

Marcin Sosnowski

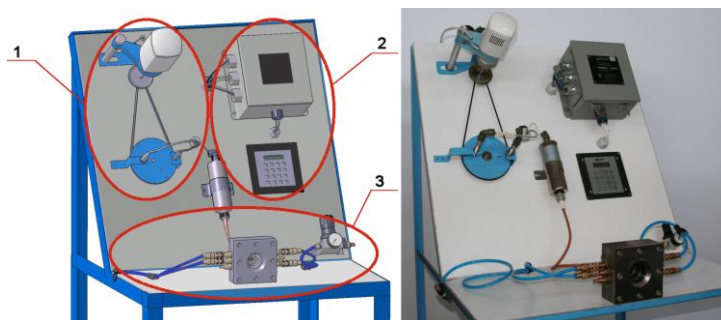
Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie

REJESTRACJA OPTYCZNA WYŁADOWANIA ISKROWEGO PRZY RÓŻNYCH PARAMETRACH PRZEPŁYWOWYCH MEDIUM GAZOWEGO POMIĘDZY ELEKTRODAMI ŚWIECY ZAPŁONOWEJ

Wstęp

Inicjacja zapłonu i ewolucja wczesnego etapu spalania mieszanki homogenicznej w silnikach z zapłonem iskrowym wywiera bardzo istotny wpływ na cały proces spalania, a w konsekwencji na stabilność pracy silnika i zawartość związków toksycznych w produktach spalania. Dlatego też badania ww. zjawisk fizycznych mają bardzo istotne znaczenie aplikacyjne zwłaszcza dla przemysłu motoryzacyjnego.

Stanowisko do optycznej rejestracji wyładowania iskrowego



Rys. 1. Projekt oraz fotografia stanowiska badawczego: 1 - system generowania sygnałów wejściowych układu zapłonowego, 2 – mikroprocesorowy układ zapłonowy Altornic CPU-95, 3 - instalacja pneumatyczna wraz z komorą

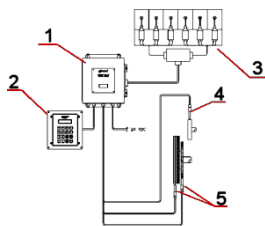
Stanowisko badawcze, którego projekt oraz fotografię przedstawia rysunek 1, składa się z trzech zasadniczych elementów omówionych w odrębnych punktach. Są nimi:

- mikroprocesorowy układ zapłonowy Altronic CPU-95 [1] (punkt 2.1),
- system generowania sygnałów wejściowych układu zapłonowego (punkt 2.2),
- instalacja pneumatyczna z komorą ciśnieniową (punkt 2.3).

Mikroprocesorowy układ zapłonowy Altronic CPU-95

Do budowy stanowiska eksperymentalnego wykorzystany został mikroprocesorowy układ zapłonowy Altronic CPU-95 z gromadzeniem energii w pojemności zasilany prądem stałym o napięciu 24 V. Układ ten został zaprojektowany do zastosowania w przemysłowych silnikach zasilanych paliwem gazowym. Jest to układ programowalny, dający możliwość zmiany kąta wyprzedzenia zapłonu poszczególnych cylindrów, wartości energii wyładowania iskrowego (75 mJ, 100 mJ, 125 mJ), wyboru typu zapłonu w formie pojedynczego lub podwójnego wyładowania i innych. Układ pozwala również na diagnostykę w czasie rzeczywistym obwodu wtórnego i pierwotnego.

Układ Altronic CPU-95, którego schemat połączeń przedstawiono na rysunku 2, składa się z modułu zapłonowego, dwóch czujników magneto-indukcyjnych wraz z okablowaniem, cewki zapłonowej do każdej świecy zapłonowej i modułu komunikacyjnego posiadającego alfanumeryczny, ciekłokrystaliczny wyświetlacz, wyświetlający 32 znaki w dwóch liniach.



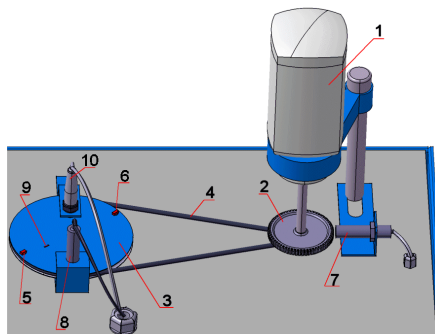
Rys. 2. Schemat połączeń elementów układu zapłonowego Altronic CPU-95: 1 - moduł zapłonowy, 2 - moduł komunikacyjny, 3 - cewki zapłonowe, 4 - czujnik Halla, 5 - czujniki magneto-indukcyjne

Altronic CPU-95 wymaga dokładnego określenia położenia wału korbowego poprzez zastosowanie nacięć bądź otworów na całym obwodzie koła zamachowego w równych odległościach, przy czym liczba owych nacięć jest zapisana w pamięci układu. Zazwyczaj do tego celu wykorzystuje się zęby wieńca zębatego znajdującego się na kole zamachowym przeznaczonym do współpracy

z rozrusznikiem. Do pomiaru położenia wału korbowego oraz wyznaczania zewnętrznego zwrotnego położenia (ZZP) służą czujniki magneto-indukcyjne. W trakcie pracy układu czujniki te wykorzystywane są do zliczania nacięć na kole zamachowym silnika. Dodatkowo na kole tym montuje się element resetujący 6°OWK przed ZZP pierwszego cylindra. Pozwala to na dokładne określenie chwili początku wyładowania iskrowego w każdym cylindrze, bez względu na wahania prędkości obrotowej silnika. W przypadku silników czterosuwowych, w celu określenia położenia wału korbowego odpowiadającego suwowi sprężania, dodatkowo wykorzystuje się czujnik Halla współpracujący ze znacznikiem montowanym na wałku rozrządu w sposób zapewniający synchronizację sygnału z czujnika Halla z sygnałem z czujnika resetującego.

System generowania sygnałów wejściowych układu zapłonowego

W celu uruchomienia układu zapłonowego Altronic CPU-95 wykonane zostało stanowisko, którego zadaniem jest generowanie sygnałów wejściowych układu zapłonowego (Rys. 3). Stanowisko to składa się z silnika elektrycznego o płynnej regulacji prędkości obrotowej napędzającego tarczę stalową oraz tarczy wykonanej z tekstolitu mechanicznie sprzęgniętej z tarczą stalową za pomocą paska klinowego. Tarcza stalowa wyposażona jest w 62 nacięcia, które stanowią znaczniki dla czujnika magneto-indukcyjnego.



Rys. 3. Projekt części stanowiska odpowiedzialnej za generowanie sygnałów wejściowych układu zapłonowego: 1 - silnik elektryczny, 2 - tarcza stalowa, 3 – lekka tarcza wykonana z tekstolitu, 4 - pasek klinowy, 5, 6 - znaczniki resetujące, 7, 8 - czujniki magneto-indukcyjne, 9 – znacznik czujnika Halla, 10 - czujnik Halla

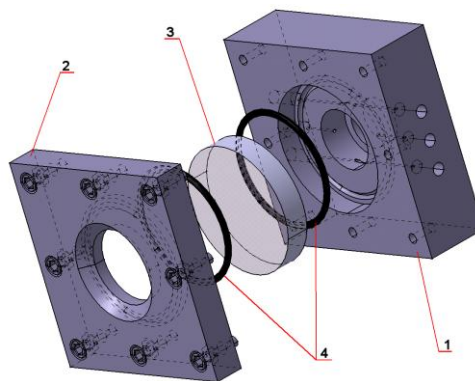
Na tarczy z tekstolitu zainstalowano dwa znaczniki resetujące, z którymi współpracuje drugi czujnik magneto-indukcyjny oraz jeden znacznik współpracujący z czujnikiem Halla. Przełożenie układu dobrano w sposób pozwalający zliczyć 254 nacięcia (tyle właśnie impulsów na jeden obrót wału silnika jest

zaprogramowanych w układzie Altronic CPU-95) na tarczy stalowej przy połowie pełnego obrotu tarczy z tekstolitu (prędkość obrotowa tarczy z tekstolitu koresponduje z prędkością obrotową wałka rozrządu). Zastosowana przekładnia pasowa nie zapewnia idealnej synchronizacji kątowej obrotu obu tarcz, lecz w warunkach badań nie było to konieczne, ponieważ ich położenie kątowe w chwili wyładowania iskrowego nie miało istotnego znaczenia.

Projektując stanowisko zastosowano takie rozwiązanie, ponieważ zastosowana tarcza stalowa jest lżejsza i mniejsza od koła zamachowego z 254 zębami, dzięki czemu silnik elektryczny o małej mocy może być wykorzystany do napędu układu, a całe stanowisko jest zwarte w swej budowie. Ponadto lekka tarcza zastępuje jednocześnie wał korbowy oraz wałek rozrządu, ponieważ umieszczono na niej znacznik czujnika Halla montowany na wałku rozrządu oraz nie jeden znacznik czujnika resetującego montowany na wale silnika, lecz dwa znaczniki ułożone symetrycznie względem środka tarczy. Pozwoliło to wyeliminować konieczność zastosowania kolejnej tarczy i jej mechanicznego sprzęgnięcia z przełożeniem 1:2 z lekką tarczą. Wszystkie elementy zostały zamontowane na płycie, przytwierdzonej do konstrukcji spawanej z kątowników.

Instalacja pneumatyczna z komorą ciśnieniową

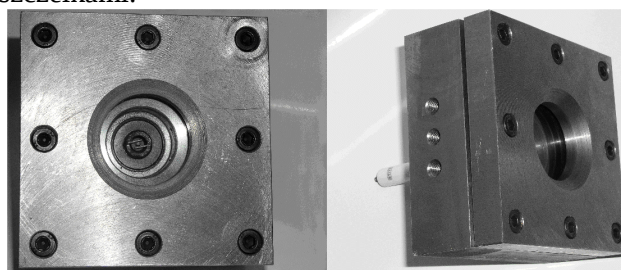
W ramach budowy stanowiska badawczego zaprojektowana i wykonana została komora ciśnieniowa służąca do obserwowania wyładowania iskrowego przy różnych ciśnieniach i różnych parametrach przepływowych z wykorzystaniem aparatu fotograficznego z odpowiednio przygotowanym osprzętem optycznym.



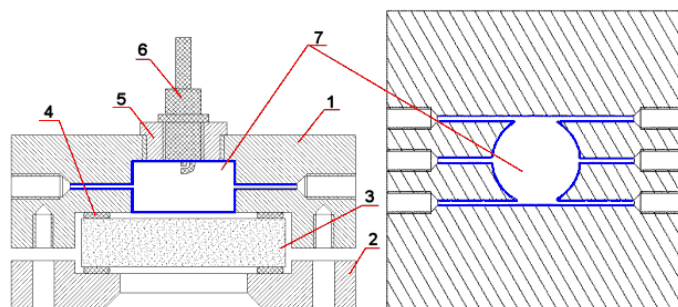
Rys. 4. Projekt komory ciśnieniowej do rejestracji toru wyładowania iskrowego: 1 - korpus, 2 - pokrywa, 3 - szklany wziernik, 4 – uszczelnienia

Rysunek 4 przedstawia przestrzenny projekt komory, natomiast rysunek 5 prezentuje fotografię gotowej komory ze świecą zapłonową firmy STITT.

Komora ciśnieniowa zbudowana jest z korpusu i pokrywy wykonanych ze stali i skręconych ośmioma śrubami M8. W korpusie wykonany został otwór z gwintem M32 przeznaczony do osadzenia tulei niezbędnej do zainstalowania w komorze świec zapłonowych o różnym gwincie. Ponadto w korpusie wykonano sześć kanałów o $\phi = 2$ mm zakończonych gwintem M10, rozmieszczonych jak na rysunku 6. Kanały te są przeznaczone do doprowadzenia i do odprowadzenia świeżego powietrza z komory. Pomiędzy korpusem i pokrywą umieszczony został szklany wziernik o grubości 15 mm, a całość została uszczelniona gumowymi uszczelkami.



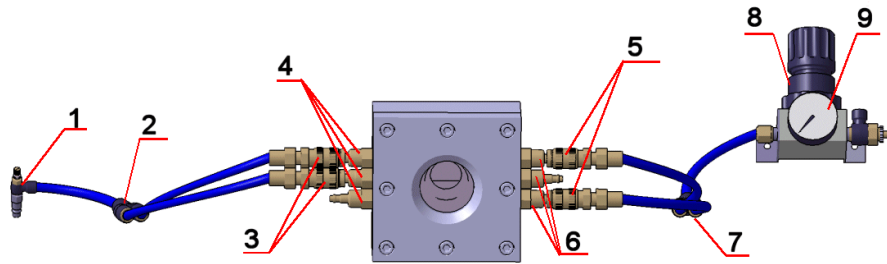
Rys. 5. Fotografia komory do rejestracji toru wyładowania iskrowego z zainstalowaną świecą zapłonową firmy STITT



Rys. 6. Schemat komory do rejestracji toru wyładowania iskrowego: 1 - korpus, 2 - pokrywa, 3 - szklany wziernik, 4 - uszczelnienia, 5 - tuleja, 6 - świeca zapłonowa, 7 - wnętrze komory wraz z kanałami dolotowymi/wylotowymi

Konstrukcja komory oraz instalacji pneumatycznej zasilającej komorę sprężonym powietrzem umożliwia rejestrację optyczną wyładowania iskrowego, jak również rejestrację przebiegu napięcia wyładowania przy przepływie przez komorę sprężonego powietrza o średniej prędkości przepływu mierzonej za pomocą sondy termooanemometrycznej umieszczonej w gnieździe świecy

zapłonowej i przy ciśnieniu regulowanym w dużym zakresie oraz przy dowolnej konfiguracji kanałów dolotowych/wylotowych.



Rys. 7. Projekt instalacji pneumatycznej z komorą: 1 - zawór regulujący przepływ, 2 - złącze typu Y (tor wylotowy), 3 - złącza automatyczne (tor wylotowy), 4 - gniazda otwierane automatycznie (tor wylotowy), 5 - złącza automatyczne (tor wlotowy), 6 - gniazda otwierane automatycznie (tor wlotowy), 7 - złącze typu Y (tor wlotowy), 8 - zawór regulujący ciśnienie, 9 – manometr

Instalacja ta została przedstawiona na rysunku 7 i składa się ze:

- sprężarki,
- przewodów wysokociśnieniowych,
- zaworu regulującego przepływ powietrza,
- zaworu regulującego ciśnienie powietrza,
- manometru,
- automatycznych złączy i gniazd odcinających przepływ,
- złączy typu Y.

Sprężone powietrze doprowadzane jest przez przewód wysokociśnieniowy ze sprężarki do zaworu regulującego ciśnienie wyposażonego w manometr. Następnie poprzez złącze typu Y rozdzielane jest do dwóch przewodów wysokociśnieniowych zakończonych automatycznymi złączami odcinającymi przepływ w chwili ich odłączenia od gniazd. W komorze ciśnieniowej zainstalowanych jest sześć gniazd automatycznych, które również odcinają przepływ w chwili ich odłączenia od złączy. Z komory ciśnieniowej poprzez gniazda i zawory powietrze trafia do kolejnego złącza Y, gdzie dwa tory wyjściowe łączą się w jeden tor zakończony zaworem regulującym przepływ. Z zaworu powietrze wypływa do atmosfery. Taka budowa instalacji pneumatycznej pozwala wykorzystać jedno lub dwa dowolne gniazda i kanały w komorze ciśnieniowej jako gniazda wlotowe i jedno lub dwa gniazda i kanały w komorze ciśnieniowej jako gniazda wylotowe, przy czym ich konfiguracja jest dowolna. Ponadto możliwa jest regulacja ciśnienia oraz prędkości powietrza przepływającego przez komorę ciśnieniową.

Rejestracja optyczna wyładowania iskrowego

Warunki rejestracji i wykorzystane świece zapłonowe

Badania wstępne przeprowadzono z wykorzystaniem szeregu świec zapłonowych o różnej geometrii przy średniej prędkości przepływu gazu w komorze ciśnieniowej w okolicy świecy zapłonowej wynoszącej od 6 m/s do 10 m/s z krokiem co 1 m/s. Wartości takie wybrane zostały do badań na podstawie pracy Tutaka[7], w której wartość średniej, lokalnej prędkości przepływu mieszanki w obszarze świecy zapłonowej w komorze spalania silnika S320 została określona doświadczalnie na poziomie 8 m/s. W celach porównawczych przeprowadzono również badania dla prędkości z zakresu od wartości o 25% mniejszej od 8 m/s, czyli 6 m/s, do wartości o 25% większej, czyli 10 m/s.

Pomiarów prędkości przepływu dokonano za pomocą karty do akwizycji danych i wzorcowanej sondy termooanemometrycznej umieszczonej w gnieździe świecy zapłonowej komory ciśnieniowej opisanej w punkcie 0. Następnie wymontowano sondę termooanemometryczną a w jej miejsce umieszczono badaną świecę zapłonową oraz dokonano rejestracji toru wyładowania iskrowego nie zmieniając parametrów przepływu powietrza przez komorę. Taką procedurę powtarzano dla każdej analizowanej konfiguracji ciśnienia i prędkości przepływu.

Badania wstępne przeprowadzone zostały dla szeregu wartości ciśnień panujących w komorze. Pomiary wykonywane były w temperaturze 293÷297 K przy ciśnieniu atmosferycznym (0,1 MPa), a następnie wartość ciśnienia zwiększana była z krokiem 0,2 MPa, aż do 0,9 MPa (jest to maksymalne ciśnienie uzyskiwane na wyjściu sprężarki wykorzystanej w trakcie badań).

Według [9] dla wolnossących silników ZI maksymalne ciśnienie uzyskane podczas sprężania (silnik bez doprowadzenia paliwa) wynosi od 0,6 MPa do 1,5 MPa, natomiast maksymalna temperatura w trakcie sprężania wynosi od 500 K do 700 K.

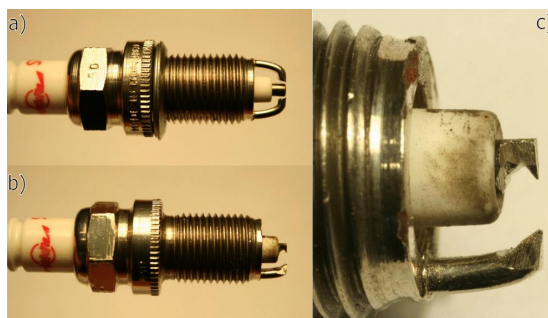
Na tej podstawie, przy założeniu, iż powietrze jest gazem idealnym, temperatura mieszanki w chwili zapłonu wynosi 600 K (wzrost temperatury wynika z podgrzewania świeżego ładunku od ścianek cylindra i domieszania gorących resztek spalin) oraz wykorzystując równanie Clapeyrona, można odnieść wyniki pomiarów wykonanych w temperaturze 295 K w komorze o stałej objętości do warunków silnikowych. Wówczas, zgodnie z równaniem (1), skorygowane wartości ciśnień, dla których wykonywane były pomiary wynoszą odpowiednio: 0,2 MPa, 0,6 MPa, 1,0 MPa, 1,4 MPa oraz 1,8 MPa.

$$p_s = p_p \cdot \frac{T_s}{T_p} \quad (1)$$

gdzie: p_s [MPa] – ciśnienie skorygowane do warunków silnikowych,

p_p [MPa] – ciśnienie w trakcie pomiaru,
 T_s [K] – temperatura w chwili zapłonu (600 K),
 T_p [K] – temperatura w trakcie pomiaru (295 K).

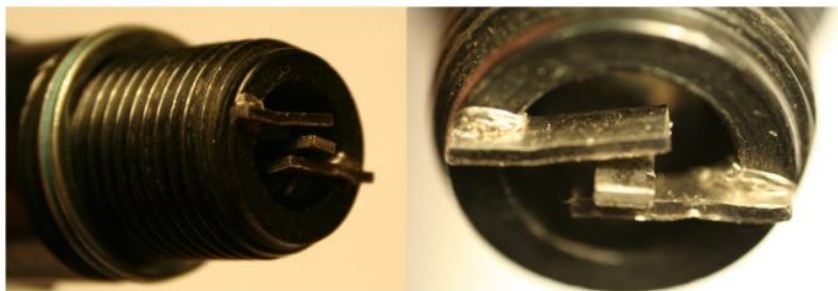
Na podstawie wstępnych analiz, do badań szczegółowych wybrano świecę zapłonową produkowaną przez firmę ISKRA (Rys. 8a), którą poddano modyfikacji oraz świecę zapłonową firmy STITT (Rys. 9).



Rys. 8. Świeca zapłonowa ISKRA (a) oraz zmodyfikowana świeca zapłonowa ISKRA wykorzystana w trakcie badań eksperymentalnych (b, c)

Modyfikacja pierwszej z analizowanych świec, polegała na mechanicznej ingerencji w jej geometrię, mającej na celu wykonanie z niej iskiernika (Rys. 8b oraz Rys. 8c). Pozwoliło to na przeprowadzenie badań dotyczących zmiany toru wyładowania iskrowego pomiędzy elektrodami w różnych warunkach przepływowych przy zminimalizowanym efekcie pełzania łuku elektrycznego po powierzchni elektrody.

Wykorzystanie świecy zapłonowej firmy STITT pozwoliło z kolei, na analizie samego efektu pełzania łuku elektrycznego po powierzchni elektrod oraz efektu zrywania łuku elektrycznego i wywiązywania się kolejnego wyładowania w tym samym cyklu zapłonu.



Rys. 9. Wykorzystana w trakcie badań świeca zapłonowa STITT

W celu zbadania powtarzalności rejestrowanego zjawiska, dla każdej konfiguracji, przy zmienionych parametrach ekspozycji, przeprowadzona została pojedyncza rejestracja optyczna około dziesięciu następujących po sobie wyładowań.

Metoda rejestracji wyładowania iskrowego

Rejestracja optyczna wyładowania iskrowego przeprowadzona została z wykorzystaniem aparatu fotograficznego Canon EOS 350D z układem optycznym Canon MP E 65 mm f/2.8 1-5x Macro Photo przeznaczonym do zdjęć makro z powiększeniem do 5x. Wyzwalanie migawki odbywało się za pośrednictwem komputera PC i oprogramowania dostarczonego przez producenta sprzętu. Optymalne parametry ekspozycji (czas naświetlania, czułość, przysłona) dobrane zostały empirycznie. Dla każdej konfiguracji wykonana została seria dwudziestu zdjęć pojedynczych wyładowań, a następnie zdjęcia te poddane zostały analizie mającej na celu określenie najbardziej reprezentatywnego (pokrywającego się z większością pozostałych) toru wyładowania iskrowego dla całej serii.

Następnie na cyfrowe zdjęcie toru wyładowania iskrowego wykonane w rozdzielczości 3456 x 2304 i obejmujące rzeczywisty obszar o wymiarach około 1,5 x 1 mm nałożona została cyfrowa siatka umożliwiająca określenie wymiarów geometrycznych ścieżki łuku pojedynczego wyładowania elektrycznego z dokładnością do 1 μm , gdyż 1 μm odpowiadał ponad dwóm punktom obrazu zarejestrowanego cyfrowo.

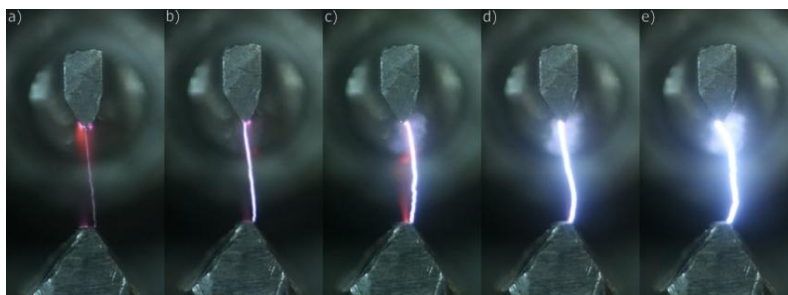
Zaznaczyć należy, że z uwagi na wykonanie rejestracji optycznej w paśmie widzialnym o długości fali od 0,4 μm do 0,7 μm , zarejestrowano głównie fazę jarzeniową wyładowania iskrowego.

Wyładowanie iskrowe generowane było przez układ zapłonowy Altronic CPU-95. W trakcie rejestracji pojedynczego wyładowania iskrowego, układ uruchomiany był w trybie pracy umożliwiającym generowanie wyładowania iskrowego z częstotliwością 1 Hz. W celu zarejestrowania serii następujących po sobie wyładowań, układ uruchamiany był w standardowym trybie pracy, a prędkość obrotowa systemu generowania sygnałów wejściowych układu zapłonowego dobrana została w sposób pozwalający generować siedem wyładowań iskrowych na sekundę. Czas otwarcia migawki ustalony został na 1,4 s, co pozwalało na wykonanie rejestracji dziesięciu kolejnych wyładowań.

Wyniki rejestracji wyładowania iskrowego

Z uwagi na objętość pracy, przedstawiono w niej jedynie przykładowe wyniki badań eksperymentalnych dotyczących rejestracji optycznej toru łuku elektrycznego, jednak analizie poddano ponad tysiąc fotografii badanego zjawiska.

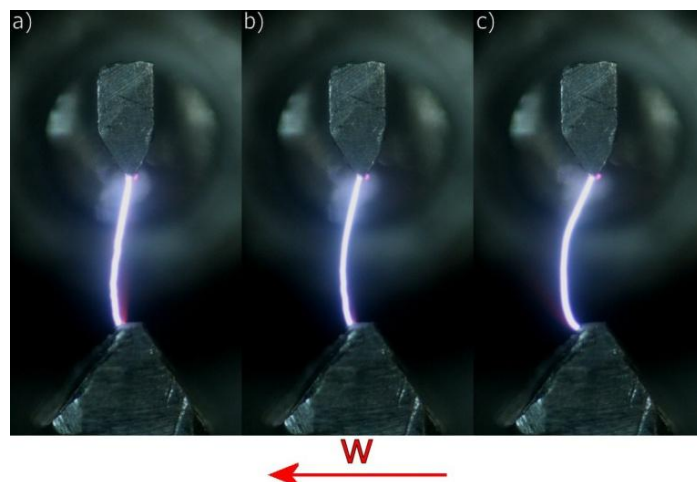
Analiza tak obszernego materiału wykazała istotną zależność pomiędzy ciśnieniem panującym w komorze a średnicą łuku elektrycznego, co wyraźnie ilustruje rysunek 10. Zauważyć można ponadto, iż wzrost ciśnienia wpływa również na tor łuku elektrycznego, choć zależność ta nie jest już tak wyraźna.



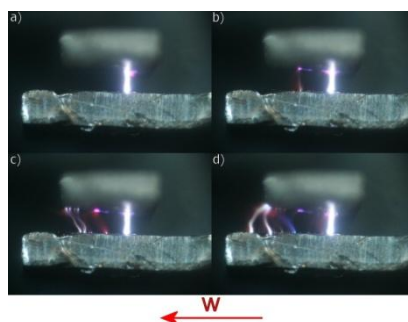
Rys. 10. Wyładowanie elektryczne pomiędzy elektrodami zmodyfikowanej świecy zapłonowej ISKRA dla ciśnienia 0,2 MPa (a), 0,6 MPa (b), 1,0 MPa (c), 1,4 MPa (d) oraz 1,8 MPa (e) przy zerowej wartości prędkości przepływu gazu

W trakcie badań wykazana została również ścisła zależność wiążąca lokalną prędkość przepływu gazu w obszarze między elektrodami świecy zapłonowej i tor łuku elektrycznego (Rys. 11 i Rys. 12). Zauważyć należy, iż istotna jest w tym aspekcie geometria świecy zapłonowej, będąca czynnikiem w dużym stopniu determinującym badane zjawisko.

W przypadku mniejszych odległości między elektrodami dojść może do zerwania wyładowania iskrowego w wyniku oddziaływania przepływającego gazu (Rys. 12). Wówczas wyładowanie może zostać zainicjowane ponownie w trakcie trwania tego samego cyklu, gdy w układzie zapłonowym zgromadzona jest wystarczająca ilość energii.



Rys. 11. Wyładowanie elektryczne pomiędzy elektrodami zmodyfikowanej świecy zapłonowej ISKRA dla ciśnienia 1,0 MPa przy wartości prędkości przepływu gazu wynoszącej 6 m/s (a), 8 m/s (b) oraz 10 m/s (c)

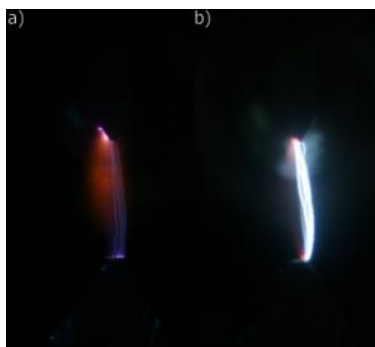


Rys. 12. Wyładowanie elektryczne pomiędzy elektrodami świecy zapłonowej STITT dla ciśnienia 1,0 MPa przy zerowej wartości prędkości przepływu gazu (a) oraz przy prędkości przepływu wynoszącej 6 m/s (b), 8 m/s (c) oraz 10 m/s (d)

Zjawisko takie nie jest korzystne w zastosowaniach silnikowych, gdyż energia przekazywana jest wówczas do mieszanki paliwowo-powietrznej w kilku oddzielnych etapach (każde wyładowanie to oddzielna dawka energii). Maleje wówczas moc maksymalna wyładowania iskrowego, a energia przekazana w pojedynczym wyładowaniu, będącym jedynie jednym z kilku w serii, może okazać się niewystarczająca do zainicjowania procesu spalania, co z kolei prowadzi do zjawiska wypadania zapłonów.

Powtarzalność badanego zjawiska wyładowania elektrycznego między elektrodami świecy zapłonowej analizowana była na podstawie przeprowadzo-

nej rejestracji łuku elektrycznego dziesięciu kolejnych wyładowań w niezmiennych warunkach przepływowych (Rys. 13). Analiza każdej konfiguracji ciśnienia, prędkości przepływu i wykorzystanej świecy zapłonowej wykazała, iż współczynnik powtarzalności COV każdego z charakterystycznych parametrów łuku nie przekraczał 13,23%.



Rys. 13. Seria dziesięciu kolejnych wyładowań iskrowych pomiędzy elektrodami zmodyfikowanej świecy zapłonowej ISKRA dla ciśnienia atmosferycznego (a) oraz ciśnienia wynoszącego 0,6 MPa (b) przy zerowej wartości prędkości przepływu gazu

Wartość aplikacyjna wyników badań

Wyniki przeprowadzonej rejestracji optycznej toru wyładowania iskrowego pozwoliły na opracowanie matematycznych zależności łączących parametry toru łuku elektrycznego (rozumianego jako wysokoenergetyczny obszar pomiędzy elektrodami świecy zapłonowej) z ciśnieniem, prędkością przepływu gazu w obszarze pomiędzy elektrodami świecy zapłonowej oraz z geometrią świecy zapłonowej.

Na tej podstawie został zbudowany i zaimplementowany do kodu KIVA-3V model numeryczny wyładowania iskrowego inicjującego zapłon, szerzej opisany w [6].

Dzięki przeprowadzonym badaniom eksperymentalnym możliwe stało się wykonanie szeregu badań numerycznych dotyczących inicjacji zapłonu [2], [3], [4] i rozwoju płomienia w silniku ZI [5], [7].

Wnioski

Wzrost ciśnienia panującego w cylindrze w chwili wyładowania iskrowego wpływa wyraźnie na wzrost średnicy łuku elektrycznego, w mniejszym stopniu na kształt jego toru i jedynie nieznacznie na efekt zrywania łuku.

Istnieje ścisła zależność wiążąca tor łuku elektrycznego z lokalną prędkością przepływu gazu w obszarze między elektrodami świecy zapłonowej. Wraz ze wzrostem prędkości, powiększa się wygięcie łuku elektrycznego, a tym samym zwiększa się jego długość.

Położenie elektrod świecy zapłonowej względem wektora wypadkowej prędkości turbulentnego przepływu mieszanki odgrywa istotną rolę w procesie rozwoju i propagacji wczesnego frontu płomienia, gdyż oddziałuje na wartość, zwrot i kierunek wektora lokalnej prędkości przepływu w pobliżu świecy zapłonowej.

Literatura

- [1] Altronic Inc., Altronic CPU-95: advanced digital ignition system for industrial engines, Girard, 1996.
- [2] Cupiał K., Sosnowski M., A New Ignition Model in Numerical Modelling of SI Engine, Zesz.Nauk.PCzest.nr 162 Mech.z.26, 2006.
- [3] Cupiał K., Sosnowski M., Analysis of Flame Kernel Formation Around a Spark Plug at Different Flow Condition, Materiali XIV Ukrains'ko-pol'skoi naukovo-technicnoi konferencii SAPR u proektuvanni masin. Pitannja vprovadzennja ta navcannja CADMD'2006, 2006.
- [4] Cupiał K., Sosnowski M., Jamrozik A., Kociszewski A., Tutak W., Flame Kernel Formation Around a Spark Plug of SI Engine Using KIVA-3V with Standard and Newly Developed Ignition Model, Silniki Spalinowe R.46 nr SC2, 2007.
- [5] Sosnowski M., Modelling of Combustion in SI Engine Using Different Ignition Models, Teka Komisji Motoryzacji PAN o/Kraków z.nr 33-34, 2008.
- [6] Sosnowski M., Modelowanie i analiza przebiegu wyładowania iskrowego w silniku z zapłonem wymuszonym, Praca doktorska, Częstochowa 2008.
- [7] Sosnowski M., Modelowanie procesu inicjacji zapłonu w silniku ZI, Zesz.Nauk.POpol.nr 301 Mech.z.80, 2005.
- [8] Tutak W., Modelowanie procesu zawirowania świeżego ładunku w komorze spalania silnika tłokowego, Praca doktorska, 2002.
- [9] Wajand J.A., Wajand J.T., Tłokowe silniki spalinowe, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1997.

Marcin Sosnowski

**SPARK DISCHARGE OPTICAL RECORDING AT DIFFERENT FLOW
CONDITIONS OF GASEOUS MEDIUM BETWEEN SPARK PLUG
ELECTRODES**

Summary

The paper presents the test stand dedicated to optical recording of spark discharge at different flow conditions of gaseous medium between spark plugs electrodes. It also presents the exemplary results of electric arc optical recording. The analyzed flow parameters and pressure correspond with conditions in combustion chamber of spark ignited engine at the moment of ignition. The carried out research allowed better understanding of the influence of flow parameters and pressure of gas on the course of spark discharge and subsequent flame development.