

Łukasz PUSTELNIK¹

Opiekun naukowy: Henryk WNEK²

BADANIA PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH SAMOCHODU Z NAPĘDEM HYBRYDOWYM

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę wpływu napędu hybrydowego na parametry eksploatacyjne pojazdu. Wykonano badania pojazdu z hybrydowym układem napędowym na hamowni podwoziowej. Przeprowadzono analizy porównawcze takich parametrów jak: zużycie i odzysk energii elektrycznej, chwilowe i całkowite zużycie paliwa oraz emisja składników spalin.

Słowa kluczowe: samochód hybrydowy, paliwa alternatywne, analiza parametrów eksploatacyjnych, generator BSG, zużycie paliwa, emisja spalin

TESTS OF THE OPERATING PARAMETERS OF A HYBRID CAR

Summary: The article presents an analysis of the influence of the hybrid drive on the operational parameters of the vehicle. A vehicle with a hybrid drive system was tested on a chassis dynamometer. Comparative analyses of parameters such as: electricity consumption and recovery, instantaneous and total fuel consumption and emission of exhaust gas components were carried out.

Keywords: hybrid car, alternative fuels, analysis of operational parameters, BSG generator, fuel consumption, exhaust emissions

1. Wprowadzenie

Skutkiem wprowadzania coraz to nowszych przepisów związanych z emisją szkodliwych substancji do atmosfery oraz ciągłym dążeniem do ograniczania emisji dwutlenku węgla CO₂ są zmiany wprowadzane w poszczególnych sektorach gospodarki, m.in. w sektorze energetyki, przemysłu czy też transportu. Obecnie transport jest bardzo dynamicznie zmieniającą się dziedziną, między innymi ze

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

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

względu na wprowadzane ograniczenia emisji związków toksycznych spalin. Bardzo dużym problemem jest emisja dwutlenku węgla CO₂ oraz cząstek stałych PM (ang. particulate matter), która stanowi barierę rozwoju współczesnych silników spalinowych. Największe trudności, przy ograniczaniu tych związków, występują w przypadku silników o zapłonie samoczynnym i zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem benzyny. Transport samochodowy jest poddawany najostrzejszym przepisom, co spowodowało odnotowanie większego zmniejszenia zanieczyszczeń niż w pozostałych gałęziach transportu [4, 5, 11].

Oprócz unowocześniania klasycznych jednostek napędowych stosuje się również alternatywne źródła energii i układy napędowe. Przyszłość motoryzacji upatrywana jest w napędzie elektrycznym. Należy jednakże zauważyć, że zastąpienie wszystkich samochodów poruszających się po drogach pojazdami elektrycznymi jest obecnie niemożliwe ze względu na niewystarczającą ilość produkowanej energii elektrycznej oraz nowoczesnych, charakteryzujących się dużą pojemnością, baterii akumulatorów. Stąd pewnym kompromisem pomiędzy samochodami z napędem elektrycznym a samochodami napędzonymi silnikami spalinowymi są pojazdy z napędem hybrydowym, które stanowią najrozsądniejszy wybór w obliczu obecnych potrzeb zarówno ze strony ekologii jak i ekonomii związanej ze zużyciem paliwa [2].

Pojazd z napędem hybrydowym posiada, co najmniej dwa różne źródła napędu, t.j. pierwotne i wtórne. Pierwotnym źródłem napędu jest najczęściej silnik spalinowy, natomiast wtórne źródło napędu może wykorzystywać energię zmagazynowaną w akumulatorach elektrochemicznych, kinetycznych, hydropneumatycznych, mechanicznych lub ultrakondensatorach. Najczęściej spotykane rozwiązania obejmują połączenie napędu spalinowego z elektrycznym. Największe korzyści z zastosowania napędu hybrydowego można uzyskać podczas jazdy w warunkach miejskich, które cechują się niewielkimi maksymalnymi prędkościami, częstymi zmianami prędkości i zatrzymaniami. W takich warunkach silnik spalinowy pracuje w mało ekonomicznym obszarze swojej charakterystyki. Można to poprawić stosując drugie źródło napędu. Dodatkowo w pojeździe z napędem hybrydowym możliwy jest odzysk energii kinetycznej podczas hamowania. [1, 6, 7, 8].

W niniejszym artykule zostały przedstawione wyniki badań samochodu z napędem hybrydowym ukazujące korzystny wpływ tego napędu na zużycie paliwa oraz emisję niepożądanych składników spalin.

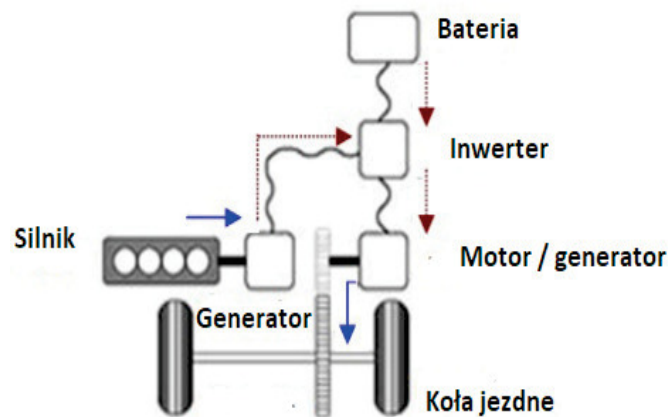
2. Rodzaje hybrydowych układów napędowych w pojazdach

Współczesne pojazdy z napędem hybrydowym mogą znacznie różnić się między sobą, biorąc pod uwagę rodzaj pierwotnego i wtórnego źródła napędu, jego strukturę oraz moc. Obecnie, pierwotne źródło napędu najczęściej stanowi silnik spalinowy o zapłonie iskrowym, rzadziej o zapłonie samoczynnym. Powszechnie stosowanym wtórnym źródłem energii są akumulatory elektrochemiczne, ale mogą być też stosowane akumulatory hydropneumatyczne, kinetyczne 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 oraz układy składające się z silnika spalinowego i mechanicznego akumulatora energii.

Ze względu na strukturę napędu hybrydowego typu HEV (Hybrid Electric Vehicle), zależnie od przenoszenia i sumowania mocy, można wyróżnić napęd szeregowy, równoległy i szeregowo-równoległy [7, 8, 9, 10].

Szeregowy napęd hybrydowy charakteryzuje się tym, że silnik spalinowy napędza generator i odpowiada tylko za produkcję energii elektrycznej do zasilania silnika elektrycznego napędzającego koła samochodu. Nadmiar energii jest magazynowany w akumulatorze i może być wykorzystany w każdym momencie jazdy. Podstawową zaletą tego rozwiązania jest to, że silnik spalinowy pracuje w warunkach ustalonych, w optymalnym obszarze obciążenia i prędkości obrotowej, co przekłada się zmniejszenie emisji spalin, w tym związków toksycznych i mniejsze zużycie paliwa. Schemat tego rozwiązania układu napędowego przedstawiono na rysunku 1.

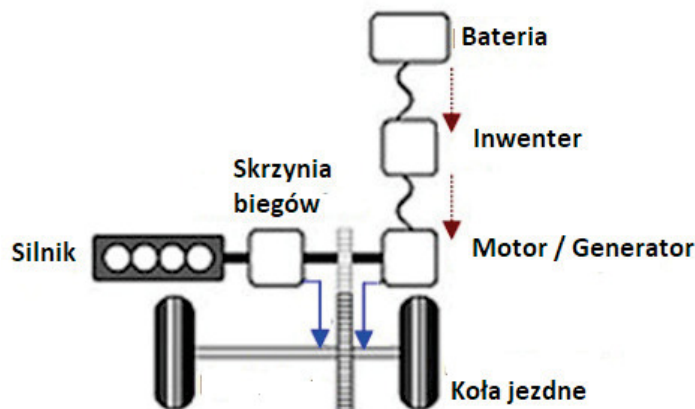


Rysunek 1. Schemat szeregowego hybrydowego układu napędowego [3]

W równoległym hybrydowym układzie napędowym napęd kół może być realizowany przez silnik spalinowy lub silnik elektryczny, ale istnieje również możliwość napędu kół jednocześnie przez oba silniki. W tym przypadku pojazd ma do dyspozycji większą moc niż wykorzystywany silnik spalinowy. Ponadto w tym rozwiązaniu można stosować tylko jedną maszynę elektryczną odwracalną, która będzie pełnić rolę zarówno silnika trakcyjnego, dostarczając moc do kół pojazdu, jak i generatora pozwalającego odzyskać energię kinetyczną pojazdu podczas hamowania (ładowanie baterii akumulatorów). Schemat tego rozwiązania przedstawiono na rysunku 2.

Szeregowo-równoległy napęd hybrydowy łączy ze sobą cechy układu szeregowego oraz równoległego, tym samym może pracować zarówno jako układ szeregowy, ale też równoległy. Tryb pracy uzależniony jest od zapotrzebowania na moc oraz stopnia naładowania akumulatorów wysokonapięciowych.

Innym kryterium podziału hybrydowych układów napędowych jest moc maszyny elektrycznej. Według tego kryterium podziału można wyróżnić: napęd mikro hybrydowy (ang. micro hybrid), niepełny napęd hybrydowy (ang. mild hybrid) oraz pełny układ hybrydowy (ang. full hybrid).



Rysunek 2. Schemat równoległego hybrydowego układu napędowego [3]

Napęd mikro hybrydowy jest to najprostsza możliwa forma napędu hybrydowego. Pozwala on zdefiniować samochód, jako pojazd z układem hybrydowym. Alternator oraz rozrusznik, w takim układzie, został zastąpiony maszyną elektryczną małej mocy. Pozwala ona na uruchomienie jednostki spalinowej, realizację funkcji Start-Stop oraz na odzyskiwanie niewielkiej ilości energii podczas hamowania. Moc maszyny elektrycznej wynosi zazwyczaj kilka kilowatów.

Niepełny napęd hybrydowy (tzw. miękka hybryda, ang. mild hybrid) wykorzystuje maszynę elektryczną do wspomagania spalinowej jednostki napędowej podczas ruszania i rozpędzania. W tym przypadku moc maszyny elektrycznej jest zwiększona najczęściej do kilkunastu kilowatów. Napęd w takim przypadku zazwyczaj nie jest możliwy przez samą maszynę elektryczną. Realizowana jest funkcja Start-Stop oraz częściowy odzysk energii podczas hamowania.

Pełny napęd hybrydowy (ang. full hybrid) charakteryzuje się większą mocą maszyny elektrycznej, rzędu kilkadziesiątu kilowatów. W tym przypadku możliwe jest poruszanie się pojazdu wykorzystując tylko napęd elektryczny, silnik spalinowy lub oba te źródła napędu jednocześnie. Maszyna elektryczna pozwala na odzysk energii kinetycznej pojazdu podczas hamowania. Pojazd posiadający taki układ, wyposażony jest w akumulator o większej pojemności.

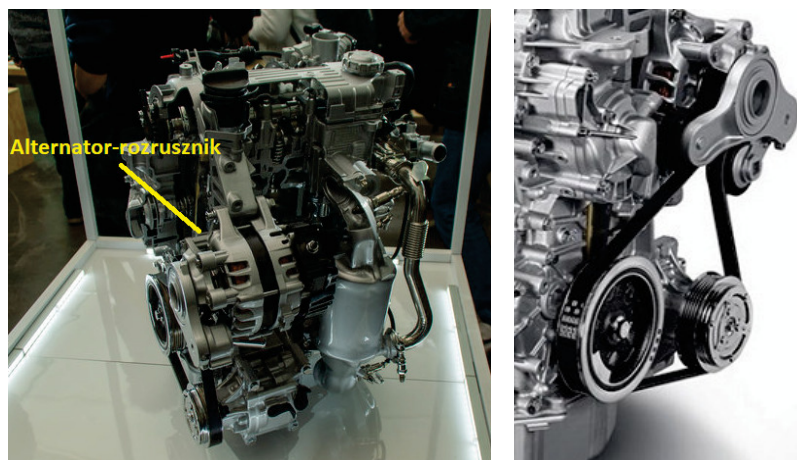
Obecnie producenci coraz częściej oferują pojazdy z napędem hybrydowym typu PHEV (ang. Plug-in Hybrid Electric Vehicle). Pojazdy hybrydowe tego typu posiadają akumulator o większej pojemności rzędu kilkunastu kilowatogodzin, co pozwala na pokonanie większego odcinka drogi, najczęściej o długości rzędu kilkadziesiątu kilometrów, korzystając tylko z napędu elektrycznego.

3. Obiekt badawczy

Badaniu poddano samochód miejski klasy A wyposażony w napęd hybrydowy, tzw. „mikro hybryda”. Samochód ten napędzany jest silnikiem spalinowym o zapłonie iskrowym o pojemności 1 dm³, w którym rozrusznik i alternator został zastąpiony jedną maszyną elektryczną odwracalną – generatoro-rozrusznikiem typu BSG (Belt integrated Starter Generator) o mocy 3,7 kW, połączoną z silnikiem spalinowym

poprzez pasek wielorowkowy. Generatoro-rozrusznik korzysta z akumulatora litowo-jonowego o pojemności 11 Ah, o napięciu 12 V, umieszczonego pod fotelem kierowcy.

Układ hybrydowy umieszczony w pojeździe badawczym pozwala na odzyskiwanie energii podczas hamowania lub zwalniania, a uzyskana energia wykorzystywana jest na wspomaganie silnika spalinowego, np. podczas ruszania, gwałtownego przyspieszania oraz na jego uruchamianie podczas aktywnego systemu Start-Stop. Sam system BSG zamontowany jest bezpośrednio na silniku (Rysunek 3). W tym rozwiązaniu generator połączony jest z wałem korbowym silnika za pomocą specjalnego paska, przenoszącego obciążenia w dwóch kierunkach: rozruch i wspomaganie silnika spalinowego oraz praca generatorowa.



Rysunek 3. Zespół alternatora-rozrusznika [12]

4. Opis metodyki badań i aparatury pomiarowej

Badania pojazdu zostały przeprowadzone w warunkach stacjonarnych wykorzystując w tym celu hamownię podwoziową. Analizie podlegały parametry eksploatacyjne samochodu dla dwóch przypadków: z włączonym układem Start-Stop oraz z wyłączonym układem. Badania wykonano na hamowni podwoziowej firmy Schenck w laboratorium Katedry Silników Spalinowych i Pojazdów. Wykorzystywana hamownia jest hamownią dwurołkową pozwalającą na wykonywanie pomiarów w funkcji zadawanego obciążenia przez hamulec wodny. System pomiarowy hamowni podwoziowej obejmował:

- układ automatyki do obciążania układu napędowego pojazdu w funkcji rzeczywistej prędkości pojazdu i odczytu parametrów jazdy,
- stację pogodową do pomiaru parametrów zasysanego powietrza przez silnik,
- analizator spalin BRAINBEE AGS-688,
- skaner parametrów bieżących z ECU silnika poprzez złącze EOBD,
- komputer sterujący hamowni podwoziowej z wieloportową kartą komunikacyjną 168H PCI (prod. MOXA), służący do generowania przebiegów testu,

wykonywania obliczeń matematycznych oraz wizualizacji bieżących parametrów i zapisu danych do pliku.

System pomiarowy hamowni podwoziowej pozwala na wyznaczanie zużycia paliwa pojazdu metodą bilansu węgla, opartą na analizie składu spalin.

Podczas badań wykorzystywano urządzenie (Rysunek 4) dedykowane do współpracy z ECU silnika samochodu poprzez magistralę CAN, które pozwalało na:

- ciągły odczyt w czasie rzeczywistym wybranych parametrów z ECU pojazdu,
- wizualizację parametrów na wyświetlaczu dotykowym,
- zapis na kartę pamięci wszystkich parametrów z częstotliwością 1 Hz do pliku tekstowego,
- współpracę z aplikacją hamowni podwoziowej – komunikacja za pomocą sieci LAN.



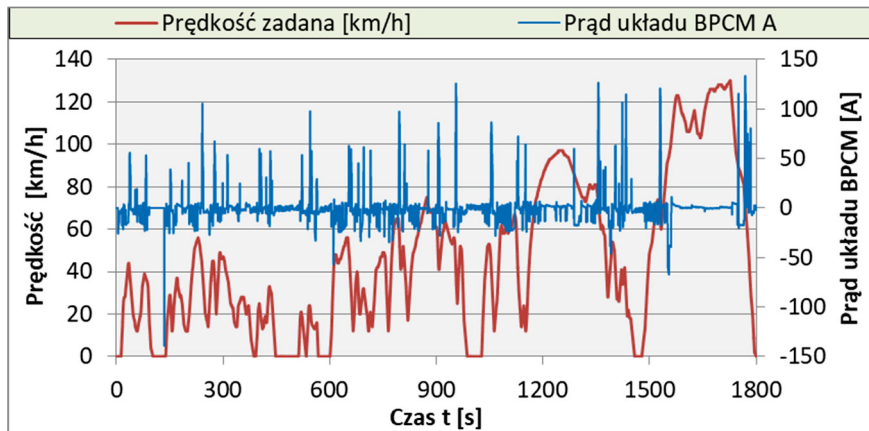
Rysunek 4. Skaner parametrów bieżących z ECU silnika badanego pojazdu

Urządzenie umożliwiło ciągły odczyt i zapis m.in. takich parametrów jak: położenie pedału hamulca, położenie pedału przyspieszenia, napięcie układu BSG, natężenie prądu układu BSG, stopień naładowania baterii, napięcie baterii, temperatura baterii, zużycie paliwa, prędkość obrotowa silnika, prędkość pojazdu, temperatura płynu chłodniczego, średni moment silnika, aktualny bieg, nominalna prędkość silnika.

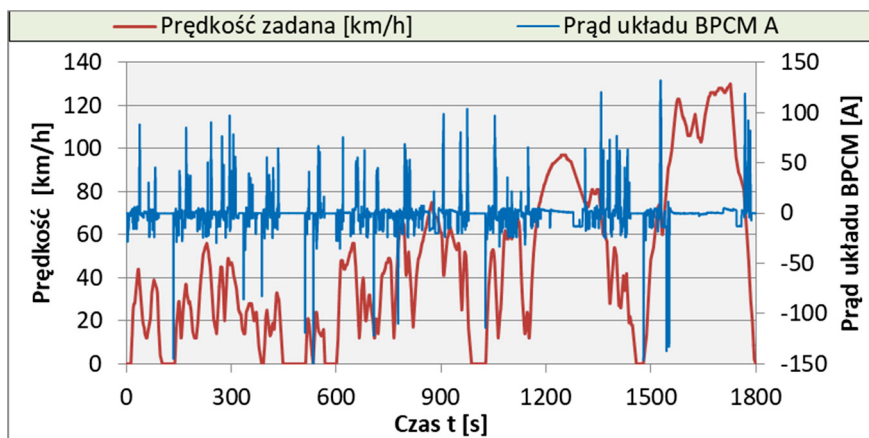
Badania wykonane na hamowni podwoziowej zostały zrealizowane dla dwóch różnych scenariuszy określających obciążenia oraz zadaną prędkość. Pierwszy test przeprowadzono w oparciu o ogólnie przyjęty scenariusz określonych obciążeń, zadanych przy odpowiedniej prędkości i w odpowiednim czasie, a dokładniej w oparciu o cykl WLTP. Drugi test wykonywany był w oparciu o opracowany cykl jezdny na podstawie zarejestrowanej trasy podczas jazdy na terenie miasta Bielsko-Biała (odcinek ATH - Sarni Stok) w warunkach dużego natężenia ruchu drogowego.

5. Analiza wyników badań

Pierwsza część badań została wykonana na hamowni podwoziowej podczas realizacji cyklu WLTP. Poniżej przedstawiono przebiegi czasowe zużycia energii zgromadzonej w akumulatorze HV dla pojazdu z wyłączonym (Rysunek 5) oraz włączonym układem Start-Stop (Rysunek 6).



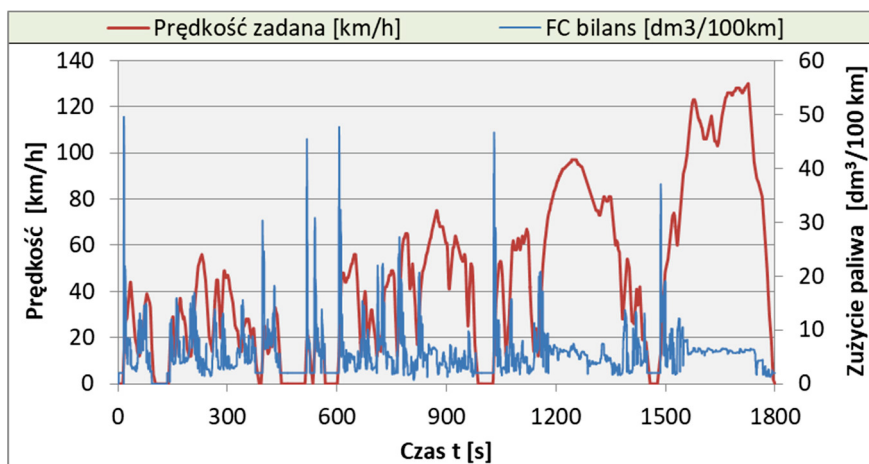
Rysunek 5. Wykres zużycia energii z wyłączonym układem Start-Stop podczas realizacji cyklu WLTP



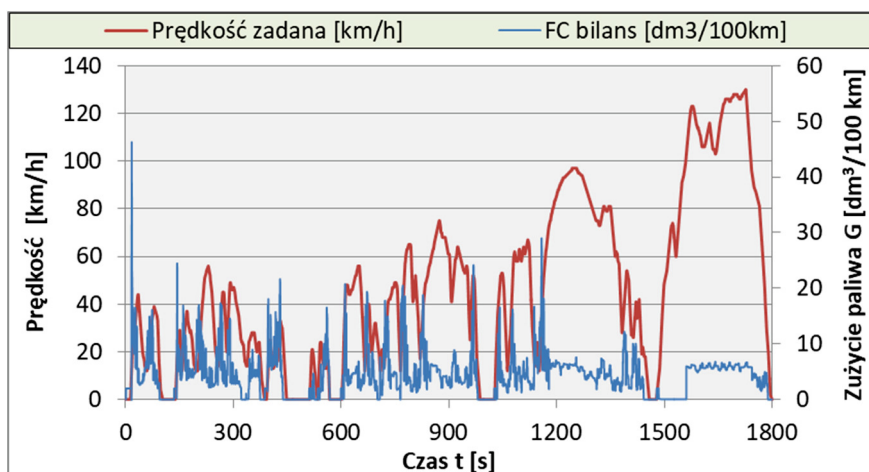
Rysunek 6. Wykres zużycia energii z włączonym układem Start-Stop podczas realizacji cyklu WLTP

Na powyższych rysunkach wykresy w kolorze czerwonym przedstawiają przebieg prędkości według realizowanego cyklu WLTP, a wykresy w kolorze niebieskim natężenie prądu w układzie BPCM (ang. Battery Pack Control Module) wyrażone w amperach. Wartości ujemne przedstawiają prąd pobrany z akumulatora do zasilania alternatora-rozrusznika podczas uruchamiania silnika spalinowego oraz wspomaganie go podczas rozpędzania, a dodatnie odpowiadają odzyskowi energii podczas hamowania lub zmniejszania prędkości jazdy. Analizując przebiegi prądu można zauważyć, że podczas dużych przyspieszeń pojazdu lub ruszania z postoju, przy aktywnym układzie Start-Stop pobór energii jest większy oraz częstszy niż w przypadku wyłączonego systemu. Ma to wpływ na chwilowe zużycie, a tym samym na całkowite zużycie paliwa przez pojazd.

Na rysunku 7 przedstawiono chwilowe zużycie paliwa uzyskane podczas testu z wyłączonym układem Start-Stop, natomiast na rysunku 8 z włączonym układem.



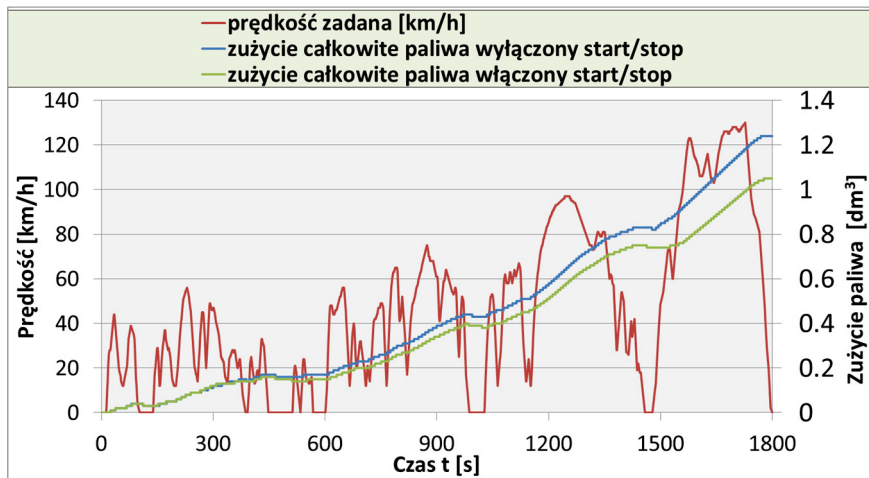
Rysunek 7. Wykres chwilowego zużycia paliwa z wyłączonym układem Start-Stop podczas realizacji cyklu WLTP



Rysunek 8. Wykres chwilowego zużycia paliwa z włączonym układem Start-Stop podczas realizacji cyklu WLTP

Porównując chwilowe zużycie paliwa wyrażone $\text{dm}^3/100 \text{ km}$ widać obszary, w których silnik spalinowy ulega wyłączeniu przez układ start-stop. Zużycie paliwa jest wtedy zerowe. W momencie ponownego włączenia silnika oraz rozpędzania pojazdu można zaobserwować mniejsze zużycie paliwa przez pojazd w porównaniu z przypadkiem, w którym układ Start-Stop jest wyłączony.

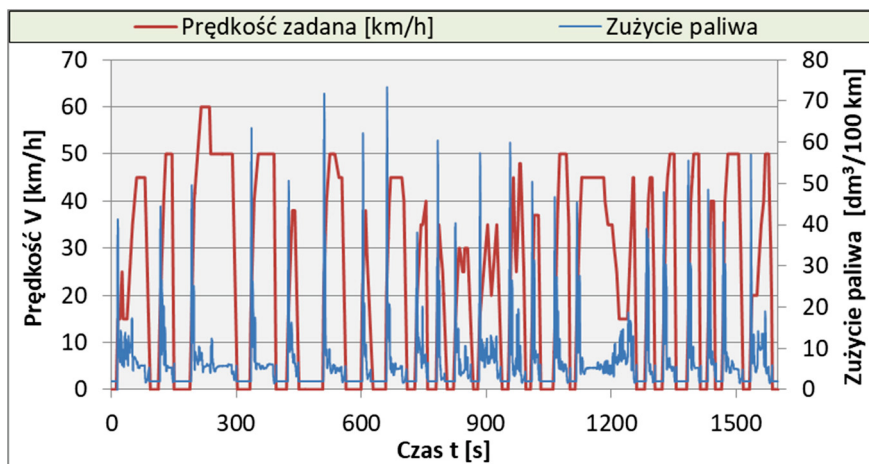
Na rysunku 9 przedstawiono porównanie całkowitego zużycia paliwa przez badany pojazd przy włączonym i wyłączonym układzie Start-Stop.



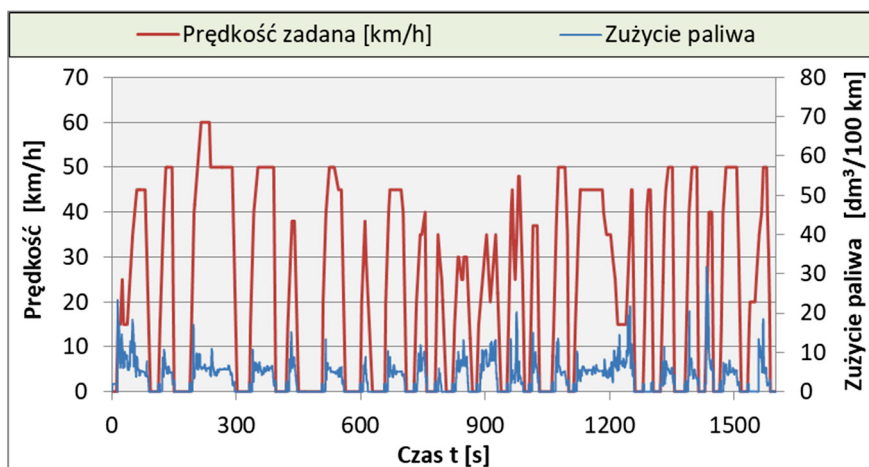
Rysunek 9. Porównanie całkowitego zużycia paliwa pomiędzy wyłączonym i włączonym układem Start-Stop

Z porównania przedstawionego na rysunku 9 widać znaczną różnicę w ilości zużytego paliwa podczas realizacji testu WLTP przy włączonym i wyłączonym układzie Start-Stop. W przypadku testu pojazdu z włączonym układem Start-Stop całkowite zużycie paliwa wyniosło 1,04 litra, natomiast w przypadku przejazdu z wyłączonym układem zużycie to było większe o blisko 19 %.

Na rysunkach 10 i 11 przedstawiono wykresy chwilowego zużycia paliwa pojazdu z wyłączonym i włączonym układem Start-Stop podczas realizacji testu na hamowni podwoziowej odpowiadającego przejazdowi trasy na terenie Bielska-Białej.

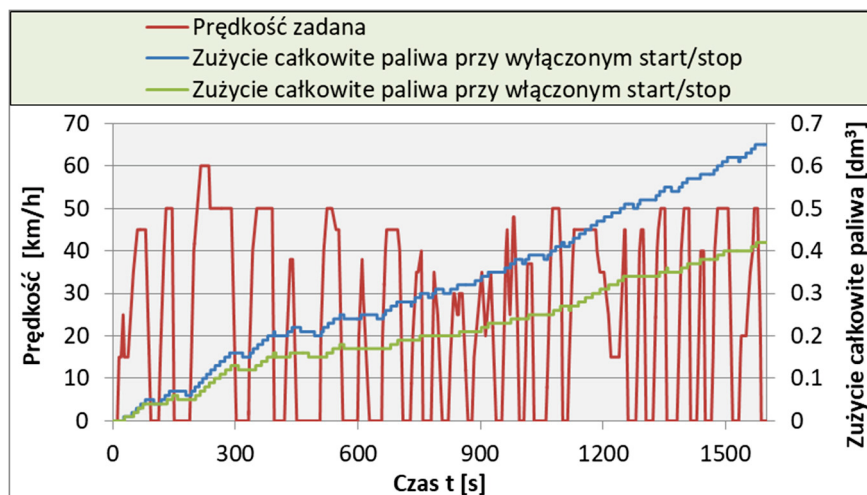


Rysunek 10. Wykres chwilowego zużycia paliwa z wyłączonym układem Start-Stop w teście przejazdu trasy na terenie Bielska-Białej



Rysunek 11. Wykres chwilowego zużycia paliwa z włączonym układem Start-Stop w teście przejazdu trasy na terenie Bielska-Białej

Profil prędkości realizowanego testu przejazdu trasy na terenie Bielska-Białej charakteryzuje się większą dynamiką rozpędzania w porównaniu z standardowym cyklem jezdnym WLTP. Ponadto występuje w nim znacznie więcej zatrzymań pojazdu. Porównując chwilowe zużycie paliwa można zauważyć znacznie większe wartości zużycia dla przypadku z wyłączonym systemem Start-Stop. W przypadku włączonego układu Start-Stop silnik elektryczny częściej wspomaga pojazd podczas startu z prędkości zerowej. Na rysunku 12 przedstawiono porównanie całkowitego zużycia paliwa w teście przejazdu trasy na terenie Bielska-Białej. W tym przypadku zużycie paliwa podczas testu z włączonym układem Start-Stop jest około 35% mniejsze niż w przypadku pojazdu z wyłączonym układem.



Rysunek 12. Porównanie całkowitego zużycia paliwa pomiędzy wyłączonym i włączonym układem Start-Stop podczas przejazdu trasy na terenie Bielska-Białej

6. Wnioski

W artykule przedstawiono analizę wpływu napędu hybrydowego na parametry eksploatacyjne pojazdu. Obiekt badań stanowił samochód osobowy miejski z hybrydowym układem napędowym typu „mikro hybryda”, w którym maszyna elektryczna o mocy 3.7 kW, połączona z silnikiem spalinowym paskiem wielorowkowym, spełnia funkcję generatoro-rozrusznika.

Badania przeprowadzono na hamowni podwoziowej dla standardowego cyklu jezdny WLTP oraz dla testu opracowanego na podstawie przejazdu trasy na terenie Bielska-Białej (ATH – Sarni Stok) w warunkach dużego natężenia ruchu drogowego. Podczas pomiarów wykorzystywano standardowy system pomiarowy hamowni podwoziowej z analizatorem spalin i stacją pogodową oraz urządzenie dedykowane do współpracy z ECU silnika badanego pojazdu poprzez magistralę CAN, które pozwalało na ciągły odczyt w czasie rzeczywistym wybranych parametrów pojazdu. Przeprowadzono analizy porównawcze takich parametrów jak: zużycie i odzysk energii elektrycznej oraz chwilowe i całkowite zużycie paliwa. Badania wykonano dla pojazdu z wyłączonym układem Start-Stop oraz z aktywnym układem.

Analizy zarejestrowanych przebiegów czasowych energii elektrycznej, otrzymane podczas realizacji cyklu WLTP, wykazały, że podczas ruszania pojazdu lub występowania dużych przyspieszeń przy aktywnym układzie Start-Stop pobór energii z akumulatora jest większy oraz częściej występuje niż w przypadku wyłączonego systemu. Przebiegi chwilowego zużycia paliwa dla przypadku aktywnego układu Start-Stop posiadają okresy, w których silnik spalinowy ulega wyłączeniu. Układ napędowy pojazdu wyłącza silnik spalinowy już przy prędkościach poniżej 30 km/h. Podczas ponownego uruchomienia silnika spalinowego, a także rozpędzania pojazdu występuje mniejsze chwilowe zużycie paliwa przez pojazd w porównaniu z przypadkiem, w którym układ Start-Stop był wyłączony. Analiza wyników tej części badań wykazała mniejsze o 19 % całkowite zużycie paliwa przy aktywnym układzie Start-Stop w porównaniu z przejazdem z wyłączonym układem.

Wyniki badań otrzymane podczas realizacji testu przejazdu ulicami Bielska-Białej w godzinach szczytu wykazują jeszcze większe różnice w zużyciu paliwa w przypadku aktywnego i wyłączonego układu Start-Stop. Test ten charakteryzuje się częstymi zatrzymaniami pojazdu, związanymi głównie z występującą sygnalizacją świetlną, oraz większą dynamiką rozpędzania. W tym teście całkowite zużycie paliwa przez pojazd z aktywnym systemem było o około 35 % mniejsze w porównaniu z przejazdem, gdy system był wyłączony. Przy wyłączonym systemie, samochód rzadziej korzystał z silnika elektrycznego w celu wspomaganie silnika spalinowego przy rozpędzaniu pojazdu, co miało wpływ na zużycie paliwa.

Przedstawione wyniki badań wyraźnie pokazują korzyści wynikające z użytkowania pojazdu z napędem hybrydowym w warunkach miejskiej jazdy. Wyłączanie silnika spalinowego przez układ Start-Stop w czasie, gdy napęd pojazdu nie jest wymagany, ale też wspomaganie go przez maszynę elektryczną pozwala na znaczne oszczędności w zużyciu paliwa oraz mniejszą emisję składników spalin.

Badania przeprowadzono i skaner diagnostyczny wykonano w ramach prac prowadzonych przez promotora w Katedrze Silników Spalinowych i Pojazdów, Wydziału Budowy Maszyn i Informatyki, Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej.

LITERATURA

1. 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.
2. FUHS A. E.: *Hybrid Vehicles and the future of personal transportation*. CRC Press Taylor & Francis Group, 2008.
3. GOVARDHAN O. M.: *Fundamentals and Classification of Hybrid Electric Vehicles*, październik 2017.
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. MAŁEK A.: *Napędy pojazdów elektrycznych i hybrydowych*. Lublin: Innovatio Press, v. 2, 2021.
10. DENTON T.: *Electric and hybrid Vehicles*. New York: 2016.
11. MACIĄG P., MACIĄG A.: *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe. Kierunki rozwoju transportu samochodowego*, 2017.
12. PISTON.MY <https://www.piston.my/2020/01/13/hybrid-technology-in-2020-fiat-500-and-panda-begins-electrification-of-italian-brand/>, 15.092021.