

## DIAGNOSTYKA SILNIKA SPALINOWEGO Z ZASTOSOWANIEM ŚWIECY ZAPŁONOWEJ Z WZIERNIKEM

Tomasz LUBIEWSKI\*, Mikołaj MIKOŁAJCZYK\*, Tadeusz MIKOŁAJCZYK\*\*

ATR Bydgoszcz, \*Koło Naukowe Mechaników, \*\*Katedra Inżynierii Produkcji  
85-796 Bydgoszcz, ul. Kaliskiego 7, tami@atr.bydgoszcz.pl

### Streszczenie

W Kole Naukowym Mechaników ATR Bydgoszcz opracowano stanowisko do obserwacji procesu spalania w silniku spalinowym o zapłonie iskrowym. Zastosowano w nim świecę zapłonową z wziernikiem, przez który filmowano proces spalania. Do rejestracji video i zapisu obrazów zastosowano aparat cyfrowy. Dla wybranych klatek procesu spalania zrealizowanych przy różnych jakościowych nastawach mieszanki dokonano z zastosowaniem specjalnie opracowanego programu analizy koloru emitowanego światła. Przeprowadzone próby wskazały na celowość prowadzenia prób doboru składu mieszanki z zastosowaniem świec z wziernikiem. Sposób ten umożliwia optymalizację składu mieszanki w czasie rzeczywistym.

Słowa kluczowe: spalanie mieszanki, analiza obrazu, zapis obrazu

### APPLICATION OF PICTURE ANALYSE TO COMBUSTING PROCESS OBSERVATION

### Summary

The stand to combusting process observation in spark ignition engine is presented in paper. In this stand was used ignition plug with sight-glass through which combusting process was filmed. For recording used digital camera. Picture of combusting process was analysed with special software use.

Keywords: combusting process, picture capture, picture analyse

## 1. WPROWADZENIE

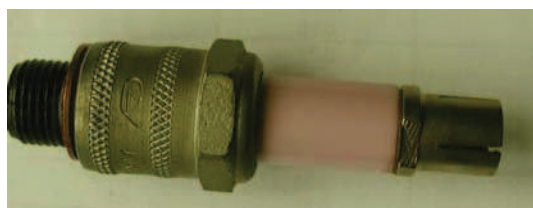
Silniki spalinowe w tym z zapłonem iskrowym (ZI) są cały czas doskonałe [1,3]. Prace prowadzone są w kierunku rozwoju zarówno układów zasilania silników, w tym szczególnie układów wtryskowych jak i sposobów zapłonu mieszanki. Celem tych prac jest obniżenie zużycia paliwa i istotnej ze względów ekologicznych toksyczności spalin [1]. Badania prowadzone są w wyspecjalizowanych ośrodkach na drogiej aparaturze. Buduje się między innymi stanowiska do badań zjawisk zachodzących w procesie spalania [2], z zastosowaniem których możliwe jest bliższe poznanie przebiegu procesu spalania.

Celem pracy było opracowanie stanowiska do badań procesu spalania w silnikach z zapłonem iskrowym z wykorzystaniem dostępnych, niedrogich komponentów i wstępna weryfikacja możliwości diagnostyki procesu spalania z jego zastosowaniem.

## 2. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO

W badaniach zastosowano świecę zapłonową (produkcji rosyjskiej) o specjalnej konstrukcji (rys. 1 i 2). Świeca wyposażona jest we wziernik umożliwiający obserwację elektrody świecy oraz jej okolicy podczas pracy silnika. Dla zapewnienia bezpieczeństwa obserwacji wyposażona jest w dodatkowe lustro, umieszczone przy nasadce świecy zapewniające bezpieczną obserwację wnętrza cylindra. Konstrukcja świecy umożliwia bezpieczną eksploatację przy prędkości obrotowej wału korbowego nie przekraczającej 1500 obr/min, przez co badania zostały ograniczone do pracy silnika na biegu jałowym.

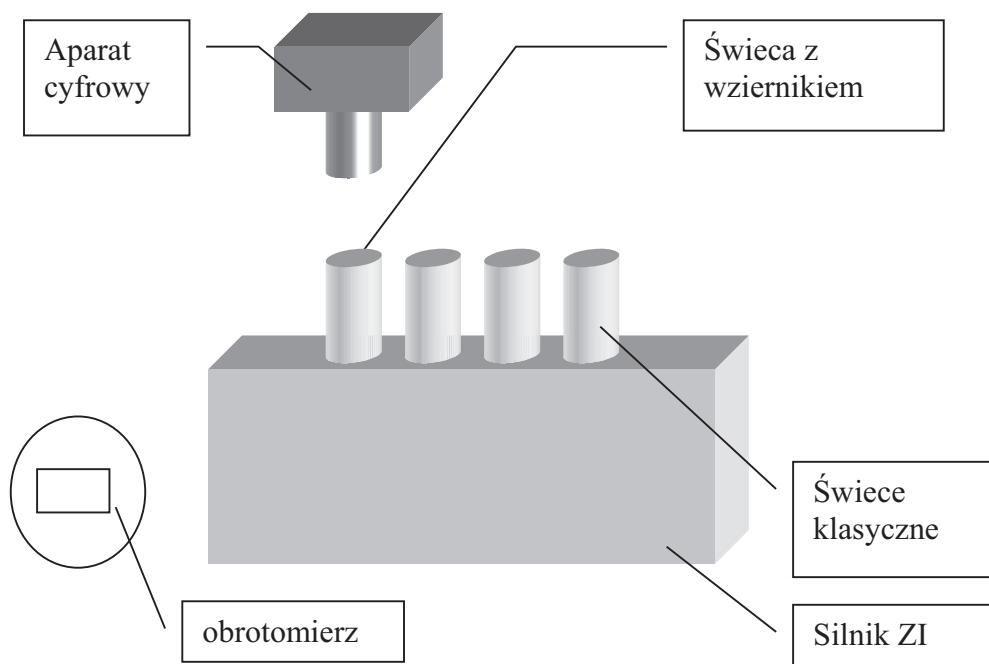
Do celów badania spalania w silniku iskrowym opracowano stanowisko do wizualizacji tego procesu z zastosowaniem opisanej świecy przedstawione schematycznie na rys. 3. W prowadzonych badaniach rejestrowano widok wziernika świecy z zastosowaniem aparatu cyfrowego Olympus C-2100 (produkcji koreańskiej). Stosowano rejestrację video z prędkością próbkowania 12 klatek na sekundę. Migawka wynosi w zależności od oświetlenia 1/30 s do 1/10000 s.



Rys. 1. Widok świecy z wziernikiem



Rys. 2. Nasadka na świecę



Rys. 3. Schemat stanowiska do wizualizacji procesu spalania w silniku iskrowym

Zarejestrowane zdjęcia oraz sekwencje filmowe zapisywano w pamięci aparatu. Transmisja danych z pamięci aparatu do komputera może być prowadzona poprzez złącze USB lub przez wejście szeregowo, które jest jednak wolniejsze. Do budowy stanowiska wykorzystano silnik spalinowy o zapłonie iskrowym (Fiat 125p 1300). Silnik ten wyposażony jest w gaźnikowy układ zasilania i klasyczny aparat zapłonowy, co umożliwia łatwą zmianę parametrów eksploatacyjnych takich jak:

- kąt wyprzedzenia zapłonu,
- skład mieszanki ( $\lambda$ ).

Do pomiaru kąta wyprzedzenia zapłonu i prędkości obrotowej wału korbowego zastosowano przyrząd SUS 9 (produkcji polskiej).

W celu rejestracji filmowej procesu spalania zastosowano z uwagi na możliwości stosowanej kamery interferencyjny zapis obrazu. Znając częstość zapisu klatek, wstępnie określono wpływ prędkości obrotowej silnika na zapis procesu spalania.

Celem określenia warunków filmowania procesu spalania w trakcie pracy silnika spalinowego obliczono czas cyklu pracy pojedynczego cylindra. Czas pełnego cyklu pracy

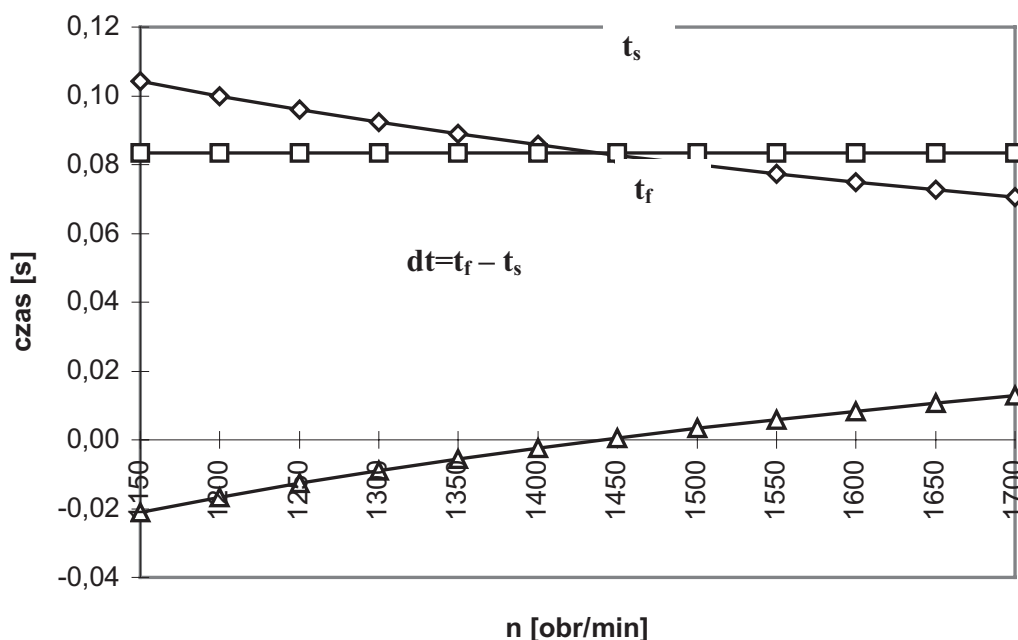
czterosuwowego silnika spalinowego przy prędkości obrotowej  $n$  odpowiada dwóm obrotom wału silnika i wynosi:

$$t_s = 2 \cdot 60 / n \quad (1)$$

gdzie:

$n$  – prędkość obrotowa w obr/min.

Dogodne do filmowania warunki występują, gdy czas pomiędzy poszczególnymi klatkami  $t_f$  jest większy od czasu  $t_s$  kolejnych cykli pracy. Czas pomiędzy poszczególnymi klatkami wynosi dla 12 klatek na sekundę  $t_f = 0,0833$  s. Analizę warunków filmowania umożliwiającą, opracowane w arkuszu Excel wykresy, przedstawione na rys. 4.



Rys. 4. Wpływ prędkości obrotowej silnika na czas cyklu pracy  $t_s$  i różnicę czasu  $t_f$  oraz  $t_s$  przy stałym czasie  $t_f = 0,0833$  s

Wynika z niego, że przy prędkości obrotowej n wynoszącej około 1440 obr/min następuje synchronizacja wykonywania kolejnych klatek przy zapisie filmowym procesu spalania. Są to warunki niekorzystne, gdyż następuje wtedy synchroniczne filmowanie jednej (przypadkowej) fazy cyklu. Dla prędkości obrotowych powyżej tego zakresu występuje korzystny obszar do zapisu obrazu procesów w cylindrze silnika. Następuje filmowanie kolejnych faz pracy silnika w kolejności zgodnej z ich przebiegiem natomiast wielokrotnie zwolnionych. W zakresie prędkości poniżej tego zakresu, gdy  $t_f < t_s$  następuje filmowanie kolejnych faz, ale z uwagi na przyspieszenie zapisu względem czasu cyklu następuje zapis faz w odwrotnej kolejności. Dla uzyskania prawidłowego przebiegu należy odtwarzać zapis w odwrotnym. Tak więc dostosowując prędkość obrotową silnika do określonej prędkości zapisu klatek filmu można dowolnie dobrać warunki interferencyjnego filmowania procesu. Zapis ten jest obciążony błędami wynikającymi z zapisu z pojawiania się w zapisie filmowym klatek z różnych suwów silnika. Współczesne niedrogie kamery cyfrowe stwarzają możliwość, szczególnie przy zmniejszeniu rozdzielczości obrazu uzyskania znacznie większej niż stosowano w badaniach częstotliwości zapisu klatek filmu, a wartość ta może być sterowana co umożliwia doskonalenie zapisu przy zadanej prędkości obrotowej silnika.

W trakcie prób stanowiska przeprowadzone badania wpływu składu mieszanki na proces spalania. Zmiany mieszanki prowadzono przez zmianę położenia wkrętu składu mieszanki (WSM)

w gaźniku. Prowadzono obserwacje wizualne oraz filmowano proces spalania w celu weryfikacji możliwości zastosowania techniki video do rejestracji filmowej zjawisk w komorze spalania silnika z zapłonem iskrowym.

### 3. WYNIKI PRZEPROWADZONYCH PRÓB

Zarejestrowano przebiegi procesu spalania na biegu jałowym silnika przy prędkości obrotowej 600 i 1000 obr/min i temperaturze cieczy chłodzącej 85° C oraz pozostałych parametrach zgodnych z zaleceniami producenta. Rejestrację przeprowadzono dla mieszanki normalnej, ubogiej oraz bogatej (według położenia wkrętu składu mieszanki - WSM). Przeprowadzone próby potwierdziły poprawność opracowanej koncepcji filmowania procesu spalania z wykorzystaniem efektu stroboskopowego. Uzyskano bardzo efektywny zwolniony zapis procesów spalania w komorze silnika, która była uzależniona od prędkości obrotowej silnika zgodnie z wykresem (rys. 4). Zapis klatek w warunkach badań przedstawiał proces w kierunku odwrotnym. Zmiana składu mieszanki, obserwowana już przy stosunkowo niedużych zmianach nastawy składu mieszanki (+1/2 obrotu WSM) miała wpływ na zmianę koloru płomienia, co przedstawiają zdjęcia na rysunkach 5-7.



Rys. 5. Spalanie mieszanki normalnej



Rys. 6. Spalanie mieszanki ubogiej (+1/2 obrotu WSM)



Rys. 7. Spalanie mieszanki bogatej (-1/2 obrotu WSM)

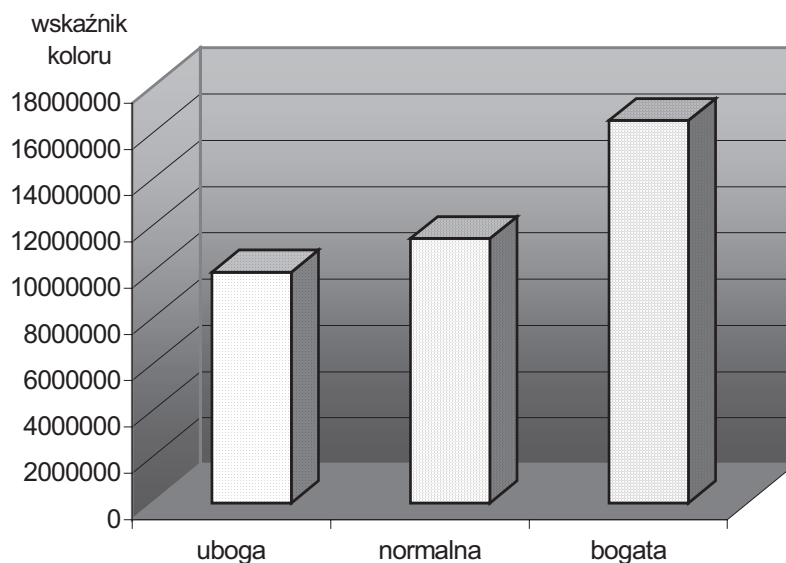
Mieszanka o składzie zalecanym przez producenta podczas spalania miała barwę pomarańczową. Przy spalaniu mieszanki wzbogaconej występował jaskrawo żółty kolor, natomiast przy spalaniu mieszanki zubożonej obserwowano barwę zbliżoną do fioletowej.

Do analizy zarejestrowanych obrazów opracowano w języku Visual Basic 6.0 specjalny program umożliwiający pomiar jasności wewnątrz komory spalania na podstawie importowanych obrazów (rys. 8). Pomiary przeprowadza się w różnych punktach obrazu. Średnie wartości jasności zestawiono na wykresie (rys. 9). Przy zastosowaniu kamery cyfrowej podłączonej do komputera możliwa jest analiza obrazów on-line. Dokonane pomiaru jasności obrazu spalania (rys. 9) wskazują na możliwość ilościowego różnicowania obrazów spalania uzyskanych dla różnych nastaw składu mieszanki.

Wyniki przeprowadzonych prób mają charakter wstępny. Celowe jest kontynuowanie badań na opracowanym stanowisku z użyciem kilku klatek filmu jak również z zastosowaniem oceny koloru RGB z uwzględnieniem parametrów HLS, które to mogą być określone na podstawie parametru pikselu obrazu przedstawionego na formie programu (rys. 8). Jednak na podstawie przeprowadzonych prób można stwierdzić, że obserwując proces spalania przy pomocy zastosowanej świecy można zidentyfikować skład mieszanki i dokonać oceny procesu spalania. Metoda ta może stanowić uzupełnienie dotychczas stosowanych technik badań. Opracowana technika obserwacji po zastosowaniu kamery może umożliwić dokonywanie takich pomiarów w czasie rzeczywistym. Na przykład przy zastosowaniu kamery z matrycą CCD firmy Philips zapewniającej rejestrację z prędkości 60 klatek na sekundę. Dla odizolowania kamery od drgań celowe jest zastosowanie światłowodów do przenoszenia obrazu ze strefy spalania.



Rys. 8. Ocena jasności obrazu spalania mieszanki bogatej z zastosowaniem opracowanego programu



Rys. 9. Średnie wartości wskaźnika koloru przy spalaniu mieszanki o różnym składzie

#### 4. WNIOSKI

Analiza przedstawionej literatury oraz wyniki przeprowadzonych prób uzasadniają sformułowanie następujących wniosków.

- stwierdzono możliwość zastosowania aparatu cyfrowego do filmowania procesu spalania,
- określono wpływ zmian składu mieszanki na barwę płomienia,
- opracowane oprogramowanie umożliwia ilościową ocenę jasności płomienia,
- celowe jest dalsze doskonalenia stanowiska.

#### LITERATURA

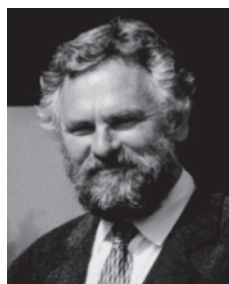
- [1] Mamala J.: Sterowanie napełnieniem silnika ZI w aspekcie ekologicznym. Diagnostyka Pojazdów Samochodowych 2000, vol. 2, Katowice 2000, str. 125- 136.
- [2] Szulc J.: Silnik do wizualizacji procesów wtrysku i spalania. XVI Międzynarodowe Sympozjum Naukowe Studentów i Młodych Pracowników Nauki tom III: Mechanika, Zielona Góra, kwiecień 1994, s. 177-181.
- [3] Wajand J.A., Wajand J. T.: Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybko-obrotowe. WNT, Warszawa 2000.



Mgr inż. Tomasz Lubiewski  
ur. 1980 r. Zatrudniony w PESA Bydgoszcz, prezes Koła Naukowego Mechaników w 2003, Primus Inter Pares 2004.



Mikołaj Mikołajczyk, ur. 1980, student Wydziału Mechanicznego ATR w Bydgoszczy, prezes Koła Naukowego Mechaników 2004 – 2005. Zajmuje się programowaniem w języku VB.



Mikołajczyk Tadeusz, ur. 1951 r., dr inż., adiunkt w Katedrze Inżynierii Produkcji ATR Bydgoszcz, opiekun Koła Naukowego Mechaników. Autor prac z zakresu podstaw skrawania i konstrukcji narzędzi, jak też zastosowań mechatroniki w inżynierii produkcji.