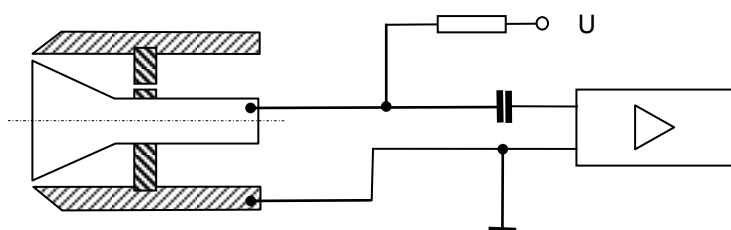


## Experimentální analýza hluku

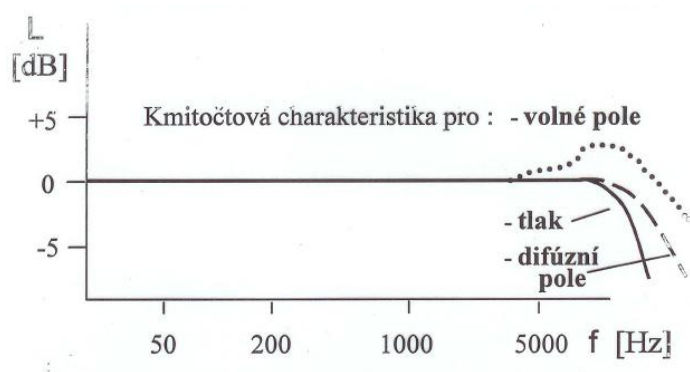
Mezi nejčastěji měřené akustické veličiny patří akustický tlak, akustický výkon a intenzita zvuku (resp. jejich hladiny). Vedle členění dle měřené veličiny lze měření v akustice členit dle dalších kritérií, např. jde-li o měření prostorů (zkušeben, místností, hal) nebo zvukových zdrojů (strojů), nebo jde-li o měření širokopásmová nebo úzkopásmová.

### Měření akustického tlaku

Nejjednodušším je měření hladiny akustického tlaku, který je nezávislý na frekvenci. Měření se provádí pomocí zvukoměrů, jejichž základem je mikrofon, který převádí tlak zvukové vlny na elektrický signál. Existuje několik typů mikrofonů, přičemž pro zvukoměry se nejčastěji používá kondenzátorový mikrofon (viz Obr. 1). Elektrický signál na výstupu z mikrofonu je úměrný akustickému tlaku zvukové vlny dopadající na membránu. Protože takový signál má většinou malou amplitudu, je nutné jej zesílit. Dále lze mikrofony rozdělit dle vlastností a průběhu kmitočtové charakteristiky na mikrofony pro volné pole, pro tlaková měření a pro difúzní pole (viz Obr. 2). Z Obr. 2 je zřejmé, že kmitočtové charakteristiky těchto různých typů mikrofonů jsou do určité frekvence velmi podobné, proto je možné používat mikrofony pro tlaková měření i pro měření v difúzním zvukovém poli.

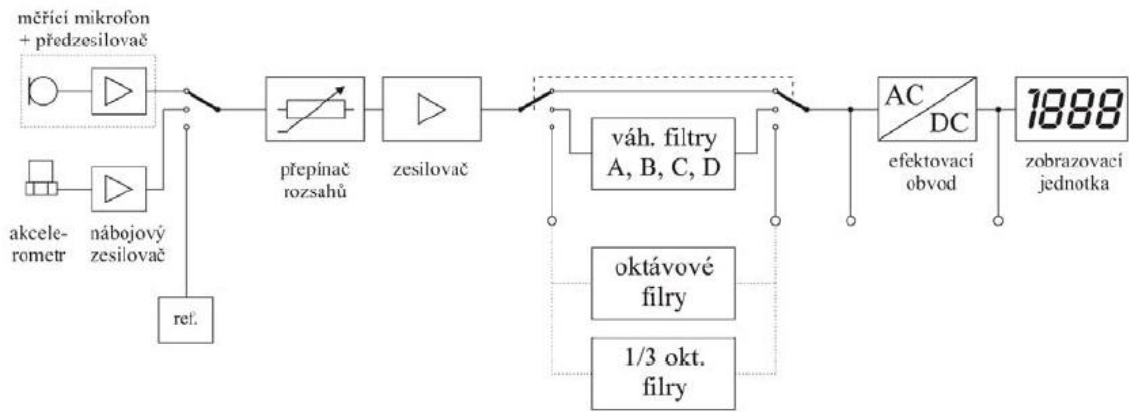


Obr. 1 Kondenzátorový mikrofon

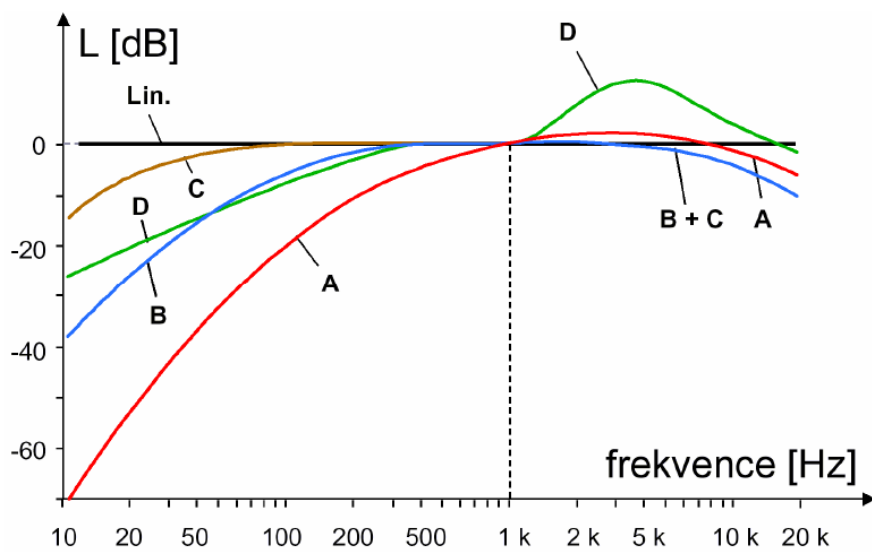


Obr. 2 Kmitočtová charakteristika mikrofonů [1]

Zvukoměr je zařízení, které reaguje na zvuk podobně jako lidské ucho. Schéma typického zvukoměru je na Obr. 3. Vedle mikrofonu obsahuje zesilovač a analogové přepínání rozsahů a také váhové filtry (A, B, C, D, oktávové nebo třetinoctávové – viz Obr. 4).



Obr. 3 Blokové schéma zvukoměru [2]



Pulse: Knowledge Library [CD-ROM]. June 2002. © 1996 – 2002 by Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S.

Obr. 4 Průběhy váhových křivek [3]

Mikrofony dodávané se zvukoměry jsou nejčastěji optimalizovány pro volné pole, kdy zvukové vlny dopadají kolmo na jeho membránu. V takových případech se snažíme orientovat zvukoměr tak, aby mikrofon směřoval ke zdroji hluku. Pokud ve volném poli použijeme zvukoměr s mikrofonem pro difuzní pole, je třeba zvukoměr orientovat tak, aby mikrofon nesměřoval přímo na zdroj hluku, ale byl od něj odkloněn o 70-80°. V opačném případě by došlo ke zkreslení výsledků.

Kromě měření spekter hluku lze pomocí zvukoměru zjišťovat mapy hladin akustického tlaku v okolí zdroje. Pro tyto účely se kolem zdroje vytvoří měřící síť a měření se provádí v jejích jednotlivých uzlových bodech. Výsledná mapa se pak nejčastěji zobrazuje pomocí izobar.

### Měření akustické intenzity

Jednoduchost měření akustického tlaku spočívala v tom, že měřenou veličinou byl skalár (akustický tlak). Akustická intenzita poskytuje informaci o směru toků akustické energie, je tedy veličinou vektorovou. Nejčastěji se měří v normálovém směru k jednotkové měřící ploše, kterou akustická energie protéká. Akustická intenzita se využívá především při identifikaci zdrojů hluku v prostoru nebo při identifikaci zářičů povrchů strojů. Dá se využít i při měření akustického výkonu strojů.

Akustická intenzita se nejčastěji měří pomocí intenzitní sondy, která se skládá ze dvou mikrofonů (viz Obr. 5). Pomocí tohoto zařízení se měří gradient tlaku, který je úměrný rychlosti. Tedy intenzita zvuku je:

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T p \cdot v_r dt \quad (1)$$

Kde rychlost je dána:

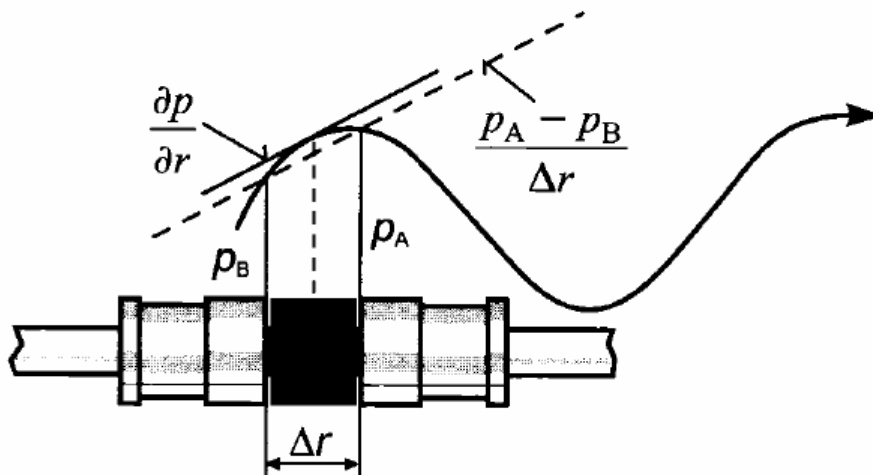
$$v_r = \frac{1}{\rho_0} \int_0^T \frac{\partial p}{\partial r} dt \approx -\frac{1}{\rho_0} \int_0^T \frac{(p_B - p_A)}{\Delta r} dt \approx -\frac{1}{\rho \Delta r} \int_0^T (p_B - p_A) dt \quad (2)$$

Akustický tlak bereme jako průměr obou tlaků:

$$p \approx \frac{p_A + p_B}{2} \quad (3)$$

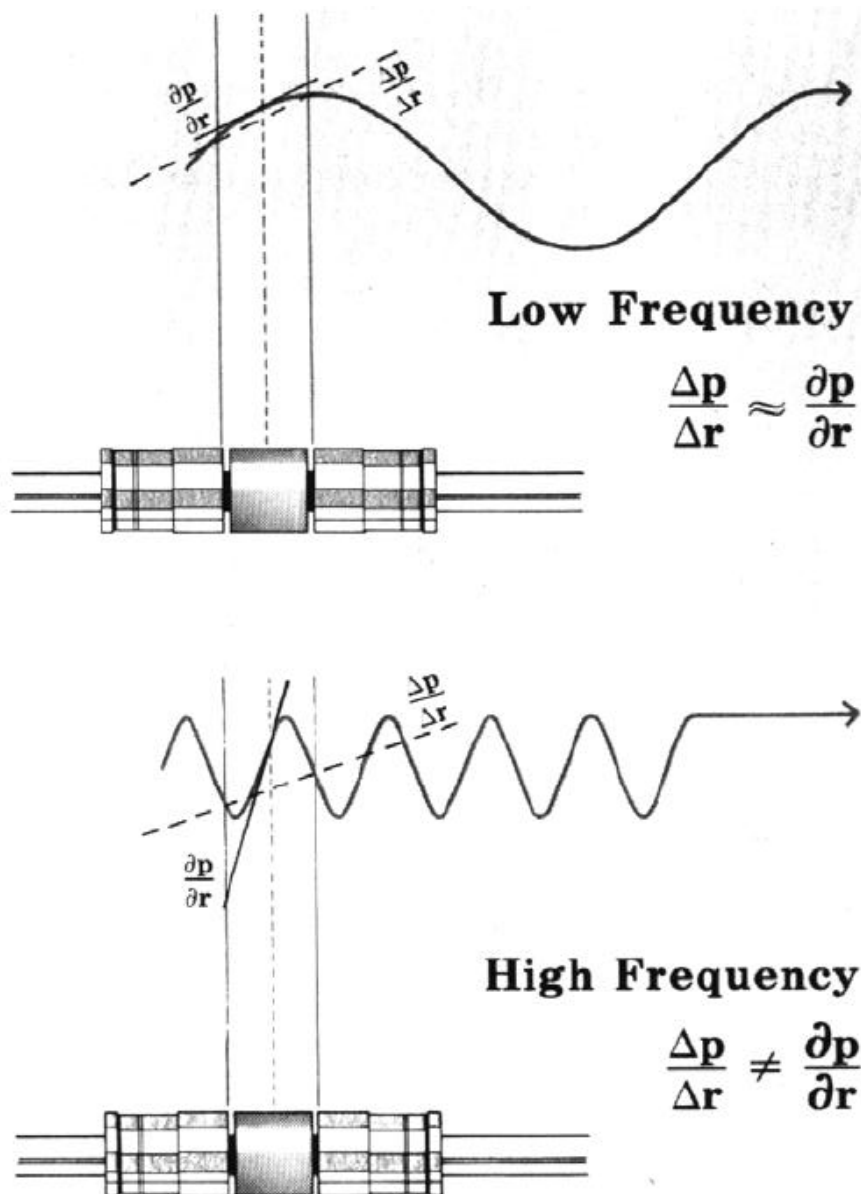
Výslednou intenzitu zvuku tedy lze z naměřených tlaků vypočítat takto:

$$I = \frac{(p_A + p_B)}{2\rho\Delta r} \int_0^T (p_A - p_B) dt \quad (4)$$



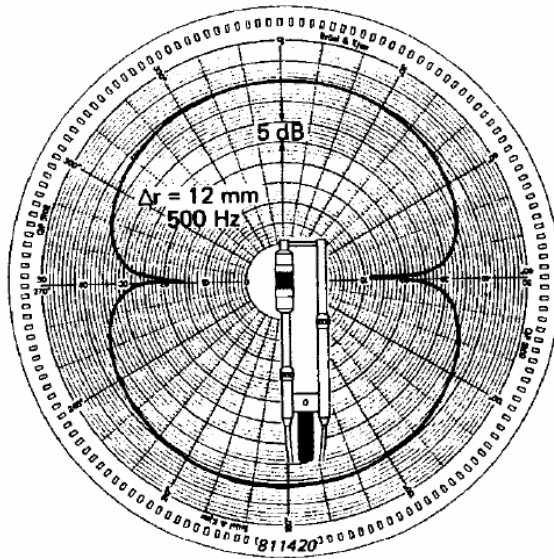
Obr. 5 Dva mikrofony intenzitní sondy [3]

Dvumikrofonová intenzitní sonda má svoje frekvenční omezení, které je dáno aproximací použitých v odvozených vztazích. Pro nízké frekvence je odhadovaný gradient akustického tlaku ovlivněn pouze přesností fázové shody mezi kanály. Při velmi nízké frekvenci nebo velké vlnové délce je měřený fázový rozdíl maskován fázovou chybou. Naproti tomu při vysokých frekvencích je omezení zřejmé z Obr. 6. V praxi se požaduje přibližně  $\lambda > 6 \cdot \Delta r$ .

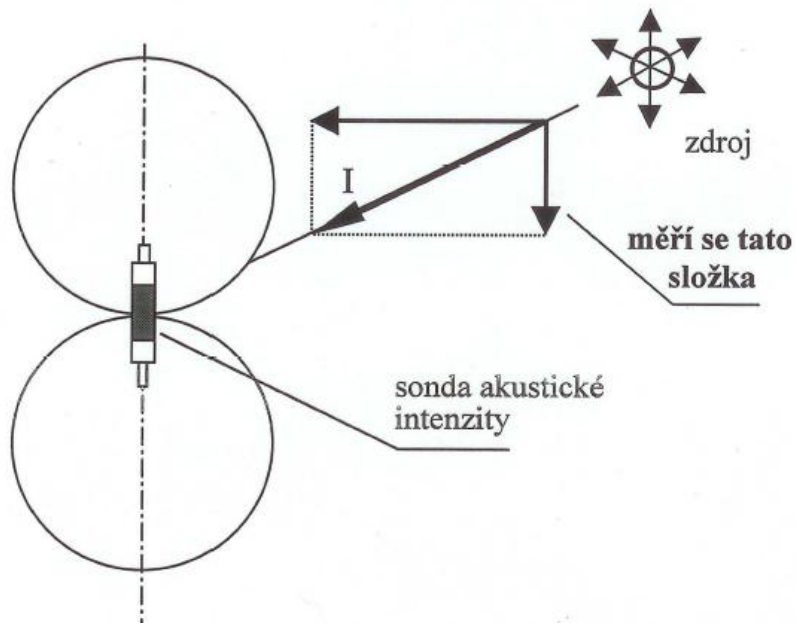


Obr. 6 Frekvenční omezení při použití dvoumikrofonové intenzitní sondy [3]

Popisovanou sondou se neměří skutečný vektor akustické intenzity, ale pouze její složka ve směru osy obou mikrofonů. Abychom určili vektor akustické intenzity, je třeba provést měření ve třech na sebe kolmých směrech a ze získaných výsledků vyhodnotit výsledný vektor. Intenzitní sonda je tedy směrově citlivá. Tuto citlivost lze znázornit na Obr. 7. Z tohoto obrázku vyplývá, že je-li sonda směřována přímo ke zdroji hluku, pak je její citlivost maximální, naopak je-li směřována kolmo ke zdroji, není žádný rozdíl mezi akustickými tlaky na obou mikrofonech a intenzita je tedy nulová. Této vlastnosti se využívá při již zmíněné lokalizaci zdrojů hluku. Pokud je naměřená intenzita nulová, sonda je orientována přesně kolmo na zdroj hluku (viz Obr. 8).

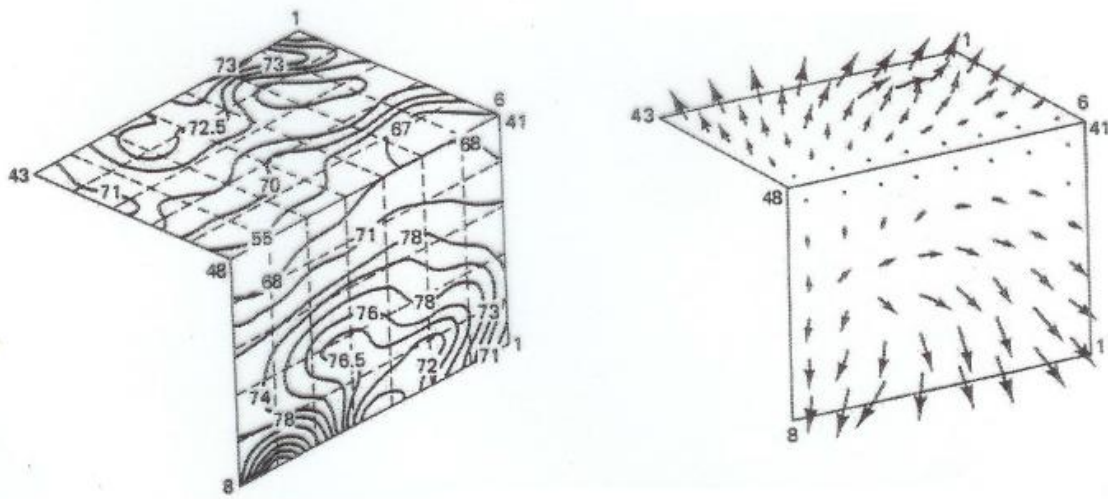


Obr. 7 Směrová citlivost dvoumikrofonové intenzitní sondy [3]



Obr. 8 Složky akustické intenzity [3]

Podobně jako u vyhodnocování akustického tlaku, měří a vyhodnocují se i u akustické intenzity tzv. mapy v okolí povrchů sledovaných strojů. V určité vzdálenosti se vytvoří fiktivní měřicí síť, v jejíchž uzlových bodech se provádí jednotlivá měření akustické intenzity pro dané frekvenční pásmo. Naměřené hodnoty se pak zobrazují do map, podobným těm na Obr. 9.



Obr. 9 Ukázka map akustické intenzity [1]

## Měření akustického výkonu

Měření akustického výkonu je jedním ze základních měření v akustice. Akustický výkon je nejdůležitější charakteristikou zdrojů zvuku, která umožňuje srovnávání zdrojů navzájem a jejich hodnocení. Akustický výkon lze měřit dvěma základními způsoby:

1. Pomocí akustického tlaku
  - a. V anechoické komoře (ve volném poli)
  - b. V dozvukové komoře (v difuzním poli)
2. Pomocí akustické intenzity

### Měření ve volném poli

Při měření ve volném poli se kolem zdroje hluku vytvoří fiktivní půlkulová měřicí síť, v jejích uzlových bodech se provádí jednotlivá dílčí měření akustického tlaku. Vyzařovaný akustický výkon je pak dán vztahem:

$$L_w = L + 10 \log \left( \frac{2\pi R}{S_0} \right) + C \quad (5)$$

Kde  $L$  [dB] je střední hodnota hladiny akustického tlaku přes všechny měřicí body,  $S_0 = 1\text{m}^2$  je referenční plocha a  $C$  [dB] je korekce na atmosférické podmínky.

Index směrovosti je dán vztahem:

$$Q = L_i - L + 3 \quad (6)$$

Kde  $L_i$  [dB] je hladina akustického tlaku v  $i$ -tém směru na polokouli.

Anechoická komora je pro většinu praktických měření nedostupná, proto se využívá tzv. inženýrská metoda, která považuje příspěvek odrazejího pole k akustickým tlakům za nepodstatný. Měřicí síť může být půlkulová i kvádr. Aby měření bylo s dostatečnou přesností, je třeba nejprve vyhodnotit

součinitele absorpce místnosti A a povrch místnosti S [m<sup>2</sup>], ve které se měření provádí. Celková pohltivost místnosti je dána vztahem:

$$A = 0.16 \left( \frac{V}{T} \right) \quad (7)$$

Kde V [m<sup>3</sup>] je objem místnosti a T [s] je čas dozvuku místnosti.

Aby měření bylo s uspokojivou přesností, musí být poměr A/S větší než 6. Čím větší číslo, tím je daný prostor vhodnější pro dané měření. Výsledná hladina akustického výkonu zdroje pak je:

$$L_w = L - K + 10 \log \frac{S}{S_0} \quad (8)$$

Korekční součinitel K [dB] závisí na poměru A/S.

### Měření v difuzním poli

Měření se provádí v dozvukových komorách, jejichž konstrukce je levnější než u anechoických komor. Pro zajištění dozvukového pole vhodného pro tento typ měření by měl střední koeficient akustické absorpce pro všechny povrchy být menší než 0.06. Akustický zdroj je vhodné umístit blízko rohů místnosti a nejméně 1.5 m od kterékoli stěny. Výsledná hladina akustického výkonu závisí na povrchu a objemu místnosti, době dozvuku místnosti, tlaku v místnosti a délce vlny na střední frekvenci pásma.

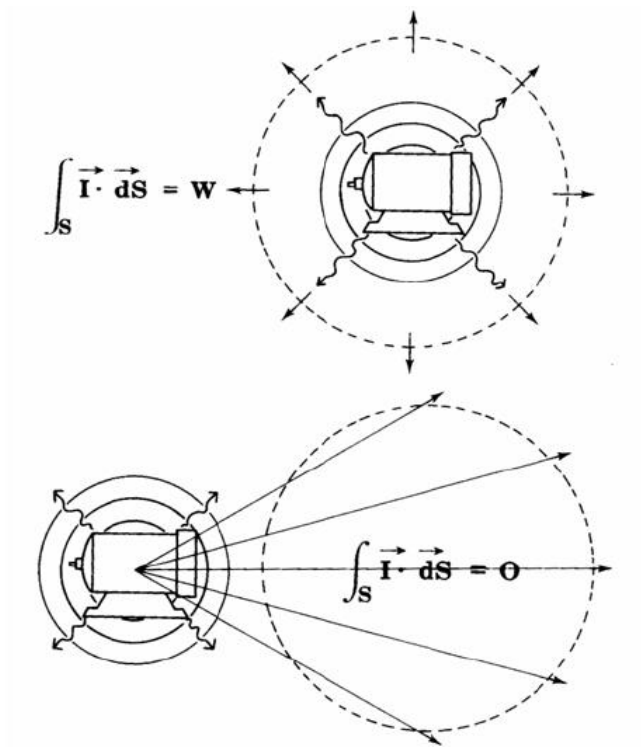
### Měření pomocí akustické intenzity

V praxi nebývá prostředí, v němž se měří, ani dozvukové ani bezdozvukové. Nelze se proto vyhnout odrazům zvuků a zvuků pozadí. Vhodnější je měření akustického výkonu pomocí akustické intenzity na uzavřené měřicí ploše kolem zdroje hluku. Prakticky se provádí měření vytvořením uzavřené plochy obklopující měřený zdroj hluku. Pokud je tato plocha mimo zdroj hluku, pak následující integrál je nulový:

$$W = \iint_S I \cdot dA \quad (9)$$

Hladina akustického výkonu je pak dána vztahem:

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad (10)$$



Obr. 10 Akustická intenzita procházející uzavřenou plochou (zdroj uvnitř nebo mimo plochu) [3]

## Použitá literatura

1. Mišun, V., Vibration and noise (VUT IUM, VŠ skriptum)
2. Jiříček, O., Introduction to acoustics (ČVUT, VŠ skriptum)
3. [http://www.rss.tul.cz/download/tdg/p7\\_hluk.pdf](http://www.rss.tul.cz/download/tdg/p7_hluk.pdf)
4. <http://measure.feld.cvut.cz/usr/staff/smid/lectures/sound07.pdf>
5. [http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/ZEM/ZEM\\_prednaska10.pdf](http://old.uk.fme.vutbr.cz/kestazeni/ZEM/ZEM_prednaska10.pdf)