



**BADANIA TEORETYCZNE ROZKŁADU POLA
CIŚNIENIA ANTENY WIELOELEMENTOWEJ**

**Theoretical investigations of the pressure distribution
for biharmonic transmitting array**

Anna Baranowska

Politechnika Gdańska, Katedra Analizy Matematycznej i Numerycznej
anbar@mif.pg.gda.pl

STRESZCZENIE

Celem pracy jest omówienie zagadnienia oddziaływań fal o skończonej amplitudzie generowanych przez hydroakustyczną antenę wieloelementową. Zakładano, że źródłem fal jest antena składająca się z 16 przetworników kołowych tej samej wielkości będących odpowiednio źródłem fal o dwóch różnych częstotliwościach. Rozpatrzono dwie konfiguracje powierzchni promieniującej anteny. Model matematyczny zbudowano w oparciu o równanie Chochłowa - Zabołockiej - Kuźniecowa (równanie KZK). Do numerycznego rozwiązania zagadnienia zastosowano metodę różnic skończonych. Analizowano zmiany ciśnienia fal o różnych częstotliwościach w funkcji odległości od źródła na osi wiązki oraz rozkłady ciśnienia powyższych fal w wybranych przekrojach rozpatrywanego obszaru. Szczególną uwagę poświęcono badaniom rozkładów fali różnicy częstotliwości. W pracy przedstawiony jest model matematyczny uwzględniający brak osiowej symetrii anteny oraz wyniki badań teoretycznych przeprowadzonych dla różnych wartości parametrów pracy źródła.

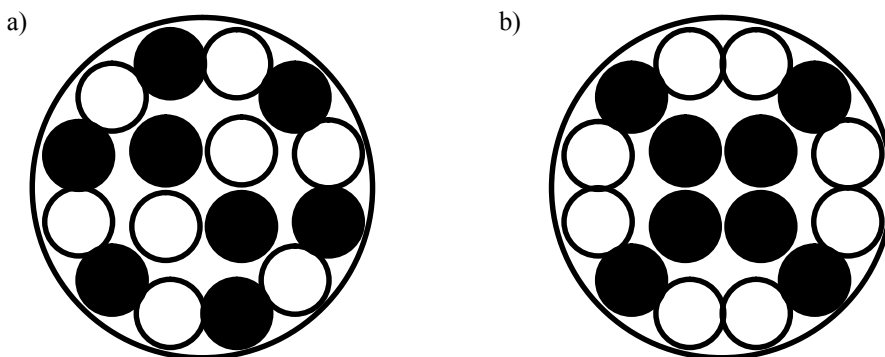
1. WPROWADZENIE

Zagadnienie oddziaływań fal o skończonej amplitudzie jest jednym z ważniejszych zagadnień akustyki nieliniowej [1-3]. Najczęściej w badaniach teoretycznych rozważane są źródła kołowe. Przy założeniu osiowej symetrii rozkładu ciśnienia na źródle możliwe jest zastosowanie odpowiednich uproszczeń w budowanych modelach matematycznych pozwalających na analizowanie zagadnienia we współrzędnych walcowych. Model matematyczny i numeryczny zagadnienia oddziaływania fal promieniowanych przez anteny wieloelementowe jest o wiele bardziej skomplikowany niż dla źródeł kołowych. W powyższym przypadku powierzchnia promieniująca oraz rozkłady ciśnienia w obrębie wiązki akustycznej nie spełniają warunku osiowej symetrii. Z tego powodu do rozwiązania zagadnienia nie jest możliwe zastosowanie znanych modeli dla źródeł o osiowej symetrii.

Celem pracy jest numeryczna analiza zagadnienia oddziaływania fal o skończonej amplitudzie promieniowanych przez antenę wieloelementową.

2. MODEL MATEMATYCZNY

Zakładamy, że źródłem fal o skończonej amplitudzie jest antena składająca się z 16 kołowych przetworników o tych samych wymiarach promieniujących fale o wybranej częstotliwości. Elementy anteny pogrupowane są w dwie sekcje. Każda grupa składa się z ośmiu przetworników promieniujących fale tej samej częstotliwości (Rys. 1). Poszczególne przetworniki są odpowiednio źródłami fal o częstościach kątowych $\omega_1 = 2\pi f_1$ (biały przetwornik) i $\omega_2 = 2\pi f_2$ (czarny przetwornik).



Rys. 1. Konfiguracje przetworników anteny nadawczej [2]

Źródło fal jest umieszczone w płaszczyźnie yOz i fale rozchodzą się w kierunku osi x . Oznacza to, że oś x pokrywa się z osią wiązki akustycznej. Rozwiązanie poszukiwane jest wewnątrz obszaru $D = \{(x, y, z) \in R^3 : x \in [0, X], y \in [-A, A], z \in [-A, A]\}$ dla $\tau \in [0, T]$, gdzie X oznacza maksymalną badaną odległość od źródła, zaś A jest dostatecznie dużą odległością od osi wiązki.

Model matematyczny zagadnienia oddziaływań fal o skończonej amplitudzie zbudowano w oparciu o równanie KZK:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \left(\frac{\partial p'}{\partial x} - \frac{\varepsilon}{\rho_0 c_0^3} p' \frac{\partial p'}{\partial \tau} - \frac{b}{2\rho_0 c_0^3} \frac{\partial^2 p'}{\partial \tau^2} \right) = \frac{c_0}{2} \left(\frac{\partial^2 p'}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p'}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

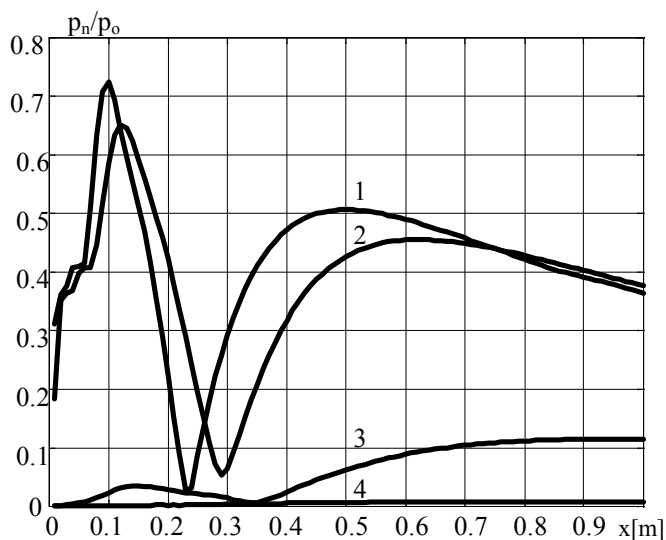
gdzie $p'=p-p_0$ oznacza ciśnienie akustyczne, zmienna $\tau=t-x/c_0$ jest czasem w układzie współrzędnych związanym z czołem fali, y i z – współrzędne ortogonalne z osią x , ρ_0 – gęstość środowiska, c_0 – prędkość fali akustycznej, b – współczynnik dyssypatywności, ε – współczynnik nieliniowości.

Do rozwiązania zagadnienia zastosowano metodę różnic skończonych. Dla rozwiązania równania (1) konstruowana jest prostokątna siatka. W wyniku obliczeń komputerowych otrzymujemy zmiany ciśnienia w obrębie wiązki akustycznej.

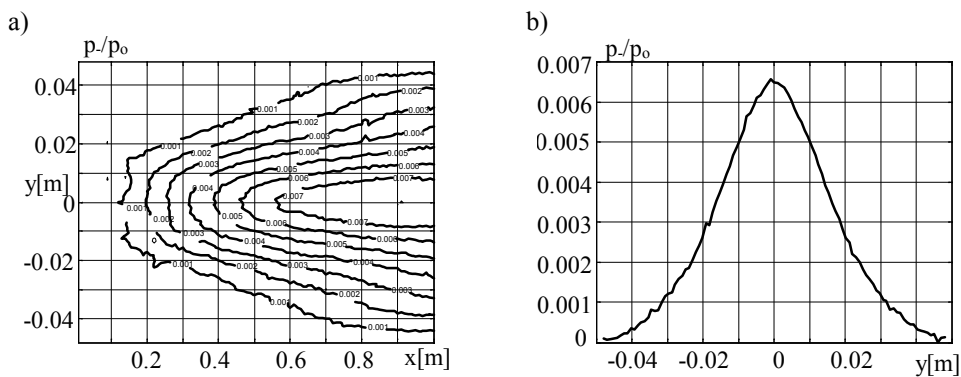
3. BADANIA NUMERYCZNE

Badania numeryczne wykonane zostały dla anteny 16 elementowej o parametrach pracy odpowiednio $f_1=1,2$ MHz i $f_2=1,5$ MHz oraz $p_0=150$ kPa.

Rysunek 2 przedstawia zmiany ciśnienia fal różnych częstotliwości w funkcji odległości od źródła na osi wiązki. Rozkład ciśnienia fali różnicy częstotliwości oraz zmiany ciśnienia tej fali w przekroju poprzecznym wiązki w odległości $x=0,5$ m od źródła pokazano na rysunku 3. W obu przypadkach obliczenia wykonywane były dla konfiguracji przetworników pokazanej na rysunku 1a.

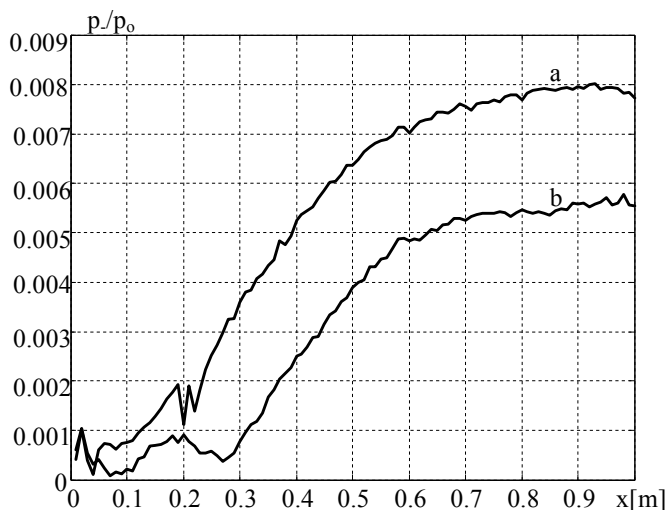


Rys. 2. Unormowane ciśnienie fali (1) f_1 , (2) f_2 , (3) sumy, (4) różnicy częstotliwości w funkcji odległości od źródła na osi wiązki



Rys. 3. Rozkład ciśnienia fali różnicy częstotliwości w przekroju rozpatrywanego obszaru (a), zmiany ciśnienia tej fali w przekroju poprzecznym wiązki w odległości $x=0,5$ m od źródła (b)

Badania numeryczne prowadzone były dla różnych konfiguracji anteny. Na rysunku 4 pokazano zmiany ciśnienia fali różnicy częstotliwości w funkcji odległości od źródła na osi wiązki wyznaczone dla konfiguracji anteny pokazanej na rysunku 1.



Rys. 4. Unormowane ciśnienie fali różnicy częstotliwości w funkcji odległości od źródła na osi wiązki dla różnych konfiguracji anteny

4. UWAGI KOŃCOWE

W pracy przedstawiono model matematyczny i wyniki badań teoretycznych zagadnienia oddziaływań fal o skończonej amplitudzie dla anteny wieloelementowej.

Badania teoretyczne wykonano z zastosowaniem własnego programu komputerowego opracowanego w oparciu o zaproponowany model matematyczny. Powyższy program pozwala na prowadzenie badań teoretycznych dla różnych wartości parametrów fizycznych i numerycznych.

Opracowany model matematyczny i program komputerowy mogą znaleźć zastosowanie w modelowaniu zjawiska propagacji i oddziaływania fal dla różnych typów źródeł bez osiowej symetrii.

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2002-2004 jako projekt badawczy nr 0 T00B 005 23

LITERATURA

1. A. BARANOWSKA, Theoretical analysis of the finite amplitude waves interaction problem for two types of piston, *Hydroacoustics*, **5**, 1-8 (2002/2003).
2. G. GRELOWSKA, E. KOZACZKA, Biharmonic transmitting array, *Hydroacoustics*, **3**, 57-62 (2000).
3. L.K. ZAREMBO, V.I. TIMOSHENKO, *Nonlinear acoustic*, Moscow University Press, Moscow 1984 (in Russian).