

Piotr WAJDZIK¹

Opiekun naukowy: Henryk WNEK²

POMIARY EMISJI WYBRANYCH ZWIĄZKÓW SPALIN I ZUŻYCIA PALIWA POJAZDU Z NAPĘDEM HYBRYDOWYM

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę wpływu napędu hybrydowego na emisję związków toksycznych spalin i zużycia paliwa. Przeprowadzono badania pojazdu Toyota Auris Hybrid na hamowni podwoziowej dla dwóch cykli jezdnych NEDC i WLTP. Opisano obiekt badań, stanowisko badawcze wraz z aparaturą pomiarową oraz metodykę badawczą. Wykonano analizy porównawcze emisji składników spalin i zużycia paliwa.

Słowa kluczowe: pojazd hybrydowy, napęd elektryczny, ekologia, emisja, zużycie paliwa, cykl jezdny

MEASUREMENTS OF EMISSIONS OF EXHAUST SELECTED COMPOUNDS AND FUEL CONSUMPTION OF A VEHICLE WITH HYBRID DRIVE

Summary: The article presents an analysis of the impact of hybrid drive on the emission of toxic exhaust gases and fuel consumption. Toyota Auris Hybrid was tested on a chassis dynamometer for two driving cycles NEDC and WLTP. The research object, test stand with measuring apparatus and research methodology were described. Comparative analyzes of exhaust gas component emissions and fuel consumption were performed.

Keywords: hybrid vehicle, electric drive, ecology, emission, fuel consumption, driving cycle

1. Wstęp

W W dzisiejszych czasach podróżowanie za pomocą pojazdów spalinowych stało się już normą. Ludzie oprócz komunikacji miejskiej takiej jak autobusy, pociągi czy metro często wykorzystują swoje samochody do przemieszczania się z punktu A do punktu B. Obecnie transport jest zaliczany do bardzo dynamicznie zmieniającej się

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Samochody i Silniki, wajdzikp@gmail.com

² dr inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, hwnek@ath.bielsko.pl

dziedziny, między innymi ze względu na ograniczenie emisji związków toksycznych. Bardzo dużym problemem jest emisja gazowych związków toksycznych, dwutlenku węgla oraz cząstek stałych, która stanowi barierę rozwoju współczesnych silników spalinowych. Największe trudności, przy ograniczaniu tych związków, są dla silników o zapłonie samoczynnym oraz z zapłonem iskrowym z bezpośrednim wtryskiem benzyny. Transport samochodowy jest poddawany najostrejszym przepisom, spowodowało to odnotowanie większego zmniejszenia zanieczyszczeń niż w pozostałych gałęziach transportu [4, 5]. Oprócz unowocześnienia klasycznych jednostek napędowych stosuje się również alternatywne źródła energii.

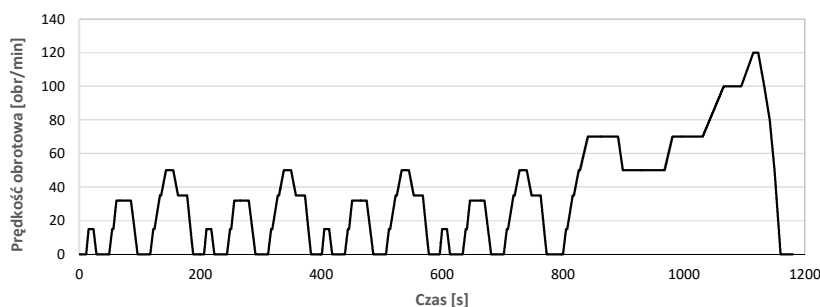
Nadmierna emisja spalin jest problemem dla otaczającego nas świata, ponieważ negatywnie wpływa na zdrowie ludzi oraz na środowisko naturalne. Jednym ze sposobów na jej ograniczenie jest stosowanie pojazdów z napędem alternatywnym w stosunku do spalinowego. Do najczęściej stosowanych należą napęd hybrydowy i elektryczny. Pojazd z napędem hybrydowym charakteryzuje się wykorzystywaniem, co najmniej dwóch różnych źródeł napędu – pierwotnego i wtórnego. Pierwotnym źródłem napędu jest najczęściej silnik spalinowy, wtórne źródło napędu może wykorzystywać energię zmagazynowaną w akumulatorach elektrochemicznych, hydropneumatycznych kinetycznych, mechanicznych i ultrakondensatorach. Najczęściej spotykane jest połączenie napędu spalinowego z elektrycznym. Największe korzyści ze stosowania napędu hybrydowego w pojazdach można osiągnąć w warunkach jazdy miejskiej, które charakteryzują się stosunkowo niewielkimi maksymalnymi prędkościami, częstymi zmianami prędkości i zatrzymaniami. W takich warunkach silnik spalinowy jest eksploatowany w nieekonomicznym obszarze swojej charakterystyki. Można to poprawić stosując drugie źródło napędu. Poza tym w pojeździe z napędem hybrydowym możliwa jest rekuperacja energii kinetycznej podczas hamowania, co korzystnie wpływa na ograniczenie emisji spalin i zużycia paliwa. [3, 6, 7, 12].

W pracy przeprowadzona została analiza porównawcza emisji składników spalin oraz zużycia paliwa pojazdu hybrydowego dla dwóch testów jezdnych – obecnie obowiązującego WLTP (World Harmonized Light Vehicle Test Procedure) oraz stosowanego wcześniej NEDC (New European Driving Cycle). Badania przeprowadzone zostały z wykorzystaniem pojazdu z napędem hybrydowym Toyota Auris Hybrid na hamowni podwoziowej.

2. Obowiązujące normy emisji spalin

Europejski standard emisji spalin opiera się na wprowadzonych w latach 90 ubiegłego wieku normach EURO. Są to normy dopuszczalnych emisji spalin dla nowych pojazdów, które obowiązują przy sprzedaży w Unii Europejskiej oraz w Europejskim Obszarze Gospodarczym. Dla pojazdów takich jak pojazdy osobowe, pojazdy ciężarowe, ciągniki drogowo, autobusy, ciągniki rolnicze uregulowane są normy związków toksycznych tj. tlenków azotu NO_x , węglowodorów HC, tlenków węgla CO oraz cząstek stałych PM. Spełnienie przez pojazd emisji spalin warunkuje się pozytywne przejście testu homologacyjnego WLTP, który jest następcą obowiązującego przez kilkadziesiąt lat testu jezdny NEDC. Test WLTP jest wspomagany przez test RDE (Real Driving Test). Koncerny motoryzacyjne zaprzestały stosowania testu NEDC, ponieważ nie odzwierciedlał on współczesnych

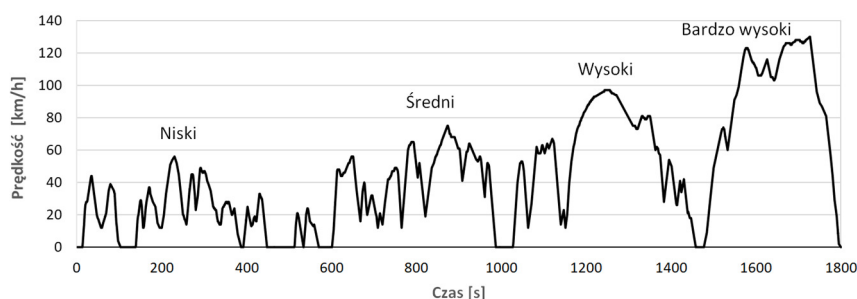
warunków drogowych poruszania się pojazdów, zwłaszcza warunków miejskich. Poza tym nowy cykl jezdny precyzyjniej definiuje warunki realizacji badań. Cykl jezdny NEDC (New European Driving Cycle) (Rysunek 1) wprowadzono w latach 80, a obecny kształt przybrał w 1997 roku. Proces badawczy składa się z dwóch części, tzw. miejskiej UDC (Urban Driving Cycle) oraz pozamiejskiej EUDC (Extra Urban Driving Cycle). W części naśladującej poruszanie się w mieście badany pojazd po uruchomieniu silnika i postoju przez kilka sekund, realizuje tzw. cykl elementarny, który jest 4-krotnie powtarzany. Podczas takiego cyklu pojazd jest kolejno rozpędzany do 15 km/h, 32 km/h oraz 50 km/h zatrzymując się po każdej fazie. Część testu, która ma symulować jazdę poza miastem, polega m.in. na przyspieszaniu do 70 km/h, utrzymaniu tej prędkości przez 50 sekund, a następnie zwolnieniu do 50 km/h i utrzymaniu tej prędkości przez 8 sekund. Potem pojazd musi przyspieszyć do 70 km/h, utrzymać to tempo przez 50 sekund, w ciągu kolejnych 35 sekund przyspieszyć do 100 km/h, jechać tak przez pół minuty, a następnie w ciągu 20 sekund przyspieszyć do 120 km/h. Po 10 sekundach od jej osiągnięcia samochód może się zatrzymać [8].



Rysunek 1. Przebieg testu NEDC

WLTP (World Harmonized Light Vehicle Test Procedure) (Rysunek 2) jest nowym cyklem badań, który został opracowany przez ekspertów z Europy, Japonii i Indii. Tworząc jego podstawy, odwołano się do rzeczywistych warunków, w jakich podróżują kierowcy. Pod uwagę wzięto również więcej czynników. Test NEDC odbywa się w temperaturze 20-30 °C. W przypadku cyklu WLTP test odbywa się przy temperaturze początkowej wynoszącej 23 °C, ponadto uwzględnia wpływ dodatkowego wyposażenia i różne konfiguracje wersji silnikowych oraz przekładni. Badanie danego modelu za pomocą cyklu WLTP przewiduje laboratoryjne testy różnych wariantów, a wynik podawany jest w formie przedziału - od wersji najbardziej ekonomicznej po najmniej ekonomiczną. Sam cykl WLTP trwa dłużej niż NEDC i inny jest również jego scenariusz. W cyklu WLTP pojazd pokonuje ok. 23 km i stoi przez 13 proc. czasu trwania testu. Dla NEDC wartości te wynoszą odpowiednio 11 km i 25 proc. Przebieg badania różni się również w zależności od stosunku mocy do masy badanego samochodu. Wydzielono trzy kategorie pojazdów, ale właściwie wszystkie pojazdy sprzedawane w Europie należą do klasy trzeciej, charakteryzującej się wskaźnikiem większym niż 34 kW na tonę. Badanie aut według scenariusza przewidzianego dla samochodów klasy trzeciej podzielone jest na cztery etapy. W pierwszym badana jest emisja spalin i zużycie paliwa przy poruszaniu się z niskimi prędkościami. Test trwa 589 sekund, pojazd pokonuje 3 km, rozpędza

się do 56,5 km/h i osiąga średnią prędkość 18,9 km/h. Przez 26,5 proc. czasu testu samochód stoi. Drugi etap to test średniej prędkości. Trwa on 433 sekundy, pojazd pokonuje 4,7 km, rozpędza się do 76,6 km/h i osiąga średnią prędkość 39,4 km/h. Przez 11,1 proc. czasu testu samochód stoi. Trzeci etap sprawdza emisję spalin przy wysokich prędkościach. Trwa 455 sekund, pojazd pokonuje 7,2 km, rozpędza się do 97,4 km/h i osiąga średnią prędkość 56,5 km/h. Przez 6,8 % czasu testu samochód stoi. Ostatnim etapem jest test bardzo wysokich prędkości. Próba trwa 323 sekundy, pojazd pokonuje 8,3 km, rozpędza się do 131,3 km/h i osiąga średnią prędkość 94 km/h. Przez 2,2 % czasu testu samochód stoi. Cykl WLTP jest bliższy rzeczywistym warunkom eksploatacji pojazdów niż NEDC. Nie jest jednak idealny. Na osiągnięcie prędkości 50 km/h kierowca testowanego samochodu ma 15 sekund [8].



Rysunek 2. Przebieg testu WLTP

Zadaniem testu RDE (Real Driving Test) jest uzupełnianie badań w zakresie emisji NO_x . Badanie przeprowadzane jest w rzeczywistym ruchu, na ulicach. Testowany samochód wyposażony jest w zamontowane na zewnątrz nadwozia urządzenie, które bada wydostające się z rury wydechowej spaliny. Pomiar odbywa się za pomocą przenośnych analizatorów spalin PEMS (Portable Emissions Measurement System). Pojazd porusza się po drodze według losowych parametrów takich jak przyspieszenie, zwalnianie, temperatura otoczenia oraz ładunek. Założeniem testu RDE jest jazda w terenie miejskim poniżej 60 km/h, w terenie niezabudowanym 60-90 km/h oraz drogą szybkiego ruchu z prędkością powyżej 90 km/h. Każdy z odcinków musi wynosić przynajmniej 16 km [8].

Celem wprowadzenia nowych regulacji w zakresie badań jest dostarczenie bardziej rzetelnych informacji o emisji składników spalin i zużyciu paliwa. Nowe zasady powodują, że producenci muszą dokonywać kolejnych modyfikacji silników by produkowane samochody spełniały aktualne wymogi.

3. Analiza rozwiązań konstrukcyjnych pojazdów z napędem alternatywnym

Współczesne pojazdy z napędem hybrydowym znacznie różnią się między sobą. Związane jest to przede wszystkim z przeznaczeniem takiego pojazdu. Za kryterium podziału tych pojazdów można uznać typ konstrukcji oraz funkcjonalność. Pojazdy te mogą różnić się rodzajem pierwotnego i wtórnego źródła energii. Jako pierwotne źródło energii obecnie najchętniej stosuje się silniki spalinowe o zapłonie iskrowym, rzadziej o zapłonie samoczynnym. Wtórny źródłem energii powszechnie stosowane

są akumulatory elektrochemiczne, ale spotykane są również akumulatory mechaniczne, hydropneumatyczne i ultrakondensatory. Stąd pod względem magazynowania energii hybrydowe układy napędowe pojazdów można podzielić na:

- spalinowo-elektryczne z gromadzeniem energii w akumulatorach elektrochemicznych lub kondensatorach, oznaczane przez HEV (Hybrid Electric Vehicle),
- układy składające się z silnika spalinowego i akumulatora kinetycznego wykorzystującego energię wirującego koła bezwładnościowego,
- układy składające się z silnika spalinowego i hydropneumatycznego akumulatora energii,
- układy składające się z silnika spalinowego i mechanicznego akumulatora energii.

Hybrydowe układy napędowe typu HEV można podzielić ze względu kryterium funkcjonalności w zależności od mocy maszyny elektrycznej. W ramach tego kryterium wyróżnia się następujące rodzaje układów hybrydowych:

- mikrohybryda (micro-hybrid) – jest to układ rozrusznika-alternatora o mocy około 2 kW, pozwala na realizację funkcji Start-Stop,
- mała hybryda (mild hybrid) – w tym przypadku moc maszyny elektrycznej zwiększona jest do kilkunastu kW, tym samym silnik spalinowy może być wspomagany przez silnik elektryczny dodatkową mocą, możliwy jest częściowy odzysk energii podczas hamowania, układ ten wyposażony jest również w akumulator trakcyjny,
- pełny układ hybrydowy (full hybrid) – ten układ charakteryzuje się mocą maszyny elektrycznej rzędu kilkudziesięciu kW, w tym rozwiązaniu istnieje możliwość napędu pojazdu przez silnik elektryczny, spalinowy lub łącznie przez oba silniki, w tym układzie maszyna elektryczna może pracować w trybie generatorowym, co pozwala na hamowanie z odzyskiem energii kinetycznej pojazdu. [6, 7].

Innym kryterium podziału hybrydowych układów napędowych jest struktura napędu, gdzie w zależności od sposobu przenoszenia i sumowania mocy pochodzącej z dwóch źródeł energii wyróżnia się:

- układ szeregowy, w którym silnik elektryczny napędza koła dzięki energii wytworzonej przez silnik spalinowy lub ewentualnie energii zgromadzonej w akumulatorze; zaletą tego rozwiązania jest to, że silnik spalinowy pracuje w warunkach ustalonych, w optymalnym zakresie obciążenia i prędkości obrotowej (zmniejszenie emisji związków toksycznych za wyjątkiem NO_x),
- układ równoległy, gdzie napęd na koła przenoszony jest przez silnik spalinowy lub/i przez silnik elektryczny, w tym rozwiązaniu pojazd ma do dyspozycji większą moc niż zainstalowany silnik spalinowy, ponieważ oba silniki mogą dostarczyć energii w tym samym czasie; ponadto można stosować jedną maszynę elektryczną, która pełni rolę zarówno silnika trakcyjnego w czasie dostarczania mocy do kół jak i generatora w czasie hamowania z odzyskiem energii (w celu ładowania akumulatorów),
- układ szeregowo-równoległy łączący zalety napędu szeregowego i równoległego podczas przenoszenia mocy i momentu obrotowego na koła pojazdu [1, 2, 9, 10].

4. Opis obiektu badań

Do badań wykorzystano pojazd Toyota Auris Hybrid będący w posiadaniu Katedry silników Spalinowych i Pojazdów ATH w Bielsku-Białej. Pojazd ten jest przykładem pełnego napędu hybrydowego wykorzystującego dwa źródła napędu, na które składają się silnik spalinowy o zapłonie iskrowym oraz dwie maszyny elektryczne MG1 oraz MG2. Silnik spalinowy o pojemności skokowej 1798 cm³ i mocy 73 kW pracuje według obiegu Atkinsona. W porównaniu z obiegiem Otto, wg którego pracują współczesne silniki o zapłonie iskrowym, obieg Atkinsona charakteryzuje się zmodyfikowanym przebiegiem suwu sprężania. Inżynierowie dokonali zmian, dzięki którym efektywny suw sprężania jest krótszy od suwu pracy. Osiągnięto to dzięki opóźnieniu zamknięcia zaworu ssącego, który zamyka się chwilę po rozpoczęciu suwu sprężania. Dzięki takiemu rozwiązaniu zmniejsza się ilość gazów spalinowych powstałych ze spalania mieszanki. Silnik wykazuje największą sprawność cieplną w zakresie średnich predkoci obrotów, co ma znaczący wpływ na zmniejszenie zużycia paliwa oraz toksyczność spalin. Paliwo jest wykorzystywane efektywniej ponieważ mniej energii mechanicznej produkowanej przez silnik jest zamieniane na energię cieplną[9]. Ujemną cechą obiegu Atkinsona jest nieco niższa moc efektywna silnika.

Trakcyjny silnik elektryczny MG2 jest silnikiem prądu przemiennego posiada moc maksymalną równą 60 kW przy 13500 obr/min i osiąga maksymalny momentem obrotowym równym 207 Nm. Druga maszyna elektryczna MG1 posiada mniejszą moc i głównie jest wykorzystywana jako generator. W układzie napędowym wykorzystywana jest przekładnia planetarna, która łączy poszczególne silniki. Wał korbowy silnika spalinowego połączony jest z jarzmem satelitów, generator MG1 z kołem centralnym, a trakcyjny silnik elektryczny MG2 z kołem koronowym.

Toyota Auris Hybrid wykorzystuje technologię Hybrid Synergy Drive, która polega na dobraniu optymalnego trybu jazdy samochodu. W zależności od potrzeby do pracy wykorzystywane jest dane źródło energii. Podczas jazdy używany jest tylko silnik spalinowy, tylko silnik elektryczny lub oba silniki jednocześnie.

Sposób wykorzystywania silników podczas różnych trybów jazdy:

- podczas postoju silnik spalinowy oraz elektryczny są wyłączone,
- podczas ruszania uruchamiany jest silnik elektryczny, który pozwala przejechać dystans około 2 km przy maksymalnej prędkości 45km/h. Silnik spalinowy wówczas nie pracuje,
- podczas normalnej jazdy pracują oba silniki, przy czym silnik spalinowy pełni rolę wspomagającą,
- podczas pełnego przyspieszenia do pracy włącza się silnik spalinowy, który pracuje na najwyższych obrotach, wówczas silnik elektryczny wykorzystuje energię elektryczną zgromadzoną w baterii,
- podczas szybkiej jazdy główną rolę odgrywa silnik spalinowy, natomiast silnik elektryczny tylko go wspiera,
- podczas hamowania silnik elektryczny MG2 pracuje w trybie generatorowym odzyskując energię kinetyczną pojazdu w celu ładowania baterii.

5. Stanowisko badawcze

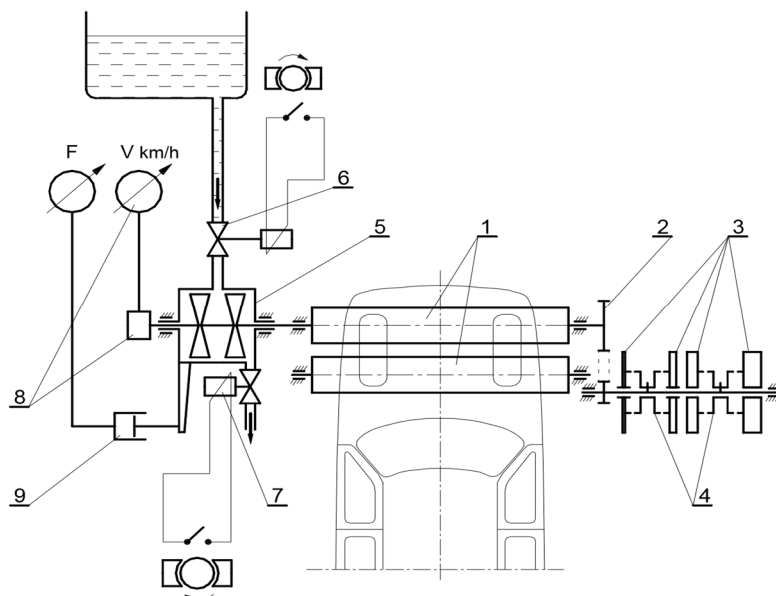
Badania doświadczalne przeprowadzono na hamowni podwoziowej z wykorzystaniem obiektu badawczego, który stanowił samochód osobowy Toyota Auris Hybrid (Rysunek 3) posiadający tzw. pełny hybrydowy układ napędowy. W ramach badań wykonane zostały przejazdy dwóch cykli jezdnych NEDC i aktualnie obowiązującego WLTP. Podczas badań rejestrowano parametry dotyczące emisji poszczególnych składników spalin jak i tych związanych pojazdem, tj. parametry ruchu pojazdu, pracy silnika spalinowego i elektrycznego.



Rysunek 3. Widok pojazd badawczego Toyota Auris Hybrid na stanowisku hamowni podwoziowej

Hamownie podwoziowe to stanowiska laboratoryjne pozwalające na symulację warunków pracy układu napędowego, zbliżonych do tych, jakie występują w warunkach drogowych (ustalonych i nieustalonych). Zaletą hamowni podwoziowych jest uniezależnienie się od zmiennych warunków atmosferycznych, konieczności dojazdu do torów badawczych oraz poszerzenie możliwości stosowania aparatury badawczej. Dodatkowo hamownia zapewnia powtarzalność przeprowadzenia testów badawczych. Istnieje również możliwość bieżącej oceny i analizy wpływu różnych czynników na mierzone parametry.

Wykorzystywana w badaniach hamowania podwoziowa firmy Schenck (Rysunek 4) pozwala na wykonywanie pomiarów w funkcji zadawanego obciążenia przez hamulec wodny [13].



Rysunek 4. Schemat hamowni podwoziowej typu Schenck [13]: 1 - rolki jezdne, 2 - przekładnia pasowa, 3 - masy bezwładne, 4- sprzęgła kłowe, 5 - hamulec wodny, 6- elektrozawór dociążający, 7- elektrozawór odciążający, 8- miernik prędkości jazdy, 9- siłownik pomiaru siły reakcyjnej obudowy hamulca (pomiar momentu)

Podczas wykonywania testu jezdnego pojazd obciążany jest trzema podstawowymi oporami ruchu:

- opór powietrza realizowany jest poprzez działanie momentu hamującego hamulca wodnego dzięki zaprogramowanemu sterownikowi,
- opór bezwładności realizowany jest poprzez działanie zestawu mas zastępczych adekwatnych do masy samochodu; masy zastępcze połączone są za przekładnią multiplikującą,
- opór toczenia realizowany jest jako opór toczenia kół samochodu na rolkach hamowni.

System pomiarowy hamowni podwoziowej pozwala na wyznaczenie zużycia paliwa pojazdu metodą bilansu węgla, opartej na analizie składu spalin. W skład systemu pomiarowego wchodzi:

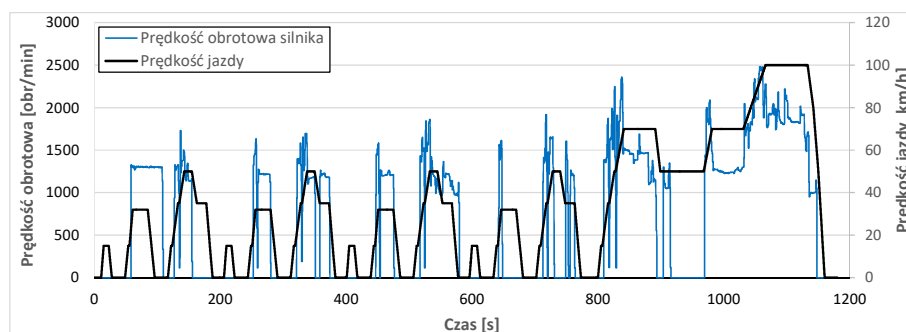
- układ automatyki do obciążania układu napędowego pojazdu w funkcji rzeczywistej lub zadanej prędkości pojazdu i odczytu parametrów jazdy,
- stacja pogodowa do pomiaru parametrów powietrza zasysanego,
- analizator spalin BRAINBEE AGS-688,
- urządzenie ELM327 do odczytu parametrów bieżących z ECU silnika poprzez złącze EOBD,
- objętościowy przepływomierz paliwa FLOWTRONIC z cyfrowym układem liczącym,
- komputer PC z wieloportową kartą komunikacyjną 168H PCI (prod. MOXA) i służącym do wizualizacji parametrów oraz zapisu danych, generowania przebiegów testu i obliczeń matematycznych.

6. Przebieg badań i analiza wyników

Przeprowadzone badania doświadczalne na hamowni podwoziowej miały na celu porównanie emisji składników spalin i zużycia paliwa w czasie realizacji dwóch cykli jezdnych obowiązującego WLTP oraz funkcjonującego wcześniej NEDC z wykorzystaniem pojazdu Toyota Auris Hybrid z hybrydowym układem napędowym.

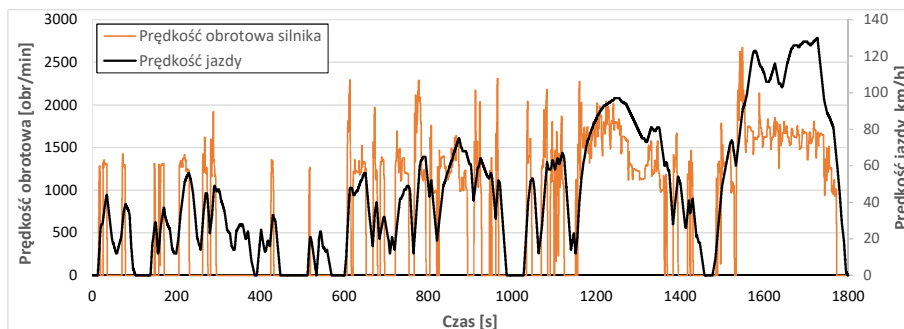
W obu przypadkach wykonywanych cykli jezdnych zachowano takie same warunki ich realizacji, tj. testy rozpoczynano przy nie nagrzanym silniku, w takiej samej temperaturze i ciśnieniu otoczenia oraz przy tej samej ilości włączonych odbiorników. Z uwagi na ograniczenia konstrukcyjne wykorzystywanej hamowni podwoziowej maksymalna prędkość badanego pojazdu wynosiła 100 km/h w obu przypadkach realizowanych testów.

Wykresy poniżej (Rysunek 5 i 6) przedstawiają przebiegi prędkości obrotowej silnika w obu przypadkach realizowanych testów jezdnych WLTP i NEDC. Z przebiegów prędkości obrotowej wynika, że pojazd ruszał wykorzystując elektryczne źródło napędu. Silnik spalinowy pojazdu hybrydowego uruchamiał się przy wyższych prędkościach jazdy, powyżej 20 km/h oraz podczas znacznego przyspieszania samochodu. Podczas jazdy miejskiej, po ustaleniu prędkości jazdy silnik spalinowy wyłączał się i pojazd korzystał z napędu elektrycznego. Maksymalna prędkość obrotowa silnika dla testu NEDC wynosiła ok. 2400 obr/min, natomiast dla testu WLTP ok. 2600 obr/min. Spowodowane jest to tym, że test WLTP charakteryzuje się większą dynamiką jazdy.



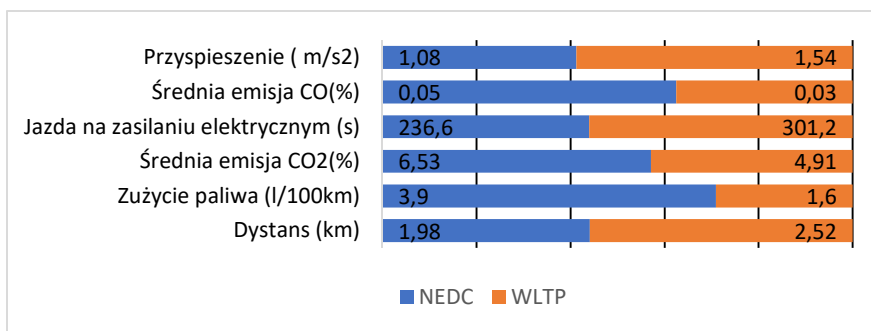
Rysunek 5. Prędkość obrotowa silnika spalinowego podczas testu NEDC

Na rysunku 7 przedstawiono porównanie wybranych parametrów eksploatacyjnych i dynamiki ruchu pojazdu z napędem hybrydowym podczas jazdy miejskiej dla testów NEDC i WLTP. Zestawienie zostało opracowane na podstawie pierwszych 390 sekund trwania testu, czyli etapu, gdzie pojazd porusza się z prędkością nie przekraczającą 54 km/h. W tej części jazdy pojazd pokonuje większą drogę w teście WLTP (ok. 2,5 km) w porównaniu z testem NEDC (ok. 2 km). W przypadku testu WLTP można zauważyć znacznie większe maksymalne wartości przyspieszenia wynoszące $1,54 \text{ m/s}^2$ w porównaniu z cyklem NEDC, gdzie przyspieszenia maksymalne wynoszą około 1 m/s^2 .



Rysunek 6. Prędkość obrotowa silnika spalinowego podczas testu WLTP

Jednocześnie badany pojazd podczas testu WLTP w trybie miejskim osiągnął niższą emisję tlenku węgla CO oraz dwutlenku węgla CO₂, co bardzo korzystnie wpływa na kwestię korzystania z samochodu hybrydowego w warunkach jazdy miejskiej. Jazda na zasilaniu elektrycznym podczas testu NEDC była o 64,6 sekundy krótsza, co wpłynęło na zużycie paliwa podczas tych 390 sekund jazdy po mieście, które wyniosło o 2,3 l/100 km więcej niż w przypadku testu WLTP.

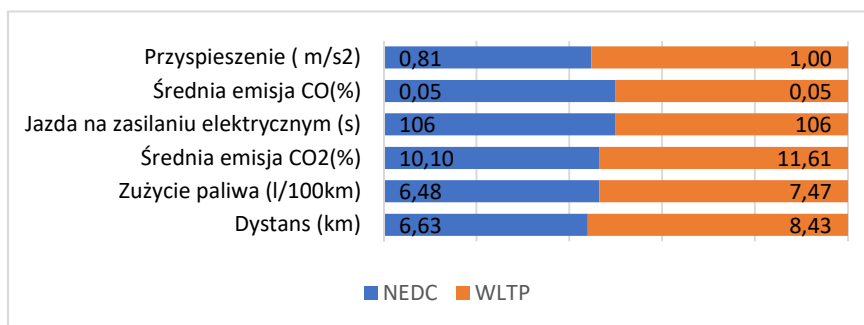


Rysunek 7. Porównanie parametrów eksploatacyjnych i dynamiki ruchu pojazdu z napędem hybrydowym podczas jazdy miejskiej dla testów NEDC i WLTP

Przeprowadzone badania potwierdzają tezę, że pojazd z napędem hybrydowym pozwala na bardziej ekologiczną i ekonomiczną jazdę w warunkach miejskich w porównaniu z pojazdem z napędem tylko spalinowym.

Rysunek 8 przedstawia zestawienie parametrów eksploatacyjnych i dynamiki poruszania się pojazdu z hybrydowym układem napędowym w cyklu mieszanym. Został on opracowany na podstawie ostatnich 400 sekund trwania testu, czyli etapu, gdzie pojazd porusza się po mieście oraz poza nim z prędkościami do ok. 100 km/h. W tym przypadku test WLTP również jest bardziej wymagający w zakresie dynamiki rozpędzania. Maksymalne wartości przyspieszenia pojazdu w teście WLTP są większe o 19 % w porównaniu do testu NEDC. Czas jazdy na zasilaniu elektrycznym jest zbliżony dla obu testów i wynosi 106 sekund. Również porównywalna jest emisja tlenku węgla CO, która wyniosła 0,05 %. Samochód podczas realizacji testu WLTP w cyklu mieszanym osiągnął większą emisję dwutlenku węgla CO₂, rzędu 11,6 % w porównaniu z testem NEDC, podczas którego wyniosła 10,1 %. Związane jest to między innymi z dłuższym przejechanym dystansem. Pojazd hybrydowy na badanym

odcinku uzyskał dla testu WLTP większe przebiegowe zużycie paliwa o ok. 1 l/100 km.



Rysunek 8. Porównanie parametrów eksploatacyjnych i dynamiki ruchu pojazdu z napędem hybrydowym podczas jazdy w cyklu mieszanym dla testów NEDC i WLTP

7. Podsumowanie i wnioski

Praca dotyczyła analizy wpływu napędu hybrydowego na emisję wybranych związków spalin i zużycia paliwa podczas realizacji dwóch testów jezdnych NEDC (New European Driving Cycle), który obecnie jest już nie stosowany oraz obowiązującego testu WLTP (World Harmonized Light Vehicle Test Procedure). W niniejszej pracy do badań został wykorzystany pojazd Toyota Auris Hybrid, który jest przykładem pełnego napędu hybrydowego. Badania zostały przeprowadzone na hamowni podwoziowej wyposażonej zaawansowany system pomiarowy. Dzięki przeprowadzonym badaniom doskonale widać różnicę między testami NEDC oraz WLTP, a także zalety korzystania z pojazdu hybrydowego. Oba testy różnią się między sobą. Obowiązujący test WLTP jest dłuższy o 620 sekund i cechuje się większą dynamiką jazdy, przez co dokładniej odwzorowuje współczesny charakter jazdy samochodu, zwłaszcza w warunkach miejskich. Osiągane w nim przyspieszenia są o 44 % większe w stosunku do testu NEDC. Zrealizowane badania pozwoliły na stwierdzenie, że użytkowanie pojazdu hybrydowego w miejskich arteriach jest korzystne, zarówno ze względów ekologicznych jak i ekonomicznych. Pojazd hybrydowy wyposażony w dwa różne źródła zasilania, np. silnik spalinowy oraz maszyny elektryczne, pozwala między innymi na odzysk energii podczas hamowania, ale także umożliwia pracę silnika spalinowego w obszarach o dużej sprawności. Badany pojazd w teście WLTP, w warunkach jazdy miejskiej, wyemitował mniejszą ilość dwutlenku węgla CO₂ oraz tlenku węgla CO w porównaniu z testem NEDC. Podczas jazdy miejskiej w teście WLTP przebiegowe zużycie paliwa było mniejsze o około 59 % w stosunku do testu NEDC, dla którego jazda z wykorzystaniem napędu elektrycznego była o około 64 sekundy krótsza. W przypadku testu WLTP w cyklu mieszanym pojazd uzyskał większą emisję dwutlenku węgla CO₂, rzędu 11,5 % oraz większe przebiegowe zużycie paliwa o ok. 1 l/100 km w porównaniu z testem NEDC. Związane jest to między innymi z dłuższym przejechanym dystansem podczas tego testu.

Przeprowadzone badania świadczą o tym, że poruszanie się pojazdem posiadającym hybrydowy układ napędowy w warunkach miejskich jest bardzo skutecznym rozwiązaniem w kwestii ochrony środowiska naturalnego dzięki ograniczeniu emisji dwutlenku węgla, a tym samym zużycia paliwa przez pojazd. Stosowanie napędu hybrydowego poza miastem, gdzie ruch samochodu odbywa się ze stałymi i wyższymi prędkościami daje mniejsze korzyści.

LITERATURA

1. DZIDA J.: Analiza hybrydowego układu napędowego samochodu Toyota Prius II. Zeszyty Naukowe OBR SM BOSMAL Nr 28/II/2005, Bielsko-Biała 2005.
2. DZIDA J.: Nowe mechaniczne akumulatory energii do pojazdów hybrydowych. Zeszyty Naukowe OBR SM Bosmal, nr 40/II, Bielsko-Biała, 2008.
- 3rd DZIDA J., DZIDA J.M.: The analysis of possibility of build STOP-START system based on elastic's component starter-accumulator. Combustion Engines, nr 3, Poznań, 2009.
4. MERKISZ J., PIELECHA I.: Alternatywne napędy pojazdów. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2000.
5. MERKISZ J., PIELECHA I.: Alternatywne paliwa i układy napędowe pojazdów. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004.
6. MERKISZ J., PIELECHA I.: Układy elektryczne pojazdów hybrydowych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2015.
7. MERKISZ J., PIELECHA I.: Układy mechaniczne pojazdów hybrydowych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2015.
8. MERKISZ J., PIELECHA I., RADZIMIRSKI S.: Emisja Zanieczyszczeń motoryzacyjnych w świetle nowych przepisów Unii Europejskiej, WKiŁ Warszawa 2012.
9. ROBERT BOSCH GmbH: Napędy hybrydowe, ogniwa paliwowe i paliwa alternatywne, Informator techniczny Elektrotechnika i elektronika samochodowa, WKiŁ Warszawa 2010.
10. PAWELSKI Z.: Napęd hybrydowy dla autobusu miejskiego. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1996.
11. SOSIK P., TARKOWSKI P.: Wpływ profilu prędkości na rozdział przepływu mocy w napędzie hybrydowym., 2013.
12. SZUMANOWSKI A.: Akumulacja energii w pojazdach. WKiŁ, Warszawa 1984.
13. Dokumentacja techniczna hamowni podwoziowej Schenck.