

## Úloha 4

# Měření akustického výkonu pomocí akustické intenzity

### 4.1 Zadání

1. Stanovte akustický výkon daného zdroje hluku měřením akustické intenzity v bodech
2. Sledujte vlastnosti akustické intenzity

### 4.2 Obecná část

#### 4.2.1 Akustický výkon

Jeden z principů měření akustického výkonu je založen na měření akustické intenzity a integrálu

$$W = \oiint_{(S)} \vec{I} \cdot \vec{n} dS . \quad (4.1)$$

Je třeba zvolit vhodnou plochu uzavřenou kolem měřeného zdroje, přičemž nejčastěji se volí plochy, jejichž základem je kvádr či krychle. Integrál (4.1) upravíme s ohledem na to, že běžná intenzitní sonda měří pouze složku akustické intenzity v jednom směru a v případě měření výkonu volíme právě normálovou složku vzhledem k měřicí ploše

$$W = \oiint_{(S)} \vec{I} \cdot \vec{n} dS = \oiint_{(S)} I_n dS . \quad (4.2)$$

V praxi jsou dvě možnosti jak aproximovat plošný integrál (4.2). První se nazývá měření v bodech a je znázorněna na obrázku 4.1a. Zde je integrál nahrazen sumou

$$W \approx \sum_{i=1}^N I_{ni} S_i , \quad (4.3)$$

kde  $I_{ni}$  je normálová intenzita měřená intenzitní sondou uprostřed elementu plochy  $S_i$  a  $N$  je počet elementů, na které je měřicí obalová plocha rozdělena.

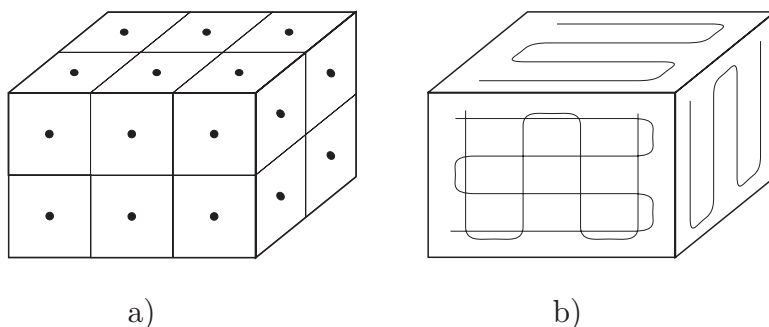
Pro druhou metodu aproximace integrálu (4.2) přepokládejme, že určujeme tok akustického výkonu pouze jednou čtvercovou či obdélníkovou plochou s tím, že součet výkonů přes všechny stěny nám dá celkový vyzářený výkon. Tu rozdělíme na pás o konstantní šířce  $D$ , jehož prostředkem se bude pohybovat sonda. Možné dráhy pohybu sondy jsou znázorněny na stěnách kvádrů na obrázku 4.1b. Element plochy nahradíme  $dS = D dl$ , kde  $dl$  je element dráhy sondy a integrál (4.2) přejde na tvar

$$\int_{(S)} I_n dS \approx \int_{(l)} I_n D dl = D \int_{(l)} I_n \frac{dl}{dt} dt = D \int_0^{T_s} I_n v_s dt . \quad (4.4)$$

Bude-li rychlost pohybu sondy konstantní, pak ji můžeme vyjádřit  $v_s = l/T_s$  a uvědomíme-li si, že platí  $Dl = S$  získáme

$$W \approx S \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} I_n dt . \quad (4.5)$$

Z tohoto integrálu je patrné, že časová integrace, která probíhá během měření je zároveň integrací po měřicí ploše. Tato metoda se nazývá *metoda měření skenováním*.



Obrázek 4.1: Aproximace plošného integrálu při měření akustického výkonu pomocí intenzity a) v bodech b) metodou skenování

Dojde-li na jedné, nebo více stěnách k absolutnímu odrazu energie (stěna bude dokonale tuhá), bude i normálová složka intenzity nulová a příspěvek k výsledné sumě bude nulový. V tomto případě s touto plochou vůbec nepočítáme. V praxi považujeme za dokonale tuhou i např. betonovou podlahu.

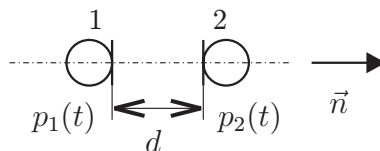
Pro vyjádření akustického výkonu používáme hladinové vyjádření dané vztahem

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0} , \quad (4.6)$$

kde  $W_0 = 10^{-12}$  W.

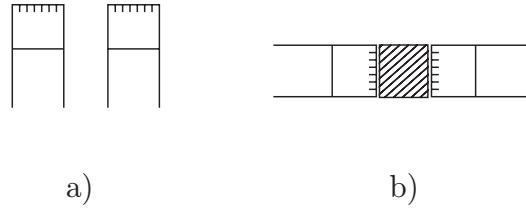
## 4.2.2 Měření akustické intenzity

V současnosti nejrozšířenější jsou intenzitní sondy založené na měření akustického tlaku ve dvou blízkých bodech (viz obrázek 4.2), pro které se někdy užívá označení *p-p* sonda nebo dvoumikrofonní sonda.



Obrázek 4.2: Schéma dvoumikrofonní sondy

Pro měření akustické intenzity pomocí *p-p* sondy se používají velmi kvalitní kondenzátorové mikrofony, které mohou být uspořádány různými způsoby. Nejčastější uspořádání



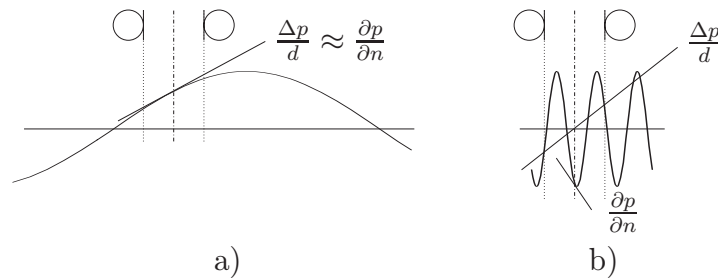
Obrázek 4.3: Uspořádání kondenzátorových mikrofonů v intenzitní sondě

je čely k sobě, při kterém je pro zlepšení fázové charakteristiky a také pro přesné vymezení vzdálenosti obvykle mezi ochranné mřížky mikrofonů vložena tuhá distanční vložka.

Základním požadavkem na dvoumikrofonní sondu je maximální shoda mezi přenosovými funkcemi (resp. impulsními odezvami) obou mikrofonních kanálů. Umístíme-li dvoumikrofonní sondu do zvukového pole tvořeného rovinnou postupnou vlnou tak, že osa sondy je rovnoběžná se směrem šíření zvuku, bude hladina akustické intenzity  $L_{I_n}$  rovna hladině akustického tlaku  $L_p$  (předpokládáme-li  $I_0 = p_0^2/\rho c$ ). V obecném poli rozdíl mezi naměřenými hladinami nazýváme *index tlak-intenzita* nebo zkráceně *p-I index*

$$\delta_{pi} = L_p - L_{I_n} . \quad (4.7)$$

Umístíme-li sondu do téhož zvukového pole tak, že její směr bude kolmý na směr šíření zvuku, bude složka intenzity v tomto směru nulová a hladina intenzity by měla být mínus nekonečno<sup>1</sup>. Ve skutečnosti však naměříme hladinu, která se bude lišit o jednotky až několik desítek dB. Důvodem je opět rozdíl mezi kanály, který měřicí systém vyhodnotí jako nenulový gradient tlaku a výsledkem je „zbytková intenzita“. Rozdíl mezi hladinami akustického tlaku a intenzity v tomto případě značíme  $\delta_{pI_0}$  a nazýváme *index zbytkové intenzity*. Tento index charakterizuje dynamické možnosti systému. Poznamenejme, že dosažení dobré amplitudové shody obou kanálů je technicky snazší než dosažení fázové shody, která je pro správné určení gradientu důležitá. Proto se někdy hovoří o fázové shodě, respektive o chybě rozfázování.



Obrázek 4.4: Frekvenční omezení při použití dvoumikrofonní sondy

Dvoumikrofonní metoda má svá omezení, která vyplývají z použitých aproximací. Nejvýznamnější je frekvenční omezení, které je jak na nízkých, tak na vysokých frekvencích. Frekvenční omezení souvisí s aproximací akustické rychlosti. Pro nízké frekvence je odhad gradientu akustického tlaku ovlivněn pouze přesností fázové shody mezi kanály (viz obrázek 4.4a). Ta je však konečná a proto pro velmi nízké frekvence, respektive velké vlnové délky bude měřený fázový rozdíl maskován fázovou chybou. Na vysokých frekvencích

<sup>1</sup>Akustická intenzita je obecně nulová všude tam, kde nedochází k transportu energie, tedy např. také v poli stojatých vln nebo difúzním poli, kde časová střední hodnota tohoto přenosu je nulová.

je omezení patrné z obrázku 4.4b a v praxi se požaduje přibližně  $\lambda > 6d$ . Jak bylo zmíněno dříve, intenzitometry určují jednak velikost složky intenzity v daném směru a zároveň orientaci. Intenzitu je však zvykem stejně jako většinu akustických veličin vyjadřovat ve formě hladin podle vztahu

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}, \quad (4.8)$$

kde skutečnost záporného toku energie nelze zahrnout. Proto se pro znázornění toku v záporném směru (od druhého mikrofonu k prvnímu) používá označení se znaménkem mínus v kulatých závorkách a často zejména na displejích měřicích přístrojů za číselnou hodnotou. Tedy např.  $L_I = (-)75$  dB.

### 4.3 Postup měření

1. Vytvoříme pomyslnou měřicí plochu tvaru krychle  $1 \times 1 \times 1$  m. Každou stranu krychle (kromě podlahy) rozdělte na čtyři stejné plochy a tyto plochy vhodně očísľujte.
2. Při zapnutém zdroji hluku se sondou v jednom z měřicích bodů proveďte automatické nastavení rozsahu (první, tedy horní tlačítko na sondě).
3. Uprostřed každé plochy měříme normálovou složku akustické intenzity (start čtvrtým tlačítkem, měření trvá 8 s) a úspěšná měření ukládáme (druhé tlačítko).
4. **Vyhodnořte graficky třetinooktávové spektrum hladin akustického výkonu vyzářené zdrojem hluku.**
5. Vypočítejte celkový vyzářený akustický výkon (ve watech).