



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Výukové texty

pro předmět

Měřicí technika

(KKS/MT)

na téma

Podklady k principu měření akustických projevů (hluk, akustický tlak, šíření v prostředí

Autor: Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Podklady k principu měření akustických projevů (hluk, akustický tlak, šíření v prostředí)

1) Akustika

Akustika je vědní obor v širším pojetí, neboť se komplexněji zabývá se fyzikálními ději, které jsou spojeny s vlněním (se zvukem) od jeho vzniku, přenosu prostorem až po vnímání lidskými sluchem nebo měřicími přístroji. Obor akustiky se dá rozdělit na celou řadu oblastí, např. hudební akustika, stavební akustika, prostorová akustika, fyziologická akustika, elektroakustika atd.

Vlnění hmotného prostředí, pokud jej lze zjistit sluchem nebo přístroji je fyzikální děj, který se nazývá zvuk. Zvuk obecně vzniká kmitáním jako mechanické kmitání bodů a bodových soustav, které je charakterizováno parametry pohybu částic „pružného prostředí“ nebo parametry zvukového pole.

Spektro zvuků lze rozdělit na:

slyšitelný zvuk – což je definováno jako akustické kmitání pružného prostředí (zvuky) v pásmu frekvencí od 16 Hz (někdy 20Hz) do 20 kHz, schopné vyvolat zvukový vjem v lidském uchu. Frekvenční závislost této definice slyšitelného zvuku je silně individuální a je dána fyziologickými vlastnostmi každého jedince (především horní hranice je velmi proměnná a závislá mj. na věku).

infrazvuk – což jsou velmi nízké frekvence pod slyšitelnou hranicí (0,7 - 16 Hz „někdy 20Hz“), které lidské tělo vnímá hmatem (citlivost na vibrace) - jsou schopny rozvíbrovat celý povrch těla či bránici,

ultrazvuk – což je zvuk nad slyšitelnou hranicí 20kHz (do 50 kHz), kde je toto pásmo využíváno pro některé snímače, testování a diagnostiku.

Některé zvuky v pásmu slyšitelnosti, ultrazvuku, ale nejvíce asi v pásmu infrazvuku sice neslyšíme, ale jejich vnímání může mít i nepříznivý vliv na zdraví či psychiku.

U zvukových spíše akustických veličin je důležitým údajem hladina (tj. úroveň) tzv. akustického tlaku. Tato hodnota akustického tlaku L v jednotkách „decibel“ (značena dB) určuje, o kolik je okamžitá (změřená) hodnota vyšší, než referenční (vztažná) hodnota.

Potom: $L = 20 \log p(\text{změřená či okamžitá}) / p_0(\text{vztažná neboli referenční hodnota})$.

Referenční hodnota hladiny má hodnotu $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Jednotka akustického tlaku dB má logaritmický průběh a proto platí, že pokud je o 6 dB větší hladina akustického tlaku, tak odpovídá dvojnásobné hlasitosti, pokud je o 20 dB větší hodnota, tak to odpovídá desetinásobné hlasitosti atd.

Dále se lze setkat ještě s jinou jednotkou tzv. dBa, tato hodnota označuje akustický tlak, který po „přepočtení“ charakterizuje vlastnosti lidského ucha. Tyto závislosti modeluje tzv. "váhový filtr A" (existují i jiné filtry B i C, které charakterizují různá prostředí či zdroje).

2) Šíření a rychlost zvuku

Šíření vlnění nebo spíše zvukových vln v prostoru popisuje celá řada fyzikálních principů. Vlny se v prostoru mohou odrážet, lámat i ohýbat, sčítat s jinými vlnami, podléhat tlumení atd.

Generování zvukového vlnění (zdroj zvuku) a důležité prostředí (hmotné prostředí) ve kterém se toto vlnění šíří, nenazývá jeho vodič. Vodič zvuku, obvykle vzduch též kapaliny i pevné látky, může zprostředkovávat spojení mezi zdrojem zvuku (generátorem) a jeho přijímačem (detektorem), kterým bývá v praxi lidské ucho nebo mikrofon.

Akustické vlnění (signál) ve volném prostoru (bez překážek atd.) kde se nachází medium vzduchu atd. (kromě vakua) se šíří od zdroje(ů) ve formě vln, které jsou též závislé na rozměrech zdroje. Zvuk se akustickým polem šíří podle Huygensova principu.



Obr. 1. Schématické znázornění šíření zvukových vln [21]



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Šíření zvuku v prostředích

Šíření zvuku neboli šíření kmitání je podmíněno prostředím (plynné látky, kapaliny, pevné látky), vzhledem k tomu že vakuum neobsahuje potřebné vlastnosti, nemůže se proto vlnění (zvuk) ve vakuu šířit.

Zvuk se v prostředí šíří vlněním a to převážně postupným podélným vlněním, výjimkou jsou pevné látky, kde se zvuk může šířit i postupným příčným vlněním. Atomy nebo spíše molekuly prostředí mají pak od své střední polohy výchylku, buď ve směru šíření vlny (podélné vlnění) nebo kolmo na směr šíření vlny (příčné vlnění).

Specialitou jsou kapaliny, spíše pak povrchy kapalin, kde se šíří vlny příčné, zatímco uvnitř této kapaliny se šíří vlny podélné.

Rychlost šíření zvukové vlny závisí na daném prostředí a také na okamžitých podmínkách jako jsou teplota, tlak a u vzduchu též vlhkost.

U plynných medií platí, že pro adiabatický děj lze rychlost šíření vzduchu odvodit ze stavové rovnice plynu. Závislost rychlosti zvuku v ideálním plynu a teplotě t [$^{\circ}\text{C}$] lze vyjádřit takto:

$$v = (331 + 0.6 t) \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$$

Rychlost zvuku ve vzduchu: - při 0°C cca $332 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$
- při 20°C cca $340 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$

Rychlost zvuku v suchém vzduchu roste přibližně lineárně se zvyšující se teplotou. Rychlost zvuku také nepatrně roste se zvyšující se vlhkostí vzduchu.

Následující tabulka udává přibližné rychlosti zvuku v různých nadmořských výškách:

Nadmořská výška	Teplota vzduchu ($^{\circ}\text{C}$)	Rychlost (m.s^{-1})
Hladina moře	15	340
11 000 m - 20 000 m	-57	295
29 000 m	-48	301

V kapalinách a v pevných látkách se akustické projevy (zvuk) šíří rychleji než v plynech. U pevných látek záleží na tom, zda se měří podélné vlnění v kompaktní hmotě (bez vad, vměstků atd.), nebo příčné vlnění na tyči. V kompaktní hmotě je rychlost vyšší.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Rychlost šíření zvukové vlny ve vybraných materiálech:

Látka	Rychlost ($m \cdot s^{-1}$)
Vodík (0 °C)	1270
Oxid uhličitý (25 °C)	259
Kyslík (25 °C)	316
Suchý vzduch (0 °C)	331,4
Suchý vzduch (25 °C)	346,3
Helium (0 °C)	970
Rtuť (20 °C)	1400
Destilovaná voda (25 °C)	1497
Mořská voda (13 °C)	1500
Led (-4 °C)	3250
Stříbro (20 °C)	2700 / 3700
Měď (20 °C)	3500 / 4720
Sklo (20 °C)	5200
Ocel (20 °C)	5000 / 6000
Hliník (20 °C)	5200 / 6400

Podzvuková a nadzvuková rychlost:

- Podzvuková rychlost (subsonická) - rychlost nižší než udávaná rychlost zvuku
- Nadzvuková rychlost (supersonická) - rychlostí vyšší než udávaná rychlost zvuku

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Odraz zvuku

Pokud narazí šířící se zvukové vlny (platí podobnost i pro jiné vlnění) na překážku, odrazí se a začnou se šířit zpět. Sluchem lze potom rozeznat dva za sebou následující zvuky, pokud mezi nimi uplyne alespoň 0,1 s, po převodu na vzdálenost je proto vyslaný a odražený zvuk slyšet odděleně je-li překážka vzdálena minimálně 17 m (zvuk proto urazí dvojnásobnou vzdálenost tedy 34 m, kterou dle předpokladu urazí za cca 0,1 s). Tento jev se nazývá ozvěna.

Pokud je překážka blíže než 17 metrů, pak tento odražený zvuk nelze slyšet odděleně, ale jeví se zesíleně tzv. zvuk se rozléhá a potom tento jev se nazývá dozvuk.

Pohlcování zvuku

V uzavřeném prostoru s odrazivými stěnami a bez překážek se zvuk lomí, rozléhá atd. a tím vznikají tzv. nežádoucí odrazy zvuku. Odstranění tohoto jevu lze docílit umístěním předmětů nebo materiálů (protihlukové nátěry a výplně, koberec, tapety, záclony atd.), kdy nežádoucí odrazy zvuku nemohou vzniknout neboť je těmito materiály zvuk pohlcován.

4) Měření akustických projevů

Měření akustiky se zabývá měřením hlučnosti technického zařízení nebo prostředí, frekvenční analýzou zvuku, měřením akustického výkonu, lokalizací zdroje zvuku, měřením vibrací, elektroakustikou a stavební akustikou.



Obr. 1.1 Příklad měření hlukoměrem s analýzou a záznamem dat z měření



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

U domácích spotřebičů, ručního nářadí, ale i automobilů a dalších technický zařízení se zjišťuje hladina akustických projevů. Hlavním parametrem je sice akustický tlak dBA, ale měří se i vibrace tzv. infrazvukové projevy. Pro tyto účely slouží tzv. zvukové komory (bezodrazové komory – viz obr. 1.2) se splněním požadavků ČSN EN ISO 3745, která jsou „odrušeny“ od okolí izolačními látkami pro pohlcování zvuku zvenčí a speciální úpravou vnitřního prostoru pro „neodrazivost“ zvuku ze zdroje umístěného uvnitř komory (místnosti).

Veškeré zvuky jsou snímány mikrofony, umístěnými do polí a dle požadavků předpisů měření (vzdálenost, počet měřících míst atd.)



Obr. 1.2 Uspořádání vnitřní části bezodrazové komory [10]



Obr. 1.3 Detailní uspořádání měření v bezodrazové komorě [10]



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

3) Využívání zvuku

Využívání zvuku není jenom v přenosu hudby, ale také pro zjišťování vad v materiálu, měření vzdáleností, lékařské diagnostiky atd. Pro příklady jsou uvedeny základní principy vybraných metod a jejich popis.

Ultrazvuková defektoskopie

Metoda ultrazvukové defektoskopie je založená na změnách propustnosti a odrazivosti ultrazvukové vlny vlivem necelistvosti materiálu. Ultrazvuk, stejně jako zvuk a hluk, je mechanické kmitání částic kolem rovnovážné polohy šířící se v pružném prostředí. Frekvenční rozsah u ultrazvukových kmitů je mimo slyšitelné spektrum, tzn. více než 20kHz. Pro defektoskopické účely se běžně používají rozsahy 100kHz až 50MHz, maximálně však do 200Mhz.

Pro testování materiálů a výrobků je podstatný akustický tlak, ten je úměrný elektrickému napětí na pólech piezoelektrického snímače. Ultrazvuková sonda je elektroakustické zařízení, které obsahuje jeden nebo více „měničů“ pro transformaci elektrické energie na mechanickou a naopak (vysílač/přijímač). Ultrazvukové sondy jsou vyrobeny z piezoelektrických materiálů nebo piezoelektrických polymerů.



Obr. 1.4 Přístroj pro ultrazvukovou defektoskopii [11]



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Akustická emise

Akustickou emisí se označuje fyzikální jev, při němž lze měřit akustické signály vysílané mechanicky nebo tepelně namáhaným tělesem (materiálem) a zároveň tím po vyhodnocení diagnostikovat stav měřené součásti.

Akustická emise patří k pasivním nedestruktivním metodám, tj. neovlivňuje měřený objekt a podává celkovou informaci o momentálním dynamickém stavu materiálu na principu využívání postupných vlnových pulsů. Signály akustické emise doprovázejí dynamické procesy v materiálu, projevují se jako postupné elastické vlnění. Zdrojem těchto vln jsou náhlá uvolnění energie v materiálu což jsou procesy doprovázející deformační, lomové, resp. fázové přeměny v materiálu (viz. př. praskání ledu na vodní hladině, zlom v materiálu atd.).

Nevýhody, jsou nedefinované a náhlé způsoby vzniku „parazitních“ vln a tím zhoršená interpretace měření, dále pak např. příliš malá energie některých akustických pulsů, kdy snímač je změřen jako šum pozadí a tím tyto pulsy zanikají.

Snímače pro akustickou emisi převádějí toto vlnění akustické emise na elektrické signály. Obvykle jsou to snímače na piezoelektrické principu, případně tzv. rezonanční snímače a to s daným rozsahem frekvencí (30kHz, 300kHz). K zabezpečení správného akustického přenosu (to platí i pro ostatní snímače – ultrazvukový atd.) se nanáší mezi snímač a měřený objekt (materiál) tzv. pojídlo, ve formě tekutého gelu.



Obr. 1.5 Přístroj pro akustickou emisí [17]



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Poděkování

Investice do rozvoje vzdělávání.

Tento výukový text je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu č. CZ.1.07/2.2.00/28.0206 „Inovace výuky podpořená praxí“.

Literatura

- [1] Häberle, H.: *Průmyslová elektronika a informační technologie*, Europa-Sobotáles, Praha, 2003, ISBN 80-86706-04-4
- [2] Kreidl, M., Šmíd, R.: *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu*, BEN, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [3] Martinek: *Senzory v průmyslové praxi*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [4] Schmidt, D.: *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*, Europa-Sobotáles, Praha, 2005, ISBN 80-86706-10-9
- [5] JENČÍK, J., Volf, J. a kol.: *Technická měření*. ČVUT v Praze, Praha 2000, ISBN 80-01-02138-6
- [6] Kreidl, M., Šmíd, R.: *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu*, BEN, Praha, 2006, ISBN 80-7300-158-6
- [7] Martinek: *Senzory v průmyslové praxi*, BEN, Praha, 2004, ISBN 80-7300-114-4
- [8] NOVÝ, R.: *Hluk a chvění*, Vydavatelství ČVUT Praha, 2000, ISBN 80-01-02246-3
- [9] FORMÁNEK, J.: *Hluk a vibrace strojních zařízení a jejich snižování. Energetické stroje-termomechanika-mechanika tekutin-2005*, konference s mezinárodní účastí, ZČU, Plzeň, Česká republika, 2005, s.33-36, ISBN 80-7043-360-4
- [10] Hluková komora, <http://www.rice.zcu.cz/cz/services/acustics/>
- [11] Defektoskopie- přístroje, www.defektoskopie.cz
- [12] Vlnění, <http://slaboproud.sweb.cz/elt2/stranky1/elt039.htm>
- [13] Akustika, http://homen.vsb.cz/~ber30/texty/varhany/anatomie/pistaly_akustika.htm
- [14] Vlnění a akustika, <http://www.devbook.cz/maturitni-otazky-z-fyziky-vlneni-zvuk-a-akustika>
- [15] Zvuk a jeho šíření, http://www.zsondrejov.cz/Vyuka/F-9H/Zvuk_05.pdf
- [16] Akustická emise, <http://www.ped.muni.cz/wphy/projekty/KEMIS.HTML>
- [17] Měřící přístroj akustické emise, <http://www.dakel.cz/index.php?pg=prod/dev/stv>
- [18] Vlnění v prostoru, <http://www.vedanasbavi.cz>