

COMPARISON OF COMBUSTION PROCESS FOR DIESEL FUEL AND RAPE SEED OIL METHYL ESTERS IN THE CONSTANT VOLUME CHAMBER

Cezary I. Bocheński, Krzysztof Warsicki

Warsaw Agricultural University
Faculty of Production Engineering
ul. Nowoursynowska 166, 02 – 787 Warszawa
tel./fax: + 48 22 8478716

Abstract

There are presented investigations on combustion process for Diesel fuel and rapeseed oil methyl esters at variable air temperature and air pressure as well as various air excess coefficient and injection pressure. Researches were conducted on the special investigative stand. The stand is equipped in fed fuel system (Common Rail) with an electronic control multiphase injection, the control system of time injection, registration system of processes, fed air system, system of pressure measurement in the chamber, and additional sets. Course of the combustion process was estimated on the ground plots of the pressure change versus time from the beginning of fuel injection.

Authors presented in the paper the investigative stand and method tests, research of combustion process for diesel oil and the rapeseed oil esters, research of combustion process at the variable temperature of air in the chamber, research the combustion process at injection pressure change, research of the combustion process course at the change of the air excess coefficient.

On the ground conducted research there were stated that the period of self-ignition delay at the temperature 500⁰ C for the diesel oil was shorter than for rapeseed oil methyl esters, at the temperature 600⁰C methyl esters are characterized with the shorter period of self-ignition delay than diesel oil, combustion time both studied fuels shortens with the temperature rise, pressure increasing of the injection brought about shortenings of time of the self-ignition delay and decreasing pressure increment, increasing of the air excess coefficient caused the extension of the period of self-ignition delay and the slow increasing of the combustion pressure.

Key words: Diesel engines, fuel injection, combustion processes, alternative fuels, constant volume chamber

PORÓWNANIE PROCESU SPALANIA OLEJU NAPĘDOWEGO I ESTRÓW METYLOWYCH OLEJU RZEPAKOWEGO W KOMORZE O STAŁEJ OBJĘTOŚCI

Streszczenie

Przedstawiono badania procesu spalania oleju napędowego i estrów metylowych oleju rzepakowego przy zmiennej temperaturze i ciśnieniu powietrza oraz różnym współczynniku nadmiaru powietrza i ciśnienia wtrysku. Badania przeprowadzono na specjalnym stanowisku badawczym. Stanowisko wyposażone jest w układ doprowadzenia paliwa (Common Rail) z elektronicznym sterowaniem wielofazowego wtrysku, układ sterowania czasem wtrysku, układ rejestracji procesów, układ zasilania powietrzem, układ pomiaru ciśnienia w komorze oraz zespoły dodatkowe. Przebieg procesu spalania oceniano na podstawie wykresów zmiany ciśnienia w czasie od początku wtrysku paliwa.

W artykule autorzy zaprezentowali stanowisko badawcze i metodykę badań, badania procesu spalania oleju napędowego i estrów oleju rzepakowego, badania procesu spalania przy zmiennej temperaturze powietrza w komorze, badania procesu spalania przy zmianie ciśnienia wtrysku, badania przebiegu spalania przy zmianie współczynnika nadmiaru powietrza.

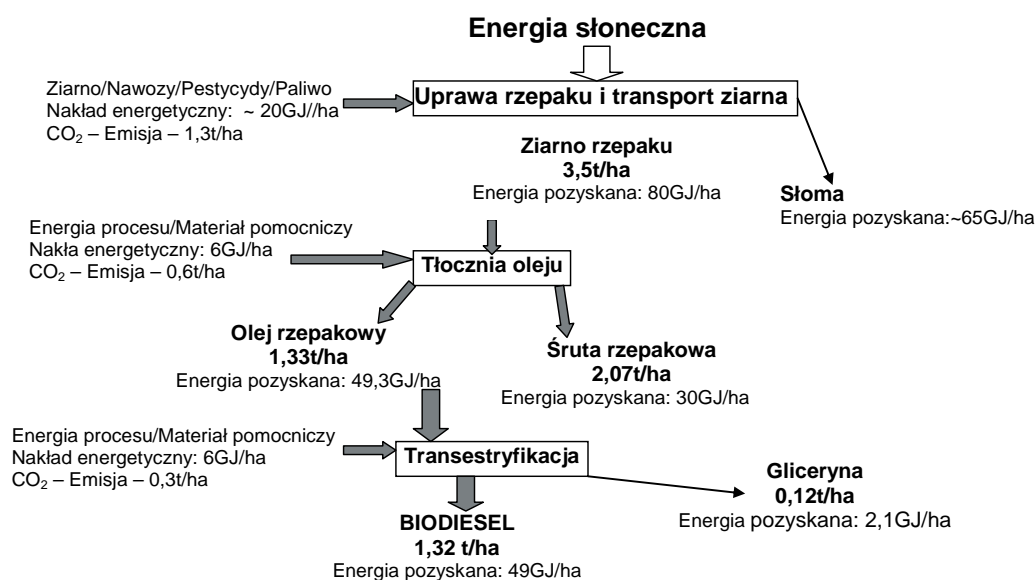
Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że okres opóźnienia samozapłonu w temperaturze 500⁰ C dla oleju napędowego jest krótszy niż dla estrów metylowych oleju rzepakowego, w temperaturze 600⁰C estry metylowe charakteryzują się krótszym opóźnieniem samozapłonu niż olej napędowy, czas spalania obu badanych paliw maleje ze wzrostem temperatury, zwiększenie ciśnienia wtrysku powodowało skrócenia czasu opóźnienia

samozapłonu i zmniejszenie przyrostu ciśnienia, wzrost nadmiaru powietrza powodował wydłużenie okresu opóźnienia samozapłonu i powolne narastanie ciśnienia spalania.

Słowa kluczowe: silnik wysokoprężny, wtrysk paliwa, procesy spalania, paliwa alternatywne, komora stałej objętości

1. Wstęp

Zgodnie z dyrektywami Unii Europejskiej w 2010 roku udział biopaliw w ogólnym zużyciu paliw mineralnych wynosić powinien 5,75%. W Polsce przetwarzamy około 15 mln ton ropy naftowej, która jest niemal w całości importowana. Z ropy tej wytwarzamy około 5 – 6 mln ton oleju napędowego i około 4 – 5 mln ton benzyny. Zainteresowanie paliwami roślinnymi związane jest ze wzrostem cen ropy naftowej, oraz nadprodukcją żywności i koniecznością odługowania ziemi. W rolnictwie gdzie podstawową jednostką napędową jest maszyn rolniczych i ciągników jest silnik wysokoprężny, korzystne jest wykorzystanie roślin oleistych (rzepaku, słonecznika czy lnu) do produkcji estrów olejów mineralnych. Dodatkowym argumentem za wytworzeniem biopaliw jest wykorzystanie w gospodarstwie wtórnych produktów odpadowych, którymi są makuchy, słoma oraz gliceryna. Produkcja biodiesla jest też bardzo korzystna z punktu widzenia energetycznego, co przedstawia rys. 1.

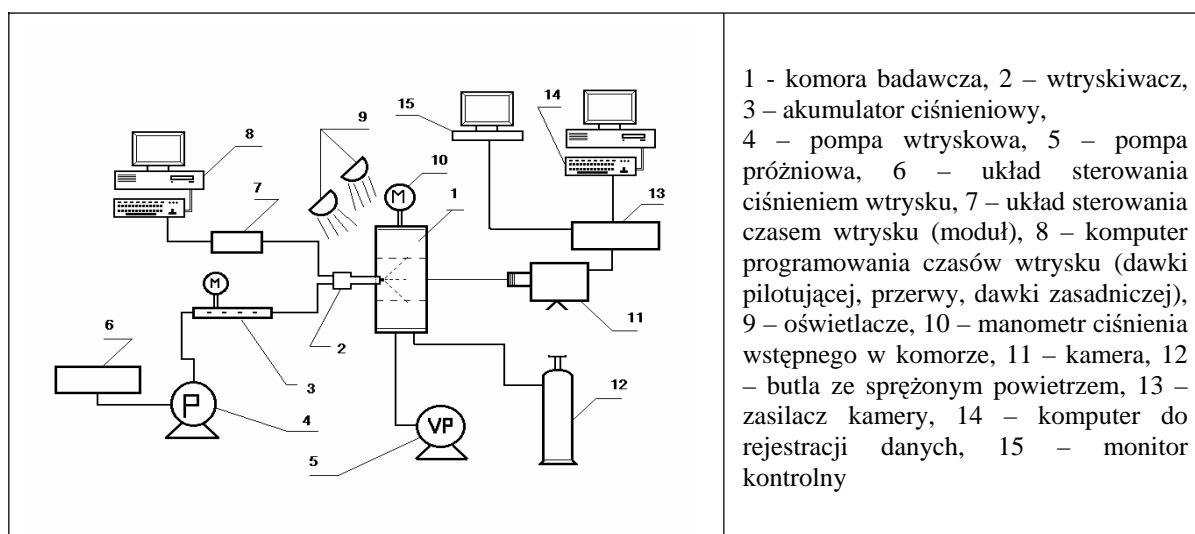


Rys. 1. Bilans energetyczny przy produkcji estrów metylowych oleju rzepakowego
Fig. 1. Energy balance in production of rape seed oil methyl esters

Przy nakładach energetycznych na rzepaku wynoszących około 20GJ/ha, uzyskuje się produkt końcowy, paliwo (estry oleju rzepakowego) o wartości energetycznej około 50 GJ/ha i wartości opałowej około 36,7 MJ/kg. Ze względu na różnicę surowców stosowanych do produkcji biodiesla (rzepak) i oleju napędowego (ropa naftowa) paliwa te różnią się właściwościami fizyko-chemicznymi. Z punktu widzenia spalania największe różnice występują w wartościach lepkości kinetycznej, wartości opałowej, składzie chemicznym, przebiegiem krzywej frakcjonowania oraz stechiometryczny, zapotrzebowaniem na tlen. Różnice te powodują odmienny przebieg procesów podstawowych zachodzących podczas spalania. Przeprowadzane badania mają na celu określenie tych różnic. Badania przeprowadzono na stanowisku umożliwiającym pomiar ciśnienia w czasie spalania, przy zmiennych parametrach doprowadzonego powietrza i zmiennych charakterystykach podawania paliwa (Common Rail).

2. Opis stanowiska badawczego i metodyka badań

Schemat stanowiska przedstawia rysunek 2.



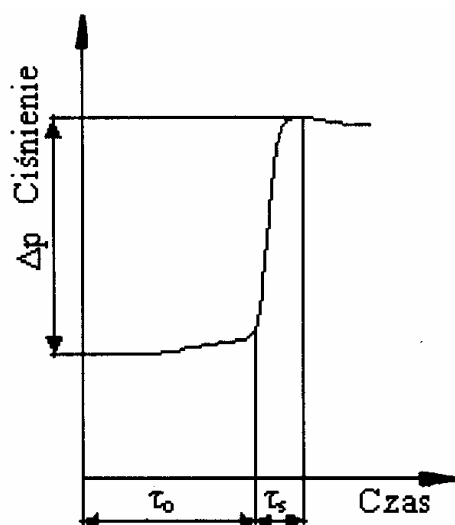
Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego

Fig. 2. Layout of measuring stand

Głównym elementem stanowiska jest wymienna komora o stałej objętości (bomba) (1), umożliwiającą badanie procesu wtrysku oraz spalania. Stanowisko wyposażone jest w następujące układy funkcjonalne:

- układ doprowadzenia paliwa (Common Rail) z elektronicznym sterowaniem wielofazowego wtrysku (2, 3, 4, 6),
- układ sterowania czasem wtrysku (7, 8),
- układ rejestracji procesów przy użyciu kamery cyfrowej (11, 13, 14, 15),
- układ zasilania powietrzem (12),
- układ pomiaru ciśnienia spalania w komorze,
- zespoły dodatkowe (oświetlacze, pompa próżniowa).

Przebieg spalania oceniano na podstawie wykresów zmiany ciśnienia w czasie od początku wtrysku paliwa, co przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Zmiana ciśnienia spalania w czasie

Fig. 3. Change in combustion pressure with time

3. Badanie procesu spalania oleju napędowego i estrów oleju rzepakowego

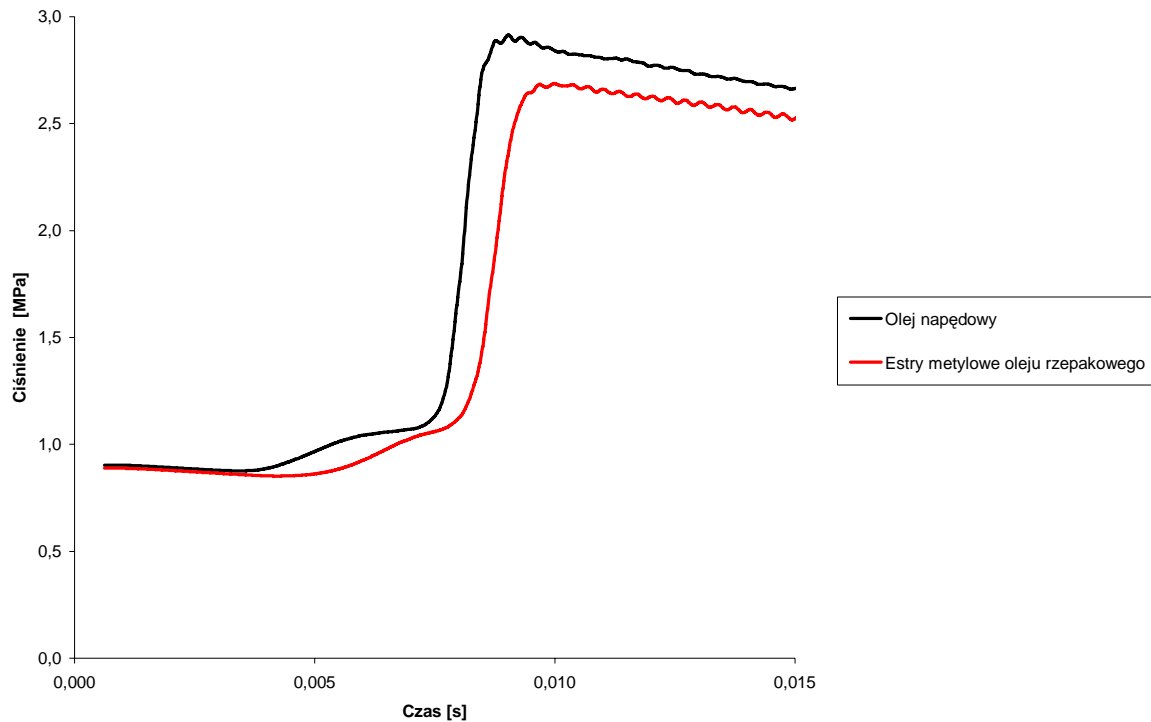
Badania przeprowadzono dla paliw o właściwościach przedstawionych w tabeli 1.

Tab. 1. Podstawowe właściwości fizykochemiczne estrów metylowych oleju rzepakowego i oleju napędowego
Tab. 1. Basic physical and chemical properties of rape seed oil methyl esters and Diesel fuel

| Lp. | Badany parametr | Jednostka | RME | ON |
|---------------------------------|---|--------------------------------------|--|----------------------|
| 1. | Gęstość w temperaturze 15°C | kg/m ³ | 886,3 | 818 |
| 2. | Temperatura zablokowania zimnego filtra | °C | - 8 | - 34 |
| 3. | Ocena smarności z użyciem aparatu o ruchu posuwisto – zwrotnym wysokiej częstotliwości (HFRR) | µm | 165 | 437 |
| 4. | Lepkość kinetyczna w temp. 20°C | mm ² /s | 4,7 | 1,8 |
| 5. | Wartość opałowa | MJ/kg | 38 | 43 |
| 6. | Liczba cetanowa | - | 54 | 51 |
| 7. | Temperatura mętnienia | °C | - 3 | - 33 |
| 8. | Temperatura zapłonu | °C | 166 | 62 |
| 9. | Analiza elementarna C H O | % | 77,5 12,1 10,4 | 87,6 12,4 |
| 10. | Stechiometryczne zapotrzebowanie na tlen | kg _{pow} /kg _{pal} | 12,5 | 14,57 |
| 11. | Zawartość zanieczyszczeń | mg/kg | 14 | 9 |
| 12. | Skład frakcyjny | °C | 334 336 336 339 343 345 | |
| | 20% destyluje do temperatury | | | |
| | 40% destyluje do temperatury | | | |
| | 60% destyluje do temperatury | | | |
| | 80% destyluje do temperatury | | | |
| | 95% destyluje do temperatury | | | |
| | koniec destylacji | | | |
| | Do temp. 190°C destyluje | % (V/V) | | 3,0 |
| | Do temp. 240°C destyluje | | | 59,0 |
| Do temp. 290°C destyluje | 97,0 | | | |

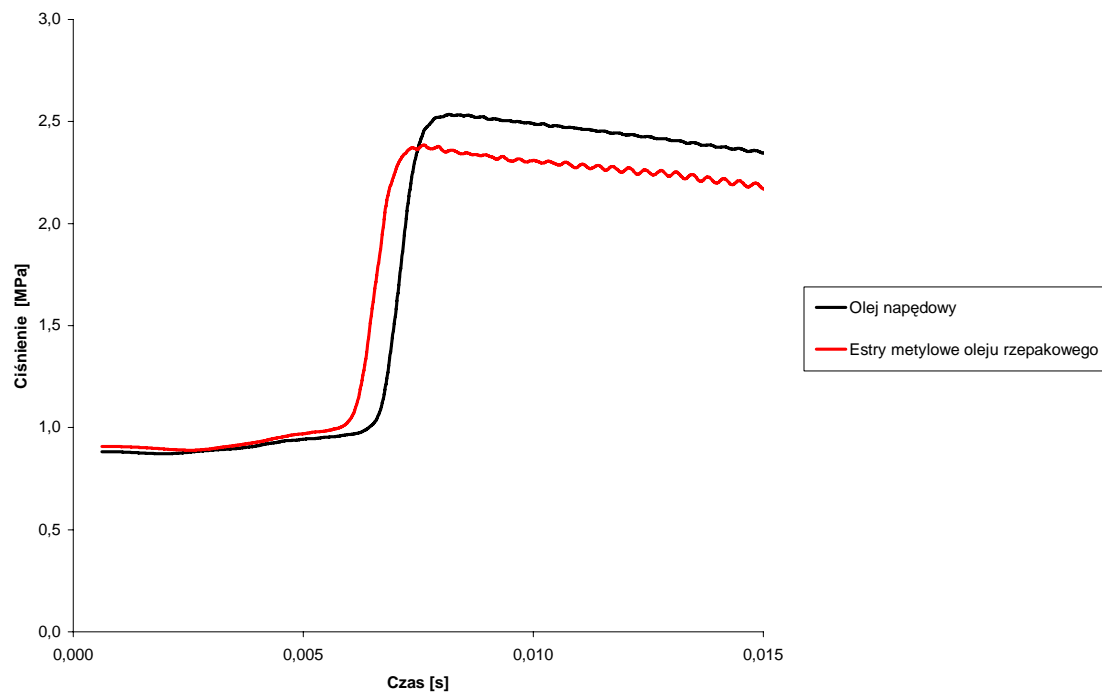
3.1 Badanie procesu spalania przy zmiennej temperaturze powietrza w komorze

Badania procesów spalania przeprowadzono w zakresie zmiany temperatury od 400°C do 700 °C. Różnice w przebiegu spalania dla temperatury 500°C i 600°C przedstawia rysunek 4 i 5.



Rys. 4. Przebieg ciśnienia spalania w komorze
 Temperatura początkowa: 500 ° C; Ciśnienie początkowe 0,9 [MPa]
 Ciśnienie wtrysku 140[MPa]; $\lambda=2$

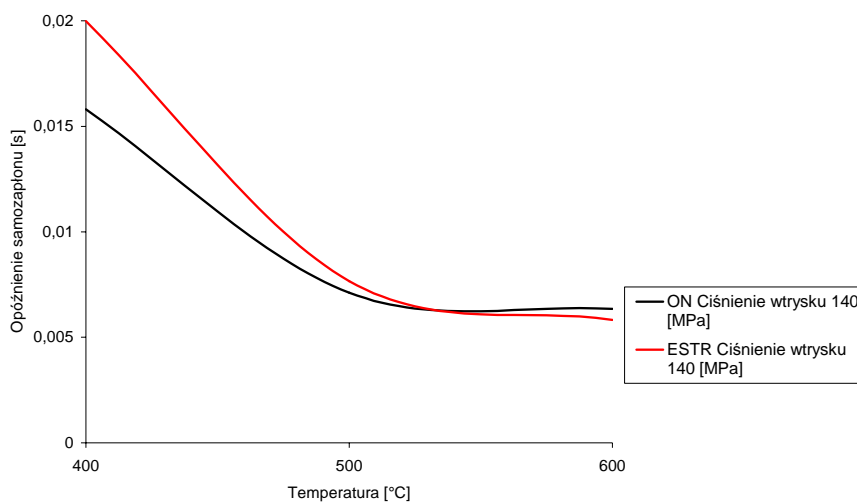
Fig. 4. Course of combustion in the combustion chamber
 Initial temperature: 500 ° C; initial pressure 0,9 [MPa], injection pressure 140[MPa]; $\lambda=2$



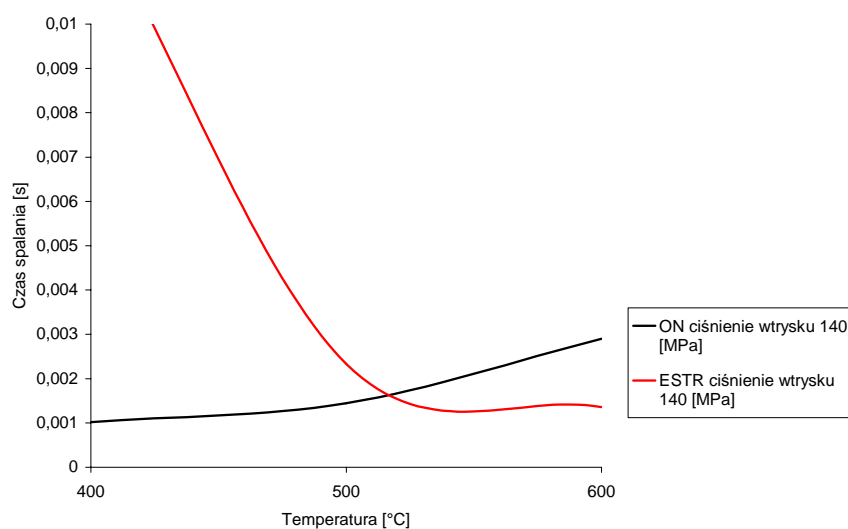
Rys. 5. Przebieg ciśnienia spalania w komorze
 Temperatura początkowa: 600 ° C; Ciśnienie początkowe 0,9 [MPa]
 Ciśnienie wtrysku 140[MPa]; $\lambda=2$

Fig. 5. Course of combustion in the chamber
 Initial temperature: 600 ° C; initial pressure 0,9 [MPa], injection pressure 140[MPa]; $\lambda=2$

Na podstawie przeprowadzonych badań procesu spalania w różnych temperaturach dla badanych paliw możliwe było określenie zmiany opóźnienia samozapłonu (τ_o) czasu spalania (τ_s) i przyrostu ciśnienia (Δp) co przedstawiają rysunki 6, 7 i 8.



Rys. 6. Przebieg opóźnienia samozapłonu w zależności od temperatury
Fig. 6. Course of ignition delay depending on temperature



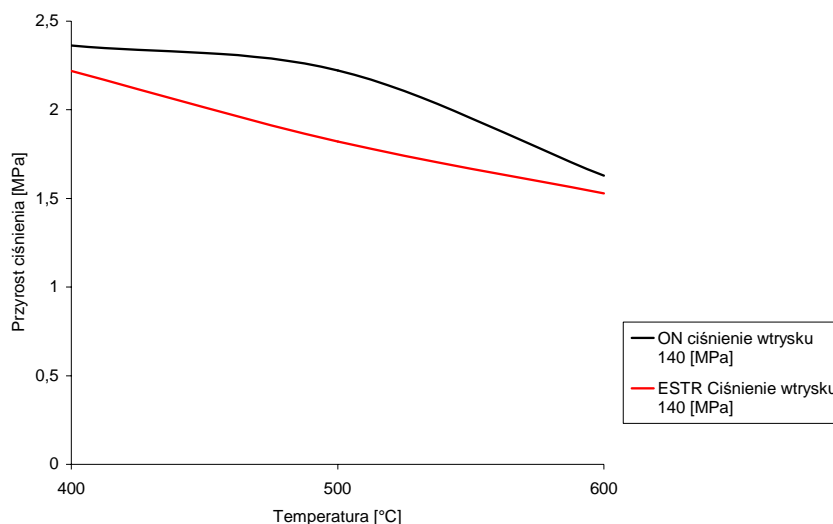
Rys. 7. Przebieg czasu spalania w zależności od temperatury
Fig. 7. Course of combustion time depending on temperature

3.2. Badanie procesu spalania przy zmianie ciśnienia wtrysku

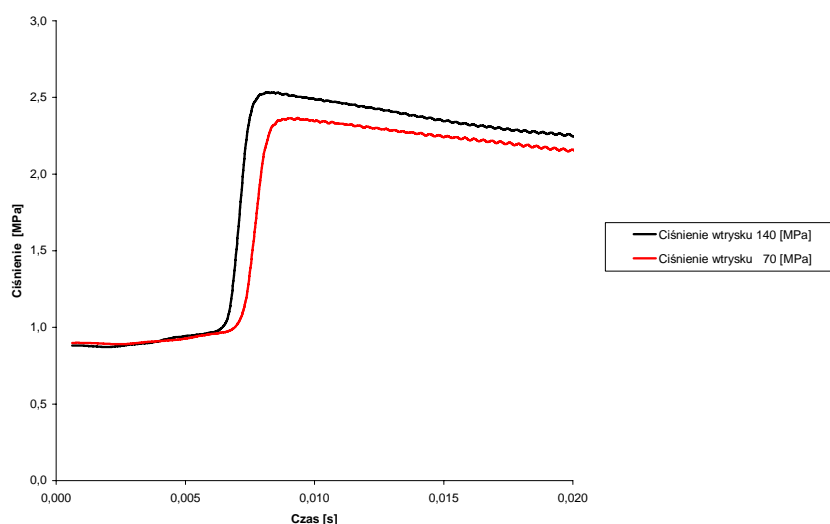
Istotny wpływ na przebieg spalania ma ciśnienie początkowe wtrysku, co powoduje dla obu paliw skrócenie okresu opóźnienia samozapłonu przy większym ciśnieniu wtrysku, jak również zwiększenie maksymalnego ciśnienia spalania (rys. 9 i 10).

3.3. Badanie przebiegu spalania przy zmianie współczynnika nadmiaru powietrza

Zmianę przebiegu spalania dla różnych współczynników nadmiaru powietrza (λ) przedstawiono dla temperatury 600 °C.



Rys. 8. Przyrost ciśnienia w zależności od temperatury
 Fig. 8. Pressure increase depending on temperature

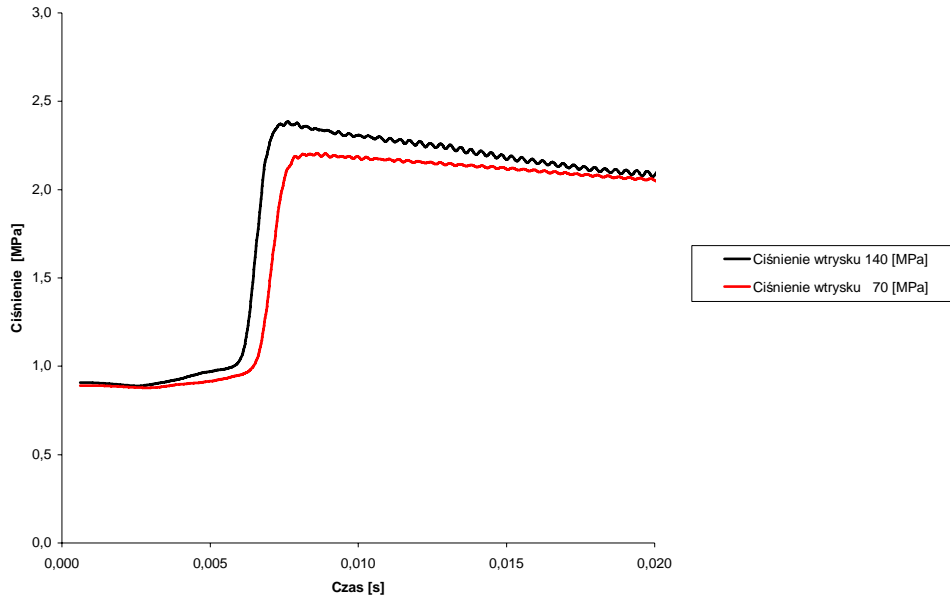


Rys. 9. Przebieg ciśnienia spalania w komorze
 Paliwo: Olej napędowy; Temperatura początkowa: 600 ° C
 Ciśnienie początkowe 0,9 [MPa]; $\lambda=2$
 Fig. 9. Course of combustion in the chamber
 Fuel: Diesel fuel Initial temperature: 600 ° C
 Initial pressure 0,9 [MPa], $\lambda=2$

4. Wnioski z badań

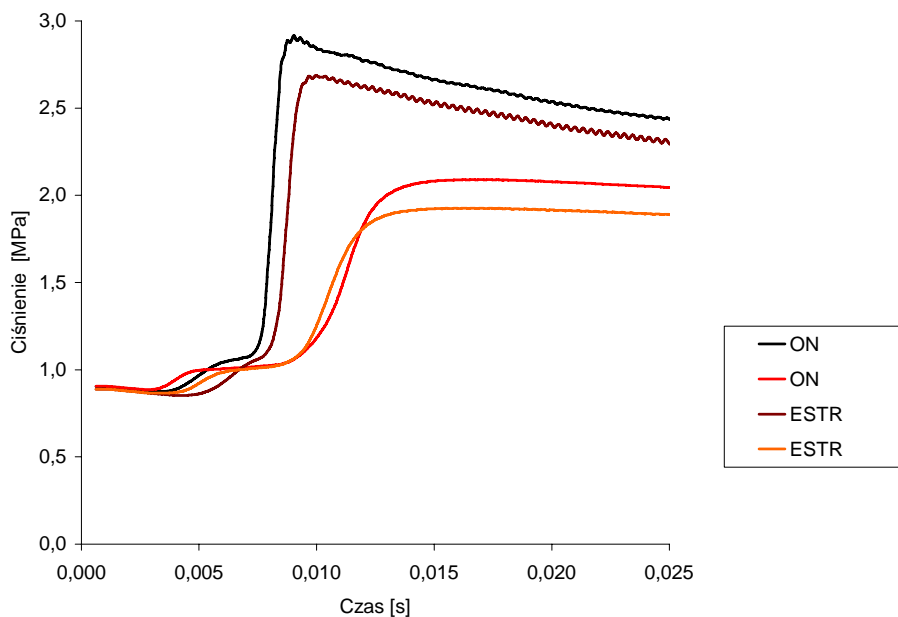
Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono:

- Okres opóźnienia samozapłonu w temperaturze 500°C dla oleju napędowego jest krótszy niż dla estrów metylowych oleju rzepakowego.
- W temperaturze 600°C estry metylowe charakteryzują się krótszym opóźnieniem samozapłonu niż olej napędowy.
- Czas spalania obu badanych paliw maleje ze wzrostem temperatury.
- Zwiększenie ciśnienia wtrysku powodowało skrócenie czasu opóźnienia samozapłonu i zmniejszenie przyrostu ciśnienia.
- Wzrost nadmiaru powietrza powodował wydłużenie okresu opóźnienia samozapłonu i powolne narastanie ciśnienia spalania.



Rys. 10. Przebieg ciśnienia spalania w komorze
Paliwo: Ester; Temperatura początkowa: 600 ° C
Ciśnienie początkowe 0,9 [MPa]; $\lambda=2$

Fig. 10. Course of combustion in the chamber
Fuel: Ester, Initial temperature: 600 ° C; initial pressure 0,9 [MPa], injection pressure 140[MPa]; $\lambda=2$



Rys. 11. Przebieg ciśnienia spalania w komorze
Temperatura początkowa: 500 ° C

Fig. 11. Course of combustion in the chamber
Initial temperature: 500 ° C

Literatura

- [1] Bocheński, C. I., Wasicki, K., Bocheńska, A. M., *Porównanie procesu tworzenia strugi i spalania oleju napędowego i estrów oleju rzepakowego w komorze badawczej przy jedno i dwufazowym wtrysku paliwa*. *Jurnal of KONES Internal Combustion Engines*. Warszawa 2005. Vol. 12, No.3-4, str.33 – 42.
- [2] Bocheński, C. I., Wasicki, K., *Proces spalania oleju napędowego przy jedno i dwufazowym wtrysku paliwa w komorze o stałej objętości*. *PTNSS KONGRES – 2005*. Bielsko Biała 2005. PTNSS P05-C141.