

Jacek Szelażek

OBSZAR SKUTECZNY
POLA GŁOWICY ULTRADŹWIĘKOWEJ

17 / 1982

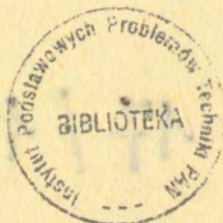
P. 269

WARSZAWA 1982

ISSN 0208-5658

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 16 marca 1982 r.

Zarejestrowana pod nr 17/1982



57057



Na prawach rękopisu

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN
Nakład 130 egz. Ark.wyd. 0,9. Ark.druk. 1,5.
Oddano do drukarni w kwietniu 1982 r.
Nr zamówienia 204/0/82 Z - 97.

Warszawska Drukarnia Naukowa, Warszawa,
ul.Śniadeckich 8

<http://rcin.org.pl>

OBSZAR SKUTECZNY POLA GŁOWICY ULTRADŹWIĘKOWEJ

1. Wstęp

W ultradźwiękowych badaniach nieniszczących stosowane są głowice z przetwornikami o różnych częstotliwościach rezonansowych /od 0,5 do 10 MHz/ i o wymiarach zmieniających się w szerokich granicach /od 7 do 25 mm/. Głowice te, w zależności od przetwornika i badanego materiału, generują w nim pola ultradźwiękowe o różnej geometrii. Interesujące jest jaki, w zależności od typu głowicy i badanego materiału, jest obszar wiązki, w którym wykrywa się określoną małą wadę. Obszar taki uważać można za obszar skuteczny pola ultradźwiękowego głowicy w stosunku do danej wady. W dalszych rozważaniach przyjęto, że wada ta jest wadą idealną, to znaczy kolistą, płaską, ustawioną prostopadle do osi wiązki fal generowanych przez głowicę oraz posiada współczynnik odbicia fal równy 1. Ze wskazaniami takich wad porównywane są, w czasie oceny wielkości, wskazania wad rzeczywistych, wykrywanych w materiałach.

Ze względu na określoną charakterystykę kierunkową wiązki fal odbitych od wady płaskiej, spadek ciśnienia akustycznego wzdłuż drogi wywołany rozbieżnością wiązki oraz tłumieniem fal w materiale, obszar skuteczny pola głowicy nie pokrywa się z polem wiązki fal głowicy. Stanowi on część obszaru, w którym stwierdza się obecność fal ultradźwiękowych generowanych przez głowicę.

Wielkość i kształt obszaru skutecznego zależą od typu głowicy ultradźwiękowej, prędkości i tłumienia fal w badanym materiale, wielkości wady idealnej oraz czułości badania /parametrów aparatury badawczej/.

Schemat powstawania echa wady nie leżącej na osi wiązki

fal generowanych przez głowicę pokazano na rys.1. Wysokość echa wady idealnej h_w opisać można wyrażeniem

$$h_w \sim P_g^2 \cdot Q_g^2 \cdot Q_w \cdot P_w \cdot e^{-2 \alpha l}$$

gdzie:

- Q_g - charakterystyka kierunkowości głowicy
- Q_w - charakterystyka kierunkowości wady
- P_g - ciśnienie akustyczne w wiązce głowicy
- P_w - ciśnienie akustyczne w wiązce wady
- α - współczynnik tłumienia fal ultradźwiękowych
- l - droga fal pomiędzy głowicą a wadą

W celu porównania obszarów skutecznych pól różnych głowic między sobą, wygodniej jest operować stosunkiem wysokości echa wady idealnej do echa wady wzorcowej idealnej, względem której ustalać można czułość badania.

Stosunek wysokości tych ech w opisuje wyrażenie:

$$\Delta w = 8,69 \ln \frac{h_{wz}}{h_w} \text{ [dB]}$$

gdzie:

h_{wz} - wysokość echa wady wzorcowej.

2. Sposób obliczania obszaru skutecznego

Obliczenia obszarów skutecznych w polu dalekim wykonano przy następujących założeniach upraszczających:

1. Wada jest wadą idealną ustawioną prostopadle do osi wiązki fal generowanych przez głowicę.
2. Wada jest na tyle mała w stosunku do przekroju wiązki fal głowicy, że można założyć iż fala padająca na wadę jest falą płaską a jej ciśnienie akustyczne jest stałe na całej powierzchni wady.

Obliczenia wykonano dla głowic skośnych o prostokątnych przetwornikach, których charakterystyki kierunkowości Q_g w płaszczyźnie przechodzącej przez oś wiązki i równoległej do poziomego boku przetwornika opisuje wzór:

$$Q_g = \frac{\sin \alpha}{\alpha}; \quad \alpha = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot \sin \gamma}{\lambda}$$

gdzie:

D_2 - poziomy bok przetwornika

λ - długość fali w badanym materiale

γ - kąt odchylenia promienia od osi wiązki

Długość pola bliskiego N_g takiej głowicy opisuje przybliżony wzór:

$$N_g \cong (D_2^2 + D_1'^2) (0,78 - 0,27 D_2/D_1') / (\pi \cdot \lambda); \quad D_1' > D_2 \\ D_1' = D_1/K$$

gdzie:

D_1, D_2 - boki przetwornika

K - współczynnik zależny od kąta załamania
głowicy,

a rozkład ciśnienia akustycznego P_g wzdłuż osi wiązki z przybliżeniem wzór

$$P_g \cong P_0 \sin \frac{\pi \cdot N_g}{2l}$$

Charakterystykę kierunkowości wady idealnej Q_w opisano stosując przybliżenie funkcji Bessela

$$Q_w = \frac{2J_1(x)}{x}; \quad J_1/x \cong \frac{x}{2} \left(1 - \frac{x^2}{2 \cdot 4} + \frac{x^4}{2 \cdot 4^2 \cdot 6} \dots \right)$$

$$x = \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cdot \sin \psi$$

gdzie:

d - średnica wady idealnej

ψ - kąt odchylenia promienia od osi wiązki odbitej

Spadek ciśnienia wzdłuż drogi fal odbitych od wady P_w opisuje wzór

$$P_w = P_g \cdot \sin \frac{\pi \cdot N_w}{2l}; \quad N_w = \frac{d^2}{4 \cdot \lambda}$$

gdzie:

d - średnica wady idealnej

ψ - kąt odchylenia promienia od osi wiązki odbitej;
Spadek ciśnienia wzdłuż drogi fal odbitych od wady P_w opisuje wzór:

$$P_w = P_g \cdot \sin \frac{\pi \cdot N_w}{2 l} \quad N_w = \frac{d^2}{4 \cdot \lambda}$$

gdzie:

N_w - pole bliskie wady.

W obliczeniach przyjęto, że front falowy rozchodzącego się w materiale impulsu ma kształt kulisty i kąt padania fali na wadę zależy od odległości wady od głowicy i od osi wiązki fal głowicy.

Celem pracy było wyznaczenie wpływu parametrów głowicy i materiału na obszary skuteczne. Ze względu na wykorzystanie w ultradźwiękowych badaniach materiałów głównie pola dalekiego głowicy, badanie ograniczono do tej części wiązki.

2 a. Wyniki obliczeń

Na rysunkach od 2 do 5 przedstawiono wyniki obliczeń obszarów skutecznych pól głowicy o kącie załamania równym 70° , dla wad idealnych o średnicach 2, 3, 5, 8 i 10mm w stali. Jako poziom odniesienia przyjęto poziom echa wady wzorcowej o średnicy 5mm leżącej w osi wiązki fal w odległości 50 mm od głowicy. Czulość badania określono w stosunku do tej wady i na przykład zapis $CB = /h_{d=5}, l=50/ + 10$ dB oznacza czulość, przy której echo wady wzorcowej przewyższa o 10 dB przyjęty poziom odniesienia.

Obliczone obszary skuteczne przedstawiono na wykresach gdzie współrzędna x oznacza odległość wady od osi wiązki fal wysyłanych przez głowicę, a współrzędna l odległość wady od środka głowicy mierzoną wzdłuż osi wiązki. Linia grubą nanie-siono na wszystkich wykresach granice obszaru skutecznego dla wady o średnicy 5mm, a liniami cienkimi dla pozostałych wad. Na rys.2. pokazano zmiany wielkości obszarów skutecznego pola głowicy $2T70^\circ 7C$ w zależności od czulości badania. Lewa strona wykresu to połowa obszarów skutecznych obliczonych

przy czułości badania $CB = /h_{d=5, l=50} + 10$ dB, a prawa strona odpowiada czułości o 15 dB wyższej. Widoczne jest około dwukrotne zwiększenie długości i szerokości obszarów skutecznych dla wyższej czułości, dla której jednocześnie, w pewnym zakresie odległości, szerokość obszarów skutecznych jest największa dla wady o średnicy 5 mm. Linia przerywaną na rysunku zaznaczono kształt pola ultradźwiękowego generowanego przez głowicę przy spadku ciśnienia do zera.

Rysunek 3 przedstawia obliczone obszary skuteczne dwóch głowic skośnych różniących się jedynie częstotliwością rezonansową przetwornika, uzyskane przy tej samej czułości badania. Rysunek 3a odpowiada głowicy 2T70⁰7C a prawy - 4T70⁰7C. Na wykresach podano współczynniki tłumienia fal ultradźwiękowych równe 10 dB/m i 20 dB/m odpowiednio dla częstotliwości 2 i 4 MHz. Widoczne są ok. dwukrotnie większe szerokości obszarów dla głowicy o niższej częstotliwości, przy zbliżonej ich długości.

Porównanie obszarów skutecznych głowic o tej samej częstotliwości ale różnych wielkościach przetwornika pokazano na rys.4. Na rys.5. przedstawiono obszary skuteczne pola głowicy 2T70⁰7C obliczone dla materiałów o różnych współczynnikach tłumienia fal ultradźwiękowych. Lewa połowa wykresu to obszary obliczone dla $\alpha = 10$ dB/m /co odpowiada tłumieniu w stali węglowej/ a prawa $-\alpha = 100$ dB/m /co odpowiada tłumieniu w gruboziarnistej stali austenitycznej/. Większa długość obszarów skutecznych dla wad o średnicach mniejszych od wady wzorcowej w materiale o $\alpha = 100$ dB/m wynika stąd, że wada wzorcowa, w stosunku do której ustalono jednakową czułość badania, leży w odległości 50 mm od środka głowicy. Dla wad leżących w większych odległościach widoczny jest wpływ wyższego współczynnika tłumienia na skrócenie obszarów skutecznych pola głowicy.

3. Doświadczenie

W celu zweryfikowania wyników obliczeń obszarów skutecznych przeprowadzono doświadczalne pomiary wielkości obszarów

metodą zanurzeniową w wodzie i na próbkach stalowych. Pomiary przeprowadzono przemieszczając reflektor idealny względem głowicy, w płaszczyźnie przechodzącej przez oś wiązki fal generowanych przez przetwornik, równoległej do poziomego boku przetwornika. Schematy badań pokazano na rys.6a i 6b.

W doświadczeniach przeprowadzonych w wodzie wykorzystano przetworniki na fale podłużne o częstotliwościach 1 i 2 MHz i wymiarach 7 x 3,9 i 18 x 10mm. Przetworniki te pracujące w wodzie odpowiadają głowicom skośnym generującym pole ultradźwiękowe w stali, przyjętym w obliczeniach obszarów skutecznych i użytym do pomiarów na próbkach stalowych. Jako reflektorów kołowych, w badaniach zanurzeniowych użyto prętów stalowych ze szlifowanymi powierzchniami czołowymi, a w badaniach na próbkach stalowych - otworów płaskodennych.

3 a. Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów obszarów skutecznych wykonanych metodą zanurzeniową przedstawiono na rysunkach od 7 do 9 w tym samym układzie co wyniki obliczeń, natomiast rezultaty uzyskane na próbkach stalowych naniesiono na nich jako punkty.

Na rysunku 7 porównano obszary skuteczne głowicy 2T70⁰7C obliczone /lewa strona rysunku/ i zmierzone doświadczalnie /prawa strona/ w stosunku do wad o średnicach od 2 do 10 mm. Współczynnik tłumienia fal ultradźwiękowych o częstotliwości 1 MHz w wodzie jest bliski zera i wynosi 0,02 dB/m. Podobnie na rysunkach 8 i 9 porównano pomierzone i obliczone obszary skuteczne głowic 4T70⁰7C i 2T70⁰18C.

Widoczne są różnice pomiędzy obliczonymi i zmierzonymi szerokościami i długościami obszarów skutecznych. Ogólnie zmierzone szerokości są większe od obliczonych, przy czym lepszą zgodność wyników uzyskano dla wad małych. Znaczne różnice uzyskano dla głowicy z dużym przetwornikiem i dla wad o średnicach 8 i 10mm, szczególnie w małych odległościach od głowicy. Spowodowane to jest faktem, że w tych warunkach nie można traktować fali padającej na wadę jako fali jednorodnej a wady jako źródła tłokowego.

Jeżeli obliczoną szerokość obszaru skutecznego przyjąć równą 1, to zmierzone szerokości obszarów dla wad o średnicach 2 i 5mm wynoszą średnio 1,07 a dla wad o średnicach 8 i 10mm - 131. Różnice pomiędzy wielkościami obliczonymi i zmierzonymi wynikają z następujących przyczyn:

- Do obliczeń przyjęto uproszczony model zjawiska pomijający skończone wymiary przetworników i wad, oraz zakładający kulisty kształt frontu falowego impulsu propagującego się w materiale. Jest to przyczyną wyraźnych rozbieżności dla małych odległości wad od głowicy.

- Rzeczywiste charakterystyki przetworników różnią się od obliczonych. Zależą one nie tylko od wymiarów przetwornika ale i od kształtu impulsu pobudzającego. Na rysunku 10 pokazano charakterystyki kierunkowości przetwornika o wymiarach $7 \times 3,9$ mm i częstotliwości rezonansowej 1MHz, zmierzone doświadczalnie w wodzie dla różnych energii impulsu pobudzającego. Charakterystyki te uzyskano w płaszczyźnie równoległej do krótszego boku przetwornika. Linia przerywaną zaznaczono teoretyczną charakterystykę tego przetwornika. Doświadczalne pomiary obszarów skutecznych prowadzone były przy maksymalnej energii impulsu pobudzającego.

Natomiast charakterystyki kierunkowości reflektorów stosowanych w badaniach doświadczalnych nieznacznie różnią się od obliczonych. Na rys. 11 przedstawiono doświadczalnie zmierzone charakterystyki wad o średnicach 2 i 4mm, przy ich prostopadłym i współosiowym ustawieniu osi wiązki fal generowanych przez głowicę. Linia przerywaną naniesiono teoretyczne charakterystyki kierunkowości tych wad. Jednocześnie charakterystyka wady zmienia się nieznacznie przy małych zmianach kątów padania fali na wadę. Na przykład zmierzony połówkowy kąt rozbieżności, przy spadku ciśnienia o 6dB, wiązki odbitej od wady ustawionej prostopadle do kierunku padania fali i ustawionej pod kątem 8° wynoszą odpowiednio $9^\circ 30'$ i $8^\circ 30'$.

- Inne w rzeczywistości niż założone w obliczeniach zmiany ciśnienia akustycznego wzdłuż osi wiązki fal głowicy są przy-

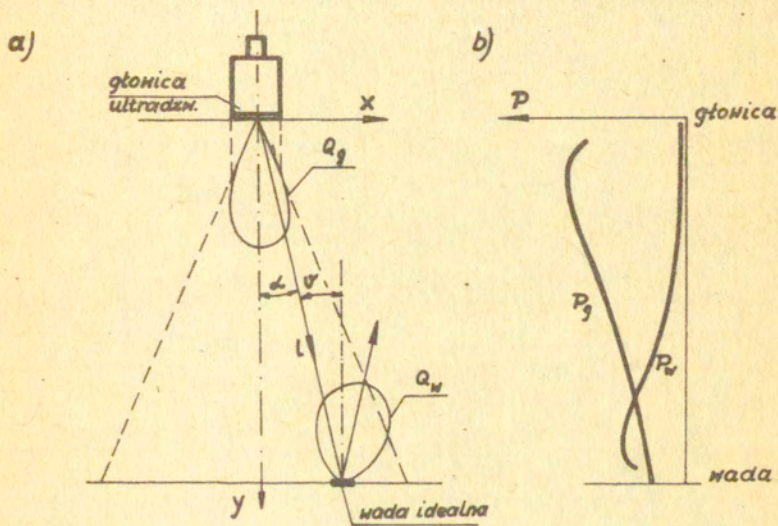
czyną różnic w długościach obliczonych i zmierzonych długości obszarów skutecznych.

4. Wnioski

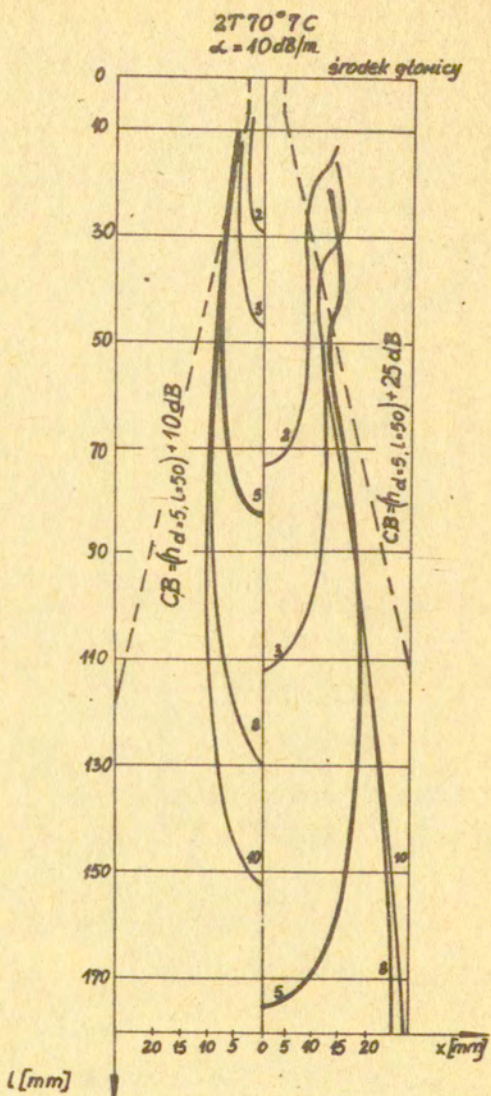
Z porównania rezultatów obliczeń i pomiarów doświadczalnych obszarów skutecznych wynika, że uproszczony model zjawiska stosowany w obliczeniach, w przybliżeniu opisuje badane zależności. W defektoskopii ultradźwiękowej, podczas projektowania zestawów głowic do badań zautomatyzowanych czy ustalenia techniki badań ręcznych, występuje problem zapewnienia żądanej wykrywalności wad w kontrolowanej objętości materiału. Uzyskane wyniki pozwalają na zastosowanie w takim celu uproszczonych obliczeń obszarów skutecznych w stosunku do wad leżących w polu dalekim głowicy.

5. Literatura

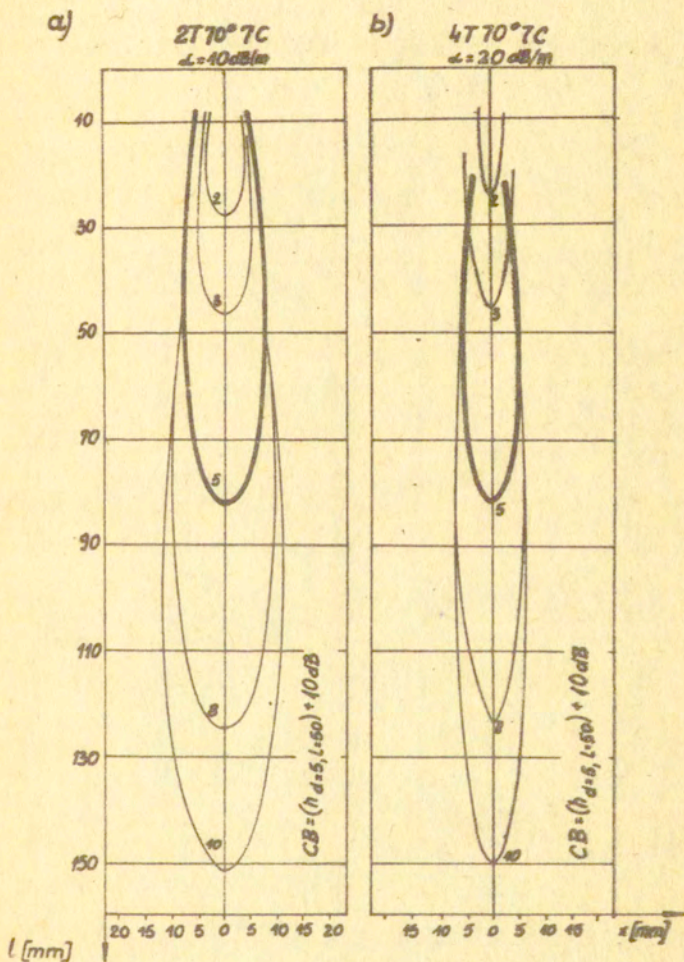
- [1] OBRAZ J.: Ultrazvuk v merici technice, SNTL, Praha 1976.
- [2] DEPUTAT J.: Szerokość oświetlenia ech reflektorów wzorcowych, Prace IPPT 45/1980.



Rys.1. Schemat powstawania echa wagi.

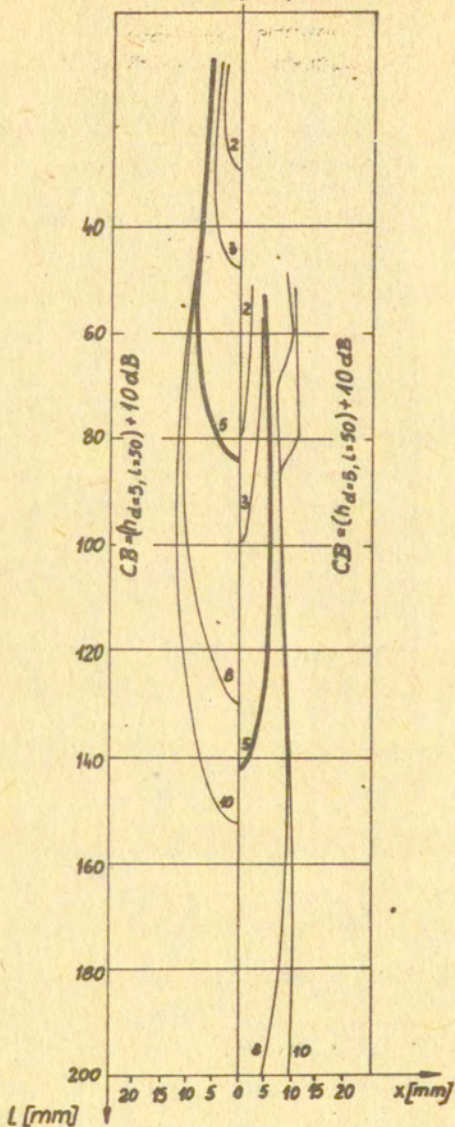


Rys.2. Obliczone obszary skuteczne głowicy 2T70^o7C dla różnych czułości badania.

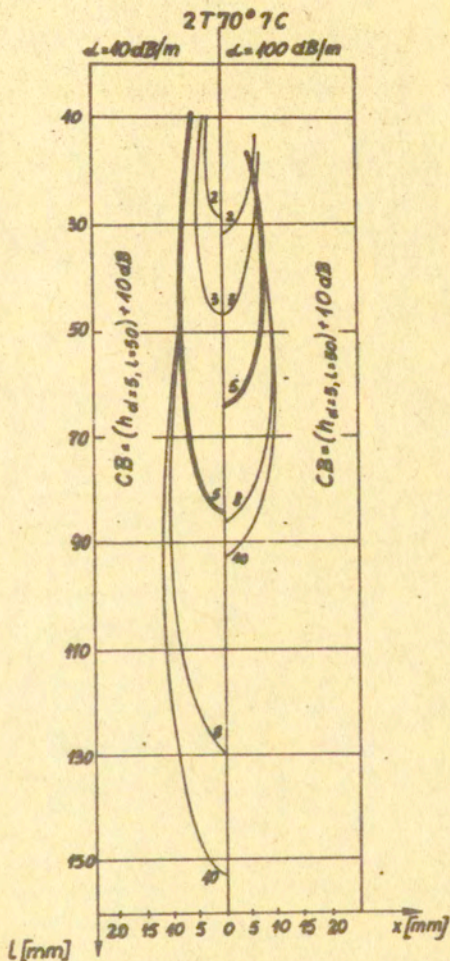


Rys. 3. Obliczone obszary skuteczne głowic o różnych częstotliwościach rezonansowych przetworników.

2T70°7C | 2T70°18C
 $\alpha = 10 \text{ dB/m}$

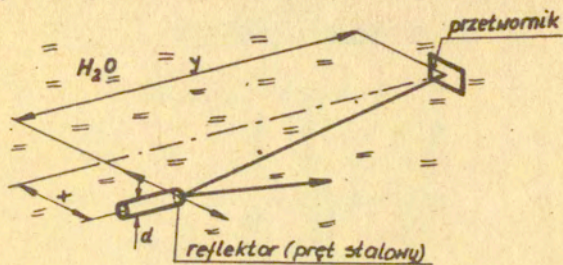


Rys.4. Obliczone obszary skuteczne głowic o różnych wielkościach przetworników.

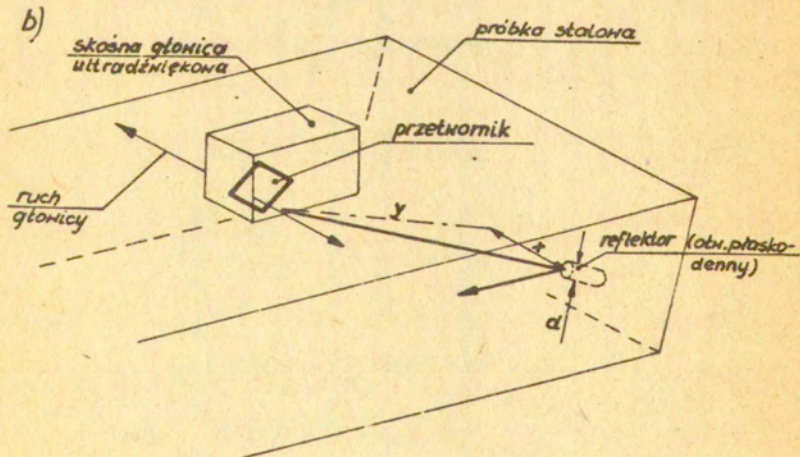


Rys.5. Obliczone obszary skuteczne dla materiałów o różnym współczynniku tłumienia fal ultradźwiękowych.

a)



b)

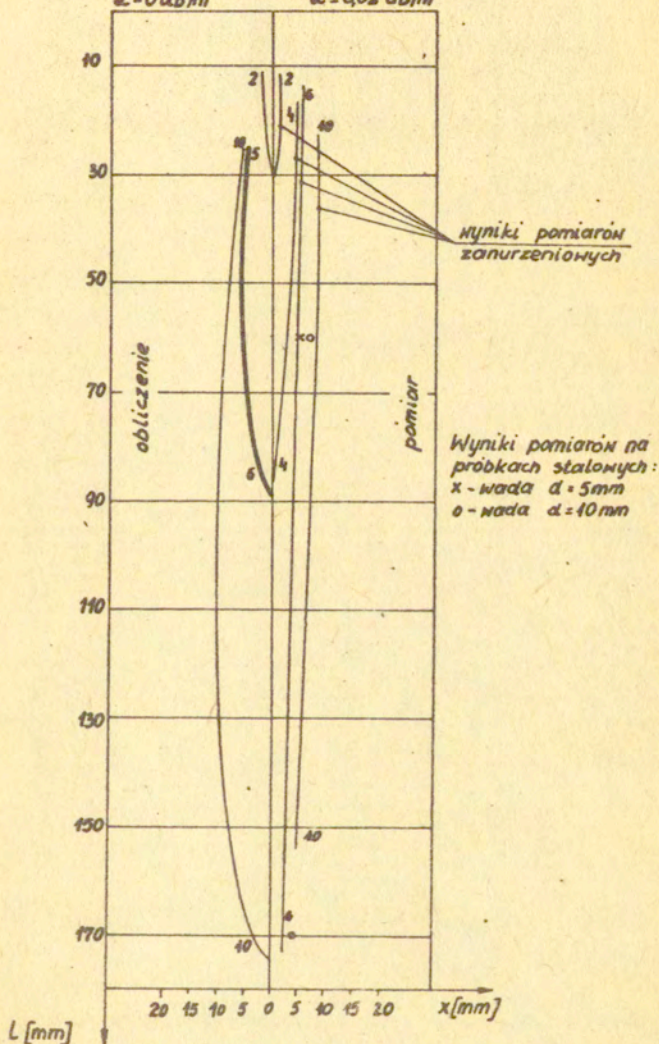


Rys.6. Schemat badania obszarów skutecznych głowic
 a/ metodą zanurzeniową,
 b/ na próbce stalowej.

$$2T70^{\circ}7C$$

$$CB = (h_{d=5}, L=50) + 10 \text{ dB}$$

$$\alpha = 0 \text{ dB/m} \quad \alpha = 0,02 \text{ dB/m}$$



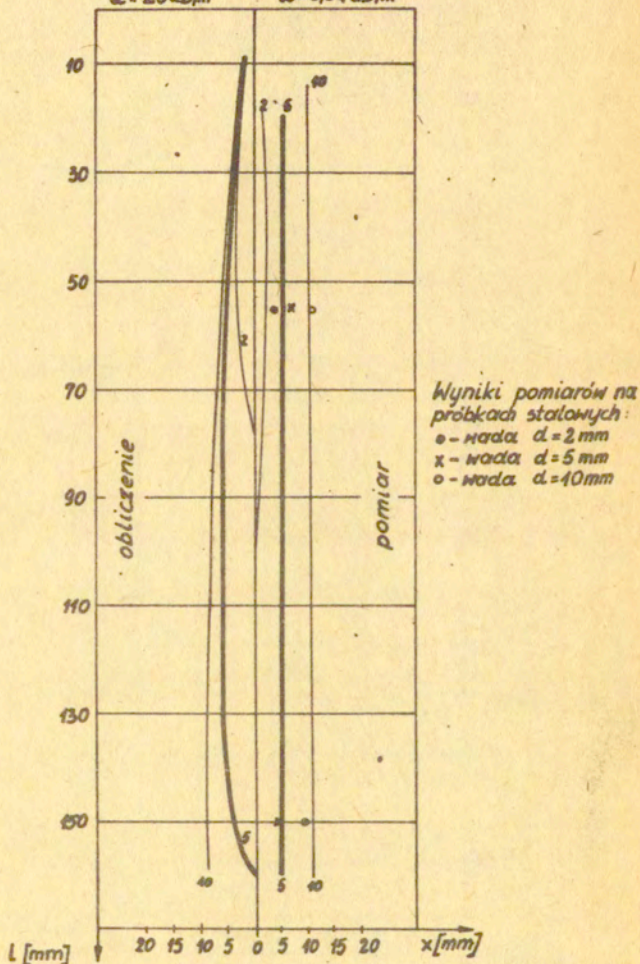
Rys.7. Obliczone /lewa strona/ i zmierzone /prawa strona/ obszary skuteczne głowicy 2T70°7C.

4T70°7C

$$CB = (h_{d=5, l=50}) + 25 \text{ dB}$$

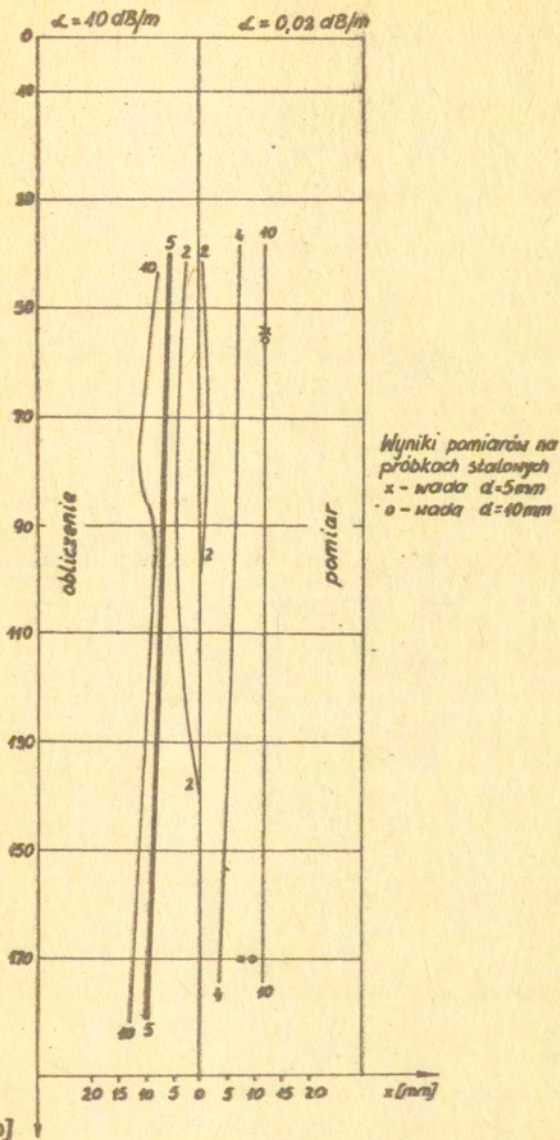
$\Delta = 20 \text{ dB/m}$

$\Delta = 0,04 \text{ dB/m}$

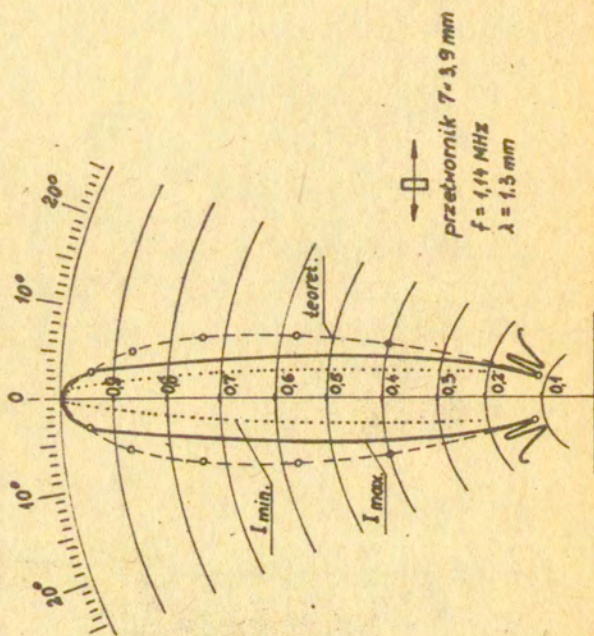


Rys.8. Obliczone /lewa strona/ i zmierzone /prawa strona/ obszary skuteczne głowicy 4T70°7C.

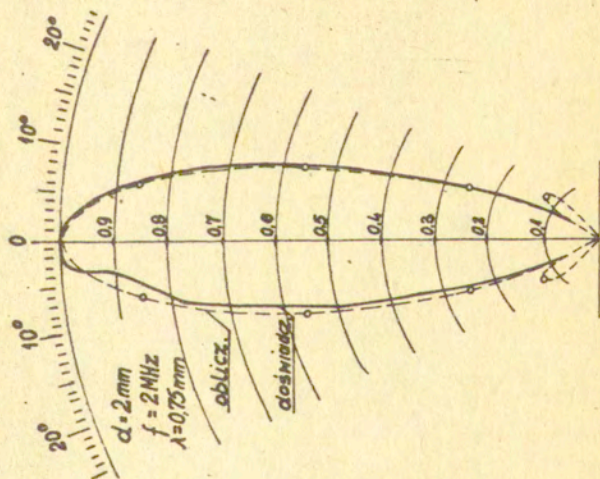
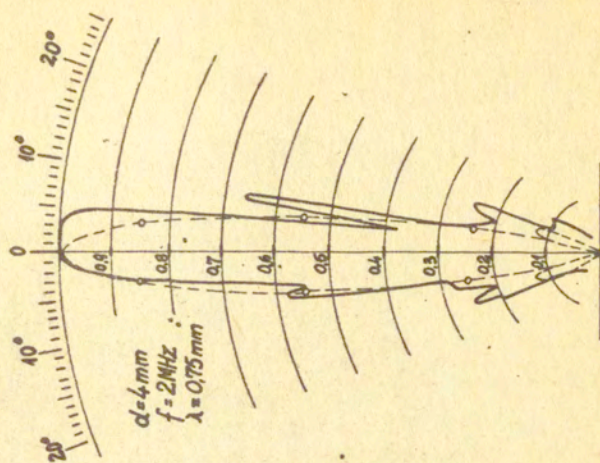
2T70°18C
 $CB = (h_{d=5, l=50}) + 25 \text{ dB}$



Rys.9. Obliczone /lewa strona/ i zmierzone /prawa strona/ obszary skuteczne głowicy 2T70°18C.



Rys. 10. Charakterystyki kierunkowości przetwornika o wymiarach 7 x 3,9 mm i częstotliwości 1MHz zmierzone w wodzie.



Rys. 11. Charakterystyki kierunkowości wed o średnicach 2 i 4mm zmierzone w wodzie.