

RYSZARD PETELA, WŁODZIMIERZ JURAS  
Katedra Energetyki Ciepłej

## BADANIA STRUMIENICY NAPĘDZANEJ GAZEM ZIEMNYM

**Streszczenie:** Możliwości zastosowania gazu ziemnego o ciśnieniu kilku bar, do strumienicy sprężającej powietrze atmosferyczne zbadano za pomocą pomiarów określając stosunek eżekcji, ciśnienie po sprężeniu, sprawność strumienicy i niektóre wymiary geometryczne.

### 1. Wstęp

Ostatnio coraz powszechniej stosuje się gaz ziemny jako paliwo w rozmaitych piecach przemysłowych oraz jako surowiec w licznych procesach chemicznych. Jest to skutkiem określonej tendencji w gospodarce paliwowej kraju [1], [2]. Gaz ziemny transportowany na duże odległości posiada u odbiorcy zazwyczaj jeszcze dość wysokie ciśnienie wynoszące kilka bar. Ciśnienie to często przed bezpośrednim wykorzystaniem gazu jest redukowane do wartości nominalnego ciśnienia dla rozmaitych urządzeń wynoszącego niekiedy znacznie poniżej 1 bar nadciśnienia. Przykładem może być zasilanie palników hutniczych pieców grzewczych, przy których wystarczy nadciśnienie gazu ziemnego nie większe niż 0,2 bar. Dla uniknięcia nieekonomicznego dławienia ciśnienia gazu w stacji redukcyjnej powinno się rozważyć możliwości użytecznego wykorzystania nadwyżki ciśnienia. Jedną z możliwości kryje w sobie stosunkowo bardzo proste urządzenie jakim jest strumienica napędzana właśnie gazem ziemnym. Strumienica taka może sprężać rozmaite płyny w zależności od tego w jakim układzie znajduje zastosowanie.

W pracy niniejszej przeprowadzono badania strumienicy zasysającej powietrze z otoczenia. Zagadnienie takie może się wyłonić w praktyce przy rozważaniu możliwości sporządzania mie-

szanki powietrza i gazu ziemnego w określonym stosunku na przykład dla obniżenia wartości opałowej gazu palnego w okresie zakłócenia dostaw innego gazu palnego będącego podstawowym paliwem. Można rozważać również sprężanie innych czynników mających odpowiednie własności podobne do własności powietrza. Czynnikiem takim jest na przykład ochłodzony i oczyszczony gaz czadnicowy, z którego po zmieszaniu w odpowiednim stosunku z gazem ziemnym można otrzymać gaz palny o żądanej wartości opałowej. Podobne przykłady sprężania lub zasysania czynników, jak w zagadnieniach energetycznych można by również wymienić w procesach przemysłu chemicznego.

## 2. Opis instalacji pomiarowej

Dla przeprowadzenia badań [3] wykonano strumienicę według rysunku 1. Wykorzystano 5 dysz roboczych, które wymieniano w czasie badania. Dysze te wykonane według rysunku 2 posiadają wymiary zestawione w tabelicy 1. W tabelicy tej podano również optymalną odległość  $l_g$  (rys. 1) dla wykonanej strumienicy określoną na podstawie pomiarów. Pomiaru ciepłne przeprowadzono według schematu (rys. 3). Do strumienicy doprowadzany jest gaz ziemny o regulowanym za pomocą zaworu  $z_1$  ciśnieniu  $p_r$  (przed kryzą pomiarową) i o temperaturze  $t_r$ . Skład chemiczny gazu określano za pomocą analizy chemicznej. Ilość gazu  $m_r$  mierzono kryzą pomiarową. Gaz o ciśnieniu  $p_r$  (za kryzą) zasysa eżektorowo zmierzoną za pomocą gazomierza ilość  $\dot{m}_z$  powietrza z pomieszczenia o temperaturze  $t_r$ . Dokonywano pomiarów ciśnienia  $p_z$  w komorze zasysania, ciśnień  $p_2$  i  $p_3$  odpowiednio na początku i na końcu cylindrycznego mieszalnika (o średnicy wewnętrznej  $d_3 = 25,4$  mm) oraz ciśnienia  $p_g$  na wylocie ze strumienicy tj. za dyfuzorem. Dla regulacji ciśnienia mieszaniny gazu i powietrza o temperaturze  $t_g$  służy zawór  $z_2$ , przez który mieszanina wypływa do otoczenia. Skład chemiczny mieszaniny określony za pomocą analizy chemicznej służył do sprawdzenia pomiarów ilości powietrza  $\dot{m}_z$  i gazu  $\dot{m}_r$ .





Tablica 1

## Wymiary dysz

Nr dyszy	$d_{rm}$	$d_{r1}$	$\frac{f_{r1}}{f_{rm}}$	$l_d$	$l_s \text{ opt.}$
1	6	7,15	1,41	8,20	30
2	6	7,48	1,55	10,55	30
3	8	9,55	1,41	11,00	35
4	8	9,97	1,55	14,05	35
5	8	9,00	1,26	7,15	35

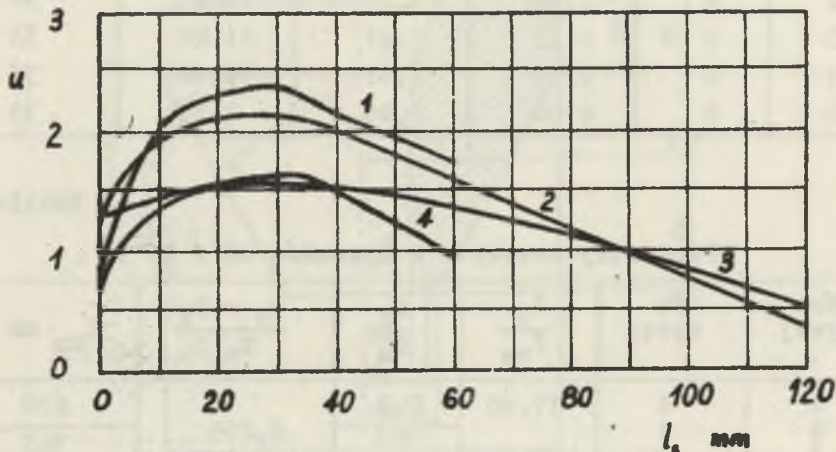
Tablica 2

## Parametry krzywych z rysunków od 4 do 9

Nr krzywej	Nr dyszy	$\frac{f_3}{f_{rm}}$	$\frac{P_r}{P_z}$	$\frac{P_s - P_z}{P_z}$	$l_{km} \text{ mm}$	
1	2	17,90	6,0	0,209	230	
2	1				163	
3	3		5,0	0,272	230	
4	4				163	
5	3	10,00	5,0	0,272	230	
6					163	
7					230	
8	5	10,00	5,0	0,272	163	
9					230	
10					163	
11					230	
12					163	
13					230	
14					163	
15					230	
16	2	17,90	5,5	0,272	163	
17					1	163
18					1	163
19	5	10,00	5,0	0,272	230	
20						0,15
21						0,20
22						0,25
23						0,30
24	0,35					
25	1	17,90	5,0	0,272	163	

### 3. Wyniki badań i wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań opracowano w postaci wykresów. Zależność pomiędzy stosunkiem efekcji  $u$  (wyrażającym stosunek ilości czynnika zasysanego i zasysającego;  $u = \dot{m}_z / \dot{m}_r$ ) oraz odległości  $l_g$  przedstawia rysunek 4. Parametry krzywych na tym



Rys. 4. Optymalny wymiar  $l_g$

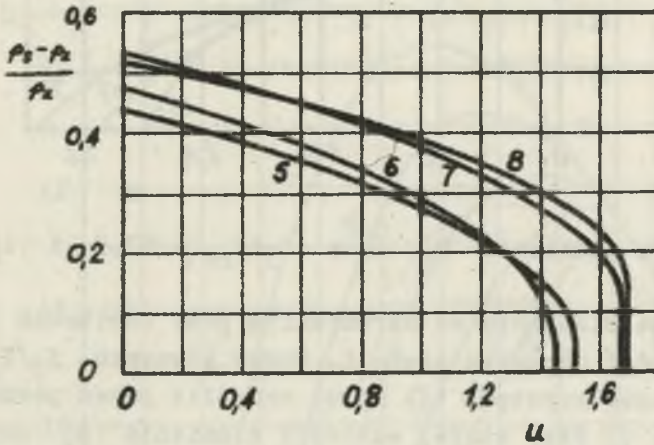
rysunku jak również parametry krzywych na wszystkich następujących rysunkach zestawiono w tabelicy 2. Dla krzywej 5 i 6 optymalną wartość  $l_g$  wynoszącą 73,6 mm określono na podstawie wzorów teoretycznych. Dla wszystkich pozostałych krzywych wielkości  $l_g$  przyjmowano zgodnie z wartościami podanymi w tabelicy 1. Jako optymalną wartość  $l_g$  przyjęto tę, dla której uzyskano największy stosunek efekcji.

Na rysunku 5 przedstawiono charakterystykę strumienicy w postaci

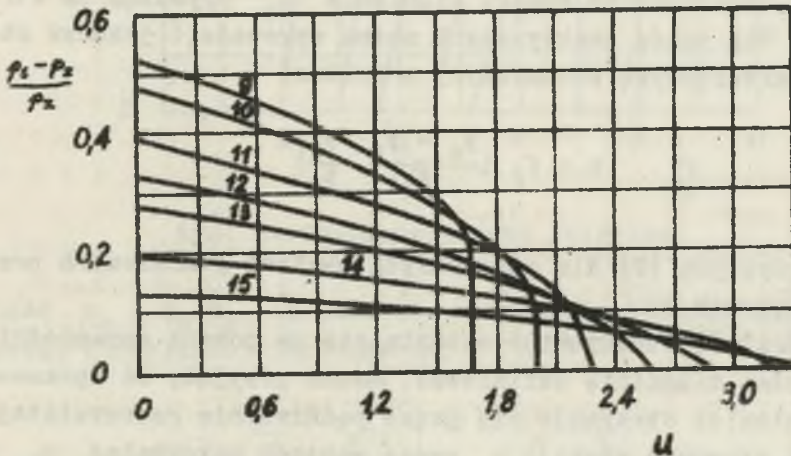
$$u = f_1 \left( \frac{p_g - p_z}{p_z} \right) \quad (1)$$

przy czym krzywe 5 i 6 zostały sporządzone na podstawie obliczeń teoretycznych [4]. Krzywymi tym odpowiadają krzywe 7 i 8 uzyskane na podstawie wyników pomiarowych. Rosbieżność wyników

obliczeń i pomiarów w rozważanym przypadku uzyskuje się przez porównanie krzywej 5 z 7 oraz 6 z 8.

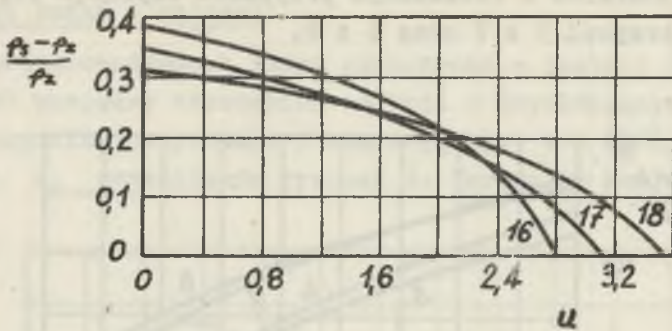


Rys. 5. Charakterystyka obliczeniowa i rzeczywista



Rys. 6. Wpływ ciśnienia  $p_1$  przy  $f_3/f_m = 10$  i  $l_k = 230$  mm

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono wpływ zmiennego ciśnienia  $p_1$  gazu siemnego na wlocie do strumieniicy na przebieg charakterystyki (1). Zwiększenie ciśnienia czynnika napędzającego po-



Rys. 7. Wpływ ciśnienia  $p_r$  przy  $f_3/f_{rm} = 17,9$  i  $l_k = 163$  mm

woduje wzrost ciśnienia za strumienicą przy obniżaniu się maksymalnej wartości stosunku eżekcji. Wpływ stosunku  $f_3/f_{rm}$  na przebieg charakterystyki (1) można określić przez porównanie rysunków 6 i 7. Przy stałej wartości ciśnienia  $p_r$  czynnika napędzającego przy przejściu od wartości  $f_3/f_{rm} = 10,00$  do wartości 17,90 otrzymuje się wzrost maksymalnego stosunku eżekcji przy równoczesnym spadku ciśnienia  $p_s$  czynnika za strumienicą. Dla celów praktycznych można wprowadzić jeszcze zbiorczą charakterystykę strumienicy w postaci

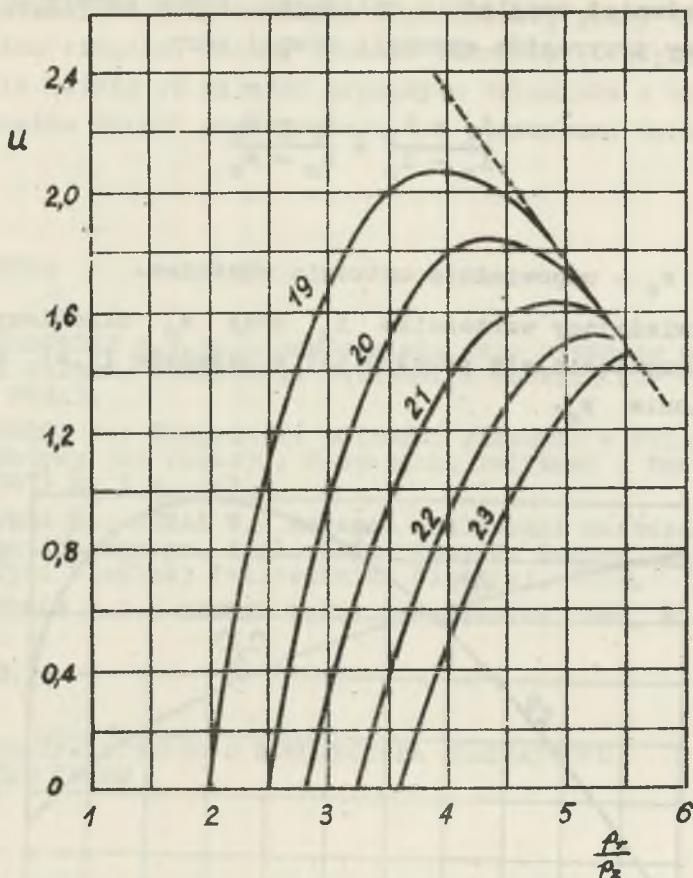
$$u = f_2 \left( \frac{p_s - p_z}{p_s}, \frac{p_r}{p_z} \right) \quad (2)$$

Charakterystykę (2) dla otrzymanych wyników pomiarowych przedstawia rysunek 8.

Doskonałość strumienicy określa się za pomocą sprawności, którą można rozmaicie definiować. Można przyjąć, że sprawność  $\eta$  strumienicy otrzymuje się przez podzielenie rzeczywistej wartości stosunku eżekcji  $u$  przez wartość maksymalną  $u_m$  tego stosunku osiąganą w idealnej strumienicy porównawczej działającej odwracalnie bez przyrostu entropii

$$\eta = \frac{u}{u_m} \quad (3)$$





Rys. 8. Charakterystyka zbiorcza

Wartość  $u_m = \dot{m}_z / \dot{m}_r$  oblicza się z równania bilansu energetycznego strumienicy porównawczej

$$i_r + u_m i_z = (1 + u_m) i_s \quad (4)$$

gdzie:

$i_r$ ,  $i_z$ ,  $i_s$  - właściwa entalpia czynnika napędowego, zasysanego oraz sprężonego czynnika w strumienicy porównawczej.

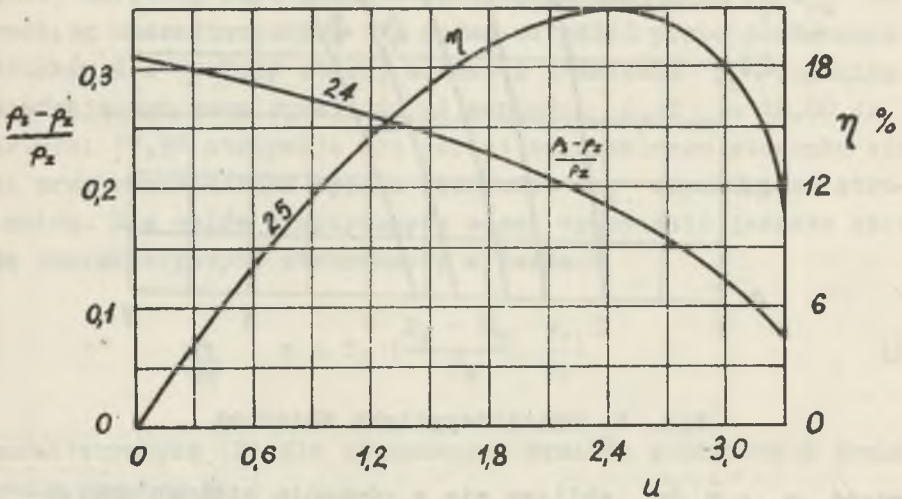
Należy również uwzględnić zależność, którą uzyskuje się dla warunku sumy przyrostów entropii równej zero

$$\frac{i_r - i_s}{i_s - i_z} = \frac{s_r - s_s}{s_s - s_z} \quad (5)$$

gdzie:

$s_r, s_z, s_s$  - odpowiednia entropia właściwa.

Punkt odpowiadający wartościom  $i_s$  oraz  $s_s$  określony jest miejscem przecięcia się prostej (5) w układzie  $(i, s)$  z izobarą ciśnienia  $p_s$ .



Rys. 9. Sprawność strumienicy

Na rysunku 9 przedstawiono dla przykładu wykres sprawności (krzywa 24) zdefiniowanej wzorem (3) dla strumienicy, której rzeczywistą charakterystykę (1) obrazuje krzywa 25. Sprawność strumienicy jest stosunkowo mała. Maksimum sprawności odpowiada zazwyczaj obliczeniowemu punktowi pracy strumienicy.

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki mogą być bardzo pomocne przy projektowaniu urządzeń, w których występują strumie-

nice działające przy badanych w niniejszej pracy czynnikach i zakresach ciśnień. Należy również zaznaczyć, że przedstawione dane nie zależą od natężeń przepływu czynników i od przekrojów kanałów dzięki posługiwaniu się stosunkami tych wielkości.

## LITERATURA

- [1] KUMANOWSKI A.: Problemy udziału gazu ziemnego w gazyfikacji Polski. Gospodarka Paliwami i Energią XIV (1966) nr 8 s. 264/5.
- [2] MITRĘGA J.: Gospodarka paliwami gazowymi w Polsce i perspektywy jej rozwoju. Gospodarka Paliwami i Energią XV (1967) nr 3 s. 1/2.
- [3] PETELA R., JURAS W.: Badanie możliwości zastosowania strumienicy. Mgr. pr. dypl. Zakł. Gospod. Gazowej Katedry Energetyki Ciepłej Politechniki Śląskiej, 1968.
- [4] SOKOŁOW J.J., ZINGER N.M.: Strumienice, WNT, Warszawa 1965.

## ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУЙНОГО КОМПРЕССОРА СНАБЖАЕМОГО ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ

## Р е з ю м е

авторы представляют результаты исследований струйного компрессора снабжаемого природным газом, которого давление имеет значение несколько баров. При помощи струйного компрессора сжимали атмосферный воздух, исследуя коэффициент инжекции, давление сжатой струи и к.п.д. компрессора. Меняя некоторые геометрические параметры компрессора, авторы определяли их оптимальное значение.

## EXAMINATION OF THE EJECTOR DRIVEN BY NATURAL GAS

## Summary

The possibility of utilization of natural gas at several bar pressure into the ejector compressing the atmospheric air has been examined by means of the measurements for determining the ejecting ratio, resulting pressure, ejector efficiency and some geometrical dimensions.

