

RYSZARD PETELA

Katedra Energetyki Ciepłej

STANISŁAW DRUCIAK

Huta Batory

MANFRED WAGNER

BADANIE NIEKTÓRYCH PARAMETRÓW ROZPYLONEJ STRUGI CIECZY

Streszczenie: Przeprowadzono badania wartości liczby wydajności dyszy rozpylającej, rozkładu gęstości zraszania i kąta rozpylania strugi. Jako cieczy rozpylanych użyto wody, oleju i wodnych roztworów gliceryny. Wyniki badań przedstawione w formie wykresów posłużyły do wysnucia wniosków.

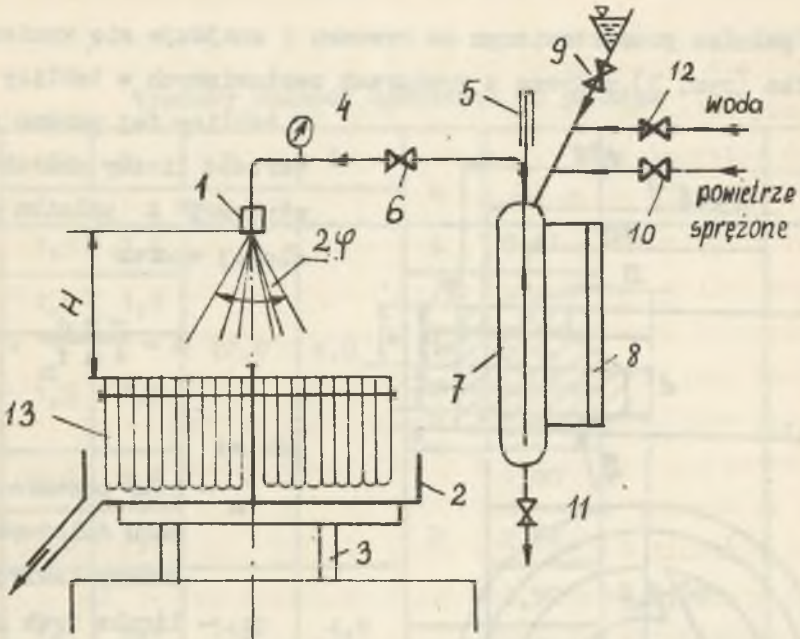
1. Wstęp

Zagadnienie rozpylania cieczy występuje między innymi przy rozważaniu spalania paliwa ciekłego. W zagadnieniach takich odgrywają rolę parametry rozpylonej strugi. Dla racjonalnej organizacji spalania w przemysłowej komorze paleniskowej potrzebna jest znajomość kształtu geometrycznego rozpylonej strugi oraz znajomość wpływu niektórych czynników na wymiary określające ten kształt. Matematyczne ujęcie teorii tego zagadnienia, najczęściej w sposób przybliżony, jednak z dostateczną dokładnością dla celów praktycznych, można spotkać w literaturze [1],[2]. Niezależnie od teorii spotyka się wiele prac eksperymentalnych mających na celu sprawdzenie zgodności praktyki z teorią w różnych zakresach zagadnienia lub też dostarczenie danych dla rozmaitych mnożników ulepszających tę zgodność.

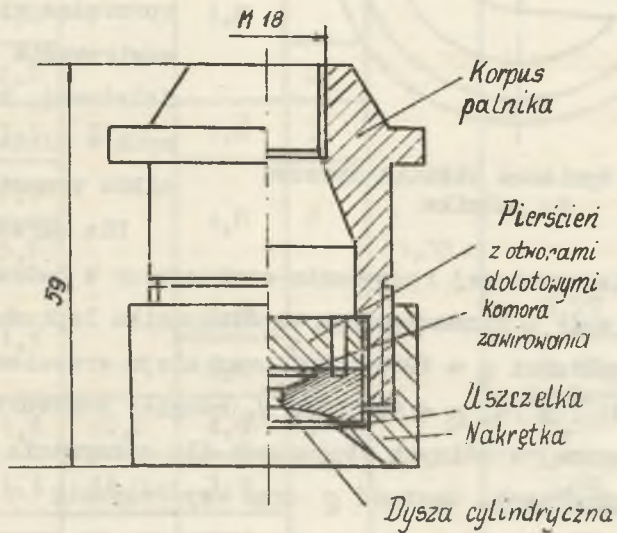
Niniejsza praca eksperymentalna, będąca kolejnym przyczynkiem do zagadnienia, ma również za zadanie sprawdzenie i potwierdzenie pewnych zależności. W przeprowadzonych doświadczeniach postanowiono uwzględnić zmienne właściwości rozpylanego paliwa. Zmienną lepkość rozpylanego paliwa, spowodowaną w praktyce bądź różnym rodzajem paliwa bądź też różną wartością temperatury tego paliwa, osiągnięto tu przez zastosowanie łatwo dostępnego czynnika jakim jest woda przy mieszaniu z nią gliceryny w różnej proporcji. Przez przyjęcie wody (niepalnej) jako badanego czynnika rozpylanego zdecydowano się tym samym na ograniczenie badań do rozpylania na zimno, co zresztą w badaniach tego typu stosuje się dość często. Wnioski wynikające z badania zimnej strugi rozpylanej można następnie wykorzystać przy rozważaniu płonącej strugi rozpylonego paliwa ciekłego. W niniejszej pracy przeprowadzono badania wielkości określających liczbę wydajności dyszy rozpylającej, badania rozkładu gęstości zraszania oraz kąta rozpylania strugi [3].

2. Opis instalacji pomiarowej

Do badań użyto prostej instalacji przedstawionej schematycznie na rysunku 1. Z pionowej dyszy rozpylającej palnika 1 ciecz rozpylona opada do wanny 2, ustawionej na stole regulacyjnym 3, umożliwiającym zmianę położenia przez pokręcenie śrub przy kontroli poziomicy. Parametry rozpylanej cieczy określano za pomocą manometru 4 i termometru 5. Zawór 6 służy do regulacji ciśnienia cieczy. Do zbiornika 7 z poziomowskazem 8 można wlać przez przewód z zaworem 9 mieszaninę wody i gliceryny. Następnie po zamknięciu zaworu 9, powietrze sprężone dopływające do górnej części zbiornika 7 przez otwarty zawór 10 wypiera mieszaninę do zamurzonej w zbiorniku rurki. W tym czasie zawór spustowy 11 oraz zawór 12 odcinający dopływ czystej wody są oczywiście zamknięte. Do pomiaru gęstości zraszania służy rząd próbek 13.

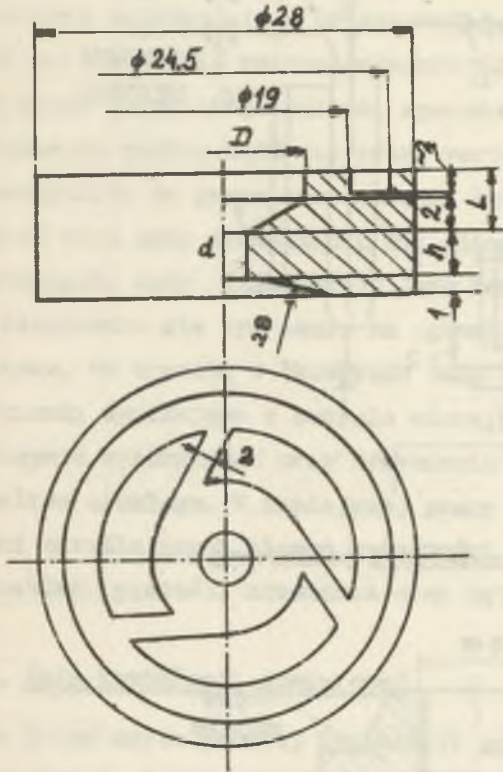


Rys. 1. Schemat instalacji pomiarowej



Rys. 2. Palnik

W palniku przedstawionym na rysunku 2 znajduje się wymienna wkładka (rys. 3) z dyszą o wymiarach zestawionych w tabelicy 1.



Rys. 3. Wymienna wkładka dyszowa do palnika

W tabelicy tej podano również wartość liczby charakterystycznej A palnika określonej wzorem

$$A = \frac{\pi D d}{4 n f_n}, \quad (1)$$

gdzie:

- f_n - pole przekroju kanału dolotowego do komory zawirowania,
- n - liczba tych kanałów.

We wzorze (1) według Abramowicza zamiast średnicy D wprowadza się [1] średnicę zawirowania średniej strugi dolotowej, która dla badanych w niniejszej pracy palników wynosi $D' = D - 2$ mm.

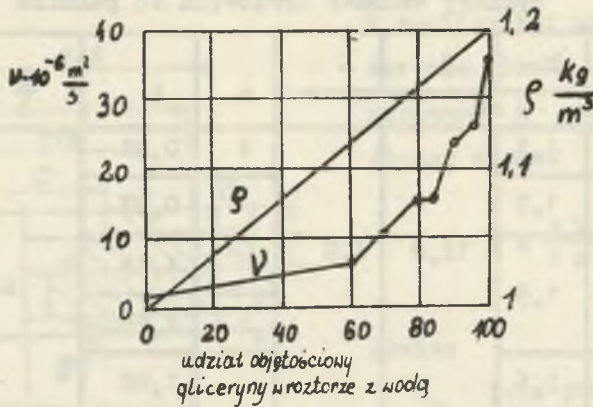
Dla określenia wpływu lepkości cieczy na jej rozpylanie zastosowano w badaniach, oprócz czystej wody o kinematycznym współczynniku lepkości $\nu = 1,47 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ i gęstości $\rho = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ oraz oleju wrzecionowego nr 5 ($\nu = 50,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $\rho = 900 \text{ kg}/\text{m}^3$), również roztwory wody i gliceryny zmieszanej w różnych stosunkach dla otrzymania cieczy o pośrednich lepkościach. Gęstość ρ oraz współczynnik ν roztworu w zależności od składu roztworu przedstawiono na rysunku 4 na podstawie pomiarów. Wszystkie wartości współczynników ν określono dla

Tablica 1

Wymiary wkładek dyszowych do palnika

Nr dyszy	d	h	D	L	n	A	$\frac{D}{L}$	$\frac{h}{d}$	
	mm								
1	1,5	1,5	12,0	4,0	4	0,81	3,00	1,00	
2	1,0	1,0			3	0,87			
3	1,5	1,5			3	1,15			
4					2	1,65			
5	2,6	2,6							1,80
6	3,5	3,5				3			2,62
7	4,0	4,0	14,0	4,6		3,50			
8					2	5,25			
9	1,5	0,3	12,0	4,0	3	1,15	0,20		
10		1,0					6,67		
11	1,0	2,0			2		2,00		
12	1,4	3,8			3		2,70		
13	1,0	3,0						3,00	
14		5,0			4,0		2	5,00	
15	1,5	1,5		9,4	3	1,27			
16			6,4	1,87					
17	1,6	1,6	10,0	4,0	3	2,50	1,00		
18	1,4	1,4	14,0	3,9		3,60			
19	1,5	1,5	12,0	3,0		4,00			
20				2,1	6,32				

temperatury 15°C , którą posiadała zawsze rozpylana w badaniach ciecz.



Rys. 4. Gęstość i lepkość roztworu wody z gliceryną

3. Badanie liczby wydajności

Wydajność \dot{V} dyszy palnika wyrażoną na przykład w m^3/s oblicza się ze wzoru

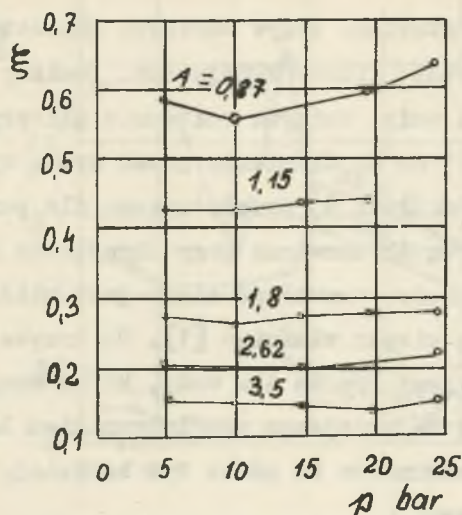
$$\dot{V} = \xi \pi \frac{d^2}{4} \sqrt{\frac{2p}{\rho}}, \quad (2)$$

gdzie:

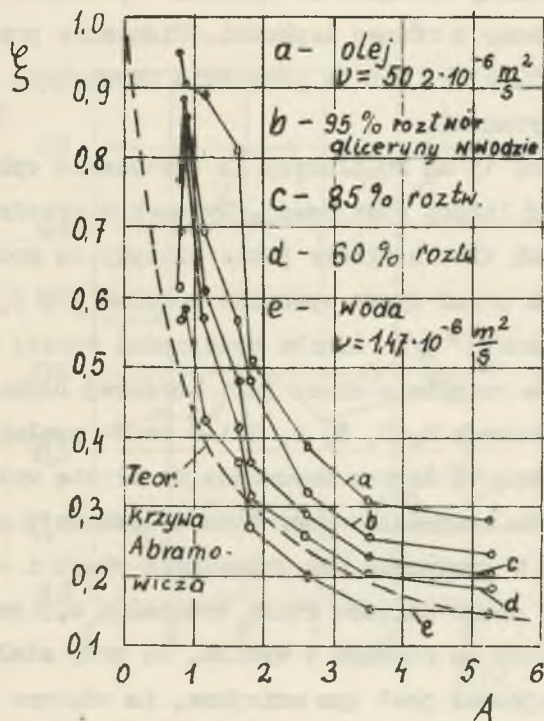
- p - ciśnienie manometryczne rozpylanej cieczy przed dyszą,
- ξ - liczba wydajności.

Wartość liczby wydajności określano na podstawie wzoru (2) przy zmierzonych wartościach \dot{V} i p dla określonej geometrycznej dyszy i określonego rodzaju cieczy.

Na rysunku 5 przedstawiono wpływ ciśnienia oraz charakterystycznej liczby palnika na wartość liczby wydajności. Pomiar przeprowadzono przy rozpylaniu wody za pomocą wkładek dyszowych 2, 3, 5, 6 i 7. Z wykresu wynika, że dla cieczy o małej lepkości liczba wydajności ξ przy $A = \text{idem}$ praktycznie nie zależy od ciśnienia w zakresie od 5 do 25 bar.



Rys. 5. Wpływ ciśnienia na liczbę wydajności



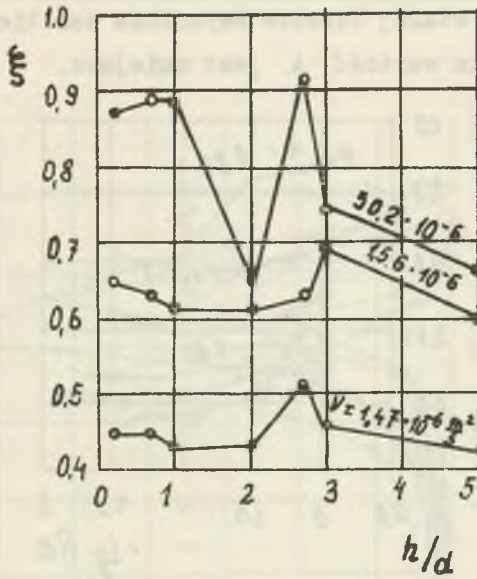
Rys. 6. Wpływ wielkości A na liczbę wydajności

Na rysunku 6 przedstawiono wpływ wartości charakterystycznej liczby palnika na wartość liczby wydajności. Pomiar przeprowadzono przy rozpylaniu wody, wodnych roztworów gliceryny i oleju za pomocą wkładek od 1 do 8. Ciśnienie przed dyszą wynosiło $p = 4,9$ bar. Na wykresie (rys. 6) przedstawiono dla porównania również teoretyczną krzywą Abramowicza przy określeniu której przyjmuje się między innymi, że rozważana ciecz jest nieściśliwa, nielepka i posiada stałe ciepło właściwe [1]. Do krzywej Abramowicza najbardziej zbliżona jest krzywa dla wody, która spośród badanych cieczy odznaczała się najmniejszym współczynnikiem lepkości. Pozostałe krzywe są przesunięte ku górze tym bardziej, im bardziej lepka była badana ciecz.

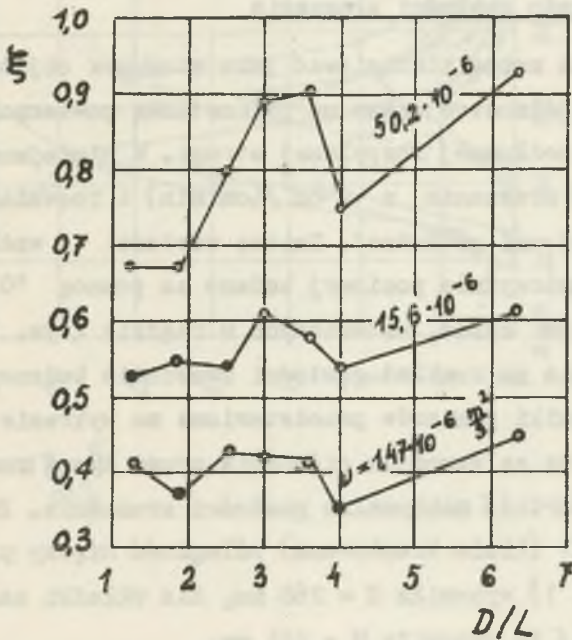
Wkładki dyszowe od 9 do 14 służyły do określania wpływu stosunku h/d na wartość liczby wydajności. Rysunek 7 przedstawia ten wpływ dla trzech cieczy o różnej lepkości. Ciśnienie przed dyszą wynosiło $p = 4,9$ bar. Wpływ ten na podstawie uzyskanych wyników jest trudny do uchwycenia.

Wkładki dyszowe od 15 do 20 służyły do określenia wpływu stosunku D/L na wartość liczby wydajności. Rysunek 8 przedstawia ten wpływ dla tych samych trzech cieczy jakie służyły do sporządzenia rysunku 7. Ciśnienie przed dyszą wynosiło również $p = 4,9$ bar. W miarę wzrostu stosunku D/L liczba wydajności raczej wzrasta i to tym bardziej im rozpylana ciecz jest bardziej lepka.

Pomiary przy wkładkach 2, 3, 5, 6, 7 i 9 do 14 posłużyły również do określania wpływu liczby Reynoldsa na liczbę wydajności. Ciśnienie w przypadku rozpylania wody było zmieniane w granicach od 4,9 do 24,5 bar, w przypadku zaś rozpylania oleju i wodnych roztworów gliceryny miało wartość stałą wynoszącą 4,9 bar. Z pomiarów przedstawionych na rysunku 9 wynika, że przy stałej wartości A liczba wydajności jest tym mniejsza, im większa jest licz-

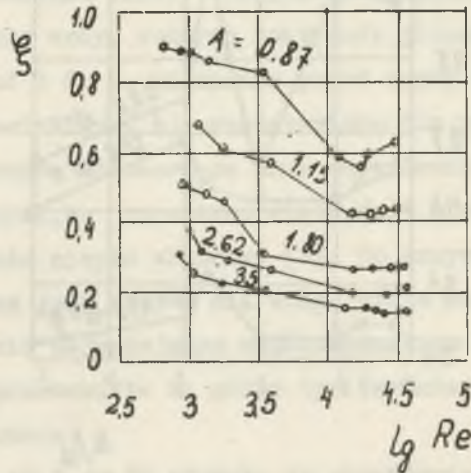


Rys. 7. Wpływ stosunku h/d na liczbę wydajności



Rys. 8. Wpływ stosunku D/L na liczbę wydajności

ba Reynoldsa, przy stałej liczbie Reynoldsa zaś liczba wydajności jest tym większa, im wartość A jest mniejsza.

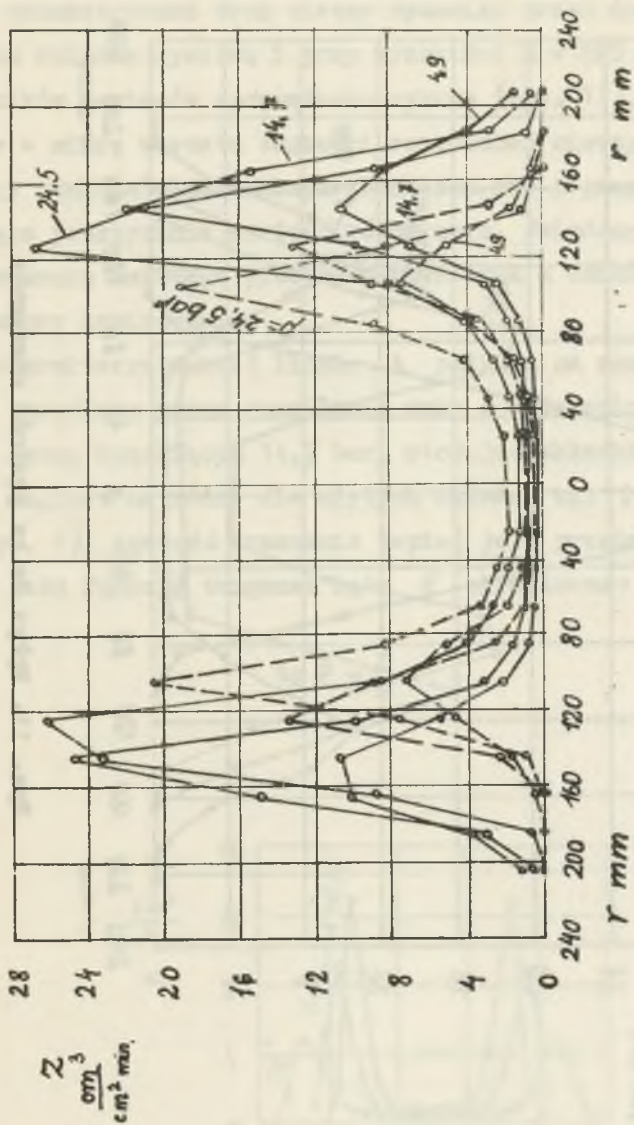


Rys. 9. Wpływ Re na liczbę wydajności

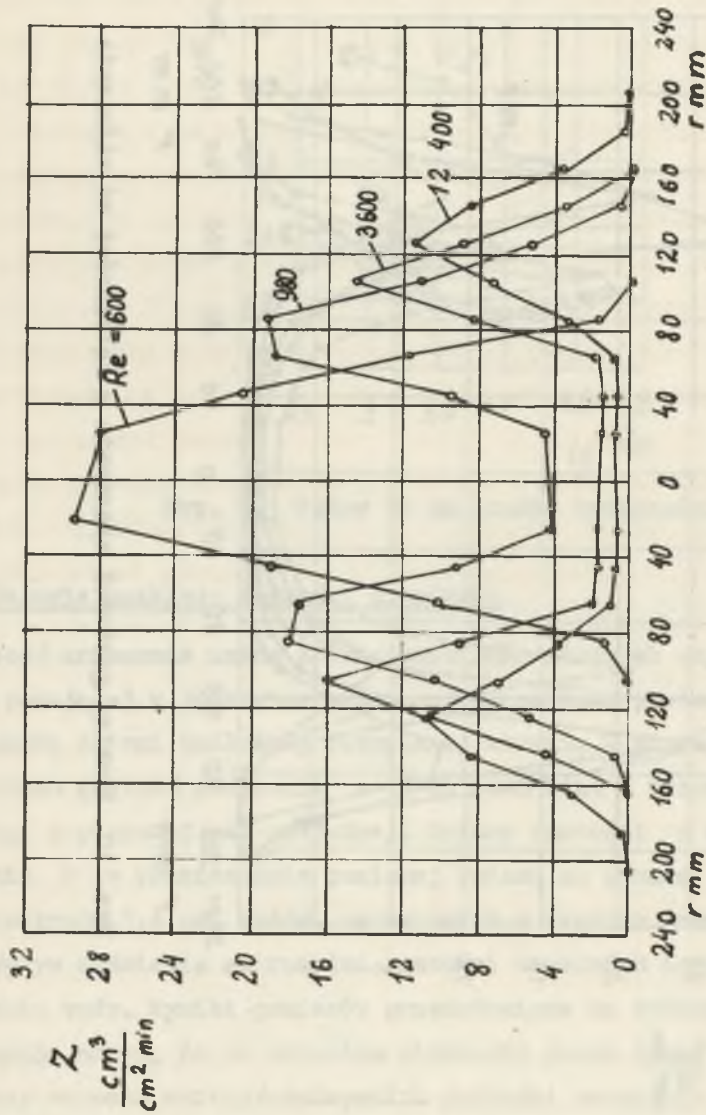
4. Badanie rozkładu gęstości zraszania

Gęstość zraszania można zdefiniować jako stosunek objętości cieczy padającej w jednostce czasu na jednostkową powierzchnię prostopadłą do osi podłużnej rozpylanej strugi. W niniejszej pracy wyrażano gęstość zraszania z w $\text{cm}^3/(\text{cm}^2 \text{min})$ i rozważano tylko strugi o pionowej osi podłużnej. Zmianę wartości z wzdłuż promienia r w płaszczyźnie poziomej badano za pomocą 10 próbek o przekroju $1,4 \text{ cm}^2$ każda, ustawionych w rzędzie (rys. 1).

Wpływ ciśnienia na rozkład gęstości zraszania badano przy rozpylaniu wody. Wyniki pomiarów przedstawione na wykresie (rys. 10) wskazują na to, że ze wzrostem ciśnienia przed dyszą rozpylanej cieczy wzrasta wartość maksymalna gęstości zraszania. Przy zastosowaniu wkładki 1 (linia kreskowana) odległość między palnikiem i próbkami (rys. 1) wynosiła $H = 268 \text{ mm}$, dla wkładki zaś 5 (linia ciągła) odległość ta wynosiła $H = 235 \text{ mm}$.



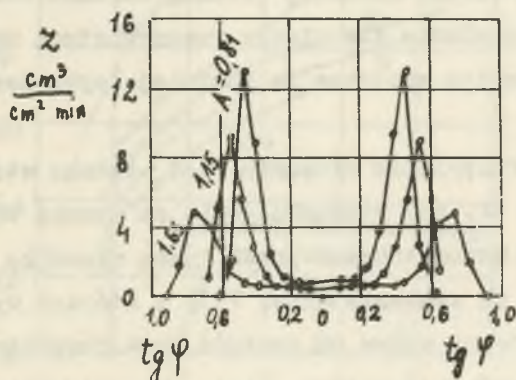
Rys. 10. Rozkład gęstości zraszenia w zależności od ciśnienia

Rys. 11. Wpływ Re na gęstość zraszania

Wpływ liczby Reynoldsa na rozkład gęstości zraszania badano rozpylając wodę, roztwory wody z gliceryną oraz olej wrzecionowy. Ciśnienie manometryczne tych cieczy wynosiło przed dyszą 4,9 bar. Zastosowano wkładkę dyszową 5 przy wysokości $H = 225$ mm. Na podstawie wyników pomiarów sporządzono wykres (rys. 11), z którego wynika, że w miarę wzrostu lepkości rozpylanej cieczy promień odpowiadający punktom ekstremalnym zmniejsza się i przy rozpylaniu oleju osiąga praktycznie wartość równą zero. Świadczy to o stopniowym zanikaniu osiowego przepływu powietrza z ośrodka do wnętrza dyszy i komory zawirowania.

Wpływ charakterystycznej liczby A palnika na rozkład gęstości zraszania określano przez rozpylanie wody o ciśnieniu manometrycznym przed dyszą wynoszącym 14,7 bar, stosując wkładki dyszowe 1, 3 i 4. Ze względu na różny dla użytych wkładek kąt 2φ rozpylania strugi (rys. 1), gęstość zraszania lepiej jest przedstawić w tym przypadku jako funkcję tangensa kąta φ określonego następująco

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{r}{H} . \quad (3)$$



Rys. 12. Wpływ wielkości A na gęstość zraszania

Wyniki pomiaru przedstawione za pomocą wykresu (rys. 12) świadczą o tym, że przy wzroście liczby A nierównomierność rozkładu gęstości zraszania maleje, odległość zaś punktów o maksymalnej wartości gęstości zraszania, od osi palnika wzrasta.

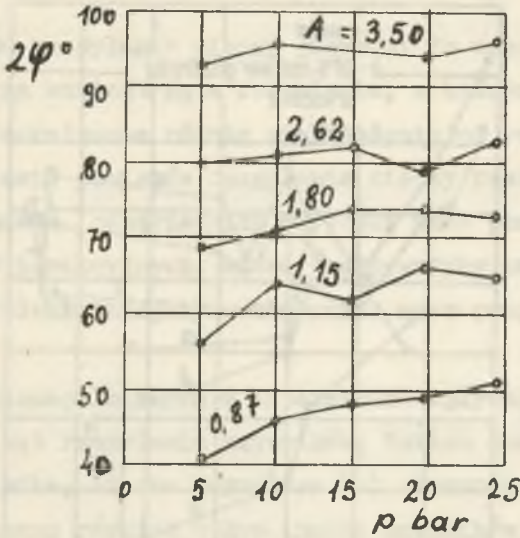
5. Badanie kąta rozpylania

Kąt rozpylania φ strugi (rys. 1) badano przy rozpylaniu wody, wodnych roztworów gliceryny oraz oleju wrzecionowego. Kąt mierzone na podstawie wykonywanych fotografii strugi [3].

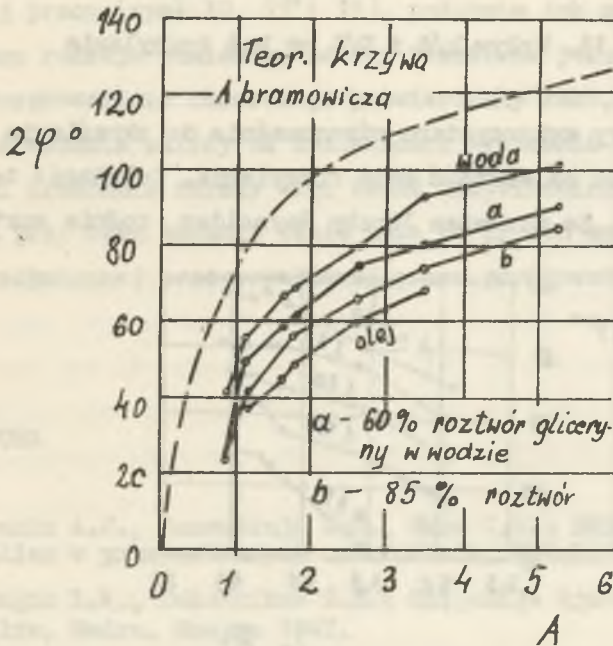
Wpływ ciśnienia przed dyszą cieczy rozpylanej na wielkość kąta rozpylania zbadano dla wody o ciśnieniu od 4,9 do 24,5 bar, stosując wkładki dyszowe 2, 3, 5, 6 i 7. Uzyskane wyniki przedstawiono za pomocą wykresu (rys. 13), z którego wynika, że dla mało lepkiej cieczy takiej jak na przykład woda, wpływ ciśnienia na wartość kąta rozpylania w zakresie $A = 0,87$ do 3,5 jest nieznaczny.

Wpływ charakterystycznej liczby A palnika na wartość kąta rozpylania dla cieczy o różnych lepkościach określano stosując wkładki dyszowe od 2 do 8. Rozpylano wodę, wodne roztwory gliceryny oraz olej wrzecionowy. Z otrzymanego wykresu (rys. 14) wynika, że kąt rozpylania badanych cieczy ze wzrostem liczby A rośnie podobnie jak dla cieczy idealnej (według Abramowicza), przy czym wartości kąta rozpylania dla cieczy rzeczywistych są jednak znacznie mniejsze i to tym mniejsze im bardziej lepka jest rozpylana ciecz.

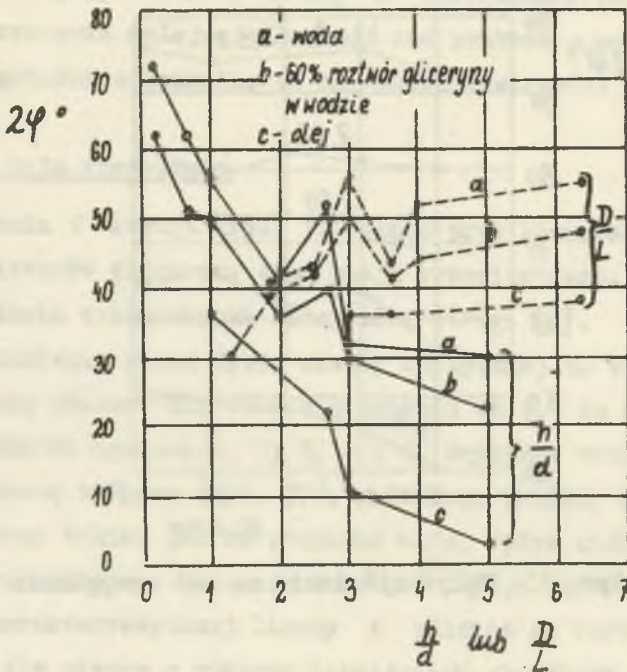
Wpływ na kąt rozpylania stosunku h/d badano stosując wkładki dyszowe 3 i 9 do 14, zaś stosunku D/L za pomocą wkładek 3 i 15 do 20. Ciśnienie manometryczne przed dyszą wynosiło 4,9 bar. Wyniki przedstawiono na wykresie (rys. 15), z którego wynika, że długość dyszy ma znaczny wpływ na wartość kąta rozpylania przy czym ze wzrostem stosunku h/d kąt φ maleje. Wartość kąta rozpylania wzrasta ze wzrostem stosunku D/L .



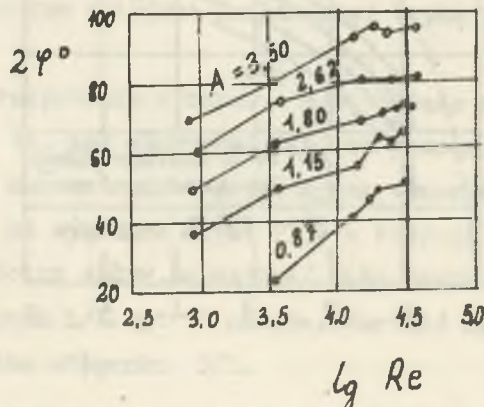
Rys. 13. Wpływ ciśnienia na kąt rozpylania



Rys. 14. Wpływ liczby A na kąt rozpylania

Rys. 15. Wpływ h/d i D/L na kąt rozpylania

Wykonane pomiary wykorzystano równocześnie do określenia wpływu liczby Reynoldsa na wartość kąta rozpylania. Zależność tę przedstawia rysunek 16. Ze wzrostem liczby Reynoldsa rośnie wartość kąta φ .

Rys. 16. Wpływ Re na kąt rozpylania

6. Wnioski

Teoria procesu rozpylania cieczy prowadzi do wzorów na liczbę wydajności lub na wartość kąta rozpylania, z których jednak obliczone wartości teoretyczne różnią się znacznie od wartości określonych na podstawie pomiarów rozpylania cieczy rzeczywistych (rys. 6 i 14). Porównanie odpowiednich wartości może pozwolić na określenie mnożników korekcyjnych, które znajdowałyby zastosowanie na przykład przy dokładniejszym obliczaniu nowo projektowanych palników.

Oprócz wyszczególnianych w literaturze wpływających na liczbę wydajności i kąt rozpylania czynników, takich jak charakterystyczna liczba palnika, liczba Reynoldsa lub stosunek D/d , w pracy niniejszej wykazano również wpływ innych czynników a więc stosunku h/d oraz D/L (rys. 7, 8 i 15).

Wyniki pomiarów rozkładu gęstości zraszania przedstawione w niniejszej pracy (rys. 10, 11 i 12), podobnie jak wszelkie inne wyniki tego rodzaju pomiarów, należy traktować jako orientacyjne bowiem przeprowadzone obserwacje potwierdziły fakt, że rozkład gęstości zraszania zależy od dokładności wykonania palnika. Rozkład gęstości zraszania należy więc badać indywidualnie dla każdego palnika przy czym badanie takie może po prostu spełniać rolę kontroli technicznej przeprowadzanej przez producenta palników.

LITERATURA

- [1] Karabin A.J., Ramenskaja E.S., Enno I.K.: Śziganije židkogo topliwa w promyszlennych ustanowkach. Metalurgia 1966.
- [2] Kułagin L.W., Ochotnikow S.S.: Śziganije tjażekich židkich topliw, Nedra, Moskwa 1967.

- [3] Petela R., Druciak S., Wagner M.: Badanie palników na paliwo ciekłe. Magisterska praca dyplomowa, Zakład Gospodarki Gazowej Politechniki Śl., Gliwice 1968 (maszynopis).

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ РАСПЫЛИВАЕМОЙ СТРУИ ЖИДКОСТИ

Р е з ю м е

Сделаны исследования числа расхода распыливающего сопла, распределения плотности орошения и угла распыливания струи. В качестве распыливаемой жидкости применяли воду, масло а также водной раствор глицерина. Результаты исследований представлены в виде диаграмм и стали основой для получения некоторых выводов.

EXAMINATION OF SOME PARAMETERS OF ATOMIZED LIQUID JET

S u m m a r y

There have been examined: the output coefficient of atomizing nozzle, the spray density distribution and the atomized jet angle. As the atomized liquids have been used the water, oil and the water solution of glycerine. Results of examination presented by means of the diagrams were used to deduce some conclusions.