

ANALYSIS OF AIR-FUEL MIXTURE COMPOSITION IN ONE CYLINDER ENGINE

Józef Nita, Marek Stępniewski
Politechnika Radomska
Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn
ul. Chrobrego 45 26-600 Radom
tel.: +48 48 361-76-47 fax: +48 48 361-76-44
e-mail: m.stepniewski@pr.radom.pl

Abstract

Generally it is admitted that the working process of combustion engine is high stochastic. It means that the unrepeatable of the following working cycles and the high difficulties in operating this process, especially in providing of the following cycle of expected mixture.

In the last few years methods based on the use of occurred ions in the ignition and mixture combustion process in the engine were dynamically developed.

Assumed that the level of ionization should be defined by the electric properties of the discharge zone, and the definition should be described by the electric resistance of the inter electrode space, the going current between the electrodes as a result as their connection to the voltage.

The testing facility was built which feature was a high accuracy of setting the test conditions and high recording resolution ($0,02\mu\text{s}$) of main elements of the process as : ignition voltage, ignition current and air excess coefficient.

The special ignition plug was self-made, that was used except an ignition generation for current and ignition discharge voltage measuring for a chosen engine cylinder.

The research results show that there is a possibility for practical use of ignition plug as a individual it means independent sensor of mixture composition and engine loading level for each of cylinder.

ANALIZA SKŁADU MIESZANKI PALIWOWO-POWIETRZNEJ W POJEDYNCZYM CYLINDRZE SILNIKA

Streszczenie

Powszechnie uznaje się za wysoce stochastyczny charakter procesu roboczego w silniku spalinowym. Oznacza to niepowtarzalność kolejnych cykli roboczych i duże trudności w sterowaniu tego procesu, a zwłaszcza w zapewnieniu w każdym cyklu oczekiwanego składu mieszanki.

W ostatnich latach dynamicznie rozwijane są metody bazujące na wykorzystaniu powstających jonów w procesie zapłonu i spalania mieszanki w silniku.

Założono, że stopień jonizacji powinien być odzwierciedlony przez właściwości elektryczne strefy wyładowania, a miarą tego odzwierciedlenia powinny być m.in. oporność elektryczna przestrzeni międzyelektrodowej, prąd płynący między elektrodami w wyniku podłączenia do nich napięcia i inne wielkości pochodne.

Zbudowano stanowisko badawcze, którego cechą znaną była wysoka dokładność zadawania warunków próby i wysoka rozdzielczość rejestracji ($0,02\mu\text{s}$) głównych wielkości procesu tj.: napięcia zapłonu, prądu zapłonu oraz współczynnika nadmiaru powietrza.

Wykonano we własnym zakresie specjalną świecę, która oprócz funkcji generowania iskry zapłonowej, służyła do pomiaru (rejestracji) prądu i napięcia wyładowania zapłonowego dla wybranego cylindra silnika.

Wyniki badań wskazują na możliwość praktycznego wykorzystania świecy zapłonowej jako indywidualnego, tzn. niezależnego dla każdego z cylindrów, czujnika składu mieszanki i stopnia obciążenia silnika.

1. Wstęp

Prognozy dotyczące dalszej ewolucji napędu samochodów osobowych nie są jednoznaczne. Trudno w oparciu o dzisiejszy stan wiedzy przewidywać, który z aktualnie stosowanych i rozwijanych napędów zdominuje ten obszar. Trudność w prognozowaniu jest wynikiem w tym przypadku oddziaływania szerokiego spektrum czynników. Z pewnością o napędzie

przyszłości zadecydują nie tylko aspekty techniczne mierzone stopniem zaawansowania technicznego. Wpłyną na to również uwarunkowania surowcowe, ekologiczne, geopolityczne (dostępność źródeł surowców i polityka cenowa).

Mimo zapowiadanego zmierzchu silnika benzynowego jest on wciąż niekwestionowanym liderem w zastosowaniach w obszarze samochodów osobowych. Jest wciąż doskonalony w wyniku czego w wielu wskaźnikach przewyższa inne rodzaje napędów.

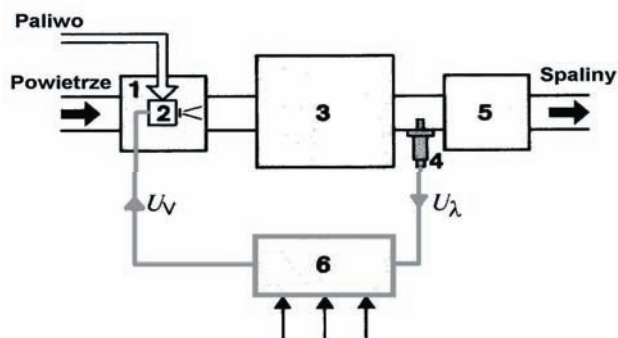
Jednym ze szczególnie aktywnych obszarów rozwoju silnika benzynowego jest doskonalenie procesu roboczego – w celu obniżenia toksyczności spalin z równoczesną poprawą stopnia wykorzystania energii zawartej w paliwie. Spektakularnym przykładem w tym względzie jest opracowanie i wdrożenie w ostatnim czasie do produkcji silników o wtrysku bezpośrednim benzyny, umożliwiającym konstytuowanie mieszanki paliwowo-powietrznej w sposób dokładniejszy (relacje masowe paliwa i powietrza w indywidualnym cylindrze) i o wyższym stopniu jej jednorodności (homogenizacji).

Zaistnienie tego silnika na rynku stwarza nowe możliwości doskonalenia mieszanki poprzez dokładniejszy dobór ilości wtryskiwanego do danego cylindra paliwa w oparciu o ilość powietrza napełniającego dany cylinder. Wzajemna relacja udziałów masowych powietrza i paliwa w mieszance oraz stopień homogenizacji decydują o przebiegu spalania i jego skutkach. W ostatnich latach priorytetowe znaczenie wśród tych skutków posiada toksyczność spalin. W dbałości o stan środowiska celem nadrzędnym rozwoju silników jest jej minimalizacja.

Najszerzej rozpowszechnionym sposobem ograniczenia toksyczności spalin jest stosowanie reaktorów katalitycznych, nazywanych potocznie katalizatorami. Aby ich potencjalna zdolność do obniżenia zawartości toksycznych składników w spalinach była w pełni wykorzystana spalanie mieszanki powinno być pełne, co może nastąpić, jeżeli jej skład jest stechiometryczny. Każda odchyłka od tego składu skutkuje pogorszeniem efektywności katalizatora. Nastręcza to poważne trudności realizacyjne. Powoduje to poważne trudności wykonawcze systemów sterowania układem paliwowo-powietrzny.

Stosowany powszechnie tzw. układ zamknięty sterowania z czujnikiem zawartości tlenu w spalinach w pętli sprzężenia zwrotnego (rys.1), nie zapewnia w każdych warunkach składu stechiometrycznego w poszczególnych cylindrach, głównie z dwóch powodów:

1. istotnie wyższej szybkości procesu roboczego w silniku w odniesieniu do szybkości procesu sterującego z udziałem sondy lambda,
2. stosowania w silniku wielocylindrowym pojedynczej sondy lambda umiejscowionej w zbiorczej gałęzi kolektora wydechowego, co powoduje, że system sterowania wykorzystuje sygnał sondy λ uśrednionej ze wszystkich cylindrów, co może mieć również miejsce dla istotnie różnych wartości współczynnika lambda z poszczególnych cylindrów.



Rys. 1. Układ pracy sondy lambda [wg Bosch R. GmbH; Automotive Electric/Electronic Systems]: 1 – kolektor dolotowy, 2 – wtryskiwacz, 3 – silnik, 4 – sonda lambda, 5 – katalizator, 6 – komputer pokładowy, U_λ – sygnał z sondy lambda, U_V – sygnał sterujący wtryskiwaczem

Fig. 1. Lambda probe working system

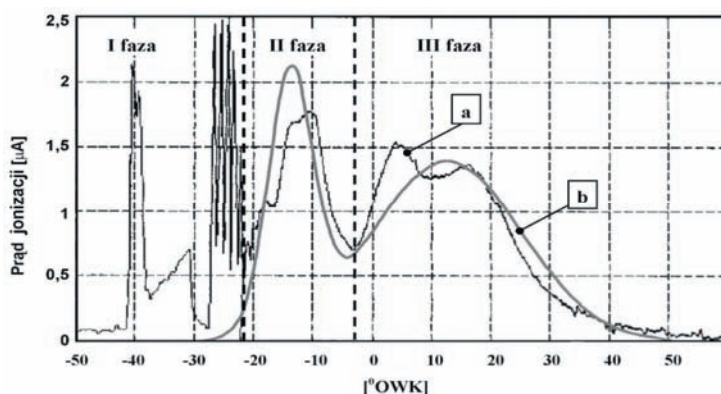
Stosowany w tym sterowaniu czujnik powinien charakteryzować się wysoką szybkością działania. Uwzględniając występujące w pętli sterowania opóźnienie wprowadzane przez system przetwarzania i wykonywania decyzji, opóźnienie czujnika powinno być mniejsze od czasu trwania najkrótszego z możliwych cykli roboczych. Niestety, w rzeczywistości jest odwrotnie: czasy reakcji czujnika są kilkakrotnie dłuższe od czasu trwania najkrótszego cyklu roboczego. Wynikiem opisanych wad jest ciągła fluktuacja składu mieszanki jako skutek istotnego odstępstwa lambdy w poszczególnych cylindrach od lambdy średniej z wszystkich cylindrów. Prowadzi to do istotnego wzrostu: toksyczności spalin, zużycia paliwa, nierównomierności biegu oraz obniżenia mocy maksymalnej silnika.

2. Świeca jako czujnik pomiarowy

W ostatnich latach dynamicznie rozwijane są metody bazujące na wykorzystaniu powstających jonów w procesie zapłonu i spalania mieszanki w silniku.

Spalaniu paliwa w cylindrze silnika towarzyszy wytwarzanie jonów. Detekcja powstałych jonów i wykorzystanie wynikowego prądu jonowego została zastosowana w systemach oprzyrządowania silnika SABB w roku 1998 [6]. Poszczególne fazy przebiegu prądu jonizacji (rys.2) mogą dostarczyć informacji dla sterowania silnikiem spalinowym. Faza jonizacji decyduje

o wartości napięcia zapłonu potrzebnej do zainicjowania drugiej fazy wyładowania zapłonowego. Dlatego też faza wstępna – jonizacji strefy wyładowania zapłonowego – może być źródłem informacji z wykorzystaniem do sterowania układem zapłonowym i wtryskowym.



Rys. 2. Przebieg prądu jonizacji [wg Erikson L. SAE Paper No. 960045]:

a – zarejestrowany

b – opis matematyczny, I faza – zapłonu, II faza – czoła płomienia, III faza – po spalaniu

Fig. 2. The run of ionization current [according to Erikson L. SAE Paper No. 960045]

a- recorded

b- mathematical description

Dokładne poznanie fazy jonizacji wyładowania zapłonowego oraz wykorzystanie świecy zapłonowej do pomiarów, może dostarczyć nowego, tańszego urządzenia do diagnozowania spalania w cylindrze silnika, zastąpić badania stanowiskowe procesu spalania i umożliwić niskim nakładem kosztów badania trakcyjne w obszarze spalania mieszanki w poszczególnych cylindrach silnika, udoskonalić konstrukcję i sterowanie układu zapłonowego silnika. Szczególnie jest to ważne przy obecnym trendzie do spalania ubogich mieszanek.

Pomimo dużej wiedzy w tym temacie, występują jeszcze problemy związane z realizacją takich czujników oraz ich trwałością. Ponadto jednoznaczna interpretacja tego zjawiska budzi wiele wątpliwości i pytań.

Dla realizacji badań założono (na podstawie analizy teoretycznej wyładowania zapłonowego w układach powietrznych), że stopień jonizacji powinien być odzwierciedlony przez właściwości elektryczne strefy wyładowania, a miarą tego odzwierciedlenia powinny być m.in. oporność elektryczna przestrzeni międzyelektrodowej, prąd płynący między elektrodami w wyniku podłączenia do nich napięcia i inne wielkości pochodne. Przy tym, ocena wybranych właściwości przestrzeni międzyelektrodowej metodą elektryczną (w oparciu o pomiar parametrów elektrycznych strefy), powinna być mniej skomplikowana w porównaniu z metodą opartą na analizie prądu jonowego.

Szczególnie interesującą, o dużym znaczeniu praktycznym cechą przestrzeni międzyelektrodowej, jest skład mieszanki paliwowo-powietrznej zgromadzonej w cylindrze. Analiza tego składu na poziomie pojedynczego cyklu stworzyłoby zupełnie nową w stosunku do systemów z sondą lambda jakość w sterowaniu układem paliwowo-powietrzny w silniku benzynowym.

W odróżnieniu od techniki jonowej, w której intensywność powstawania jonów zależy od fazy procesu roboczego i jest największa w pierwszym okresie spalania, pomiar parametrów elektrycznych powinien umożliwiać wartościowanie składu mieszanki przed jej zapłonem. Miałyby to istotne znaczenie dla jakości sterowania (wysterowywania zmian składu mieszanki w następnym cyklu), ponieważ system sterowania miałby więcej czasu na przetworzenie danych oraz wygenerowanie i wykonanie decyzji.

Interpretacja wyładowania elektrycznego w powietrzu wykazuje istnienie związku przyczynowo-skutkowego procesu jonizacji w dielektryku i pola elektrycznego, które powoduje tę jonizację. Uzasadniona jest więc analogia procesów tzw. przebicia napięciowego w powietrznych systemach energetycznych i zapłonu elektrycznego mieszanki paliwowo-powietrznej w silniku spalinowym. Różnica w tych procesach może wynikać jedynie z fizyko-chemicznych właściwości ośrodka, tj. powietrza i mieszanki paliwowo-powietrznej.

3. Przygotowanie badań stanowiskowych

Zgodnie z przyjętymi założeniami do badań, przebieg wyładowania zapłonowego powinien wiązać się z właściwościami ośrodka, w którym ono przebiega. Problem tkwi w wieloparametryczności tego ośrodka i trudności w doborze najbardziej miarodajnych wskaźników (miar) charakteryzujących dynamikę zjawisk.

3.1. Charakterystyka ośrodka wyładowania zapłonowego

Ośrodek wyładowania (mieszanka paliwowo-powietrzna) charakteryzowany jest za pomocą następujących parametrów:

- ciśnienie mieszanki w cylindrze,
- współczynnik nadmiaru powietrza (λ) jako stosunek masowych udziałów powietrza i paliwa w mieszance odniesiony do tzw. składu stechiometrycznego,
- wilgotność zasysanego przez silnik powietrza,
- stopień zanieczyszczenia mieszanki spalinami, pozostałymi z poprzedniego cyklu,
- stopień homogenizacji mieszanki paliwowo – powietrznej,
- temperatura mieszanki paliwowo-powietrznej.

Przez pryzmat celów tej pracy oraz w związku z trudnościami w mierzaniu niektórych wielkości, jako charakterystyczne parametry ośrodka w podjętych badaniach przyjęto:

- ciśnienie p_z w chwili zapłonu w wybranym trzecim cylindrze silnika, które można odwzorować jako funkcję obciążenia silnika (badania własne),
- współczynnik nadmiaru powietrza λ – mierzony na wylocie z trzeciego cylindra.

3.2. Wskaźniki wyładowania zapłonowego

Jako wskaźniki przebiegu wyładowania zapłonowego przyjęto:

- napięcie przebicia przestrzeni międzyelektrodowej - U_P ,
- energię przebicia przestrzeni międzyelektrodowej - E_Z ,
- szybkość narastania napięcia zapłonu dU_{II} ,
- czas trwania fazy inicjowania zapłonu T_{II} .

Za napięcie przebicia U_P przestrzeni międzyelektrodowej przyjęto najwyższą wartość chwilową napięcia $u_Z(t)$ na świecy zapłonowej jaka wystąpi w trakcie zainicjowania wyładowania zapłonowego, tj. gwałtownego wzrostu prądu wyładowania $i_Z(t)$ oraz spadku napięcia zapłonu $u_Z(t)$.

Energia przebicia przestrzeni międzyelektrodowej nazwana w skrócie energią zapłonu E_Z jest energią, wydzieloną w przestrzeni międzyelektrodowej zgodnie z zależnością (1):

$$E_Z = \int_{t_{JW}}^{t_Z} u_Z \cdot i_Z dt, \quad (1)$$

gdzie: t_{JW} – czas rozpoczęcia jonizacji wstępnej przestrzeni międzyelektrodowej

t_Z – czas przebicia przestrzeni międzyelektrodowej

Za czas rozpoczęcia jonizacji wstępnej t_{JW} przyjęto czas, od którego wielkości u_Z i i_Z przyjmują wartości większe od zera.

Za czas przebicia przestrzeni międzyelektrodowej t_Z przyjęto czas, w którym napięcie zapłonu u_Z osiąga wartość napięcia przebicia U_P .

Szybkość narastania napięcia zapłonu dU_{II} oznacza średnią szybkość przyrostu tego napięcia

w fazie inicjowania zapłonu I_Z zgodnie z zależnością (2):

$$dU_{II} = \frac{U_P - U_{I/II}}{t_Z - t_{I/II}}. \quad (2)$$

Czas trwania fazy I_Z inicjowania zapłonu T_{II} dany jest zależnością (3):

$$T_{II} = t_Z - t_{I/II}. \quad (3)$$

3.3. Przyjęta strategia badawcza

Przyjęto następującą strategię badawczą:

zasilając silnik powietrzem i paliwem w sposób zapewniający mieszankę o wymaganym (zakładanym) współczynniku nadmiaru powietrza, tak dozować ilość powietrza, aby wyładowanie zapłonowe zachodziło przy oczekiwanej wartości ciśnienia w cylindrze i wybranej, stałej dla wszystkich badań prędkości obrotowej silnika i stałym (na poziomie wartości ustawionej fabrycznie) kącie wyprzedzenia zapłonu.

3.4. Obiekt badawczy

Badania wykonano na fabrycznie skompletowanym, czterosuwowym silniku samochodu POLONEZ typ MPFI - 1.6, wyposażonym we wtryskowo-zapłonowy system GM - MULTEC z wielopunktowym wtryskiem benzyny. Dla potrzeb realizacji założeń badawczych dokonano kilku zmian w układzie silnika. Zmiany te objęły:

- zasilanie powietrzem; zastosowano magistralę dostarczającą powietrze spoza laboratorium w celu zapewnienia stabilnej jego wilgotności i temperatury; modyfikacja ta nie spowodowała pogorszenia napełniania silnika,
- sposób sterowania otwarciem przepustnicy; zastosowano jej nastawianie za pośrednictwem silnika krokowego sterowanego cyfrowo z dużą rozdzielczością i stabilnością ustawiania,
- sposób sterowania paliwem; zastosowano opracowane we własnym zakresie sterowanie czasem wtrysku, równocześnie odłączając system fabryczny MULTEC,
- sposób sterowania kątem zapłonu; zastosowano wykonany we własnym zakresie zadajnik kąta wyprzedzenia zapłonu na bazie wysokorozdzielczego nadajnika położenia wału korbowego i fabrycznego systemu generowania wysokiego napięcia,
- świecę zapłonową w badanym cylindrze: w miejsce świecy fabrycznej zastosowano wykonaną we własnym zakresie świecę zapłonowo-pomiarową, umożliwiającą rejestrację prądu zapłonu i ciśnienia w cylindrze.

3.5. System rejestracji przebiegów szybkozmiennych

System szybkiej rejestracji prądu i napięcia zapłonu oraz ciśnienia w cylindrze i współczynnika nadmiaru powietrza oparty jest na oscyloskopie cyfrowym LT 264 firmy LeCroy. Oscyloskop posiada pamięć wewnętrzną 1MB na każdy kanał oraz pasmo przenoszenia 500MHz, daje to możliwość rejestracji odcinka 200ms z częstotliwością próbkowania 50MHz (0,02μs).

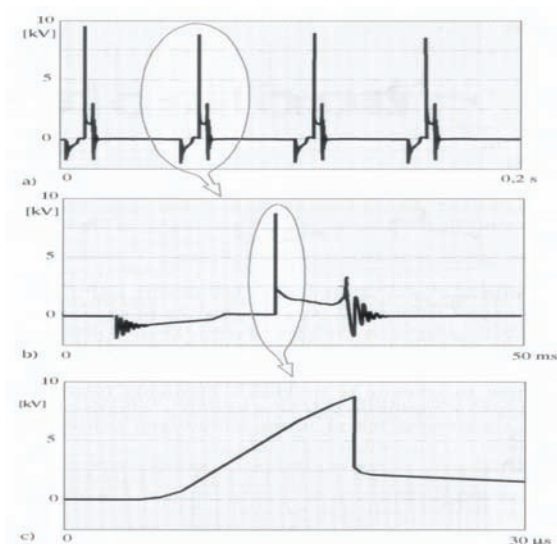
Krótkiego wyjaśnienia wymaga sprawa częstotliwości próbkowania i pojemności pamięci zastosowanego oscyloskopu cyfrowego LeCroy LT 264. Przedstawiony na rys. 3 sygnał zapłonowy trwa dla jednego cyklu pracy silnika na biegu jałowym ok. 0,2 s. Sygnał ten jest złożony z impulsów odpowiadających pracy poszczególnych cylindrów.

Problem polega jednak na tym, że taka duża gęstość próbkowania występuje tylko dla dużych prędkości podstawy czasu. Przy wydłużeniu podstawy czasu częstotliwość próbkowania jest automatycznie zmniejszana. Wynika to z ograniczonej pojemności pamięci. Jeżeli np. pojemność pamięci wynosi 4 k, to z częstotliwością 20 MHz można zapisać jedynie odcinek czasu równy 0,2 ms. Jeżeli zachodzi potrzeba rejestracji przebiegu w okresie 0,2 s (co odpowiada jednemu cyklowi pracy na biegu jałowym) - częstotliwość próbkowania zmniejszy się do 20 kHz, a to już jest bardzo mało.

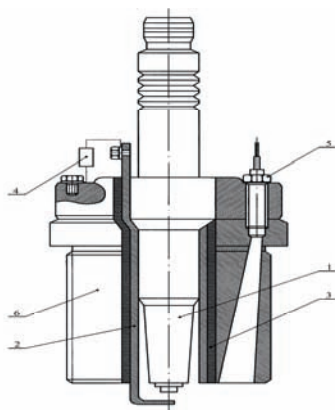
Zbyt mała częstotliwość próbkowania w stosunku do szybkości zmian badanego sygnału powoduje znaczne odkształcenie przebiegu odwzorowanego na ekranie (rys. 3). Przebieg z rys. 3a jest próbkowany częstotliwością 1 MHz i jest to odwzorowanie wystarczająco wierne. Przy częstotliwości trzy razy mniejszej, czyli 0,33 MHz (rys. 3b), występuje już dosyć duże zniekształcenie, a błąd określenia amplitudy wynosi od 20 do 40% (zależnie od rozkładu próbek). Natomiast dla częstotliwości 0,1 MHz (rys. 3c), przy niekorzystnym rozkładzie próbek impuls może być całkiem zgubiony i trudno już ocenić pierwotny kształt przebiegu. Problem ten nie wystąpił z racji parametrów zastosowanego oscyloskopu LeCroy 264.

3.6. Świeca zapłonowo – pomiarowa

Zaprojektowana i wykonana we własnym zakresie na potrzeby tej pracy świeca zapłonowa (rys.4) posiada odizolowaną od korpusu elektrodę boczną (2) w celu podłączenia rezystora pomiarowego (4) do rejestracji przebiegu prądu wyładowania zapłonowego. Ponieważ w świecy dodatkowo umieszczono czujnik ciśnienia (5) firmy Kistler typ 6617A, wymusiło to zwiększenie średnicy świecy do 18mm, a co za tym idzie, również jej sposobu mocowania w głowicy silnika.



Rys. 3. Badany zakres przebiegu napięcia zapłonu
 Fig. 3. The testing range of ignition voltage run



Rys. 4. Rysunek poglądowy wykonanej we własnym zakresie świecy zapłonowo-pomiarowej
 Fig. 4. Pictorial drawing of self-made measurement-ignition plug

4. Wyniki badań

Dla zadanych zgodnie z programem badań parametrów mieszanki (p^* , λ^*) zarejestrowano wielkości źródłowe, tj.:

- napięcie zapłonu $u_z(t)$,
- prąd zapłonu $i_z(t)$,
- ciśnienie w cylindrze p ,
- współczynnik nadmiaru powietrza $\lambda(t)$

z równoczesnym odczytem wielkości charakteryzujących pracę silnika.

Wielkości źródłowe rejestrowane z częstotliwością 50 MHz, zapisywano na dyskietce w stacji superszybkiego rejestratora oscyloskopowego, w którą jest on wyposażony. Na jednej dyskietce

o pojemności 1,45MB zamieszczony jest cały jeden cykl badawczy dla wybranej jednej wilgotności w_p powietrza zasysanego. W trakcie procesu archiwizacji rejestrowanych wyników uzupełniano dane o dotyczące parametrów mieszanki i warunków (parametrów) próby.

Wszystkie rejestracje źródłowe w postaci współbieżnie przedstawionych przebiegów $u_z(t)$, $i_z(t)$, p , $\lambda(t)$. Wykonano 216 rejestracji dla stałej prędkości obrotowej silnika $n=2500$ [obr/min], zadawanych ciśnień zapłonu p_z oraz współczynnika nadmiaru powietrza λ .

Rejestracje te stanowią bogate źródło wiedzy o procesie wyładowania i mogą być wykorzystywane w innych celach poznawczych.

Wszystkie rejestracje rozpoczynają się w chwili wyłączenia klucza tranzystorowego odłączającego przepływ prądu przez uzwojenie pierwotne cewki zapłonowej. Rejestracja kończy się wraz z zanikiem prądu wyładowania zapłonowego.

5. Wyznaczenie wskaźników wyładowania zapłonowego na podstawie przebiegów źródłowych

W oparciu o rejestracje źródłowe oraz zawarte w pkt. 3.2. definicje wskaźników wyładowania zapłonowego, opracowano we własnym zakresie oprogramowanie do ich wyznaczania za pomocą komputera typ PC. Wyniki tych obliczeń zestawiono w tabelach. Każdy ze wskaźników wyładowania obliczony jest jako średnia z trzech prób (rejestracji) a, b, c zgodnie z zależnością (4):

$$W_i = (W_{ia} + W_{ib} + W_{ic})/3, \quad (4)$$

gdzie:

$W_i \Rightarrow U_P, E_Z, dU_{II}, T_{II},$

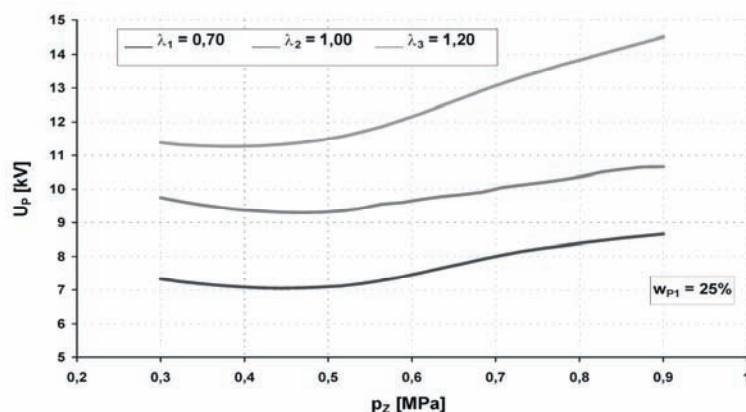
W_{ia}, W_{ib}, W_{ic} – kolejne wartości obliczone wskaźnika.

Dane liczbowe stanowiące punkt wyjścia do opisu zależności wskaźników wyładowania zapłonowego ($U_P, E_Z, dU_{II}, T_{II}$) od współczynnika nadmiaru powietrza λ oraz wartości ciśnienia zapłonu p_Z wyznaczono w 24 punktach (ciśnienie zapłonu p_Z - 0,30; 0,50; 0,75; 0,90 [MPa]

x współczynnik nadmiaru powietrza λ - 0,70; 0,80; 0,90; 1,0; 1,10; 1,20) na podstawie rejestracji źródłowych wykonanych na hamowni silnikowej i zestawiono w tabelach dla trzech wilgotności powietrza zasysanego przez silnik.

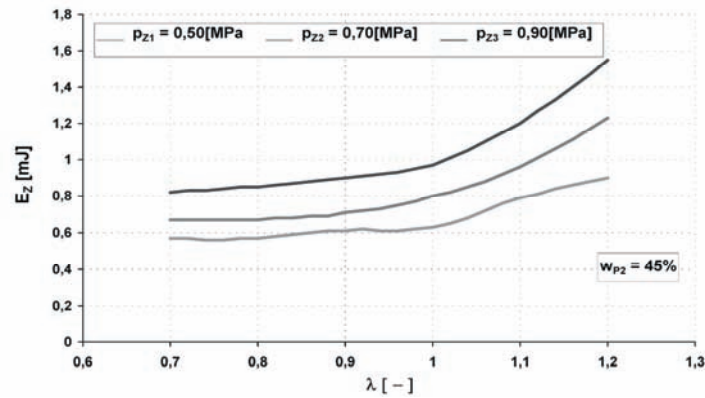
Tak przygotowane dane poddano interpolacji za pomocą dwuwymiarowych funkcji sklepanych Hermite'a 3-go stopnia. W wyniku przeprowadzonej interpolacji uzyskano wartości funkcji pokrywające się w „węzłach pomiarowych” oraz dodatkowe wartości funkcji pomiędzy punktami pomiarowymi. Zbiór wynikowy otrzymuje się także w formie macierzowej o wymiarze 26x26.

Na podstawie tak otrzymanych wyników wykreślono wykresy płaskie i powierzchniowe. Na kolejnych rysunkach pokazano przykładowe wykresy.



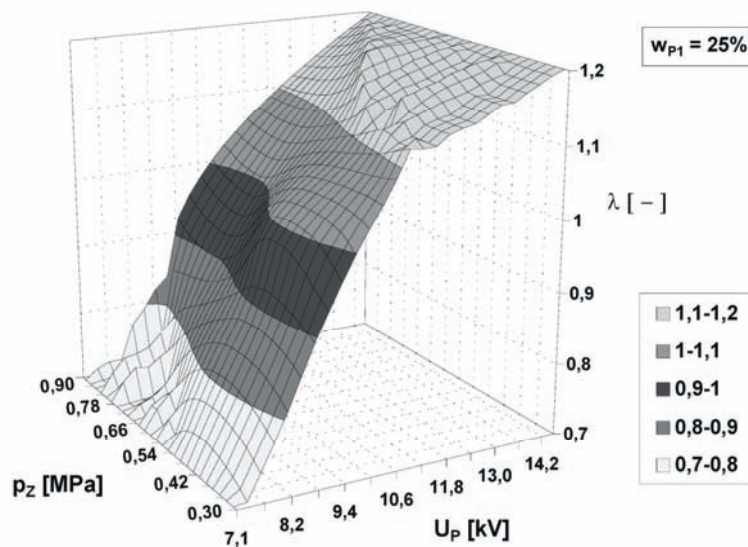
Rys. 5. Wpływ ciśnienia zapłonu mieszanki na napięcie przebicia przerwy międzyelektrodowej dla wybranych składów mieszanki i stałej wilgotności powietrza

Fig. 5. Influence of mixture ignition pressure on the inter electrode gap breakdown voltage for chosen mixture composition and constant air humidity



Rys. 6. Wpływ współczynnika nadmiaru powietrza mieszanki na energię zapłonu dla wybranych ciśnień zapłonu i stałej wilgotności powietrza

Fig. 6. Influence of mixture air excess coefficient on the ignition energy for chosen ignition pressures and constant air humidity



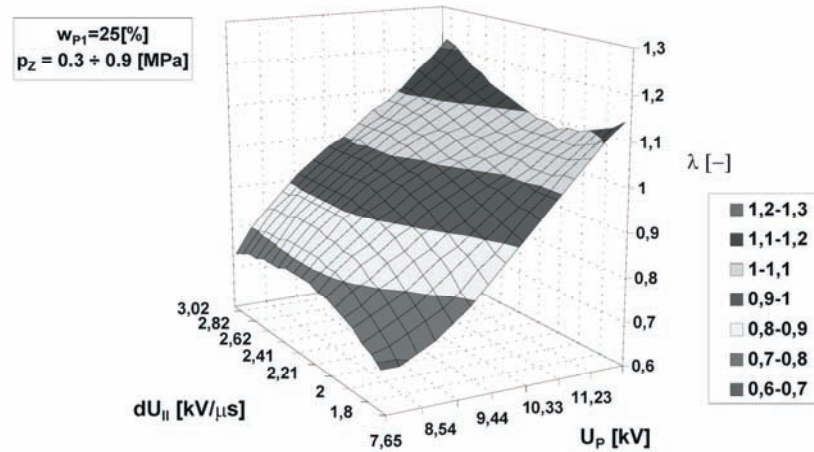
Rys. 7. Graficzna ekspozycja możliwości wyznaczenia współczynnika nadmiaru powietrza λ mieszanki z wykorzystaniem ciśnienia p_z w chwili jej zapłonu i odpowiadającego mu napięcia przebicia U_p przestrzeni międzyelektrodowej świecy zapłonowej dla zadanej wilgotności w_{p1} powietrza zasilającego silnik

Fig. 7. Drawing of a possibility of mixture air excess coefficient determination with the use of p_z pressure in the moment of ignition and the inter electrode space breakdown voltage for assumed air humidity w_{p1}

5 Wnioski

1. W zakresie zadawanych i mierzonych ciśnień mieszanki (0,3÷0,9MPa) w chwili przeskoku iskry zapłonowej (ciśnienie zapłonu mieszanki) charakter zależności napięcia, przy której następuje przeskoc iskry (napięcie przebicia) i ciśnienia mieszanki otaczającej strefę tego wyładowania jest bardzo podobny do charakteru tego związku dla przebicia w powietrzu atmosferycznym.
2. Stwierdzono istnienie jednoznacznego związku napięcia przebicia mieszanki z jej składem, którego miarą jest współczynnik nadmiaru powietrza. Wpływ składu mieszanki na napięcie przebicia jest w dużym przybliżeniu wprost proporcjonalny: im wyższy współczynnik nadmiaru powietrza mieszanki tym wartość napięcia jej przebicia jest wyższa.
3. Wykazano istnienie związku o dużym praktycznym znaczeniu między składem mieszanki (współczynnikiem nadmiaru powietrza) a napięciem przebicia tej mieszanki. Potwierdzono dobrą korelację tych wielkości i niewielki wpływ wilgotności powietrza zasysanego z

mieszkanką oraz ciśnienia tej mieszanki w chwili przeskoku iskry na charakter tego związku. Prosty (jednowymiarowy) związek łatwy będzie do praktycznej jego realizacji. Praktyczna realizacja przestrzennego związku składu mieszanki z napięciem przebicia i szybkością jego narastania jest możliwa przy wykorzystaniu techniki mikroprocesorowej. Obydwa wskaźniki są proste w pomiarze i nie wymagają modyfikacji świecy zapłonowej.



Rys. 8. Graficzna ekspozycja możliwości wyznaczenia współczynnika nadmiaru powietrza λ mieszanki z wykorzystaniem napięcia przebicia U_P przestrzeni międzyelektrodowej świecy zapłonowej i szybkości jego narastania dU_{II} dla zadanej wilgotności w_{P1} powietrza zasilającego silnik

Fig. 8. Drawing of a possibility of mixture air excess coefficient determination with the use of the inter electrode space breakdown voltage U_P of the ignition plug and the speed of it's escalation for assumed air humidity w_{P1}

6. Literatura

- [1] Stępniewski M., Analiza wpływu wybranych parametrów mieszanki paliwowo-powietrzanej na przebieg wyładowania zapłonowego w silniku. Rozprawa doktorska. Wydz. Mechaniczny Politechniki Radomskiej, 2004.
- [2] Bosch R. Gmbh, Automotive Electric/Electronic Systems.
- [3] Cichy M., Kropiwnicki J., Makowski S., Aproksymacja Wielowymiarowych Charakterystyk Silnikowych, 4 Sympozium Ekodiesel 98, Instytut Lotnictwa Warszawa 22-24 kwiecień 1998
- [4] Cichy M., Wojciechowski S., Interpolacja Charakterystyk Silnikowych za Pomocą Wielomianów, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Nr 189, Mechanika XVI, 1972
- [5] Demidowicz R., Zapłon. WKiŁ, Warszawa 1993.
- [6] Eriksson L., Nielsen L., Glavenius M., Closed loop ignition control by ionization current interpretation. SAE paper No. 970854, 1997.
- [7] Eriksson L., Nielsen L., Nytomt J., Ignition control by ionization current interpretation. SAE paper No. 960045, 1996.
- [8] Flisowski Z., Technika wysokich napięć. WNT, Warszawa 1992.
- [9] Konopiński M., Elektronika w technice motoryzacyjnej. WKiŁ, Warszawa 1987.
- [10] Lidmanowski W., Zarys teorii wyładowań w dielektrykach. WNT, Warszawa 1988.
- [11] Maćkowski J., Wilk K., Modelowanie procesu spalania w silniku o zapłonie iskrowym. Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice 1992.
- [12] Nielsen L., Eriksson L., An ion-sense engine-fine-tuner. IEEE control systems, Vol. 18(5), 1998.
- [13] Zhao H., Ladommatos N., Engine performance monitoring using spark plug voltage analysis. Proc. Instn Mech. Engrs, Vol.211, Part D, 1997.