

RYSZARD PETELA, ANDRZEJ HARCUŁA

Katedra Energetyki Ciepłej

ANDRZEJ ZDZIENICKI

BADANIA PRĘDKOŚCI I STABILIZACJI PŁOMIENIA PRZY SPALANIU NIEKTÓRYCH PALIW GAZOWYCH

Streszczenie: Dla gazów określonych w tabelicy 1 przeprowadzono pomiary normalnej prędkości spalania oraz pomiary w celu opisanie wpływu różnych stabilizatorów (rys. 3) na przebieg charakterystycznych linii zdmuchnięcia, odrywania i powracania płomienia. Wyniki badań przedstawiono za pomocą wykresów.

1. Wstęp

Coraz częściej ostatnio stosuje się w kraju gaz ziemny i gaz butlowy zwany potocznie gazem płynnym. W pracy niniejszej podjęto więc próbę określenia dla tych gazów niektórych właściwości mających znaczenie w zagadnieniach technologii spalania tych gazów. Badaniom poddano normalną prędkość spalania oraz warunki stateczności płomienia przy wylocie z palnika. Zamiast gazu ziemnego zastosowano metan techniczny. Dla pełniejszego porównania uzyskiwanych wyników poddano również takim samym badaniom gaz z sieci miejskiej.

Skład chemiczny badanych gazów podano w tabelicy 1 [4],[5].

2. Pomiary normalnej prędkości spalania

Do orientacyjnych pomiarów normalnej prędkości spalania zastosowano metodę polegającą na określeniu geometrycznego kształtu wewnętrznego stożka spalania za pomocą palnika Bunsena. Przy znanej war-

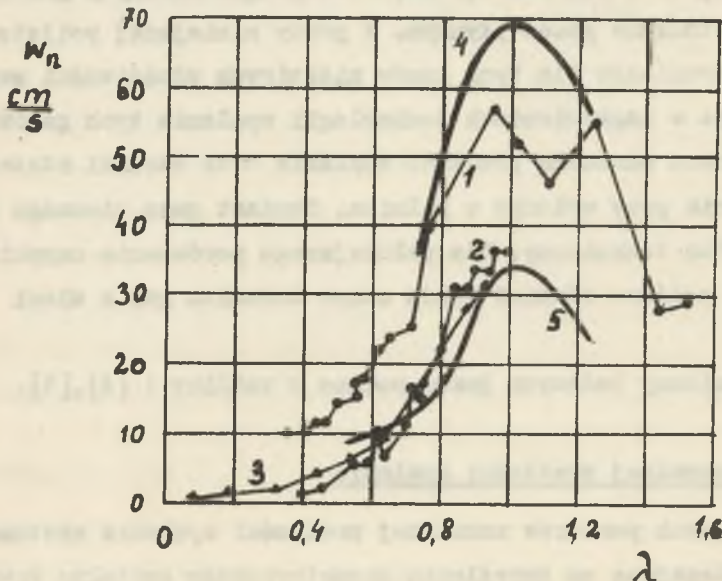
tości średniej prędkości w wypływie mieszanki palnej z palnika o okrągłym przekroju o średnicy 6 mm określano normalną prędkość spalania w_n na podstawie wzoru

$$w_n = w \sin \alpha, \quad (1)$$

w którym wartość α oznaczającą połowę kąta wierzchołkowego stożka określano na podstawie powiększonych fotografii. Użyta instalacja pomiarowa [5] pozwoliła na określenie zależności prędkości w_n od stosunku λ nadmiaru powietrza do spalania

$$w_n = f(\lambda). \quad (2)$$

Zależność (2) przedstawiono w oparciu o średnie wyniki badań na rysunku 1 (linie 1, 2 i 3). Zależność (2) dotyczącą badanego gazu miejskiego (linia 1) można by porównać z wykresem takiej zależności dla przykładowego gazu miejskiego (linia 4), zaczerpniętym z literatury [2]. Wykres normalnej prędkości spalania gazu

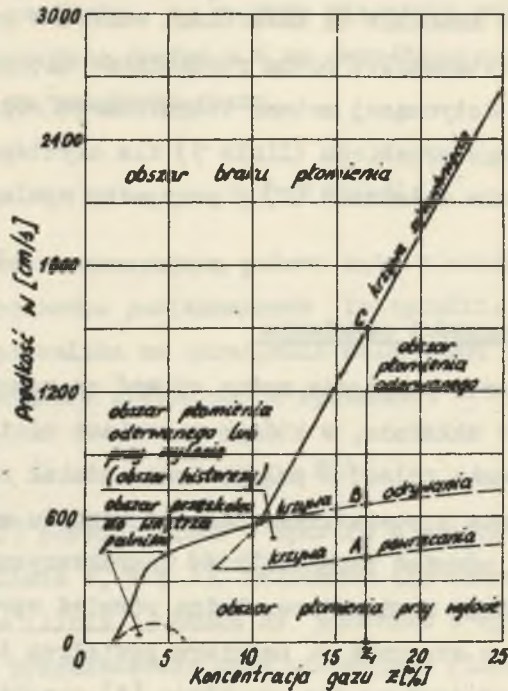


Rys. 1. Normalna prędkość spalania

miejskiego zależy znacznie od zawartości wodoru w gazie i tym można by częściowo wytłumaczyć pewną rozbieżność między liniami 1 i 4. Przebieg linii 2 dotyczącej metanu technicznego różni się nie wiele od odpowiedniego przebiegu (linia 5) dla czystego metanu [3]. Linia 3 przedstawia zależność (2) w przypadku spalania gazu butlowego.

3. Badanie stateczności płomienia

Warunki stateczności płomienia można opisać za pomocą charakterystycznych linii w układzie, w którym na osiach odcina się prędkość wylotową w mieszanki palnej z palnika oraz udział molowy z gazu palnego w mieszance z powietrzem. Zamiast udziału molowego można odmierzać na osi również inną wielkość charakteryzującą koncentrację gazu palnego w mieszance. Można również wprowadzić na przykład pierwotny stosunek λ' nadmiaru powietrza do spalania. Na rysunku 2 przedstawiono dla przykładu [1] przebieg linii charakterystycznych przy spalaniu mieszanki butanowo-powietrznej w atmosferze powietrza przy średnicy wylotu palnika $d = 1,015$ cm. Jeżeli palącą się przy wylocie z palnika mieszankę palną o stałym składzie chemicznym zawierającą z_1 % gazu palnego doprowadza się do wylotu palnika z coraz to większą prędkością w wówczas przy osiągnięciu prędkości odpowiadającej punktowi B następuje oderwanie się płomienia od wylotu palnika i przy dalszym zwiększaniu prędkości w następuje jego zdmuchnięcie. Jeżeli jednak w pobliżu wylotu palnika znajduje się stała przeszkoda odgrywająca rolę stabilizatora, wówczas płomień po oderwaniu się od wylotu palnika przechodzi na ten stabilizator, na którym może trwać przy zwiększaniu prędkości w do wartości odpowiadającej punktowi C. Przy jeszcze dalszym zwiększeniu prędkości w płomień zostaje zdmuchnięty. W odwrotnym procesie zmniejszania prędkości w z punktu C, powrócenie płomienia ze stabilizatora do wylotu palnika następuje



Rys. 2. Obszary stabilizacji płomienia [1]

w punkcie A. Pomiedzy krzywymi odrywania i powracania występuje więc obszar histerezy. Na rysunku 2 przedstawiono również obszar przeskoku odpowiadający takim wartościom w i z , przy których płomień cofa się do wnętrza palnika.

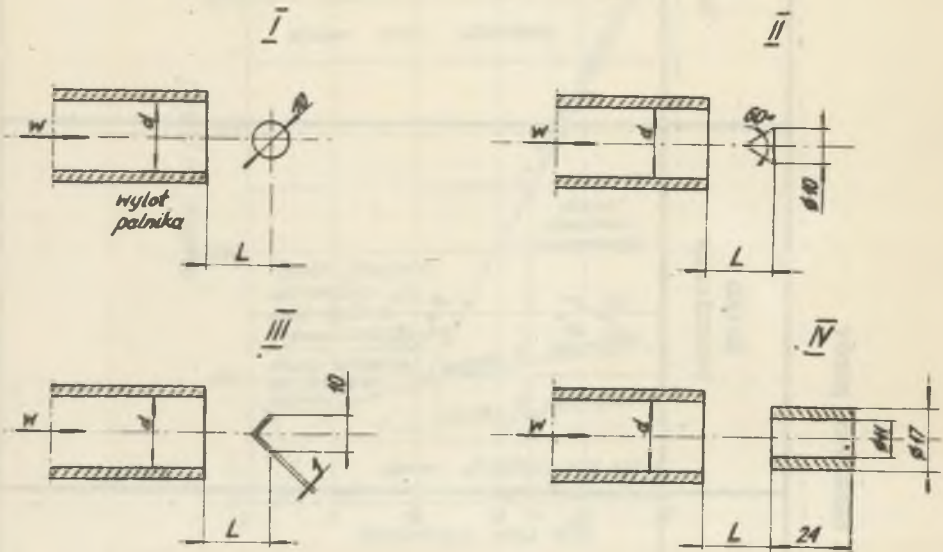
Badania przeprowadzone w niniejszej pracy miały na celu określenie przebiegu charakterystycznych linii zdmuchnięcia, oderwania i powracania płomienia przy spalaniu gazów palnych, których dane zestawiono w tabelicy 1. W specjalnej instalacji pomiarowej [4] badania przeprowadzono za pomocą palnika w postaci cylindrycznej rurki o wewnętrznej średnicy d , z której wypływała mieszanka palna do powietrza wypełniającego pomieszczenie. Charakterystyczne linie badano przy spalaniu bez stabilizatora oraz ze stabilizatorem. Zastosowano cztery rodzaje stabilizatorów wykonanych

Tablica 1

Skład badanych gazów

Składnik (udział molowy) %	Gas miejski	Metan teczniczny	Gas butlowy
CO ₂	4,0	0,2	
O ₂	1,2	0,1	
CO	10,7		
H ₂	51,3		
N ₂	5,2	2,6	
CH ₄	25,0	97,1	4,0
C ₂ H ₆			
C ₂ H ₄	1,56		
C ₃ H ₆	0,78		
C ₃ H ₈			
C ₄ H ₁₀			29,5
C ₅ H ₁₂			66,0
C ₆ H ₆	0,26		0,5

ze stali: cylindryczny (I) w formie drutu usytuowanego w poprzek strugi, stożkowy (II) skierowany wierzchołkiem w kierunku wylotu z palnika, kątownikowy (III) w formie kątownika usytuowanego w poprzek strugi oraz tulejkowy (IV) umieszczony wzdłuż strugi (rys.3).



Rys. 3. Stabilizatory

Odległość L stabilizatorów od wylotu z palnika podano w tabelicy 2. Charakterystyczny kształt płomienia w obszarze płomienia oderwanego przy zastosowaniu omówionych stabilizatorów i przy spalaniu gazu miejskiego przedstawia rysunek 4.

Na rysunku 5 przedstawiono zachowanie się płomienia w zależności od zmniejszającej się prędkości dopływu w mieszanki palnej. Przy stosowanej instalacji badawczej zmiana prędkości w pociągu za sobą również zmianę stosunku λ' nadmiaru powietrza pierwotnego. Rysunek ten dotyczy spalania gazu miejskiego za pomocą palnika o średnicy $d = 20$ mm przy zastosowaniu stabilizatora tulejkowego (rys. 3) usytuowanego w odległości $L = 40$ mm od wylotu



I. $w = 13,9 \frac{m}{s}$ / $\lambda = 1,01$



II. 11,11/1,15



III. 9,85/1,27



IV. 14,1/1,31

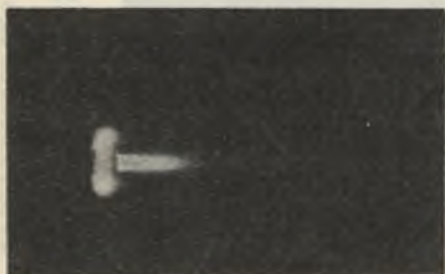
Rys. 4. Kształt stabilizowanego płomienia



a) $w = 15,47 \frac{m}{s} / \lambda' = 1,76$



b) 13,08/1,16



c) 11,2/0,87



d) 10,6/0,79



e) 9,62/0,65



f) 9,9/0,69

Rys. 5. Stabilizacja płomienia



g) 10,93/0,82



h) 13,18/1,02



i) 9,25/0,58



j) 8,62/0,53



k) 7,34/0,4



l) 4,5/0

Rys. 5. Stabilizacja płomienia

palnika. Przy dużych prędkościach w , (fotografia a, b, c, d) zaczepiony na stabilizatorze płomień jest tym większy i jaśniejszy im prędkość w jest mniejsza. W przypadku a wyczuwało się w pomieszczeniu niespalony gaz. Fotografia e przedstawia moment wędrowki płomienia ze stabilizatora do wylotu palnika. Po zlokalizowaniu płomienia u wylotu (fotografia f), dla sprawdzenia zjawiska histerezy ponownie zwiększono prędkość w (fotografie g, h) uzyskując płomień przy wylocie z palnika nawet jeszcze przy $w = 13,18$ m/s (fotografia h). Następnie zmniejszano ponownie prędkość w co przy zmniejszaniu się wartości λ' sprawiało coraz bardziej typowy płomień dyfuzyjny (fot. i, j, k). Fotografia l. przedstawia płomień przy $w = 4,5$ m/s i $\lambda' = 0$. Oczywiście dla uzyskania płomienia przy wylocie palnika stabilizator jest już nie potrzebny począwszy od warunków odpowiadających fotografii e oraz dalszych.

4. Wyniki pomiarów i wnioski

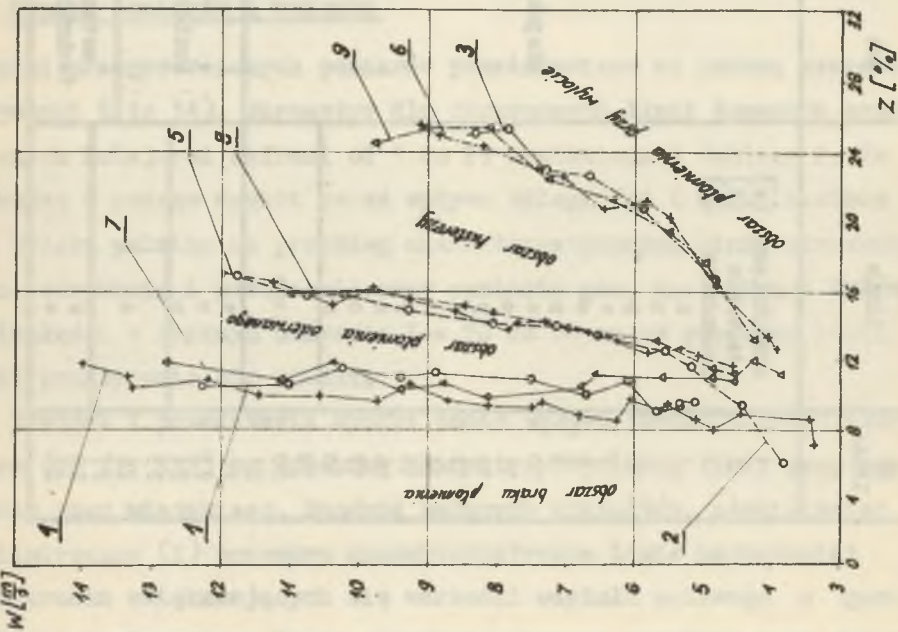
Wyniki przeprowadzonych pomiarów przedstawiono za pomocą wykresów (rysunki 6 do 14). Parametry dla otrzymanych linii łamanych oznaczonych kolejnymi cyframi od 1 do 29 zestawiono w tablicy 2. Na rysunku 6 podano wyniki badań wpływu odległości L stabilizatora IV od wylotu palnika na przebieg charakterystycznych linii zdmuchnięcia, odrywania i powracania przy spalaniu gazu miejskiego. Wpływ odległości w badanym zakresie $L = 20$ do 60 mm na przebieg linii jest praktycznie nie wielki.

Rysunek 7 przedstawia wyniki badań wpływu kształtu stabilizatora (I, II, III) na przebieg charakterystycznych linii przy spalaniu gazu miejskiego. Spośród badanych kształtów, stabilizator cylindryczny (I) przesuwając charakterystyczne linie najbardziej w kierunku zwiększających się wartości udziału molowego z gazu palnego w mieszance. Linie charakterystyczne uzyskane przy zasto-

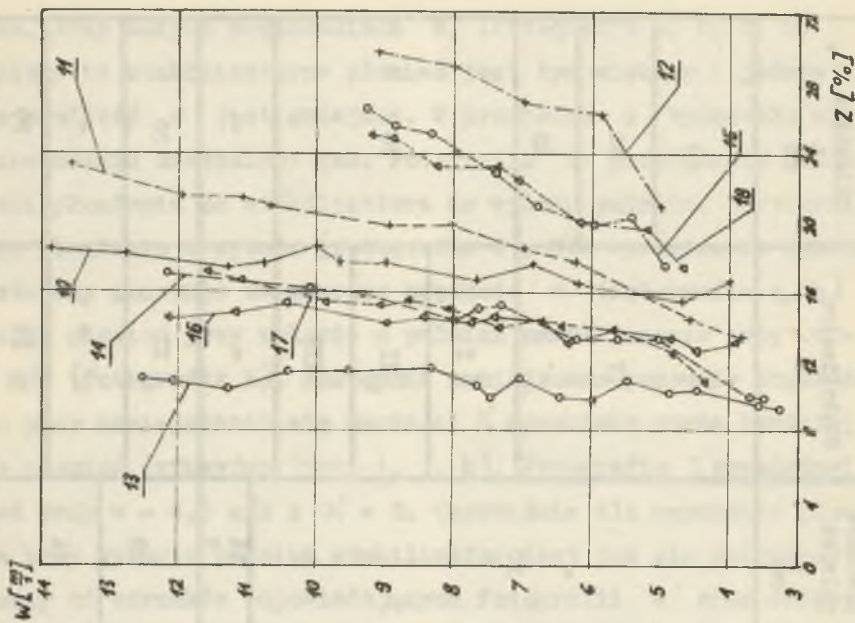
Tablica 2

Parametry lądzi z rysunków od 6 do 14

Nr lądzi	Idzta	Gas	Średnica palnika d mm	Stabilizator	Odległość l mm			
1	zdmuchnięcia {z} oierwania {o} powracania {p}	miejski	20	IV	20			
2								
3								
4								
5				20	miejski	20	I	60
6								
7								
8							II	20
9								
10							III	20
11								
12							-	-
13								
14							II	20
15								
16							-	-
17								
18							-	-
19								
20	ZNO	butlowy	16	-	-			
21								
22	Z	butlowy	20	II	20			
23								
24	D	butlowy	20	-	-			
25								
26	O	butlowy	16	-	-			
27								
28	Z	metan techniczny	16	II	20			
29								



Rys. 6. Wpływ odległości stabilizatora



Rys. 7. Wpływ kształtu stabilizatora

sowaniu stabilizatora stożkowego (II) są najbardziej przesunięte w stronę zmniejszających się wartości z .

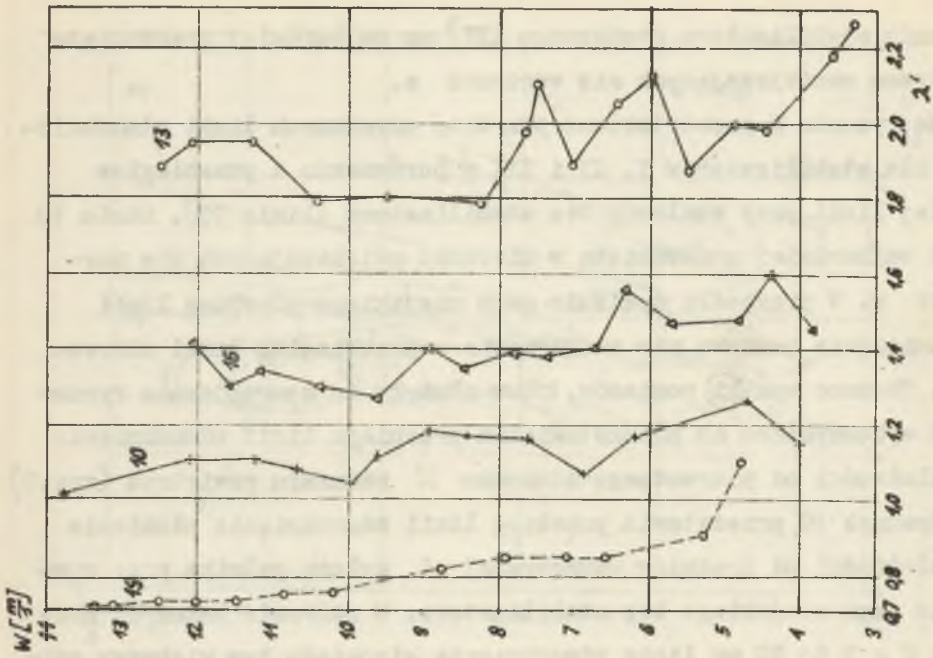
Na rysunku 8 przedstawiono przebieg uzyskanych linii zdmuchnięcia dla stabilizatorów I, II i III w porównaniu z przebiegiem takiej linii przy spalaniu bez stabilizatora (linia 19). Linia 19 jest najbardziej przesunięta w kierunku zwiększających się wartości z . W przypadku spalania gazu miejskiego przebieg linii zdmuchnięcia pokrywa się praktycznie z przebiegiem linii oderwania. Te same wyniki pomiarów, które służyły do sporządzenia rysunku 8 wykorzystano do przedstawienia przebiegu linii zdmuchnięcia w zależności od pierwotnego stosunku λ' nadmiaru powietrza (rys.9)

Rysunek 10 przedstawia przebieg linii zdmuchnięcia płomienia w zależności od średnicy wewnętrznej d wylotu palnika przy spalaniu gazu miejskiego bez stabilizatora. W zakresie badanych średnic $d = 9$ do 20 mm linia zdmuchnięcia odpowiada tym większym wartościom w im mniejsza jest średnica d . Przebieg tych linii w zależności od stosunku λ' przedstawia rysunek 11.

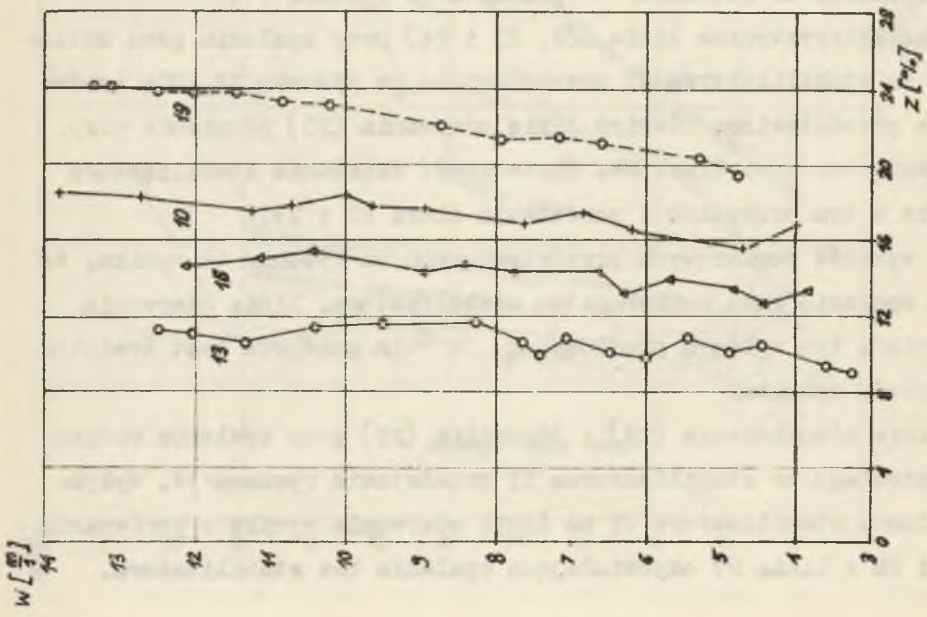
Charakterystyczne linie (22, 23 i 24) przy spalaniu gazu butlowego ze stabilizatorem II przedstawiono na rysunku 12. Dla porównania przedstawiono również linię oderwania (25) płomienia przy spalaniu bez stabilizatora. Skuteczność działania stabilizatora wynika w tym przypadku z porównania linii 22 i 25.

Z wyników pomiarowych przedstawionych na rysunku 13 wynika, że przy spalaniu gazu butlowego bez stabilizatora, linia oderwania odpowiada tym wyższym prędkościom w im mniejsza jest średnica d wylotu palnika.

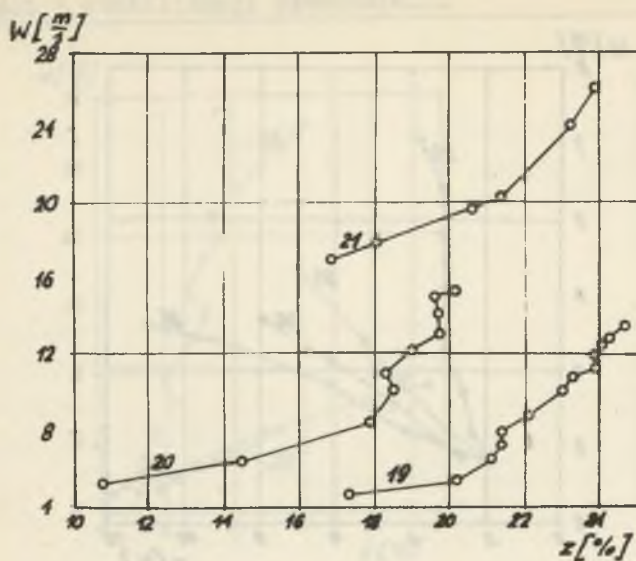
Linie zdmuchnięcia (28) i oderwania (29) przy spalaniu metanu technicznego ze stabilizatorem II przedstawia rysunek 14. Wpływ działania stabilizatora II na linię oderwania wynika z porównania linii 28 z linią 27 odpowiadającą spalaniu bez stabilizatora.



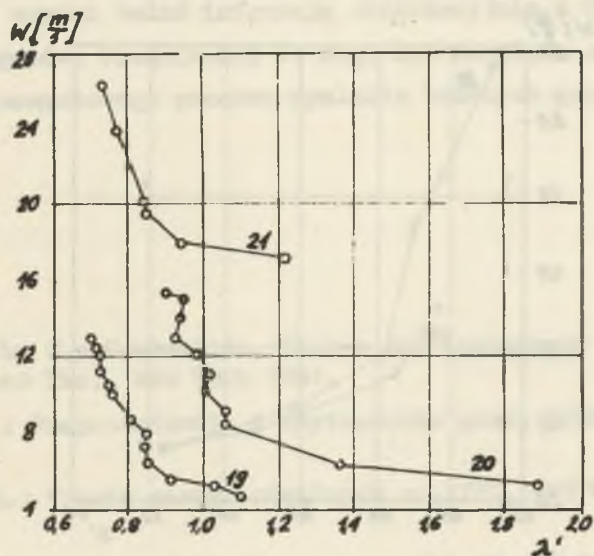
Rys. 9. Linie zdmuchnięcia w zależności od λ'



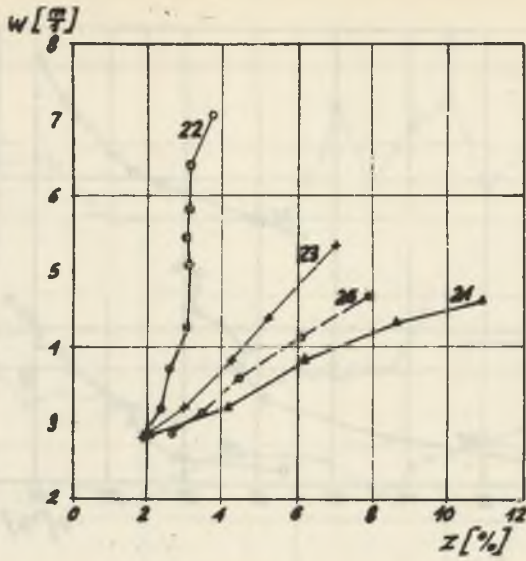
Rys. 8. Linie zdmuchnięcia w zależności od z



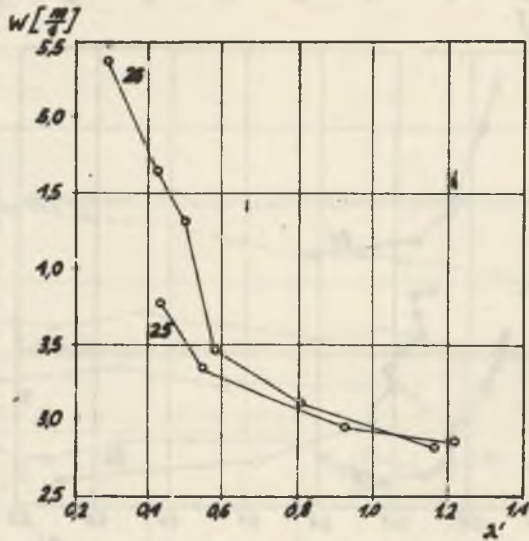
Rys. 10. Wpływ średnicy palnika w zależności od :



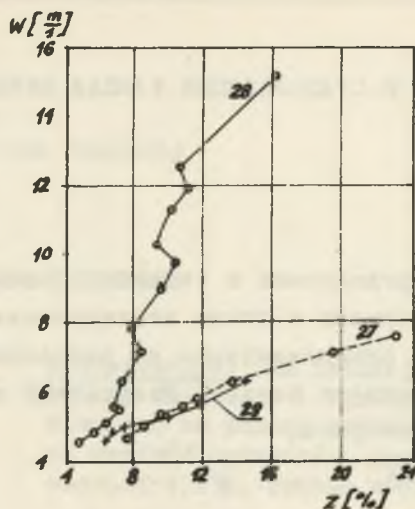
Rys. 11. Wpływ średnicy w zależności od λ'



Rys. 12. Spalania gazu butlowego



Rys. 13. Wpływ średnicy palnika przy spalaniu gazu butlowego



Rys. 14. Spalanie metanu

Przedstawione wyniki badań informują orientacyjnie o właściwościach badanych gazów. Właściwości te mogą być uwzględnione przy organizowaniu przemysłowego procesu spalania badanych gazów.

LITERATURA

- [1] Lewis B., Elbe G.: Combustion, flames and explosions of gases, Academic Press Inc., New York 1961.
- [2] Obidowicz L.: Rozprowadzanie i użytkowanie gazu, Arkady Warszawa 1964.
- [3] Ochęduszek S.: Teoria maszyn cieplnych cz. III, NT Warszawa 1955.
- [4] Petela R., Harcuża A.: Badanie stateczności płomienia. Mgr pr. dypl. Zakł. Gospodarki Gazowej Katedry Energetyki cieplnej Politechniki Śląskiej, 1969.
- [5] Petela R., Zdziemicki A.: Pomiar normalnej prędkości spalania. Mgr pr. dypl. Zakł. Gosp. Gazowej Katedry Energetyki Ciepłej Politechniki Śląskiej, 1969.

ИССЛЕДОВАНИЯ СКОРОСТИ И СТАБИЛИЗАЦИИ ФАКЕЛА НЕКОТОРЫХ ГАЗООБРАЗНЫХ ТОПЛИВ

Р е з ю м е

Для газовых топлив определенных в таблице 1 сделаны измерения нормальной скорости горения а также исследования для разъяснения влияния различных стабилизаторов на расположение кривых сдувания, отрыва и возврата факела. Результаты исследований представлены в виде диаграмм.

EXAMINATION OF THE VELOCITY AND STABILIZING OF THE FLAME AT THE COMBUSTION OF SOME GAS FUELS

S u m m a r y

For the gas fuels determined in the table 1, the measurements of the normal combustion velocity and the measurements in order to describe the influence of various stabilizers (Fig. 3) on the curves of extinction, lifting and return of the flame, have been carried out. Results of examinations present the diagrams.