

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta

Bakalářská práce

2012

Karel KUBÍČEK

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Přírodovědecká fakulta



Bakalářská práce

Měření hluku hlukoměry

Karel Kubíček

Školitel: RNDr. Milan Předota, Ph.D.

České Budějovice 2012

Bibliografické údaje

Kubíček K., 2012: Měření hluku hlukoměry


[Measurement of noise by phonometers. Bc.. Thesis, in Czech.] – 47 p., Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 27. 4. 2012



.....
Karel Kubíček

Poděkování

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce panu RNDr. Milanu Předotovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky, čas a trpělivost, kterou mi věnoval v průběhu vzniku této práce. Rád bych také poděkoval svým spolubydlícím, že snášeli hluk, vznikající při provádění měření. A v neposlední řadě bych chtěl poděkovat kamarádovi Janu Novákovi za odborné rady a pomoc při konstrukci hlukoměru.

Měření hluku hlukoměry

Anotace

Bakalářská práce se zabývá problematikou měřením hluku. Teoretická část se věnuje poznatkům získaných ze studia odborné literatury. Je zde uvedeno shrnutí zdravotních a legislativních souvislostí hlukové zátěže a dále se zabývá druhy hlukoměrů a jejich kalibrací. Praktická část práce se zabývá sestavením vlastního hlukoměru a jeho využití v praxi. Hodnoty získané z vlastního hlukoměru jsem porovnával s naměřenými hodnotami referenčního hlukoměru a tato data jsem dále zpracovával k posouzení funkčnosti vlastního hlukoměru

Klíčová slova: hluk, hlukoměr, sluchové ústrojí, decibel, kalibrátor

Measurement of noise by phonometers

Annotation

The Bachelor thesis deals with problems related to measurement of noise. The theoretical part deals with knowledge gained from the study of literature. This part summarizes the legislative context of health and noise pollution and deals with types of phonometers and calibration. The practical part deals with constructing his own phonometer and its use in practice. The values obtained from own phonometer were compared with measured values of the reference phonometer. The obtained data were further processed and assessed the functionality of own phonometer

Keywords: noise, phonometer, auditory system, decibel, calibration

Obsah

1.0	ÚVOD.....	9
1.1	CÍLE PRÁCE.....	10
2.0	HLUK A JEHO ZDRAVOTNÍ ÚČINKY.....	11
2.1	NEPŘÍZNIVÉ ÚČINKY HLUKU NA ČLOVĚKA.....	11
2.2	SHRnutí ANATOMIE SLUCHOVÉHO ÚSTROJÍ.....	12
2.2.1	<i>Zevní ucho.....</i>	<i>12</i>
2.2.2	<i>Střední ucho.....</i>	<i>12</i>
2.2.3	<i>Vnitřní ucho.....</i>	<i>13</i>
2.3	MECHANISMUS SLYŠENÍ.....	14
2.4	ROZSAH SLUCHU.....	14
2.4.1	<i>Sluchové pole a jeho strukturalizace.....</i>	<i>15</i>
2.4.1	<i>Infrazvuk a ultrazvuk.....</i>	<i>17</i>
2.4.2.1	<i>Infrazvuk.....</i>	<i>17</i>
2.4.2.2	<i>Ultrazvuk.....</i>	<i>17</i>
2.4.3	<i>Poruchy sluchu.....</i>	<i>17</i>
2.4.3.1	<i>Poruchy získané během vývoje.....</i>	<i>17</i>
2.4.3.2	<i>Poruchy získané během života.....</i>	<i>18</i>
2.4.3.3	<i>Kombinované poruchy.....</i>	<i>18</i>
2.4.3.4	<i>Profesionální onemocnění.....</i>	<i>18</i>
2.4.3.5	<i>Sluchové vady podle stupně postižení.....</i>	<i>19</i>
2.5	AUDIOMETRIE.....	19
2.5.1	<i>Provedení metody.....</i>	<i>20</i>
2.5.2	<i>Audiogram.....</i>	<i>20</i>
2.5.2.1	<i>Vytvoření audiogramu.....</i>	<i>20</i>
2.5.3	<i>Objektivní audiometrie.....</i>	<i>21</i>
2.5.3.1	<i>Vyšetření středoušních reflexů.....</i>	<i>21</i>
3.0	PRÁVNÍ PŘEDPISY.....	23
2.5	VÝPIS NĚKTERÝCH PRÁVNÍCH PŘEDPISŮ.....	23
4.0	DEFINICE ZVUKU A HLUKU.....	24
4.1	ZVUK.....	24
4.1.1	<i>Zdroje zvuku.....</i>	<i>24</i>

4.1.2	Šíření zvuku	24
4.1.3	Hlasitost zvuku.....	24
4.2	HLUK.....	25
4.3	MĚŘENÍ HLUKU.....	25
4.3.1	Měření hluku prostředí.....	25
4.3.2	Měření hluku zařízení.....	25
4.3.3	Měřicí mikrofon a jeho použití.....	26
4.3.4	Doba působení hluku.....	26
4.3.5	Měřicí přístroje.....	26
4.4	HLUKOMĚRY.....	27
4.4.1	Digitální hlukoměr Voltcraft SL - 50.....	27
4.4.2	Digitální hlukoměr Voltcraft SL - 100.....	28
4.4.3	Hlukoměr s monitorem SL - 130.....	29
4.4.4	Digitální hlukoměr Voltcraft SL - 200.....	30
4.4.5	Digitální hlukoměr Voltcraft SL - 400.....	31
4.4.6	Digitální hlukoměr testo 815.....	32
4.5	KALIBRÁTORY HLUKU.....	33
4.5.1	Kalibrování hlukoměrů.....	33
4.5.2	Kalibrátor zvukové hladiny Voltcraft SLC - 100.....	33
4.5.3	Kalibrátor zvukové hladiny Voltcraft SLC - 326.....	34
5.0	KONSTRUKCE VLASTNÍHO HLUKOMĚRU.....	35
5.1	SEZNAM SOUČÁSTEK.....	35
5.2	VÝROBA DESKY PLOŠNÉHO SPOJE (DPS).....	36
5.2.1	Příprava DPS.....	36
5.2.2	Výroba filmové předlohy.....	35
5.2.3	Osvit.....	37
5.2.4	Vyvolání.....	37
5.2.5	Leptání.....	37
6.0	VLASTNÍ MĚŘENÍ.....	37
6.1.	ZADÁNÍ.....	37
6.2	POUŽITÉ MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE.....	37
6.2.1	Hlukoměr Voltcraft SL - 100.....	37
6.2.1.1	Součásti přístroje a ovládací tlačítka.....	38
6.2.1.2	Symboly zobrazované na displeji přístroje.....	38
6.2.1.3	Funkce přístroje.....	38
6.2.1.4	Kalibrace hlukoměru.....	39

6.3	PŘEHLED NAMĚŘENÝCH HODNOT	40
6.4	GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ HODNOT	42
6.5	SIMULACE OBVODU V PROGRAMU ELEKTRONICS WORKBENCH.....	43
7.0	ZÁVĚR.....	45
	PŘÍLOHY	46
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	47

1.0 Úvod

Tuto planetu obklopuje spousta ekologických problémů, velkých i malých. Mezi tyto problémy patří i hluk. Chránit životní prostředí je jedním z nejvíce potřebných úkolů naší doby. Hluk je pouze zdánlivě méně nebezpečný než znečišťování chemická. Jeho nebezpečnost byla zdravotně prokázána i v případech, kdy se nejedná o zmenšení citlivosti sluchu nebo přímo hluchotu. Hlučnost v životním prostředí roste i pokračující technizací našeho života v takové míře, že nejen překračuje v podstatném počtu případů hranici zdravotní únosnosti, ale v mnohých případech se stává nekontrolovatelnou v tom smyslu, že se vymyká technickým možnostem udržet rostoucí hlučnost prostředí pod přijatelnou hranicí. V ČR není hluk soustavně monitorován tak, jak je tomu ve většině vyspělých států. Největším zdrojem hluku ve venkovním prostředí je již řadu let silniční doprava. Železniční a letecká doprava zasahuje svými negativními účinky výrazně menší počet obyvatel než silniční, je však závažná větší intenzitou, zejména v noční době. Lze odhadnout, že doprava produkuje ve venkovním životním prostředí přibližně 90 % veškeré hlučnosti. Ve velkých městech, jako je Praha, je dopravou působenou hlučností větší než 65 dB zasaženo ve dne přibližně 40 % obyvatel. Bylo odhadnuto, že v ČR žije asi 4,7 % obyvatel v riziku poškození zdraví hlukem z venkovního prostředí.⁽¹⁾

1.1 Cíle práce

- Úvod do problematiky měření hluku hlukoměry, přehled typů hlukoměrů a jejich charakteristik.
- Shrnutí zdravotních a legislativních souvislostí hlukové zátěže.
- Konstrukce vlastního hlukoměru dle modifikovaného návodu.
- Provedení kalibrace hlukoměru SL-100 a provedení referenčních měření s použitím harmonického generátoru zvuku.
- Kalibrace vlastního hlukoměru a porovnání frekvenčních charakteristik s SL-100.
- Závěr, zhodnocení použitelnosti zkonstruovaného hlukoměru.

2.0 Hluk a jeho zdravotní účinky

2.1 Nepříznivé účinky hluku na člověka

O tom, že přílišný hluk má nepříznivé účinky na zdraví člověka se můžeme dočíst v nejrůznějších lékařských nebo statistických studiích. Sluch je mimo jiné důležitý varovný a dorozumivací orgán. Naš organismus reaguje na hluk zvýšením rychlosti srdečního tepu, zvýšením krevního tlaku, zvýší se hladina adrenalinu v našem těle a ztrácí se hořčík. Působí-li na nás hluk dlouhodobě, pak může docházet k hypertenzi, zvýší se riziko náhlých srdečních příhod a celkově se zhorší zdravotní stav, v důsledku celkové nepohody organismu.

Vystavování intenzivnímu hluku vyvolává nejdříve dočasný posun sluchového prahu. Nejdiskutovanější a nejvíce známé jsou samozřejmě různé trvalé vady a poškození sluchu. Poruchy sluchu mohou nastat při krátkodobém vystavení se hluku vyššímu než 130 dB, opakovaným působením hluku nad 85 dB, nebo dlouhodobým účinkem hluku nad 70 dB. ⁽¹⁾

Člověk přijímá převážnou většinu výstražných podnětů z prostředí sluchem. Organismus nemůže fyziologicky vyřadit sluch z činnosti. Jelikož nemůžeme uši zavřít při spaní a centrální nervový systém zpracovává všechny zvukové podněty, nedokážeme usnout při nadměrném působení hluku. Alarmující hluk, který známe z každodenního života (např. hluk přibližujícího se nákladního auta) je i během spánku rozpoznáván jako nebezpečný a podvědomě dochází ke startu stresové reakce. Ovlivnění zdravotního stavu vlivem velkého hluku se projeví nahromaděním mnoha negativních faktorů až za delší dobu, po minimálně 10-15letém vystavování působení hluku. Spánek je aktivní zotavovací proces nezbytný pro regeneraci organismu. Nadměrný hluk prodlužuje dobu usínání, vede ke změnám délky a hlavně kvality spánku s následnými reakcemi jako je zvýšená unavitelnost a tím i snížená výkonnost. Dlouhodobý spánkový deficit může přispět k oslabení imunitních schopností organismu a zvýšené náchylnosti k infekčním onemocněním. Hluk ztěžuje proces učení, využívání zásob paměti i průběh tvůrčích schopností. ⁽²⁾

2.2 Shrnutí anatomie sluchového ústrojí

Kdykoliv se něco pohne nebo zachvěje, vytvářejí se tlakové vlny, které se šíří vzduchem. Sluch je smysl, který zvukové vlny zaměřuje a převádí je na zvukový vjem. Je to jeden z nejvšestrannějších lidských smyslů, protože upozorňuje na jevy, které se odehrávají blízko i daleko, a většinou umožňuje určit, kde se nacházejí, i když je nemůžeme vidět. Také člověku umožňuje komunikovat hudbou i řečí. Zvukové vlny sbírá vnější ucho, ale zaznamenávání zvuku se odehrává až uvnitř lebky. Tam vlny převádí na signály jeden z nejsložitějších orgánů v těle, Cortiho orgán ve vnitřním uchu.

Ucho je rozděleno na tři části. Vnější ucho je odpovědné za zachycování zvuku a přenáší jej do hlavy. Střední ucho převádí s pomocí bubínku a tří kůstek, kovádlíčky, třmínku a kladívka, zvukové vlny na pohyby, jež jsou nakonec ve vnitřním uchu využity k vytvoření tlakových pulsů, které putují hlemýžděm, točitou komůrkou vyplněnou tekutinou. Uvnitř hlemýždě se nachází Cortiho orgán zaznamenávající zvuk. Tlakové pulsy jej rozechvějí a je z něj vyslán signál do mozku. Výška a hlasitost zvuku rozhodují, která část Cortiho orgánu se rozvibruje. Cortiho orgán tvoří vláskové buňky podpírané bazilární neboli základní membránou, které jsou pevně zapuštěné v tektonální membráně. Přicházející zvuk vytvoří tlakové pulsy putující tekutinou hlemýždě, jež pohybují základní membránou nahoru a dolů. Vyčnívající brvy tlačí proti membráně tektoria a ta přiměje vláskové buňky vyslat nervové impulsy, které cestují do mozku, kde jsou vnímány jako zvuky.

2.2.1 Zevní ucho

Ušní boltec je párový plochý útvar přiléhající z boku k hlavě v úhlu 20 – 45°. Jeho podklad (s výjimkou ušního lalůčku) tvoří charakteristicky zprohýbaná elastická chrupavka, která je z obou stran pokryta kůží. V místě, kde se boltec trychtýřovitě zužuje, můžeme najít začátek zevního zvukovodu. Jedná se o zahnutou trubici s oválným průřezem a průměrem cca 2,5 cm směřující ke středoušní dutině. Skládá se ze zevní chrupavkovité a vnitřní kostěné části. ⁽¹⁾

2.2.2 Střední ucho

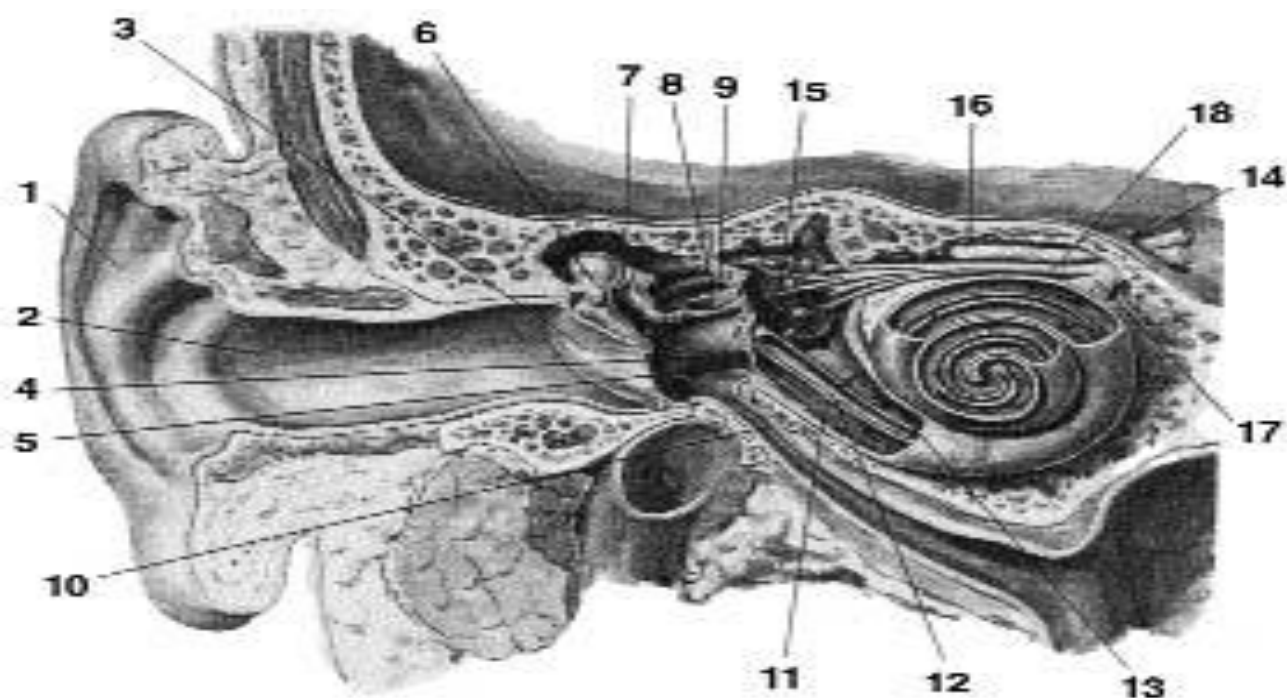
Bubínek je tenká růžově šedavá membrána vtažená do středoušní dutiny. Zde se z jeho středoušní strany spojuje rukojeť kladívka. Bubínek je postaven našikmo, přední stranou dovnitř a zadní stranou ven.

Dutina bubínková je prostor, který se nachází uprostřed za bubínkem. Je uložena ve spánkové kosti a má podobný tvar nepravidelnému hranolu. Je vyplněna vzduchem a pokryta tenkou sliznicí. Sluchové kůstky seskupují kloubně spojený řetězec mezi bubínkem a elipsovitém okénkem. Jeho primárním úkolem je přenos chvění bubínku, způsobeného zvukovými vlnami, do nitroušního labyrintu. Středoušní dutina obsahuje také dva svaly s ochrannou úlohou, které zabraňují poškození sluchového orgánu při vysokých zvukových impulsch. Jsou to sval bubínkový a sval třmínkový.

Středoušní dutinu s nosohltanem spojuje Eustachova trubice. Jejím úkolem je dostávat vzduch do středouší a vyrovnávat tlakové rozdíly. Její délka je přibližně 3 cm.⁽¹⁾

2.2.3 Vnitřní ucho

Vnitřní ucho je tvořeno blanitým bludištěm uloženým ve skalní kosti. Skládá se z vestibulárního aparátu a z hlemýžďe. Vestibulární aparát je nehybným orgánem pro vnímání polohy hlavy vzhledem k vertikálnímu směru. Hlemýžď je sluchovým ústrojím podélně rozdělen na dva kanálky. První komunikuje s oválným okénkem, druhý s kruhovým. Oba kanálky jsou spolu propojeny na vrcholu hlemýžďe. Od kostěné lišty, která odděluje oba kanálky, vybíhají dvě membrány – baziliární a Reissnerova. Na baziliární bláně se nachází vlastní smyslové ústrojí – Cortiho orgán.



Obrázek č. 1: Sluchové ústrojí⁽³⁾

Zevní ucho – 1 boltec, 2 zvukovod, Bubínek (3) odděluje zevní ucho od středního, Střední ucho – dutina bubínková (4), okénko (5, 9), kůstky – kladívko, kovadlinka, třmínek (6, 7, 8), Eustachova trubice – spojuje bubínkovou dutinu s nosohltanem (10), Vnitřní ucho se skládá z vlastního sluchového ústrojí, kterým je hlemýžď (11, 12, 13), vnitřního zvukovodu (14), ústroje rovnováhy (15) a nervů (16, 17, 18).⁽³⁾

2.3 Mechanismus slyšení

Úkolem ucha je převést mechanické kmitání, což je v podstatě střídavé zhušťování a zředování vzduchu, na nervový ruch, který je přiveden do mozku. Zvukové vlny jsou shromažďovány ušním boltcem, který je soustřeďuje a směřuje do zvukovodu. Nasměrováním ušních boltců ulehčuje přijímání zvukových vln zepředu, formuje však překážku pro zvuk, jenž přichází zezadu. Lépe jsou proto rozeznávány zvuky, které vstupují zepředu. Zvuk je veden zvukovodem k ušnímu bubínku, jehož membrána se pod vlivem akustických vln rozkmitává. Tyto části sluchového ústrojí se nazývají vnější ucho. Za bubínkem pokračuje ucho střední. V něm přebírají mechanické chvění bubínku středoušní kůstky (kladívko, kovadlinka a třmínek). Tyto kůstky převádějí kinetickou energii na energii tlakovou, která doléhá na tzv. oválné okénko, jež tvoří vstup do vnitřního ucha. Ve vnitřním uchu je umístěn hlemýžď. Je to spirálovitě stočený kostěný obal, jenž je vyplněn zvláštním tekutinou – lymfou. Hlemýžděm jsou propojeny polokruhovitě kanálky, které jsou sídlem smyslu pro rovnovážné ústrojí.⁽⁴⁾

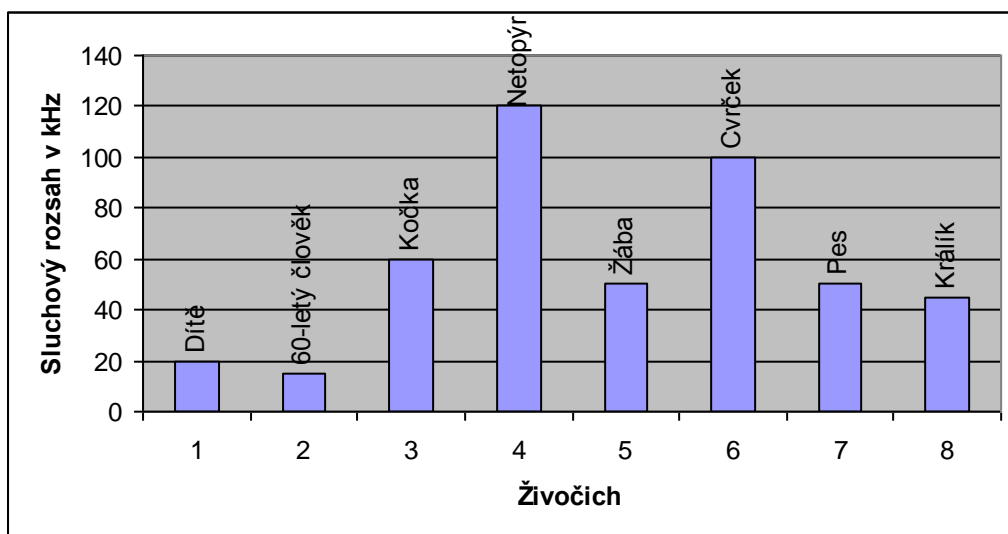
2.4 Rozsah sluchu

Lidské ucho dokáže rozlišit více než miliardu rozdílů v hlasitosti od pískání komára, které má hodnotu asi 10 decibelů, po řev letadla, který činí 130 i více decibelů. Ucho má zabudovanou účinnou ochranu proti velice hlučným zvukům, například nejmenší sval v těle nazývaný třmínkový chrání ušní kůstky před přílišným rozechvěním. Neustále vystavování se hlasitým zvukům poškozuje sluch, pokud není ucho chráněno tlumiči hluku.

Běžným následkem stárnutí je pozvolná ztráta sluchu. Někdy postihne i mladé lidi. Bývá způsobena potížemi se zvukovodem, ale může také vzniknout jako následek nemoci, která poškodí vláskové buňky nebo nervy. Takový druh hluchoty může být vyléčen hlemýžďovým implantátem, elektronickým zařízením, které převádí zvuky přímo na elektrické signály, které jsou vysílány do mozku.

Výška zvuku závisí na jeho frekvenci, což je rychlost, jakou se tvoří vzdušné kmity. Frekvence je měřena v počtu kmitů za sekundu neboli hertzech (Hz), vyšší jednotkou je kilohertz (kHz). Někteří lidé dokážou uslyšet zvuky, které mají frekvenci nižší než 20 Hz, horní hranice záleží

na stáří. Uši dětí zachytí vysoké frekvence snáz, během stárnutí se horní hranice postupně snižuje. Jak je vidět na obrázku dole, mnoho zvířat je schopných vnímat zvuky, které jsou pro člověka příliš vysoké, takže je nemůže slyšet.



Graf č. 1: Sluchový rozsah živočichů

2.4.1 Sluchové pole a jeho struktura

Základními vlastnostmi zvuku jsou výška, hlasitost, barva a trvání. Zvukové vlnění vychází od kmitajícího hmotného tělesa, které je zdrojem zvuku. Vzduchové okolí je dokáže předat nejen k uchu člověka, ale může rozechvít i jiná tělesa. Vynucené kmity těchto těles, tzv. rezonátorů mají frekvenci shodnou s kmitočtem budící síly. Frekvencí kmitání je určena výška sluchového podnětu. Kmitočet se udává jako počet kmitů za sekundu, jednotkou je hertz (Hz). Jako zvuk vnímáme kmitání v rozmezí 16 Hz – 16 000 Hz. Horní sluchová hranice se však s věkem postupně snižuje, viz následující tabulka.⁽⁴⁾

Úbytek slyšitelnosti se vzrůstajícím věkem:

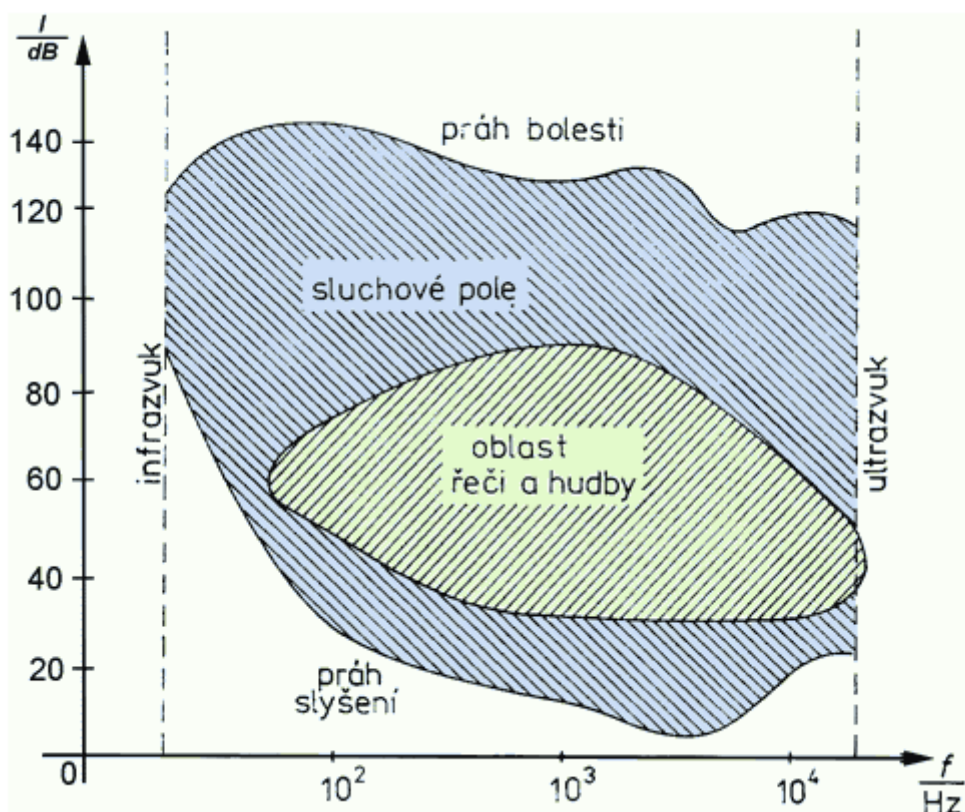
Věková skupina	kmitočet (kHz)					
	8	10	12	14	16	18
20-29	100	100	100	90	60	40
30-39	100	100	90	70	30	20
40-49	100	90	70	40	15	10
50-59	100	80	40	20	5	0
60-69	90	70	20	0	0	0

Úbytek sluchu není citelně vnímán, neboť například u mužů je střední poloha hovorového hlasu mezi 125 Hz, u žen a dětí asi 250 Hz. Zvuk nad horní sluchovou hranicí se nazývá ultrazvuk, pod dolní mezi infrazvuk. Jejich složky mohou být obsaženy i ve

slyšitelném zvuku. Při větších hladinách jsou pro zdraví škodlivé. Jestliže převedeme maximální a minimální prahové intenzity zvuku do logaritmického poměru, získáme hladinu akustické intenzity. Jednotky této škály byly nazvány bely. V praxi se používají stupnice o rozsahu 130 decibelů (dB). Míra akustické intenzity se měří zvukoměry. Následující přehled ukazuje hladinu známých zvuků.

šum listí	5 dB	symfonický orchestr	70 – 90 dB
zvuk houslí	25 – 35 dB	hluk velkoměsta	70 – 100 dB
zvuk klavíru	50 dB	rocková hudba	110 – 120 dB

Celý rozsah zvuků, které dokáže vnímat lidské ucho (0–130 dB) nazýváme sluchovým polem. To je vymezeno shora prahem bolesti, zdola je to pak prahem slyšení zvuku. Jde vlastně o jakousi závislost akustického tlaku v decibelech na frekvenci v Hertzích. Práh slyšení je nejmenší hodnota intenzity zvuku, která již způsobí u dané osoby sluchový vjem. Práh bolesti je intenzita zvuku, při které vzniká bolestivý pocit.⁽¹⁾



Obrázek č. 2: Sluchové pole

2.4.2 Infrazvuk a ultrazvuk

Člověk vnímá sluchem zvukové vlny o frekvenci přibližně od 16 Hz do 16 kHz. Některá zvířata vnímají zvuky až do 100 kHz. Nejvyšší tón o frekvenci 60 GHz byl vytvořen laserovým paprskem zaměřeným na safírový krystal.

2.4.2.1 Infrazvuk

Vlnění o nižším kmitočtu než 16 Hz lidské ucho nedokáže vnímat a nazýváme ho infrazvuk. Do infrazvuku můžeme zařadit především otřesy a záchvěvy půdy, těžké dopravní prostředky vyvolávající kmity domů a půdy, zemětřesení způsobuje kmity o frekvenci nižší než 1 Hz. Vzhledem k tomu, že frekvence vlastních kmitů budov a jejich částí leží často ve spektru kmitočtů infrazvukových vln, mohou tyto kmity způsobit nebezpečné rezonanční jevy. K rozpoznání infrazvukových vln se využívají seismografy (jsou to přístroje na měření vln vznikajících při zemětřesení). Například sloni využívají infrazvuk k vzájemné komunikaci. Jsou schopni se tak slyšet až na vzdálenosti několika kilometrů.

Infrazvuk dokáže nepříznivě působit na člověka. Frekvence 7 Hz odpovídá kmitočtu alfa rytmů mozkových, které zodpovídají duševní stav klidu a pohody. Je-li člověk vystaven frekvencím podobným, pak nedokáže být v klidu a soustředit se na danou věc.

2.4.2.2 Ultrazvuk

Mechanické kmitání o frekvenci vyšší než 16 kHz lidské ucho také nevnímá a nazýváme ho ultrazvuk. Ačkoli ultrazvuky neslyšíme, přece jen jejich účinek můžeme velmi dobře pozorovat na jednoduchém pokusu. Ponoříme-li například kmitající destičku do nádoby s olejem, vytvoří se na hladině tekutiny vypuklina velká 10 cm a olejové kapky vystřikují až do výše 40 cm. Ultrazvukové kmity mají velmi silný vliv na živé organismy: roztrhají vlákna vodních řas, drtí živočišné buňky, porušují krvinky; malé ryby a žáby usmrtí ultrazvuk za 1 až 2 minuty. Ultrazvuková pípnutí slouží netopýrům a delfinům k hledání potravy. Upozorní na ně ozvěna, kterou zaznamená citlivé sluchové ústrojí – je to takový zvukový radar.⁽⁵⁾

2.4.3 Poruchy sluchu

Vznikají při poruchách vnitřního ucha a sluchové dráhy, jež mají za důsledek porušené vnímání neboli percepci zvuku. U nich je třeba rozdělit, zda jsou umístovány přímo v hlemýždi, potom se jedná o nedoslýchavost kochleární, nebo za hlemýžděm ve sluchovém nervu, pak mluvíme o poruše retrokochleární.

2.4.3.1 Poruchy získané v průběhu nitroděložního vývoje

Už během těhotenství může být zasáhnout vývoj sluchového orgánu mnoha vlivy. Na první místo musíme zařadit virová onemocnění, z nichž především zarděnky způsobují velmi často těžké poškození sluchu až hluchotu. Méně často vyvolává podobná poškození i vir chřipky. Tyto infekce však ohrožují jen v prvních třech měsících těhotenství.⁽⁶⁾

2.4.3.2 Poruchy získané během života

Dvěma hlavními důvody ohluchnutí v nízkém věku bývají záněty mozkových blan. U tohoto zánětu je nebezpečí vniknutí infekce do vnitřního ucha, kde zánět vyvolá vždy hluchotu. U dospělých se samozřejmě mohou vyskytovat stejné příčiny poškození sluchu jako u dětí, ale nejsou tak obvyklé. Většina percepčních poruch u dospělých je způsobena nedostačujícím prokrvením, a tím se dostane málo kyslíku do vnitřního ucha. Smyslové buňky hlemýžďe potřebují neustálé a dostatečné zásobování kyslíkem. I snížený přísun kyslíku na krátkou dobu způsobí dočasné, ale může i trvale poškodit smyslové buňky. To se projeví zhoršením sluchu, nejprve hlavně v oblasti vysokých tónů.

Zhoršování sluchu v pozdějším věku je přirozený proces, podobně jako u zraku a ostatních funkcí. Stařecká nedoslýchavost se začne projevovat nejprve v oblasti vysokých tónů, a postižení proto si myslí, že slyší dobře, ale špatně rozumějí. Špatné rozumění řeči, a to nejvíce tehdy, hovoří-li více lidí najednou, je dáno tím, že postižení neslyší právě vysoké tóny, jež jsou rozhodující pro rozpoznání jednotlivých hlásek.

Množství těchto změn a rovněž věk, ve kterém se začnou projevovat, záleží na každém jednotlivci. Je však nepochybné, že hluk, který nás stále více obklopuje, posunují uvedené změny na sluchovém ústrojí do stále nižších věkových skupin.⁽⁶⁾

2.4.3.3 Kombinované poruchy

Převodní i percepční poruchy se mohou vyskytnout najednou na tomtéž uchu, poté mluvíme o kombinované nedoslýchavosti. Nejčastější příčinou kombinované poruchy je dlouhotrvající středoušní zánět. Existuje i řada dalších onemocnění, kde je nedoslýchavost jedním z příznaků. Zde jsou ale vypsány jen ty nejčastější případy.⁽⁶⁾

2.4.3.4 Profesionální onemocnění

Dlouhodobý velký hluk způsobuje dočasný posun sluchového prahu, poté ale dochází k jeho stálému posunu a vzniku percepční poruchy. Poškození sluchu z hluku je nevratitelné. Pokud se však postižený nebude nadále pohybovat v hlučném prostředí, porucha se přestane zhoršovat. Porucha sluchu se vyvíjí několik let. Postihuje zprvu vysoké frekvence 4 až 6 kHz, což postižený nemusí často ani zaznamenat. Dále jsou však zasáhnuty i

další oblasti včetně kmitočtů 1 až 2 kHz, což jsou frekvence důležité pro porozumění řeči. Zde již postižený vnímá mnohem větší problémy.⁽⁴⁾

2.4.3.5 Sluchové vady podle stupně postižení

Na základě znaleckých vyšetření může být určena ztráta sluchu v decibelech. Podle stupně újmy můžeme rozdělit nedoslýchavost přibližně takto:

- Lehká nedoslýchavost (20 – 40 dB)
- Středně těžká nedoslýchavost (40 – 60 dB)
- Těžká nedoslýchavost (61 – 80 dB)
- Praktická hluchota (nad 81 dB)
- Úplná hluchota při žádném zvukovém vjemu

Osoby s lehkou nedoslýchavostí mívají potíže se slyšením v hlučném prostředí, na ulici, v rozhovoru s více lidmi najednou, nebo při koukání na televizi. Jedinci se středně těžkou nedoslýchavostí již potřebují naslouchátka, která umožňují dobré porozumění hlasité řeči. U těžké nedoslýchavosti jsou postižení prakticky ohluchlí a naslouchátka se pro ně stávají. K lepšímu rozumění jim také pomáhá odezírání ze rtů. U zcela ohluchlých lidí už bohužel nepomohou ani sluchadla.⁽⁷⁾

2.5 Audiometrie

Audiometrie je jednou z možností vyšetření sluchu. Jde o prohlídku prováděnou pomocí tónového generátoru, kterým se otestuje citlivost sluchu na jednotlivé tóny. Podstatnou metodou je způsob, jakým vnímáme zvuk v Cortiho orgánu, vnitřního ucha. Je-li do místa vnitřního ucha přivedeno akustické vlnění, dochází k přenosu mechanické energie z tekutiny na bazilární blánu a dojde k jejímu rozkmitání. Množství energie, která přestoupí, však závisí na lokálních mechanických vlastnostech bazilární membrány. Pokud je frekvence akustického vlnění rovna rezonančnímu kmitočtu malého oddílu bazilární membrány, dochází v daném místě k velkému přenosu energie a tím ke kmitání daného úseku bazilární membrány. Tento rozkmit je převeden na nervové impulzy a přesunut do mozku k dalšímu zpracování a vyhodnocení. Pokud je však frekvence akustického vlnění odlišná od rezonančního kmitočtu daného místa bazilární membrány, dochází jen k nízkému přenosu energie, bazilární membrána začne kmitat jen nepatrně a nedojde ke vzniku nervového impulzu. Dalším důležitým hlediskem při měření citlivosti sluchu je to, že existují dvě cesty, kterými se může dostat zvukové vlnění do Cortiho orgánu. Nejdůležitější cestou je tzv.

vzdušné vedení, kdy jsou akustické vibrace vysílány cestou bubínku a kůstek středního ucha do ucha vnitřního. Zejména pro malé frekvence se uplatňuje i kostní vedení, při kterém jsou akustické kmity přenášeny do vnitřního ucha tím, že zvuk rozechvívá přímo lebeční kosti.⁽⁸⁾

2.5.1 Provedení metody

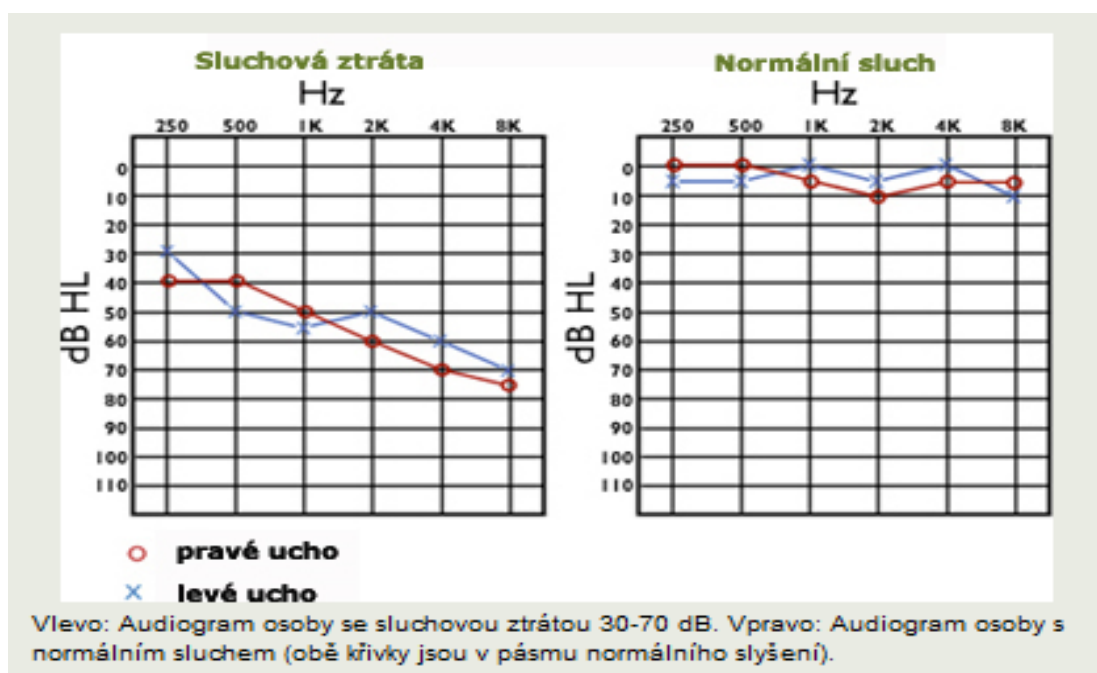
Při vlastním měření je vyšetřovaný umístěn do zvukotěsné místnosti a na uši si nasadí sluchátka. Vyšetřující postupně zesiluje intenzitu čistého tónu z předem určeného výčtu tónů a v okamžiku, kdy pacient slyší tón, signalizuje to za pomoci světelného zařízení. Vyšetřující poznamená hladinu intenzity zvuku, který vyšetřovaný právě uslyšel (je to tzv. práh intenzity) a přejde na další frekvenci. Po změření všech určených frekvencí se totéž opakuje i pro druhé ucho.

2.5.2 Audiogram

Audiogram je grafické znázornění výsledků sluchových testů (audiometrie). Z audiogramu můžeme vyčíst prahové hodnoty sluchu na různých frekvencích.

2.5.2.1 Vytvoření audiogramu

K získání podrobného přehledu o stavu pacienta je nutné vykonat mnoho různých sluchových zkoušek, včetně určení prahu sluchu na rozdílných kmitočtech. Práh sluchu určuje zvuky, které jsou pro vyšetřovaného ještě slyšitelné. Výsledek je vypsán do audiogramu a je porovnán s křivkou normálního sluchu. Srovnáním obou audiogramů dostaneme sluchovou ztrátu.⁽¹⁴⁾



Obrázek č. 3: Audiogram

Svislá osa ukazuje intenzitu zvuku – jak je zvuk nahlas, nebo jak je potichu.

Vodorovná osa zobrazuje frekvenci – nízké kmitočty jsou vlevo a vyšší vpravo.

Křivka v horní oblasti zobrazuje normální úroveň sluchu.

Jsou-li všechna vyšetření v pásmu do cca 20 dB, pak je úroveň sluchu normální ve všech frekvencích.

Pro naměřené hodnoty nižší než 20 – 30 dB se jedná o sluchovou ztrátu. A platí pravidlo, že čím je křivka umístěna níže, tím je sluchová ztráta větší.⁽¹⁴⁾

2.5.3 Objektivní audiometrie

Výše popsané vyšetřovací metody umožňovaly vyšetření sluchu jen na základě informací pacienta, to znamená, že nejsou objektivní a vyžadují spolupráci pacienta a hlavní je jeho dobré. V některých případech musíme stanovit práh sluchu i tehdy, kdy součinnost pacienta, potřebná k dosažení důvěryhodných výsledků, není a nemůže být dostačující. To především při vyšetření malých dětí, ale například i u osob se sníženou inteligencí a v některých jiných případech. Podstatou objektivních vyšetřovacích metod je skutečnost, že výsledek šetření není ovlivněn spoluprací pacienta. V současnosti se k objektivnímu vyšetření sluchu používají tři metody:

1. vyšetření reflexů středoušních svalů
2. vyšetření evokovaných sluchových potenciálů
3. vyšetření oktoakustických emisí.

Veškeré tyto metody vyžadují speciální technické vybavení a speciální znalosti při vyhodnocování výsledků.

2.5.3.1 Vyšetření středoušních reflexů

Lidský sluch je schopen zpracovat zvuky v ohromném rozsahu intenzity, kterou vnímáme jako větší či menší hlasitost. Některé zvuky jsou však přesto příliš hlučné a mohly by náš sluch poškodit. Proto máme ve středním uchu dva malé svaly, které nás před vnímáním těchto vysokých zvuků chrání. Pokud uslyšíme příliš silný zvuk, tyto svaly se stáhnou a svým zvýšeným napětím zesílí odpor převodního systému. Tím se současně ztíží převod zvuku z bubínku do vnitřního ucha. Po odeznění hluku svaly znovu povolí a ucho opět pracuje citlivě jako předtím. Vybavení středoušních reflexů lze poměrně snadno zaznamenat vyšetřovacím přístrojem, který se jmenuje tympanometr. Tento přístroj pracuje na bázi měření a hodnocení poddajnosti bubínku, kterou měří za přítomnosti zvuku známé nad prahové intenzity. Při vypnutí středoušních svalů se poddajnost bubínku snižuje a přístroj zobrazí tuto

změnu ve formě charakteristické křivky. Při sluchové poruše jsou středoušní reflexy hůře vybavitelné, u těžkých vad chybějí úplně. Naměřené výsledky však nezávisí jen na velikosti prahu sluchu, ale i na druhu nedoslýchavosti, a proto jejich vyhodnocení žádá velkou zkušenost lékaře. Z těchto důvodů a rovněž proto, že jimi nelze přímo stanovit velikost prahu sluchu, Proto se tento typ vyšetření používá při stanovení míry sluchové poruchy pouze doplňkově.⁽⁹⁾

3.0 Právní předpisy

Současná právní úprava řeší povinnost osob nepřekračovat stanovené hygienické limity. Dále stanovuje postup při porušení uvedených povinností. Ochranná opatření, stanovená zákonem, zahrnují zpracovávání tzv. strategických hlukových map a akčních plánů snižování hluku.

Hygienickým limitům hluku dává konkrétní náplň nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Nařízení vlády stanovilo maximální povolené hodnoty hluku a vibrací pro pracoviště a především pro chráněný venkovní prostor, chráněné vnitřní prostory staveb a chráněné venkovní prostory staveb, vedle toho se zaměřuje i na způsoby měření a hodnocení těchto ukazatelů. Hygienický limit je v tomto předpisu chápán jako nejvyšší přípustná hodnota hluku nebo vibrací stanovená pro místa pobytu osob z hlediska ochrany jejich zdraví před nepříznivými účinky hluku nebo vibrací.

3.1 Výpis některých právních předpisů, které upravují hluk

- zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů
- zákon č. 222/2006 Sb., o integrované prevenci a omezení znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů
- nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- vyhláška č. 523/2006 Sb., kterou se stanoví mezní hodnoty hlukových ukazatelů, jejich výpočet, základní požadavky na obsah strategických hlukových map a akčních plánů a podmínky účasti veřejnosti na jejich přípravě
- zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů
- nařízení vlády č. 9/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na výrobky z hlediska emisí hluku
- metodický návod ministerstva zdravotnictví, hlavního hygienika
- zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezení znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů

4.0 Definice zvuku a hluku

4.1 Zvuk

Zvukem nazýváme jakékoli mechanické vlnění v látkovém prostředí, které může vyvolat v lidském uchu sluchový vjem. Fyzikálními ději, které jsou propojeny s původem zvukového vlnění, jeho šíření a vnímání sluchem se zabývá akustika. Zvuk člověku přináší informace a okolním světu. Celý tento děj přenášení informací si můžeme představit jako soustavu, která má tři hlavní části:

- Zdroje zvuku
- Prostředí, ve kterém se zvuk šíří
- Přijímač zvuku

4.1.1 Zdroje zvuku

Zdrojem zvuku je chvění elastických těles, které je přenášeno do okolního prostředí a vyvolává v něm zvukové vlnění. Mechanické vlnění s kmitočty menšími než 16 Hz nazýváme infrazvuk, je-li frekvence větší než 16 kHz je to ultrazvuk. Hudební zvuky a tóny se nazývají periodické zvuky. Neperiodické zvuky chápe člověk jako hluk (praskot, bušení, skřípot atd.).

4.1.2 Šíření zvuku

Ze zdroje se zvuk šíří jen elastickým látkovým prostředím jakéhokoli skupenství. Nejčastěji se zvuk šíří vzduchem jako podélné postupné vlnění. Nejdůležitější charakteristikou prostředí z hlediska šíření zvuku je rychlost zvuku v určitém prostředí. Rychlost zvuku závisí na tom, jaké je složení vzduchu, jestli tam nejsou nějaké nečistoty a jaká je vlhkost, ale také na jeho teplotě.

4.1.3 Hlasitost zvuku

Zvuková vlna představuje periodické stlačování a rozpínání prostředí (vzduchu, vody, kovu aj). To znamená, že třeba ve vzduchu dochází k pravidelným změnám atmosférického tlaku, který uchem chápeme jako zvuk určité hlasitosti. Pro objektivní vyhodnocení zvuků byla zavedena veličina intenzita zvuku I , která je definována vztahem $I=P/S$, kde P představuje výkon zvukového vlnění a S je obsah plochy, kterou vlnění prochází. Jednotkou intenzity zvuku je $W*m^{-2}$. Je to akustická energie, která projde za jednotku času jednotkou plochy.

4.2 Hluk

Hluk je prvotním jevem chvění, které u technických zařízení způsobuje namáhání materiálu, které vede až k poruše. Hlukem můžeme definovat každý pro nás nepříjemný zvuk.

Před padesáti lety byly přílišným hlukem zasaženy jen některé profese průmyslových dělníků. V poslední době je trend takový, že hluk narůstá každý rok o 1 dB. Nadměrným hlukem jsou postihnuty skoro všechny skupiny obyvatelstva ve městech i na vesnici nejen při práci ale i při odpočinku. Může za to zprůměrnění skoro všech okruhů a zavádění techniky i do těch oblastí, kde dříve nikdy nebyla. V programech ochrany životního prostředí, které vykonávají vyspělé státy, se hluk řadí zpravidla hned za znečištění ovzduší a ochranu povrchových vod.

4.3 Měření hluku

Hluk měříme pomocí přístrojů, které nazýváme hlukoměry. Hluk se měří na různých místech, při odlišných podmínkách a za různým účelem. Většinou by se měření dalo rozdělit podle účelu na dva hlavní druhy. ⁽¹⁶⁾

- měření hluku prostředí
- měření hluku zařízení

4.3.1 Měření hluku prostředí

Stanovujeme akustické veličiny charakterizující hluk v místě pobytu osob na pracovišti.

Zjišťujeme tyto údaje:

- hladiny hluku v určitém místě nebo prostoru
- spektrum hluku

Při měření zvuku v pracovním prostředí bývá více zdrojů hluku. A jelikož měření má vystihnout reálné podmínky při práci pracovníka, tak se neprovádějí žádné výrazné úpravy a předpokládá se i měření v poli odražených zvukových vln.

Pro venkovní prostředí je základní povolená hodnota 50 dB. K ní se pak přičítají příslušné korekce. Za výjimečných okolností je možné ještě přičíst korekci +10 dB, a to v místech přiléhajících k dálnicím, komunikacím I. a II. třídy a v místech významných městských uzlů.

4.3.2 Měření hluku zařízení

Při tomto měření určujeme základní parametry charakterizující zdroj hluku při provozu. Velmi důležité je vyloučení všech rušivých zvukových vlivů (např. hluk okolí).

Zjišťujeme tyto údaje:

- hladinu hluku
- spektrum hluku
- směrovou charakteristiku hluku

4.3.3 Měřicí mikrofon a jeho použití

Pokud není mikrofon všesměrový, nastavujeme ho pokaždé tak, aby směřoval k hlavnímu zdroji hluku. K chránění mikrofonu ve špatném prostředí slouží různé druhy ochranných krytů. Mikrofon obvykle umístíme na stativ nebo ho například zavěsíme blízko zdroje hluku. Musíme dbát hlavně na to, aby mezi mikrofonem a zdrojem nebyla žádná překážka. Mikrofon nevystavujeme přílišným otřesům nebo vibracím, vysoké teplotě nebo vlhkosti a nadměrnému víření vzduchu.⁽¹⁰⁾

4.3.4 Doba působení hluku

Aby bylo měření hluku objektivní, musí se realizovat za určitých podmínek.

Hluk nelze například měřit za špatného počasí (silný vítr, déšť, sněžení), u hluku z dopravy je zapotřebí měřit v den s obvyklou mírou dopravy (ve všední den). Ve vnitřních, ale i venkovních prostorech jsou hlavními faktory ovlivňující měření prašnost, teplota, proudění vzduchu, rychlost větru, vzdálenost od stěn, elektromagnetické pole atd.⁽¹⁰⁾

4.3.5 Měřicí přístroje

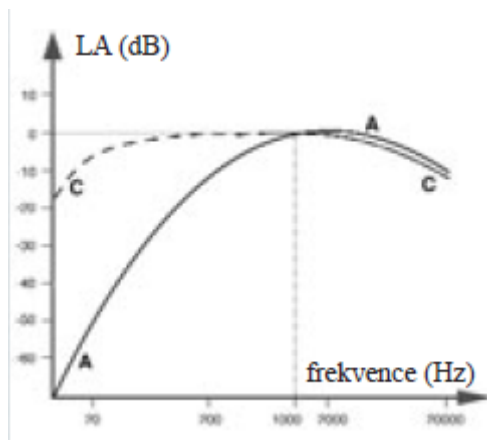
Pro obvyklá měření hluku se využívají přístroje vyhovující ustanovením ČSN 35 6870 o přesných zvukoměrech. Tyto zvukoměry jsou navíc opatřeny indikací přebuzení vstupních a výstupních obvodů a používají se i pro zevrubná měření. Před jakýmkoliv započatým měřením i při jeho ukončení se provede kalibrace přístroje pomocí referenčního signálu. Pro dokonalé měření se kalibrace provádí i v průběhu měření.

Hlukoměry jsou rozdílných typů, ale musí dávat stejné výsledky, což vyžaduje dodržovat přesně dané vlastnosti přístrojů.

- Běžné hlukoměry dovolují odchylky od fyzikálně přesné hodnoty v nepříznivých případech až ± 4 dB a používají se pro provozní měření
- Přesné hlukoměry připouštějí odchylku ± 2 dB, a proto slouží ke kontrolním a laboratorním měřením

Základním prvkem tedy akustickým měničem na vstupu je zpravidla mikrofon, mnohdy je to kondenzátorový. Hlukoměr dále obsahuje zesilovač a analogové přepínání rozsahů. Další části již souvisejí s vyhodnocením signálů a zobrazováním výsledků měření. Nejdřív je zařazen modul, který umožňuje jiné druhy filtrací. Zvukoměry většinou obsahují váhové filtry *A*, *B*, *C* a ev. *D*. Jsou to jednoduchá zařízení, jejichž frekvenční charakteristiky

odpovídají profilům lidského sluchu. Zobrazovací jednotka je dnes většinou digitální. Rychlost a reakce na změnu signálu je závislá na mechanických a elektrických vlastnostech měřidla. Ty určují časovou konstantu.⁽¹²⁾



Obrázek č. 4: Frekvenční charakteristiky „A“ a „C“

Charakteristika „A“ zastupuje charakteristiku sluchu lidského ucha. Člověk vnímá hlubší tóny tišeji než střední a vysoké tóny.

Charakteristika „C“ vyhodnocuje škálu frekvencí lineárně a bez filtru (je to skutečná hladina hluku). Přepnutí mezi těmito charakteristikami učiníte stisknutím tlačítka „A/C“. Na displeji přístroje dojde k zobrazení značky „dBA“ nebo „dBC“.

4.4 Hlukoměry

4.4.1 Digitální hlukoměr Voltcraft SL – 50

Tento přístroj s automatickou volbou rozsahu měření a před nastavitelnými veličinami vám umožňuje měření hladiny hluku s lineárním vyhodnocením frekvence (dBC). DBA je určeno pro nízké hladiny zvuku. Reakce ucha se mění v závislosti hladiny akustického tlaku. Křivka DBC je vhodná pro vysoké úrovně zvuku. Ideální pro snadné měření okolního hluku nebo zdrojů zvuku.

Technická data:

Rozsah měření od 40 dB do 130 dB s přesností $\pm 3,5$ dB při 1 kHz a s rozlišovací schopností hladiny zvuku 0.1dB. Doba odezvy je 125 ms (je to čas, kdy se zobrazí změřený vzorek na display). Frekvenční rozsah od 30 Hz až do 4 kHz. Hlukoměr je napájen 9V baterií. Průměr kondenzátorového mikrofónu je $\frac{1}{2}$ ". Rozměry (Š x V x H) 52×130×32 mm. Hmotnost 135 g.⁽¹⁰⁾



Obrázek č. 5: Digitální hlukoměr SL – 50

4.4.2 Digitální hlukoměr Voltcraft SL – 100

Hlukoměr „SL-100“ slouží k orientačním měřením (například ke zjištění, zda nedošlo k podstatnému překročení určité hladiny hluku).

Technická data:

Rozsah měření od 30 dB do 130 dB A/C s přesností ± 2 dB při 1 kHz a s rozlišovací schopností hladiny zvuku 0.1dB. Doba odezvy je 125/1000 ms (je to čas, kdy se zobrazí změřený vzorek na display). Frekvenční rozsah od 31,5 Hz až do 8 kHz. Hlukoměr je napájen 9V baterií. Rozměry (Š x V x H) 55×210×32 mm. Hmotnost 230 g.⁽¹⁰⁾



Obrázek č. 6: Digitální hlukoměr SL – 100

4.4.3 Hlukoměr s monitorem SL – 130

Ideální přístroj k pozorování hlasitosti hluku a zvuku v budovách, v kancelářích, ve výrobních závodech (atd.). Tento měřicí přístroj je opatřen nastavitelnou funkcí alarmu, pomocí které lze zkontrolovat dodržování zákonem stanovených úrovní hluku a provést případná opatření. Hodí se i ke kontrole hlasitosti řečníků, například na přednáškách nebo na schůzích. Bude-li tato hlasitost řeči vhodná, rozsvítí se na přístroji kontrolky (LED) zelenou barvou, bude-li projev řečníka příliš hlasitý nebo tichý, začnou svítit nebo blikat tyto LED červenou barvou, čímž upozorní přednášejícího, aby snížil nebo zvýšil svůj hlas. Signalizaci alarmu poznáte opticky podle jasných LED, jejichž světlo uvidíme až na vzdálenost 30 m.

Technická data:

Rozsah měření: 30 – 130 dB (3 rozsahy) s rozlišením 0,1 dB; Přesnost 94 dB/1 kHz \pm 1,5 dB; Doba reakce: 125 nebo 1000 ms; Frekvenční rozsah: 31,5 – 8000 Hz; Napájení: 230 V AC nebo 9 V DC; Rozměry (Š x V x H): 180 x 220 x 32 mm. Hmotnost: 285 g.



Obrázek č. 7: Hlukoměr s monitorem SL – 130

4.4.4 Digitální hlukoměr Voltcraft SL – 200

Hlukoměr „SL-200“ je optimální i k provádění profesionálních měření (například k měření hluku v podnicích a v továrnách). K docílení dostačující přesnosti měření v extrémních podmínkách je nutno u tohoto přístroje kontrolovat před každým měřením jeho kalibraci kalibrátorem měření hladiny zvuku.

Technická data:

Rozsah měření od 30 dB do 130 dB A/C s přesností \pm 1,5 dB při 1 kHz a s rozlišovací schopností hladiny zvuku 0.1dB. Doba odezvy je 125/1000 ms. (je to čas, kdy se zobrazí

změřený vzorek na display) Frekvenční rozsah od 31,5 Hz až do 8 kHz. Hlukoměr je napájen 9V baterií. Rozměry (Š x V x H) 55×210×32 mm. Hmotnost 230 g.⁽¹⁰⁾



Obrázek č. 8: Digitální hlukoměr SL – 200

4.4.5 Digitální hlukoměr Voltcraft SL – 400

Digitální hlukoměr s velkou výbavou. Vedle běžných standardních funkcí má USB rozhraní. Díky gumovému pouzdru je přístroj příhodný i pro nejtěžší nasazení. Přístroj má rozsah měření od 30 do 130 dB s funkcí automatického nastavení rozsahu. Integrovaný datový logger umožňuje zapamatování až 32 000 naměřených hodnot, které mohou být dodávaným softwarem na PC nadále zpracovány. Tím se snadno dá uskutečnit dlouhodobé sledování. Díky odnímatelnému mikrofonu a dodávanému 4 m prodlužovacímu kabelu mohou být prováděny i měření na těžko dostupných místech.

Technická data:

Rozsah měření od 30 dB do 130 dB s přesností $\pm 1,4$ dB při 1 kHz a s rozlišovací schopností hladiny zvuku 0.1dB. Doba odezvy je 125/1000 ms (je to čas, kdy se zobrazí změřený vzorek na display). Frekvenční rozsah od 31,5 Hz až do 8 kHz. Hlukoměr je napájen 9V baterií. Rozměry (Š x V x H) 76×278×50 mm. Hmotnost 350 g.⁽¹⁰⁾



Obrázek č. 9: Digitální hlukoměr SL – 400

4.4.6 Digitální hlukoměr testo 815

Ideální přístroj pro každodenní použití. Spolehlivý pro měření hluku klimatizací, ventilací a tepelné techniky, diskoték, strojů a spalovacích zařízení.

Technická data:

Rozsah měření od 32 dB do 130 dB s přesností ± 1 dB při 1 kHz a s rozlišovací schopností hladiny zvuku 0.1dB. Frekvenční rozsah od 31,5 Hz až do 8 kHz. Hlukoměr je napájen 9V baterií. Rozměry (Š x V x H) 55 x 255 x 43mm. Hmotnost 195 g.



Obrázek č. 10: Digitální hlukoměr testo 815

4.5 Kalibrátory hluku

Hlukoměry je možné při změně nadmořské výšky nebo teploty překalibrovat. Pomocí kalibrátoru se oba přístroje velmi lehce kontrolují a seřizují. Je možné nastavit 2 hladiny hluku (94 dB a 114 dB).⁽¹⁰⁾

4.5.1 Kalibrování hlukoměrů

Kalibrátor zvukové hladiny má výstup pro 1 coulové mikrofony. Na ½ coulové mikrofony je zapotřebí použít přiložený adaptér, který vsuneme pevně do výstupu kalibrátoru. Přepínač hladiny nastavíme do požadované pozice (94 nebo 114 dB). Zvolíme tu hladinu, která je blíže k maximu měřicí oblasti hlukoměru. Mikrofon hlukoměru, vsuneme do výstupu kalibrátoru. Zapneme hlukoměr a zkontrolujeme na displeji. Když je odchylka od výchozí hladiny kalibrátoru (94 resp. 114 dB), větší než 0,5 dB, je třeba hlukoměr nastavit.

Hlasité okolní zvuky a vibrace mohou ovlivnit kalibraci. Provádíme ji proto v klidném prostředí. Nízký tlak ve vyšších nadmořských výškách má vliv na měření zvukové hladiny. Při kalibrování na to musíme brát ohled.

4.5.2 Kalibrátor zvukové hladiny Voltcraft SLC-100

Tento přístroj slouží pro snadné vyrovnání hlukoměrů a pro kontrolu přesnosti měření.

Technická data:

Rozsah měření hladiny zvuku 94 dB / 114 dB. Frekvence 1000Hz. Kalibrátor je napájen 9V baterií. Rozměry (Š x V x H) 50 x 120 x 42 mm. Hmotnost 278g.



Obrázek č. 11: Kalibrátor zvukové hladiny Voltcraft SLC-100

4.5.3 Kalibrátor zvukové hladiny Voltcraft SLC - 326

Tento kalibrátor je koncipovaný na kalibrování hlukoměrů. Provoz je dovolen jen za následujících okolních podmínek: atmosférický tlak od 650 do 1080 hPa resp. max. nadmořská výška 2000 m n. m. při relativní vlhkosti vzduchu max. 90 % a teplotě od 0 °C až do +40 °C. Kalibrátor zvukové hladiny 326 je vybavený oscilátorem, který je ovládaný krystalem, ke kontrole přesnosti měřidel hladiny zvuku.

Technická data:

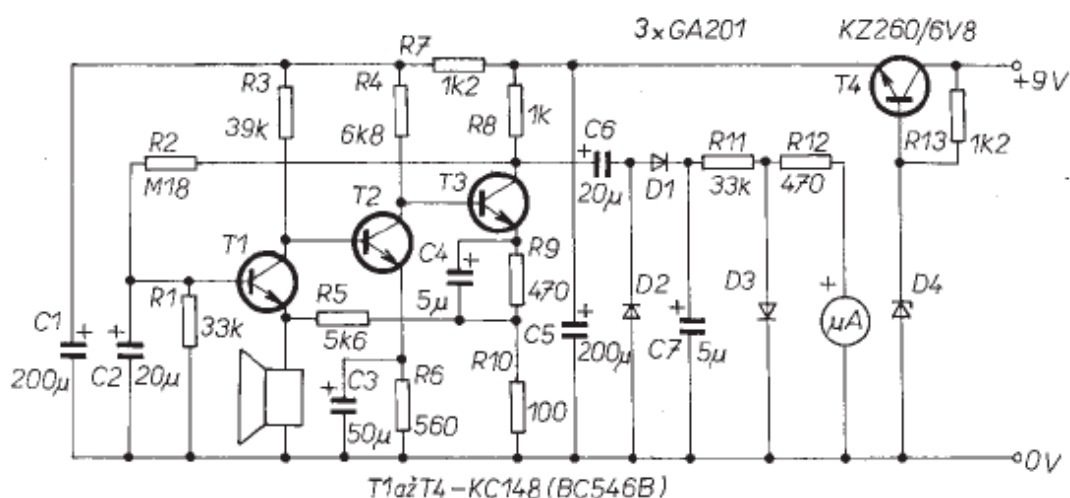
Rozsah měření hladiny zvuku 94 dB / 114 dB. Frekvence 1000Hz. Kalibrátor je napájen 9V baterií. Rozměry (Š x V x H) 63×44×113 mm. Hmotnost 170g.



Obrázek č. 12: Kalibrátor zvukové hladiny Voltcraft SLC-326

5.0 Konstrukce vlastního hlukoměru

Schéma hlukoměru vydalo amatérské rádio. Ve funkci mikrofону je zde použit malý reproduktor o průměru 65 mm. Přímó vázaný zesilovač tvoří trojice tranzistorů. Je doplněn o součástky pro kmitočtovou korekci tak, aby spolu s frekvenční charakteristikou použitého reproduktoru odpovídal co nejlépe charakteristice „A“ používané v hlukoměrech. Bylo by jistě vhodné i použití operačního zesilovače a miniaturní levný elektretový mikrofón, pak by bylo však nutné společně i doladit celé zapojení frekvenčními korekcemi tak, aby reagovalo na změny součástek.



Obrázek č. 13: Schéma hlukoměru vydané časopisem Amatérské rádio

5.1 Seznam součástek

Tranzistory:

T1 – T4 = KC 148

Diody:

D1 – D3 = GA 201

D4_z = KZ 260 / 6V8

Kondenzátory:

C1 = 200 μ F

C2 = 20 μ F

C3 = 50 μ F

C4 = 5 μ F

C5 = 200 μ F

C6 = 20 μ F

C7 = 5 μ F

Reproduktor = 6 Ω , ϕ 65mm

Rezistory:

R1 = 33k

R2 = M18

R3 = 39k

R4 = 6k8

R5 = 5k6

R6 = 560 Ω

R7 = 1k2

R8 = 1k

R9 = 470 Ω

R10 = 100 Ω

R11 = 33k

R12 = 470 Ω

R13 = 1k2

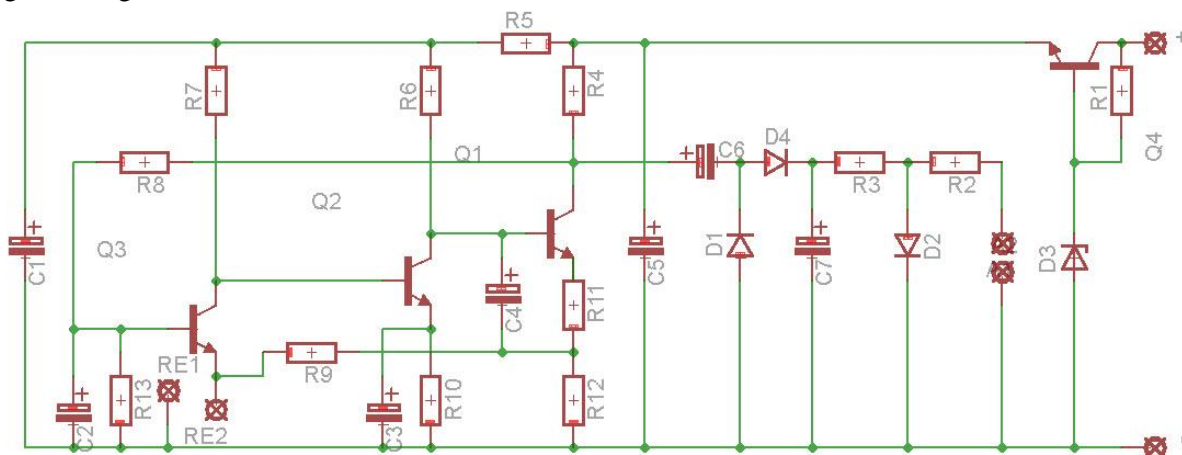
5.2 Výroba desky plošného spoje (DPS)

5.2.1 Příprava DPS

Protože jsem pracoval přes den, nejdříve jsem zatáhnul žaluzie. Deska je totiž citlivá na denní světlo, které obsahuje ve svém spektru i UV záření. Umělé světlo klasických žárovek krátkodobě nevadí. Po vybalení z černého obalu jsem plošný spoj uřízl na požadované rozměry pilkou na železo a okraje začistil jemným pilníkem.

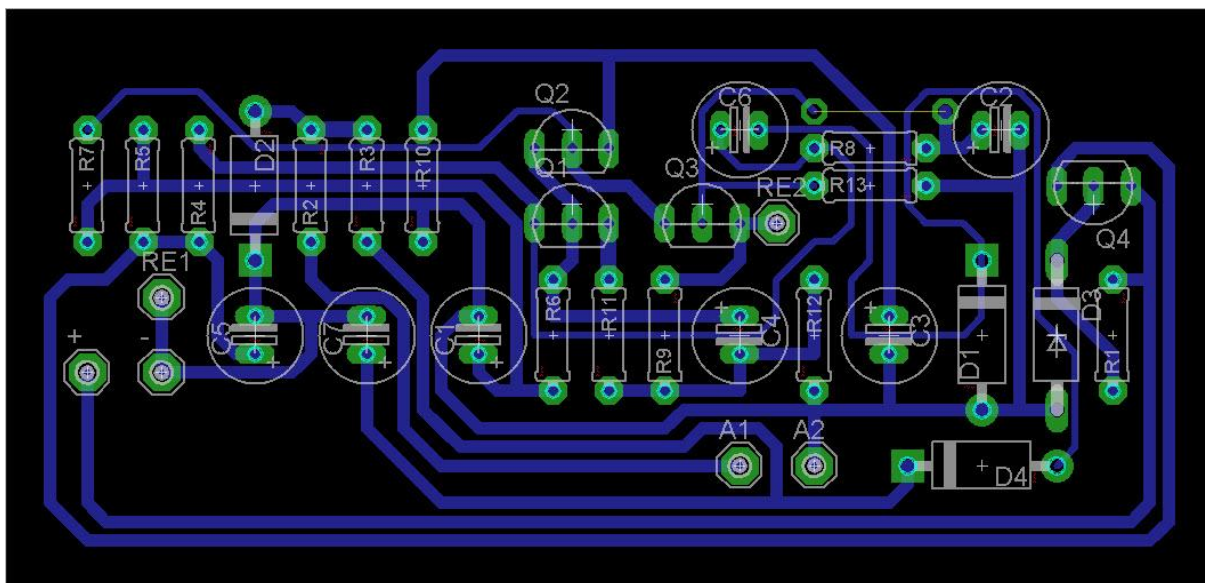
5.2.2 Výroba filmové předlohy

Nejdříve jsem si schéma hlukoměru, které jsem získal v Amatérském rádiu, překreslil do programu Eagle.



Obrázek č. 14: Schéma hlukoměru v programu Eagle

V tomto programu uděláme i plošný spoj. Filmová předloha se vytvoří tiskem laserovou tiskárnou na průhlednou fólii. Hlavně jsem si dával pozor na zrcadlení předlohy. Poprvé se přezrcadlí kvůli tomu, že se jedná o spodní stranu DPS a v návrhovém editoru je vidět ze shora. Podruhé se však přezrcadlí tím, že se přiloží fólie potiskem směrem k DPS. 2x zrcadlení = původní předloha.



Obrázek č. 15: Plošný spoj hlukoměru vytvořený v programu Eagle

5.2.3 Osvit

Předlohu jsem přiložil stranou s potiskem k desce plošného poje na stranu s lakem. Je potřeba předlohu dostatečně přimáčknout. Takto připravenou desku vložíme do UV lampy. Doba osvitů 50 až 60s.

5.2.4 Vyvolání

Osvícenou desku jsem vložil do roztoku hydroxidu sodného (NaOH) mědi nahoru tak, abyste na ni viděli. Jakmile jsou vidět kontrastní cesty a z DPS se už příliš nevyplavuje rozpuštěný lak, tak DPS vytáhneme plastovou pinzetou a omyji pod tekoucí teplou vodou.

5.2.5 Leptání

Leptací roztok je nutné před leptáním zahřát na cca 40 až 50 °C. DPS jsem osušil a opatrně položil na hladinu kapaliny mědi dolu. Při dostatečném zahřátí leptacího roztoku trvá vyleptání do deseti minut. Poté jsem desku vyndal, osušil a potřel štětečkem pájitelným lakem. A plošný spoj je hotový. Nechal jsem ho chvíli odpočinout a pak vyvrtal díry na součástky vrtákem velikosti 0,8 mm. Potom jsem desku osadil příslušnými součástkami a micro pájkou zapájel.

6.0 Vlastní měření

6.1 Zadání

Učíte kalibraci hlukoměru SL-100 a poté provedte referenční měření s použitím harmonického generátoru zvuku. Dále kalibrujte vlastní hlukoměr a porovnejte frekvenční charakteristiky s SL-100.

6.2 Použité měřicí přístroje

- hlukoměr Voltcraft SL-100, frekvenční generátor, multimetr, reproduktor

6.2.1 Hlukoměr Voltcraft SL – 100

Hlukoměr „SL-100“ slouží k orientačním měřením (například ke zjištění, zda nedošlo k podstatnému překročení určité hladiny hluku).

Technická data:

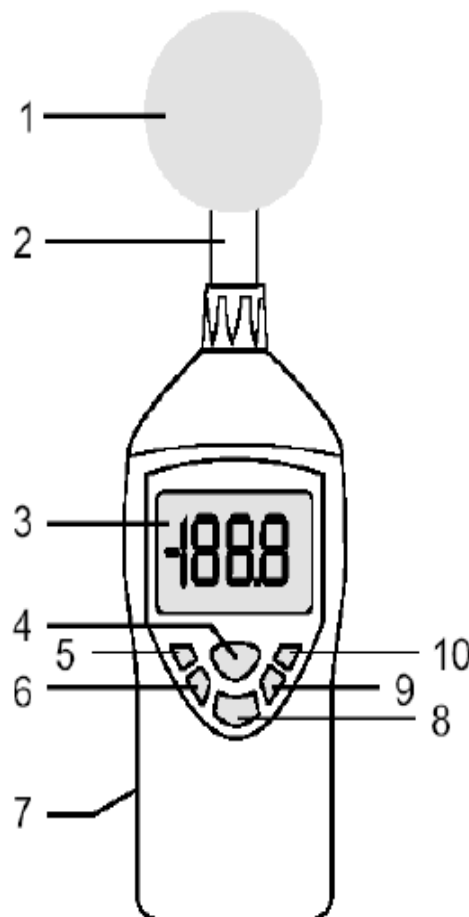
Rozsah měření od 30 dB do 130 dB A/C s přesností ± 2 dB při 1 kHz a s rozlišovací schopností hladiny zvuku 0.1dB. Doba odezvy je 125/1000 ms (je to čas, kdy se zobrazí změřený vzorek na display). Frekvenční rozsah od 31,5 Hz až do 8 kHz. Hlukoměr je napájen 9V baterií. Rozměry (Š x V x H) 55×210×32 mm. Hmotnost 230 g.⁽¹⁰⁾



Obrázek č. 16: Hlukoměr Voltcraft SL - 100

6.2.1.1 Součásti přístroje a ovládací tlačítka

- 1 - Ochranný kryt proti větru
- 2 - Mikrofon, který lze odšroubovat
- 3 - 3,5-místný displej LCD
- 4 - Zelené tlačítko zapnutí a vypnutí přístroje
- 5 - Tlačítko podržení zobrazení maximální naměřené hodnoty hladiny hluku na displeji „Max- Hold“
- 6 - Tlačítko „A/C“ (přepnutí vyhodnocovacího filtru charakteristiky „A“ nebo „C“)
- 7 - Bateriové pouzdro na zadní straně přístroje
- 8 - Tlačítko podržení zobrazení naměřené hodnoty hladiny hluku na displeji „Hold“
- 9 - Tlačítko „Hi/Lo“ – volba horního nebo dolního měřicího rozsahu
- 10 - Tlačítko „F/S“ – volba rychlého nebo pomalého vyhodnocení měření podle času



6.2.1.2 Symboly zobrazované na displeji přístroje

MAX - Podržení zobrazení průběžně naměřené maximální hodnoty na displeji

HOLD - Podržení zobrazení aktuálně naměřené hodnoty na displeji

FAST - Rychlé vyhodnocení měření podle času (125 ms / 1 měření)

SLOW - Pomalé vyhodnocení měření podle času (1 s / 1 měření)

Hi - Byl zvolen horní měřicí rozsah

Lo - Byl zvolen dolní měřicí rozsah

BAT - Symbol vybití do přístroje vložené baterie (proved'te její výměnu)

dBA - Vyhodnocovací filtr pro charakteristiku „A“ (= sluch, lidské ucho)

dBC - Vyhodnocovací filtr pro charakteristiku „C“ (= lineární)

OVER - Naměřená hodnota je mimo měřicí rozsah

6.2.1.3 Funkce přístroje

Tento měřicí přístroj je vybaven různými doplňujícími funkcemi, které slouží k usnadnění měření a které rozšiřují možnosti použití přístroje.

Automatické vypnutí přístroje (šetření do přístroje vložené baterie)

Pokud nestisknete během cca 8 minut žádné ovládací tlačítko, dojde k automatickému vypnutí měřicího přístroje. V tomto případě můžete opět přístroj zapnout stisknutím zeleného tlačítka.

Funkce podržení zobrazení naměřené hodnoty na displeji „HOLD“

Po zapnutí této funkce se zobrazí na displeji přístroje momentálně naměřená hodnota hladiny hluku (včetně symbolu „HOLD“), která zůstane na displeji přístroje zobrazena tak dlouho, dokud tuto funkci nevypnete.

Funkce zobrazení maximální naměřené hodnoty na displeji „MAX“

Budete-li provádět průběžné (nepřetržité) měření, můžete pomocí této funkce zobrazit maximálně naměřenou hodnotu hluku (špičkovou úroveň), která se ukládá do paměti přístroje do jeho vypnutí. Tuto funkci zobrazení maximální naměřené hodnoty (včetně zobrazení symbolu „MAX“ na displeji) zapnete krátkým stisknutím ovládacího tlačítka „MAX“

6.2.1.4 Kalibrace hlukoměru

Tímto bych chtěl poděkovat paní inženýrce Šístkové, že mi umožnila kalibraci hlukoměru. Nejprve bylo zapotřebí nastavit přepínač hladiny do pozice bližší našemu měřicímu rozsahu, 94 nebo 114 dB. V našem případě 94 dB. Mikrofon hlukoměru, vsuneme do výstupu kalibrátoru. Zapneme hlukoměr a na displeji zkontrolujeme odchylku. Protože odchylka od výchozí hladiny kalibrátoru (94 dB) byla větší než 0,5 dB, bylo třeba hlukoměr nastavit. Odšrouboval jsem kryt baterky a pomalu otáčel jedním kalibrovacím šroubem do té doby, než na displeji skočilo 94 dB, pak byl hlukoměr zkalibrován.



Obrázek č. 17: Kalibrace přístroje

6.3 Přehled naměřených hodnot

Měření probíhalo v uzavřené místnosti běžného činžovního bytu v Českých Budějovicích, v naprostém tichu. Nejprve bylo zapotřebí sestavit měřící aparaturu.

Měření bylo prováděno při pokojové teplotě 22 ° C. Měřil jsem na frekvencích 100 Hz – 1000Hz (po 100Hz) a dále frekvence 1500Hz – 5000Hz (po 500Hz). Pro každou zmíněnou frekvenci se měřilo na deseti zvukových hladinách a na výstupu jsme dostávali data s referenčního hlukoměru Voltcraft SL – 100 (dB) a s hlukoměru, který jsem sestavil (μA).

	100		200		300		400		500		600	
	dB	μA	dB	μA	dB	μA	dB	μA	dB	μA	dB	μA
Zvuk. hladina 1	36,5	0,0	36,1	0,0	38,5	0,0	49,5	0,0	42,2	0,0	43,6	0,0
Zvuk. hladina 2	57,5	5,5	60,9	0,0	64,9	0,0	67,5	18,8	65,3	49,4	65,9	3,5
Zvuk. hladina 3	63,0	25,5	68,3	4,4	69,1	0,1	71,6	45,6	73,6	97,7	72,7	25,2
Zvuk. hladina 4	66,5	49,1	71,7	12,6	73,8	0,6	75,1	85,1	77,6	99,4	76,0	44,5
Zvuk. hladina 5	69,4	78,7	74,2	21,6	75,7	2,0	77,2	96,7	81,8	100,1	78,6	65,1
Zvuk. hladina 6	71,7	93,6	75,8	28,3	77,3	4,2	78,8	98,3	83,7	100,2	81,6	89,5
Zvuk. hladina 7	72,8	97,0	77,5	37,3	78,3	6,2	79,9	99,0	84,9	100,2	83,8	96,0
Zvuk. hladina 8	74,5	98,2	78,4	41,9	79,9	10,0	81,1	99,5	86,5	100,3	85,2	98,0
Zvuk. hladina 9	75,8	99,4	80,2	53,7	81,1	13,7	82,3	99,6	88,0	100,3	87,0	98,7
Zvuk. hladina 10	78,7	99,5	82,9	75,5	83,3	23,2	85,7	100,2	90,8	100,3	89,6	99,5

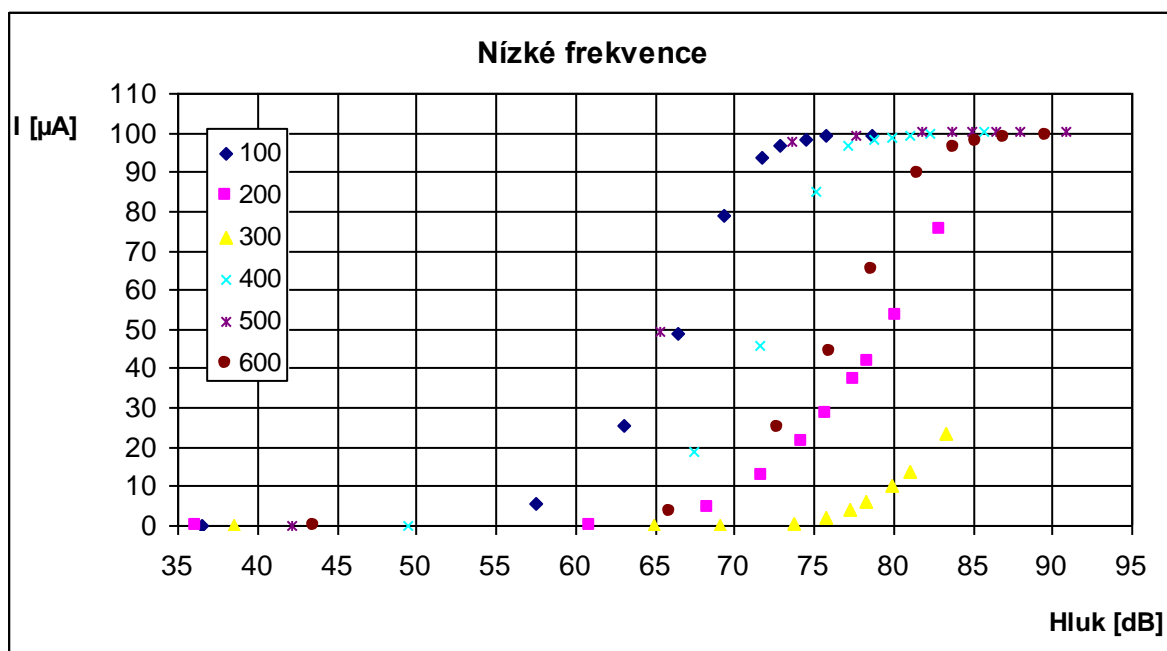
	700		800		900		1000		1500		2000	
	dB	μA	dB	μA	dB	μA	dB	μA	dB	μA	dB	μA
Zvuk. hladina 1	47,5	0,0	58,5	0,0	57,6	0,0	57,2	0,0	43,2	0,0	46,0	0,0
Zvuk. hladina 2	69,4	1,2	69,6	0,1	72,7	0,0	71,3	0,0	66,2	0,0	69,9	0,0
Zvuk. hladina 3	73,3	8,3	73,9	1,4	77,1	0,2	75,5	0,1	72,6	0,2	76,7	0,2
Zvuk. hladina 4	76,8	20,8	78,1	8,0	80,4	0,7	79,4	0,2	76,1	1,1	80,7	1,6
Zvuk. hladina 5	78,9	31,6	79,6	12,0	81,2	2,6	81,8	1,3	78,4	3,6	84,0	7,4
Zvuk. hladina 6	80,5	41,9	80,7	15,8	83,0	5,6	83,1	2,8	80,1	6,9	85,3	10,5
Zvuk. hladina 7	81,8	52,7	81,8	20,0	84,3	8,7	84,5	5,3	82,1	11,8	86,6	14,9
Zvuk. hladina 8	82,9	61,2	82,6	24,0	85,9	13,2	86,0	8,7	83,3	16,0	87,8	19,2
Zvuk. hladina 9	84,2	73,7	84,3	32,1	87,6	19,2	88,6	17,2	84,5	20,7	89,6	26,8
Zvuk. hladina 10	87,2	88,1	87,1	48,4	89,0	26,4	91,2	27,5	85,6	24,5	90,8	34,2

	2500		3000		3500		4000		4500		5000	
	dB	μA	dB	μA	dB	μA	dB	μA	dB	μA	dB	μA
Zvuk. hladina 1	55,6	0,0	41,1	0,0	49,1	0,0	41,3	0,0	41,5	0,0	46,7	0,0
Zvuk. hladina 2	75,0	0,1	67,2	0,0	71,3	0,1	55,9	0,0	57,4	0,1	63,8	0,0
Zvuk. hladina 3	79,6	0,2	79,2	0,2	76,7	1,2	62,5	0,6	63,5	0,1	85,6	0,2
Zvuk. hladina 4	83,4	1,5	85,5	1,4	81,1	8,8	97,2	5,9	67,8	2,2	73,0	2,1
Zvuk. hladina 5	86,1	5,1	89,5	7,9	83,4	16,6	71,4	12,6	69,6	6,9	75,1	6,5
Zvuk. hladina 6	87,6	9,3	92,1	15,0	85,0	24,2	74,5	20,9	71,2	10,7	76,2	11,0
Zvuk. hladina 7	89,5	14,6	94,4	24,4	86,3	32,4	77,3	28,4	73,4	16,2	77,5	15,5
Zvuk. hladina 8	91,2	21,1	96,2	33,5	87,8	44,2	80,0	37,7	75,1	24,6	78,3	19,8
Zvuk. hladina 9	92,9	29,4	98,0	47,2	89,1	59,0	83,4	53,6	76,8	31,5	79,7	27,8
Zvuk. hladina 10	94,1	32,3	99,1	64,7	90,0	72,1	85,4	68,9	78,6	44,5	81,9	46,5

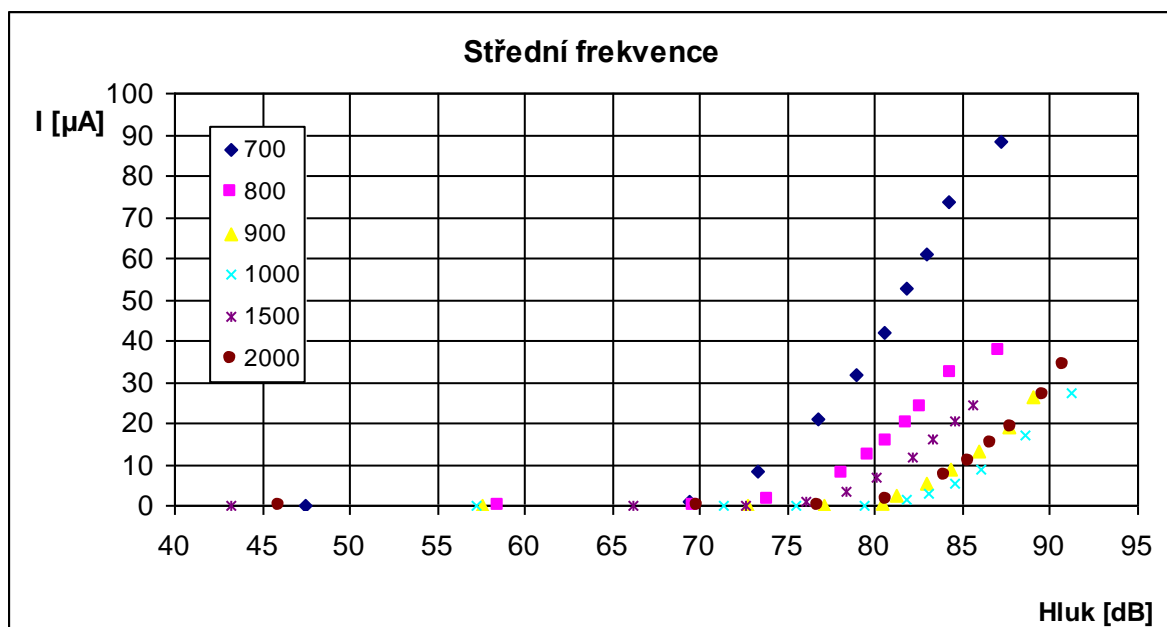
Tabulka č. 1: Seznam naměřených hodnot

6.4 Grafické zpracování hodnot

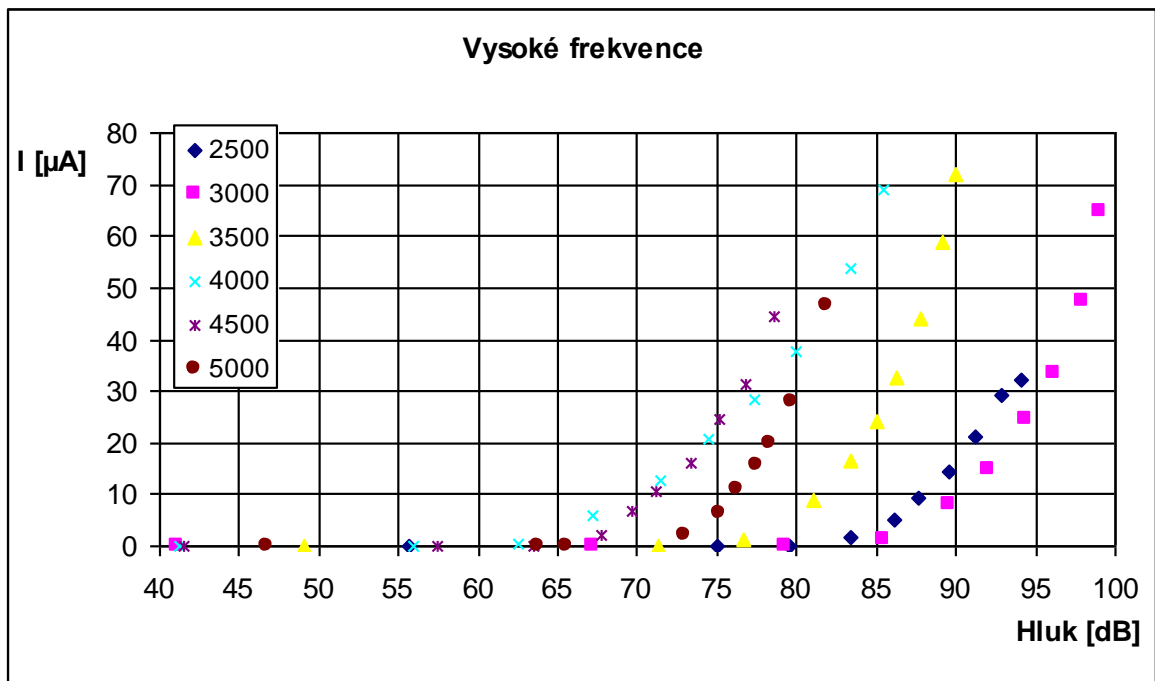
Grafy byly sestrojeny v programu Microsoft Excel. Jedná se o závislost naměřených hodnot na výstupu referenčního hlukoměru Voltcraft SL – 100 se sestrojeným hlukoměrem, na jehož výstupu je multimetr, který udává výsledek měření v μA . Každé měřené frekvenci odpovídá příslušná křivka popisující závislost měřeného proudu na skutečném hluku.



Graf č. 2: Závislost měřeného proudu na skutečném hluku

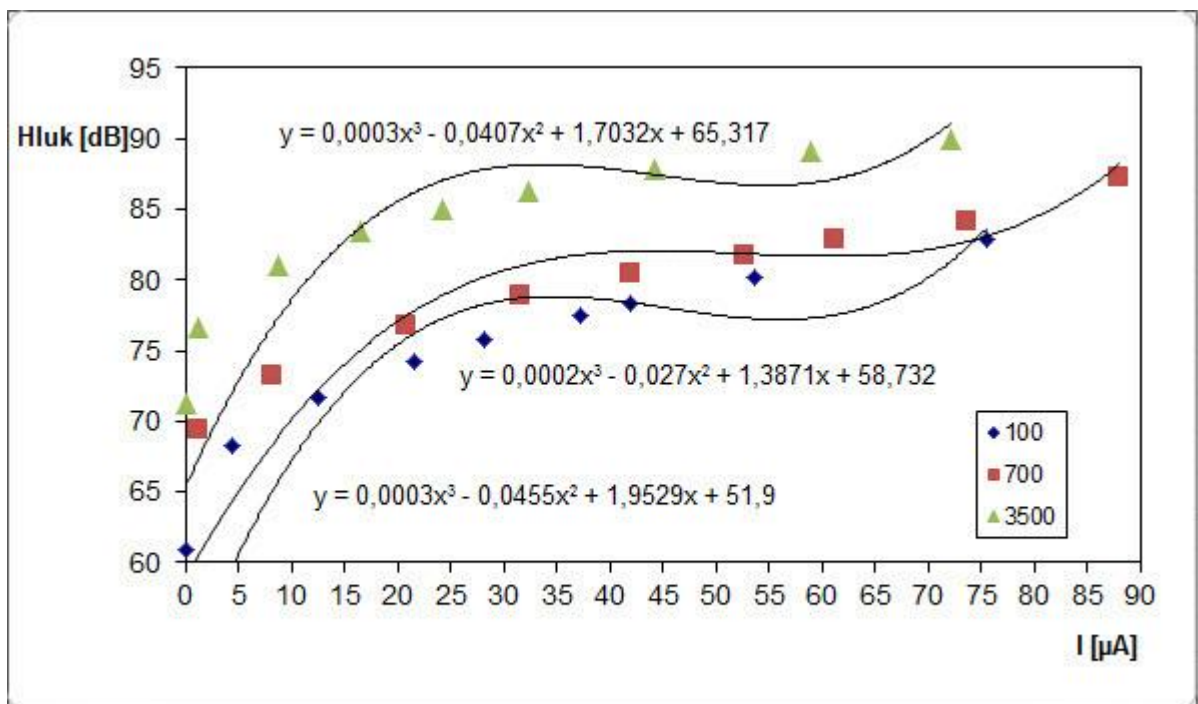


Graf č. 3: Závislost měřeného proudu na skutečném hluku



Graf č. 4: Závislost měřeného proudu na skutečném hluku

Analýza vztahu pro přepočítání naměřeného proudu [µA] a měřeného hluku [dB]. Z každého grafu jsem vybral jednu závislost a pro ni provedl aproximaci, jíž odpovídá graf č. 5.



Graf č. 5: Aproximace měřeného proudu na skutečném hluku

Metodou spojnicí trendu jsem vygeneroval tři rovnice odpovídající závislosti naměřeného proudu na skutečném hluku. Rovnice jsem proložil přibližnou závislostí a dostal výslednou

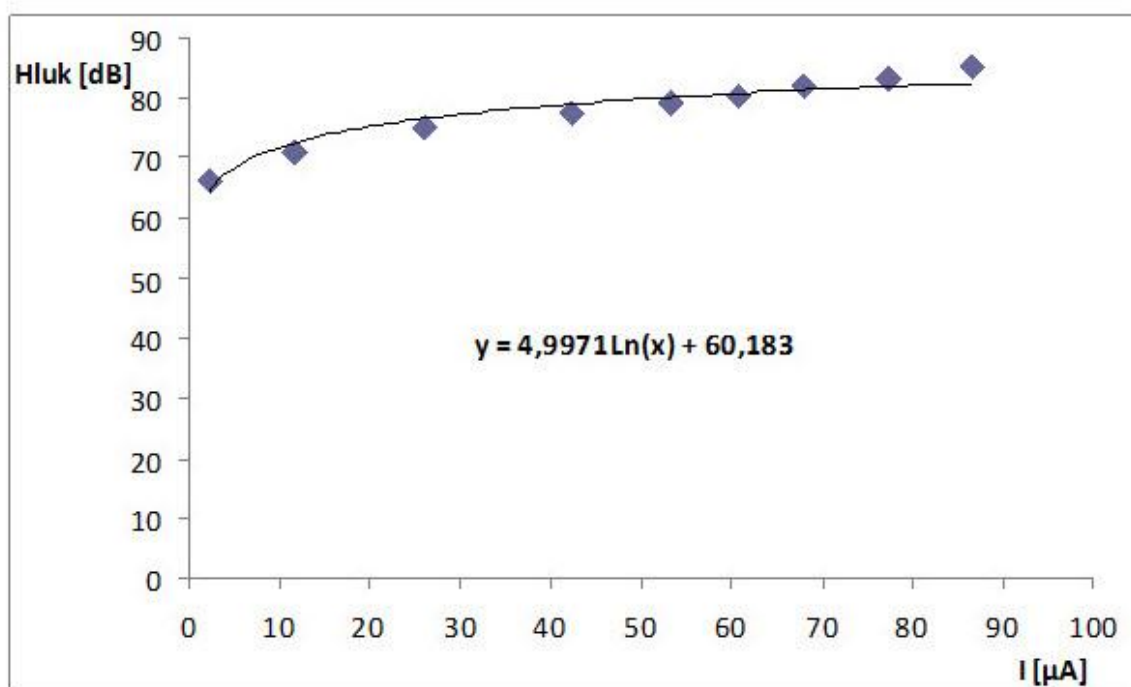
rovnici: $Hluk = 0,0003 \cdot I^3 - 0,04 \cdot I^2 + 1,7 \cdot I + 8 \cdot \ln(f)$ [dB], přičemž zadávaný proud je v μA .

Frekvence [Hz]	Naměřený proud [μA]			Naměřený hluk [dB]			Vypočítaný hluk [dB]		
	100	700	3500	100	700	3500	100	700	3500
Zvuk. hladina 1	0	0	0	36,5	47,5	41,1	36,8	52,4	65,3
Zvuk. hladina 2	5,5	1,2	0,1	57,5	69,4	67,2	44,5	54,4	65,5
Zvuk. hladina 3	25,5	8,3	1,2	63	73,3	79,2	56,6	63,9	67,3
Zvuk. hladina 4	49,1	20,8	8,8	66,5	76,8	85,5	54,5	73,2	77,4
Zvuk. hladina 5	78,7	31,6	16,6	69,4	78,9	89,5	61,2	75,7	83,9
Zvuk. hladina 6	93,6	41,9	24,2	71,7	80,5	92,1	82,2	75,5	87,3
Zvuk. hladina 7	97	52,7	32,4	72,8	81,8	94,4	89,5	74,8	88,6
Zvuk. hladina 8	98,2	61,2	44,2	74,5	82,9	96,2	92,3	75,4	88,2
Zvuk. hladina 9	99,4	73,7	59	75,8	84,2	98	95,3	80,5	88,0
Zvuk. hladina 10	99,5	88,1	72,1	78,7	87,2	99,1	95,6	96,9	92,4

Tabulka č. 2: Porovnání hodnot vybraných frekvencí

Naměřené a vypočítané hodnoty se liší maximálně o 20 dB, ale jen u některých hladin zvuku. Nejvíce se liší v první hladině zvuku a to proto, že přístroj není až tak citlivý. Z toho vyplývá, že tento hlukoměr je vhodný jen pro orientační měření.

Pro zjednodušení jsem dále zprůměřňoval hodnoty frekvencí 100 Hz, 700 Hz a 3500 Hz a dostal jednu výslednou křivku, které odpovídá graf č. 6.



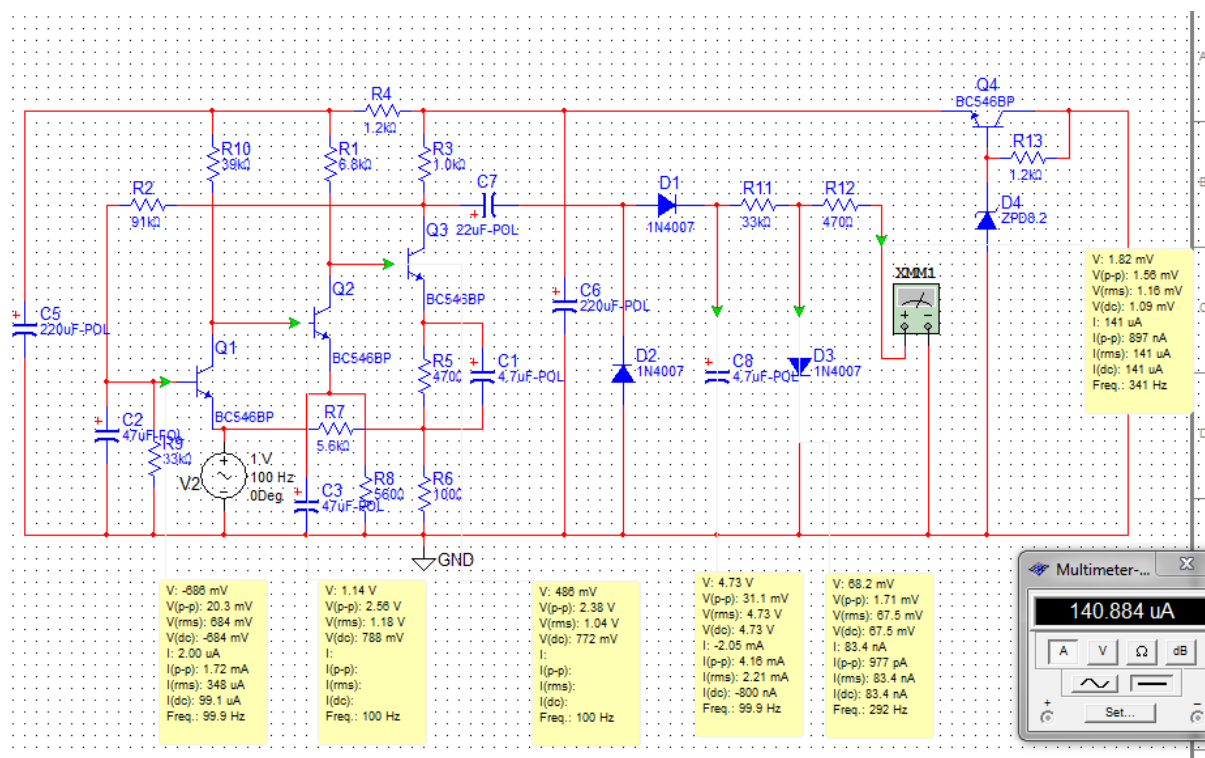
Graf č. 6: Aproximace měřeného proudu na skutečném hluku

Metodou spojnice trendu jsem vygeneroval rovnici ve znění: $Hluk = 4,9971 \ln(I) + 60,183$

6.5 Simulace obvodu v programu Electronics Workbench

Při zjištění špatné citlivosti reálného obvodu jsem hledal chybu pomocí softwaru Electronics Workbench, kde jsem simuloval zapojení s jinými parametry součástek a došel jsem k závěru, že pro zvětšení citlivosti hlukoměru by bylo vhodné zmenšit odpor rezistoru R2 na hodnotu 91k a zvýšit kapacitu kondenzátoru C2 minimálně na hodnotu 47 μ F.

Ještě lepší funkčnosti hlukoměru by pomohlo přesunout reproduktor do báze tranzistoru T1 a optimálně pozměnit zapojení ke stabilizaci pracovního bodu tranzistoru T1. Vzhledem k omezení softwaru jsem intenzitu hluku a frekvenci simuloval napěťovým generátorem periodického signálu, což není ideální. Tyto změny jsou ale pouze teoretické a jsou vyvozené na základě znalosti funkčnosti tranzistoru (jeho otevírání a zavírání).



Obrázek č. 18: Simulace v programu Electronics Workbench

7.0 Závěr

Z grafů je patrné, že mnou sestrojený hlukoměr je vhodný jen pro orientační měření v oblasti hluku od 50 dB. Nejlepší citlivosti dosahuje v oblasti hluku od 70 dB. Citlivost se mění v závislosti na frekvenci. Nejcitlivější je hlukoměr při frekvencích 100 Hz, 400 Hz, 500 Hz a 600 Hz. Naopak nejhorší vlastnosti vykazuje při frekvencích 300 Hz, 900 Hz, 1000 Hz a 1500 Hz. Z toho vyplývá, že hlukoměr trpí omezením. Pracuje jen v rozmezí cca od 60 dB do 100 dB. Tuto vadu jsem se pokoušel odstranit, tak že na vstup jsem na místo reproduktoru zkoušel připojit mikrofon. S touto změnou ale hlukoměr vůbec nereagoval. Mikrofon má větší impedanci než reproduktor, a proto jsem snížil odpor u rezistoru R5, ale k úspěchu to nevedlo. Zkoušel jsem také měnit reproduktory, ale nejlepší hodnoty pořád hlukoměr dosahoval s reproduktorem o průměru 65 mm a impedancí 5Ω. Podle mého názoru je nejpravděpodobnější příčinou špatné citlivosti hlukoměru připojení reproduktoru do emitoru tranzistoru T1. Tím se nepatrně posouvá pracovní bod tranzistoru a tím mohlo dojít k utlumení spínání samotného tranzistoru. Lepší citlivosti by se mohlo dosáhnout zmenšením emitorového rezistoru R5 a nebo změnou kondenzátoru C2. Pro novou a lepší konstrukci bych pevně stanovil pracovní body tranzistorů a reproduktorový signál bych přiváděl do báze prvního tranzistoru. Při zjištění nesprávné funkčnosti zapojení, jsem se pokoušel chybu hledat pomocí softwaru Electronics Workbench, kde jsem simuloval zapojení s jinými parametry součástek a došel jsem k závěru, že pro zvětšení citlivosti hlukoměru by bylo vhodné zmenšit odpor rezistoru R2 na hodnotu 91k a zvýšit kapacitu kondenzátoru C2 minimálně na hodnotu 47 μF.

Hlukoměr pracuje v rozsahu 60 dB a 100 dB s relativní přesností ± 15 dB, a proto je vhodný pouze pro orientační měření. Ale jeho výhoda spočívá v jeho pořizovací ceně, která se pohybuje okolo 80 Kč.

Přílohy:

Obrázek č. 1: Sluchové ústrojí

Obrázek č. 2: Sluchové pole

Obrázek č. 3: Audiogram

Obrázek č. 4: Frekvenční charakteristiky „A“ a „C“

Obrázek č. 5: Digitální hlukoměr SL – 50

Obrázek č. 6: Digitální hlukoměr SL – 100

Obrázek č. 7: Hlukoměr s monitorem SL – 130

Obrázek č. 8: Digitální hlukoměr SL – 200

Obrázek č. 9: Digitální hlukoměr SL – 400

Obrázek č. 10: Digitální hlukoměr testo 815

Obrázek č. 11: Kalibrátor zvukové hladiny Voltcraft SLC-100

Obrázek č. 12: Kalibrátor zvukové hladiny Voltcraft SLC-326

Obrázek č. 13: Schéma hlukoměru vydané časopisem Amatérské rádio

Obrázek č. 14: Schéma hlukoměru v programu Eagle

Obrázek č. 15: Plošný spoj hlukoměru vytvořený v programu Eagle

Obrázek č. 16: Hlukoměr Voltcraft SL – 100

Obrázek č. 17: Kalibrace hlukoměru

Obrázek č. 18: Simulace v programu Electronics Workbench

Graf č. 1: Sluchový rozsah živočichů

Graf č. 2: Závislost měřeného proudu na skutečném hluku – nízké frekvence

Graf č. 3: Závislost měřeného proudu na skutečném hluku – střední frekvence

Graf č. 4: Závislost měřeného proudu na skutečném hluku – vysoké frekvence

Graf č. 5: Aproximace měřeného proudu na skutečném hluku

Graf č. 6: Aproximace měřeného proudu na skutečném hluku

Tabulka č. 1: Seznam naměřených hodnot

Tabulka č. 2: Porovnání hodnot vybraných frekvencí

Seznam použitých zdrojů:

1. Kumpová, I. *Vliv prostředí na krátkodobou kvalitu sluchu*. Bakalářská práce, České Budějovice: Zdravotně sociální fakulta, 2009.
2. *Hluk a jeho zdravotní účinky*.
(online) Platný <http://www.nenalet.cz/trochu-teorie-o-hluku/hluk-a-jeho-zdravotni-ucinky.htm>
3. *Chraňte sluch svých dětí*
(online) Platný <http://www.rodina.cz/clanek1801.htm>
4. Kulka, J. *Psychologie umění*. Grada publishing, a.s., Praha 7, 2008
5. *Letem akustickým světem*
(online) Platný <http://kabinet.fyzika.net/dilna/akustika/letem-akustickym-svetem.php>
6. *Percepční poruchy*
(online) Platný http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:xzJJlwb_Dr4J:www.snndo.cz/Soubory/Percepni_poruchy.pdf+p%C5%99evodn%C3%AD
7. *Vady a poruchy sluchu*
(online) Platný http://www.logopedonline.cz/stranky/vady_sluchu/vady_a_poruchy_sluchu
8. Hrazdira, I, a kol. *Biofyzika*. Praha: Avicenum, 1983.
9. *Speciální vyšetření – nedoslýchavost*
(online) Platný <http://www.ordinace.cz/clanek/specialni-vysetreni-nedoslychavost/>
10. *Hlukoměry Voltcraft*
(online) Platný <http://www.voltcraft.cz/hlukomery-2/>
11. *Profielektronika.cz*
(online) Platný <http://www.profi-elektronika.cz/hlukomer-s-monitorem-sl-130-/id/50-90215/>
12. Florián, V. *Měření hluku*. Diplomová práce, České Budějovice: pedagogická fakulta, 2008
13. *Metodika měření hlučnosti*
(online) Platný http://www.svethardware.cz/art_docCA006BB204C4724EC125730C007C4E6D.html
14. *Audiogram*
(online) Platný http://www.widex.cz/widex%20global/dictionary/agent_cz/audiogram.aspx
15. *Hlukoměry testo*
(online) Platný [http://www.testo.cz/online/abaxx?\\$part=PORTAL.CZE.SectorDesk&\\$event=s-how-from-menu&categoryid=4741362](http://www.testo.cz/online/abaxx?$part=PORTAL.CZE.SectorDesk&$event=s-how-from-menu&categoryid=4741362)
16. Ctírad Smetana a kol. *Hluk a vibrace: měření a hodnocení*, Praha: sdělovací technika, 1998
17. Emanuel Svoboda a kol. *Přehled středoškolské fyziky*. Olomouc: Prometheus, 2001