VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2020 Eliška Novotná

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

BINAURÁLNÍ SLUCHADLOVÁ KOREKCE S JEDNOZDROJOVÝM Nnapájením
BINAURAL HEARING AID CORRECTION WITH ONE POWER SUPPLY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Eliška Novotná**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Mgr. Daniel Vlk, CSc.**
SUPERVISOR

BRNO 2020

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se bude věnovat binaurální korekci sluchu s jednozdrojovým napájením. Korekce je zaměřena pro starší pacienty, trpící nejčastěji presbyakuzí. Teoretická část je zaměřena na jednotlivé typy nedoslýchavostí, možností jejich audiologického vyšetření, a také teorií o sluchadlech. Praktická část obsahuje model sluchadla, jeho zapojení a možný způsob otestování. Práce také obsahuje porovnání jednotlivých binaurálních korekcí s navrženým modelem.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sluchadlová korekce, nedoslýchavost, audiologie, presbyakuze, binaurální korekce

ABSTRACT

This thesis will be devoted to binaural hearing correction with single source power. This correction is aimed at elderly patients who are most likely to have presbycusis. The theoretical part is focused on individual types of hearing loss, possibilities of their audiology tests, also about theory of hearing aids. The practical part contains a model of hearing aid and a possible way of testing. The work compares binaural corrections with proposed model.

KEYWORDS

Hearing aid correction, hearing loss, audiology, presbycusis, binaural correction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOVOTNÁ, Eliška. Binaurální sluchadlová korekce s jednozdrojovým napájením [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/126717. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Daniel Vlk.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Binaurální sluchadlová korekce s jednozdrojovým napájením jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: ……

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu Mgr. Danielu Vlkovi, CSc. a konzultantovi bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Sekorovi za jejich odborné vedení, podnětné návrhy a ochotu ke konzultaci problémů. Dále bych chtěla poděkovat firmě DobrýSluch.cz za vřelou pomoc a poskytnutí komponentů potřebných k vytvoření bakalářské práce.

Brno ....

Obsah

1 SLUCHOVÉ VADY 8

1.1 ROZDĚLENÍ SLUCHOVÝCH VAD 8

1.1.1 Převodní nedoslýchavost 8

1.1.2 Senzorineurální nedoslýchavost 9

1.2 NEDOSLÝCHAVOSTI ŘEŠENÉ SLUCHADLOVOU KOREKCÍ 9

2 AUDIOMETRIE 12

2.1 SLUCHOVÉ POLE 12

2.2 SLUCHOVÉ ZKOUŠKY 13

2.2.1 Ladičkové zkoušky 13

2.2.2 Tónová audiometrie 14

2.2.3 Řečová audiometrie 15

2.2.4 Tympanometrie 16

2.2.5 Otoakustické emise 17

2.2.6 Audiometrie sluchových evokovaných odpovědí 17

3 SLUCHADLA 18

3.1 KOMPONENTY SLUCHADEL 18

3.1.1 Mikrofon 18

3.1.2 Zesilovač 18

3.1.3 Přímý audiovstup 19

3.1.4 Baterie 19

3.1.5 Reproduktor 20

3.1.6 Regulátor hlasitosti 21

3.1.7 Indukční cívka 21

3.2 ROZDĚLENÍ SLUCHADEL 21

3.2.1 Rozdělení dle zpracování akustického signálu 21

3.2.2 Rozdělení dle charakteru přenosu zvuku 23

3.2.3 Rozdělení dle tvaru 23

4 NÁVRH BINAURÁLNÍ SLUCHADLOVÉ KOREKCE S JEDNOZDROJOVÝM NAPÁJENÍM 28

4.1 NÁVRH SLUCHADLA 28

4.2 KOMPONENTY 29
4.3 VYTVOŘENÍ KRYTU 32
4.3.1 Kryt sluchadla 32
4.3.2 Plošný spoj 36
4.3.3 Program Autodesk Inventor a Autodesk Fusion 360 37
4.3.4 3D tisk 37
4.4 MODEL SLUCHADLA 38
5 VLASTNÍ SLUCHADLO A OVĚŘENÍ JEHO FUNKČNOSTI 41
5.1 VYTVOŘENÍ UŠNÍCH KONCOVEK 41
5.1.1 Ušní otisk 41
5.1.2 Individuální koncovky 42
5.2 NASTAVENÍ SLUCHADLA 45
5.2.1 Zajištění kontaktu pro nastavení 45
5.2.2 Nastavení zesílení 46
5.3 OVĚŘENÍ FUNKCE SLUCHADLA 47
6 POROVNÁNÍ NAVRŽENÉHO SLUCHADLA S JINÝMI BINAURÁLNÍMI ZAŘÍZENÍMI 48
6.1 CROS KOREKCE 48
6.2 BICROS KOREKCE 49
6.3 TELEVIZNÍ SYSTÉMY 50
6.4 BRÝLOVÁ SLUCHADLA 51
7 ZÁVĚR 52
LITERATURA 53

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Oblast převodní nedoslýchavosti [47] 8

Obrázek 1.2 Oblast senzorineurální nedoslýchavosti [47] 9

Obrázek 2.1 Sluchové pole člověka [37] 12

Obrázek 2.2 Ladičky ke sluchovým zkouškám [28] 13

Obrázek 2.3 Audiogram [3] 14

Obrázek 2.4 Záznam řečové audiometrie [38] 15

Obrázek 2.5 Tympanometrické křivky [44] 16

Obrázek 2.6 Přístroj na otoakustické emise [2] 17

Obrázek 3.1 Zinkovzduchové baterie [23] 19

Obrázek 3.2 Dobíjecí baterie [35] 20

Obrázek 3.3 Blokové schéma analogového sluchadla [7] 22

Obrázek 3.4 Blokové schéma digitálního sluchadla [42] 22

Obrázek 3.5 Typy zvukovodových sluchadel [32] 24

Obrázek 3.6 Typy závěsných sluchadel [6] 25

Obrázek 3.7 Brýlová sluchadla [34] 26

Obrázek 3.8 Sluchadla BAHA [5] 27

Obrázek 4.1 Blokové schéma zapojení sluchadla 29

Obrázek 4.2 Schéma zapojení zesilovače 30

Obrázek 4.3 Modely jednotlivých komponent použitých ve sluchadle: 1. Zesilovač 2.Potenciometr 3. Baterie 675 4. Reproduktor 5. Mikrofon 32

Obrázek 4.4 Víko – vrchní část 33

Obrázek 4.5 Tělo hlavní části 33

Obrázek 4.6 Zásuvka 34

Obrázek 4.7 Ušní oblouk 34

Obrázek 4.8 Plastová část u ušního oblouku 35

Obrázek 4.9 Plastová část u hlavní části 35

Obrázek 4.10 Gumová část umístěná mezi plastovými částmi 35

Obrázek 4.11 Schéma plošného spoje 36

Obrázek 4.12 Náhled na jednotlivé součásti krytu 38

Obrázek 4.13 Náhled z jiného úhlu na jednotlivé součásti krytu 38
Obrázek 4.14 Pohled dovnitř těla sluchadla 39
Obrázek 4.15 Pohled dovnitř ušního oblouku 39
Obrázek 4.16 Pohled na finální sluchadlo 40
Obrázek 4.17 Pohled na finální sluchadlo z jiného úhlu 40
Obrázek 5.1 Otisk ucha 41
Obrázek 5.2 Postup výroby tvrdé koncovky 42
Obrázek 5.3 Typy individuálních tvrdých koncovek [21] 43
Obrázek 5.4 Ušní koncovky typu třmen 43
Obrázek 5.5 Kontakty pro připojení k PC 45
Obrázek 5.6 Nastavení zesílení pro pravé ucho pomocí programu Genie 2 46
Obrázek 5.7 Interacoustics hearing aid analyzer MS25 [22] 47
Obrázek 6.1 Cros korekce 48
Obrázek 6.2 BiCros korekce 49

ÚVOD

Sluch je jedním ze základních smyslů člověka ovšem díky určitým příčinám o něj člověk může začít přicházet. Ztráta sluchu je způsobena vícero možnými faktory, mezi které patří různá onemocnění, traumata anebo věk.

Pro stanovení nedoslýchavosti se provádí sluchové zkoušky, kterým se bude zabývat kapitola č. 2. Tyto zkoušky se provádí jak po narození, tak i v pozdějším věku. Z výsledků těchto zkoušek se získávají různé grafy, podle kterých se poté při určité sluchové vadě volí korekce, která kompenzují ztrátu sluchu. Jednotlivým ztrátám sluchu, které jsou nejčastěji řešeny sluchadlovou korekcí se věnuje kapitola č. 1.

Sluchadlová korekce je jednou z nejčastějších kompenzací sluchových ztrát, kterými v dnešní době trpí řada lidí především v pozdějším věku. Ve třetí kapitole je tedy uvedená teorie ke sluchadlům. Je v ní uvedeno, jaké existují druhy sluchadel, z jakých komponentů se sluchadlo skládá a také na jakém principu může fungovat. V kapitole poslední je návrh binaurální sluchadlové korekce s jedním napájecím zdrojem. Tato korekce je zaměřena pro starší generaci, jelikož bude sluchadlo vytvořeno k velkým sluchovým ztrátám. Sluchadlo bude uzpůsobeno pro korekci ztrát na obou stranách najednou a tím pádem jeho uživatel nebude moci nosit jen jednu sluchadlovou korekci, a kompenzovat si tak ztrátu jen z jedné části.

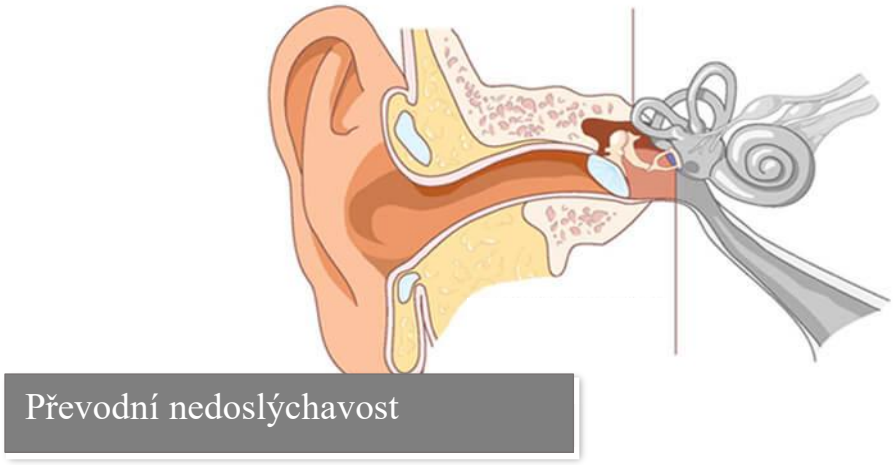
1 SLUCHOVÉ VADY

1.1 Rozdělení sluchových vad

Sluchové vady můžeme rozdělit do dvou skupin podle toho, kde se vyskytuje sluchový problém.

1.1.1 Převodní nedoslýchavost

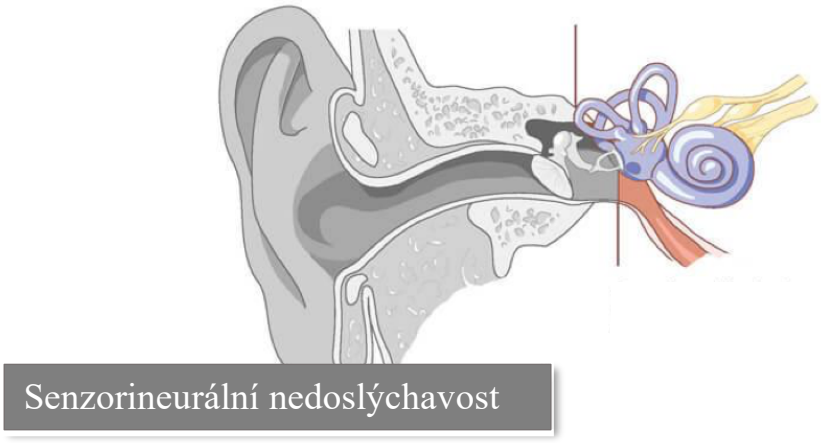
Převodní sluchová vada je způsobena špatným přenosem zvuku do ucha. Jedná se především o určitou blokaci ve vnějším či středním uchu, která je na obrázku 1.1 znázorněná barevně, která brání přenosu. Během převodních vad nedochází k vážným sluchovým ztrátám spíše lehkým, většinou do 65 dB. Může být jen dočasná, ale pokud ne, může se kompenzovat sluchadly (klasickými s přenosem vzduchem či BAHA) nebo implantátem. Mezi převodní nedoslýchavosti patří: hromadění ušního mazu, zúžení zevního zvukovodu, záněty zevního zvukovodu, středoušní záněty, sekretorická otitida, chronický hnisavý středoušní zánět, otoskleróza, tympanoskleróza nebo adhezivní proces a atelektáza bubínkové dutiny. [39] [41]



Obrázek 1.1 Oblast převodní nedoslýchavosti [47]

1.1.2 Senzorineurální nedoslýchavost

Senzorineurální nebo také percepční nedoslýchavost je způsobena poruchami ve vnitřním uchu nebo vadou sluchového nervu, v obrázku 1.2 barevná část. Příčiny senzorineurálních vad se liší podle toho, o kterou vadu se jedná. Mezi senzorineurální vady patří např.: presbyakuze, Ménierova choroba, autonomní onemocnění vnitřního ucha, toxicky podmíněná nedoslýchavost, náhlá ztráta sluchu, poškození sluchu hlukem. [40] [41]



Obrázek 1.2 Oblast senzorineurální nedoslýchavosti [47]

1.2 Nedoslýchavosti řešené sluchadlovou korekcí

Většina senzorineurálních vad, ale i některé převodní vady, pouze za předpokladu, že Cortiho orgán v hlemýždi vnitřního ucha funguje správně, jsou řešené sluchadlovou korekcí. V práci jsou uvedené postupně dle výskytu.

Presbyakuze

Jedná se o stařeckou nedoslýchavost, jde o postupné poškození sluchu vlivem stáří. Snižuje se počet sluchových buněk a zároveň jejich funkčnost. Presbyakuze patří mezi senzorineurální vady, u kterých bez korekce ztráta sluchu postupně roste s přibývajícím věkem. [19]

Chronický hnisavý středoušní zánět

Chronický hnisavý středoušní zánět patří mezi převodní sluchové vady, je to onemocnění trvající déle než 6 týdnů. Vyznačuje se patologickou ušní sekrecí při perforaci bubínku. Během onemocnění dochází k postupnému zvyšování nedoslýchavosti a z rentgenového snímku je patrná změna na spánkové kosti. [9] [19]

Otoskleróza

Otoskleróza je charakterizována remodelací spongiózní kosti kostěné kapsule ve vnitřním uchu, která vede ke ztrátě sluchu. Patří mezi převodní nedoslýchavosti. Diagnózu je možno odvodit z audiogramu, ve kterém je možno vidět tzv. Carhartův zub, který je pro toto onemocnění typický. Při oteoskleróze je možný operativní zákrok či korekce sluchadly. [12] [19]

Chronické poškození sluchu hlukem

Hluk je velmi výrazným faktorem, který škodí lidskému zvuku. Za hluk se považuje jakýkoliv zvuk, který obtěžuje, ruší a negativně působí na lidský sluch. Důvodem tohoto problému může být dlouhodobé vystavení hluku či akutní trauma, kde se mohou odlišit trauma akustická nebo explozní. Následky poškození hlukem mohou být krátkodobé, ale i trvalé. Je důležité zdůraznit, že poškození se netýká ztráty na všech frekvencí. V případě trvalého poškození se doporučuje kompenzace sluchadly. [19]

Tympanoskleróza

Tympanoskleróza je onemocnění, které postihuje pouze bubínek, patří mezi převodní vady. Vyznačuje se hyalinizací a ukládáním depozit kalcia. Kromě sluchadlové korekce je možná korekce operativní neboli tympanoplastika. [19]

Méniérova choroba

Je choroba postihující vnitřní ucho, které zodpovídá za sluch, ale také rovnováhu. U Méniérovy choroby dochází k prolínání endolymfy do perilymfy v důsledku ruptury labyrintu. Je charakteristická pocitem plného ucha, náhlou jednostrannou ztrátou sluchu, problémy s rovnováhou a závratěmi. Sluchadla se doporučují v pokročilé formě této choroby a je třeba brát ohledy na to, že ztráta se může ještě prohloubit. [19] [30] [31]

Náhlá ztráta sluchu

Jedná se o senzorineurální vadu, která je typicky jednostranná. Pro náhlou ztrátu sluchu je typický pokles na minimálně třech sousedních frekvencích o minimálně 30 dB. Kompenzace sluchadly se doporučuje, pokud léčebné pokusy nepomohou. [19]

Adhezivní proces a atelektáza bubínkové dutiny

Převodní vada, ke které dochází při dlouhodobém negativním tlaku ve středouší. Dochází ke smrštění bubínku v důsledku nefunkční sluchové trubici. U tohoto onemocnění se upřednostňuje kompenzace sluchadly před operačním zákrokem, který má nejisté výsledky. [19]

Toxicky podmíněná nedoslýchavost

Patří mezi senzorineurální nedoslýchavosti, které vznikají nežádoucími účinky léků nebo chemických látek. Dochází k poškození jak kochley, tak vestibulárního labyrintu. Důležité u toho onemocnění je při jeho zjištění okamžité vysazení ototoxického léku. [19]

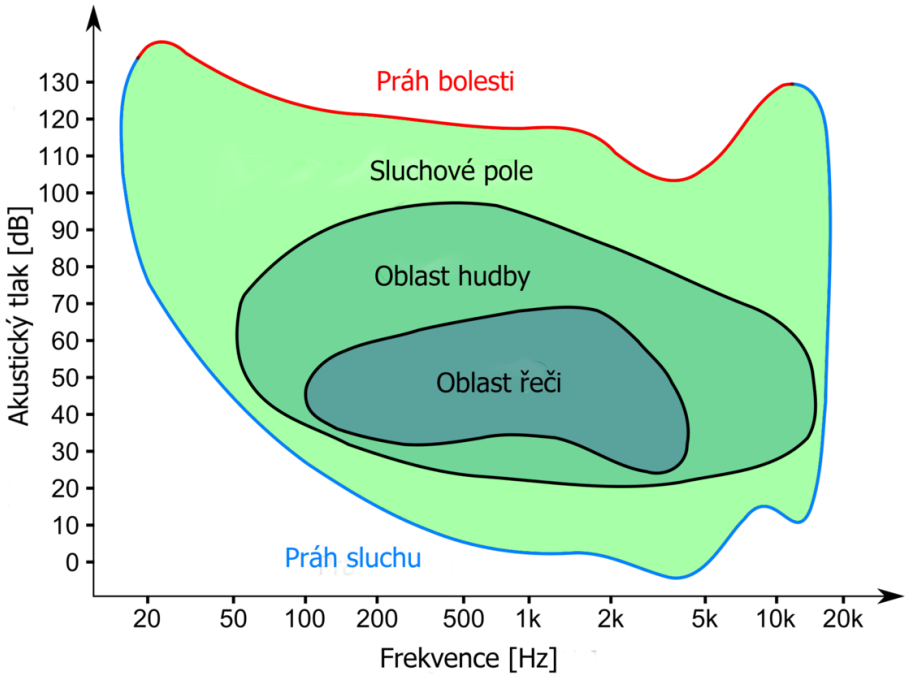
Autonomní onemocnění vnitřního ucha

Je vzácná vada, která je nekontrolovatelnou odpovědí imunitního systému. Je onemocněním patřící mezi senzorineurální vady, společně se sluchovými problémy ho doprovází poruchy rovnováhy. Při diagnostice je třeba vyloučit systémové onemocnění. [10] [19]

2 AUDIOMETRIE

2.1 Sluchové pole

Sluchové pole je rozsah zvuků, které je lidské ucho schopno vnímat. Je vymezeno prahem sluchu a prahem bolesti, přibližně se sluchové pole nachází mezi 16-20 000 Hz. Práh sluchu vymezuje minimální intenzity, které je ještě lidské ucho schopno vnímat. Práh bolesti je oproti tomu vymezení intenzit, u kterých přechází vnímání zvuku v bolest. Pro každou frekvenci je jiná intenzita. Lidský sluch je ovšem nejcitlivější pro frekvenční oblasti 1-5 kHz, směrem k nižším i vyšším frekvencím citlivost klesá. Při sluchových vadách mění sluchové pole svůj tvar. [33] [37]



Obrázek 2.1 Sluchové pole člověka [37]

2.2 Sluchové zkoušky

Sluchové zkoušky slouží k vyšetření sluchu a pomáhají při diagnostice onemocnění. Sluchové zkoušky můžeme rozdělit na subjektivní a objektivní.

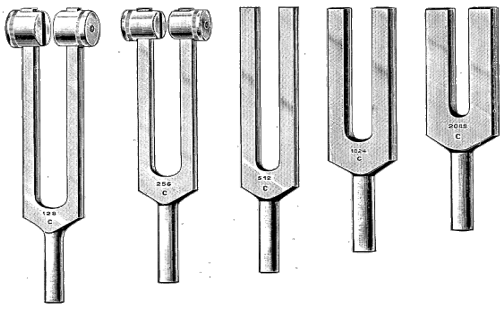
2.2.1 Ladičkové zkoušky

Ladičkové zkoušky patří mezi subjektivní zkoušky, jsou orientačním vyšetřením v diagnostice nedoslýchavosti, které předcházejí již podrobnějším audiometriím např. tónové či impedanční. Pomocí ladiček (obrázek 2.2) se vyšetřuje jak vzdušné, tak kostní vedení a poté dochází k porovnávání výsledků. Rozlišují se především dva typy ladičkových zkoušek.

Weberova zkouška slouží k vyšetření binaurálních vad. Princip spočívá v umístění nazvučené ladičky ve střední čáře hlavy a dochází k porovnávání kostního vedení mezi pravým a levým uchem. V případě asymetrických nedoslýchavostí dochází k rozdílnému vnímání lateralizace, tj. slyšení ladičky ze strany. U pacientů se zdravým sluchem či symetrickou nedoslýchavostí osoba nelateralizuje.

Rinneho zkouška je oproti Weberově monaurální. Při této zkoušce dochází k porovnávání kostního a vzdušného vedení na stejném uchu. Ladička se zkouší umístěná ve dvou různých polohách nejprve přiložena u processus mastoideus a poté, když už není slyšet tak u zvukovodu. Zkouška je buď pozitivní tedy slyšíme déle ladičku umístěnou u zvukovodu či negativní, kdy je déle slyšet ladička umístěna na processus mastoideus

Metoda, které se v dnešní době již moc nepoužívá se jmenuje Schwabachova zkouška. Při této metodě se posuzuje kostní vedení pacienta ku vedení lékaře. Rozeznělá ladička se nejprve přiloží na kost za uchem pacienta a poté lékaře. Akustický vjem pacienta je zkrácen, pokud ladičku slyší podstatně kratší dobu, než ji slyší lékař. [13] [19] [48]

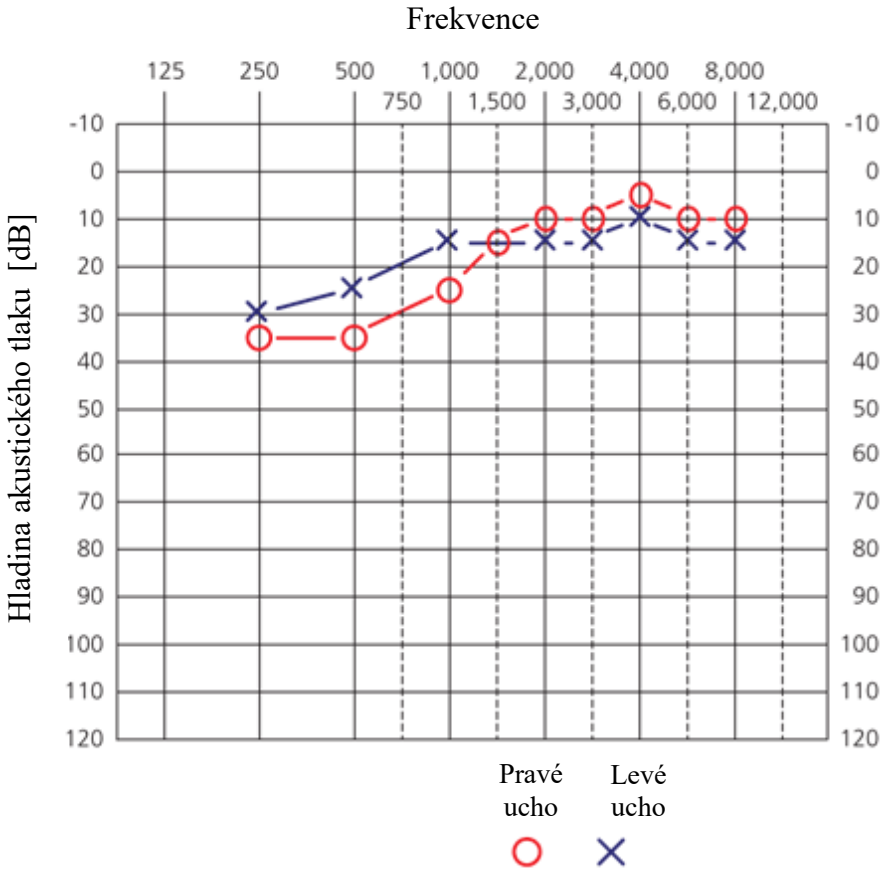


Obrázek 2.2 Ladičky ke sluchovým zkouškám [28]

2.2.2 Tónová audiometrie

Tónová audiometrie je základním vyšetřením v diagnostice nedoslýchavosti. Jedná se o subjektivní vyšetření ztrát kostního i vzdušného vedení. Tato metoda patří mezi subjektivní, jelikož pacient, který je umístěný ve speciální audiokomoře, sám určuje, zda určité tóny slyší či neslyší. Každý tón určuje jinou frekvenci, pokud ho vyšetřovaná osoba neslyší přidává se o 5 dB na hlasitosti zvuku a výsledky se poté zapisují do audiogramů (obr.2.3).

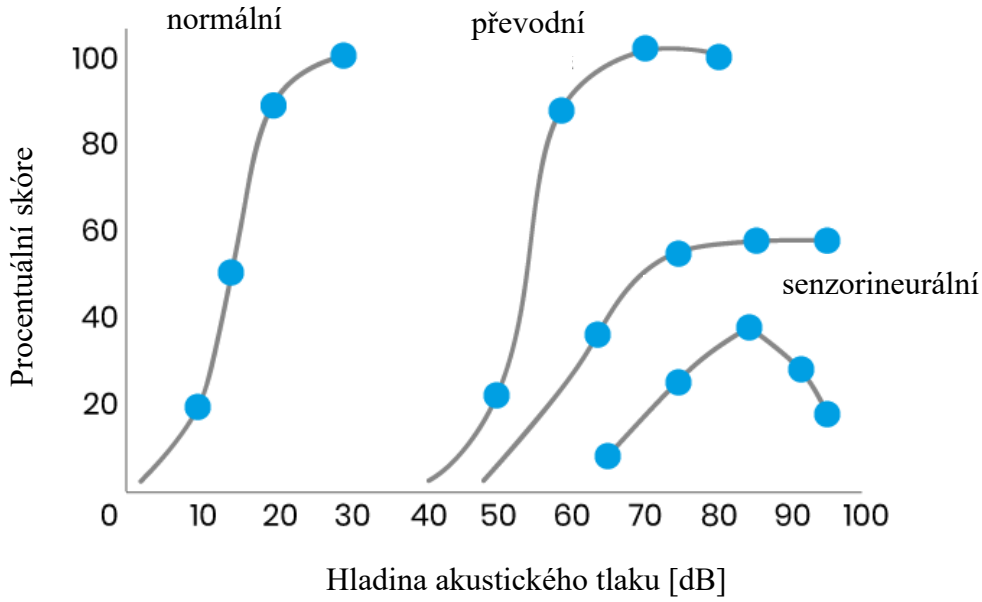
Audiogram se provádí zvlášť pro pravé i levé ucho a na každém uchu zvlášť pro kostní a vzdušné vedení. Pravé ucho se značí červeným kolečkem pro vedení vzdušné a < pro vedení kostní zatímco levé ucho barvou modrou a tvarem X pro vzdušné a > pro vedení kostní. Audiogram je nápomocen při základním nastavení sluchadla. [18] [19] [26]



Obrázek 2.3 Audiogram [3]

2.2.3 Řečová audiometrie

Řečová audiometrie probíhá podobně jako audiometrie tónová v audiokomoře, používá se také mikrofon. Princip spočívá v tom, že pacient nejdříve poslouchá určitá slova o určité intenzitě a následně opakuje ta, kterým rozuměl, přičemž se u této audiometrie hodnotí procento správně řečených slov. Je zde několik dalších sledovaných parametrů, mezi ně patří práh detekce, práh porozumění, maximální diskriminační skóre (nejvyšší dosažené procento porozumění). Dále se pozoruje, o jaký typ křivky se může jednat a jak velký je u křivky úhel sklonu. [18] [19] [26]



Obrázek 2.4 Záznam řečové audiometrie [38]

2.2.4 Tympanometrie

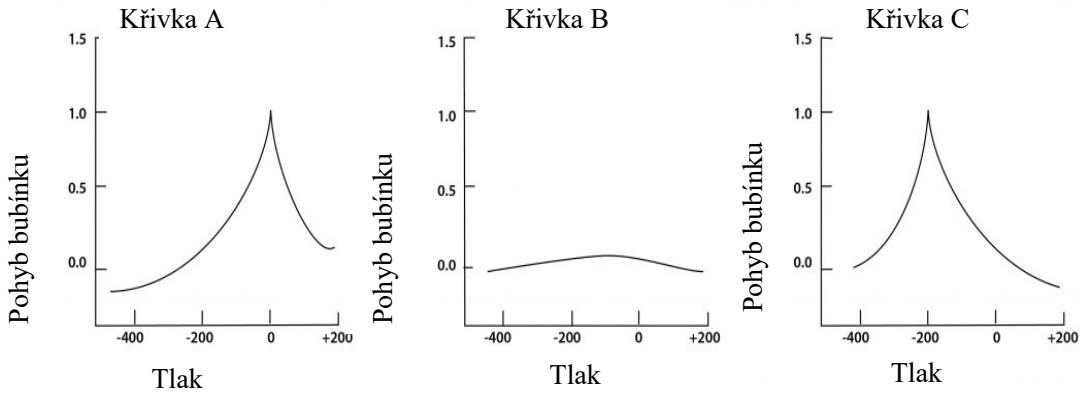
Je objektivní vyšetření sluchu za pomoci změn tlaku v zevním zvukovodu. Registruje poddajnost a odpor bubínku a také ušních kůstek. Vyšetření se provádí tympanometrem, který zaznamenává údaje ve tvaru křivky neboli tympanogramu. Tympanometrie funguje na principu odrazu zvuku od bubínku. Když je odpor větší také jinak čím je bubínek tužší, tím více zvuku se odrazí a přesně naopak. To vyjadřuje termín compliance: poddajnost bubínku a kůstek středního ucha, zatímco druhý termín admitance vyjadřuje tuhost.

Tympanometr vysílá zvukové vlny k bubínku, přijímá a zpracovává odražené zvukové vlny od bubínku. Tympanometr přitom také mění tlak vzduchu v zevním zvukovodu. Tympanometrické křivky se nejčastěji rozdělují do tří základních typů podle Jergera viz obr. 2.5.

Křivka A, která nabývá fyziologických hodnot, má svůj vrchol v nulových hodnotách, který značí aktuální tlak ve středouší. U křivky A se sleduje, jak vysoký je vrchol, pokud je níže než 0,3 ml jedná se o křivku As a je typická pro zvýšenou admitanci a může se objevit u zvýšené fixace řetězů kůstek. Pro křivku Ad, která má vrchol na 1,2 ml je naopak typická zvýšená pohyblivost a objevuje se při atrofickém bubínku nebo rozvonění řetězu kůstek.

Křivka B je výrazně plochá bez vrcholu. Při různých tlacích odráží stále stejné množství zvuku. Může nastat při perforaci bubínku či svědčí o sekretu ve středoušní dutině.

Křivka C má svůj vrchol posunutý v negativních hodnotách, znamená poruchu ventilační funkce Eustachovy trubice. [8] [15] [18] [19] [26] [43]



Obrázek 2.5 Tympanometrické křivky [44]

2.2.5 Otoakustické emise

Je objektivní vyšetření, které se provádí pro zjištění, zda se u člověka nevyskytuje některá sluchová porucha. Jelikož je toto vyšetření neinvazivní, jednoduché, trvá jen krátkou chvíli a je třeba zdůraznit, že zcela bezbolestné, provádí se u novorozených dětí třetí nebo čtvrtý den života. Zevní vláskové buňky Cortiho orgánu reagují na speciálně upravené stimuly vytvořením slabého zvuku, který se zachycuje citlivými mikrofony, tomuto jevu se říká otoakustické emise. Emise jsou jen u osob s normálním sluchem či se ztrátou sluchu menší než 20 dB, pokud se u člověka nevyskytují může se jednat o určitou sluchovou vadu. [14] [18] [19] [26] [36]

Obrázek 2.6 Přístroj na otoakustické emise [2]

2.2.6 Audiometrie sluchových evokovaných odpovědí

Metoda nespočívá ve zpracování zvuku nýbrž bioelektrických impulzů. Jedná se o objektivní vyšetření sluchu. Tyto impulzy vznikají ve vnitřním uchu a šíří se sluchovým nervem a drahami do sluchového centra v mozku. Tato metoda tedy zkoumá sluchové dráhy. Měřenou veličinou je v tomto případě čas od počátku stimulačního signálu, který se u každého jednotlivce mění, tato doba se nazývá latenční okno. Stimulační signál se může měnit podle toho, která část dráhy se zkoumá. [16] [19] [46]

3 SLUCHADLA

Jsou malá elektronická zařízení, která se nosí za uchem nebo v uchu. Slouží pro osoby s určitými poruchami sluchu. Sluchadla zvuk zesilují a upravují tak, aby nahradila jednotlivé ztráty na určitých frekvencích a pomohla vylepšit sluch.

3.1 Komponenty sluchadel

Sluchadlo se skládá z několika základních součástek, mezi něž patří: mikrofon, zesilovač, reproduktor a baterii. Sluchadlo také obsahuje regulátor hlasitosti, indukční cívku (jen v některých případech) a přímý audiovstup. [19] [21]

3.1.1 Mikrofon

Mikrofon slouží v sluchadlu jako přijímač zvuku, který ho zároveň mění do podoby elektrického signálu. Rozlišují se sluchadla, která obsahují pouze jeden mikrofon, ty se označují za sluchadla se všesměrovým mikrofonním systémem (s kulovou charakteristikou), jelikož snímají zvuk ze všech směrů stejně a více mikrofony s mikrofonním systémem směrovým. Sluchadla by měla být umístěna tak, aby nedocházelo ke stínění hlavy.

U sluchadel s více mikrofony existuje minimální vzdálenost mezi nimi, díky čemuž dochází k časovému zpoždění u zadních mikrofonů, vzdálenost přesně určuje zpoždění, které se poté zpracovává v zesilovači, proto musí být oba mikrofony (či více) připojeny na zesilovač jednotlivě a mají svá přesná umístění. Tohoto zpoždění se využívá pro lepší dosažení poměru signál-šum (dále jen SNR – Signal-to-Noise Ratio), kde se za signál považuje řeč a za šum zvuky okolního prostředí, které zhoršují srozumitelnost řeči. V dnešní době se nejčastěji využívají duální mikrofony. [19] [21] [27]

3.1.2 Zesilovač

Zesilovač je nejdražší a nejsložitější součástí sluchadla. Na zesilovači je uložen čip, který je v novějších sluchadlech je vystřídán procesorem. Na zesilovač vede vodiči spojení z mikrofonu. Hlavním úkolem zesilovače je tedy zesílit mikrofonem zachycený a do elektřiny převedený zvuk. Zároveň na něm dochází k mnohým úpravám daného signálu také díky regulátoru hlasitosti, který je na zesilovač napojen. Na zesilovač je také napojen reproduktor, na který odchází upravený signál, přímý audiovstup, a především

baterie jako zdroj napájení. U moderních sluchadel zesilovače obsahují také systém Bluetooth, který dovede propojit sluchadlo s jinými spotřebiči.

Podle zesilovače se také rozeznává, o jaký model sluchadla se jedná. A to podle čipu či procesoru, který je umístěn na zesilovači, kam se nahrává nastavení zvuku pro vysoké (4000–8000 Hz), střední (1000–2000 Hz) a nízké frekvence (250–500 Hz). Nejčastěji se vysoké zeslabují (např. jedoucí záchranky) a naopak střední a nízké zesilují (např. řeč a šepot). Zároveň se dají nahrát různé programy, které si může majitel nastavovat buď přepínačem programů umístěným na krytu sluchadla nebo dálkovým ovládáním. Existují programy na komunikaci v hlučném prostředí, komunikaci v přímém směru nebo komunikaci přes mobilní telefon. Kdy každý z těchto programů určitým způsobem poupraví nastavené hodnoty dB pro jednotlivé frekvence způsobem, který se liší od technikem nastaveného zesílení. [21] [27]

3.1.3 Přímý audiovstup

Sluchadlo je s počítačem spojeno za pomoci přímého audiovstupu, který je připojen na zesilovač a dochází tak k nastavení samotného sluchadla. Každá firma má svůj program, pomocí kterého dochází k nastavení, tudíž se jednotlivé vstupy a také kabely k připojení sluchadel od různých firem liší. Lišit se ovšem mohou i vstupy a kabely v rámci sluchadel určitých typů jedné firmy. [21]

3.1.4 Baterie

Baterie je komponent sluchadla, který je zdrojem napětí, bez ní sluchadlo nefunguje. Máme dvě možnosti baterií. Klasické baterie zinkvzduchové, které vydrží do doby svého vybití, což je pro určité baterie v každém typu sluchadla trochu rozdílná doba, ale záleží na tom, jak často se sluchadlo využívá. Nejčastěji se využívají baterie 312, 13, 10 nebo 675 viz obr.3.1, které se liší svojí velikostí a také kapacitou. Druhou možností jsou u novějších modelů nabíjecí baterie. Dobíjecí baterie jsou na první pohled odlišitelné svojí zlatou barvou od těch klasických (stříbrná barva) a nacházejí se u nových modelů sluchadel. [17] [21]

Obrázek 3.1 Zinkovzduchové baterie [23]

Obrázek 3.2 Dobíjecí baterie [35]

3.1.5 Reproduktor

Reproduktor v sluchadle slouží ke zpětnému převedení ze zesilovače zesíleného a upraveného signálu na zvuk. Pro reproduktor platí, že čím je větší tím může korigovat těžší sluchové vady, přesněji čím má reproduktor větší membránu, tím vyšší akustický tlak může vyprodukovat. Proto se pro těžší ztráty nedoporučují sluchadla zvukovodová, ale sluchadla závěsná, která mají více místa pro umístění větších reproduktorů.

V poslední době, co se týče sluchadel závěsných vyrábějí reproduktory umístěné v koncovkách sluchadel, tedy mimo samotnou skořápku, kde jsou umístěny ostatní komponenty. Výhodou těchto novějších sluchadel oproti sluchadlům s obyčejnou hadičkou a koncovkou může být například větší nenápadnost, lepší manipulace a jednodušší výměna v případě zhoršení sluchu. Na konec reproduktoru je poté umístěna univerzální koncovka, která slouží k těsnění, ukotvení a také k ventilaci. Ventilace se odvíjí od sluchové vady, pro mírnější vady se volí koncovky s vícero dírami, zatímco pro těžké sluchové vady se využívají bez děr. Ventilace je důležitá, aby docházelo k výměně vzduchu před sluchadlem a za ním, nedocházelo k tak velkému pocení uvnitř ucha. Také slouží k vyrovnávání tlaku při nasazovaná sluchadel a zostřuje akustiku. [19] [21] [25] [27]

3.1.6 Regulátor hlasitosti

Velká většina sluchadel je vybavena regulátorem hlasitosti. Regulátor hlasitosti je v různých podobách umístěn na krytu (skořápce) sluchadel, nejčastěji ho nalezneme v podobě kolečka či páčky. Je třemi vodiči napojen na zesilovač, který následně upraví zvuk podle toho, jak si ho přeje majitel změnit, existuje možnost jak zesílení, tak zeslabení zvuku. [21]

3.1.7 Indukční cívka

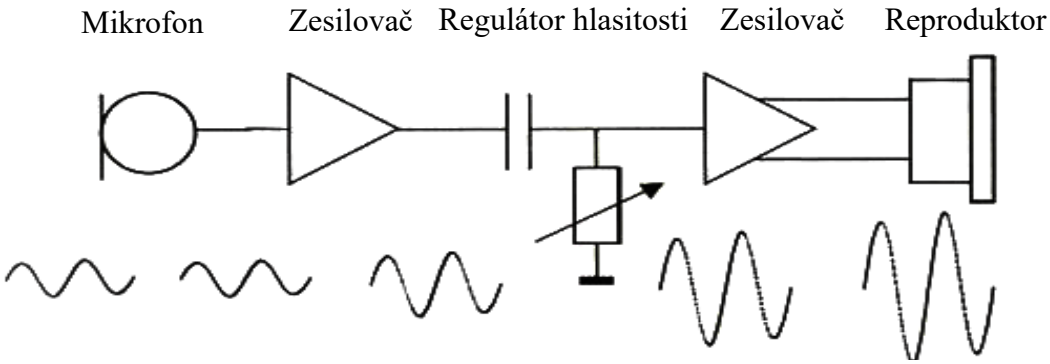
Některé modely sluchadel mohou být vybaveny krom mikrofonů také alternativním vstupem, který umožňuje snímat elektromagnetické pole, které je emitováno právě indukční cívkou, a díky tomu je možno slyšet žádoucí zvuk, který je nerušen okolním prostředím. Indukční cívka se skládá z kovového jádra a tenkého vodiče, který je ovinut kolem tohoto kovového jádra. Indukcí na ní vzniká elektrický signál, který je podobně jako u mikrofonu dále předán zesilovači. Buď pracuje pouze mikrofon nebo pouze indukční cívka, ale také může dojít k částečnému spojení a obou těchto komponentů. Indukční cívky se ovšem používají u sluchadel starších, kde slouží k přepínání na telefonní režim, u nejnovějších sluchadel dochází ke změně programů díky procesoru, který upraví hodnoty zesílení na jednotlivých frekvencí pro zesilovač. [21] [27]

3.2 Rozdělení sluchadel

3.2.1 Rozdělení dle zpracování akustického signálu

Sluchadla analogová

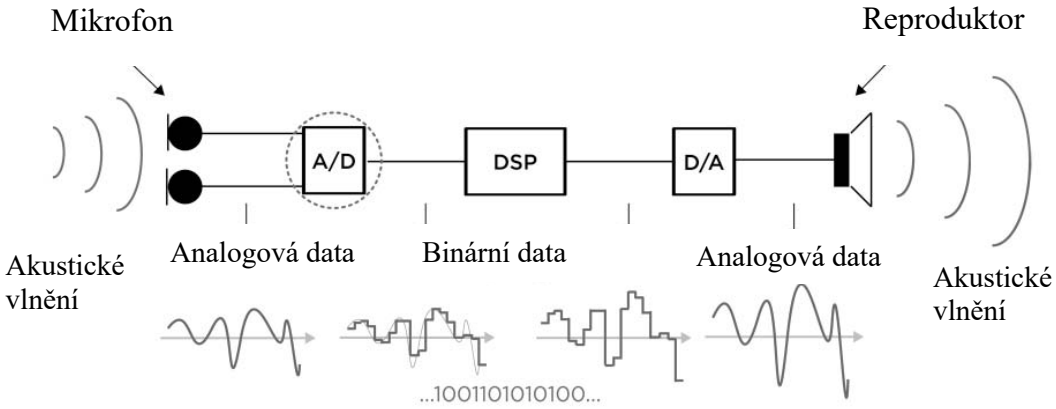
Sluchadla fungují tak, že mikrofon, který zachytí zvuk ho dále přemění na formy elektrického proudu a ten pak dále pokračuje do zesilovače, kde je signál zpracován a zesílen a pokračuje do reproduktoru, kde je výsledně převeden do formy zvuku. Analogová sluchadla tvoří v dnešní době třídu nejlevnějších sluchadel, které již v současnosti nejsou nadále vyvíjeny ovšem stále je můžeme u starších pacientů nalézt zcela funkční. [19] [21] [25]



Obrázek 3.3 Blokové schéma analogového sluchadla [7]

Sluchadla digitální

Jsou to právě sluchadla digitální, která ve výrobě a na trhu vystřídala sluchadla analogová. Digitální sluchadlo zpracovává signál digitálně tedy převedením zvukového signálu do podoby binárního kódu = kombinace čísel 0 a 1. Tento kód je dále možno matematicky zpracovávat a umožňuje velké množství variant nastavení sluchadel pro co nejkvalitnější porozumění. Digitalizace sluchadel je realizována pomocí analogově-digitálního převodníku. Před vstupem do reproduktoru, tedy po zpracování musí být signál opět převeden zpět, tato přeměna je provedena digitálně-analogovým převodníkem. Oba tyto převodníky se nacházejí na zesilovači. [19] [21] [25]



Obrázek 3.4 Blokové schéma digitálního sluchadla [42]

3.2.2 Rozdělení dle charakteru přenosu zvuku

Zvuk se může do ucha přenášet dvěma způsoby. První možností je přenos vzdušnou cestou, se kterým se v dnešní době setkáváme daleko častěji, a druhou možností je přenos kostní cestou.

Přenos vzduchem

Podobně jako při slyšení přirozeném dochází k rozkmitání bubínku poté sluchových kůstek a dále pokračuje přenos až do vnitřního ucha. Rozdíl se nachází v tom že zvuk, který vychází z reproduktoru a tento proces iniciuje je již díky sluchadlu upravený a zesílený. Proto se koncové části sluchadel využívající tento přenos nacházejí ve zvukovodové části ucha. Tento přenos využívají především všechna sluchadla závěsná a zvukovodová, ale i některá sluchadla brýlová (ty se ovšem v dnešní době skoro nevyužívají). K umožnění ukotvení sluchadel ve zvukovodu slouží v případě závěsných sluchadel ušní vložka, která se buď vytváří individuálně podle ušního otisku měkká či tvrdá anebo se používají kloboučky, v případě zvukovodových sluchadel má samotné sluchadlo tvar podle individuálního otisku ucha nositele. [21]

Přenos kostí

Na spánkové kosti je přiložený vibrátor, do kterého přichází upravený elektrický signál ze zesilovače. Vibrace jsou vedeny do vnitřního ucha, kde dochází k rozkmitání Cortiho orgánu, endolymfy a perilymfy vlivem střídavé komprese a dekomprese pouzdra labyrintu. V dnešní době je jen málo sluchadel, která by využívala tento přenos zvuku, patří mezi ně sluchadla brýlová, kapesní či sluchadla ukotvená do kosti tzv. BAHA, která se využívají z této skupiny nejvíce. [21]

3.2.3 Rozdělení dle tvaru

Sluchadla zvukovodová

Tyto sluchadla jsou celá umístěna ve zvukovodové části ucha jsou přesně vyhotovena podle otisku ucha majitele. Celá elektronika je umístěna v daleko menším prostoru v porovnání například se sluchadly závěsnými, tedy se nedají použít k těžkým ztrátám sluchu, ale používají se pro střední a lehké ztráty. Ovšem velikou výhodou těchto sluchadel jsou jejich akustické vlastnosti, tím že jsou hluboko usazené ve zvukovodu a nikam nevystupují využívají rezonanci jeho vchodu a interakci přesněji ohybem a odrazem zvukových vln s boltcem. V některých případech, u lidí s menšími zvukovody, bývají problémy s ventilací, jelikož nezbyde prostor kudy by se dala dát ventilační cesta.

Existují čtyři typy zvukovodových sluchadel, některé zdroje uvádějí pouze tři (IIC slučují pod CIC).

IIC (Invisible In Canal) sluchadla, která jsem nejméně nápadné ovšem zároveň nejméně výkonné. Mohou být vybaveny pouze jedním mikrofonem a jejich zesilovač nebývá tak velký, neobsahují regulátor hlasitosti ani přepínač programů.

CIC (Completly In Canal) sluchadla jsou velmi málo nápadné ovšem také bývají méně výkonné. Obvykle z ucha bývá viditelná jen nylonová struna, která slouží ke snazší manipulaci při nandávání a vyndávání. Díky jejich velikosti většina z nich nemůže obsahovat regulátor hlasitosti a může mít pouze jeden mikrofon.

ITC (In The Canal) tyto sluchadla bývají již oproti CIC vybaveny větší baterií, která má větší kapacitu, a tedy vydrží déle. Také mohou již obsahovat regulátor hlasitosti, telefonní cívkou, duálním mikrofonem či sytém Bluetooth. Vzhledově jsou ovšem již nápadnější, ale vyrovná se sluchadlům závěsným.

ITE (In The Ear) je ze zvukovodových sluchadel nejnápadnější, jelikož vyplňuje celý prostor cavum conchae. Tím, že je sluchadlo z nejnápadnější má zároveň nejvíce prostoru na využití baterie s až čtyřnásobně větší kapacitou než CIC a většího výkonnějšího reproduktoru. Komponenty, které může navíc obsahovat jsou stejné jako u ITC. Toto sluchadlo je vhodné i pro těžší sluchové vady a výkonem elektroniky ho též můžeme přirovnat ke sluchadlům závěsným. [19] [21] [24] [25]

Obrázek 3.5 Typy zvukovodových sluchadel [32]

Sluchadla závěsná

Sluchadla závěsná jsou sluchadla jejichž hlavní komponenty se nacházejí zavěšené za uchem a zvuk je poté veden do zvukovodu ušní vložkou, která je napojena hadičkou na hák samotného sluchadla, v takovémto případě se jedná o závěsné sluchadlo typu BTE. Sluchadla závěsná jsou oproti sluchadlům zvukovodovým určena na těžší sluchové ztráty, díky možnosti umístění výkonnějšího zesilovače a většího reproduktoru. Díky jednodušší manipulaci jsou dost často tato sluchadla určena dětem.

V dnešní době jsou již modernější závěsná sluchadla typu RITE/RIC, která nahradila hadičku a ušní vložku reproduktorem umístěným přímo do zvukovodu. Jsou ukončena univerzální koncovkou, která se vyrábí ve třech možnostech. První z nich je otevřena s dírami sloužícími k ventilaci a nazývá se open dome, druhou je koncovka plus dome pouze se 2 dírami k ventilaci a třetí varianta je power dome bez děr, ta slouží k největším ztrátám sluchu. Pro velké ztráty je také možnost speciální, podle otisku tvarované koncovky, která je ovšem rozdílná než ty, co se používají u sluchadel BTE. Jejich největší výhodou je jejich trvanlivost, jelikož hadička po dlouhé době vlivem potu a okolního působení ztvrdne a praskne. Další výhodou je jejich nenápadnost, hadička má v porovnání s drátem u RIC sluchadel dvakrát v některých případech i třikrát větší průměr a zároveň tím, že je reproduktor umístěn mimo skořápku (kryt) je i tato část podstatně menší. [19] [21] [24] [25] [45]

BTE sluchadla RIC sluchadla

Obrázek 3.6 Typy závěsných sluchadel [6]

Sluchadla kapesní

V dnešní době se používají naprosto minimálně. Když už se mají využít tak především v kombinaci s kostním vibrátorem, ale mohou se objevit i v kombinaci se sluchátkem. [19] [21]

Sluchadla brýlová

Sluchadla brýlová se provádí ve dvou různých variantách první z nich je se vzdušným přenosem zvuku a ta druhá s přenosem kostním. Komponenty sluchadla se nacházejí v branži brýlí. Sluchadla mohou být vytvořena jak pro binaurální korekci, tak i pro korekci monaurální.

U brýlových sluchadel, která využívají přenosu zvuku vzduchem, je na výstupu reproduktoru hadička pro napojení ušní vložky, která se vkládá do zvukovodu jako tomu je např. u sluchadel závěsných.

Brýlová sluchadla s přenosem zvuku kostním fungují na jiném principu. Zde se na konci branže nalézá vibrátor, který musí dobře doléhat na kost spánkovou. Vibrace tedy přes kost spánkovou pokračují do labyrintu vnitřního ucha. Tento typ sluchadel je postupně nahrazován sluchadly BAHA, kde přenosu nebrání kůže. [19] [21]

Obrázek 3.7 Brýlová sluchadla [34]

Sluchadla ukotvená do kosti

Neboli sluchadla BAHA (Bone Anchored Hearing Aid) je zařízení, které využívá přenos zvuku kostí. Jedná se o titanový implantát, který je částečně zasazen do kosti spánkové. Titan jako materiál je použit z toho důvodu, jelikož k němu kost částečně přirůstá. Tím, že je sluchadlo částečně vsazeno do kosti netlumí vibrace kůže, poslech je tedy čistší a srozumitelnější. Sluchadlo lze i využít při jednostranné hluchotě, v takovém případě je sluchadlo BAHA umístěno na postižené straně a zvuk je veden do hlemýždě na straně zdravé. U aplikace těchto sluchadel se jedná o lékařské zákroky pod celkovou anestezií. [19] [20] [21]

Obrázek 3.8 Sluchadla BAHA [5]

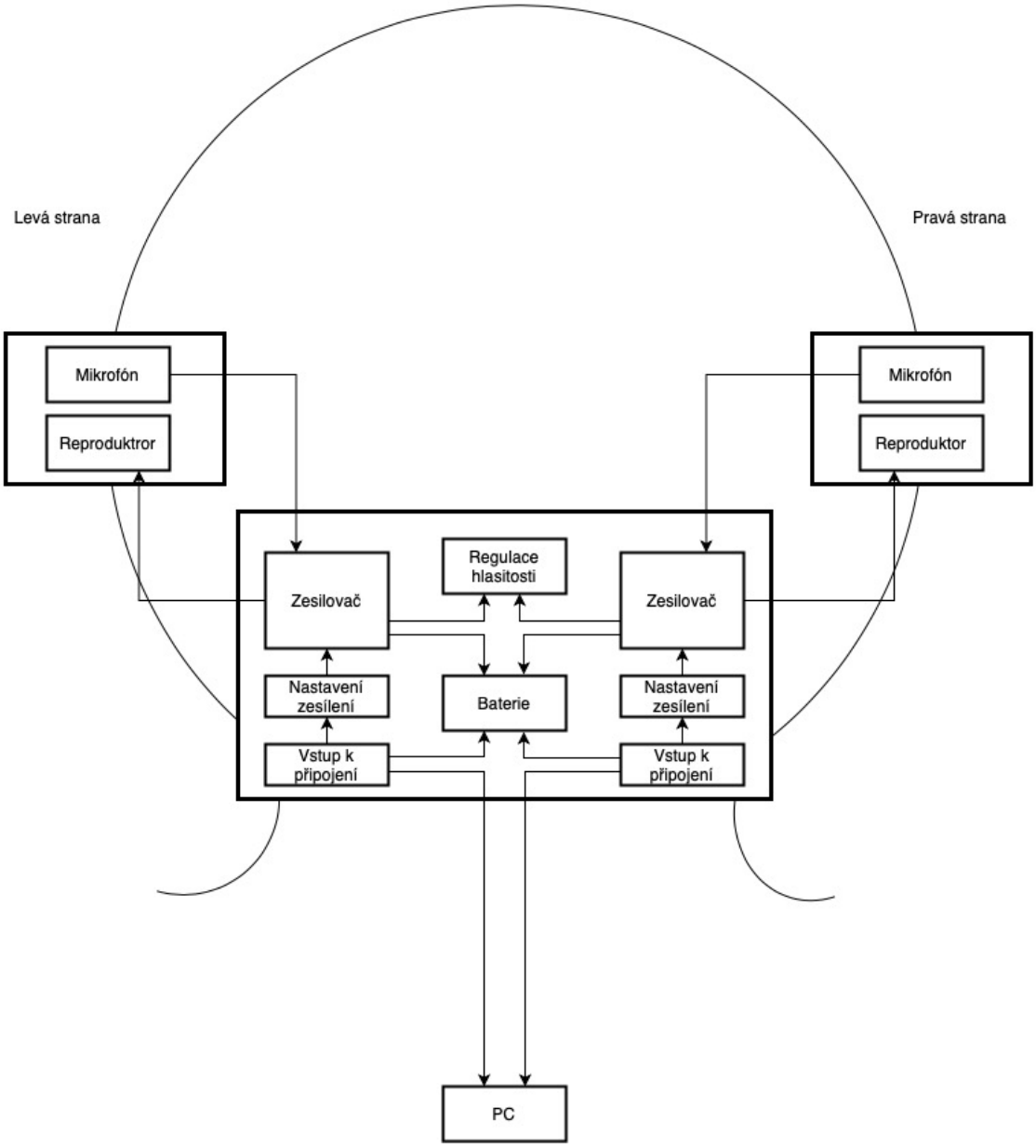
4 NÁVRH BINAURÁLNÍ SLUCHADLOVÉ KOREKCE S JEDNOZDROJOVÝM NAPÁJENÍM

4.1 Návrh sluchadla

Toto sluchadlo je koncipováno pro pacienty s oboustrannou ztrátou sluchu trpící presbyakuzí. Jedná se především o pacienty vyššího věku. Z tohoto důvodu není cílem sluchadla minimalizovat, naopak toto sluchadlo má záměrně větší velikost než ta klasická. Například regulace hlasitosti je provedena tak, aby pacienti s problémy jemné motoriky neměli problém s ní otáčet. Díky větší velikosti sluchadla je také možnost vložení větší baterie, tj. baterie s větší kapacitou. Sluchadlo je sestrojeno tak, aby zvuk pro obě uši pacient vnímal se stejnou hlasitostí. U sluchadla je jednoznačně definovaná pravá a levá strana tak, aby nedošlo k záměně časté při použití dvou sluchadel. Většinou je každé sluchadlo optimalizováno pro různý stupeň sluchové vady a jejich záměnou dochází ke zhoršení vnímání a v horším případě i ke zhoršení vady. Strany sluchadla jsou dané barvami (červená je pravá strana a modrá je levá strana) a zároveň i materiálem postranních spojnic.

4.2 Komponenty

Sestrojené sluchadlo se skládá z komponentů, které tvoří za normálních okolností sluchadla zvukovodová od firmy Oticon pro kompenzaci sluchu až 90 dB. Na obr č. 4.1 je blokové schéma zapojení sluchadla při pohledu na osobu zezadu



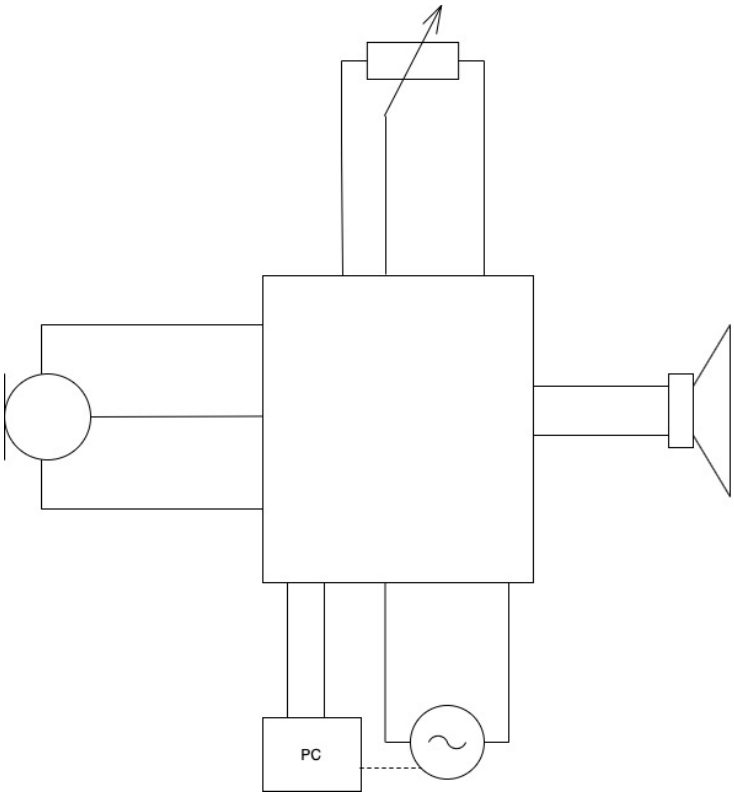
Obrázek 4.1 Blokové schéma zapojení sluchadla

Mikrofon

Toto binaurální sluchadlo je sluchadlem se všesměrovým mikrofonním systémem. To znamená, že na každé straně má uložený pouze jeden mikrofon. Je využit ASSEMBLY NO. 36, který přijímá zvuk ze všech směrů stejně, což se označuje jako mikrofon s kulovou charakteristikou. Mikrofony jsou umístěny v ušních obloucích sluchadla na pravé a levé straně u ucha. Toto umístění je zvoleno proto, aby nedocházelo ke stínění hlavou při přijímání zvuku. Mikrofon zachycuje sluchové vlny a mění je na elektrický signál, který je poté přiváděn na zesilovač prostřednictvím tří vodičů.

Zesilovač

Pro sluchadlo jsou navrženy zesilovače GO ITE UCP, jež mají schopnost kompenzace sluchu až 90 dB. Zesilovač obsahuje procesor, který obsahuje AD/DA převodník a paměť, do které se nahrávají možnosti nastavení zesílení sluchadla. Pro správnou funkčnost musí být zesilovače propojeny vodiči se všemi ostatními komponenty. Schéma zapojení jednoho zesilovače je uvedeno na obrázku 4.2, jelikož výrobce neuvádí přesnou strukturu zesilovače, lze si jej představit jako černou skříňku, na kterou jsou ostatní komponenty napojeny.



Obrázek 4.2 Schéma zapojení zesilovače

Reproduktor

U tohoto sluchadla je reproduktor ASSEMBLY 43 umístěn v části horního krytu společně s mikrofonem. Reproduktor je pomocí dvou vodičů propojen se zesilovačem. Reproduktor přenáší zesílený zvuk přímo do ucha hadičkou.

Regulátor hlasitosti

Jedná se o logaritmický dvojitý potenciometr PC16SGK050 s odporem 50kΩ, který ovlivňuje hlasitost jak pravé, tak levé strany nezávisle. Odpor 50kΩ byl zvolen proto, že je typický pro ostatní regulátory hlasitosti běžně využívané ve sluchadlech. Jeden pin na každé straně udává pozici a zbylé dva nastavují přidávání či zeslabení hlasitosti, z toho důvodu je potenciometr všemi třemi piny připojen na zesilovač. Na výstupu tedy dochází k zesílení či zeslabení hlasitosti o stejnou hodnotu dle nastavené kompenzace jednotlivých uší.

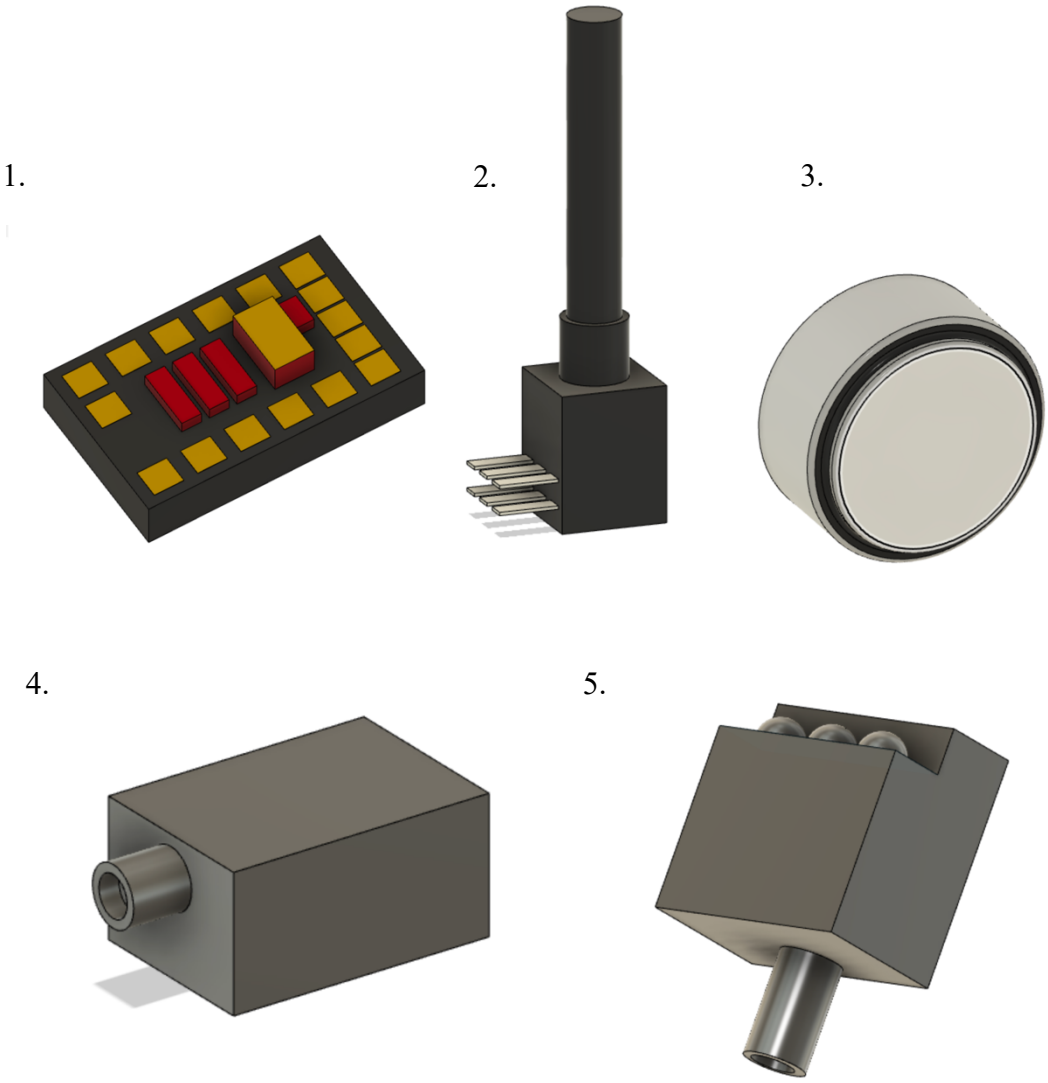
Baterie

Sluchadlo je napájeno zinkovzduchovou baterií 675, která má ze sluchadlových baterií největší kapacitu. Kapacita je 640 mAh a napětí baterie je 1,4 V. Baterie má poměrně velké rozměry vzhledem k ostatním sluchadlovým bateriím a to 11,6x5,4 mm, a disponuje větší kapacitou. Na baterii jsou přivedeny plošné kontakty, aby mohla být připojena k zesilovači a vstupu pro připojení PC.

4.3 Vytvoření krytu

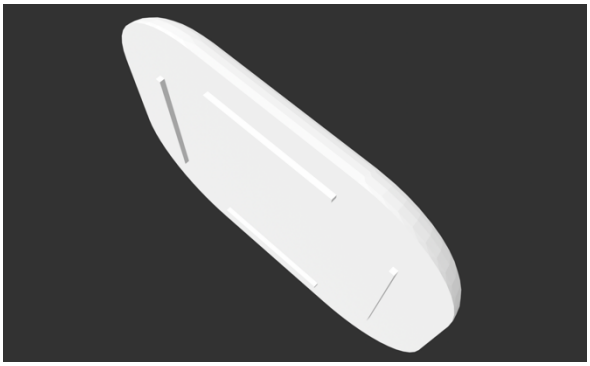
4.3.1 Kryt sluchadla

Kryt sluchadla je vyroben za pomoci 3D tisku. Jeho 3D návrh byl vytvořen v programu Autodesk Inventor a Autodesk Fusion 360. Nejprve byly v počítačovém softwaru pro 3D modelaci vymodelovány jednotlivé komponenty s reálnými rozměry nacházející se v krytu sluchadla, kvůli následné modelaci a nastavení správných velikostí krytu viz obr. 4.3.



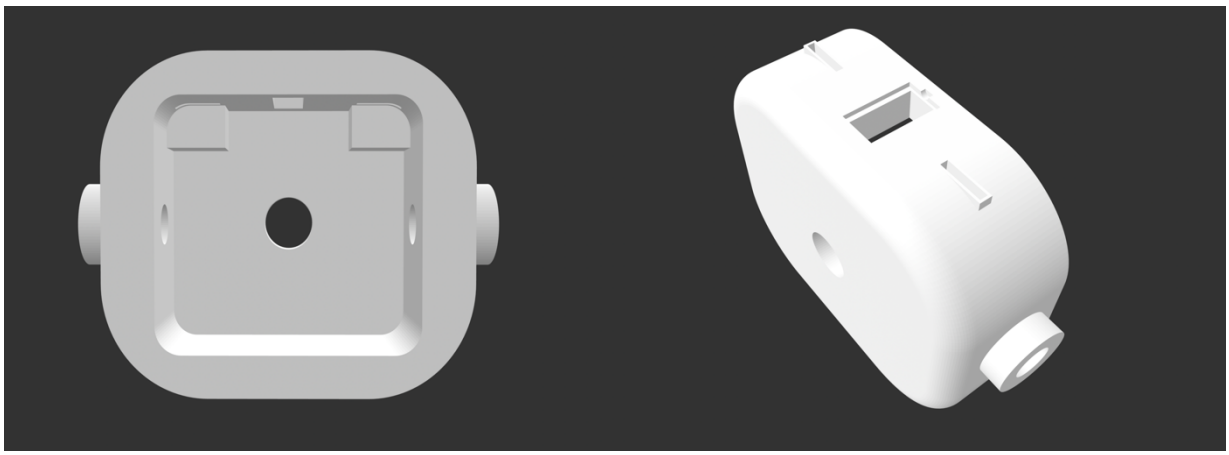
Obrázek 4.3 Modely jednotlivých komponent použitých ve sluchadle: 1. Zesilovač 2.Potenciometr 3. Baterie 675 4. Reproduktor 5. Mikrofon

Kryt se skládá z hlavní části a ušních oblouků umístěných za pravým a levým uchem. Hlavní část krytu je sestavena ze tří částí víka, zásuvky a těla, víko je na tělo nasazeno až po spojení veškerých komponentů sluchadla. Víko neboli vrchní část sluchadla slouží pro případné otevírání těla. Tato součást se otevírá při kontrole stavu připojených vodičů v případě poruchy sluchadla. Víko je opatřeno výčnělky na vnitřní straně pro správné usazení na tělo.



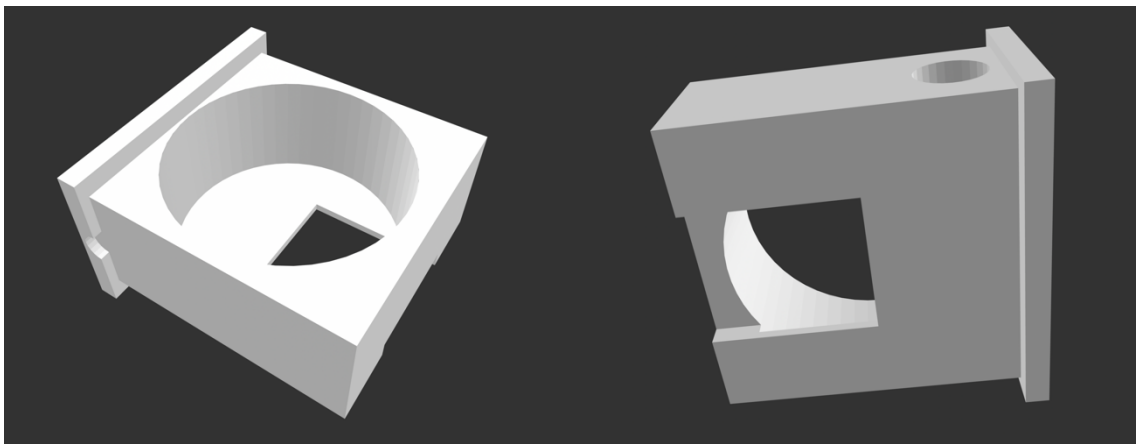
Obrázek 4.4 Víko – vrchní část

Tělo sluchadla má z přední strany možnost nastavení regulace hlasitosti pomocí koncové části potenciometru. Po stranách těla je na obou stranách otvor, kterým vede spojení s komponenty umístěnými v ušních obloucích. Na jedné straně těla jsou vytvořené otvory pro možnost vložení kabelů pro nastavení zesílení. U těchto otvorů jsou uvnitř sluchadla vytvořeny vystouplé plochy pro kontakt s kabelem.



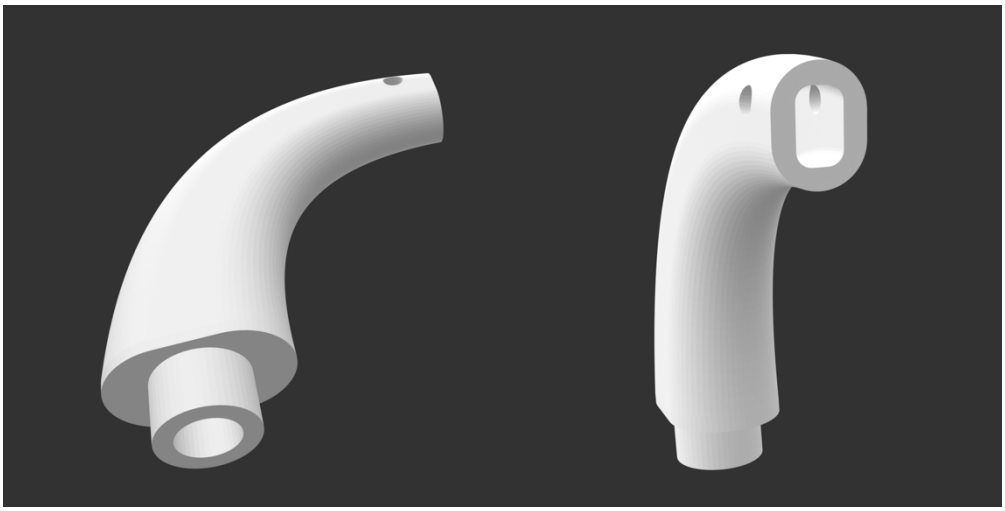
Obrázek 4.5 Tělo hlavní části

Na spodu těla krytu je umístěna zásuvka, která se vkládá do sluchadla baterie. U tohoto sluchadla je možné zásuvku otevřít pomocí ostrého háčku. Zásuvka má na sobě umístěný magnet, díky kterému nevypadává ze svého místa ve sluchadle. V zásuvce je otvor pro vkládání baterie, k této baterii musí být otevřený přístup z obou stran (kladné i záporné) pro zajištění chodu sluchadla. V zásuvce je také vytvořený malý otvor – půlkruhová prohlubeň, která je i na tělu sluchadla, tyto prohlubně jsou vytvořené právě pro otevírání šuplíku a vkládání baterie.



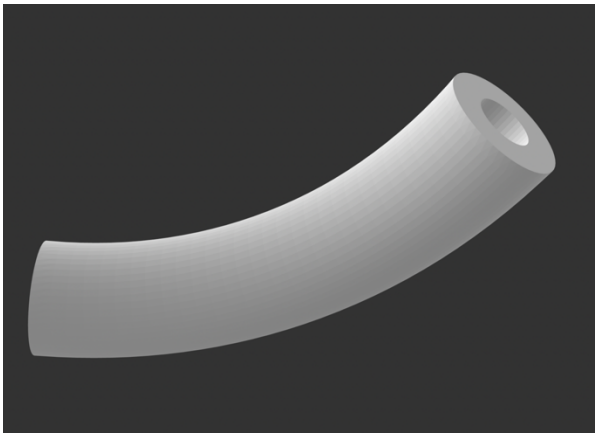
Obrázek 4.6 Zásuvka

Ušní oblouky jsou vytvořeny tak, aby seděly za uši. Z jedné strany mají otvor na napojení pro spojnici k tělu hlavní části. Na konci ušních oblouků jsou otvory, kterými mikrofon zachycuje zvuk z okolí. Z druhé strany je vytvořený otvor pro nasazení hadičky, na kterou se poté umístí individuální tvarovka. Ve vnitřních částech je vytvořený prostor, kde je umístěn mikrofon a reproduktor.

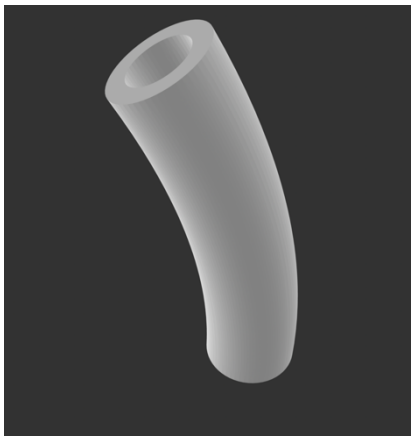


Obrázek 4.7 Ušní oblouk

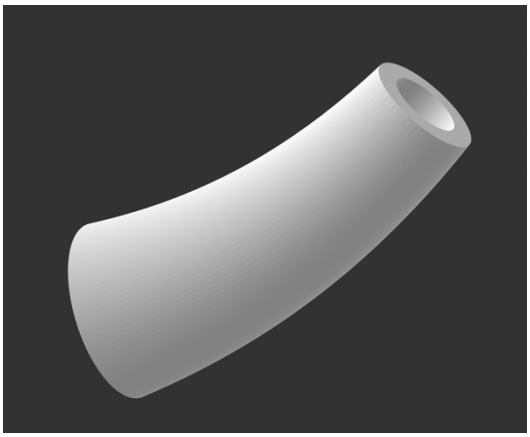
Hlavní část a ušní oblouky jsou spojeny částečně tvrdým plastem a částečně měkkou gumou. Plastové součásti jsou umístěné za hlavním tělem a zároveň za ušními oblouky, mezi nimi je vložená gumová spojovací část. Plastová část u těla hlavní části má jiné rozměry než plastová část u ušních oblouků. Část tvořená z gumy má na jedné straně jiné rozměry než na své druhé straně, tak aby mohla navazovat na plastové části. Guma je vybrána jako pružnější materiál kvůli rozdílným velikostem obvodu hlav pacientů.



Obrázek 4.9 Plastová část u hlavní části



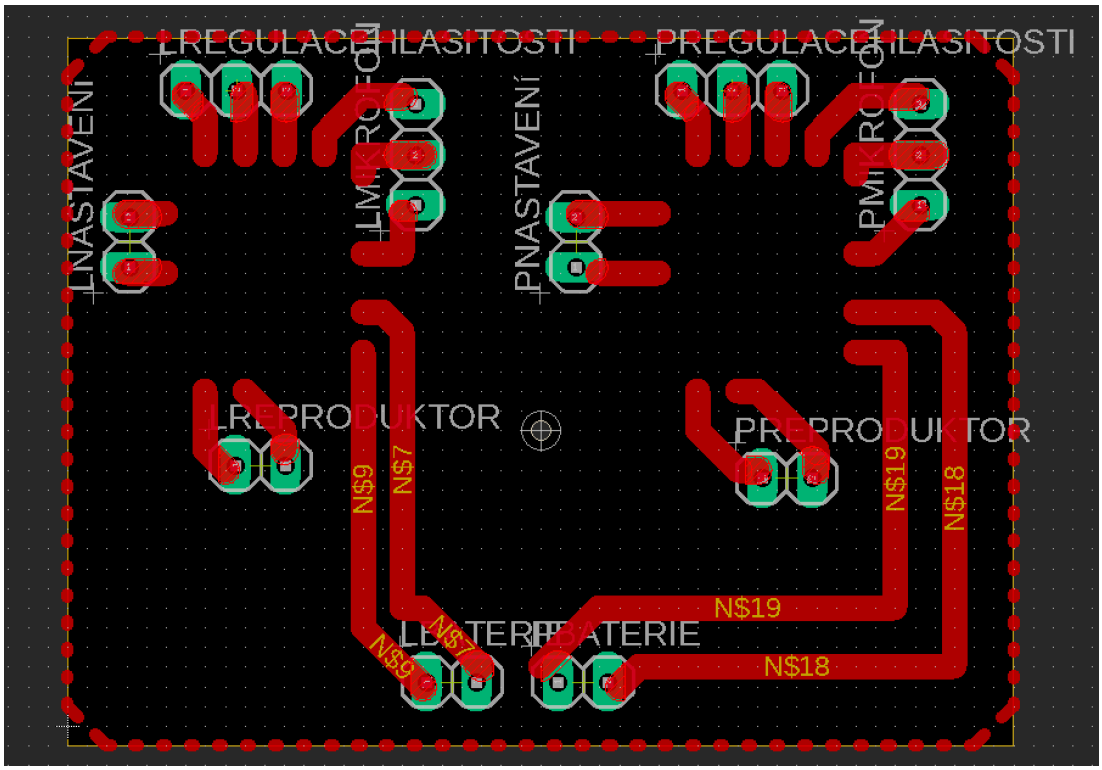
Obrázek 4.8 Plastová část u ušního oblouku



Obrázek 4.10 Gumová část umístěná mezi plastovými částmi

4.3.2 Plošný spoj

Aby se nepoškodily zesilovače, byl vyroben plošný spoj, který byl navržen v programu Eagel. Tento plošný spoj je umístěn na dně krytu a jsou v něm umístěné prostory pro oba zesilovače a také vývody pro komponenty, které přímo vedou k zesilovači. Od jednoho zesilovače tedy vedou tři spoje k regulátoru hlasitosti, dva spoje k reproduktoru, tři spoje k mikrofonu, dva spoje vedoucí k baterii, a nakonec dva spoje pro nastavení zesílení počítačem. Všechny tyto spoje jsou přehledně patrné v obrázku 4.11. Uprostřed se nachází otvor připravený na umístění potenciometru



Obrázek 4.11 Schéma plošného spoje

4.3.3 Program Autodesk Inventor a Autodesk Fusion 360

Návrh sluchadlového krytu se z části vytvořil za pomocí programu Autodesk Inventor a Autodesk Fusion 360. Jedná se o CAD aplikace (počítačově podporované návrhové aplikace) pro vytváření 3D modelů. Obě umožňují parametrické navrhování, trojrozměrnou vizualizaci či simulaci více návrhů, která byla důležitá pro kontrolu návrhu sluchadla. Autodesk Inventor je kompatibilní pro Windows systémy, zatímco Fusion 360 se dá použít pro Apple. [4] [11]

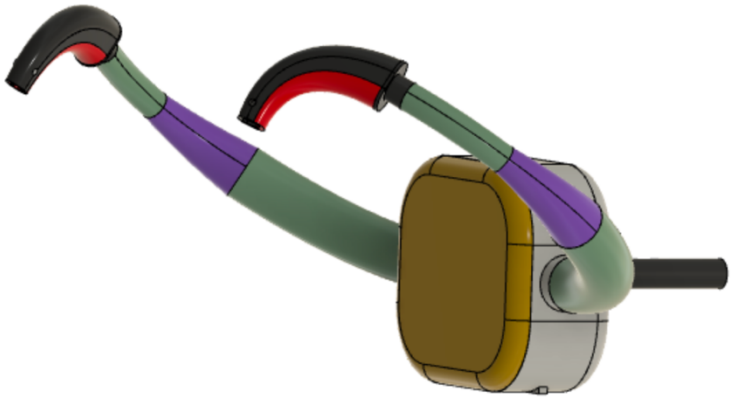
4.3.4 3D tisk

Je proces, ve kterém dochází k výrobě trojrozměrných pevných objektů ze 3D modelů vytvořených v různých počítačových modelovacích programech. V tomto případě Autodesk Inventor a Autodesk Fusion 360. Poté byly modely uloženy ve formátu STL (STereoLitografie), který se v oboru trojrozměrného tisku používá nejčastější. STL soubory popisují pouze geometrii povrchu bez jakékoliv reprezentace barvy, textury nebo jiných běžných atributů 3D modelů. Poté se model nařeže na mnoho jemných vodorovných plátků ve slicer programu. Pomocí těchto plátků se později v 3D tiskárně tisknou jednotlivé vrstvy nad sebe a vytvoří hotový 3D objekt. Tiskne se jak vrstva tvořící 3D model tak podpůrná vrstva, která se později odstraňuje. [1]

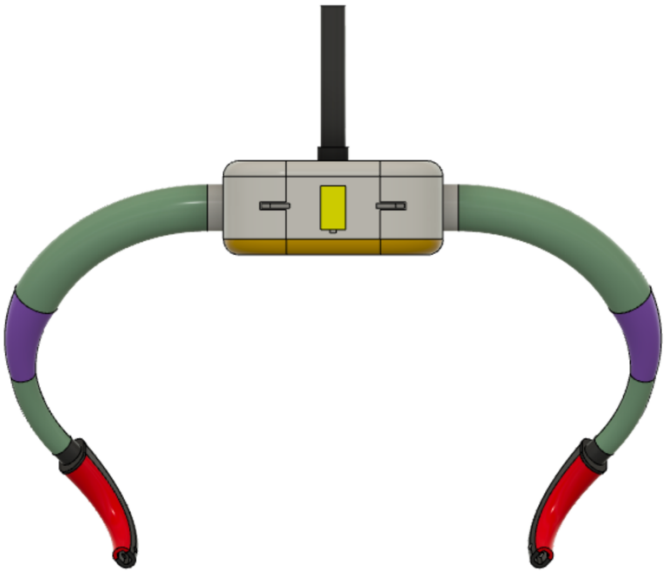
4.4 Model sluchadla

Na následujících dvou obrázcích (obrázku 4.12 a 4.13) je možné vidět jednotlivé části, ze kterých se skládá kryt sluchadla. Pro lepší přehlednost byly tyto jednotlivé části barevně rozlišené. Všechny tyto části se k sobě spojí lepidlem a poté se zabrousí a zalakují, aby spolu drželi vcelku. V případě kontroly stavu jednotlivých komponentů se dá sundat víko a červené části, které jsou součástí ušních oblouků.

Na těchto obrázcích je také vidět, ze kterých částí se skládá spojnice mezi ušními oblouky a hlavní částí. Zelenou barvou jsou označeny plastové spoje a fialovou barvou gumový spoj.

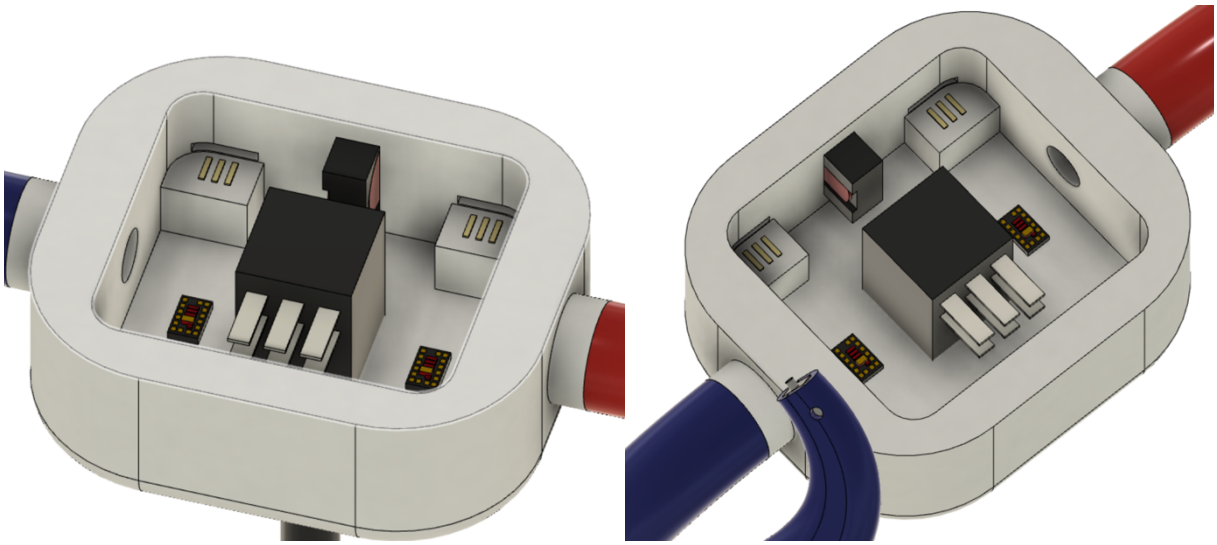


Obrázek 4.12 Náhled na jednotlivé součásti krytu



Obrázek 4.13 Náhled z jiného úhlu na jednotlivé součásti krytu

Po sejmutí víka z hlavní části těla je možné vidět komponenty umístěné uvnitř: zesilovače, potenciometr, sloužící jako regulátor hlasitosti, baterii a kontakty k počítači.

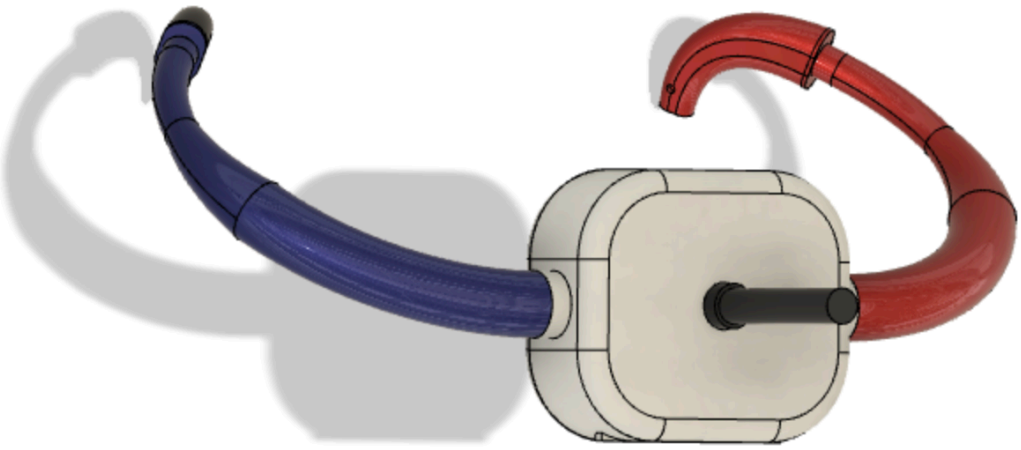


Obrázek 4.14 Pohled dovnitř těla sluchadla

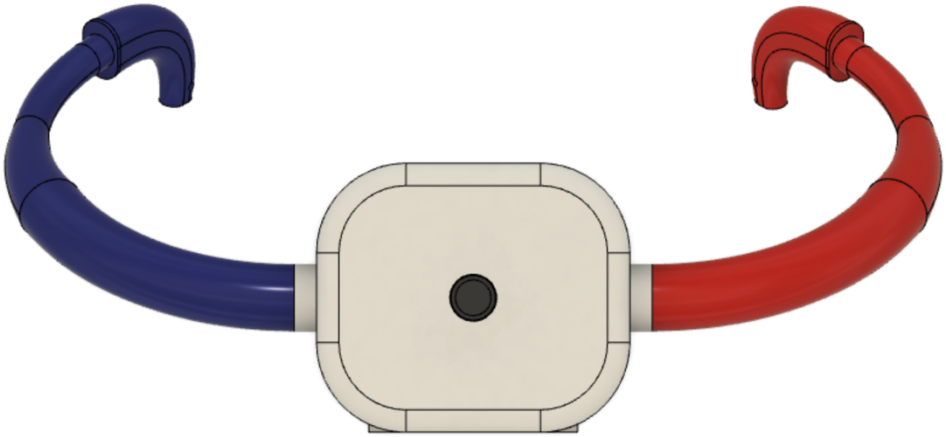
Po vyjmutí spodní části ušního oblouku (obr. 4.15) je možné vidět umístěný mikrofon společně s reproduktorem, které jsou napojené na zesilovač v hlavní části.

Obrázek 4.15 Pohled dovnitř ušního oblouku

Pravá polovina vnějšího krytu je červená a levá polovina modrá, jak znázorňují obr. 4.16 a 4.17. Toto barevné zvýraznění se běžně v ušním lékařství používá a mělo by lidem pomoci jednoznačněji rozlišit, pro které ucho je daná strana sluchadla určena.



Obrázek 4.16 Pohled na finální sluchadlo



Obrázek 4.17 Pohled na finální sluchadlo z jiného úhlu

5 VLASTNÍ SLUCHADLO A OVĚŘENÍ JEHO FUNKČNOSTI

5.1 Vytvoření ušních koncovek

5.1.1 Ušní otisk

Vytvoření ušního otisku provádí ORL lékař. Otisky by se neměly provádět, pokud pacient trpí podrážděným zvukovodem či zánětem nebo má výtok z ucha. Nejprve se za kontroly zraku zavede molitanová ochrana na niti tak, aby byla vložena, co nejdále, aby byl chráněn bubínek zvukovodu. Poté se pomocí aplikátoru vpravuje otiskovací hmota do zvukovodu a konchy. Otisk by měl být zhotoven tak, aby zahrnoval druhý záhyb zvukovodu a celou konchu. Během tvrdnutí otisku pacient otevírá a zavírá pusu, aby došlo k napodobení pohybů, při kterých by koncovka měla být v uchu. Po zatvrdnutí se hmota opatrně vyndá, poté by měla byt znovu provedena otoskopie, zda nedošlo k poranění zvukovodu – neměl by být popraskaný či neúplný. V případě ochlupení v oblasti uší, by se měly chloupky odstranit. Doba tvrdnutí otisku se pohybuje okolo 5 až 10 minut. Po zhotovení by se měl otisk ještě nechat pár minut ležet na stole, aby nemohlo dojít k jeho deformaci.

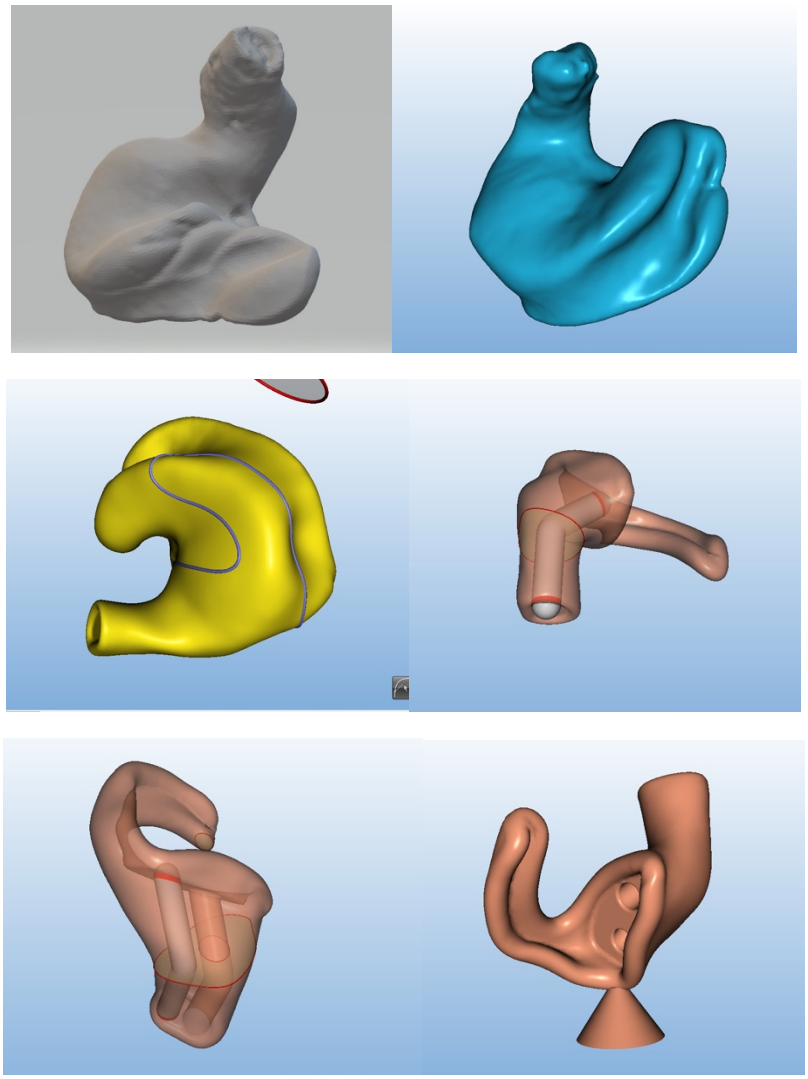
Obrázek 5.1 Otisk ucha

5.1.2 Individuální koncovky

Individuální tvrdá koncovka

Individuální tvrdé koncovky se využívají pro závěsná sluchadla, ale také pro sluchadla zvukovodová, kde je celý obsah sluchadla umístěn právě uvnitř ucha. U sluchadel zvukovodových tedy udává tvar samotného sluchadla.

Nejprve proběhne naskenování otisku ucha. Při tvorbě tvrdé ušní koncovky záleží na tom, jaký tvar by měla finální koncovka mít. Existuje tedy více tvarů viz. obrázek č. 5.3. Poté se podle ušního otisku vymodeluje finální tvar koncovky. Nejprve dojde k vyhlazení nepatrných nerovností z původního otisku poté se mírně ořízne obě koncové části otisku. Následně se vytvoří mírná prohlubeň na vnější straně koncovky a na konci se přidají dva tunely. Postup je znázorněn na obr. 5.2. [21]



Obrázek 5.2 Postup výroby tvrdé koncovky

Takto vytvořený model koncovky se následně vytiskne na 3D tiskárně s akrylovou pryskyřicí, zabrousí a nalakuje. Koncovky bývají označeny sériovým číslem, pro pravou koncovku červenou barvou a pro levou koncovku modrou barvou. Koncovka mívá zpravidla dva tunely. Jeden je větší než ten druhý, ten větší je pro průchod zvuku, na vnější straně je napojen na hadičku, která vede zesílený zvuk z reproduktoru, tento tunel bude v koncovce vždy. Druhý tunel je menší a slouží pro ventilaci ucha. Díky tomuto tunelu se ucho tolik nepotí a nevytváří se velké množství ušního mazu. [21]

Obrázek 5.3 Typy individuálních tvrdých koncovek [21]

Obrázek 5.4 Ušní koncovky typu třmen

Individuální měkká koncovka

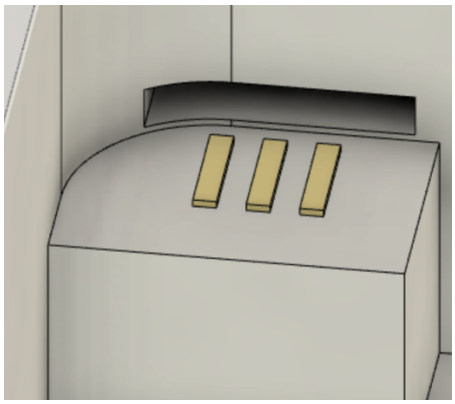
Měkké individuální koncovky se pro sluchadla příliš nepoužívají, dává se přednost tvrdým individuálním koncovkám či koncovkám měkkým, ale univerzálním. Měkké individuální koncovky, se ale mohou používat i jako špunty pro pacienty, kteří mají problém s vodou v uších například při častých zánětech zvukovodu. I přesto vykazuje měkká individuální koncovka vyšší pohodlí při nošení a také lepší těsnost. Je i bezpečnější, jelikož v případě deformace může díky své elasticitě změnit svůj tvar. Z těchto důvodů se individuální měkké koncovky používají spíše u dětí.

Individuální měkká koncovka je stejně jako tvrdá koncovka vytvořena z původního otisku ucha. Materiálem, který tvoří měkkou koncovku je dvousložkový silikon. Silikon je vtlačen do negativu, ve kterém ztuhne a poté je opracován. Povrch musí být opatřen antialergením lakem. U těchto koncovek se rozlišuje stupeň měkkosti od S25, který je extrémně měkký po S70. [21]

5.2 Nastavení sluchadla

5.2.1 Zajištění kontaktu pro nastavení

U navrženého sluchadla je kontakt s počítačem zajištěn třemi spoji pro každou stranu. Dva spoje vedou k zesilovači, jejíchž prostřednictvím se nastavuje zesílení dochází k samotnému nastavení zesílení a třetí spoj je napájecí, tudíž pro připojení k počítači musí být sluchadlo zapnuté, musí v něm být vložena baterie. Kontakt musí být vytvořen pro každý zesilovač zvlášť, aby bylo možné přizpůsobit zesílení dle audiogramu pacienta pro každé ucho. V případě tohoto sluchadla byly spoje realizovány vytvořením dvou plošných spojů.

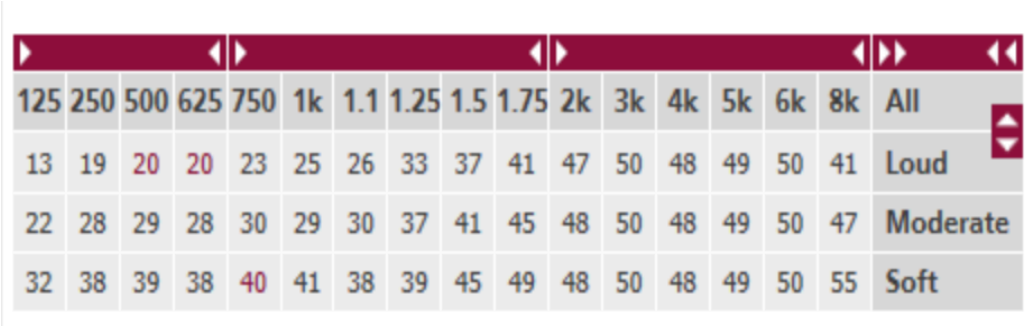


Obrázek 5.5 Kontakty pro připojení k PC

5.2.2 Nastavení zesílení

Nové sluchadlo se nastavuje podle aktuálního audiogramu pacienta, pro každé ucho zvlášť. Pokud je to však možné, je lepší nastavovat program podle audiogramu in situ to znamená, že generátorem zvuku (signálu) je vlastní sluchadlo a jde tak o přesnější způsob nastavení, jelikož je při něm reálně nastavena vzdálenost mezi koncovkou a bubínkem. Nastavení sluchadla probíhá přes nastavovací software (v tomto případě programu Genie 2), kde se nastavuje se hladina intenzity potřebná pro kompenzaci sluchu v jednotlivých frekvencích. Některá moderní sluchadla, která mají možnost změny programu mají více nastavení pro různé situace. Těmito situacemi může být přímý rozhovor, telefon či nastavení pro hlučné prostředí, kdy je potřeba snížit hladinu intenzity pro nízké frekvence.

V program Genie 2 se nejprve určí model sluchadla pro zjištění modelu zesilovače, který bude následně nastavován. Dále se určí, na kterou stranu je sluchadlo používáno. Poté se nastaví zesílení pro jednotlivá frekvenční pásma (horizontálně) a pro tichá, středně hlasitá a hlasitá pásma (vertikálně) viz. obr. 5.6. Na obrázku je uvedeno zesílení pro pravé ucho, pro levé ucho by ohraničení bylo označeno modrou barvou.



125	250	500	625	750	1k	1.1	1.25	1.5	1.75	2k	3k	4k	5k	6k	8k	All
13	19	20	20	23	25	26	33	37	41	47	50	48	49	50	41	Loud
22	28	29	28	30	29	30	37	41	45	48	50	48	49	50	47	Moderate
32	38	39	38	40	41	38	39	45	49	48	50	48	49	50	55	Soft

Obrázek 5.6 Nastavení zesílení pro pravé ucho pomocí programu Genie 2

Pacient poté zpravidla bývá objednán na kontrolu, pro přenastavení nastavených hodnot. Protože původní nastavení je podle audiogramu, který je subjektivní sluchovou zkouškou. Po vyzkoušení je poté možné nastavení pacientovi poupravit.

5.3 Ověření funkce sluchadla

Jelikož navržené sluchadlo není ověřeno jako certifikovaná zdravotnická pomůcka, bylo by testování na pacientech neetické. Z tohoto důvodu by testování za jiných okolností proběhlo pomocí přístroje Interacoustics hearing aid analyzer MS25 a naměřených audiogramů.

Interacoustics hearing aid analyzer MS25

Funkčnost sluchadla se dá ověřit pomocí přístroje Interacoustics hearing aid analyzer MS25. Tento analyzátor je přenosný přístroj, který kombinuje testování sluchadla s komplexním měření skutečného ucha. Přístroj umožňuje uložení údajů o pacientovi a sluchadlech, a poté je s výsledky testu společně vytisknout. Na displeji se zobrazí výsledky získané analyzátorem, obsluha má tedy výhodu okamžitého sledování, která je užitečná při úpravě nastavení sluchadla. [22]

Integrální testovací box

Využívá 2CC Reference Coupler pro testování sluchadel. Zahrnuje adaptéry pro zvukovodová sluchadla a pro závěsná sluchadla. Lze také připojit volitelné adaptéry baterie pro měření proudu ve sluchadle. [22]

Měření in situ

Reproduktorem přístroje MS25 lze snadno otáčet z testovacího boxu, tak aby poskytl zvukový zdroj pro měření na skutečném uchu. V in situ může MS25 měřit více parametrů: přirozené zesílení získané rezonancí ve zvukovodu, vložené zesílení, In situ SPL (charakteristiky zvuku na tympanické membráně nebo poblíž ní), in situ zkreslení a další.

[22] [29]

Obrázek 5.7 Interacoustics hearing aid analyzer MS25 [22]

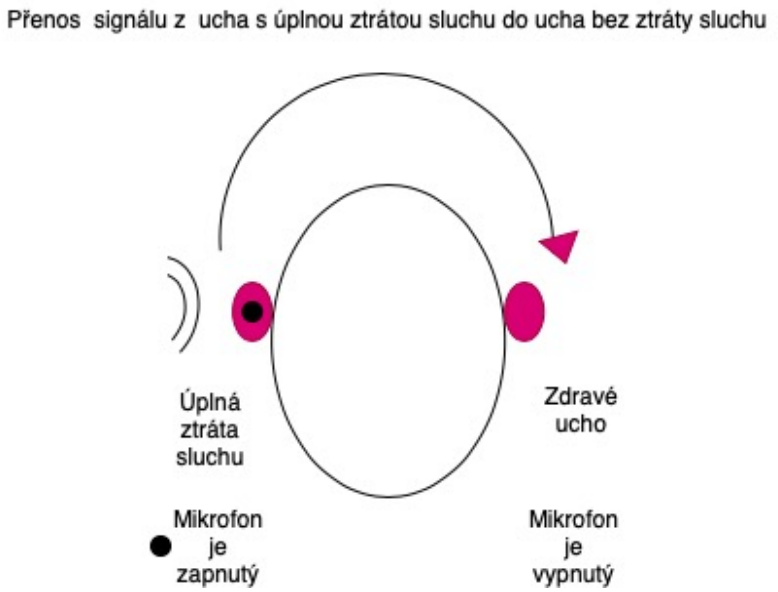
6 POROVNÁNÍ NAVRŽENÉHO SLUCHADLA S JINÝMI BINAURÁLNÍMI ZAŘÍZENÍMI

6.1 Cros korekce

Princip Cros korekce

U Cros korekce má pacient úplnou jednostrannou ztrátu sluchu. Pacientovo druhé ucho by při této korekci nemělo vykazovat ztrátu sluchu, tj. by mělo být zdravé. Na straně s úplnou ztrátou sluchu má pacient umístěn mikrofon s vysílačem, na druhé, zdravé, straně je umístěn přijímač. Mikrofon ze strany s úplnou ztrátou sluchu je bezdrátově propojen s druhou stranou.

Mikrofon přijímá zvuk z postižené strany, aby nedošlo ke stínění hlavou. Tento signál je dále vysílán do zdravého ucha. Na zdravé straně je mikrofon vypnutý tedy je zpracován pouze přenesený signál z hluchého ucha a předán sluchovému aparátu.



Obrázek 6.1 Cros korekce

Cros korekce je vhodná k řešení jednostranné hluchoty, je tedy primárně určena k řešení jiného problému než navržené sluchadlo. Porovnatelná jsou koncové části přístrojů, jelikož Cros korekce musí také disponovat propojenými přístroji na obou

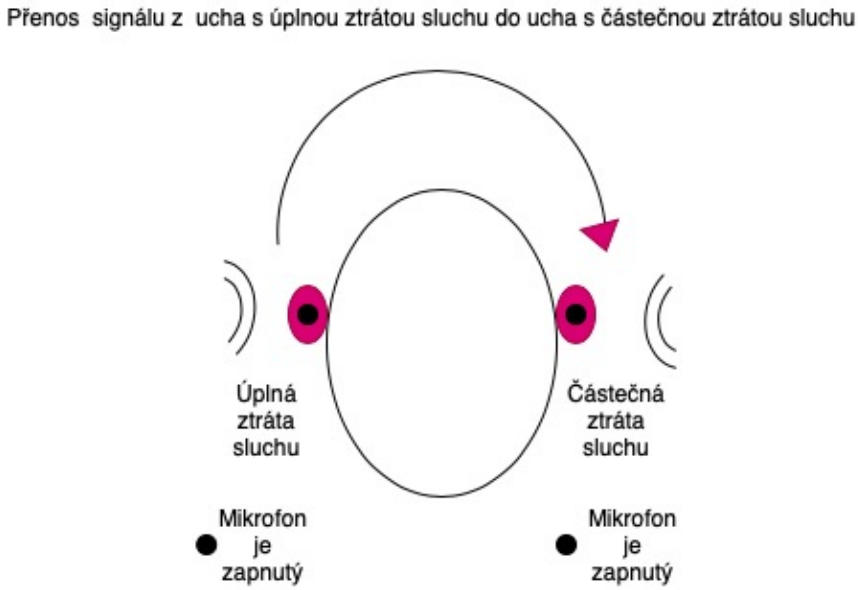
stranách hlavy. Ovšem každá strana je napájena svým zdrojem. Sluchadla jsou dále rozdílná svojí velikostí. Cros korekce je podstatně menší, díky tomu může nastat u starších pacientů problém s manipulací.

6.2 BiCros korekce

Princip BiCros korekce

Při této korekci pacient trpí nedoslýchavostí na jedné straně a na druhé straně úplnou ztrátou sluchu (hluchotou). Pacient má na hluché straně umístěn mikrofon s vysílačem, který přijímá zvuk z této strany prostředí, aby nedocházelo ke stínění hlavy stejně jako u korekce Cros. Tento mikrofon je bezdrátově propojený k druhému uchu, u starých modelů byl mikrofon propojen ještě vodičem.

Na méně poškozeném uchu, je též umístěný mikrofon, který snímá zvuk z této strany. Na tomto méně poškozeném uchu se tedy spojuje signál z jeho mikrofonu a zároveň z mikrofonu umístěném na straně s úplnou ztrátou sluchu. Zvuk z obou mikrofonů je na lépe slyšící straně sluchovým nástrojem (zesilovačem) zpracován a upravený zvuk dále putuje do sluchového aparátu ucha s méně poškozeným sluchem.



Obrázek 6.2 BiCros korekce

BiCros korekce je obdobou Cros korekce. V tomto případě je podobnost s navrženým sluchadlem v tom, že koriguje ztrátu sluchu na obou stranách. U BiCros korekce je však na jedné straně ztráta sluchu úplná. Jedna strana, ale musí s tou druhou

stranou komunikovat, tedy jedna strana je propojená se stranou druhou. Přesto jsou stále nutné dva zdroje napájení. Tato korekce také může mikrofony na jedné straně (té s úplnou ztrátou sluchu) vypnout a v ten okamžik se korekce stane monoaurální. Tato možnost u navrženého sluchadla lze řešit nulovým zesílením na jedné straně. I BiCros korekce je vyráběna v menších rozměrech oproti navrženému sluchadlu.

6.3 Televizní systémy

Princip televizních systémů

Televizní poslechové systémy nabízejí zákazníkům zesílení zvukového signálu z televize. Při poslechu skrze sluchadla bývá zvuk z televize rušen zvuky z okolního prostředí. Tyto televizní poslechové systémy zesílí jen zvuk z televize. Zákazník si sám zvolí nastavení zesílení dle možností, toto nastavení je umístěno uprostřed tohoto zařízení. Jednou z možností nastavení může být přes regulátor hlasitosti, který funguje jako potenciometr, pomocí kterého se přidává hlasitost.

Toto zařízení zesiluje zvuk na obou stranách stejně. Tedy není vhodné pro pacienty s jednostrannou nedoslýchavostí, v takovém případě by docházelo k postupnému poškození na zdravé straně, nebo pro pacienty s výrazným rozdílem ztrát sluchu mezi pravou a levou stranou, takovýchto pacientů ovšem není mnoho.

Porovnání

Tyto televizní systémy slouží pouze pro zesílení zvuku z televize. Pro klasické zesílení zvuku jsou tedy naprosto neúčinné. Svým základním principem však mohou připomínat navržené sluchadlo, jelikož si jsou podobné velikostí i jednoduchostí ovládání. Oba přístroje přenášejí zvuk do obou stran zároveň. U televizních systémů je zesílení na obou stranách stejné, zatímco u navrženého sluchadla se každá strana zesiluje zvlášť, a tedy může být zesílení rozdílné. Podobné jsou si tyto zařízení také regulací hlasitosti, kdy na obou z těchto přístrojů je regulace hlasitosti jedna, umístěná uprostřed hlavní části a dostatečně veliká pro jednoduchou manipulaci. Obě strany u obou zařízení jsou poháněny jedním zdrojem napájení.

6.4 Brýlová sluchadla

Princip brýlových sluchadel

Brýlová sluchadla se vyrábí ve dvou různých provedení: se vzdušným přenosem a s kostním přenosem.

Brýlová sluchadla se vzdušným přenosem

Brýlová sluchadla se vzdušným přenosem mají veškeré komponenty sluchadla zakomponované v nožičkách brýlového rámu. V přední části se nacházejí mikrofony, díky dostatečnému prostoru je možnost umístění více mikrofonů. Uprostřed nožičky bývá umístěn regulátor hlasitosti a na koncích nožiček je vytvořený prostor pro vkládání baterií. Výstupy reproduktoru jsou umístěné tak, aby se mohly napojit hadičky ušních vložek. [21]

Brýlová sluchadla s kostním přenosem

Na konci branže jsou umístěné kostní vibrátory. Tyto vibrátory musí dobře doléhat na spánkovou kost. Od spánkové kosti tyto vibrace postupně putují do labyrintu vnitřního ucha. Tento typ se používá, když neleze využít sluchadla se vzdušným přenosem, např. u pacientů s chronickým středoušním zánětem. [21]

Porovnání

Brýlová sluchadla se vzdušným vedením jsou nejvíce podobné navrženému modelu ze všech ostatních binaurálních korekcí. Stejně jako návrh slouží pro korekci oboustranné ztráty sluchu, za určitých podmínek lze však i korigovat jednostrannou ztrátu sluchu. V jednom zařízení (brýlích) se nachází sluchadlo pro pravé i levé ucho zároveň. Komponenty v brýlovém sluchadlu se vzdušným přenosem jsou stejné jako komponenty v modelu. Zesilovače na obou stranách se dají nastavit nezávisle na sobě. I v případě brýlových sluchadel s kostním přenosem jsem jednotlivé vibrátory nastaveny nezávisle na sobě. Jediným rozdílem mezi sluchovými brýlemi a navrženým sluchadlem je počet zdrojů baterií. Sluchadlové brýle vyžadují dva zdroje napájení, pokud bude vložen jen jeden zdroj napájení, nebude sluchadlo pro druhou stranu fungovat a přístroj se tedy stane monoaurální korekcí.

7 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá sluchovou korekcí a její základní teorie je rozdělená do třech kapitol. V první kapitole je uvedeno rozdělení a přehled sluchových vad. Druhá kapitola se věnuje audiometriím, kde je uvedeno rozdělení na subjektivní a objektivní audiometrie a jednotlivé zkoušky. Poslední, třetí kapitola zabývající se teorií, je zaměřena na sluchadla. U sluchadel jsou uvedeny různé druhy dělení a popsány jednotlivé komponenty, ze kterých se sluchadla skládají. Tyto jednotlivé komponenty byly použity pro výrobu navrženého binaurálního sluchadla s jednozdrojovým napájením.

V praktické části je navrženo sluchadlo, které je přizpůsobeno pro pacienty staršího věku trpící presbyakuzí. Sluchadlo slouží jako korekce obou uší současně a je napájeno pouze jednou baterií. Skládá se z komponentů pro dvě zvukovodová sluchadla, každé má zvlášť počítačem nastavitelné zesílení jednotlivých frekvenčních pásem. Dále je vybaveno velkým regulátorem hlasitosti, který je vhodný i pro pacienty trpící problémy s jemnou motorikou. U tohoto sluchadla je přesně definována pravá a levá strana, a to jak barevně, tak i designem sluchadla. Sluchadlo primárně funguje jako binaurální, ovšem při nulovém nastavení jednoho zesilovače může sloužit i jako monoaurální korekce. Tím se liší od současných modelů korekce sluchu.

Pro výrobu tohoto sluchadla byly použity již existující komponenty zvukovodových sluchadel. Pro návrh byly jednotlivé komponenty a kryt vytvořeny jako 3D modely v programech Fusion 360 a Inventor. Podle 3D návrhu byl kryt následně vytisknut na 3D tiskárně a byl úspěšně sestrojen model sluchadla, který odpovídá návrhu.

LITERATURA

[1] ANCU, Cătălin. ABOUT 3D PRINTING FILE FORMATS. *Analele Universităţii "Constantin Brâncuşi" din Târgu Jiu: Seria Inginerie* [online]. Editura Academica Brâncuşi, 2018, **2018**(2), 135-138 [cit. 2020-02-24]. ISSN 1842-4856. Dostupné z: https://doaj.org/article/16dc24c880b64344962873f2c3ae4c4c

[2] Audiometry - Oticon/Interacoustics. Profesionálové [online] [cit. 18.12.2019]. Dostupné z: http://diagnostika.dobrysluch.cz/old/

[3] Audiometry Screening and Interpretation - American Family Physician. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © 2013 by the American Academy of Family Physicians. [cit. 18.12.2019]. Dostupné z: https://www.aafp.org/afp/2013/0101/p41.html

[4] "Autodesk University 2017 Highlights New Tech | Cadalyst". *www.cadalyst.com. Retrieved 2017-12-24.*

[5] Baha® System. Hearing Aids | Audiology | San Diego, CA | Imperial Valley, CA | La Mesa, CA | ChEARS Hearing Center [online] [cit. 18.12.2019]. Dostupné z: https://chearshearing.com/blog/baha-system

[6] Behind-the-ear RIC Hearing Aids | Embrace Hearing Aids. Forbidden [online]. Copyright © 2019 Embrace Hearing [cit. 18.12.2019]. Dostupné z: https://www.embracehearing.com/blogs/hearingaidsnews/7913187-behind-the-ear-ric-hearing-aids

[7] Block diagram of an analog hearing aid. | Download Scientific Diagram. ResearchGate | Find and share research [online]. Copyright © ResearchGate 2019. All rights reserved. [cit. 18.12.2019]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Block-diagram-of-an-analog-hearing-aid_fig4_327299440

[8] Carmo MP, Costa NT, Momensohn-Santos TM. Tympanometry in infants: a study of the sensitivity and specificity of 226-Hz and 1,000-Hz probe tones. *Int Arch Otorhinolaryngol*. 2013 Oct;17(4):395-402. doi: 10.1055/s-0033-1351678. PMID: 25992044; PMCID: PMC4399162.

[9] CHROBOK, Viktor. *CHRONICKÝ HNISAVÝ STŘEDOUŠNÍ ZÁNĚT* [online]. 2013 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: http://www.otorinolaryngologie.cz/dokumenty/PPP_OMCH.pdf

[10] Ciorba A, Corazzi V, Bianchini C, Aimoni C, Pelucchi S, Skarżyński PH, Hatzopoulos S. Autoimmune inner ear disease (AIED): A diagnostic challenge. *Int J Immunopathol Pharmacol*. 2018 Mar-Dec; 32:2058738418808680. doi: 10.1177/2058738418808680. PMID: 30376736; PMCID: PMC6213300.

[11] *"Create and Remove OLE Links in Inventor Files | Cadalyst". www.cadalyst.com. Retrieved 2017-12-24.*

[12] Crompton M, Cadge BA, Ziff JL, Mowat AJ, Nash R, Lavy JA, Powell HRF, Aldren CP, Saeed SR, Dawson SJ. The Epidemiology of Otosclerosis in a British Cohort. *Otol Neurotol*. 2019 Jan;40(1):22-30. doi: 10.1097/MAO.0000000000002047. PMID: 30540696; PMCID: PMC6314447.

[13] Dětská otolaryngologie: Ladičkové zkoušky. [online]. [cit. 2019-11-24].Dostupné z: http://telemedicina.med.muni.cz/pdm/detska-orl/index.php?pg=ucho--vysetrovaci-metody-ucha--subjektivni-vysetreni-sluchu--ladickove-zkousky

[14] Dětská otolaryngologie: Otoakustické emise (OAE). [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: http://telemedicina.med.muni.cz/pdm/detska-orl/index.php?pg=ucho--vysetrovaci-metody-ucha--objektivni-audiometrie--otoakusticke-emise-oae

[15] Dětská otolaryngologie: Tympanometrie. [online]. [cit. 2019-11-24].Dostupné z: http://telemedicina.med.muni.cz/pdm/detska-orl/index.php?pg=ucho--vysetrovaci-metody-ucha--objektivni-audiometrie--tympanometrie

[16] Dětská otolaryngologie: Vyšetření evokovaných potenciálů. [online]. [cit. 2019-11-24].Dostupné z: http://telemedicina.med.muni.cz/pdm/detska-orl/index.php?pg=ucho--vysetrovaci-metody-ucha--objektivni-audiometrie--vysetreni-evokovanych-potencialu

[17] Disposable and Rechargeable Batteries | Hearing Industries Association - Hearing Industries Association. *Home - Hearing Industries Association* [online]. [cit. 2019-11-24] Dostupné z: https://www.hearing.org/hearing-aids/disposable-and-rechargeable-batteries/

[18] DLOUHÁ, Olga a Libor ČERNÝ. *Foniatrie*. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2048-0.

[19] DRŠATA, Jakub a Radan HAVLÍK, CHROBOK, Viktor, ed. *Foniatrie - sluch*. Havlíčkův Brod: Tobiáš, 2015. Medicína hlavy a krku. ISBN 978-80-7311-159-5.

[20] Hagr, Abdulrahman. "BAHA: Bone-Anchored Hearing Aid." *International journal of health sciences* vol. 1,2 (2007): 265-76.

[21] HAVLÍK, Radan. *Sluchadlová propedeutika*. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2007. ISBN 978-80-7013-458-0.

[22] Hearing Aid Analyzer MS25 - Widex Hong audiograms from the Interacoustics software IaBase95 to MS25 is possible. ... The MS25 Hearing Aid Analyzer is a fully portable, two-in-one instrument which. Share and Discover Knowledge - PDFSLIDE.NET [online]. Dostupné z: https://pdfslide.net/documents/hearing-aid-analyzer-ms25-widex-hong-audiograms-from-the-interacoustics-software.html

[23] Hearing aid batteries - zinc air | Connevans. 301 Moved Permanently [online]. Dostupné z: https://www.connevans.co.uk/catalogue/256/Hearing-aid-batteries---zinc-air

[24] Hearing Aid Buyer's Guide: Types of Hearing Aids. *Affordable Hearing Aids Online | MDHearingAid* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: https://www.mdhearingaid.com/en/blog/types-of-hearing-aids-buyers-guide

[25] Hearing Aids | NIDCD. *Home* |NIDCD [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: https://www.nidcd.nih.gov/health/hearing-aids

[26] HOFMANOVÁ, Marta. Audiometrie v ORL ordinaci: diagnostika sluchových poruch. Brno: M. Hofmanová, 2008.

[27] Hoppe U, Hesse G. Hearing aids: indications, technology, adaptation, and quality control. *GMS Curr Top Otorhinolaryngol Head Neck Surg*. 2017;16:Doc08. Published

[28] LEONE ENTERPRISES [online]. Copyright © 2012 Leone enterprises [cit. 18.12.2019]. Dostupné z: http://www.leoneent.com/large.php?lngid=en&category_id=22&sub_cat=239&p_id=4663&pname=&catname=

[29] MALTBY, Maryanne Tate. *Principles of Hearing Aid Audiology, 3rd Edition*. Cambridge Scholars Publishing, 2019. ISBN 9781527535534.

[30] Meniere's Disease: Symptoms, Causes, Treatments, and More. *Healthline: Medical information and health advice you can trust.*[online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: https://www.healthline.com/health/menieres-disease

[31] Ménièrova choroba – WikiSkripta. [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Ménièrova_choroba

[32] Models & Sizes - Australian Audiology - Gold Coast and Northern NSW. Home - Australian Audiology - Gold Coast and Northern NSW [online] [cit. 2019-12-18]. Dostupné z: http://australianaudiology.com.au/hearing-aids/models-sizes/

[33] MORNSTEIN, Vojtěch. *Lékařská fyzika a biofyzika*. Brno: Masarykova univerzita, 2018. ISBN 978-80-210-8984-6.

[34] News Archives - HearGlass. Home - HearGlass [online]. Copyright © 2019 HearGlass. [cit. 18.12.2019]. Dostupné z: https://hearglass.com/category/news/

[35] Oticon Hearing Aids Ottawa | Opn | Limited time | eHearing.com. Audiologist Ottawa | Hearing Aids & Hearing Tests | eHearing.com[online]. Copyright © 2019 eHearing.com [cit. 18.12.2019]. Dostupné z: https://www.ehearing.com/product/oticon-opn/

[36] Otoakustické emise – Nemoc – Pomoc. *Nemoc – Pomoc – Přes překážky ke hvězdám.* [online]. [cit. 2019-11-24].Dostupné z: http://nemoc-pomoc.cz/orl/oblast-usni/vysetreni-sluchu/otoakusticke-emise/

[37] Práh sluchu a sluchové pole – WikiSkripta. [online]. [cit. 2019-11-24].Dostupné z: https://www.wikiskripta.eu/w/Práh_sluchu_a_sluchové_pole

[38] Pure Tone Test and Speech Test | Otohub - Audiology Now. Otohub - Future of Audiology, Now! [online]. Copyright © 2019 [cit. 18.12.2019]. Dostupné z: https://www.otohub.com/pure-tone-test-and-speech-test/

[39] PŘEVODNÍ NEDOSLÝCHAVOST. *Widex sluchadla* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: https://www.widex.cz/cs-cz/hearing-loss/types-of-hearing-loss/conductive-hearing-loss

[40] Senzorineurální ztráta sluchu | Cochlear Česká Republika. [online]. Dostupné z: https://www.cochlear.com/cz/home/understand/hearing-and-hl/what-is-hearing-loss-/types-of-hl/sensorineural-hearing-loss

[41] Sluchové vady – Převodní, Senzorineurální, Kombinovaná a Neurální sluchová vada | MED-EL. *MED-EL | Cochlear Implants for Hearing Loss* [online]. Dostupné z: https://www.medel.com/cz/hearing-loss/

[42] *The hearing review: Designing Hearing Aid Technology to Support Benefits in Demanding Situations, Part 1* [online]. [cit. 2019-12-18]. Dostupné z: https://www.hearingreview.com/hearing-products/designing-hearing-aid-technology-to-support-benefits-in-demanding-situations-part-1

[43] Tympanometrie – Nemoc – Pomoc. *Nemoc – Pomoc – Přes překážky ke hvězdám.* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: http://nemoc-pomoc.cz/orl/oblast-usni/vysetreni-sluchu/audiologicka-vysetreni/tympanometrie/

[44] Tympanometrické vyšetrenie - Infosluch. [online]. Copyright © 2019 [cit. 18.12.2019]. Dostupné z: http://infosluch.sk/wp/porucha-sluchu/vysetrenia-sluchu/b-vysetrenie-stavu-a-funkcie-vonkajsieho-a-stredneho-ucha/2-tympanometricke-vysetrenie/

[45] Types of Hearing Aids | Hearing Industries Association - Hearing Industries Association. *Home - Hearing Industries Association*[online]. [cit. 2019-11-24] Dostupné z: https://www.hearing.org/hearing-aids/types-of-hearing-aids/

[46] Vyšetření evokovaných potenciálů (BERA,BAEP,CERA) – Nemoc – Pomoc. *Nemoc – Pomoc – Přes překážky ke hvězdám.* [online]. [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: http://nemoc-pomoc.cz/orl/oblast-usni/vysetreni-sluchu/vysetreni-pomoci-evokovanych-potencialu-berabaepcera/

[47] What are the Most Common Causes of Hearing Loss? | Hearing Solutions. Home - Hearing Solutions UK [online]. Copyright © 2019 Hearing Solutions UK, property of Hearing Solutions Ltd. ALL RIGHTS RESERVED [cit. 18.12.2019]. Dostupné z: https://www.hearingsolutionsuk.com/what-are-the-most-common-causes-of-hearing-loss/

[48] Zkoušky ladičkami – Nemoc – Pomoc. *Nemoc – Pomoc – Přes překážky ke hvězdám.* [online]. [cit. 2019-11-24].Dostupné z: http://nemoc-pomoc.cz/orl/oblast-usni/vysetreni-sluchu/zkousky-ladickami/