

**MATERIAŁY POMOCNICZE DO WYKŁADU
Z PODSTAW ZASTOSOWAŃ ULTRADŹWIĘKÓW W MEDYCYNIE**
(wyłącznie do celów dydaktycznych – zakaz rozpowszechniania)

5a. Promieniowanie źródeł dźwięku. Pole bliskie i dalekie, kierunkowość.

S2. Promieniowanie źródeł dźwięku

Każdy układ mechaniczny (**bryła**) wprowadzony do drgań w środowisku sprężystym jest źródłem dźwięku.

Drgania bryły udzielają się cząsteczkom środowiska i rozchodzą się w postaci fali akustycznej.

energia drgań mechanicznych układu drgającego → energia drgań akustycznych

=====

S3. Promieniowanie źródeł dźwięku

Poglądowe wyjaśnienie zjawiska → ruch płaskiej płytki w powietrzu.

W pewnych częściach okresu drgań źródło oddaje energię środowisku, a w innych pobiera ją z powrotem.

=====

S4. Promieniowanie źródeł dźwięku

ENERGIA WSPÓLDRGĄCEGO ŚRODOWISKA

Ta **część energii oddanej** początkowo **środowisku** (która jest później zwrócona do źródła) zużytkowana jest na **wprawienie w ruch warstw powietrza stykających się ze źródłem**.

ENERGIA WYPROMIENIOWANA

Pozostała, **niezwrócona część energii** zostaje wypromieniowana do środowiska w postaci **fali akustycznej**. Ta energia rozchodząc się w przestrzeni zostaje stopniowo zamieniana na ciepło.

=====

S5. Promieniowanie źródeł dźwięku

Drgająca płytka w środowisku sprężystym stanowi elementarny przetwornik mechano-akustyczny.

$$\underline{F} = \underline{p} \cdot S_c$$

$$\underline{F} = A \cdot e^{j\omega t}$$

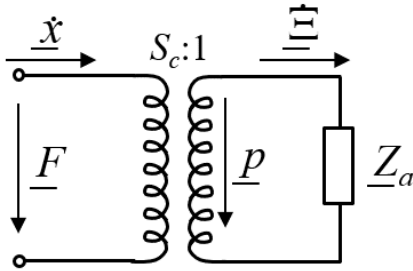
chwilowa wartość

$$\underline{Z}_m = \frac{\underline{F}}{\underline{\dot{x}}} = \frac{\underline{p} \cdot S_c}{\underline{\dot{\xi}}} = \frac{\underline{p} \cdot S_c}{\underline{\dot{\xi}}} \cdot \frac{S_c}{S_c} = \frac{\underline{p} \cdot S_c^2}{\underline{\dot{\xi}} \cdot S_c} = \frac{\underline{p}}{\underline{\dot{\xi}}} S_c^2 = \underline{Z}_a \cdot S_c^2$$

S6. Promieniowanie źródeł dźwięku

$$\underline{Z}_m = \frac{\underline{F}}{\underline{\dot{x}}} = \frac{p \cdot S_c}{\underline{\dot{\xi}}} = \underline{Z}_a \cdot S_c^2$$

Impedancja akustyczna przenosi się na stronę mechaniczną w taki sposób, jak gdyby między obiema stronami był **transformator idealny o przekładni $S_c : 1$**



S7. Pole ultradźwiękowe promieniowane przez przetwornik

(Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)

Przestrzenna ch-ka kierunkowości promieniowania \rightarrow przestrzenny rozkład ciśnienia akustycznego wypromieniowanego dźwięku.

Reprezentatywny model przetwornika \rightarrow płaska okrągła płyta, której wszystkie punkty powierzchni drgają z jednakową amplitudą i fazą \rightarrow **tłok drgający w nieskończenie wielkiej odgradzie.**

S8-9. Pole ultradźwiękowe promieniowane przez przetwornik

(Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)

$$p = \frac{P_o}{r \lambda} \cdot e^{j(\omega t - \beta r)}$$

Fala sferyczna (kulista) źródła punktowego

$$dp = \frac{P_o}{r \lambda} dS \cdot e^{j(\omega t - \beta r)}$$

promieniowanie elementarnej powierzchni tłoka ds .

$$P = 2P_o \cdot \sin \left[\frac{\pi}{\lambda} \left(\sqrt{a^2 + r^2} - r \right) \right] \quad \text{Amplituda ciśnienia akustycznego na osi tłoka}$$

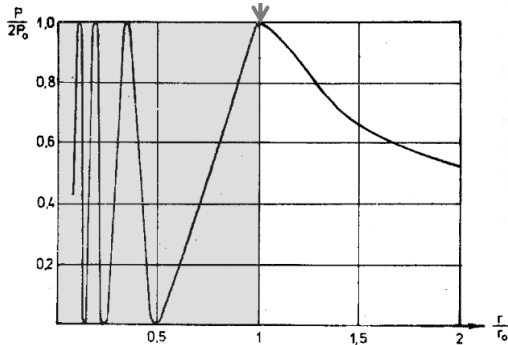
$$r_{n_{\max}} = \frac{4a^2 - \lambda^2 (2n+1)}{4\lambda (2n+1)} \quad \text{dla } n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad r_{n_{\min}} = \frac{a^2 - \lambda^2 n^2}{2n\lambda} \quad \text{dla } n = 1, 2, 3, \dots$$

S10-12. Pole ultradźwiękowe promieniowane przez przetwornik – pole bliskie

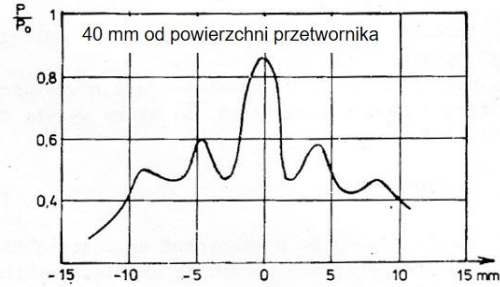
(Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)

$$r_o = \frac{4a^2 - \lambda^2}{4\lambda} \quad \text{dla } n=0 \quad \text{Pole bliskie}$$

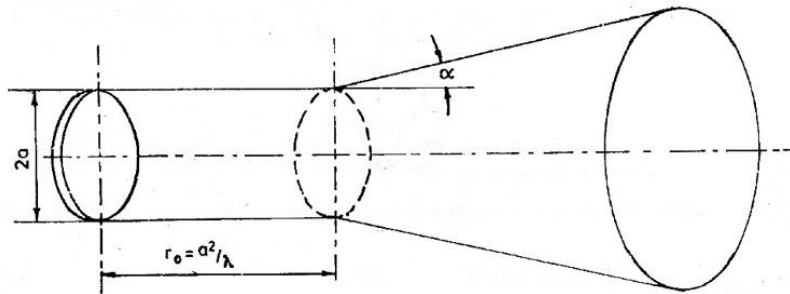
$$a^2 \gg \lambda^2 \Rightarrow r_o = \frac{a^2}{\lambda} = \frac{d^2}{4\lambda}$$



Rys. 1.29. Rozkład ciśnienia ultradźwięku wzdłuż osi głównej drgającego tłoka



Rys. 1.30. Przykład rozkładu poprzecznego ciśnienia w polu bliskim przetwornika



Rys. 1.31. Przybliżony kształt pola ultradźwiękowego tłoka drgającego

S13-16. Pole ultradźwiękowe promieniowane przez przetwornik – charakterystyka kierunkowości

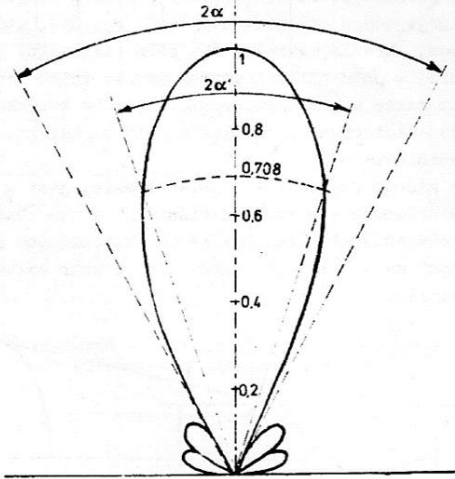
(Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)

Kształt i rozkład ciśnienia pola dalekiego określony jest tzw. charakterystyką kierunkowości.

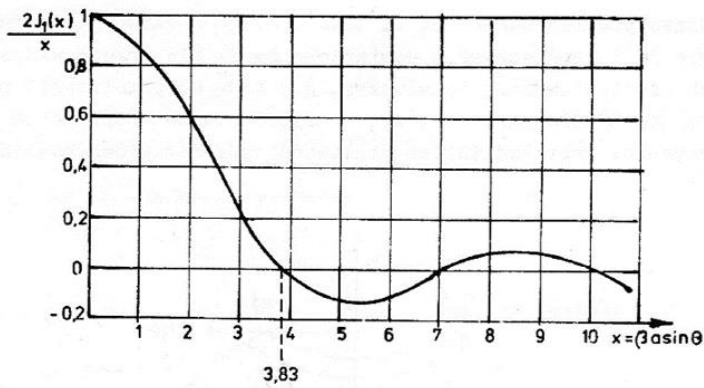
$$p = \frac{P_o}{r \cdot \lambda} \frac{J_1(\beta \cdot a_o \sin \theta)}{\beta \cdot a_o \sin \theta} e^{j(\omega t - \beta r)} \quad \text{Tłok drgający w nieskończenie wielkiej odgradzie}$$

$$\text{dla } \theta=0 \quad p_o = \frac{P_o}{2r \cdot \lambda} e^{j(\omega t - \beta r)}$$

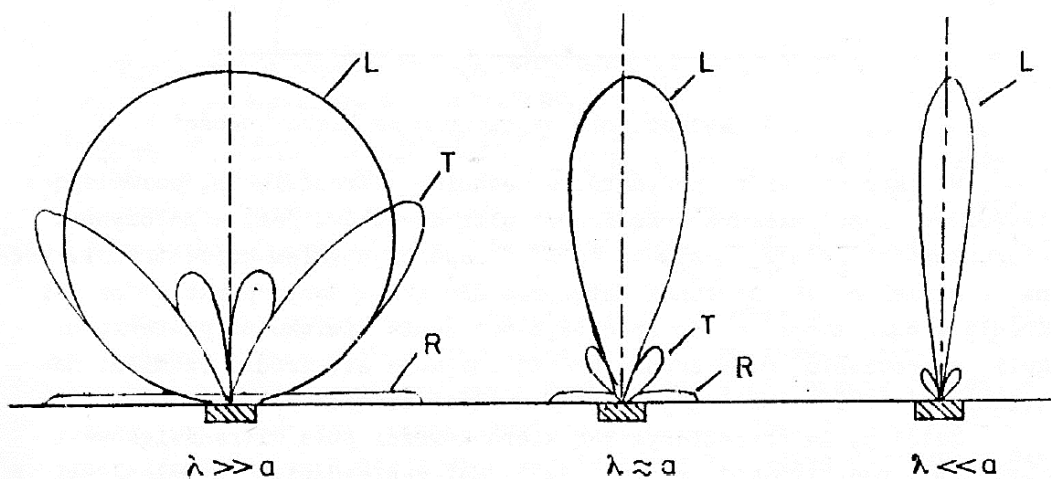
$$K(\theta) = \frac{p(\theta)}{p_o} = \left| \frac{2J_1(\beta \cdot a \sin \theta)}{\beta \cdot a \sin \theta} \right| = \left| \frac{2J_1(x)}{x} \right| \quad \text{Charakterystyka kierunkowości}$$



Rys. 1.32. Przykład charakterystyki kierunkowości przetwornika



Rys. 1.33. Przebieg charakterystyki kierunkowości w układzie współrzędnych prostokątnych

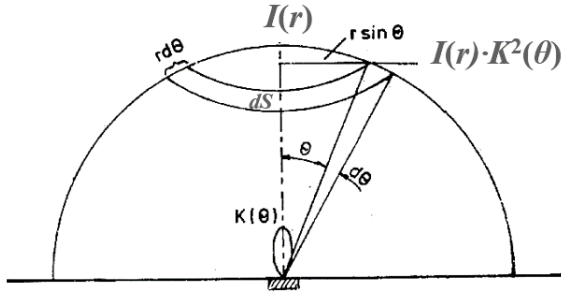


Rys. 1.34. Przybliżone charakterystyki kierunkowości przetwornika kwarcowego o cięciu x wytwarzającego falę ultradźwiękową w środowisku stałym: L - fale podłużne, T - fale poprzeczne, R - fale powierzchniowe

S17-18. Pole ultradźwiękowe promieniowane przez przetwornik – współczynnik kierunkowości źródła

(Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)

Stosunek $I(r)$ w punkcie do I_{sr} na powierzchni kuli o promieniu r wokół źródła.



Rys. 1.35. Wyznaczenie współczynnika kierunkowości

$$\Delta P_a = dS \cdot I(r) \cdot K^2(\theta)$$

$$P_a = 2\pi r^2 \cdot I(r) \int_0^\pi K^2(\theta) \sin \theta d\theta$$

$$\Omega = \frac{I(r)}{P_a / 4\pi r^2} = \frac{2}{\int_0^\pi K^2(\theta) \sin \theta d\theta}$$

$\Omega \rightarrow$ bezwymiarowa liczba, która wskazuje ile razy większe jest natężenie dźwięku $I(r)$ na osi głównej przetwornika kierunkowego od natężenia dźwięku przetwornika wszechkierunkowego (dla tej samej mocy zasilającej P_a i tej samej odległości r).

$$I(r) = \frac{P_a}{4\pi r^2} \cdot \Omega \quad I(r, \theta) = \frac{P_a}{4\pi r^2} \cdot \Omega \cdot K^2(\theta) \quad \sum_0^\pi K^2(\theta) \sin \theta d\theta$$

S19. Pole ultradźwiękowe promieniowane przez przetwornik – zysk kierunkowości źródła

(Talarczyk E. Podstawy techniki ultradźwięków, Wrocław, 1990)

$$G = 10 \log(\Omega) \quad [\text{dB}]$$

$$\text{dla } a > \lambda \quad \Omega = (\beta a)^2 = \left(\frac{2\pi a}{\lambda} \right)^2 = \frac{4\pi}{\lambda^2} S$$