



**Středoškolská technika 2014**

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

# **Šíření zvuku a sluch**

**Karel Kopecký**

Gymnázium Botičská  
Botičská 424/1, Praha 2

# Úvod

V této práci jsem se zabýval šířením zvuku a sluchem. Mé vlastní znalosti o tomto tématu jsou neúplné. Proto jsem použil dostupnou literaturu k rozšíření znalostí v těchto oborech. Sepisuji informace k pochopení principu šíření zvuku a jeho vnímání a provádím vyšetření stanovení prahu slyšitelností u daných věkových skupin.

# Přehled literatury

## Akustika

Je to fyzikální obor, zabývající se vlastnostmi vlnění zvuku, vznikem a šířením v látkách odlišného skupenství, působením zvuku na tělesa a sluchové orgány lidí i zvířat. (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)

Sluchovým orgánem vnímáme vjem, který se nazývá zvuk. Za tento vjem je zodpovědné zvukové vlnění. Zvuk je mechanické vlnění, jehož frekvence je v intervalu od 16 Hz do 20 kHz. (Práh slyšitelnosti se pohybuje na rozhraní 16 Hz a práh bolesti na hranici 20 kHz.) Člověk vnímá zvuky právě v tomto rozhraní, neboť mu to umožňují vlastnosti zdravého sluchového orgánu. (Existují živočichové, např. netopýři a kytovci, kteří jsou schopni vnímat zvuk na daleko vyšší frekvenci než 20 kHz.) (Bednář, Bajer, & Bouchal, 1999) Do mechanického vlnění patří také infrazvuk a ultrazvuk. Infrazvukové vlnění nebo také podzvukové má frekvence menší než 16 Hz. (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005) Ultrazvukové (nadzvukové vlnění) jehož frekvence jsou větší než 20 kHz. Toto zvukové vlnění se využívá např. v medicíně. Ke kontrole plodu v děloze matky, srdce, trávicího ústrojí, vylučovacího ústrojí, atd. Po pokožce se přejíždí zdrojem ultrazvuku, který vysílá vlny. Ty se odrážejí při kontaktu s nějakou překážkou v těle. Po návratu jsou následně zpracovány počítačem, který ve speciálním programu vyhodnotí získané údaje. Pak vytvoří obraz na monitoru. Ultrazvuk o vysoké frekvenci je schopen odstranit ledvinové kameny, aniž by pacient musel na operaci. (Whitehead & Pople, 1999) Tento princip se dá využít i v průmyslu při kontrole tzv. defektoskopii, která zkoumá poruchy materiálu. Ultrazvuk se dá využít i na čištění. (Tarábek & Červinková, 2006)

Zvukové vlnění je vyvolané mechanickým kmitáním různých těles. Tyto zdroje zvuku dále předávají energii částicím, které je obklopují. Tyto částice jsou vodičem zvuku a energii si předávají a tím ji šíří do okolí. Zvuk se může šířit jen v látkách nikoliv ve vakuu. Tónem nazýváme zvuk, u kterého se periodicky mění akustický tlak. Ostatní zvuky jsou tvořeny neperiodickým kmitáním zdrojů a jedná se tak o hluk, popř. šum. (Bednář, Bajer, & Bouchal, 1999)

## Akustický tlak

*„Značí se  $p$  nebo  $p_a$ . Je rozdíl mezi okamžitým celkovým tlakem prostředí a jeho statickým tlakem při šíření zvukového vlnění tímto prostředím.“* (Bednář, Bajer, & Bouchal, 1999, str. 179) Statický tlak má značku  $p_s$ . Je to takový tlak, jenž by byl přítomen v prostředí, kterým by se nešířilo zvukové vlnění. Jedná se o změnu tlaku prostředí, která je vyvolaná šířením zvukového vlnění. (Bednář, Bajer, & Bouchal, 1999)

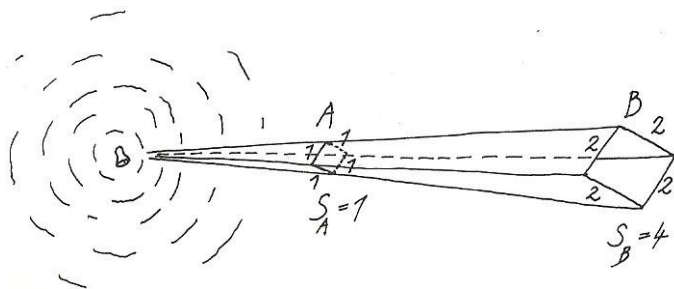
# Akustický výkon

Značí se  $P$  nebo  $P_a$ . Jedná se o výkon, který je buď vyzařován, přenášen nebo přijímán prostřednictvím zvukového vlnění. Když za určitý čas  $\Delta t$  projde zvuková energie  $\Delta E$  danou plochou pak momentální akustický výkon procházející zmíněnou plochou je vyjádřen tímto vzorcem. (Bednář, Bajer, & Bouchal, 1999)

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{dE}{dt} \text{ (Bednář, Bajer, & Bouchal, 1999, str. 183)}$$

## Intenzita zvuku

Intenzitou vlnění nazýváme energii, která projde za 1 s jedním  $m^2$  plochy. Intenzita  $[I]$  je úměrná druhé mocnině amplitudy  $A$ . (Macháček, 1995) „Z toho vyplývá, že  $I \sim A^2$ . Intenzita vlnění, která se šíří z bodového zdroje, klesá s druhou mocninou vzdálenosti  $R$ , tedy  $I \sim 1/R^2$ , proto amplituda klesá s první mocninou vzdálenosti,  $A \sim 1/R$ .“ (Macháček, 1995, str. 126)



Obrázek 1 Intenzita zvuku (Macháček, 1995)

Popis: V místě A označme intenzitu  $I_A$  a v místě B ji označíme  $I_B$ , ve dvojnásobné vzdálenosti. Za 1 sekundu projde průřezem  $S_A$  energie  $I_A S_A$  a průřezem  $S_B$  projde energie  $I_B S_B$ . Protože se energie šíří přibližně přímočaře od zdroje zvuku, musí platit  $I_A S_A = I_B S_B$ . Intenzita  $I_B = \frac{I_A \times S_A}{S_B}$ , která se nachází ve dvojnásobné vzdálenosti od zdroje je proto čtyřikrát menší než  $I_A$ . V případě, že energie vlnění se zachovává, tak z toho můžeme odvodit, že s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje ( $I \sim 1/R^2$ ). Většinou však dochází k tomu, že se část energie mění v teplo. Toto nastává např. u tření, a zde intenzita ubývá rychleji než  $1/R^2$  a nastává útlum vlnění. (Macháček, 1995)

Intenzita zvuku je definována tímto vztahem.

$$I = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta S} = \frac{dP}{dS} \text{ (Bednář, Bajer, & Bouchal, 1999, str. 183)}$$

Kde  $P$  je akustický výkon,  $\Delta P$  je akustický výkon, který prochází plochou, která je kolmá ke směru šíření zvuku a  $\Delta S$  je obsah plochy, kterou zvukové vlnění prochází. (Bednář, Bajer, & Bouchal, 1999) Jednotkou intenzity zvuku je  $W/m^2$ . Intenzita zvuku se vyjadřuje pomocí logaritmické stupnice a zde se používá jednotka, která se nazývá bel (B). (Svoboda, Bartuška, & Bednář, 2005)

## Weberův-Fechnerův zákon

„Je to fyziologický zákon, podle něhož intenzita smyslového vjemu vzroste o stejný přírůstek, jestliže popud, který vjem způsobuje, vzroste ve stejném poměru.“ (Bednář, Bajer, & Bouchal, 1999, str. 184) Tento zákon se týká jak sluchových tak i zrakových vjemů. Tento zákon však platí jen s velmi malou přesností. I přes tento nedostatek byla na jeho základě stanovena řada logaritmických veličin, např. hladina hlasitosti. (Bednář, Bajer, & Bouchal, 1999)

## Hladina intenzity zvuku

Hladina intenzity zvuku je v podstatě míra našich počitků. Je logaritmem poměru mezi intenzitou zvuku a malou hodnotou intenzity  $I_0$  (prahem slyšení). Vyjadřuje se v jednotce bel (B). V praxi se však používá její desetina (dB). V logaritmické stupnici můžeme formulovat tzv. hladinu intenzity zvuku. Značí se L a jednotkou jsou dB. (Macháček, 1995) „Určíme ji pomocí vztahu  $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$  kde  $I_0$  je intenzita odpovídající prahu slyšení zvuku o frekvenci 1 kHz ( $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ ). Odpovídá mu hladina intenzity zvuku 0 dB.“ (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005, str. 230)

Tabulka 1 Hladina intenzity zvuku (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)

Zdroj zvuku	<u>Vzdálenost</u> <i>m</i>	<u>Hladina intenzity zvuku</u> <i>dB</i>
tikot hodinek	0,1	20
tichý rozhovor	1	40
normální hovor	1	60
křik	1	80
symfonický orchestr	3 až 5	80
hluk motorových vozidel	10	90
startující letadlo	10	110

## Hlasitost zvuku

Hlasitost se značí N a vyjadřuje se v sonech. (Bednář, Bajer, & Bouchal, 1999) Je to veličina, která znázorňuje, sílu působení zvuku na zdravý sluch. (Tarábek & Červinková, 2006) Nezávisí pouze na intenzitě zvuku, ale také na vnímání rozdílných frekvencí sluchovým orgánem. Při těchto frekvencích od 700 Hz do 6 kHz je lidské ucho nejcitlivější. Práh slyšení je stanoven nejmenší intenzitou zvuku, kterou jsme schopni při těchto frekvencích zaznamenat. Pro frekvenci ve výši 1 kHz je stanoven práh slyšení  $I_0 = 10^{-12} \text{ W} \times \text{m}^{-2}$ . (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)

Prahem bolesti je označována frekvence, při které v lidském uchu vzniká pocit bolesti. Pro frekvenci s hodnotou 1 kHz je to  $1 \text{ W} \times \text{m}^{-2}$ . S tímto tvrzením se shoduje hladina intenzity zvuku 120 dB. (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)

## Hladina hlasitost zvuku

Značí se  $L_N$  a jednotkou je fón. Hladina hlasitosti zkoumaného zvuku se rovná hladině akustického tlaku nerušeného tónu s frekvencí 1 kHz. Hladina hlasitosti se ve fónech vyjadřuje pomocí dekadických logaritmů.  $L_N = 20 \log \left( \frac{p_{ef}}{p_0} \right)_{1kHz}$  kde  $L_N$  je hladina hlasitosti zkoumaného zvuku,  $p_{ef}$  je efektivní akustický tlak nezastřené tónu s frekvencí 1 kHz (považovaného za stejně hlasitý jako zkoumaný zvuk) a  $p_0 = 2 \times 10^{-5}$  [P], jedná se o referenční tlak. Je to subjektivní síla zvuku, kterou vnímá lidské ucho. Výrazně se liší od objektivní síly zvuku, kterou je intenzita zvuku. Protože při zvýšení intenzity zvuku, nedojde ve stejné míře k zvýšení hlasitosti zvuku (subjektivní síly zvuku), kterou vnímáme. To vyplývá z tvrzení, že zvukový vjem všech tónů vzniká teprve tehdy, když akustický tlak nebo intenzita zvukové vlny nabude jisté hodnoty. Tato hodnota je u různě vysokých tónů různá. V případě, že akustický tlak je nižší než tzv. prahová hodnota, tón není slyšet. (Bednář, Bajer, & Bouchal, 1999)

## Šíření zvuku

Při zvukovém vlnění mají makroskopické pohyby, vzduchu či kapaliny, kolmý směr šíření na vlnoplochu a jsou rovnoběžné se šířením vlny. (Vlnoplocha je dle definice takovou plochou, podle které jsou si všechny veličiny rovny.) Tomuto typu vlnění se říká podélné. V pevných látkách se vyskytují vlny příčné. (Macháček, 1995)

Polarizací označujeme směr výchylky vlnění. V kapalinách je možná výchylka vlnění (polarizace) jen podélná (ve směru šíření). Pevné látky mohou mít až 3 různé typy polarizačních vln. Jedná se o jednu podélnou a dvě příčné. (Macháček, 1995)

Šíření zvuku je ovlivněno prostředím, ve kterém se šíří i překážkami, které se nachází v cestě a na něž zvukové vlnění dopadá. Při dopadu na rozlehlou plochu (velkých objektech s možností volného šíření zvuku, v jeskyních či v těsných údolích) vzniká tzv. ozvěny. (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)

## Rázová vlna

Tato vlna se vyskytuje v případě, když nad námi vidíme letět letadlo nadzvukovou rychlostí. Letadlo zaregistrujeme až po příchodu jeho rázové vlny, kterou překročilo. Rychlost podzvuková a nadzvuková existuje v Lavalově trysce, ale také i v trubici ve všech místech o stejném průřezu. Byly by od sebe rozděleny rázovou vlnou. Jedná se o plochu, ve které se rychlost, tlak, hustota i teplota mění naráz. (Jedná se o dráhu, které urazí molekula mezi dvěma srážkami, to odpovídá vzdálenosti  $10^{-7}$  m.) (Macháček, 1995)

Molekuly mají před rázovou vlnou vždy velkou rychlost. Jde o pohyb uspořádaný. (Rychlost  $v_1$  je nadzvuková.) A u pohybu neuspořádaného jde o malou rychlost. (tepelnou) Za rázovou vlnou je rychlost ( $v_2$ ) uspořádaného pohybu podzvuková. Rychlost neuspořádaného pohybu je zde vysoká. (Plyn je teplejší.) Kinetická energie jedné molekuly je stejná před vlnou i za ní. Energie se zůstává, ale pohyb se zčásti mění z uspořádaného v neuspořádaný. Můžeme říci, že při tomto ději se zvýšila entropie. (Macháček, 1995)

Rázová vlna se ve vzduchu šíří rychlostí zvuku. Vlna má tvar kužele, který se nazývá Machův kužel. Machovo číslo udává poměr mezi rychlostí letadla ( $v$ ), či jiného předmětu vůči rychlosti zvuku ( $a$ ).  $M = v/a$  Toto číslo vyjadřuje důležitost stlačitelnosti vzduchu nebo rozdílného prostředí pro daný pohyb. (Macháček, 1995)

## Rychlost zvuku

Udává rychlost, jakou se zvukové vlny šíří. Není konstantní a o rychlosti zvuku rozhoduje v jakém prostředí se šíří. V pevných látkách je rychlost nejvyšší. (Tarábek & Červinková, 2006)

Tabulka 2 Šíření zvuku v různých prostředích (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)

Látka	<i>Rychlost zvuk</i> $m \times s^{-1}$
voda (25°C)	1500
rtuť	1400
beton	1700
led	3200
ocel	5000
sklo	5200

Rychlost zvuku v kapalinách je vyšší než v plynech. V plynech, v nichž se zvuk šíří nejpomaleji, záleží na jeho teplotě a složení. Je zajímavé, že při vzrůstajícím tlaku zůstává rychlost zvukových vln stejná. (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)

Rychlost zvuku ve vzduchu při 0°C je  $331,8 m \times s^{-1}$  (Tarábek & Červinková, 2006)

## Dopplerův jev

V případě je-li zdroj zvuku nebo pozorovatel v pohybu, pozorovatel vnímá zvuk o jiné frekvenci ( $f'$ ) než je pravá frekvence zdroje ( $f$ ), od kterého se vlnění šíří. Zdroj a přijímač se vůči sobě buď přibližují, nebo oddalují. (Tento jev byl objasněn rakouským fyzikem, profesorem pražské techniky, Christianem Dopplerem roku 1842.) Tento jev nastat v těchto

případech. V případě, že se zdroj vlnění i pozorovatel pohybují, pak při následném přiblížení je frekvence vlnění vyšší a naopak při vzájemném oddálení nižší. (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)

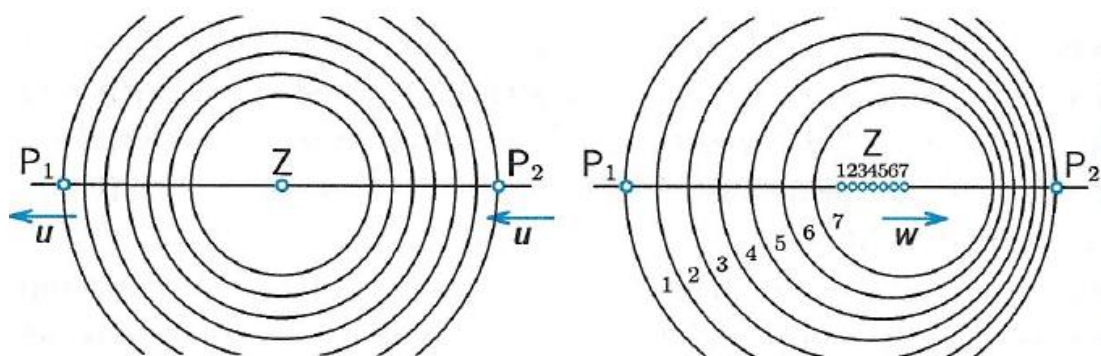
Zdroj zvuku setrvává v klidu a přijímač se pohybuje po přímce stálou rychlostí ( $u$ ). Tato rychlost je nižší než rychlost zvuku ( $v$ ). ( $u < v$ ) Zdroj zvuku, které označíme  $Z$ , šíří zvukové vlnění o délce  $\lambda = \frac{v}{f}$  (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)

V tomto vzorci zastupuje  $f$  frekvenci vlnění, které vydává zdroj. Toto je zobrazeno na obrázku pomocí soustavy vlnoploch. V případě jsou-li přijímače  $P_1$  a  $P_2$  v klidu, pak za určitou dobu se k nim dostane shodný počet vlnoploch. Oba přijímače zaznamenají vlnění o totožné frekvenci.  $f = \frac{v}{\lambda}$  (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)

- 1) V případě vzdaluje-li se přijímač  $P_1$  rychlostí  $u$  od zdroje, pak za určitou dobu se k němu dostane nižší počet vlnoploch. Tento přijímač zaznamená nižší frekvenci.  $f_1 = \frac{v-u}{\lambda} = \frac{v-u}{v} f$  (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)
- 2) Přijímač, jenž se blíží ke zdroji zvuku rychlostí  $u$ , zaznamená více zvukových vln a vyšší frekvenci.  $f_2 = \frac{v+u}{\lambda} = \frac{v+u}{v} f$  (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)
- 3) Přijímače se nacházejí v klidu a zdroj vlnění se pohybuje rychlostí  $w$  ( $w < v$ ) směrem od  $P_1$  k  $P_2$ . Zdroj zvukového vlnění se pohybuje směrem od  $P_1$ . Tato skutečnost se projeví jako prodloužení vlnové délky. (Prodloužení vzdálenosti mezi vlnoplochami, které se za sebou šíří.) Vlnová délka, jenž je vyjádřena vztahem,  $\lambda_1 = \frac{v+w}{f}$  a přijímač, který je označený jako  $P_1$  zaznamená frekvenci. Tato frekvence ( $f_1$ ) je nižší nežli frekvence zdroje ( $f$ ).  $f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{v+w} f$  (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)
- 4) Analogicky v místě výskytu přijímače  $P_2$  je vlnová délka zvukového vlnění kratší.  $\lambda_2 = \frac{v-w}{f}$ .  $P_2$  zaznamenává frekvenci ( $f_2$ ), která má hodnotu vyšší než frekvence zdroje ( $f$ ).  $f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{v}{v-w} f$  (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)

Tento jev vzniká i u elektromagnetického vlnění. Na tomto principu jsou sestavovány radary na měření rychlosti aut. Využívá se i v astronomii, kde se pomocí něj určují rychlosti vesmírných těles. Rychlost se určuje na principu změny vlnových délek záření. Toto záření vyzařují vesmírná tělesa. (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)





Obrázek 2 Dopplerův jev 1 (Svoboda, Bartuška, & Bednařík, 2005)

Popis: Na levé straně je zdroj v klidu a na pravé straně zdroj v pohybu.

## Zvířecí sluch

Naše planeta je osídlena více jak dvěma miliony dosud popsaných druhů živočichů. Více jak bilion let se přizpůsobovali měnícímu se okolnímu prostředí světa a v boji o přežití vyvíjeli širokou paletu reakčních dovedností. Mezi nimi je schopnost vnímat zvukové vlnění různé vlnové délky, což jim umožňuje rychle reagovat na aktuálně vzniklé situace v jejich životním prostředí. Vnímání zvukových vln umožňuje živočichům získat potravu, uniknout před predátory, reagovat na přírodní katastrofy, vzájemně komunikovat mezi jednotlivci téhož druhu. V neposlední řadě se rozmnožit a tím zabezpečit pokračování druhu. Zvukové vlny vnímá a v mozku analyzuje převážná většina obratlovců a z bezobratlých třída hmyz. U každého organismu se zvukové vlny zachycují specializovanými receptory a následně analyzují v centrální nervové soustavě. Živočichové vnímají zvukové vlny od frekvence 14 Hz (slon) do 200 000 Hz (netopýr). (Weinerová, 2007) (Barnes, Bates, & K. Bearder, 2002)

## Bezobratlí (hmyz)

Hmyz podle zvuku rozezná samce a samici (u komárů) či blížící se nebezpečí. Vnímá zvuk několika typy receptorů (dle druhů) a následně ho analyzuje v centrální nervové soustavě. U hmyzu se vyskytují tyto typy receptorů. (Petříčková, 2006)

### 1. Tympanální orgán

Je to dutina potažená blankou, která se rozechvívá dopadajícím vlněním. To je pak přeneseno nasedajícími neurony do centrální nervové soustavy. Tympanální orgán je umístěn u ploštic na hrudníku a u kobylky na zadečku. Noční motýly jej mají, mezi hrudí a zadečkem, na zádech. Mohou s ním zachytit i ultrazvuk lovcího netopýra a padnout nehybně k zemi. (Petříčková, 2006)

### 2. Johnstonův orgán

Jde o orgán složený ze sensitivních chloupků na tykadlech hmyzu či na předních křídlech denních motýlů. Kratší chloupky na konci tykadel zachycují vyšší vlnové délky. Delší chloupky na bázi tykadla pak zachycují delší vlnové délky. (Petříčková, 2006)

### 3. Podkolenní percepční orgán

Jedná se o speciální sensitivní buňky u všekazů v podkolení jamce končetin. Tak vnímá chvění okolí a podkladu. (Petříčková, 2006)

### 4. Sensitivní chloupky

Na těle housenek jsou tyto chloupky plošně rozmístěné po celém těle jedince. U švábů jsou sdružené na zadečku v orgánu zvaném Cerky. (Petříčková, 2006)

## Obratlovci

V této skupině slyší valná většina zástupců. Zcela hluší jsou jen hadi. U části zástupců je stejně jako u člověka vyvinut vnější sluchový orgán, ušní boltec. Tím zachytávají zvukové vlny. Postupně se vyvíjí vnitřní sluchový orgán, hlemýžď. Nacházíme jej již u ryb, kde je vyvinut i labyrint jako centrum rovnováhy. Pak teprve jsou nervová centra mozku. Na vrcholu vývojové pyramidy pak je člověk. U něj se vyvinulo vnější orgán k zachycení zvukových vln, střední ucho k jejich zesílení, vnitřní ucho s receptorovými buňkami k převodu vln na elektrické potenciály a pak teprve odpovídající centra mozku. Je zajímavé, že pokud některý druh trvale žije v prostředí, kde sluch není využit, sluchový orgán zakrní a nevyvíjí se. Příkladem je zvláštní druh žab žijících ve vodopádech, kde je takový hluk, že jiný zvuk nemohou identifikovat. (Paichl, 2001)

## Ryby

Zachytávají zvukové vlny tak zvanou postranní čarou, což je nakupení percepčních obrvených buněk. Nazývají se „neuromasty“. Jsou organizovány v čáře probíhající po celé délce těla živočicha. Tyto buňky mají výraznější koncentraci u hlavy. Je to mechanopercepční orgán vodních obratlovců včetně vodních obojživelníků. Vnitřní ucho, kam jsou podněty vedeny, má již dva závity hlemýžďe a i labyrint jako rovnovážný orgán. Některé ryby mají před vnitřním uchem zařazen Weberův orgán. Jsou to přestavěné krční obratle, naléhající na vzduchový měchýř, který má funkci rezonátoru k zesílení kmitů. Ryby slyší zvuky přenášené ve vodě od 800 do 1250 Hz. Některé ryby spolu i komunikují zvukem, který je slyšet i na lodi z 18 m hloubky. Delfín např. dokáže vyvinout zvuk o hlasitosti 220 dB. (dělostřelecká palba má 130 dB). (Barnes, Bates, & K. Bearder, 2002) (Žraloci, 2002)

## Obojživelníci a plazi

Dopadající zvukové vlny rozkmitají bubínek, který je bez vnějšího ucha uložen na hlavě. Je vyklenut ven jedinou sluhovou kůstkou uloženou v primitivním středouší. Kůstka se nazývá – columella a přenáší kmity bubínku na vnitřní ucho, primitivní hlemýžď, kde jsou kmity

přeměněny na elektrické impulsy a vedeny do sluchových center mozku. Je zajímavé, že při výhradně vodní fázi vývoje (pulce u žab) má pulec postranní čáru. Žába pak bubínek a středouší. Obojživelníci vnímají zvuky v rozsahu od 200 do 1500 Hz. Slyší i ještěři a želvy. Dobře slyší i krokodýli a to i frekvence do 3000 Hz. (Paichl, 2001) (Smyslová soustava ptáků, 2002) (Jelínek & Zicháček, 2007)

## Ptáci

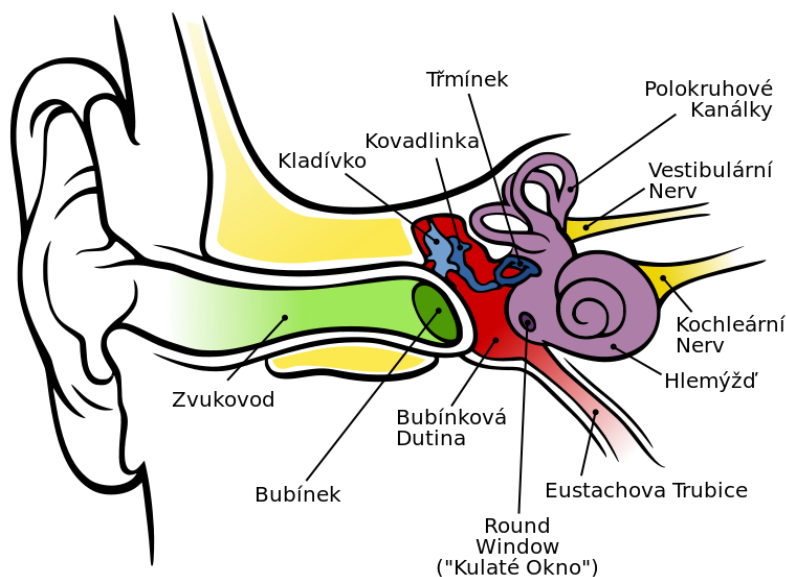
Vnější ucho je tvořeno krátkým zvukovodem, zakončeným kožním valem. Bubínek, jako u plazů, napíná jedna zvuková kůstka přenášející vibrace bubínku na hlemýžď. Ten není zavínutý, jen prohnutý. Vzhledem k velké pohyblivosti ptáků je dobře vyvinuto rovnovážné ústrojí labyrintu, které má již tři kanálky. Ptáci slyší nejlépe od 1000 do 3000 Hz, jsou však schopni zachytit i ultrazvukové vlny. Drtivá většina ptáků má absolutní sluch, rozliší dva signály vysílané v intervalu 2-3 milisekund. Člověk rozliší dva signály vzdálené od sebe až 15 milisekund. (Smyslová soustava ptáků, 2002) (Jelínek & Zicháček, 2007)

## Savci

Suchozemští savci mají již kompletně vyvinuté vnější, střední a vnitřní ucho jako člověk. Velká variabilita je v ušních boltcích, které umí některé druhy ovládat k zachycení co nejširší škály zvukového vlnění. Podobně třeba kuň, který má 17 svalů ovládajících boltce. Boltce využívají i některé druhy k chlazení organismu např. slon africký. U vodních naopak vnější ucho zaniká (lachtani). Škála slyšitelných zvukových vln u savců je velmi široká. Sloni se dorozumívají signály o velmi nízké frekvenci, 14-24 Hz, které dobře prostupují hustým podrostem i na vzdálenosti 5 km. Až jedna třetina signálů u slonů je v pásmu infrazvuku. Specialisty mezi savci jsou netopýři, delfini a vorvani, kteří dokážou vysílat a přijímat ultrazvukové vlny. Tato schopnost se nazývá echolokace. Jedinci těchto druhů sami vysílají ultrazvukové vlny, jejichž odraz následně zachycují, analyzují v mozku a získávají tak prostorový obraz okolí k orientaci, včetně možné kořisti. Nejedná se zde až tak o sluch jako takový. (Paichl, 2001)

## Lidský sluchový orgán a jeho funkce

Člověk slyší a rozlišuje tóny od kmitočtu 16 Hz až do 16000-20000 Hz. Maximální citlivost je pak v pásmu 1000-3000 Hz. Hlasitost zvuku se pak měří v dB, zvuky kolem 100 dB mohou sluch poškodit. Lidský sluchový orgán stejně tak jako u jiných savců má tři části: zevní ucho, střední ucho a vnitřní ucho. (Sluch, 2002) (Ucho, 2002)



Obrázek 3 Sluchový orgán (Anatomy of the Human Ear, 2013)

## Zevní ucho

Tato část ucha má za úkol zachytit zvukové vlny a dovést je k bubínku. Tvoří je boltec a zevní zvukovod. Rozměry zevního ucha jsou u jednotlivých jedinců různé. Průměrná délka zevního zvukovodu je asi 1-2, 5 cm, vystlaná jemnou kůží a mazovými žlázkami. Končí bubínkem, což je pružná blanka asi 0, 1 mm silná a asi 0, 5 cm velká. (Sluch, 2002) (Ucho, 2002)

## Střední ucho

Je dutina ve spánkové kosti komunikující Eustachovou trubicí s nosohltanem. Tím se vyrovnává v dutině tlak vzhledem k okolí. Ve středním uchu je soustava tří drobných kůstek: kladívko, kovadlinka a třmínek. Tato soustava je držena pohromadě vazy a napínána dvěma drobnými svaly. Kladívko je svým držátkem přirostlé k bubínku, hlavičkou pak ke kovadlince. Ta je napojena na třmínek, který je zasazen do oválného okénka v kosti skalní. Tím začíná hlemýžď v kosti skalní. Mezi velkou plochou bubínku a malou plochou třmínku je velký rozdíl umožňující asi třicetinasobné zvětšení síly kmitu přeneseného z bubínku na vnitřní ucho. Přenos kmitů kůstkami je mechanicky dokonalý. Kůstky přestávají kmitat ihned po skončení zvuku, není tam žádný dozvuk. Toto dokonale tlumení je docíleno tahem dvou malých středoušních svalů. Jeden je upnut na držátko kladívka, druhý na třmínek. Svým tahem celou soustavu pružně tlumí. Mimo toho hlasité zvuky vyvolávají reflektorický stah těchto svalů, což je ochrana před poškozením vnitřního ucha silnou zvukovou vlnou. (Sluch, 2002) (Ucho, 2002) (Kollár, 1974, str. 10)

## Vnitřní ucho

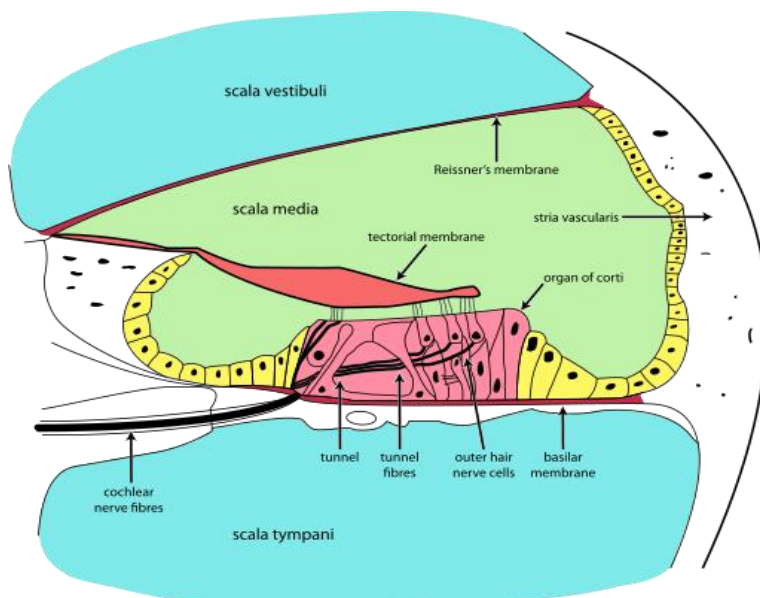
Je soustava tří kanálků labyrintu a hlemýžďě vysoustruhovaná v kosti skalní. Ta je naplněna tekutinou, která nejen vede vlny kmitů, ale má i specifické iontové složení. Začíná oválným

okénkem, na které přenáší kmity třmínek a končí kulatým okénkem přerostlým jemnou blankou, které má za úkol kmity zase uvolnit do dutiny středouší. (Sluch, 2002) (Ucho, 2002) (Kollár, 1974, str. 12)

Labyrint je orgánem zajišťujícím rovnováhu, hlemýžď sám pak orgánem sluchovým. Hlemýžď je vazivová slepě končící stočená trubička tvořící 2,5 závitů. Tato trubička je podélně dělená dvěma membránami na tři části, horní, střední a dolní. Střední část nedosahuje až do vrcholku hlemýžďe, dolní a horní část tam jsou spojeny. Celá soustava je naplněná tekutinou, perilymfou. Na přepážce střední části je uložen samotný sluchový orgán, který se nazývá Cortiho orgán. Ten obsahuje receptorové buňky-vlásokové buňky. V nich dochází k převodu mechanického vlnění v perilymfě na elektrické potenciály. (Sluch, 2002) (Ucho, 2002) (Kollár, 1974, str. 12)

Je jich asi 25 000. Z Cortiho orgánu vychází asi 30 000 nervových zakončení, která se sbíhají ve sluchový nerv. Ten vede impulsy do mozku. (Sluch, 2002) (Ucho, 2002) (Kollár, 1974, str. 12)

Poměrně zásadní je i iontové složení tekutiny (v perilymfě), připomínající iontové složení na nervovém vlákne. Je udržováno aktivně iontovou pumpou. Pokud bylo v experimentu nahrazeno jiným složením, nervový vzruch nevznikl. Kmity jsou na vlásokové buňky přenášeny výkyvem membrán, oddělujících střední prostor od horního a dolního prostoru hlemýžďe. Tento velmi složitý a přitom jemný orgán je bohatě prokrven řadou drobných cévek. Ty zajišťují jak dobré oxygenučení oblasti, tak rovnováhu perilymfy. (Sluch, 2002) (Ucho, 2002) (Kollár, 1974, str. 12)



Obrázek 4 Řez hlemýžďem (Cochlea-crosssection, 2013)

## Vnímání tónu

Zvukové vlny o vysokém kmitočtu, které jsou zodpovědné za vysoké tóny, jsou vnímány blízko oválného okénka. Čím je kmitočet nižší a vlna delší, tím je pak tón vnímán dál k vrcholu hlemýždě jako hluboký. Vlnění z dolního a horního prostoru se pak přenesou na perilymfu ve středním odděleném prostoru, jehož dolní membrána se pak vychýlí v místě maxima prostupující vlny. V tomto místě je pak největší ohyb vlásků Cortiho orgánu a tím přenos mechanického vlnění na elektrický impuls. (Sluch, 2002) (Ucho, 2002) (Zvuk, 2002)

## Hlasitost zvuku

Hlasitost zvuku je dána množstvím vláskových buněk, které byly podrážděny kmitem membrány. Nejslabším zvukem, který je ještě systém schopen zachytit byl v normách stanoven zvuk 10 dB. Tato hodnota je jasně stanovena pro fyziologický orgán. (Zvuk, 2002)

## Patologické stavy lidské sluchové soustavy

Patologické stavy sluchové soustavy se dělí na převodní a percepční. Převodní patologické stavy. Jedná se o postižení struktur zevního a středního ucha. Tedy oblastí, kde dochází k přenosu vnějších zvukových vln až k oválnému okénku hlemýždě. U zvukovodu se může jednat v podstatě jen o mechanický uzávěr, mazem, vnější nečistotou či nádorem. Bubínek jako blanka může být proražen vnějším vlivem. Ztenčen opakovanými záněty, či z téhož důvodu zjizvený po opakovaných spontánních perforacích pro zánět ve středouší, kdy hnisavý výpotek svým tlakem sám bubínek protrhne. (Kollár, 1974, str. 26)

U středoušní oblasti je situace komplikovanější, již vzhledem k složitosti převodního mechanismu středoušních kůstek. Jejich funkce je ovlivněna tlakem ve středouší, který je proti okolí vyrovnáván Eustachovou trubicí či poruchou vazů ve skloubení jako důsledek opakovaných zánětů. Středouší může být i trvale zaplaveno tekutinou, která je projevem chronického zánětu v oblasti. To vše může neblaze působit na přenos zvukových vln na struktury vnitřního ucha. Obvykle se tyto patologie projevují sníženým vnímáním zvuku. Lze je ale dobře diagnostikovat a léčit. (Kollár, 1974, str. 26)

## Percepční patologické stavy

U nich se jedná o postižení struktur vnitřního ucha, sluchového nervu či přímo centra sluchu v mozku. Tato onemocnění jsou méně častá, typická spíše pro starší věkové kategorie, ale dost špatně léčitelná. Infekce s následným zánětem zde obvykle neprobíhá, jedná hlavně o poruchy prokrvení nejjemnějších struktur hlemýždě. To se projevuje nejen nedoslýchavostí, ale i různými zvukovými halucinacemi, vysokými pískavými tóny a šumy, tak zvaným "tinitem". Porucha tohoto typu je velmi špatně ovlivnitelná. Léčba spočívá v podávání léků podporujících prokrvení a v předpisu sluchadel. (Kollár, 1974, stránky 26-27)

V této oblasti se projevují i vrozené vady, kdy dítě má od narození poruchu sluchu a je buď zcela hluché, či těžce nedoslýchavé. Tuto situaci je nutno co nejdříve diagnostikovat a dítě vybavit naslouchadly. Jinak by se nemohlo adaptovat na vnější prostředí a nenaučilo by se mluvit. Úplná hluchota se pak řeší tak zvaným “kochleárním implantátem“ kdy je hlemýžď nahrazen mikro-přijímačem zvukových vln. (Kollár, 1974, str. 27)

# Metodika

## Místo měření

Měření jsem prováděl ve specializované ambulanci ORL pod vedením audiologického odborníka.

## Přístrojové vybavení

K práci jsem využíval vybavení ordinace, které je nezbytné pro zdárné naměření výsledků. Mezi vybavení patří audiometr AD 629, audiokomora, sluchátka pro vzdušné vedení, vibrátor pro kostní vedení a signalizační tlačítko.



Obrázek 5 Audiometr (foto autor)



Obrázek 6 Audiokomora (foto autor)

## Testované frekvence

Zkoumají se tóny v rozmezí od 125 Hz do 12 000 Hz v pevně stanoveném pořadí.



## Hlasitost tónu

Správné určení prahu slyšitelnosti pro jednotlivé frekvence zajistíme tak, že postupujeme od  $-10$  dB po  $5$  dB až do té doby než pacient signalizuje, že tón slyší. Tato hlasitost je zaznamenána do audiogramu.

## Vyšetřované osoby

Pro mé měření jsem si zvolil tři skupiny lidí různých věkových kategorií. V každé skupině pak bude 10 respondentů. První skupina je věkovém rozmezí od 70 do 80 let, druhá pak od 40–50 let a třetí od 17–24 let.

Průběh vyšetření jsem si rozdělil na několik fází, abych se vyvaroval potížím, které by mohly průběh vyšetření a následný výsledek ohrozit.

## Průběh vyšetření

### Odběr anamnézy

O každé osobě, kterou budu měřit, jsem si zjistil několik informací. Nejprve jsem se zaměřil na zjištění onemocnění v oblasti hlavy a ucha (vnější ucho, středouší, vnitřní ucho). Zajímal jsem se o povolání, které daná osoba vykonává, zda pracovní prostředí či samotná profese nemohla způsobit poškození sluchu. Dále jsem se ptal, zda netrpí klaustrofobií, neboť vnitřní prostory audiokomory jsou stísněné. Nejdůležitější pro úspěšný výsledek vyšetření je, aby vyšetřovaná osoba byla zdravá a bez rýmy.

### Seznámení s postupem vyšetření

Každý člověk, kterého čeká, jakékoli vyšetření musí být informován o jeho průběhu. Je instruován, že bude mít na uších sluchadla pro zvuk vedený vzduchem. Jakmile uslyší tón, zmáčkne signalizační tlačítko a vyšetřující zaznamená hodnoty do audiogramu. Levé a pravé ucho je vyšetřováno zvlášť.

Po ukončení vyšetřování vzdušného vedení je zahájeno zkoumání kostního vedení. Je nutno připnout vibrátor, pro kostní vedení, na spánkovou kost za boltec a na druhé ucho dáme sluchátko. Do něj pak pouštíme šum. Ten nám pomáhá odstínit ucho, které není vyšetřováno. Tento postup opakujeme i pro druhé ucho.

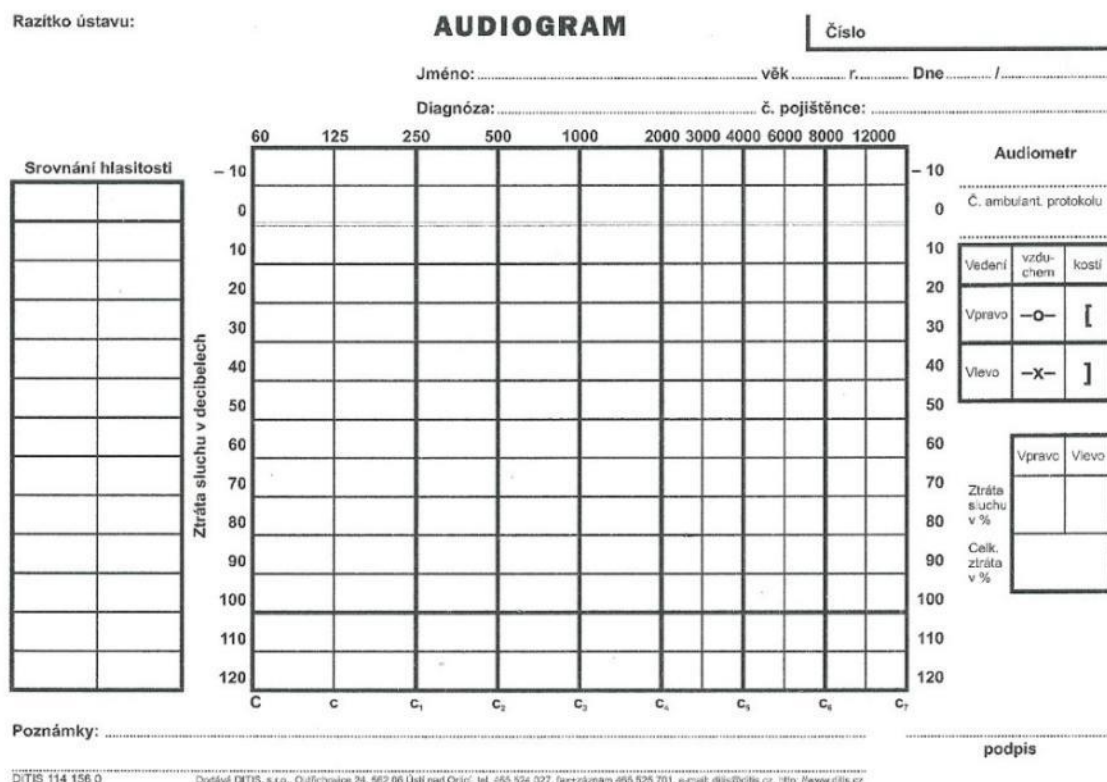
Pokud je středouší zdravé, výsledek kostního i vzdušného vedení by měl být stejný

# Samotné měření a zápis do grafu

Po ukončení instruktáže vyšetřované osoby je zahájeno vyšetření sluchu. Osobu umístíme do audiokomory, nasadíme jí sluchátka, komoru uzavřeme a zahájíme měření.

Nejprve se vyšetřuje práh slyšitelnosti vzdušného vedení pro jednotlivé frekvence. Následně zkoumáme kostní vedení, abychom vyloučili poškození přenosu středouším. Při vyšetření jsou z audiometru vysílány tóny o předem stanovených frekvencích. Začíná se na frekvenci 1000 Hz, následně pokračujeme na 2000 Hz dále na 4000 Hz, 8000 Hz a 12 000 Hz. Po zaznamenání reakcí vyšetřované osoby na tyto frekvence se vracíme zpět na 6000 Hz, 3000 Hz, 1500 Hz 1000 Hz, 500 Hz, 250 Hz a 125 Hz. Hlasitost tónu je zvyšována od -10 dB po 5 dB až do té doby, kdy ji vyšetřovaný slyší. Výsledek zapíšeme do grafu. Na průsečíku hodnot frekvence a hlasitosti tónu uděláme značku. Pravé strana se znázorňuje do audiogramu červeně. Vzdušné vedení značíme kolečkem a kostní vedení šipkou.

Levou stranu oproti pravé značíme odlišnou barvou. Pro tuto stranu je vyhrazená modrá. Vzdušné vedení znázorňujeme křížkem a kostní vedení opět šipkou.



Obrázek 7 Audiogram (foto autor)

## Vyhodnocení výsledků

Po vyšetření všech zkoumaných osob dané skupiny zpracuji aritmetický průměr jednotlivých frekvencí a zjistím, zda úbytek sluchu v závislosti na věku je stejný pro všechny frekvence. Je možné, že schopnost slyšet některé frekvence se s věkem vytrácí rychleji, než u jiných.

# Výsledky a diskuse

## Výsledky

Z výsledků a grafů je patrné, že s postupujícím věkem dochází ke zhoršení vnímání zvukových vln s vysokou frekvencí. Porucha vnímání je nejhorší cca. od 1000 Hz do 8000 Hz.

U věkových kategorií do padesáti let nedochází u frekvencí do 1000 Hz k podstatnějším změnám.

## První skupina pacientů

Do této skupiny jsem zahrnul osoby narozené v letech 1930–1940.

Tabulka 3 Naměřený práh slyšitelnosti pro dané frekvence

Jméno	Narození	Frekvence	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz
E. J.	1936	hlasitost	12 dB	10 dB	15 dB	16 dB
N. I.	1934	hlasitost	27 dB	22 dB	17 dB	12 dB
J. Ch.	1931	hlasitost	35 dB	28 dB	28 dB	30 dB
V. Ch.	1937	hlasitost	27 dB	17 dB	22 dB	22 dB
V. Ch.	1936	hlasitost	25 dB	17 dB	10 dB	15 dB
D. B.	1931	hlasitost	17 dB	10 dB	12 dB	20 dB
F. K.	1932	hlasitost	30 dB	30 dB	27 dB	25 dB
R. F.	1931	hlasitost	20 dB	17 dB	17 dB	25 dB
V. F.	1932	hlasitost	15 dB	9 dB	10 dB	27 dB
A. D.	1934	hlasitost	41 dB	51 dB	47 dB	52 dB
Průměr hlasitosti			24,90 dB	21,10 dB	20,50 dB	24,40 dB

Tabulka 4 Naměřený práh slyšitelnosti pro dané frekvence

Jméno	Narození	Frekvence	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
E. J.	1936	hlasitost	40 dB	45 dB	55 dB
N. I.	1934	hlasitost	15 dB	30 dB	72 dB
J. Ch.	1931	hlasitost	50 dB	65 dB	77 dB
V. Ch.	1937	hlasitost	25 dB	35 dB	77 dB
V. Ch.	1936	hlasitost	10 dB	37 dB	47 dB
D. B.	1931	hlasitost	27 dB	22 dB	57 dB
F. K.	1932	hlasitost	25 dB	27 dB	25 dB
R. F.	1931	hlasitost	37 dB	55 dB	65 dB
V. F.	1932	hlasitost	37 dB	65 dB	77 dB
A. D.	1934	hlasitost	55 dB	70 dB	72 dB
Průměr hlasitosti			32,10 dB	45,10 dB	62,40 dB

## Druhá skupina pacientů

Do druhé skupiny jsem zahrnul osoby narozené v letech 1960–1970.

Tabulka 5 Naměřený práh slyšitelnosti pro dané frekvence

Jméno	Narození	frekvence	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz
M. K.	1963	hlasitost	10 dB	5 dB	10 dB	10 dB
J. D.	1966	hlasitost	12 dB	3 dB	5 dB	12 dB
E. H.	1964	hlasitost	20 dB	15 dB	10 dB	7 dB
P. H.	1964	hlasitost	12 dB	7 dB	5 dB	10 dB
J. B.	1964	hlasitost	15 dB	12 dB	10 dB	15 dB
J. J.	1962	hlasitost	17 dB	10 dB	10 dB	15 dB
P. F.	1965	hlasitost	10 dB	5 dB	5 dB	5 dB
D. F.	1961	hlasitost	15 dB	10 dB	15 dB	17 dB
H. E.	1965	hlasitost	10 dB	10 dB	5 dB	7 dB
E. D.	1963	hlasitost	2 dB	2 dB	5 dB	7 dB
Průměr hlasitosti			12,30 dB	7,90 dB	8,00 dB	10,50 dB

Tabulka 6 Naměřený práh slyšitelnosti pro dané frekvence

Jméno	Narození	frekvence	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
M. K.	1963	hlasitost	5 dB	5 dB	11 dB
J. D.	1966	hlasitost	5 dB	10 dB	20 dB
E. H.	1964	hlasitost	10 dB	7 dB	7 dB
P. H.	1964	hlasitost	10 dB	15 dB	10 dB
J. B.	1964	hlasitost	15 dB	12 dB	6 dB
J. J.	1962	hlasitost	12 dB	17 dB	17 dB
P. F.	1965	hlasitost	2 dB	0 dB	10 dB
D. F.	1961	hlasitost	10 dB	7 dB	22 dB
H. E.	1965	hlasitost	5 dB	7 dB	12 dB
E. D.	1963	hlasitost	7 dB	5 dB	10 dB
Průměr hlasitosti			8,10 dB	8,50 dB	12,50 dB

## Třetí skupina pacientů

Do třetí skupiny jsem zahrnul osoby narozené v letech 1990–1997.

Tabulka 7 Naměřený práh slyšitelnosti pro dané frekvence

Jméno	Narození	Frekvence	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz
D. K.	1997	hlasitost	12 dB	10 dB	5 dB	10 dB
D. Ch.	1992	hlasitost	12 dB	7 dB	12 dB	5 dB
M. H.	1994	hlasitost	10 dB	0 dB	5 dB	2 dB
F. K.	1995	hlasitost	7 dB	0 dB	0 dB	0 dB
K. C.	1994	hlasitost	15 dB	7 dB	7 dB	7 dB
M. F.	1992	hlasitost	15 dB	5 dB	5 dB	10 dB
J. G.	1992	hlasitost	10 dB	7 dB	7 dB	12 dB
J. F.	1992	hlasitost	12 dB	10 dB	7 dB	7 dB
L. K.	1993	hlasitost	7 dB	5 dB	12 dB	7 dB
P. E.	1995	hlasitost	22 dB	17 dB	17 dB	15 dB
Průměr hlasitosti			12,20 dB	6,80 dB	7,70 dB	7,50 dB

Tabulka 8 Naměřený práh slyšitelnosti pro dané frekvence

Jméno	Narození	Frekvence	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
D. K.	1997	hlasitost	2 dB	10 dB	2 dB
D. Ch.	1992	hlasitost	0 dB	-2 dB	7 dB
M. H.	1994	hlasitost	0 dB	5 dB	0 dB
F. K.	1995	hlasitost	-2 dB	-2 dB	-2 dB
K. C.	1994	hlasitost	5 dB	5 dB	7 dB
M. F.	1992	hlasitost	10 dB	2 dB	7 dB
J. G.	1992	hlasitost	10 dB	10 dB	12 dB
J. F.	1992	hlasitost	0 dB	-2 dB	-2 dB
L. K.	1993	hlasitost	12 dB	0 dB	7 dB
P. E.	1995	hlasitost	17 dB	11 dB	15 dB
Průměr hlasitosti			5,40 dB	3,70 dB	5,30 dB

## Souhrnné tabulky

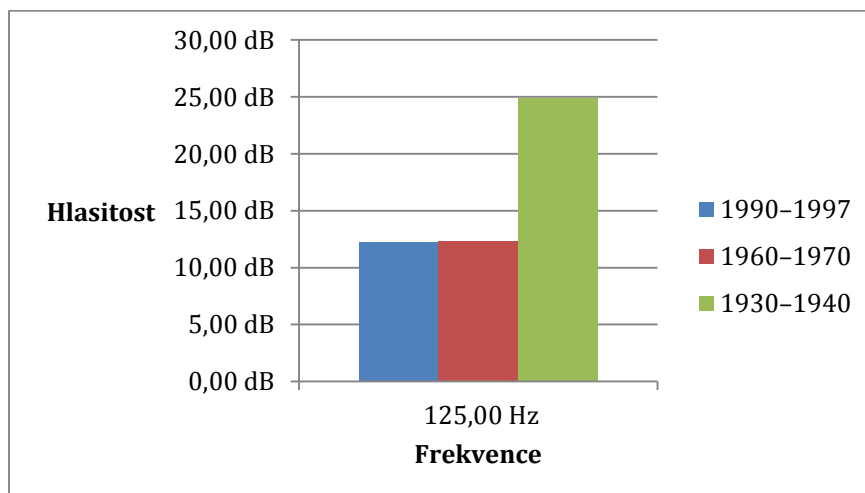
Tabulka 9 Průměrné hodnoty prahu slyšitelnosti pro dané frekvence

Ročník	Frekvence	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz
1990–1997	hlasitost	12,2 dB	6,8 dB	7,7 dB	7,5 dB
1960–1970	hlasitost	12,3 dB	7,9 dB	8,0 dB	10,5 dB
1930–1940	hlasitost	24,9 dB	21,1 dB	20,5 dB	24,4 dB

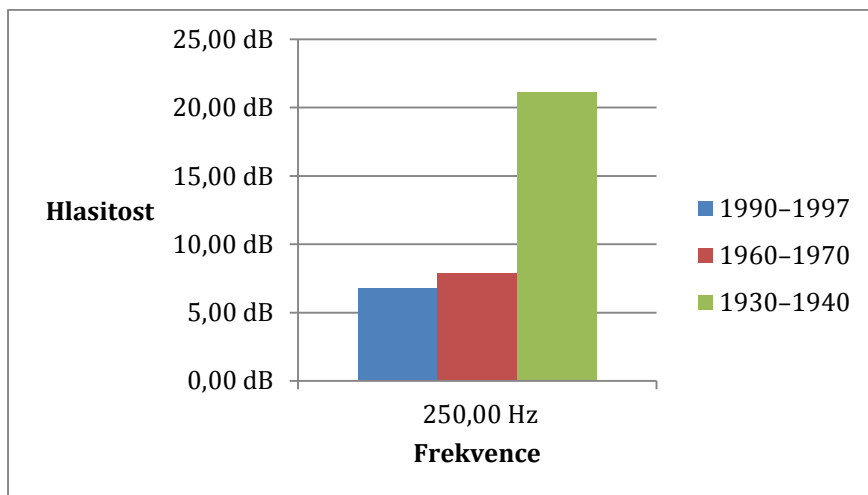
Tabulka 10 Průměrné hodnoty prahu slyšitelnosti pro dané frekvence

Ročník	Frekvence	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1990–1997	hlasitost	5,4 dB	3,7 dB	5,3 dB
1960–1970	hlasitost	8,1 dB	8,5 dB	12,5 dB
1930–1940	hlasitost	32,1 dB	45,1 dB	62,4 dB

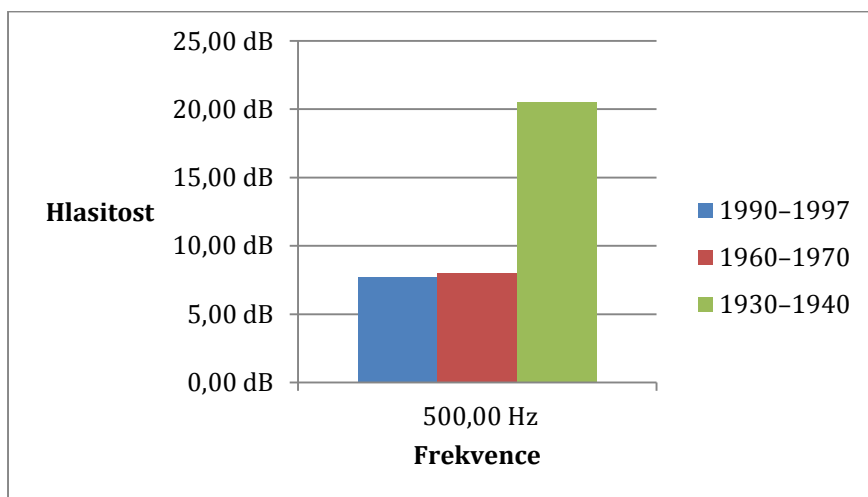
## Výsledné grafy



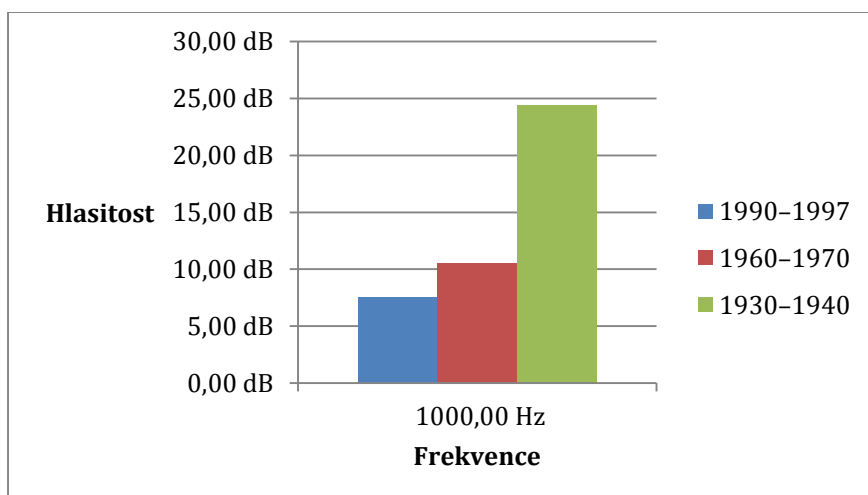
Graf 1 Práh slyšitelnosti zvuku o frekvenci 125 Hz



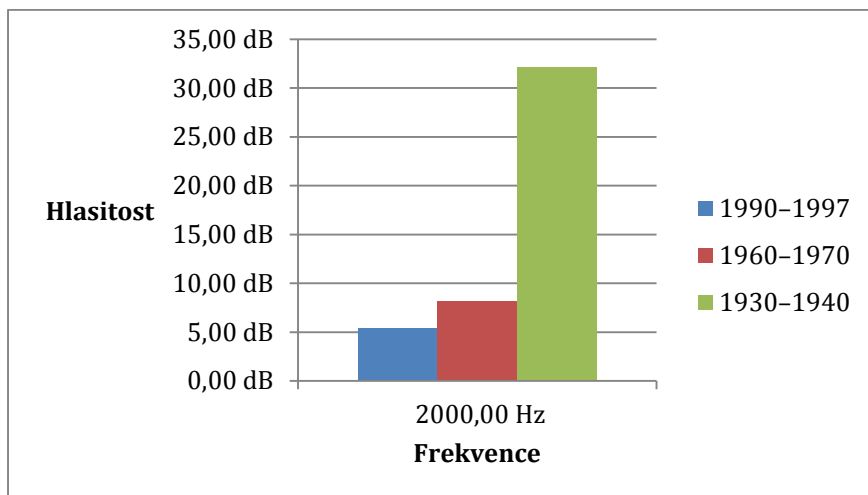
Graf 2 Práh slyšitelnosti zvuku o frekvenci 250 Hz



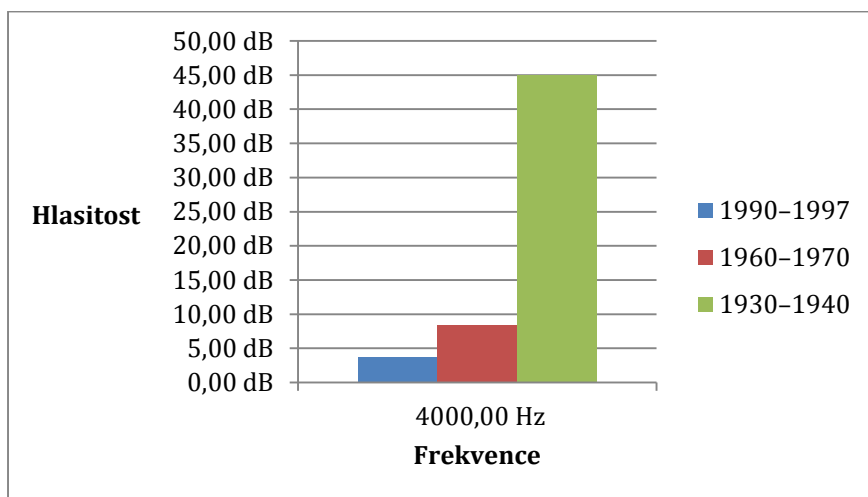
Graf 3 Práh slyšitelnosti zvuku o frekvenci 500 Hz



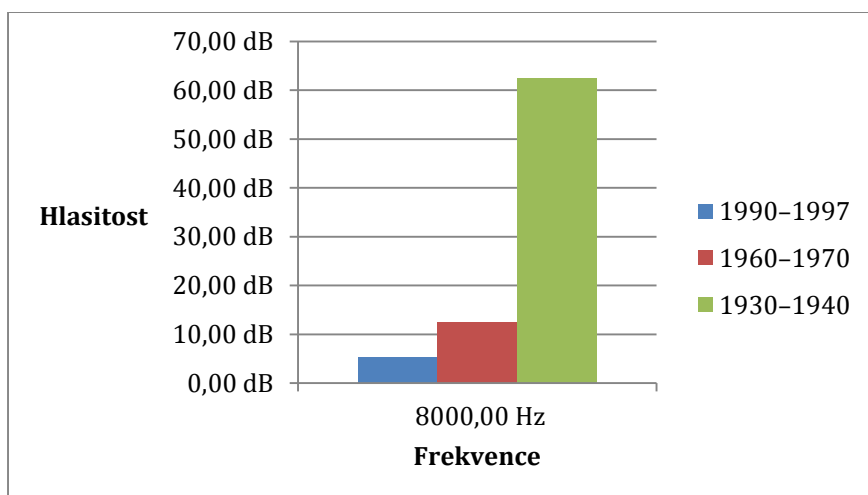
Graf 4 Práh slyšitelnosti zvuku o frekvenci 1000 Hz



Graf 5 Práh slyšitelnosti zvuku o frekvenci 2000 Hz



Graf 6 Práh slyšitelnosti zvuku o frekvenci 4000 Hz



Graf 7 Práh slyšitelnosti zvuku o frekvenci 8000 Hz



# Diskuse

V experimentu jsem pomocí měření zjistil, že k největším ztrátám sluchu v závislosti na věku dochází u vnímání vysokých frekvencí. Tóny o vysokých frekvencích jsou vnímány senzoryckými buňkami uloženými až na vrcholu hlemýždě. Hlemýžď je prokrvován jedinou artérií, která se jmenuje „*arteria labyrinthi*“ (Feneis, 1981, str. 341). Její užší větve zásobuje poslední třetinu blanitého hlemýždě, která je zodpovědná za vnímání zvuku o vysokých frekvencích.

Pokud se prokrvení této části s věkem zhoršuje, dochází k poruše vnímání těchto frekvencí. K ischemii může dojít v důsledky aterosklerosy, která je způsobena ukládáním cholesterolu do vnitřní strany cévy.

První dvě třetiny hlemýždě, které vnímají hlubší tóny, jsou zásobeny silnějším raménkem dané cévy. Senzorické buňky Cortiho orgánu jsou v této oblasti mohutnější, a proto odolnější k ischemii. Oproti tomu buňky v poslední třetině hlemýždě jsou jemnější, a proto náchylnější k ischemii.

Porucha sluchu by mohla být jistě způsobena i jiným onemocněním. Pak by, ale došlo ke ztrátě i v nižších frekvencích a to v rozmezí od 125 Hz do 1000 Hz.

Skupina měřených pacientů je poměrně malá ke statistickému zpracování, ale z časových a organizačních důvodů nebylo možné větší skupinu získat.

Výsledky lze porovnat s hodnotami uváděnými v publikaci „Audiologie“. V této publikaci na straně 105, v tabulce 4.2 jsou uváděny průměrné hodnoty sluchu různých věkových kategorií. (Novák, 2003)

# Závěr

Měřením jsme zjistili, že v závislosti na věku nedochází ke ztrátám vnímání zvuku plošně. Ke ztrátám dochází zejména u vnímání zvuku o vyšších frekvencích od 1000 HZ výše.

Úbytek sluchu i ve vysokých frekvencích je do padesáti let věku minimální. Od padesáti do osmdesáti let se pak silně zhoršuje.

Při práci jsem se seznámil s obsluhou audiometru a s metodikou audiometrie. Nemalou zkušeností byla i práce s pacienty. Z výsledků vyplývá, že skupina pacientů byla správně vybrána. Zdá se, že měření nebylo ovlivněno přidruženými patologiemi sluchového orgánu. Mezi ně patří onemocnění středouší nebo zvukovodu.

Náročnost byla značná, zejména na čas strávený v ordinaci při měření. Bylo nutno i vyčlenit časový prostor v ordinaci, kdy byl přístroj volný.

# Seznam literatury

- Bednář, J., Bajer, J., Bouchal, Z., aj. *Výkladový slovník fyziky*. Praha: Prometheus, 1999. ISBN 80-7196-151-5.
- Pople, S., Whitehead, P. *Přehled učiva-Fyzika*. Praha: Václav Svojtka & Co, 1999. ISBN 80-7237-176-2.
- Macháček, M. *Encyklopedie fyziky*. Praha: Mladá fronta, 1995. ISBN 80-204-0237-3.
- Svoboda, E., Bartuška, K., Bednařík, M., aj. *Přehled středoškolské fyziky*. 3. vydání. Praha: Prometheus, 2005. ISBN 80-7196-116-7.
- Tarábek, P., Červinková, P., aj. *Odmaturuj z fyziky*. 2. vydání. Brno: Didaktis, 2006. ISBN 80-7358-058-6.
- Feneis, H. *Anatomický obrazový slovník*. Praha: Avicenum / zdravotnické nakladatelství, 1981. ISBN 08-096-81.
- Jelínek, J., Zicháček, V. *Biologie pro gymnázia*. 9. vydání. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 2007. ISBN 978-80-7182-213-4.
- Kollár, A. *Audiometrie*. Brno: b. n., vydáno vlastním nákladem, 1974
- Novák, A. *Audiologie*. Praha: Tisk Unitisk, spol. s. r. o, vydáno vlastním nákladem, 2003
- Barnes, R., Bates, P., & K. Bearder, S. aj. *Zvíře*. Praha: Euromedia Group k. s. – Knižní klub, 2002. ISBN 80-242-0862-8.
- Anatomie lidského ucha* [online]. Wikipedie, otevřená encyklopedie. 2013 [cit. 2013-02-05]. Dostupné na <[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d2/Anatomy\\_of\\_the\\_Human\\_Ear\\_cs.svg/800px-Anatomy\\_of\\_the\\_Human\\_Ear\\_cs.svg.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d2/Anatomy_of_the_Human_Ear_cs.svg/800px-Anatomy_of_the_Human_Ear_cs.svg.png)>.
- Cochlea-crosssection* [online] Wikipedia, the free encyclopedia. 2013 [cit. 2013-02-05]. Dostupné na <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cb/Cochlea-crosssection.svg/512px-Cochlea-crosssection.svg.png>>.
- Smysly* [online] Paichl, P. [cit. 2013-01-06]. Dostupné na <<http://www.paichl.cz/paichl/knihy/Smysly.htm>>.
- Zvuk* [online] Wikipedie, otevřená encyklopedie. [cit. 2012-01-03]. Dostupné na <[https://cs.wikipedia.org/wiki/Barva\\_zvuku#Barva\\_zvuku](https://cs.wikipedia.org/wiki/Barva_zvuku#Barva_zvuku)>.
- Žraloci* [online] Wikipedie, otevřená encyklopedie. [cit. 2012-01-03]. Dostupné na <<http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDraloci>>.

*Ucho* [online] Wikipedie, otevřená encyklopedie. [cit. 2012-01-02]. Dostupné na <<https://cs.wikipedia.org/wiki/Ucho> >.

*Smyslová soustava ptáků* [online] Wikipedie, otevřená encyklopedie. [cit. 2012-01-01]. Dostupné na <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Smyslov%C3%A1\\_soustava\\_pt%C3%A1k%C5%AF](http://cs.wikipedia.org/wiki/Smyslov%C3%A1_soustava_pt%C3%A1k%C5%AF) >.

*Sluch* [online] Wikipedie, otevřená encyklopedie. [cit. 2012-01-01]. Dostupné na <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Sluch> >.

Petříčková, J. *Letní koncerty aneb hmyz slyší*. Příroda.cz [online] 2006, [cit. 2012-01-03]. Dostupné na <<http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=704> >. ISSN 1801-2787.

Weinerová, L. *Druhová komunikace*. Příroda.cz [online] 2007, [cit. 2012-01-03]. Dostupné na <<http://www.priroda.cz/clanky.php?detail=900odkazy.doc> >. ISSN 1801-2787.