

Metodika měření šustivosti textilií

Bakalářská práce

Studijní program:

B3107 Textil

Studijní obor:

Textilní marketing

Autor práce:

Richard Otáhal

Vedoucí práce:

doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.
Katedra hodnocení textilií





Zadání bakalářské práce

Metodika měření šustivosti textilií

Jméno a příjmení: **Richard Otáhal**
Osobní číslo: T16000416
Studijní program: B3107 Textil
Studijní obor: Textilní marketing
Zadávací katedra: Katedra hodnocení textilií
Akademický rok: **2018/2019**

Zásady pro vypracování:

1. Formou rešerše zmapujte současný stav poznání v problematice zkoumání šustivosti textilií, tj. metodika měření a přístrojová technika
2. Popište stávající prototyp přístroje určeného pro měření šustivosti plošných textilií metodou tření dvou totožných materiálů.
3. Vytvořte program určený k vyhodnocování získaných zvuků.
4. Program otestujte na textiliích, které jsou subjektivně vnímány jako šustivé a nešustivé.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce:
Jazyk práce:

30 – 40 stran
tištěná/elektronická
Čeština



Seznam odborné literatury:

1. NA, Y. J., J. LANCASTER, J. CASALI a G. CHO. Sound Absorption Coefficients of Micro-fiber Fabrics by Reverberation Room Method. Textile Research Journal. [online] 2007, 77(5), 330?335. [vid. 2019-2-18] ISSN 00405175. Dostupné z: <http://search.proquest.com/docview/236505364/fulltextPDF/825E50F70E3448E4PQ/2?accountid=17116>
2. CHO S., G. CHO a C. KIM,. Fabric Sound Depends on Fiber and Stitch Types in Weft Knitted Fabrics. Textile Research Journal. [online] 2009, 79(8), 761?767. [vid. 2019-2-18] ISSN 00405175. Dostupné z: <https://search.proquest.com/docview/236370213?accountid=17116>
3. COOPER, C. et al. The acoustics of friction and microstructure of model and apparel fabrics, Textile Research Journal. [online] 2014, 84(6), 626?637. doi: 10.1177/0040517513495948.

Vedoucí práce:

doc. Ing. Ludmila Fridrichová, Ph.D.
Katedra hodnocení textilií

Datum zadání práce:

16. října 2018

Předpokládaný termín odevzdání:

10. ledna 2020

L.S.

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

doc. Ing. Vladimír Bajžík, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS/STAG se shodují.

2. ledna 2020

Richard Otáhal

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Ludmile Fridrichové, Ph.D. za pomoc při vedení bakalářské práce, také za cenné rady a připomínky a hlavně za čas, který mi věnovala. Mé poděkování patří též panu Prof. Ing. Karlovi Vokurkovi, DrSc. za čas, který mi věnoval a pomoc v oblasti měření zvuku.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá problematikou šustivosti, přesněji vyhodnocení dat naměřených z nového přístroje na měření šustivosti. V práci je popsáno, jak byl vytvořen program, který dokáže jedním kliknutím analyzovat jakoukoli zvukovou nahrávku. Nakonec je demonstrována funkce programu na různých typech zvuků.

Klíčová slova: Šustivost, zvuk, zvuková analýza, program na analýzu zvuku, měření šustivosti

Annotation

This bachelor's thesis is focused on problematics of rustling especially on data analysis. The data were recieved from a new device for rustle measuring. The author of the thesis describes how the program for data analysing was created. The program can analyse all types of sounds by one click. At the end of the work is demonstrated how program works on different types of sounds.

Keywords: Rustling, sound, sound analyse, program for sound analyse, measuring of the rustling sounds.

Obsah

Obsah	8
Seznam použitých Zkratek.....	9
Úvod.....	10
1. Komfort textilií	11
2. Současný stav v oblasti měření šustivosti.....	13
2.1. Přístroje na měření šustivosti a vyhodnocování dat.....	22
2.2 Dostupné programy pro analýzu zvuku	33
3. Proces vytváření funkce pro vyhodnocování dat.....	34
3.1. Vytvoření softwaru.....	35
3.2 Ocejchování mikrofonu	42
3.3. Vytvoření softwaru bez přednastavených funkcí	44
3.4 Analýza dat z naměřených čtyř druhů materiálu přístrojem na měření šustivosti dostupném na TUL	49
Závěr	57
Použitá literatura (zdroje)	59

Seznam použitých Zkratek

dB – deci-Bell

FFT – Rychlá Fourierova transformace

fs – vzorkovací frekvence

FT - Fourierova transformace

Hz – Hertz

KES – systém vyhodnocování Kawabata

Lp – Hlasitost zvuku (přesněji: Hladina akustické intenzity)

LPT – Hladina celkového zvuku

mV – Milivolt

Pa – Pascal

TUL – Technická univerzita v Liberci

Δf – frekvenční rozdíly

ΔL – rozdíly úrovní hladiny

Úvod

Hlavním cílem práce je vytvořit software v programu MATLAB, který bude schopen vyhodnotit šustivost jakékoli textilie na přístroji, který je nově dostupný na Technické univerzitě v Liberci (TUL). Vedlejším cílem práce bude vyhodnocení šustivosti pro různé druhy materiálů.

Cesta ke splnění cíle práce bude spočívat v definování šustivosti, zvuku a potřebných veličin následně používaných ve funkci, kterou je nutné vytvořit pro vyhodnocování dat naměřených na nově přístupném zařízení pro měření šustivosti. Získaná data by měla vytvořit graf, umožňující porovnávání šustivosti jakékoli textilie. Výstupem části rešerše by mělo být vymezení pojmů, které je dobré definovat, pro pochopení funkce a následného grafu. Příklady již známých vyhodnocení budou nápomocny k pochopení problematiky a pomohou zajistit přesnější data.

1. Komfort textilií

Komfort je možné obecně definovat jako pocit pohody. Je to tedy takový stav, při kterém nepocítujeme žádné nepříjemné vjemy a je možné v tomto stavu setrvat a pracovat. Komfort je stav organismu, kdy jsou fyziologické funkce organismu v optimu. Okolí včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy našimi smysly. Subjektivně, jak již bylo řečeno, je tento pocit brán jako pocit pohody. Komfort lze vnímat téměř všemi lidskými smysly kromě chuti. Především tedy hmatem, ale i zrakem, sluchem a čichem [1].

Komfort textilií je téma, na které dnešní člověk klade velký důraz. Textil nás provází celý život, proto je nutné dbát na jeho kvalitu. K této kvalitě jsou nápomocné různé vlastnosti, kterými textilie disponují. Může se jednat například o ochranu před okolními vlivy, jakými jsou ochrana proti dešti (hydrofobní úprava), odolnost vůči slunečnímu záření (UV), dokonce i proti nebezpečným toxinům nebo samotnému ohni jsou schopny nás textilie ochránit. Ovšem tyto vlastnosti s sebou nesou i zápory, kterými se stává nepohodlnost při jejich nošení. Příkladem může být obyčejná pláštěnka, která zamezuje styku vody s pokožkou a udržuje ji suchou i ve velkém dešti. Problém je ale ten, že není příliš pohodlná, jelikož není prodyšná a má špatný střih (je příliš dlouhá), proto je hned po dešti sundávána a nošena jen, když prší. Mimo pohodlí je zohledňován také vzhled a styl, který je jiný pro každou skupinu. Rozdílný pohled na vzhled textilie je určen věkem, klimatickými podmínkami, účelem použití textilie (např. textilie pro běžné nošení, sportovní oblečení nebo společenské oblečení), náboženstvím, atd.

Vlastnost, kterou se zabývá tato práce, se týká všech textilií, jedná se o zvuk, který textilie vydává při pohybu nebo tření. Tento zvuk nazývaný šustivost, je zapříčiněn drsností povrchu textilie. Drsnost povrchu je ovlivňována mimo jiné použitým druhem materiálu pro textilií, druhem tkaniny (pletenina, tkanina, netkaná textilie, atd.), strukturou a finálními úpravami. Šustivost je zajímavé téma pro výzkumné ústavy po celém světě, výrobci začínají uvažovat, jak vzniká a jak jí lze odstranit a tím zlepšit komfort textilie. Úkolem této práce je vytvořit funkci, která umožní analyzovat a vyhodnotit data naměřené na přístroji, který je nyní dostupný na TUL.

2. Současný stav v oblasti měření šustivosti

V České republice dosud neexistuje studie, zabývající se šustivostí, ovšem nyní je dostupný přístroj, který nám umožňuje šustivost zaznamenat. Mým úkolem je naměřená data vyhodnotit pomocí funkce v programu MATLAB, jelikož tento program je univerzitou podporován a studentům k němu dává přístup. Jak je již výše zmíněno, v České republice se šustivostí materiálů sice nikdo nezabývá, ovšem ve světě je tomu jinak. Pro tuto práci byly vybrány tři experimenty z dostupné literatury, které se šustivostí materiálů zabývaly. Důležité je vědět, že je tato práce zaměřena na vyhodnocení dat naměřeného přístrojem, který k naměření šustivosti používal způsob tření dvou stejných textilií mezi sebou. Šustivost se dá vyvolat dvěma způsoby, jedním je tření a druhým způsobem je mačkání textilie do spirály (stlačování). Způsob mačkání si můžeme představit například na igelitovém pytlí, který v dlani zmáčkne (stlačíme) a tím vznikne zvuk neboli šustivost. Přístroj, který je k této práci k dispozici je schopný simulovat oba dva tyto případy.

Jeden ze způsobů, popsaných v dostupné literatuře, kterým se zabývali na univerzitě v Birminghamu, je způsob, který rovněž využívá tření mezi textilií. Toto tření bylo zaznamenáno mikrofonom a pomocí grafu vyhodnoceno [2]. Druhý způsob, který už je poněkud více rozvedený, byl uskutečněn na univerzitě v Jižní Koreji, přesněji na univerzitě v Yonsei. Na této univerzitě byl také vyroben přístroj na měření šustivosti, od výše uvedeného se však lišil, jelikož přístroj sice měřil šustivost pomocí tření, ovšem v ohybu [3]. U tohoto způsobu bylo také využito tření dvou stejných textilií o sebe a zvuk byl nahrán mikrofonom, ovšem u tohoto způsobu bylo zváženo mnohem více kritérií, jako například typ vazby, drsnost povrchu, kolísání pevnosti textilie a další [4].

Zvuk

V této kapitole bude zároveň vysvětleno, co je to zvuk a zároveň budou uvedeny a vysvětleny důležité pojmy pro pochopení této práce.

Médium

Prostředí, ve kterém se energie přepravuje od počátečního zdroje zvuku, se nazývá médium. Jedním z nejčastějších médií, a stejně tak i v mé práci, je vzduch. Medium v klidové pozici se nazývá equilibrium [5]. V jiných zdrojích je equilibrium popisováno jako body od kterých se měří nejvyšší a nejnižší hodnoty vln (amplitudy)[6].

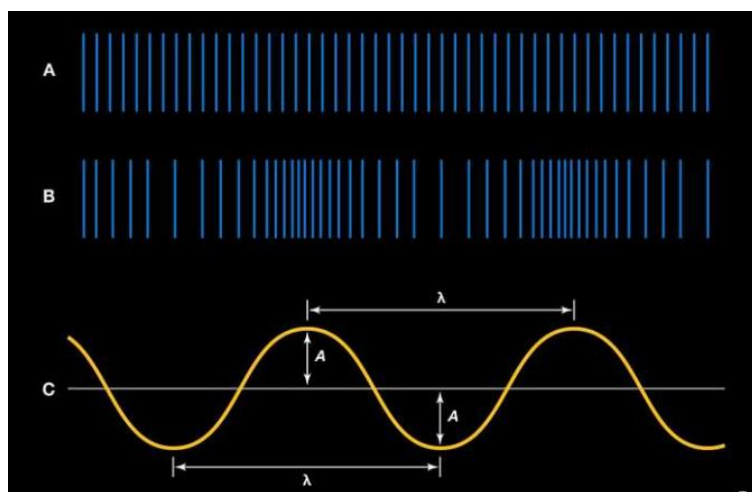
Na obrázku 1 je equilibrium znázorněno osou x a prostor, ve kterém se zvuk šíří je médium.

Fourierova transformace (Fourier transform, zkratkou FT)

Princip FT je na vysvětlení složitý, nejlepší je si představit klavír, který má klávesy, které po stisknutí udeří do struny, která vydá tón. Každá struna je přesně naladěna na jeden tón (na jednu frekvenci). Jakmile se začnou tyto tóny mísit, vzniká složitá harmonie, která se skládá z jednotlivých tónů strun. V tuto chvíli se stává tón složený a lze těžko zjistit, k jaké struně (frekvenci) patří jaký tón. Z tohoto důvodu byl vytvořen matematický aparát zvaný Fourierova transformace, která dokáže tento složený tón rozložit opět na tóny jednotlivé. Jakýkoliv ve své podstatě složitý signál, jako je třeba lidská řeč, hudba nebo výstup z magnetické rezonance je možno popsat jako součet různých frekvencí, právě díky FT. Výstup této transformace je odborně nazýván signálové spektrum neboli spektrogram. Vztáhnuto ke klavírní analogii, je spektrum návod, jaké klávesy a jak silně zmáčknout, aby byl z nástroje opět získán původní zvuk, jako před transformací [9].

Amplituda

Amplituda je jedním ze základních parametrů periodických dějů, čili dějů, které se ve sledované době neustále opakují. Počet opakování stejného stavu za časovou jednotku je nazýván frekvence neboli kmitočet. Amplituda je maximální hodnota periodicky měnící se veličiny [10].



(A) vzduch v equilibriu, bez zvukové vlny (B) komprese (stlačení) a refrakce (roztažení), které představuje zvukovou vlnu. (C) amplituda představující vlnu zvuku a její výšku (A). (λ) představuje délku vlny

Obrázek 1. grafické zobrazení zvukové vlny – amplituda

Zdroj: [5]

Frekvence

Frekvence neboli kmitočet je fyzikální veličina určující počet opakování periodického děje za daný časový úsek. Značí se f a jednotkou je hertz (Hz) [11]. Jinými slovy, frekvence udává, kolik opakujících se dějů náleží určitému časovému úseku. Pokud by bylo aplikováno toto tvrzení na obrázek 1, kde by osa, na které leží amplituda, byla osa časová a byla by dlouhá 1 sekundu v oblasti λ , výsledek by byl 1 Hz, neboli jeden cyklus λ za 1 sekundu.

Vzorkovací frekvence (vzorkovací kmitočet)

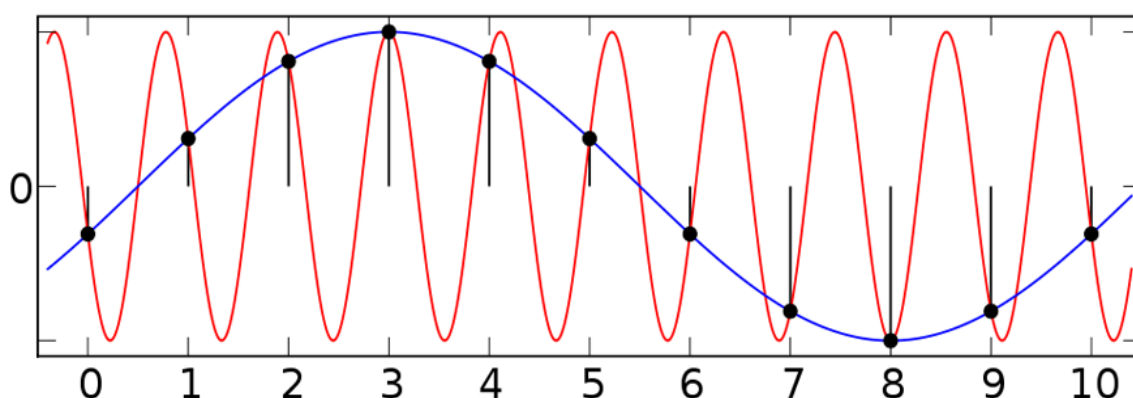
Vzorkovací frekvence neboli sampling frequency (f_s) definuje počet vzorků za jednotku času načítaných ze spojitého analogového signálu (spojitého signálu, jehož okamžitá hodnota se mění spojitě s časem) při jeho přeměně na diskrétní signál (signál, jehož okamžitá hodnota se nemění spojitě s časem) [12]. Pro upřesnění této problematiky, při nahrávání zvuku například mikrofonom, nahráváme zvuk v podobě vlnění neboli amplitudy (viz obrázek 2). Toto vlnění je spojité a zařízení, ve kterém bude tento nahraný zvuk zpracováván, neumí takovýto spojitý signál celý zachytit a proto má zařízení danou vzorkovací frekvenci. Například počítač, použitý pro tuto práci, má vzorkovací frekvenci 48 kHz. Tato hodnota udává, že zařízení dokáže zobrazit 48 000 hodnot amplitudy (v případě nahrávky z mikrofону je to většinou napětí v mV) v jedné sekundě, což znamená úseky po 0,21 μ s a tyto hodnoty následně proloží křivkou (viz obrázek 2).

$$\frac{1}{48000} = 0,0000208333 \text{ s} = 0,21 \mu\text{s} \quad (1)$$

Pro přesnost by bylo dobré přiložit nějaký přepočet, například pokud budeme vzorkovat sinusový signál o frekvenci 100 Hz, jehož délka je 0,1s je zařízení schopno získat pro popsání této funkce 476 vzorků.

$$\frac{0,1}{0,0000021} \times 100 = 476,2 \text{ vzorků} \quad (2)$$

Při frekvenci 1000 Hz by bylo zařízení schopno získat 47,62 vzorků apod. Na následujícím obrázku (obrázek 2.), je grafické znázornění proložené křivky.



Obrázek 2. proložená křivka po aplikaci vzorkovací frekvence
Zdroj: [5]

Intenzita zvuku (I), Akustický tlak a Decibelová stupnice

Zvukové vlny jsou do media přeneseny formou vibrací, tyto vibrace způsobují komprese a rozptyly molekul media, čímž na sebe přenáší energii. Tato tlaková energie je závislá na síle vibrací zdroje. Pokud je vynaložena větší síla do zdroje vibrací, bude větší i tlaková vlna, čili větší komprese a větší refrakce a tím i větší amplituda.

Akustický tlak

Odchylka tlaku, která je způsobena zvukovou vlnou, od tlaku okolního (rovnovážného) se nazývá akustický tlak [7]. Jiný zdroj uvádí, že Akustický tlak je síla zvuku na plochu povrchu kolmou ve směru zvuku [8]. Jednotka akustického tlaku je Pa a při přepočítání akustického tlaku na hladinu akustické intenzity (intenzity zvuku), se používá jednotka dB. dB je jednotka, která není součástí SI soustavy, je to logaritmická jednotka používaná pro vyjádření intenzity zvuku. I když jsou decibely určeny pro poměr stejných veličin a nemají proto žádný rozměr, je možné je využít pro nepřímé vyjádření velikosti akustického tlaku. Pro tento účel se volí tzv. referenční úroveň, kterou se akustický tlak porovnává. Pro příklad převod dB na akustický tlak: $0 \text{ dB} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ (referenční hodnota), $20 \text{ dB} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}$, $80 \text{ dB} = 0.2 \text{ Pa}$. $100 \text{ dB} = 2 \text{ Pa}$, $120 \text{ dB} = 20 \text{ Pa}$ (hodnota poškození sluchu).

Intenzita zvuku

Intenzita zvuku je definována množstvím energie přenesené určenou oblastí v daném časovém úseku. Je dána podílem jednotky výkonu a jednotky plochy, jednotka je watt/m^2 .

Vztah mezi intenzitou a decibelem je následující: 0dB odpovídá $1 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$ což je i práh slyšení. Jelikož rozsah stupnice, které je ucho schopno zachytit je velký, používá se stupnice založena na násobcích desíti. Například zvuk s deset krát větší intenzitou 10 dB = $1 \cdot 10^{-11}$ tudíž zvuk se stokrát vyšší intenzitou 20 dB = $1 \cdot 10^{-10}$ atd. Intenzita zvuku (dB) je subjektivní vjem, kdežto intenzita zvuku je objektivní veličina [5].

Akustická intenzita (W/m^2) vyjádřená v decibelech se nazývá hladina akustické intenzity L (dB), která je vyjádřena touto rovnicí:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_{ref}} = 10 \log \frac{p^2}{p_{ref}^2} = 20 \log \frac{p}{p_{ref}} = [dB] \quad (3)$$

Kde I_{ref} Je konstanta, která zastává hodnotu prahovou hodnotu akustické intenzity zvuku ($I_{ref} = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$). Intenzita je přímo úměrná druhé mocnině akustického tlaku. Takto definovaná veličina se nazývá hladina akustického tlaku (intenzita zvuku) L [dB], kde $p_{ref} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ je prahová hodnota akustického tlaku [13]. Logaritmus musíme vynásobit desíti, jelikož základní jednotka pro intenzitu zvuku je dB (decibel) a ne bell.

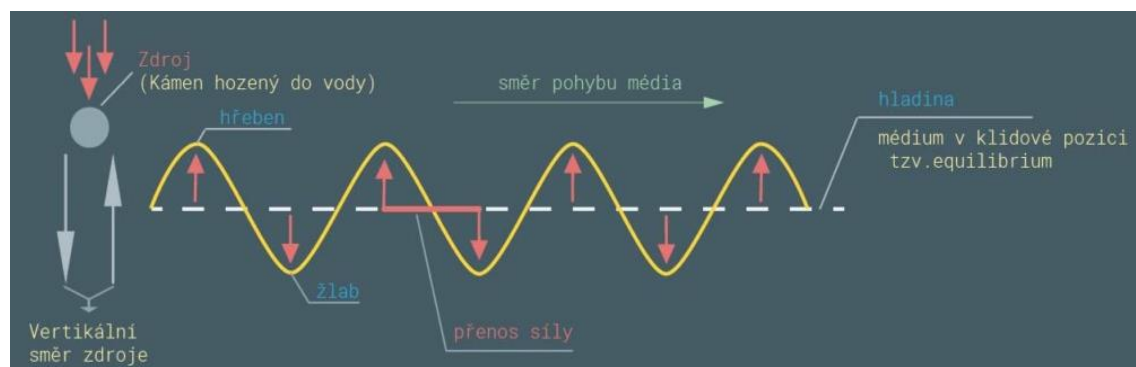
Korelace

Korelace znamená vzájemný vztah mezi dvěma veličinami nebo procesy, když se změní jedna veličina, změní se veličina druhá – jsou na sobě závislé

Vlnění

Zvuk se přenáší médiem ve formě vlnění – přesněji tlakové vlně. Ovšem je nutné si definovat rozdíl mezi vlnou zvukovou a vlnou, kterou jsme schopni spatřit například, když je vhozen kámen do vody.

Vlna, vzniklá při vhození kamene do vody, se šíří v podobě kruhu všemi směry. Vzdálenost, jakou vzniklá vlna urazí, nám udává její energii. Tato vlna se nazývá vlna příčná, jelikož její vznik je způsoben zdrojem (například zmíněný kámen), který působí kolmo ke směru vlny [5].



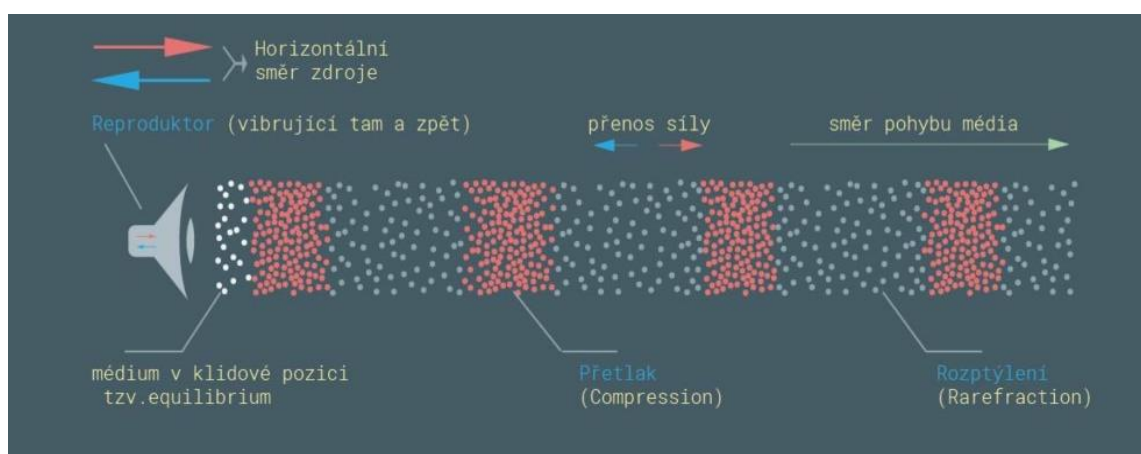
Obrázek 3. Příčná vlna

Zdroj: [5]

Druhý případ vlnění, je vlnění podélné. Toto vlnění se vyznačuje tím, že vnesení počáteční energie je paralelní (souběžné) se směrem vlny. Tento úkaz může být demonstrován například na pružině. Pokud budou paralelně za sebou umístěny dvě pružiny, které by byly spojeny a jednu z nich stlačíme silou, která působí ve směru osy pružiny, pružina se stlačí, přenesení sílu na druhou pružinu a následně by se vrátila do původní velikosti. Tento samý jev by udělala i druhá pružina, pokud by za ni byla umístěna další.[5]

Na následujícím obrázku je zobrazena zvuková vlna v médiu (ve vzduchu), která je způsobena vibracemi reproduktoru. Reprodaktor díky svým vibracím molekuly vzduchu buď stlačuje svým pohybem vpřed, nebo naopak rozpíná pohybem vzad.

Je nutno podotknout, že vzduch, či jakékoli jiné medium samotné vlny nevytváří, ale slouží pouze k jeho šíření - zvuk vytvářejí vibrace, které způsobují stlačení a rozpínání molekul vzduchu.



Obrázek 4. Podélná vlna

Zdroj: [5]

Hranice slyšitelnosti

Rozdíl v intenzitě zvuku mezi prahem sluchu a prahem bolesti je v řádech bilionů (10^{-12} W/m² a 1 W/m²), a proto se hladina intenzity zvuku pro snadnější a přehlednější výpočty vyjadřuje pomocí relativní jednotky Bel (B) či decibel (dB).

Zvýší-li se hladina intenzity zvuku o 1 dB, zvýší se intenzita zvuku zhruba o 26 %, což je nejmenší rozdíl, který je zdravé ucho schopno postřehnout [5].

Tabulka 1. Příklady hodnot zvuku 1

Zdroj	Intenzita	Hodnota
Práh sluchu	$1 \cdot 10^{-12}$ W/m ²	0 dB
Šeptání	$1 \cdot 10^{-10}$ W/m ²	20 dB
Normální konverzace	$1 \cdot 10^{-6}$ W/m ²	60 dB
Vysavač	$1 \cdot 10^{-4}$ W/m ²	80 dB
Práh bolesti	10 W/m ²	130 dB
Vzlet stíhačky	100 W/m ²	140 dB
Trvalé protržení ušního bubínku	10000 W/m ²	160 dB

Zdroj: [5]

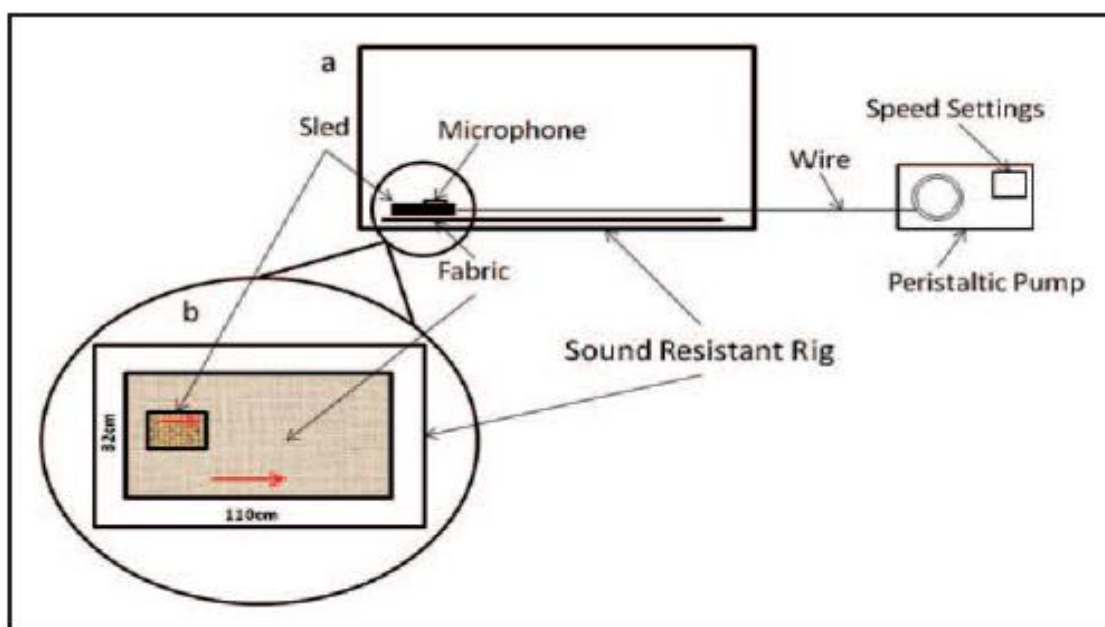
Hranice slyšitelnosti se udává ve frekvenci, lidský sluch je schopen vnímat zvuk mezi 20 – 20 000 Hz. Zvuková frekvence pod 20 Hz se nazývá infrazvuk a frekvence nad hranicí 20 000 Hz se nazývá ultrazvuk.

Jen pro zajímavost: Delfín je schopen zachytit frekvence daleko za hranici ultrazvuku až do 200 000 Hz a naopak slon dokáže zachytit frekvenci v oblasti infrazvuku a to až do minima 5 Hz [5].

2.1. Přístroje na měření šustivosti a vyhodnocování dat

Měření šustivosti na Univerzitě v Birminghamu

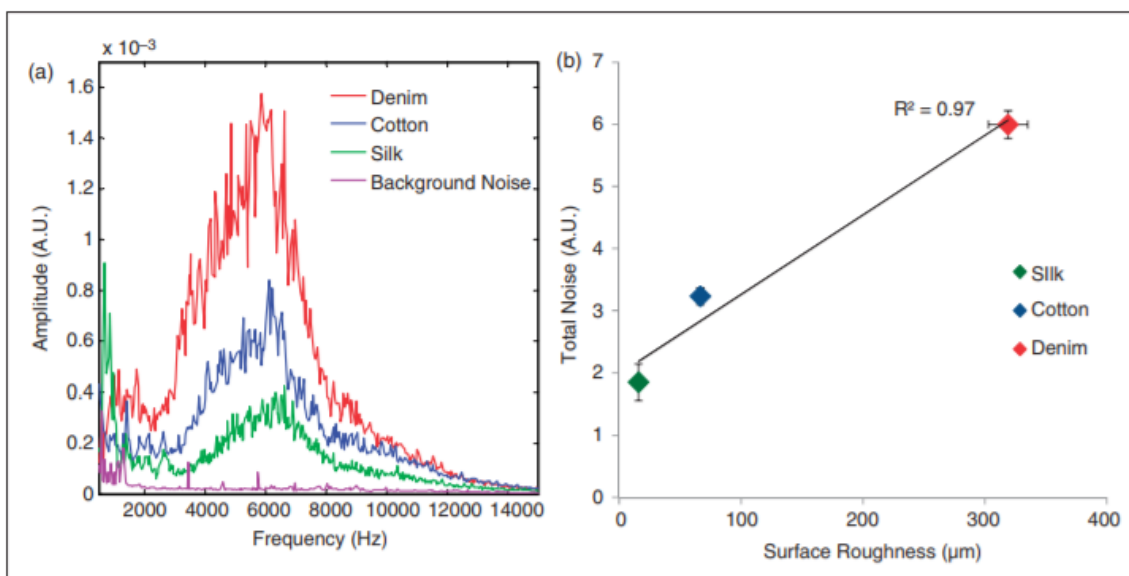
Na univerzitě v Birminghamu byla vytvořena zvukově izolovaná soustava. C. Cooper, J. Norton, C. Marshman a I. Norton [2] vytvořili přístroj (obrázek 5) k zachycení zvuku, který vydávala tkanina při tření. Pohon přístroje, který sloužil k vytahování vzorků a pohybu saní, byl zajištěn peristaltickým čerpadlem, které se muselo upevnit ve vhodné vzdálenosti, jelikož vydávalo značný hluk. Dalším nástrojem pro eliminaci okolního šumu, bylo uzavření soustavy (všech komponent kromě čerpadla) do zvuku odolného krytu, kde následně mohl být zaznamenán čistý zvuk vydávaný třením mezi dvěma stejnými tkaninami.



Obrázek 5. Přístroj na měření šustivosti – Birmingham

Zdroj: [2]

Výstupem přístroje na obrázku 5 byl graf (viz obrázek číslo 6)

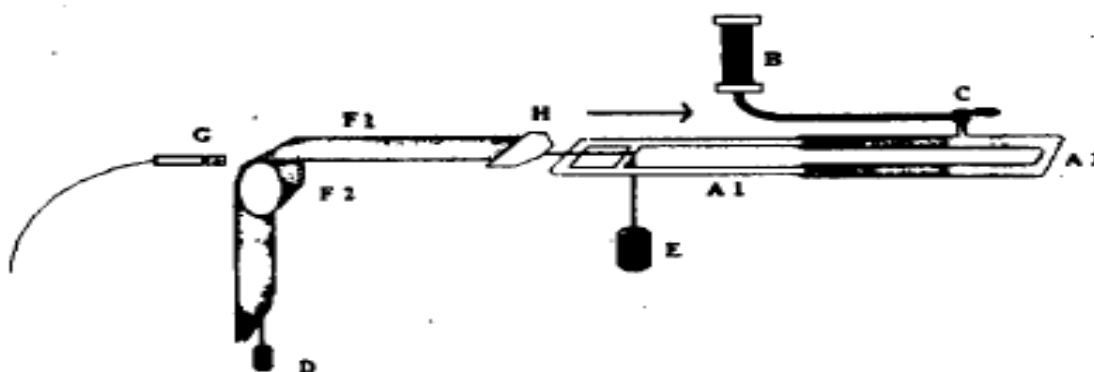


Obrázek 6. výstup měření šustivosti v Birminghamu
Zdroj: [2]

Tento graf popisuje závislost amplitudy na frekvenci, čili jaký tvar má amplituda (vlna) zvuku v určité frekvenci. Znepokojující však je, že amplitudu popisují jako **neznámé jednotky**, jelikož osa Y, která nese název Amplitude (A.U), kde A.U. Znamená Arbitrary unit, neboli libovolná jednotka. Dle mého názoru tento graf není příliš promyšlený. Sice nám dává nějaké údaje, ale nic konkrétního, jen že se amplituda zvuku ve frekvenci mění, relevantnější by bylo udávat konkrétní hodnoty zvuku - například v decibelech.

Měření šustivosti na Univerzitě Yonsei v roce 2000

V Jižní Koreji, kde se šustivostí zabývají nejvíce a to především na univerzitě v Yonsei. Eunjou Yi a Gilsoo Cho [3] sestavili přístroj (viz obrázek 7) na měření šustivosti, na kterém následně vyhodnocovali šustivost pětadvaceti komerčně dostupných tkanin (vlna, bavlna, hedvábí, polyester a nylon), v různých vazbách (plátno, kepr, atlas a jejich odvozeniny).



Obrázek 7. Přístroj na měření šustivosti - Univerzita Yonsei

Zdroj: [3]

Princip přístroje:

Dva kusy stejné textilie, horní tkanina (F1) ve formě pásu, spojená s dvěma různými zátěžemi (D) a (E) a druhá tkanina (F2) připevněná na pevnou kladku jsou o sebe otírány vytahováním a zasouváním pístu (A1). Když je píst (A1) vytahován z potrubí (A2), neboli doleva, proudí olej ve válci (B) přes ventil (C) do prostoru v potrubí (A2). Pokud se cyklus vrací zpět a píst (A1) se zasouvá do potrubí (A2), vrací se olej zase zpět přes ventil (C) do válce (B). Tento cyklus je zapříčiněn tlakem oleje při stlačení a rozpínání a zároveň působením síly zátěží (D) a (E). Zvuk, který vydávala tkanina při tření, se nahrál na mikrofon (G) a zaznamenal na počítač, kde se naměřené hodnoty analyzovaly.

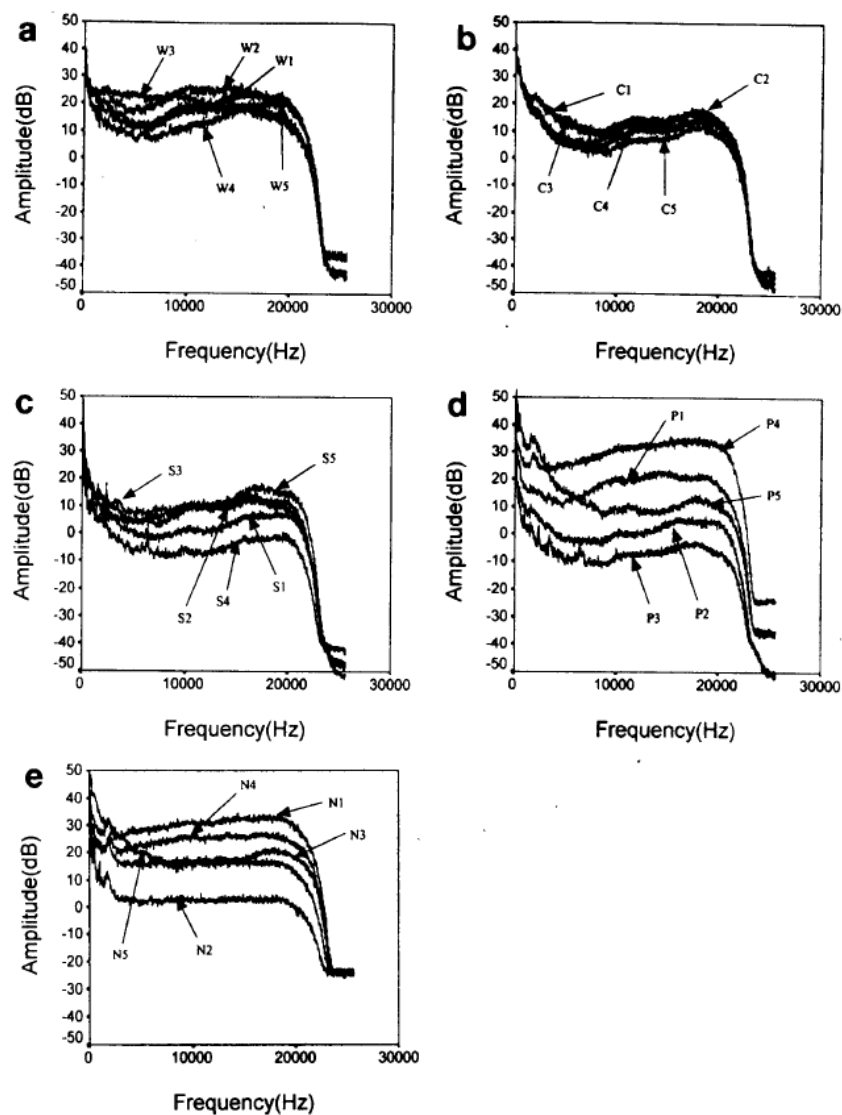
Analýza naměřeného zvuku se provede pomocí FFT, tím se získá spektrální forma. Hladina celkového zvuku (LPT) se vypočítá pro vyhodnocení hlasitosti zvuku vzorků (obrázek 8). K rozlišení tvarů zvukových spekter se používají rozdíly úrovní hladiny (ΔL) a frekvenční rozdíly (Δf). Byl použit systém hodnocení Kawabata (KES) pro měření mechanických vlastností, při zjišťování jejich dopadu na šustivost. Tkaniny se stejným typem vlákna vykazují podobné tvary spekter. Hedvábné a polyesterové saténové tkaniny obecně vydávají nejtišší zvuky s nízkou LPT. Hedvábí vykazuje nejvyšší hodnotu rozsahu ΔL . Grafy prezentující toto tvrzení jsou na obrázku 8. Pro porozumění těmto grafům je nutno přidat tabulku charakteristik vzorků (viz Tabulka 2).

Tabulka 2

Specimen	Fiber component	Yarn type	Construction	Fabric name
W1	wool 100%	staple	twill	gabardine
W2			plain	saxony
W3			plain	melton
W4			twill	gabardine
W5			plain	tropical
C1			satin	sateen
C2	cotton 100%	staple	plain	waffle cloth
C3			plain	dobby
C4			plain	muslin
C5			plain	pique
S1			plain	crepe de chine
S2			plain	chiffon
S3	silk 100%	filament (S4: warp-staple)	plain	geogette
S4			satin	satin
S5			plain	shantung
P1			twill	crepe
P2			twill	peach skin
P3	polyester 100%	filament (P2: staple)	satin	satin
P4*			plain	taffeta
P5			plain	taffeta
N1			plain	taffeta
N2*			plain	taffeta
N3			plain	taffeta
N4*	nylon 100%	filament	plain	taffeta
N5			twill	peach skin

* Means polyurethane coated.

Zdroj: [3]



Obrázek 8. výsledné grafy

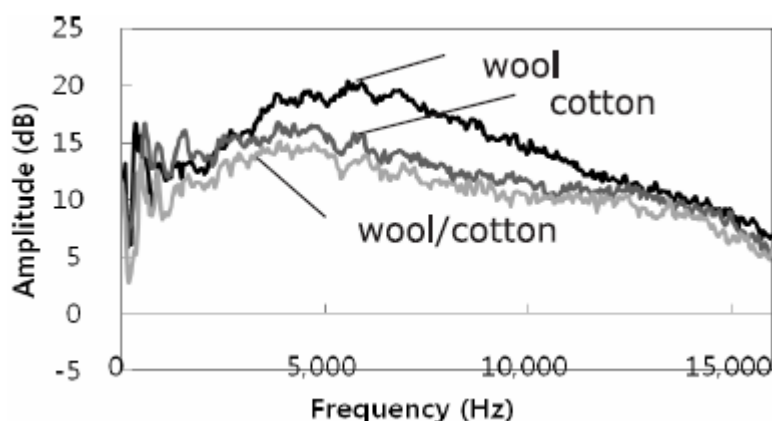
Zdroj: [3]

Na grafech (obrázek 8), je tvrzení Enjou Yi a Gilsoo Cho prokazatelné. Jelikož je tato práce z roku 2000, kdy ještě nebylo možné pracovat s grafy tak jako dnes, nejsou grafy tak přehledné, jako u další práci na toto téma, která je zmíněna v další kapitole. Například hodnota pod hranicí 0dB, by se při měření neměla vyskytnout.

Měření šustivosti na Univerzitě Yonsei v roce 2009

Účelem této studie je analyzovat charakteristická spektra rychlých Fourierových transformací (FFT) útkových pletenin, zkoumat vztah mezi zvukovými parametry a mechanickými vlastnostmi útkových úpletů. Dále určit účinky typu vlákna a typu vazby na zvuk vyvolaný třením a na mechanické vlastnosti. Vzorky představovaly 12 útkových úpletů vyrobených z kombinace tří typů vláken (100% vlna, 100% bavlna a 49% / 51% vlna / bavlna) ve čtyřech různých vazbách (jednolící pletenina, žeržej, half cardigan a half milano). Zvuky vznikající při šustivosti každého vzorku byly zaznamenány a analyzovány pomocí FFT analýzy včetně zvukových parametrů, jako je LPT, ΔL (hladinový rozdíl) a Δf (frekvenční rozdíl). Rovněž byl použit Zwickerův psychoakustický model pro výpočet hlasitosti (Z), ostrosti (Z), drsnosti (Z) a flukтуаční síly (Z). Kromě toho byly měřeny mechanické vlastnosti vzorků pomocí KES. FFT spektra pro útkové pleteniny vykazovala různé tvary podle typu vlákna a stehu. Mechanické vlastnosti, jako je tloušťka a hmotnost, byly korelovány s několika zvukovými parametry. Typ vlákna byl ovlivněn Δf a typ vazby byl ovlivněn ΔL , drsností (Z), kolísáním síly (Z) a hmotností. Typ vlákna i vazby byl také ovlivněn tahovými vlastnostmi. Bylo dokázáno, že změnou typů vláken a vazeb útkových pletenin, je možné získat různé druhy třecích zvuků (šustivosti).

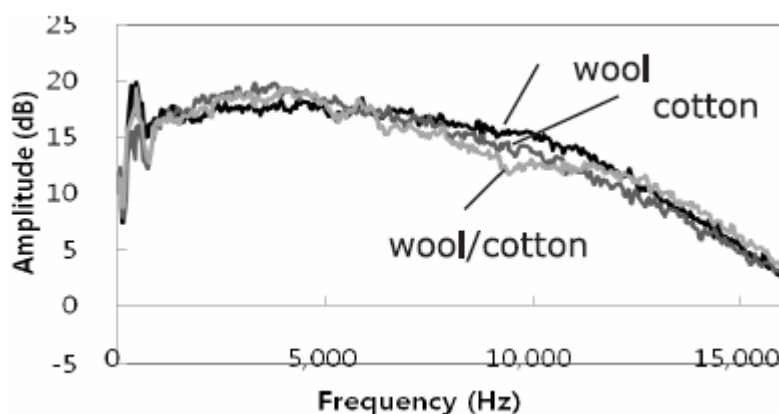
Na grafu (viz obrázek 9) uvidíme, jak byli schopni na Univerzitě v Yonsei zpracovat data, které získali měřením zvuku z přístroje pomocí mikrofónu a FT, která je pro tento účel měření nezbytná [4].



Obrázek 9. šustivost jednolící pleteniny

Zdroj: [4]

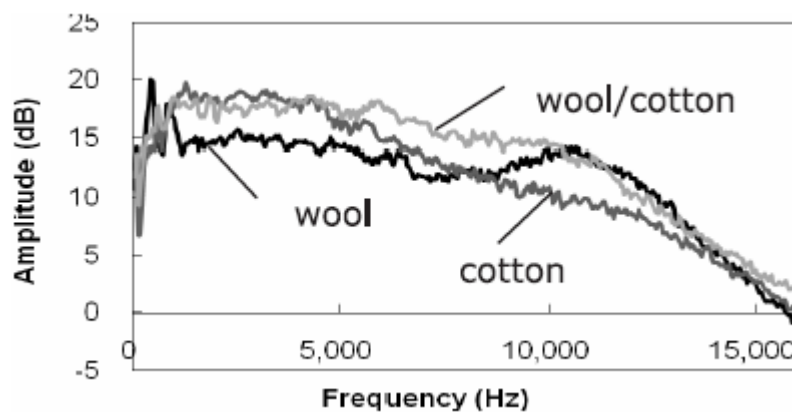
Na tomto prvním ze čtyř grafů můžeme vidět, že na Univerzitě v Yonsei už brali měření šustivosti vážněji. Graf na obrázku 9 má obě osy řádně označené a dokonce v jednotkách, ve kterých by se měla pohybovat i tato bakalářská práce. Je zde přesně vidět, jakou má amplituda hodnotu hlasitosti zvuku v dané frekvenci. Tento graf znázorňuje vliv vazby pleteniny a druhu materiálu na šustivost. Výsledkem je zjištění, že u jednolící pleteniny, při porovnání tří druhů materiálů (100% bavlna, 100% vlna a 49%/51% vlna/bavlna) má největší hodnotu šustivosti vlna a to od frekvence cca 3000 Hz do cca 16000Hz, zatímco směs vlny a bavlny se vyznačuje nejmenší hodnotou šustivosti. Pro jednolící pleteninu vyšla z měření nejlépe směs vlny a bavlny a ještě vyšla najevo skutečnost, že vlna šustí u jednolící pleteniny více než bavlna.



Obrázek 10. šustivost žeržeje

Zdroj [4]

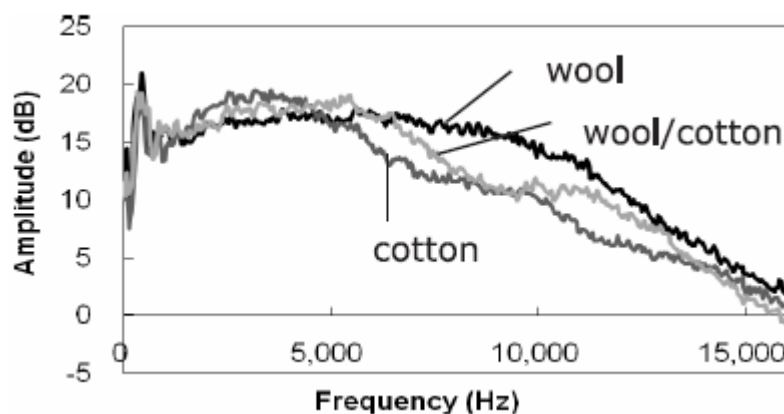
U druhého grafu (obrázek 10) je znázorněno, že při vazbě, která se nazývá žeržej, charakteristické svou nemačkovostí a hladkým povrchem, se hodnoty všech tří druhů materiálu pohybují na přibližně stejných hodnotách. Jen kolem frekvence cca 9000 Hz, kde se nachází malý výkyv hodnot znázorňující fakt, že v tomto testu si nejlépe vedla směs vlny s bavlnou, protože šustí nejméně, neboli - má nejmenší hodnotu hlasitosti. Vlna je opět ze všech tří účastníků měření nejšustivější.



Obrázek 11. šustivost half cardiganu

Zdroj: [4]

V pořadí třetí graf (obrázek 11), zastávající vazbu half kardigan, již není tak jednoznačný. Hodnota zvuku těchto dat se prolíná v různých frekvencích, proto bude dobré se zaměřit na úsek v rozmezí 5000-10000 Hz. Zde dominuje nejvyšší šustivostí směs vlny s bavlnou, což dělá z této směsi nejhluchnější (nejšustivější) materiál pro vazbu half kardigan.

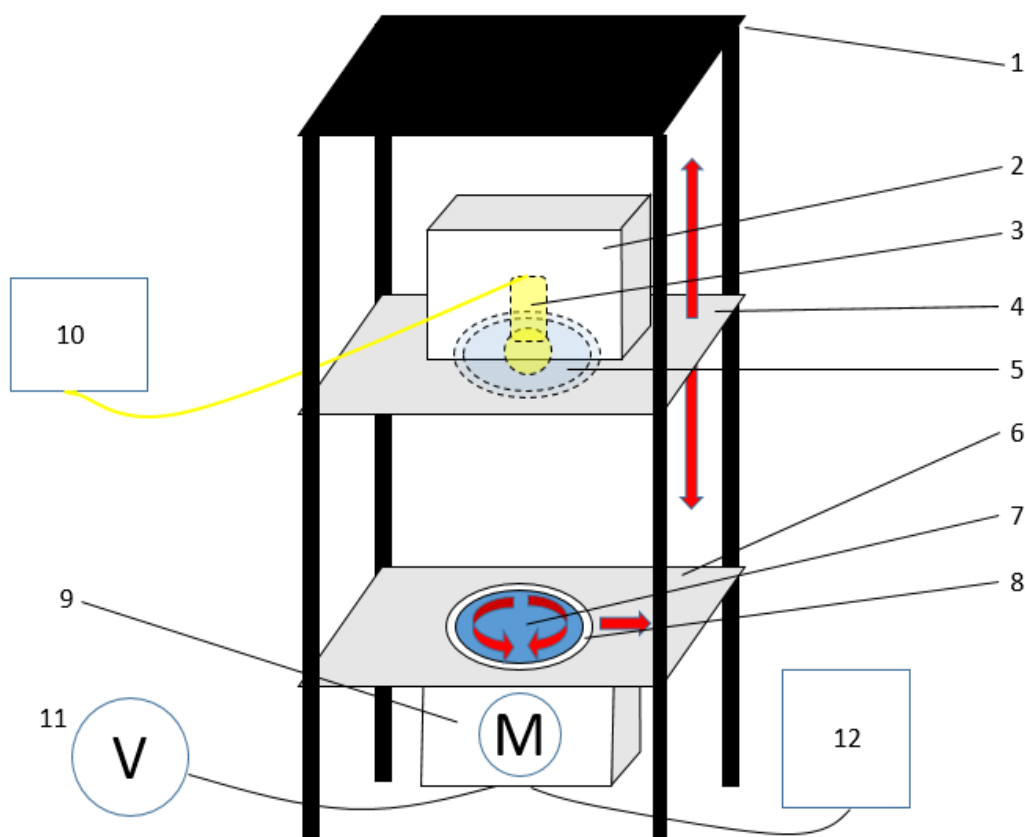


Obrázek. 12. šustivost half milana

Zdroj: [4]

Poslední, v pořadí čtvrtý graf (obrázek 12), má za úkol porovnat hodnoty zvuku pro vazbu s názvem half milano. V této vazbě opět vyčnívají hodnoty šustivosti u vlny hlavně v rozmezí frekvence cca 8000-11000 Hz, naopak bavlna u této vazby moc velké šustění nevydává.

Měření šustivosti na nově přístupném přístroji sestrojeném na TUL



Obrázek 13. Schéma přístroje na měření šustivosti dostupného na TUL (2019)

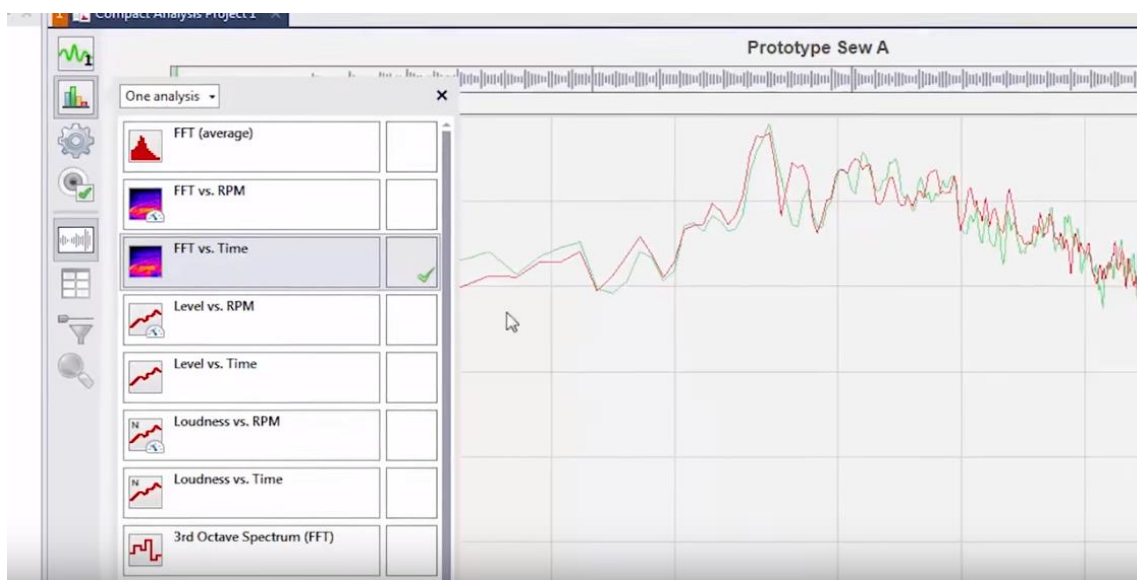
Princip přístroje spočívá v tření dvou stejných textilií o sebe pomocí otočného stolu (7), kde se upne textilie a napne pomocí objímky (8). Spodní otočný stůl (7) plní rotační pohyb oběma směry, tam a zpět a dokonce i může pomocí posunu stolku způsobit vyosení, čímž je možné měřit šustivost v jakékoli části textilie. Stolek je upevněn na desce (6), která je ukotvena na konstrukci přístroje (1) a je nepohyblivá. Skrze spodní desku (6) je otočný stolek (7) připojen k elektromotoru (9) který přenáší energii ze zdroje napětí (11) do otočného stolku (7) a tím ho uvádí do pohybu. Veškeré úkony (otáčky, směr otáčení atd.) jsou elektromotoru (9) podávány z ovládacího panelu (12). Vrchní stůl (5), kde se stejným způsobem upevní a napne textilie, není otočný, ale plní přítlačnou funkci a to pomocí pohyblivé desky (4) rovněž ukotvené na konstrukci přístroje (1) - červené šipky značí směr pohybu jednotlivých částí přístroje. Nejdůležitější část přístroje pro tuto práci je však mikrofón (3), který je umístěn v izolovaném boxu (2), snímající zvuk tření mezi dvěma textiliemi. Zvuk, zaznamenaný mikrofónem (3) se přenáší do počítače (10), kde se následně signál zpracuje.

Přístroj dokáže měřit šustivost i mačkáním textilie do spirály. Textilii, která bude mít tvar rukávu, upneme ke stolku (5 a 7), upevníme objímkou na obou stolech (8) a spodní otočný stůl se bude otáčet sem a tam. Tím se vyvolá tření způsobené mačkáním textilie do spirály.

Analýza dat, získaných z tohoto typu měření, je předmětem této bakalářské práce, proto bude podrobně zpracována v kapitole 3, kde budou i výsledky měření tří různých textilií.

2.2 Dostupné programy pro analýzu zvuku

Pro analýzu dat, naměřených z mikrofonu je možno využít již hotové programy, které jsou dostupné na internetu. Většina programu však nabízí pouze možnosti úpravy a vykreslení amplitudy, nikoliv hodnoty intenzity zvuku (dB), mezi tyto programy pro úpravy zvuku patří například Audacity, AVS Audio Editor 8.1.1 a další. Tyto programy se hodí pro zpracování zaznamenaného zvuku z mikrofonu – ke stříhání například. Program, který by sloužil k analýze, jejíž výsledkem bude křivka hodnoty intenzity jakéhokoliv zvuku vloženého do programu, byl jen jeden. Neznamena to, že by existoval jen jeden, je jich samozřejmě více, ale na principu vložení jakéhokoliv zvuku a následné analýzy bez zadávání dalších hodnot, byl nalezen pouze jeden. Název tohoto programu je *Artemis Suite* od firmy HEAD acoustics International. Tento program dokáže analyzovat zvuk a i mnohem více, jak je vidět na obrázku 14.



Obrázek 14. *Artemis Suite* software
Zdroj: [15]

Bohužel je tento program placený. Funkce tohoto programu byly tudíž zjištěny jen formou videí a článku na internetu. Další nevyhovující věc, nalezena u tohoto programu je ta, že není možné zasahovat do funkce, což znamená, že nejde zjistit, s jakými hodnotami a konstantami funkce počítá, natož měnit jejich hodnoty. Z tohoto důvodu se práce zabývá vytvořením softwaru, který bude v rukou uživatele. To znamená, že i když bude možnost analyzovat zvuk jedním kliknutím, stále má uživatel přístup do zadání funkce a může ho upravit. Funkce úpravy je velmi důležitá při používání různých druhů mikrofonů, jelikož každý mikrofon má jiný přepočít vstupního signálu, toto téma je podrobněji popsáno v kapitole 3.2.

3. Proces vytváření funkce pro vyhodnocování dat

Pro vytvoření softwaru na vyhodnocení šustivosti jsem si vybral prostředí v programu Matlab. Hlavním kritériem pro výběr prostředí byla dostupnost, jelikož fakulta umožňuje svým studentům tento systém používat zdarma. Dalším důvodem bylo, že jsem byl už seznámen s tímto prostředím formou povinně volitelného předmětu.

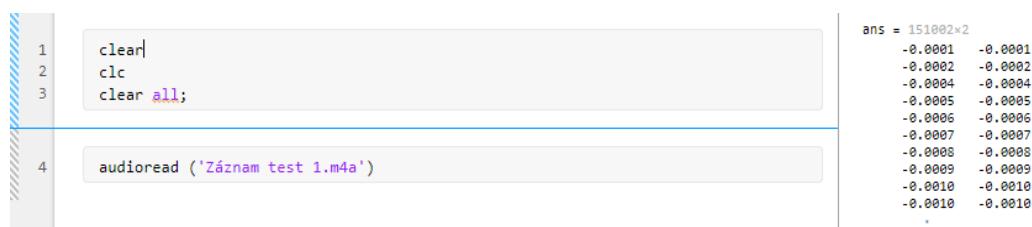
První věc, kterou jsem potřeboval k vytvoření programu a ověření jeho funkčnosti, byla nahrávka. Nejrychlejší způsob, jak získat nahrávku byl záznam zvuku na mikrofon, který je zabudován v mém počítači. Je důležité zmínit, že můj počítač sloužil jako výchozí zařízení pro analyzování zvukových nahrávek, protože každé zařízení může mít jinou vzorkovací frekvenci. Nahrávka, která sloužila jako poklad pro tvorbu softwaru, byla můj hlas. Bylo to z důvodu, že lidská řeč se pohybuje kolem 60dB (viz tabulka 1), tudíž je možné alespoň přibližně ověřit data, která mi program poskytne. Záznam zvuku, který jsem si nahrál, byl ve formátu .m4a, který Matlab umí zpracovat.

Data, vyhodnocená mnou vytvořeným programem, by měla mít kolem hodnoty 60 dB, což odpovídá hodnotě intenzity zvuku běžného rozhovoru. Pokud by software ve výsledném grafu, ukazoval kolem těchto hodnot, pak je vše správně a pomocí výsledných grafů by bylo možné nejen porovnat (jako u zmíněných prací na univerzitách v Birminghamu a Yonsei viz kapitola 2.1), ale i vyčíslit hodnotu intenzity zvuku. V dalších kapitolách praktické části se budou probírat jednotlivá témata podrobněji a zároveň popíši problémy, které jsem musel řešit, aby software fungoval správně.

3.1. Vytvoření softwaru

Pro práci v programu Matlab je možné si vybrat ze dvou prostředí, to první představuje klasický příkazový řádek, kde zadáváte příkazy a následně je musíte spustit, aby bylo vidět výsledek. Já využíval prostředí zvané live script, kde je možné psát program a pomocí kláves Ctrl+Enter se hned vedle programovacího okna ukáže výsledek zadaného programu. Pro mou práci, která byla ze začátku formou pokus – omyl, bylo toto prostředí velmi nápomocné, hned jsem totiž viděl, co mám špatně a co ne.

První věc, kterou byla potřeba udělat, bylo nahrání zvukového záznamu do prostředí programu Matlab, abych s ním mohl následně pracovat. Pro tuto funkci slouží příkaz *audioread* a název souboru v kulatých závorkách (viz obrázek 15).



```
1 clear|
2 clc
3 clear all;
4 audioread('Záznam test 1.m4a')
```

ans = 151002x2

-0.0001	-0.0001
-0.0002	-0.0002
-0.0004	-0.0004
-0.0005	-0.0005
-0.0006	-0.0006
-0.0007	-0.0007
-0.0008	-0.0008
-0.0009	-0.0009
-0.0010	-0.0010
-0.0010	-0.0010
:	:

Obrázek 15. Funkce *audioread*

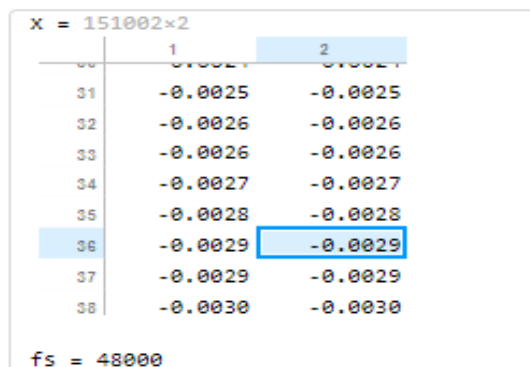
Zde nastal první problém a to ten, že mi výstup výše zmíněného příkazu vyhodil čísla, která nešla používat, proto jsem musel přijít na to, jak z vloženého souboru dostat nějaká konkrétní data. Abych dostal číselné vyjádření (hodnoty amplitudy), bylo potřeba přidat před příkaz *audioread* do hranaté závorky proměnné, do kterých se hodnoty uloží (viz obrázek 16).

```
clc;
clear all;
[x,fs]=audioread("Záznam test 1.m4a")
```

Obrázek 16. Funkce *audioread* s proměnnými

Kde *x* je proměnná, do které se uloží hodnoty *ans* (viz obrázek 15) a *fs* je vzorkovací frekvence.

V této fázi již máme hodnoty amplitudy zvuku, které jsou zobrazeny v pravé části pracovní plochy a navíc se nám vyčíslila i vzorkovací frekvence, v případě mého zařízení je 48 000 Hz. Nyní můžeme s čísly, která nyní v programu zastupují zvukovou nahrávku dále pracovat, jinými slovy - máme zvuk převedený na čísla (viz obrázek 17).



Obrázek 17. Hodnoty amplitudy

Dalším krokem bylo zobrazení amplitudy neboli průběhu zvuku. Amplituda sama, by mohla sloužit k porovnání šustivosti, kdyby se takto zpracovaly například dva zvukové záznamy, vznikly by tím dvě různé amplitudy pro porovnání. Pokud bychom vykreslili každou amplitudu jinou barvou a následně bychom je překryly, tak by bylo vidět, jaká z porovnávaných amplitud má větší šustivost (vyšší hodnoty amplitudy). Mně se ovšem tato nepřehledná metoda nelíbila, proto jsem použil zobrazení amplitudy jen pro vizualizaci zvuku. Jelikož je amplituda závislá na čase, musí se vymezit, v jakém čase ji chceme vykreslit, jinak řečeno vymezit časové hranice, ve kterých se nachází zvuk. Pro upřesnění uvedu příklad: pokud má zvukový záznam 3,21 vteřiny, vymezíme hranice od nuly do 3,21. Jinak by amplituda pokračovala do nekonečna, ale od 3,21 vteřiny se už nenachází žádný zvuk, tudíž by od času 3,21 vteřiny pokračovala jen prázdná osa, což by bylo opět nepřehledné. Proto je nutno definovat tyto hranice pomocí vzorce (viz obrázek 18)

```
N = length(x)
t = (0:N-1)/fs
N/fs
```

Obrázek 18. Vymezení hranic času

Už máme zvuk převedený na čísla, máme vymezené hranice a nyní už jen zbývá vykreslit zvuk pomocí amplitudy. Amplitudu vyvoláme příkazem *plot (t, x)*, což nám vygeneruje amplitudu ze zadaných hodnot (viz obrázek 19).

```
%plot time domain signal
plot(t, x)
grid on
set(gca, 'FontName','Times New Roman','fontsize',12)
xlabel('Time (s)')
ylabel('Ampl')
title('Signal in time domain')
```

Obrázek 19. Příkaz pro vytvoření amplitudy

Nyní si popíšeme, co znamenají jednotlivé řádky:

První řádek je jen poznámka, o jaký podprogram se jedná.

Druhý řádek znamená vytvoření amplitudy s hodnotami na obrázku 13, kde *t* zastupuje čas (s) a *x* zastupuje hodnoty amplitud.

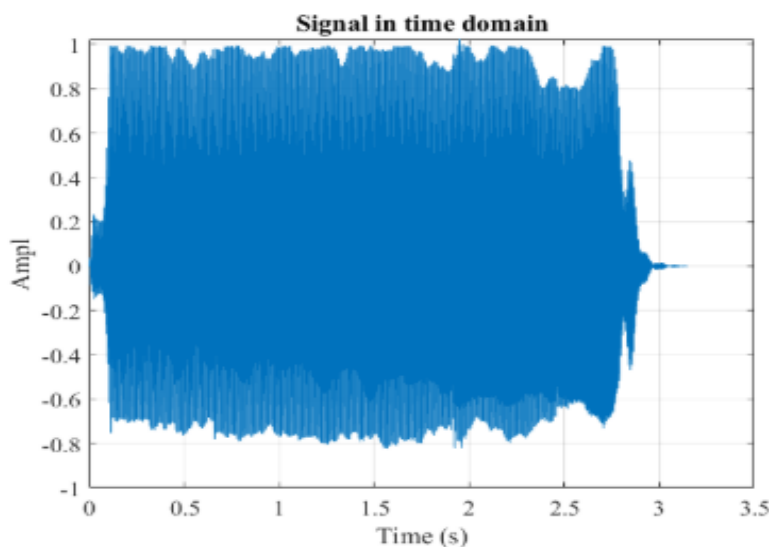
Třetím řádkem se zapne v grafu mřížka pro lepší představu, mezi jakými hodnotami se amplituda pohybuje.

Čtvrtým řádkem se mění font písma a jeho velikost, můžeme změnit i barvu, ale to v tomto případě nebylo třeba.

Pátý a šestý řádek vytvoří název x a y-osy, jinak by byly nepopsané.

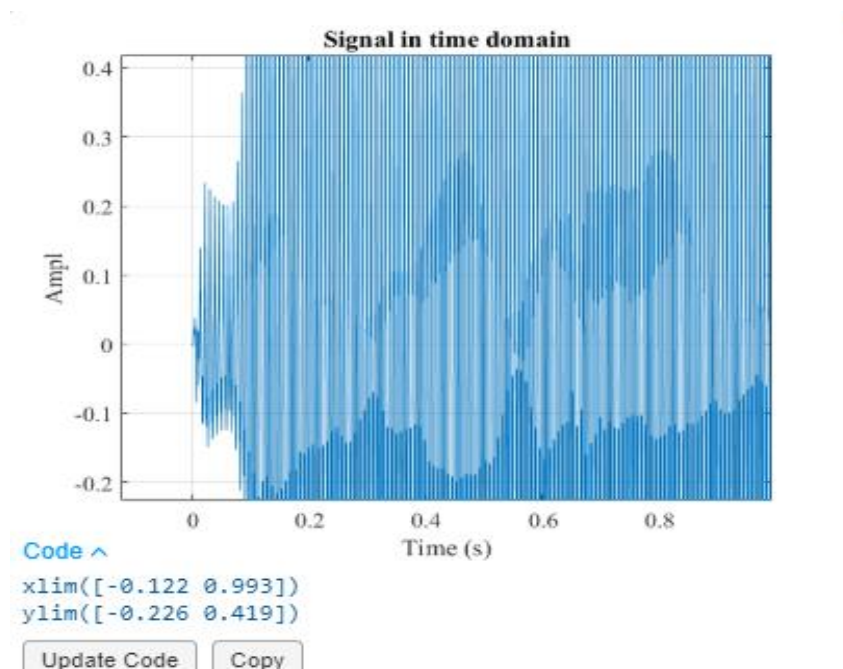
A nakonec šestý řádek je název, neboli jak se bude graf jmenovat.

Výsledná funkce, vzniklá příkazem (viz obrázek 19), vypadá takto: (viz obrázek 20).



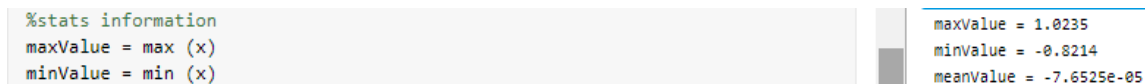
Obrázek 20. zvuk zobrazený pomocí amplitudy

Graf se dá v programu i přibližovat, pokud bychom chtěli vidět nějakou část blíže, dokonce se tomu i přizpůsobují hodnoty na osách (viz obrázek 21).



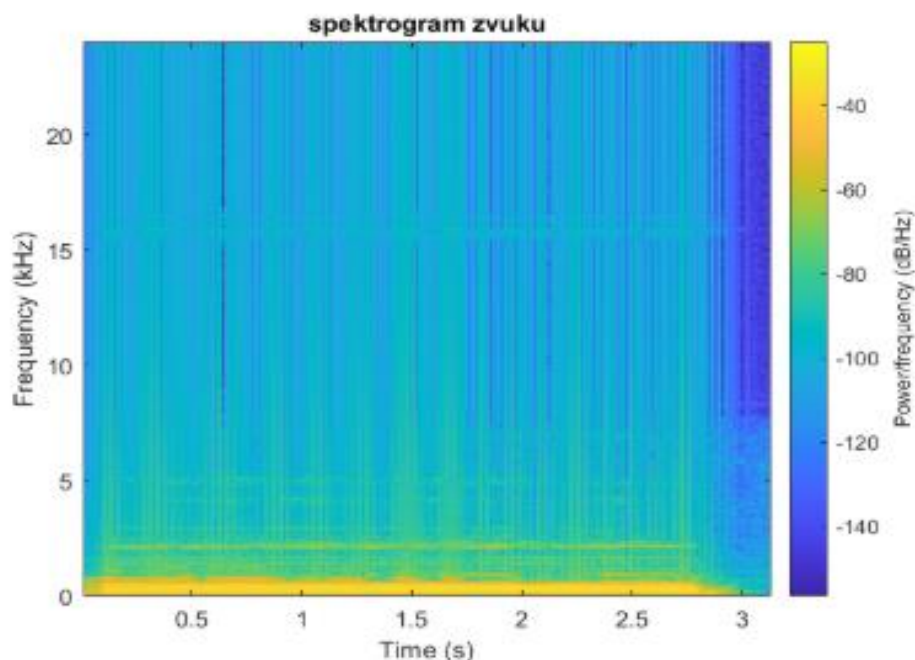
Obrázek 21. Amplituda - přiblížení

Pro informaci se můžeme dozvědět i maximální, minimální, střední či průměrnou hodnotu x , nebo kterékoli jiné veličiny. Slouží k tomu jednoduché příkazy (viz obrázek 22).



Obrázek 22. statistické informace

V pořadí druhý graf, zvaný spektrogram, slouží k zobrazení síly akustického tlaku (nebo také hustoty akustického tlaku) v jednotlivé frekvenci. K tomuto grafu je potřeba Fourierova transformace, která umožní, pomocí škály barev, znázornit v grafu, kde je vyšší stupeň akustického tlaku neboli vyšší tón (viz obrázek 23).



Obrázek 23. spectrogram

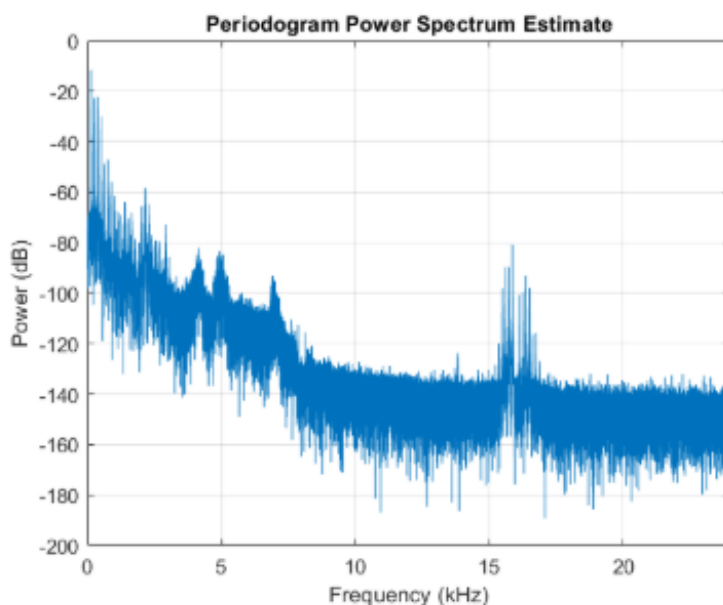
Pro vytvoření spektrogramu, je zapotřebí definovat si hodnoty, které musíme dosadit do příkazového řádku (viz obrázek 24).

```
%spectrogram  
spectrogram(x, 1024, 512, 1024, fs, 'yaxis')  
title('spektrogram zvuku')
```

Obrázek 24. Příkaz pro vytvoření spectrografu

Kde x představuje vstupní proměnnou, první číslo 1024 udává, že chci graf v okně velkém 1024 políček. Další číslo 512 je číslo, kolikrát se bude toto okno opakovat, druhé číslo 1024 udává velikost FT (1024, jelikož chceme, aby se FT provedla po celé velikosti okna, které má také 1024 políček), fs znázorňuje vzorkovací frekvenci a $yaxis$ značí podle jaké osy, se bude spektrum vykreslovat.

Následuje třetí graf, který je v Matlbu zvaný jako periodogram, Jako nezkušený v oblasti analýzy zvuku jsem si myslel, že tento graf, je ten který potřebuji k tomu, abych mohl porovnat hodnoty zvukového záznamu. Bohužel tomu tak nebylo a trvalo mi dlouhou dobu přijít na to proč. Nejdříve jsem si myslel, že periodogram vykresluje hodnotu zvuku v závislosti na frekvenci, což jsem si představoval jako finální vyhodnocení (viz obrázek 25).



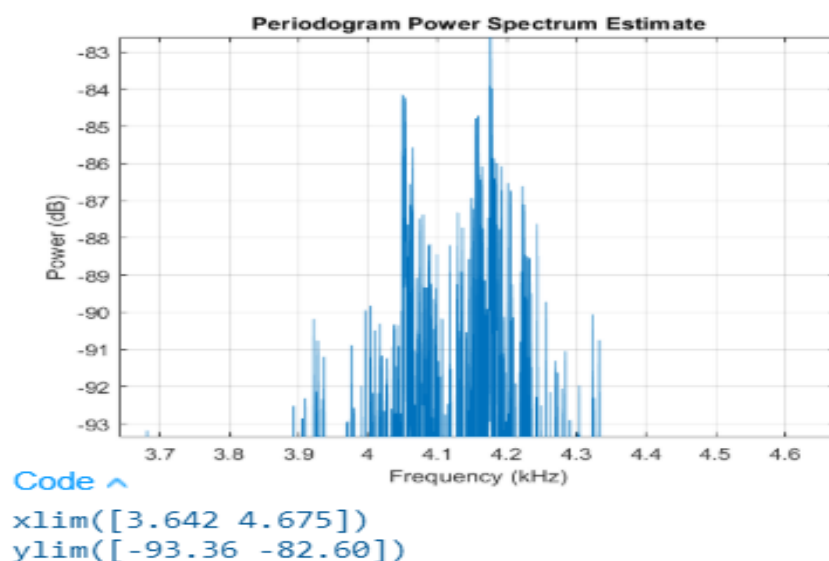
Obrázek 25. Periodogram

Periodogram vyvoláme příkazem, znázorněným na obrázku 26.

```
%periodogram
w = hanning(N,'periodic')
periodogram(x, w, N, fs, 'power')
[x, f] = periodogram(x, w, N, fs, 'power')
x = 20*log10(10*sqrt(x)*sqrt(2))
```

Obrázek 26. příkaz pro periodogram

Graf je opět možno přibližovat, čemuž se přizpůsobí i osy (viz obrázek 27).



Obrázek 27. Přiblížený periodogram

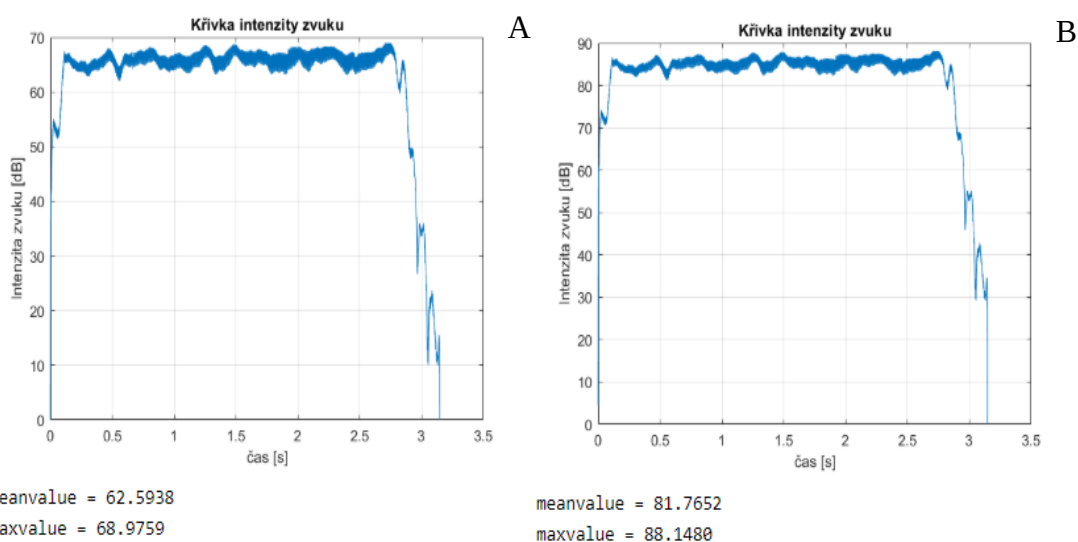
Jak můžeme vidět na grafu, hodnoty frekvence na ose y jsou v pořádku, ale hodnoty na ose x dosahují hodnoty až -200dB, což je nesmysl a to hned z několika důvodů. První důvod je ten, že hranice slyšitelnosti je 0dB a svůj hlas slyším, tudíž se nepohybují v dobré hranici a druhý důvod je ten, že lidská řeč se pohybuje kolem 60 dB, což je od -200dB velmi vzdálené. Pak mě napadlo, že by to mohlo být tím, že mám periodogram zrcadlově obrácený vzhledem k ose y, ale to by hodnoty sahaly až do 200 dB, přitom hranice, kdy se nám trvale poškodí sluch, je 130 dB a obyčejná řeč, jak jistě víme, nám sluch nepoškodí.

Později jsem zjistil proč je periodogram v tak velkých záporných hodnotách. Bylo to z důvodu, že periodogram nezobrazuje na ose y pouze dB, ale dB závislé na frekvenci, tudíž je popis osy y jakožto Power (dB) špatně. Osa y se správně nazývá Power spectral density (dB/Hz), přeloženo jako výkonná spektrální hustota, nikoliv hodnota zvuku. Záporné hodnoty leží v mínusu, protože pro periodogram je výchozí rovnice s logaritmy a hodnoty x se nachází mezi hodnotami 1 a -1 a jak víme logaritmus čísla, které je menší než 1 je záporné číslo.

3.2 Ocejchování mikrofону

Jelikož jsem si ani po úpravách vzorce nevěděl rady, byl jsem nucen si domluvit konzultaci na katedře fyziky s panem profesorem Vokurkou, který se analýzou zvuku zabývá již hodně dlouho. Bylo mi řečeno, že pokud chci měřit hodnotu zvuku, musím na to jít trochu jinak. Jako první věc si musím zkontrolovat mikrofón, který používám. Pan profesor tuto operaci nazývá „ocejchování mikrofónu“, je to potřeba kvůli přesnosti měření. Musel jsem si tedy obstarat mikrofón, který půjde propojit s mým počítačem, jelikož ten zabudovaný, se kterým jsem vytvořil záznam svého hlasu, nebyl pro ocejchování vhodný. Ocejchování spočívá v tom, že mikrofón, který chci otestovat, dáme do stejné pozice jako mikrofón, který je určen k přesnému měření a stojí v řádech desítek tisíc korun. Pan profesor jím disponuje, proto jsem musel přinést mikrofón, který se bude používat v přístroji na měření šustivosti k němu. Oba mikrofóny se dají do stejné vzdálenosti, od reproduktorů, ze kterých se následně pustí zvuk o intenzitě 65 dB. Intenzitu zvuku naměřenou mikrofónem pana profesora lze vidět na přístroji, ke kterému byl mikrofón připojen a udával hodnotu v dB, ovšem výstup mikrofónu, který se měl ocejchovat, byl v mV, proto ho bylo potřeba připojit k osciloskopu. Mikrofón, který jsem přinesl na ocejchování, má jako téměř každý mikrofón, připojení k počítači či jinému zařízení pomocí 3,5 mm jack konektoru. Osciloskop však potřebuje konektor BNC a redukce, která byla potřeba, není v České republice dostupná. Naštěstí se dá vyrobit, s čímž mi pomohl zkušený pán z obchodu s elektronikou.

Cejchovaný mikrofon, nyní již připojený k osciloskopu ukazoval hodnotu mV odpovídajících 65dB, které ukazoval mikrofon pana profesora. Na osciloskopu se ukázala hodnota 1,22 mV. Z této hodnoty mi pan profesor přepočítal, kolik mV odpovídá 1 dB a následně převedl na Pa. Použil k tomu vlastní program, který obsahoval vzorce, pro tento přepočet. mV bylo potřeba převést na Pa, kvůli dosazení do vzorce, který je použit v mém programu pro výpočet dB, jelikož v programu, se nebude analyzovat zvuk pouze o hodnotě 65 dB, ale i jiné hodnoty. Pokud by byl pro práci použit jiný mikrofon, bylo by nutné ho rovněž ocejchovat, důvodem je, že mikrofony, které jsou běžně dostupné, nemají uvedené potřebné specifikace. Pro mikrofon, který bude použit při měření šustivosti, 1 mV odpovídá 0,11 Pa. Tato hodnota bude potřeba k přepočtu hodnot (viz vzorec 4), Díky kterému se převedou hodnoty amplitudy v mV na jednotky akustického tlaku v Pa (viz obrázek 28). Abych ukázal, jaký je rozdíl mezi analýzou dat s ocejchovaným mikrofonem, neboli s přepočtem dat a analýzou bez přepočtu, vytvořil jsem funkce se stejnými vstupními parametry, ovšem jedna funkce obsahuje přepočet a druhá ne (viz obrázek 28).



Obrázek 28. Křivka intenzity zvuku ocejchovaný x neocejchovaný mikrofon

Na obrázku 28 je vidět rozdíl mezi křivkou s použitím přepočtu ocejchovaného mikrofonu (A) a křivkou bez přepočtu (B). Ačkoli se průběh těchto dvou křivek nijak zásadně neliší, jejich hodnoty se liší hodně, rozdíl hodnot je 20 dB, což velmi velký rozdíl. Z tohoto důvodu je dobré vytvořit program, ve kterém může uživatel upravovat hodnotu proměnných, ze kterých se následně křivka vykreslí, jinak údaje, získané z analýzy nemusí být přesné.

3.3. Vytvoření softwaru bez přednastavených funkcí

Z důvodu neustálého výstupu nesprávných dat (záporných hodnot zvuku – viz obrázek 25), jsem se rozhodl vymyslet program, který nebude závislý na předpřipravených funkcích v Matlabu, jelikož předpřipravené programy mají být nejspíš univerzální a nikde nezjistím, s jakými hodnotami funkce funguje. Program, který jsem vymyslel, funguje tak, že data, která získám z mikrofonu v jednotkách milivolt (mV), přepočítám na Pascaly (Pa) - hodnoty přepočtu se liší dle použitého mikrofonu. Tyto údaje byly zjištěny při ocejchování. Po přepočtu mi vyšlo, že 1 mV odpovídá 0,11 Pa. Pro demonstraci mého programu, jsem použil stejnou nahrávku, jako v případě prvního pokusu analýzy dat v kapitole 3.1. Nejprve jsem pomocí funkce *audioread* získal hodnoty proměnné *x* a následně z těchto hodnot vykreslil amplitudu zvuku v závislosti na času, stejně jako na obrázku 17.

Dále jsem všechny hodnoty *x* vynásobil číslem 0,11 a tím získal hodnoty akustického tlaku (Pa), potřebné k výpočtu intenzity zvuku (*L_p*) v jednotkách (dB). Pro výpočet jsem musel ve funkci použít vzorec:

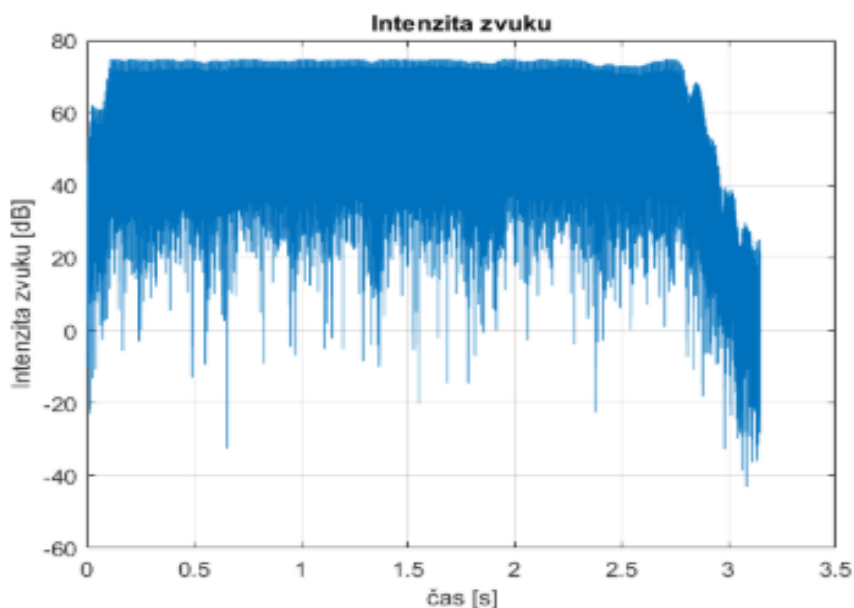
$$L_p = 10 * \log\left(\frac{pa^2}{po^2}\right) \quad (4)$$

Kde *pa* odpovídá přepočítané hodnotě *x* a *po* je konstanta, odpovídající prahu slyšitelnosti, čili 2×10^{-5} Pa. Příkaz k této operaci je na obrázku 29. Po použití tohoto vzorce jsem vykreslil graf závislosti intenzity zvuku v závislosti na čase, neboli v jakém čase má zvuk kolik dB (viz obrázek 30).

```
%přepočet vstupu mikrofonu v mV na akustický tlak v Pa%
pa = x*0.11; %0,11 = zjištěný akustický tlak na 1 mV%
po = (2*10^(-5)) %referenční hodnota po%
epsilon = 0.000000000000001; % aby nebyla žádná hodnota 0%
Lp= 10*log10( ( pa.^2 +epsilon) /((po)^2)); %vzoreček pro výpočet intenzity zvuku
```

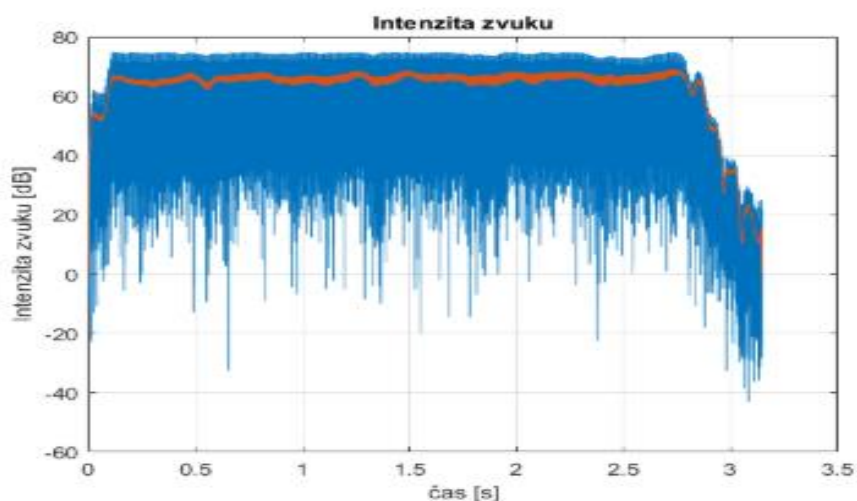
```
%Ampluda intenzity zvuku%
figure (1)
plot (t,Lp) %vytvoří amplitudu přepočítaného x v závislosti na času%
grid on %zapne přížku v grafu%
xlabel('čas [s]') %změní název osy x%
ylabel('Intenzita zvuku [dB]') %změní název osy y%
title('Intenzita zvuku') %název grafu%
```

Obrázek 29. Funkce pro přepočet a vykreslení přepočítané amplitudy



Obrázek 30. Amplituda přepočítaná na intenzitu zvuku

Ovšem jak můžeme vidět na obrázku 30, graf je nepřehledný a plný hodnot velkého rozsahu, proto jsem ho proložil body, které se umístí do průměrné hodnoty okolních 500 bodů křivky každého bodu amplitudy v závislosti na vzorkovací frekvenci. Těmito body jsem následně proložil křivku, která zastupuje hodnotu dB zaznamenaného zvuku. Křivka může být i přesnější, pokud zvýšíme počet okolních bodů, ze kterých se počítá průměrná hodnota. Čím více bodů zvolíme, tím bude křivka tenčí. Křivku vzniklou z průměrných hodnot jsem barevně odlišil od původního grafu a zobrazil ji v něm. Výsledek vidíme na obrázku 31.



Obrázek 31. Amplituda proložena křivkou průměrných hodnot z okolních bodů amplitudy

Graf na obrázku 31 jsem vytvořil pomocí funkce (viz obrázek 32).

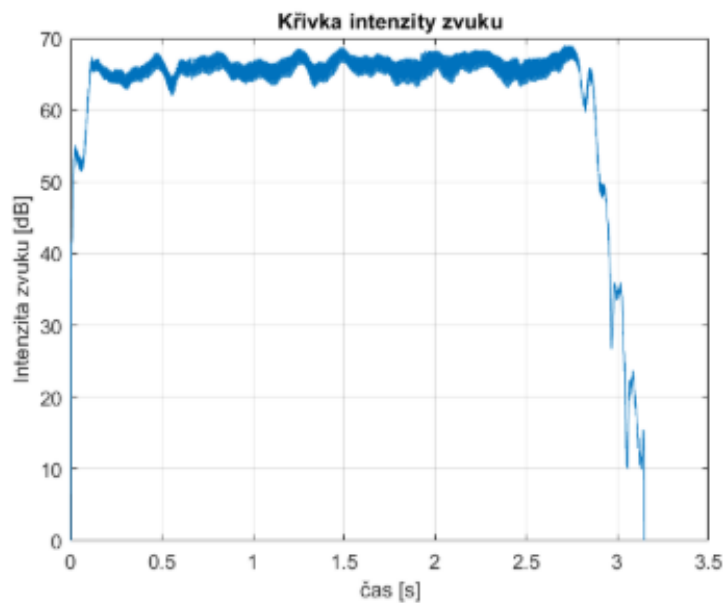
```
figure (1)
m = medfilt1(Lp,500); %vykreslí průměrnou hodnotu amplitudy
plot(t,Lp,t,m) %graf původní a prokreslené funkce
grid on
xlabel('čas [s]')
ylabel('Intenzita zvuku [dB]')
title('Intenzita zvuku')
```

Obrázek 32. Funkce pro zobrazení křivky v grafu

Pro vyhodnocení intenzity zvuku neboli šustivosti jsem z grafu vyjmul pouze křivku (příkazem na obrázku 33) a tu si následně samostatně zobrazil (viz obrázek 34).

```
figure (2)
plot (t, m)
grid on
xlabel('čas [s]')
ylabel('Intenzita zvuku [dB]')
title('Křivka intenzity zvuku')
```

Obrázek 33. funkce pro vytvoření samotné křivky intenzity zvuku

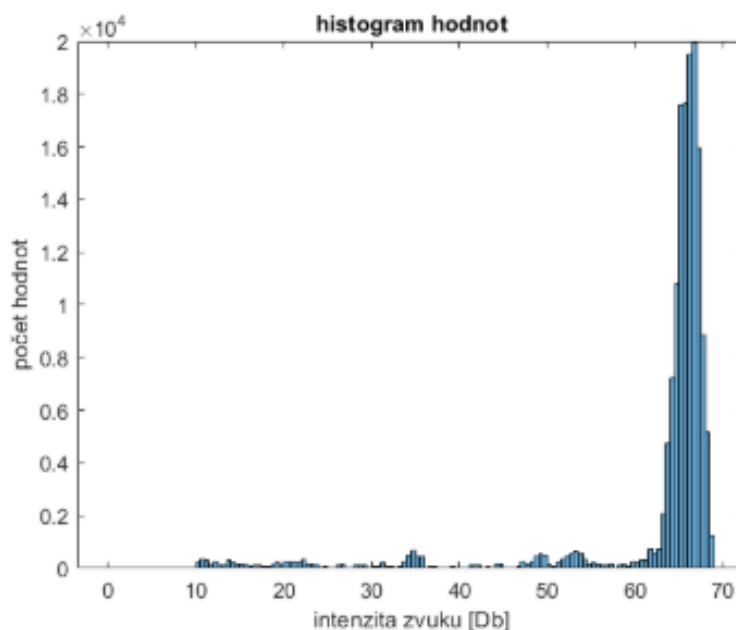


Obrázek 34. křivka intenzity zvuku

Jako poslední funkci k porovnání intenzity zvuku v mém programu jsem si vytvořil histogram. Histogram například ukazuje, kolik hodnot se nachází v okolí 65 dB (viz obrázek 35). Histogram slouží jako přehled hodnot, k porovnání jednotlivých vzorků se hodí spíše křivka, která je na obrázku 34.

```
meanvalue = 62.5938
```

```
maxvalue = 68.9759
```



Obrázek 335. Histogram hodnot

Histogram se vyvolává v programu Matlab velmi snadno, stačí k tomu příkaz, který je na obrázku 36 a pro zajímavost jsem si nechal vyčíslit průměrnou a maximální hodnotu intenzity zvuku (viz obrázek 35).

```
meanvalue = mean(m)  
maxvalue = max(m)
```

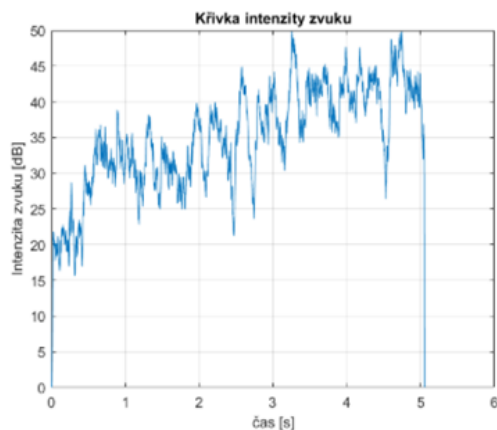
```
histogram(m)  
xlabel('intenzita zvuku [Db]')  
ylabel('počet hodnot')  
title('histogram hodnot')
```

Obrázek 36. Funkce pro zobrazení histogramu

Kde *meanvalue* znamená průměrná hodnota a *maxvalue* zastupuje maximální hodnotu intenzity zvuku.

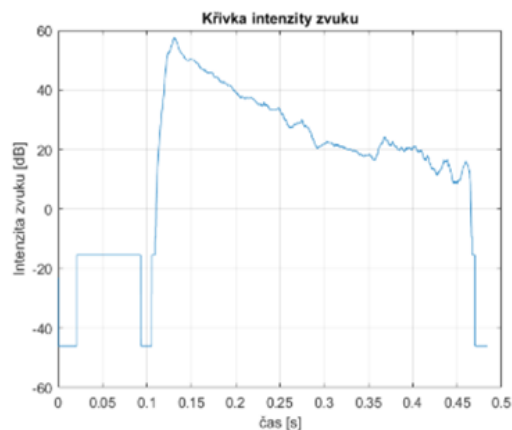
Pro demonstraci, že program funguje, jsem analyzoval 4 zvuky. Jedním z nich byl můj hlas, dalším zvukem bylo šustění eurofólie mezi prsty, třetí zvuk bylo tlesknutí a poslední zvuk byl výstup z přístroje na měření šustivosti, který byl pořízen na nově sestaveném přístroji. Nutno podotknout, že mikrofon, snímající zvuk čtvrtého záznamu zvuku byl v izolovaném prostředí. Výsledky těchto analýz jsou k vidění na obrázcích 37 a 38.

Šustění eurofólie mezi prsty



ans = 34.9274
maxvalue = 49.8440

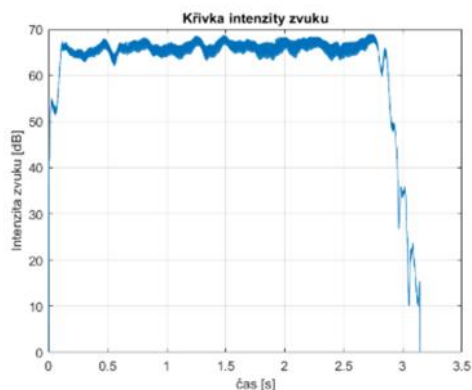
Tlesknutí



ans = 13.8860
maxvalue = 57.5531

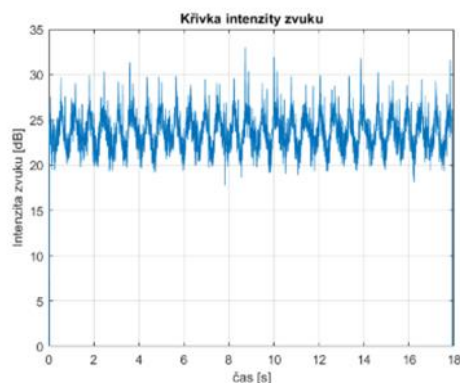
Obrázek 37. Analýza šustivosti eurofólie a tlesknutí

Můj hlas



ans = 62.5938
maxvalue = 68.9759

Záznam z přístroje na měření šustivosti

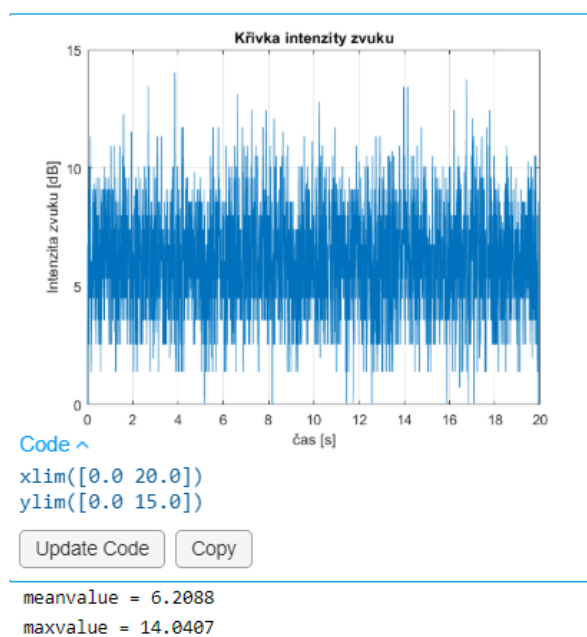


ans = 23.7563
maxvalue = 33.0122

Obrázek 38. Analýza mého hlasu a výstupu z přístroje na měření šustivosti

3.4 Analýza dat z naměřených čtyř druhů materiálu přístrojem na měření šustivosti dostupném na TUL

Před experimentem je nutné zohlednit i zvuk, vydávaný elektromotorem, který je součástí přístroje (viz obrázek 13). Elektromotor vydává opakující se zvuk o velmi malých hodnotách – kolem 6 dB (viz obrázek 39). Tento zvuk jsme schopni změřit jen v případě, když v přístroji není upnutá žádná textilie. Prvním důvodem je vzdálenost mikrofonu od textilie, jelikož textilie je k mikrofону blíže než elektromotor. Druhým důvodem je, že textilie dosahuje větších hodnot intenzity zvuku, tudíž elektromotor i přehluší. Pokud by elektromotor ovlivňoval výsledky analýzy, program Audacity dokáže zvuk elektromotoru odstranit. Odstranění spočívá v eliminování určitých hodnot amplitudy, ve kterých se nacházejí hodnoty elektromotoru a následně se uloží nová nahrávka bez těchto hodnot a tato nahrávka je dále použita pro analýzu – pokud by tento případ nastal, musela by být intenzita zvuku textilie vyšší než intenzita zvuku elektromotoru, v opačném případě by musel být použit spektrální analyzátor. Ovšem jak je již zmíněno, pro tento program to není nutné, jelikož mikrofon snímá zvuk, který je blíže a tím pádem přehluší zvuk motoru. Důkazem tohoto tvrzení je porovnání křivky intenzity zvuku elektromotoru na obrázku 39 a obrázku 45, kde je křivka intenzity zvuku syntetických textilií a jde vidět, že elektromotor svým zvukem do analýzy nezasáhl a pokud ano, tak jen nepatrně.

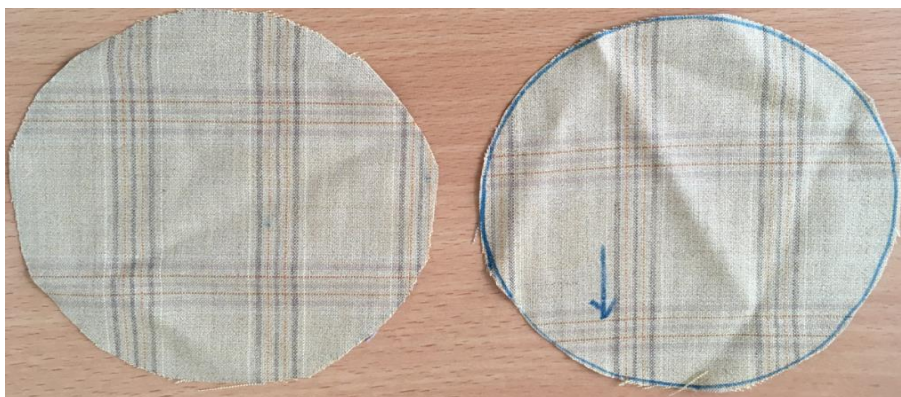


Obrázek 39. Křivka intenzity zvuku elektromotoru

Přehled textilií, které byly použity pro měření šustivosti

Pro analýzu byly vybrány 4 textilie, které jsou na obrázku 40, 41, 42 a 43. Tkaniny byly rozděleny podle subjektivního pocitu do dvou skupin: šustivé a nešustivé. Nešustivé zastupují bavlněná a vlněná tkanina, zatímco tkaniny na outdoorové oblečení patří do skupiny šustivých. Tyto skupiny by měl umět rozlišit i program, který jsem vytvořil. Pro skupinu šustivé by měla data ukazovat vyšší hodnoty než pro vlněnou a bavlněnou tkaninu.

Nutno zdůraznit, že informace, které budou u každé textilie, jsou orientační, jelikož cílem práce nebylo zkoumat vliv vlastností a struktury tkanin na šustivost, nýbrž vytvořit program, který analyzuje zvukové nahrávky z přístroje a zjistí, jak významné jsou rozdíly mezi subjektivně šustivou a nešustivou textilií.



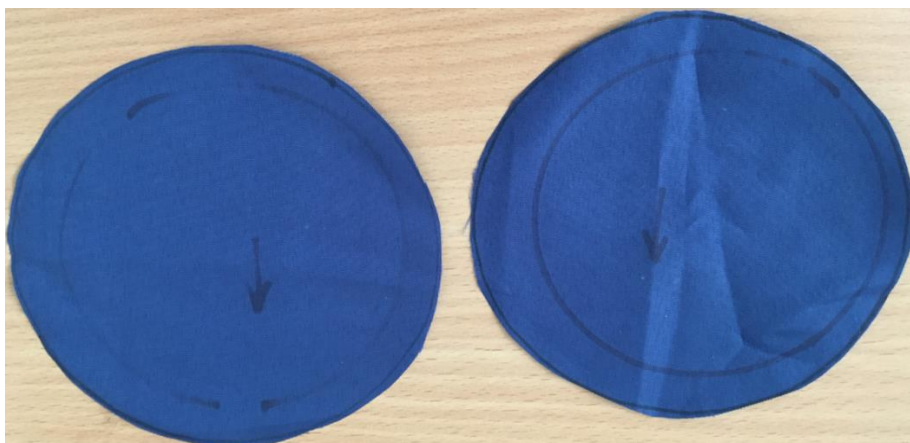
Obrázek 40. Textilie -vlna

Na obrázku 40 je textilie z přírodních materiálů (vlny) v plátnové vazbě. Patří do skupiny subjektivně nešustivých tkanin.



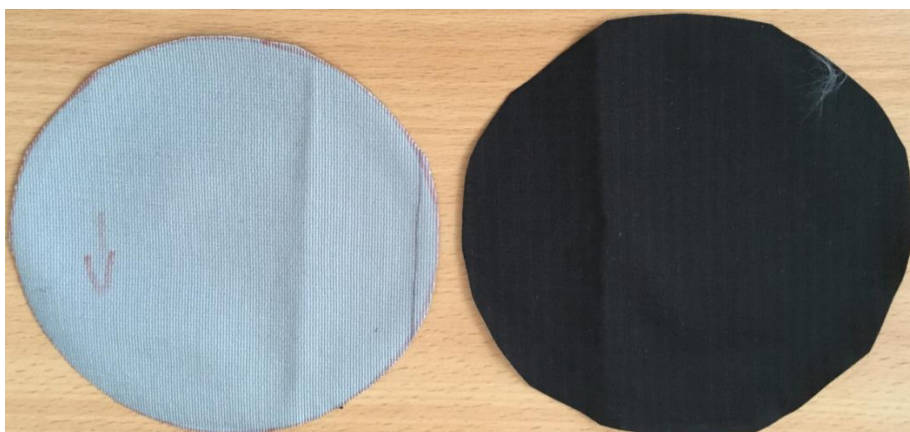
Obrázek 41. Textilie - bavlna

Druhá textilie na obrázku 41 je textilie z bavlny, opět zastupující subjektivní skupinu nešustivých tkanin. Jedná se o tkaninu v plátnové vazbě.



Obrázek 42. Textilie - syntetika

První textilie ve skupině šustivých tkanin je syntetická tkanina v plátnové vazbě a jedná se o multifil o směsi cca 12 tvarovaných a rovných fibril.



Obrázek 43. Textilie - syntetika

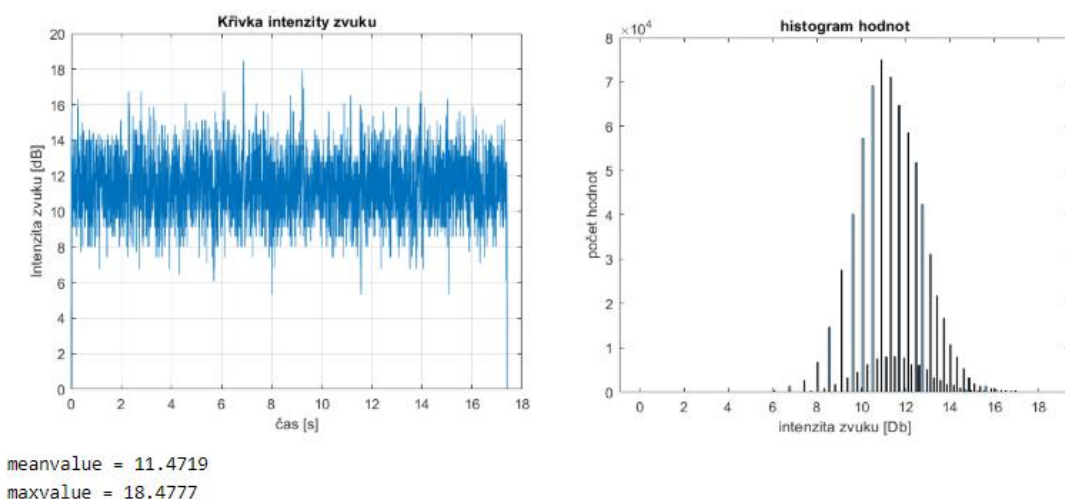
Poslední textilie k analýze byla také syntetická (viz obr 43). Z lící strany (černá barva) se jedná o multifil s pěti fibrilami a z rubní strany (šedá barva) o pleteninu. Mezi těmito vrstvami se nachází membrána.

Po analýze šustivosti těchto čtyř materiálů by měly hodnoty intenzity zvuku (dB) vykazovat vyšší hodnoty pro textilie na obrázku 42 a 43, jelikož subjektivně se zdají být šustivější než textilie na obrázku 40 a 41.

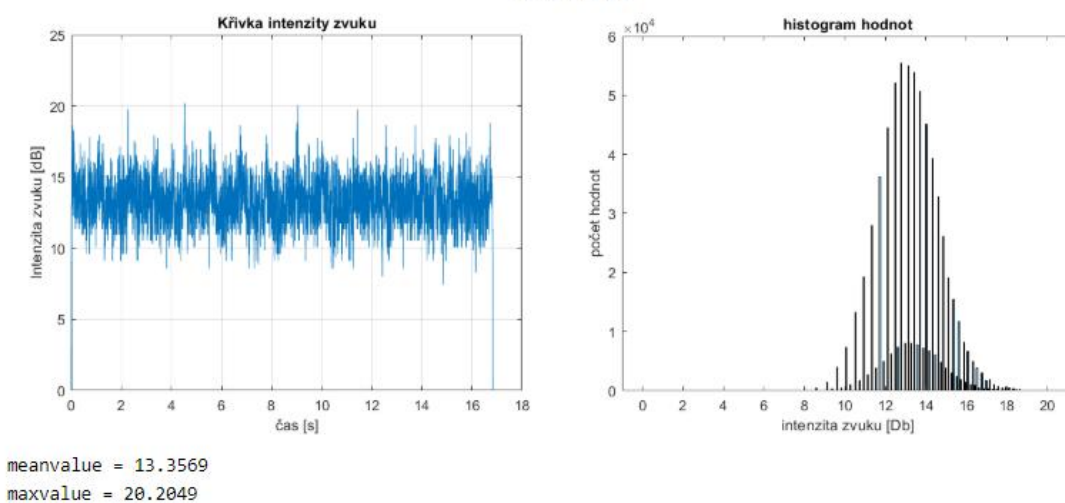
Analýza zvuků naměřených na přístroji

Pro analýzu byl použit odhlučněný box, ve kterém byl umístěn mikrofón (viz obrázek 13). Je to důležité zdůraznit, jelikož jinak by mohly být hodnoty zkreslené kvůli vnějším zvukům.

Vlna



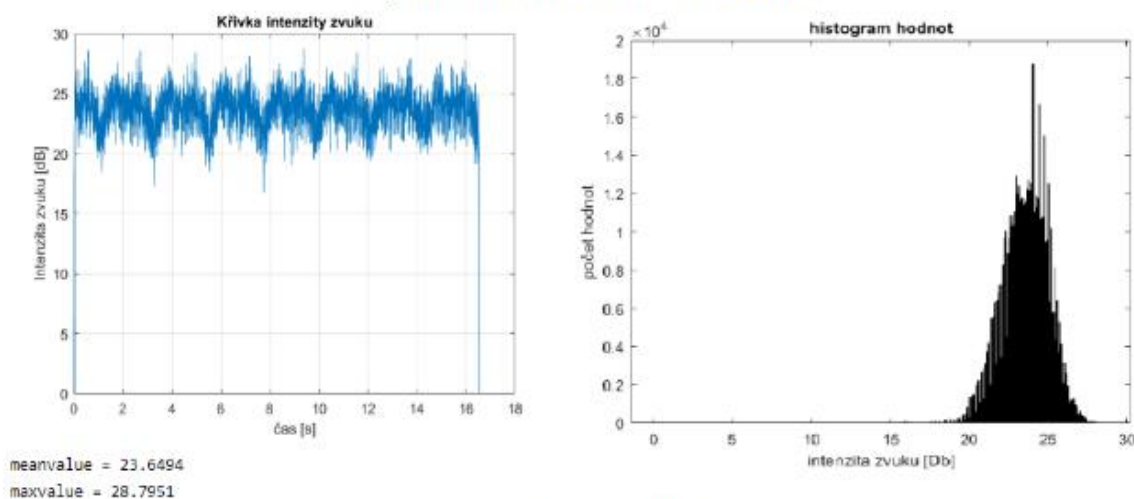
Bavlna



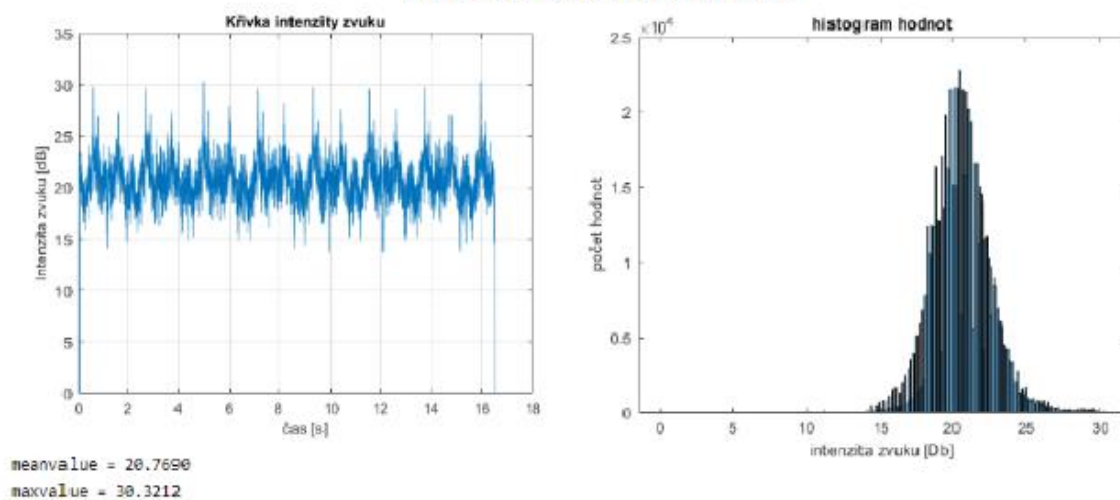
Obrázek 44. Analýza dat subjektivně nešustivých textilií

Na obrázku 44 je vidět, že při analýze zvuků subjektivně nešustivých textilií, vykazuje bavlněná tkanina vyšší hodnotu intenzity zvuku než tkanina z vlny. Můžeme tedy říci, že bavlněná textilie má větší šustivost než vlněná textilie. K tomuto závěru dojdeme, když se podíváme na křivku intenzity zvuku – křivka vlny se pohybuje mezi hodnotami 9 – 14 dB – Já se řídím hlavně průměrnými hodnotami, která je u vlny 11,5 dB, zatím co u bavlny je průměrná hodnota 13,4 dB a křivka se pohybuje v rozmezí 10 - 17 dB – lze vyčíst i z histogramu.

Syntetická textilie černo-šedá



Syntetická textilie modrá



Obrázek 45. Analýza dat subjektivně šustivých textilií

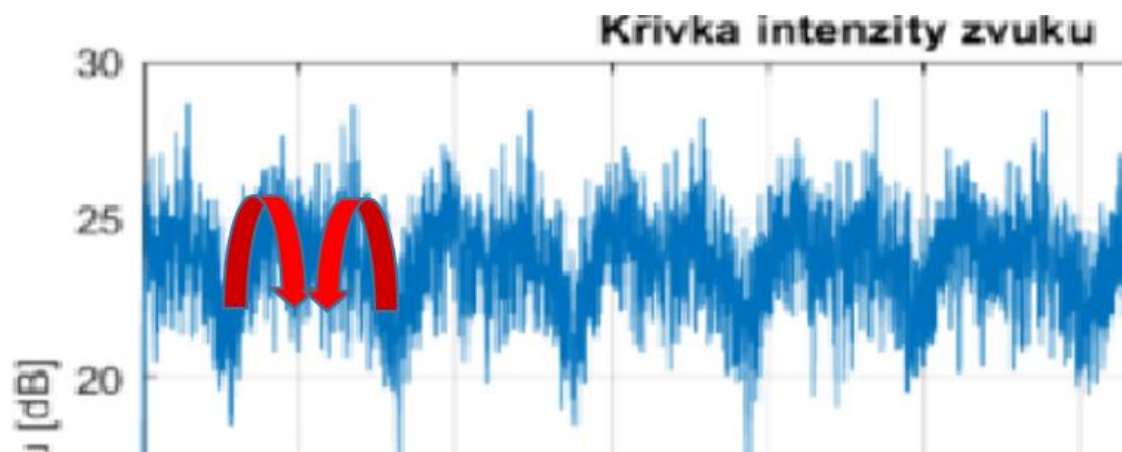
Na obrázku 41 je analýza zvuků subjektivně šustivých textilií. Jak můžeme vidět, program potvrdil předpoklad, že subjektivně šustivé textilie jsou skutečně šustivější, než textilie subjektivně nešustivé a to až dvojnásobně. Opět můžeme tvrzení ověřit pomocí křivky, která se nachází v rozmezí 20 -27 dB (průměrná hodnota 23,6494 dB) pro černo-šedou textilií (textilii s membránou - viz obrázek 43) a 15-27 dB (průměrná hodnota 20,7690 dB) pro modrou textilií (viz obrázek 42).

Shrnutí výsledků

Analýza, provedena mým programem, dokázala správně vyhodnotit šustivost jednotlivých textilií dle předpokladu a navíc byly zjištěny další důležité informace. Jednou z těchto informací bylo, že textilie bavlněná má větší intenzitu zvuku než vlněná a to o průměrné 2 dB. Další informace byla, že syntetická textilie modrá (s membránou), se liší od vlněné už o 9 dB, což je již značný rozdíl. Tento rozdíl bylo možné vypočítat už při subjektivním hodnocení, které spočívalo v poslechu šustivosti uchem při tření textilie mezi prsty. Subjektivním hodnocením textilií se zdály být syntetické textilie šustivější, a jak vidíme, tak je to potvrzené i programem. Ovšem subjektivně nebylo možné značně posoudit, zdali je šustivější vlna nebo bavlna, či syntetická textilie modrá nebo syntetická textilie černá. Syntetické textilie se od sebe liší o 3 dB, kde černo-šedá textilie má největší intenzitu zvuku ze všech textilií, které byly prozatím analyzovány. Rozdíl mezi černo-šedou syntetickou textilií a vlněnou textilií je průměrných 12 dB, což je rozdíl mezi nejméně a nejvíce šustivou textilií, které byly k dispozici při měření.

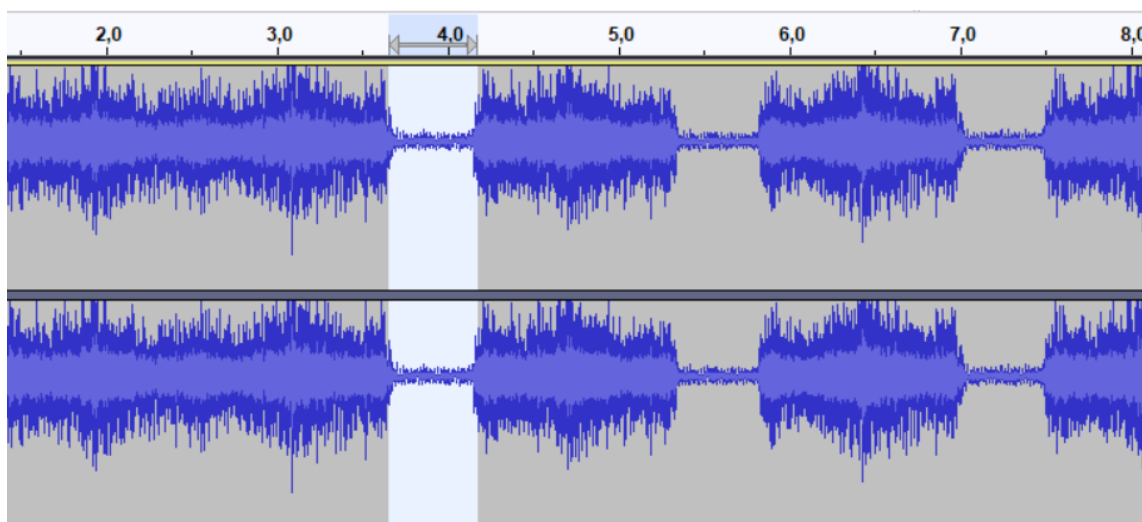
Procentuálně je rozdíl mezi vlněnou a bavlněnou textilií 16,52%. Čili bavlněná textilie je o 16,52% šustivější než vlněná. Syntetická textilie černo-šedá je o 13,46% šustivější než textilie modrá (s membránou). Nejšustivější textilie (černo-šedá) se od nejméně šustivé textilie (vlněné) liší o 51,27%, což je více jak o polovinu.

Pro tyto analýzy byl použit zvuk, vyvolaný třením, který vydává textilie při pohybu otočného stolku (viz obrázek 13) tam a zpět. Tento jev jde vidět i na průběhu křivky, zvýrazněného na obrázku 42 červenými šipkami.



Obrázek 46. měření přístrojem tam a zpět - vysvětlení na křivce

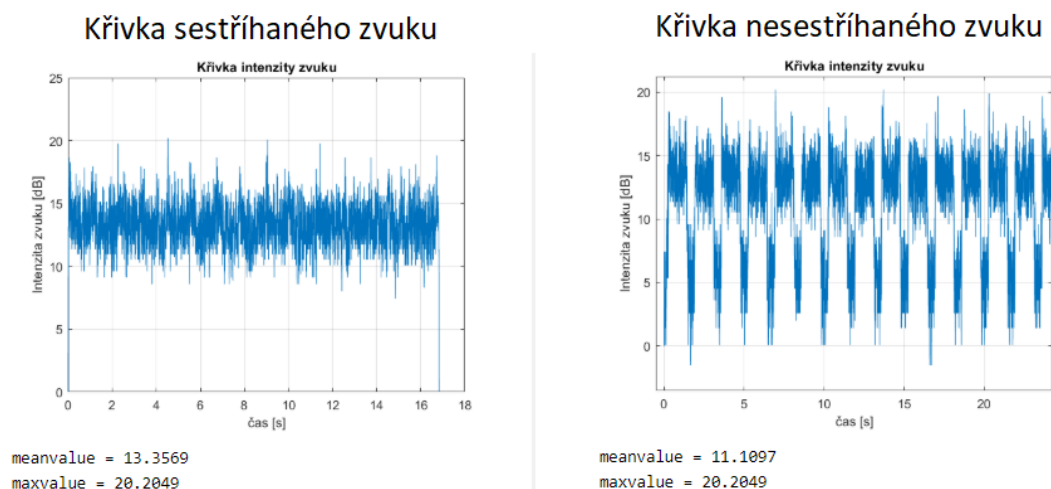
Pokud se otáčí upínací stolek tam a zpět při měření, jsou ve výstupním signálu mezery, způsobující nepřehledná data, které zkreslují výslednou křivku, jelikož výsledná křivka je tvořena průměrnými hodnotami okolních bodů amplitudy. Z tohoto důvodu je dobré zvuk nejprve sestříhat (například v programu Audacity viz obrázek 47) a tím odstranit části zvuku, které mají velký propad hodnot signálu, neboli místo, kde se stolek, na kterém je upnuta textilie výrazně zpomalí a začne se otáčet na druhou stranu.



Obrázek 47. Sřih zvuku

Na obrázku 47 je označena světlou barvou část, kterou chci odstranit ze záznamu, je to ta část, kde se stolek s textilií zastaví a začne se otáčet na druhou stranu.

Rozdíl signálu, kde jsou tyto zvuky odstraněny a kde ne, je vidět na obrázku 48.



Obrázek 48. Rozdíl sestříhané a nesestříhané křivky

Při porovnání křivek na obrázku 48, vidíme velký rozdíl jak v průběhu křivky, tak v průměrné hodnotě intenzity zvuku. Je to z důvodu, že když se motor otáčí tam a zpět a začne měnit směr otáčení stolku, kde je upnuta textilie, začne před koncem cyklu zpomalovat a tím vydávat mnohem menší šustivost, proto je dobré tento zvuk, vyvolaný zpomalením stolku eliminovat v editačním programu (viz obrázek 47).

Pokud by se upínací stolek otáčel pravidelně jen dokola, vypadala by křivka jako na obrázku 36, pro analýzu je takovýto signál vhodnější, jelikož se nemusí nijak upravovat.

Na přiblížení (viz obrázek 46), lze spatřit, kde se nachází nejvíce hodnot. Čím více má křivka v daném místě bodů, tím je sytější. Nejvíce sytá je v rozmezí 21-26 dB a průměrná hodnota tohoto grafu je 23,65 dB (viz obrázek 45 – Syntetická textilie černo-šedá). Tyto hodnoty tedy můžeme považovat za stěžejní. Ke stejnému závěru dojdeme i z histogramu, který je součástí programu jen pro ověření a upřesnění dat, vyčtených z křivky intenzity zvuku jednotlivých nahrávek. Přiblížení křivky je možné i přímo v programu, kde se může graf i vytisknout, či kopírovat do jiných souborů.

Závěr

Po vymezení pojmů, seznámení se s problematikou měření zvuku a vysvětlením co to vlastně zvuk je, bylo možné začít tvořit software. Nejprve jsem zkusil funkce, které Matlab nabízí, ale ty bohužel nezobrazovaly správné hodnoty, musel jsem tedy vytvořit svou vlastní funkci, kde byly použity jen mé přepočty, které jsem mohl kontrolovat. Dále jsem zjistil, že výsledky, které můj software vyhodnotí, nemohou být správné, pokud nepřepočítám citlivost mikrofону. Každý mikrofon má totiž svou citlivost a tudíž i jinak snímá zvuk. Po přepočítání citlivosti a zapsání všech potřebných vzorečků ve správném formátu, je program připraven k použití a dokáže změřit jakýkoliv zvukový záznam, který získáme „ocejchovaným“ mikrofónem. Do programu stačí jen vložit soubor ve formátech .mp3, .mp4, .wav. nebo jiných formátech dat, které je Matlab schopen přečíst. Pro demonstraci funkčnosti mé aplikace jsem analyzoval stejný záznam zvuku jako při analýze, která je v kapitole 3.1, můj program však vyhodnotil záznam ve správných hodnotách. Jak je uvedeno v kapitole 3, analyzovaný zvuk by se měl pohybovat kolem hodnoty 60 dB (viz tabulka 1). Program, na kterém jsem pracoval, vyhodnotil intenzitu zvuku na 62 dB, což se velmi blíží hodnotě, která je uvedena v tabulce 1. Jako důkaz, že program funguje, jsem jen vyměnil vstupní soubor za jinou zvukovou nahrávku a jedním tlačítkem (play script), jsem analyzoval další zvukový soubor. Tento proces jsem provedl celkem čtyřikrát, výsledky těchto analýz jsou na obrázcích 37 a 38. Poslední úlohou této bakalářské práce bylo použít program pro analýzu dat, naměřených na přístroji pro měření šustivosti. Analýza byla provedena pro čtyři druhy textilií, kde dvě zastupovaly skupinu subjektivně šustivých (černo-šedá s membránou a modrá – viz obrázek 43 a 42) a subjektivně nešustivých (vlna, bavlna – viz obrázek 40 a 41).

Předpokladem bylo, že vyhodnocená data by měla ukazovat větší intenzitu zvuku (šustivosti) pro skupinu subjektivně šustivějších textilií. Pokud by program takto data nevyhodnotil, pravděpodobně by nepracoval správně. Program však předpoklad splnil a dokonce vykreslil křivku, v jakých hodnotách intenzity zvuku se pohybuje šustivost jednotlivých materiálů. Program tedy pracuje správně a může se použít pro budoucí analýzy zvuků jako výchozí program pro nově dostupný přístroj na měření šustivosti. Další zjištění při použití programu bylo, že bavlněná textilie v plátňové vazbě šustí více než vlněná textilie v plátňové vazbě. Při analyzování jsem narazil na problém v podobě mezer s velkým propadem hodnot amplitudy zvuku u zvukových záznamů. Při měření na přístroji cyklem tam a zpět, se motor, který otáčí stolek, kde je upnuta tkanina, na konci cyklu výrazně zpomalí. Je to v okamžiku, kdy se stolek s tkaninou začíná otáčet na druhou stranu. Pokud bych tyto mezery neodstranil, ovlivňovaly by výsledky měření. Musel jsem tedy použít editační program Audacity, ve kterém jsem vytvořil souvislý záznam bez mezer. Takto získaný záznam již bylo možné analyzovat, bez chyb.

Použitá literatura (zdroje)

- [1] HES, Luboš a Petr SLUKA. *Úvod do komfortu textilií*. Liberec: Technická univerzita, 2005. ISBN 80-7083-926-0
- [2] Cooper C., Norton J., Marshman C., Norton I. The acoustics of friction and microstructure of model and apparel fabrics. *Textile Research Journal*. 2014, svazek 84(6), strany 626-637
- [3] Yi E., Cho G. Fabric sound parameters and their relationship with mechanical properties. *Textile Research Journal*. 2000. svazek 70(9), strany 828-836
- [4] Cho S., Cho G., Chunjeong K. Fabric Sounds Depends on Fiber and Stitch Types in Weft Knitted Fabrics. *Textile Research Journal*. 2009. svazek 79(8), strany 761-767
- [5] *Analog Digital Music* [online]. Zvuková vlna. ©2019 [cit. 2019-11] Dostupné z: <http://admmagazin.cz/zvukova-vlna-zvuk-1/>
- [6] *Physics 212* [online]. The Physics of Noise Canceling Headphones ©2007 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: http://ffden-2.phys.uaf.edu/212_spring2011.web.dir/michael_hirte/Waves.htm
- [7] *Wikipedia* [online] Sound Pressure. ©2019 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Sound_pressure
- [8] *Engineering ToolBox* [online]. Sound Pressure. ©2004 [cit. 2019-11-18]. Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/sound-pressure-d_711.html
- [9] KNIGHT, Helen. 2013. Leaner Fourier Transforms. *Massachusetts Institute of Technology news* [online] 1(1) [cit. 2019-11-19]. MA 02139-4307. Dostupné z: <http://news.mit.edu/2013/leaner-fourier-transforms-1211>
- [10] *Wikipedie*. [online]. Amplituda ©2019 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Amplituda>
- [11] *Wikipedie* [online]. Frekvence. ©2019 [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Frekvence>
- [12] *Wikipedie* [online]. Vzorkovací frekvence ©2019 [cit. 2019-11-19] Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Vzorkovac%C3%AD_frekvence?_sm_au_=iVVtqjvNSFwQV5q523jRBKHsLv0sM
- [13] KAŇKA, Jan, 1990. Intenzita zvuku - decibel *TZB-info* [online]. Stavební fakulta ČVUT Praha 1(216). [cit. 2019-11-19]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/216-intenzita-zvuku-decibel>
- [14] *cnews.cz* [online]. V Brně vzniklo nejtišší místo Česka

[15] *Head acoustics* [online]. ArtemiS SUITE © 2019 [cit. 2019-2-12] Dostupné z:
[https://www.head-](https://www.head-acoustics.com/eng/nvh_artemis_suite_video_tutorials_quick_start_latest.htm)
[acoustics.com/eng/nvh_artemis_suite_video_tutorials_quick_start_latest.htm](https://www.head-acoustics.com/eng/nvh_artemis_suite_video_tutorials_quick_start_latest.htm)