

# Akustické vlastnosti klavíru

J. Máca

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

[jan.macal@seznam.cz](mailto:jan.macal@seznam.cz)

## Abstrakt

Tato práce se zabývá akustickými vlastnostmi klavíru. Ty jsou dány především vyššími harmonickými složkami, dynamickým rozpětím a náběhovými jevy vznikajícími při tvoření tónu. Cílem této práce bylo je změřit a určit tím charakteristiky klavírního tónu.

## 1 Úvod

Každý hudební nástroj je svým zvukem unikátní a i laik rozezná, zda je daný tón hrán na klavír nebo například na housle. Tato vlastnost je nazývána barvou, neboli tónem hudebního nástroje. Ten je dán především specifickými vyššími harmonickými frekvencemi, popřípadě šumy, které vznikají zároveň s hlavním tónem. Tyto charakteristiky jsou pro každý nástroj jedinečné. Jejich změřením pro klavír lze tedy jasně určit jeho fyzikální charakteristiky tónu.

Problematikou akustických vlastností hudebních nástrojů se lidé zabývají už od starověku. Tato práce se zabývá touto tematikou se speciálním zaměřením na klavír. Na úvod je třeba ale definovat některé základní pojmy, které budu posléze ve svojí práci používat.

Tyto pojmy jsou intenzita zvuku a hlasitost. Intenzita zvuku  $I$  je veličina daná vztahem:

$$I = \frac{W}{St},$$

kde  $W$  je práce vykonaná zvukovou vlnou,  $S$  je plocha, na kterou vlna dopadá a  $t$  je čas. Samotná práce  $W$  je potom dána vztahem:

$$W = \frac{1}{2} n \cdot m \cdot v_0^2,$$

kde  $n$  je počet částic,  $m$  je hmotnost jedné částice a  $v_0$  je střední kvadratická rychlost částice. Hlasitost sama není fyzikální veličinou, ale úzce souvisí s veličinou hladina intenzity  $L$ , která je daná vztahem:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0},$$

kde  $I$  je intenzita měřeného zvuku a  $I_0$  je prahová intenzita ( $10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Jednotkou hladiny intenzity je 1 decibel (1 dB).

## 2 Tón a jeho vlastnosti

Lidský sluch je schopen vnímat zvuky o frekvencích 16-16 000 Hz. Pokud je navíc zvuk vydáván periodicky kmitajícím předmětem, lze takový zvuk považovat za hudební, tedy tón. Tóny se dále dělí na sinusové a složené. Sinusové tóny jsou vydávány tělesem kmitajícím pouze jedinou frekvencí, tzv. základní. Prakticky se ale vyskytují spíše tóny složené, kdy kmitání zdroje je dáno složením základní frekvence a vyšších harmonických frekvencí. Výška tónu je potom dána buď absolutně, tedy jeho frekvencí, nebo relativně, tzn. poměrem frekvence tónu k jinému tónu, se kterým tvoří interval. Pro hudební intervaly obecně platí, že poměry frekvencí jsou v poměru malých celých čísel. To má později svoje uplatnění v různých typech ladění hudebních nástrojů.

Základní typy ladění jsou pythagorejské a temperované. Pythagorejské ladění je založeno na relativních výškách tónů, kdy vyšší tóny jsou odvozovány poměrově. Naproti tomu temperované ladění je odvozeno rozdělením oktávy na dvanáct stejných půltónů. Klavír je typickým nástrojem používajícím temperované ladění.

## 3 Barva tónu a její charakteristiky

Hudební nástroje jsou každý unikátní svou barvou, neboli témbrem. Barva tónu je pro každý nástroj dána několika faktory. Těmi hlavními jsou počet a intenzita vyšších harmonických frekvencí (označovaných též jako částkové tóny), charakteristiky ozvučných skříní hudebních nástrojů (tzv. formanty), šumy vznikající při tvorbě tónu a náběhových dějích (děje probíhající při tvorbě, případně dozvuku tónu, předtím než se ustálí kmitání, případně při jeho útlumu).

Při měření vyšších harmonických tónů ve spektru tónu lze využít několik metod. Nejjednodušší je pravděpodobně měření pomocí Helmholtzových rezonátorů, kulových rezonátorů, naladěných na jednu určitou frekvenci, které jsou schopny detekovat svým rozeznáním přítomnost, nebo nepřítomnost vyššího harmonického tónu. Problémem je, že nejsou schopny určit jeho intenzitu. Tímto se zabýval J. B. J. Fourier, který vytvořil početní způsob jak rozložit složený tón na jeho jednotlivé složky. Vycházel z toho, že celková intenzita tónu je součtem parciálních intenzit vyšších harmonických tónů a okamžitá výchylka vlnění je v daném okamžiku součtem všech parciálních výchylek všech vyšších harmonických frekvencí.

## 4 Vlastnosti klavíru

Klavírní témbra závisí na vyšších harmonických tónech obsažených v klavírním spektru, dynamickém rozpětí, vlastnostech ozvučné skříně, šumech vznikajících při tvorbě tónu a náběhových dějích. K měření těchto vlastností jsem použil software zvukové karty počítače a širokopásmový mikrofon. Bohužel se ukázala tato metoda jako krajně neúčinná pro zjišťování vyšších harmonických složek tónu, protože mikrofon nebyl schopen přijmout vyšší harmonické frekvence příliš nízkých intenzit, tím pádem byla naměřená zvuková vlna ve vyšších polohách sinusová, v nižších bylo zvukové spektrum natolik zjednodušené, že

výsledky nebyly věrohodné. Dalším problémem je, že v klavíru je pro jeden tón napnuto více strun, které nejsou zcela identicky naladěné, proto dochází k rázům, které dále ztěžují analýzu. Základní vlastností klavírního spektra je absence 8. vyššího harmonického tónu. Ta je způsobena tím, že v místě úhozu kladívka na strunu má 8. vyšší harmonický tón uzol. Dynamické rozpětí klavíru je přibližně 45-90 dB, krajní hodnoty závisí hlavně na kvalitách hráče. Ozvučná deska klavíru je schopna kmitat mnoha frekvencemi, proto nemá na vlastní tvorbu tónu až tak zásadní vliv, její vliv je spíše v množství vyzařované akustické energie. Paradoxně nejlépe se podařilo použitou metodou prokázat náběhový děj při tvorbě tónu. Před ustálením kmitů na struně se totiž objevují i jiné než základní nebo vyšší harmonické frekvence.

## 5 Závěr

Barva tónu každého hudebního nástroje je jedinečná. Je dána jistými charakteristickými vlastnostmi. V této práci jsme se zaměřili na vlastnosti klavíru. Charakteristika barvy tónu klavíru je dána hlavně absencí 8. vyššího harmonického tónu, neobvykle velkým dynamickým rozpětím 45-90 dB a náběhovými jevy popřípadě šumy při úderu klávesy. Ozvučná skříň klavíru má vliv hlavně na množství vyzařované akustické energie, ne tak už na samotnou barvu tónu.

## Reference

- [1] I. Janoušek, *ABC akustiky pro hudební praxi*, Editio Supraphon, Praha, 1979, 136 stran
- [2] A. Modr, *Hudební nástroje*, Editio Supraphon, 1982, 312 stran
- [3] A. Špelda, *Hudební akustika*, Státní pedagogické nakladatelství, 1978, 352 stran