

Marek Idzior, Mateusz Bor

Problemy eksploatacyjne sond lambda w nowoczesnych silnikach spalinowych

JEL: R41 DOI: 10.24136/atest.2019.237

Data zgłoszenia: 28.01.2020 Data akceptacji: 10.02.2020

W artykule omówione zostały podstawowe problemy eksploatacyjne czujników tlenu w silnikach spalinowych. Dokonano przeglądu stosowanych obecnie rozwiązań oraz najczęściej występujących usterek wraz z ich przyczynami. Omówione zostały również możliwości na-prawy skutków oraz przyczyn danej usterki sondy. W dalszej części artykułu opisane zostały również metody diagnozowania sond wąsko-pasmowych oraz szerokopasmowych. Określono możliwości diagnostyki sond z wykorzystaniem metod oceny wzrokowej oraz komputerowej, poprzez ocenę sygnału generowanego przez czujnik tlenu.

Słowa kluczowe: sonda lambda, diagnostyka, silnik spalinowy.

Wstęp

Duże problemy sprawia nam wyobrażenie sobie dzisiejszego świata bez środków transportu, cały świat oparty jest na pojazdach mechanicznych napędzanych silnikami spalinowymi, które od ponad stu lat towarzyszą w rozwoju ludzkości. Mimo wielu spekulacji na temat zastąpienia jednostek spalinowych, nowocześniejszymi rozwiązaniami pozwalającymi na zredukowanie szkodliwych czynników do zera, wciąż silniki spalinowe są niekwestionowanym liderem w obszarze transportu. Obecnie duży udział w rynku pojazdów osobowych przypada silnikom o zapłonie iskrowym, ze względu na znaczny wzrost ich sprawności oraz dynamiki przy zachowaniu niskiego poziomu hałasu.

W celu przystosowania tych silników do spełnienia rygorystycznych norm emisji spalin zastosowano w nich liczne rozwiązania pozwalające na kontrolę procesu wtrysku oraz spalania mieszanki paliwowo-powietrznej. W silnikach ZI w ostatnich latach najszerze zastosowanie znalazł trójfunkcyjny reaktor katalityczny współpracujący w układzie sprzężenia zwrotnego (closed loop control system) z sondą lambda, który neutralizuje główne związki toksyczne tj. tlenki węgla (CO), węglowodory (HC) oraz tlenki azotu (NOx). Zastosowanie sondy lambda jest konieczne w celu zapewnienia dużej sprawności konwersji tych związków, która jest możliwa jedynie w zakresie $\lambda = 0,996 \div 1,006$. W silnikach zasilanych mieszankami ubogimi, czyli silniki o zapłonie samoczynnym, utrzymywanie współczynnika napełnienia powietrza w granicach zapewniających dużą sprawność reaktora jest z założenia niemożliwe. Takie rozwiązanie stosowane w silnikach o ZI stawia zwiększone wymagania układom zasilania, które na podstawie otrzymywanych sygnałów z sondy muszą korygować ilość dostarczanego paliwa. Z tego powodu elektroniczny układ sterowania powinien być odpowiednio szybki, by okresy, w których skład mieszanki odbiega od stechiometrycznego były jak najkrótsze [1, 4].

Wzrost wymagań względem silników oraz dynamiczny rozwój elektroniki sprzyja wprowadzeniu na coraz szerszą skalę elektronicznych układów sterujących wykorzystujących mikroprocesory (EMS – Electronic Management System, ECU – Electronic Control Unit, EECS – Exhaust Emission Control System). Zastosowanie tych układów w systemach kontrolujących parametry pracy silnika

umożliwia przechowywanie charakterystyk zmian poszczególnych parametrów w zależności od licznych danych wejściowych, a więc jest możliwa wieloparametrowa optymalizacja pracy silnika i wczesne wykrywanie ewentualnych niesprawności. Jednak głównym parametrem regulującym składem mieszanki paliwowo - powietrznej na podstawie mapy charakterystyk poza fazą rozruchu i pełnego obciążenia silnika jest sygnał z sondy λ [1].

Czujnik tlenu zwany potocznie także sondą lambda (rys.1) służy do pomiaru składu mieszanki paliwowo – powietrznej, cały czas mierząc zawartość tlenu w spalinach. Ciągłe badanie składu mieszanki dostarczanej do komory spalania, zapewnia prawidłowy przebieg procesu spalania. Sonda monitoruje zawartość tlenu w spalinach i przesyła zebrane informacje do ECU pojazdu, gdzie są niezbędne do regulacji składu mieszanki. Od wartości współczynnika λ zależy skuteczność i sprawność działania reaktora katalitycznego, który ma za zadanie neutralizować jak największą liczbę szkodliwych substancji znajdujących się w gazach spalinowych, zanim zostaną wyemitowane do atmosfery.



Rys. 1. Sonda lambda.

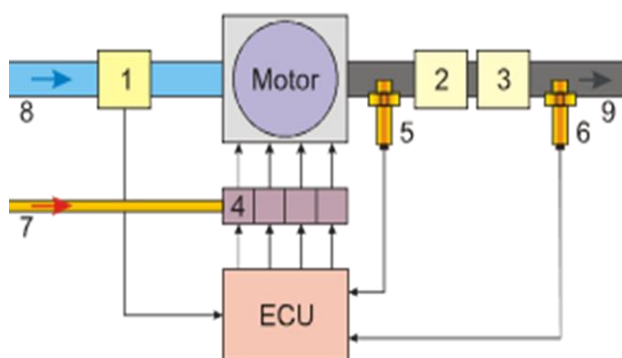
W technice pod względem budowy rozróżniamy sondy lambda palcowe, zwane kubkowymi oraz planarnymi. Dodatkowo czujniki dzielą się na cyrkonowe, liniowe oraz tytanowe. Pomimo, że wykorzystują różne sposoby pomiaru tlenu w spalinach, oraz przekazują różne sygnały wyjściowe, to wszystkie wykonują tę samą funkcję. Kubkowe są nazywane w ten sposób, ze względu na cylindryczny kształt czujnika ceramicznego, oraz metalowej osłony w kształcie tuby. Posiadają oddzielny elektryczny element grzewczy, który pozwala na szybkie osiągnięcie minimalnej, wymaganej temp. pracy czujnika. Natomiast w sondach planarnych czujnik ma postać płytek, w których znajduje się element grzewczy, a wszystko jest osłonięte dwiema metalowymi tubami.

Nowoczesne pojazdy samochodowe oraz większość wyprodukowanych po 1980 roku, posiada czujnik tlenu umieszczony w układzie wylotowym pomiędzy silnikiem, a reaktorem katalitycznym, element pomiarowy sond jest omywany przez gazy spalinowe [2].

W pierwszych wersjach układów oczyszczania spalin współpracujących z sondą lambda, czujnik był umieszczany w górnym odcinku kolektora wylotowego (rys.2). Takie rozwiązanie miało zapewnić

(w czasach gdy sondy lambda nie posiadały elementu grzejnego) osiągnięcie przez sondę temperatury umożliwiającej wygenerowanie sygnału napięciowego rozpoznawalnego przez sterownik systemu wtryskowego (około 350°C). Nagrzewanie czujnika poprzez spaliny miało szereg wad, takich jak: długi czas nagrzewania się czujnika, częste okresy niedogrzenia sondy, szczególnie na wolnych obrotach silnika oraz okresowe przegrzania (powyżej 930°C), powodujące skrócenie czasu jej eksploatacji. W wyeliminowaniu tych wad pomogło wprowadzenie elementu grzewczego we wnętrzu sondy lambda. Pozwoliło to na odsunięcie czujnika od źródła gorących spalin poprzez montaż w pobliżu reaktora katalitycznego. Elektryczny element grzejny podtrzymuje temperaturę czujnika podczas niskiego obciążenia silnika. Natomiast przy większych obciążeniach temperatura spalin jest dostatecznie wysoka do podtrzymania temperatury sondy, umożliwiając jej najefektywniejszą pracę (około 600 ÷ 700°C). Element grzejny niweluje również problem zimnego rozruchu, umożliwiając szybką regulację składu mieszanki z wykorzystaniem sygnału z sondy lambda, co jest szczególnie istotne w systemach OBD II i EOBD.

W przedstawionej pracy skupiono się na zadaniach i problemach związanych z eksploatacją sond lambda w silnikach spalinyowych, gdyż jest to element umożliwiający precyzyjne sterowanie pracą silnika, co ma ogromny wpływ na obniżenie emisji szkodliwych i toksycznych związków.



Rys. 2. Schemat układu zasilania i wydechowego współczesnych samochodów benzynowych: 1 - czujnik przepływu powietrza, 2 i 3 - reaktor katalityczny, 4 - wtryskiwacze paliwa, 5 - sonda lambda (regulacyjna), 6 - sonda lambda (diagnostyczna), 7 - paliwo, 8 - wpływające powietrze, 9 - spaliny, ECU - sterownik.

1. Sonda lambda – analiza usterek

Trwałość sondy lambda jest szacowana przez producentów, w zależności od typu zastosowanego czujnika od 50 tys. do 160 tys. km. Podczas eksploatacji pojazdu sonda jest omywana gazami spalinowymi o dużej temperaturze, co powoduje wypalenie zanieczyszczeń, osadzających się na sondzie, dzięki czemu nie wymaga ona obsługi. Jednak niesprawny czujnik tlenu lub w całości uszkodzony może doprowadzić do awarii lub uszkodzenia silnika lub reaktora katalitycznego. Producenci zalecają kontrolę sond co 30 tysięcy kilometrów [4].

1.1. Wprowadzenie

W momencie wykrycia usterki sondy lambda, pierwszym sygnałem dla użytkownika pojazdu będzie zapalenie się na desce rozdzielczej kontrolki „check engine” (Kontrolka MIL - Malfunction Indicator Light). Program diagnostyczny silnika, niestety nie jest w stanie określić, czy wina za dawkowanie nieodpowiedniej mieszanki paliwowo - powietrznej, leży po stronie nieprawidłowej pracy silnika, czy po stronie uszkodzonej sondy lambda. Problem narasta, gdy sterownik wraz z nowymi nieprawidłowościami próbuje sam dosto-

sować skład mieszanki, w sposób który ma rozwiązać problem. Jest to tylko chwilowe wyeliminowanie problemu, które odbija się negatywnie na trwałości sondy lambda oraz na jednostce napędowej. Bez fachowej diagnozy nie można określić czy spowodowała to zjawisko uszkodzona lub zużyta sonda, która wprowadza w błąd silnik, czy może jest to awaria jednostki napędowej, która wpływa na nieprawidłowe odczyty na sondzie lambda [3].

W przypadku, gdy sonda lambda będzie dostarczała nieprawidłowe wyniki do komputera sterującego dawką paliwa, a mimo to system nie poinformuje nas o tym wyświetlając kontrolkę na desce rozdzielczej, objawy mogą być następujące: wysokie zużycie paliwa, spadek mocy silnika, duża emisja substancji toksycznych i szkodliwych, nierówna praca silnika

1.2. Kontrola wizualna

Po zaobserwowaniu wyżej wymienionych sygnałów, które mogą świadczyć o nieprawidłowej pracy sondy lambda konieczna jest jej naprawa lub wymiana na nową. Mechanik powinien dokładnie skontrolować testerem diagnostycznym o jaki błąd związany z sondą chodzi. Jednak przed pochopną wymianą czujnika bardzo ważne jest również zdiagnozowanie układu wydechowego pod kątem szczelności, szczególnie na odcinku pomiędzy silnikiem a sondą. Inną możliwą usterką jest uszkodzona grzałka, przez co sonda lambda podaje nieprawidłowe wyniki tylko przy niskich temperaturach, gdy nie osiągnęła odpowiedniej temp. pracy. Należy również sprawdzić czy kostka połączeniowa jest szczelna, nie jest luźna, brudna od smarów, olejów i innych chemikaliów, oraz czy przewody nie są poprzecierane, co mogło by powodować zwarcie. Wszystkie uszkodzenia mogą mieć negatywny wpływ na sygnał z czujnika [3].

Jeśli wszystko wokół sondy oraz na zewnątrz nie wzbudza podejrzeń, należy przejść do analizy wizualnej czujnika. W celu wizualnego zdiagnozowania sondy lambda wystarczy ją wymontować i dokładnie obejrzeć część pomiarową, która podczas pracy jest umieszczona w układzie wylotowym. Na wstępie należy sprawdzić czy na korpusie występują mechaniczne uszkodzenia, takie jak wgniecenia lub pęknięcia, gdyż istotne jest by element pomiarowy był nienaruszony. Poniżej przedstawiono wygląd sond lambda w różnym stanie, oraz przyczyny jakie go spowodowały. Zdjęcia poglądowe mogą ułatwić diagnostykę sond lambda [5].

Stan normalny

Wizualnie sonda lambda będąca w dobrym stanie technicznym cechuje się nienaruszoną rurką ochronną elementu pomiarowego oraz jest wolna od zanieczyszczeń. Jedynym osadem na zaprezentowanej poniżej (rys. 3) sondzie lambda są zabrudzenie wynikające z ciągłego omywania przez spaliny przepływające przez układ wylotowy. Sonda ma ciemno szary matowy drobny nalot, jest to efekt poprawnego spalania mieszanki paliwowo - powietrznej w silniku oraz przeprowadzanymi terminowymi przeglądami i konserwacją układów pojazdu. W tym przypadku nie ma konieczności wymiany sondy!



Rys. 3. Sonda lambda nieuszkodzona.

Zanieczyszczenie środkiem niezamarzającym

Sondę lambda zanieczyszczoną środkami niezamarzającymi można poznać (rys.4), po nalocie o strukturze ziemistej w kolorze szaro – białym, również miejscami można zauważyć zielonkawy osad (rys.4). Przyczyną takiego stanu sondy jest zanieczyszczenie wynikające z dostawania się płynu chłodzącego do cylindrów silnika. W celu usunięcia tego problemu należy sprawdzić układu chłodzenia, który może być nieszczelny przez uszkodzoną uszczelkę pod głowicą silnika. Przede wszystkim należy naprawić usterkę układu chłodzenia, a następnie wymienić sondę lambda na nową.



Rys. 4. Sonda lambda zanieczyszczona środkiem niezamarzającym.

Zanieczyszczenie olejem

Zanieczyszczony olejem czujnik tlenu wymaga wymiany na nowy. Zanieczyszczenie tego rodzaju można poznać po rozległym tłustym osadzie na rurce ochronnej czujnika w kolorze ciemnoszarym lub nawet czarnym. Przyczyną takiego efektu wizualnego przedstawionego na rys. 5. jest nadmierne zużycie oleju. Może to być spowodowane przez: wyeksploatowane pierścienie tłokowe, zużyty układ korbowo – tłokowy lub uszkodzona uszczelka pod głowicą. Przed wymianą sondy na nową należy znaleźć źródła wycieku oleju i niezwłocznie je usunąć w razie potrzeby.



Rys. 5. Sonda lambda zanieczyszczona olejem.

Zanieczyszczenie dodatkami

W przypadku stosowania dodatków uszlachetniających do paliw lub nadmiernej ich ilości w tankowanym paliwie, można zaobserwować na sondzie lambda rozległe osady w kolorze czerwonym lub białym (rys. 6). Tego rodzaju składniki spalane w silniku wytwarzają dymy, które mogą doprowadzić do zanieczyszczenia lub nawet zapchania elementu pomiarowego czujnika tlenu. W celu pozbycia się problemu należy wyczyścić silnik oraz układ paliwowy, by pozbyć się niepotrzebnych dodatków oraz wymienić sondę na nową.



Rys. 6. Sonda lambda zanieczyszczona dodatkami.

Zanieczyszczenie paliwem

Sonda lambda zanieczyszczona paliwem (rys. 7) cechuje się ciemnobrązowym, niemal czarnym kolorem rurki ochronnej. Jest to spowodowane sadzą, która tworzy się przez spalanie w komorze jednostki napędowej zbyt bogatej mieszanki paliwowo – powietrznej. Przyczyną takiego zjawiska może być uszkodzona grzałka sondy lambda lub uszkodzony/wadliwy układ paliwowy. W celu zdiagnozowania problemu należy przyjrzeć się układowi wtryskowemu, a nawet całemu układowi paliwowemu oraz wykonać pomiar składu spalin. Należy również sprawdzić zasilanie grzałki sondy lambda, tyczy się to sond posiadających co najmniej 3 przewody. Po znalezieniu usterki należy ją niezwłocznie usunąć, a uszkodzoną sondę lambda zastąpić nową.



Rys. 7. Zanieczyszczenie paliwem.

Zanieczyszczenie ołowiem

Sonda lambda zanieczyszczona ołowiem (rys. 8) posiada błyszczące, ciemnoszare osady pokrywające rurkę ochronną czujnika. Ołów reaguje z platyną, która znajduje się w czujniku sondy oraz w reaktorze katalitycznym. Zanieczyszczenie tego rodzaju jest spowodowane stosowaniem paliwa ołowiowego. W takim przypadku rozwiązaniem może być opróżnienie zbiornika paliwa z benzyny ołowiowej i stosowanie benzyny bezołowiowej po wymianie sondy na nową.



Rys. 8. Zanieczyszczenie ołowiem.

2. Testy diagnostyczne sond lambda

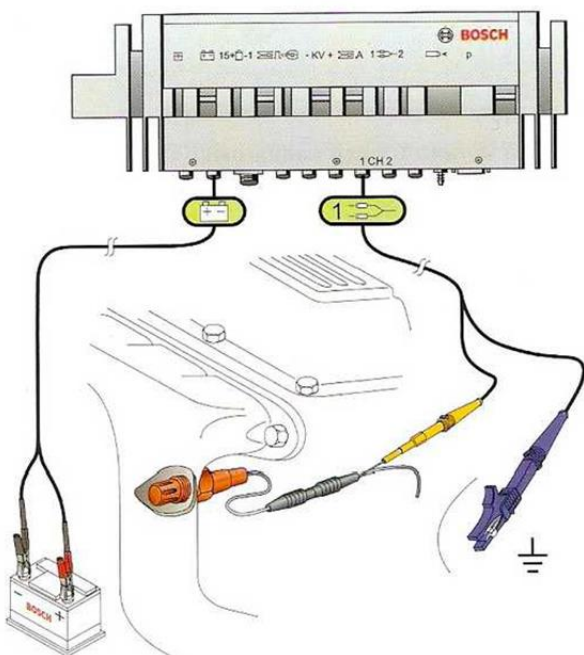
Badanie objawów uszkodzenia sondy lambda nie należy kończyć na odczytaniu błędów w systemie OBD II (On-Board Diagnostics) i w przypadku źle działającej sondy wymianie jej na nowy egzemplarz. Sam czujnik tlenu może działać prawidłowo, a użytkownik pojazdu narazi się wtedy na niepotrzebne koszty. Diagnostykę sondy należy przeprowadzić przy pomocy testera diagnostycznego sondy lambda, oscyloskopu lub diagnostyka.

W pracy skupiono się na badaniu diagnostycznym (diagnostyką silnikową FSA 7XX), które wyróżnia się od badania przy pomocy oscyloskopu automatycznie wykonywaną analizą mierzonych sygnałów, oraz posiada prostą formę prezentacji otrzymanych wyników pomiarowych. Odczyt uzyskanych danych ułatwiają otrzymane wykresy słupkowe, dużo bardziej przejrzyste od przebiegów oscyloskopowych. Rozbudowane menu i wstępne ustawienia przyporządkowane do danego pomiaru umożliwiają prostą obsługę urządzenia pomimo wielu złożonych funkcji pomiarowych [6].

2.1. Test dwustanowej sondy lambda

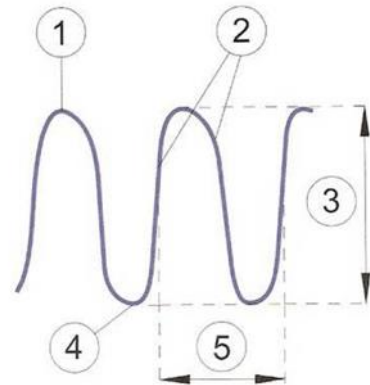
W celu przeprowadzenia pomiaru dwustanowej sondy lambda należy zapiąć krokodylki do akumulatora pojazdu (czerwony – klema plusowa, czarny – klema minusowa). Następnie należy podłączyć żółtą końcówkę pomiarową (kanał CH1) do styku sygnałowego na złączu elektrycznym sondy lambda, ewentualnie na odpowiedni styk wtyczki sterownika silnika. Niebieską końcówkę pomiarową (kanał CH2) należy podpiąć do styku masowego czujnika tlenu lub do masy pojazdu. Podłączenie okablowania diagnostyka obrazuje rysunek 9 [6].

Do prawidłowego przeprowadzenia badania warunkiem koniecznym jest uzyskanie temp. pracy przez sondę wynoszącą 350°C. Jest to istotne, gdyż proces regulacji składu mieszanki rozpoczyna się po nagraniu silnika z chwilą zamknięcia obwodu ujemnego sprzężenia zwrotnego w sterowniku. Ostatnim warunkiem jest uruchomienie silnika i pozostawienie go na biegu jałowym. Można również przy innych prędkościach obrotowych silnika, oraz przy przyspieszaniu i hamowaniu silnikiem obserwować zachowanie się systemu wtryskowego. Do wybrania odpowiedniej funkcji diagnostyka, należy wybrać w menu kolejne kroki: FSA720/740/750 → Test podzespołów → Sondy lambda → Sonda dwustanowa [6].



Rys. 9. Schemat podłączenia sondy dwustanowej.

Pierwszym etapem analizy jest określenie odpowiedniego typu sondy lambda. W przypadku cyrkonowej sondy lambda należy spodziewać się wartości sygnału w zakresie $0 \div 1$ V. Natomiast wartość sygnału sondy tytanowej, do których użyty został dwutlenek tytanu będzie się zawierał w zakresie $0 \div 1$ V lub $0 \div 5$ V. Są to czujniki o zmiennej rezystancji i stanowią element dzielnika napięciowego zasilanego ze źródła o napięciu $1 \div 5$ V. Sygnał wysyłany do sterownika przez czujniki tlenu jest związany z masą pojazdu. W celu uniknięcia nieporozumień związanych z podwyższonym potencjałem masy (np. o 0,7 V), na jakim pracują niektóre sondy, należy zmierzyć sygnał wysyłany przez czujnik w stosunku do masy czujnika a następnie do masy pojazdu [6].

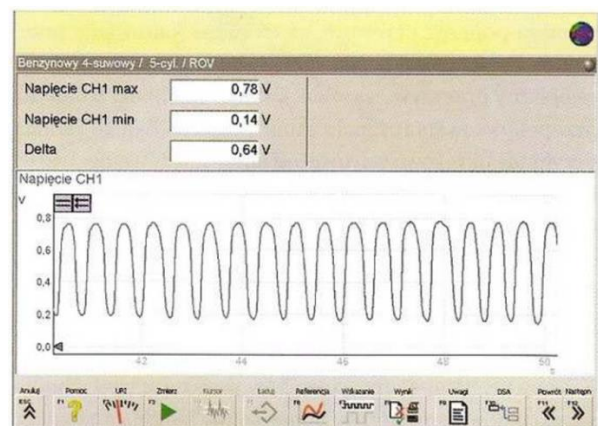


Rys. 10. Wzorcowy sygnał z sondy.

Wzorcowy sygnał z sondy lambda cechuje się następującymi wartościami w punktach zaznaczonych na powyższym rysunku 10.:

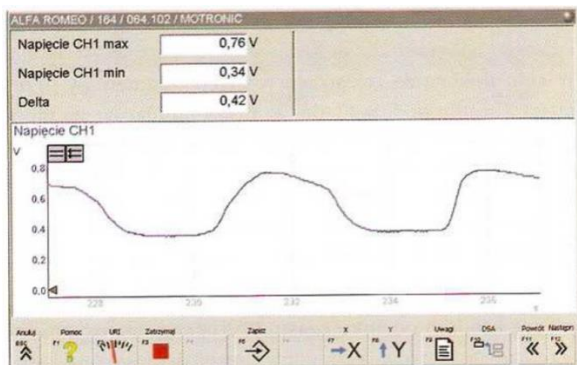
1. Przy mieszance bogatej napięcie powinno osiągać wartość minimum 800 mV.
2. Sygnał cechujący się stromą krzywą wznoszenia i opadania.
3. Napięcie międzyszczytowe osiągające co najmniej 600 mV, natomiast sam sygnał oscylujący wokół poziomu 450 mV.
4. Przy ubogiej mieszance niskie napięcie powinno być mniejsze od 200 mV.
5. Na wolnych obrotach okres sygnału nie powinien przekraczać 3 sekund (wartość ta zmienia się w zależności od prędkości obrotowej silnika).

W górnej części ekranu podana jest maksymalna i minimalna wartość napięcia sygnału oraz różnica między tymi wartościami. Sygnał powinien odpowiednio szybko oscylować pomiędzy skrajnymi poziomami, następująco dla dolnego napięcia w zakresie $0 \div 0,3$ V i górnego $0,7 \div 1,0$ V [6].



Rys. 11. Prawidłowy przebieg sygnału z dwustanowej cyrkonowej sondy lambda.

W przypadku wyczerpania się potencjału źródła napięcia generowane przez sondę lambda sygnały nie spełniają wymagań stawianych przez sterownik systemu wtryskowego. Oznakami zużycia czujnika jest za wysoki poziom napięcia dla mieszanek ubogich, zbyt małe napięcie międzyszczytowe oraz za długi okres przebiegu, który można zaobserwować na rysunku 12. Charakterystycznym objawem zabrudzenia sondy jest wolno opadające zbczo sygnału [6].



Rys. 12. Nieprawidłowy przebieg sygnału z dwustanowej cyrkonowej sondy lambda.

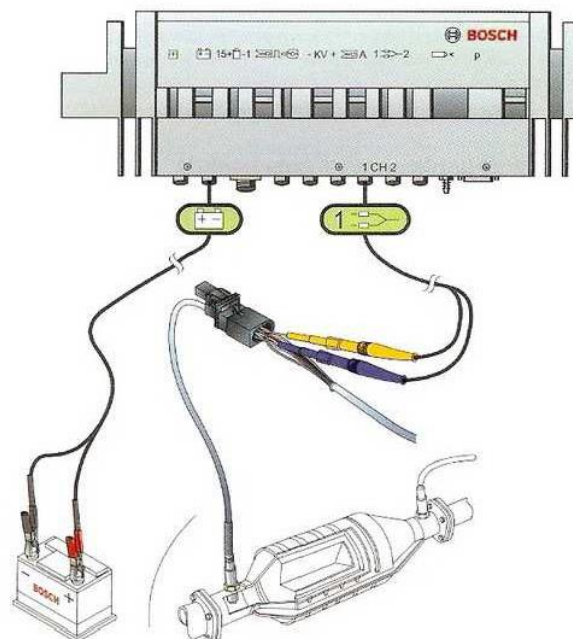
2.2. Test szerokopasmowej sondy lambda

W celu przeprowadzenia testu sondy szerokopasmowej należy odpowiednio podpiąć krokodylki do клем akumulatora, czyli czerwony do клемy plusowej, natomiast czarny do клемy minusowej. Następnie należy podłączyć żółtą końcówkę pomiarową (kanał CH1) do sygnałowego styku na złączu elektrycznym sondy lub na odpowiedni styk wtyczki sterownika silnika. Kolejnym etapem jest podłączenie niebieskiego przewodu podpiętego do kanału pomiarowego (CH1) do styku sygnałowego na złączu elektrycznym czujnika lub do odpowiedniego styku na wtyczce sterownika silnika [6].

Warunkiem poprawnego przeprowadzenia testu sondy szerokopasmowej jest nagrzanie sondy do właściwej temperatury, wynoszącej 350°C. Jest to istotne, gdyż proces regulacji składu mieszanki rozpoczyna się po nagrzaniu silnika z chwilą zamknięcia obwodu ujemnego sprzężenia zwrotnego w sterowniku. Ostatnim warunkiem jest uruchomienie silnika i pozostawienie go na biegu jałowym. Można również przy innych prędkościach obrotowych silnika, oraz przy przyspieszaniu i hamowaniu silnikiem obserwować zachowanie się systemu wtryskowego. W celu uruchomienia odpowiedniej funkcji diagnostyki, należy wybrać w menu kolejne kroki: FSA720/740/750 → Test podzespołów → Sondy lambda → Sonda szerokopasmowa [6].

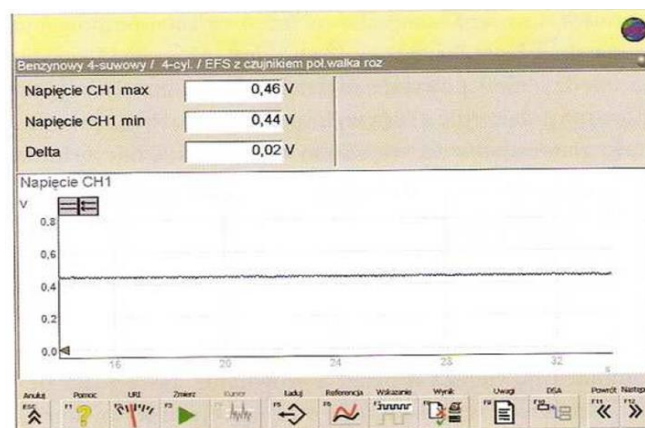
Przeprowadzając test szerokopasmowej sondy lambda możliwe jest wykonanie zarówno pomiaru napięciowego oraz prądowego. Sygnały napięciowe dotyczą funkcjonowania elementu pomiarowego sondy, natomiast sygnały prądowe mają na celu weryfikację sprawności elementu grzejnego i kontrolę sterowania prądu grzałki czujnika [6].

Charakterystyczną cechą sygnału z szerokopasmowej sondy lambda jest stały poziom napięcia odniesienia z ogniwa Nernsta, oznaczający prawidłowo funkcjonujący obwód regulacji składu mieszanki, działający w oparciu o ten sygnał. Sterownik silnika dąży do uzyskania na ogniwie stałego napięcia (0,45 V) poprzez sterowanie prądem pompy tlenu, pomimo zmieniającego się składu mieszanki, a co za tym idzie również zmieniającej się gęstości tlenu w spalinach [6].



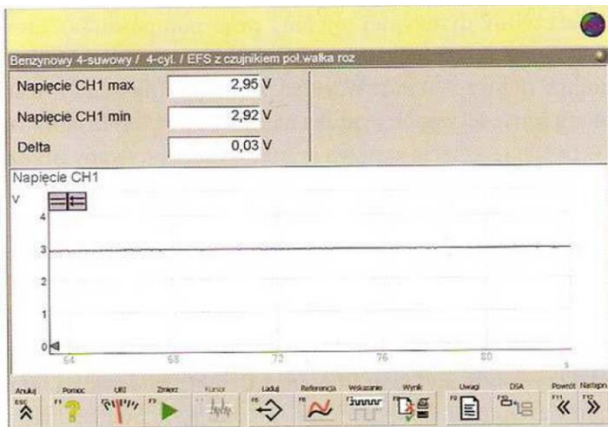
Rys. 13. Schemat połączeń do pomiaru sondy szerokopasmowej.

W celu dokonania pomiaru napięcia odniesienia ogniwa Nernsta, konieczne jest podłączenie sondy pomiarowej oscyloskopu do kanału CH1. Następnie żółtą końcówkę należy podłączyć do wyjścia sygnału z ogniwa Nernsta. Natomiast końcówkę niebieską do wewnętrznej masy sondy lambda. Sygnał wychodzący powinien utrzymywać się na wartości 0,45 V w stosunku do masy sondy. W stanach nieustalonych sygnał może oscylować wokół tej wartości. Przebieg napięcia odniesienia na sondzie szerokopasmowej obrazuje rysunek 14 [6].



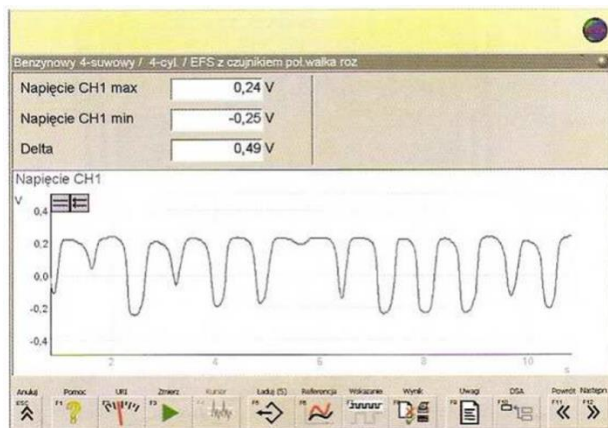
Rys. 14. Przebieg napięcia odniesienia na sondzie szerokopasmowej.

Aby zbadać napięcie odniesienia w stosunku do masy pojazdu, należy podłączyć żółtą końcówkę pomiarową do wyjścia sygnału z ogniwa Nernsta, natomiast niebieską do masy pojazdu. Otrzymany wynik pomiaru powinien oscylować w okolicach 2,95 V. Jest to spowodowane podniesieniem poziomu masy sondy o 2,5 V (rys. 15.). Wyniki odbiegające od tej wartości mogą być oznaką uszkodzenia sondy lub sterownika silnika [6].



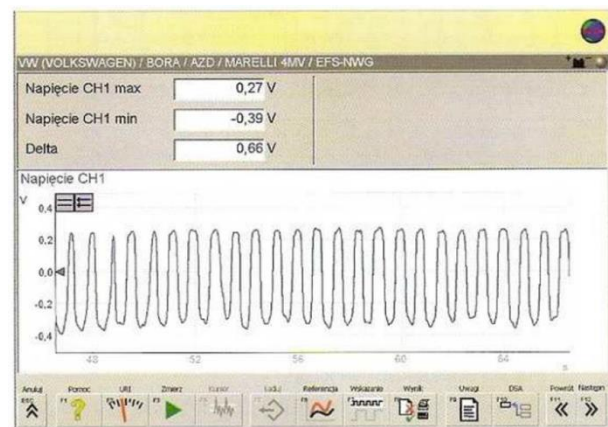
Rys. 15. Przebieg napięcia odniesienia na sondzie szerokopasmowej w stosunku do masy pojazdu

Pomiar spadku napięcia na rezystorze kodującym, odzwierciedlający prąd pompy tlenu jest jednym z istotniejszych testów. Dla prawidłowej oceny składu mieszanki paliwowo – powietrznej ważna jest polaryzacja sond pomiarowych w odniesieniu do mierzonego sygnału. W celu przeprowadzenia tego badania, należy przyłożyć żółtą sondę pomiarową do plusa sygnału pomiarowego (pin rezystora kodującego), a sondę pomiarową w kolorze niebieskim do minusa sygnału pomiarowego (pin rezystora kodującego). Rysunek 16 przedstawia poprawny sygnał napięciowy pompy tlenu na wolnych obrotach [6].



Rys. 16. Sygnał napięciowy pompy tlenowej dla biegu jałowego.

Prąd pompy tlenu ukazuje skład mieszanki paliwowo – powietrznej. Poprawny napięciowy sygnał pompy tlenu dla systemów wtrysku pośredniego oscyluje wokół wartości średniej, podobnie rzecz się ma w sondach dwustanowych. Prąd pompy tlenu dla składu stechiometrycznego ma wartość $I_p = 0$ mA, co jest zgodne z napięciem $U_p = 0$ V. Prąd pompy tlenu osiąga wartości dodatnie dla mieszanek ubogich, co w efekcie daje dodatnie mierzone napięcie sygnału. Podczas wzbogacania mieszanki sprawa ma się podobnie, prąd pompy uzyskuje wartości ujemne, więc i napięcie sygnału będzie ujemne. Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika wzrasta częstotliwość mierzonego sygnału z sondy lambda, co obrazuje rys. 17 [6].



Rys. 17. Sygnał napięciowy pompy tlenowej dla biegu jałowego.

W przypadku silników wykorzystujących system wtrysku bezpośredniego, można zaobserwować mieszanki ubogie na zmianę z krótkotrwałym wzbogacaniem mieszanki (faza wtrysku uwarstwionego) podczas procesu regeneracji reaktora katalitycznego. Natomiast zasada pomiaru oraz ocena składu mieszanki paliwowo – powietrznej za pomocą napięciowego sygnału reprezentującego prąd pompy tlenu nie zmienia się [6].

Podsumowanie

Sondy lambda stanowią istotny element nadzorujący pracę silników zarówno o zapłonie iskrowym, jak i samoczynnym. Właściwe sterowanie składem mieszanki paliwowo-powietrznej pozwala na zachowanie ekonomii pracy silnika przy małej emisji substancji szkodliwych. Wskazanie sondy ma również istotny wpływ na moc uzyskiwaną przez silnik pojazdu. Sondy pełnią również ważną funkcję nadzoru pracy reaktora katalitycznego, chroniąc przed jego uszkodzeniem. Niestety, ze względu na pracę w wysokiej temperaturze w otoczeniu gazów spalinowych, często dochodzi do uszkodzenia sondy lub zmiany jej charakterystyki wraz z rosnącym przebiegiem pojazdu. Dlatego też przy wykryciu symptomów, które mogą wskazywać na uszkodzenie sondy istotne jest sprawdzenie jej zarówno organoleptyczne jak i sygnałowe. Opisane w artykule metody pozwalają na zdiagnozowanie sond starszego typu (wąskopasmowe) i nowszego typu. Diagnostyka tych elementów jest szczególnie zasadna, jeśli weźmiemy pod uwagę stosunkowo wysoki koszt wymiany sondy.

Bibliografia:

1. Merkisz J., Mazurek S.: Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
2. Nita J., Stępniewski M.: „Analiza składu mieszanki paliwowo – powietrznej w pojedynczym cylindrze silnika” 2005.
3. Zajac P.: „Silniki pojazdów samochodowych. Podstawy budowy, diagnozowania i naprawy”, Wydawnictwa Komunikacja i Łączności, Warszawa 2015.
4. Kneba Z., Makowski S.: „Zasilanie i sterowanie silników”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004.
5. Heiko P.: „Układy bezpośredniego wtrysku benzyny w praktyce warsztatowej”, Wydawnictwa Komunikacja i Łączności, Warszawa 2016.
6. J. Gładyszek, M. Gładyszek „Poradnik diagnostyki samochodowej – Diagnostyka silnikowa Bosch FSA Serii 7XX”.

Operating problems of lambda sensors in internal combustion engines in modern engines

The article discusses the basic operational problems of oxygen sensors in internal combustion engines. A review of currently used solutions and the most common defects along with their causes was reviewed. The options for correct effects and causes of a given probe fault were also discussed. The rest of the article also describes methods for diagnosing narrowband and broadband probes. The diagnostic possibilities of the probes were determined using visual and computer assessment methods by assessing the signal generated by the oxygen sensor.

Keywords: lambda sensor, diagnosis, combustion engine.

Autorzy:

Prof. dr hab. inż. **Marek Idzior** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Zakład Silników Spalinowych, marek.idzior@put.poznan.pl

Mgr inż. **Mateusz Bor** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Zakład Silników Spalinowych, doktorant, mateusz.j.bor@doctorate.put.poznan.pl.