

## Mechanické vlnění a akustika

**33.** Dvě ponorky se pohybují proti sobě v přibližně stejné hloubce. První se pohybuje rychlostí  $v_1 = 10$  m/s a vysílá ultrazvukový signál s frekvencí  $f_1 = 50$  kHz. Po odrazu od druhé ponorky detekuje odražený signál s frekvencí  $f_2 = 52$  kHz. Určete rychlost  $v_2$  druhé ponorky. Stlačitelnost vody při daném tlaku a teplotě vody je  $\gamma = 4,9 \cdot 10^{-6}$  cm<sup>2</sup>/N a hustota vody  $\rho = 1030$  kg/m<sup>3</sup>.

### Řešení:

Nejprve vypočteme rychlost  $u$  ultrazvukových vln ve vodě. Platí

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\frac{1}{\gamma\rho}} = 1408 \text{ m/s},$$

kde  $K$  je modul objemové pružnosti vody. Pro frekvenci signálu  $f'$ , který registruje druhá ponorka, a frekvenci odraženého signálu  $f_2$ , který detekuje zpětně první ponorka, platí v důsledku Dopplerova jevu

$$f' = f_1 \frac{c + v_2}{c - v_1}, \quad f_2 = f' \frac{c + v_1}{c - v_2}.$$

Platí tedy

$$f_2 = f_1 \frac{c + v_2}{c - v_1} \frac{c + v_1}{c - v_2} \Rightarrow q = \frac{c + v_2}{c - v_2} = \text{konst.}, \quad q = \frac{f_2}{f_1} \frac{c - v_1}{c + v_1}.$$

Vyjádríme-li nyní rychlost  $v_2$ , potom obdržíme

$$v_2 = \frac{q-1}{q+1}c = 17,6 \text{ m/s}.$$

**34.** V místnosti tvaru kvádru o rozměrech  $a = 10 \text{ m}$ ,  $b = 6 \text{ m}$ ,  $h = 3 \text{ m}$  je hladina intenzity hluku  $L_1 = 30 \text{ dB}$ . Poměrná pohltivost stěn  $\alpha_1 = 0,2$ , podlahy  $\alpha_2 = 0,5$  a stropu  $\alpha_3 = 0,3$ . Po otevření okna o ploše  $S_o = 2 \text{ m}^2$  vniká do místnosti hluk z ulice, přičemž hladina intenzity tohoto hluku v úrovni okna  $L_2 = 70 \text{ dB}$  a rychlost šíření zvukových vln ve vzduchu  $c = 340 \text{ m/s}$ . Určete, jaká bude hladina intenzity hluku  $L$  v uvedené místnosti po otevření okna.

**Řešení:**

Nejprve určíme intenzity  $I$  a střední hustoty  $w$  akustické energie pro místnost před otevřením dveří a pro hluk z ulice. Z hladiny intenzity hluku můžeme vypočítat intenzitu  $I_1$  hluku v místnosti a  $I_2$  na ulici, tj.

$$I_1 = I_0 \cdot 10^{\frac{L_1}{10}} = 10^{-9} \text{ W/m}^2, \quad I_2 = I_0 \cdot 10^{\frac{L_2}{10}} = 10^{-5} \text{ W/m}^2,$$

kde  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  je referenční hodnota intenzity zvuku. Dále si určíme příslušnou hustotu akustické energie podle vztahu

$$w_1 = \frac{I_1}{c} = 2,94 \cdot 10^{-12} \text{ J/m}^3,$$

$$w_2 = \frac{I_2}{c} = 2,94 \cdot 10^{-8} \text{ J/m}^3.$$

Z ulice přichází oknem do místnosti akustický výkon

$$P = \frac{1}{4} w_2 c S_o = \frac{1}{4} I_2 S_o.$$

Tento dodatečný výkon způsobí zvětšení hustoty akustické energie o

$$\Delta w = \frac{4P}{cA} = \frac{4P}{c \sum_i \alpha_i S_i} = \frac{I_2 S_o}{c [2\alpha_1 (ah + bh - S_o) + ab(\alpha_2 + \alpha_3)]} = 8,86 \cdot 10^{-10} \text{ J/m}^3$$

a tedy výsledná hustota akustické energie  $w$  v místnosti po otevření okna je  $w = w_1 + \Delta w$ . Pomocí této hodnoty již můžeme zpětně určit hladinu intenzity  $L$ , tj.

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{wc}{I_0} = 10 \log \frac{(w_1 + \Delta w)c}{I_0} \doteq 54,8 \text{ dB}.$$