

Badania i analiza parametrów eksploatacyjnych w pojeździe z napędem hybrydowym

Błażej Żylewski¹, Henryk Wnęk^{2,*}

¹ Uniwersytet Bielsko-Bialski, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, Polska, bz057262@student.ubb.edu.pl

² Uniwersytet Bielsko-Bialski, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, Polska, hwnek@ubb.edu.pl

* Corresponding author, hwnek@ubb.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę wpływu różnych trybów pracy napędu hybrydowego na wybrane parametry eksploatacyjne w warunkach ruchu rzeczywistego. Przeprowadzono badania pojazdu Toyota Corolla Hybrid w ruchu pozamiejskim i miejskim na wyznaczonym terenie miasta Bielska-Białej. Opisano obiekt badań wraz z aparaturą pomiarową oraz metodykę badawczą. Wykonano analizy porównawcze zużycia paliwa i bilansu energetycznego akumulatora trakcyjnego.

Słowa kluczowe: układ hybrydowy napędu; Toyota Corolla; test drogowy; badania samochodu; zużycie paliwa; bilans energetyczny; silnik elektryczny; HEV, odzysk energii

Research and analysis of operational parameters in hybrid drive vehicle

Błażej Żylewski¹, Henryk Wnęk^{2,*}

¹ University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Poland, bz057262@student.ubb.edu.pl

² University of Bielsko-Biala, Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biala, Poland, hwnek@ubb.edu.pl

* Corresponding author, hwnek@ubb.edu.pl

Abstract: The article presents an analysis of the impact of different operating modes of a hybrid drive on selected operational parameters under real driving conditions. The study involved testing a Toyota Corolla Hybrid vehicle in both suburban and urban traffic within a designated area of the city of Bielsko-Biala. The research object, measurement equipment, and research methodology are described in detail. Comparative analyses of fuel consumption and the energy balance of the traction battery were conducted.

Keywords: hybrid drive system; Toyota Corolla; road test; vehicle research; fuel consumption; energy balance; electric motor; HEV, energy recovery

1. Wstęp

Era pojazdów z hybrydowym układem napędu zapoczątkowana w 1997 roku wraz z premierą Toyoty Prius wprowadziła nową jakość do branży motoryzacyjnej, łącząc tradycyjny silnik spalinowy z napędem elektrycznym. Pojazdy z napędem hybrydowym umożliwiają redukcję emisji zanieczyszczeń oraz oszczędność paliwa, co wpisuje się w globalne dążenia do ograniczania negatywnego wpływu transportu na środowisko. Współczesne samochody hybrydowe, szczególnie typu HEV (Hybrid Electric Vehicle), mogą wykorzystywać zarówno silnik elektryczny jak i spalinowy w zależności od warunków jazdy. To rozwiązanie zapewnia lepszą efektywność paliwową, co stanowi jeden z głównych argumentów przemawiających za ich rosnącą popularnością.

Obecnie motoryzacja staje przed wyzwaniem obniżenia emisji szkodliwych substancji oraz adaptacji bardziej zrównoważonych źródeł energii. Na terenach Unii Europejskiej, ¼ generowanych gazów cieplarnianych jest przez

transport, z czego 71% stanowią pojazdy drogowe. Sukcesywnie wprowadzane unijne pakiety klimatyczne „Fit for 55” lub „Europejski Zielony Ład” narzucają projektantom samochodowym oraz ich konsumentom, zwrócenie się w kierunku zeroemisyjnych układów napędowych. Napędy hybrydowe tworzą pomost między technologiami spalinowymi a pełną elektromobilnością, oferując użytkownikom kompromis pomiędzy wydajnością, zasięgiem, a oszczędnością paliwa. To rozwiązanie jest istotne szczególnie tam, gdzie infrastruktura ładowania pojazdów elektrycznych nie jest jeszcze rozwinięta. Wraz z dalszym rozwojem technologii, badania nad parametrami eksploatacyjnymi są istotne – pomiar zużycia paliwa, trwałość komponentów i wydajność układu napędowego dostarczają danych niezbędnych do ich optymalizacji [1-2].

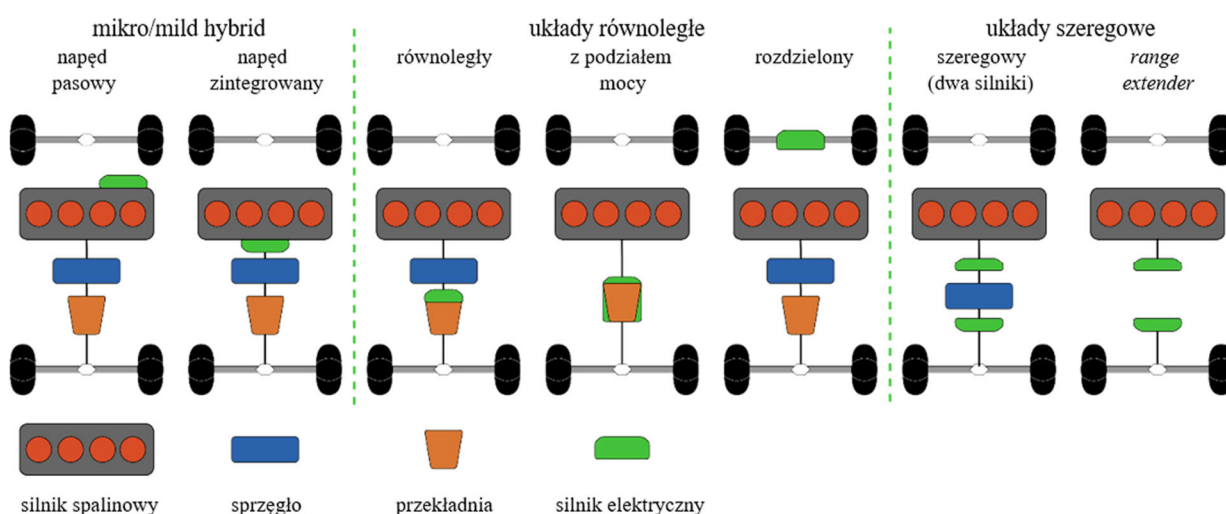
2. Przegląd rozwiązań konstrukcyjnych pojazdów z napędem hybrydowym

Największą grupę samochodów z napędem hybrydowym, stanowią pojazdy łączące zalety silników elektrycznych oraz spalinowych, są one istotnym krokiem w stronę efektywniejszego i ekologicznego transportu. Konstrukcja hybrydowych układów napędowych różni się od przeznaczenia danego samochodu oraz od technologii jaką dysponuje producent. Podział pojazdów typu HEV może być dokonany ze względu na architekturę układu napędowego bądź moc maszyn elektrycznej.

2.1. Podział hybrydowych układów napędowych ze względu na architekturę układu napędowego

Ze względu na architekturę układu napędowego pojazdy hybrydowe dzieli się na (Rysunek 1):

- szeregowe – napęd na koła przenoszony jest przez silnik elektryczny, gdzie energia elektryczna wytwarzana jest przez silnik spalinowy napędzający generator oraz gromadzona jest w akumulatorach,
- równoległy – napęd na koła przenoszony jest przez silnik spalinowy lub/i silnik elektryczny,
- szeregowo-równoległy – wykorzystuje zalety obu wcześniej wymienionych rozwiązań w celu efektywniejszej pracy w zróżnicowanych warunkach.



Rysunek 1. Konfiguracje układów napędu hybrydowego (Opracowanie własne) [3]

Szeregowy układ napędowy, wykorzystuje elektryczny silnik trakcyjny zasilany przez baterie i/lub silnik spalinowy, który nie jest połączony z kołami napędzanymi. Moc elektryczna jest zarządzana przez urządzenie elektroniczne, co umożliwia dostosowanie przepływu energii do potrzeb kierowcy i stanu układu. Silnik spalinowy pracuje niezależnie od prędkości pojazdu, co pozwala na optymalizację pracy w zakresie prędkości i momentu obrotowego, minimalizując zużycie paliwa i emisję spalin. Układ napędowy działa w różnych trybach w zależności od warunków jazdy. Podczas standardowej jazdy energia pochodzi z akumulatora, a silnik spalinowy jest wyłączony. Gdy bateria trakcyjna posiada niski stan naładowania, silnik spalinowy napędza generator energii elektrycznej i ładowany jest akumulator w optymalnych warunkach. W przypadku dużego zapotrzebowania na moc, energia pochodzi zarówno z baterii trakcyjnej, jak i z silnika spalinowego. Podczas hamowania silnik elektryczny pełni rolę generatora, odzyskując część energii kinetycznej pojazdu [3-5].

Równoległy układ napędowy, w przeciwieństwie do szeregowego, łączy zarówno silnik spalinowy, jak i elektryczny z kołami napędowymi, co pozwala na jednoczesne działanie obu silników. Ze względu na konstrukcję, może być

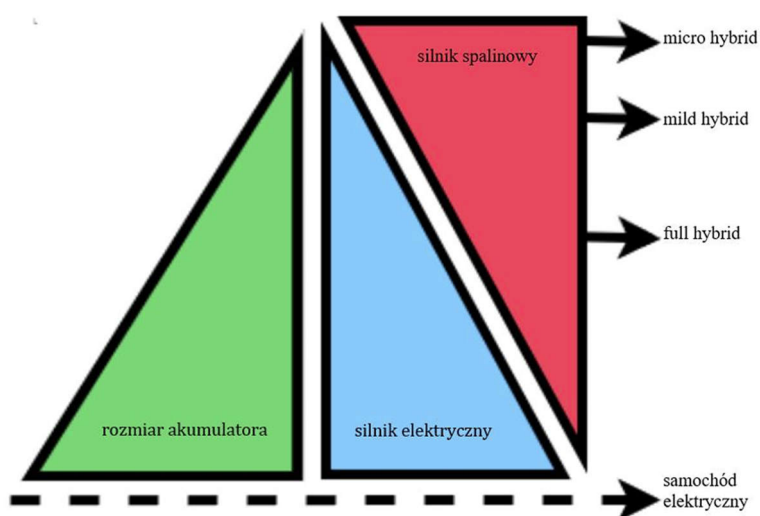
zastosowane sprzężenie momentu obrotowego lub prędkości. W przypadku, gdy głównym źródłem mocy jest silnik spalinowy, stosuje się sprzężenie momentu obrotowego. Tego typu układ jest bardziej skomplikowany w sterowaniu, ale pozwala na mniejszy silnik i akumulator oraz wyższą efektywność. W równoległym układzie napędowym silnik spalinowy dostarcza mocy przy stałym obciążeniu, a silnik elektryczny uzupełnia moc w chwilach większego zapotrzebowania. Strategia zarządzania energią zależy od różnych czynników, takich jak stan naładowania akumulatora i wymagania kierowcy. W warunkach miejskich, gdzie energia akumulatora jest szybko wykorzystywana, silnik spalinowy działa jako główne źródło mocy, a akumulator jest ładowany, gdy silnik spalinowy wytwarza nadmiar mocy. Podczas hamowania, silnik elektryczny pracuje jako generator, odzyskując energię kinetyczną pojazdu. W przypadku dużego zapotrzebowania na moc hamowania, stosowane jest hamowanie mechaniczne, wspomagane przez regeneracyjne [3-5].

Szeregowo-równoległe układy napędowe łączą elementy systemów szeregowego i równoległego napędu, tworząc bardziej skomplikowaną i kosztowną technologię. Kluczem jest zastosowanie sprzężenia momentu obrotowego i prędkości obrotowej, co pozwala na większą elastyczność w pracy pojazdu. Równoległe układy napędowe wykorzystują jedynie sprzęgło momentu lub prędkości, co ogranicza ich elastyczność w różnych warunkach. W takim układzie sprzęgłem prędkości może być przekładnia obiegowa, a momentu obrotowego – pary kół zębatych, zestawy kół łańcuchowych lub pasowych. Dzięki temu moment i prędkość obrotowa silnika spalinowego mogą być niezależne od obciążenia i prędkości pojazdu, co umożliwia silnikowi pracę w optymalnym zakresie sprawności, jak w układzie szeregowym. Szeregowo-równoległy układ napędowy charakteryzuje się dużą elastycznością, pozwalając na całkowite lub częściowe odłączenie momentu obrotowego i prędkości od kół napędowych. Taki system zwiększa potencjał poprawy efektywności napędu i redukcji emisji, jednak wymaga zaawansowanego sterowania. Dzięki większej liczbie dostępnych trybów pracy, strategia sterowania może być bardziej złożona, ale jej celem pozostaje zapewnienie wysokiej efektywności paliwowej i niskiej emisji, a także utrzymanie optymalnego poziomu naładowania akumulatora trakcyjnego [3-5].

2.2. Podział hybrydowych układów napędowych ze względu na stopień hybrydyzacji

Hybrydowe układy napędowe, ze względu na udział maszyny elektrycznej, dzielone są na trzy główne typy (Rysunek 2):

- micro hybrid – funkcja silnika elektrycznego jest mocno ograniczona, system obsługujący najczęściej funkcję start-stop,
- mild hybrid – bardziej rozbudowany system, który oferuje dodatkowe wsparcie silnika spalinowego podczas przyspieszania, hamowania oraz innych obciążeń,
- full hybrid – silnik elektryczny może samodzielnie napędzić pojazd na krótkich dystansach.



Rysunek 2. Podział układów napędu hybrydowego ze względu na stosunek mocy maszyny elektrycznej do mocy silnika spalinowego (Opracowanie własne) [3]

Konstrukcja układu hybrydowego typu micro skupia się na silniku elektrycznym małej mocy, który wspomaga napęd z silnika spalinowego, umożliwia funkcję start-stop oraz zasila akcesoria pojazdu (generowanie energii elektrycznej),

takie jak klimatyzacja czy wspomaganie kierownicy. Silnik elektryczny o mocy do 2,5 kW pracuje na napięciu 12V. Nowoczesne technologie przetworników i kondensatorów umożliwiają działanie takich napędów przy różnych napięciach, bez kosztownych modyfikacji w systemie elektrycznym samochodu. Przełomem jest możliwość pracy silnika elektrycznego przy napięciu 48V, co pozwala na efektywniejsze odzyskiwanie energii, na przykład podczas hamowania. Dzięki przetwornikom DC/DC, motor może być zintegrowany z systemem elektrycznym pojazdu. Niskie wymagania mocy pozwalają na kompaktową konstrukcję silnika, eliminując potrzebę modyfikacji pojazdu. Wykłe silnik elektryczny zastępuje alternator, połączony z silnikiem spalinowym paskiem wielorowkowym. Technologia micro hybrid korzysta z akumulatorów kwasowo-ołowiowych, które są tanie i dobrze rozwinięte, co czyni tę technologię ekonomiczną i łatwą do wdrożenia [3-8].

Konstrukcja hybrydowego układu napędowego typu mild jest bardziej złożona niż micro hybrid. System mild hybrid może łączyć silnik elektryczny z wałem korbowym, który pełni rolę zarówno silnika, jak i generatora, lub być połączeniem silnika elektrycznego poprzez przekładnię z silnikiem spalinowym. Silniki te oferują moc od 10 do 20 kW oraz moment obrotowy rzędu 200 do 250 Nm. Układy te działają głównie z napięciem 48V, zastępując wcześniejsze systemy 12V. Działanie mild hybrid zarządzane jest energią przez przetwornik DC/DC, który balansuje stan naładowania między standardową baterią 12V a baterią trakcyjną zasilającą silnik elektryczny. Wykorzystywane są ultrakondensatory lub baterie litowo-jonowe, a silniki elektryczne mogą być synchroniczne z magnesami trwałymi, indukcyjne lub o zmiennej reluktancji. Silnik reluktancyjny jest często wybierany ze względu na efektywność i możliwości sterowania. Nowoczesne technologie, jak dwusprzęgłowe przekładnie, umożliwiają implementację różnych strategii sterowania, co zapewnia optymalną równowagę pomiędzy momentem obrotowym a stanem naładowania baterii [3-8].

Konstrukcja pełnego hybrydowego układu napędowego (full hybrid) łączy silnik spalinowy z silnikiem elektrycznym większej mocy, co umożliwia pełne wykorzystanie energii elektrycznej i spalinowej. W przeciwieństwie do układów typu micro i mild, system full hybrid pozwala na jazdę z wykorzystaniem tylko silnika elektrycznego na krótkich dystansach, co jest sztandarową cechą tej technologii. Podstawowe funkcje obejmują zarządzanie energią, momentem obrotowym oraz pełny napęd elektryczny. W zakresie zarządzania energią, systemy full hybrid korzystają z funkcji start-stop, inteligentnego ładowania i hamowania rekuperacyjnego. Zarządzanie momentem obrotowym umożliwia wspomaganie momentu obrotowego silnika spalinowego oraz optymalny podział momentu obrotowego między oba silniki, co poprawia efektywność i przyspieszenie, zwłaszcza przy dużych obciążeniach. Napęd elektryczny pozwala na zeroemisyjną jazdę, szczególnie w warunkach miejskich. Systemy full hybrid monitorują stan naładowania akumulatorów, co zapewnia niezawodność, optymalną wydajność oraz większą oszczędność paliwa i jednocześnie niższą emisję CO₂ [3-8].

3. Opis obiektu badawczego

Badania drogowe przeprowadzono z wykorzystaniem pojazdu Toyota Corolla Hybrid 1.8 (Rysunek 3) wyposażonym w pełny hybrydowy układ napędowy 5 generacji, stosujący technologię Hybrid Synergy Drive®. Układ ten łączy silnik spalinowy o pojemności 1,8 l z dwoma silnikami elektrycznymi. Silnik spalinowy o mocy maksymalnej 73 kW działa zgodnie z cyklem Atkinsona generując moment obrotowy 142 Nm. Silnik elektryczny osiąga moc 70 kW oraz moment obrotowy 185 Nm. Ze względu na konstrukcję układu napędowego pojazdu maksymalna moc kierowana do kół napędowych jest ograniczona do 103 kW.

Hybrydowy układ napędowy Toyoty Corollii jest złożonym systemem, który optymalizuje wydajność energetyczną pojazdu, wybierając odpowiednie źródło napędu w zależności od warunków jazdy. W trakcie postoju silnik spalinowy i elektryczny są wyłączone dzięki systemowi Start-Stop, minimalizując zużycie paliwa i emisję spalin. Przy ruszaniu z miejsca, system przechodzi w tryb elektryczny, pozwalając na jazdę bez emisji spalin. Przy wyższych prędkościach jazdy silnik spalinowy wspomaga jednostkę elektryczną, co zapewnia optymalne zużycie paliwa. Podczas jazdy ze stałą prędkością przy umiarkowanych obciążeniach, głównym źródłem napędu jest silnik elektryczny, a silnik spalinowy wspomaga go, utrzymując optymalny poziom naładowania akumulatorów. W przypadku pełnego przyspieszenia, np. przy wyprzedzaniu, oba silniki dostarczają maksymalną moc, co skutkuje wyższym zużyciem paliwa i emisją spalin.



Rysunek 3. Widok samochodu Toyota Corolla wykorzystanego do badań

Podczas długotrwałej jazdy z wysoką prędkością, głównie wykorzystywany jest silnik spalinowy, który zapewnia odpowiednią moc do utrzymania dużych prędkości, a silnik elektryczny pełni rolę wsparcia w procesie rekuperacji energii. Podczas hamowania, układ wykorzystuje proces rekuperacji energii, przekształcając energię kinetyczną pojazdu w elektryczną i magazynując ją w akumulatorze. Proces ten jest bardziej efektywny, gdy zwalnianie jest płynne [9,10].

4. Przedstawienie metodyki pomiarowej i aparatury badawczej

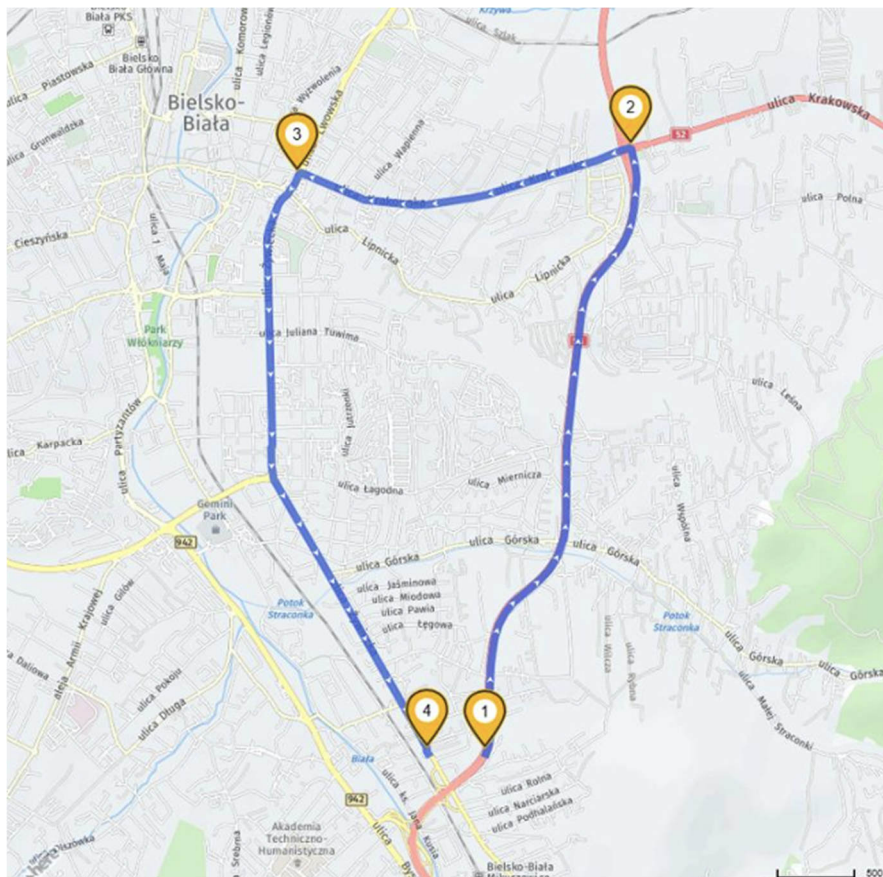
W celu przeprowadzenia analizy parametrów eksploatacyjnych samochodu z hybrydowym układem napędowym, pomiary zostały zrealizowane w warunkach rzeczywistego ruchu drogowego. Trasa pomiarowa obejmowała różne rodzaje dróg, co pozwoliło na zarejestrowanie zróżnicowanych warunków eksploatacyjnych pojazdu.

Wybrana trasa (Rysunek 4) miała długość 10 km i składała się z dwóch głównych odcinków – drogi ekspresowej oraz drogi miejskiej. Droga ekspresowa obejmowała odcinek o długości 4 km, zapewniający płynną jazdę z większymi prędkościami. Ruch odbywał się przy stałej prędkości jazdy, co umożliwiało analizę parametrów pracy układu w warunkach o stabilnym obciążeniu silnika spalinowego i elektrycznego. Droga miejska miała długości 6 km i charakteryzowała się zmiennymi warunkami jazdy. Pierwsze 2 km tego odcinka obejmowały zjazd ze wzniesienia, co znacząco wpływa na strategię pracy obroną przez sterownik pojazdu, natomiast kolejne 4 km prowadziły po płaskiej powierzchni, umożliwiając standardową jazdę miejską.

Poszczególne punkty trasy obejmowały:

1. rozpoczęcie pomiarów na odcinka drogi ekspresowej (punkt początkowy odcinka o wyższych prędkościach i stabilnych warunkach jazdy),
2. zakończenie odcinka drogi ekspresowej i początek trasy miejskiej (odcinek charakteryzujący się spadkiem terenu prowadzącym do punktu 3),
3. punkt przejścia z terenu spadkowego na część trasy miejskiej bez nachylenia (odcinek charakteryzujący się stabilnymi warunkami terenowymi do punktu 4),
4. miejsce zakończenia pomiarów.

Do pomiaru parametrów eksploatacyjnych pojazdu hybrydowego użyto urządzenie CANBUS Scanner (Rysunek 5), dedykowane do współpracy z ECU badanego samochodu poprzez magistralę CAN, dzięki czemu znajomość zjawisk zachodzących w hybrydowym układzie napędowym mogła być pełniejsza. Skaner został wykonany w ramach prac prowadzonych w Katedrze Silników Spalinowych i Pojazdów Uniwersytetu Bielsko-Bialskiego.



Rysunek 4. Trasa przejazdu pomiarowego w warunkach rzeczywistego ruchu drogowego (Opracowanie własne)

Urządzenie pozwala na ciągle odczyt i zapis na kartę pamięci wybranych parametrów pojazdu w czasie rzeczywistym, z częstotliwością 5 Hz oraz ich wizualizację na wyświetlaczu. Podczas badań rejestrowano m.in. takie parametry jak: prędkość pojazdu, przyspieszenie, prędkości i momenty obrotowe: silnika spalinowego, silnika elektrycznego oraz generatora, położenie pedału przyspieszenia i pedału hamulca, poziom naładowania akumulatora, napięcie akumulatora, napięcie po wzmocnieniu, natężenie prądu pobieranego z akumulatora oraz prądu ładowania akumulator, temperatura cieczy chłodzącej, prędkości obrotowe kół i zużycie paliwa.

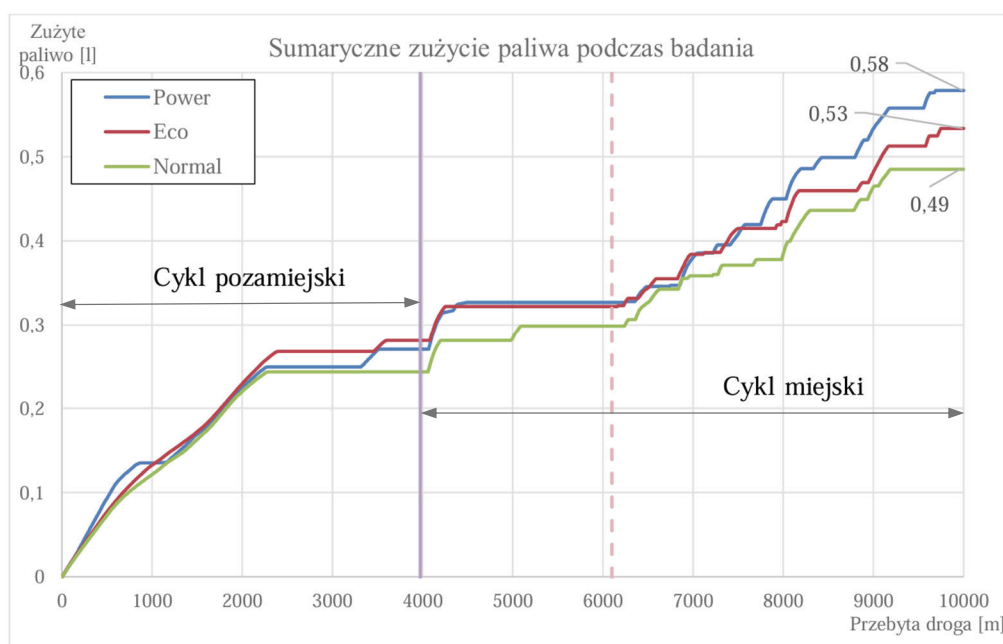


Rysunek 5. CAN Scanner produkcji ADEL wykorzystywany do badań (Opracowanie własne)

5. Przeprowadzenie badania i analiza wyników

Przed badaniami pojazd został przygotowany do pracy w warunkach codziennej eksploatacji, z poziomem naładowania akumulatora (SOC - state of charge) w zalecanym przez producenta zakresie. Testy przeprowadzono w słoneczny dzień, przy wilgotności 35 %, ciśnieniu atmosferycznym 1024 hPa i temperaturze 28 °C, na oponach do jazdy w warunkach letnich z ciśnieniem 300 kPa. W kabinie znajdowały się trzy osoby dorosłe. Testy przeprowadzono w trzech trybach jazdy: Power, Eco i Normal, umożliwiającą ocenę działania układu napędowego pojazdu w różnych strategiach zarządzania energią. Zebrane dane zostały przetworzone i przedstawione w formie wykresów porównawczych.

Rysunek 6 przedstawia wykres zużycia paliwa badanego pojazdu z napędem hybrydowym w różnych trybach jazdy na przyjętej do badań trasie.

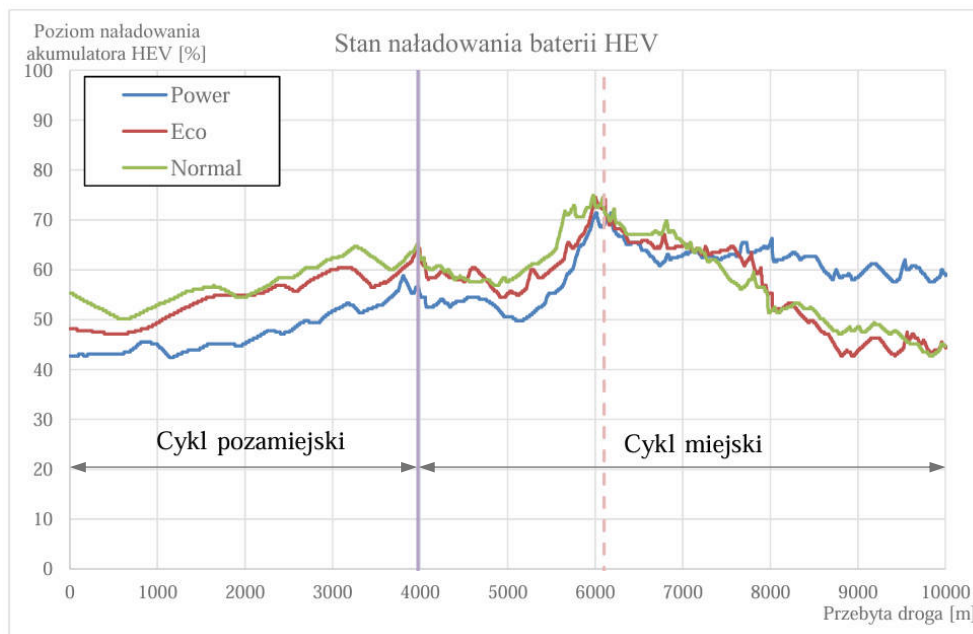


Rysunek 6. Wykres sumarycznego zużycia paliwa w różnych trybach jazdy podczas całego przejazdu

Analizując wpływ charakterystyki drogi na zużycie paliwa, w trybie Power zużycie wyniosło 0,58 l, w trybie Eco osiągnęło wartość 0,53 l, a w trybie Normal zanotowano najniższe zużycie na poziomie 0,49 l. Poziom naładowania akumulatora trakcyjnego na początku testu wynosił kolejno: w trybie Power ~43%, Eco ~48% i Normal ~55%. Różnice te wskazują na efektywność poszczególnych trybów w kontekście zużycia paliwa.

W początkowym odcinku cyklu pozamiejskiego, do ~2,3 km (Rysunek 6), łączne zużycie paliwa we wszystkich trybach zwiększa się, co może być wynikiem zwiększonego obciążenia silnika w trakcie jazdy. Interesującym zjawiskiem jest stabilizacja zużycia paliwa praktycznie do końca odcinka drogi ekspresowej. W tym przypadku nie odnotowano dalszego zwiększania się zużycia paliwa, co sugeruje, że silnik spalinowy nie był stale aktywny, a pojazd korzystał w głównej mierze z energii elektrycznej. W tej części testu nie występowały znaczące zmiany pochylenia wzdłużnego drogi. Analizując odcinek trasy dla cyklu miejskiego do punktu 3, początkowo zauważalne jest zwiększenie zużycia paliwa, co jest efektem ruszania pojazdu z postoju oraz jazdy pod wzniesienie. W dalszej części tego odcinka drogi obserwuje się zasadniczo brak zużycia paliwa. Jest to spowodowane zjazdem ze wzniesienia, który pozwala pojazdowi poruszać się bez udziału silnika spalinowego.

Po przekroczeniu punktu 3 na trasie (Rysunek 6), wykres wskazuje na stałe zapotrzebowanie paliwa we wszystkich trzech trybach jazdy. Końcowe wyniki zużycia paliwa pokazują, że w trybie Power zużycie wyniosło 0,31 l, w trybie Eco osiągnęło wartość 0,25 l, a w trybie Normal zanotowano najniższe zużycie na poziomie 0,24 l. Wyniki te sugerują, że tryb Eco wydajniej zarządza energią w warunkach miejskich niż na drodze ekspresowej, jednak nadal zużycie paliwa w tym trybie jest bliskie wartościom uzyskiwanym w trybie Normal. Wskazuje to na niewielką różnicę w efektywności pomiędzy tymi dwoma trybami, co może sugerować, że w warunkach miejskich obydwa tryby oferują zbliżoną wydajność paliwową.

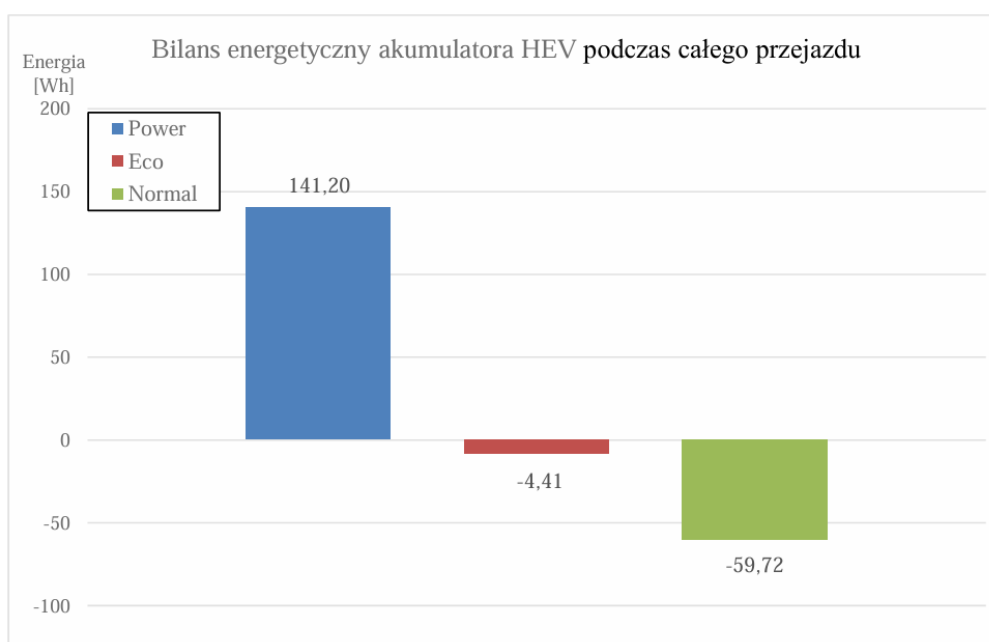


Rysunek 7. Wykres sumarycznego zużycia paliwa w różnych trybach jazdy podczas całego przejazdu

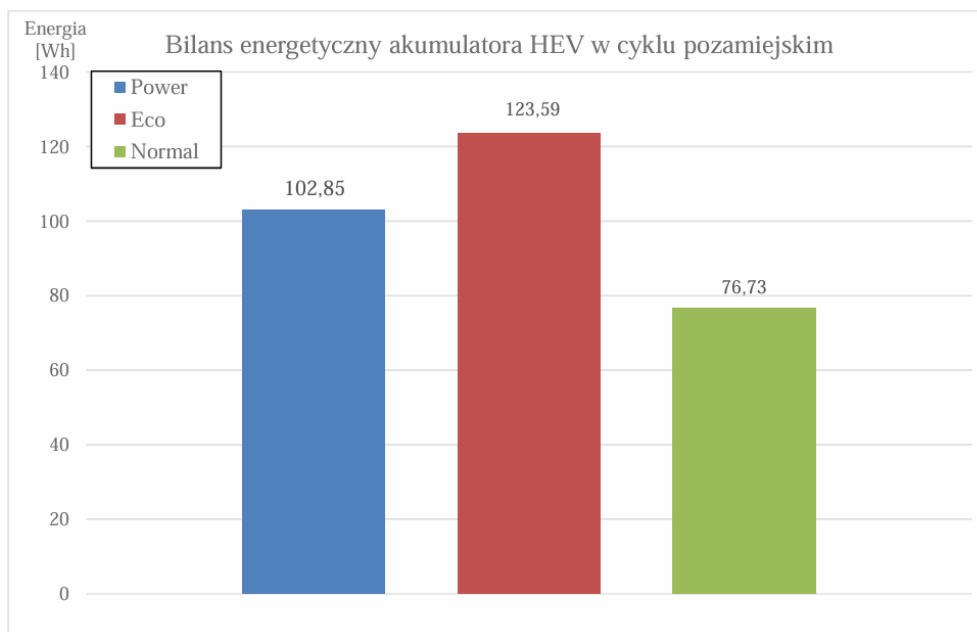
Rysunek 7 pokazuje zmiany w stanie naładowania akumulatora HEV (SOC), który oscyluje między 43% a 75% podczas całego przejazdu, z maksymalnym naładowaniem w punkcie 3 trasy.

W cyklu pozamiejskim widoczne jest stałe, choć mało dynamiczne ładowanie akumulatora, co wskazuje na umiarkowane odzyskiwanie energii podczas jazdy po równym terenie. © kolei na odcinku obejmującym zjazd ze wzniesienia ładowanie staje się bardziej dynamiczne, co jest wynikiem intensywnego odzyskiwania energii potencjalnej we wszystkich trybach jazdy.

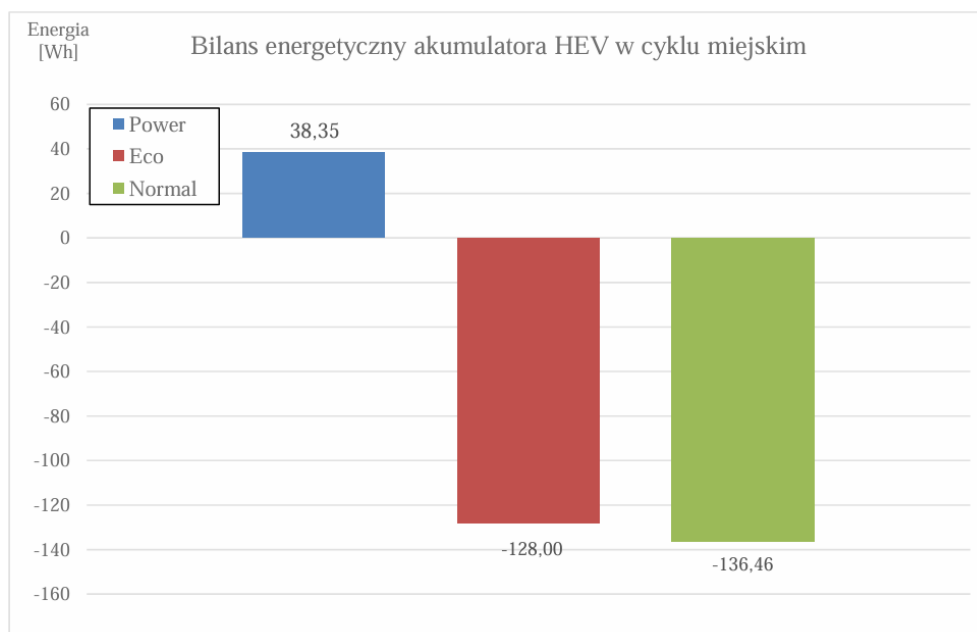
W cyklu miejskim, podczas jazdy po równym terenie, widoczne jest intensywne wykorzystanie energii z akumulatora w trybach Eco i Normal. To świadczy o większym zapotrzebowaniu na napęd elektryczny w tych strategiach podczas warunków miejskich. Tryb Power w tym samym odcinku wykazuje mniejsze zużycie energii z akumulatora w porównaniu do trybów Eco i Normal, co sugeruje, że w tym trybie priorytetem było bardziej zrównoważone zarządzanie energią, z mniejszym naciskiem na pełne wykorzystanie akumulatora.



Rysunek 8. Wykres bilansu energii akumulatora trakcyjnego w różnych trybach jazdy podczas całego przejazdu



Rysunek 9. Wykres bilansu energii akumulatora trakcyjnego w różnych trybach jazdy podczas przejazdu pozamiejskiego



Rysunek 10. Wykres bilansu energii akumulatora trakcyjnego w różnych trybach jazdy podczas przejazdu miejskiego

Badania bilansu energetycznego akumulatora HEV w trzech trybach jazdy (Rysunki 8-10) wykazały różnice w gromadzeniu i wykorzystaniu energii elektrycznej. Na Rysunku 8 przedstawiono bilans energetyczny podczas całego przejazdu, obejmującego zarówno cykl pozamiejski, jak i miejski. W trybie Power zgromadzono 141,20 Wh, co wskazuje na efektywne ładowanie przy wykorzystaniu głównie silnika spalinowego. W trybach Eco i Normal bilans był ujemny: w trybie Eco wyniósł -4,41 Wh, a w Normal -59,72 Wh, co sugeruje większe wykorzystanie energii z akumulatora.

W cyklu pozamiejskim (Rysunek 9) wszystkie tryby miały dodatni bilans, co oznacza, że więcej energii zostało zgromadzone niż wykorzystane. W trybie Eco zgromadzono największą nadwyżkę (123,59 Wh), co wskazuje na skuteczne ładowanie akumulatora trakcyjnego podczas jazdy pozamiejskiej, prawdopodobnie gromadząc energię na

przyszłą jazdę miejską. Tryby Power (102,85 Wh) i Normal (76,73 Wh) również zgromadziły energię, ale w mniejszym stopniu.

Rysunek 10 przedstawia bilans energetyczny w cyklu miejskim. Tylko tryb Power wykazał dodatni bilans, zgromadził więcej energii niż oddał, z wynikiem 38,35 Wh. © kolei w trybach Eco i Normal przejazd zakończył się z ujemnym bilansem energetycznym, osiągając odpowiednio -128,00 Wh i -136,46 Wh. Wyniki pokazują, że w warunkach miejskich tryby Eco i Normal bardziej wykorzystują zgromadzoną energię do napędu.

6. Podsumowanie i wnioski

Badania nad parametrami eksploatacyjnymi hybrydowego napędu w Toyota Corolla wykazały, że pojazdy hybrydowe charakteryzują się zróżnicowaną efektywnością w zależności od trybu jazdy i warunków drogowych. Tryb Power wykazuje wyższe zużycie paliwa, podczas gdy Eco i Normal lepiej optymalizują energię. W cyklu miejskim tryb Power pozwala na większe gromadzenie energii elektrycznej w porównaniu z pozostałymi trybami. Badania potwierdziły, że napędy hybrydowe są najbardziej efektywne w warunkach miejskich, gdzie jazda elektryczna dominuje, a na autostradach rośnie udział silnika spalinowego. Pojazdy z hybrydowym układem napędowym stanowią pomost między samochodami spalinowymi a elektrycznymi, a ich rozwój jest strategiczny w kierunku zrównoważonego transportu. © perspektywy przyszłości można oczekiwać dalszych innowacji w zakresie efektywności energetycznej i technologii zarządzania energią, co uczyni pojazdy hybrydowe bardziej atrakcyjnymi i wydajnymi.

Bibliografia

1. European Council, Clean and sustainable mobility, consilium.europa.eu, <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55/> (dostęp: 09.11.2024).
2. European Council, Fit for 55; consilium.europa.eu; <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55/> (dostęp: 09.11.2024).
3. Merkisz J., Pielecha I. Układy mechaniczne pojazdów hybrydowych; Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2015.
4. Abdelsattar M., Aly M., Abu-Elwfa S. A Review on Hybrid Electrical Vehicles: Architectures, Classification and Energy Management; SVU-International Journal of Engineering Sciences and Applications, 2024, tom 5, s. 93-99.
5. Ehsani M., Gao Y., Longo S., i in. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles Third Edition; Taylor&francis Ltd., 2018.
6. Enang W., Bannister C. Modelling and control of hybrid electric vehicles (A comprehensive review), Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, tom 74, s. 1210-1239.
7. Opila D., Wang X., McGee J., i in. Performance comparison of hybrid vehicle energy management controllers on real-world drive cycle data, Proceedings of the American Control Conference, 2009, s. 4618-4625.
8. Pels T., Kaup C. Micro, Mild, and Full Hybrids. Encyclopedia of Automotive Engineering, 2014. s. 1-6.
9. Toyota; Corolla Touring Sports, toyota.pl, [https://www.toyota.pl/nowe-samochody/corolla-ts-kombi/ceny-i-promocje/Corolla TS.040.577344d9-5bd9-40b8-bb8b-3f02b524c405](https://www.toyota.pl/nowe-samochody/corolla-ts-kombi/ceny-i-promocje/Corolla%20TS.040.577344d9-5bd9-40b8-bb8b-3f02b524c405) (dostęp: 09.11.2024).
10. Toyota Motor Corporation, Corolla Hybrid Gasoline-Electric Hybrid Synergy Drive Hybrid Vehicle Dismantling Manual, toyota-tech.eu, https://www.toyotatech.eu/HYBRID/HVDM/EN/Corolla%20WE211%20M%EH12_hvdm.pdf (dostęp: 03.10.2024).