

Rezonance na vlastní oči

P. Vyletělová*, O. Zich**, M. Škorňa***

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

*vyletelova.petra@email.cz, **ota.zich@seznam.cz,

***michal.skorna@seznam.cz

Abstrakt

V naší práci jsme se zabývali mechanickým vlněním. Zkoumali jsme rezonanci skleničky, kterou jsme se zvukem pokusili rozvibrovat natolik, aby praskla. Dále jsme provedli experiment s Chladního obrazci, které vznikaly na kovové desce rozezvučené reproduktorem.

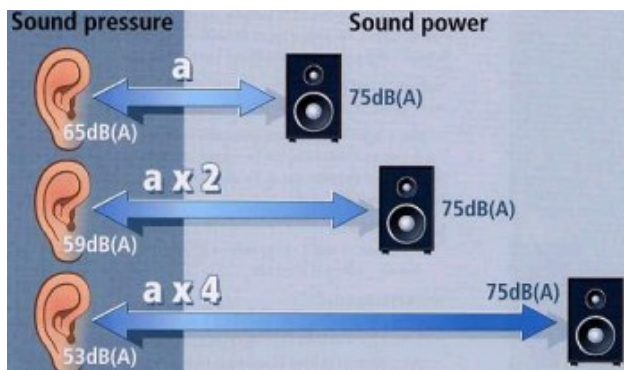
1 Úvod a potřebné pojmy z akustiky

Během našeho projektu jsme provedli dva experimenty. Oba spojovalo mechanické vlnění s frekvencí zhruba od 16 Hz do 20 kHz – slyšitelný zvuk. Zvuk je vlnění postupné podélné (částice kmitají ve směru šíření vlny). Zvukové vlny šířící se prostředím, se mohou lámat, ohýbat, odrážet a interferovat.

Dopadá-li zvuková vlna na překážku, dojde k jejímu odrazu. U pevné překážky se vlna odrazí s opačnou fází. U volné překážky se odrazí s fází stejnou. Odražená vlna interferuje s přímo postupující vlnou a vzniká tzv. stojaté vlnění. U tohoto vlnění kmitají všechny body se stejnou fází, ale různou amplitudou (pro určitý bod je amplituda konstantní). Můžeme pozorovat kmitny (body s největší výchylkou) a uzly (body s nulovou výchylkou). Stojatým vlněním se nepřenáší energie, pouze se periodicky mění potenciální energie kmitajících bodů.

Stojaté vlnění pružných těles nazýváme chvění a je zdrojem zvuku. To můžeme vidět (slyšet) i u Chladního obrazců, pokud bychom k jejich vytvoření použili smyčec, kterým bychom kovovou desku rozezvučili.

Dalším důležitým pojmem je akustický tlak a výkon. Akustický tlak je definovaný jako „rozdíl mezi okamžitou velikostí celkového tlaku v daném bodě zvukového pole a statickou (trvalou) hodnotou tlaku atmosférického“. [1] Hladina akustického tlaku i výkonu je měřítkem zvukové energie emitované zdrojem zvuku. Vyjadřuje se v decibelech (dB) nebo dBA. Na rozdíl od hladiny akustického tlaku nezávisí hladina akustického výkonu na poloze zařízení, okolních podmínkách ani vzdálenosti od měřeného bodu. Rozdíl jasněji ilustruje Obr. 1.



Obr. 1: Rozdíl mezi akustickým tlakem (sound pressure) a výkonem (sound power) [2]

2 Chladniho obrazce

Chladniho obrazce vznikající na tenké vibrující desce (obvykle kovové), která je posypaná jemným materiálem, např. moukou. Jejich vznik objasníme později, nejdříve však pár vět z historie.

Chladniho obrazce jsou pojmenované po Ernestu Chladnim, který opakoval pokusy anglického fyzika Roberta Hooka z roku 1680. Tento oxfordský profesor pozoroval obrazce na skleněných deskách posypaných moukou, k jejichž rozvibrování používal smyčec. Ernst Chladni používal taktéž smyčec, kterým „hrál“ na kovovou desku s pískem. Chladniho technika byla publikována roku 1787. Od 20. století je běžnější využívání reproduktoru umístěného nad nebo pod deskou k přesnějšímu nastavení frekvence.

Hlavní roli ve vzniku Chladniho obrazců hraje stojaté vlnění. Od místa rozezvučení desky se vlny šíří všemi směry deskou, odrazí se od jejích okrajů a skládají se. Tím v desce může vzniknout stojaté vlnění. Materiál na desce (mouka, písek) se hromadí v uzlech, kde se nevyskytují žádné kmity. Takto znázorněné hraniční linie stojatých vln tvoří zajímavé obrazce.

Vzhled Chladniho obrazců je ovlivněn velikostí desky, jejím tvarem, tloušťkou a místem uchycení, ale také místem rozezvučení a frekvencí zvuku. Vyšší frekvence způsobuje složitější obrazce.

Chladniho obrazce se v praxi využívají při výrobě akustických nástrojů, zejména kytar a smyčcových nástrojů.

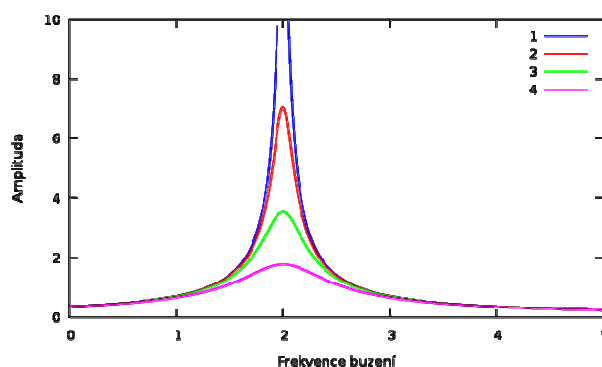
3 Experiment s Chladniho obrazci

Cílem našeho experimentu bylo vytvořit pomocí reproduktoru Chladniho obrazce. Kovový čtvercový plech o rozměrech 20x20 cm jsme uprostřed pevně připevnili na dřevěný držák. Ten jsme umístili nad otvor v dřevěné desce, na kterou byl přišroubován výkonný reproduktor. Za reproduktorem vzniká vlnění s opačnou fází. Abychom zamezili nepříznivému skládání vlnění, obklopili jsme reproduktor i ze zbývajících pěti stran dřevěnými deskami. Pro lepší představu můžete nahlédnout do naší prezentace.

Reproduktor jsme měli zapojený přes frekvenční generátor a zesilovač. Tak jsme byli schopni dosáhnout potřebné hlasitosti a navíc jsme měli přehled o tom, na jakých frekvencích vznikají nejzajímavější obrazce z hrubé mouky, kterou jsme v našem pokusu použili jako zobrazovací médium. Zkoumali jsme frekvence od 200 Hz do 1500 Hz.

4 Rezonance

Rezonance nastává při nuceném kmitání za podmínky, že je frekvence zdroje energie blízká vlastní frekvenci oscilátoru f_0 . U netlumeného oscilátoru je rezonanční frekvence rovna vlastní frekvenci oscilátoru. S rostoucím tlumením se zvětšuje rozdíl mezi vlastní frekvencí oscilátoru f_0 a rezonanční frekvencí, která je menší než f_0 .



Obr. 2: Rezonanční křivky (různý útlum) [1]

Závislost amplitudy nucených kmitů na frekvenci vynucující síly znázorňuje tzv. rezonanční křivka, viz. Obr. 2.

Rezonance se využívá ve zvukové technice, např. u některých zesilovačů. Velký význam má rezonance u hudebních nástrojů a v reprodukční zvukové technice. Například mechanické kmitání strun kytary se přenáší na celé tělo kytary, které pak rezonuje v širokém intervalu frekvencí, čímž zesiluje zvuk.

Významný dopad má rezonanční kmitání mostů a výškových budov, u kterých nebezpečí pramení ze zemětřesení a turbulentních proudících větrů. Rezonanci velkých konstrukcí se věnuje obrovská pozornost od zřícení mostu Tacoma Narrow Bridge 7. listopadu 1940. Tímto problémem se zabývají a stále ještě budou zabývat inženýři z celého světa. V současné době se zamezuje kmitání výškových budov instalací statických pohlcovačů kmitů, přímo do konstrukce budov. Díky tomu má každý úsek výškové budovy jinou vlastní frekvenci.

S rezonancí se setkáme i v technické praxi. Například při konstruování turbín se používají tzv. pružné hřídele. Při roztáčení turbíny se musí rychle zvyšovat otáčky přes tzv. kritickou hodnotu otáček (hodnota při které dochází k maximální rezonanci). S rezonancí se musí počítat také u těžebních plošin. Opakující se nárazy mořských vln na 4 kovové podpěrné nohy plošiny dlouhé 400 m, mohou způsobit jejich rezonanci a hrozí zřícení celé plošiny. Tento problém se řeší spojením nohou uprostřed betonovou obručí. Problém rezonance se řeší nejen z důvodu bezpečnosti staveb ale také z důvodů ekonomických (náklady na stavbu ropné plošiny se pohybují kolem 16 miliard eur).

V historii lidé doplatili na neznalost jevu rezonance. V roce 1850 v jednom francouzském městě došlo k pádu celého mostu, přes který přecházela vojenská jednotka. Vojáci pochodovali shodným krokem, jehož frekvence, se shodovala s kritickou frekvencí mostu. Při této tragédii zemřelo 219 lidí. Dalším případem je zřícení mostu Tacoma Narrows Bridge ve státě Washington, o kterém jsme se již zmínili. Zřítíl se čtyři měsíce po otevření. Onen den vydržel téměř hodinu extrémní namáhání, kdy se jeho okraje zvedaly o 8,5 m. Naštěstí během této události nedošlo ke ztrátám na lidských životech.

5 Rozbíjení skleničky zvukem

Rozbít skleničku zvukem byl náš druhý úkol. Aby sklenička praskla, museli jsme ji dostat do rezonance, při čemž musela být amplituda vzniklých kmitů natolik velká, aby došlo k překročení meze pevnosti skla a jeho následnému prasknutí.

Z toho logicky vyplývá, že jsme prvně museli změřit vlastní frekvenci skleničky abychom věděli v jaké oblasti frekvencí se nachází. Ta závisí na její velikosti a tvaru a také na druhu a tloušťce skla. Během měření jsme postupovali následovně. Cvrknutím do skleničky (případně klepnutím např. kovovou lžičkou) se ozval zvuk, který jsme přes mikrofón a zesilovač nahráli do počítače. V počítači jsme využili programu Audacity, ve kterém jsme díky spektrální analýze zjistili hledanou vlastní frekvenci skleničky. Měření jsme opakovali několikrát. Pro lepší představu nahlédněte do naší prezentace.

Čistý tón o naměřené frekvenci jsme pomocí generátoru, zesilovače a reproduktoru koncentrovali na skleničku. Koncentraci zvuku jsme provedli přišroubováním reproduktoru za 3 cm tlustou dřevěnou desku, která měla uprostřed malý otvor, před kterým byla sklenička umístěna (podrobněji viz. kapitola 3, Experiment s Chladniho obrazci). Při jemném ladění frekvence jsme pomocí brčka ve skleničce poznali (brčko začalo „skákat“), kdy jsme na správné frekvenci a dochází k rezonanci.

Největším problémem však bylo dosáhnout potřebné hladiny akustického tlaku, více než 100 dB. To se nám zpočátku nedařilo. Po nespočetně mnoha pokusech, během kterých jsme několikrát obměnili skleničky, reproduktor i zesilovač, se nám to podařilo a sklenička praskla.

Jak se později ukázalo, náš problém spočíval v tom, že jsme měli při prvních experimentech v dřevěné desce namontovaný ještě kovový zvukovod, který měl za úkol více soustředit zvuk na rozbíjenou skleničku. Tloušťka jeho stěny ale nebyla dostatečná, a tak měla trubka zvukovodu vlastní kmity, které nám odebíraly akustický výkon. Za výstupem zvukovodu tedy již nebylo možné dosáhnout požadovaného akustického tlaku. Po odstranění zvukovodu se zvýšil akustický tlak na výstupu koncentrátoru na dostatečnou úroveň. Náš reproduktor měl výkon 250 W RMS a maximální akustický tlak 105 dB.

6 Závěr

K provedení experimentů jsme si nejprve sehnali materiál a přístroje. Některé pomůcky, jako stojan na kovovou desku a dřevěnou desku pro uchycení reproduktoru, jsme sami vyrobili v dílně.

Prasknout skleničku zvukem se nám, i přes všechny možné úpravy a vylepšení, dlouhou dobu nedařilo. Problém vyřešilo až odstranění zvukovodu podrobně popsané v 5. kapitole. Pokus byl následně po přesném vyladění frekvence úspěšný.

Experiment s Chladniho obrazci se nám podařilo zrealizovat na první pokus. Na tenkém kovovém čtvercovém plechu se nám asi při 10 různých frekvencích v rozsahu od 200 – 1500 Hz povedlo vytvořit Chladniho obrazce. Některé z nich byly opravdu hezké.

7 Poděkování

Chtěli bychom poděkovat panu ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za ochotu a vstřícnost, za zapůjčení pomůcek a také za poskytnutí prostoru pro zkoušení obou našich pokusů. Dále bychom rádi poděkovali ing. Otakaru Zichovi, který nám velmi pomohl se sháněním nezbytného materiálu a prof. ing. Ondřeji Jiříčkovi za zapůjčení frekvenčního generátoru a cenné rady. Nakonec si díky zaslouží také Tomáš Markacz, který nám zapůjčil pomůcky pro zjištění vlastní frekvence kmitání skleničky.

Reference

- [1] V. Hanák, *Kmity a vlny, Rezonance*, <http://vojtahanak.cz/files/edu/kmity/rezonance.html>
- [2] *Co je to akustický tlak/ akustický výkon?*, <http://www.daikin.cz/support-and-manuals/faq/general/faq12.jsp>
- [3] O. Lepil, *Fyzika pro gymnázia - Mechanické kmitání a vlnění*, Prometheus, Praha 2007
- [4] *Technické divy světa (2/10) - Troll A*, dokument USA (2008)
- [5] *Nucené kmitání, rezonance*, http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?key=645&xkat=fyzika&xser=416b757374696b61h
- [6] kol. autorů, *Rezonance*, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Rezonance>
- [7] *Rezonance mechanického oscilátoru*, <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/164-rezonance-mechanickeho-oscilatoru>
- [8] O. Jiříček, osobní sdělení (2013)