

PŘÍTECH

Klarinet – Vlastnosti zvuku

**Gymnázium Cheb
Nerudova 7**

**Vojtěch Müller
4.E
2014/2015**

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto maturitní práci vypracoval samostatně, pod vedením Mgr. Vítězslava Kubína a Mgr. Romana Úlovce, a uvedl jsem všechny použité prameny a literaturu.

Ve Františkových Lázních dne 20. ledna 2015

.....
Podpis autora

Anotace

MÜLLER, Vojtěch. *Maturitní práce z fyziky*. Cheb: Gymnázium Cheb, 2015. 19 s. PŘÍTECH.
Tato mnou vypracovaná práce z fyziky pojednává o zvukových vlastnostech klarinetu.

Klíčová slova: klarinet, zvuk, tón, frekvence, vlnění

Tento projekt vypracoval Vojtěch Müller, student maturitního ročníku Gymnázia Cheb, žijící ve Františkových Lázních. Tato práce vznikla v rámci maturitní zkoušky z Fyziky a dále je využita v soutěži PŘÍTECH.

Cíl práce a shrnutí do 200 slov

Cílem projektu je zkoumání zvukových vlastností klarinetu. V této práci jsem se zabýval zkoumáním frekvence zvuku produkovaného klarinetem s použitím zvukového jímače. Zabýval jsem se základní frekvencí vybraných tónů u dvou různých klarinetů a jejím výpočtem z grafů a následným porovnáváním. Také jsem se zabýval vyššími harmonickými frekvencemi u některých tónů a poté tím, jak jednotlivé plátky ovlivňují tón. Do práce jsem zahrnul metodiku měření a také fyzikální teorii ohledně zkoumaného jevu, nakonec i vlastní zpracování dat.

Projekt bylo možné provést za použití minimálních nákladů.

Obsah

1 Úvod	1
2 Metodika.....	2
2.1 Úkol	2
2.2 Pomůcky	2
3.3 Postup měření	2
3 Teorie	4
3.1 Zvuk	4
3.1.1 Vznik zvuku	4
3.1.2 Šíření zvuku.....	4
3.1.3 Frekvenční charakteristika zvuku.....	5
3.2 Tón a hluk.....	5
3.2.1 Tón – výška, intenzita a barva.....	6
4 Naměřené hodnoty	7
4.1 Celková frekvence.....	7
4.1.1 Tón c2 klarinet Amati, plátek 2,5	7
4.1.2 Tón c2 klarinet Buffet, plátek 2,5.....	11
4.1.3 Tón g1 klarinet Amati, plátek 2,5.....	13
4.1.4 Tón g1 klarinet Buffet, plátek 2,5.....	15
4.1.5 Tón g3 klarinet Amati, plátek 2,5.....	16
4.1.6 Tón malé E klarinet Amati, plátek 2,5.....	19
4.2 Vliv plátků na alikvotní tóny.....	21
5 Závěr.....	25
6 Zdroje	26
7 Přílohy	27

1 Úvod

V této práci, jsem si jako předmět zkoumání vybral hudební nástroj – klarinet. Hudba je mým koníčkem, a proto jsem se rozhodl, že bych si mohl rozšířit obzory prověřováním fyzikálních vlastností hudby, konkrétně u mého oblíbeného klarinetu.

Tématem této práce je klarinet a jeho zvukové vlastnosti. Jako měřenou úlohu bych si chtěl stanovit zkoumání frekvence tónu v závislosti na technice hraní. Technikou hraní by v tomto případě byla myšlena závislost zvuku na jednotlivých tónech, popřípadě celých oktávách. Dále také použití různě tvrdých plátků, které jsou hlavním zdrojem zvuku.

Zvuk klarinetu bude nahráván mikrofonom a poté převeden do digitální podoby, ve které bude dále zkoumán.

2 Metodika

2.1 Úkol

Mým cílem je zkoumání frekvencí klarinetu v závislosti na technice hraní popřípadě porovnání dvou různých klarinetů stejného typu. Zkoumáním frekvencí se myslí, že budu porovnávat frekvenční odchylky klarinetu, či obou klarinetů od stanovených základních frekvencí pro jednotlivé tóny v matematicko-fyzikálních tabulkách. Klarinety jsou laděné in B, a proto se bude ještě muset provést transpozice tónu hraného na klarinetu a skutečného znějícího tónu. Chtěl bych zaznamenávat některé tóny jedné oktávy durové stupnice C-dur. Další zajímavé porovnání by mohlo být, porovnání nejnižšího a nejvyššího tónu, které mohu zahrát a porovnat jejich vývoj v závislosti na čase, který je dramaticky odlišný.

2.2 Pomůcky

Jako pomůcky při měření mi poslouží kondenzátorový mikrofon a počítač se zvukovou kartou AMD High Definition Audio Device s mikrofonovým vstupem. Zvuk budu zaznamenávat v programu Adobe Audition 2.0 a frekvenční analýza bude prováděna pomocí programu Smaart 7. Zvuk bude produkován z klarinetu značky Amati Kraslice a klarinetu francouzské značky Buffet. Hubice bude použita Vandoren B45 a plátky Vandoren V12 tvrdosti 2; $2\frac{1}{2}$ a 3.

3.3 Postup měření

Měření bude prováděno v mé domácnosti v obývacím pokoji za pokud možno nejlepší eliminaci rušivých vlivů. Největším rušivým elementem je počítač, který vytváří nezanedbatelnou zvukovou hladinu. Vstupní data budou zaznamenávána ve formátu wav a frekvenci 44,1 kHz mono. Tyto záznamy jsou pořízeny programem Adobe Audition 2.0. Tento program vytváří už zmíněné soubory wav a také generuje graf zvukové křivky na čase. V tomto grafu se dále dají rozpoznat jednotlivé periody, z kterých se daný tón skládá a lze odečíst jejich časový interval, z kterého je možné dále spočítat frekvenci tónu.

Jedno z měřidel, které jsem chtěl použít, bylo PDA přístroj od značky Vernier, se kterým jsem sice mohl měřit ve větším zvukovém klidu a tím by byly hodnoty měření méně ovlivněny, ale ukázalo se, že výsledné zpracování dat by bylo zbytečně komplikované, proto jsem od tohoto měřidla odstoupil.

Další část měření probíhala v programu Smaart 7. Tento program generuje grafy závislosti vstupních frekvencí na intenzitě zvuku. Z grafů bych rád odečítal základní

frekvence tónů a jejich harmonických složek, které bych mezi sebou chtěl porovnávat. Chtěl bych zjistit, jaký vliv na tón mají jednotlivé změny v nastavení klarinetu, jako je třeba změna plátku.

Také by bylo možné zkoumat, kolik vyšších harmonických frekvencí se nachází u jednotlivých tónů, buď v rámci jedné oktávy, nebo u jednoho tónu v oktavových skocích, protože se měřením ukázalo, že nejspíš ne všechny tóny mají stejné zastoupení svých alikvotních frekvencí.

Dále bych také podle okolností mohl porovnat 2 různé klarinety za použití stejného plátku a hubice a řešil jaký vliv má samotná hlavní část klarinetu na tón.

U měření v programu Smaart 7 se bohužel nejvíce projevují rušivé vlivy počítače, protože program zaznamenává zvukovou intenzitu na celém slyšitelném frekvenčním rozsahu. Tím pádem se projevují i frekvence, které generuje sám počítač, přesněji by se mělo jednat o zdroj napájení a procesor.

3 Teorie

V této části bude popsána využitá fyzikální teorie věnující se vlastnostem zvuku. Zvuk budu popisovat jakožto mechanické vlnění, proberu jeho vznik a šíření. Také se budu zabývat frekvencemi a periodičností zvukových jevů. Dále budu chtít definovat, co je tón a co je hluk a mimo jiné se taky zmíním o lidském vnímání zvuku. S ohledem na zvuk se zmíním o jeho barvě, intenzitě a výšce.

3.1 Zvuk

Zvukem se zabývá fyzikální obor známý jako akustika. Zvuk je druh mechanického vlnění, který je přenášen zvukovým vodičem, nejčastěji vzduchem. Jako zvuk se určuje takové mechanické vlnění, které v uchu vyvolává sluchový vjem. Vlastnosti zvuku se shodují s obecnými vlastnostmi vlnění a těmi jsou frekvence, vlnová délka, amplituda, intenzita, rychlost a směr.

3.1.1 Vznik zvuku

Zvuk může vznikat mnoha způsoby, kupříkladu úderem, drnkáním, smýkáním, rychlým pohybem, prouděním zvuku kolem ostré hrany (využíváno u flétny) nebo prudkou změnou tlaku. Tyto jevy se často prakticky využívají u hudebních nástrojů. V našem případě bych se chtěl více věnovat tomu, jak zvuk vzniká u klarinetu, který je v této práci použit jako předmět zkoumání...

3.1.2 Šíření zvuku

Zvuk se šíří libovolným prostředím, ale nejčastěji vzduchem a toto prostředí je jediné, které je v mé práci využito. Zvuk se v takovém prostředí šíří jakožto podélné postupné vlnění, kde dochází k stlačování a rozpínání zvuku, a tak se periodicky začne měnit tlak vzduchu.

Důležitým jevem pro šíření zvuku je jeho rychlost, která se běžně uvádí jako 340ms^{-1} . V mém případě by rychlost zvuku při probíhajícím měření měla být $344,02\text{ms}^{-1}$, kdy jsem vycházel ze vztahu $v = (331,82 + 0,61\{t\})\text{ms}^{-1}$, kde t je teplota v místnosti. Tento fakt by ale neměl v mé práci hrát významnou roli.

Ozvěna vzniká, když vzdálenost od překážky je větší než 17m. V mých podmínkách tato vzdálenost překonána nebyla, proto není nutné tento jev dále rozebírat.

3.1.3 Frekvenční charakteristika zvuku

Zvuk, který je pro lidské ucho slyšitelný, se uvádí tak, že jeho frekvence se pohybuje od 16Hz do 20kHz. Tato hranice ale není směrodatná, protože pro každého člověka se může individuálně pohybovat buď od 16Hz směrem nahoru nebo od 20kHz dolů, záleží na kvalitě sluchu a na stáří člověka. Kmitání pod hranicí 16Hz již nemůžeme vnímat uchem, ale vlnění je tak silné, že je lze vnímat povrchem těla jakožto chvění, a toto vlnění se nazývá infrazvuk. Vlnění nad 20kHz se nazývá ultrazvuk.

V mé práci jsou tato fakta o frekvencích také důležitá, protože v dalších částech budu pracovat s programem Smaart 7, který vykresluje grafy závislosti frekvence na intenzitě a nachází se na něm takřka celé zvukové frekvenční spektrum. V těchto diagramech se dále vykreslují vyšší harmonické frekvence, které jsou pro vlastnosti zvuku klarinetu důležité. O vyšších harmonických frekvencích se dále budu zmiňovat v části zaměřené na barvu tónu.

Vztah frekvence a periody je definován jako $f = \frac{1}{T}$, kde f je frekvence a převrácenou hodnotou k frekvenci je perioda T . Perioda určuje, za jak dlouho proběhne kmitavý děj od svého počátku až do okamžiku, kdy by se začal opakovat a udává se v sekundách (s). Frekvence určuje, kolik těchto dějů proběhne během jedné sekundy a její fyzikální veličinou je Hertz (Hz).

3.2 Tón a hluk

Tón a hluk je věcí založenou na lidském vnímání, proto se tón určuje jako hudební zvuk a hluk jako nehudební. Ve fyzikálním principu jde o to, že tón má pravidelný průběh, tudíž je skládán z jednotlivých period, které dále mohou určit jeho frekvenci. Kdežto hluk je nesourodá a nepravidelná množina kmitání, tyto zvuky mohou být vnímány jako vrzání, praskot či šumění.

Průběh jednotlivých tónů může být složitý a jejich periody mohou být nepravidelné a nesouměrné, ale pokud je jejich opakování během času pravidelné, stále se jedná o tón. Z tohoto důvodu se historicky hledal zdroj zvuku, který by měl jednoduchý harmonický průběh a tímto zdrojem se stala ladička, jejíž diagram vykresluje čistou sinusoidu. Užívá se k ladění hudebních nástrojů. U hudebních nástrojů se s harmonickým průběhem tónu většinou nesetkáme, a proto se tyto tóny nazývají složené.

3.2.1 Tón – výška, intenzita a barva

3.2.1.1 Výška

Výška tónu nám umožňuje rozdělit tóny na frekvenční stupnici odzola nahoru. Sinusová křivka definuje frekvenci, pro kterou lidský posluchač přiřazuje výšku tónu. Výška tónu je tudíž určena velikostí frekvence, čím vyšší frekvence tím vyšší tón. Fyzikálním termínem, užitým v tomto ohledu, je fundamentální frekvence, která je určena pouze pro periodické nebo téměř periodické jevy.

3.2.1.2 Intenzita

Intenzita zvuku je opět subjektivní záležitostí, která záleží na stavu lidského sluchu. Je určena akustickým tlakem, kterým zvukové vlny působí na bubínek ucha či membránu mikrofону. Veličinou je hladina akustického tlaku s jednotkami decibel (dB). V souvislosti s decibely bych měl říci, jak se decibely počítají, protože se jedná fyzikálně o bezrozměrnou míru, která se počítá ze vztahu $L_p = 20 \log \frac{p}{p_0}$. L_p je hladina akustického tlaku a p_0 je práh slyšení určen: $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ a p je přicházející tlak. Z tohoto vztahu vyplývá, že zvuk o intenzitě na prahu slyšitelnosti má intenzitu 0 dB.

3.2.1.2 Barva

Barva zvuku nám určuje, jak jsme schopni rozpoznat jednotlivé zdroje zvuku, například, že rozeznáme housle od klavíru, i když zní stejný tón. Barva zvuku je charakteristická tím, že ji nelze jednoduše vyjádřit pomocí nějaké fyzikální veličiny. Avšak s barvou zvuku velice blízce souvisí, tzn. vyšší harmonické frekvence nazývané také jako alikvotní tóny. Tyto harmonické frekvence jsou násobkem základní frekvence, a určují se řadovými číslovkami podle toho, kolikátý násobek základního tónu to je. Tyto frekvence jsem již byl schopen zaznamenat a cílem mého zkoumání byl vliv jednotlivých plátků u klarinetu na intenzitu zastoupení těchto frekvencí.

Rozdíl v barvě tónu je dán různými způsoby vzniku zvuku. V našem případě u hudebních nástrojů, které mohou být různých tvarů, materiálů či velikostí a tyto všechny faktory hrají roli v tom, jaký zvuk slyšíme a k jakému nástroji je můžeme přiřadit.

Barvu zvuku, v jiném úhlu pohledu na věc, nám také mohou určovat amplitudy, jejichž absolutní výška může být stejná, tudíž se jedná o stejný tón, ale zbylý průběh se může lišit.

4 Naměřené hodnoty

V této části se budu věnovat naměřeným hodnotám a jejich statistickému zpracování. Také bych chtěl vyvodit nějaké závěry týkající se zvukových vlastností klarinetu.

4.1 Celková frekvence

Nejprve bych se chtěl věnovat výpočtu periody P u jednotlivých tónů. Z určené periody dále lze odvodit základní frekvence daného tónu. Tyto výpočty budu provádět u několika vybraných tónů, kdy výslednou frekvenci porovnáím s frekvencí uváděnou v matematicko-fyzikálních tabulkách a provedu závěr z toho vyplývající. Také budu ukazovat grafy, z nichž jsem vycházel a získával naměřené hodnoty.

Periodu počítám jako $T = \Delta(t_2 - t_1)$

Frekvenci jako $f = \frac{1}{T}$

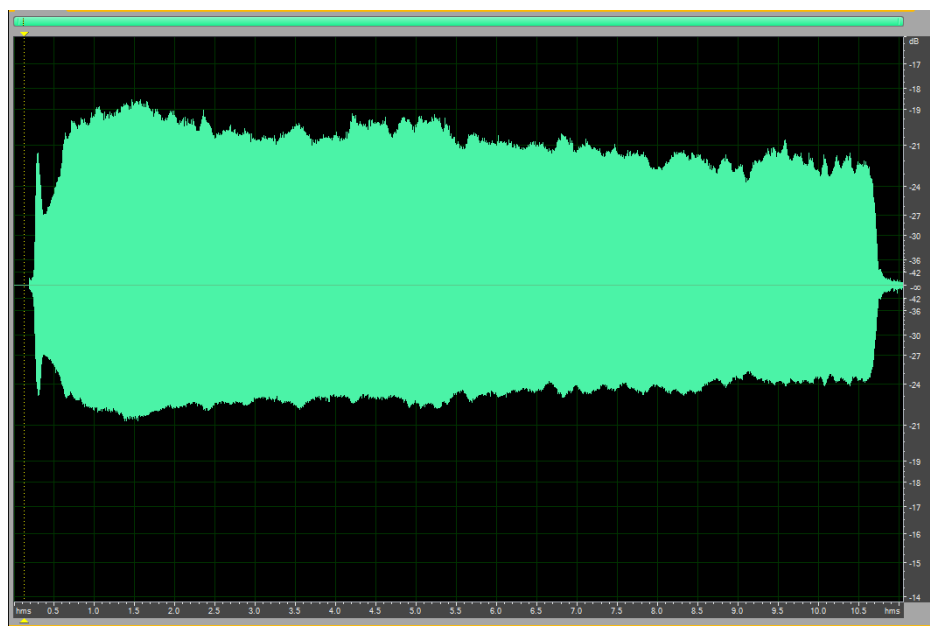
Ve výpočtech byla zohledněna také absolutní a relativní chyba.

4.1.1 Tón c2 klarinet Amati, plátek 2,5

Jedná se o dvoučárkované c, takže je pro tento tón v matematicko-fyzikálních tabulkách napsána frekvence 523,25 Hz. Tato frekvence však není odpovídající frekvenci hrané na klarinet, protože jak jsem se již v předchozích částech zmiňoval, klarinet je hudební nástroj laděný in B. To znamená, že pokud někdo hraje na klarinet tón c2 znějícím tónem je b, položený o sekundu níže. Frekvence odpovídající tónu b1 je 466,16 Hz.

Tento fakt o posunu tónu vychází z hudební teorie a uvádím ho pouze zde u prvního měření. V dalších částech už pouze budu psát, jaký tón hraji a jaký tón je znějící.

Také bych chtěl ukázat, z jakých grafů jsem vycházel. Na obrázku číslo 1 je graf generovaný programem Adobe audition 2.0, který bylo možno dále



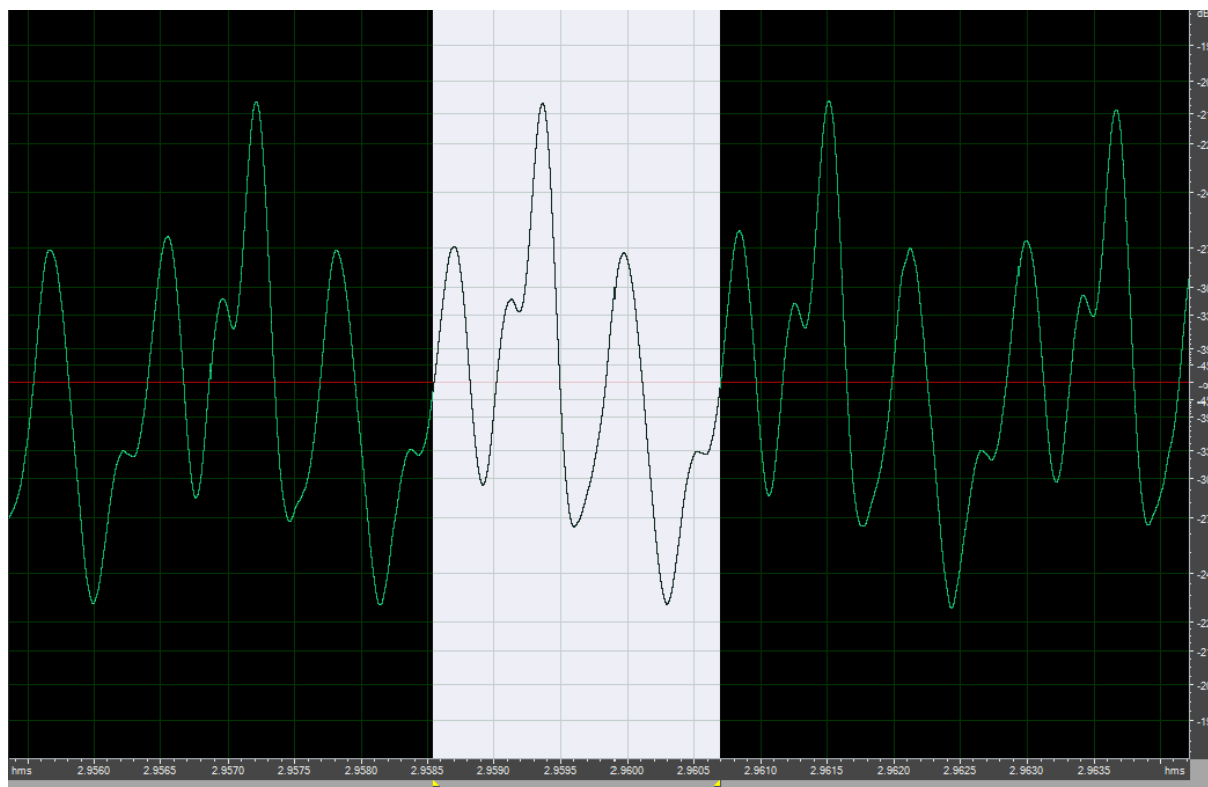
Obrázek 1: Graf generovaný programem Adobe audition 2.0, záznam tónu c2

upravovat. Tento graf ukazuji pouze jako demonstraci toho, z čeho jsem vycházel. Hledané hodnoty z něj vyčíst nelze.

Dříve, než se dostaneme k samotnému výpočtu frekvence, chci ukázat ještě jeden bližší záběr stejného grafu, jako byl na obrázku 1, ale s větším přiblížením, kdy už lze rozpoznat jednotlivé periody.

Na obrázku číslo 2 můžeme vidět bíle vyznačenou jednu periodu tónu c2. Zelená křivka značí průběh, červená přímka je počáteční osa. Na zbylém černém poli můžeme vidět stále se opakující jev. Osou x je čas a osou y intenzita zvuku.

Tón c2:

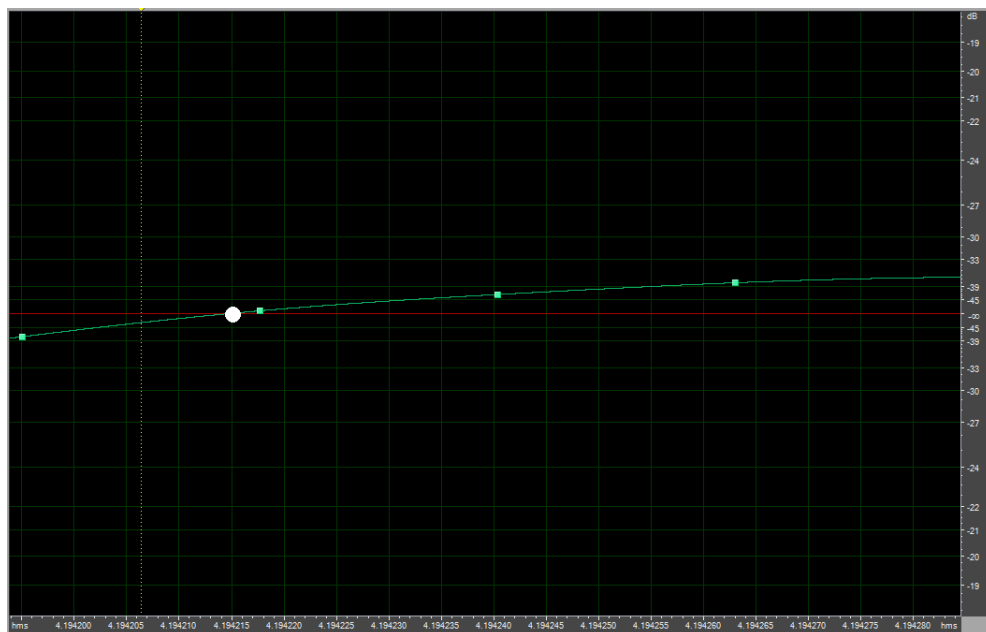


Obrázek 2: Graf generovaný programem Adobe audition 2.0, záznam tónu c2 větší přiblížení

Nyní se můžeme přesunout k samotnému výpočtu period. Z grafu, zobrazeném na obrázku 2, by nebylo ještě možné určit přesně periodu, proto jsem musel pro toto určení graf vždy maximalizovat pro odečet přesného čísla.

Na obrázku 3 je pro ilustraci ukázáno, jak jsem hodnoty odečítal. Bílý bod na grafu znázorňuje počátek periody, pod kterým je příslušný čas. Stejným způsobem se pak dále musí určit i konec jedné periody. Kdybych nepoužil takto přesná čísla, nedalo by se na konci určit přesnou frekvenci. Díky tomuto přesnému měření se také následně promítla pouze mála chyba měření.

Počátek periody:



Obrázek 3: Graf generovaný programem Adobe audition 2.0, záznam tónu c2 s maximálním přiblížením

Nastává samotné zpracování naměřených dat do tabulky. V tabulce se nachází dva údaje o čase t_1, t_2 , kde t_1 určuje čas, kdy začíná jedna perioda a t_2 určuje čas, kdy perioda skončila. Rozdílem t_2 a t_1 zjistíme periodu T . Všechny tyto veličiny uvádím v sekundách s.

Jako soustavnou chybu měřidla jsem určil jednu polovinu nejmenšího dílku a absolutní chyba se počítala jako součet těchto dvou soustavných chyb měřidla, protože se jednalo o operaci rozdílu. Relativní chyba vyšla pouze v setinách procenta, protože mé měření nebylo prováděno ručně, ale odečítáním hodnot zobrazených počítačem.

Č. m.	t_1	e_{t1}	t_2	e_{t2}	T	e_t
	s	s	s	s	s	s
1.	2,9585350	0,0000005	2,9606900	0,0000005	0,002155	0,000001
2.	2,9353850	0,0000005	2,9375150	0,0000005	0,002130	0,000001
3.	3,2254750	0,0000005	3,2276250	0,0000005	0,002150	0,000001
4.	3,8505700	0,0000005	3,8527150	0,0000005	0,002145	0,000001
5.	4,1598500	0,0000005	4,1620050	0,0000005	0,002155	0,000001
6.	4,9826800	0,0000005	4,9848400	0,0000005	0,002160	0,000001
7.	6,8328000	0,0000005	6,8349550	0,0000005	0,002155	0,000001
8.	8,3666585	0,0000005	8,3687300	0,0000005	0,002071	0,000001
9.	9,5914600	0,0000005	9,5936050	0,0000005	0,002145	0,000001
10.	9,9719800	0,0000005	9,9741200	0,0000005	0,002140	0,000001
\bar{X}					0,002141	0,000001
e					0,000001	
e_r					0,05%	

Hledaná frekvence je pouze převrácenou hodnotou periody a její chyba by měla být totožná, jako u periody.

Proto jsem vyjádřil frekvenci takto:

$$f = (467,15 \pm 0,22) \text{ Hz} ; e_r = 0,05\%$$

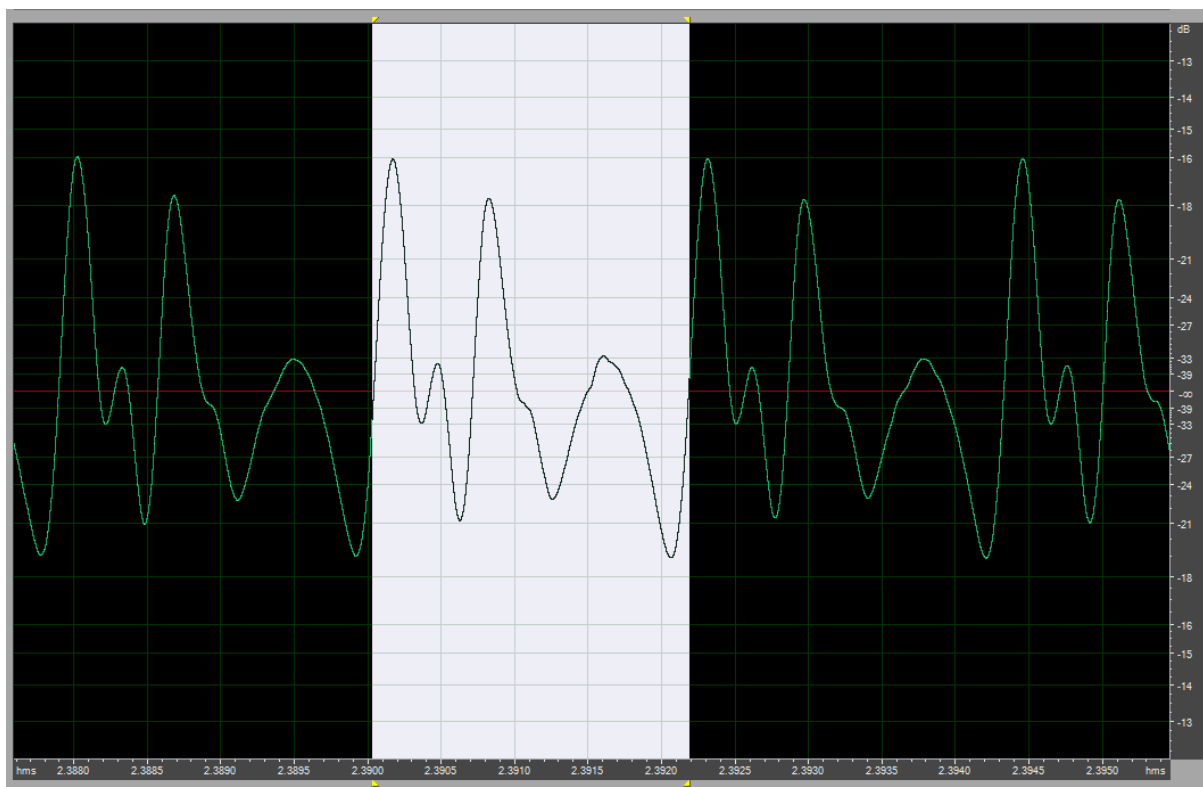
Frekvence určená v matematicko-fyzikálních tabulkách je 466,16 Hz a má hraná frekvence je $467,15 \pm 0,22\text{Hz}$. To znamená, že můj klarinet Amati Kraslice je výš na tónu c2 pouze o $0,99 \pm 0,22\text{Hz}$. Z čehož vyplývá, že klarinet na tomto tónu ladí, neboť rozdíl ve frekvenci $0,99 \pm 0,22\text{Hz}$ není pouhým uchem rozeznatelný.

4.1.2 Tón c2 klarinet Buffet, plátek 2,5

Nyní bych chtěl pro porovnání ukázat, jak to s frekvencí vychází pro jiný typ klarinetu, francouzské značky Buffet.

Průběh měření a předpokládaná frekvence 466,16Hz jsou stejné, proto už zde nebudu rozepisovat všechny údaje, které jsem vypisoval u předchozího měření.

Předpoklad je, že oba tóny by se sice měli lišit, ale jen nepatrně, proto zde opět uvedu jednu periodu tónu, pro možné porovnání.



Obrázek 4: Graf generovaný programem Adobe audition 2.0, záznam tónu c2

Nyní se už můžeme rovnou odebrat k výpočtu periody a následnému odvození frekvence.

Č. m.	t_1	e_{t1}	t_2	e_{t2}	T	e_t
	s	s	s	s	s	s
1.	2,3900450	0,0000005	2,3921800	0,0000005	0,002135	0,000001
2.	3,5009650	0,0000005	3,5031050	0,0000005	0,002140	0,000001
3.	3,5224250	0,0000005	3,5245600	0,0000005	0,002135	0,000001
4.	3,6639900	0,0000005	3,6661300	0,0000005	0,002140	0,000001
5.	4,2216800	0,0000005	4,2238150	0,0000005	0,002135	0,000001
6.	5,1096750	0,0000005	5,1118150	0,0000005	0,002140	0,000001
7.	5,2104900	0,0000005	5,2126300	0,0000005	0,002140	0,000001
8.	6,6516660	0,0000005	6,6537950	0,0000005	0,002129	0,000001
9.	6,8490150	0,0000005	6,8511450	0,0000005	0,002130	0,000001
10.	7,8741155	0,0000005	7,8762500	0,0000005	0,002134	0,000001
\bar{X}					0,002136	0,000001
e					0,000001	
e_r					0,05%	

Měření probíhalo totožně, jako u předchozího tónu.

Frekvence vyšla takto:

$$f = (468,20 \pm 0,22) \text{ Hz} ; e_r = 0,05\%$$

Frekvence určená v matematicko-fyzikálních tabulkách je 466,16 Hz a má hraná frekvence je $468,20 \pm 0,22 \text{ Hz}$. Klarinet značky Buffet je na tónu c2 výš o $2,04 \pm 0,22 \text{ Hz}$.

Nyní můžeme porovnat oba klarinety. Při měření byla použita u obou klarinetů stejná hubice i plátek a měření probíhalo za stejných podmínek, proto můžeme říci, že měření je v tomto ohledu směrodatné.

Tabulka pro porovnání naměřených hodnot:

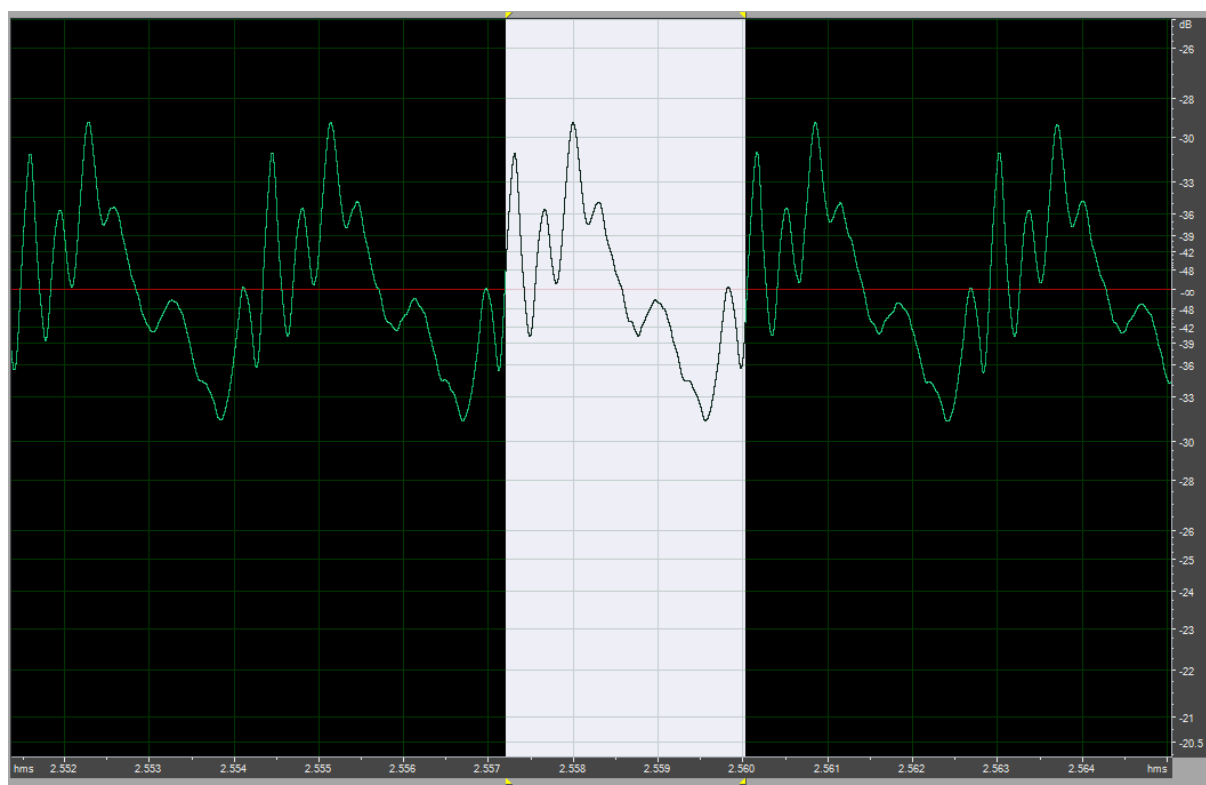
tón c2	f		e
	Hz		Hz
Matematicko-fyzikální tabulky	466,16	±	0
Amati kraslice	467,15	±	0,22
Buffet crampon	468,2	±	0,22

V měření pro tón c2 vychází lépe klarinet Amati Kraslice, protože jeho frekvence se nejvíce blíží k 466,16 Hz, ale ve výsledku oba tyto klarinety pro poslech ladí, protože odchylka obou dvou je velmi malá. Tento fakt, jsem odvodil od toho, že pro většinu lidí je obtížné od sebe rozeznat dva osminotóny, mezi kterými je odchylka 6,74 Hz. Toto číslo jsem odvodil z matematicko-fyzikálních tabulek.

4.1.3 Tón g1 klarinet Amati, plátek 2,5

Další tón ke zkoumání jsem zvolil jednočárkované g. Jeho klarinetová frekvence by měla být 349,23Hz odpovídající znějícímu f1.

Na následujícím obrázku se nachází bíle vyznačená jedna perioda. V porovnání s tónem c2 si lze povšimnout, že průběh tohoto tónu je mnohem komplikovanější. Je to způsobeno tím, že je níže posazen a jeho frekvence je nižší než u předcházejícího c2. Z tohoto důvodu je i delší doba trvání periody.



Obrázek 5: Graf generovaný programem Adobe audition 2.0, záznam tónu g1

Naměřené hodnoty vycházejí takto:

Č. m.	t_1	e_{t1}	t_2	e_{t2}	T	e_t
	s	s	s	s	s	s
1.	2,2637000	0,0000005	2,2665300	0,0000005	0,002830	0,000001
2.	2,6730705	0,0000005	2,6759250	0,0000005	0,002854	0,000001
3.	3,0174050	0,0000005	3,0202550	0,0000005	0,002850	0,000001
4.	3,6527100	0,0000005	3,6555500	0,0000005	0,002840	0,000001
5.	4,1426950	0,0000005	4,1455400	0,0000005	0,002845	0,000001
6.	6,2351100	0,0000005	6,2379650	0,0000005	0,002855	0,000001
7.	7,3834650	0,0000005	7,3863150	0,0000005	0,002850	0,000001
8.	8,0927200	0,0000005	8,0955700	0,0000005	0,002850	0,000001
9.	9,7601055	0,0000005	9,7629550	0,0000005	0,002849	0,000001
10.	12,0341550	0,0000005	12,0369950	0,0000005	0,002840	0,000001
\bar{X}					0,002846	0,000001
e					0,000001	
e_r					0,04%	

Následná frekvence potom:

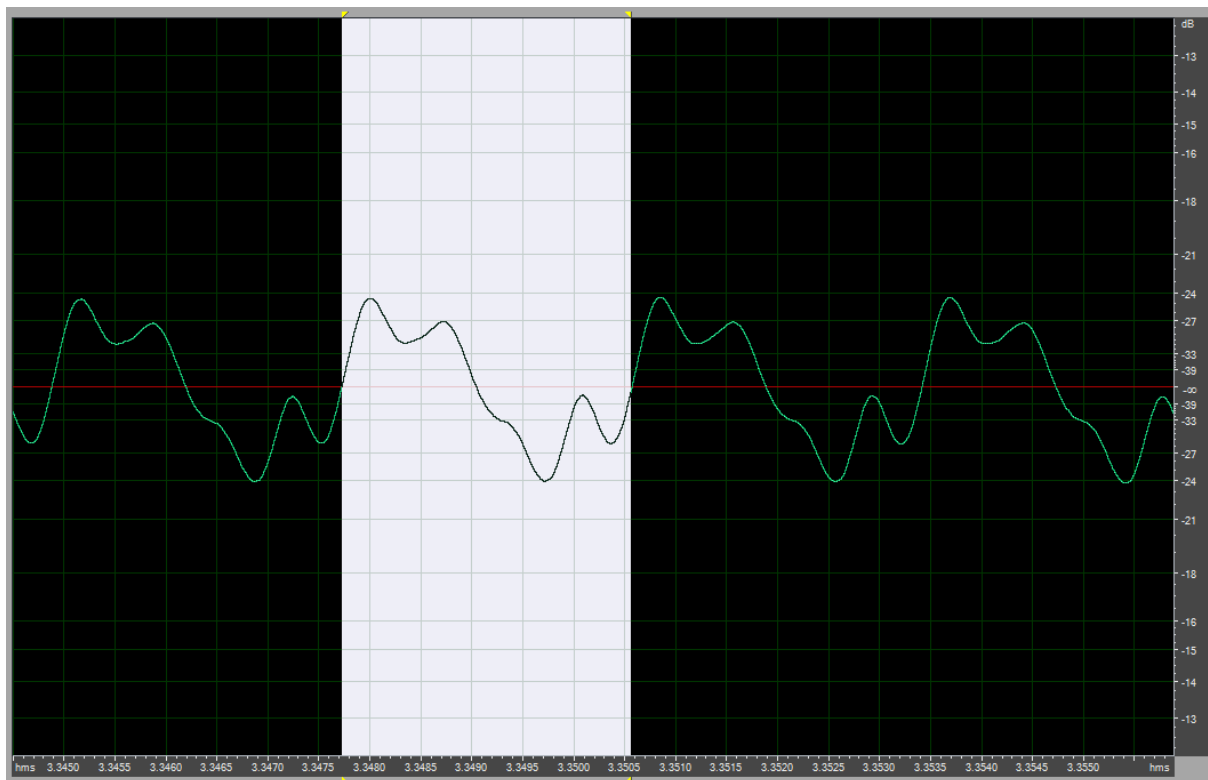
$$f = (351,32 \pm 0,12) \text{ Hz} ; e_r = 0,04\%$$

Předpokládaná frekvence byla 349,23Hz a výsledná činí $351,32 \pm 0,12\text{Hz}$. Opět je klarinet Amati intonačně výš přesně o $2,09 \pm 0,12\text{Hz}$.

4.1.4 Tón g1 klarinet Buffet, plátek 2,5

Pro porovnání vkládám výsledky pro druhý typ klarinetu.

Na grafu níže si lze povšimnout, že periodický průběh je u klarinetu Buffet čistší než u klarinetu Amati.



Obrázek 6: Graf generovaný programem Adobe audition 2.0, záznam tónu g1

Výsledky měření:

Č. m.	t_1	e_{t1}	t_2	e_{t2}	T	e_t
	s	s	s	s	s	s
1.	0,9998850	0,0000005	1,0027400	0,0000005	0,002855	0,000001
2.	2,5571900	0,0000005	2,5600500	0,0000005	0,002860	0,000001
3.	2,8175700	0,0000005	2,8204350	0,0000005	0,002865	0,000001
4.	3,5134000	0,0000005	3,5162600	0,0000005	0,002860	0,000001
5.	3,8686350	0,0000005	3,8714900	0,0000005	0,002855	0,000001
6.	4,7138900	0,0000005	4,7167550	0,0000005	0,002865	0,000001
7.	5,1521900	0,0000005	5,1550400	0,0000005	0,002850	0,000001
8.	7,5285750	0,0000005	7,5314400	0,0000005	0,002865	0,000001
9.	8,0622200	0,0000005	8,0650900	0,0000005	0,002870	0,000001
10.	9,0762350	0,0000005	9,0791050	0,0000005	0,002870	0,000001
\bar{X}					0,002861	0,000001
e					0,000001	
e_r					0,03%	

Výsledná frekvence:

$$f = (349,47 \pm 0,12) \text{ Hz} ; er = 0,03\%$$

Předpokládaná frekvence byla $349,23\text{Hz}$ a výsledná činí $349,47 \pm 0,12\text{Hz}$. Tentokrát výsledky měření pro klarinet typu Buffet vycházejí takřka přesně. Odchylka je pouhých $0,24 \pm 0,12\text{Hz}$.

Porovnání obou klarinetu:

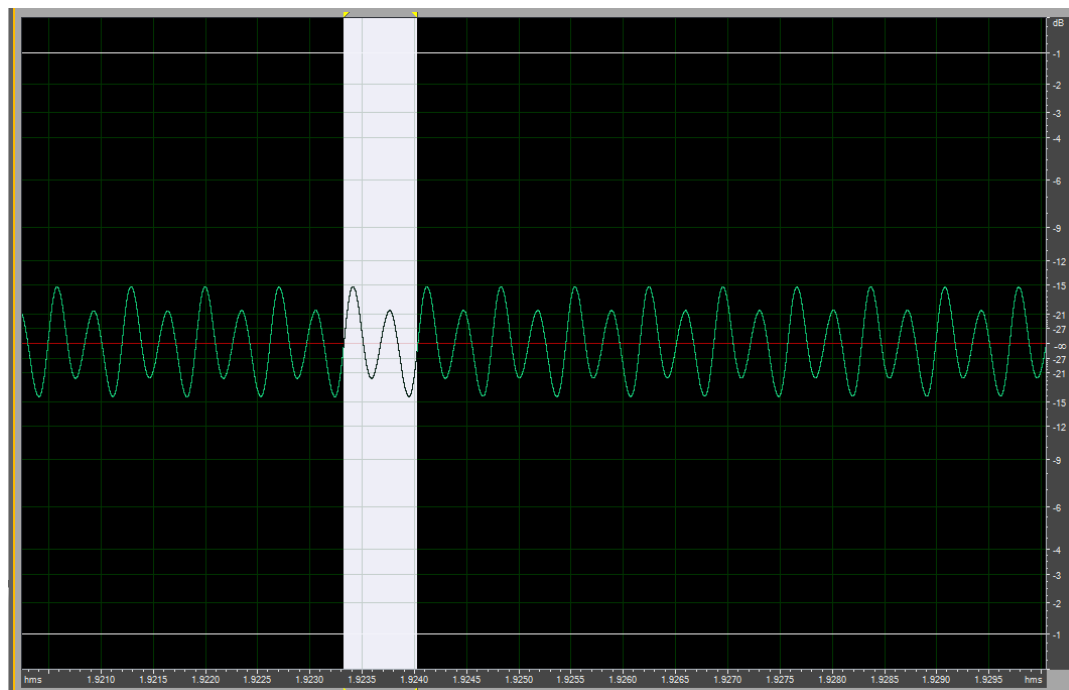
tón g1	f		e
	Hz		Hz
Matematicko-fyzikální tabulky	349,23	±	0
Amati kraslice	351,32	±	0,12
Buffet crampon	349,47	±	0,12

V této referenci vychází klarinet značky Buffet jednoznačně lépe.

4.1.5 Tón g3 klarinet Amati, plátek 2,5

U tohoto tónu se již nechci věnovat porovnáním u dvou klarinetů, protože se ukázalo, že frekvenční výchylky dvou klarinetů jsou pouze malé a už by nemělo smysl se tímto znovu zabírat. Chtěl bych se věnovat průběhu tohoto tónu a také více frekvenční analýze.

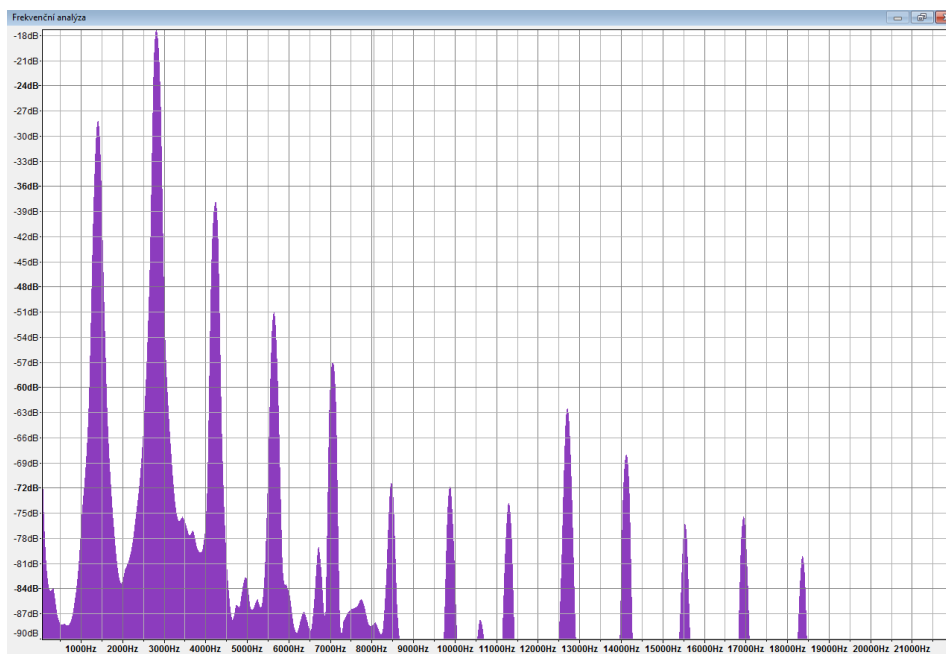
Na grafu níže si můžeme povšimnout, že průběh této křivky se poměrně blíží ke křivce sinusoidy, ale na vyznačené periodě si můžeme povšimnout, že se skládá stále ze dvou složek.



Obrázek 7: Graf generovaný programem Adobe audition 2.0, záznam tónu g3

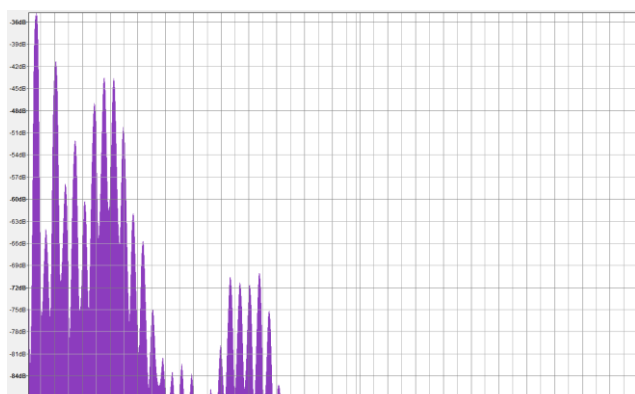
Čistší průběh křivky tohoto tónu je dán tím, že jsou v něm již méně zastoupené vyšší harmonické frekvence a také je jich méně oproti stejným tónům hraných o oktávy níže.

Frekvenční analýzu můžeme vidět na sloupcovém grafu níže, kdy první sloupec znázorňuje základní frekvenci. Ostatní sloupce jsou násobky základní frekvence, které určují barvu tónu.

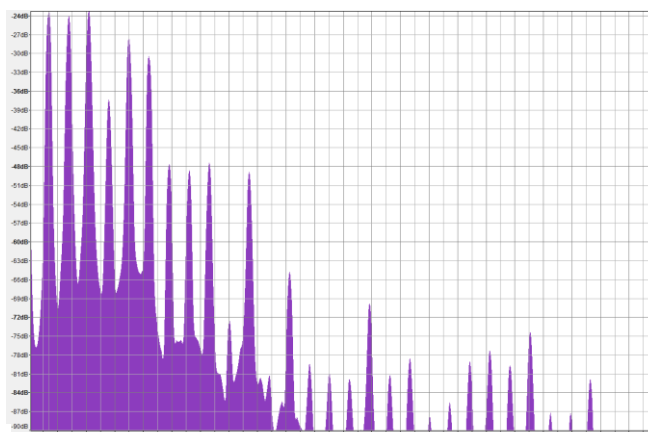


Obrázek 8: Graf generovaný programem Audacity, frekvenční analýza tónu g3

Pro porovnání vkládám níže tóny g1 a g2, na kterých je možné si povšimnout, že mají více složek vyšších harmonických frekvencí. Mimo to si lze povšimnout, že jednotlivé harmonické složky jsou u nižších tónů zastoupeny ve větším počtu s vyšší intenzitou než u g3.



Obrázek 9: Graf generovaný programem Audacity, frekvenční analýza tónu g1



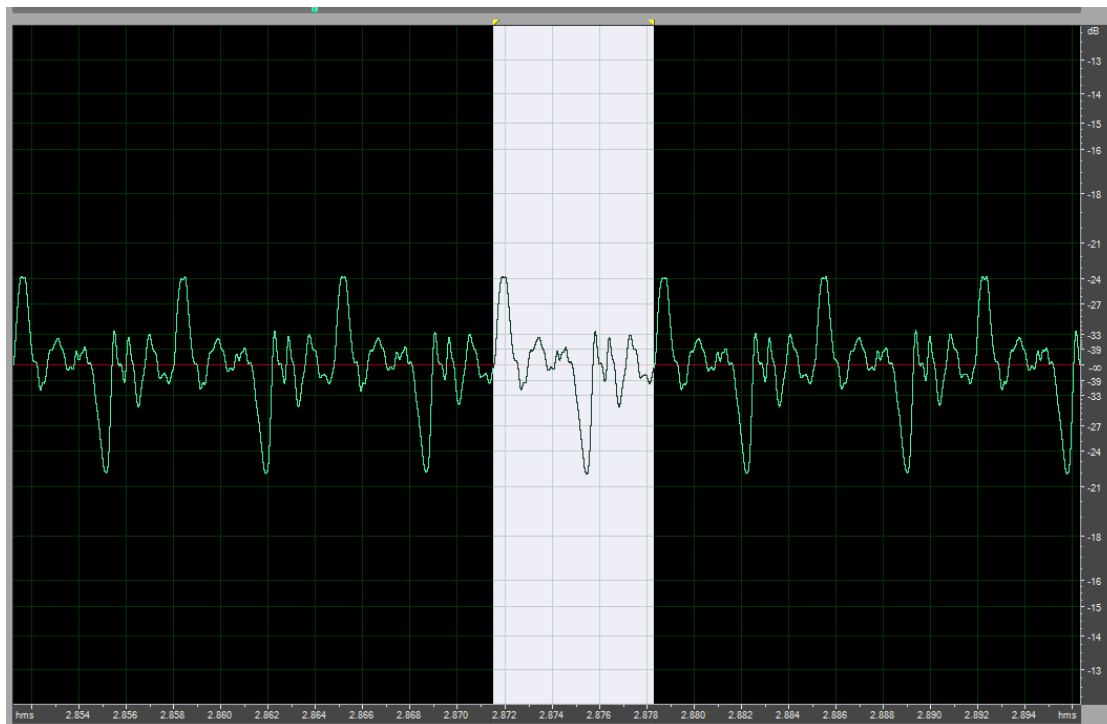
Obrázek 10: Graf generovaný programem Audacity, frekvenční analýza tónu g2

Pro přehled níže umisťuji tabulku, ve které jsou vypsány všechny harmonické frekvence, které jsou u těchto tří tónů v zastoupení. Pokud se v tabulce nacházejí prázdná pole, znamená to, že daný tón už další vyšší harmonické frekvence nemá. Například u g3 by to už ani nebylo možné, protože pokud by se u něj nacházela další harmonická frekvence, přesáhla by již hranici 20kHz a byla by za hranicí slyšitelnosti.

vyšší harmonická frekvence	g1	g2	g3
	Hz	Hz	Hz
1	349	711	1414
2	698	1397	2828
3	1048	2095	4242
4	1397	2794	5656
5	1746	3492	7070
6	2095	4191	8484
7	2445	4889	9898
8	2794	5588	11312
9	3143	6286	12726
10	3492	6985	14140
11	3842	7683	15554
12	4191	8382	16968
13	4540	9080	18382
14	4889	9778	
15	5238	10477	
16	5588	11175	
17	5937	11874	
18	6286	12572	
19	6635	13271	
20	6985	13969	
21	7334	14668	
22	7683	15366	
23	8032	16065	
24	8382	16763	
25	8731	17462	
26	9080	18160	
27	9429	18858	
28		19557	

4.1.6 Tón malé E klarinet Amati, plátek 2,5

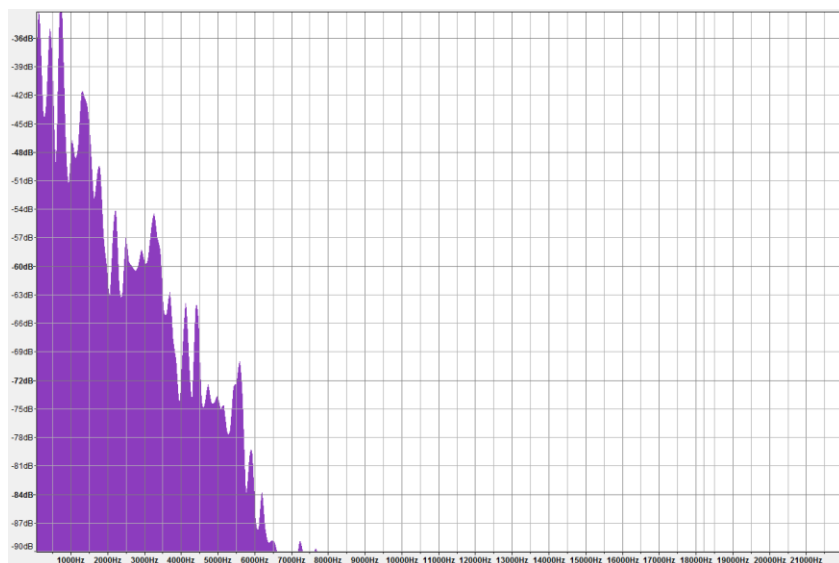
Toto je nejnížší možný tón hratelný na klarinet a je opět zajímavý svým průběhem na čase. Jeho perioda je velmi nesouměrná, a proto ji sem uvádím. Je to dáno tím, že jakožto nejnížší tón má nejmenší frekvenci, a proto i nejdelší periodu.



Obrázek 11: Graf generovaný programem Adobe audition 2.0, záznam tónu malého E

Nesouměrnost průběhu tohoto tónu je dána tím, že v jeho průběhu je zastoupeno nejvíce násobků základní frekvence. Jedná se o číslo až padesátého násobku, avšak ne všechny násobky jsou svou intenzitou nad hranou slyšitelnosti. Na základě zkoumání tedy lze usoudit, že čím nižší tón se hraje, tím více vyšších harmonických frekvencí je v něm zastoupeno a naopak, že čím vyšší tón se hraje, tím méně vyšších harmonických frekvencí je zastoupeno.

Na grafu je frekvenční analýza malého E



Obrázek 12: Graf generovaný programem Audacity, frekvenční analýza malého E

Zastoupení vyšších harmonických frekvencí pro malé E:

násobek	Hz	násobek	Hz
1	147	26	3818
2	294	27	3964
3	440	28	4111
4	587	29	4258
5	734	30	4405
6	881	31	4552
7	1028	32	4699
8	1175	33	4845
9	1321	34	4992
10	1468	35	5139
11	1615	36	5286
12	1762	37	5433
13	1909	38	5580
14	2056	39	5726
15	2202	40	5873
16	2349	41	6020
17	2496	42	6167
18	2643	43	6314
19	2790	44	6461
20	2937	45	6607
21	3083	46	6754
22	3230	47	6901
23	3377	48	7048
24	3524	49	7195
25	3671	50	7342

4.2 Vliv plátků na alikvotní tóny

Tato část, je poslední z kapitoly naměřených hodnot a budu se v ní zabývat tím, jaký vliv mají jednotlivé tvrdosti plátků na vyšší harmonické frekvence neboli alikvotní tóny. Jednotlivé plátky nemohou ovlivnit základní frekvenci, a proto jsem se v předchozí části využil pouze jednu tvrdost plátku pro všechna měření. Jednotlivé tvrdosti plátků potom mají vliv na barvu tónu a to tak, že u každého plátku jsou výraznější jiné násobky základní frekvence.

V předchozí části jsem uváděl, všechny harmonické frekvence pro malé E, ale ne všechny vypsané frekvence byli zastoupeny velkou intenzitou. Mnoho z nich se nacházelo pod hranou slyšitelnosti pro lidské ucho. Uváděl jsem je jen proto, abych ukázal, jaký vliv mohou mít na křivku grafu.

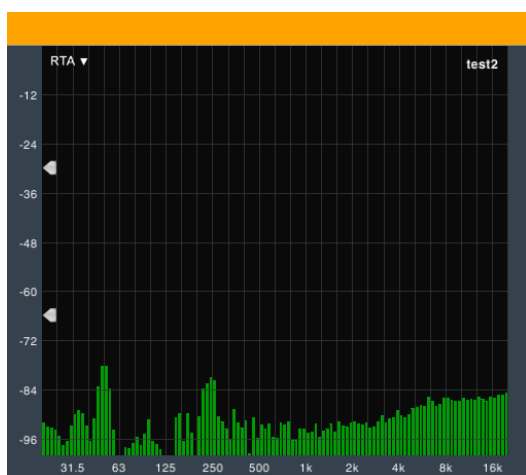
Jak už jsem tedy naznačil, tvrdosti jednotlivých plátků budou tedy mít mimo jiné vliv na intenzitu zastoupení alikvotních tónů. Neznamená to tedy, že by u jednotlivých plátků, alikvotní tóny chyběly úplně, ale jsou zastoupeny pouze malou nebo neslyšitelnou intenzitou.

K rozboru uvádím tón c2, kdy vždy uvedu 3 grafy pro jednu tvrdost plátku. Plátky, které jsem použil, jsou tvrdosti 2; $2\frac{1}{2}$ a 3 značky Vandoren.

První uvádím plátek tvrdosti 2, grafy které ukazují, jsou generovány programem Smaart 7 a zobrazují intenzitu na jednotlivých frekvencích na celém slyšitelném frekvenčním spektru.

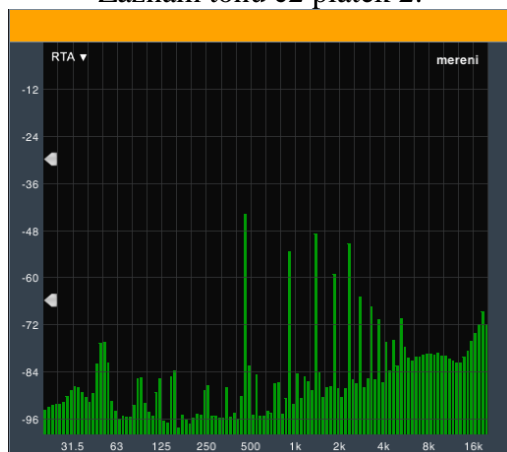
Nejprve uvedu ještě zvukový podklad, který se nachází v místnosti, kde probíhalo měření a nelze eliminovat. Na grafu se nachází různý šum, který nejspíše způsobuje procesor počítače a dále na frekvenci 50Hz je zaznamenán zdroj napájení počítače.

Graf zvukového pozadí:

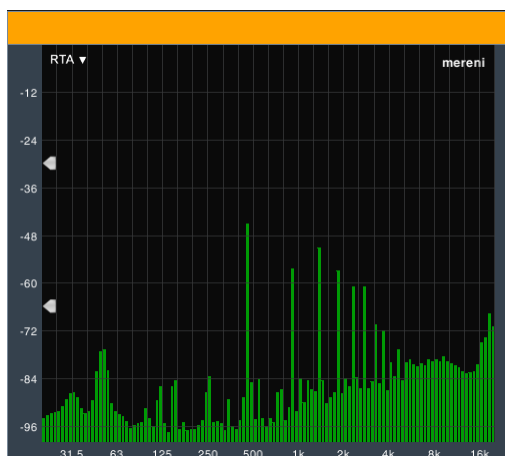


Obrázek 13: graf generovaný programem Smaart 7, zvukové pozadí

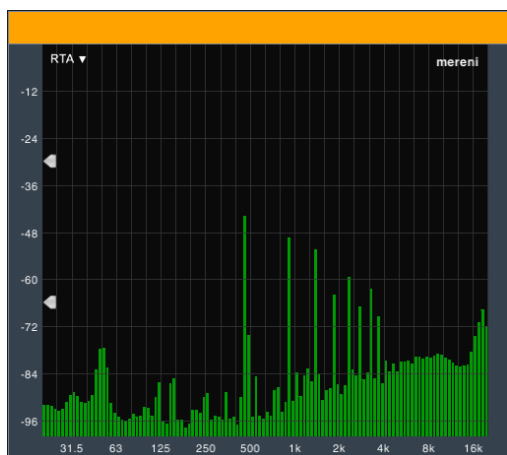
Záznam tónu c2 plátek 2:



Obrázek 15: c2 plátek 2 měření 1

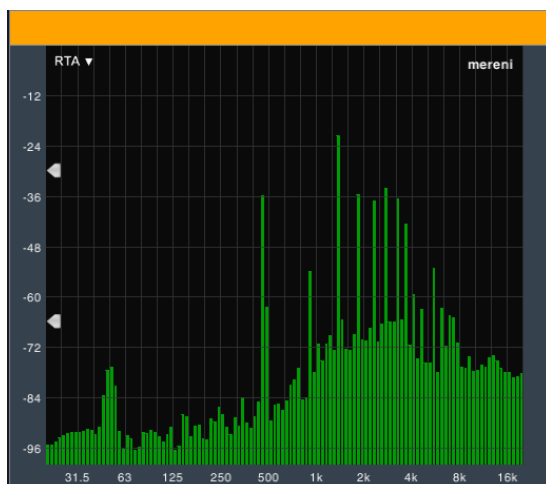


Obrázek 14: c2 plátek 2 měření 2

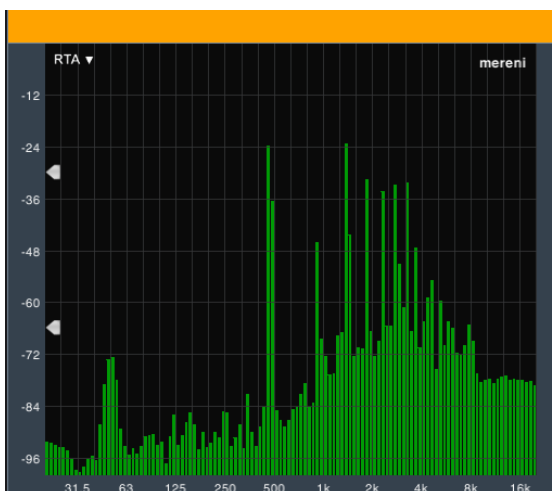


Obrázek 16: c2 plátek 2 měření 3

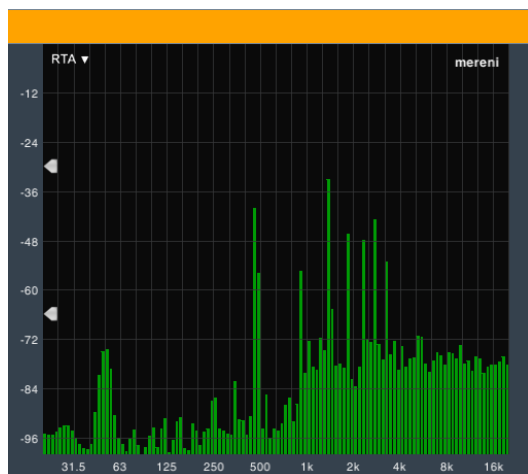
Záznam tónu c2 plátek 2 $\frac{1}{2}$:



Obrázek 18: c2 plátek 2,5 měření 1

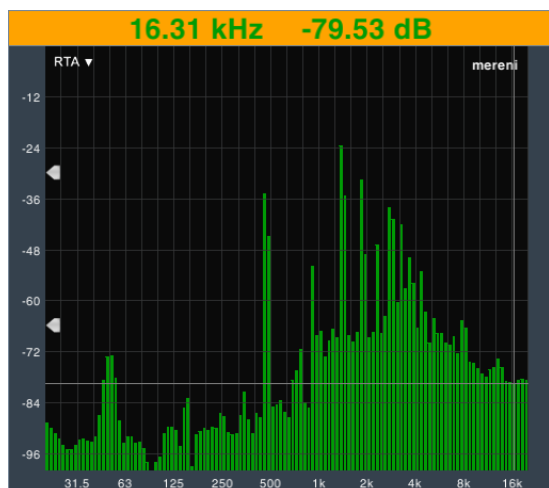


Obrázek 17: c2 plátek 2,5 měření 2

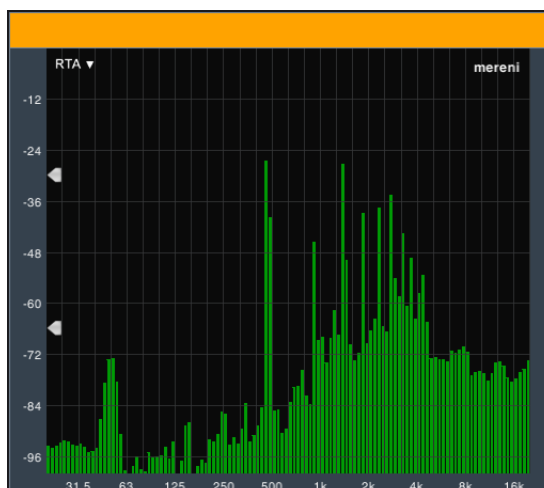


Obrázek 19: c2 plátek 2,5 měření 3

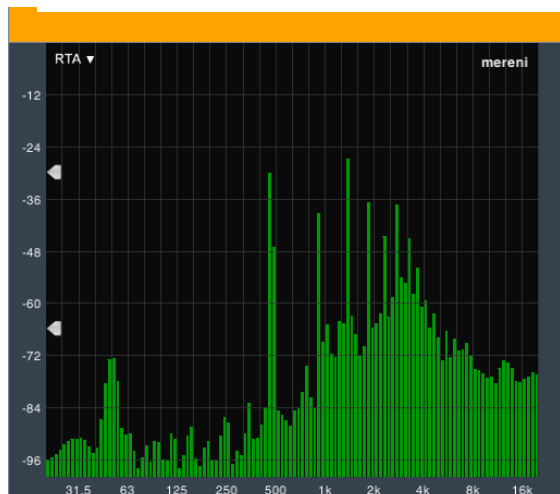
Záznam tónu c2 plátek 3:



Obrázek 21: c2 plátek 3 měření 1



Obrázek 20: c2 plátek 3 měření 2



Obrázek 22: c2 plátek 3 měření 3

Z grafů si lze povšimnout, že při použití plátku tvrdosti 2 jsou na grafech ostře zastoupeny všechny vyšší harmonické frekvence a nejsilnější složkou je základní frekvence. Kdežto u plátku tvrdosti $2\frac{1}{2}$ si lze povšimnout, že nejsilnější složkou se stává třetí harmonická frekvence a také se rysuje silnější základová složka. U plátku tvrdosti 3 lze vidět, že nejsilnější složkou je třetí harmonická frekvence společně se základní harmonickou frekvencí a výrazně se u tohoto plátku projevuje šum, který zdvihá celou výplň grafu směrem nahoru.

5 Závěr

V této části bych chtěl pouze shrnout, jak má práce dopadla a jak se průběh vypracování této práce lišil od původních předpokladů.

Prvním kamenem úrazu byla fyzikální komplexnost tohoto tématu a jeho šíře. Vyhodnocování některých naměřených hodnot proto bylo velmi obtížné. Například analýza vyšších harmonických frekvencí byla spíše hypotetická, než odborná.

Dále bylo v původním předpokladu zpracování vícera tónů klarinetu, protože se ale ukázalo, že zpracování jednotlivých tónů je velmi zdlouhavé musel jsem se uchýlit k výběru pouze pár vybraných tónů především tónu *c* a *g*.

S výsledkem měření jsem byl ve většině případů spokojený. Měření v programu Adobe Audition a Audacity bylo bezproblémové pouze vyhodnocování výsledků z programu Smaart 7 bylo obtížnější.

Jedno z měřidel, které jsem také použil, byl PDA přístroj Labquest 2, který také uměl zaznamenávat graf průběhu zvuku na čase, ale kvůli větší nepraktičnosti jsem nakonec tento přístroj odsunul stranou.

Tato práce se mi líbila a byla i pro mě, jakožto muzikanta, přínosná.

6 Zdroje

Písemné zdroje:

[1] LEPIL, Oldřich. Milan Bednařík. *Fyzika pro střední školy II*. Dotisk 3., přeprac. vyd.

Praha: Prometheus, 2001. ISBN 978-807-1961-857.

[2] MIKULČÁK, Jiří. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*.

1. vyd. Praha: Prometheus, c2003, 276 s. ISBN 80-719-6264-3.

Elektronické zdroje:

[1] Encyklopedie fyziky. *Zvukové vlnění* [online]. 2006 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z:

<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/152-zvukove-vlneni>

[2] Wikipedia: Otevřená encyklopedie. *Zvuk* [online]. 15. 3. 2015 [cit. 2015-03-21]. Dostupné

z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Zvuk>

[3] Akustika. *Akustika, vznik a šíření zvuku, frekvenční analýza a syntéza, sluchový vjem zvukového signálu* [online]. 2012 [cit. 2015-03-21]. Dostupné z:

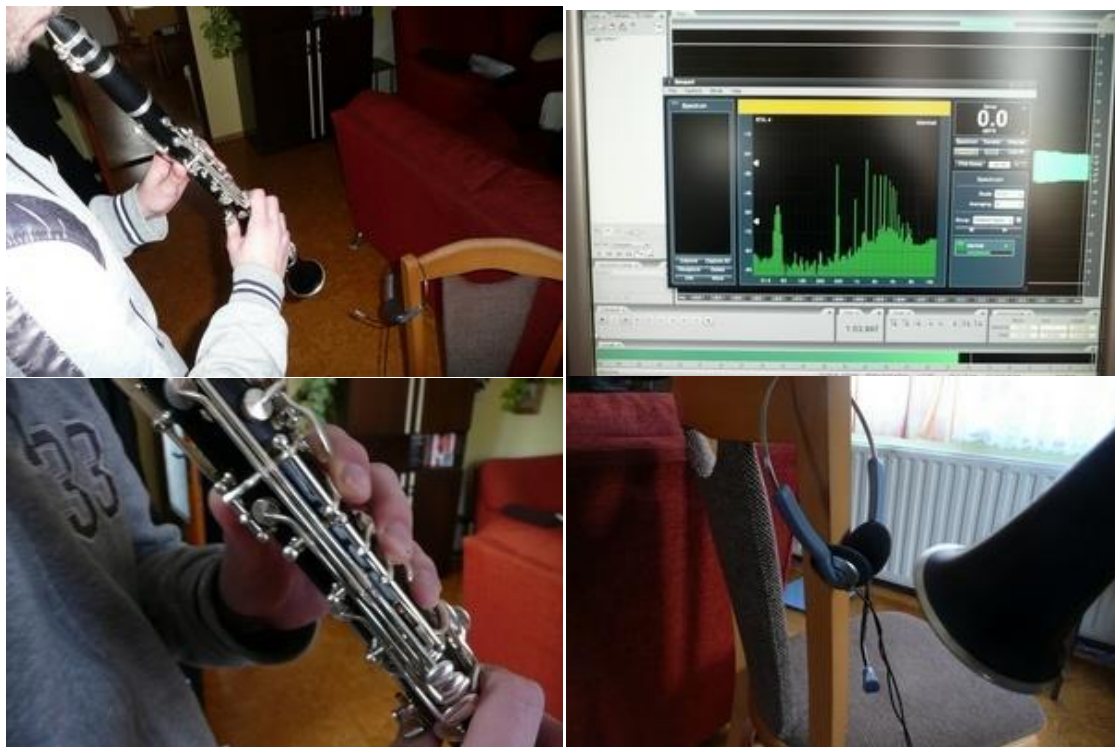
http://homen.vsb.cz/~ber30/texty/varhany/anatomie/pistaly_akustika.htm

[4] HOLČÍK, Lukáš. *Spektrální analýza hudební skladby*. Brno, 2009. Diplomová práce.

FAKULTA INFORMATIKY MASARYKOVY UNIVERZITY.

7 Přílohy

Fotodokumentace:



Obrázek 23: Záběry z měření