

Ryszard WILK
Zygmunt ZIELIŃSKI

BADANIA CZASU SPALENIA KROPLI CIĘŻKIEGO PALIWA

Streszczenie. Zbudowano stanowisko pomiarowe do określenia czasu spalania kropli. Wykonano badania dla mazutu M-40-B, gudronu, benzyny i oleju napędowego. Przeprowadzono dyskusję otrzymanych wyników formułując prawidłowość pomiędzy czasem spalania i średnicą początkową kropli dla ciężkich paliw.

1. Wstęp

Znajomość czasu spalania kropli paliwa jest ważną informacją dla projektantów i użytkowników komór spalania ze względu na racjonalny dobór gabarytów komory oraz widma rozpylania. Wielkość tę wyprowadza się z prawa liniowej zależności kwadratu średnicy kropli od bieżącego czasu zjawiska:

$$d_0^2 - d^2 = k\tau \quad (1)$$

Przyjmując dla całkowitego wypalenia $d = 0$, czas osiąga wartość maksymalną τ_c . Otrzymuje się więc zależność:

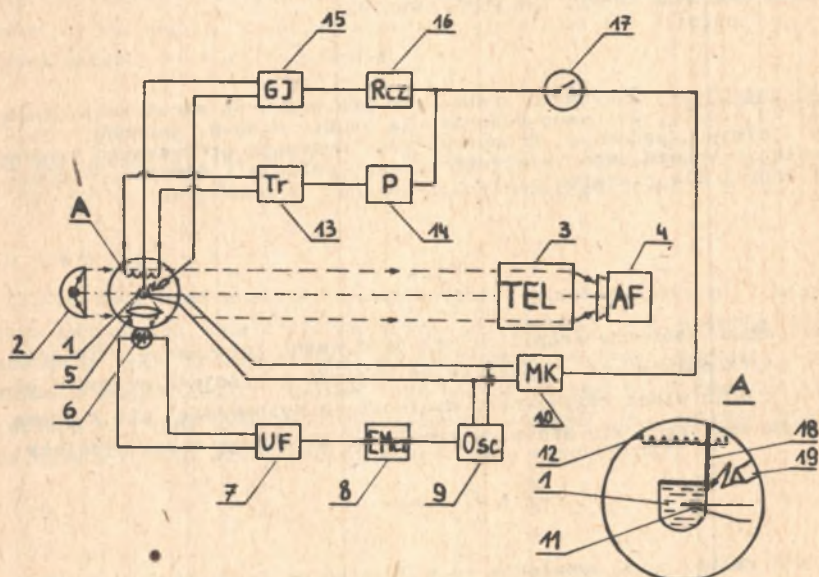
$$d_0^2 = k \tau_c \quad (2)$$

W równaniach tych d_0 jest średnicą początkową kropli, a k doświadczalnie wyznaczonym współczynnikiem zwanym również w literaturze charakterystyką lub stałą spalania [1], [3].

Zjawisko palenia się kropli ciężkiego paliwa typu mazut lub gudron przebiega w sposób bardziej złożony, niż to ma miejsce w przypadku lekkich paliw, np. benzyny, oleju napędowego [5], [7]. W kropli takiego paliwa temperatura monotonicznie rośnie, a po przekroczeniu pewnej wartości rozpoczyna się termiczny rozkład [4] substancji węglowodorowej. Charakterystycznym, zewnętrznym objawem tego jest pulsujący wzrost objętości kropli w trakcie spalania, również niekiedy występuje mikroeksplozja kropli. Powstaje więc pytanie, że o ile niesłuszne jest tu prawo kwadratowe (równanie (1)), to czy słuszna jest liniowa zależność kwadratu średnicy początkowej od czasu spalania (równanie (2)). Zagadnienie to było już badane dla niektórych, niezbyt ciężkich paliw radzieckich [1].

2. Stanowisko badawcze

Określenie czasu spalania kropli w funkcji początkowej średnicy nie wymaga kosztownych i czasochłonnych rozwinięć czasowych dokonanych za pomocą kamery do szybkich zdjęć [7]. Zbudowano więc stanowisko badawcze (rys. 1) umożliwiające pomiar czasu, średnicy początkowej oraz temperatury w kropli.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

Kropla 1 zawieszona na pętli z drutu platynowego 18 o średnicy 0,08 mm zapalana była energią iskrzy elektrycznej od elektrody 19. Generator iskrzy 15, którym był transformator Tesli, dawał wielokrotną iskrzę, o czasie trwania zmiennym skokowo w granicach 0,1±0,5 s, dzięki regulatorowi czasu iskrzy 16. Średnica początkowa kropli oświetlonej źródłem światła 2 mierzona była aparatem fotograficznym 4 wyposażonym w teleobiektyw 3. Pomiar czasu spalania realizowano za pomocą fotodiody 6 sprzężonej za pośrednictwem układu 7 z elektronicznym miernikiem czasu 8. W celu wyeliminowania wpływu temperatury na układ z fotodiody zastosowano soczewkę skupiającą 5. Pomiar i rejestrację temperatury w środku kropli wykonywano termoparami 11 Pt Th ± Pt o średnicy drutów 0,08 mm, oscylografem pętlicowym 9 oraz motokompensatorem 10, który służył do bieżącej kontroli temperatury. Przed zapłonem kroplę podgrzewano do zadanej temperatury grzałką 12 poprzez

transformator 13, a przekaźnik 14 wyłączał grzałkę w chwili uruchomienia generatora iskry przełącznikiem 17.

Pomiaru średnicy początkowej dokonywano przed podgrzewaniem, ponieważ wykonywanie tej czynności po podgrzaniu a przed zapłonem dawało niejednoznaczne trudne do interpretacji wyniki [2]. Wynikły błąd pomiaru średnicy był mały, gdyż parowanie takiej substancji jest mało wydajne w niskich temperaturach.

3. Wyniki pomiarów

Przeprowadzono badania dla dwóch rodzajów ciężkich paliw: mazutu M-40-B oraz gudronu 33% z M.Z.R. w Płocku, a także w celu porównania dla lżejszych paliw: benzyny oraz oleju napędowego.

Ekwiwalentną średnicę kropli obliczono ze wzoru:

$$d_o = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6} \frac{4}{3} \frac{1}{3} \frac{1}{\sqrt{\pi}} A^{3/2} - v_p - v_t} \quad (3)$$

gdzie:

A - splanimetrowana powierzchnia obrazu kropli powstałego z wyświetlenia błony filmowej na ekranie,

σ - powiększenie,

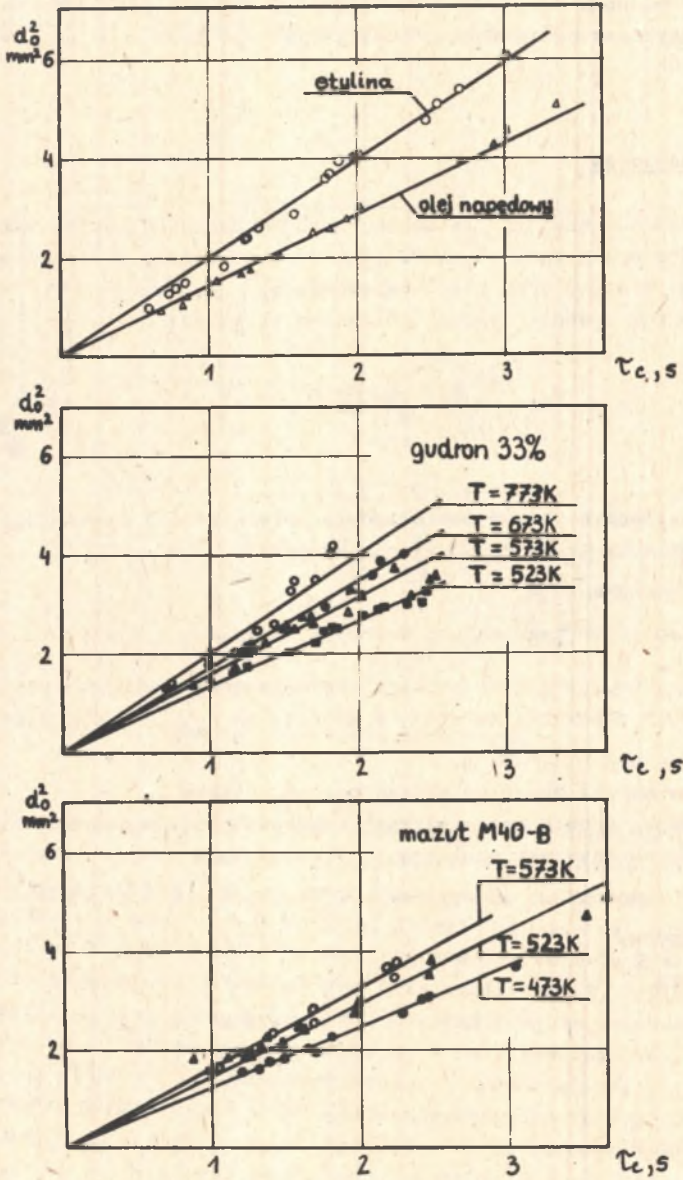
v_t, v_p - objętość zanurzonych w kropli termopary i pętli.

Maksymalny błąd względny pomiaru ekwiwalentnej średnicy kropli oszacowano za pomocą różniczki zupełnej i wyniósł on $\delta_{d_o} \cong 9,8\%$. Błąd względny pomiaru czasu był $\delta_t \cong 0,5\%$.

Otrzymane wyniki badań przedstawiono na rysunku 2.

Aproksymując prostą najmniejszych kwadratów [6] uzyskano następujące wartości charakterystyki spalania:

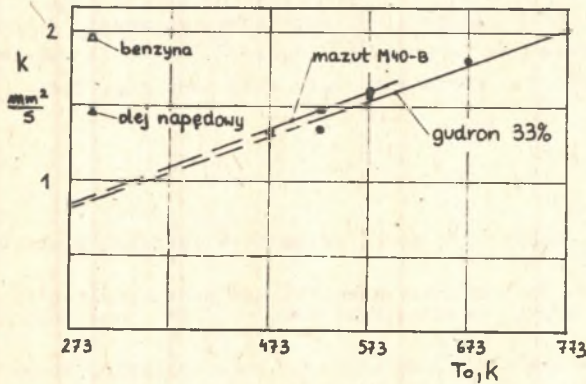
Benzyna, temperatura początkowa	$T_o = 293 \text{ K}, k = 1,975 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$
Olej napędowy	$T_o = 293 \text{ K}, k = 1,475 \text{ "}$
Gudron 33%	$T_o = 523 \text{ K}, k = 1,35 \text{ "}$
	$T_o = 573 \text{ K}, k = 1,575 \text{ "}$
	$T_o = 673 \text{ K}, k = 1,815 \text{ "}$
	$T_o = 773 \text{ K}, k = 2,05 \text{ "}$
	$T_o = 773 \text{ K}, k = 2,05 \text{ "}$
Mazut M-40-B	$T_o = 473 \text{ K}, k = 1,25 \text{ "}$
	$T_o = 523 \text{ K}, k = 1,48 \text{ "}$
	$T_o = 573 \text{ K}, k = 1,60 \text{ "}$



Rys. 2. Zależność między czasem spalania i średnicą początkową kropli

Błędy wyznaczania charakterystyki spalania są to błędy współczynnika nachylenia prostej w układzie współrzędnych d_0^2, τ_c [6]. Maksymalne błędy względne wynoszą dla mazutu $\delta_k \approx 12\%$, gudronu $\delta_k \approx 7\%$ oraz benzyny i oleju napędowego $\delta_k \approx 10\%$.

Wartości charakterystyk spalania przedstawiono również na rysunku 3.



Rys. 3. Wpływ temperatury początkowej na charakterystykę spalania

4. Dyskusja wyników i wnioski

Zależność pomiędzy kwadratem średnicy początkowej kropli a czasem spalania aproksymowano linią prostą, mimo że dla małych kropeł daje to dosyć duży błąd. Wynika on stąd, że dla tych kropeł błąd pomiaru objętości termopary V_t i drutu platynowego V_p jest względnie duży, gdyż powierzchnia rozdziału cieczy od drutów jest niewyraźna. Jest to więc błąd metody, a nie prawidłowości.

Na podstawie otrzymanych wyników można więc sformułować pogląd, że mimo niezachowania prawa liniowej zależności kwadratu średnicy kropli od czasu spalania ciężkich, ciekłych węglowodorów istnieje prostoliniowa zależność między kwadratem początkowej średnicy kropli d_0^2 a czasem spalania τ_c . Sformułowanie to ma sens statystyczny jako uśrednienie dla dużej liczby obserwacji, gdyż zjawisko spalania kropli ma bardzo skomplikowany przebieg przez wystąpienie mikroeksplozji wywołanej termicznym rozpadem substancji kropli.

Zaobserwowana prawidłowość ma duże znaczenie praktyczne dla projektantów komór paleniskowych. Na podstawie badań rozpylania za zimno można obliczyć czas potrzebny na spalanie kropli i stąd - objętość komory paleniskowej.

Zgodnie z oczekiwaniami wartość charakterystyki spalania dla lekkich paliw jest większa. Ze wzrostem temperatury początkowej kropli wzrastają wartości charakterystyk, gdyż łatwiejsze są zapłon, parowania i przebieg

reakcji spalania. Przyrównując je do wartości podawanych w literaturze [1], [3], wielkości te są 2÷3 razy większe, ale są one zbliżone do literaturowych w niskich początkowych temperaturach.

Autorzy niniejszego opracowania nie wnikali w złożony mechanizm spalania kropli ciężkiego węglowodoru [4, 5, 7]. Nie badano również wpływu zmiennych warunków zewnętrznych, np. konwekcji wymuszonej, ciśnienia, rodzaju utleniacza. Nie dopalono również resztki koksowej. Zagadnienia te są bogato przedstawione, np. w pracy [8]. Celem pracy było wykrycie i sformalizowanie zależności, która może mieć duży sens praktyczny.

LITERATURA

- [1] Kułagin L.W., Ochotnikow S.S.: Sziganije tiazolykh zhidkikh topliw. Nedra, Moskwa 1967.
- [2] Luchowski Cz.: Wizualizacja zjawiska spalania kropli oraz badanie czasu spalania kropli ciężkiego węglowodoru. Pr. dypl. mgr ITC Pol. Śl. Gliwice 1979.
- [3] Petela R.: Paliwa i ich spalanie. Cz. II. Spalanie. Skrypt Pol. Śl. Gliwice 1978.
- [4] Petela R., Wilk R., Zieliński Z.: Investigations of the Combustion of a Heavy Oil Droplet with Simultaneous Cracking Inside. Bulletin de l'Academie Polonaise de Sciences, Vol. XXVI, No 12, 1978.
- [5] Shyn R.R. and all: Multi-component heavy fuel drop histories in a high temperatura flow field. Fuel, 1972, Vol. 51, April.
- [6] Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów. WNT, Warszawa 1965.
- [7] Wilk R.: Badania spalania kropli odpadowego paliwa ciekłego. ZN Pol. Śl. Energetyka 68. Gliwice 1978.
- [8] Williams A.: Combustion of Droplets of Liquid Fuels. A. Review. Combustion and Flame 21, 1 - 31, 1973.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Stanisław SŁUPEK

Praca wpłynęła do Redakcji w dniu 10 grudnia 1980 r.

Исследование времени сжигания капли тяжёлого жидкого топлива

Р е з ю м е

В статье приводится разработанный испытательный стенд для определения времени сжигания капли. Исследования проводились на мазуте, гудроне, бензине и дизельном топливе. После анализа результатов было установлена правильность времени сжигания в зависимости от начального диаметра капли для тяжёлых топлив.

The investigations of the time of heavy fluel drop combustion

S u m m a r y

An arrangement for determining the time of drop combustion has been built. The tests for masout, gudron, petrol and diesel fuel have been carried out. The dependence between, the time of drop combustion and primary drop size heavy fuel is discussed in the paper.