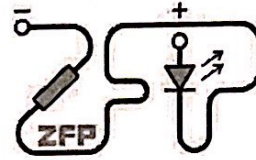


MOŽNIVNÝ CO Z V PŮPISKU GRAFU
NEODPÍŠ DO GRAFU SPOJNICE, SPÍŠE DÁVAŠ

Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum I (NOFY066)



Úloha č. XXVI

Název úlohy: Studium kmitů struny

Jméno: Josef Kučera

Obor: FOF

Datum měření: 30.4.2019

Datum odevzdání: 2.5.2019

Připomínky opravujícího:

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Práce při měření	0 - 3	3
Teoretická část	0 - 2	2
Výsledky a zpracování měření	0 - 9	6
Diskuse výsledků	0 - 4	0
Závěr	0 - 1	1
Seznam použité literatury	0 - 1	1
Celkem	max. 20	13

Posuzoval: Kučera

dne: 7.5.2019

* * * * * LEGRACE, ČLOVĚK SI ZABRNKA A DOZVI SE, JAK VZNIKÁ ZVUK

Pracovní úkol

1. Změřte závislost frekvence struny na napětí.
2. Změřte závislost frekvence struny na její délce.
3. Studujte záněje vzniklé při rozladění sousedních strun.
4. Studujte harmonickou analýzu zvuku vzniklého při různém způsobu rozkmitání struny (uprostřed, na kraji, flažolety).

Theorie

Jak moudrá kniha Strouhalova ráčiti praví nám, pokud rozeznějeme chordu na polychordu horizontálním, dostati se musí k sluchům našim ton fraekvence kmitočta základního [1]

$$f_1 = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{2l} \quad (1)$$

kde l jest struny délka, c rychlost šíření zvuku a λ jest délka vlnová.

Chorda může též slynouti *harmonickými tony vyššími* o kmitočtech [1]

$$f_n = n \frac{c}{2l} \quad (2)$$

arci s amplitudou zmenšenou, než přísluší tonu základnímu.

Rychlost c šíření vln příčných v chordě odvislé jest od druhu materialu struny, též i na napětí jejím. Závislost vztahu jest [1]:

$$f_n = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

kde σ je napětí chordy a ρ její hustota.

Pro napětí chordy dáno jest [1]:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (4)$$

kde F jest silou chordu napínající a S jest chordy průřez.



Výsledky měření

Závislost frekvence struny na napětí

Třmenovým mikrometrem byl změřen průměr struny $d = (0,50 \pm 0,01)$ mm, ze kterého jsme vypočetli obsah průřezu ocelové struny S dle vzorce pro výpočet obsahu kruhu.

Pro výpočet napětí σ jsme použili vzoreček (4), dle kterého jsme vydělili odečtenou sílu na siloměru F obsahem průřezu struny S .

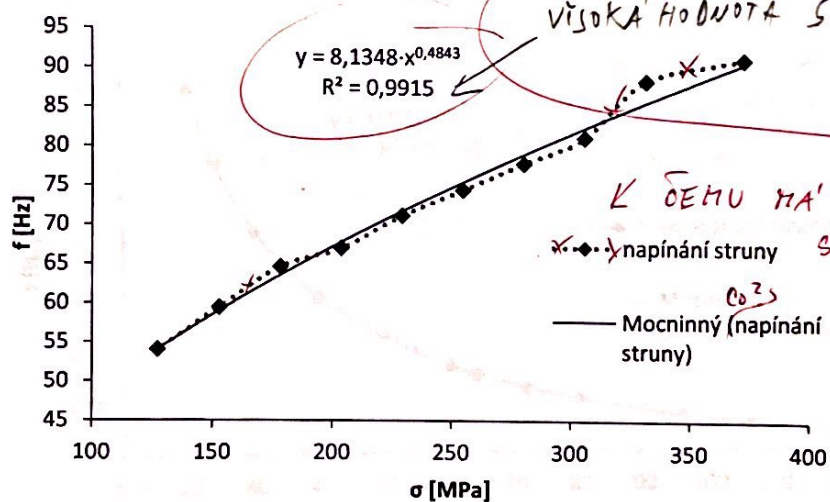
Naměřená síla F , napětí σ a základní frekvence kmitů struny f jsou v následující tabulce:

Tabulka 1: Změřené hodnoty napětí σ a frekvence f

F [N]	σ [MPa]	f [Hz]
73	372	91
65	331	89
60	306	81
55	280	78
50	255	75
45	229	71
40	204	67
35	178	65
30	153	60
25	127	54
20	102	49

PRŮMĚRNĚ
HODNOTY
ZMĚŘENÍ

↑ debata zpracování
↑ výpočet dle (-1)



Graf 1: Závislost frekvence kmitání struny na jejím napětí

Jelikož jsme měnili při tomto experimentu jen jednu proměnnou – napětí struny σ , dle vzorečku (3) by se frekvence kmitání struny f měla proměňovat se závislostí $\sqrt{\sigma}$, tedy mocninná regrese grafu 1 by měla vykazovat závislost $kx^{\frac{1}{2}}$.

Z rovnice mocninné regrese grafu 1 lze vyčíst, že $y = kx^{0,4843} \approx kx^{0,5}$. Závislost se nám tedy podařilo experimentálně potvrdit.

Závislost frekvence struny na její délce

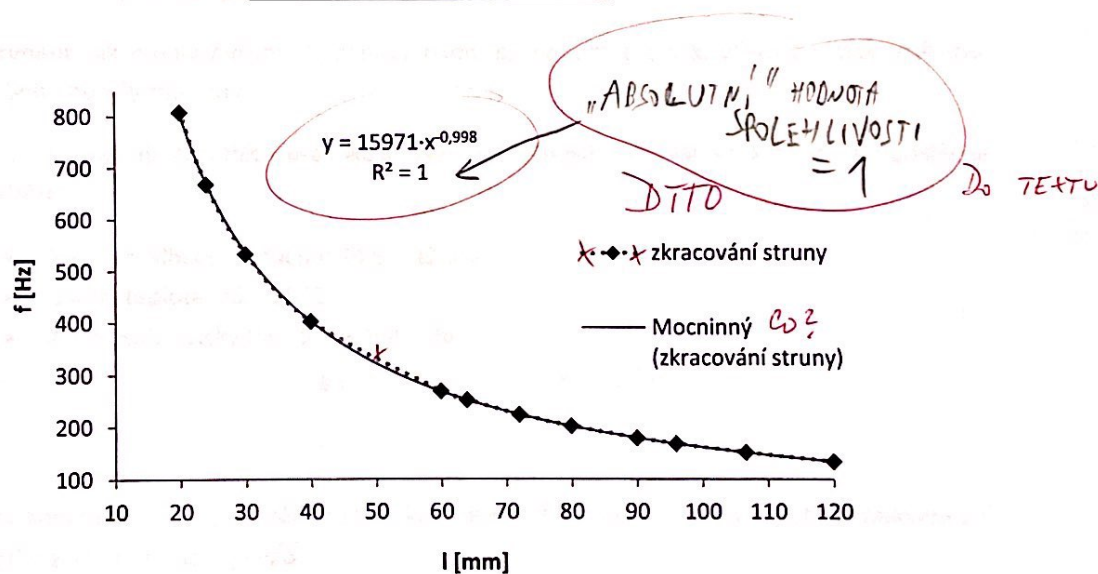
Při druhé části experimentu jsme strunu o délce $l_0 = (120 \pm 1)$ mm virtuálně zkracovali vytvářením pevných bodů na významné úseky.

Tabulka 2: Změřené hodnoty délky l a frekvence f

l [mm]	l/l_0	f [Hz]
120	1	134
107	8/9	151
96	4/5	168
90	3/4	179
80	2/3	202
72	3/5	224
64	8/15	252
60	1/2	269
40	1/3	403
30	1/4	534
24	1/5	669
20	1/6	808

PRŮMĚRNÉ
HODNOTY,
3 MĚŘENÍ

+ DITO



Graf 2: Závislost frekvence kmitání struny na její délce

Při druhém experimentu jsme jako jedinou proměnou měli délku struny l . Z rovnic (1), (2) a (3) plyne, že závislost frekvence kmitání f by se měla proměňovat se závislostí $\frac{1}{l}$, tedy mocninná regrese grafu 2 by měla vykazovat závislost kx^{-1} .

Z rovnice mocninné regrese grafu 2 lze vyčíst, že $y = kx^{-0.998} \approx kx^{-1}$. Závislost se nám tedy podařilo experimentálně potvrdit.

Studium rázů

Rázy jsme zkoumali současným rozeznáním dvou strun, z nichž jednu jsme mírně zkrátili (rozladili), abychom zvýšili frekvenci jejího kmitání.

Při studiu rázů jsme zaznamenali a vytiskli celkem 2 záznamy, kteréžto jsou v příloze str. 1 a str. 2. U 2. záznamu se nám povedlo rozeznít obě struny se skoro stejnou amplitudou, takže jsme mohli v grafu amplitudy pozorovat zhuštění měřicích čar – rázy, které jsme slyšeli i pouhým sluchem.

H KVAANTITATIVNÍ ZPRA COVÁNÍ (-)

Harmonická analýza zvuku

Při posledním experimentu se strunou jsme ji rozezněli 3 různými způsoby – brnknutím (příloha str. 3), smyčcem (příloha str. 4) a bouchnutím flétnou (příloha str. 5).

Potvrzeno bylo, že různé způsoby rozeznění struny, způsobují různý obsah a různou amplitudu vyšších harmonických tónů, tedy ovlivňuje barvu tonu.

Diskuse

Jest známo, že za zvuk jsou zodpovědny periodické změny tlaku vzduchu.

Tento experiment tak mohly ovlivnit podmínky okolí, především teplota, vlhkost a tlak vzduchu, kteréžto žel bohu nebyly změřeny.

Z naměřených hodnot na ostatních praktikách však lze stanovit interval, ve kterém se naměřené hodnoty nacházely:

- Relativní vlhkost vzduchu: 24,5 – 32,3%
- Okolní teplota: 25 – 26 °C
- Atmosphaerický tlak: 976 – 995 hPa

U FREKVENCE TVOŘÍ DOMINANTNÍ CHYBU CHYBA STATISTICKÁ.

Závěr

Ověřili jsme z lineární regrese grafu závislosti frekvence kmitání struny na jejím napětí, že frekvence f jest na napětí σ závislá vztahem $f \sim \sqrt{\sigma}$.

Dále jsme vyčetli z lineární regrese grafu závislosti frekvence kmitání struny na její délce, že frekvence f jest na délce struny l závislá vztahem $f \sim \frac{1}{l}$.

Experimentálně jsme vytvořili a změřili zvukové rázy.

Podařilo se nám prokázat, že různé způsoby rozeznění struny ovlivňují barvu jejího tonu.

Literatura

- [1] STROUHAL, Čeněk. Akustika. Praha: Jednota českých matematiků a fyziků, 1902.

Studijní text a úkoly jste nepoužili? (Přide.)

Je zprava ovlivněn!

PRÍLOHA
STRANA 1

Sound analyser
C:\Program Files (x86)\SoundAnalyser\SoundAnalyser.exe\Main.vi
Last modified on 30.4.2019 at 16:26
Printed on 30.4.2019 at 16:26

Acquisition time (s) 10

Measuring
 Processing
 Loading
 Saving
 Playing
 Printing
 Error

Processing settings

Apply crop Apply filter

Filter type: Lowpass

Lower Cut-Off (Hz): 4000

Upper Cut-Off (Hz): 47593

Start time (s): 0

End time (s): 4

Buttons: Config, Reset, Exit

Signal

Unfiltered signal

Amplitude (V)

Y-axis: Logarithmic

Cursor 0: 0.56772 0.00192

Cursor 1: 2.04192 -0.0103

Power spectrum

Power spectrum (V²)

Frequency

Cursor 0: 133.134 0.00032

Cursor 1: 137.301 0.00133

Filter magnitude response

Power spectrum (V²)

Frequency

Tonal analysis

Frequency	137,163
Amplitude	0,00965531

PĚILOHA
STRANA 2

Sound analyser
C:\Program Files (x86)\SoundAnalyser\SoundAnalyser.exe\Main.vi
Last modified on 30.4.2019 at 16:32
Printed on 30.4.2019 at 16:32

Acquisition time (s) 4

Processing settings

Apply crop Start time (s) 0 End time (s) 4

Apply filter Filter type Lowpass Lower Cut-Off (Hz) 4000 Upper Cut-Off (Hz) 4750

Buttons: Measure, Load, Save, Play, Print, Config, Reset, Exit

Buttons: Measuring, Processing, Loading, Saving, Playing, Printing, Error

Signal

Unfiltered signal

Cursor 0 X: 2.77520 Y: 0.00156
Cursor 1 X: 1.17275 Y: 0.00156

Power spectrum Y-axis Logarithmic

Unfiltered signal spectrum

Cursor 0 X: 132.986 Y: 4.03305
Cursor 1 X: 137.01 Y: 5.69992

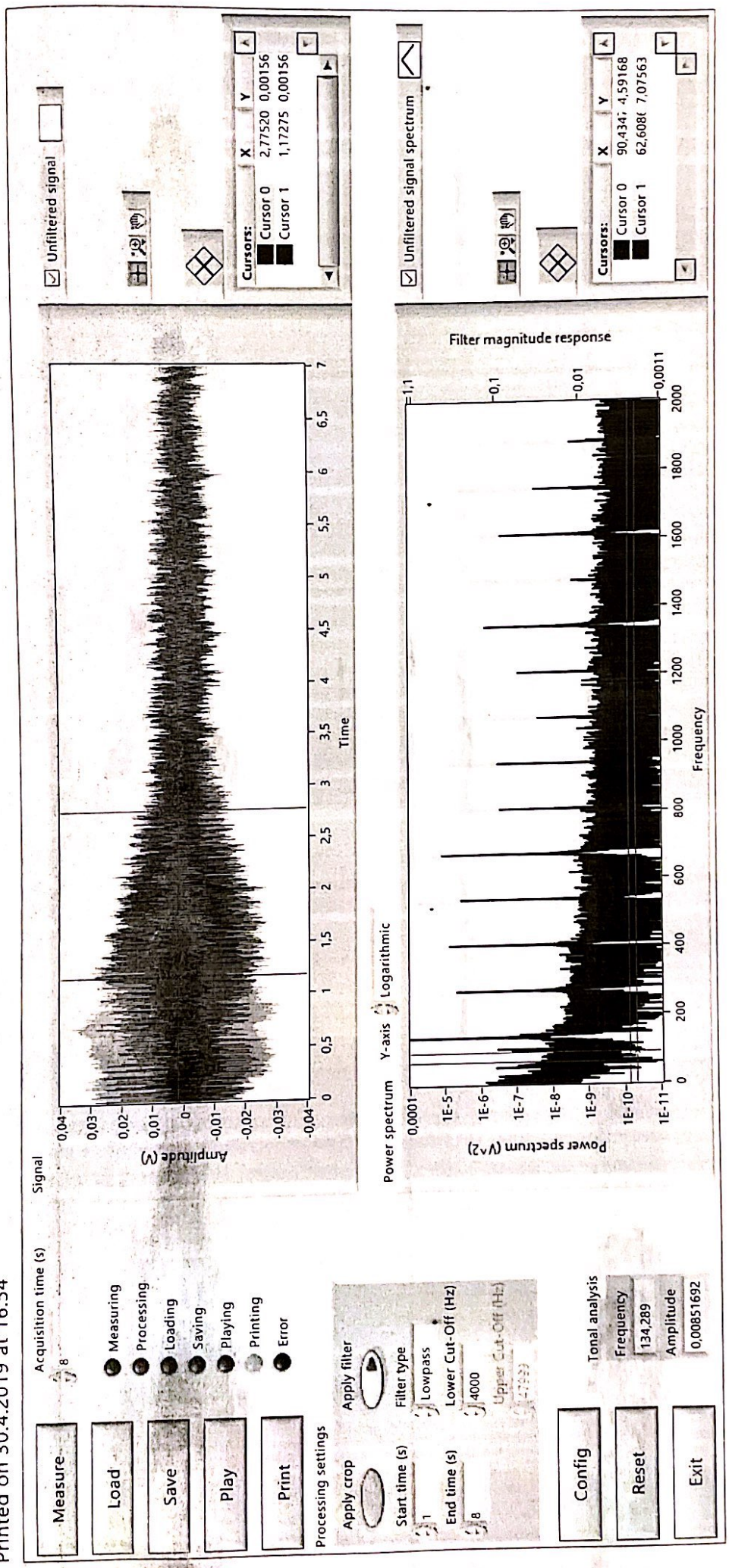
Filter magnitude response

Tonal analysis

Frequency 133.082
Amplitude 0.00650395

PRÍLOHA
STRANA 3

Sound analyser
C:\Program Files (x86)\SoundAnalyser\SoundAnalyser.exe\Main.vi
Last modified on 30.4.2019 at 16:54
Printed on 30.4.2019 at 16:54



BRANĽUŤA
NA NERVY

Matematicko-fyzikálna fakulta
Fyzikálny praktikum I
3 - -11- 2019

PRÍLOHA
STRANA 4

Sound analyser
C:\Program Files (x86)\SoundAnalyser\SoundAnalyser.exe(Main.vi
Last modified on 30.4.2019 at 16:41
Printed on 30.4.2019 at 16:41

Acquisition time (s) 8

Measuring
 Processing
 Loading
 Saving
 Playing
 Printing
 Error

Processing settings

Start time (s) 1
 End time (s) 8
 Filter type Lowpass
 Lower Cut-Off (Hz) 4000
 Upper Cut-Off (Hz) 47500

Tonal analysis

Frequency	537,051
Amplitude	0,00475189

Unfiltered signal

Amplitude (V) vs Time

Cursors:
 Cursor 0 X: 2,77520 Y: 0,00156
 Cursor 1 X: 1,17275 Y: 0,00156

Unfiltered signal spectrum

Power spectrum (V²) vs Frequency

Cursors:
 Cursor 0 X: 90,434 Y: 4,59168
 Cursor 1 X: 62,608 Y: 7,07563

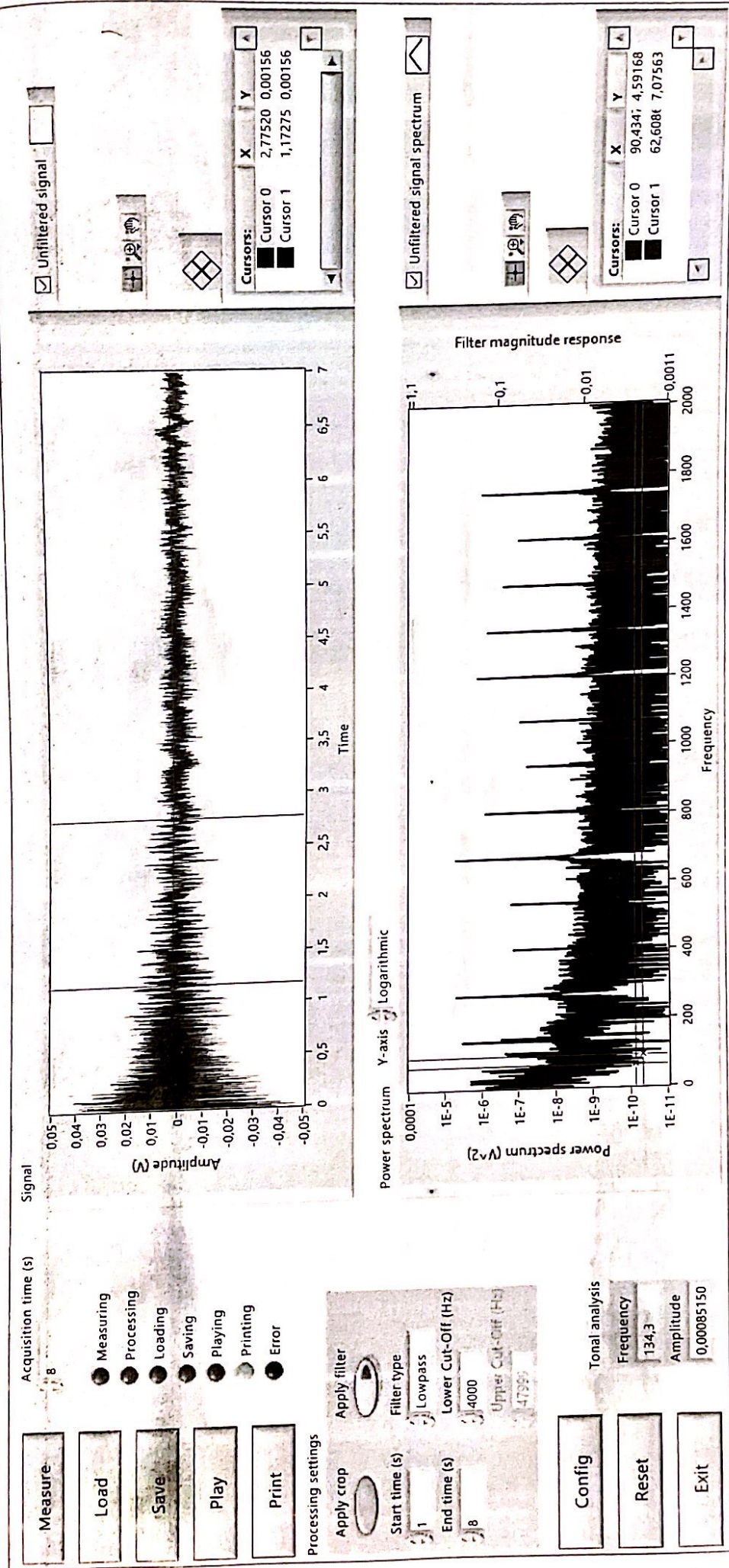
SMYCEŠ

3 - -04- 2019

Matematicko-fyzikálna fakulta
Fyzikálna praktikum I

PRÍLOHA
STRANA 5

Sound analyser
C:\Program Files (x86)\SoundAnalyser\SoundAnalyser.exe\Main.vi
Last modified on 30.4.2019 at 16:51
Printed on 30.4.2019 at 16:51



FLEINAU

AKTIVOVANE
DENKNUTY

3 - -04 - 2019

Matematicko-fyzikálny fakulta
Fyzikálny praktikum I

$$6037 \mu\text{m} = f_1$$

$$F_1 = 73 \text{ N} \pm 1$$

$d = 0,5^{+0,05}_{-0,01} \text{ mm}$ Josef Kucera
 Moravicek delka rezanum

$$f_2 = 91,4167 \mu\text{m}$$

$$f_3 = 91,4373 \mu\text{m}$$

$$f_1 = 54,1655$$

$$F_{10} = 25$$

$$f_2 = 54,2177$$

$$f_3 = 54,10146$$

$$f_1 = 88,704 \mu\text{m}$$

$$F_2 = 65 \text{ N}$$

$$f_1 = 81,4223 \mu\text{m}$$

$$F_3 = 60 \text{ N}$$

$$f_2 = 88,746 \mu\text{m}$$

$$f_2 = 81,4494 \mu\text{m}$$

$$f_3 = 88,732 \mu\text{m}$$

$$f_3 = 81,4558 \mu\text{m}$$

$$f_1 = 78,1106 \mu\text{m}$$

$$F_4 = 55 \text{ N}$$

$$f_1 = 74,6981 \mu\text{m}$$

$$F_5 = 50 \text{ N}$$

$$f_2 = 78,1119 \mu\text{m}$$

$$f_2 = 74,6984 \mu\text{m}$$

$$f_3 = 78,1081 \mu\text{m}$$

$$f_3 = 74,6886 \mu\text{m}$$

$$f_1 = 71,3056 \mu\text{m}$$

$$F_6 = 45 \text{ N}$$

$$f_1 = 67,1255$$

$$F_7 = 40$$

$$f_2 = 71,3813 \mu\text{m}$$

$$f_2 = 67,1626$$

$$f_3 = 71,3660 \mu\text{m}$$

$$f_3 = 67,1497$$

$$f_1 = 64,7199$$

$$F_8 = 35 \text{ N}$$

$$f_1 = 60,6793$$

$$F_9 = 30$$

$$f_2 = 64,7588$$

$$f_2 = 59,5265$$

$$f_3 = 64,7488$$

$$f_3 = 59,5578$$

$$f_4 = 59,5320$$

$$f_1 = 48,6709$$

$$F_{11} = 20 N$$

$$f_2 = 48,64$$

Matematicko-fyzikální fakulta
Fyzikální praktikum I

3 - 04 - 2019

$$f_3 = 48,6642$$

$$d_{\text{KRAJ}_1} = 0,49 \text{ mm}$$

$$d_{\text{STŘED}} = 0,5 \text{ mm}$$

$$d_{\text{KRAJ}_2} = 0,5 \text{ mm}$$

PLNÁ DÉLKA

$$f_1 = 402,879$$

$$f_2 = 402,874$$

$$f_3 =$$

délka struny

$$l = 120 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$$

$$f_1 = 134,305 \quad l$$

$$f_2 = 134,314$$

$$f_3 = 134,287$$

$$f_1 = 151,432 \quad \frac{8}{9} l$$

$$f_2 = 151,446$$

$$f_3 = 151,453$$

$$f_1 = 168,145 \quad \frac{4}{5} l$$

$$f_2 = 168,160$$

$$f_3 = 168,152$$

$$f_1 = 179,324 \quad \frac{3}{4} l$$

$$f_2 = 179,337$$

$$f_3 = 179,355$$

$$f_1 = 207,879 \quad \frac{2}{3} l$$

$$f_2 = 207,865$$

$$f_3 = 207,874$$

$$f_1 = 223,652 \quad \frac{3}{5} l$$

$$f_2 = 223,60$$

$$f_3 = 223,67$$

$$f_1 = 251,794 \quad \frac{8}{15} l$$

$$f_2 = 251,855$$

$$f_3 = 251,846$$

$$f_1 = 269,203 \quad \frac{1}{2} l$$

$$f_2 = 269,184$$

$$f_3 = 269,226$$

$$f_1 = 402,749 \quad \frac{1}{3} l$$

$$f_2 = 402,781$$

$$f_3 = 402,771$$

$$\frac{1}{4} d$$
$$f_1 = 533,324$$
$$f_2 = 533,599$$
$$f_3 = 533,767$$

$$\frac{1}{5} l$$
$$f_1 = 668,765$$
$$f_2 = 668,985$$
$$f_3 = 668,512$$

Josef Kucera $\frac{1}{6} l$

$$f_1 = 807,948$$
$$f_2 = 807,886$$
$$f_3 = 807,990$$

Matematicko-fyzikální fakulta,
Fyzikální praktikum I

3 -04- 2019