

WIESŁAW KASPRZYK, RYSZARD HNATKÓW,
BOLEŚLAW MATUŁA, MIECZYŚLAW ROCZNIK

Zespół Dynamiki Aerozoli Instytutu Fizyki
Politechniki Śląskiej

PARAMETRY NOWEJ SYRENY DYNAMICZNEJ WYSOKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

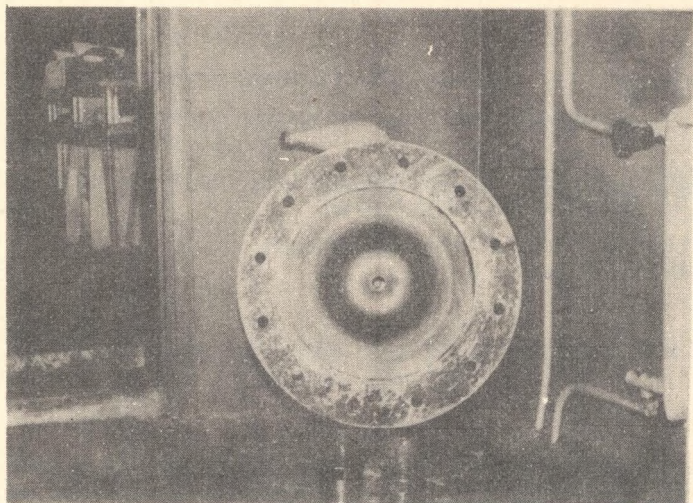
Streszczenie. Przebadano syrenę dynamiczną emitującą fale akustyczne o częstotliwości 10-20 kHz i poziomie intensywności 140 dB w polu swobodnym. Dane doświadczalne wykazują, że sprawność nie przekracza 5%: co sprawia, że zagadnienie konstrukcji syren wysokiej częstotliwości jest nadal sprawą otwartą.

W Zakładzie Ochrony Atmosfery Regionów Przemysłowych w Zabrze zostało zbudowane stanowisko pomiarowe do badań nowych konstrukcji syren - urządzeń do szybkiej koagulacji dymów przemysłowych. Artykuł niniejszy omawia parametry nowej syreny emitującej w zakresie 10-20 kHz. Podano też podstawy teoretyczne pomocne do obliczeń sprawności syren.

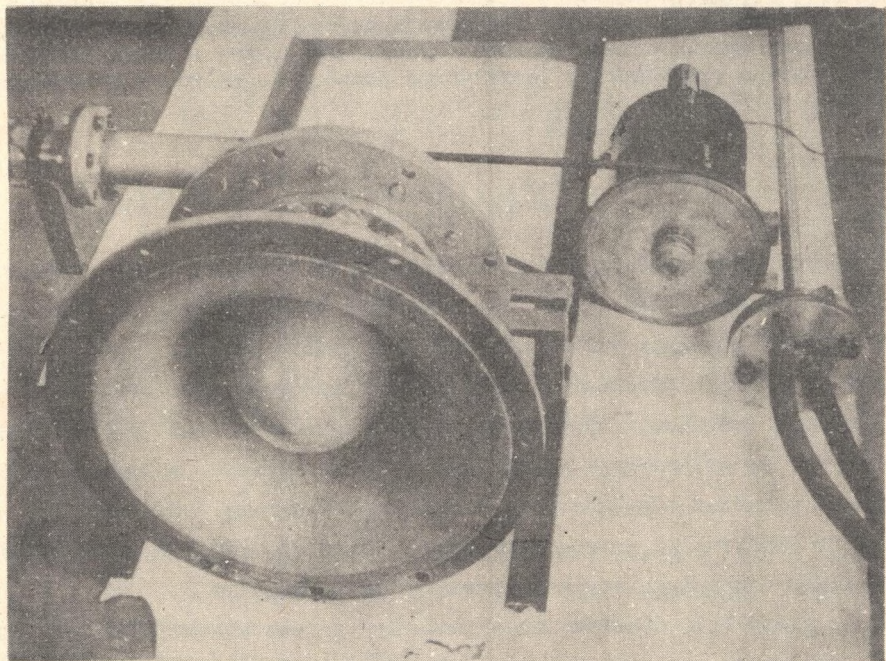
Wstęp

W metodach odpylania gazów przemysłowych specyficzną rolę odgrywa metoda akustyczna. Zaletą jej jest niewielki koszt instalacji akustycznych urządzeń odpylających i małe rozmiary tych urządzeń, wadą - stosunkowo duży koszt eksploatacji. Stan ten spowodowany był brakiem teorii szybkiej koagulacji akustycznej i nie przystosowaniem poprzednich konstrukcji do aglomeracji akustycznej. Aby podwyższyć sprawność akustycznych urządzeń odpylających, skonstruowano syrenę dynamiczną, w której to konstrukcji wprowadzono szereg ulepszeń. Wygląd zewnętrzny poprzedniej i nowej konstrukcji przedstawiają rys. 1 i 2.

Celem pracy było doświadczalne zbadanie parametrów urządzenia, tj. mocy akustycznej, poziomu intensywności dźwięku i sprawności. Dokładny opis stanowiska pomiarowego i użytej w tym celu aparatury opisany jest w pracy (1).



Rys. 1. Syrena dynamiczna KRW



Rys. 2. Syrena dynamiczna nowej konstrukcji wraz z napędem

Podstawy teoretyczne

1) Wzór na moc rozprężania jednostki masy powietrza w komorze syreny-

Rozprężanie powietrza zachodzi względnie szybko, nie następuje wymiana energii z otoczeniem, przez co przemianę możemy uważać za proces adiabatyczny. Z I zasady termodynamiki otrzymujemy

$$m c_v dT + dL = 0, \quad (1)$$

gdzie

m - masa gazu (kg),

c_v - gramowe ciepło właściwe gazu przy stałej objętości ($\frac{\text{kg}}{^{\circ}\text{K}}$),

T - temperatura gazu ($^{\circ}\text{K}$),

L - praca wykonana przez naprężający się gaz (J):

po scałkowaniu w przedziale (T_1, T_2) i uporządkowaniu otrzymujemy

$$L = m c_v T_1 \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \quad (\text{J}). \quad (2)$$

Doświadczalnie dużą trudność sprawia dokładny pomiar zmian temperatury, dlatego też zastępujemy ją zmianami ciśnienia.

Z prawa Poissona otrzymujemy

$$\frac{T_2}{T_1} = \left[\frac{p_2}{p_1}\right]^{\frac{\chi-1}{\chi}}, \quad (3)$$

gdzie

T_1, T_2 - odpowiednio temperatura początkowa i końcowa gazu $^{\circ}\text{K}$,

p_1, p_2 - ciśnienie początkowe i końcowe gazu $\left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right]$,

$\chi - 1,4$ wykładnik adiabaty.

Z teorii kinetyczno molekularnej gazów wiadomo, że

$$c_r = \frac{1}{2} \frac{R}{\mu}, \quad (4)$$

gdzie

μ - masa molowa $\left[\frac{\text{kg}}{\text{mol}}\right]$.

Zakładając, że dla powietrza $\gamma = 5$ (powietrze składa się w większości z gazów dwuatomowych) wzór (2) przekształca się:

$$L = \frac{5}{2} \frac{R}{\mu} T_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right], \quad (5)$$

gdzie

$\frac{R}{\mu}$ - właściwa stała gazowa dla powietrza.

Obliczamy ją z równania Clapeyrona dla tzw. warunków normalnych

$$p_0 v_0 = \frac{m}{\mu} R T, \quad (6)$$

gdzie

$p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right]$ - ciśnienie gazu.

(inne oznaczenia jak wyżej).

Wprowadzając

$$s_0 = \frac{m}{v_0}, \quad (7)$$

gdzie

$s_0 = 1,2283 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$ - gęstość powietrza.

Z (6) i (7) otrzymujemy:

$$\frac{R}{\mu} = 287,14 \left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}^\circ} \right]. \quad (8)$$

Ostatecznie praca rozprężenia 1 kg powietrza wyraża się wzorem

$$L = \frac{5}{2} \frac{R}{\mu} (t + 273^\circ) \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right] [\text{J}], \quad (9)$$

gdzie

t_1 - temperatura gazu sprężonego ($^{\circ}\text{C}$).

Moc rozprężania

$$M = W \cdot L \quad [\text{W}], \quad (10)$$

gdzie

W - wydatek masowy ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$),

tj. ilość masy gazu przepływającego w ciągu jednostki czasu przez komorę syreny.

Metoda obliczania wydatku przedstawiona jest w artykule [1].

2) Obliczanie mocy akustycznej syreny

Syrena jest źródłem kierunkowym, natężenie pola akustycznego jest funkcją kąta

$$J_{\Theta\varphi} = \frac{P_{\Theta\varphi}^2}{z_{\Theta\varphi}}, \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right], \quad (11)$$

gdzie

$J_{\Theta\varphi}$ - skuteczne natężenie pola akustycznego w miejscu pomiaru,

$P_{\Theta\varphi}$ - odpowiadające mu skuteczne ciśnienie akustyczne,

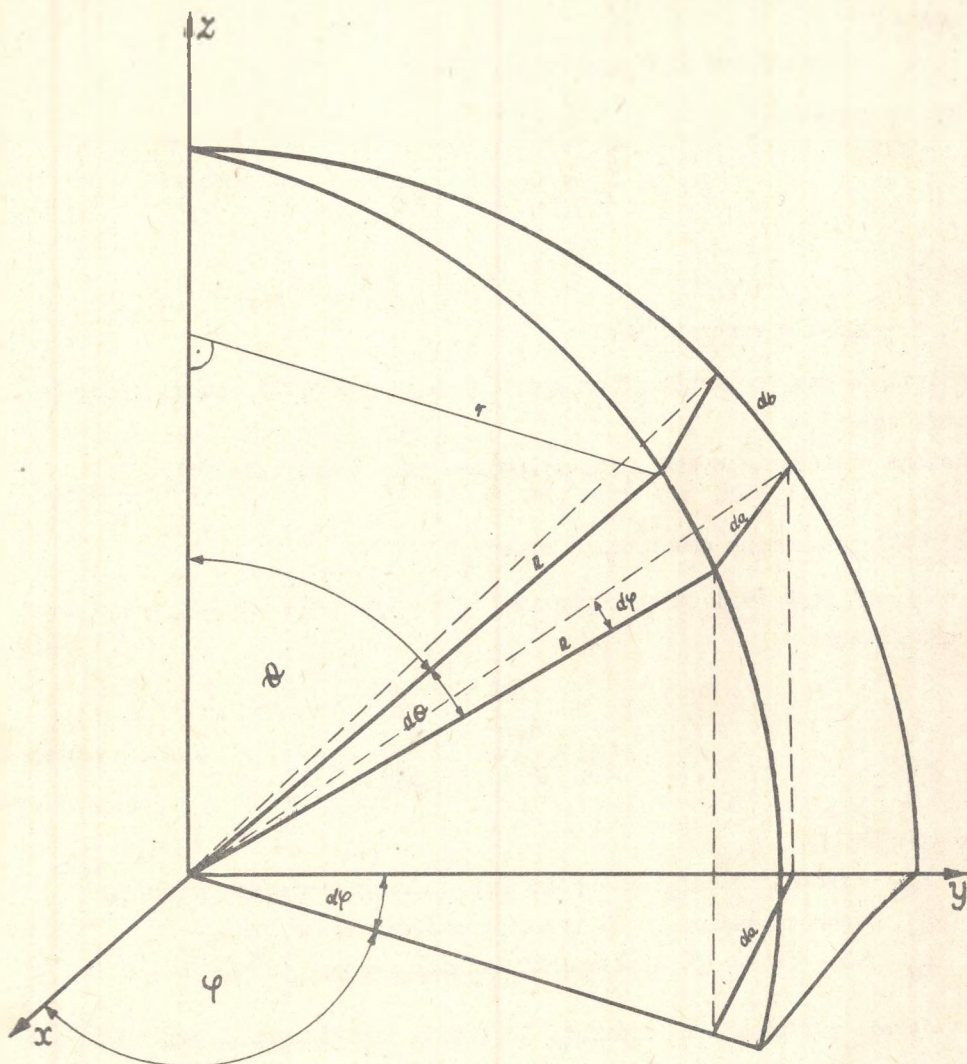
z_{Θ} = c - odporność akustyczna powietrza = $414 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ s}} \right)$.

Jeżeli rozważania ograniczymy do strefy Fraunhoffera, to falę akustyczną możemy uważać za falę płaską, której oporność nie zależy od położenia punktu.

Syrenę traktujemy jako źródło punktowe emitujące energię w półprześtrzeń (rys. 3).

Cząstkowa energia akustyczna przechodząca w jednostce czasu przez element "dS" dany wzorem

$$dS = R^2 \sin\Theta d\Theta d\varphi \quad [\text{m}^2] \quad (12)$$



Rys. 3. Element powierzchni we współrzędnych sferycznych R, θ, φ w źródle układu

jest równa

$$dP = J_{\theta\varphi} dS, \quad (13)$$

całkowita zaś

$$P = \frac{R^2}{9c} \int_0^{\pi} p_0^2 \sin^2 \Theta d\Theta \int_0^{\pi} d\varphi. \quad (14)$$

Zakładając, że syrena promieniuje symetrycznie energię względem swojej osi otrzymujemy

$$P = \frac{\pi R^2}{9c} \cdot 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} p_0^2 \sin^2 \Theta d\Theta. \quad (15)$$

Pomiary były przeprowadzone co $5^\circ = \frac{\pi}{36}$ rd; wskutek ich skończonej ilości wzór (15) przekształca się ostatecznie

$$P = \frac{\pi^2 R^2}{189c} \sum p_0^2 \sin^2 \Theta \left[\frac{W}{m^2} \right], \quad (16)$$

gdzie

R - odległość mikrofonu pomiarowego od środka syreny,

Θ - kąt zawarty między osią syreny a kierunkiem do danego punktu.

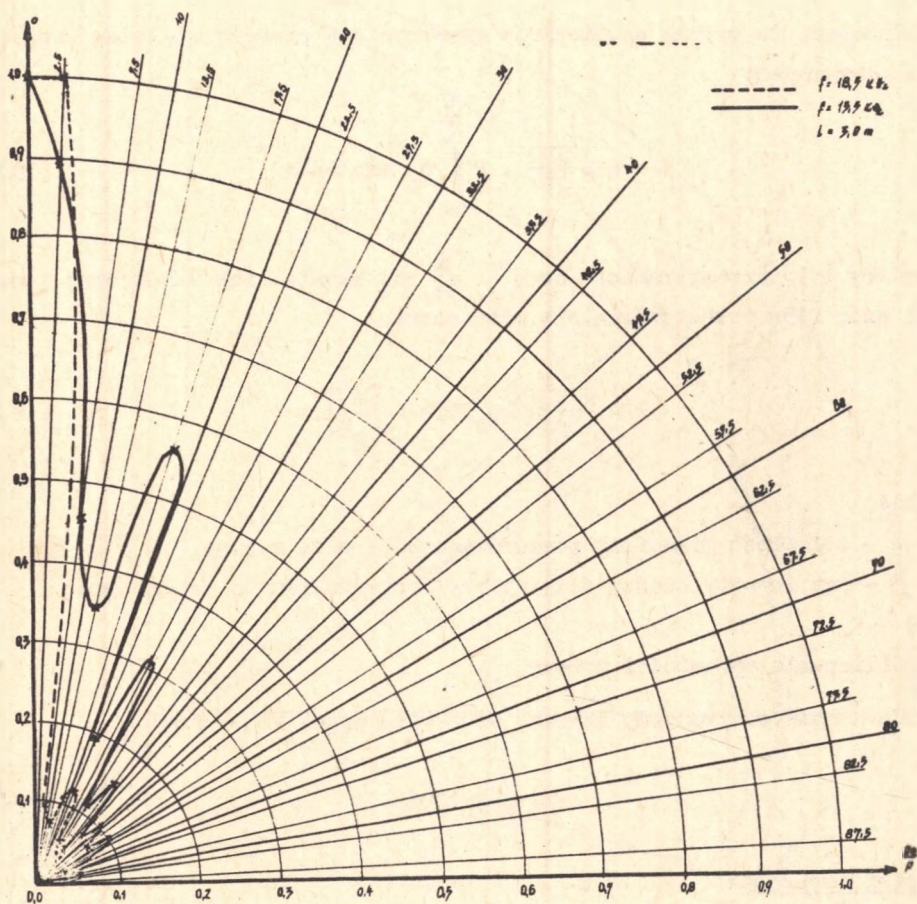
3. Obliczanie sprawności syreny

Sprawność otrzymujemy dzieląc wzór (16) przez (10), stąd

$$\eta = \frac{P}{M} \cdot 100\%. \quad (17)$$

Wyniki pomiarów

a) Charakterystyka biegunowa względnego ciśnienia akustycznego w funkcji kąta (rys. 4) wskazuje, że syrena promieniuje silnie kierunkowo, co jest korzystne w zastosowaniach praktycznych. Kierunkowość wzrasta wraz z częstotliwością. Przebieg poziomu intensywności w funkcji odległości od syreny ma charakter typu funkcji $\frac{1}{r^2}$, co potwierdza założenie, że w polu dalekim syrenę możemy traktować jako źródło punktowe.

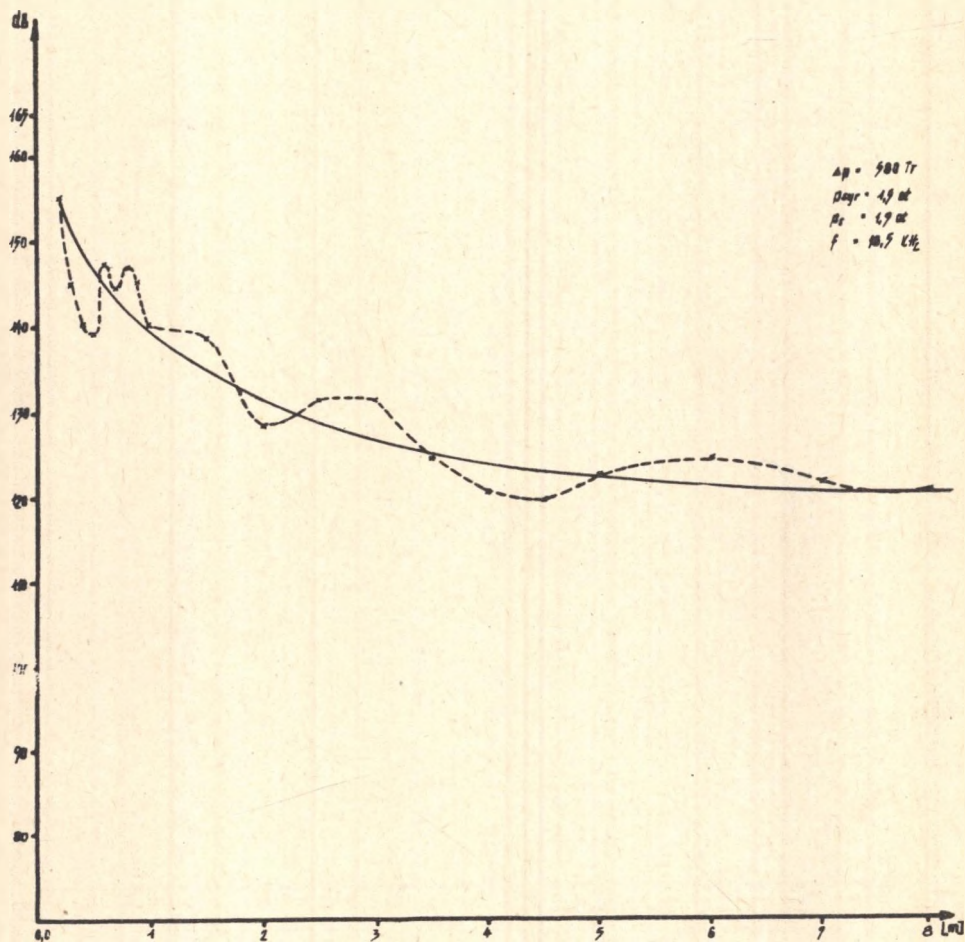


Rys. 4. Zależność względna ciśnienia akustycznego od kąta między osią syreny a danym kierunkiem

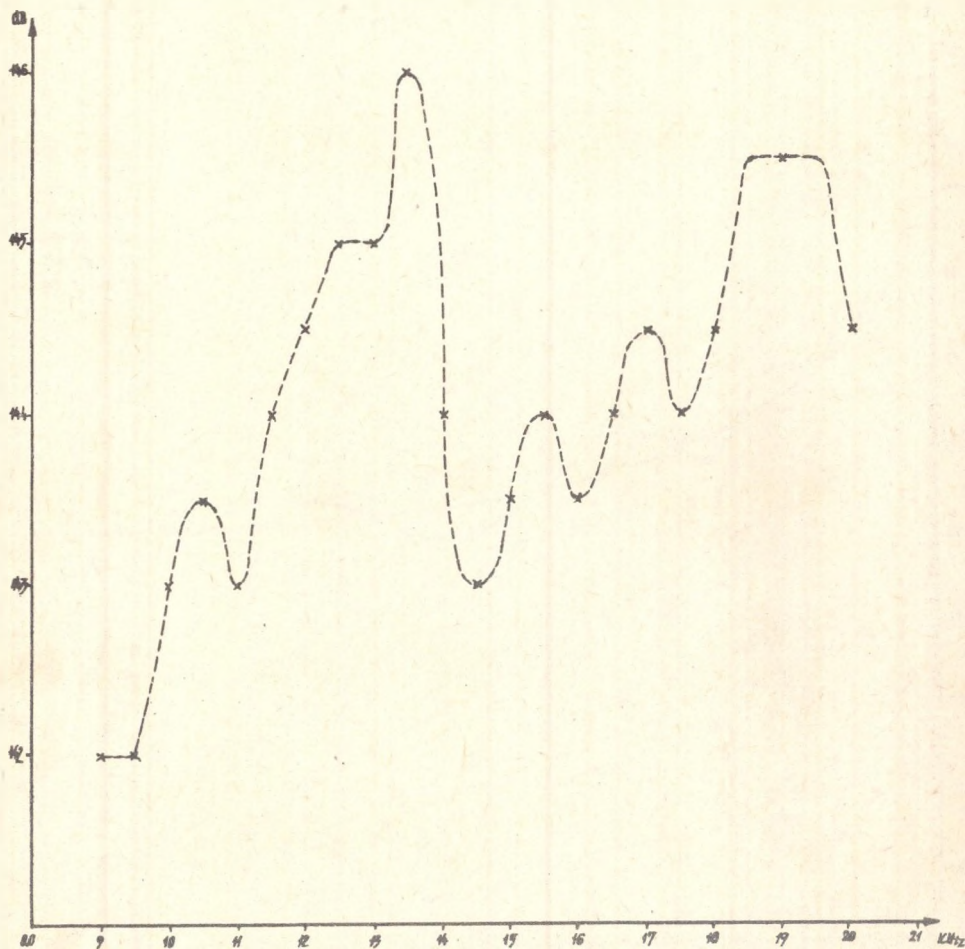
$$f = 18,5 \text{ kHz}$$

$$f = 13,5 \text{ kHz}$$

$$l = 3,0 \text{ m}$$

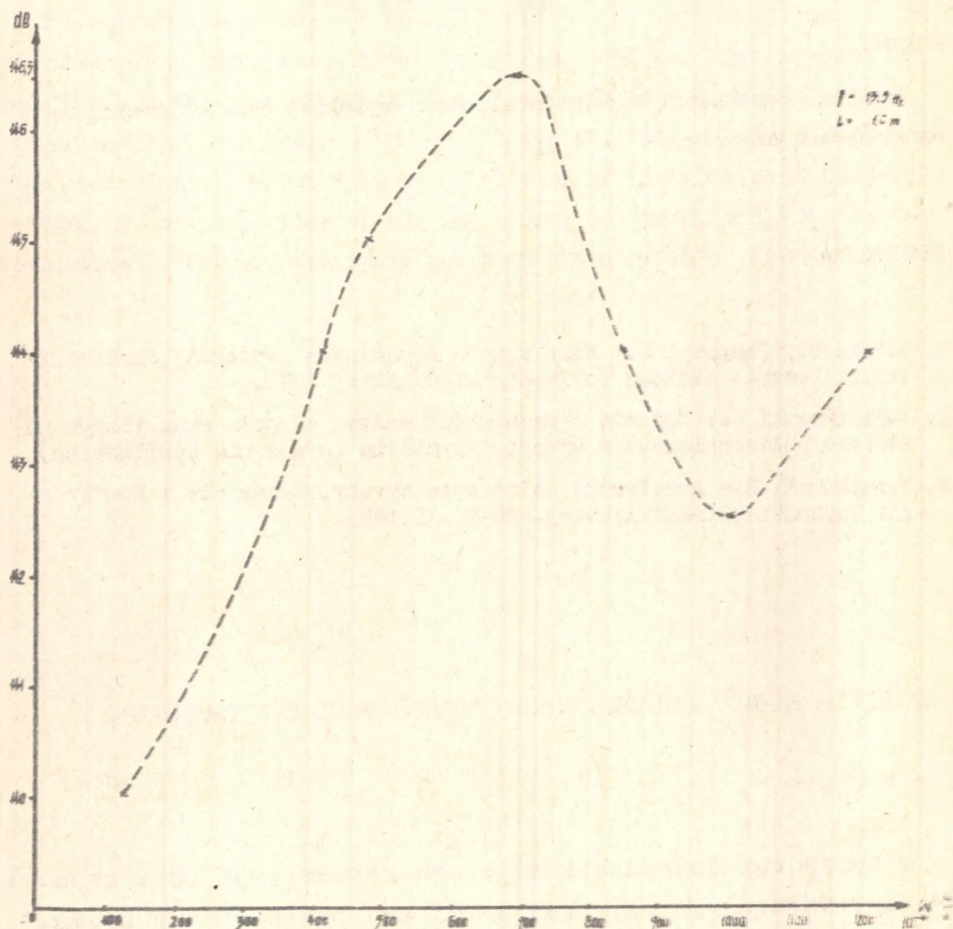


Rys. 5. Charakterystyka pozioma intensywności w funkcji odległości



Rys. 6. Charakterystyka poziomu intensywności w funkcji częstotliwości

Z rys. 6 wynika, że syrena w swoim przedziale częstotliwości pracuje nierównomiernie, istnieją wyraźne minima i maksima poziomu intensywności emitowanej fali akustycznej. Syrena posiada maksimum poziomu intensywności w funkcji wydatku, pozwala to na osiągnięcie w tych punktach stosunkowo dużych sprawności.



Rys. 7. Charakterystyka poziomu intensywności w funkcji wydatku masowego

Moc akustyczna i sprawność syreny jest niewielka, np.

dla $f = 13,5$ kHz	$P = 32,3$ W	$\eta = 2,7\%$
dla $f = 16,3$ kHz	$P = 27,6$ W	$\eta = 2,6\%$
dla $f = 18,5$ kHz	$P = 36,5$ W	$\eta = 3,0\%$

Wnioski

Problem konstrukcji syreny dynamicznej wysokiej częstotliwości jest nadal sprawą otwartą.

LITERATURA

1. Matuła B., Kasprzyk W.: Nowa syrena dynamiczna wysokiej częstotliwości. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej 1973.
2. Zajączkowski J.: Badania strącalności sadzy w polu akustycznym na stoisku półtechnicznym z syreną dynamiczną (praca nie publikowana).
3. Wyrzykowski R.: Akustyczne obliczenie syreny. Materiały z Konferencji Techniki Ultradźwiękowej. 26-28.XI.1953.

ПАРАМЕТРЫ НОВОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИРЕНЫ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Резюме

В процессах коагуляции аэрозоля характерную роль играет акустический метод. Этот метод не применяется в промышленном масштабе, так как приборы, создающие акустическое поле сирены, являются мало точными. Целью опыта является исследование новой конструкции сирены с теоретически лучшими параметрами.

PARAMETERS OF A NEW DYNAMIC SIREN WITH HIGH FREQUENCY

S u m m a r y

The acoustical method of the industrial gases dedusting takes the specific place among the others. The sirens used here are of small dimensions and the cost of installing them is not too high. The main disadvantage in their application on industrial scale is the relatively high cost of their exploitation, on account of their small efficiency. Testing of the properties of the new sirens constructions, having the theoretically better parameters has been the purpose of the work.