

Zdzisław Kozłowski

ULTRADŹWIĘKOWE POMIARY
W OŚRODKACH GAZOWYCH
NA CZĘSTOTLIWOŚCIACH
RZĘDU 1 MHz

2/1968

WARSZAWA

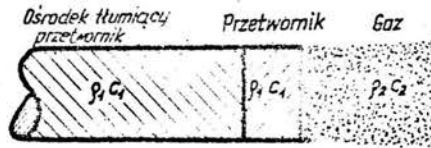


Na prawach rękopisu
Do użytku wewnętrznego

Zakład Badania Drgań I P P T P A N
Nakład 150 egz. Ark. wyd. 0,5. Ark. druk. 1.
Oddano do drukarni w styczniu 1968 r.
Wydrukowano w lutym 1968 r. Nr zam. 83/0/68,
Warszawska Drukarnia Naukowa, Warszawa,
ul. Śniadeckich 8

ULTRADŹWIĘKOWE POMIARY W OŚRODKACH GAZOWYCH NA CZĘSTOTLIWOŚCIACH RZĘDU 1 MHz

Ultradźwiękowe pomiary parametrów pola akustycznego w ośrodkach gazowych znajdują znów ostatnio szersze zastosowanie w związku z możliwościami wykorzystania takich pomiarów do określania bardzo wysokich temperatur w gazach /głównie dla celów atomistyki i techniki raketowej/, [1], [2] oraz do badań z zakresu akustyki molekularnej [3], [4]. Zarówno w pierwszym jak i drugim przypadku, wygodne a często konieczne, jest użycie sygnału ultradźwiękowego o częstotliwości rzędu megacykla. Ostatnio w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN, w wyniku współpracy z Katedrą Miernictwa Energetycznego Politechniki Wrocławskiej podjęto prace nad jeszcze innym praktycznym wykorzystaniem takich pomiarów, a mianowicie nad ultradźwiękową metodą określania stopnia koncentracji pyłów węglowych przy transporcie pneumatycznym rurociągami. Na podstawie dotychczasowych prac i pomiarów wstępnych okazało się, że parametrem czułym na stopień koncentracji zawieszonych w gazie cząstek jest tłumienie fal ultradźwiękowych i że dla wymaganych warunków pomiaru (stężenie solgazu od 0,2 kg pyłu/kg powietrza do ok. 2 kg/kg, wielkość cząstek $15 \div 100 \mu$, wymagana rozróżnialność stężeń 0,05 kg/kg, średnica rurociągu ok. 80 mm) częstotliwość sygnału pomiarowego musi wynosić kilkaset kilocykli. Do prowadzenia badań opracowano i wykonano w IPPT PAN odpowiednią aparaturę - Pyłomierz ultradźwiękowy typ UP-1 - wyspecjalizowaną do tego rodzaju pomiarów. Aparatura ta może być również łatwo dostosowana do innych potrzeb a w szczególności do dokładnych, laboratoryjnych pomiarów tłumienia i prędkości ultradźwięków w różnych gazach w zakresie częstotliwości do ok. 2,5 MHz. Pomiary takie wykonywać można metodą impulsowo-fazową z tą samą dokładnością i na tej samej zasadzie co w cieczach [5].



Rys. 1

granicę ośrodków i przenikającej w drugi ośrodek, zaś $\rho_1 c_1$ i $\rho_2 c_2$ odpowiednio akustyczne oporności falowe przetworników i ośrodka. Wzór (2) słuszny jest ponadto tylko dla fali płaskiej padającej prostopadle na granicę ośrodków co jednak w naszym przypadku jest na ogół spełnione. Znając współczynnik przenikania można określić osłabienie sygnału w dB wg wzoru:

$$\text{Osłabienie [dB]} = 10 \log \frac{J_{\text{pad}}}{J_{\text{przen}}} = 10 \log \frac{1}{q_J} \quad (3)$$

Wyniki tak przeprowadzonych obliczeń dla przetworników kwarcowych (SiO_2) i przetworników z tytanianu baru (BaTiO_3) promieniujących w wodę i w powietrze zestawiono w tabeli II. W tabeli tej podano również współczynniki przenikania i osłabienia sygnału w dB przy przejściu sygnału przez granicę żywica epoksydowa-woda i żywica epoksydowa-powietrze, co ma znaczenie dla przypadku, gdy przetworniki nie promieniują w ośrodek bezpośrednio lecz są od niego oddzielone przedłużaczami.

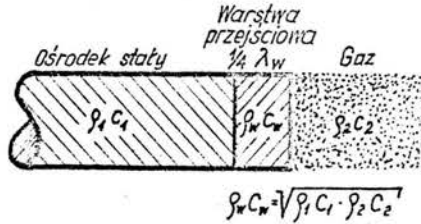
Jak widać, w przypadku promieniowania w powietrze strata mocy jest o ok. 35 dB (dla żywicy ok. 32 dB) większa niż w przypadku wody, co na całej drodze pomiarowej (dwukrotne

TABELA II

| Granica ośrodków | Współczynnik przenikania q_j | Oslabienie sygnału w dB |
|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| Kwarc - woda | 0,332 | ok. 4,7 |
| Kwarc - powietrze | $1,11 \cdot 10^{-4}$ | ok. 39,5 |
| Tytanian baru - woda | 0,172 | ok. 7,6 |
| Tytanian baru - powietrze | $0,528 \cdot 10^{-4}$ | ok. 42,8 |
| Żywica epoksydowa - woda | 0,873 | ok. 0,6 |
| Żywica epoksyd. - powietrze | $5,3 \cdot 10^{-4}$ | ok. 32,7 |

przejście granicy ośrodków) wprowadza niezależnie od tłumienia gazu, osłabienie sygnału, w stosunku do pracy w wodzie, o ok. 70 dB. Należy jednak podkreślić, że w przypadku przetworników, przeprowadzone w ten sposób obliczenia mają jedynie charakter orientacyjny ponieważ na ogół warunki pracy przetworników, szczególnie przy pracy w rezonansie, odbiegają znacznie od założonych wyżej. W rzeczywistości ilość wypromieniowanej przez przetwornik energii jest zależna zarówno od sposobu obciążenia i zamocowania przetwornika jak i od parametrów generatora zasilającego przetwornik, częstotliwości pracy itp. Gruntowna analiza wpływu tych wszystkich czynników jest jednak skomplikowana i wymaga odrębnego opracowania.

Oslabienie sygnału przy promieniowaniu z ciała stałego w gaz można do pewnego stopnia zmniejszyć przez stosowanie warstw przejściowych. Zagadnienie to zostało ostatnio wyczerpująco omówione przez Lynnwortha [7]. Z teorii wynika, że straty te maleją do zera ($q_j = 1$) w przypadku zastosowania warstwy o grubości ćwierćfalowej tj. $d = (2n + 1) \cdot \lambda / 4$ wykonanej z materiału, którego $\rho_w c_w$ jest średnią geometryczną oporności falowych ośrodków 1 i 2 (rys. 2).



Rys. 2

Dla przypadku kwarc-powietrze oporność optymalna warstwy przejściowej wynosi ok. $8 \cdot 10^3 \text{ g/cm}^2\text{sek}$ (co jest jednak praktycznie zupełnie nieosiągalne, ponieważ materiały o takim ρc przy normalnym ciśnieniu i temperaturze nie istnieją). Pewne polepszenie transmisji sygnału można jednak uzyskać stosując warstwy przejściowe z tworzyw sztucznych (np. żywica epoksydowa, lub plexiglas, $\rho c \approx 300 \cdot 10^3 \text{ g/cm}^2\text{sek}$) lub z cieczy (np. woda, $\rho c = 150 \cdot 10^3 \text{ g/cm}^2\text{sek}$). Teoretyczny zysk energetyczny osiągany dzięki stosowaniu ćwierćfalowych warstw przejściowych przy wpromieniowywaniu dźwięku z ciała stałego w gaz przedstawiono dla różnych przypadków w tabeli III.

TABELA III

| Ośrodek stały - gaz | Warstwa ćwierćfalowa | Zysk energetyczny /odtłumienie/ w dB |
|-----------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| Kwarc - powietrze | plexiglas | 13,5 |
| | woda | 20,0 |
| Tytanian baru - powietrze | plexiglas | 20,0 |
| | woda | 26,5 |
| Żywica epoksyd. - powietrze | woda | 6,6 |

Dla obliczenia współczynnika przenikania q_J z warstwą przejściową użyto wzoru podanego przez Bergmanna [8]. Odtłumienie wprowadzane przez warstwę obliczono wg zależności:

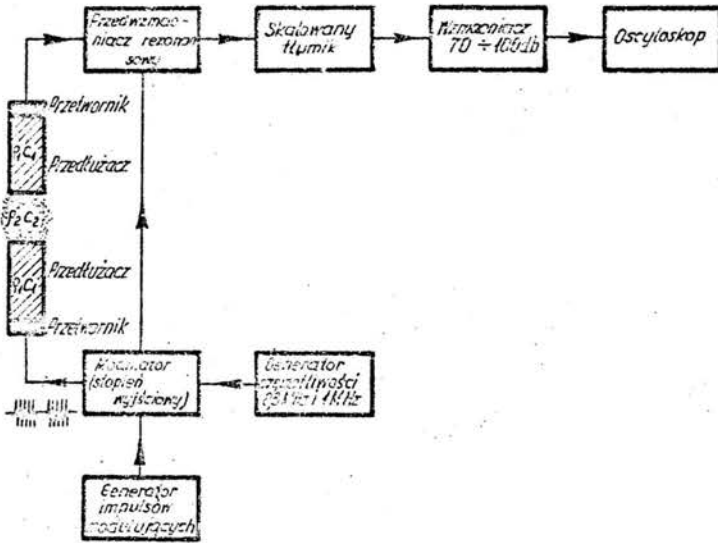
$$\text{Odtłumienie [dB]} = 10 \log \frac{q_J \text{ z warstwa}}{q_J \text{ bez warstwy}} \quad (4)$$

z tym, że jeżeli ośrodkiem stałym jest przetwornik to konieczne jest oczywiście spełnienie warunków pracy założonych powyżej przy obliczaniu współczynników przenikania. Otrzymane wyniki obliczeń zgodne są z wynikami podanymi przez Lynnwortha [7].

Wyniki pomiarów

W celu skontrolowania i skorygowania powyższych obliczeń przeprowadzono szereg pomiarów dotyczących zarówno badania warstw przejściowych jak i określenia tłumienia i prędkości fal ultradźwiękowych. Pomiarów tłumienia dokonano metodą impulsową z użyciem skalowanego tłumika pojemnościowego na którym bezpośrednio odczytywano różnice tłumienia, a pomiary prędkości przeprowadzono metodą impulsowo-fazową. Schemat blokowy układu pomiarowego przedstawiono na rys. 3. Szczegółowy opis metod pomiarowych podano w pracy [5] dla przypadku cieczy jednakże zarówno zasada pomiaru jak i część elektrownowa aparatury pozostają w zasadzie nie zmienione. W wyniku pomiarów otrzymano następujące rezultaty:

- 1/ Stwierdzono, że opracowana aparatura w pełni nadaje się do pomiarów tłumienia i prędkości fal ultradźwiękowych w gazach w zakresie od 100 kHz do ok. 3 MHz. Przy stosowaniu przetworników cyrkonianowych niezbędne wzmocnienie sygnału odbieranego wynosić musi ok. 70 ± 100 dB. Błąd pomiaru prędkości nie przekracza 0,1 % a błąd pomiaru różnicy tłumień równy jest ok. 1 dB. Pomiary tłumienia i prędkości wykonane w powietrzu przy częstotliwości 1 MHz i w temperaturze $t = 29,5$ °C dały następujące rezultaty:



Rys. 3

$$\alpha \approx 2 \text{ dB/cm}$$

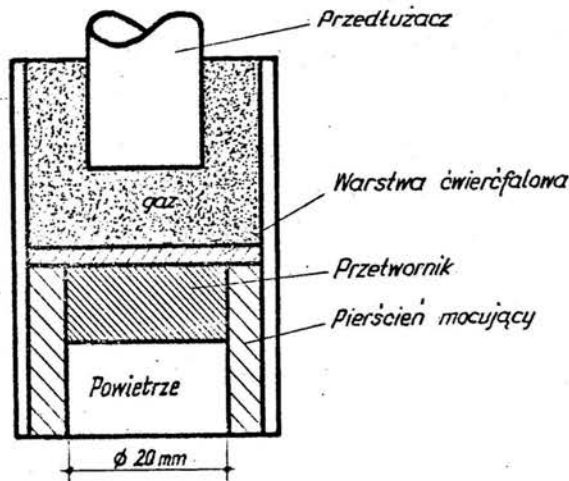
$$c = 351,2 \text{ m/sek}$$

co w granicach dokładności pomiarów zgadza się z danymi tablicowymi. Tłumienie mierzono na drodze $l = 4 \text{ cm}$ więc błąd pomiaru może wynosić ok. $\pm 0,25 \text{ dB}$ przy czym podczas pomiaru nie była kontrolowana wilgotność powietrza.

2/Dla skontrolowania słuszności wzorów (2), (3), (4) w warunkach zbliżonych do założonych przy obliczeniach, przeprowadzono przy częstotliwości 1 MHz pomiary osłabienia sygnału na granicy dwóch ośrodków a także pomiary wpływu warstw przejściowych, stosując przedłużacze z żywicy epoksydowej Epi-dian 5 o długości 65 mm, eliminujące bezpośredni wpływ przetwornika (układ akustyczny jak na rys. 3, jako ośrodek badany woda lub powietrze, warstwę przejściową nakładano

na przedłużacz dolny). W tym przypadku otrzymano bardzo dobrą zgodność z teorią. Dla przejścia sygnału przez granicę żywica-powietrze otrzymano tłumienie o 31,5 dB większe niż dla przejścia granicy żywica-woda, wobec różnicy 32,1 dB wyliczonej teoretycznie tabela II. Wprowadzenie ćwierćfalowej warstewki wody na granicy żywica-powietrze powodowało odtłumienie sygnału o 4,5 dB, wobec 6,6 dB przewidzianych teoretycznie (tabela III).

- 3/ Stwierdzono, że w przypadku przetworników nieobciążonych zamocowanych jak na rys. 4, włączanych w układ pomiarowy jak na rys. 3 zamiast przetworników z przedłużaczami,



Rys. 4

stosowanie warstw przejściowych na przetwornikach nie daje nawet w przybliżeniu zysku energetycznego przewidzianego teoretycznie. Warstwy ćwierćfalowe z plexiglasu przyklejone do przetworników z tytanianu baru za pomocą wazelin lub płynnego kleju srebrnego wprowadzały dodatkowe

tłumienie ok. 2 dB zamiast przewidywanego odtłumienia (patrz tabela III) . Warstwy ćwierćfalowe z plexiglasu przyklejone na sztywno (wyschnięty klej srebrny) wnosiły już pewne odtłumienie (zwiększenie sygnału o ok. 3 dB) jednak dużo mniejsze niż przewidywane teoretycznie. Warstwa wody na przetworniku tytanianowym wprowadzała odtłumienie ok. 4 dB zamiast 26,5 dB . Wszystkie wyżej wymienione badania przeprowadzono przy częstotliwości 0,3 MHz i dla przetworników nieobciążonych (zamocowanie jak na rys. 4) pracujących w rezonansie czyli w warunkach zupełnie różnych od założonych przy obliczeniach. Wyniki wskazują, że w przypadku stosowania warstw z ciała stałego nakładanych na przetwornik zasadniczą rolę odgrywa również sposób sprzężenia przetwornika z warstwą. Niezależnie jednak od tego (doświadczenie z warstwą wody) można stwierdzić, że w przypadku przetworników nie tłumionych nie można stosować nawet w przybliżeniu wzorów na współczynnik przenikania dla granicy dwóch ośrodków nieskończonych.

L i t e r a t u r a

- [1] Carnevale E.H., Poss E.L., Yos I.M., "Ultrasonic temperature determination in a plasma". Temperature - Its Measurement and Control in Science and Industry, New York: Reinhold, vol. 3, pt 2, /1962/, 959.
- [2] Carnevale E.H., Larson G.S., Lynnworth L.C., "Ultrasonic determination of temperature and transport properties in a hightemperature gas", JASA, 35, /1963/, 1884.
- [3] Michajłow J.G., Sołowjew W.A., Syrnikow I.P., "Osnowy moljekuljarnoj akustiki", Moskwa 1964.
- [4] Kudrjawcew B.B., "Ultraakusticzeskije metody issledowanija wieszczestwa", Moskwa 1961.

- [5] Kozłowski Z., Wehr J., "Ultradźwiękowy interferometr impulsowo-fazowy", *Pomiary Automatyka Kontrola*, t.XI, /1965/, 295-298.
- [6] Filipczyński L., Pawłowski Z., Wehr J., "Ultradźwiękowe metody badania materiałów", PWT, Warszawa, 1965, s.10.
- [7] Lynnworth L.C., "Ultrasonic Impedance Matching from Solids to Gases", *IEEE Trans. on Sonics and Ultrasonics*, 1965, No 2, 37-48.
- [8] Bergmann L., "Ultraszruk", Moskwa 1957, s.23.