

## Chvění tyčí

BŘETISLAV PATČ

Základní škola Brandýs n/L.

### Potřeby:

Souprava tyčí různých délek, průměrů, materiálů (ocel, mosaz, hliník, dural, cínová pájka, sklo), ocelový prstenec, mosazné kabelové koncovky (150 A), kladívko, kovové tyčinky s různými povrchy (bužírka, guma, pěnová umělá hmota), větší ložisková kulička, klobouková plst', líh.

### Provedení:

Zavěšené i rukou držené tyče rozkmitáme úderem nebo třením. Tyče vyzářují jim příslušná spektra akustických frekvencí. Jejich skladba určuje barvu zvuku. Vhodným silovým působením vyvoláváme u tyčí vlnění příčné, podélné a torzní. Demonstrujeme závislosti vyzářovaných spekter na rozměrech tyčí, jejich tvaru, mechanických vlastnostech materiálů (moduly pružnosti) i vlastnostech materiálů, kterými tyče rozkmitáváme. Vnímání těchto pokusů je subjektivní a individuální, sluchová soustava není stejně citlivá k různým frekvencím.

K demonstraci používáme tyče na obou koncích volné. Od konce tyče odražené postupné vlny se skládají s následujícími a vzniká vlnění stojaté. Rychlost podélné postupné vlny v tyči je závislá na modulu pružnosti v tahu  $E$  a hustotě  $\rho$  materiálu a je dána vztahem

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Pro základní frekvenci stojatého vlnění pak platí

$$f = \frac{c}{\lambda},$$

kde  $\lambda$  je délka vlny a  $\lambda = 2l$ ;  $l$  je délka tyče.

Protože tyč může současně chvát i vyššími harmonickými frekvencemi platí obecně

$$f_k = \frac{k \cdot c}{2l},$$

kde  $k$  je počet celistvých půlvln a  $k = 1, 2, 3, \dots$

Tyč pak vyzářuje na koncích všechny harmonické tóny. Pro stojaté vlnění příčné a torzní platí obdobné vztahy.

### Demonstrujeme:

1) Závislost vyzářovaného spektra příčného vlnění zavěšených tyčí, lišících se pouze:

a) délkou;

Tyče kratší vyzářují spektra vyšších frekvencí.

b) průměrem a délkovou hustotou;

Větší délková hustota frekvence snižuje, avšak větší příčný rozměr velmi silně zvětšuje tuhost tyče v ohybu a frekvence silnější tyče jsou vyšší.

c) mechanickými vlastnostmi a délkovou hustotou;

Výsledné frekvence závisejí u konkrétní tyče na kombinaci obou vlivů.

d) tvarem.

U tyče tvaru písmene U (ladička) s nepříliš dlouhými rameny je vyzařována prakticky jen základní frekvence. U tyče uzavřeného prstence se vlnění neodráží, ale postupuje protichůdně od místa úderu a vytváří vlnění stojaté. Tyč obdélníkového průřezu vyzařuje při úderech do sousedních stěn jiné frekvence. Při úderu ve směru úhlopříčky obdélníku se obojí frekvence vytvoří současně.

2) Příčné a podélné vlnění hliníkové tyče ( $l = 1200$  mm,  $r = 14$  mm)

a) Tyč volná, zavěšená na vláknech uprostřed. Dvěma údery vyvoláme v tyči vlnění příčné i podélné.

b) Tyč držíme uprostřed a silně udeříme ve směru osy, základní frekvence zní slyšitelně dvě a půl minuty. Tyč při tom zavěsíme a roztočíme. Vlivem Doplerova jevu slyšíme rázy.

c) Pokud držíme tyč v místě některého z možných uzlů, potlačíme ty frekvence, které uzly v tomto místě nemají.

d) Pokud udeříme do tyče tělesem s měkkým pružným povrchem, jsou omezeně vyvolány vyšší frekvence spektra.

3) Podélné a torzní vlnění hliníkových a skleněných tyčí ( $r = 6$  mm) vyvolané třením

Tyče třeme plstí navlhčenou lihem. Demonstrujeme obdobné pokusy jako v bodech 1) a 2).

4) Závislost vyzařované frekvence podélného a torzního vlnění u tyčí lišících se pouze:

a) délkou;

Tyče kratší vyzařují vyšší frekvence

b) průměrem a délkovou hustotou;

Tyče vyzařují stejnou frekvenci

c) mechanickými vlastnostmi;

Frekvence jdou závislé na modulech pružnosti v tahu, resp. ve smyku. Tyče s vyššími moduly vyzařují vyšší frekvence.