ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: ENERGETYKA z.111 Nr kol. 1092

Ryszard WILK
Zygmunt ZIELIŃSKI

Instytut Techniki Cieplnej
Politechnika Śląska, Gliwice

TEMPERATURA ZAPŁONU ROZPYLONEJ STRUGI PALIWA PŁYNNEGO[1)]

Streszczenie. Przeprowadzono krytyczną analizę znormalizowanych metod oznaczania temperatury zapłonu. Przedstawiono koncepcję nowej metody opartej na pomiarze temperatury zapłonu strugi kropel oraz stanowisko badawcze pracujące wg tej metody. Wykonano badania eksperymentalne, w których stwierdzono, że temperatura zapłonu strugi olejów opałowych jest o 44 - 122 K niższa od temperatury zapłonu oznaczonej wg metody Marcussona. Stwierdzono, że istotny wpływ na temperaturę zapłonu strugi wywiera temperatura powietrza rozpylającego.

1. WSTĘP

Proces spalania jest inicjowany poprzez samozapłon lub zapłon wymuszony. Samozapłon, zwany też eksplozją lub wybuchem cieplnym, związany jest z szybkim wzrostem ciśnienia i przez to czasami ma skutki niszczące. Znacznie częściej jest spotykany w praktyce zapłon wymuszony, który powodowany jest za pomocą wysokotemperaturowego źródła ciepła, np. obcym płomieniem, iskrą elektryczną lub mechaniczną, gorącymi spalinami, lub gorącym ciałem stałym. Każde źródło zapłonu o odpowiedniej energii i temperaturze jest w stanie zapalić mieszankę w określonych granicach składu. W przypadku cieczy palnych, przy ustalonych parametrach w cienkiej warstwie nad powierzchnią strugi ustala się równowagowe ciśnienie pary nasyconej, które jest zależne tylko od temperatury cieczy oraz od odległości od tej powierzchni wg prawa Ficka.

Temperatura zapłonu oraz temperatura palenia dają informację o właściwościach cieczy palnych. Stanowią one podstawę prawną do określenia kategorii niebezpieczeństwa pożarowego oraz wybuchowego. Istnieje wiele, objętych Polskimi Normami, metod oznaczania temperatury zapłonu i palenia cieczy palnych oraz kilka metod nieznormalizowanych [11]. Są to metody: Marcussona (PN-65/C-04008), Abla-Pensky'ego (PN-65/C-04007), Martensa-

1) Praca wykonana w ramach CPBP nr 02.18, kierunek 2, zadanie 2.1.3.7

Pensky'ego (PN-67/C-04009), Brenkena (BN-64-0539-03). Metodyka badawcza we wszystkich ww. metodach polega w przybliżeniu na tym, że badaną ciecz umieszcza się w tyglu lub innym naczyniu, które podgrzewa się do założonej temperatury w atmosferze powietrza. Nad powierzchnią cieczy ustala się koncentracja par, która zależy od temperatury oraz odległości od zwierciadła cieczy. Za pomocą obcego płomienia lub iskry elektrycznej wywołuje się zapłon w odpowiedni dla danej metody sposób. Próby prowadzi się dla wielu temperatur cieczy dopóki nie zmierzy się najniższej temperatury, przy której pojawia się krótkotrwały zapłon mieszanki parowo-powietrznej. Ta temperatura jest przyjmowana jako temperatura zapłonu, a koncentracja par przy tej temperaturze odpowiada dolnej granicy zapłonu. Temperatura palenia odpowiada takiej temperaturze cieczy, przy której zjawisko spalania trwa co najmniej 3 s [8]. Temperatura palenia jest wyższa od temperatury zapłonu i ma większe znaczenie dla praktyki spalania paliw ciekłych.

Przegląd stosowanych w świecie metod badawczych oraz rozważania teoretyczne zjawiska zapłonu cieczy przedstawione są w pracach [1,4,5,6,7].

Istnieją również metody obliczeniowe określania temperatury zapłonu paliw ciekłych [10]. Istotnym ograniczeniem metod obliczeniowych jest konieczność znajomości składu chemicznego oleju oraz par tego oleju. W przypadku ciężkich paliw węglowodorowych będących mieszaniną bardzo wielu związków chemicznych, określenie składu chemicznego jest praktycznie niemożliwe i należy posługiwać się eksperymentem w celu określenia temperatury zapłonu.

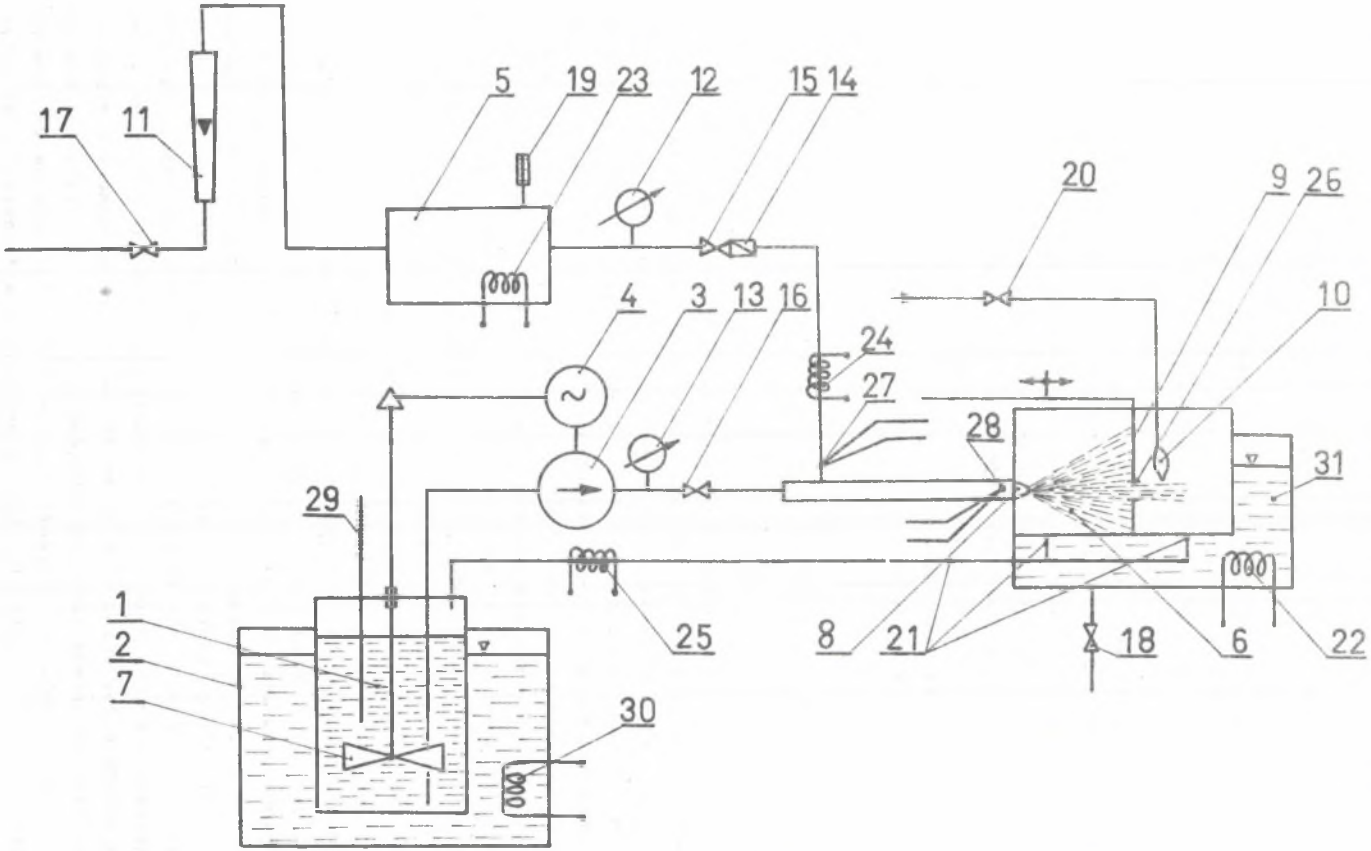
Wszystkie dotychczas znane metody eksperymentalne oznaczania temperatury zapłonu cieczy palnych mają jedną wspólną cechę, a mianowicie bada się zapłon par cieczy dyfundujących do otoczenia z ogrzewanej, swobodnej powierzchni cieczy. Tak oznaczane temperatury zapłonu i palenia mają względny charakter, tzn. za ich pomocą można tylko porównywać ze sobą ciecze pod kątem ich zapalności. W urządzeniach przemysłowych warunki zapłonu są zdecydowanie inne. Ciecz palna jest rozpylana, a parowanie rozpylonej strugi jest znacznie intensywniejsze, gdyż większa jest powierzchnia kontaktu paliwa i utleniacza. Koncentracja par cieczy jest większa, a więc łatwiejszy jest zapłon lub, inaczej rozumując, zapłon par jest możliwy przy niższej temperaturze niż np. w metodzie Maroussona, przyjętej przez Polskie Normy jako obowiązująca dla olejów opałowych. Ma to konsekwencje dla niebezpieczeństwa pożarowego. Kierując się ww. przesłankami w niniejszym artykule zaproponowano inną, eksperymentalną metodę określania temperatury zapłonu rozpylonej strugi paliwa płynnego (t_{zs}).

2. KONCEPCJA METODY OZNACZANIA TEMPERATURY ZAPOŁONU STRUGI [9]

W praktyce przemysłowej paliwo ciekłe jest często rozpylane za pomocą innego czynnika, którym może być powietrze, gaz lub para wodna. Dlatego przyjęto, że ciecz będzie rozpylana sprężonym powietrzem. Zapłon strugi rozpylonych kropel jest realizowany za pomocą płomyka gazowego o wymiarach takich jak w metodzie Marcussona, tzn. o długości 10 mm, średnicy 2 mm przy czasie kontaktu z cieczą ~ 1 s. Podgrzewanie oleju realizowano również w taki sam sposób jak w metodzie Marcussona, tzn. z początkową prędkością 6K/min, a następnie 3 K/min. Przyjęto, że stosunek strumienia powietrza rozpylającego do strumienia oleju może się zmieniać w granicach 0,1 - 3 kg/kg oraz powietrze może być podgrzewane do 250°C. Założono, że jako temperaturę zapłonu strugi t_{zs} przyjmuje się temperaturę oleju w zbiorniku, przy której następuje zapłon strugi oleju.

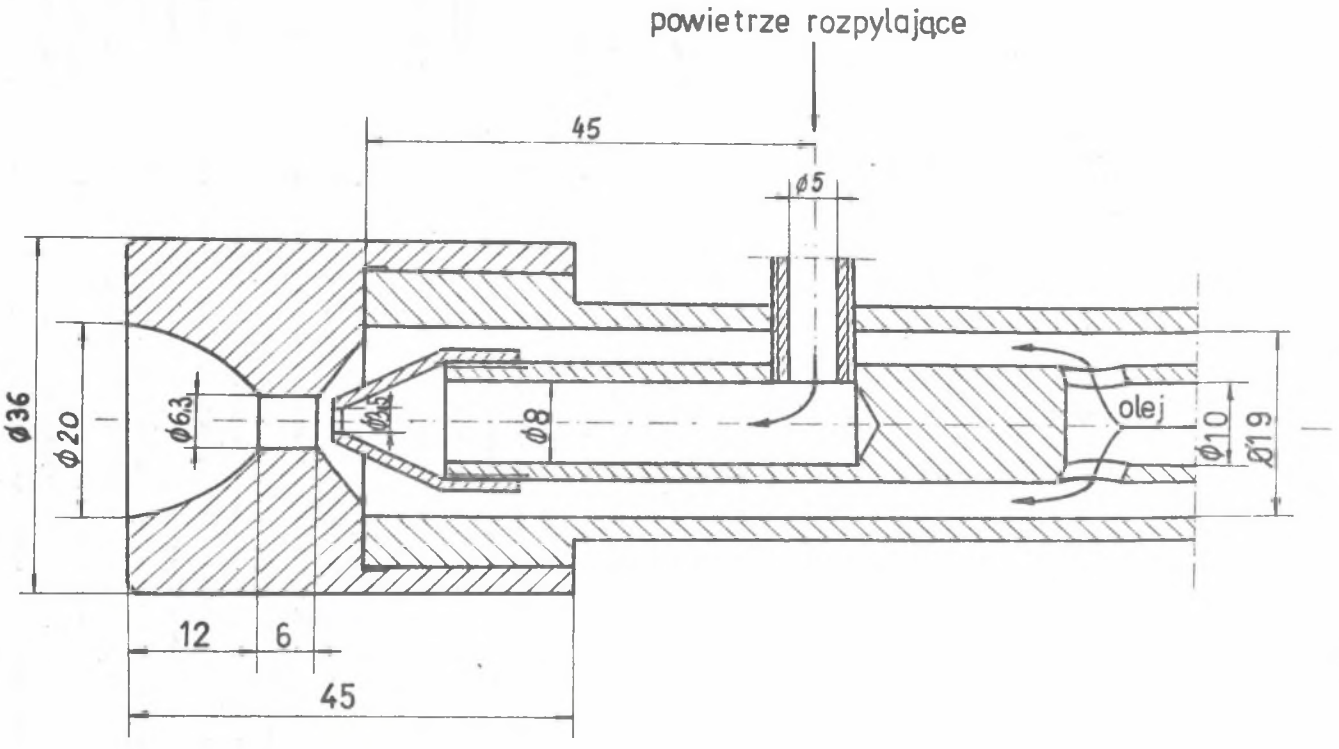
3. OPIS METODY ORAZ STANOWISKA DO OZNACZANIA TEMPERATURY ZAPŁONU STRUGI

Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rysunku 1. Badany olej ogrzewany był w zbiorniku 1 wyposażonym w łopatkowe mieszadło 7. Zbiornik umieszczony był w termostacie 2. Pompa zębata 3 o wydajności 10 - 100kg/h podawała olej do rozpylacza 8. Silnik elektryczny 4 o mocy 0,25 kW przy 1400 obr/min napędzał poprzez przekładnię pasową pompę oleju 3 oraz mieszadło 7. Sprężone powietrze, którego strumień $\dot{G}_a$ mierzony był rotametrem 11, płynęło przez elektryczny podgrzewacz 5 do rozpylacza 8. Zakres pomiarowy rotametru 5 - 50 kg/h przy ciśnieniu 0,6 MPa. Schemat rozpylacza przedstawiono na rysunku 2. Czynnik rozpylający, czyli powietrze płynie środkowym kanałem, a rozpylana ciecz na zewnątrz. Ciecz rozpylano w zamkniętej przestrzeni, którą była komora rozpylania 6. Ze względu na drożność średnica dyszy rozpylającej nie powinna być mniejsza od 2,5 mm przy rozpylaniu i spalaniu ciężkich olejów. Jednakże wówczas płomień olejowy jest zbyt długi (ok. 3 m) jak na warunki laboratoryjne. Dlatego zastosowano przesłonę 9 wraz z odpowiednim otworem 26, który przedstawiono na rysunku 3. Zadaniem tego otworu było wycinanie z całej rozpylonej strugi małej strugi powietrzno-kroplowej, zapalanej następnie płomykiem gazowym 10. Przesuwna przesłona 9 stanowiła równocześnie osłonę dla płomyka gazowego, chroniąc go przed zdmuchnięciem. Ponadto otwór 26 w przesłonie zabezpieczał przed cofnięciem się płomienia do komory rozpylania. Wykorzystano tu zasadę gaszącego działania otworu [3]. Krople, które nie przeszły przez otwór 26, uderzały w przesłonę 9, spływały na dno komory rozpylania 6, a następnie olej wracał przewodami spływowymi 21 do zbiornika oleju 1.



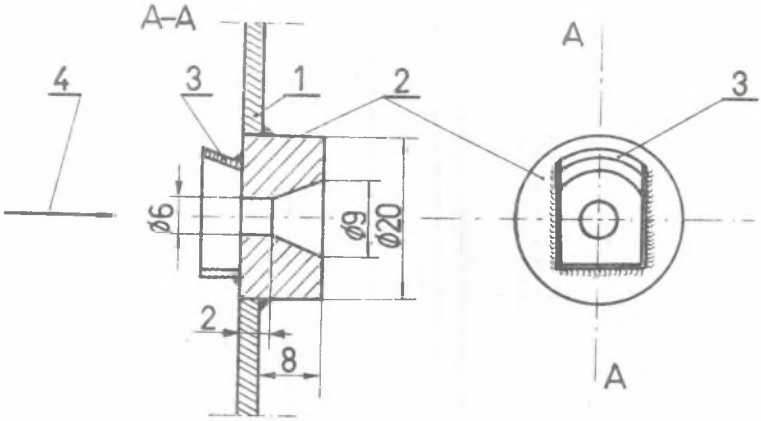
Rys. 1. Schemat stanowiska do oznaczania temperatury zapłonu strugi

Fig. 1. Scheme of the stand for the determination of the stream ignition temperature



Rys. 2. Rozpylacz

Fig. 2. Atomizer



Rys. 3. Otwór w przesłonie
1 - przesłona, 2 - dysza, 3 - rynienka, 4 - kierunek wlotu strugi

Fig. 3. Screen hole
1 - screen, 2 - nozzle, 3 - gutter, 4 - stream inlet

Komora rozpylania znajdowała się w kąpieli wodnej 31 o temperaturze $\approx 70^{o}C$. Strumień oleju G_o mierzono poprzez pomiar ubytku oleju w czasie. Manometry 12 i 13 służyły do pomiaru nadciśnienia powietrza rozpylającego p_{ma} oraz oleju p_{mo}. Ich zakres pomiarowy wynosił 0 - 0,6 MPa. Termometry 19 i 29 mierzyły temperaturę rozpylającego powietrza t_a oraz rozpylanego oleju t_o. Termopary NiCr-Ni 27 i 28 służyły do kontroli temperatur powietrza i oleju. Powietrze było ogrzewane podgrzewaczami 23 i 24, a badany olej podgrzewaczami 30 i 25. W stanowisku zamontowano zawór zwrotny 14 oraz zawory odcinające 15,16,17 i 18. Zaworem 20 regulowano gazowy płomyk zapalający.

Początkowo szybkość podgrzewania badanego oleju w zbiorniku wynosiła 6 K/min, a po osiągnięciu temperatury oleju o około 30 K niższej od przewidywanej temperatury zapłonu szybkość podgrzewania zmniejszano do 3K/min. Równocześnie otwierano zawór powietrza rozpylającego i podgrzewano je do zadanej temperatury. Otwierając zawór 16, doprowadzano testowany olej do rozpylacza. Płomykiem gazowym manipulowano w taki sposób, aby czas kontaktu z rozpylaną cieczą wynosił około 1 s. W przypadku braku zapłonu strugi testowana ciecz była podgrzewana do wyższej temperatury. Próby zapłonu były ponawiane do momentu pojawienia się płomienia w małej strużce za otworem w przesłonie. Jako temperaturę zapłonu strugi przyjmowano najniższą temperaturę cieczy wskazywaną przez termometr 29, przy której pojawiał się zapłon strugi. Jak wykazała praktyka eksperymentalna, niekiedy był to ledwie widoczny zapłon par natychmiast zdmuchiwany,

a niekiedy było to od razu stabilne palenie się strugi. Z tego względu nie rozróżniano temperatury zapłonu strugi od temperatury palenia się strugi i przyjmowano jedną wartość.

Ze względu na niedokładności pomiarowe pomiar temperatury zapłonu strugi wykonywano dwukrotnie i jako wynik podawano średnią arytmetyczną.

4. WYNIKI POMIARÓW TEMPERATURY ZAPŁONU STRUGI

Przeprowadzono pomiary temperatury zapłonu strugi t_{zs} dla kilku wybranych olejów palnych. W celach porównawczych wykonano dla tych samych olejów pomiary temperatury zapłonu t_z oraz palenia t_p metodą Marcussona. Wykonano również jedną serię pomiarową dla mieszaniny oleju opałowego 2 (mazut M-40) z pyłem węglowym [2]. Wyniki pomiarów przedstawiono w tablicy 1 oraz na rysunku 4.

Pomiary przeprowadzono dla dwóch wartości temperatury powietrza rozpylającego $t_a = 20^oC$ oraz $t_a = 150^oC$. Stosunek strumienia czynnika rozpylającego do strumienia oleju ma istotne znaczenie dla zjawiska rozpylania. Dlatego zmieniano tę wielkość w granicach 0,55 - 1 kg/kg. Ciśnienia oleju i powietrza starano się utrzymywać na stałym poziomie, tzn. $p_{mo} \approx 0,05$ MPa, $p_{ma} \approx 0,15$ MPa.

5. ANALIZA WYNIKÓW I WNIOSKÓW

Temperatura zapłonu strugi jest wyraźnie mniejsza od temperatury zapłonu oznaczonej metodą Marcussona. Różnica ta przy temperaturze powietrza $t_a = 20^oC$ wynosi od 44 K dla oleju napędowego IZ-20 do 56 K dla oleju opałowego 3 (mazut M-100). Wstępne podgrzanie powietrza rozpylającego do $t_a = 150^oC$ zwiększa tę różnicę nawet do 122 K dla oleju opałowego 3. Stwierdzono, że wartość temperatury zapłonu strugi w sposób istotny zależy od parametrów powietrza rozpylającego, tzn. od temperatury tego powietrza oraz jego strumienia odniesionego do strumienia oleju. Szczególnie duży wpływ ma temperatura powietrza. Przyrost tej temperatury o 130 K daje spadek temperatury zapłonu strugi o około 29 K dla mazutu M-100.

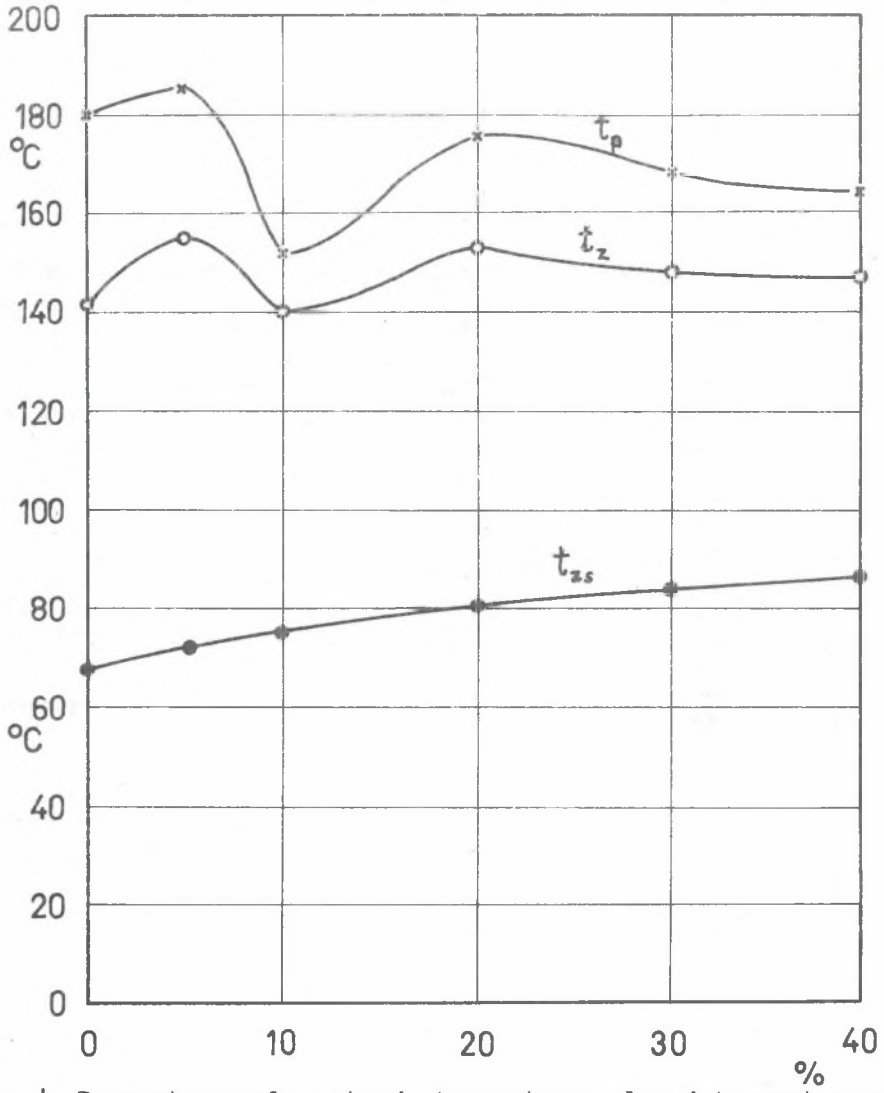
Dodatek pyłu węglowego systematycznie podnosi temperaturę zapłonu strugi. Dodanie do oleju 40% pyłu powoduje wzrost temperatury zapłonu strugi z 68^oC na 85^oC, czyli o około 25%. Natomiast przy badaniu temperatury zapłonu i palenia metodą Marcussona nie stwierdzono takiego wzrostu. Temperatury te zmieniały się w niejednoznaczny sposób w miarę dodawania pyłu węglowego.

Zaproponowana metoda pomiaru temperatury zapłonu strugi pozwala na symulowanie bardziej rzeczywistych warunków zapłonu. Ma to duże znaczenie dla praktyki eksploatacyjnej płomieni olejowych oraz dla definiowania kate-

Tablica 1

Temperatura zapłonu strugi t_{zs}, temperatura zapłonu t_z i temperatura palenia t_p

Lp.	Olej	Metoda Marcussona		Temperatura zapłonu strugi	Warunki pomiaru temperatury zapłonu strugi
		t_z, °C	t_p, °C	t_{zs}, °C	
1	olej napędowy IZ-20	65	68	21	t_a = 20°C, $\dot{G}_a/\dot{G}_o$ = 0,57 kg/kg, p_{mo} = 0,05 MPa, p_{ma} = 0,15 MPa, $\dot{G}_o$ = 17,5 kg/h
2	olej maszynowy	150	180	80	t_a = 150°C, $\dot{G}_a/\dot{G}_o$ = 0,55 kg/kg, p_{mo} = 0,04 MPa, p_{ma} = 0,15 MPa, $\dot{G}_o$ = 13 kg/h
3	olej napędowy 2 (mazut M-40)	141	180	97	t_a = 20°C, $\dot{G}_a/\dot{G}_o$ = 0,57 kg/kg, p_{mo} = 0,05 MPa, p_{ma} = 0,145 MPa, $\dot{G}_o$ = 27,4 kg/h
4		141	180	67,7	t_a = 150°C, $\dot{G}_a/\dot{G}_o$ = 0,57 kg/kg, p_{mo} = 0,05 MPa, p_{ma} = 0,145 MPa, $\dot{G}_o$ = 27,4 kg/h
5	olej opałowy 3 (mazut M-100)	194	210	144	t_a = 20°C, $\dot{G}_a/\dot{G}_o$ = 0,57 kg/kg, p_{mo} = 0,145 MPa, $\dot{G}_o$ = 27,4 kg/h
6		194	210	72,1	t_a = 150°C, $\dot{G}_a/\dot{G}_o$ = 0,57 kg/kg, p_{mo} = 0,05 MPa, p_{ma} = 0,145 MPa, $\dot{G}_o$ = 27,5 kg/h
7		194	210	138,1	t_a = 20°C, $\dot{G}_a/\dot{G}_o$ = 1 kg/kg, p_{mo} = 0,05 MPa, p_{ma} = 0,145 MPa, $\dot{G}_o$ = 27,5 kg/h
8	mieszanina 80% M-40 20% mazutu MZR Płock	155	197	98	t_a = 150°C, $\dot{G}_a/\dot{G}_o$ = 0,55 kg/kg, p_{mo} = 0,04 MPa, p_{ma} = 0,15 MPa, $\dot{G}_o$ = 23,5 kg/h
9	olej opałowy 3 (mazut MZR Płock)	148,2	194,5	119	t_a = 40°C, $\dot{G}_a/\dot{G}_o$ = 0,7 kg/kg, p_{mo} = 0,05 MPa, p_{ma} = 0,14 MPa, $\dot{G}_o$ = 23,8 kg/h



Rys. 4. Temperatura zapłonu strugi, temperatura zapłonu i temperatura palenia dla mieszaniny mazutu M-40 z pyłem węglowym z KWK Polska, w funkcji udziału pyłu R_{88} = 39%, t_a = 150°C, $\dot{G}_a/\dot{G}_o$ = 0,57 kg/kg, p_{mo} = 0,05 MPa, p_{ma} = 0,145 MPa; - ● - ● - temperatura zapłonu strugi; - o - o - temperatura zapłonu; - x - x - temperatura palenia

Fig. 4. Stream ignition temperature, flash point and burning temperature of free oil surface of mixture of oil No 2 and coal dust, as a function of coal mass fraction R_{88} = 39%, t_a = 150°C, $\dot{G}_a/\dot{G}_o$ = 0,57 kg/kg, p_{mo} = = 0,05 MPa, p_{ma} = 0,145 MPa; - ● - ● - stream ignition temperature; - o - o - flash point; - x - x - burning temperature of free oil surface

gorii niebezpieczeństwa pożarowego i wybuchowego. Temperatura zapłonu strugi jest niższa od temperatury zapłonu oznaczonej metodą Marcussona.

LITERATURA

[1] Autoignition temperature of liquid chemicals. An American National Standard. E 659-78.

[2] Badania wpływu parametrów spalania... Praca n-b NB-300/RME-2/RME/3/86 (zad. 2.1.3.7), ITC Pol.Śl., Gliwice 1988.

[3] Chomiak J: Podstawowe problemy spalania. PWN, Warszawa 1977.

[4] Combustion and Flame, 1971, Vol.16, No 1, p, 89-124.

[5] Fizika Gorenija i Vzryva, 1985, Vol.21, nr 4, s. 39-44.

[6] Fizika Gorenija i Vzryva, 1984, Vol.20, nr 6, s. 33-38.

[7] Loader K.: Flash points. Fire Prevention Science and Technology, 1981, No 24.

[8] Paliwa i ich spalanie. Cz. V. Laboratorium. Praca zbiorowa. Skrypt Pol.Śl., Gliwice 1984.

[9] Wilk R., Zieliński Z.: Zgłoszenie patentowe "Sposób i urządzenie do oznaczania temperatury zapłonu paliwa płynnego", Gliwice 29.03.1989.

[10] Zaborowska-Szpyrkowicz I., Kłosińska B., Gąsiorowski P.: Określenie i obliczanie temperatur zapłonu roztworów cieczy palnych. Ochrona Przeciwpożarowa w Przemyśle Chemicznym. Nr 1, 1978, cz.I oraz Nr 3, 1978, cz. II.

[11] Zdanowski M.: Podstawy oceny zagrożenia wybuchem. Instytut Wydawniczy CRZZ, Warszawa 1974.

Recenzent: Prof. dr inż. Kazimierz Moszoro

ТЕМПЕРАТУРА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ РАСПЫЛЕННОЙ СТРУИ ЖИДКОГО ТОПЛИВА

Р е з ю м е

Проведен критический анализ стандартных методов определения температуры воспламенения. Представлены: идея нового метода, основанного на измерении температуры воспламенения струи капель, а также испытательный стенд, работающий по этому методу. Бым проведены экспериментальные исследования, которые подтвердили, что температура воспламенения струи о 44 - 122 К ниже температуры воспламенения по методу Маркуссона. На температуру воспламенения воздействует температура распыляющего воздуха.

IGNITION TEMPERATURE OF ATOMIZED STREAM
OF LIQUID FUEL

S u m m a r y

A oritical analysis of the standard method of determination of the ignition temperature was made. There was presented a conception of a new method that based on the measurement of the ignition temperature of droplet stream. The experimental instalation working under this method was also shown. The experimental investigations were carried out and it was found that the ignition temperature of atomized stream was diminished by 44 - 122 K of the Marousson's flash point. The temperature of the atomized air effected significantly the ignition temperature of the droplet stream.