



## **Středoškolská technika 2019**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT**

### **Hudební akustika**

**Ondřej Zahradníček**

Gymnázium, Praha 2, Botičská 1

#### **Anotace**

Cílem mé práce bylo zjistit, zda má různá velikost a stáří houslí vliv na barvu tónu. Dále jsem také porovnával barvu tónu mezi houslemi, violoncellem a kontrabasem. Zjišťoval jsem také, zda má vliv na barvu tónu pravý pedál u klavíru. V teoretické části mé práce jsem se zabýval zvukem, tónem a jeho vlastnostmi, a také sluchovým polem. V praktické části mé práce jsem všechny tóny nahrával na mikrofon a nahrávky jsem zpracovával v programu Adobe Audition CC. Ve výsledcích a v závěru jsem došel k tomu, že stáří houslí nemá vliv na barvu tónu, a že u menších houslí jsou zesíleny sudé vyšší harmonické, kdežto u větších jsou zesíleny liché vyšší harmonické. Dále jsem zjistil, že kontrabas je svou barvou tónu odlišný od dalších smyčcových nástrojů, a že pravý pedál u klavíru nemá vliv na barvu tónu, nýbrž na jeho délku.

## Obsah

Úvod.....	2
Přehled literatury .....	3
Zvuky a tóny.....	3
Zvuk a jeho druhy .....	3
Tón a jeho vlastnosti .....	3
Sluchové pole .....	5
Housle.....	6
Violoncello .....	7
Kontrabas .....	7
Klavír.....	7
Metodika.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Nástroj pro měření alikvotů.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Program pro zpracování alikvotů .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Finanční nákladnost.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Aspekty pro objektivní měření.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Sestavení mikrofonu a připojení k počítači.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Nahrávání a zpracovávání dat v programu.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Výsledky a diskuse.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Porovnání vyšších harmonických mezi houslemi ....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Porovnání vyšších harmonických mezi houslemi, violoncellem a kontrabasem.	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Porovnání hry na klavír s pravým pedálem a bez pedálu	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Použité veličiny, jednotky a jejich symboly.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Závěr.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Seznam literatury.....	16
Přílohy .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>

## Úvod

Z pojmu hudební akustika jsem si vybral téma zvuk, konkrétně tón a jeho vlastnosti. Tuto problematiku jsem si vybral z důvodu toho, že mě velmi zajímá, protože s hudbou mám vlastní zkušenosti, a také se chci o tomto tématu dozvědět co nejvíce informací. V teoretické části se budu věnovat sluchovému poli, zvuku a dále tónu a jeho vlastnostem, a to především barvě tónu. Tuto vlastnost pak následně budu pozorovat a měřit v praktické části na různých typech houslí, a to podle velikosti a stáří. Dále budu housle porovnávat s violoncellem a kontrabasem. U klavíru budu pozorovat odlišnost hry s pravým pedálem a bez pedálu. Mým cílem je zjistit, zda různá velikost a stáří houslí mají vliv na barvu tónu houslí, a jak se barva tónu houslí liší

od violoncella a kontrabas. Dále chci také zjistit, zda má vliv na barvu tónu u klavíru hra s pravým pedálem či nikoliv.

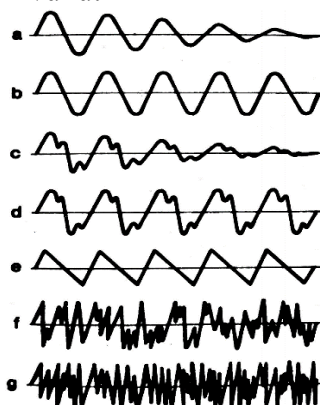
## Přehled literatury

### Zvuky a tóny

Zvuk neboli tón je kmitání a vlnění s určitým druhem a charakterem, jenž je významným artefaktem pro hudbu, a to jak pro skladatele, který hudbu skládá, tak pro interpreta, který hudbu tlumočí, a nakonec pro posluchače, který hudbu přijímá. To znamená, že ze všech druhů kmitání a vlnění dáváme důraz na tu oblast, která se jmenuje zvuk. (1)

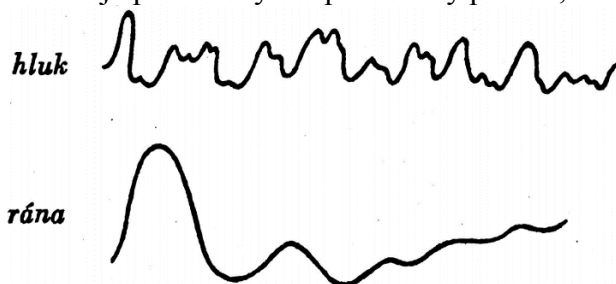
### Zvuk a jeho druhy

Zvuk je mechanické vlnění šířící se v čase s určitou rychlostí v pružném prostředí s určitou intenzitou a frekvencí (výškou). Za zvuk považujeme kterékoliv vlnění, jehož frekvence a intenzita dosahuje našeho minima prahu slyšitelnosti a uvádí lidský sluchový aparát k jeho přijetí. Zvuky nás provází každý den a jsou vytvářeny různým typem vlnění. Druhy oscilografických záznamů různých zvuku:



Obr. 1: Oscilogramy: a) doznívající volný kmit, b) sinusový tón, c) doznívající hudební zvuk, d) stacionární hudební zvuk, e) pilový kmit, f) smíšený zvuk, g) hluk (1)

Pokud zvuk nemá periodický průběh, což znamená, že je vytvářen nepravidelnými změnami, tak se jedná o nehudební zvuk. Mezi těmito zvuky jsou například rány, bouchání, skřípání, vrzání atd. Zvuk, který obsahuje periodický i neperiodický průběh, se nazývá hluk. (1)



Obr. 2: Nehudební zvuky (1)

### Tón a jeho vlastnosti

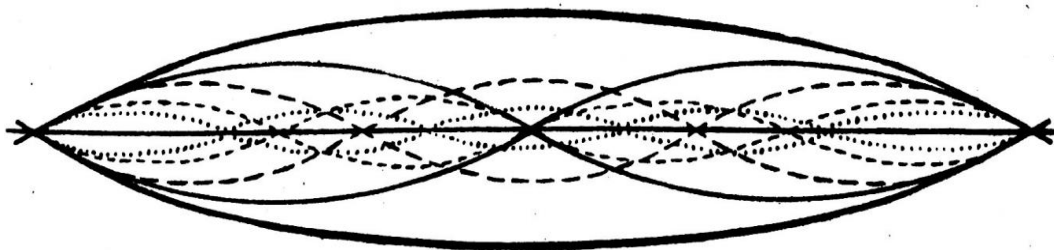
Tón je hudební zvuk, který má pravidelný a periodický průběh. Tento zmíněný hudební zvuk má sinusový jednoduchý průběh, který je dán následujícím vztahem:

$$y = a \cdot \sin \omega t = a \cdot \sin 2\pi f - t$$

kde  $a$  = amplituda,  $\omega$  = úhlová rychlost,  $t$  = čas,  $f$  = frekvence (1)

Zvuk, který má v grafickém znázornění jednoduchou sinusovou křivku (čistý sinusový tón) je v hudbě neobvyklý a vydává ho například ladička. Většina tónu má složitější grafické znázornění. Nejbližší podoba čistého sinusového tónu vydává flétna nebo varhany. Pro hudbu jsou vhodné zvuky, které jsou vyvolané pravidelným chvěním. Základní tón, který určuje

výšku, znějí také jeho tzv. svrchní tóny a částkové tóny, neboť například struna a se nechvěje pouze celá, ale i ve své polovině, třetině, čtvrtině atd. (1)



Obr. 3: Schéma chvění struny – vyšší harmonické (1)

Harmonické tóny, které zní současně, vytvoří výsledný složený tón, jehož grafické znázornění je složité a nepřehledné. Vyšší harmonické tóny zpravidla neznějí vždy všechny. Podle materiálu, ze kterého je kmitající těleso vyrobeno, znějí buď jen liché, nebo pouze sudé tóny. Znít by měly tóny, které se nacházejí v přirozené řadě tónové, jejíž členy jdou za sebou v kmitočtovém poměru aritmetické řady (1)

Všechny tóny obsahují čtyři vlastnosti: (1)

- a) výška (frekvence)
- b) hlasitost (amplituda)
- c) délka (doba trvání)
- d) barva (vyšší harmonické)

### Výška tónu

Výška kteréhokoliv tónu je fyzikálně určená jeho frekvencí a udává se v jednotkách Herz (Hz). Vnímání frekvencí je jiná tím, že čím vyšší frekvence, tím tón vnímáme jako vyšší, ale tón, který vykazuje malý počet kmitů za sekundu, tak je vnímán jako hlubší. Kmitočtová oblast tónu v hudbě je v rozmezí 16–8000 Hz, zatímco spoluznějící vyšší tóny a akustické poměry při nakmitávání tónu tuto oblast rozšiřují do 20 000 Hz. (1)(2)

### Intenzita tónu

Intenzita tónu představuje akustický výkon postupné vlny, připadající na jednotku plochy, tzn. množství energie, které projde touto plochou v jednotce času. Intenzita tónu je spojena s amplitudou kmitání, která je závislá na množství energie, kterou je pružné těleso rozkmitáváno. Mechanická energie se transformuje do akustické energie, který podněcuje lidský sluchový aparát a kterou vnímáme jako zvuky. Energie zvuku se za normálních podmínek šíří prostorem všemi směry, přičemž dochází k jejímu rozptylování. Akustická intenzita je dána vztahem:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

kde P = akustický výkon, I = intenzita, r = poloměr

### Délka tónu

Délka tónu je určena dobou, po kterou je pružné těleso rozkmitáváno. Zvukový signál je jev, který se odehrává v čase. Délka kmitání a zároveň délka trvání tónu je závislá na:

- a) množství energie, která rozkmitá pružné těleso
- b) materiálu pružného tělesa
- c) časovém úseku, po kterém je pružnému tělesu předávána energie
- d) pružnosti prostředí, ve kterém těleso kmitá

Časový průběh kmitání a délka zvuku má svou specifickou strukturu. Při podrobnější analýze tohoto časového průběhu můžeme v jeho struktuře určit zhruba tři stadia:

- a) stadium nakmitávací
- b) stadium kmitů
- c) stadium dokmitávací

Uvedená stadia jsou u různých materiálů různě dlouhá, jelikož se na nich podílí řada faktorů. Struktura časového průběhu kmitání má ve všech stadiích společný znak. V prvním a třetím stadiu časového průběhu dochází ke značným změnám amplitudy. Nakmitávací a dokmitávací stadia představují přechody z klidového stavu předmětu do stadia kmitání a naopak. Poněvadž tyto procesy přecházejí jeden v druhý, je pro ně používán název procesy přechodné. Když se přestane těleso rozkmitávat, tak se jeho amplituda stále zmenšuje, až se vlivem odporu prostředí a materiálu dostane do klidové polohy. (1)

### **Barva tónu**

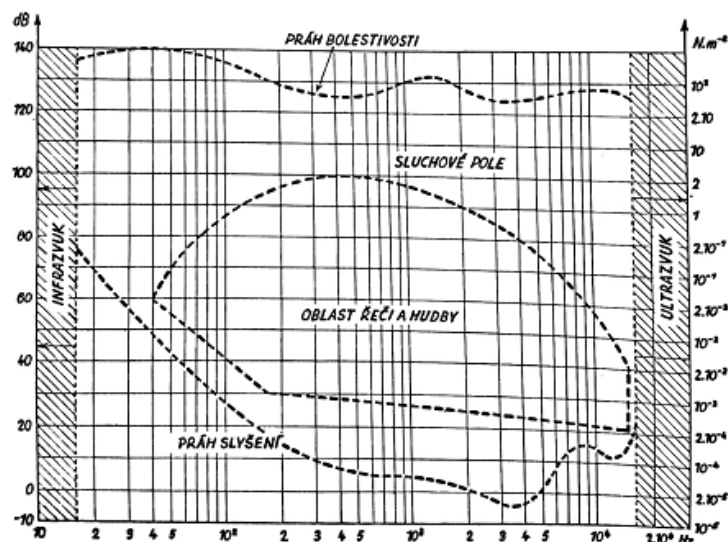
Barva tónu neboli počet vyšších harmonických souvisí se strukturou kmitočtu zvuku vytvářeného příslušným nástrojem. Je známo, že struna nekmitá vždy celá, ale může kmitat i ve své polovině, třetině či čtvrtině. Ve výsledku jsou pak složené kmity, v nichž jsou obsaženy vedle základní frekvence (1. harmonické) další vyšší harmonické. Tato obecně platná zákonitost téměř neplatí o jednoduchých tónech, ale složených. Toto můžeme říci i o neperiodických kmitech, které jsou využívány v syntetické hudbě, v níž jsou vedle periodického akustického vlnění obsaženy reálné zvuky, jako například hluky, šumy apod.

O barvě tónu můžeme mluvit pouze když se jedná o zvuky složené. Různou barvu tónu rozlišujeme podle toho, kolik a které z vyšších harmonických tónů harmonují se základním tónem. Výraznost barvy tónu je určena zastoupením vyšších harmonických tónů, což znamená, čím více vysokých harmonických tónů je zastoupeno a čím jsou pronikavější, tím je barva tónu ostřejší. Díky tomu rozeznáme, jestli zní klarinet, housle, trubka, flétna a některý z lidských hlasů.

Barvu tónu ovlivňují sudé a liché vyšší harmonické, které pak souvisejí s konečným tvarem složené vlny. Sudé vyšší harmonické barvu tónu změkčují a ztemňují, zatímco liché vyšší harmonické barvu tónu zjasňují a zostřují. Liché vyšší harmonické jsou typické pro žesťové dechové nástroje a sudé vyšší harmonické naopak pro dřevěné dechové nástroje. Na barvě tónu se podílejí i další zvuky související s jeho vytvářením a to např. zvuk žíní smyčce, zvuky působené pedály u klavíru či varhan apod. Jinou barvu má zvuk struny rozkmitané smyčcem a jinou zvuk vytvořený například prstem. Stejně tak ovlivňují barvu tónu částkové tóny, které nejsou násobkem celého čísla a nazývají se také jako formanty. (1)(3)

### **Sluchové pole**

Množina akustických tlaků a frekvencí, která je ve svislém směru vymezena prahem slyšení a prahem bolestivosti a ve směru vodorovném dolní a horní sluchovou mezí. Práh slyšení je minimální akustický tlak, který u člověka s průměrným sluchem vyvolá příslušný vjem. (3)



Obr. 4: Sluchové pole (2)

Největší citlivost lidského sluchu se nachází v oblasti od 3 do 4 kHz pro normální sluch. Za dolní sluchovou mez se udává frekvence 16 Hz, která odpovídá tónu subkontra C. Horní sluchová mez je velmi variabilní, protože závisí na věku člověka. Pro mladé osoby je to hranice kolem 20 kHz, ale i vyšší a pro osoby ve věku 40 až 50 let je to hranice kolem 15 kHz. Citlivost sluchu v rozmezí 1 až 5 kHz je srovnatelná s citlivostí na termální šum, který při ještě větší citlivosti může tvořit rušivé pozadí sluchového vjemu. Postupným zvyšováním akustické intenzity se zvuk stává hlasitějším až vjem dosáhne prahu nepříjemnosti. Nad hladinou 120 dB začíná sluchový vjem přecházet v pocit hmatový (svědění, lechtání). Zvýšení hladiny nad 140 dB vede k prahu bolestivosti. U této hladiny může delší expozice způsobit trvalou poruchu sluchu. Okamžitá a nevratná poškození sluchu způsobí expozice zvukem o hladině 160 dB a vyšší. (3)

## Housle

Patří do skupiny smyčcových hudebních nástrojů. U houslí se ozvučná skříň nazývá trup. Víko trupu se složeno ze dvou kusů dřeva a po obou stranách se nacházejí zvukové otvory ve tvaru písmene f. Dno trupu se také skládá ze dvou kusů dřeva. Víko a dno je spojeno luby. Uvnitř houslí se nachází kolmý podstavec, kterému se říká duše. Tento podstavec přenáší chvění vzniklé strunami mezi víkem a dnem a redukuje tím tlak strun a kobylky na víko.

V horní části víka uprostřed je nasazen krk, který končí spirálovitou hlavicí. V hlavicí se nacházejí čtyři otvory pro kolíky, které slouží k ladění strun. Na krku se nachází hmatník, který je z ebenového dřeva a přes tento hmatník vedou čtyři struny. V dolní části víka uprostřed se nachází struník, který je k houslím upevněný poutkem, a ve kterém jsou struny upevněny. Můžou se zde nacházet až čtyři doladovače, zpravidla to bývá doladovač pro strunu E, které slouží k jemnému doladování strun. Mezi hmatníkem a struníkem se nachází kobylka, která drží struny mírně nad hmatníkem. Smyčec se skládá z prutu, který má tvar buď válce nebo osmihranu, žabky, hrotu a žíní. Žíně jsou převážně bílé barvy, které jsou upevněny mezi žabkou a hrotem. Pro napnutí žíní se používá šroubek, který se nachází na žabce.

Struny na houslích odpovídají tónům g, d<sup>4</sup>, a<sup>4</sup> a e<sup>4</sup> tudíž jsou laděny v kvintách. Rozsah houslí je od g do g<sup>4</sup>. Dynamický rozsah houslí je přibližně od 38 do 40 dB.

Co se týče hry smyčcem, jsou celkem tři místa, kde můžeme smyčcem tahat. Nejpřirozenější a nejideálnější místo je přímo mezi kobyolkou a hmatníkem. Pokud chceme dosáhnout kovového zbarvení tónu a zvýraznění vyšších harmonických, pak je vhodné místo u kobylinky. Pokud ale chceme dosáhnout měkkého a zastřeného tónu, kde vyšší harmonické budou utlumeny, pak je vhodné místo u hmatníku. Pro další změnu barvy tónu houslí se také používá dusítko neboli sordina, která se nasazuje na kobytku. Tím se změní kmity kobylinky i rezonance ozvučné skříně. Charakteristická barva u smyčcových nástrojů jsou tzv. flažolety, které jsou víceméně jednoduchými sinusovými tóny. Flažoletu docílíme tím, že prst lehce přiložíme na strunu v její půlce, tím znemožníme vytvořit její základní harmonickou a zahrajeme tak její druhou harmonickou neboli oktávu. (2)

## Violoncello

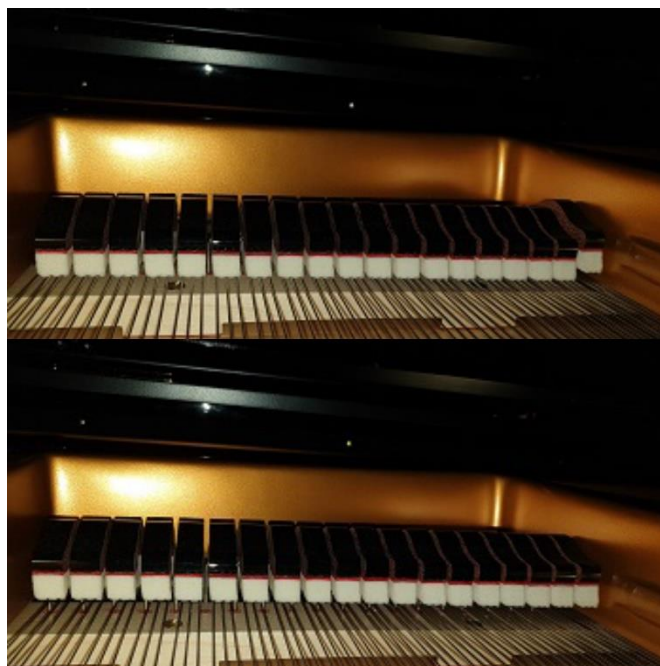
Patří do skupiny smyčcových hudebních nástrojů. Violoncello má čtyři struny, a to C, G, d, a a, které jsou laděny v kvintách. V nižších polohách hraje v basovém klíči a ve vyšších polohách přechází buď do tenorového či houslového klíče. Rozsah violoncella je od C do a<sup>4</sup>. Violoncello má dynamický rozsah přibližně 40 dB. Stavbou těla je violoncello podobné houslím, má výraznější luby, silnější desky těla a štíhlý krk. Na violoncello se hraje v sedě, a proto se o zem opírá bodcem, který se vytáhne z těla violoncella. Smyčec je daleko silnější, než u houslí je zhruba o 2–3 cm kratší. (2)

## Kontrabas

Patří do skupiny smyčcových hudebních nástrojů. Kontrabas má čtyři struny, a to kontra E, kontra A, D a G, které jsou laděny v kvartách. Rozsah kontrabasu je od kontra E do d<sup>4</sup>. Zajímavostí je, že ve velkých orchestrech se mohou nacházet kontrabasy, které mohou mít až pět strun, přičemž ta nejhlubší struna je kontra C. Dynamický rozsah kontrabasu je přibližně 35 dB. Stavba kontrabasu není shodná se stavbou houslí jako tomu bylo u violoncella. Tvarem se spíše podobá viole *da gamba*, pro kterou je typické ploché dno, právě proto se kontrabas ladí v kvartách.

## Klavír

V přední části nástroje se nachází klaviatura, která se skládá z bílých a černých kláves. Bílými klávesami se zpravidla hrají celé tóny a černými klávesami se hrají půltóny. Při hře na klavír bez použití pedálů je mechanika následující: při zmáčknutí klávesy kladívko udeří do struny a ihned po úderu se vrátí do původní polohy, aby struna mohla doznít. Současně se ze struny zvedá i dusítko, a tím uvolní strunu. U vyšších tónů se dusítka nepoužívají, protože po úderu kladívka jejich tón velmi rychle doznívá, tudíž není zapotřebí dusítka. Po vrácení klávesy do původní polohy se dusítko opět vrátí na strunu, aby utlumilo její kmitání. Pod tělem klavíru jsou umístěné většinou dva pedály; pravý a levý. Ve své práci se zaměřím hlavně na pravý pedál. Při hře na klavír s použitím pedálu je mechanika následující: Po stisknutí pedálu se ze všech strun zvedají jejich dusítka, což znamená, že i po vrácení klávesy do původní polohy zůstává dusítko zvednuté, a tím může struna znít déle. Při používání tohoto pedálu zní jak tóny hrané (základní harmonická), tak i jejich vyšší harmonické (aliquoty). V nižších polohách hraje klavír v basovém klíči a ve vyšších polohách přechází do houslového klíče. Chromatický rozsah klavíru je od kontra A do a<sup>4</sup>. Dynamický rozsah klavíru je přibližně 50 dB.



Obr. 5: Rozdíl hry na klavír bez pedálu (nahore, kde je vidět, že dusítka je zvednuté pouze nad tónem A) a s pedálem (dole, kde se ze všech strun zvednou jejich dusítka), (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)



## Metodika

V metodice jsem se věnoval praktické části mé práce. Měřil jsem a porovnával jsem barvu tónu na komorním tónu a. Měření jsem prováděl na různých typech houslí, a to jak podle velikosti, tak podle stáří. Dále jsem pak porovnával barvu tónu violoncella a kontrabasů. U klavíru jsem pak porovnával barvu tónu mezi hrou s pravým pedálem a bez pravého pedálu.

### Nástroj pro měření alikvotů

Komorní tón a na nástrojích jsem nahrával na mikrofon Samson CO3U, který mi zapůjčilo Gymnázium Botičská. Mikrofon je vybaven stojánkem a USB kabelem, kterým ho mohu přímo propojit s počítačem a zpracovat nahrané tóny. Mikrofon má frekvenční rozsah od 20 do 18000 Hz. Nahrávky jsem pořizoval ve formátu WAV. Citlivost mikrofonu je -40 dB/Pa.



Obr. 6: Mikrofon Samson CO3U (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)

### Program pro zpracování alikvotů

Pro zpracování nahraných tónů jsem si vybral počítačový program Adobe Audition CC. V programu jsem nahrával a porovnával počty vyšších harmonických komorního tónu a na různých typech houslí, violoncellu, kontrabasů a klavíru. Poté jsem vše zpracoval do jednotlivých grafů a tabulek.

### Finanční nákladnost

Pro nahrávání, měření a zpracování nahraných tónů jsem si koupil program Adobe Audition CC přímo od vydavatele za 420 Kč na měsíc. Pro objektivní měření barvy tónu jsem musel na housle koupit stejné struny. Struny byly od výrobce Pirastro Tonic. Jádro strun bylo nylonového vlákna. U jednotlivých strun pak bylo následující předení: E – pocínovaná ocel, A – hliník, D – stříbro, G – stříbro. Jedna sada strun stála 650 Kč. U violoncella a kontrabasů jsem struny nechal původní vzhledem k finanční náročnosti. U klavíru se struny nemění.

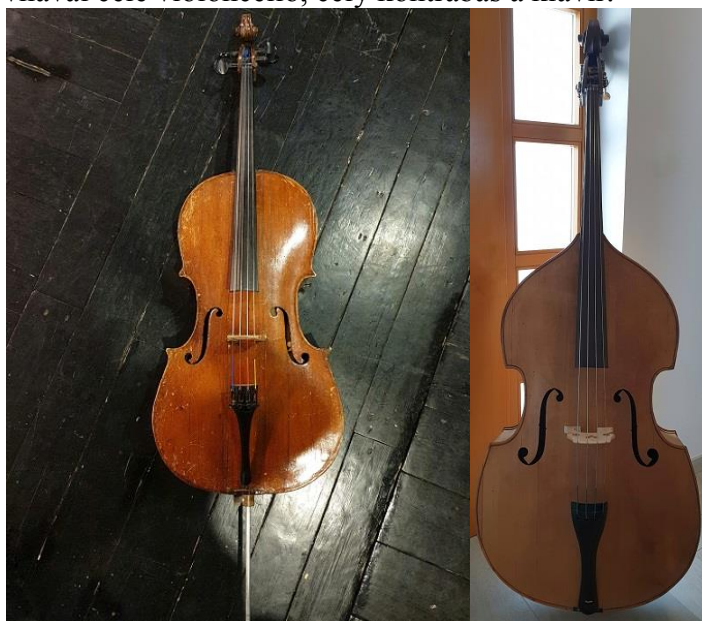
### Aspekty pro objektivní měření

Porovnával jsem celkově čtyři housle, které se však lišily svou velikostí (celé, tříčtvrt'ové, půlové a osminové housle) a stářím (celé housle – 2015, tříčtvrt'ové housle – 1982, půlové housle – 1950 a osminové housle – 1991).



Obr. 7: Velikosti houslí, zleva: osminové, půlové, tříčtvrt'ové, celé housle (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)

Dále jsem pak porovnával celé violoncello, celý kontrabas a klavír.



Obrázek 8 Zleva: celé violoncello a celý kontrabas (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)



Obrázek 9 Klavír (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)

Abych mohl změřit rozdílnost barvy tónu a vyvodit z toho nějaké výsledky, musel jsem zajistit na všech čtyřech houslí stejný typ strun. Struny musely být stejně staré (všechny byly staré zhruba týden po nasazení), ze stejného materiálu a od stejného výrobce. Dále jsem musel zajistit, aby na všechny čtyři housle hrál pouze jeden hráč, abych předešel různému držení houslí apod., a aby hrál pouze jedním smyčcem, abych předešel různým typům smyčců. Další podmínkou bylo, aby všechny čtyři housle naladil jeden hráč, kvůli eliminaci odchylek. Poslední podmínkou bylo nahrávání tónů v jedné místnosti, kde byly ideální akustické podmínky, což znamená minimální odraz od stěn. Pro svoje nahrávání jsem si vybral přímo divadelní sál ZUŠ Litvínov, kde jsou minimální odrazy, a kde jsem nahrával všechny nástroje. Stejný postup nahrávání tónu jsem pak aplikoval i u violoncella a kontrabasu, akorát struny jsem nechal původní. U klavíru jsem pozoroval rozdíl barvy tónu, který byl zahrán s pravým pedálem a bez pravého pedálu. Co se týče postavení mikrofonu vůči nástroji, tak u houslí, violoncella a kontrabasu jsem měl mikrofon vždy proti nástroji, abych dosáhl kvalitní nahrávky. U klavíru jsem musel odklopit desku na nejvyšší tyčku a mikrofon jsem musel mít ve větší vzdálenosti, abych dosáhl plnějšího tónu.

### **Sestavení mikrofonu a připojení k počítači**

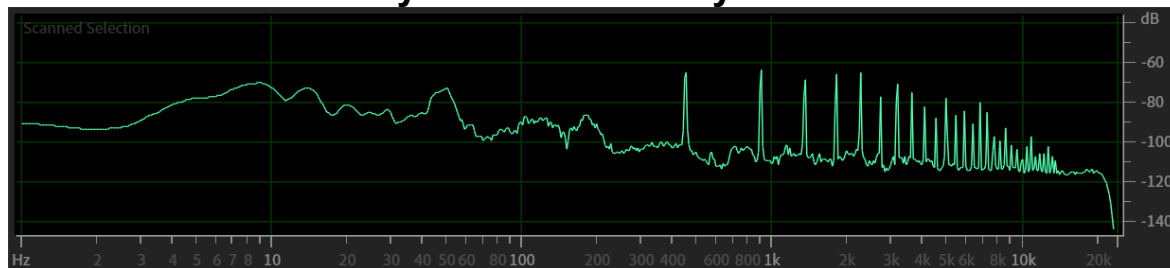
V obalu jsem našel mikrofon, stojánek a USB kabel. Stojánek jsem připevnil k mikrofonu pomocí samostatného závitu a poté jsem stojánek nastavil do polohy, která mi vyhovovala. Dále jsem na mikrofonu navolil různá nastavení pro nahrávání a propojil jsem mikrofon s počítačem a rovnou i s programem Adobe Audition CC. Poté jsem mohl začít nahrávat tóny.

### **Nahrávání a zpracovávání dat v programu**

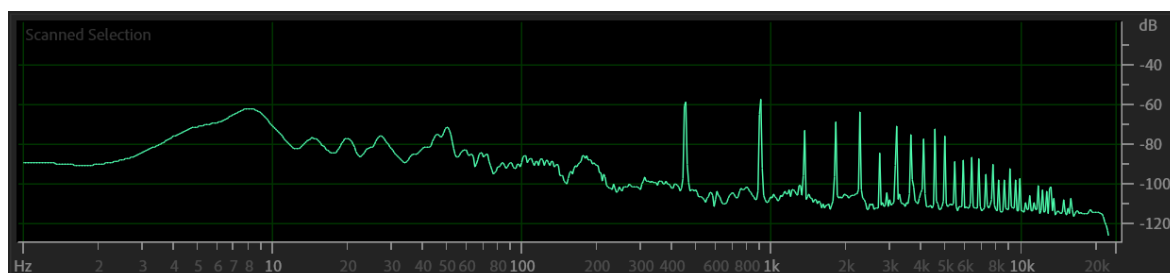
V programu jsem nejdříve nastavil, že budu nahrávat na externí zařízení, tedy v mém případě na mikrofon Samson. Následně jsem začal nahrávat jednotlivé tóny. Každý nástroj jsem nahrával třikrát z důvodu, kdyby se nějaká nahrávka nepovedla, a abych dosáhl objektivních výsledků. Po ukončení nahrávky se mi na monitoru zobrazila délka časového průběhu, kterou jsem využil pouze pro porovnání u hry na klavír s použitím pravého pedálu a bez něj. Na ose x byl čas (s) a na ose y intenzita zvuku (dB). Pro ostatní nástroje jsem potřeboval zobrazení frekvence tónu, tudíž jsem si tón přepnul na zobrazení, kde na ose x byla frekvence (Hz) a ose y intenzita zvuku (dB). Pro lepší orientaci a počítání vyšších harmonických (jednotlivých píků) jsem si vybral logaritmické zobrazení. Pro zjištění počtu vyšších harmonických jsem myší najel na jednotlivé píky, kde se mi u prvního píku zobrazila základní harmonická a poté její násobky. Tímto způsobem jsem pokračoval na ose x do 10 000 Hz a na ose y do -90 dB, protože další vyšší harmonické už měli malou amplitudu (hlavně u menších houslí a kontrabasu) a neměly vliv na barvu a byly tam interference s okolním prostředím. Jakmile jsem došel k tomuto číslu, počítání alikvotů jsem ukončil a zjistil jsem, kolik má nahraný tón vyšších harmonických.

## Výsledky a diskuse

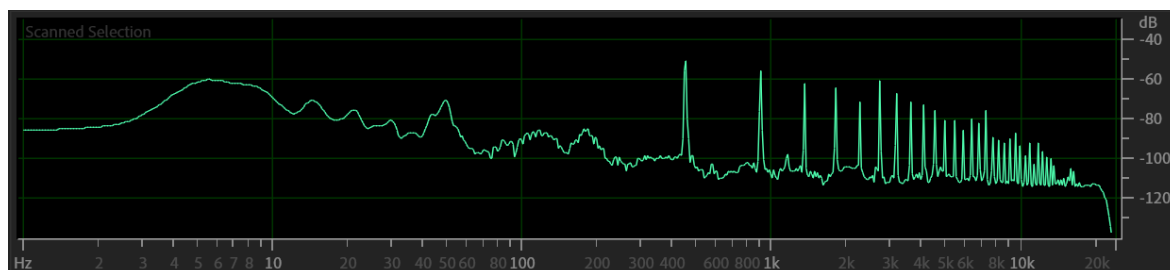
### Porovnání vyšších harmonických mezi houslemi



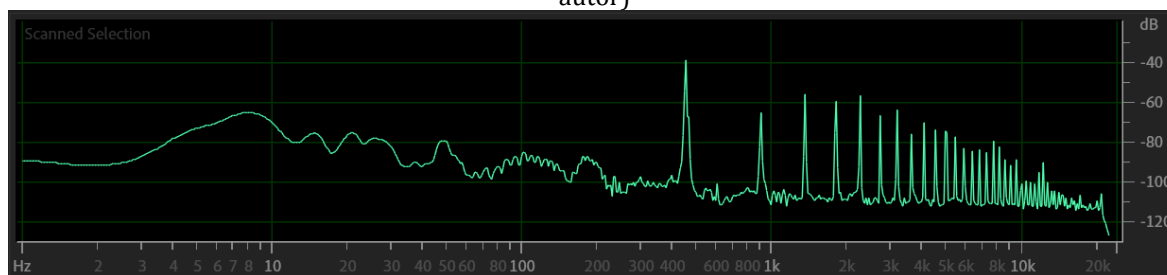
Graf 1: Vyšší harmonické (spektrum zvuku) u osminových houslí (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)



Graf 2: Vyšší harmonické (spektrum zvuku) u půlových houslí (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)



Graf 3: Vyšší harmonické (spektrum zvuku) u tříčtvrt'ových houslí (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)



Graf 4: Vyšší harmonické (spektrum zvuku) u celých houslí (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)

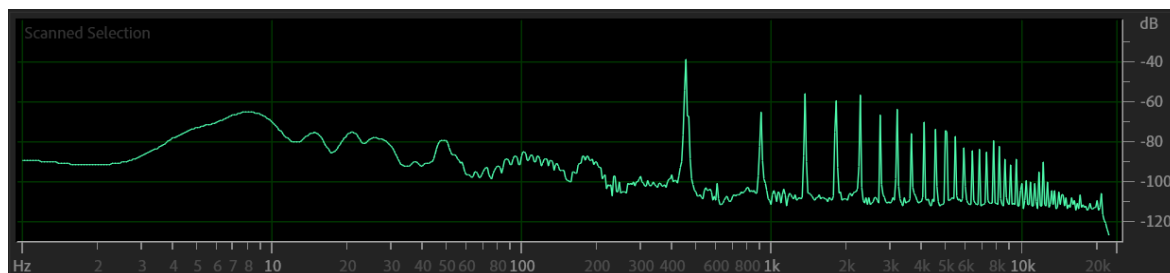
Z grafů můžeme pozorovat, že první harmonická je u všech houslí 440 Hz. Dále také můžeme pozorovat, že u osminových a půlových houslí je dominantní až druhá harmonická a jsou zesíleny sudé vyšší harmonické, kdežto u tříčtvrt'ových a celých houslí je dominantní první harmonická a jsou zesíleny liché vyšší harmonické. Z grafů je též patrné, že se vzrůstající velikostí houslí stoupá amplituda jednotlivých piků.

Tabulka č.1: Porovnání vyšších harmonických na různých typech houslí

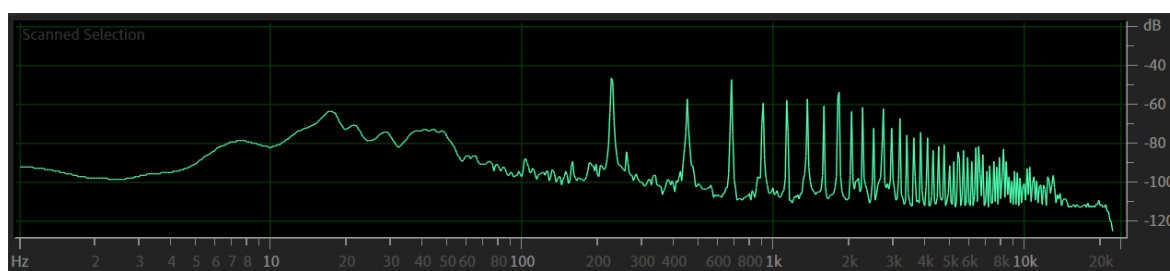
Druh houslí	Stáří houslí	Počet vyšších harmonických	Dominantní vyšší harmonická	Výrazné vyšší harmonické
Osminové housle	1991	21	2. harmonická	sudé
Půlové housle	1950	22	2. harmonická	sudé
Tříčtvrťové housle	1982	22	1.harmonická	liché
Celé housle	2015	22	1. harmonická	liché

Z tabulky je patrné, že osminové housle a půlové housle mají jako dominantní až druhou harmonickou, kdežto tříčtvrťové a celé housle mají dominantní první harmonickou. Dále je také patrné, že osminové housle mají nižší počet vyšších harmonických oproti ostatním houslím. Další zjištění je, že u osminových houslí a půlových houslí jsou zesílené sudé vyšší harmonické, kdežto u tříčtvrťových houslí a celých houslí jsou zesílené liché vyšší harmonické.

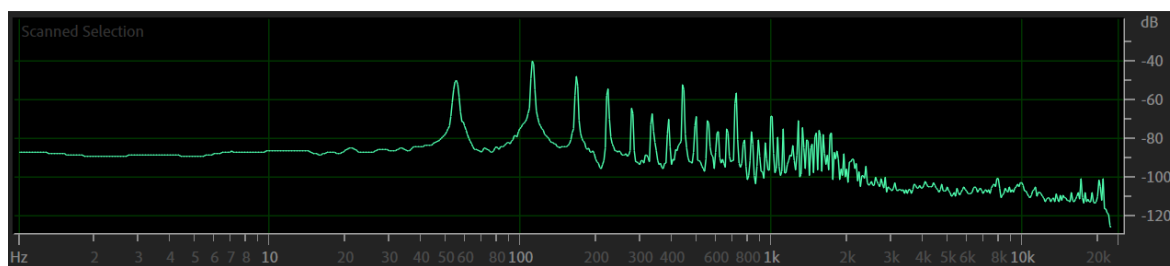
### Porovnání vyšších harmonických mezi houslemi, violoncellem a kontrabasem



Graf 5: Vyšší harmonické (spektrum zvuku) u celých houslí (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)



Graf 6: Vyšší harmonické (spektrum zvuku) u celého violoncella (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)



Graf 7: Vyšší harmonické (spektrum zvuku) u celého kontrabasu (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)

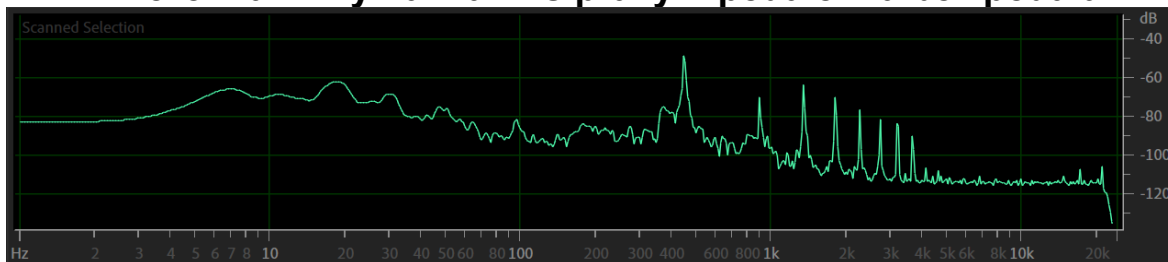
Z grafů můžeme pozorovat, že první harmonická u houslí odpovídá 440 Hz, u violoncella 220 Hz a u kontrabasů 55 Hz. Dále můžeme pozorovat, že u houslí a violoncella je dominantní první harmonická a jsou zesílené liché vyšší harmonické, kdežto u kontrabasů je dominantní až druhá harmonická a jsou zesíleny sudé vyšší harmonické.

Tabulka č.2: Porovnání vyšších harmonických mezi houslemi a violoncellem

Druh nástroje	Počet vyšších harmonických	Dominantní vyšší harmonická	Výrazné vyšší harmonické
Celé housle	22	1. harmonická	liché
Celé violoncello	43	1. harmonická	liché
Celý kontrabas	33	2. harmonická	sudé

Z tabulky je patrné, že violoncello má vyšší počet vyšších harmonických než housle. Dále je také zřejmé, že jak u houslí, tak u violoncella je dominantní první harmonická, a že mají zesílené liché vyšší harmonické. Co se týče porovnání houslí a violoncella s kontrabasem, tak tam se výsledky výrazně liší. Z tabulky je patrné, že kontrabas má jako dominantní až druhou harmonickou, a že má zesílené sudé vyšší harmonické oproti houslím a violoncellu. Dále je také patrné, že kontrabas má menší počet vyšších harmonických oproti violoncellu.

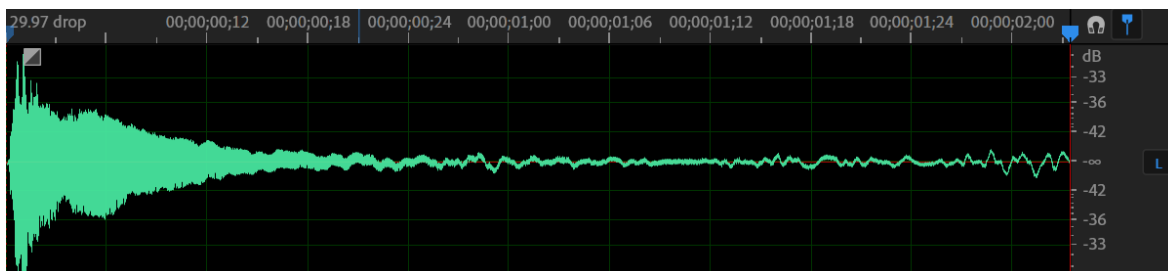
### Porovnání hry na klavír s pravým pedálem a bez pedálu



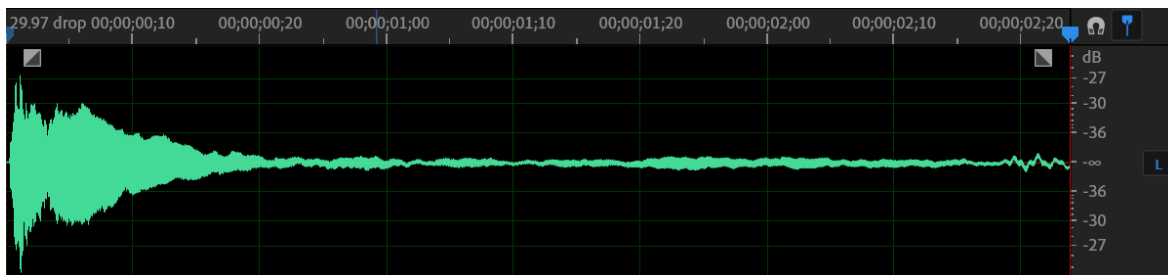
Graf 7: Vyšší harmonické (spektrum zvuku) u hry na klavír bez použití pravého pedálu (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)



Graf 8: Vyšší harmonické (spektrum zvuku) u hry na klavír s použitím pravého pedálu (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)



Graf 9: Délka časového průběhu u hry na klavír bez použití pravého pedálu (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)



Graf 10: Délka časového průběhu u hry na klavír s použitím pravého pedálu (není-li uvedeno jinak, obrázek či graf autor)

Z grafů vyšších harmonických můžeme pozorovat, že první vyšší harmonická odpovídá 440 Hz, že je dominantní první harmonická, a že mají stejný počet vyšších harmonických. Z grafů délky časového průběhu můžeme pozorovat, že tón hraný s pravým pedálem zní déle než tón hraný bez pravého pedálu.

Tabulka č.3: Porovnání vyšších harmonických a délky časového průběhu u hry na klavír s pravým pedálem a bez pravého pedálu

Způsob hry na klavír	Počet vyšších harmonických	Dominantní vyšší harmonická	Délka časového průběhu
Bez pravého pedálu	8	1. harmonická	02,03 s
S pravým pedálem	8	1. harmonická	02,23 s

Z tabulky je patrné, že počet vyšších harmonických i dominance první harmonické je v obou případech stejná. Dále je také patrné, že tón zahráný bez pravého pedálu má kratší časový průběh než tón zahráný s pedálem.

## Závěr

Z výsledků u porovnávání barvy tónu mezi houslemi jsem zjistil, že osminové housle mají nejnižší počet vyšších harmonických oproti ostatním houslím, což je způsobeno velikostí ozvučné skříně, kde u osminových houslí se do rozsahu 10 000 Hz nevejde tolik vyšších harmonických. Dále jsem také zjistil, že osminové a půlové housle mají dominantní až druhou harmonickou, a že mají zesílené sudé vyšší harmonické oproti tříčtvrtěovým a celým houslím, které měli dominantní první harmonickou a měli zesílené liché vyšší harmonické. Je to způsobeno tvarem a velikostí ozvučné skříně. Stavba malých houslí (osminové a půlové housle) je jiná kvůli technickým vlastnostem materiálu (menší ohyb lubů, méně vypouklá deska), tudíž jsou liché vyšší harmonické utlumeny. Poslední informace, kterou jsem zjistil, je, že staří houslí nemá na barvu tónu žádný vliv.

Z výsledků u porovnávání barvy tónu mezi houslemi, violoncellem a kontrabasem jsem zjistil, že violoncello má dvakrát větší počet vyšších harmonických než housle kvůli větší velikosti ozvučné skříně. Dále jsem také zjistil, že violoncello má jak dominantní první harmonickou, tak zesílené liché vyšší harmonické stejně jako housle. Je to způsobené tím, že stavba ozvučné skříně violoncella je stejná jako u houslí, a že housle i violoncello byly celé velikosti. Co se týče kontrabasů, tak tam jsem zjistil, že kontrabas má dominantní až druhou harmonickou oproti houslím a violoncellu, a že má zesílené sudé vyšší harmonické oproti houslím a violoncellu. Je to způsobené stavbou ozvučné skříně kontrabasů. Kontrabas jako jediný ze smyčcových nástrojů má zadní desku úplně rovnou, bez jakéhokoliv vypoulení, a navíc má jako jediný zúženou horní část korpusu, tudíž jsou liché vyšší harmonické utlumeny a vlna první harmonické se do ozvučné skříně nevejde celá, navzdory tomu, že byl kontrabas celé velikosti. Dále jsem také zjistil, že kontrabas má menší počet vyšších harmonických oproti violoncellu. Je to způsobené tím, že struna kontrabasů je velmi silná a kmitá v tak nízkých frekvencích, že už není schopna se tolik rozkmitat na vyšší počet vyšších harmonických, tudíž po dosažení počtu 33 vyšších harmonických už nastává pouze šum, vzniklý hlavně rezonancí a duněním ozvučné skříně kontrabasů.

Z výsledků u porovnávání u hry na klavír bez pedálu a s použitím pravého pedálu jsem zjistil, že hra na klavír s pravým pedálem nemá na barvu tónu žádný vliv, což je způsobené tím, že se ze strun zvedla pouze dusítka a ta nemají vliv na barvu zvuku, nýbrž na jeho délku. Rozdíl délky tónu hraného s pravým pedálem oproti tónu bez pravého pedálu bylo dvacet setin vteřiny. Tento časový rozdíl není objektivní hodnotou, protože pokaždé hráč udeří do klávesy jinou silou.

## Seznam literatury

1. GEIST, Bohumil. *Jevy a souvislosti v hudební teorii a praxi*. Praha: Muzikus, 2005. ISBN 80-86253-31-7.
2. ZAMAZAL, Václav. *Hudební nástroje před mikrofonem*. Praha: Supraphon, 1975.
3. SYROVÝ, Václav. *Hudební akustika*. 3. doplněné vydání. Praha: Nakladatelství AMU, 2013. ISBN 978-80-7331-297-8.