

Niskoemisyjne silniki: elektryczne czy spalinowe? Elektryczne, ale nasz system by tego nie wytrzymał

Autor: Artur Nemś - Zakład Termodynamiki, I-20, Politechnika Wroclawska

(„Energia Gigawat” – nr 8/2012)

Silniki spalinowe przez wiele lat służyły jako napęd dla pojazdów, jednak wydaje się, że w związku z rozwojem techniki nastął czas na poszukiwanie nowych, lepszych technologii umożliwiających przemieszczanie się. Pomimo, że napęd elektryczny został zastosowany jako pierwszy w pojazdach, nie znalazł on jednak uznania i na blisko 100 lat został wyparty przez silniki spalinowe. Obecnie trendy się zmieniają i powraca dawno zapomniany temat napędu elektrycznego. Z roku na rok coraz więcej mówi się o zastąpieniu napędu spalinowego przez nowoczesne silniki elektryczne. Działania w tym kierunku doprowadziły już do rozpowszechnienia informacji o wyższości tych drugich nad konwencjonalnym silnikiem samochodowym. Obecnie, choć wciąż bardzo drogie pojazdy z napędem elektrycznym, wkraczają już do miast. Szereg kolejno wymienianych zalet, ukazujących przewagę silników elektrycznych nad spalinowymi, rozwiewa wątpliwości dotyczące słuszności podejmowanych działań mających na celu zastąpienie tradycyjnych silników elektrycznymi.

Wśród najważniejszych walorów silników elektrycznych stosowanych w samochodach wymienia się:

- wysoką sprawność konwersji energii na ruch (nawet powyżej 90%),
- cichą pracę,
- brak zanieczyszczeń,
- prostą konstrukcję,
- wysoki moment obrotowy już od pierwszych obrotów silnika,
- niski koszt eksploatacji,
- możliwość odzyskania energii w trakcie hamowania,
- w razie wypadku pojazdu istnieje małe ryzyko wybuchu.

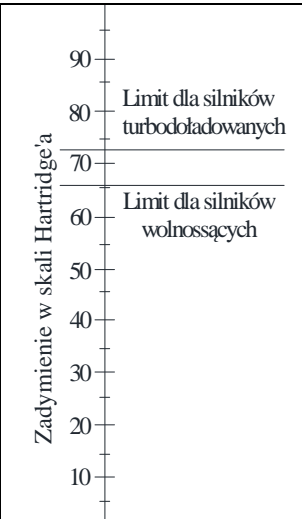
Większość korzyści z stosowania silnika elektrycznego nie podlega dyskusji, jednak niektóre jego cechy są (niesłusznie) w sposób bezpośredni przypisywane pojazdom elektrycznym. Współczesne silniki elektryczne mają sprawność powyżej 90%. Wysokosprawne silniki elektryczne osiągają nawet ~98%, są one jednak niezwykle kosztowne i raczej niestosowane w pojazdach samochodowych. Ponadto warto zauważyć, że sprawność ogólna pojazdu z napędem elektrycznym wynosi 75÷80%. Niższa sprawność związana jest choćby z układem regulacji. Podobnie jest w przypadku podawania kosztu eksploatacji takiego auta, gdzie „zapomina się” o uwzględnieniu w kalkulacjach wymiany, zużywających się co ok 8÷10 lat, kosztownych akumulatorów. Dokładniejsze analizy pokazują, że różnice pomiędzy dwoma napędami nie są już tak duże jakby się mogło wydawać. A jak wygląda aspekt niskoemisyjnych, ekologicznych i przyjaznych środowisku silników elektrycznych na tle tradycyjnych napędów?

Dym z silników spalinowych

Niejednokrotnie mogliśmy zauważyć kłęby czarnego dymu wydobywające się z aut, co sprzyja przekonaniu, że silniki spalinowe są niezwykle szkodliwe dla środowiska. Jest tak za sprawą sadzy, będącej częścią spalin, która stanowi tzw. dym suchy, nazywany również dymem czarnym. Zabarwienie spalin można dostrzec po przekroczeniu 100 mg/m^3 , jednak dopiero przy stężeniu ponad 600 mg/m^3 spaliny tworzą czarny dym. Odpowiada to zadymieniu wynoszącemu około 80 wg skali Hartridge'a (tab.1), co znacznie przekracza dopuszczalne limity określone przez europejskie przepisy ECE R24, jakimi objęte są silniki wolnossące i doładowane.

Wynika stąd, że pojazdy, z których wydobywają się kłęby dymu zazwyczaj nie spełniają norm i nie powinny przejść pozytywnie badań okresowych, gdyż wymagają one wyregulowania parametrów spalania. Możliwe jest również takie dobranie parametrów pracy silnika, które spowoduje poprawę osiągnięć kosztem wzrostu zadymienia. Takie posunięcie zastosował pewnego czasu jeden z amerykańskich koncernów samochodowych, który wypuścił na rynek auta o parametrach fabrycznych zoptymalizowanych tak, aby uzyskać wyższą moc kosztem zwiększonej emisji spalin (w tym również zadymienia). Większość z tych pojazdów przeszła prace serwisowe krótko po opuszczeniu salonu, w celu zmniejszenia wydzielania szkodliwych składników spalin.

Tabela 1. Wartości zadymienia spalin wg skali Hartridge'a oraz odpowiadająca tym wskaźnikom zawartość sadzy [2]

Zawartość sadzy g/m^3	Wskazanie w skali Hartridge'a	
0.038	10	
0.100	20	
0.142	30	
0.197	40	
0.265	50	
0.350	60	
0.460	70	
0.620	80	
0.835	90	
-	100	

Emisja silników spalinowych wg norm UE

Pod koniec XX wieku, w sektorze energetycznym, zaczęto wprowadzać coraz większe restrykcje wobec emisji spalin z dużych bloków energetycznych, powodując redukcję monitorowanych składników spalin. Doprowadziło to do uwypuklenia problemu znacznego zanieczyszczenia powodowanego przez przemysł motoryzacyjny. W wyniku tego powstały przepisy regulujące ilość składników spalin z pojazdów silnikowych.

Obecnie wszystkie nowe pojazdy z silnikami spalinowymi objęte są normami UE. Regulacjom prawnym podlegają samochody osobowe i ciężarowe, autobusy, pociągi,

traktory i maszyny rolnicze, barki, z wyłączeniem statków morskich i samolotów. Dla każdego typu pojazdu istnieją oddzielne przepisy. Określają one emisję tlenków azotu NO_x, niespalonych węglowodorów HC, tlenku węgla CO oraz ilość cząstek stałych PM (tab.4) [1]. Pomiar przeprowadzane są podczas standardowego cyklu testowego.

Dla lekkich samochodów osobowych i służbowych, od 2009 roku, obowiązuje dyrektywa 2007/715/EC, nazywana powszechnie EURO 5. Rząd polski planuje wprowadzić, zatwierdzoną przez Parlament Europejski, dyrektywę EURO 6 w latach 2014÷2015. Będzie ona bardziej restrykcyjna dla pojazdów wyposażonych w silniki Diesla.

Nowe pojazdy niespełniające wymogów ujętych w dyrektywie EURO nie mogą zostać zarejestrowane na terenie UE.

Trend kreujący proekologiczne działania widoczny jest nie tylko w Europie. Przykładem może być np. Australia, która podjęła działania mające na celu ujednoczenie swoich standardów emisji z normami unijnymi.

Zerowa emisja pojazdów elektrycznych?

Pomimo znacznego ograniczenia emisji przez silniki spalinowe, wciąż trudno jest bezpośrednio porównywać je z silnikami elektrycznymi. Brak spalin w pojazdach elektrycznych bez wątplenia można traktować za komfort dla podróżujących jak i dla otoczenia. Warto jednak przyrzeć się dokładniej pochodzeniu energii elektrycznej, którą pojazdy są zasilane.

W Polsce od wielu lat dominującą rolę w wytwarzaniu energii elektrycznej odgrywają konwencjonalne elektrownie, na węgiel kamienny lub brunatny. Pokrywają one ponad 90% zapotrzebowania na energię. Wciąż trwają starania nad zwiększeniem udziału odnawialnych źródeł energii. Polityka ta jest jednak długoterminowa. Dlatego obecnie za podstawowe źródło energii elektrycznej przyjmuje się klasyczne bloki parowe.

Z takich rozważań wynika, że energia elektryczna zużywana do napędu pojazdów wiąże się z emisją pewnych zanieczyszczeń, jakie wytwarza elektrownia. Zagadnienie jest jeszcze ciekawsze jeśli weźmie się pod uwagę wymogi emisyjne jakie nałożone są na energetykę zawodową. Bardzo rozbudowany układ oczyszczania spalin w elektrowni sprawia, że emisja z bloków energetycznych nie jest wysoka (w tab. 2 pokazano emisję spalin z największej polskiej elektrowni).

Tabela 2. Wielkości emisji w roku 2011 w wyniku spalania paliw w Elektrowni Bełchatów dla bloków 1-12 [3]

	Emisja całkowita z produkcji energii elektrycznej brutto	Emisja jednostkowa z produkcji energii elektrycznej
	kg/MWh	kg/MWh
SO ₂	2.678	2.671
NO _x	1.342	1.336
pył	0.049	0.049
CO	0.383	0.382
CO ₂	1096	1091

Biorąc pod uwagę całkowity łańcuch konwersji energii (energii chemicznej zawartej w paliwie na pracę mechaniczną) można porównać wpływ emitowanych zanieczyszczeń do atmosfery dla obu napędów.

Ilość wyemitowanych zanieczyszczeń podczas przejechania jednego kilometra przez pojazdy z tradycyjnym napędem nie może być wyższa niż wartości normatywne ujęte w tabeli 4.

Biorąc średniej klasy pojazd z napędem elektrycznym za jaki można uznać Mitsubishi i-MiEV, charakteryzujący się niskim zużyciem energii (0.135 kWh/km) [4] i uwzględniając straty spowodowane przesyłem energii elektrycznej z elektrowni i straty akumulacji można otrzymać całkowitą energię potrzebną na pokonanie jednego kilometra trasy.

Straty spowodowane przesyłaniem energii z elektrowni do odbiorcy oraz straty ładowania i akumulacji przedstawiają się następująco:

- sprawność transformatora na 15 KV η_{trwys} – 90 %
- sprawność sieci wysokonapięciowej η_{sieci} – 90%
- sprawność transformatora sieci konsumenckiej η_{trnisk} – 90 %
- sprawność ładowarki η_{lad} – 95 %
- sprawność akumulatora η_{aku} – 90 %

$$\eta_{całk} = \eta_{trwys} \cdot \eta_{sieci} \cdot \eta_{trnisk} \cdot \eta_{lad} \cdot \eta_{aku} = 62.3\%$$

Całkowita sprawność przesyłania energii i akumulowania jej wynosi ponad 60%. Oznacza to, że ilość wyprodukowanej energii jest o $1/\eta_{całk} \approx 1.6$ razy większa od wykorzystanej w pojazdach elektrycznych. Powoduje to, że elektrownia potrzebuje wyprodukować 0.217 kWh aby pojazd mógł przejechać jeden kilometr. Znając ilość emisji powstałej w wyprodukowania jednego kWh energii (tab. 2) możliwe jest obliczenie emisji składników spalin przez pojazd z napędem elektrycznym (tab. 3).

Tabela 3. Emisja spalin przeliczona na kilometr trasy pokonywanej przez pojazd z napędem elektrycznym.

	Emisja z produkcji energii elektrycznej brutto	Zużycie energii przez Mitsubishi i-MiEV	Emisja pojazdu (bez uwzględnienia sprawności)	Sprawność procesu przesyłania i akumulacji energii	Emisja pojazdu (z uwzględnieniem całkowitej sprawności)
	g/kWh	kWh/km	g/km	%	g/km
SO ₂	2.678	0.135	0.361	62.3	0.578
NO _x	1.342		0.181		0.289
pył	0.049		0.007		0.010
CO	0.383		0.051		0.083
CO ₂	1096		147.960		236.736

W tabeli 4 przedstawiono emisję powstałą z korzystania z pojazdu elektrycznego i porównano ją z normami unijnymi dla pojazdów spalinowych. Emisja spalin jaka związana jest z napędem elektrycznym pozwoliłaby spełnić normy EURO 3. Oznaczałoby to, że gdyby potraktować na równi pojazdy elektryczne i spalinowe to tylko pojazdy elektryczne wyprodukowane do końca 2004 roku mogłyby zostać dopuszczone do użytku. W przypadku usprawnienia i tak już wysokosprawnych procesów przesyłu energii, akumulacji i konwersji na ruch, możliwe byłoby spełnienie dyrektywy EURO 4, która przestała obowiązywać w 2009 roku.

Tabela 4. Emisja spalin (w przeliczeniu) z pojazdów elektrycznych oraz wymogi dla pojazdów spalinowych.

		ważne od	CO g/km	HC g/km	NO _x g/km	HC+NO _x g/km	PM g/km
silnik benzynowy	EURO I	12/1992	2.72	-	-	0.97	-
	EURO II	01/1997	2.20	-	-	0.5	-
	EURO III	01/2000	2.30	0.20	0.15	-	-
	EURO IV	01/2005	1.00	0.10	0.08	-	-
	EURO V	09/2009	1.00	0.10	0.06	-	0.005
	EURO VI	08/2014	1.00	0.10	0.06	-	0.005
silnik Diesla	EURO I	12/1992	3.16	-	-	1.13	0.14
	EURO II	01/1997	1.00	0.15	0.55	0.70	0.08
	EURO III	01/2000	0.64	0.06	0.50	0.56	0.05
	EURO IV	01/2005	0.50	0.05	0.25	0.30	-
	EURO V	09/2009	0.50	0.05	0.18	0.23	0.005
	EURO VI	08/2014	0.50	0.09	0.08	0.17	0.005
silnik elektryczny	-	-	0.08	-	0.29	-	0.010

Wielu producentów samochodów elektrycznych nie podaje ilości składników spalin, gdyż w sposób bezpośredni nie związana jest z tymi pojazdami emisja zanieczyszczeń. Można jednak spotkać pewien wyjątek jakim jest produkcja dwutlenku węgla. Ma to stanowić argument, że niska emisja CO₂ przez te pojazdy wpływa na zmniejszanie efektu cieplarnianego.

W dyrektywach EURO, dotyczących limitów dla pojazdów spalinowych, dwutlenek węgla nie był normowany i dlatego zazwyczaj nie był on notowany. Pomimo tego koncerny i tak zamieszczają dane dotyczące emisji CO₂ pojazdów spalinowych. Jednym z nich jest Opel, który zamieścił dane dotyczące swoich modeli i dla przykładu Opel Astra Station Wagon z silnikiem 1.9 CDTI i mocy 100 KM emituje 149÷154 g CO₂/km [5]. Jak wynika z tabeli 3 emisja pojazdu elektrycznego nie jest niższa. Dlatego ilość emitowanego dwutlenku węgla nie powinna stanowić argumentu skłaniającego do stosowania pojazdów elektrycznych jako nowej ekotechnologii.

*

Wiele zalet, jakie posiadają silniki elektryczne, sprawia, że coraz częściej znajdują one swoje miejsce pod maską samochodu. Niska, przez niektórych uważana za zerową, emisja spalin, choć często wymieniana jest jako atut pojazdów elektrycznych, nie stanowi korzyści z punktu ekologicznego, gdyż obecnie emisja niektórych składników spalin, występująca w miejscu wytwarzania energii do ich napędu, przekracza limity silników spalinowych. Zastosowanie napędu elektrycznego może mieć jednak aspekt społeczny, gdyż pozwoli przesunąć zanieczyszczenia z miast w obszar elektrowni, który jest zwykle oddalony od terenów mieszkalnych. Może to mieć niewątpliwie wpływ na poprawę komfortu życia w mieście.

Biorąc pod uwagę fakt, że w Polsce jest zarejestrowanych obecnie ponad 17 mln samochodów, a średnioroczny przebieg wynosi około 15 tys. km, okazuje się, że aby zamienić pojazdy z tradycyjnym napędem na elektryczny, jak wspomniany Mitsubishi i-MiEV, potrzeba by zwiększyć roczną produkcję energii o ponad 55 TWh. Stanowi to około

1/3 obecnej produkcji energii elektrycznej brutto. Z uwagi na wciąż rosnącą konsumpcję energii i starzejący się sektor energetyczny może stanowić to duże wyzwanie dla polskiej energetyki, nawet w aspekcie najbliższych 10÷20 lat. Warto również zwrócić uwagę, że liczba pojazdów w Polsce wciąż się zwiększa. Ponadto, jak wynika z danych statystycznych, 48% Polaków jeździ autami o pojemności 1.5÷2 litry i niechętnie wybrałoby pojazd o mocy 67 KM jakim jest Mitsubishi i-MiEV, woląc silniejsze jednostki, co jeszcze zwiększyłoby konsumpcję energii przez rynek motoryzacyjny.

Jakkolwiek poszukiwanie ekologicznych rozwiązań, pozwalających nam bardziej dbać o środowisko, jest działaniem jak najbardziej pożądanym, to jednak zabiegi te powinny być przemyślane.

Napęd elektryczny może poprawić komfort życia, a nawet wpłynąć pozytywnie na cały ekosystem, jednak wydaje się, że technologia ta wymaga jeszcze prac nad zwiększeniem efektywności (w celu redukcji zanieczyszczeń). Pomóc w tym mogłoby zwiększenie produkcji energii z odnawialnych źródeł. Rozwiązaniem mogłoby być również wytwarzanie energii (najlepiej z OZE), potrzebnej do napędu pojazdu, bezpośrednio u odbiorcy, co wpłynęłoby na zmniejszenie strat związanych z przesyłaniem energii na duże odległości, sprawiając, że pojazdy elektryczne były w pełni ekologiczne.

Artykuł powstał dzięki stypendium współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego