

Úloha č. 2**Měření zvukové pohltivosti materiálů**Úkoly měření:

1. Proměřte frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti pro 6 různých druhů materiálů a jejich vrstevnatých soustav.
2. Měření činitele zvukové pohltivosti při nízkých frekvencích proveďte na velké Kundtově impedanční trubici. Podobně pro velké frekvence použijte malou Kundtovu impedanční trubici.
3. Z naměřených frekvenčních závislostí u malé a velké trubice vytvořte kombinovanou frekvenční závislost pro každý materiál, resp. pro soustavu materiálů.
4. Z výsledků měření podle bodu 3 sestrojte grafy frekvenčních závislostí činitele zvukové pohltivosti.
5. Z naměřených frekvenčních závislostí porovnejte materiály (resp. vrstevnaté soustavy) navzájem mezi sebou z hlediska zvukové pohltivosti. Zhodnoťte vliv druhu a tloušťky materiálů, frekvence a vzájemného pořadí materiálů u vrstevnatých soustav. Proveďte doporučení nejvhodnějších materiálů pro pohlcování zvuku v určitých frekvenčních pásmech.

Použité přístroje a pomůcky:

1. vzorky materiálů o dvou průměrech (30 mm a 100 mm), kalibrační filtry o dvou průměrech (30 mm a 100 mm), posuvné měřítko, Kundtova impedanční trubice dvou průměrů, zesilovač, multianalizátor, notebook.

Základní pojmy, teoretický úvod:

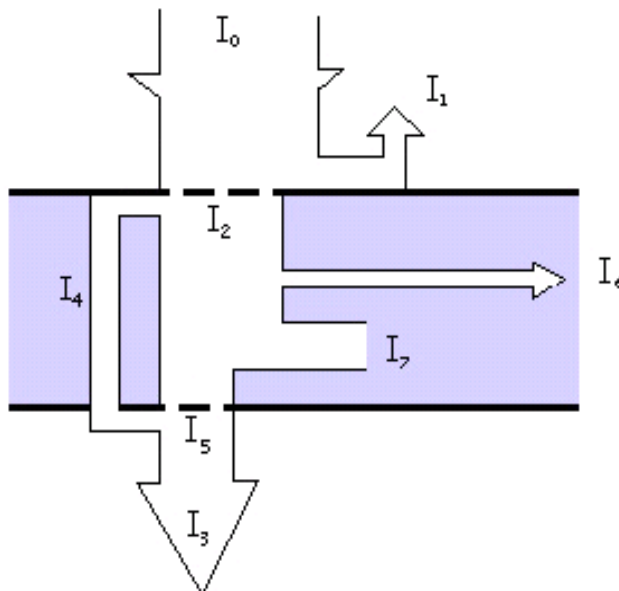
Nadměrný hluk má negativní vliv na zdraví člověka, bezpečnost apod. Jedna z možností eliminace nadměrného hluku spočívá ve schopnosti některých materiálů a konstrukcí pohlcovat akustickou energii a transformovat ji na tepelnou energii. Pohltivost zvuku je charakterizována činitelem zvukové pohltivosti, jehož velikost plyne z energetické bilance, která je znázorněna na obr. 1. Při dopadu zvukové vlny na nějakou překážku (např. povrch stěny) se část zvukové vlny odrazí a část pohltí. Kromě toho může ještě část zvukové vlny projít do prostoru za stěnou. Akustický výkon dopadající na 1 m² povrchu stěny (tj. intenzita zvuku vlny dopadající na překážku) I_0 se rozdělí na následující dílčí složky:

- I_1 – intenzita zvuku vlny odražené,
- I_2 – intenzita zvuku vlny pohlcené,
- I_3 – intenzita zvuku vlny vyzářené za stěnu celkem,
- I_4 – intenzita zvuku vlny prošlé za stěnu otvory a póry,

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



- I_5 – intenzita zvuku vlny, kterou stěna vyzáří v důsledku svého ohybového kmitání do druhého poloprostoru,
- I_6 – intenzita zvuku vlny, která je vedena ve formě chvění do ostatních částí přiléhajících konstrukcí,
- I_7 – intenzita zvuku přeměněná ve stěně na teplo.



Obr. 1: Energetická bilance při dopadu zvukové vlny na stěnu.

Činitel zvukové pohltivosti α jako bezrozměrná veličina je definován poměrem:

$$\alpha = \frac{I_2}{I_0}. \quad (1)$$

Ze zákona zachování energie je zřejmé, že velikost činitele zvukové pohltivosti leží v intervalu $\alpha \in \langle 0, 1 \rangle$. Materiál, u kterého dochází k úplnému pohlcení veškeré dopadající akustické energie, je charakterizován činitelem zvukové pohltivosti $\alpha = 1$. Jako nejvhodnější materiály pro pohlcování zvuku jsou všeobecně doporučovány zejména materiály s porézní nebo vláknitou strukturou. Naopak v případě dokonalého odrazu dopadajícího akustického vlnění od povrchu materiálu je tento materiál charakterizován činitelem zvukové pohltivosti $\alpha = 0$. Kromě druhu materiálu závisí velikost činitele zvukové pohltivosti zejména na frekvenci dopadajícího akustického vlnění, dále na tloušťce materiálu, pórovitosti, teplotě apod.

Definice: Činitel zvukové pohltivosti je definován poměrem intenzity zvuku vlny pohlcené v daném materiálu k intenzitě zvuku dopadající vlny na daný materiál.

Z energetické bilance lze dále definovat činitel zvukové odrazivosti β , činitel zvukové průzvučnosti τ a činitel tepelné přeměny ε , které jsou definovány rovnicemi:

$$\beta = \frac{I_1}{I_0}, \quad (2)$$

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

$$\tau = \frac{I_3}{I_0}, \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{I_7}{I_0}. \quad (4)$$

Výše uvedené činitele zvuku jsou bezrozměrné veličiny podobně jako činitel zvukové pohltivosti a jejich velikost se též může teoreticky pohybovat od 0 do 1. Ze zákona zachování energie musí platit:

$$\alpha + \beta = 1. \quad (5)$$

Definice: Součet činitele zvukové pohltivosti a činitele zvukové odrazivosti je roven 1.

Principy metody měření činitele zvukové pohltivosti:

Měření činitele zvukové pohltivosti se realizuje na Kundtově impedanční trubici metodou přenosové funkce (viz obr. 2) podle normy ČSN ISO 10534-2. Na jednom konci trubice T je umístěn zkoumaný vzorek VZ, na druhém konci je umístěn reproduktor R, který je napájen generátorem signálu GS. Signál je následně zesílen v zesilovači Z. Na trubici jsou umístěny dva mikrofony M_1 a M_2 stejného druhu pro měření akustických tlaků. Naměřené veličiny jsou použity pro další zpracování v systému kmitočtové analýzy SKA. Činitel zvukové pohltivosti při kolmém dopadu akustického vlnění se potom určí z rovnice:

$$\alpha = 1 - |r|^2 = 1 - r_r^2 - r_i^2, \quad (6)$$

kde r je činitel odrazu akustického tlaku, r_r – reálná složka činitele odrazu akustického tlaku, r_i – imaginární složka činitele odrazu akustického tlaku. Činitel odrazu akustického tlaku je dán rovnicí:

$$r = \frac{H_{12} - H_I}{H_R + H_{12}} \cdot e^{2k_0 x_i}, \quad (7)$$

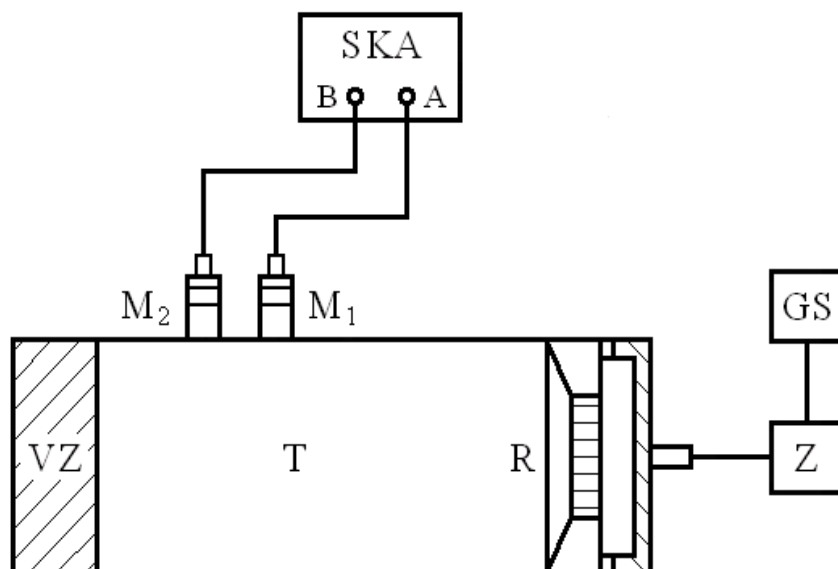
kde H_{12} je přenosová funkce mezi místy 1 a 2, H_I – přenosová funkce pro samotnou dopadající vlnu, H_R – přenosová funkce pro samotnou odražející se vlnu, k_0 – komplexní vlnové číslo, x_i – vzdálenost mezi vzorkem a vzdálenějším mikrofonom od něj (v tomto případě od mikrofону M_1 - viz obr. 2), i – imaginární jednotka.

Schéma měřicí aparatury pro měření činitele zvukové pohltivosti je uvedeno na obr. 3. Tato aparatura sestává z Kundtovy impedanční trubice Brüel & Kjær typu 4206, tříkanálového PULSE multianalyzátoru Brüel & Kjær typu 3560-B-030, zesilovače Brüel & Kjær typu 2706 pro zesílení vstupního signálu a počítače PC pro ukládání naměřených dat. Fotografie této měřicí aparatury je uvedena na obr. 4. Kundtova impedanční trubice se skládá ze dvou částí. A sice ze dvou trubic malého a velkého průměru. Velká trubice o průměru $d = 100$ mm je vhodná pro měření činitele zvukové pohltivosti při malých frekvencích a používá se ve frekvenčním rozsahu $f = \langle 0 \div 1600 \rangle$ Hz. Malá trubice o průměru $d = 30$ mm je vhodná pro měření činitele zvukové pohltivosti při větších frekvencích a měří při frekvencích $f = \langle 0 \div 6400 \rangle$ Hz. Je tedy zřejmé, že při frekvencích $f = \langle 0 \div 1600 \rangle$ Hz se jedná o přechodovou oblast mezi oběma trubicemi. Z tohoto důvodu se velká trubice používá pro přímé měření akustických veličin při frekvencích $f = \langle 0 \div 500 \rangle$ Hz. Malá trubice měří přímo akustické

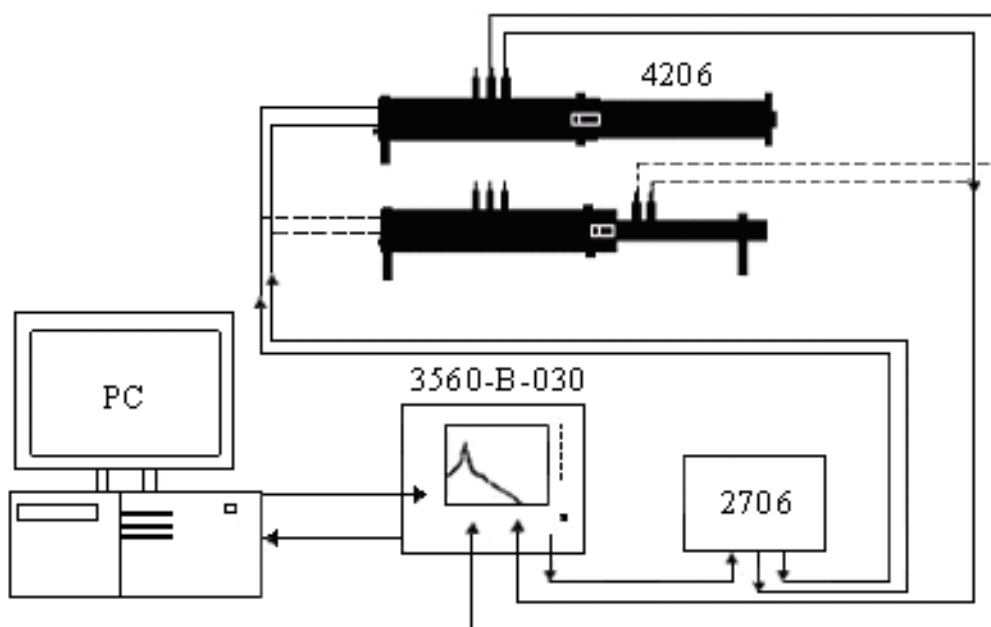
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



veličiny při frekvencích $f \geq 1600$ Hz. Naměřená data akustických veličin v přechodové frekvenční oblasti, tzn. při $f = (500 \div 1600)$ Hz, se získají výpočtem z hodnot příslušných akustických veličin získaných měřením na malé a velké Kundtově trubici. Výsledkem měření jsou frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti při frekvencích $f = \langle 0 \div 6400 \rangle$ Hz s frekvenčním krokem $\Delta f = 2$ Hz.

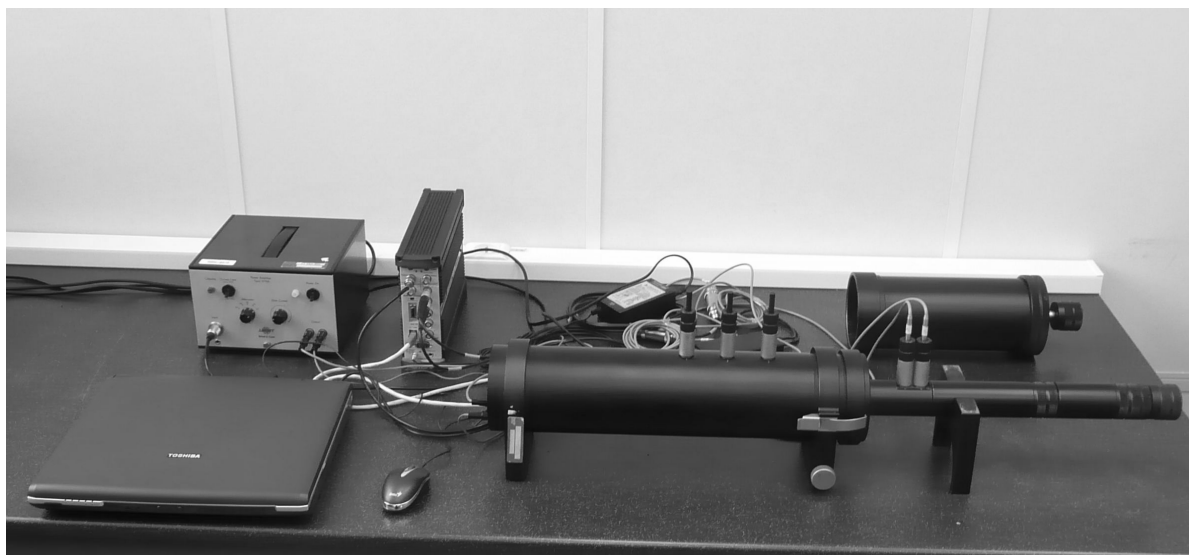


Obr. 2: Princip měření činitele zvukové pohltivosti v Kundtově impedanční trubici metodou přenosové funkce.



Obr. 3: Schéma zapojení měřicí aparatury pro měření činitele zvukové pohltivosti.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



Obr. 4: Fotografie měřicí aparatury pro měření činitele zvukové pohltivosti.



Obr. 5: Boční pohled na Kundtovu impedanční trubici.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky

Postupy měření a pokyny k úloze:

Při měření frekvenčních závislostí postupujte následovně:

- Specifikujte a proměřte tloušťky jednotlivých druhů materiálů (celkem 6 druhů), které budete srovnávat při měření zvukové pohltivosti. Dále si vyberte 3 dvojice materiálů, které použijete při měření činitele zvukové pohltivosti vrstevnatých soustav materiálů.
- Zapněte program **C:\EF_absorpce.pls**
- Po zapnutí programu nastavte v menu „**Project Setup**“ měření pro danou trubici (tzn. velká trubice – nastavení „**Large**“ a malá trubice – nastavení „**Small**“). Mikrofony jsou přitom zapojeny v příslušných zdírkách při zadávání typu trubice, jak je uvedeno v příslušném menu. Poté proveďte kalibraci přenosové funkce (v menu „**Transfer function calibration**“) pro každou trubici zvlášť.
- Před kalibrací velké trubice nastavte pomocí otočného kolečka (viz obr. 5) na trubici funkci „**Linear**“ a do trubice vložte kalibrační filtr o velkém průměru $d = 100$ mm. Při vlastní kalibraci jsou nejprve snímače akustických tlaků v zaměněné poloze (tzn. snímač A je připojen ke vstupu 3 a snímač B je připojen ke vstupu 2). Spustí se kalibrace. Po jejím provedení se prohodí mikrofony do normální polohy (tzn. snímač A je připojen ke vstupu 2 a snímač B je připojen ke vstupu 3) a provede se další část kalibrace. Výsledkem je frekvenční závislost přenosové funkce.
- Podobně se provede kalibrace malé trubice s malým kalibračním filtrem. Na Kundtově trubici se nastaví otočným kolečkem (viz obr. 5) funkce „**High-Pass**“. Poté následuje vlastní kalibrace. Nejprve při zaměněných snímačích akustických tlaků (tzn. snímač A je připojen ke vstupu 5 a snímač B je připojen ke vstupu 4). Posléze se mikrofony prohodí do své normální polohy (tzn. snímač A je připojen ke vstupu 4 a snímač B je připojen ke vstupu 5). Výsledkem je opět frekvenční závislost přenosové funkce.
- Po provedení kalibrace se pomocí přenosových funkcí provede kontrola úspěšnosti kalibrace. Pokud je kalibrace u dané trubice úspěšná, obě přenosové funkce (tzn. při normální a zaměněné poloze snímačů akustického tlaku) jsou v celé frekvenční oblasti symetrické kolem vodorovné osy x .
- V menu „**Measurement**“ proveďte měření frekvenčních závislostí činitele zvukové pohltivosti. Nejprve zadejte název a vložte vzorek materiálu do příslušné trubice. Snímače akustických tlaků mějte v jejich normální poloze jako po ukončení kalibrace (tzn. pro velkou trubici snímač A je na vstupu 2 a snímač B je na vstupu 3, pro malou trubici snímač A je na vstupu 4 a snímač B je na vstupu 5). Následně proveďte spuštění měření tlačítkem „**Measurement**“.
- Poznámka: Před měřením frekvenčních závislostí činitele zvukové pohltivosti zadejte vhodné názvy vzorků, ze kterých je zřejmé, že se jedná o měření daného typu materiálu v malé nebo velké trubici (např. pryžový vzorek měřený v malé trubici nazveme „pryzm“ a pryžový vzorek ve velké trubici nazveme „pryzv“).
- Pro každou trubici proveďte měření frekvenčních závislostí činitele zvukové pohltivosti pro 6 samostatných materiálů i pro 3 páry vrstevnatých soustav materiálů. Pro každý pár proveďte měření při obou polohách jednotlivých

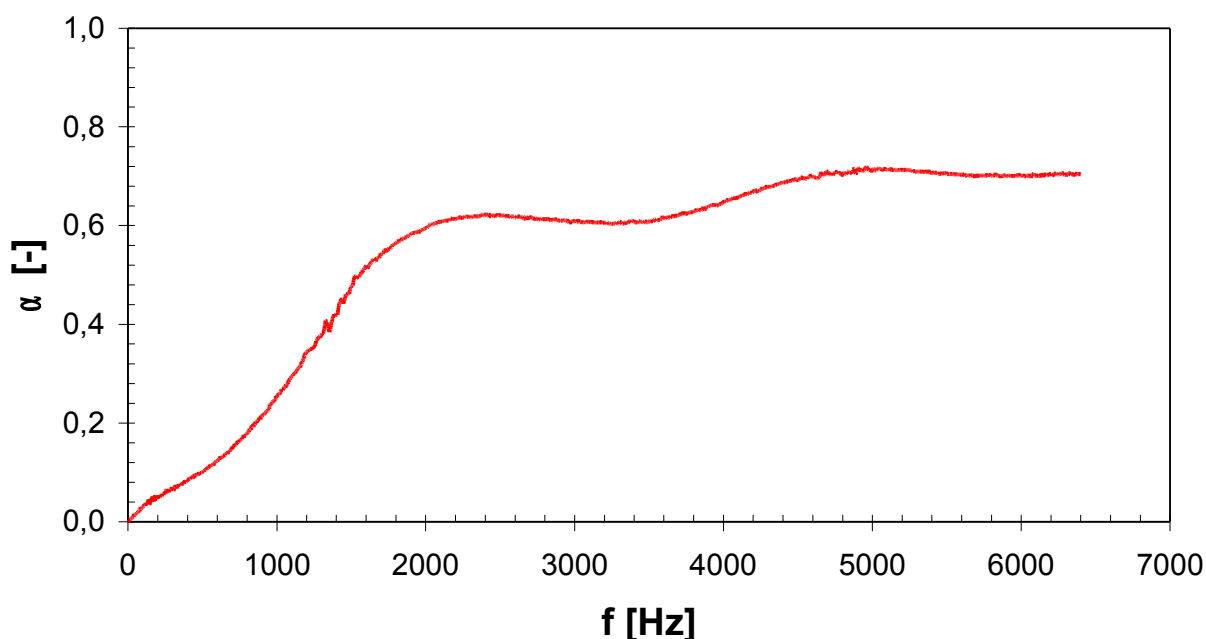
Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

materiálů vzhledem k dopadajícímu zvuku (tzn. pro obě dvě pořadí materiálů z hlediska dopadu zvuku od reproduktoru R – viz obr. 2). Výsledkem těchto měření je tedy 12 frekvenčních závislostí činitele zvukové pohltivosti pro každou trubici.

- Po změření frekvenčních závislostí materiálů v obou trubicích v menu „**Post-processing**“ proveďte kombinaci křivek malé a velké trubice pro stejný materiál v položce „**Combination**“ pro přechodovou frekvenční oblast $f = (500, 1600)$ Hz. U každého materiálu si označte naměřené soubory u malé i velké trubice a proveďte kombinaci. Výsledkem tohoto procesu je celkem 12 kombinovaných křivek ve frekvenčním rozsahu $f = <0, 6400>$ Hz.
- Poznámka: Při kombinaci křivek lze označit pouze jednu naměřenou frekvenční závislost získanou na malé trubici a jednu frekvenční závislost získanou na velké trubici u daného typu materiálu. Při označení více frekvenčních závislostí (tzn. současně u více materiálových vzorků) nelze provést kombinaci křivek.
- Vraťte se zpět do menu „**Measurement**“ a označte si všech 12 kombinovaných křivek pro vykreslení jejich grafických závislostí. Na každou křivku postupně najedte pravým tlačítkem myši a uložte naměřená data příkazem „**Save Active Curve**“ pomocí textových souborů .txt.
- V programu Excel následně s využitím textových souborů sestrojte grafické závislosti činitele zvukové pohltivosti na frekvenci. Příklad frekvenční závislosti činitele zvukové pohltivosti je uveden na obr. 6.
- Na závěr porovnejte jednotlivé materiály mezi sebou a vliv pořadí materiálů u vrstevnatých soustav z hlediska tlumení zvuku. Zhodnoťte dále vliv tloušťky materiálu, vliv budící frekvence, porovnejte mezi sebou vrstevnaté struktury dvou materiálů s těmito samostatnými materiály. Proveďte doporučení nejvhodnějších materiálů pro pohlcování zvuku v určitých frekvenčních pásmech. Pro tato srovnání sestrojte příslušné grafické závislosti, ze kterých to bude zřejmé.



Obr. 6: Frekvenční závislost činitele zvukové pohltivosti.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



Seznam použité a doporučené literatury:

- [1] ČSN ISO 10534–2 Akustika – Určování činitele zvukové pohltivosti a akustické impedance v impedančních trubicích – Část 2: Metoda přenosové funkce. Český normalizační institut, 2000.
- [2] Nový R.: Hluk a chvění, ČVUT v Praze, (2000).
- [3] Mišun V.: Vibrace a hluk, VUT v Brně, Nakladatelství PC-DIR Real, s. r. o. Brno, (1998).
- [4] Vaňková, M. a kol.: Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část I. Skriptum VUT Brno, 1995, 144 s.
- [5] Vaňková M. a kol.: Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí, část II, VUT v Brně, Nakladatelství PC-DIR Real, s. r. o. Brno, (1996).
- [6] Vaverka, J. – Kozel, V. – Ládyš, L. – Liberko, M. – Chybík, J.: Stavební fyzika 1: urbanistická, stavební a prostorová akustika. Skriptum VUT Brno, 1998, 343 s.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně