

**MATERIAŁY POMOCNICZE DO WYKŁADU
Z BIO- i HYDROAKUSTYKI
3a. Równanie zasięgu w echolokacji ultradźwiękowej**

S2. Zasięg systemu hydrolokacyjnego (definicja)

Zasięg: odległość, powyżej której poziom sygnału użytecznego jest zbyt mały, aby odbiornik mógł go wyróżnić z tła zakłóceń.

Na zasięg mają wpływ:

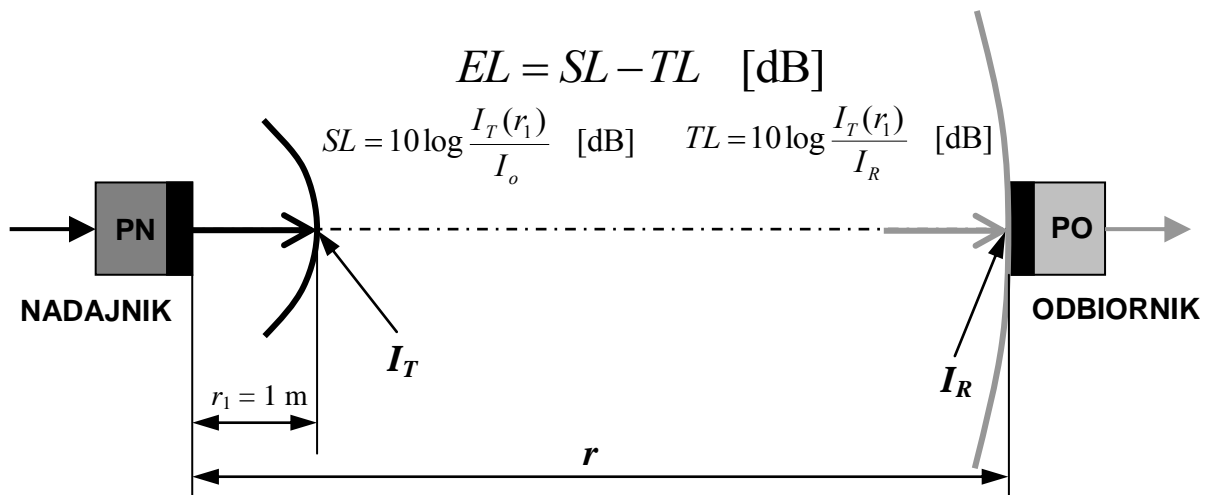
- a) czynniki stałe związane z częścią techniczną systemu,
- b) czynniki zmienne związane z kanałem hydroakustycznym.

S3. Ogólna postać równania zasięgu hydroakustycznego według Uricka

$$EL = NL + DT \quad EL = 10 \log \frac{I_R}{I_o} \quad [dB] \quad NL = 10 \log \frac{I_N}{I_o} \quad [dB] \quad DT = 10 \log \frac{I_R}{I_N} \quad [dB]$$

$$I_o = \frac{\tilde{p}_o^2}{\rho_o c_o} = 0.67 \cdot 10^{-18} \text{ W/m}^2$$

S4. Hydroakustyczny system komunikacyjny



S5. Równanie zasięgu systemu komunikacyjnego

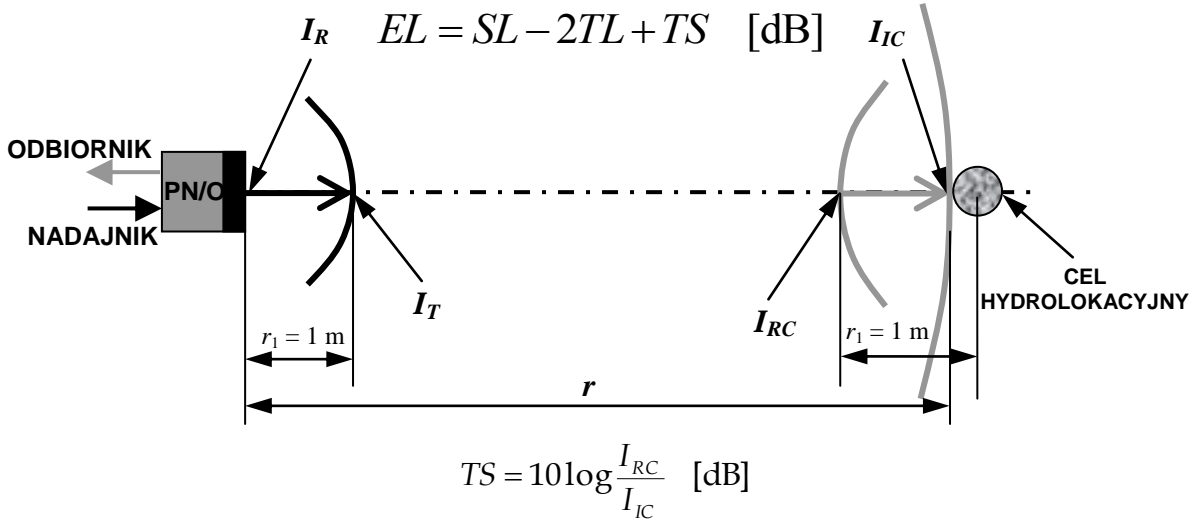
$$SL = NL + DT + TL \quad [dB]$$

$$TL = SL - NL - DT \quad [dB]$$

$$20 \log \left(\frac{r}{r_1} \right) = SL - NL - DT \quad [dB]$$

$$r = r_1 \sqrt{10^{0.1(SL - NL - DT)}} \quad [m]$$

S6. System hydrolokacyjny



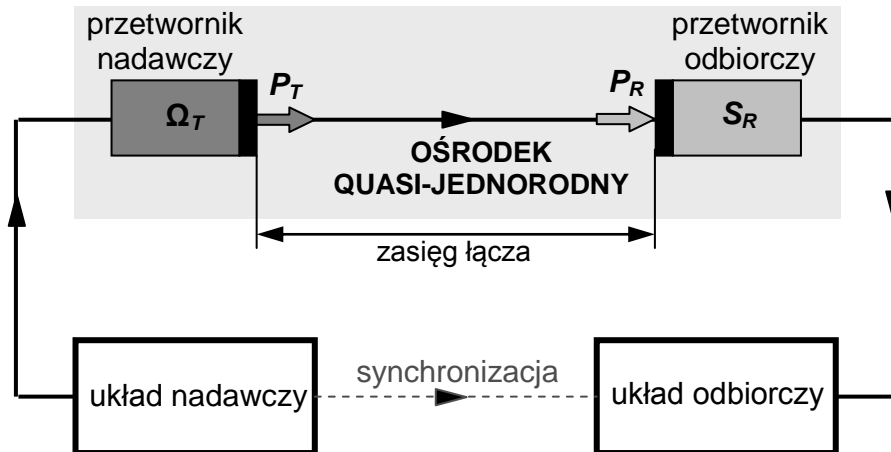
S7. Równanie zasięgu systemu hydrolokacyjnego

$$r = r_1 \sqrt[4]{10^{0.1(SL - NL - DT + TS)}} \quad [\text{m}]$$

S8. Straty transmisyjne z uwzględnieniem tłumienia absorpcyjnego (różne rodzaje fal)

$$TL = \mu(r - r_1) \qquad TL = 10 \log \frac{r}{r_1} + \mu(r - r_1) \qquad TL = 20 \log \frac{r}{r_1} + \mu(r - r_1)$$

S9. Uniwersalne równanie zasięgu łącza akustycznego w ośrodku quasi-jednorodnym (definicja)



$$\frac{P_T}{P_R} = K_A d^2 e^{\mu d}$$

$$K_A = \frac{4\pi}{\Omega_T \cdot S_R}$$

$$\frac{P_T}{P_R} = \frac{4\pi d^2 e^{2\alpha d}}{\Omega_T S_R}$$

S10. Uniwersalne równanie zasięgu łącza akustycznego w ośrodku quasi-jednorodnym (współczynnik kierunkowości źródła)

$$\Omega = \frac{4\pi}{\int_{\varphi=0}^{\pi} \int_{\theta=0}^{2\pi} K^2(\theta, \varphi) \cdot \sin \theta d\theta d\varphi}$$

$$\Omega = \frac{2}{\int_0^{\pi} K^2(\theta) \cdot \sin \theta d\theta}$$

$$\Omega_T = \frac{\pi^2 f^2 D_T^2}{2c^2}$$

$$\text{dla } \pi f D_T / c \gg 1$$

S11. Uniwersalne równanie zasięgu łącza akustycznego w ośrodku quasi-jednorodnym (moc promieniowana i odbierana w łączu akustycznym)

$$P_R = \frac{p_R^2 \cdot S_R}{2\rho c} \quad P_T = \frac{p_T^2 \cdot S_T}{2\rho c} \quad L_{P_T/P_R} = 20\log\left(\frac{p_T}{p_R}\right) + 20\log\left(\frac{S_T}{S_R}\right) = L_{P_T/P_R} + 20\log\left(\frac{S_T}{S_R}\right)$$

S12. Poziom spadek mocy w różnych ośrodkach (średnice przetworników 2.5 mm)

Większa częstotliwość – większy spadek, ze względu na tłumienie, ale w wodzie większe są straty związane z charakterystyką kierunkowości dla małych częstotliwości.

S13. Poziom spadek mocy w różnych ośrodkach (średnice przetworników 10 mm)

Zwiększenie średnicy powoduje zmniejszenie strat, bo rośnie kierunkowość.

S14. Weryfikacja eksperymentalna równania zasięgu w powietrzu

MAŁE rozbieżności w górę dla 50 KHz, bo w pobliżu przetwornika powinno się traktować jak falę kulistą.

DUŻE rozbieżności w dół dla 20 mm oraz 10.5 kHz, 25 kHz, bo niespełniony warunek na obl. ch-ki kierunkowości $\pi/D_T/c \gg 1$.

S15. Równanie zasięgu łącza akustycznego z parametrami układu nadawczego i odbiorczego

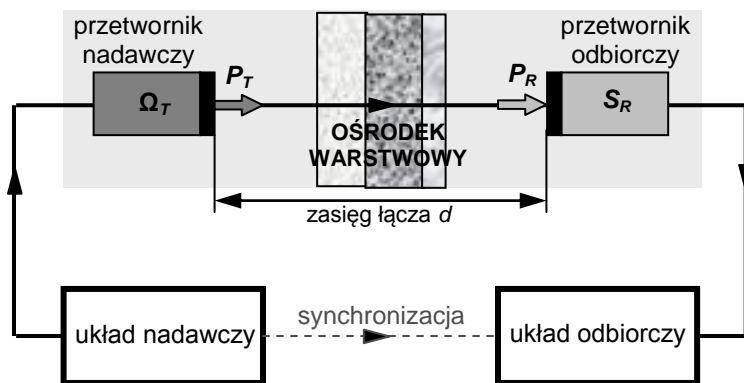
$$\frac{P_T}{P_{R_{\min}}} = \left(\frac{S_n \cdot S_o \cdot U_T \cdot k_u}{U_{sz} \cdot 10^{L_T/20}} \cdot \frac{S_T}{S_R} \right)^2$$

W ten sposób można wyprowadzić inną postać równania zasięgu łącza bioakustycznego, która umożliwia dobranie wartości parametrów układu nadawczego i odbiorczego do granicznego spadku mocy w łączu.

S16. Równanie zasięgu łącza akustycznego z parametrami schematu zastępczego przetwornika

$$\frac{P_T}{P_{R_{\min}}} = \frac{U_T^2}{|Z_T|} \frac{R_p R_o}{(R_v + R_p)(R_o + R_v + R_p)} \frac{2\rho c S_o^2 k_u^2}{S_R U_{sz}^2 10^{L_T/10}}$$

S17. Uniwersalne równanie zasięgu łącza akustycznego w ośrodku warstwowym



$$D_{I(i,i+1)} = \frac{4\rho_i c_i \rho_{i+1} c_{i+1}}{(\rho_i c_i + \rho_{i+1} c_{i+1})^2}$$

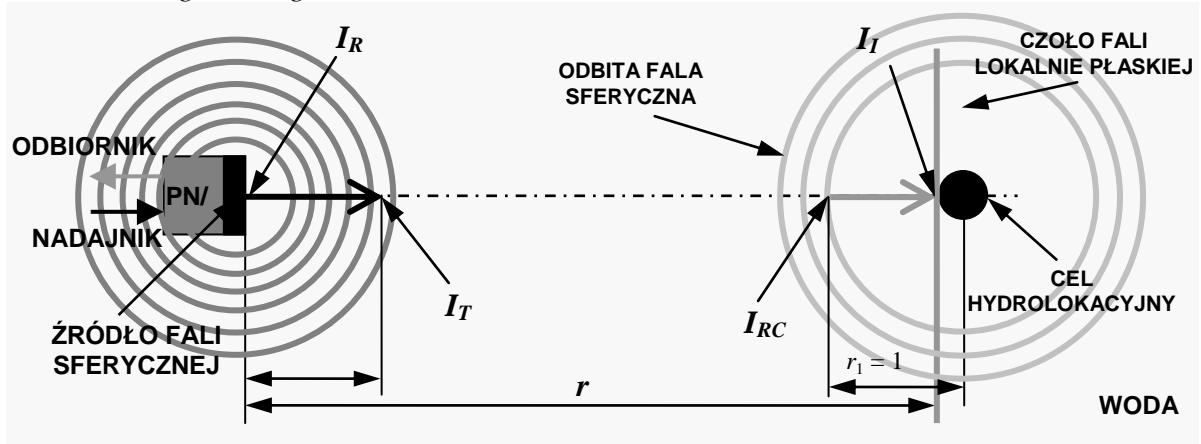
$$\frac{P_T}{P_R} = \frac{4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot e^{2 \sum_{i=1}^N \alpha_i d_i}}{\Omega_T \cdot S_R \cdot \prod_{i=1}^{N-1} D_{I(i,i+1)}}$$

$$c = \frac{d}{\sum_{i=1}^N d_i / c_i}$$

3b. Siła celu

S2. Definicja siły celu

Siła celu – *target strength*



$$TS = 10 \log \frac{I_{RC}}{I_{IC}} = 20 \log \frac{p_{RC}}{p_{IC}}$$

S3. Siła celu

$$TS = 10 \log \frac{I_{RC}}{I_{IC}} = 20 \log \frac{p_{RC}}{p_{IC}} \quad TS = 10 \log \frac{\sigma}{4\pi r_1^2}$$

S4. Przekrój absorpcji i estynkcji

$$\sigma_e = \sigma + \sigma_a$$

S5. Siła celu kuli

Doskonale odbijająca kula; średnica dużo większa od długości fali.

$$dS_{IC} = a^2 d\theta d\varphi \quad dS_{RC} = 4r_1^2 d\theta d\varphi \quad P_{IC} = dS_{IC} I_{IC} \quad P_{RC} = dS_{RC} I_{RC}$$

$$P_{IC} = P_{RC} \quad TS = 10 \log \frac{I_{RC}}{I_{IC}} = 10 \log \frac{dS_{IC}}{dS_{RC}} = 10 \log \frac{a^2}{4r_1^2}$$

S6. Siła celu dużej kuli

$$TS = 10 \log \frac{I_{RC}}{I_{IC}} = 20 \log \frac{p_{RC}}{p_{IC}}$$

$$p_{RC}(r_1) = p_{RC}(r_z) \cdot \frac{r_z}{r_1} \quad \text{dla } \mu_a(f) \text{ małe i } r_z \text{ małe;}$$

$$p_{RC}(r_1) = p_{RC}(r_z) \cdot \frac{r_z}{r_1} \cdot e^{\alpha(r_z - r_1)} \quad \text{dla } \mu_a(f) \text{ duże i } r_z \text{ duże}$$

S7. Siła celu małej kuli

Kula doskonale sztywna, $ka < 0.5$; V – objętość kuli;

$$TS = 10 \log \left(\frac{25\pi^2 V^2}{4\lambda^6} \right) = 10 \log \left(61.7 \frac{V^2}{\lambda^6} \right) = 10 \log \left(1082 \frac{a^6}{\lambda^6} \right)$$

S9. Gazowe obiekty kuliste

$$\sigma = \frac{4\pi a^2}{\left(\left(\frac{f_r}{f}\right)^2 - 1\right) + \delta^2} \quad f_r \approx \frac{3.25}{a} \sqrt{1+0.1D} \quad \delta = 0.04 \sqrt{\frac{f_r}{f_{r10}}} \quad TS = 10 \log \frac{\sigma}{4\pi r_1^2}$$

S10. Przekrój rozproszenia pęcherzyka powietrza

$$\sigma = \frac{4\pi a^2}{\delta^2} \quad \text{dla } f = f_r$$

Siła celu pojedynczego pęcherzyka jest bardzo mała, nawet na częstotliwości rezonansowej. Pęcherzyki jednak zwykle występują w skupieniach i mogą powodować silne rozproszenie fali akustycznej.

S11. Siła celu obiektów o prostych formach geometrycznych (cylinder)

Nieskończenie długi cylinder:

$$TS = 10 \log \frac{ar}{2r_1^2} \quad \text{dla } ka \gg 1, r > a$$

$$TS = 10 \log \frac{9\pi^4 a^4 r}{r_1^3 \lambda^2} \quad \text{dla } ka \ll 1, r > a$$

Cylinder o skończonej długości L :

$$TS = 10 \log \frac{aL^2}{2r_1^2 \lambda} + 20 \log \left(\frac{\sin(kL \sin \theta)}{kL \sin \theta} \cos \theta \right) \quad \text{dla } ka \gg 1, r > L^2 / \lambda$$

S12. Siła celu obiektów o prostych formach geometrycznych (płaszczyzna)

Płaszczyzna o skończonych rozmiarach dowolnego kształtu:

$$TS = 20 \log \frac{A}{r_1 \lambda}$$

Płaszczyzna prostokątna o bokach a, b :

$$TS = 10 \log \frac{ab}{r_1 \lambda} + 20 \log \left(\frac{\sin(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta} \cos \theta \right) \quad \text{dla } r > a^2 / \lambda, kb \gg 1, a > b$$

Płaszczyzna okrągła:

$$TS = 10 \log \frac{\pi a^2}{r_1 \lambda} + 20 \log \left(\frac{2J_1(2ka \sin \theta)}{2ka \sin \theta} \cos \theta \right) \quad \text{dla } r > a^2 / \lambda, ka \gg 1$$

$$TS \cong 20 \log \frac{4}{3\pi k} + 60 \log(ka) \quad \text{dla } ka \ll 1$$

S13. Siła celu obiektów o prostych formach geometrycznych (elipsoida i reflektor trójkątny)

Elipsoida o osiach głównych a, b, c : $TS = 20 \log \frac{bc}{2a}$ dla $ka, kb, kc \gg 1, r \gg a, b, c$

Trójkątny reflektor narożnikowy o boku a :

$$TS = 20 \log \left(\frac{a^2}{\sqrt{3} r_1 \lambda} \right) + 10 \log(1 - 0.00076 \cdot \theta^2)$$

S14. Siła celu obiektów technicznych

Kształty większości obiektów hydrolokacyjnych nie mogą być opisane żadną z podanych brył czy powierzchni. Siłę celu takich obiektów określa się eksperymentalnie.

Siła celu tych obiektów zależy nie tylko od ich kształtu i wielkości, ale od ich usytuowania względem kierunku rozchodzenia się fali sondującej.

S16. Siła celu ryb

Wzór empiryczny:

$$TS \cong 19.1 \cdot \log \frac{L [\text{cm}]}{1 \text{ cm}} - 0.9 \cdot \log \frac{f [\text{kHz}]}{1 \text{ kHz}} - 62$$

Wzór obowiązuje dla $0.7 < L/\lambda < 90$ i dotyczy obserwacji w tzw. aspekcie grzbietowym, czyli gdy fala sondująca pada pionowo na rybę poruszającą się w kierunku poziomym.