glxM_D_BwE#

- http://moto.pl/MotoPL/1,88389,14006075,Producenci_znacznie_zanizaja_spalanie_Kto_najbardziej_.html
- <http://www.wyborcierowcow.pl/wiadomosci/rzeczywiste-a-oficjalne-zuzycie-paliwa-cz-1-raport/>
- <http://dixi-car.pl/opel-ampera-b.htm>
- http://samochodyelektryczne.org/porownania_zasiegow_i_osiagow_pojazdow_elektrycznych.htm
- http://samochodyelektryczne.org/volkswagen_e-golf_2017_przejedzie_wg_epa_201_km_ceny_w_niemczech_od_35900_eur.htm
- https://www.tesla.com/en_GB/models?redirect=no
- <https://www.renault.pl/samochody/samochody-elektryczne.html>
- <https://www.nissan.pl/pojazdy/nowe-pojazdy/leaf/cena-specyfikacje.html>
- http://samochodyelektryczne.org/porownanie_zuzycia_energii_samochodow_elektrycznych_z_2013r.htm
- <https://www.bmw.pl/pl/all-models/bmw-i/i3/2016/zasieg-ladowanie.html>
- http://samochodyelektryczne.org/nowy_pakiet_akumulatorow_dla_chevroleta_bolt_ev_kosztuje_15734_29_usd.htm
- <http://www.pojazdy.net/samochody-elektryczne/koszt-akumulatorow-do-samochodu-elektrycznego/>
- <http://gramwzielone.pl/auto-ekologiczne/22330/rekordowa-sprzedaz-samochodow-elektrycznych>

Cars with electric drive. Myths and reality

Paper discussed the subject of electric vehicles in the exploitation and economical aspect. The results of the determination of the range of electric drive cars using prepared for combustion engine vehicle the NEDC test are presented. Real energy consumption and range of electric cars were evaluated. The costs of battery production were analyzed and their share in the price of the vehicle was assessed. The cost of energy needed to travel 100 km of the route was calculated. Examples of prices of electric vehicles are given.

Autorzy:

dr inż. **Andrzej Maciejczyk** – Politechnika Łódzka, Katedra Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn