

Vodní harmonika

H. Svobodová, T. Tesař

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

hel.svo@gmail.com, thomas.tesar@seznam.cz

Abstrakt

Tato práce se zaměřuje na prozkoumání fyzikálních principů fungování vodní harmoniky a jejich popis.

1 Úvod

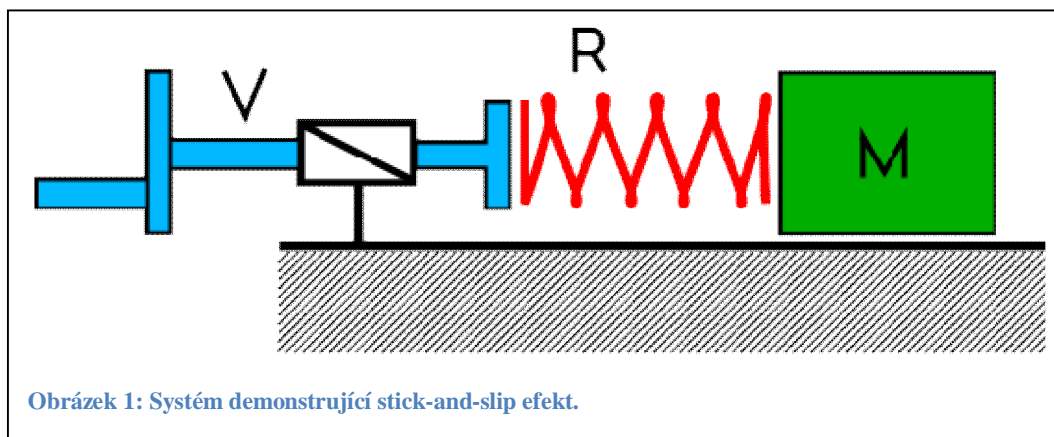
Vodní nebo také skleněná harmonika, hudební nástroj vynalezený roku 1714 Richardem Polkřichem, je zajímavá fyzikálním principem svého fungování. Tento pruhový nástroj sestává z řady vinných skleniček. Zvuk vzniká, pokud přejdeme navlhčeným prstem po okraji sklenice.

Tato práce popisuje vznik zvuku, zkoumá závislost výšky tónu na množství kapaliny ve sklenici a dále uvádí stručnou historii nástroje.

2 Zdroj zvuku

2.1 Stick-and-slip efekt

Za fungováním vodní harmoniky stojí fyzikální mechanismus zvaný stick-and-slip efekt, což v češtině znamená šev přilepení a sklouznutí. K němu dochází při kontaktu dvou povrchů, které se k sobě přitahují a přilepují a kloufou, a to s odpovídající změnou velikosti třecí síly. Koeficient klidového tření mezi dvěma povrchy je totiž vyšší než koeficient tření smykového, kterému říkáme tření kinetické (to znamená, že koeficient tření závisí na rychlosti). Pokud působíte dostatečně velkou silou, aby bylo překonáno statické tření, dojde vlivem jeho poklesu na tření kinetické ke skokové změně rychlosti tělesa, na které síla působí. Příklad takového pohybu je možné si ukázat na obrázku (1).

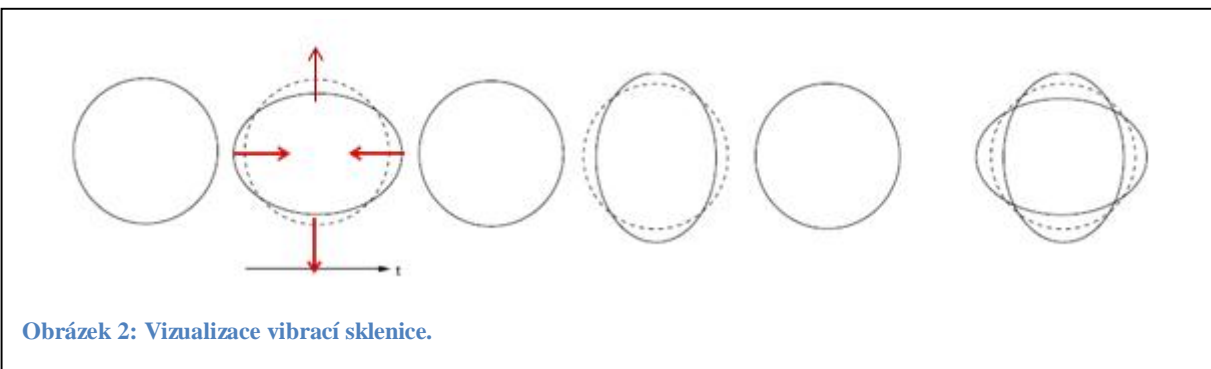


V je posuvný systém, R je pružina a M představuje hmotné těleso, které je horizontálně posouváno. Když se začne část V pohybovat směrem k tělesu M, dojde ke stlačování pružiny. To vede ke zvýšení síly, kterou pružina působí na těleso a do okamžiku, kdy není těleso schopno udržet těleso v klidu. Těleso se začne pohybovat a tím koeficient tření klesá ze statické na dynamickou hodnotu. V tu chvíli může pružina předat více energie a urychlí pohyb tělesa M. V průběhu jeho pohybu se však pružina natahuje a její energie klesá a do chvíle, kdy působící síla není schopna překonat smykové tření a těleso se zastaví. Mezitím se však systém V stále posouvá a pružina je znovu stlačována a cyklus se může opakovat. Další příkladem výskytu tohoto jevu jsou například houště nebo hluk při zastavování vlaku.

2.2 Vibrace sklenice

Způsob vibrace sklenice je velmi podobný způsobu, jakým vibruje těleso velkého kostelního zvonu a takovou vizualizaci můžete vidět na obrázku (2). Představme si ho jako animaci jdoucí ve směru osy. Důvod, proč tomu tak je, je poměrně velký odpor skla vůči natahování nebo stlačování. Proto se délka okraje sklenice snaží zůstat přibližně konstantní. Pokud ji tedy v jednom směru smákneme (nebo donutíme se smáknout), dojde ve směru kolmém k vybočení a výsledný tvar vypadá jako elipsa. Ze zkušenosti (a ze zákona akce a reakce) víme, že v protilehlých kmitnách působí síly, které se snaží vrátit těleso sklenice do původního stavu. Pokud tedy přestaneme působit silou způsobující tuto deformaci, začnou se opět pohybovat v takovém směru, aby bylo dosaženo rovnovážného stavu (analogicky když uvolníme nataženou nebo smáknutou pružinu). Pak ovšem víme, že při dosažení této polohy jsou působící síly nulové, ale rychlost maximální. Tím pádem se opět špeknou až do druhého extrému. Při jednorázové excitaci (tj. úderem lžičkou) dojde vlivem tlumení k vymizení vibrací a sklenice přestává znít.

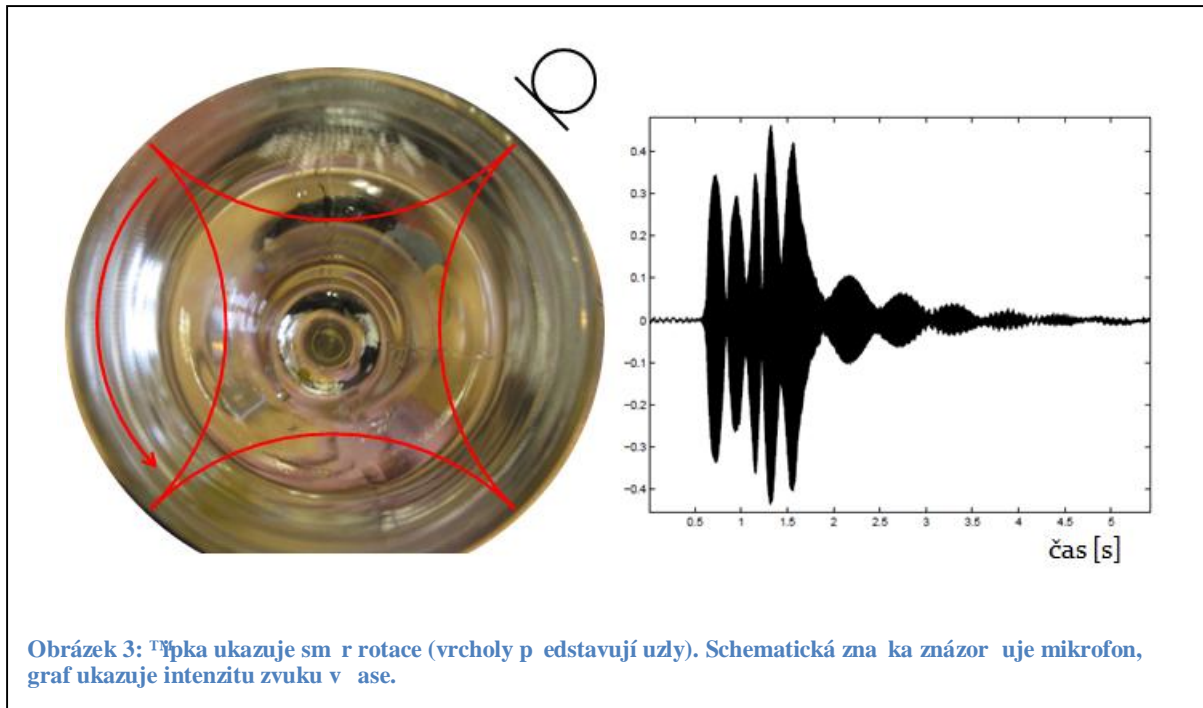
Vzbuzení vibrací však nezpůsobí úder, ale již zmíněný stick-and-slip efekt, který nutí systém ve vibracích setrvávat. Jak vidíme, na těle sklenice vznikají uzly a kmitny. Tím, že však prst po okraji sklenice neustále krouží, musí nutně reprezentovat uzel. Z toho pak vychází, že celý tento systém musí rotovat podle toho, jak jezdíme prstem po okraji sklenice.



Obrázek 2: Vizualizace vibrací sklenice.

To, že se na těle sklenice nacházejí tyto uzly a tyto kmitny, se dá poměrně elegantním způsobem experimentálně ověřit. Můžeme totiž předpokládat, že z různých míst vychází různý silný tón (z uzlu samozřejmě nejslabší, z kmitny naopak). Víme také, že se celý systém otáčí. Stačí tedy dostatečně blízko sklenici umístit citlivý mikrofon a snímat intenzitu zvuku. Při rychlosti cca 1 otáčky za sekundu o několikátek budou tyto maxima a minima, což velmi dobře odpovídá výsledku na grafu v obrázku (3).

Stejně tak to lze vypočítat z vlnění vodní hladiny ve sklenici, kde z místa dotyku prstu nevycházejí fládné vlny a kmitny samozřejmě je hladinu nejvíce.



3 Experiment

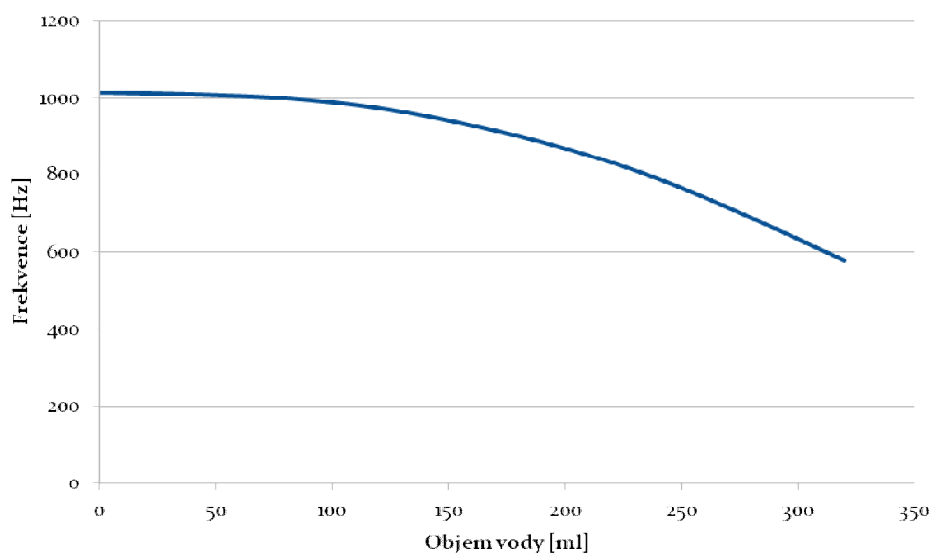
Cílem experimentu bylo zjistit závislost výšky tónu vydávaného sklenicí na množství kapaliny ve sklenici. Výsledky lze vyútlít k ladění vodní harmoniky.

Nejprve jsme změřili prázdnou frekvenci sklenice, tj. frekvenci zvuku vydávaného prázdnou sklenicí. Poté jsme sklenici postupně plnili vodou a měřili frekvenci při různých objemech (viz tabulka (1) a graf (1)).

Měření ukázalo, že tón klesá se zvyšujícím se objemem vody ve sklenici. Dále jsme zjistili, že závislost není lineární, vliv na ni má tvar dna sklenice.

objem vody [ml]	frekvence [Hz]
0	1015
40	1010
80	1000
120	975
160	930
200	870
240	790
280	690
320	580

Tabulka 1



Graf 1

4 Historie

Princip fungování a základní vlastnosti vodní harmoniky byly lidem známy už ve starověké Persii a Číně. Podobně jako mnoho jiných vynálezů se tyto znalosti postupně rozšířily i do zbytku světa. V Evropě se vodní harmonika poprvé objevila pravděpodobně v patnáctém století. Prvním Evropanem, který sklenici vyuffil jako skutečný hudební nástroj, byl Ir Richard Pockrich (1690–1759). Se svým uměním sklídl v Anglii nebyvalý úspěch, pořádal koncerty a mluvil i fláky.

V osmnáctém století se vodní harmonika stala v Evropě obrovskou módou. Svědčí o tom nejen množství skladeb pro vodní harmoniku, ale také dochované texty a malby o ní. Používala se dokonce i v anglických kostelech.

Známý politik a vědec Benjamin Franklin okolo roku 1760 vytvořil skutečnou harmoniku kombinací původní tradice s moderní technologií: harmonika je tvořena skleněnými miskami zasunutými do sebe, které se otáčejí (do pohybu je uvádí pedál podobný jako u šicího stroje), takže zvuk je vytvářen pouhým dotekem skel navlhčenými prsty. Popularita vodní harmoniky stoupala dalších čtyřicet let, skladby pro ni psali skladatelé zvaných jmen, jako například Mozart a Beethoven. Věsku, kde máme velkou sklářskou tradici, vznikla továrna na vodní harmoniky.

Později společnost o tento nástroj ztratila zájem. Jedním z důvodů bylo i to, že se jím zabýval také Franz Anton Mesmer, vídeňský fyzik a hypnotyzér, který harmoniku a její zvláštní zvuk využíval ke studiu hypnózy. Jeho špatná pověst (byl označován za šíleného vědce) byla s vodní harmonikou spojována.

V devatenáctém století se vodní harmonika používá hlavně v Americe, tentokrát jako tradiční soustava sklenic, většinou ale slouží spíše jen jako krásná dekorace než jako hudební nástroj.

O skutečnou renesanci harmoniky se ve dvacátém století postaral Námec Bruno Hoffmann (1913–1991). Svůj nástroj, obsahující ve své poslední formě až 50 sklenic, stále vylepšoval a problematice tohoto nástroje zasvětil celý svůj život; stal se slavným virtuozem i skladatelem.

Reference

[1] T. Guignard, *Tuning of Musical Glasses*, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 2003

[2] G. Jundt, A. Radu, E. Fort, J. Duda, H. Vach, N. Fletcher, *Vibrational modes of partly filled wine glasses*, Acoustical Society of America, 2006

[3] C. S. Y. Yang, *Wine glass acoustics*, 2011

[4] http://en.wikipedia.org/wiki/Stick-slip_phenomenon

[5] <http://www.youtube.com/watch?v=w2pGpzzvrX0>