

## DIFFERENCES IN COURSES OF PHYSICOCHEMICAL PROCESSES IN THE SELF-IGNITION DELAY PERIOD WITH COMBUSTION OF MINERAL AND VEGETABLE FUELS

Cezary Bocheński

Motor Transport Institute  
Jagiellońska Street 80, 03-301 Warszawa, Poland  
tel.: +48 22 8113231

### Abstract

The delay period of the self-ignition has influence on the course of the combustion in the diesel engine. At that time go down multiple physicochemical processes which are relative to thermodynamic parameters and properties of the fuel. Rape-fuels differ with properties from the derv. One made estimation differences basic processes going down within a period of the delay the self-ignition at the usage biomass fuels. Experiment that have been performed and estimation chosen basic processes going down at that time are presented.

Schema of physicochemical processes dependences in the self-ignition period for rapeseed, the change of pressure during the self-ignition delay, schema of the course of mixture creation processes and chemical transformations before self-ignition, the course of heat release rate in the function of crankshaft rotation angle, the change of the course of combustion depending on the period of self-ignition delay, the comparison of the expansion for the diesel fuel stream and rapeseed oil in the research chamber the course of the stream creation process for the fuels with different viscosity, the velocity vectors and velocity the curve of fractionation for rapeseed oil and diesel fuel are presented in the paper.

**Keywords:** biofuels, combustion processes, self-ignition

## RÓŻNICE W PRZEBIEGU PROCESÓW FIZYCZNO-CHEMICZNYCH W OKRESIE OPÓŹNIENIA SAMOZAPŁONU PRZY SPALANIU PALIWI MINERALNYCH I ROŚLINNYCH

### Streszczenie

Okres opóźnienia samozapłonu ma wpływ na przebieg spalania w silniku Diesla. W tym czasie zachodzą złożone procesy fizyko-chemiczne, które zależą od parametrów termodynamicznych oraz właściwości paliwa.

Paliwa rzepakowe różnią się właściwościami od oleju napędowego. Dokonano oceny różnic procesów podstawowych zachodzących w okresie opóźnienia samozapłonu przy stosowaniu paliw roślinnych. Przeprowadzono badania i dokonano oceny wybranych procesów podstawowych zachodzących w tym czasie.

W artykule zaprezentowany został schemat zależności procesów fizykochemicznych w okresie samozapłonu dla oleju rzepakowego, zmiana ciśnienia w czasie opóźnienia samozapłonu, schemat przebiegu procesów tworzenia mieszaniny oraz przemian chemicznych przed samozapłonem, przebieg szybkości wywiązywania ciepła w funkcji kąta obrotu wału korbowego, zmiana przebiegu spalania w zależności od okresu opóźnienia samozapłonu, porównanie rozprzestrzenienia się strugi oleju napędowego i oleju rzepakowego w komorze badawczej, przebieg procesu tworzenia strugi dla paliw o różnej lepkości, wektory prędkości oraz pole prędkości, krzywa frakcjonowania dla oleju rzepakowego i napędowego

**Słowa kluczowe:** biopaliwa, spalanie, samozapłon

### 1. Wstęp

Okres opóźnienia samozapłonu ( $os$ ) w silniku Diesla, przyjmuje się umownie jako czas pomiędzy początkiem wtrysku paliwa (początek ruchu iglicy) a wyraźnym przyrostem ciśnienia

w stosunku do krzywej sprężania. W tym krótkim czasie (ok. 1μsek) zachodzą jednocześnie złożone procesy fizyczno-chemiczne, które mają decydujący wpływ na dalszy przebieg spalania. W czasie opóźnienia samozapłonu przebiegają takie procesy, jak wtrysk paliwa, jego podgrzanie i odparowanie oraz dyfuzja, prowadzące do wytworzenia mieszaniny paliwowo-powietrznej o odpowiedniej koncentracji i parametrach. Równocześnie wskutek oddziaływania temperatury i ciśnienia następuje rozwój złożonych procesów chemicznych w paliwie, prowadzący do wytworzenia pośrednich produktów utleniania, niezbędnych do rozwoju spalania.

Zachodzące procesy fizyko-chemiczne w okresie opóźnienia samozapłonu są niejednorodne w czasie i przestrzeni. Ze względu na krótki czas, jak i złożoność oraz wzajemny wpływ procesów zachodzących w tym czasie, problematyka ta jest trudna zarówno do analizy teoretycznej, jak i eksperymentów.

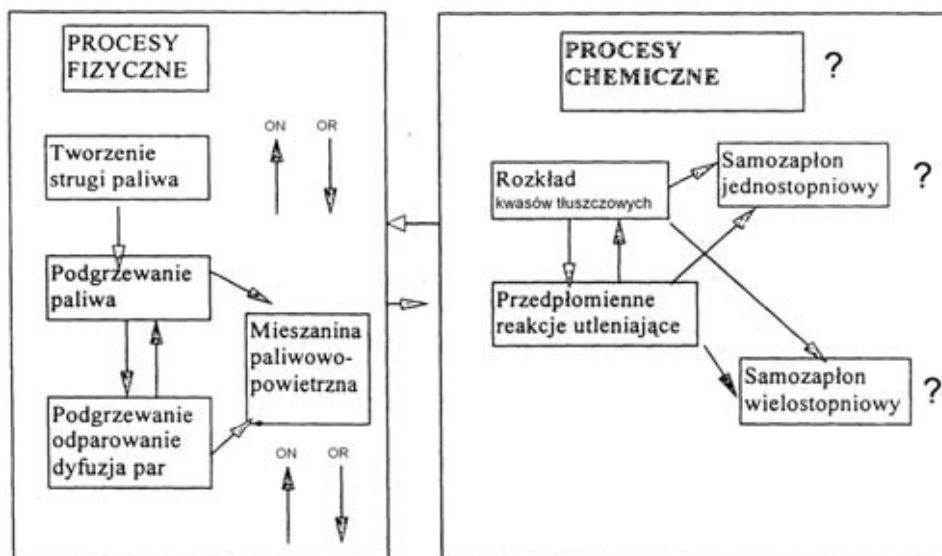
Przebieg procesów zachodzących w tym okresie zależy od parametrów termodynamicznych, jak również właściwości paliwa.

Paliwa rzepakowe posiadają różniące się od paliw mineralnych cechy chemiczne i właściwości fizyczne. Przebieg procesów w okresie opóźnienia samozapłonu dla olejów rzepakowych, będzie więc inny w porównaniu z olejem napędowym.

Przeprowadzono wiele badań podstawowych przebiegu procesów fizykochemicznych, zachodzących w okresie samozapłonu dla oleju napędowego. Brak jest natomiast badań jak procesy te przebiegać będą w przypadku zastosowania paliw rzepakowych (olej rzepakowy, estry oleju rzepakowego, mieszaniny z olejem napędowym). Ogólny schemat współzależności procesów zachodzących w okresie samozapłonu dla paliw rzepakowych przedstawia Rys. 1.

Przebieg procesów fizykochemicznych w okresie os. dla paliwa rzepakowego jest mniej korzystny niż dla oleju napędowego. Wtrysnięta struga paliwa będzie bardziej zwarta, krople w niej zwarte będą miały większą średnicę. Utrudniony będzie proces podgrzewania, odparowania i dyfuzji par paliwa. Potrzebne są wyższe temperatury do odparowania paliw rzepakowych. Wytworzona mieszanina paliwowo powietrzna będzie mniej jednorodna, i o mniejszej koncentracji paliwa.

Zupełnie nieznanym jest przebieg procesów chemicznych. Nie wiadomo jak będzie przebiegać rozkład kwasów tłuszczowych, jakie zachodzą reakcje przedpłomienne. Czy istnieje zapłon jedno czy wielostopniowy. Należy przy tym pamiętać, że procesy fizyczne i chemiczne przebiegają różnie dla poszczególnych paliw rzepakowych, zmiennie w zależności od parametrów termodynamicznych.



Rys. 1. Schemat zależności procesów fizykochemicznych w okresie samozapłonu dla oleju rzepakowego  
Fig. 1. Schema of physicochemical processes dependences in the self-ignition period for rapeseed

Samozapłon, a także okres opóźnienia czy temperatura samozapłonu są pojęciami umownymi i zależą od sposobu pomiaru (ciśnienie, intensywność świecenia) [2, 6]

Analityczna zależność na os. wywodząca się z kinetyki chemicznej określona została przez Siemianowa. Zakładając izotermiczny przebieg reakcji łańcuchowej i stałą szybkość reakcji, ustalono zależność empiryczną:

$$\tau_0 = A \cdot p^{-n} \cdot e^{\frac{E_u}{RT}}, \quad (1)$$

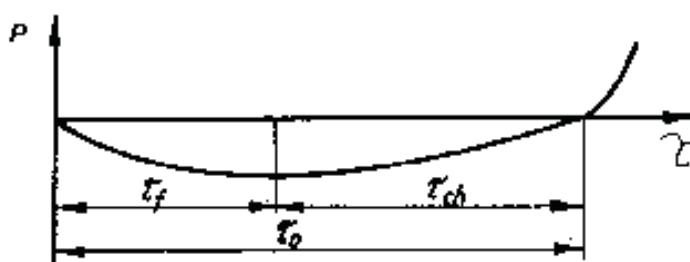
gdzie:

$P, T$  - ciśnienie i temperatura powietrza,

$E_u$  - energia aktywacji,

$n$  - rząd reakcji.

Zmianę ciśnienia w okresie opóźnienia samozapłonu ( $\tau_0$ ) przedstawia Rys. 2.



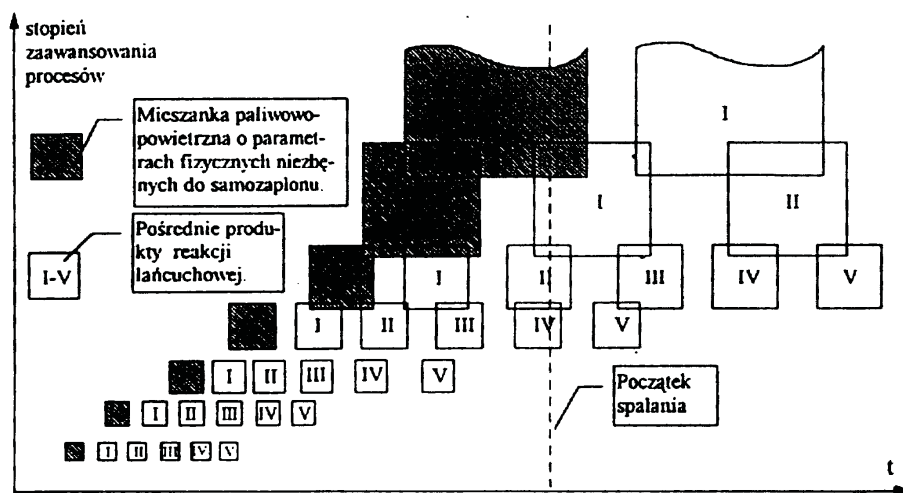
Rys. 2. Zmiana ciśnienia w czasie opóźnienia samozapłonu  
Fig. 2. The change of pressure during the self-ignition delay

Opóźnienie samozapłonu podzielono umownie na opóźnienie fizyczne w czasie którego dominują procesy fizyczne i opóźnienie chemiczne, w którym dominują przemiany chemiczne, niezbędne do zapoczątkowania spalania. Procesy chemiczne i fizyczne prowadzące do powstania mieszaniny o odpowiedniej temperaturze i koncentracji przebiegają różnie w zależności od właściwości paliwa i warunków termodynamicznych.

Samozapłon powstaje wtedy, kiedy mieszanina osiągnie odpowiednie parametry, a stopień przemian chemicznych pozwoli na progresywny rozwój reakcji. W określonych warunkach o rozpoczęciu spalania będą decydowały procesy fizyczne, a w innych chemiczne. Nie można rozważać mechanizmów tworzenia mieszaniny paliwo-powietrznej bez uwzględnienia wpływu przemian chemicznych. Prawdopodobny przebieg procesów fizycznych i chemicznych w czasie przedstawia Rys. 3. W miarę upływu czasu rośnie ilość mieszaniny paliwowo-powietrznej (pola ciemne) z równoległe przebiegającymi przemianami chemicznymi (I do V). Po pewnym czasie wytworzona zostanie mieszanina o parametrach niezbędnych do samozapłonu. Spalanie może się jednak nie rozpocząć, ponieważ stopień zaawansowania przemian chemicznych będzie niewystarczający. Dopiero po wytworzeniu nieodzownej ilości produktów pośrednich reakcji, następuje samozapłon. Jeżeli początek spalania uzależniony jest od rozwoju procesów fizycznych mamy do czynienia ze spalaniem dyfuzyjnym, w sytuacji odwrotnej ze spalaniem kinetycznym. Rozpoczęcie spalania może wystąpić w mieszaninach o różnych parametrach. Prawdliwość tę potwierdził autor w badaniach opóźnienia samozapłonu dla paliw wzorcowych o różnej liczbie cetanowej.

Obecny stan wiedzy i możliwości eksperymentu nie pozwalają na wystarczający opis mechanizmów przemian chemicznych zachodzących w paliwach roślinnych. Niezbędne jest jednak uwzględnienie tych przemian w analizie jakościowej mechanizmów tworzenia mieszaniny paliwowo - powietrznej.

Przedstawione zostaną badania wybranych procesów zachodzących w okresie samozapłonu dla olejów rzepakowych.

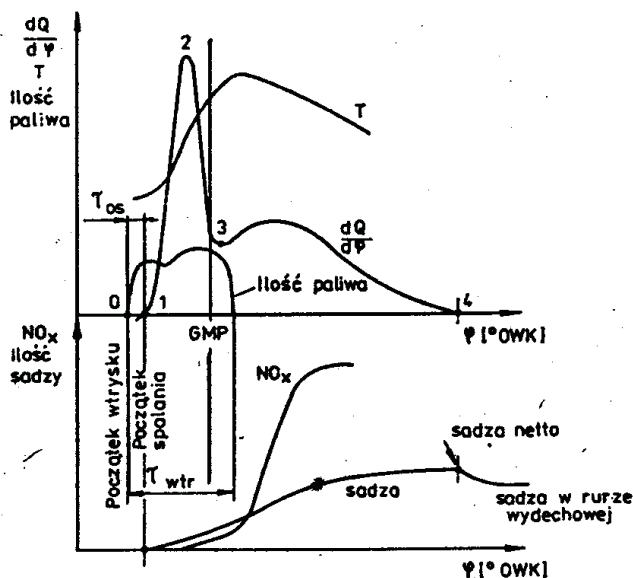


Rys. 3. Schemat przebiegu procesów tworzenia mieszanki oraz przemian chemicznych przed samozapłonem  
Fig. 3. Schema of the course of mixture creation processes and chemical transformations before self-ignition

## 2. Wpływ opóźnienia samozapłonu na przebieg spalania w silniku Diesla

W zależności od wielkości opóźnienia samozapłonu różny może być przebieg spalania. Typowy przebieg szybkości wydzielania ciepła podczas spalania przedstawia Rys. 4.

Po samozapłonie, w pierwszym okresie zwanym kinetycznym, następuje spalanie względnie jednorodnej mieszanki, wytworzonej głównie w czasie opóźnienia samozapłonu. Im dłużej trwa opóźnienie samozapłonu, tym dłuższy będzie okres spalania sterowanego kinetyką reakcji chemicznych. Potwierdza to prostoliniowy przebieg szybkości wywiązywania się ciepła. W tym okresie spalania obserwujemy gwałtowne przyrosty szybkości wywiązywania ciepła (odcinek 1-2, Rys. 4), a następnie - wskutek zmniejszania ilości mieszanki - następuje spadek tej szybkości (odcinek 2-3) aż do pojawienia się nieliniowego przebiegu szybkości spalania dyfuzyjnego.

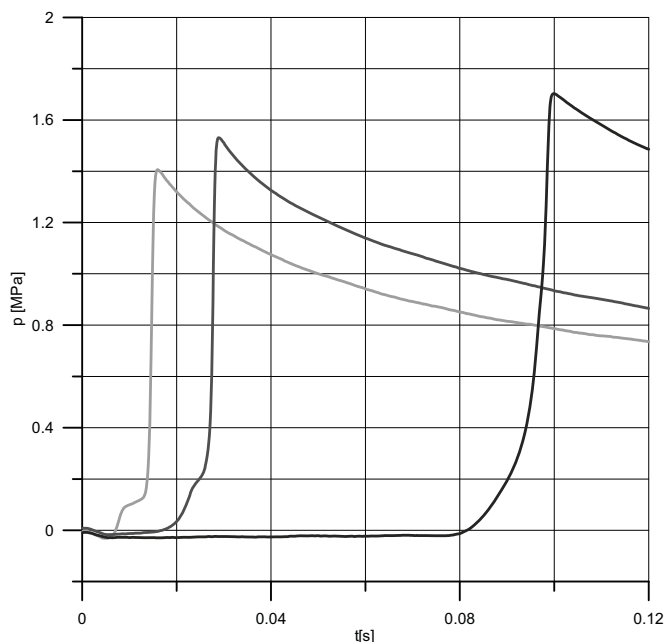


Rys. 4. Przebieg szybkości wywiązywania ciepła w funkcji kąta obrotu wału korbowego  
Fig. 4. The course of heat release rate in the function of crankshaft rotation angle

Przebieg spalania w tym okresie zależy głównie od doprowadzenia powietrza do strefy spalania. Wysoka temperatura i ciśnienie oraz niedobór tlenu powodują intensyfikację procesu tworzenia sadzy, tlenku węgla i węglowodorów.

Jeżeli proces powstawania mieszaniny sterowany jest ilością odparowanego paliwa przy nadmiarze powietrza, to spalanie ma znamiona spalania kinetycznego. Natomiast jeżeli powstawanie mieszaniny sterowane jest ilością doprowadzonego powietrza, to spalanie jest typu dyfuzyjnego.

Zmianę przebiegu spalania w zależności od okresu opóźnienia samozapłonu, przy różnych temperaturach powietrza w komorze dla oleju rzepakowego przedstawia Rys. 5.



Wpływ temperatury 100% ON

$p_k = 0,5 \text{ MPa}$

$p_{CR} = 65 \text{ MPa}$

$\lambda = 1,25$

— 500 °C

— 425 °C

— 350 °C

Rys. 5. Zmiana przebiegu spalania w zależności od okresu opóźnienia samozapłonu  
Fig. 5. The change of the course of combustion depending on the period of self-ignition delay

Proces spalania w silniku wysokoprężnym oleju napędowego jest bardzo złożonym procesem fizykochemicznym, w czasie którego procesy chemiczne i fizyczne zachodzą jednocześnie i wzajemnie na siebie oddziałują. Jednym z najważniejszych czynników mającym wpływ na przebieg podstawowych procesów fizykochemicznych podczas spalania są właściwości paliwa.

### 3. Różnice w przebiegu procesów fizykochemicznych w okresie opóźnienia samozapłonu dla oleju napędowego i paliw rzepakowych

Na przebieg procesów fizycznych i chemicznych w okresie samozapłonu mają wpływ właściwości paliwa. Procesy fizyczne zapewniają wytworzenie odpowiedniej ilości mieszaniny paliwowo - powietrznej o określonych parametrach termodynamicznych a procesy chemiczne prowadzą do wytworzenia określonej ilości pośrednich produktów procesu utleniania, niezbędnych dla powstania i rozwoju spalania.

Omówione zostaną różnice w przebiegu tych procesów dla oleju napędowego i paliw rzepakowych.

Procesy fizyczne

Procesy tworzenia strugi

Pierwszym procesem niezbędnym do rozpoczęcia spalania jest wytworzenie strugi paliwa o odpowiedniej charakterystyce. Powstałe w strudze kropelki paliwa podlegają podgrzaniu,

odparowaniu i dyfuzji par do otaczającego ośrodka. Procesy te są zmienne w czasie i niejednorodne w objętości komory, zachodzą zarówno w okresie opóźnienia samozapłonu (os) jak również w czasie spalania.

W rozwiązaniach technicznych paliwo jest dostarczane do komory spalania w postaci strugi swobodnej, bądź strugi natryśniętej na ścianki komory.

W obu najczęściej spotykanych w praktyce sposobach dostarczania paliwa, inaczej będą przebiegały procesy tworzenia mieszaniny paliwowo - powietrznej.

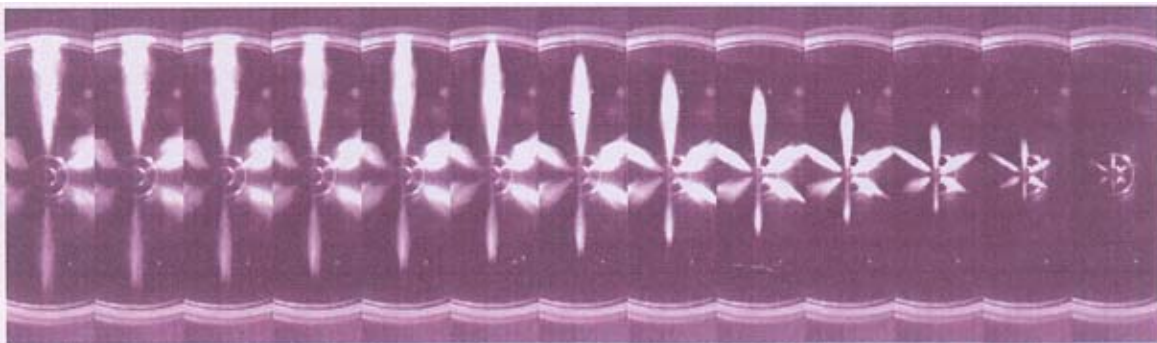
Ponieważ w czasie wtrysku paliwa zmienia się ciśnienie wtrysku, zmianie ulegają również wymiary i prędkości kropeł oraz sił aerodynamicznych.

Badania przeprowadzone na specjalnych stanowiskach wykazały zmianę niejednorodności rozkładu paliwa w poszczególnych fazach wtrysku [3]. Ze wzrostem ciśnienia otwarcia wtryskiwacza rozpylenie staje się bardziej jednorodne. Ponadto z doświadczeń wynika, że na początku i końcu wtrysku mamy znaczną niejednorodność wymiarów kropeł w strudze a średni wymiar kropli jest większy. W okresie środkowym wtrysku krople charakteryzują się mniejszymi wymiarami i bardziej równomiernym rozmieszczeniem.

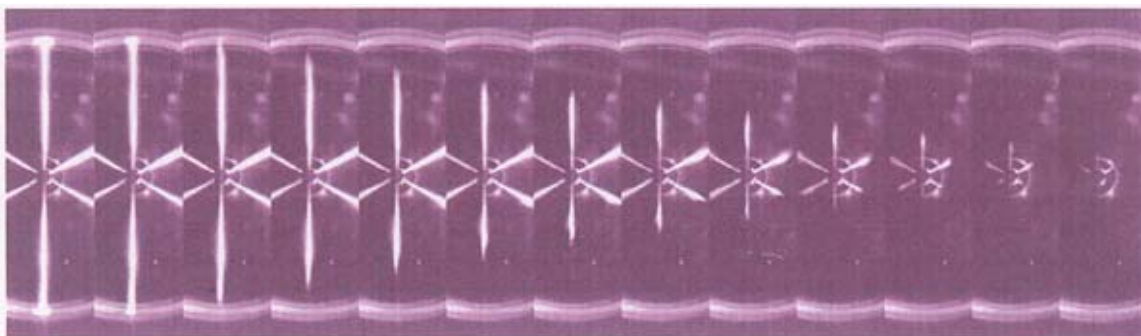
Przez dobór parametrów wtrysku i warunków, w jakich proces tworzenia strugi zachodzi dąży się do możliwie najlepszego dla spalania przebiegu wtrysku. Dotyczy to również paliw rzepakowych.

Do powstania samozapłonu i dalszego spalania dawki paliwa, decydujące znaczenie ma wielkość kropeł oraz ich rozmieszczenie w strudze. Ogólna ocena jakości rozpylenia dotyczy zwykle oceny długości strugi i kąta rozpylenia, w zależności od lepkości paliwa, ciśnienia wtrysku, przeciwciśnienia w komorze i innych czynników.

Nr 1



Nr 2



Rys. 6. Porównanie rozprzestrzenienia się strugi oleju napędowego (Nr 1) i oleju rzepakowego (Nr 2) w komorze badawczej. Ciśnienie wtrysku: 60 MPa, ciśnienie w komorze 0,1 MPa

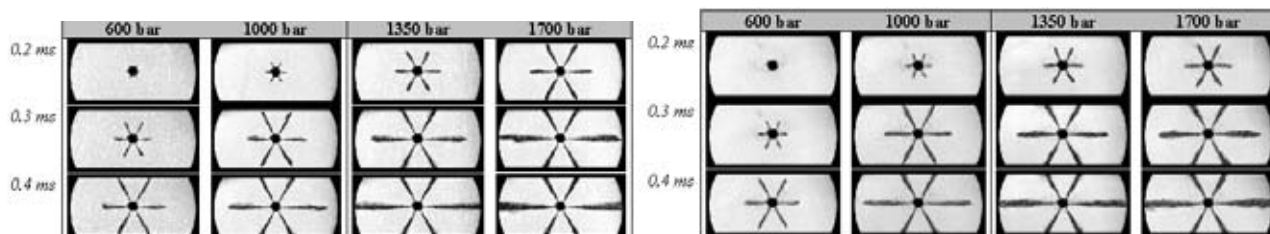
Fig. 6. The comparison of the expansion for the diesel fuel stream (No. 1) and rapeseed oil (No. 2) in the research chamber. Injection pressure: 60 MPa, pressure in chamber 0.1 MPa

Przeprowadzono badania poznawcze rozpylenia strugi oleju napędowego i rzepakowego w komorze badawczej przy zmiennym ciśnieniu wtrysku 60 MPa, 90 MPa i 120 MPa oraz przeciw-ciśnieniu w komorze 0,1 MPa. Lepkość oleju rzepakowego była ok. 6 razy większa niż

oleju napędowego. Przebieg procesu tworzenia strugi był filmowany z szybkością 18000 klatek/s. Na Rys. 6 przedstawiono strugi tych paliw przy ciśnieniu otwarcia wtryskiwacza 60 MPa.

Różnice pomiędzy lepkością oleju napędowego i estrów oleju rzepakowego jest mniejsza jak dla oleju rzepakowego. Przeprowadzono badanie porównania tworzenia strugi dla dwóch paliw badawczych o lepkości  $4,7 \text{ mm}^2/\text{s}$  (zdjęcia z lewej strony) i  $1,5 \text{ mm}^2/\text{s}$  (zdjęcia z prawej strony) o proporcjach podobnych jak dla oleju napędowego i estrów.

Przebieg procesu tworzenia strugi dla tych paliw i różnych ciśnień wtrysku przedstawia Rys. 7.

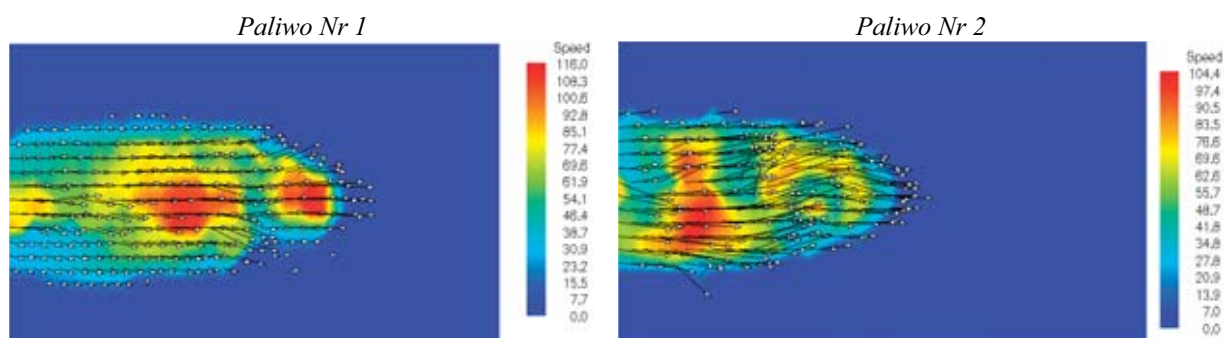


Rys. 7. Przebieg procesu tworzenia strugi dla paliw o różnej lepkości

Fig. 7. The course of the stream creation process for the fuels with different viscosity

Przeprowadzone badania potwierdzają różnice w zasięgu i prędkości czoła strugi.

Przeprowadzono również badania widma rozpylenia tych paliw przy użyciu dynamicznego analizatora laserowego LDV. Określono średnią Sautera i stwierdzono, że dla paliwa o trzykrotnie większej lepkości, średnica kropli wzrosła o około 50%. Przy użyciu układu pomiarowego PIV możliwe było określenie struktury i rozkładu prędkości w strudze, co przedstawia Rys. 8.



Rys. 8. Wektory prędkości oraz pole prędkości dla przypadku wtrysku paliwa Nr 1 (lepkość  $4,7 \text{ mm}^2/\text{s}$ ) i Nr 2 (lepkość  $1,5 \text{ mm}^2/\text{s}$ ), w odległości od wylotu z dyszy  $s = 64 \text{ mm}$ , ciśnienie wtrysku  $p = 500 \text{ bar}$ , czas od początku wtrysku  $t = 0,64 \text{ ms}$

Fig. 8. The velocity vectors and velocity field for the case of fuel number 1 injection (viscosity of  $4.7 \text{ mm}^2/\text{s}$ ) and number 2 (viscosity of  $1.5 \text{ mm}^2/\text{s}$ ), in the distance from the nozzle outlet  $s = 64 \text{ mm}$ , injection pressure  $p = 500 \text{ bar}$ , time from the injection beginning  $t = 0.64 \text{ ms}$

Paliwo o mniejszej lepkości miało mniejszy zasięg strugi o mniej uporządkowanym rozkładzie prędkości.

Przeprowadzone badania wpływu lepkości na charakterystykę strugi wykazały bardzo duży wpływ tego parametru paliwa na rozpylenie paliwa, wielkość kropeł oraz zasięg strugi. W przypadku paliw rzepakowych proces tworzenia mieszaniny paliwowo - powietrznej będzie utrudniony w porównaniu z olejem napędowym.

Proces nagrzewania i odparowania paliwa

Utworzona struga paliwa poddana oddziaływaniu powietrze w komorze spalania, ulega podgrzaniu i odparowaniu. Wyjściowym równaniem do opisu procesu nagrzewania jest ilość ciepła pobrana przez krople paliwa:

$$Q_1 = \alpha \cdot 4\pi r_0^2 (T_p - T_k), \quad (2)$$

gdzie:

$T_p$  i  $T_k$  - temperatura powietrza i kropli,  
 $\alpha$  - współczynnik przejmowania ciepła,  
 $r_0$  - promień kropli.

W równaniu zmianie ulegają powyższe współczynniki w zależności od warunków termodynamicznych i charakterystyki strugi.

Ilość ciepła pobrana przez krople równa jest ciepłu potrzebnemu do odparowania:

$$Q_2 = \beta \cdot 4\pi r_0^2 (p_s - p_0) \cdot q_i, \quad (3)$$

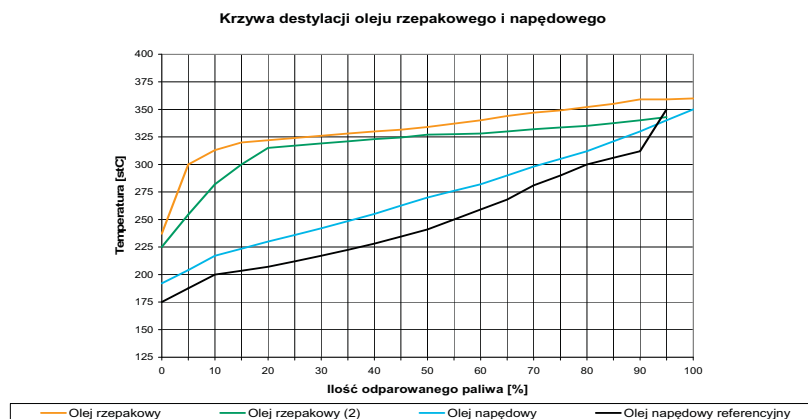
gdzie:

$\beta$  - współczynnik parowania,  
 $q$  - ciepło parowania,  
 $p_s - p_0$  - różnica ciśnień cząstkowych par paliwa i otoczenia.

Podobnie jak i w poprzednim równaniu współczynnik i ciepło parowania są zmienne w zależności od parametrów termodynamicznych i właściwości paliwa. Przy określonej temperaturze równowagi ilość ciepła pobrana przez kroplę równa jest ciepłu zużytemu na odparowanie.

W przypadku oleju roślinnego, przy większych wymiarach kropli, utrudnionej penetracji powietrza do zwartej strugi paliwa, proces odparowania jest utrudniony w porównaniu z olejem napędowym.

Temperatury odparowania paliw rzepakowych są wyższe o ok. 100°C od temperatur oleju napędowego, co potwierdza krzywa frakcjonowana przedstawiona na Rys. 9.



Rys. 9. Krzywa frakcjonowania dla oleju rzepakowego i napędowego  
 Fig. 9. The curve of fractionation for rapeseed oil and diesel fuel

Proces dyfuzji par paliw

Aby nastąpił samozapłon paliwa, konieczna jest odpowiednia koncentracja par paliwa i określona temperatura mieszaniny paliwowo-powietrznej. W powstaniu takiej mieszaniny podstawową rolę odgrywa proces dyfuzji.

Szybkość dyfuzji określonej masy par paliwa opisana jest równaniem Ficka:

$$\frac{dm}{d\tau} = -D_M \cdot \frac{d_c}{d_x}, \quad (4)$$

gdzie:

$D_M$  - współczynnik dyfuzji,  
 $\frac{d_c}{d_x}$  - gradient koncentracji dyfundującego składnika.



Współczynnik dyfuzji zależy od ciśnienia i temperatury. Proces dyfuzji par paliw rzepakowych jest powolniejszy ze względu na mniejszą koncentrację par paliwa i odmienny współczynnik dyfuzji.

Proces tworzenia mieszaniny paliwowo-powietrznej

W strudze paliwa wytworzona zostaje określona ilość mieszaniny paliwowo-powietrznej. Przyjmuje się dwa modele do opisu procesu tworzenia mieszaniny. Pierwszy z nich zakłada brak wzajemnego oddziaływania kropeł, drugi zwany modelem adiabatycznego nasycenia uwzględnia takie oddziaływanie.

W strudze występują oba modele tworzenia mieszaniny paliwowo-powietrznej w zależności od warunków w jakich proces zachodzi.

Przy spalaniu olejów rzepakowych, trudno odparowujących o większej średnicy kropeł, ciśnienie cząstkowe par paliwa i objętość mieszaniny w określonym czasie są mniejsze.

Procesy chemiczne

W okresie opóźnienia samozapłonu, równoległe z procesami fizycznymi przebiegają zmiany chemiczne w wiązaniach cząsteczkowych. Na przebieg tych procesów mają wpływ przede wszystkim właściwości i budowa chemiczna paliwa oraz warunki, w jakich one zachodzą. Od budowy chemicznej związku węglowodorowego zależą również pewne właściwości fizyczne paliwa. Ważne dla jakości rozpylenia, napięcie powierzchniowe i lepkość, zależą od wzajemnych stosunków składników paliwa. Również temperatura samozapłonu, ciepło właściwe, przewodnictwo cieplne, ciepło parowania, odporność na rozpad wiązań w cząsteczkach i inne właściwości związane są z budową chemiczną paliwa. Jest to przykład wzajemnych zależności czynników fizycznych i chemicznych.

Proces samozapłonu może być częściowo wyjaśniony przy pomocy teorii cieplnej i łańcuchowej. Pierwsza z nich zakłada, że progresywny rozwój reakcji możliwy jest wtedy, kiedy ilość ciepła wywiązanej przewyższa ciepło przekazane do otoczenia. Według natomiast teorii łańcuchowej rozwój reakcji zależy od szybkości rozpadu odpowiedniej ilości względnie trwałych pośrednich produktów reakcji utleniających. Mechanizm reakcji łańcuchowych polega na tym, że nowo utworzone cząsteczki będące w stanie wzbudzonym, oddają całą swą energię wyzwoloną w procesie tworzenia innym cząsteczkom, które natychmiast ulegają aktywacji w znacznie większym stopniu i gwałtowniej niż w normalnym procesie zderzeń.

Proces samozapłonu mieszaniny rozpoczyna się według tej teorii wówczas, kiedy liczba łańcuchów powstających przewyższa liczbę łańcuchów przerwanych.

Zakłada się hipotetycznie istnienie dwóch możliwości tworzenia aktywnych pośrednich produktów potrzebnych do rozwoju reakcji łańcuchowych-nadtlenkowy i formaldehydowy.

Brak jest poglądów o rozwoju reakcji utleniania olejów rzepakowych.

#### **4. Podsumowanie**

Okres samozapłonu ma istotny wpływ na dalszy rozwój spalania. Różnice właściwości paliw rzepakowych w porównaniu z olejem napędowym, powodują odmienny przebieg procesów fizyko-chemicznych zachodzących w okresie opóźnienia samozapłonu. Większa lepkość paliw rzepakowych powoduje, że struga paliwa jest bardziej zwarta o większym zasięgu a krople posiadają większą średnią średnicę. Proces podgrzewania i odparowania i dyfuzji tych paliw wymaga wyższych temperatur. Do wytworzenia niezbędnej dla samozapłonu mieszaniny paliwowo-powietrznej potrzebne są odpowiednio wyższe parametry termodynamiczne i zawirowanie.

Nieznany jest przebieg przedpłomiennych reakcji utleniających kwasów tłuszczowych paliw rzepakowych. Niezbędne jest prowadzenie prac badawczych w tym zakresie.

#### **Literatura**

[1] Bocheński, C., *Biodiesel paliwo rolnicze*, Wyd. SGGW, 2003.

- [2] Bocheński, C., Andrzejewski, J., *Zarys podstawowych procesów okresu opóźnienia samozapłonu w silnikach wysokoprężnych*, Biuletyn Inf. CBKSS, 1973.
- [3] Bocheński, C., i in., *Badanie wpływu właściwości fizyko-chemicznych paliwa do silników wysokoprężnych na charakterystykę wtrysku i trwałość elementów układu paliwowego*, Projekt badawczy 9TIZD00716, 2001.
- [4] Bocheński, C., i in., *Badania wpływu parametrów wtrysku i właściwości paliwa na proces spalania w silniku o ZS, przy zastosowaniu zasobnikowego układu paliwowego*, Projekt badawczy 5TI2D01723, 2005.
- [5] Bocheński, C., i in., *Badania procesu spalania oleju rzepakowego i jego mieszanin z dodatkami w komorze badawczej, przy zmiennych parametrach powietrza i paliwa*, Projekt badawczy w realizacji.
- [6] Sitkei, G., *Über den dieselmotorischen Zündverzögerung*, MTZ/6/1963.
- [7] Sitkei, G., *Kraftstoffaufbereitung und Verbrennung bei Dieselmotoren*, Springer Verlag, 1964.
- [8] Zabłocki, M., *Wtrysk i spalanie paliwa w silnikach wysokoprężnych*, WKiŁ, 1976.