

# Forenzní audio analýza

Bc. Milan Struška

---

Diplomová práce  
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Milan Struška**  
Osobní číslo: **A15187**  
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Forenzní audio analýza**  
Téma anglicky: **Forensic Audio Analysis**

## Zásady pro vypracování:

1. **Nastudujte základy forenzní audioexpertízy a seznamte se s fyzikální podstatou zvuku.**
2. **Obeznamte se s principy zpracování zvuku a řeči v kriminalistické praxi.**
3. **Popište základní softwarové produkty určené pro audio analýzu.**
4. **Provedte experimentální analýzu vybraných audio vzorků pomocí zvoleného programu.**
5. **Vytvořte na základě požadavků vyučujícího 3 audio vzorky do výuky předmětu Forenzní vědy.**
6. **Zhodnoťte výsledky práce a nastiňte možné trendy.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. VAŇKOVÁ, Jitka. The Efficiency of Different Formant Parameters for Speaker Discrimination. Acta Universitatis Carolinae – Philologica 1/Phonetica Pragensia XIII, 2014, str. 43 –54, ISSN 0567-8269.
2. ŠIMOVČEK, Ivan a kol. Kriminalistika. 1. vydání. Bratislava: lura edition, spol. s.r.o., 2001, 326 str., ISBN 80-89047-12-2.
3. ŠTRAUS, Jiří a kol. Kriminalistická technika. 3. rozšířené vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2012, 446 str., ISBN 978-80-7380-409-1.
4. RAK, Roman a kol. Biometrie a identita člověka ve forezních a komerčních aplikacích. Praha: Grada, 2008, 664 str., ISBN 978-80-247-2365-5.
5. GOLD, Bernard, Nelson MORGAN a Dan ELLIS. Speech and audio signal processing: processing and perception of speech and music. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley, 2011, 661 str. ISBN 978-047-0195-369.
6. SKARNITZL, Radek. Fonetická identifikace mluvčího. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Filozofická fakulta, 2014, 163 str. ISBN 978-80-7308-548-3.
7. SCHULLER, Björn W. Intelligent Audio Analysis. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013, 345 str., ISBN 978-3-642-36805-9.

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. et Ing. Kateřina Sulovská, Ph.D.**

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání diplomové práce:

**3. února 2017**

Termín odevzdání diplomové práce:

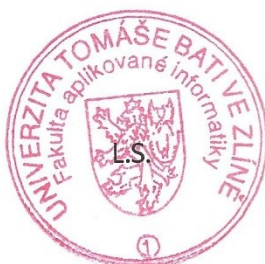
**24. května 2017**

Ve Zlíně dne 3. února 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.

*děkan*



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.

*ředitel ústavu*


### Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### Prohlašuji,

- že jsem na diplomové pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 23.5 2017

  
.....  
podpis diplomanta

## **ABSTRAKT**

Narastajúci počet trestných činov, v ktorých figuruje audiozáznam, podnietil vznik oboru forenzej audio analýzy. Diplomová práca sa snaží predstaviť problematiku forenzej audio analýzy. Cieľom je vytvoriť teoretický prehľad poskytujúci všetky potrebné informácie k pochopeniu tematiky. Teória sa zaoberá zvukom a akustikou, forenznou audio expertízou a kriminalistickou praxou. Z praktického hľadiska práca hodnotí vybrané audio softwarové produkty, popisuje proces experimentálnej analýzy na dvoch určených audio súboroch, taktiež obsahuje tvorbu troch audio nahrávok a návrh súboru úloh, ktoré sú určené pre potreby predmetu Forezná veda. Zvyšok práce je venovaný zhodnoteniu dosiahnutých výsledkov a odhadu možných trendov vo forenzej audio analýze.

**Kľúčové slová:** forezná audio analýza, zvuk, akustika, audio expertíza, audio nahrávka

## **ABSTRACT**

The increasing number of criminal activities, involving audio recording, has prompted the origin of forensic audio analysis. The thesis tries to introduce forensic audio analysis. The aim is to create a theoretical overview, providing all the necessary information to understand the subject. Theory deals with sound and acoustics, forensic audio expertise and criminal practice. From a practical point of view, the work evaluates selected audio software products, describes the process of experimental analysis on two selected audio files, also contains the creation of three audio recordings and the suggestion of tasks that are designed for the purposes of Forensic Science class. The rest of the work is devoted to evaluating the achieved results and estimating possible trends in forensic audio analysis.

**Keywords:** forensic audio analysis, sound, acoustics, audio expertise, audio recording

## **Pod'akovanie**

Na tomto mieste by som sa rád pod'akoval Ing. et Ing. Kateřine Sulovskej, Ph.D. za ochotu, nápady, rady a trpezlivosť pri tvorbe diplomovej práce. Rovnako pri pod'akovaní nemôžem zabudnúť na svoju priateľku, rodinu a kamarátov, ktorí ma pri štúdiu a písaní práce podporovali.

## **Motto**

*"Všetko, čo si dokážete predstaviť je skutočné."*

- - Pablo Picasso

## **Prehlásenie**

Čestne prehlasujem, že pri vypracovávaní diplomovej práce som pracoval samostatne a literatúru, z ktorej som čerpal, som citoval. Tlačená verzia práce sa zhoduje s verziou odovzdanou do systému IS/STAG.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 AKUSTIKA</b> .....	<b>11</b>
1.1 ZÁKLADNÉ POJMY AKUSTIKY .....	13
1.1.1 Zvuk .....	13
1.1.2 Akustické veličiny.....	15
1.1.3 Zdroje zvuku .....	16
1.1.4 Vlastnosti zvuku.....	17
1.1.5 Šírenie zvuku.....	18
1.2 FYZIOLOGICKÁ AKUSTIKA .....	19
1.2.1 Sluchový orgán.....	20
1.2.2 Hlasový orgán .....	20
1.2.3 Vnímanie zvuku človekom .....	22
<b>2 ZÁKLADY FORENZNEJ AUDIOEXPERTÍZY</b> .....	<b>23</b>
2.1 METÓDY FORENZNEJ AUDIOEXPERTÍZY .....	24
2.1.1 Lingvistický rozbor .....	27
2.1.2 Fonetický rozbor .....	27
2.1.3 Elektroakustický rozbor .....	27
2.2 ZAISŤOVANIE AUDIO STÔP.....	28
2.3 IDENTIFIKÁCIA REČNÍKA .....	29
2.3.1 Sporné materiály .....	29
2.3.2 Porovnávacie materiály .....	30
2.3.3 Pomocné materiály.....	32
2.4 ZLEPŠENIE ZROZUMITELNOSTI REČI A POČUTELNOSTI.....	32
2.5 OVERENIE INTEGRITY AUDIOZÁZNAMU .....	34
2.5.1 Analýza súboru.....	35
2.5.2 Analýza obsahu .....	36
<b>3 SPRACOVANIE ZVUKU A REČI V KRIMINALISTICKEJ PRAXI</b> .....	<b>38</b>
3.1 TECHNICKÉ PROSTRIEDKY FORENZNEJ AUDIO ANALÝZY .....	39
3.1.1 Počítačová výbava.....	39
3.1.2 Mikrofóny .....	40
3.1.3 Reprodukory.....	41
3.1.4 Slúchadlá .....	41
3.1.5 Doplnkové zariadenia.....	42
3.2 NÁSTROJE FORENZNEJ AUDIOEXPERTÍZY .....	43
3.2.1 Vlastná analýza .....	43
3.2.2 Analýza spektrogramov .....	43
3.2.3 Analýza formantov .....	44
3.2.4 Analýza rušivých vplyvov.....	46
3.2.5 Analýza reči .....	46
3.2.6 Subjektívny vplyv .....	47
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>49</b>
<b>4 PREHĽAD SOFTWAREVÝCH PRODUKTOV</b> .....	<b>50</b>

4.1	DC FORENSICS 10 .....	50
4.2	ADOBE AUDITION CC 2017.....	52
4.3	AUDACITY .....	53
4.4	PRAAT .....	55
4.5	SONIC VISUALISER .....	56
4.6	ĎALŠIE SOFTWAREOVÉ PRODUKTY.....	57
<b>5</b>	<b>EXPERIMENTÁLNA ANALÝZA.....</b>	<b>59</b>
5.1	POUŽITÝ HARDWARE .....	59
5.1.1	Počítačová výbava.....	59
5.1.2	Reproduktory.....	59
5.1.3	Slúchadlá .....	60
5.2	POUŽITÝ SOFTWARE .....	60
5.3	ANALÝZA 1 .....	61
5.3.1	Integrita a autenticita –Hash.....	62
5.3.2	Základné informácie o skúmanom súbore .....	63
5.3.3	Vlastná analýza .....	64
5.3.4	Detailná analýza .....	65
5.4	ANALÝZA 2 .....	70
5.4.1	Integrita a autenticita – Hash.....	70
5.4.2	Základné informácie o skúmanom súbore .....	70
5.4.3	Vlastná analýza .....	73
5.4.4	Detailná analýza .....	73
<b>6</b>	<b>TVORBA AUDIO NAHRÁVOK.....</b>	<b>76</b>
6.1	ÚLOHY VŠEOBECNÉHO CHARAKTERU .....	76
6.2	ÚLOHY ŠPECIFICKÉHO CHARAKTERU.....	77
6.2.1	Nahrávka 1 .....	77
6.2.2	Nahrávka 2 .....	78
6.2.3	Nahrávka 3 .....	79
<b>7</b>	<b>ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV PRÁCE A ODHAD TRENDOV.....</b>	<b>81</b>
7.1	ODHADOVANÉ TRENDY VO FORENZNEJ AUDIO ANALÝZE .....	82
7.1.1	Trendy v hardwarovej oblasti.....	83
7.1.2	Trendy v softwarovej oblasti.....	84
	<b>ZÁVER .....</b>	<b>85</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY .....</b>	<b>86</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....</b>	<b>90</b>
	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>91</b>
	<b>ZOZNAM PRÍLOH.....</b>	<b>92</b>



## ÚVOD

Človek je neustále obklopený najrôznejšími zvukmi. Pomocou zmyslového vnímania, konkrétne sluchu, dokáže človek prijímať veľké množstvo informácií a hneď po zraku je to druhý najpoužívanejší zmysel. Väčšina komunikácie prebieha práve prostredníctvom zvuku, presnejšie reči ako špecifického zvukového prejavu, ktorý je nositeľom informácie. Objavením spôsobu zaznamenávania zvuku sa naštartovala éra, ktorá priniesla ľudstvu také technické výdobytky ako gramofóny a magnetofóny, ktoré umožňovali prehrávať médiá, na ktorých bol zvuk uchovaný. No vývoj sa nezastavil pri gramofónových platniach a magnetických páskach. Ďalším dôležitým vynálezom bolo rádio a telefón, nielen z pohľadu technického zariadenia, ale aj z hľadiska možnosti diaľkového prenosu zvukovej informácie. Nasledovali mobilné zariadenia, internet, digitálne médiá. Nové technológie so sebou vždy prinášajú nové príležitosti a možnosti, čo podnecuje k vytváraniu priestoru pre nové obory. Jedným z takýchto oborov je aj forenzná audio analýza, ktorá vznikla za účelom obstarávania a vyhodnocovania audiozáznamov ako dôkazových materiálov pri súdnom konaní či pri foreznom vyšetrení. Tlak na vytvorenie oboru spočíval v narastajúcom množstve trestných činov, v ktorých nejakým spôsobom figuroval audio záznam.

Diplomová práca približuje foreznú audio analýzu ako obor poskytujúci odpovede na otázky spojené s audiozáznamami. Štruktúrne je práca delená na dve hlavné časti, teoretickú a praktickú. Teoretická časť pozostáva z troch kapitol, pričom prvá sa venuje akustike a snaží sa objasniť fyzikálnu podstatu zvuku a definovať súvisiace termíny. Druhá kapitola sa venuje základom foreznej audioexpertízy. Čitateľovi objasní aké úlohy audio analýza rieši a aké metódy používa. V nasledujúcej kapitole sa čitateľ dozvie informácie o spracovaní reči a zvuku v kriminalistickej praxi. To znamená, že bude oboznámený s technickými prostriedkami a nástrojmi, ktoré sú v praxi pri audioexpertíze využívané. Práca plynule prechádza do praktickej časti, ktorej prvou kapitolou je Prehľad softwarových produktov. Kapitola ponúka hodnotenia vybraných audio programov s určením výhod a nevýhod ako aj grafickú ukážku jednotlivých pracovných prostredí. Nasledujúcou kapitolou je experimentálna analýza dvoch audio nahrávok s celkovým postupom a stanovením záveru. Práca pokračuje kapitolou Tvorba audio nahrávok, kde popisuje tri nahrávky a návrh úloh, ktoré boli vytvorené pre potreby predmetu Forezná veda. V poslednej kapitole sú vyhodnotené výsledky práce a odhadnuté trendy vo foreznej audio analýze.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 AKUSTIKA

Z definície, sa akustika považuje za náuku, resp. vedu o zvuku. Vo všeobecnosti sa zaoberá jeho vznikom, šírením a pôsobením. Zvuk je označovaný ako mechanické vlnenie šírené vplynoch, kvapalinách ako i v pevných látkach. Jedná sa o dej, pri ktorom sa kmitanie šíri látkovým prostredím, pričom dej nie je charakterizovaný prenosom látky, ale prenosom energie. [1, 2]

Slovo "akustika" pochádza z gréckeho "akuo", čo v preklade znamená počujem. V literatúre sa často vedú dohady o používaní pojmov ako sú zvuk, počuteľný zvuk, počuteľnosť a podobne. Rozpory vznikajú z jednoduchého dôvodu, že človek dokáže vnímať iba istý zvukový rozsah, a preto niekto za zvuk považuje iba to mechanické vlnenie, ktoré dokáže vnímať ľudské ucho. Druhá strana argumentuje, že za zvuk možno považovať aj kmitanie mimo daného rozsahu, pretože ďalšie živočíšne druhy vnímajú v iných rozsahoch, takisto technikou sme schopní zachytávať zvuky mimo ľudského rozsahu. Terminológia v oblasti akustiky, tiež často využíva pojem "audio", ako aj samotný názov práce "Forezná audio analýza", nesie tento termín, ktorý v zásade vyjadruje rovnaký význam ako grécke "akuo", no pochádza z latinčiny, teda "audio" = "počujem". [3, 4]

Akustiku možno rozdeliť na nasledujúce podskupiny:

- fyzikálna akustika,
- hudobná akustika,
- fyziologická akustika,
- stavebná akustika,
- elektroakustika. [5]

### **Fyzikálna akustika**

Zaoberá sa akustikou z fyzikálneho pohľadu. Skúma šírenie zvuku a jeho zdroje. Patrí sem meranie základných fyzikálnych veličín súvisiacich so zvukom. [5]

### **Hudobná akustika**

Venuje sa základným vlastnostiam a parametrom hudobných nástrojov, takisto sem spadá ich návrh a konštrukcia. Prepojenie teórie hudby s akustikou. [5]

### **Fyziologická akustika**

Zaoberá sa fyziologickou stránkou procesu tvorenia zvuku a jeho zachytením. Úzko prepojená s medicínou. Venuje sa ľudskej anatómii (hlasivky, ucho) a jej vplyvu na vlastnosti a parametre zvuku. Keďže pre tému práce má najväčší význam bude podrobnejšie vysvetlená v samostatnej kapitole. [6]

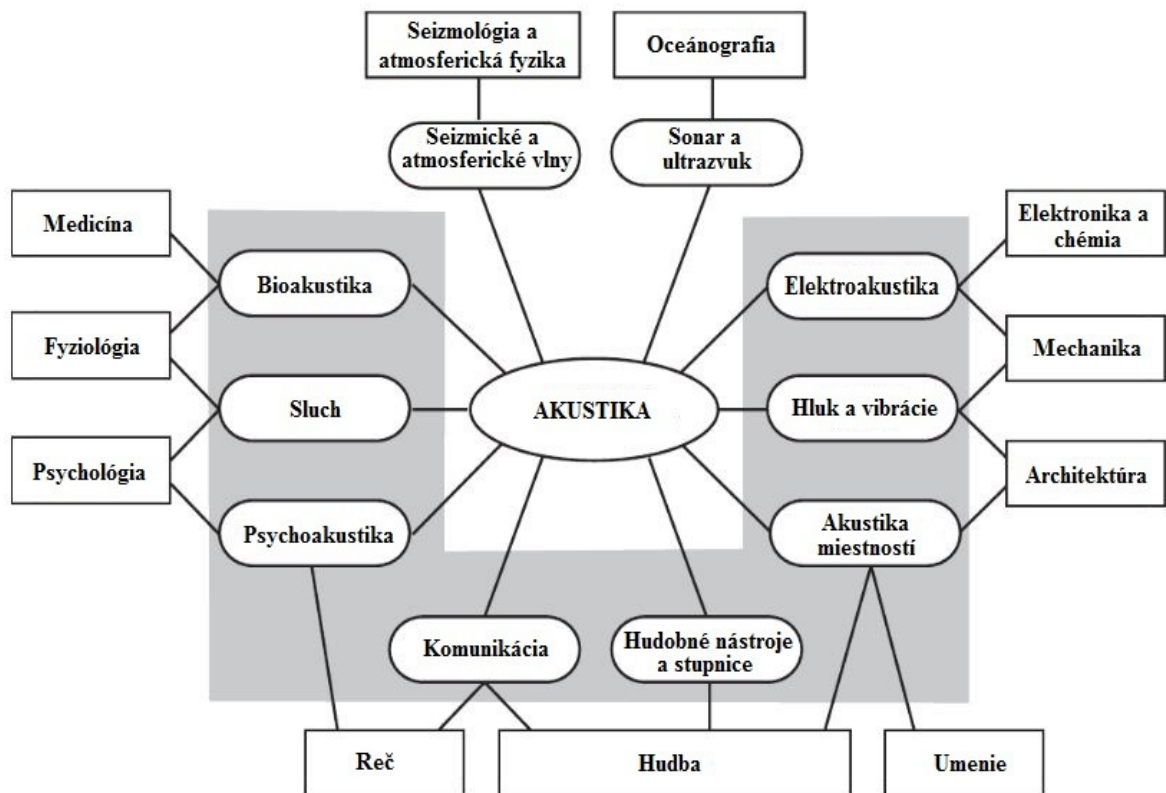
### **Stavebná akustika**

Akustika z pohľadu budov a šírenia zvuku v nich. Ide o skúmanie vlastností zvuku v priestoroch budov, za účelom dosiahnutia želaných výsledkov, často napríklad zvuková izolácia. Spadá sem návrh priestorov z pohľadu rozmerov miestností ako aj použitých materiálov. [5]

### **Elektroakustika**

Spojenie akustiky s disciplínami ako sú elektrotechnika, elektronika, rádioelektronika, telekomunikácie. Skúma záznam, reprodukciu a šírenie zvuku z pohľadu vymenovaných oborov. Elektroakustika je s audioexpertízou úzko spätá najmä z pohľadu technických zariadení, ktoré sú pre jej činnosť nevyhnutné a v práci budú ďalej popísané. [3, 5]

Akustiku, ako takú, je možné považovať za interdisciplinárnu vedu, ktorá sa prelína s množstvom ďalších oborov. Tento fakt ilustruje *Obr. 1*. Taktiež si na uvedenom obrázku možno všimnúť akustiku v kontexte forenznej audio analýzy, v zmysle šedého pozadia za disciplínami, ktorých sa priamo forezná audio analýza dotýka. [7]



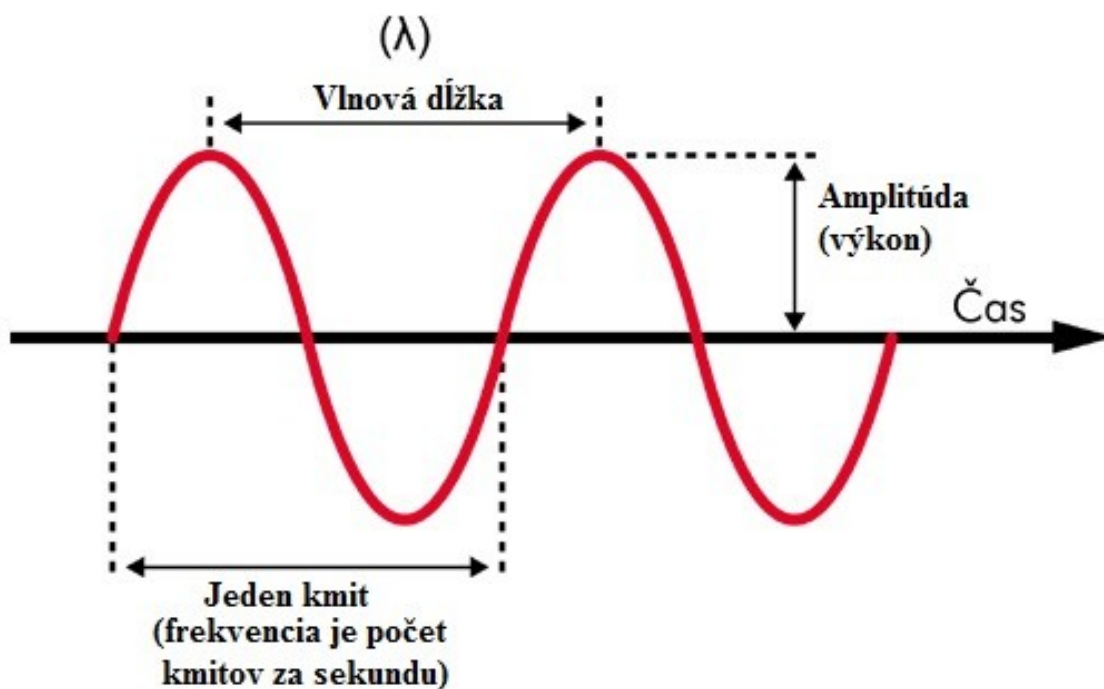
Obr. 1 Akustika ako interdisciplinárna veda [7]

## 1.1 Základné pojmy akustiky

Pre pochopenie problematiky práce je nutné objasniť základné pojmy akustiky, v snahe poskytnúť nevyhnutný teoretický základ a všeobecné znalosti, o ktoré sa bude práca opierať.

### 1.1.1 Zvuk

Ako už bolo spomenuté, zvuk je v podstate vlnenie, čo je jedným z najrozšírenejších javov vo fyzike. Ide o mechanické, konkrétne postupné pozdĺžne vlnenie, čo znamená, že častice pružného prostredia kmitajú v smere šírenia vlny. Podmienkou šírenia je teda pružné prostredie pri zmene objemu, stláčanie a rozpínanie. Vlna je charakterizovaná tromi, resp. štyrmi parametrami. Jedná sa o vlnovú dĺžku, frekvenciu a amplitúdu ako ukazuje Obr. 2. Štvrtým parametrom je fáza. [6]



Obr. 2 Parametre vlny [1]

### Vlnová dĺžka

Označuje sa gréckym písmenom "  $\lambda$  " lambda. Jedná sa o vzdialenosť dvoch najbližších bodov, ktoré kmitajú s rovnakou fázou. Je definovaná ako pomer rýchlosti a frekvencie kmitania. [6]

### Frekvencia

Frekvencia vlny vyjadruje počet vlnových dĺžok, ktoré vlna prejde za jednu sekundu. Jednotkou frekvencie je hertz [Hz]. Prevrátená hodnota frekvencie sa označuje ako perióda. [1]

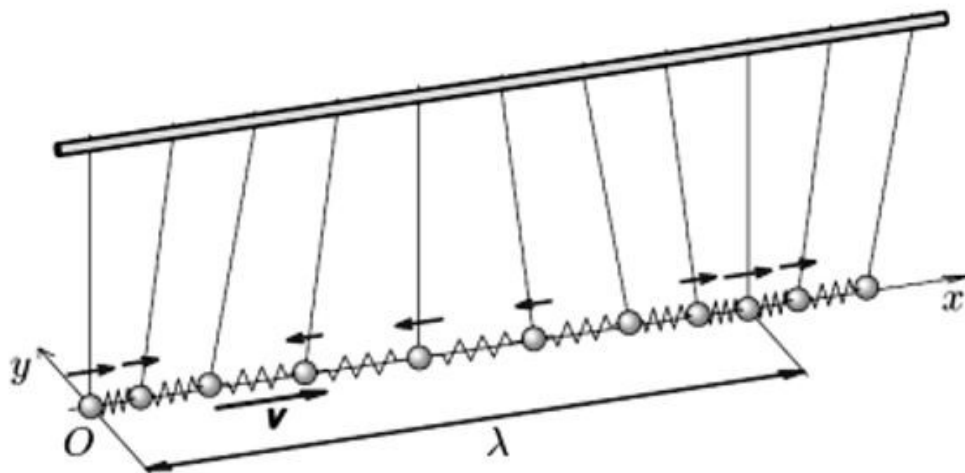
### Amplitúda

Vyjadruje výkon, teda množstvo energie, ktoré v danom časovom okamihu vlna dosahuje. [1]

### Fáza

Popisuje stav vlny v danom mieste a čase. [1]

Na Obr. 3 je pre lepšiu predstavu zobrazená postupná pozdĺžna vlna zakreslená v súradnicových osiach, s vyznačenou vlnovou dĺžkou a smerom postupu vlny.



Obr. 3 Postupná pozdĺžna vlna [6]

### 1.1.2 Akustické veličiny

Aby bolo možné istým spôsobom kvantifikovať parametre zvuku, do akustiky boli zavedené veličiny, pomocou ktorých sa dajú tieto parametre vyjadriť.

#### Akustický tlak

Akustický tlak, označuje sa písmenom  $p$ . Vzniká v dôsledku zhusťovania a zriedovania kmitajúcich častíc. Pri jeho výslednom vyjadrení v súvislosti so zvukovou vlnou je nutné pripočítať k hodnote aj statický tlak prostredia, v ktorom sa vlna šíri. Jedná sa teda o časovo premennú veličinu, ktorá môže nadobúdať ako kladné tak i záporné hodnoty. Jednotkou akustického tlaku je pascal [Pa]. [1]

#### Akustická rýchlosť

Akustická rýchlosť je rýchlosť akou kmitajú častice prostredia okolo svojich rovnovážnych polôh pri tvorbe zvukovej vlny. Je to vektor, ktorý má pri pozdĺžnom vlnení smer šírenia vlny. Je to časovo periodicky premenná veličina. Jednotkou akustickej rýchlosti je  $[m \cdot s^{-1}]$ . [1]

#### Akustický výkon

Označuje sa  $P$ . Jedná sa o výkon prenášaný akustickým vlnením. Energia zvukových vln vyprodukovaná zdrojom. Čím väčšie množstvo energie sa preniesie za čas od zdroja k uvažovanému miestu, tým ma vlnenie väčší akustický výkon. Jednotkou je watt [W]. Pokiaľ sa energia vzťahuje na určitú plochu, potom možno hovoriť o mernom akustickom výkone. [6]

### Akustická intenzita

Akustická intenzita je vyjadrenie strednej časovej hodnoty merného akustického výkonu za dobu jednej periódy. Jednotkou je [ $\mathbf{W \cdot m^{-2}}$ ]. [1]

Napriek zavedeniu veličín ako je akustický výkon či akustická intenzita, vytvoriť si názornú predstavu o akú hlasitosť sa jedná, je pomerne komplikované, a to z dôvodu, ktorým je rozsah sluchového vnímania pri referenčnom kmitočte. Prah počuteľnosti je daný hodnotou  $1\text{pW}$ , naopak ako prah bolesti sa udáva hodnota  $1\text{W}$ . Ak sa dajú tieto hodnoty do pomeru vzniká rozdiel dvanástich rádov. Z tohto dôvodu sa zavádza takzvaná **hladina akustického výkonu**, čiže vyjadrenie v logaritmickej stupnici v jednotkách bel [B]. V praxi sa možno stretnúť najčastejšie s jednotkou decibel [dB]. [6]

### Weberov-Fechnerov zákon

Vyjadruje fakt, že miera fyziologického vnemu je úmerná logaritmu miery jeho fyzikálnej príčiny. Jednoduchšie povedané, ak rastie fyzikálna veličina ako je napríklad akustická intenzita geometrickou radou (po násobkoch), tak sluchový vnem stúpa radou aritmetickou (o určitú hodnotu). [1]

#### 1.1.3 Zdroje zvuku

Za zdroj zvuku sa považuje chvenie pružných telies. Chvenie sa prenáša do okolitého prostredia, v ktorom vybudzuje zvukové vlnenie. Takýchto zdrojov zvuku je veľké množstvo a človek je nimi obklopený v každodennom živote. Ľudský hlas, hudobné nástroje, reproduktory, dopravné prostriedky, rôznorodé stroje, vtáky a ich spev, vietor alebo more sú len zlomkom zdrojov zvuku, s ktorými je človek v stálom kontakte. Každý z týchto zvukov je špecifický a človek ich dokáže rozoznávať. [6]

Generovaný zvuk môže mať harmonický priebeh, takýmto zdrojom zvuku je napríklad hudobná ladička, ktorá poskytuje zvuk s presne určenou frekvenciou. Ak zvuk splní podmienku periodického priebehu, nazýva sa **tón** alebo hudobný zvuk. Najjednoduchším prípadom je takzvaný **jednoduchý tón**, čo je zvuk s harmonickým periodickým priebehom. Jednoduché tóny však nie sú v bežnom živote tak častým javom. Oveľa častejšie je možné sa stretnúť so **zloženými tónmi**, čo znamená, že kmitanie je periodické, no nie harmonické. Ak má kmitanie nepravidelný a navyše neperiodický priebeh nazýva sa **hluk**, za ktorým si možno predstaviť zvuky ako praskanie či šumenie. [6]



### 1.1.4 Vlastnosti zvuku

Vlastnosti zvuku odrážajú jeho kvalitatívny charakter. Sú vyjadriteľné objektívnymi fyzikálnymi veličinami a možno ich merať, no často je dôležitejším faktorom subjektívny pocit, ktorý zvuk prináša. Medzi tri základné vlastnosti patrí:

- výška tónu,
- farba tónu,
- hlasitosť. [6]

#### Výška tónu

Je udávaná jeho frekvenciou. Rozlišuje sa **absolútna výška** tónu, čo je v podstate prístrojom nameraná skutočná hodnota frekvencie a **relatívna výška tónu**, teda hodnota vzťahnutá k **referenčnému tónu**. Ide o podiel skutočnej frekvencie a frekvencie referenčného tónu, ktorá má najčastejšie hodnotu 440 Hz (komorné "a") alebo v technickej praxi býva využívaná hodnota 1 kHz. [6]

#### Farba tónu

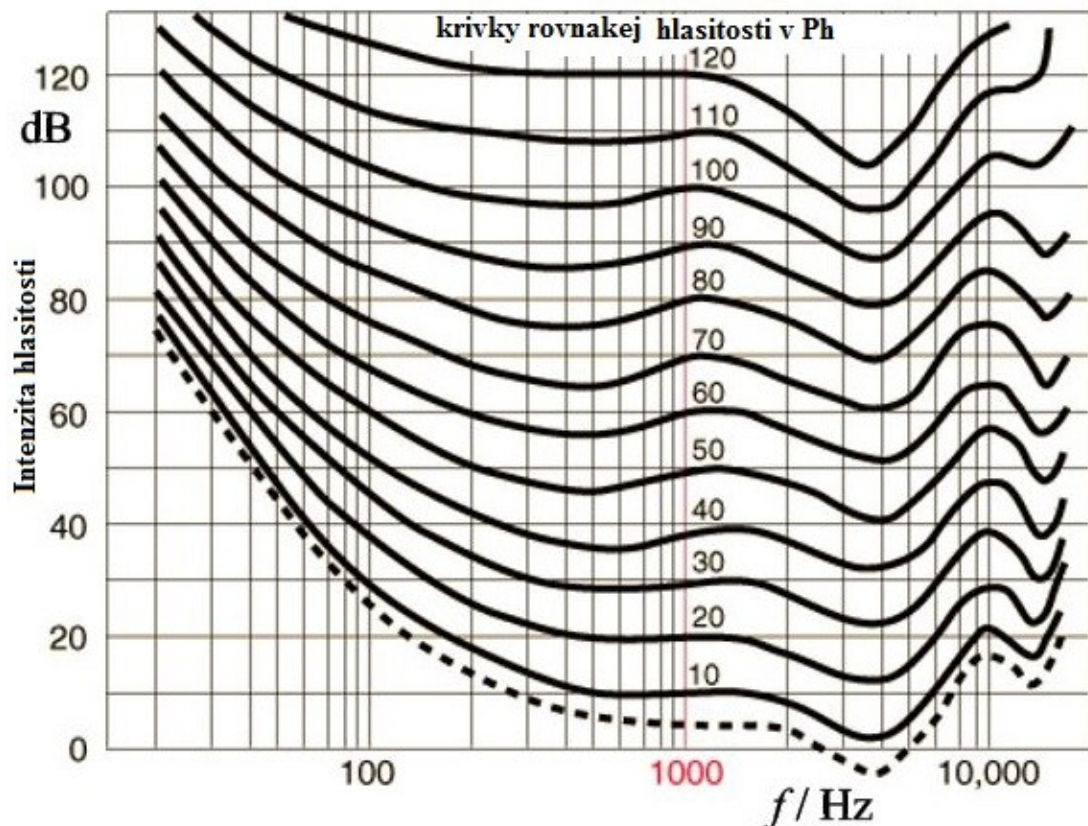
Vďaka farbe tónu je človek schopný rozlíšiť dva zložené tóny rovnakej absolútnej výšky. V jednoduchosti povedané, dva rôzne hudobné nástroje pri zahratí rovnakého tónu vydajú iný zvuk. Tento fakt je spôsobený počtom vyšších harmonických frekvencií obsiahnutých v zloženom tóne ako aj ich amplitúdami. [6]

#### Hlasitosť

Hlasitosť sa považuje skôr za subjektívnu vlastnosť, pretože každý človek ju vníma rozdielne. Zvuk, ktorý sa môže niekomu zdať slabo počuteľný, môže iný človek vnímať dostatočne. Hlasitosť sa značí  $N$  a jej jednotkou je [son]. Za referenčnú hlasitosť bol vybratý sínusový tón s frekvenciou 1 kHz a hladinou akustického tlaku 40 dB. Referenčný tón má hodnotu hlasitosti práve 1 son a každý zvuk, ktorý daný človek vníma ako rovnako hlasný má potom taktiež hodnotu hlasitosti 1 son. Ak je vnímaný zvuk dvakrát silnejší hodnota hlasitosti sú 2 sony. [2]

Problematika hlasitosti zvuku si vyžiadala ešte jednu veličinu a to takzvanú hladinu hlasitosti s jednotkou jeden fón [Ph]. Hladina hlasitosti číselne súhlasí s hladinou akustickej intenzity čistého tónu 1kHz v dB, prichádzajúceho spredu v rovinných postupných vlnách, o ktorom pozorovateľ usúdi, že má rovnakú hlasitosť ako skúmaný zvuk. Po uskutočnení série subjektívnych testov bol vytvorený graf, ktorý popisuje hladiny

rovnakej hlasitosti. Graf zobrazuje takzvané Barkhausenove krivky rovnakej hlasitosti a nachádza sa na *Obr. 4*. [2]



*Obr. 4* Barkhausenove krivky rovnakej hlasitosti [6]

K vlastnostiam zvuku sa radia aj ďalšie, ktoré sú menej všeobecne známe, pričom vychádzajú z uvedených základných. Jedná sa o vlastnosti ako sú ostrosť, kolísavosť či hrubosť zvuku. [2]

### 1.1.5 Šírenie zvuku

Najdôležitejším faktorom šírenia zvuku je jeho rýchlosť, ktorá je vo vzduchu približne  $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Presná hodnota je závislá na jeho zložení, obsahu nečistôt, vlhkosti či teplote. Naopak pri jej určovaní nezáleží na tlaku vzduchu ani od frekvencie vlnenia. Kvapaliny a pevné látky vedú zvuk rýchlejšie.

Šírenie zvuku nie je ovplyvnené iba médiom, v ktorom sa zvuk prenáša. Do hry vstupujú aj iné faktory ako je tvar miestnosti prípadne exteriéru, použité materiály, prekážky, na ktoré zvuk dopadá. Pri problematike šírenia zvuku nemožno nespomenúť všeobecne známe pojmy ako sú **ozvena** a **dozvuk**, no i menej známe **maskovanie** a **Dopplerov jav**. [6]

### **Ozvena**

Jav, ktorý vzniká v dôsledku ľudského sluchového vnímania. Rozlíšiteľnosť po sebe nasledujúcich zvukov v prípade človeka je limitovaná dobou 0,1 sekundy. Za túto dobu zvuk prejde približne 17 metrov. Ak je pozorovateľ vzdialený od odrazovej plochy aspoň 34 metrov, dvojnásobná vzdialenosť z dôvodu obojsmernej cesty zvuku od pozorovateľa a k pozorovateľovi, nastáva efekt ozveny. Okrem vzdialenosti je podmienkou vzniku ozveny aj dostatočne veľká prekážka (skalná stena, útes, väčšia budova...). [6]

### **Dozvuk**

Dozvuk vzniká práve v prípade, že je prekážka v menšej vzdialenosti ako 17 metrov. Efekt dozvuku sa prejavuje predĺžením trvania zvuku. Jedná sa o neželaný jav, pretože znižuje zrozumiteľnosť komunikácie či skresľuje hudbu. Dozvukový efekt sa potláča použitím materiálov pohlcujúcich zvuk ako aj rozčlenením plôch stien a otvorových výplní. [6]

### **Maskovanie**

S maskovaním sa možno stretnúť každodenne. Jedná sa o jav, ktorý vzniká pri súčasnom pôsobení minimálne dvoch zvukov. Laicky povedané, človek pri zachytení viacerých zvukov prirodzene vníma ten najintenzívnejší, resp. najhlasnejší. Do akej miery je to výhodou a do akej miery nevýhodou je závislé na situácii. Maskovanie sa niekedy nahrádza aj termínom **sluchové prekrývanie**. [1, 2]

### **Dopplerov jav**

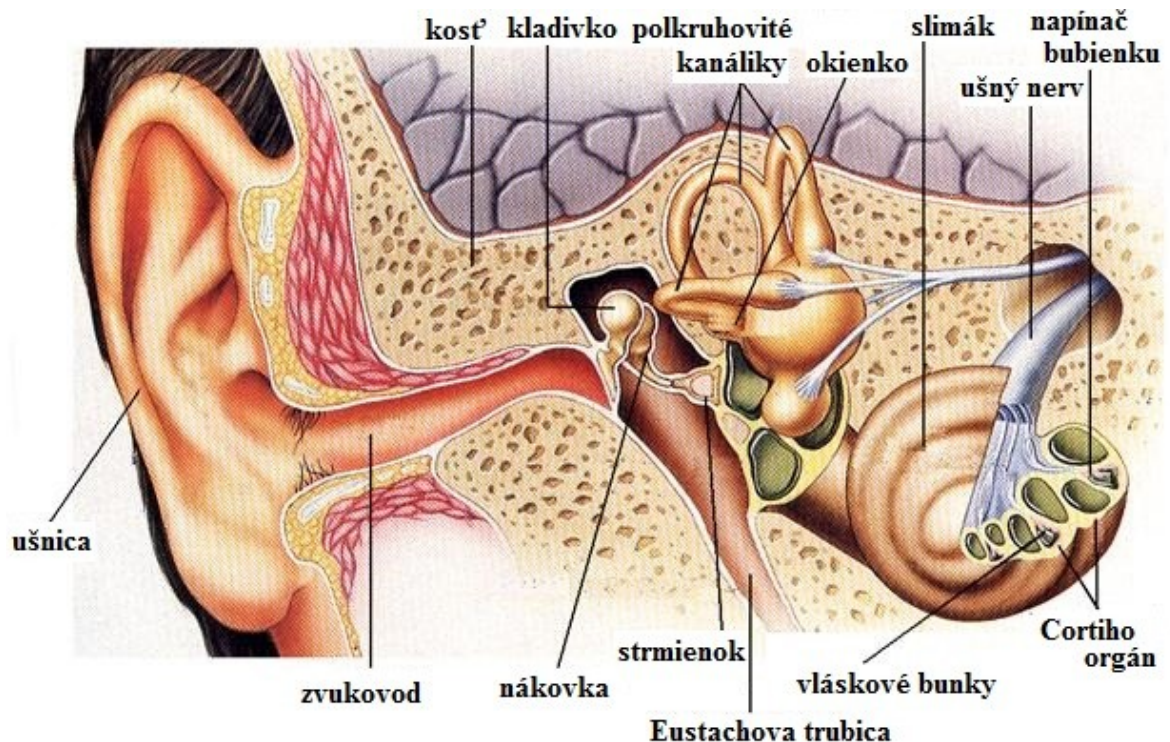
Relativistický Dopplerov jav nastáva v každom prípade, kedy sa zdroj zvuku a prijímač navzájom približujú alebo vzdiaľujú. Pri relatívnom pohybe zdroja zvuku alebo pozorovateľa, je pozorovateľom vnímaná odlišná frekvencia ako je frekvencia zdroja. Tento jav objasnil v roku 1843 rakúsky fyzik Christian Doppler. [6]

## **1.2 Fyziologická akustika**

Fyziologická akustika sa zaoberá spôsobom tvorby a spracovania zvukového signálu u človeka. Skúma orgány zodpovedné za reč a hlas na jednej strane a na druhej sluchové orgány, ktorých úlohou je spracovať sluchové vnemy, prenášané do mozgu. Sluchové vnemy sú odrazom zvukového deja v mozgu človeka.

### 1.2.1 Sluchový orgán

Sluchový orgán človeka sa skladá z viacerých častí a jeho stavba je zobrazená na *Obr. 5*.

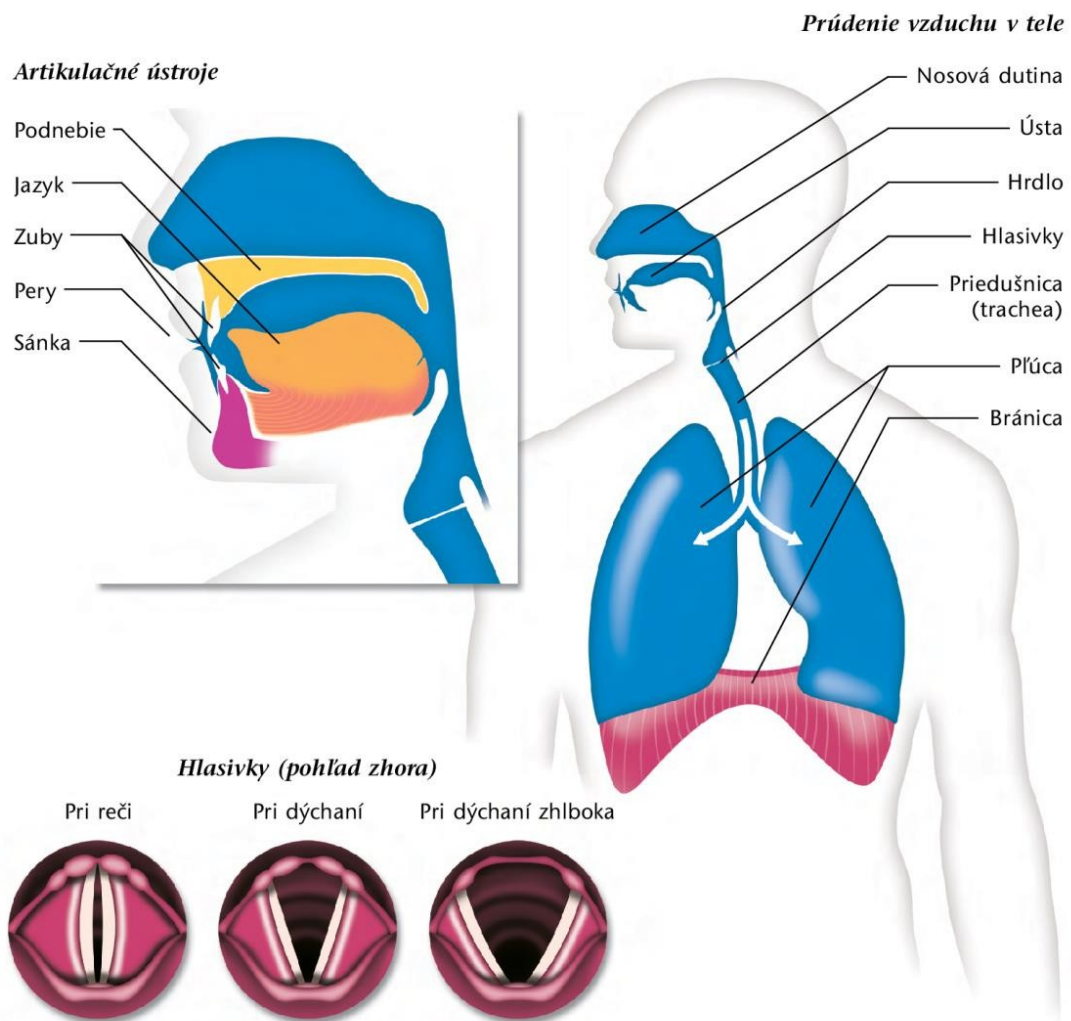


*Obr. 5 Sluchový orgán človeka [8]*

Ušnica ucha slúži k zachyteniu zvukového vlnenia vyšších frekvencií, odkiaľ je zvukovodom prenášané na bubienok. Hlbšie tóny nižších frekvencií putujú priamo na bubienok. Bubienok je blanka kužeľovitého tvaru (špecifický kužeľovitý tvar pomáha koncentrovať vlnenie), ktorá má schopnosť sa po prijatí zvukového vlnenia rozkmitať a preniesť vlnenie ďalej na sluchové kostičky v poradí kladivko, nákovka a strmienok. Na tomto mieste dochádza k miernemu útlmu amplitúdy kmitov, no zväčšuje sa periodická sila, ktorou sa kmitanie prenáša ďalej skrz okienko na kvapalinu vnútorného ucha, kde práve táto kvapalina dráždi vlásokové bunky v slimákov. Nižšie frekvencie sú zachytené v širšej časti slimáka a vyššie v jeho vrchole. Akustická energia sa mení na bioelektrickú v Cortiho orgáne, odkiaľ sa sluchovým nervom prenáša do mozgu. Eustachova trubica slúži na vyrovnávanie tlakov v uchu. Polkruhové kanáliky majú na starosť rovnováhu. [9]

### 1.2.2 Hlasový orgán

Na tvorbe hlasu sa podieľa takisto väčšie množstvo častí ľudského tela ako to prezentuje *Obr. 6*.



Obr. 6 Hlasové ústrojenstvo človeka [10]

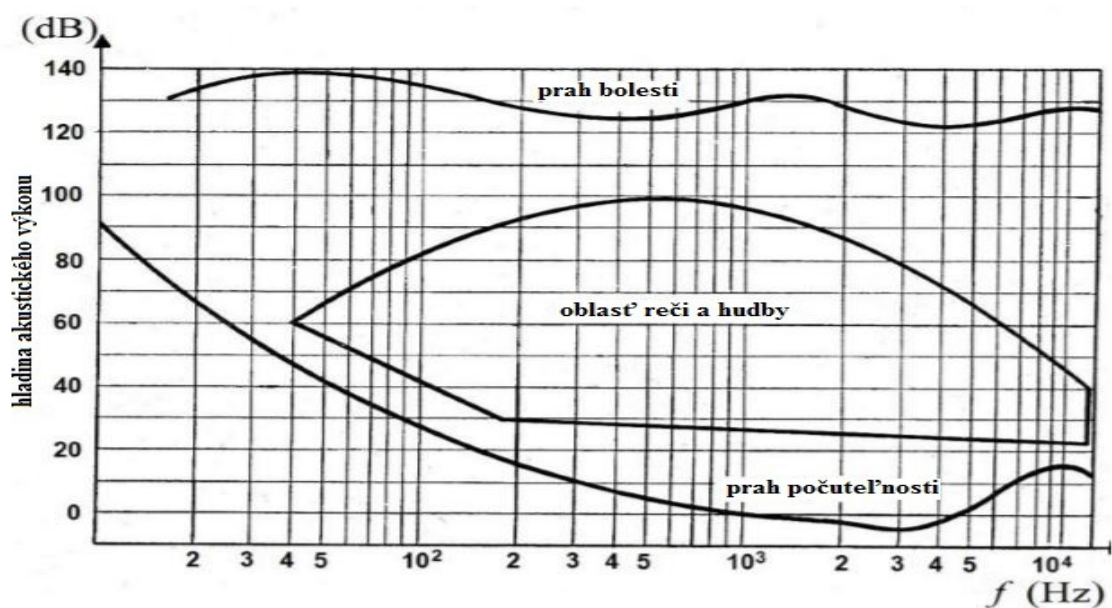
Proces tvorby hlasu, resp. reči sa začína už v pľúcach človeka, ktorým asistuje bránica. Vzduch je vytláčaný skrz priedušnicu do hlasiviek, kde sa ich rozkmitaním tvoria zvukové tóny. Zvuk ďalej putuje skrz hrdlo do nosnej a ústnej dutiny. Ide o veľmi zjednodušený popis, no komplexnosť problematiky tvorby hlasu, artikulácie a reči je značne nad rámec tejto práce. Každá z fyziologických častí ukázaná na Obr. 6 sa nejakým spôsobom podieľa na výslednom zvuku a kvalitatívne ovplyvňuje hlas človeka a jeho vlastnosti, nehovoriac o rôznych permanentných či dočasných zmenách v hlasovom ústrojenstve človeka. Do procesu tvorby hlasu vstupujú také faktory ako rozmer jednotlivých fyziologických častí, ich celková vitalita, aktuálny stav človeka na fyzickej i psychickej úrovni či kvalita dýchaného prostredia. [6]



### 1.2.3 Vnímanie zvuku človekom

Zdravý ľudský sluchový orgán priemerného človeka je schopný zachytiť rozsah frekvencií približne od 20 Hz do 20 kHz, no nájdu sa ľudia, napríklad hudobníci, u ktorých je tento interval širší. Niektorá literatúra uvádza aj mierne posunuté hranice od 16 Hz do 16 kHz. Pásmo pod spodnou hranicou teda pod 20 Hz sa označuje ako **infrazvuk** a pásmo nad vrchnou hranicou teda 20 kHz a vyššie sa nazýva **ultrazvuk**. Pásmo v intervale  $10^{12}$  Hz až  $10^{14}$  Hz je označované ako **hyperzvuk**. [3, 5]

Takisto je nutné podotknúť, že ľudský sluch nie je rovnako citlivý na zvuky v rôznych frekvenciách, čo vyjadruje aj *Obr. 7*, na ktorom si možno všimnúť, že človek je najcitlivejší na oblasť od 1000 - 3000 Hz, kde sa nachádza hovorené slovo a hudba. V otázke citlivosti na zvuk sa vyskytujú pojmy prah počuteľnosti a prah bolesti. Prah počuteľnosti vyjadruje minimálnu hodnotu akustického výkonu, ktorá je potrebná aby človek zvuk zachytil. Naopak prah bolesti je maximálna hodnota akustického tlaku, za ktorou už je zvuk vnímaný bolestivo a môže spôsobiť dočasné i trvalé zdravotné následky. [6]



*Obr. 7 Hranice počuteľnosti [6]*

Ako bolo spomenuté celkové sluchové vnímanie zvuku človekom je značne individuálna a subjektívna záležitosť. Ťažko určiť jednoznačné všeobecné pravidlá. Niektoré zvuky môžu byť niekomu príjemné a niekto druhý ich vníma ako **hluk**, čo je zvuk, ktorý negatívne ovplyvňuje pohodu človeka. Rovnako ako hranice hlasitosti, pri ktorých sa mení pozitívne vnímaný zvuk na hluk. Nehovoriac o názoroch vkusu na napríklad na hudbu. [1]

## 2 ZÁKLADY FORENZNEJ AUDIOEXPERTÍZY

Forezná audioexpertíza sa zaoberá získavaním a vyhodnocovaním audiozáznamov ako dôkazov pri súdnom konaní alebo foreznom vyšetrovaní. Audioexpertíza sa využíva k určeniu pravosti a overeniu integrity dôkazov predložených súdu v rámci občianskoprávneho alebo trestného konania. Hlavným cieľom je dosiahnuť jednu, no často i viacero z nasledujúcich úloh:

- Overenie integrity audiozáznamu
- Zlepšenie zrozumiteľnosti reči a počuteľnosti
- Identifikácia rečníka [11]

Často sa možno stretnúť aj s pojmom fonoskopia, termín používaný najmä v minulosti, no v kontexte súčasnej doby sú pojmy forezná audioexpertíza a fonoskopia zameniteľné. [12]

Ťažiskovým objektom záujmu audioexpertízy je ľudský hlas, teda človekom artikulovaný zvuk, ktorý slúži ku komunikácii za účelom vyjadrenia myšlienok a informácií. Hlas v priebehu života človeka prechádza viacerými zmenami, no uvádza sa, že v období od 20 do 60 rokov je relatívne stály, zaoberajúc sa zdravým jedincem. Vplyvom chorôb či rôznych návykov ako sú fajčenie dochádza k dočasným alebo trvalým zmenám na hlasovom prejave. V prvej etape života do 20 rokov, teda vo fáze detstva a dospievania dochádza k zmenám v dôsledku mutácie hlasu, výraznejšie u mužského pohlavia. Naopak po 60 roku života nastávajú pomerne rýchle zmeny vplyvom starnutia organizmu, ktorý je omnoho náchylnejší k chorobám. [13, 14]

Pri skúmaní audiozáznamov sa expertíza neobmedzuje iba na ľudský hlas a reč. Ostatné zvuky sú taktiež dôležité napriek tomu, že sa nedajú použiť priamo ako dôkazy. Ich význam spočíva v poskytnutí odlišnej perspektívy, nasmerovaní vyšetrovania, môžu tvoriť akýsi odrazový mostík v prípade, že sa vyšetrovanie ocitlo na mŕtvom bode. Jedná sa napríklad o zvuky dopravy, zvierat, stavenísk, strojov, zvonov na kostole a mnoho iných, ktoré umožňujú vytypovať miesto, kde bola nahrávka vytvorená. [14]

Význam foreznej audioexpertízy spočíva najmä v objasňovaní trestných činov, pri ktorých je audiozáznam prostriedkom na jeho spáchanie. Najčastejšia forma je telefonický hovor obsahujúci vyhrážky, vydieranie, ohováranie, šírenie poplašných správ, zneužitie núdzového čísla a ďalšie nezákonné prejavy. [15, 16]

Na rozdiel od ostatných forenzných oborov ako sú daktyloskopia, balistika, DNA analýza a mnoho ďalších si musí audioexpertíza neustále obhajovať svoje miesto v svete kriminalistiky. Jedná sa o kontroverzný obor najmä v prípade identifikácie, a to z toho dôvodu, že sa opiera nielen o inštrumentálne metódy a údaje namerané pomocou techniky, ale i psychologické, lingvistické či fonetické znalosti, ktoré pristupujú k problematike viac systémovým ako individuálnym princípom. Inštrumentálne metódy navyše samy o sebe nedosahujú vždy jednoznačných záverov, preto audioexpertíza nebýva hlavným zdrojom dôkazových materiálov a skôr je braná ako podporná činnosť vo vyšetrowaní, vhodná na overenie existujúcich dôkazov či nasmerovanie alebo rozšírenie vyšetrovacieho procesu. [17]

## 2.1 Metódy foreznej audioexpertízy

V praxi sa pri skúmaní hovorených prejavov využívajú v kombinácii tri základné metódy a to:

- lingvistické,
- fonetické,
- elektroakustické. [13]

Na základe uvedených metód je možné s určitou pravdepodobnosťou odpovedať na základné otázky v súvislosti s páchatelom a vytvoriť tak jeho profil, ktorý pozostáva z nasledovných údajov:

### **Pohlavie**

Určenie pohlavia nebýva problém. Zohľadňovanou charakteristikou je výška hlasu. Muži majú vo väčšine prípadov nižší hlas ako ženy, čo je ovplyvnené najmä rozmerom hlasiviek. Výnimka nastáva pri deťoch, no v špeciálnych prípadoch aj pri dospelých a to napríklad pri hormonálnych poruchách, homosexualite či transsexualite. [18]

### **Vek**

Otázka veku je zložitejšia. Prvým dôvodom je, že sa nejedná o stanovovanie takpovediac binárnej hodnoty ako v predchádzajúcom prípade, kedy mohli nastať iba dve možnosti, žena a muž. Druhým je fakt, že prax rozlišuje takzvaný chronologický a biologický vek. Chronologický vek je kalendárna hodnota určená narodením človeka. Biologický vek odráža reálny biologický stav fyziologických častí tela a býva spravidla v súlade alebo vyšší ako chronologický. To je spôsobené urýchlením opotrebenia hlasového aparátu,



častým kričaním, stresom, alkoholom, fajčením. V tomto ohľade nemá audioexpertíza žiadny lepší nástroj na určenie veku ako odhad skúseného odborníka na základe subjektívneho pocitu. Chyba odhadu sa pohybuje v okolí hodnoty desiatich rokov. [18]

### **Dialekt**

Dialekt je dôležitý, pretože môže prezradiť miesto alebo región odkiaľ osoba pochádza. Hlavné dialektové návyky získava človek pri dospievaní a v človeku sú zakorenené pomerne hlboko. O týchto návykoch sa hovorí ako o hĺbkovej vrstve. Rozlišuje sa ešte takzvaná povrchová vrstva a tá sa môže meniť, ak daná osoba napríklad zmení bydlisko. Výskyt v novom prostredí spôsobí ovplyvnenie práve tejto vrstvy, čo sa prejaví osvojením si niektorých výrazov miestnej komunity a podobne. [18]

### **Prízvuk**

V tomto prípade je termín prízvuk použitý vo význame zahraničný prízvuk, ktorý odkazuje na jazykový pôvod v niektorej krajine sveta. Môže veľa napomôcť najmä v dnešnej dobe, kedy sú hranice relatívne otvorené a cestovanie nie je problém ako tomu bolo v minulosti, nehovoriac o migračných vlnách. Termín sa často pletie s fonetickým a fonologickým chápaním prízvuku, ktorý ale bude popísaný ďalej v práci. Problémovým sa v otázke prízvuku stáva postupný trend ovládania a učenia sa jazykom často už od skorého veku. Silne jazykovo vzdelaní ľudia dokážu rozprávať viacerými jazykmi bez toho, aby bol prízvuk rozoznatel'ny, čo prácu audioexpertov komplikuje. [18]

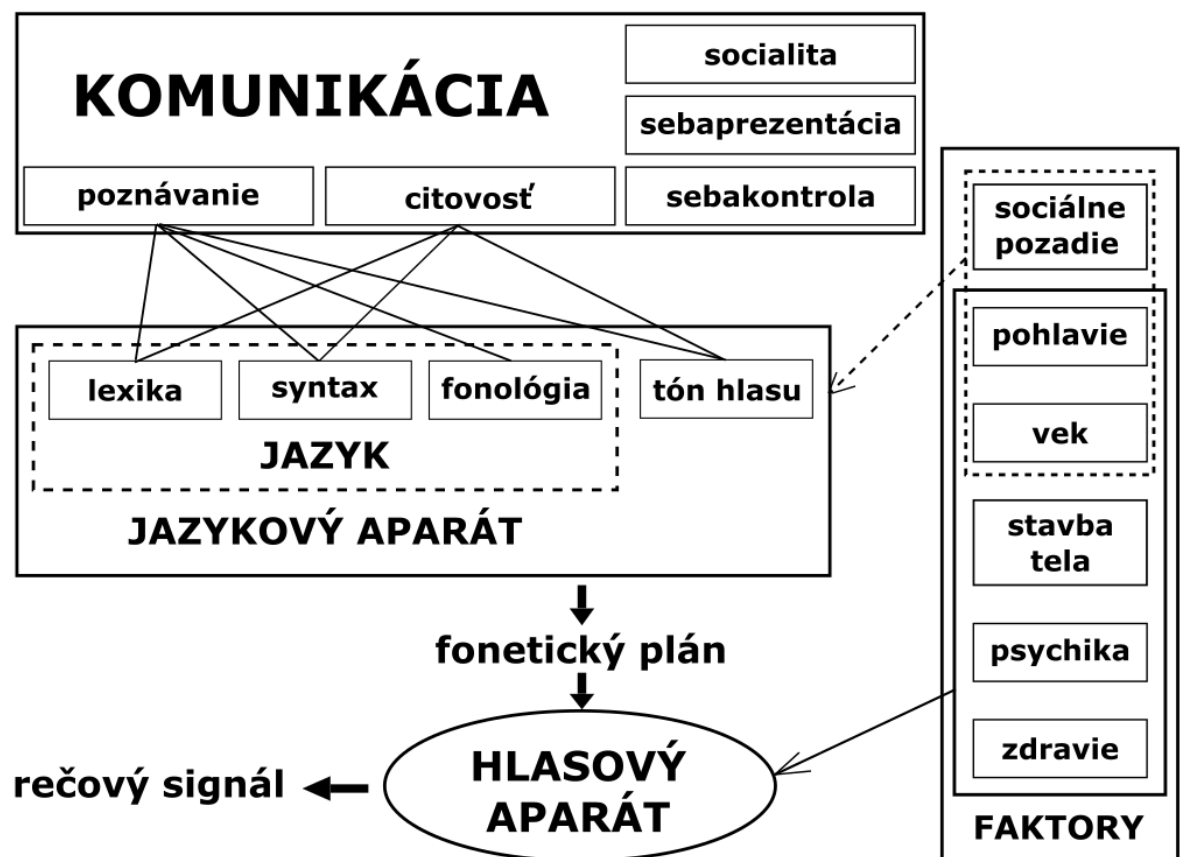
### **Sociolekt**

Sociolekt sa zaoberá dvomi hlavnými oblasťami. Prvou je vzdelanie analyzovanej osoby, kedy sa hodnotí lexika, syntax a štylistika. Zo získaných údajov sa dá pomerne presne určiť dosiahnutý edukačný level a odpovedať tak na otázku, či má osoba za sebou štúdium na vysokej škole, prípadne len základné alebo stredné vzdelanie. Opäť sa nájdu výnimky, kedy napríklad aj ľudia s nižším vzdelaním vďaka čítaniu či sledovaniu odbornejších médií používajú komplikovanejšie vetné skladby a slová. Druhou oblasťou je profesia. Profesiou človeka prezradí fakt, že používa isté slová a výrazy, ktoré sú typické len pre danú skupinu ľudí a profesií. Tento fenomén sa označuje ako žargón. Určenie sociolektu sa považuje za veľmi užitočnú charakteristiku. [18]

### Zdravotný stav

Podmienkou aby bol zdravotný stav dobrým ukazovateľom na potenciálneho podozrivého, musí byť stály v čase, čo je problém určiť iba z audiozáznamu. Ťažko predpokladať, či je napríklad kašľanie, dychčanie alebo zachrípnutie trvalým problémom osoby, a tým pádom môže byť brané ako relevantná skutočnosť alebo sa jedná o krátkodobý problém. Ak sa ale potvrdí, že ide o dlhodobý a stály znak, dá sa považovať za silný nástroj pre analýzu. Do tejto kategórie nespádajú iba odchýlky patologického charakteru, ale aj problémy reči ako neschopnosť vysloviť niektoré písmená alebo slabiky, šušľanie a koktanie, ktoré sú veľmi dištingtívne a môžu značne zúžiť okruh podozrivých. [18]

Procesom tvorby reči sa zaoberá aj takzvaný Nolanov model, ktorý poukazuje na vzťahy medzi jednotlivými faktormi, hlasovým a jazykovým aparátom v súvzťažnosti na komunikáciu ako takú. Nolanov model je vyobrazený na *Obr. 8*.



Obr. 8 Nolanov model tvorby reči [19]

### 2.1.1 Lingvistický rozbor

Skúma hovorený prejav z jazykového hľadiska. Pre potreby expertízy je zaujímavý obsah, druh a určenie prejavu. Výber, tvarovanie slov a ich spájanie do viet alebo súvetí má rovnako dôležitú výpovednú hodnotu. Ďalej sa lingvistika pozerá na štylistické charakteristiky, slovnú zásobu a jej bohatosť či rozmanitosť. Nemenej dôležitou zložkou lingvistickej analýzy je zohľadnenie slangových, nárečových alebo cudzích výrazov. Globálne sa hodnotí aj logika a zložitosť štýlu hovoriaceho. Komplexné zhodnotenie všetkých vymenovaných vlastností poskytuje relatívne silný nástroj pri profilovaní páchatel'a, ktoré následne môže byť využité k získaniu množiny podozrivých. Vytýpovanie okruhu podozrivých značne uľahčuje proces identifikácie páchatel'a. [13, 15]

### 2.1.2 Fonetický rozbor

Fonetický rozbor sa opiera o poznatky a metodologický základ skupiny fonetických vied, ktoré sa zaoberajú vlastnosťami ako sú tempo, rýchlosť, dynamika reči. Možno spomenúť aj spôsob realizácie hlások a skupín hlások. Zohľadňuje sa výška, charakter hlasu, melódia a celková dikcia reči. Veľký dôraz sa kladie na slovnú a vetnú akcentáciu, čo znamená, že sa fonetika zaoberá prízvukom hovoriaceho. Väčšina vymenovaných vlastností je nejakým spôsobom merateľná, no sú silne viazané na emocionálny stav rečníka, čiže sa nepovažujú za moc stále, čo vedie k spochybňovaniu, ak by sa namerané údaje chceli použiť pri dokazovaní. Vlastnosti závislé na emočnom stave sa označujú ako **paralingvistické vlastnosti**. Ako príklad možno uviesť nadšeného človeka, ktorý hovorí rýchlejšie, pauzuje zriedkavejšie, používa širšie intonačné rozpätie a vyššiu hlasitosť. Znudený človek vraví pomalšie a plytšie. Široký intonačný interval a vysoká hlasitosť indikujú hnev. [16, 20]

**Prízvuk** je prozodický rys, ktorý sa prejavuje na úrovni slabiky. Za prízvučnú slabiku sa považuje tá, ktorá je vnímaná ako výraznejšia alebo zreteľnejšia v porovnaní s okolitými slabikami. Je realizovaný ako kombinácia faktorov dĺžky, hlasitosti a výšky slabiky, no je potreba podotknúť, že spôsob realizácie prízvuku sa líši od jazyka k jazyku. [16]

### 2.1.3 Elektroakustický rozbor

Ako už bolo vyššie spomenuté fonetické vlastnosti sú až na isté výnimky merateľné. Elektroakustická metóda skúmania audiozáznamu sa orientuje práve na tieto merania a snaží sa vyvodit' závery na základe nameraných hodnôt, ktoré medzi sebou porovnáva. Pri rozbere sa postupuje spôsobom, že sa v audiozázname vyselektujú určité pasáže, ktoré

sa podrobujú analýze na spektrografoch, čo sú prístroje, ktorých výstupom je spektrogram, teda grafický záznam obsahujúci údaje o charakteristikách ľudského hlasu. V dnešnej dobe sú už tieto prístroje dopĺňané, ba až vytláčané počítačmi so zvukovými kartami a špecializovaným softwarom, ktorý analýzu umožňuje veľmi rýchlo. Uvedená skutočnosť je zapríčinená nástupom digitálnej doby, kedy sa skúmané záznamy vyskytujú už prevažne iba v digitálnej podobe. Problematika bude rozobraná podrobnejšie v ďalších kapitolách. [14, 15]

## 2.2 Zaisťovanie audio stôp

Zaisťovanie audiostôp je v porovnaní s inými kriminalistickými obormi pomerne jednoduché. V súčasnosti už nie je častým trendom nachádzanie audiostôp vo forme magnetických pásov ako tomu bolo v minulosti a väčšina stôp je v digitálnej podobe na modernejších nosičoch. Hlavným pravidlom pri zaisťovaní fonoskopických stôp je zaisťovanie originálu, ktorý by sa na mieste nálezu nikdy nemal kopírovať, dopĺňať, zostrihávať, aby nedošlo k poškodeniu integrity dôkazu. Ďalšie zásady zaisťovania, balenia a transportu fonoskopických stôp:

- Magnetické pásky je nutné chrániť pred elektromagnetickými vplyvmi, klimatickými vplyvmi ako je vlhko a teplo či mechanickým poškodením charakteru znečistenie, pretrhnutie, pretlačenie.
- Nájdené magnetické pásky sa ponechávajú v originálnych obaloch, ak sú obaly dostupné.
- Digitálne médiá, kam spadajú počítačové harddisky, flash disky, SD karty, bluray disky, CD, DVD, mobily, smartphony, prehrávače s internou pamäťou a ďalšie sa považujú za relatívne odolné sa zaisťujú sa v stave, v akom boli nájdené. Dochádza k istému prelínaniu s foreznou kybernetikou a je potrebná úzka spolupráca týchto oborov.
- Všetky fonoskopické stopy sa umiestňujú do vhodných obalov ako plastové či papierové vrecká, boxy, krabice.
- Obaly sa zapečatia a vhodne označia.
- Postupy zaisťovania stôp sa fotodokumentujú a protokolujú. [15, 21]

Pri zaistených stopách sa rozlišujú dve základné hľadiská, a to **kvalitatívne** a **kvantitatívne**.

### **Kvalitatívne hľadisko**

Vopred je potrebné upozorniť, že sa nehodnotí technická stránka stopy z pohľadu kvality nahrávky a zrozumiteľnosti, no hodnotí sa štylistické hľadisko prejavu. Určuje sa či sa jedná o prejav dialogický alebo monologický, pripravený alebo nepripravený, spisovný alebo nespisovný a v neposlednej rade veľmi dôležité je stanovenie či je prejav anonymný alebo neanonymný. Anonymné prejavy odkazujú obvykle na výhražný, vydieračský, teroristický alebo protispoločenský charakter. Neanonymné prejavy majú význam v súvislosti potvrdenia alebo vyvrátenia skutočnosti, či sa hlas určitej osoby nachádza na audiozázname. [14]

### **Kvantitatívne hľadisko**

Kvantitatívne hľadisko poukazuje na rozsah audiozáznamu. Všeobecné pravidlo hovorí, že čím väčší rozsah má audioexpert k dispozícii, tým sa dajú očakávať lepšie výsledky a závery. Väčší rozsah má význam hlavne pre lingvistickú analýzu. Fonetická a elektroakustická analýza si dokáže poradiť aj s kratšími záznamami. [14]

## **2.3 Identifikácia rečníka**

Identifikácia rečníka je primárnou a najdôležitejšou úlohou forenznej audioexpertízy. Najčastejšie sa snaží odpovedať na otázku: Kto je osoba zachytená na audiozázname?, a tak jej priradiť identitu. Sekundárne rieši aj otázky typu overenia zhody, teda či je zvolená osoba prítomná na nahrávke.

Z hľadiska procesu kriminalistickej identifikácie je možné skúmané objekty klasifikovať nasledovne:

- Sporné materiály
- Porovnávacie materiály
- Pomocné materiály [14, 21]

### **2.3.1 Sporné materiály**

Medzi sporné materiály patria zväčša hovorené prejavy, ktoré súvisia s trestnými činmi. Identita osoby na nahrávke nie je známa alebo je potrebné dokázanie jej účasti na audiozázname. Obvykle sa jedná o prípady, kedy je audiozáznam priamo prostriedkom trestného činu, napríklad v prípade telefónneho hovoru výhražného charakteru. Sporné materiály môžu taktiež napomôcť k objasneniu niektorých skutočností, ktoré sú dôležité

z hľadiska trestného konania. Takýmto sporným materiálom je napríklad záznam reči samovraha na rozlúčku. Poslednou skupinou sporných materiálov sú nejakým spôsobom upravené audiozáznamy, ktoré obvykle majú za cieľ zakryť skutočný stav alebo predstierať neexistujúce skutočnosti. [14, 21]

Aby bol sporný materiál vhodný a využiteľný pre potreby identifikácie musí obsahovať dostatočné množstvo jazykových, fonetických a elektroakustických znakov, dohromady poskytujúce neopakovateľný a individuálny súhrn, ktorý je možné jednoznačne priradiť hovoriacemu ako objektu identifikácie. Z tohto dôvodu sa stanovili isté kritéria, ktoré musia sporné materiály napĺňať a to:

- jedná sa o originálny audiozáznam,
- je zachytený prirodzený spôsob reči,
- dostatočná súvislosť jazykového prejavu,
- rozsah minimálne 15-20 viet,
- prejav na zázname je zrozumiteľný. [14]

Diskutovanou témou v problematike sporných materiálov v súvislosti s identifikáciou je prípad, kedy osoba na nahrávke zámerne mení svoj hlasový prejav, pričom využíva improvizovaných techník, kam patrí zmena výšky hlasu, hovorenie do mikrofónu skrz textil, zhoršenie artikulácie umiestnením predmetu do ústnej dutiny, upchatie nosa, zmena prízvuku, šeptanie, simuláciu rečovej poruchy. Za sofistikovanejšiu metódu sa považuje použitie modulátoru hlasu, prípadne predpríprava nahrávky softwarovou úpravou. [14, 21]

### 2.3.2 Porovnávacie materiály

Opozitne k sporným materiálom sú porovnávacie materiály, záznamy zvuku, kde je identita osoby známa. Charakteristickým rysom je závislosť na sporných materiáloch, z čoho vyplýva ich druhotný a odvodený charakter. Ich vytváraniu spravidla predchádza vyhodnotenie expertom, ktorý stanoví požiadavky vyhovujúce kriminalistickému hľadisku, v závislosti na kvalite sporného materiálu a závažnosti prípadu. V praxi sú rozlišované tri typy porovnávacích materiálov:

- ukážky reči,
- skúšky reči,
- skúšky hlasu. [14]

### **Ukázky řeči**

Sú to záznamy obstarané bez vedomia preverovanej osoby. Majú formu prirodzených rozhovorov buď priamych alebo telefonických. Bývajú zaistované policajným pracovníkom, ktorý sa snaží zabezpečiť, aby v nahrávke boli obsiahnuté všetky znaky, ktoré sú prítomné aj v spornom materiáli. Takto vytvorený porovnávací materiál je najvhodnejší kvôli skúmaniu a vyvodu záverov, no ideálne je využiť aj ostatné typy porovnávacích materiálov. K ukázkam řeči sa pristupuje najmä v prípade, ak nie je možné získať skúšky řeči a hlasu. [14, 21]

### **Skúšky řeči**

K zaisteniu skúšok řeči je potrebná prítomnosť preverovanej osoby. Bežným postupom je požiadanie osoby k rozprávaniu svojho životopisu, následne by mala predniesť prejav, ktorý bude zodpovedať spornému materiálu. Môže ísť o čítanie textu, vedenie dialógu, rozprávanie a podobne. Aby sa osoba čo najviac trafila do tempa, hlasitosti a dôrazu spornej nahrávky je jej predvedený spôsob žiadaného prednesu. Dobrou technikou je najskôr nechať osobu porozprávať o svojich záľubách či záujmoch, aby sa zbavila stresu, strachu, strojenosti a rozprávala prirodzene. Osobe sa neskáče do řeči a hlasy na nahrávke by sa nemali miešať, čo znamená, že vždy rozpráva iba jeden. Dĺžka záznamu skúšky řeči sa pohybuje podľa potreby osoby, ktorá bude nahrávky skúmať, teda audioexpert, znalec prípadne iný špecialista, no spravidla sa končí v momente kedy sú získané všetky znaky vyskytujúce sa v spornom materiáli. [14, 21]

### **Skúšky hlasu**

Sú veľmi podobné skúškam řeči. Rozdielom je skutočnosť, že sa od preverovanej osoby žiada, aby presne citovala vybrané pasáže zo spornej nahrávky a čo najviac sa priblížila intonáciou, dôrazom, hlasitosťou a rýchlosťou řeči k originálu. V podstate musí zahrať situáciu v skúmanej spornej nahrávke. O skúškach řeči a hlasu sa vytvára protokol.[14, 21]

### **Zásady pre vytváranie porovnávacích materiálov**

Aby porovnávacie materiály splnili požadovanú kvalitu potrebnú pre analýzu a komparáciu, v praxi sa dodržiavajú nasledovné zásady ich vytvárania:

- nahráva sa na iné médium, než na ktorom sa nachádza sporný materiál,
- ak je to možné, médium by malo byť nepoužité alebo aspoň kvalitne premazané, v prípade digitálnych médií formátované na bitovej úrovni,

- nastaví sa vhodná a jednotná hlasitosť, ktorá sa počas nahrávania nemení,
- technické zariadenie musí byť v perfektnom stave,
- použite kvalitného smerového mikrofónu, umiestneného oproti rečníkovi v podmienkach, aby sa neprenášali nežiaduce zvuky do záznamu,
- miestnosť, v ktorej sa materiály vytvárajú musí byť prispôbena, aby sa zabránilo dozvukom,
- nahrávacie zariadenie obsluhuje iná osoba ako tá, čo vedie rozhovor. [14, 21]

### 2.3.3 Pomocné materiály

Pomocné materiály napomáhajú pri vyšetrowaní charakterizovať okolnosti vzniku porovnávacích a sporných materiálov. Majú prevažne písomnú formu a úzko súvisia s vyšetrowaným prípadom. Patria sem rôzne protokoly o obhliadke, výsluchu a ďalších vyšetrowacích úkonoch. Ide o podporný zdroj informácií a nazývajú sa vedľajšími objektmi kriminalistickej, respektíve forenznej audioexpertízy. Medzi tieto informácie sa zaraďujú:

- okolnosti vzniku sporných a porovnávacích materiálov,
- časové údaje, týkajúce sa vzniku sporných a porovnávacích materiálov,
- podmienky, v ktorých sa uvedené materiály nachádzali od doby vzniku do doby skúmania. [14, 21]

## 2.4 Zlepšenie zrozumiteľnosti reči a počuteľnosti

Zlepšenie zrozumiteľnosti reči a počuteľnosti, v angličtine sa používa jednoduchší termín "audio enhancement". Jedná sa o proces, pri ktorom sa z nahrávky odstráni nežiaduce zvuky, ktoré bránia v tom, aby bola nahrávka zrozumiteľná. To znamená, že je možné rozoznať reč a prejav, ktorý sa nachádza na audiozázname a odpovedať na otázku: Čo bolo povedané? Nejde iba o odstránenie nežiaducich zvukov, ale aj o zosilnenie príliš tichej reči, prípadne ďalších zvukov, ktoré sú predmetom záujmu. Paradoxne v niektorých situáciách pôsobí vylepšená nahrávka esteticky horšie, no reč je zrozumiteľnejšia, preto je potrebná veľká prax audioexperta s citlivým a pozorným sluchom. [19]

Snahou je potlačovať nežiaduce zvuky, ktoré možno rozdeliť na tie, ktoré vznikajú priamym zachytením na mikrofón. Do tejto kategórie patria zvuky okolia a prostredia, kde prebieha rečový prejav (tečúca voda, búchanie, doprava, vietor...). Ďalej sa rozlišujú zvuky, ktoré vznikajú na prenosovej trase, prípadne v samotnom nahrávacom zariadení. Sem patria zvuky ako pískanie, praskanie, bzúčanie alebo hučanie. [19]



Zlepšení audiozáznamu naráža na niekoľko komplikácií. Prvou je individuálnosť každej nahrávky. Ku každej nahrávke treba pristupovať s úplne jedinečným prístupom. Aj keď existujú softwarové nástroje, ktoré ponúkajú značne automatizované procesy k napríklad odstráneniu šumu v nahrávke, využívajúc komplikované matematické modely, nie vždy ich je výhodné použiť, pretože neexistujú všeobecné pravidlá ako nahrávku vylepšiť. Z tohto dôvodu sa často navrhujú rôzne šumové filtre presne na daný prípad, čo je časovo veľmi náročné. V niektorých prípadoch sa jedná skôr o umenie ako o vedu. Otvorenosť mysle, vytrvalosť, ochota skúšať aj zdanlivo nelogické postupy a zdravý sedliacky rozum je iba letným zoznamom vlastností, ktorými musí dobrý audioexpert disponovať. [19]

Druhá komplikácia je na prvý pohľad banálna záležitosť, ale práve z tohto dôvodu sa často podceňuje. Ide o stanovenie istého bodu, v ktorom treba prestať. Určenie spomínaného bodu by malo prebehnúť v dvoch rovinách, ktoré sú vzájomne prepojené. Jednou z nich je časová rovina, čo je myslené vo význame, že nad vylepšovaným audiozáznamom je treba stráviť proporcionálne úmerné množstvo času ku kvalite konečného výsledku. Druhá rovina súvisí práve s kvalitou výsledku. Jestvuje hranica, pred ktorou existujú ešte kvalitatívne rezervy, o ktoré nahrávku možno vylepšiť. Ide o akúsi spodnú medzu intervalu ideálneho konečného výsledku. Za hornou hranicou tohto intervalu naopak nastáva situácia, že ďalšie vylepšujúce úpravy už sú viac na škodu ako na úžitok. V extrémnom prípade dokonca môže nastať stav, kedy niektoré rečové frázy začnú byť zameniteľné s inými, čo je v priamom rozpore s cieľom zlepšenia zrozumiteľnosti. [19]

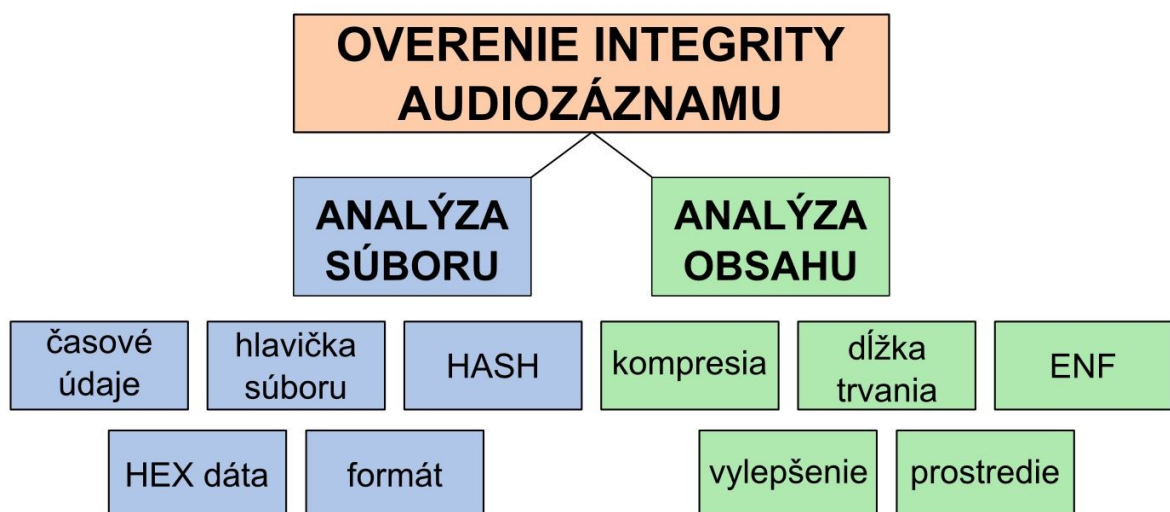
Daňou za určenie rečového obsahu v nahrávke je skutočnosť, že po procese vylepšenia už ju len ťažko použiť k identifikácii hovoriaceho, čo sa týka elektroakustických analýz. Aplikácia celej rady filtrov a uplatnenie rôznych matematických modelov ako nástrojov úpravy môže spôsobiť zmenu zvukových charakteristík reči. Naopak priestor sa otvára lingvistickej analýze a do istej miery aj analýze fonetickej, ktoré predtým nemuseli byť možné, alebo boli možné len čiastočne. [19]

Zásadou vylepšenia audiozáznamu je skutočnosť, že sa nikdy nevykonáva na originálnom zázname. Vždy je potrebná kópia alebo duplikát, na ktorom vylepšenie prebieha, pričom neustále dochádza k porovnávaniu s originálom. [19]

## 2.5 Overenie integrity audiozáznamu

Poslednou hlavnou úlohou forenznej audioexpertízy je overenie integrity audiozáznamu, respektíve jeho autentifikácia. Pod týmto termínom sa rozumie overenie, či daný súbor nebol nejakým spôsobom modifikovaný, pričom sa rozoznáva úmyselná a neúmyselná modifikácia audiozáznamu. Pri akejkol'vek práci so zvukovou nahrávkou je potrebné dbať na to, aby bola jeho integrita zachovaná. V opačnom prípade nebude môcť nahrávka poslúžiť ako relevantný dôkaz pri súdnom konaní. Overenie integrity by sa malo vykonávať vždy, inak je audiozáznam ako dôkaz napadnuteľný. Modifikáciou je myslená akákoľvek zmena audiozáznamu, editácia najrôznejšieho typu, vyseknutie určitého úseku, nahradenie iným, doplnenie, spomalenie, zrýchlenie, potlačenie vybraných zvukov, pridanie zvukov, celková zmena formátu a podobne. [11]

K overeniu integrity sú využívané dve skupiny analýz, z ktorých každá obsahuje určité parametre, slúžiace k vyvodu záveru, či bola integrita záznamu narušená. **Analýza súboru** je prvou skupinou, ktorá skúma, či nebola vykonaná zmena na súbore, v zmysle kontajnera ako nosiča jeho obsahu, čím sa problematika premost'uje k druhému typu analýzy, nazývanej **analýza obsahu**. Schéma rozdelenia aj s uvedenými parametrami je uvedená na *Obr. 9*. Je potrebné zdôrazniť, že uvedená schéma sa vzťahuje na digitálne audiozáznamy. [11]



*Obr. 9 Schéma overenia integrity audiozáznamu [11]*

### 2.5.1 Analýza súboru

Analýza súboru sa sústreďí predovšetkým na metadáta, ktoré sa dajú zobrazit' vhodným softwarom, prípadne v obmedzenej miere aj bez softwaru. Referenčným sa stáva originálny audiozáznam, z ktorého sa hodnoty získajú. V procese vyšetrovania by sa malo po každom prenose súboru a pred každou prácou s ním overit', či sa hodnoty zhodujú. [11]

Parametre analýzy súboru so stručným popisom:

#### Časové údaje

Časové údaje sú hodnoty, ktoré prezrádzajú presný čas kedy bol súbor vytvorený, modifikovaný či naposledy spustený. Za hlavnú nevýhodu sa považuje skutočnosť, že údaje sa viažu na médium, kde sa nachádza súbor. Ak sa súbor prekopíruje napríklad z pevného disku na flash disk, na kópii budú časové údaje rozdielne, pretože za jej vznik sa považuje čas, kedy vznikla kópia. [11]

#### Hlavička súboru

Hlavička súboru môže okrem súborového formátu poskytnúť aj ďalšie cenné informácie v závislosti na zariadení a značke, ako model, sériové číslo, verzia firmwaru, čas, dĺžka súboru. V hexadecimálnom zápise hlavičky napríklad možno odhaliť, či sa zhoduje formát súboru s jeho príponou v názve súboru. [11]

#### Hash

Použitie hashovacej funkcie by mal byť prvý krok pred akoukoľvek prácou so súborom. Hash je jednocestná matematická funkcia, ktorej výsledkom po aplikácii na súbor, je špecifický reťazec pevnej dĺžky. Aj minimálna zmena na súbore sa prejaví a výsledkom bude reťazec úplne odlišný. Jednoduchým porovnaním hash reťazcov sa dá rýchlo a efektívne odhaliť modifikácia súboru. [11]

#### HEX dáta

Takzvané surové (raw) hexadecimálne dáta sa dajú prehliadať a vyhľadávať v nich zmeny oproti originálu. Taktiež sa dajú konvertovať na znaky ASCII tabuľky. Môžu obsahovať informácie o post proces operáciách alebo názvy externých programov. [11]

#### Formát

Zistenie a overenie formátu sa môže javiť až ako príliš jednoduchý postup, no každopádne sa nesmie vynechať. Ide o absolútny základ analýzy súboru. Takisto v sebe nemusí niesť

iba informáciu o formáte ako takom, ale aj informáciu o tom aký kodek bol použitý, aká je hodnota vzorkovacej frekvencie či bitovej hĺbky. [11]

### 2.5.2 Analýza obsahu

Ako názov napovedá analýza sa venuje obsahovej stránke audiozáznamu. A zatiaľ čo v súborovej analýze sa bolo možné zaoberať bez spustenia súboru, tento typ analýzy potrebuje priamo prístup k obsahu nahrávky, aspoň vo väčšine prípadov. [11]

Parametre analýzy obsahu so stručným popisom:

#### Kompresia

Jedná sa o preverenie, či audiozáznam neprešiel nejakým typom kompresie. Najmä použitie stratových kompresíí je veľmi výrazným zásahom do obsahu audiozáznamu. [11]

#### Dĺžka trvania

Opäť zdanlivo banálny parameter ako to bolo pri overení formátu, no aj takýto rýchly a jednoduchý postup môže na prvý pohľad odhaliť modifikáciu súboru. Jediné čo je potreba, je porovnať dĺžku trvania originálu so skúmaným súborom. [11]

#### ENF

Skratka ENF, vychádza z anglického Electric Network Frequency, v preklade frekvencia elektrickej siete. Idea vychádza zo skutočnosti, že prístroje, ktoré sú napájané zo siete sú ovplyvňované jej frekvenciou, ktorá kolíše okolo 50Hz, respektíve 60Hz. Ak sa vzťahne uvedený fakt na nahrávacie prístroje, každá nahrávka bude obsahovať isté stopy tejto kolísajúcej frekvencie, čo možno využiť práve pri overovaní integrity. Poskytovatelia elektrickej energie sú povinní zaznamenávať presný čas a hodnotu skutočnej frekvencie v danom okamihu, čím vytvárajú databázu hodnôt. Pri audioexpertíze je možné z nahrávky zistiť hodnoty skutočných frekvencií elektrickej siete v okamihu, kedy bola nahrávka vytváraná. Potom stačí porovnať zistené hodnoty s databázou a určiť, tak čas, prípadne miesto (s veľmi obmedzenou presnosťou), kedy a kde bola nahrávka vytvorená. Dôležité je podotknúť, že táto frekvencia sa nesie kontinuálne v celej nahrávke, a teda akákoľvek zistená zmena tejto frekvencie oproti databáze môže indikovať porušenie integrity audiozáznamu, teda niekto dané pasáže mohol pozmeniť, vystrihnúť, doplniť. [11, 22]

**Vylepšenie**

Ide o stanovenie, či bol obsah nejakým spôsobom vylepšený, respektíve pozmenený v zmysle kvalitatívneho chápania. Zlepšeniu zrozumiteľnosti sa venovala prechádzajúca kapitola. [11]

**Prostredie**

Typický audiozáznam sa skladá z viacerých akustických signálov ako sú priame zdroje zvuku a nepriame zvuky ako sú zvuky odrazené, druhotné či okolité. Práve nepriame zvuky poskytujú akúsi charakteristiku prostredia, kde nahrávka vznikla. Analýza obsahu z hľadiska prostredia sa venuje spomínaným zvukom a snaží sa na základe vyhodnotenia ozvien a dozvukov stanoviť, či nebola narušená integrita audiozáznamu. Takto možno v niektorých prípadoch odhaliť, že napríklad dialóg vedený dvoma osobami sa v skutočnosti neodohral na danom mieste a zvuky pozadia boli umelo doplnené. [11]

### 3 SPRACOVANIE ZVUKU A REČI V KRIMINALISTICKEJ PRAXI

V súčasnej dobe existuje mnoho prostriedkov, metód a nástrojov, ktoré slúžia k spracovaniu zvukových signálov alebo reči. Kladie sa veľký dôraz na vývoj v tejto oblasti a to najmä na softwarovej úrovni, kde je vynakladané veľké množstvo energie na zefektívňovanie výpočtových algoritmov za pomoci komplikovaných matematických modelov. Je potrebné rozlišovať spracovanie zvuku a reči pre forenzné účely používané v kriminalistickej praxi od spracovania zvuku a reči v komerčnej sfére. Je pravdou, že mnoho z využívaných modelov a techník zdieľajú, no každá za iným účelom. Kriminalistická audioexpertíza sa snaží plniť jej základné úlohy, ktoré boli popísané v predchádzajúcej kapitole, zatiaľ čo komerčná sféra využíva prostriedky spracovania zvuku na odlišné účely. Medzi spomínané účely patrí rozpoznávanie reči, kedy software dokáže zachytávať hovorené slovo a konvertovať ho do textovej formy, no najbližším príbuzným účelom je verifikácia alebo rekognícia užívateľa, ktorá sa využíva napríklad v prístupových systémoch. Práve v prístupových systémoch sa stáva čoraz populárnejšou, pretože využitie hlasu ako biometrického identifikátora je užívateľsky veľmi pohodlné. Nie je potreba žiadneho kontaktu s technickým zariadením ako v prípade odtlačku prsta, navyše technické zariadenie potrebné na hlasovú identifikáciu je cenovo veľmi dostupné. [19, 23]

Aj keď sa môže zdať forenzná identifikácia pomocou audio analýzy veľmi podobná verifikácii užívateľa v komerčnej sfére, existuje viacero dôvodov, ktoré znemožňujú využívať rovnaké postupy a prostriedky. Jedným z hlavných dôvodov, prečo to nie je možné, je kvalita audiozáznamu. Zatiaľ čo v kriminalistickej praxi sa pracuje obvykle s audiozáznamami rôznej kvality, často veľmi nízkej, komerčná sféra pracuje s takpovediac ideálnymi nahrávkami a vzorkami hlasu a z tohto dôvodu je stanovenie, či sa jedná o danú osobu alebo nie, oveľa jednoduchšou úlohou. Táto skutočnosť premostňuje k druhému dôvodu odlišnosti medzi foreznou a komerčnou sférou a tou je fakt, kým respektíve čím, je hlasová vzorka vyhodnocovaná. Komerčná sféra prenáša všetku zodpovednosť za stanovenie zhody na technický faktor, ktorý je plne automatizovaný. To v kriminalistickej praxi možné nie je, čo ale neznamená, že by k svojej práci nevyužívala technické zariadenia. Naopak technické vybavenie je nevyhnutnosťou a bez neho by sa audioexpert nezaobišiel. Vždy sa jedná o spoluprácu ľudský faktor + technický faktor, pričom o výsledku a stanovení záveru rozhoduje na základe nameraných hodnôt človek,

ktorý nesie zodpovednosť, čo zas nepochybne súvisí s aspektom, že sa jedná v podstate o dôkazy pri vyšetrovaní. [19]

### 3.1 Technické prostriedky forenznej audio analýzy

Práca forezného audioexperta sa nezaobíde bez technických prostriedkov. Základnými technickými prostriedkami, ktoré sa využívajú pri modernej audioexpertíze, sú:

- počítačová výbava,
- mikrofóny,
- reproduktory,
- slúchadlá,
- doplnkové zariadenie. [24]

V minulosti sa používali najmä jednoúčelové zariadenia na spracovanie zvuku, prípadne samostatné frekvenčné analyzátory, no počítačová technika ich postupne vytlačila.

#### 3.1.1 Počítačová výbava

Počítač je absolútnym základom modernej audioexpertízy. Presnejšie povedané počítač so všetkými perifériami, obohatený vhodným softwarom, prípadne rozšírený o ďalší hardware ako sú externé zvukové karty či zariadenia umožňujúce pripojenie aj menej štandardné médiá či zariadenia umožňujúce digitalizáciu napríklad magnetických pásov. Dôvodmi, prečo sa počítače stali výborným nástrojom pre potreby audioanalýzy sú, v súčasnosti už veľmi veľký výpočtový výkon, cenová dostupnosť, variabilita funkcií podmienená softwarom alebo celkový prechod do digitálneho veku. Ukážka audioforenznej počítačovej výbavy sa nachádza na *Obr. 10*. [24]



*Obr. 10 Ukážka počítačovej výbavy audioforezného pracoviska [25]*

Na trhu sa objavujú aj produkty označované ako audioforezné pracovné stanice. Ide o špeciálne počítače presne navrhnuté podľa potrieb audioexpertov. Tieto zariadenia majú obrovský výkon a snažia sa integrovať všetky potrebné systémy ako aj vstupy a výstupy do jedného zariadenia. Značnou nevýhodou je vysoká cena. Na *Obr. 11* sa nachádzajú audioforezné pracovné stanice vyskytujúce sa na trhu.



*Obr. 11 Audioforezné pracovné stanice [26, 27]*

### 3.1.2 Mikrofóny

Mikrofóny sú elektroakustické prevodníky, čo znamená, že dokážu konvertovať zvukové vlnenie v prostredí na elektrický signál. Ak by sa jednalo o ideálny mikrofón, zvukové



vlnenie prostredia by sa presne konvertovalo na elektrický signál, ktorý by mu zodpovedal. Skutočné mikrofóny takúto ideálnu konverziu nezvládajú a obohacujú elektrický signál aj zložkami, ktoré nie sú žiadané ako šum, praskanie. Existuje viacero typov mikrofónov a každý prináša špecifické vlastnosti, výhody, nevýhody. Vhodnosť použitia je silne individuálna. Z hľadiska forennej audio analýzy sú dôležité najmä pri obstarávaní porovnávacích materiálov. [7]

### 3.1.3 Reprodukory

Majú v podstate opačnú funkciu ako mikrofóny, teda konvertujú elektrický signál na akustické vlnenie. Pre účely audioexpertízy je nutné použiť kvalitné reprodukory, ktoré dokážu generovať detailný zvuk v čo najväčšom rozsahu, aby sa strácalo čo najmenej akustickej informácie. Reprodukory využívané foreznými technikmi sa umiestňujú relatívne blízko 1-2 metre od poslucháča, vždy vo dvojici. Základom je, aby originálny zvuk z reproduktorov doľahol k poslucháčovi ako prvý, teda s čo najmenším počtom odrazov a skreslení ako sú dozvuky. Výhoda analýzy pomocou reproduktorov je, že zvuk reálne cestuje skrz prostredie do ucha, čo vytvára akýsi reálny dojem a je pre človeka prirodzenejšie zachytávať zvuky z prostredia, na rozdiel od slúchadiel, kde zvuk priamo smeruje do ucha. Ďalšia z výhod je ergonomická pohodlnosť. *Obr. 12* zachytáva príklady reproduktorov vhodných pre účely forennej audioexpertízy. [7, 28]



*Obr. 12 Reprodukory - príklad [29, 30]*

### 3.1.4 Slúchadlá

Jedná sa o miniatúrne reprodukory, ktoré sa vyskytujú v dvoch prevedeniach. Prvým je prevedenie, ktoré sa umiestňuje cez hlavu na uši, pričom reprodukory sú v uložení, ktoré pokrýva celé ucho. Druhá verzia sa umiestňuje priamo do uší a zvuk prenáša rovno do zvukovodu ucha. Prvé prevedenie sa považuje za ergonomicky pohodlnejšie. Výhodou

oproti reproduktorom je, že zvuk prichádza rovno do ucha a teda nie je ovplyvnený nejakým rušením z prostredia. Slúchadlá taktiež umožňujú pracovať viacerým ľuďom na pracovisku v ten istý čas, pričom sa navzájom nevyrušujú. [7, 28]

V praxi sa využívajú aj reproduktory aj slúchadlá pomerne rovnocenne. Opäť závisí na prípade a situácii alebo osobných preferenciách forenzného experta. Ukážka slúchadiel, ktoré možno k práci audioexperta využiť, je zobrazená na *Obr. 13*, vľavo sa nachádza prevedenie cez hlavu, vpravo prevedenie do uší.



*Obr. 13 Ukážka slúchadiel - obe prevedenia [31, 32]*

### 3.1.5 Doplnkové zariadenia

Patria sem všetky zariadenia, ktoré ďalej súvisia s procesom audio analýzy. Možno sem zaradiť rôzne nahrávacie zariadenia, zosilňovače, equalizéry, prehrávacie zariadenia, analyzátory a podobne. Na *Obr. 14* sú vybrané dve doplnkové zariadenia, frekvenčný analyzátor vľavo a zosilňovač vpravo. [24]



*Obr. 14 Doplnkové zariadenia [33, 34]*

## 3.2 Nástroje forenznej audioexpertízy

Nástrojmi forenznej audioexpertízy sa rozumejú prostriedky a postupy, ktoré sa využívajú v kriminalistickej praxi pri objasňovaní trestných činov, v ktorých nejakým spôsobom figuruje audiozáznam, využívajúc technických prostriedkov spomenutých vyššie.

Jedná sa o súbor analýz aplikovateľných na audiozáznamy, najčastejšie obsahujúce rečové prejavy.

### 3.2.1 Vlastná analýza

Vlastná analýza predstavuje najjednoduchší postup v spracovaní audiozáznamu a spravidla sa ňou vždy zahajuje skúmanie. Najskôr je nahrávka orientačne vypočutá, čo dá expertovi náhľad na náročnosť spracovania, taktiež si môže stanoviť parametre, ktoré bude ďalej hodnotiť, samozrejme v závislosti, či sa bude jednať o úlohu zlepšenia zrozumiteľnosti alebo forenznu identifikáciu. Nahrávku je možné si prehrať niekoľkokrát podľa potreby, prípadne si spraviť poznámky, zaznamenať všetko, čo by mohlo byť v ďalšom skúmaní dôležité alebo čo treba preveriť. [17, 28]

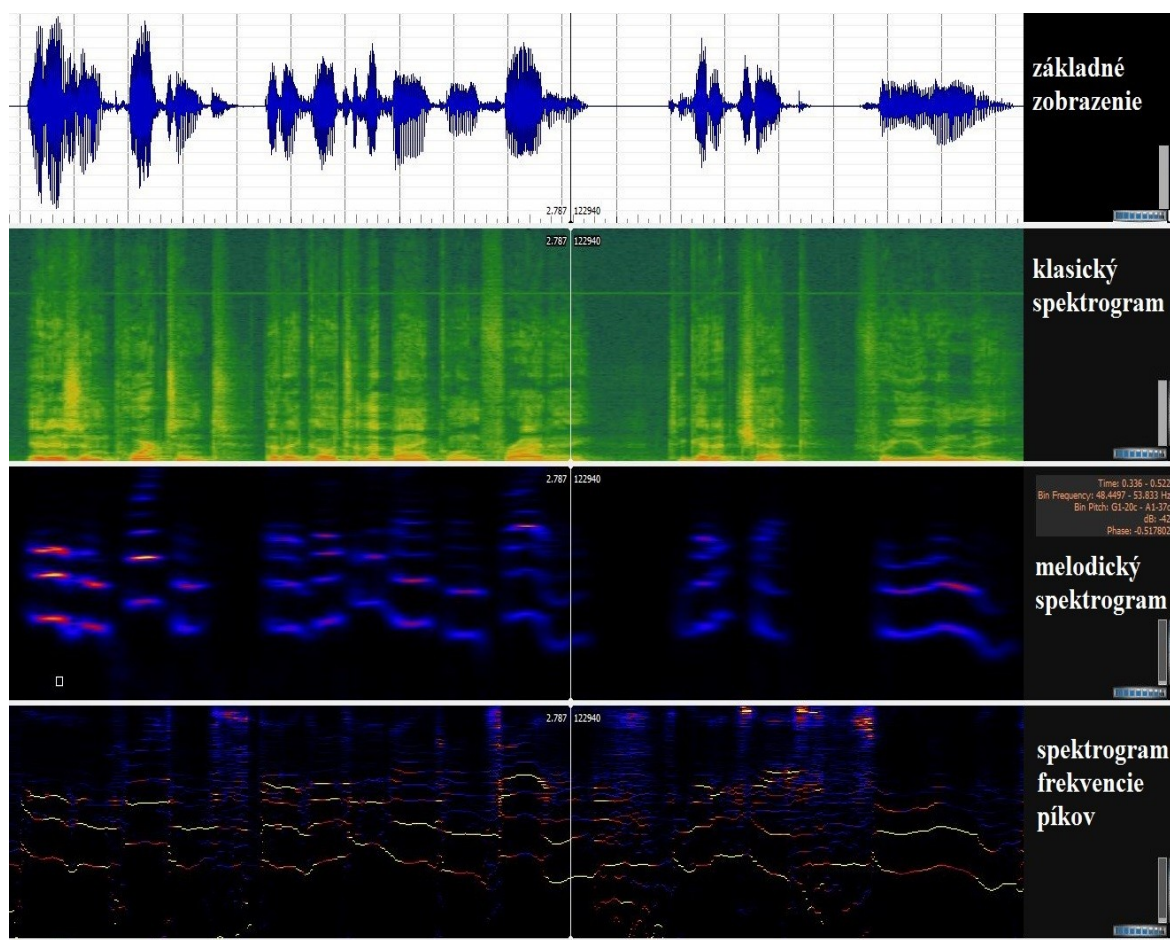
### 3.2.2 Analýza spektrogramov

Väčšina softwarových produktov po načítaní vstupného signálu, graficky zobrazí amplitúdovú závislosť zvukovej vlny v čase. Takéto zobrazenie poskytuje prehľad o tom, na ktorých miestach nahrávky sa nachádzajú výraznejšie zvuky, prípadne reč, ak je dosť výrazná a nie je prekrytá výraznejšou akustickou zložkou, no pre účely identifikácie je takéto zobrazenie nevhodné. Oveľa vhodnejším zobrazením je spektrogram, ktorý sa z pôvodného signálu, vypočíta pomocou napríklad Fourierovej analýzy. Výsledkom je dvojrozmerné spektrum frekvencie a času, prípadne frekvencie a intenzity alebo trojrozmerné spektrum frekvencie, času a intenzity, kde horizontálna os predstavuje čas, vertikálna os vyjadruje frekvenciu a zložka intenzity je zobrazená odtieňom sfarbenia, spravidla čím tmavšie plocha, tým vyššia intenzita. Takéto zobrazenie je úplným základom audioexpertízy a v tejto podobe je už možné porovnávať spektrogramy spornej a porovnávacej nahrávky. Proces je ale komplikovanejší a nestačí iba opticky overiť jednotlivé spektrogramy. V spektrogramoch sa vytypujú miesta, v ktorých by sa mali namerané hodnoty zhodovať. [17, 21]

Možnosti modernej doby však prinášajú ďalšie typy spektrogramov ako sú melodický rozsahový spektrogram, či spektrogram frekvencie píkov signálu. Využívajú sa nelineárne

modely analýzy reči, ktoré sa opierajú o časové vektory, nesúce informácie o spektrálnom, kepstrálnom alebo lineárne prediktívnom charaktere reči. V praxi sa ďalej využívajú aj takzvané dlhodobé spektrá reči, ktoré vychádzajú zo spektier okamžitých. Vznikajú ich priemerovaním za dlhší časový úsek, čo môže byť výhodné a to z hľadiska času potrebného k ustáleniu spektra hovoriaceho človeka, ktorý sa pohybuje okolo 30 sekúnd. Vyšší počet meraní, ktoré sa spriemerujú pomáha vyhladiť výsledné spektrum, minimalizujú sa odchýlky. [17]

Ukážky spektrogramov aj s popisom o aký spektrogram sa jedná, sa nachádzajú na *Obr. 15*. Ukážky boli vytvorené v programe Sonic Visualiser, verzia 3.0.1.



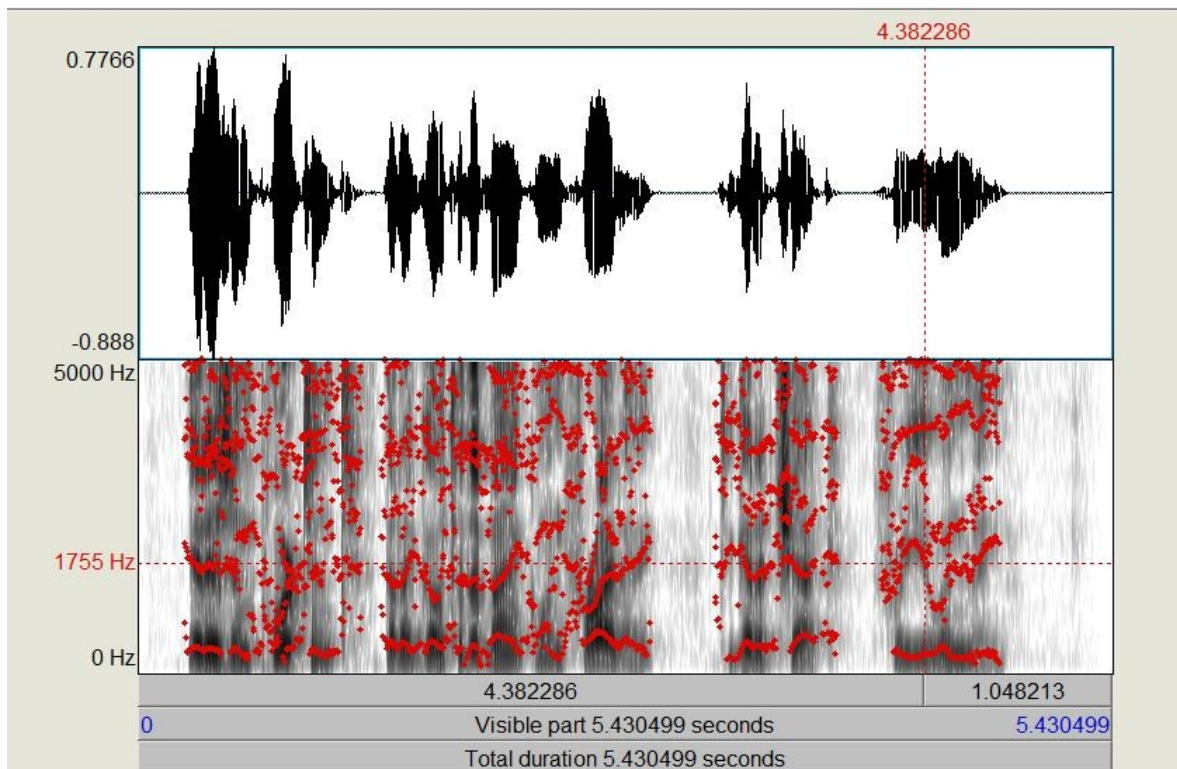
*Obr. 15* Príklady používaných spektrogramov [autor]

### 3.2.3 Analýza formantov

Ďalším využívaným postupom je analýza formantov. Formanty sú tóny vznikajúce špecifickou rezonanciou v hlasovom aparáte človeka. Tým sa myslí zosilnenie určitých harmonických tónov, podľa konkrétneho tvaru a veľkosti jednotlivých častí vokálneho



traktu. Základný hlasivkový tón sa označuje ako F0, nasledujú formanty F1, F2, F3 až po F4, ktorý už býva istým spôsobom hraničný a hoci existujú aj vyššie formanty, v nahrávkach už bývajú tak nevýrazné, že sa pre analýzu nepoužívajú. Formanty sa viažu ku konkrétnym hláskam. Skutočnosť, že každý človek má jedinečný vokálny trakt sa prenáša do hodnôt formantov, ktoré by mali byť taktiež jedinečné. Na *Obr. 16* je výstup z programu Praat, verzia 6.0.27, zobrazenie formantov v spektrograme. [17, 35]



*Obr. 16* Zobrazenie formantov v spektrograme [autor]

Otázkou je, do akej miery je meranie presné, prípadne ako moc vplýva napríklad emočná zložka na ich hodnoty, čo sa javí ako veľmi problémové. V kontexte vznesených otázok, môže napríklad nastať situácia, kedy by u vybranej osoby boli namerané hodnoty formantov za bežných podmienok a potom v prípade, kedy by bola osoba v emočnom napätí napríklad v hneve a hodnoty by sa nezhodovali, čo danú metódu značne podkopáva. [36]

Existuje viacero metód ako pristupovať k meraniu hodnôt formantov. Súčasný výskum zaznamenáva tri:

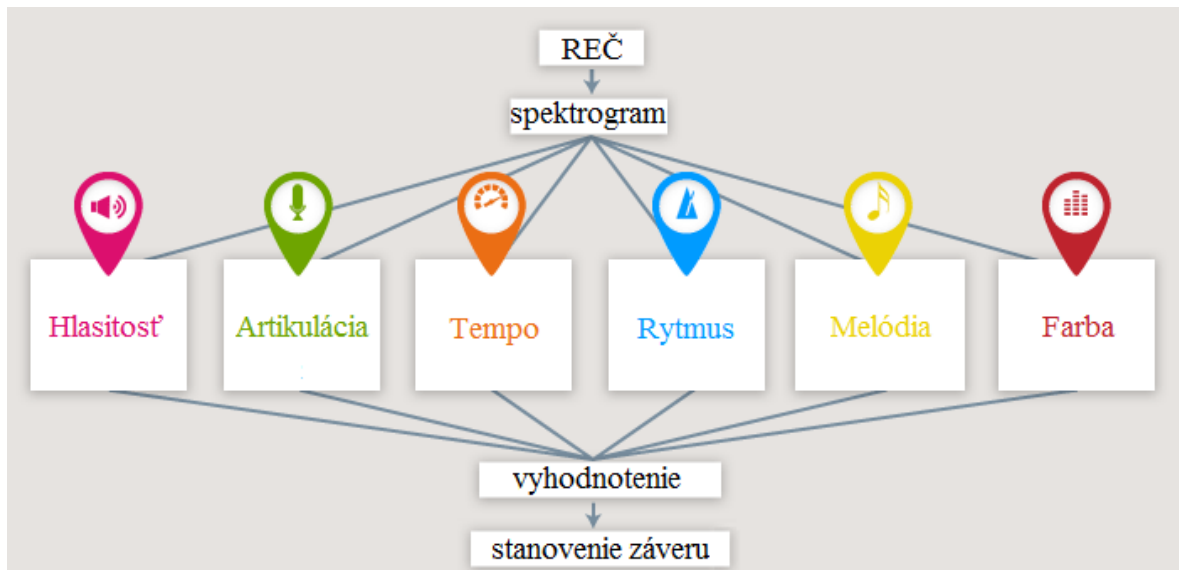
- statická,
- dynamická,
- dlhodobé hľadisko. [35]

### 3.2.4 Analýza rušivých vplyvov

Zatiaľ čo predchádzajúca dvojica metód sa venovala analýzam, ktoré sa používajú pri identifikácii páchatel'a, respektíve hovoriaceho, analýza rušivých vplyvov sa využíva pri úlohe zlepšenia zrozumiteľnosti a počuteľnosti. Spočíva v identifikovaní frekvencií rušivého signálu napríklad šumu, čo je najjednoduchšie vyselektovaním takého úseku nahrávky, v ktorom sa nachádza najmä šum a nie reč. Na danom úseku sa identifikujú frekvencie, pri ktorých šum dosahuje najväčších intenzít. Následne sa využije vhodného filtra, ktorému sa dané frekvencie priradia a takýto filter sa aplikuje na celú nahrávku alebo len na špecifické úseky. Takto vyzerá manuálny postup, no súčasný software už má funkcie, ktoré šum dokážu zanalyzovať automaticky a následne ho z nahrávky dostať. Manuálny postup je časovo náročnejší, ale individuálne zameraný prináša zväčša kvalitnejšie výsledky. Automatizovaný postup funguje systémovo na základe naprogramovaných algoritmov. Šetrí čas, no jeho efektivita je silne závislá na povahe audiozáznamu. Je možné využiť aj kombinovaného postupu, kedy sa zo záznamu najskôr odstráni šum automaticky a následne sa manuálne doladí podľa potrieb a požiadaviek. Princíp bol vysvetlený na príklade šumu, no postup je analogický aj pri ostatných rušivých signáloch ako sú bzučanie, pískanie, búchanie a iné. [37]

### 3.2.5 Analýza reči

Analýza reči sa silne viaže k lingvistickému a fonetickému rozboru bližšie popísanému v kapitole 2. Je potrebné rozlišovať analýzu reči z hľadiska obsahu, kedy ide zväčša o lingvistické poňatie a analýzu reči z hľadiska zvukových parametrov hlasového prejavu, no často idú oba pohľady ruka v ruke. Obsah nesie významovú informáciu povedaného, zatiaľ čo zvukové parametre popisujú spôsob akým bol obsah vyjadrený v zmysle merateľných fyzikálnych hodnôt. Z tohto pohľadu sa analýza reči odkazuje na analýzu spektrogramov, no v konkrétnejšom zameraní iba na rečovú oblasť. Na *Obr. 17* sa nachádza jednoduchá schéma, ktorá znázorňuje aké parametre sú hodnotené v procese analýzy reči pomocou spektrogramu.



Obr. 17 Jednoduchá schéma hodnotených parametrov [38]

Aby mohla byť analýza reči vykonaná musí byť záznam dostatočne zrozumiteľný a pokiaľ možno zbavený rušivých vplyvov. Aj keď je možné využiť softwarových nástrojov inteligentnej rečovej analýzy, ktoré dokážu napríklad určiť úseky v nahrávke, kde sa nachádza rečový prejav a pokiaľ je nahrávka dostatočne kvalitná dokonca previesť rečový prejav do textovej podoby, napriek tomu je rečová analýza skôr postupom manuálnym a to najmä v prípade lingvistického rozboru. Čo sa týka rozboru fonetického, software môže byť nápomocný v prípade presného určovania časových parametrov ako je dĺžka slova, slabík, páuz medzi slovami či parametrov ako je melódia a hlasová dynamika. Ťažisko rečovej analýzy stojí na pleciach audioexperta, ktorý sa musí spoľahnúť hlavne na svoje schopnosti vnímania, dedukcie a skúsenosti nadobudnuté praxou. Výsledkom analýzy reči by mal byť súbor údajov, extrahovaných z rečového prejavu, na základe ktorých je možné previesť identifikáciu, čo býva možné iba v prípade existencie spornej a zároveň porovnávacej nahrávky. V prípade, ak je dostupná iba nahrávka sporná, tak je rečová analýza obsahu hlavným nástrojom k takzvanému profilingu, teda určeniu istej skupiny vlastností charakteristických pre osobu na nahrávke, čo zužuje množinu podozrivých osôb v kontexte vyšetrovania.[37]

### 3.2.6 Subjektívny vplyv

Subjektívnym vplyvom sa rozumejú všetky procesy a činnosti, ktoré sa podieľajú na výslednej podobe práce audioexperta, no nedajú sa nijak jednoducho popísať. Je to akýsi faktor X, ktorý sa nepozera na forenznú audio analýzu ako na vedu, ale ako na umenie. Je to komplexný mix talentu, skúseností, improvizácie, inštinktu, vytrvalosti,

dedukcie, empatie, ochoty skúšať, robiť chyby, učiť sa a mnoho iných. Je to niečo, čo sa nedá získať študovaním literatúry, a preto sa ani v literatúre neuvádza, no práve táto zložka determinuje kvalitu odvedenej práce. Je to čas strávený mnohonásobným skúšaním menenia parametrov za účelom dosiahnutia lepšieho finálneho výsledku. Je to profesionálny rast. Je to schopnosť, ktorá umožňuje využívať všetky nástroje a analýzy spomenuté v prechádzajúcich kapitolách. Je to niečo, na čo by sa nemalo zabúdať len preto, že sa na to nedá nalepiť označenie, priradiť tomu hodnota alebo zakresliť to do grafu.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 4 PREHLAD SOFTWAREVÝCH PRODUKTOV

Na trhu je dostupných množstvo softwarových produktov zaoberajúcich sa spracovaním, editáciou a nahrávaním zvuku, no nie všetky sú vhodné pre účely audio analýzy. Existujú špecializované produkty vyvinuté pre potreby forenznej audio analýzy, ktoré majú nástroje presne navrhnuté k práci forezného audioexperta. Ďalej sa na trhu vyskytujú produkty určené pre hudobné štúdiá, hudobníkov profesionálneho ale aj amatérskeho charakteru. Táto skupina produktov, hoci nie je priamo určená k forezným účelom, môže čiastočne nahradiť špecializovaný software a s niektorými úlohami, najmä zlepšenia zrozumiteľnosti a počuteľnosti, si dokáže poradiť rovnako dobre. Dôležitým faktorom pri výbere je cena produktu. V ponuke je možné nájsť platené i neplatené softwarové produkty a je len na potrebách a možnostiach zákazníka, ku ktorému produktu sa uchýli.

Nasledujúce podkapitoly budú venované predstaveniu vybraných softwarových produktov z rôznych kategórií(platené, neplatené, špecializované,...), a ich stručnému zhodnoteniu, respektíve stanoveniu vhodnosti ich použitia pre forezné účely. Jedná sa o subjektívne hodnotenie produktov po ich otestovaní.

### 4.1 DC Forensics 10

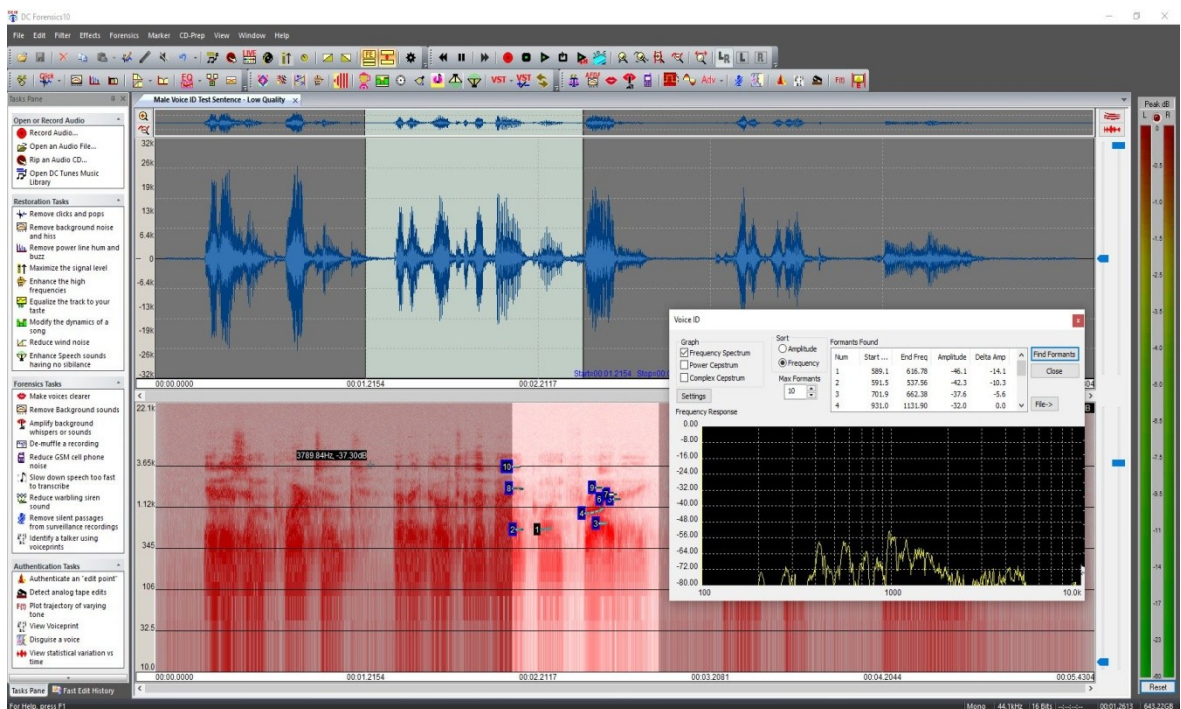
Špecializovaný program na forezné účely. Ide o platený software s cenou pohybujúcou sa do 1500 dolárov. Cena závisí od toho, či je zákazník vlastníkom predchádzajúcich verzií, prípadne od voliteľných rozšírení, inštruktážnych materiálov a podobne. Keďže sa jedná o špecializovaný software, nástroje sú priamo prispôbené pre prácu vo forenznej oblasti. Za jeho hlavnú výhodu možno považovať, že pri zmene parametrov funkcií je možné pracovať s takzvaným náhľadom. To znamená, že pri menení určitých nastavení pri aplikácii funkcií takmer v reálnom čase (v závislosti od komplikovanosti výpočtu a hardwaru), dokáže audioexpert počuť ako sa daná zmena prejaví na nahrávke. Ak je s výsledkom spokojný môže dané nastavenia uplatniť na celú nahrávku, prípadne vybrané úseky. Oproti ostatným softwarom je to veľmi veľká výhoda, pretože tie najčastejšie pracujú štýlom: prestavenie parametrov, výpočet, vypočutie nahrávky a ak sú výsledky nevyhovujúce, je potrebné vrátiť sa o krok späť a vyskúšať znovu. Program je možné 10 dní využívať zdarma v plnej funkčnosti a následne len vo veľmi obmedzenej miere. Celkový dojem z programu je veľmi dobrý, ovládanie jednoduché a intuitívne, Help programu je dobre spracovaný a pri neistote sa naň možno obrátiť. Grafické prostredie je

užívateľsky dostačujúce aj keď nijak zvlášť nevyniká. Takisto možno oceniť vzorové testovacie súbory, na ktorých sa možno učiť základné funkcie programu.

## Funkcie

Množstvo funkcií je priamo predvolených a značne automatizovaných, no program samozrejme umožňuje aj manuálnu prácu, či následné doladovanie. Menu ponúka celú radu filtrov s veľmi bohatou ponukou nastavení, rôzne efekty aplikovateľné na nahrávku, viacero typov zobrazenia priebehu signálu ako sú spektrogramy, analytické nástroje a samozrejme celú radu forenzných nástrojov. Z najvýznamnejších možno spomenúť odstránenie rôznorodých rušivých vplyvov, zlepšenie kvality rečových prejavov v nahrávke, potlačenie zvukov pozadia alebo ich zvýraznenie, spomalenie reči pre účely transkripcie, vyselektovanie rečových pasáží, formantová analýza, autentifikácia podozrivých úsekov, nástroje vo vzťahu k zvukom výstrelu ako sú stanovenie času medzi výstrelmi, či ďalších balistických charakteristík a ďalšie.

Ukážka prostredia programu DC Forensics 10, verzia 10.02, sa nachádza na *Obr. 18*.



*Obr. 18 DC Forensics 10 [autor]*

## Výhody

Špecializovanosť, množstvo nástrojov, testovacie súbory, jednoduchosť, funkcia náhľadu

## Nevýhody

Vyššia cena, slabšie grafické prostredie

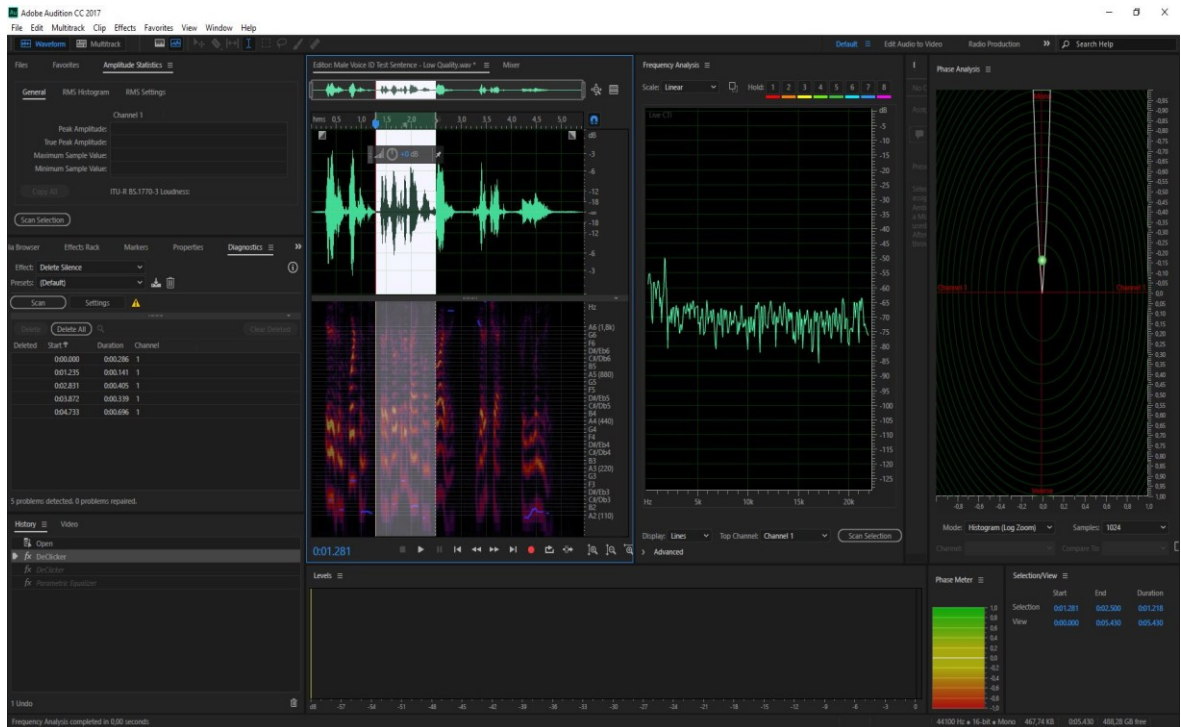
## 4.2 Adobe Audition CC 2017

Jedná sa o profesionálny audio software, ktorý je dostatočne univerzálny a napriek tomu, že nie je primárne určený pre forenzné účely, je možné v ňom zvládnuť množstvo forenzných úloh. Cenu produktu je pomerne náročné stanoviť. Zohľadňuje sa doba na akú sa licencia kupuje, vzťah zákazníka k predchádzajúcim verziám, cloudové riešenie, balíčky ostatných produktov rady Adobe a podobne, no rádovo sa cena pohybuje od desiatok do stoviek dolárov. Program je možné vyskúšať v plnej funkčnosti po dobu jedného týždňa od prvotnej inštalácie. Graficky je program veľmi príjemný, umožňuje si nastaviť pracovnú plochu presne podľa osobných preferencií a nástrojov potrebných pre prácu. Univerzálnosť je základným kameňom programu. Z hľadiska foreznej aplikácie je program využiteľný najmä v otázke zlepšenia zrozumiteľnosti a kvality nahrávky. Taktiež umožňuje prácu s náhľadom, dokonca ešte v rozšírenej miere, kedy sa dajú rôzne efekty a funkcie kombinovať naraz dohromady a sledovať ako to nahrávku ovplyvní. Oceniť treba aj skutočnosť, že program využíva široká komunita ľudí, z čoho vyplýva výborná podpora edukačných materiálov, návodov a postupov. Na prvý pohľad sa môže práca s programom javiť ako zložitá a komplikovaná najmä pre užívateľov bez skúseností, čo môže byť odrádzajúce. Hoci je software využívaný najmä na štúdiové hudobné účely a efekty, nestratí sa ani na poli foreznej audio analýzy, no je potrebné rátať s tým, že neponúka špecializované funkcie. To však neznamená, že sa nedá množstvo z nich nejakým spôsobom nahradiť, no často je takéto riešenie pracnejšie a časovo náročnejšie, nehovoriac o potrebných skúsenostiach.

## Funkcie

Ak sa pominú všetky funkcie, ktoré nesúvisia s predmetom foreznej analýzy, tak možno spomenúť filtrovanie, diagnostiku, rôzne modulácie a redukcie šumu, kompresie. Program umožňuje zobrazenie spektrogramu a frekvenčnú či fázovú analýzu. Zaujímavá je aj funkcia extrakcie zvukových stôp z videa, pričom video možno zároveň v programe prehrať, čo môže byť prospešné pri rozšírenej audiovideo analýze.

Ukážka prostredia programu Adobe Audition CC 2017, verzia 10.0.2.27, sa nachádza na *Obr. 19*.



Obr. 19 Adobe Audition CC 2017 [autor]

## Výhody

Univerzálnosť, široká komunita, grafické prostredie, rozšírená funkcia náhľadu

## Nevýhody

Cena, komplikovanosť pre začiatočníka, k analýze nie je primárne určený

## 4.3 Audacity

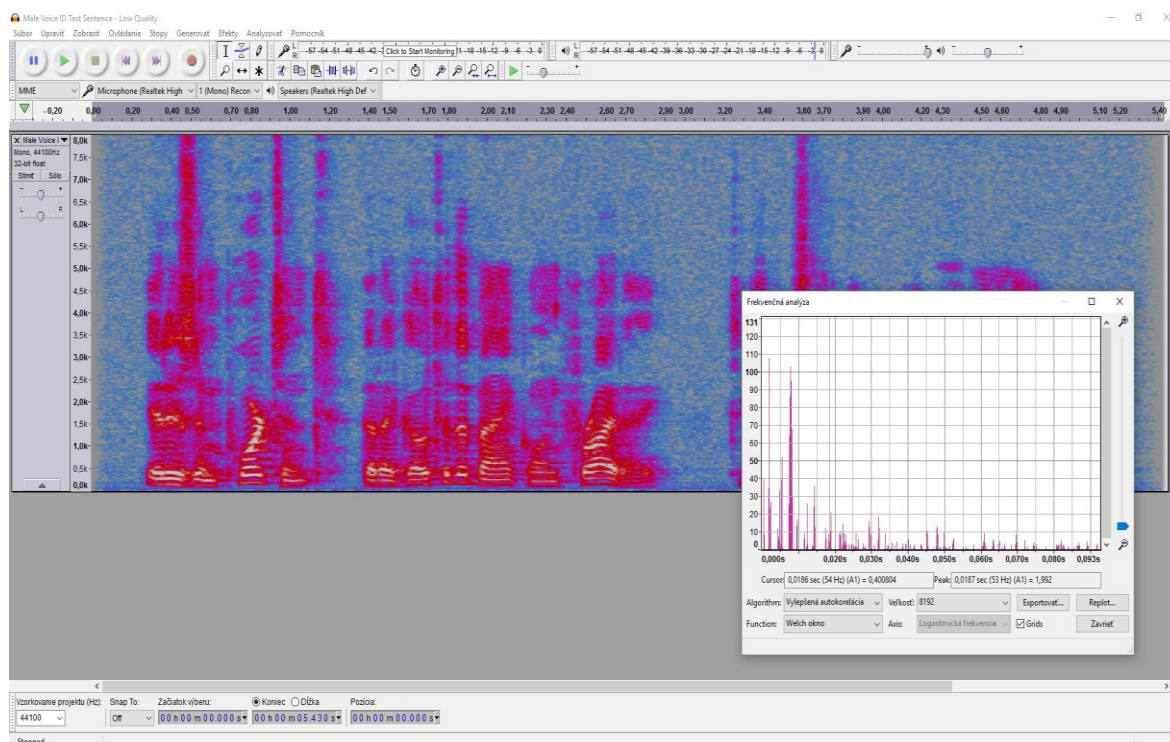
Voľne šíriteľný audio software. Svojimi funkciami by sa dal čiastočne prirovnať k predchádzajúcemu produktu, no ani zďaleka sa nepribližuje pracovným komfortom a celkovou užívateľskou ergonómiou. Práca s programom je menej intuitívna. Analytické funkcie sú na nižšej úrovni, snáď s výnimkou okna frekvenčnej analýzy, takže z tohto hľadiska sa software nejaví ako príliš vhodný, no tento nedostatok sa mierne vyvažuje pomerne bohatou ponukou efektov, ktoré možno aplikovať na nahrávku a tým zlepšiť počiteľnosť a zrozumiteľnosť. Funkcia náhľadu je v programe dostupná ale len v obmedzenej miere, kedy sa parametre nedajú počas jeho počúvania meniť, čo je pomerne dosť veľká nevýhoda. Naopak podobne ako v predchádzajúcom prípade aj v prípade Audacity, produkt využíva pomerne široká komunita, čo prispieva k skutočnosti, že na internete je dostupných množstvo návodov a riešených problémov priamo od aktívnych

užívateľov. Pre program je dostupná aj ponuka rozširovacích modulov. Celkovo sa jedná o dobrú alternatívu k plateným programom, no pre forenzné účely je pomerne obmedzená.

## Funkcie

V podstate poskytuje všetky základné funkcie práce so zvukom. Z forenzných aplikácií je opäť možné zvýrazniť nástroje určené k filtrovaniu, redukcii šumu a iných rušivých vplyvov. Je možné prepnúť na zobrazenie spektrogramu, no je poznať, že tento režim je až druhotným záujmom. Za zmienku stojí dobre a prehľadne spracovaný nástroj frekvenčnej analýzy.

Ukážka prostredia programu Audacity, verzia 2.1.3, sa nachádza na *Obr. 20*.



*Obr. 20 Audacity [autor]*

## Výhody

Voľne šíriteľný, frekvenčná analýza, moduly, široká komunita

## Nevýhody

Spektrogram, obmedzená funkcia náhľadu, užívateľský komfort

## 4.4 Praat

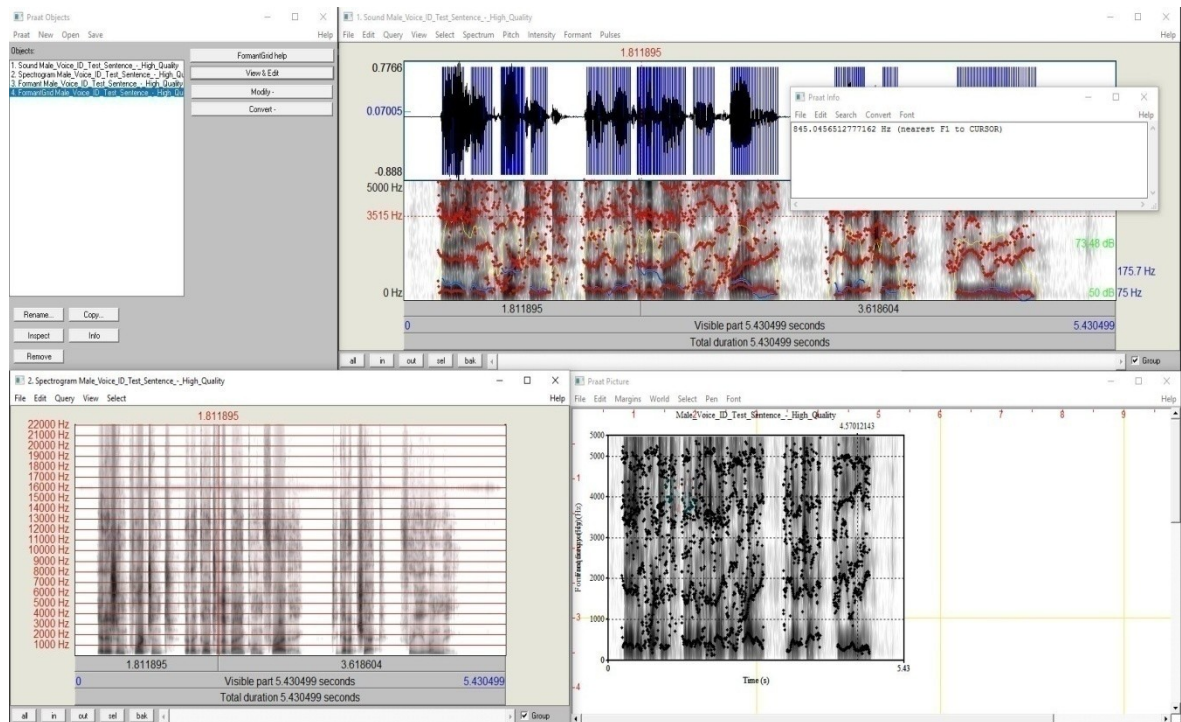
Praat je voľne dostupný software určený k zvukovej analýze reči, na ktorú je úzko špecializovaný. Na rozdiel od predchádzajúcich produktov, Praat obsahuje iba základné nástroje na úpravu zvuku, no to nie je jeho primárnou úlohou. Jeho zameranie spočíva v analytických nástrojoch, ktoré sú veľmi rozsiahle. Program umožňuje načítať zvukovú nahrávku z externého súboru alebo nahrávku priamo vytvoriť, no je potreba podotknúť, že je nutné pracovať s kvalitnejšími nahrávkami, kde je reč dostatočne výrazná. Praat vsadil na objektový prístup, kde hlavné okno slúži k vytváraniu ďalších objektov. V podstate každá zvolená analýza a výpočet sa deje v novom okne, no nie v rámci programu, ale v rámci operačného systému, čo sa dá považovať za nie veľmi šťastné riešenie. Je to užívateľsky neprehľadné a z pohľadu funkčnosti programu nestabilné, čo sa prejavuje občasným spadnutím programu. Graficky je program na úrovni absolútneho minima, čo je z užívateľského hľadiska značne podcenené, no táto skutočnosť je vyvážená komplexnými analytickými nástrojmi. Tento program sa javí ako veľmi vhodný pre účely forenznej audio analýzy a to najmä z pohľadu úlohy identifikácie osoby na nahrávke. Je určený pre užívateľov s dostatočným teoretickým základom v obore a to aj napriek pomerne kvalitnému Helpu.

### Funkcie

Analytické funkcie sa delia v závislosti od ich aplikácie do piatich kategórii: spektrogramy, intenzita, výška, formanty a pulzy. Každá kategória obsahuje komplexný súbor analýz, ktoré je možné vykresliť, prípadne stanoviť hodnoty a exportovať ich do textovej alebo tabuľkovej podoby. Umožňuje vyšetřovať harmonicitu, periodicitu, spektrá, určovať minimá, maximá, automaticky rozpozná formanty, vypíše ich hodnoty a mnoho ďalších. Väčšinu objektov vytvorených v Praat je možné nejakým spôsobom exportovať a v prípade vykresľovaných grafov ich taktiež pred exportom editovať. Súčasťou funkcií programu sú aj nástroje neurónových sietí. Zaujímavosťou je jednoduchá kalkulačka integrovaná do programu.

Ukážka prostredia programu Praat, verzia 6.0.27, sa nachádza na *Obr. 21*.





Obr. 21 Praat [autor]

## Výhody

Voľne šíriteľný, špecializovaný, Help, komplexná ponuka nástrojov

## Nevýhody

Stabilita, grafika, neprehľadnosť

## 4.5 Sonic Visualiser

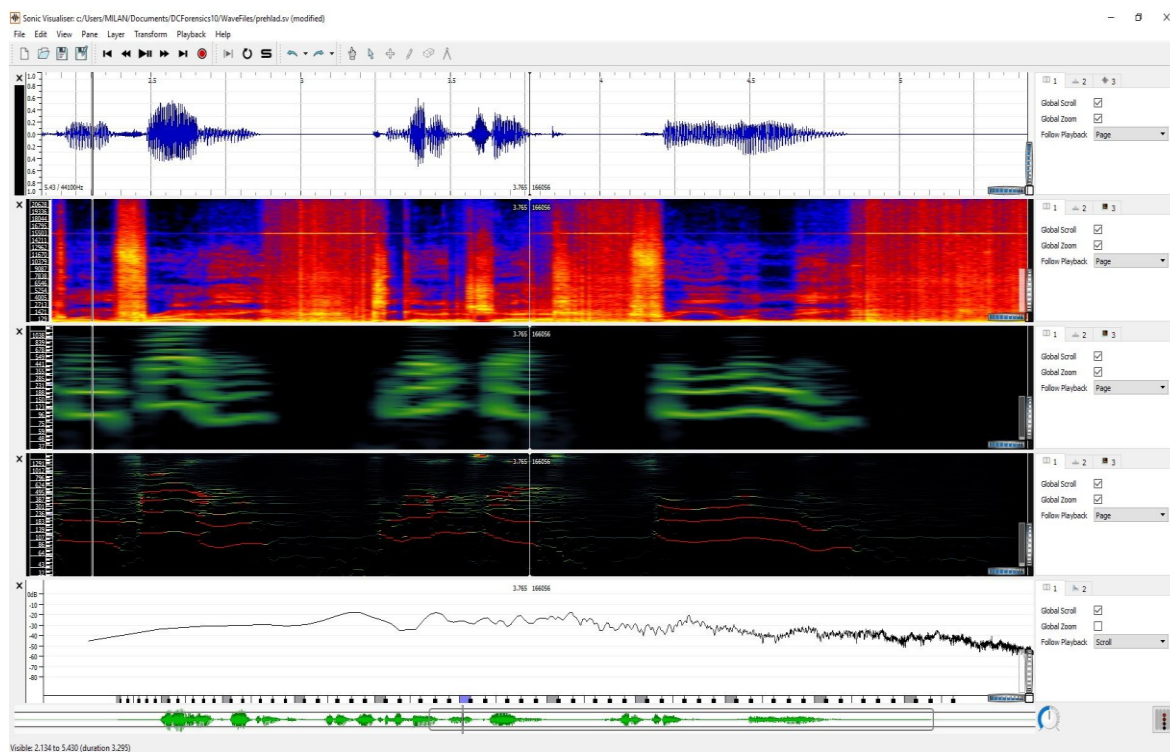
SonicVisualiser je jednoduchý software určený primárne k zobrazovaniu zvukového priebehu. Ponúka 5 typov zobrazení a to: klasickú amplitúdu v čase, spektrogram, melodický spektrogram, spektrogram frekvencie pík a spektrum. Zobrazenia je možné čiastočne editovať a upravovať ich parametre. Manuálne je možné pomocou kurzoru zisťovať hodnoty frekvencie, intenzity v čase, čo je pravdepodobne jediná funkcia, ktorú by okrem vizuálneho porovnania spektier forenzná audio analýza ocenila. Program je voľne šíriteľný. Pri testovaní software niekoľkokrát zlyhal pri zmene parametrov zobrazenia spektra.

## Funkcie

Efektné, no nie moc efektívne a účelné zobrazovanie spektrogramov. Práca vo vrstvách. Zmena rýchlosti prehrávania.



Ukážka prostredia programu SonicVisualiser, verzia 3.0.1, sa nachádza na *Obr. 22*.



*Obr. 22 Sonic Visualiser [autor]*

## Výhody

Voľne šíriteľný, editácia spektrogramov

## Nevýhody

Takmer žiadne možnosti analýzy, stabilita

## 4.6 Ďalšie softwarové produkty

Ďalšie softwarové produkty už budú spomenuté iba informatívne a to z dôvodu istej repetitívnosti, ktorá by nastala pri ich hodnotení, pretože ponuka na trhu sa až tak neodlišuje čo do funkcií a softwarových nástrojov. Rozdiely majú skôr estetický charakter grafického prostredia, užívateľského komfortu či rôzne cenové rozdiely v prípade komerčných produktov.

Do kategórie komplexného špecializovaného softwaru k forezným účelom možno k hodnotenému programu DC Forensics 10 pridať ešte IKAR Lab: Forensic Audio Suite.

V kategorii komerčního profesionálního audio softwaru je možné zmieniť ďalšie produkty ako:

- WavePad
- AVS Audio Editor
- SoundForge
- WaveLab
- AcousticaDigital Audio Editor

Z voľne šíriteľných produktov určených na spracovanie zvuku možno vyzdvihnúť okrem softwaru Audacity nasledujúce:

- Wavosaur
- PowerSound Editor
- Wavesurfer
- Expstudio Audio Editor
- SoundEngine

## 5 EXPERIMENTÁLNA ANALÝZA

Experimentálna analýza sa zaoberá dvoma vybranými audio súbormi, určenými vedúcim diplomovej práce. Cieľom je vyskúšať si prácu forenzného audioexperta, popísať použité prostriedky z hľadiska hardwaru i softwaru, zdokumentovať postup, prakticky preveriť možnosti zvoleného softwaru, vyhodnotiť získané informácie a stanoviť záver.

### 5.1 Použitý hardware

Experimentálna analýza bola vykonávaná za pomoci nasledujúcich hardwarových prostriedkov, pričom sa jedná o bežne dostupné, neprofesionálne vybavenie.

#### 5.1.1 Počítačová výbava

##### **Notebook Lenovo FLEX 2 Pro 15 Black Metal**

###### Parametre:

Procesor: Intel Core i7 5500U 2,4GHz

Grafická karta: NVIDIA GeForce 840mm 4GB

Pamäť RAM: 8GB DDR3L

HDD: SSHD 1TB+8GB

Displej: 15.6" LED dotykový 1920 x 1080 / Full HD

Operačný systém: Windows 10

#### 5.1.2 Reprodukory

##### **Genius Home Theatre SW - HF 5.1 4500**

Sústava reproduktorov v 5.1 prevedení. Reprodukory sú v uložení z dreva.

###### Parametre:

Celkový výkon: 125W (Subwoofer 45W, Central16W, Front 2x16W, Rear 2x16W)

Frekvenčný rozsah: 40Hz - 20kHz

Odstup signál - šum: 90dB

### 5.1.3 Slúchadlá

#### **Philips SHE 8000**

Hi-fi slúchadlá vybavené veľmi kvalitnými reproduktormi s čistou reprodukciou. Pre tento model je charakteristický vynikajúci komfort. Slúchadlá navyše významne eliminujú hluk okolitého prostredia a zároveň ponúkajú špičkovu kvalitný zvuk aj pri nízkej hlasitosti. Jedná sa o prevedenie do uší.

Parametre:

Frekvenčný rozsah: 18Hz - 22kHz

Citlivosť: 102dB

Impedancia: 16Ohm

#### **Superlux HD-660**

Dynamické uzatvorené slúchadlá s prirodzeným zvukom a detailne prekreslenými stredovými frekvenciami, vysoká miera tlmenia okolitého ruchu, jednostranný kábel, veľmi pohodlné mäkké výstelky. Jedná sa o prevedenie cez hlavu.

Parametre:

Frekvenčný rozsah: 10Hz - 30kHz

Citlivosť: 96dB

Impedancia: 150Ohm

## 5.2 Použitý software

Experimentálna analýza bola vykonávaná za pomoci nasledujúcich softwarových produktov:

#### **DC Forensics 10**

Softwarový produkt bol bližšie popísaný v prechádzajúcej kapitole s názvom Prehľad softwarových produktov.

Verzia: 10.02

### **HashMyFiles**

Program, ktorý slúži k vypočítaniu hash hodnôt, vybraných typov (MD5, SHA 1, SHA 256, SHA - 512...). HashMyFiles bol použitý z dôvodu overovania integrity pri práci s audio súborom. Na analyzované nahrávky je nazerané ako na potenciálnu digitálnu stopu, respektíve dôkaz.

Verzia: 2.19

### **FileLocator Pro**

Slúži primárne k vyhľadávaniu súborov v počítači, no takisto dokáže poskytnúť údaje o nájdených súboroch v prehľadnej forme a z tohto dôvodu bol pri analýze použitý. Keďže sa jedná iba o dva skúmané súbory jeho použitie nie je nevyhnutné, no v prípade ak by bolo potrebné preskúmať a vyhľadať v systéme väčšie množstvo digitálnych stôp, prácu môže výrazne zjednodušiť.

Verzia: 7.2

### **Mozilla Firefox**

Klasický internetový prehliadač, ktorý bol použitý k prevereniu audio súborov. Pôvod audio súborov veľmi často vedie na internet, kde sa o súboroch možno dozvedieť ďalšie informácie ako počet stiahnutí, prítomnosť súborov s podobným charakterom, počet verzií, autora súboru a mnoho ďalších.

Verzia: 53.0

## **5.3 Analýza 1**

**Súbor:** 312326\_SOUNDDOGS\_\_ba.mp3

**Úloha:** Získať zo súboru maximálne množstvo informácií

Skúmaný súbor sa nachádza v elektronickej prílohe diplomovej práce.

Pred samotným spustením, či prehratím súboru a následnou analýzou je potrebné získať o súbore ako takom čo najviac informácií, no i tomuto kroku by malo predchádzať zabezpečenie integrity a autenticity pomocou hash funkcií.

### 5.3.1 Integrita a autenticita –Hash

Stanovenie hash hodnôt prebehlo v programe HashMyFiles. Pre účely overenia boli vybraté hash typu MD5, SHA 1, SHA 256, SHA 512, no program automaticky vypočíta a zobrazí aj ďalšie informácie ako je znázornené na *Obr. 23*, kde sa nachádza výstup z programu.

MD5: 4c8e2c3d3c47835f862bfc585cb0bc45

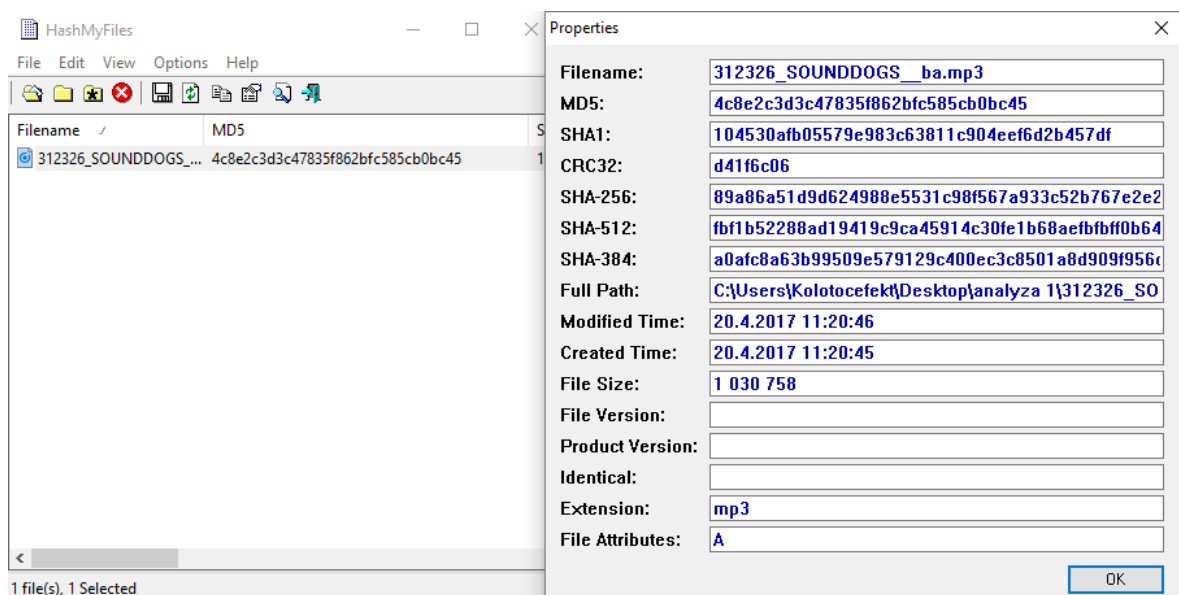
SHA 1: 104530afb05579e983c63811c904eef6d2b457df

SHA 256: 89a86a51d9d624988e5531c98f567a933c52b767e2e208abff1e0278992d02a2

SHA 512:

fbf1b52288ad19419c9ca45914c30fe1b68aefbfbff0b64ff10591171f63d25329166424d5e6d  
1fc2e4d24af34e304ba432fe3aed3223884af52fab3b1bd549d

Tieto hodnoty by sa mali kontrolovať pred akoukoľvek prácou so súborom a pri jeho prenášaní, aby bolo zaručené, že sa jedná o originál, ktorý nebol úmyselne alebo neúmyselne modifikovaný.



Obr. 23 Výpočet hash hodnôt v programe HashMyFiles [autor]

### 5.3.2 Základné informácie o skúmanom súbore

Základné informácie je možné získať z vlastností súboru, ku ktorým sa dá v operačnom systéme dostať cez pravé tlačidlo. V tomto prípade bol navyše využitý pomocný software FileLocator PRO.

#### Základné získané informácie:

Názov súboru: 312326\_SOUNDDOGS\_\_ba.mp3

Veľkosť súboru: 1030758 B

Veľkosť súboru na disku: 1032192 B

Čas vytvorenia: 20.4 2017 11:20:45 (GMT+2) (v tomto prípade je čas vytvorenia súboru v zmysle prebratia súboru k analýze)

Formát: mp3

#### Detailné získané informácie:

Názov: ®EXTdEffects - Backgrounds - Coffee Bar - Int - Busy, Crowded, Walla&Activity, Cash Register, Doors Open / Close, People Ask For Coffee Drinks, Milk Steamer @ 3:48, HighCeiling, A Lot Of Slap Echo.

Umelec: Download Sound Effects - SoundDogs - Sound Storm Library

Album: <http://www.Sounddogs.com>

Komentár: Royalty Free Sound Effects - Sounddogs.com

Žáner: SFX - Bars Restaurants; Cafe

Rok: 2003

Dĺžka: 257 s

Bitová rýchlosť: 32 Kbps

Vzorkovacia frekvencia: 11 025 Hz

Kanál: 1

Zo získaných informácií je možné predpokladať, že audio nahrávka obsahuje, záznam zvukov pozadia z kaviarne alebo baru, prípadne reštaurácie. V popise je uvedené, že sa jedná o rušné prostredie, v ktorom sa vyskytujú ľudia objednávajúci nápoje. Nahrávka by údajne mala taktiež obsahovať zvuky pokladne, dverí a prístroja na kávu. Prostredie je

popísané ako miestnosť s vysokými stropmi a ozvenami. Následnou analýzou je nutné overiť pravdivosť predpokladaných informácií a identifikovať časové údaje v ktorých sa zvuky vyskytujú a počet osôb. Keďže v popise je uvedené, že ide o zvuky pozadia, očakáva sa, že bude potrebné previesť úlohu zlepšenia počuteľnosti a zrozumiteľnosti. Existuje teda predpoklad, že bude možné stanoviť, čo bolo na nahrávke povedané, no bližšie informácie poskytnú až dôkladná analýza.

Ďalej si možno všimnúť odkaz na pôvod súboru, teda na webstránku <http://sounddogs.com>, odkiaľ bol pôvodný súbor pravdepodobne stiahnutý. Jedná sa o zvukovú databázu. Ako autor je uvedený Sound Storm Library, čo je zvuková knižnica, respektíve databáza zvukových efektov vytváraných a používaných najmä pre účely Hollywoodských filmov. Za rok vzniku sa udáva 2003. Nahrávka trvá 257 sekúnd. Z technických informácií je zmienená bitová rýchlosť 32Kbps a vzorkovacia frekvencia 11025Hz. V porovnaní s informáciami na stránke vzniká istá nezrovnalosť v dĺžke nahrávky a počte kanálov, kde je uvedených 258 sekúnd a 2 kanály. Táto skutočnosť môže byť spôsobená tým, že nahrávka nepochádza priamo zo stránky a takisto mohla prejsť nejakým typom kompresie či editácie v minulosti.

### 5.3.3 Vlastná analýza

Pri vlastnej analýze je nahrávka po prvý raz vypočítaná. Nahrávku je možné prehrať v akomkoľvek audio softwari, no spravidla sa využíva ten istý nástroj, v ktorom bude prebiehať aj následná analýza a úprava nahrávky. V tomto prípade je využitý software DC Forensics 10.

Po prvotnom vypočítaní sa potvrdili informácie získané z metadát súboru. Naozaj sa jedná o prostredie kaviarne alebo baru s pomerne frekventovaným pohybom osôb. Celou nahrávkou sa nesie spleť rozhovorov viacerých osôb pravdepodobne dlhodobejšie prítomných v miestnosti. V určitých pasážach je zreteľne počuť búchanie dverí. Občasne niektorá z prítomných osôb zvýši intenzitu hlasu a na krátku dobu sa stane v nahrávke dominantnou. V závere nahrávky je na krátku dobu v prevádzke pravdepodobne stroj na kávu alebo podobné zariadenie, ktoré je výrazne počuť, no aj napriek zariadeniu je stále počuť, že v miestnosti komunikuje viacero ľudí. V nahrávke je konštantne prítomných viacero rušivých vplyvov, časť z nich má pravdepodobne na svedomí fakt, že nahrávacie zariadenie mohlo byť pri svojej činnosti položené na mieste, do ktorého sa prenášala veľká časť vibrácií z celého prostredia, prípadne jeho samotnou horšou kvalitou. No záznam

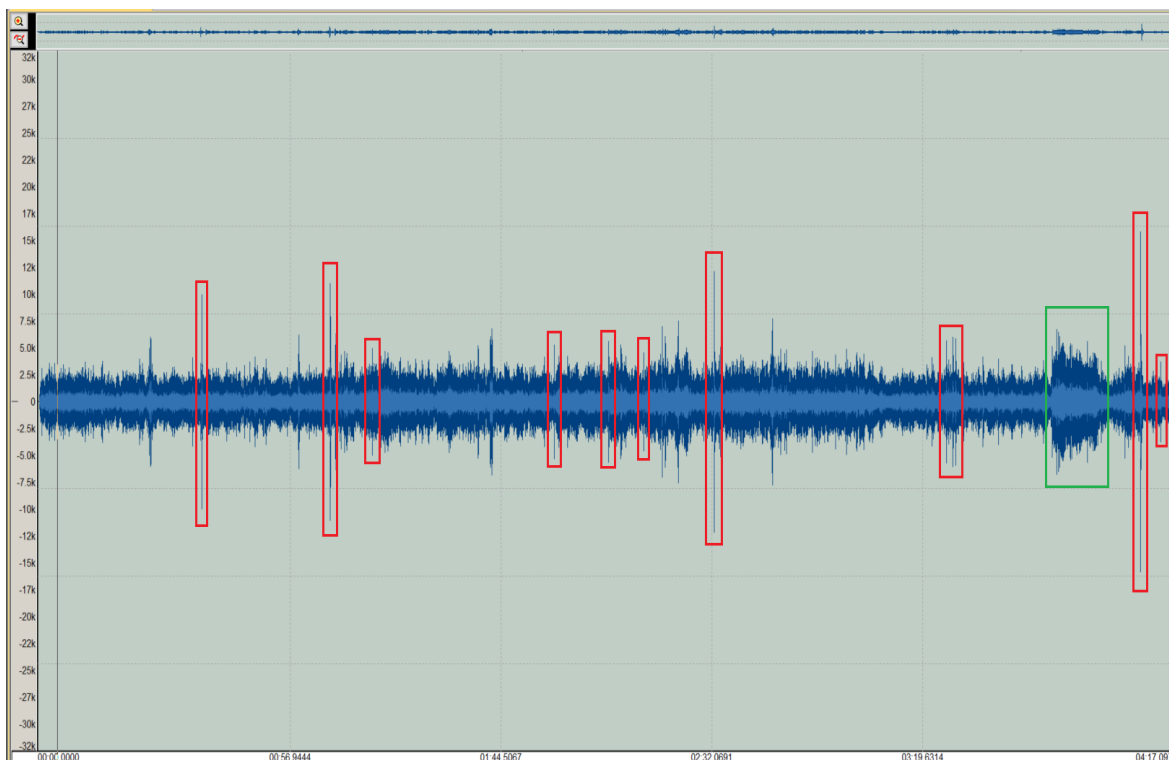


obsahuje aj stopy istého pískania, ktoré pripomínajú vtáčí spev, ako aj zvuky podobajúce sa dopravnému hluku, z čoho by sa dalo vyvodiť, že nahrávacie zariadenie sa mohlo nachádzať v blízkosti otvoreného okna.

V ďalšom kroku nastáva detailná analýza, ktorá sa už bude opierať o softwarové nástroje. Ako vhodné sa javí preskúmať časový priebeh amplitúdy vlny a následne vyselektovať záujmové pasáže či charakteristické zvuky v nahrávke. Následne sa nedá vyhnúť experimentovaniu s nástrojmi zlepšenia zrozumiteľnosti a počuteľnosti.

### 5.3.4 Detailná analýza

Z časového priebehu akustickej vlny na *Obr. 24* je vidieť, že nahrávka je pomerne stála čo do intenzity a jediné väčšie výkyvy spôsobilo búchanie dverí, ktoré sa prejavilo v priebehu veľmi úzkymi píkmi s vysokou intenzitou. V priebehu sú vyznačené červenými obdĺžnikmi. Zelenou čiarou je zvýraznená časť kedy bolo v prevádzke zariadenie na kávu. Ostatný priebeh vyjadruje zmes reči prítomných osôb s okolitým šumom, zhustenejšie oblasti sú bohatšie na zvukové zložky. Ďalšie výraznejšie úzke píky a píky s plynulejším stúpaním zobrazujú hlasnejšiu reč, spravidla v daný okamih dominantnú alebo slabšie búchanie v prostredí.



*Obr. 24* Časový priebeh akustickej vlny – analýza 1 [autor]

Určenie časových údajov buchnutia dverí: 0:37, 1:06, 1:56, 2:08, 2:16, 2:32, 3:26, 4:08, 4:13

Určenie časového údaju prevádzky stroja na kávu: 3:49 – 3:59

V súčasnom stave sa už veľa z nahrávky získať nedá, preto nasleduje pokus o redukovanie šumu. Pričom sa budú testovať automatizované funkcie programu, no i manuálny postup redukcie šumu v nahrávke.

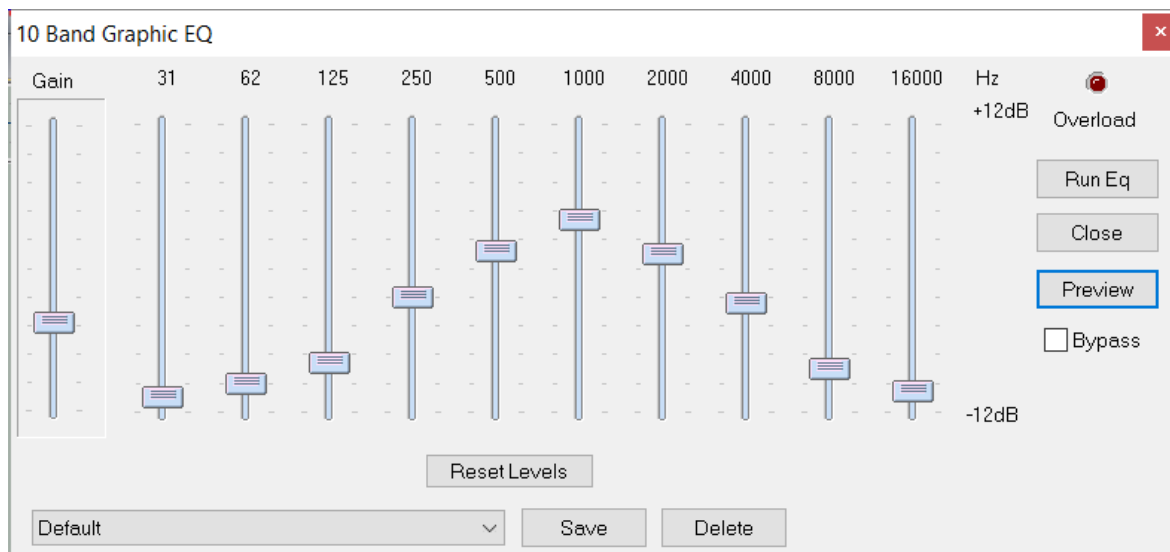
Pri experimentovaní s nástrojmi programu DC Forensics 10 boli najlepšie výsledky dosiahnuté nástrojom *Whisper Enhancer*, ktorý sa ukrýva v menu úloh pod *Amplify background whispers or sounds*. Do nástroja vstupujú štyri parametre, Threshold, Ratio, Response, Output. Postupnou zmenou ich hodnôt a počúvaním výsledku bolo získané nastavenie, pri ktorom sa javil výsledný zvuk najlepší. Konkrétne hodnoty nastavenia parametrov:

Threshold (-25,7), Ratio (27,6), Response (27,2), Output (-3,4)

Nasledovala aplikácia daných nastavení na celú nahrávku, pričom sa zistilo, že opätovnou aplikáciou nastane ešte výraznejšia redukcia šumu a zvýraznenie reči. Nástroj bol teda využitý pri daných nastaveniach dvakrát, čo prinieslo okrem zlepšenia aj negatíva, spočívajúce v príliš veľkom útlme signálu. Z tohto dôvodu sa použila funkcia *Normalized Gain Scaling* určená k maximalizácii úrovne signálu. Funkcia prijíma iba jeden parameter a to úroveň, na ktorú sa normalizuje, v tomto prípade -16 dB. Celková hlasitosť po aplikácii stúpla. Následne sa opätovne pristúpilo k už spomínanému nástroju *Whisper Enhancer*, tentokrát s nastaveniami:

Threshold(-21,6), Ratio (46,0), Response (38,0), Output (-16,3)

Výsledok už bol uspokojujúcejší, no nasledoval ešte pokus o dosiahnutie lepšej kvality a to použitím equalizéru. V ponuke úloh je uvedený pod názvom úlohy *Equalize track to your taste*. Ukážka zvolených nastavení je dostupná na *Obr. 25*. Ideou bolo zvýrazniť frekvencie rečovej oblasti a potlačiť ostatné.



Obr. 25 Nastavenie equalizéru [autor]

Použitím equalizéru a opätovným využitím funkcie *Normalized Gain Scaling* bola úloha zlepšenia počuteľnosti a zrozumiteľnosti završená. Všetky ďalšie snahy, použitie iných nástrojov a parametrov, viedli k neúspechu o zlepšenie celkovej kvality nahrávky, pričom procesu bolo venovaných niekoľko hodín času. Výsledná upravená nahrávka bola uložená pod názvom 312326\_SOUNDDOGS\_\_ba\_enhanced

Za faktory, ktoré negatívne pôsobili na proces zlepšenia, treba označiť pomerne vysokú výpočtovú náročnosť zvukových úprav, čo sa prejavilo najmä množstvom času potrebného k práci, za čo je zodpovedný použitý hardware. Takisto niektoré nástroje v programe nebolo možné použiť (*Enhance Speech sounds having no sibilance, Make voices clearer*) a to z dôvodu nízkej vzorkovacej frekvencie originálnej nahrávky. Nástroje vyžadovali frekvenciu minimálne dvojnásobnú (22050 Hz).

### Základné informácie upravenej nahrávky:

Názov súboru: 312326\_SOUNDDOGS\_\_ba\_enhanced.wav

Veľkosť súboru: 5669036 B

Veľkosť súboru na disku: 5672960 B

Formát: wav

Dĺžka: 257 s

Bitová rýchlosť: 176 Kbps

Vzorkovacia frekvencia: 11 025 Hz

Kanály: 1

Hoci upravená nahrávka poskytuje očistený zvuk od šumu a rušivých vplyvov s miernym zvýraznením reči, tak jej ďalšia analýza zostáva naďalej problematická. Vysoký počet osôb na nahrávke v rušnom a veľmi dynamickom prostredí znemožňuje presne stanoviť, čo je na nahrávke povedané. Je možné stanoviť určitý odhad o počte osôb v istých úsekoch nahrávky, prípadne občasne zachytiť slová, či krátke útržky rozhovoru, objednávku na bare, pozdrav a podobne. Dominantné zvuky a osoby na zázname sa rýchlo menia, čo situáciu značne komplikuje. Vyselektovať, čo jednotlivé osoby hovoria by bolo pri takých podmienkach náročné aj naživo, nehovoriac o nahrávke nízkej kvality. Ďalšia analýza bude spočívať v rozdelení nahrávky na úseky po 30 sekúnd so snahou vyhodnotiť vypočítané. Taktiež je možné si všimnúť, že formát upravenej nahrávky sa oproti originálnej zmenil z mp3 na wav, a to z dôvodu, že software DC Forensics 10 uprednostňuje práve tento formát.

#### **Analýza upravenej nahrávky:**

0:00 – 0:30: Zmes rozhovorov a reči niekoľkých osôb (odhad 8-12, dominantné 4), vyšší počet žien ako mužov, pravdepodobne objednávka na bare od muža, obsluha žena

0:30 – 1:00: Charakter nahrávky sa nemení, prítomnosť malého dieťaťa, buchnutie dverí, mierna ozvena

1:00 – 1:30: Charakter nahrávky sa nemení, buchnutie dverí, poďakovanie - hlas mužskej osoby („no thank you“)

1:30 – 2:00: Charakter nahrávky sa nemení, výrazný prejav ženskej osoby – potvrdenie („yeah“), slabšie buchnutie, v závere mužský prejav

2:00 – 2:30: Charakter nahrávky sa nemení, výraznejší rozhovor ženských osôb, smiech, viacnásobné buchnutie, mužský hlas – požiadanie

Zachytená reč: „yeah, thank you, can i get an order, no no“

2:30 – 3:00: Charakter nahrávky sa nemení, buchnutie, viacero výraznejších ženských hlasov, zákazníci a obsluha, objednávky, pozdravy

Zachytená reč: „yeah, which one, okay, next one, next please, hello, hi, three, can i have a coffee please, medium, bye, thank you“

3:00 – 3:30: Charakter nahrávky sa nemení, buchnutie, zákazníci a obsluha, objednávky

Zachytená reč: „next please, can i have a ...?, small or large, smaller and ..., thank you, no I'm okay“

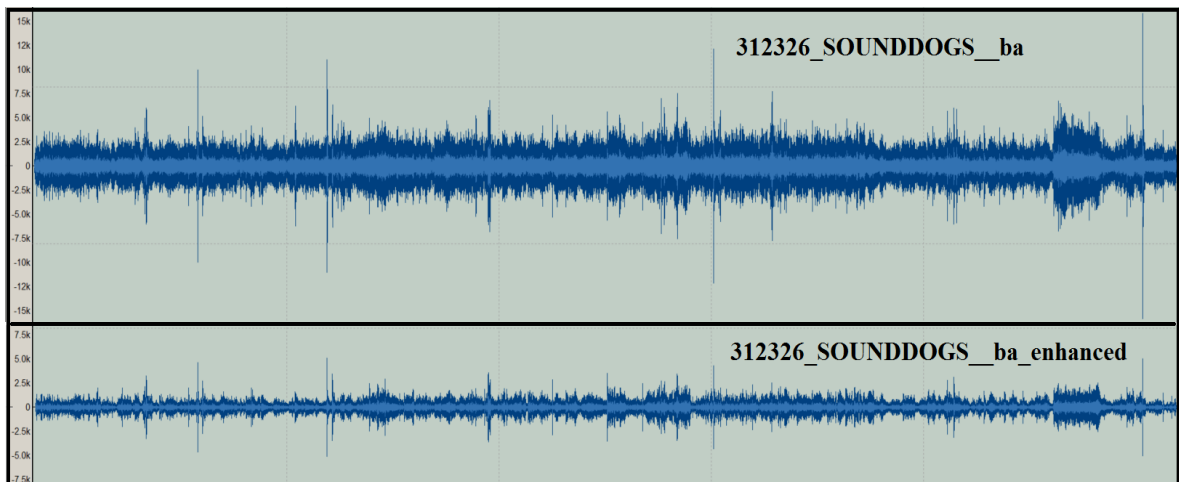
3:30 – 4:00: Charakter nahrávky sa nemení, zákazníci a obsluha, objednávky, pozdravy stroj na kávu

Zachytená reč: „alright, hello, bye, next please“

4:00 – 4:17: Charakter nahrávky sa nemení, buchnutie

Zachytené slová sú v anglickom jazyku, predpokladá sa teda, že nahrávka bola vytvorená v anglicky hovoriacej krajine. Z hľadiska prízvuku je možné pôvod typovať na Veľkú Britániu, no jedná sa len o predpoklad. Prevláda hovorový štýl.

Na *Obr. 26* sa nachádza porovnanie priebehu akustickej vlny originálnej a upravenej nahrávky. Možno si všimnúť zníženia šumu v nahrávke ako aj celkovej intenzity, pričom nedošlo k výraznejšiemu potlačeniu akýchkoľvek úsekov a charakter ostal zachovaný.



*Obr. 26* Porovnanie priebehov akustickej vlny [autor]

### Vyhodnotenie analýzy:

Vykonaná analýza audio nahrávky s názvom 312326\_SOUNDDOGS\_\_ba.mp3 priniesla viacero relevantných informácií. Analýzou súboru sa podarilo vystopovať jeho pôvod a získať o ňom základné i detailné informácie. Nasledovala vlastná analýza, ktorá odhalila charakter nahrávky a potvrdila získané informácie. Detailná analýza spočívala najmä v procese zlepšenia zrozumiteľnosti a počuteľnosti, čo bolo dosiahnuté redukciami šumu. Napriek vyvinutej snahe s pomerne dobrým výsledkom potlačenia šumu, sa z upravenej nahrávky podarilo získať iba fragmenty rečových prejavov, odhady počtu osôb s odhadom zastúpenia mužov a žien, použitý jazyk, s čím súvisí miesto vzniku nahrávky. Za dôvod,

prečo nemohli byť dosiahnuté lepšie výsledky, sa považuje nízka kvalita originálnej nahrávky, v ktorej už bola veľká časť informácií stratená. Celková nízka intenzita zmiešaných rečových prejavov v kombinácii s pomerne výrazným šumom dynamického prostredia nedovolila z nahrávky dostať viac informácií.

### **Záver:**

Skúmaná nahrávka vznikla v prostredí kaviarne alebo baru. Odhadovaný počet osôb je 8 až 12 s vyšším zastúpením žien, takisto prítomnosť malého dieťaťa. Zachytené fragmenty konverzácií referujú na bežnú komunikáciu zákazníka a obsluhy v danom type podniku (objednávky, pozdravy, potvrdenia, poďakovania). Komunikácia prebieha v anglickom jazyku v hovorovom štýle, odhadujúc britský prízvuk. Prostredie je silne dynamické pomerne výrazne zarušené. Zo zvukov prostredia je najvýraznejšie búchanie dverí, spev vtákov, doprava a stroj na kávu. Z nahrávky neboli zistené žiadne ďalšie informácie.

## **5.4 Analýza 2**

**Súbor:** Subliminální nahrávka VÝBORNÁ PAMĚŤ.mp3

**Úloha:** Extrahovať z nahrávky subliminálnu (podprahovú) správu

Skúmaný súbor sa nachádza v elektronickej prílohe diplomovej práce.

### **5.4.1 Integrita a autenticita – Hash**

Stanovenie hash hodnôt prebehlo v programe HashMyFiles. Pre účely overenia boli vybrané hash typu MD5, SHA 1, SHA 256, SHA 512.

MD5: 92c8bf31c42da4b85aaf5ebc6bf47021

SHA 1:6c0ac08a523bd2bc4305529b071957695000cc9a

SHA 256: a8cb84284b4bb121ac012ad5536428f8edfbf88f5d7a5a395bb526b4473fda60

SHA 512:

9a31df21e84920ba3ae2737ef789299b95023cd6514301fa5d0c16e798cdaffdd53f1dcf8fce83ae6479144b6d8fb2e9d11ef294ae3257a897eb862c51e22056

### **5.4.2 Základné informácie o skúmanom súbore**

K získaniu informácií o súbore bol využitý software FileLocator PRO.

**Základné informácie o skúmanom súbore:**

Názov súboru: Subliminální nahrávka VÝBORNÁ PAMĚŤ.mp3

Veľkosť súboru: 2888254 B

Veľkosť súboru na disku: 2891776 B

Čas vytvorenia: 3.5 2017 10:44:43 (GMT+2) (v tomto prípade je čas vytvorenia súboru v zmysle prebratia súboru k analýze)

Formát: mp3

**Detailné získané informácie:**

Názov: Subliminální nahrávka VÝBORNÁ PAMĚŤ

Umelec: ---

Album: ---

Komentár: ---

Žáner: ---

Rok: ---

Dĺžka: 120 s

Bitová rýchlosť: 192 Kbps

Vzorkovacia frekvencia: 44 100 Hz

Kanály: 2

V tomto prípade je zo získaných informácií možné predpokladať, že sa bude jednať o nahrávku, ktorá má pri počúvaní pôsobiť na človeka a vďaka umiestnenej podprahovej správe má dochádzať k zlepšeniu pamäte. Tentoraz sú získané detailné informácie pomerne skromné a jediné čo odhaľujú sú technické informácie o dĺžke, bitovej rýchlosti, vzorkovacej frekvencii a počte kanálov.

Hoci sa v informáciách nenachádza žiaden priamy odkaz na pôvod súboru, je potrebné vyskúšať jeho vyhľadanie podľa názvu alebo hash hodnôt na internete, čo by mohlo priniesť ďalšie informácie o jeho pôvode, prípadne prispieť k analýze iným spôsobom.

Po zadaní názvu súboru do vyhľadávača google, viedli odkazy na webovú stránku s adresou: <http://hrdlickovamedicina.cz/produkt/vyborna-pamet/> a na youtube video:

<https://www.youtube.com/watch?v=lchOjG0txus>. Odkaz na toto video sa nachádza aj na spomínanej webstránke. Po bližšom preskúmaní bolo zistené, že sa jedná o stránku e-shopu Hrdlička – prírodná medicína a súčasťou ponúkaných produktov sú aj rôzne subliminálne nahrávky. Bolo zistené, že nahrávka na zlepšenie pamäte je jednou z nich, no súbor ktorý je podrobený analýze je len ukážkou k plnej ponúkanej nahrávke. Navyše bol pravdepodobne vytvorený konverziou práve zo spomínaného ukážkového videa na youtube do formátu mp3.

Zo stránky boli získané ďalšie informácie, ktoré by mohli byť pri analýze nápomocné:

Súprava obsahuje 2x30 minút podprahového programovania. Prvá skladba je meditatívna hudba zložená špeciálne pre podprahové programovanie. Druhá skladba je autentická 3 dimenzionálna nahrávka rieky York v Kanade. Predáva sa za 490Kč. Vlastnosti:

- Vysoká kvalita technického spracovania.
- Profesionálna sugescia.
- Jedna verzia pre muža, ženu, dieťa.
- Hudba ladená na 432Hz.
- K počutiu výber z dvoch skladieb.
- Podprahové sugescie nahovorené mužom a ženou.

Zoznam podprahových sugescií, údajne sa vyskytujúcich, v plnej nahrávke:

„Lehce si vzpomínám.“	„Soustředím se.“
„Mám výbornou paměť.“	„Zapamatování je snadné.“
„Vše si pamatuji.“	„Moje mysl je mladá.“
„Mám pohotové myšlení.“	„Můj mozek je bystrý.“
„Jsem inteligentní.“	„Mé vzpomínky jsou jasné.“
„Učím se nové techniky zapamatování.“	„Má mysl funguje naplno.“
„Můj mozek si vše pamatuje.“	„Na vše si vzpomínám.“
„Snadno se rozpomínám.“	„Moje paměť je dokonalá.“
„Mám přístup ke všem svým vzpomínkám.“	„Stále se zdokonaluji.“
„Trénuji svou pozornost.“	„Mám bystré a pohotové myšlení.“



### 5.4.3 Vlastná analýza

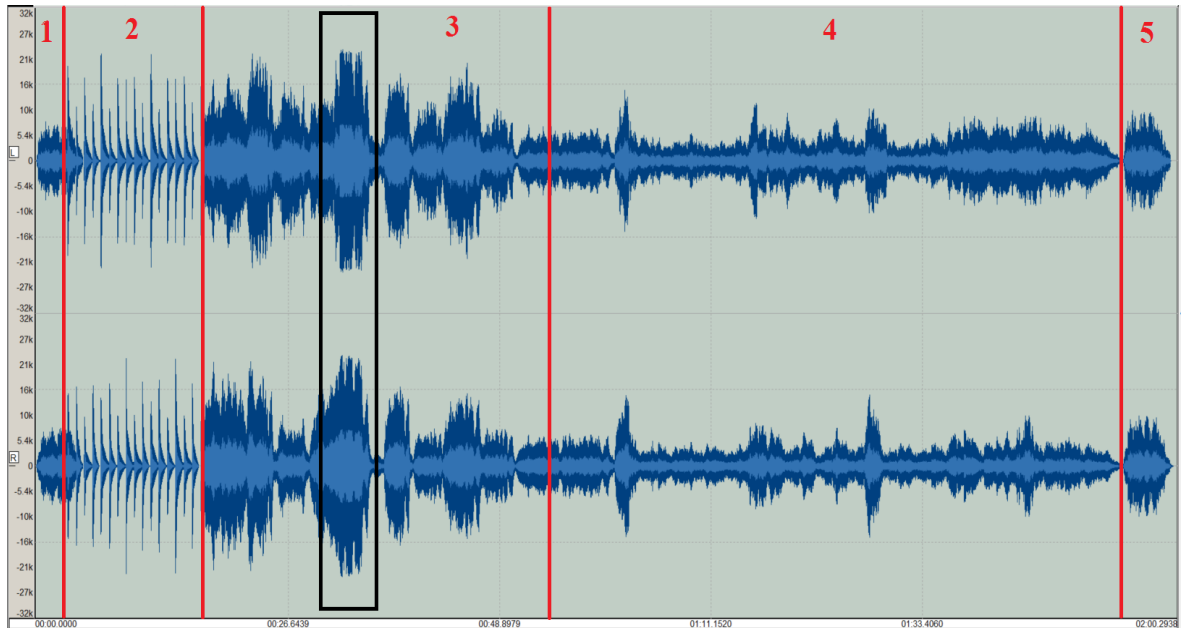
Prvotné vypočutie prinieslo náhľad na charakter nahrávky, no je veľmi náročné vzniesť akékoľvek tvrdenia, čo sa týka prítomnosti podprahových správ. Nahrávka obsahuje akési krátke intro, ktoré plynule prechádza do pasáže meditatívnej hudby. Tá je zahájená typickou pasážou pre tento typ nahrávok, ktorá má za úlohu pripraviť počúvajúceho k vnímaniu, v tomto prípade má charakter niekoľkých hlbokých úderov v pravidelnom rytme striedajúcich sa s údermi vyšších tónov. Tým, že sa jedná iba o ukážku je tento úsek pravdepodobne oproti plnej nahrávke výrazne skrátenejší. Nasleduje nástup hudby, v ktorej bolo zachytené v jednom úseku isté praskanie, čo je potrebné v ďalšej analýze preveriť. Určiť z akých nástrojov hudba pochádza je komplikované, pretože výsledný zvuk znie ako kombinácia rôznych, navyše nie príliš štandardných hudobných nástrojov. S veľkou pravdepodobnosťou sú zvuky vytvorené na syntetizátore. Zhruba v polovici nahrávky sa do hudby primieša zvuk tečúcej vody, čo je pravdepodobne zmienená 3 dimenzionálna nahrávka kanadskej rieky York. V tomto duchu nahrávka pokračuje. V závere je časť podobná úvodnému intru, respektíve outro, ktorým je skúmaná nahrávka zakončená.

### 5.4.4 Detailná analýza

Detailná analýza sa aj v tomto prípade odrazí od časového priebehu zobrazeného na *Obr. 27*. Čo je na prvý pohľad z priebehu evidentné, je skutočnosť, že nahrávka obsahuje 2 kanály. Je možné si všimnúť, že zvukový priebeh na kanáloch sa mierne líši. V priebehu sú číselne červenou farbou vyznačené jednotlivé úseky popísané vo vlastnej analýze:

1. Intro (0:00 - 0:03)
2. Prípravná pasáž (0:03 - 0:17)
3. Meditatívna hudba (0:17 - 0:54)
4. Meditatívna hudba + zvuky tečúcej vody (0:54 - 1:52)
5. Outro (1:52 - 2:00)

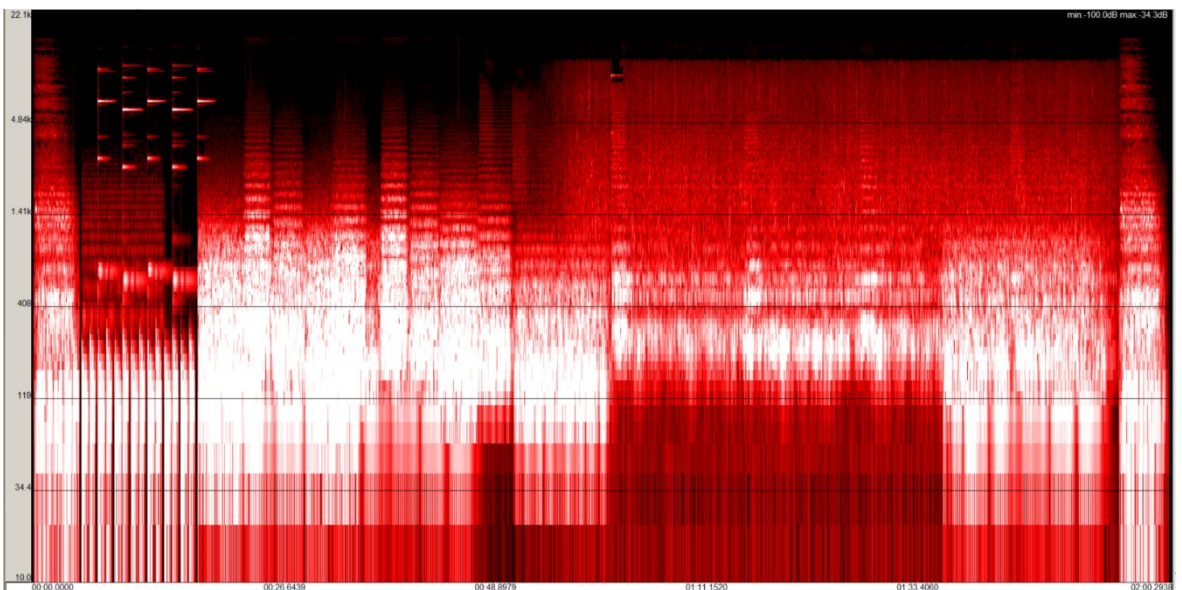
Čiernym rámkom je vyznačený úsek (0:30 - 0:35), v ktorom nastalo praskanie a mal by byť detailnejšie preverený. Inak sa z priebehu nedá vyčítať žiadny náznak umiestnenia podprahovej správy v nahrávke.



Obr. 27 Časový priebeh akustickej vlny – analýza 2 [autor]

Na daný úsek ako aj na celú nahrávku bolo aplikovaných niekoľko nástrojov softwaru DC Forensics 10, no žiaden z nich nedokázal extrahovať podprahovú správu, dokonca ani potvrdiť jej existenciu v nahrávke. Predpokladá sa však, že ak by nahrávka takúto správu obsahovala, tak s veľkou pravdepodobnosťou by to mohlo byť práve na tomto úseku vyznačenom čiernym orámovaním.

Z nahrávky bol taktiež vytvorený spektrogram, pričom sa hľadali akékoľvek odchýlky, ktoré by poukázali na prítomnosť podprahovej správy. Spektrogram sa nachádza na Obr. 28, no ani v tomto prípade sa neukázali žiadne podozrivé miesta.



Obr. 28 Spektrogram – sublimálna nahrávka [autor]

Vo všeobecnosti existujú dva dôvody, prečo podprahovú správu nemožno z nahrávky extrahovať. Prvým je skutočnosť, že nahrávka žiadnu správu neobsahuje. Často sa jedná o podvodné produkty, ktoré len tvrdia, že takéto správy obsahujú. Jediným účinným efektom je v tomto prípade placebo efekt, kedy zákazník uverí pozitívnym účinkom správ, ktoré na nahrávke v konečnom dôsledku prítomné nie sú.

Druhý je technický. Subliminálne nahrávky musia byť kvalitne technicky zvládnuté. Nestačí zobrať meditačnú hudbu, nahrat' správu, umiestniť ju do nahrávky a prekryť iným zvukom. V takom prípade by sa jednalo o správu skrytú a nie sublimálnu, pričom šanca na jej odhalenie by bola podstatne vyššia. Sublimálna nahrávka sa zameriava na fakt, že bežný človek počuje v rozsahu približne 16Hz -20kHz. Trik spočíva v tom, že nahrávka núti človeka rozlíšiť frekvencie okolo 10 Hz, čo za bežných okolností nie je možné. Používa sa na to spôsob, že do jedného ucha sa pustí zvuk o zvolenej frekvencii napríklad 440Hz a do druhého iba 430Hz. Mozog, respektíve jednotlivé hemisféry, vnímajú túto nerovnováhu a snažia sa ju kompenzovať prechodom do akéhosi vybudeneho stavu, v ktorom je mozog schopný zachytiť podprahovú správu, no zachytáva ju mimo vedomie. Získať podprahovú správu analýzou by bolo s najväčšou pravdepodobnosťou možné iba do momentu, kým sa neexportuje do formátu, v ktorom je nahrávka distribuovaná, teda mp3. V momente konverzie dôjde k zlúčeniu všetkých zvukových zložiek, čo vedie k problému so stanovením existencie správy v nahrávke.

#### **Vyhodnotenie analýzy:**

Vykonanou analýzou súboru s názvom Subliminální nahrávka VÝBORNÁ PAMĚŤ.mp3 bolo zistené, že sa jedná o konvertovanú ukážku plateného produktu dostupného na e-shope s názvom Hrdlička - prírodná medicína. Nahrávka bola rozčlenená na 5 častí a bol z nej vytvorený časový priebeh a spektrogram. Bližší rozbor neodhalil žiadne podozrivé miesta, kde by sa mohla podprahová správa nachádzať. Bol vytypovaný iba jeden podozrivý úsek, no žiadnym spôsobom na danom úseku nepodarilo správu extrahovať, dokonca ani preukázať jej existenciu v nahrávke.

#### **Záver:**

Skúmaná nahrávka má z technického hľadiska potenciál byť nahrávkou sublimálnou, no nepodarilo sa preukázať, či obsahuje sublimálnu správu, respektíve extrahovať konkrétnu správu z nahrávky.

## 6 TVORBA AUDIO NAHRÁVOK

Súčasťou práce je aj vytvorenie troch audio nahrávok, ktoré budú v budúcnosti slúžiť pre potreby predmetu Forezná veda. Všetky tri nahrávky boli vytvorené v programe Audacity, verzia 2.1.3. K vytvoreniu boli použité vzorky obstarané na internete ako aj vlastné nahrávky. Taktiež boli pri vytváraní použité voľne dostupné zvukové databázy typu freesound.org alebo soundible.com. Každá z nahrávok má svoj špecifický charakter, teda snaží sa o priblíženie rozdielneho typu úloh. Nahrávky boli presne navrhnuté za účelom vytvoriť učebný materiál, ktorý by najlepšie študentovi predstavil v akom duchu sa nesie práca forezných audioexpertov. Ku každej nahrávke je taktiež vytvorený návrh skupiny úloh, ktoré by sa študenti mohli pokúsiť vyriešiť na cvičeniach predmetu Forezná veda. Navrhované úlohy sú rozdelené do dvoch kategórií. Prvou sú úlohy všeobecného charakteru, ktoré sa týkajú všetkých nahrávok spoločne, zatiaľ čo druhá kategória predstavuje úlohy navrhnuté špecificky ku každej nahrávke osobitne.

Všetky nahrávky sa nachádzajú v elektronickej prílohe diplomovej práce.

### 6.1 Úlohy všeobecného charakteru

Zo základných úloh, ktoré by sa mal študent pokúsiť zvládnuť v prípade akejkolvek analyzovanej nahrávky boli navrhnuté nasledovné:

1. Za pomoci zvoleného softwaru určite hash (MD5, SHA 1, SHA 256, SHA 512) skúmaného súboru.
2. Získajte základné informácie o skúmanom súbore (názov, veľkosť, formát, umiestnenie, čas vytvorenia).
3. Získajte dostupné detailné informácie z metadát skúmaného súboru (dĺžka nahrávky, vzorkovacia frekvencia, bitová rýchlosť, počet kanálov, prípadne ďalšie informácie o autorovi, komentáre a podobne), skúste vypátrať pôvod súboru.
4. Preved'te vlastnú analýzu, tj. prvotné vypočítanie a zoznámenie sa s charakterom nahrávky, popíšte situáciu a prostredie na nahrávke, poznačte si všetky získané informácie, záujmové a podozrivé úseky.
5. Ak je to možné nahrávku vypočítajte znova, no s využitím odlišných slúchadiel či reproduktorov. Opäť zaznamenajte všetky postrehy.
6. Otvorte nahrávku vo zvolenom softwari, analýzu zahájte preskúmaním časového priebehu akustickej vlny.

7. Experimentujte s nástrojmi a možnosťami programu za účelom dosiahnutia želaného výsledku, zadaného cieľa alebo hľadania odpovedí na špecifické otázky.
8. Zobrazte a preskúmajte spektrogram nahrávky.
9. Sledujte ako vykonávané zmeny ovplyvňujú zvukovú stránku nahrávky, no i časový priebeh a spektrogram.
10. Vyhodnoťte analýzu.
11. Formulujte záver analýzy.

Celý postup je dôležité dokumentovať vhodnou formou. Je potrebné ukladať čiastkové výsledky, postup dokladovať vytváraním screenshotov, viesť záznam o použitých nástrojoch a ich nastaveniach. V prípade, že je to vyžadované, všetky získané údaje je nutné zaprotokolovať.

## 6.2 Úlohy špecifického charakteru

Úlohy špecifického charakteru sa viažu priamo k jednotlivým nahrávkam. Sú zamerané na získanie informácií z nahrávky a v podstate sú istým spôsobom pre študenta pomôckou, aby vedel, na aké oblasti sa má pri konkrétnej audio analýze sústrediť a čo je jeho cieľom. Ide o kombináciu jednoduchších úloh, ktorých riešenie je pomerne priamočiare bez potreby výnimočných znalostí a schopností. Kombináciu dotvárajú zložitejšie zadania, v ktorých je potrebné sa aspoň čiastočne zoznámiť s vybraným softwarom, experimentovať alebo prípadne nahliadnuť na internet.

### 6.2.1 Nahrávka 1

Základom nahrávky s názvom `Audio_nahrávka_1` je videozáznam z ulíc Londýna pri teroristickom útoku zo dňa 22. marca 2017, z ktorého bola audiostopa extrahovaná. Následne bolo do nahrávky umiestnených niekoľko ďalších zvukov rôzneho charakteru. Nejedná sa teda o autentickú nahrávku. Nahrávka si kladie za cieľ, pomocou vhodne navrhnutých úloh, predstaviť študentovi typové úlohy forenznej audio analýzy, konkrétne úlohu zlepšenia zrozumiteľnosti a počuteľnosti, no i základy overenia autenticity nahrávky.

#### Navrhované úlohy:

1. Vymenujte rušivé vplyvy vyskytujúce sa na nahrávke.
2. Vykonajte proces zlepšenia zrozumiteľnosti a počuteľnosti, zaznamenajte všetky kroky a nastavenia parametrov použitých nástrojov.

3. Odhadnite počet osôb vyskytujúcich sa na nahrávke, ak je to možné odhadnite aj pomer žien a mužov, prípadne detí.
4. Určite jazyk, prípadne jazyky vyskytujúce sa na nahrávke.
5. Skúste zaznamenať konkrétne rečové prejavy, zachytiť slová, frázy, časti dialógu, takisto stanovte časové úseky, v ktorom sa vyskytujú.
6. Určite počet výstrelov na nahrávke, časy a odstupy medzi nimi. Líšia sa výstrely medzi sebou? Aký je počet strelcov? Dokážete stanoviť vzdialenosť nahrávacieho zariadenia od miesta strelby?
7. Vymenujte dopravné prostriedky, ktoré dokážete rozoznať v nahrávke. Uveďte aj časové údaje.
8. Pokúste sa určiť, ktoré úseky boli do nahrávky pridané umelo. Odôvodnite svoje tvrdenie.
9. Dokážete dohľadať pôvodnú audio nahrávku na internete (youtube)?
10. Stiahnite pôvodnú audio nahrávku vo formáte mp3 a porovnajte audio záznamy.

### 6.2.2 Nahrávka 2

Nahrávka s názvom Audio\_nahrávka\_2 bola nahratá na mobilné zariadenie a následne upravená do podoby, v ktorej sa práve nachádza. Ide o audio záznam softwarovo upraveného hlasu muža, ktorého obsahom je fiktívny odkaz výhražného charakteru ako ďalšia typová úloha forenznej audio analýzy, úloha identifikácie. Do nahrávky boli taktiež umelo dotvorené zvuky v pozadí. Aj v tomto prípade bolo navrhnutých niekoľko úloh, o ktoré sa môže študent oprieť pri pokuse o analýzu.

#### Navrhované úlohy:

1. Pokúste sa o proces reverznej úpravy hlasu a upravte hlas do čo najvierohodnejšej pôvodnej podoby podľa vlastného uváženia. Zaznamenajte všetky kroky a nastavenia parametrov použitých nástrojov.
2. Odhadnite pohlavie a vek hovoriaceho.
3. Obsahuje rečový prejav nejaké patologické prejavy, prípadne rečové poruchy? Ak áno, ako sa prejavujú? Stanovte časové údaje.
4. Určite psychický, psychologický aspekt prejavu. Pôsobí hovoriaci pokojne, nervózne, nahnevane, smutne, nadšene..? V akom je rozpoložení? Pôsobí dôveryhodne?
5. Vykonajte úlohu transkripcie (prepisu) reči do textovej podoby.

6. Stanovte úroveň pripravenosti prejavu. Bol prejav vopred nachystaný alebo improvizovaný?
7. Určite jazyk a prízvuk hovoriaceho. Dokážete odhadnúť pôvod hovoriaceho? Je prízvuk umelo hraný alebo skutočný?
8. Vykonajte zbežnú lingvistickú analýzu. Posúďte zložitosť, stavbu viet a celkovú logiku štýlu hovoriaceho. Všimajte si aká slovná zásoba bola použitá, jej bohatosť a rozmanitosť. Nachádzajú sa v prejave slangové, nárečové alebo cudzie slová? Ak áno, aké?
9. Na základe jazykovej úrovne sa pokúste stanoviť dosiahnuté vzdelanie či sociálne alebo pracovné prostredie, v ktorom sa hovoriaci bežne vyskytuje?
10. Vyhodnoťte melodické a dynamické vlastnosti reči. Všimajte si pauzy medzi slovami a vetami, rýchlosť reči, dlhé a krátke slabiky. Pôsobí prejav monotónne alebo spevavo? Pozorujte výslovnosť jednotlivých slov.
11. Ak to softwarové možnosti dovoľujú, pokúste sa o analýzu formantov.
12. Preverte zvuky pozadia. Dokážete zistiť lokalitu, v ktorej sa hovoriaci údajne nachádzal?

### 6.2.3 Nahrávka 3

Základom tretej nahrávky s názvom Audio\_nahrávka\_3 bol vybraný krátky kinematografický úsek, z ktorého bola extrahovaná audio zložka. Tá bola obohatená rôznymi typmi šumu, takým spôsobom, aby bola značne skomplikovaná zrozumiteľnosť a identifikácia jej pôvodu. Šum bol do nahrávky generovaný softwarovo a následne bola na istých úsekoch upravená jeho intenzita. Do nahrávky bola taktiež umiestnená skrytá správa. Cieľom tretej nahrávky je ponúknuť študentom príležitosť na otestovanie audio forenznej úlohy zlepšenia zrozumiteľnosti a počuteľnosti, najmä z hľadiska potlačenia a redukcie šumu. Opäť je navrhnutá vybraná skupina úloh, ktoré je možné si na nahrávke precvičiť.

#### Navrhované úlohy:

1. Analyzujte šum prítomný na nahrávke. Dokážete určiť akým typom šumu je nahrávka obohatená?
2. Pokúste sa o potlačenie a redukciu šumu. Zaznamenajte všetky kroky a nastavenia parametrov použitých nástrojov.

3. Ak uznáte za vhodné vykonajte proces ďalšieho zlepšenia zrozumiteľnosti a počuteľnosti, opäť zaznamenajte všetky kroky a nastavenia parametrov použitých nástrojov.
4. Odhadnite počet osôb vyskytujúcich sa na nahrávke, ak je to možné odhadnite aj pomer žien a mužov, prípadne detí.
5. Určite jazyk, prípadne jazyky vyskytujúce sa na nahrávke.
6. Skúste zaznamenať konkrétne rečové prejavy, zachytiť slová, frázy, časti dialógu, takisto stanovte časové úseky, v ktorom sa vyskytujú.
7. Popíšte ďalšie zvuky okrem rečových prejavov, ktoré dokážete v nahrávke identifikovať.
8. Identifikujte nahrávku, respektíve jej pôvod.
9. Pokúste sa získať vybraný úsek originálnej nahrávky vo formáte mp3 a porovnajte odlišnosti medzi skúmanou a originálnou nahrávkou.
10. Do nahrávky bola umiestnená skrytá správa. Vytypujte úsek, kde by sa skrytá správa mohla nachádzať. Pokúste sa správu odhaliť a stanoviť jej obsah.



## 7 ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV PRÁCE A ODHAD TRENDOV

Odhladiadnuc od teoretickej časti práce, ktorá si kladie za cieľ priblížiť problematiku forenznej audio analýzy ako aj poskytnúť čitateľovi potrebný informačný základ v danom obore, sa hlavná pozornosť sústreďí na praktickú časť a dosiahnuté výsledky.

Jedným z dosiahnutých výsledkov diplomovej práce je vytvorenie prehľadu softwarových produktov, ktoré je možné využiť k forenznej audio analýze. Prehľad ponúka stručné hodnotenie vybraných produktov, kde bol popísaný celkový subjektívny dojem z práce so softwarom, užívateľská ergonómia, grafické prostredie a v neposlednom rade vhodnosť daného softwaru k účelom forenznej audio analýzy. Taktiež boli vymenované niektoré relevantné funkcie programov. Každý produkt bol osobitne testovaný, na základe čoho boli programu priradené výhody a nevýhody. Textová časť hodnotenia bola vo všetkých prípadoch doplnená o screenshot pracovného prostredia programu. Zmysel vytvorenia prehľadu softwarových produktov spočíva v zjednodušení výberu vhodného softwarového produktu či už pre študenta alebo vyučujúceho, respektíve kohokoľvek so záujmom o problematiku. Ďalším dôležitým aspektom vytvorenia prehľadu, je zmapovanie aktuálnej ponuky trhu a jej predstavenie čitateľovi. V konečnom dôsledku sa javí vypracovanie prehľadu a jeho zaradenie do práce ako veľmi prínosné. Prehľad poskytol súbor možností, z ktorých mohol byť uskutočnený výber, následne aplikovateľný do ďalších častí práce pri plnení bodov zadania.

Proces experimentálnej analýzy sprostredkoval ďalšie výsledky, ktoré možno v tomto okamihu vyhodnotiť. Kapitola sa venuje predstaveniu použitých technických zariadení pre potreby audio analýzy dvoch vybraných súborov a ich samotnej analýze. Hoci závery z uvedených analýz nepriniesli odpovede v takom rozsahu ako bolo vopred očakávané, tj. v prípade prvého súboru sa podarilo získať iba obmedzené množstvo informácií a pri druhom súbore analýza nedokázala stanoviť obsah subliminálnej správy, prínos experimentálnej analýzy ako takej ostáva napriek tomu značný. Prínos spočíva v získaní praktických skúseností, reálnom otestovaní práce forezného audioexperta, preniknutí do problematiky a pochopenia celkovej mentality aktivít súvisiacich s procesom audio analýzy. Všetky spomenuté aspekty poslúžili ako odrazový mostík k spracovaniu ďalšej kapitoly kapitole práce, zaoberajúcej sa tvorbou nahrávok pre výukové účely. Pre čitateľa môže byť kapitola istým návodom ako postupovať pri riešení podobného typu úloh, no je treba podotknúť, že postup, ktorý bol pri spracovaní zvolený je iba subjektívnym návrhom.

Kroky postupu je možné do istej miery alternovať a dopĺňať podľa potreby, v závislosti na zadaní a charaktere nahrávky.

Ako bolo v predošlom odseku naznačené, súčasťou diplomovej práce bolo aj vytvorenie audio nahrávok, ktoré budú použité pre výukové účely v predmete Forezná veda. Z hľadiska hodnotenia výsledkov práce možno považovať ich vytvorenie za úspešné. Podarilo sa naplniť zadaním požadovaný počet nahrávok, teda tri. Každá z nahrávok bola tvorená s úmyslom predstaviť odlišné špecifické úlohy, najčastejšie riešené foreznými audioexpertmi. K samotným nahrávkam bol navrhnutý súbor všeobecných a špecifických úloh ako isté odporúčanie aktivít na cvičeniach predmetu. Hoci táto časť nebola definovaná v zadaní diplomovej práce, javilo sa ako veľmi vhodné ju do práce doplniť, pričom uvedenému kroku predchádzala vzájomná komunikácia s vedúcim práce. V záujme skvalitnenia a obohatenia výsledkov práce sa dospelo k rozhodnutiu o zaradení danej časti do práce. Všeobecné úlohy tvoria akúsi kostru postupu, na základe ktorej je študent schopný vykonať analýzu audio nahrávky, no v konečnom dôsledku je zachovaná požiadavka na jeho vlastný tvorivý prístup a subjektívne riešenie. Špecifické úlohy študenta smerujú k preniknutiu do individuálnej podstaty každej nahrávky a zároveň ho odkazujú na informácie, na ktoré by sa mal v pri analýze zamerať.

Je predčasné hodnotiť do akej miery sa nahrávky s navrhnutými úlohami uplatnia vo vzdelávacom procese, no ich implementácia do výučby by sa nemala stretnúť s výraznými komplikáciami. Problémom, ktorý by mohol nastať, je otázka obstarania softwaru, no keďže je možné k práci využiť aj voľne šíriteľný software, môže sa pristúpiť k takémuto riešeniu či už z dočasného alebo dlhodobého hľadiska. Hardwarové, respektíve technické prostriedky nutné k práci je taktiež pomerne jednoduché zaistiť. Predpokladá sa, že problematika foreznej audio analýzy bude pre študentov dostatočne atraktívna a vyvolá pozitívny ohlas, prípadne bližší záujem o tému.

## 7.1 Odhadované trendy vo foreznej audio analýze

Popularita foreznej audio analýzy má stúpajúci charakter, čo dokazuje aj stúpajúci počet spoločností, ktoré sa expertízou v danej oblasti zaoberajú. Taktiež rastie aj počet prípadov, ktoré sú riešené, čo týmto spoločnostiam takpovediac otvára dvere. V dobe kedy veľká časť komunikácie prebieha elektronicky, v zmysle hlasových hovorov, či už telefonických alebo prostredníctvom internetového spojenia, je oveľa jednoduchšie zabezpečiť audio záznam. Oproti minulosti nepomerne vzrástol aj počet technických zariadení bežného

života, ktoré sú schopné zvuk zaznamenať. Všetky tieto faktory pracujú v prospech toho, aby sa z forenzej audio analýzy stávala stále populárnejšou a vyhľadávanejšou službou.

Na cestu, ktorou sa bude forezná audio analýza ďalej uberať sa dá, mimo iného, nazerať dvoma uhlami pohľadu, hardwarovým a softwarovým.

### 7.1.1 Trendy v hardwarovej oblasti

Z hardwarového, technického hľadiska sa v tejto oblasti neočakáva prudká či závažná zmena a trend je pomerne jasný. Zvyšovanie výpočtového výkonu zariadení slúžiacich k potrebám audio analýzy, čo je prirodzený vývoj nielen v oblasti audio analýzy, ale informačných technológií celkovo. Takisto ďalšie technické zariadenia súvisiace s audio analýzou ako sú mikrofóny, slúchadlá, reproduktory, nahrávacie zariadenia a podobne, prechádzajú postupným vývojom. Hľadajú sa nové a inovatívne konštrukčné riešenia zariadení. Obmeny nastávajú aj v materiálových prevedeniach. Výskum sa sústreďuje na neustále zlepšovanie parametrov a vlastností produktov, ktoré sú využívané na poli audio techniky.

V práci boli predstavené aj audioforezné pracovné stanice a práve tieto zariadenia s veľkou pravdepodobnosťou budú tvoriť podstatnú časť odpovede na otázku trendov technického vývoja. Ako bolo načrtnuté zvyšovanie výkonu je podstatným faktorom, no takisto miniaturizácia a integrácia sa javia ako významné faktory. Zvýšená požiadavka na dané zariadenia môže podnietiť konkurenčnú súťaž či vstup nových výrobcov na trh, čo sa zas môže prejavovať na znížení cien.

Ako posledné, sa javí vývoj v oblasti jednoúčelových automatizovaných zariadení, ktoré budú využívať audio analýzu k overeniu vybraných skutočností. Ako príklad je možné uviesť detektor lži, ktorý by fungoval iba na princípe zvukovej analýzy. Prístroj by v reálnom čase vyhodnocoval, či dotyčná osoba hovorí pravdu. Otázne je, akej spoľahlivosti by prístroj dosahoval a do akej miery by bol prekonateľný. Ďalším príkladom by mohli byť prístroje, ktoré by na základe audio analýzy dokázali vyhodnotiť či je daný človek pod vplyvom omamnej látky. Prístroje takéhoto typu by sa ešte dali, aj keď možno okrajovo, zaradiť pod forezné účely. Z neforenznych aplikácií je možné najviac očakávať vzrastajúcu popularitu a vývoj v oblasti využitia audio analýzy v prístupových systémoch.

Z mierne odlišného pohľadu je možné za trend označiť aj zmenu médií, na ktorých sa audio záznamy šíria a prenášajú. V dnešnej dobe je už drvivá väčšina skúmaného materiálu

v digitalizovanej podobe, na rozdiel od minulosti kedy sa ako záznamové médium v hojnej miere používali magnetické pásky.

### 7.1.2 Trendy v softwarovej oblasti

Vývoj v softwarovej oblasti je predpokladaný najmä v pokročilých algoritmoch a neurónových sieťach. Očakáva sa, že software bude v budúcnosti schopný iba na základe hlasu rozpoznať psychické rozpoloženie človeka a jeho emočný stav. Ťažiskom záujmu sa stáva softwarové riešenie pokročilej lingvistickej analýzy, kedy software bude môcť samostatne automaticky vyhodnotiť vetné konštrukcie, použité slová, logickú štruktúru na základe, ktorej vyprofiluje podozrivého. V podstate celá snaha spočíva v nahradení človeka v procese analýzy, urýchlenie získavania a spresnenie získaných údajov. Úloha človeka sa obmedzí iba na vyhodnotenie údajov.

Dá sa očakávať, že budú vznikať nové softwarové produkty, respektíve že učený pokrok na programovej úrovni, bude implementovaný do existujúcich produktov formou aktualizácií alebo rozširujúcich modulov.

Zaujímavou novinkou, na ktorej sa pracuje, sú algoritmy, ktoré sa aplikujú na videozáznam. Algoritmy dokážu zvýrazniť pohyb objektov na zázname do takej miery, že je možné rozoznať kmitanie týchto objektov vplyvom zvukových vln, na základe čoho sa dokáže extrahovať z videa zvuková zložka, hoci sa jedná o čistý videozáznam a nie audiovideo záznam. Samozrejme objekty musia spĺňať isté kritériá, aby aplikácia algoritmov bola účinná. Musia mať dostatočnú plochu, aby dokázali vlny zachytiť a takisto musia mať priestor a vhodné materiálové vlastnosti na kmitanie. Vhodnými objektmi sú sklenené plochy a výplne, rastliny s veľkými listami umiestnené v priestore či napríklad obaly od niektorých potravín alebo igelitové tašky. Blízky detail na takéto objekty v dostatočnom rozlíšení umožňuje po aplikácii algoritmu získať časový priebeh akustickej vlny, no k výsledkom treba pristupovať s rezervou. Takto vytvorený audiozáznam dosahuje pomerne nízkej kvality a získanie konkrétneho rečového prejavu je aspoň zatiaľ veľmi nepravdepodobné. Na základe záznamu je s istou presnosťou možné stanoviť počet osôb na zázname, prípadne rozlíšiť výraznejšie zvuky napríklad výstrel zo zbrane.

Ako veľmi prospešné sa javí analytické softwarové riešenie, ktoré by dokázalo na základe poskytnutého audiozáznamu určiť napríklad tvar a rozmery miestnosti, v ktorej nahrávka vznikla. Je to jeden zo smerov, ktorým sa uberá budúcnosť a trendy forennej audio analýzy.

## ZÁVER

Cieľom diplomovej práce s názvom Forezná audio analýza bolo vyskúšať si prácu audioexperta a vytvoriť študijný podklad pre študentov predmetu Forezné vedy. Dosiahnutie vytýčeného cieľa spočívalo v dôkladnej teoretickej príprave, kedy bolo nutné naštudovať základy foreznej audioexpertízy a oboznámiť sa fyzikálnou podstatou zvuku. Pred vstupom do praktickej roviny práce bolo nutné rozšíriť teoretickú základňu o princípy spracovania zvuku a reči v kriminalistickej praxi. Ako ďalší postup sa javilo vhodné popísať základné softwarové produkty určené k audio analýze. Od tohto bodu sa pozornosť sústredila na experimentálnu analýzu dvoch zadaných audio záznamov. Práca s audio vzorkami umožnila hlbšie pochopiť charakter činnosti audio experta a na základe tejto skutočnosti mohol byť jednoduchšie a kvalitnejšie spracovaný ďalší bod zadania a to vytvorenie troch nahrávok, podľa požiadaviek vyučujúceho, do predmetu Forezné vedy. Následne došlo k vyhodnoteniu výsledkov a odhadu možných trendov foreznej audio expertízy, čím došlo k naplneniu všetkých bodov zadania.

Hlavný prínos diplomovej práce spočíva vo vytvorení komplexného učebného materiálu z oblasti pomerne slabo diskutovanej a v literatúre málo frekventovanej témy, navyše často iba so značne povrchným spracovaním a bez praktických ukážok. V minulosti sa problematike foreznej audio analýzy neprikladal prílišný význam, pretože obstarávanie audiozáznamov bolo problematické a výsledky, ktoré analýza prinášala sa považovali za nespoľahlivé a subjektívne ladené. S týmto názorom sa možno stretnúť aj v súčasnosti, no pokroky v oblasti začínajú byť natoľko relevantné a presvedčujúce, že si audio analýza postupne buduje novú reputáciu medzi foreznými vedami. No ani napriek pokrokom sa neočakáva, že by sa niekedy z hľadiska dôvery vyrovnala pri identifikácii napríklad daktyloskopii alebo analýze DNA.

V konečnom dôsledku nemožno bojovať proti faktu, že po službách audio expertízy je stále väčší dopyt. Práca teda zachytáva aktuálnu problematiku a snaží sa ponúknuť čitateľovi vhodný materiál v prípade prejavenia záujmu o obor. Čitateľ získava teoretický prehľad ako aj možnosť sledovať praktickú stránku a sám si na vytvorených nahrávkach precvičiť niektoré aktivity. Osobitý prínos ma práca aj pre samotný predmet Forezné vedy, ktorý môže z výsledkov práce čerpať, obohatiť súčasnú výučbu a predstaviť oblasť foreznej audio analýzy študentom.

**ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY**

- [1] SCHAUR, Pavel. *Aplikovaná fyzika - Modul 5: Akustika* [online]. Brno, 2006 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: [http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BB02-Aplikovana%20fyzika/BB02-Aplikovana\\_fyzika\\_\(A,K\)--M05-Akustika.pdf](http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BB02-Aplikovana%20fyzika/BB02-Aplikovana_fyzika_(A,K)--M05-Akustika.pdf)
- [2] JIŘÍČEK, Ondřej. *Úvod do akustiky*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2460-1.
- [3] ŠKVOR, Zdeněk. *Akustika a elektroakustika*. Praha: Academia, 2001. ISBN 80-200-0461-0.
- [4] GOLD, Bernard., Nelson. MORGAN a Dan. ELLIS. *Speech and audio signal processing: processing and perception of speech and music*. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley, c2011. ISBN 978-047-0195-369.
- [5] Zvuk a hluk. *PHYSEDU: Stránky Oddelenia didaktiky fyziky Ústavu fyzikálnych vied, PF UPJŠ v Košiciach* [online]. Košice: Rado a Vlado, 2005 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: [http://physedu.science.upjs.sk/degro/zvuk Hluk/hluk.htm](http://physedu.science.upjs.sk/degro/zvuk/Hluk/hluk.htm)
- [6] LEPIL, Oldřich. *Mechanické kmitání a vlnění: studijní modul*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. ISBN 978-80-244-3295-3.
- [7] KLEINER, Mendel. *Acoustics and audio technology*. 3rd ed. Ft. Lauderdale, FL: J. Ross Pub. ISBN 978-160-4270-525.
- [8] Ucho: Stavba a popis. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. Praha: Jaroslav Reichl, Martin Všeticka, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: [http://fyzika.jreichl.com/data/MKV\\_zvuk\\_soubory/image166.jpg](http://fyzika.jreichl.com/data/MKV_zvuk_soubory/image166.jpg)
- [9] CRHÁKOVÁ, Magda. *Smysly – ucho* [online]. Brno, 2006 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/53909/fsps\\_b/bakalarka\\_pro\\_is.pdf](https://is.muni.cz/th/53909/fsps_b/bakalarka_pro_is.pdf). Bakalárska práca. MASARYKOVA UNIVERZITA. Vedoucí práce Doc. MUDr. Jitka Hanzlová Csc.
- [10] Kvalita hlasu. In: *Internetová knižnica Strážnej veže - Watchtower* [online]. New York: Watch Tower Bible and Tract Society of Pennsylvania, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <https://wol.jw.org/sk/wol/mp/r38/lp-v/be/2002/50>
- [11] ZAKARIAH, Mohammed, Muhammad Khurram KHAN a Hafiz MALIK. Digital multimedia audio forensics: past, present and future. *Multimedia Tools and Applications*

[online]. New York, 2017, , - [cit. 2017-05-09]. DOI: 10.1007/s11042-016-4277-2. ISSN 1380-7501. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11042-016-4277-2>

[12] PORADA, Viktor a Peter POLÁK. *Kriminalistika*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2015. Učebnice (Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk). ISBN 978-807-3805-586.

[13] ŠIMOVČEK, Ivan. *Kriminalistika*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011. ISBN 978-807-3803-438.

[14] STRAUS, Jiří. *Kriminalistická technika*. 2., rozš. vyd. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2008. ISBN 978-807-3800-529.

[15] VICHLENDÁ, Milan. *Kriminalistika*. In: *Střední odborná škola ochrany osob a majetku* [online]. Zlín: SOSOOM Zlín, 2011 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.sosoom-zlin.cz/media/skripta/kriminalistika.pdf>

[16] SKARNITZL, Radek, ed. *Fonetická identifikace mluvčího*. Praha: Filozofická fakulta Univerzity Karlovy. ISBN 978-80-7308-548-3.

[17] RAK, Roman, Vašek MATYÁŠ a Zdeněk ŘÍHA. *Biometrie a identita člověka ve forenzních a komerčních aplikacích*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2365-5.

[18] JESSEN, Michael. *Speaker Classification in Forensic Phonetics and Acoustic*. *Speaker Classification I* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007, , 180 [cit. 2017-05-09]. DOI: 10.1007/978-3-540-74200-5\_10. ISBN 978-3-540-74186-2. Dostupné z: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-74200-5\\_10](http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-74200-5_10)

[19] KINOSHITA, Yuko. Testing realistic forensic speaker identification in Japanese: a likelihood ratio-based approach using formants. *International Journal of Speech Language and the Law* [online]. 2002-3-6, 9(1), 133-134 [cit. 2017-05-09]. DOI: 10.1558/ijssl.v9i1.133. ISSN 17488885. Dostupné z: <http://www.equinoxpub.com/journals/index.php/IJSSL/article/view/2030>

[20] ASHBY, Michael a John A. MAIDMENT. *Úvod do obecné fonetiky*. V Praze: Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum, 2015. Lingvistika (Karolinum). ISBN 978-802-4623-221.

[21] PORADA, Viktor. *Kriminalistika: technické, forenzní a kybernetické aspekty*. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk. ISBN 978-807-3805-890.

- [22] MANCHESTER, Phil. An Introduction To Forensic Audio. In: *SOS - SOUND ON SOUND* [online]. SOS Publications Group, 2010 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.soundonsound.com/techniques/introduction-forensic-audio>
- [23] SHONIREGUN, Charles a Stephen CROSIER. *Securing biometrics applications*. Online-Ausg. London: Springer, 2008. ISBN 978-038-7699-332.
- [24] MAHER, Robert C. *Overview of Audio Forensics* [online]. , 127 [cit. 2017-05-09]. DOI: 10.1007/978-3-642-11756-5\_6. Dostupné z: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-11756-5\\_6](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-11756-5_6)
- [25] Forensic Audio Workstation. In: *SPEECHPRO* [online]. SpeechPro, 2016 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: [http://speechpro-usa.com/files/imagecache/product-image/product/faw/images/faw\\_1656.png](http://speechpro-usa.com/files/imagecache/product-image/product/faw/images/faw_1656.png)
- [26] TALINO Forensic Workstation. In: *Insig2* [online]. Zagreb: INsig2, 2013 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.insig2.eu/upload/userfiles/images/901.jpg>
- [27] Forensic Analysis Workstation. In: *Forensic Computers* [online]. Forensic Computers, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: [http://www.forensiccomputers.com/media/catalog/product/cache/1/image/800x/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/f/a/faw\\_side\\_angle.jpg](http://www.forensiccomputers.com/media/catalog/product/cache/1/image/800x/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/f/a/faw_side_angle.jpg)
- [28] Headphones, Speakers and Critical Listening Skills. In: *Audio Forensic Expert* [online]. Rochester Hills: Primeau Forensics, 2014 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.audioforensicexpert.com/headphones-speakers-and-critical-listening-skills/>
- [29] Top Studio Monitors. In: *Equipboard* [online]. equipboard, 2016 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://images.equipboard.com/uploads/item/image/3939/equator-d5-coaxial-studio-monitors-l.jpg?v=1487824480>
- [30] Adam F5 Active Studio Monitor. In: *Dolphin Music* [online]. S&T Audio, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: [http://www.dolphinmusic.co.uk/shop\\_image/uploads/Image/f5frontback.jpg](http://www.dolphinmusic.co.uk/shop_image/uploads/Image/f5frontback.jpg)
- [31] ATH-M70x: Professional Monitor Headphones. In: *Audio-Technica* [online]. Audio-Technica U.S., 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: [http://cdn.audio-technica.com/cms/resource\\_library/product\\_images/92cd161e6f683be3/med/ath\\_m70x\\_2\\_sq.jpg](http://cdn.audio-technica.com/cms/resource_library/product_images/92cd161e6f683be3/med/ath_m70x_2_sq.jpg)



- [32] Headphones: Alpha Design Labs (ADL) EH008. In: *Soundroom* [online]. The Sound Room, 2014 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <https://static1.squarespace.com/static/537aa6a7e4b05f3bc937091e/t/56479d98e4b0996714c408fb/1447533977502/>
- [33] R&S@UPV Audio Analyzer. In: *Rohde-Schwarz* [online]. ROHDE&SCHWARZ, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: [https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/product/upv/UPV\\_front.jpg](https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/product/upv/UPV_front.jpg)
- [34] Crown CDi4000 Power Amplifier. In: *BAJAAO* [online]. BAJAAO Music Private Limited, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: [https://cdn.shopify.com/s/files/1/0657/6821/products/Crown\\_CD\\_i4000\\_Po\\_504469db31240\\_4\\_5e3bf8d3-c075-45c7-9590-470c321ee51c.jpeg?v=1482212539](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0657/6821/products/Crown_CD_i4000_Po_504469db31240_4_5e3bf8d3-c075-45c7-9590-470c321ee51c.jpeg?v=1482212539)
- [35] VAŇKOVÁ, Jitka. The Efficiency of Different Formant Parameters for Speaker Discrimination. *Acta Universitatis Carolinae - Philologica 1/Phonetica Pragensia XIII*, 2014, str. 43 -54, ISSN 0567-8269.
- [36] SOLOV'eva, E. S., V. A. KONYshev a S. V. SELISHCHEV. Use of pitch and formant analysis in speech biometry. *Biomedical Engineering* [online]. 2006, **2007**(41), 32–37 [cit. 2017-05-09]. DOI: 10.1007/s10527-007-0008-3. ISBN 10.1007/s10527-007-0008-3. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10527-007-0008-3>
- [37] SCHULLER, Björn W. *Intelligent Audio Analysis*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013, 345 str., ISBN 978-3-642-36805-9.
- [38] Voice analysis: an 'objective' diagnostic tool based on flawed algorithms? In: *DW: Made for minds* [online]. Deutsche Welle, 2017 [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: [http://www.dw.com/image/17181480\\_401.png](http://www.dw.com/image/17181480_401.png)

**ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK**

CD	Compact Disk
DNA	DeoxyriboNucleic Acid
DVD	Digital Video/Versatile Disk
ENF	Electric Network Frequency
HD	High Definition
HDD	HardDisk Drive
Hi-Fi	High Fidelity
LED	Light Emitting Diode
RAM	Random Access Memory
SD	Secure Digital
SSHD	Solid State Hybrid Drive

**ZOZNAM OBRÁZKOV**

<i>Obr. 1 Akustika ako interdisciplinárna veda [7]</i> .....	13
<i>Obr. 2 Parametre vlny [1]</i> .....	14
<i>Obr. 3 Postupná pozdĺžna vlna [6]</i> .....	15
<i>Obr. 4 Barkhousenove krivky rovnakej hlasitosti [6]</i> .....	18
<i>Obr. 5 Sluchový orgán človeka [8]</i> .....	20
<i>Obr. 6 Hlasové ústrojenstvo človeka [10]</i> .....	21
<i>Obr. 7 Hranice počuteľnosti [6]</i> .....	22
<i>Obr. 8 Nolanov model tvorby reči [19]</i> .....	26
<i>Obr. 9 Schéma overenia integrity audiozáznamu [11]</i> .....	34
<i>Obr. 10 Ukážka počítačovej výbavy audioforenzného pracoviska [25]</i> .....	40
<i>Obr. 11 Audioforenzné pracovné stanice [26, 27]</i> .....	40
<i>Obr. 12 Reprodukory - príklad [29, 30]</i> .....	41
<i>Obr. 13 Ukážka slúchadiel - obe prevedenia [31, 32]</i> .....	42
<i>Obr. 14 Doplnkové zariadenia [33, 34]</i> .....	42
<i>Obr. 15 Príklady používaných spektrogramov [autor]</i> .....	44
<i>Obr. 16 Zobrazenie formantov v spektrograme [autor]</i> .....	45
<i>Obr. 17 Jednoduchá schéma hodnotených parametrov [38]</i> .....	47
<i>Obr. 18 DC Forensics 10 [autor]</i> .....	51
<i>Obr. 19 Adobe Audition CC 2017 [autor]</i> .....	53
<i>Obr. 20 Audacity [autor]</i> .....	54
<i>Obr. 21 Praat [autor]</i> .....	56
<i>Obr. 22 Sonic Visualiser [autor]</i> .....	57
<i>Obr. 23 Výpočet hash hodnôt v programe HashMyFiles [autor]</i> .....	62
<i>Obr. 24 Časový priebeh akustickej vlny – analýza 1 [autor]</i> .....	65
<i>Obr. 25 Nastavenie equalizéru [autor]</i> .....	67
<i>Obr. 26 Porovnanie priebehov akustickej vlny [autor]</i> .....	69
<i>Obr. 27 Časový priebeh akustickej vlny – analýza 2 [autor]</i> .....	74
<i>Obr. 28 Spektrogram – sublimálna nahrávka [autor]</i> .....	74

**ZOZNAM PRÍLOH**

P I 312326\_SOUNDDOGS\_\_ba.mp3

P II 312326\_SOUNDDOGS\_\_ba\_enhanced.wav

P III Subliminální nahrávka VÝBORNÁ PAMĚŤ.mp3

P IV Audio\_nahrávka\_1.mp3

P V Audio\_nahrávka\_2.mp3

P VI Audio\_nahrávka\_3.mp3

**Pozn.:** Všetky prílohy (P I - P VI) sa nachádzajú v elektronickej forme a sú dostupné na sprievodnom CD.