



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra biomedicínské techniky

Analyzátor hluku pre neonatologickú JIS

Noise analyzer for NICU

Bakalárska práca

Študijný program: Biomedicínska a klinická technika
Študijný odbor: Biomedicínsky technik

Autor bakalárskej práce: Denisa Juhásová
Vedúci bakalárskej práce: Ing. Petr Kudrna, Ph.D.

Kladno 2018

Katedra biomedicínské techniky

Akademický rok: 2017/2018

Z a d á n í b a k a l á ř s k é p r á c e

Student: **Denisa Juhásová**
Obor: Biomedicínský technik
Téma: **Analyzátoru hluku pro neonatologický JIP**
Téma anglicky: Noise analyzer for NICU

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Realizujte prototyp analyzátoru hluku pro prostředí neonatologické JIP (jednotka intenzivní péče). Navržené zařízení musí umožnit třístupňovou, optickou, signalizaci úrovně hluku na oddělení s možností realizace změn. Pro zařízení využijte mikroprocesor typu Arduino.

Seznam odborné literatury:


- [1] John G. Webster, Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation, ed. 6, Wiley, 2006, ISBN 978-0-471-26358-6
- [2] Tricia L. Gomella, Neonatology: management, procedures, on-call problems, diseases and drugs, ed. Sixth Edition, McGraw Hill Professional, 2009, ISBN 78-0-07-154431-3
- [3] Zbyněk Škvor, Akustika a elektroakustika, ed. 1., ČVUT, 2009, ISBN 978-80-01-05034-7
- [4] Pivoňka, P., Fundamentals of Power Electrical Engineering, ed. 1, NOTES Praha, 2002, ISBN XXX

Zadání platné do: 20.09.2019

Vedoucí: Ing. Petr Kudrna, Ph.D.



.....
vedoucí katedry / pracoviště



.....
děkan

V Kladně dne 19.02.2018

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu s názvom „Analyzátor hluku pre neonatologickú JIS“ vypracovala samostatne a použila k tomu iba citácie použitých prameňov, ktoré uvádzam v zozname priloženom k semestrálnemu projektu.

Nemám závažný dôvod proti užitiu tohoto školného diela v zmysle §60 Zákona č.121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon).

V Kladne 18.5.2018

.....

Denisa Juhásová

POĎAKOVANIE

Rada by som poďakovala vedúcemu mojej bakalárskej práce Ing. Petrovi Kudrnovi, Ph.D. za odbornú pomoc a rady. Ďalej patrí moje úprimná vďaka celej rodine, ktorá mi bola najmä psychickou oporou.

ABSTRAKT

Analyzátoru hluku pre neonatologickú JIS

Táto práca sa venuje návrhu a realizácii analyzátor hluku pre neonatologickú JIS. Zariadenie obsahuje trojstupňovú svetelnú signalizáciu, ktorá upozorní personál a návštevy oddelenia na zvýšenú hladinu intenzity hluku. Analyzátor hluku sa skladá z elektretového mikrofónu, ktorého výstup je zosílený a následne spracovaný pomocou mikroprocesoru Arduino Uno. Na základe prekročenia nastavených limitných hodnôt dochádza k spusteniu optickej signalizácie – zelenej, žltej a červenej. Systém umožňuje užívateľovi nastavenie vlastných prahových hodnôt intenzity hluku v rámci intervalu 40 až 65 dB.

Kľúčové slová

Hlukomer, analyzátor hluku, intenzita zvuku, mikrofón, Arduino Uno

ABSTRACT

Noise analyzer for NICU

This paper is intended to describe the design and implementation of a sound analyzer for neonatological NICU. The device itself includes a three-stage light signalisation that alerts staff and visitors to increased noise levels. The noise analyzer consists of an electret microphone, which output is amplified and then processed by the Arduino microprocessor. If the specific limit values are exceeded, the optical signalisation is triggered – green, yellow and red. The system allows the user to set their own sound intensity parameters in the interval from 40 to 65 dB.

Keywords

Sound level meter, noise analyzer, sound intensity, microphone, Arduino Uno

Obsah

| | |
|--|-----------|
| Zoznam symbolov a skratiek | 8 |
| Zoznam tabuliek | 9 |
| Zoznam obrázkov | 10 |
| 1 Úvod | 11 |
| 1.1 Definície základných pojmov..... | 12 |
| 1.1.1 Hluk | 12 |
| 1.1.2 Hladina akustickej intenzity a akustického tlaku | 12 |
| 1.1.3 Hladina hlasitosti a krivky rovnakej hlasitosti | 13 |
| 2 Prehľad súčasného stavu..... | 15 |
| 2.1 Hlukomery..... | 15 |
| 2.2 Vplyv hluku na ľudský organizmus | 18 |
| 3 Ciele práce | 20 |
| 4 Postup návrhu zariadenia | 21 |
| 4.1 Snímač zvuku | 21 |
| 4.2 Úprava signálu po výstupe z mikrofónu | 22 |
| 4.3 Spracovanie signálu..... | 23 |
| 4.4 Svetelná signalizácia | 24 |
| 5 Výsledky..... | 28 |
| 5.1 Analyzátor hluku so svetelnou signalizáciou | 28 |
| 5.2 Kalibrácia zariadenia..... | 33 |
| 5.3 Nastavenie vlastných parametrov užívateľom | 34 |
| 5.4 Návrh dosky plošných spojov | 36 |
| 5.5 Návrh krytu zariadenia | 37 |
| 6 Diskusia..... | 38 |
| 7 Záver | 41 |
| Zoznam použitej literatúry | 42 |
| Príloha A: Kód mikroprocesoru Arduino Uno s popisom | 44 |
| Príloha B: Zoznam použitých súčiatočiek a schéma zariadenia | 47 |
| Príloha C: Návrh dosky plošných spojov | 49 |
| Príloha D: Obsah priloženého CD..... | 50 |

Zoznam symbolov a skratiek

Zoznam symbolov

| Symbol | Jednotka | Význam |
|--------|----------|------------------------------|
| L_I | dB | Hladina akustickej intenzity |
| L_p | dB | Hladina akustického tlaku |
| A | - | Zosílenie |
| R | Ω | Elektrický odpor |
| I | dB | Akustická intenzita |
| p | Pa | Akustický tlak |
| A | Ph | Hladina hlasitosti |
| f | Hz | Frekvencia, kmitočet |
| C | F | Kapacita |
| I | A | Elektrický prúd |
| U | V | Elektrické napätie |

Zoznam skratiek

| Skratka | Význam |
|---------|---|
| LED | Dióda emitujúca svetlo (Light-Emitting Diode) |
| JIS | Jednotka intenzívnej starostlivosti |

Zoznam tabuliek

| | |
|--|----|
| Tabuľka 2.1: Porovnanie 3 typov digitálnych hlukomerov [6–8] | 15 |
| Tabuľka 2.2: Štatistické výsledky štúdie [14] | 19 |
| Tabuľka 4.1: Parametre mikrofónu MCE-100 [16]..... | 22 |
| Tabuľka 5.1: Medze napätia pre jednotlivé signalizácie | 31 |
| Tabuľka 5.2: Namerané hodnoty hlukomeru a analyzátoru hluku | 34 |

Zoznam obrázkov

| | |
|--|----|
| Obrázok 1.1: Kingsburyho krivky rovnakej hlasitosti [5] | 13 |
| Obrázok 1.2: Priebehy váhových kriviek A, B a C [5]..... | 14 |
| Obrázok 2.1: 4 verzie signalizácie PulsarSafeEar [9]..... | 17 |
| Obrázok 2.2: SoundEar 3-300 [10]..... | 17 |
| Obrázok 2.3: Sluchové pole [2] | 18 |
| Obrázok 4.1: Bloková schéma zariadenia..... | 21 |
| Obrázok 4.2: Princíp elektretového mikrofónu [15]..... | 21 |
| Obrázok 4.3: Schéma predzosilovača | 23 |
| Obrázok 4.4: Vývojová platforma Arduino Uno [18] | 24 |
| Obrázok 4.5: Trojstupňová svetelná signalizácia | 25 |
| Obrázok 4.6: Schéma zapojenia LED diód..... | 26 |
| Obrázok 5.1: Schéma analyzátoru hluku | 29 |
| Obrázok 5.2: Praktické prevedenie svetelnej signalizácie..... | 30 |
| Obrázok 5.3: Realizácia mikrofónnej časti..... | 30 |
| Obrázok 5.4: Analyzátor hluku so svetelnou signalizáciou..... | 31 |
| Obrázok 5.5: Zaznamenávanie odozvy zariadenia na rôzne intenzity zvuku..... | 32 |
| Obrázok 5.6: Rozmiestnenie kalibračnej aparatúry | 33 |
| Obrázok 5.7: Kalibračná krivka analyzátoru hluku | 34 |
| Obrázok 5.8: Nastavenie vlastnej hodnoty hluku pre zelenú signalizáciu | 35 |
| Obrázok 5.9: Návrh dosky plošných spojov | 36 |
| Obrázok 5.10: Návrh krytu zariadenia..... | 37 |
| Obrázok 5.11: Zadná strana zariadenia..... | 37 |

1 Úvod

Ticho lieči. Toto notoricky známe príslovie v sebe skrýva veľký kus pravdy. Zvuky sú síce bežnou súčasťou prostredia okolo nás, ale ak sú príliš silné, pôsobia nepríjemne a môžu mať škodlivé účinky. Pacienti v nemocniciach by sa mali cítiť komfortne v priebehu celej hospitalizácie a rušivé zvuky a hluk im v tom čiastočne zabraňujú. Silné zvuky majú významný vplyv na pacientov a môžu prispieť k zhoršeniu ich zdravotného stavu.

Pre najmenších pacientov to platí dvojnásobne. Zdrojom hluku na neonatologickom oddelení je bežná fluktuácia personálu, návštev i technické vybavenie, ako napríklad ventilačná technika, alarmy prístrojov, inkubátory a iné zdravotnícke prístroje a ich časti. Neonatologickí pacienti sú náchylnejší na vnímanie týchto rušení ako dospelí ľudia, a preto je udržiavanie pokojného prostredia neonatológie o to dôležitejšie. Pri vystavení hluku sa týmto pacientom zhoršujú základné fyziologické hodnoty, ako napríklad srdečná frekvencia či saturácia krvi kyslíkom.

Ľudia, pohybujúci sa po nemocničných oddeleniach, si často ani neuvedomujú, že môžu pôsobiť rušivo. Preto je vhodné ich na zvýšený hluk upozorniť. V súčasnosti existujú mnohé druhy hlukomerov, ktoré dokážu spoľahlivo zmerať aktuálnu intenzitu zvuku. Avšak, týmto zariadeniam chýba možnosť nastavenia limitných hodnôt, pri ktorých by sa spustil určitý druh signalizácie. Tieto fakty ma motivovali k výberu projektu, v ktorom by malo byť vytvorené zariadenie signalizujúce hluk. Personál či návštevy by tak mali možnosť uvedomiť si, že sa treba stíšiť.

Cieľom práce je projekt situovaný v prostredí neonatologickej jednotky intenzívnej starostlivosti, pretože práve v tejto oblasti je kontrola hluku relevantná. Ako hovorí článok spomenutý nižšie v práci, predčasne narodené deti potrebujú pre svoj správny vývoj pokojné prostredie nerušené výkyvmi zvukov. Vytvorenie analyzátoru hluku s definovanými medznými hodnotami a svetelnou signalizáciou by mohlo byť optimálnym riešením problému s hlukom na nemocničných oddeleniach.

1.1 Definície základných pojmov

Zvuk je mechanické vlnenie, ktoré je sluchový orgán človeka schopný prijať a následne spracovať. Pod vplyvom dlhodobého vývoja ľudstva sa ukázalo, že pre človeka je najjednoduchšie dorozumievanie sa a signalizácia v oblasti 1 až 5 kHz. Toto spolu s biologickými podmienkami viedlo k tomu, že sa uňho vytvorilo sluchové ústrojenstvo naladené na danú oblasť frekvencií. Pri rezonancií ušného bubienku je amplitúda kmitov najväčšia a tým pádom je ľudské ucho v okolí rezonancie najcitlivejšie. Vzdialovaním sa od rezonancie klesá amplitúda kmitania bubienku, až pri frekvencii 20 Hz a 20 kHz úplne vymizne. Z toho vyplýva, že pre frekvenciách vlnenia nižších ako 20 Hz je nepočuteľné a nazývame ho infrazvukové. S frekvenciou nad 20 kHz je zvuk taktiež nepočuteľný a nazýva sa ultrazvuk. Zvuk, ultrazvuk i infrazvuk sa môžu šíriť prostrediami pevnými, kvapalnými a plynými. Vo vákuu sa nešíria [1].

Akustické veličiny, ktoré sa používajú k popisu akustického poľa, k charakterizovaniu zdrojov zvuku alebo akustických vlastností materiálov pre akustiku, nadobúdajú hodnoty v rozsahu niekoľkých rádov. Napríklad najtichšie počuteľné zvuky spôsobujú fluktuáciu akustického tlaku okolo 10^{-5} Pa, pre bežnú konverzáciu sú to stotiny Pascalu a behom koncertu symfonického orchestru dosahujú fluktuácie až jednotky Pascalu. Podobne je to aj s ostatnými akustickými veličinami. Preto sa v akustike zavádzajú hladinové vyjadrenia veličín, ktoré vychádzajú z logaritmu pomeru danej veličiny s nejakou referenčnou hodnotou. Druhým dôvodom na zavedenie hladín na základe logaritmu je Weberov-Fechnerov zákon [2], ktorý hovorí, že prírastok vnemu je úmerný relatívnej zmene podnetu. Z toho vyplýva, že veľkosť vnemu je úmerná logaritmu intenzity [2–4].

1.1.1 Hluk

Hlukom sa rozumie neperiodický akustický signál, ktorý je nechcený, obťažujúci, alebo má dokonca škodlivé účinky. Jeho vnímanie je subjektívne a ovplyvnené mnohými faktormi ako doba trvania, vek, zdravotný stav apod. Zariadenie, ktorým meriame hluk sa nazýva hlukomer alebo zvukomer [2].

1.1.2 Hladina akustickej intenzity a akustického tlaku

Pre veľkosť akustickej intenzity definujeme hladinu akustickej intenzity

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}, \quad (1.1)$$

kde $I_0 = 10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$ je referenčná hodnota akustickej intenzity. Jednotkou je decibel a značí sa dB. Pôvodná jednotka Bel bola príliš veľká, preto sa ustálilo používanie desaťkrát menšej jednotky. Pre hladinu akustického tlaku definujeme

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0}, \quad (1.2)$$

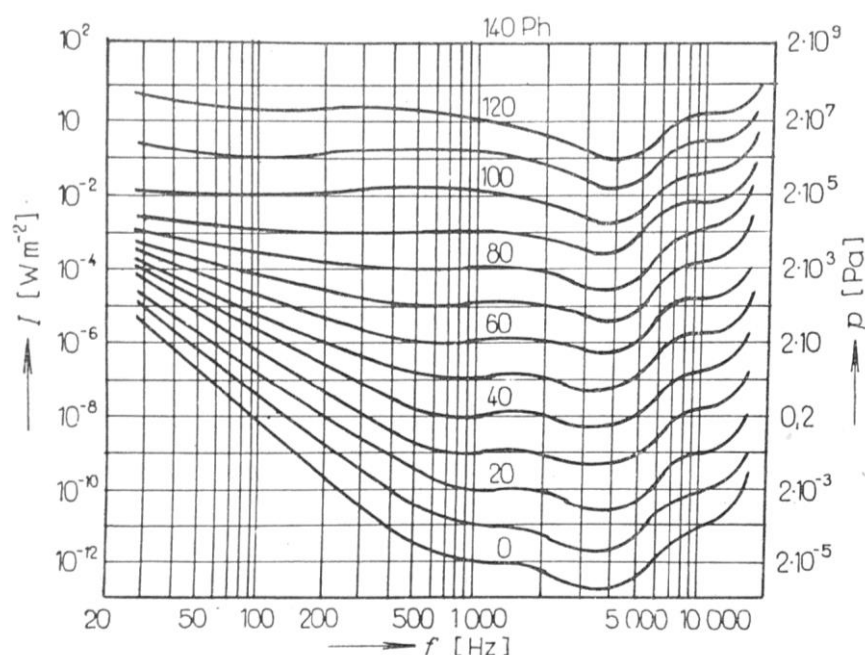
kde $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ je referenčná hodnota pre akustický tlak a jednotkou je znova decibel [dB]. Referenčné hodnoty sú stanovené medzinárodnými dohodami tak, aby približne odpovedali prahu počutia pre dané veličiny pre 1 kHz [2].

1.1.3 Hladina hlasitosti a krivky rovnakej hlasitosti

Ukázalo sa, že závislosť hlasitosti na intenzite sa so zreteľom ku kmitočtovej závislosti citlivosti sluchu pre rôzne tóny líši. Z tohoto dôvodu sa predpokladá platnosť vzťahu 1.1 iba pre referenčné hodnoty 1 kHz. Pre iné kmitočty je potrebné hladinu hlasitosti stanoviť subjektívnym porovnaním s tónom 1 kHz. Vzorec pre výpočet hladiny hlasitosti je:

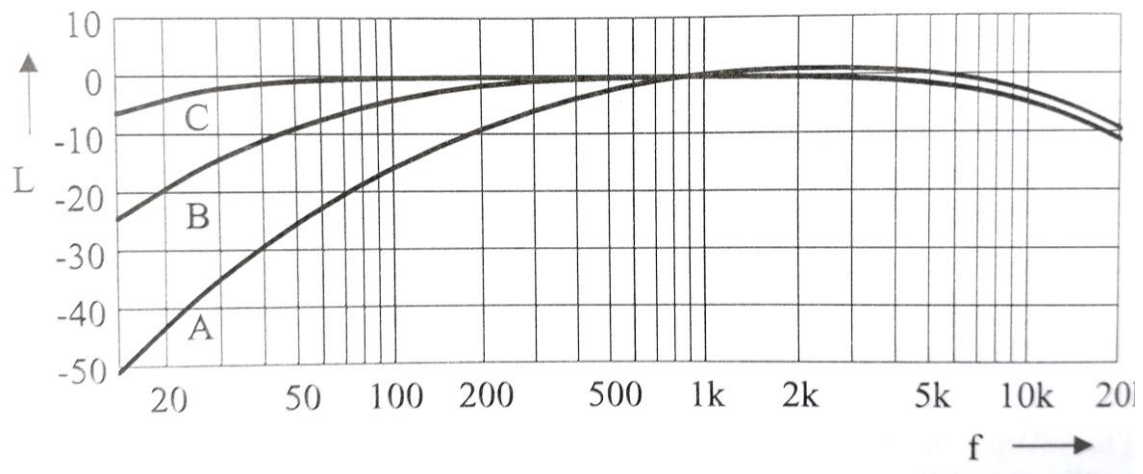
$$\Lambda = 10 \log \frac{I}{I_0}, \quad (1.3)$$

a súhlasí s hladinou intenzity zvuku v decibeloch pre 1 kHz. Pre ostatné kmitočty získame hladinu hlasitosti porovnaním ich hladín s hladinou tónu s kmitočtom 1 kHz. Jednotkou hladiny hlasitosti je fón (Ph), ktorý sa používa iba v prípadoch, kedy bola hladina hlasitosti zistená subjektívnym porovnaním. Ak sa mení intenzita tónu 1 kHz v decibeloch a ak vyhľadáme ku každej hodnote intenzitu ostatných čistých tónov, ktoré spôsobujú vnem rovnakej hlasitosti, dostaneme hladiny rovnakej hlasitosti. Na obrázku 1.1 sú znázornené Kingsburyho hladiny rovnakej hlasitosti. Krivky boli získané meraním vo voľnom poli a ich prehnutie medzi 2 až 5 kHz bolo spôsobené deformáciou zvukového poľa hlavou pozorovateľa [5].



Obrázok 1.1: Kingsburyho krivky rovnakej hlasitosti [5]

Vzorce 1.1 a 1.2 rešpektujú z hľadiska subjektívneho vnímania zvuku iba logaritmickú závislosť vnemu. Neobsahujú frekvenčnú závislosť citlivosti ľudského ucha. Pri akustických meraniach je častokrát nutné zisťovať hladiny akustického tlaku s uvažovaním tejto závislosti a následne vyjadriť ich číselne. Aby sme priblížili merané veličiny vlastnostiam ľudského ucha, boli vytvorené takzvané váhové filtre, ktoré sú v dnešnej dobe súčasťou každého hlukomeru. Váhové filtre simulujú kmitočtovú závislosť ľudského ucha. Medzinárodnou dohodou boli pre meracie účely vybrané tri základné kmitočtové priebehy, ktoré približne odpovedajú krivkám hladín rovnakej hlasitosti. Pre 40 Ph je to krivka A, 70 Ph odpovedá krivke B a 100 Ph súhlasí s krivkou C. Existuje ešte jeden váhový filter, ktorý zachytáva mieru obťažovania hlukom a označujeme ho písmenom D. Takto namerané hladiny akustického tlaku nazývame hladinami zvuku a na základe použitia váhového filtru ich vyjadrujeme v [dB (A), dB (B), dB (C), dB (D)]. Váhové krivky sú znázornené na obrázku 1.2. Súčasné hlukomery obsahujú zväčša váhový filter A a C [5].



Obrázok 1.2: Priebehy váhových kriviek A, B a C [5]

2 Prehľad súčasného stavu

V súčasnej dobe je hluk na pracoviskách upravovaný zákonmi a jeho maximálne hodnoty závisia od konkrétneho typu pracovného priestoru. Dodržovanie povolených limitov je kontrolované zariadeniami na meranie hluku. Aktuálne existuje mnoho zariadení na meranie intenzity zvuku a medzi najpoužívanejšie prístroje používané vo vonkajšom prostredí a pracovných priestoroch sú digitálne hlukomery. V nemocničnom prostredí sa využívajú zariadenia ako napríklad PulsarSafeEar, SoundEar, alebo podobné. Tieto prístroje slúžili ako inšpirácia pri tvorbe vlastného aparátu viz príklady uvedené nižšie.




2.1 Hlukomery

Digitálne hlukomery

Tento typ hlukomerov je určený na meranie intenzity zvuku vo vonkajšom prostredí, pracovných priestoroch, doprave, laboratóriách a pod. Prístroje sa pohybujú v cenovej kategórii od jednotiek tisíc až po desaťtisíce korún, pričom hlavné rozdiely medzi nimi okrem ceny sú presnosť merania a možnosti spracovania nameranej hodnoty hluku. Medzi najznámejších výrobcov digitálnych hlukomerov patria HT, Chauvin Arnoux, Exair, Testo, Kimo, Voltcraft a ďalší. Pre názornú ukážku boli porovnané 3 hlukomery: prvý od firmy Voltcraft, druhý od Chauvin Arnoux a tretí od firmy Kimo, viz tabuľka 2.1. Digitálne hlukomery nemajú požadovanú svetelnú signalizáciu, ktorá by na neonatologickom oddelení oznamovala zvýšenú intenzitu zvuku.

Tabuľka 2.1: Porovnanie 3 typov digitálnych hlukomerov [6–8]

| Názov | Voltcraft SL-50 | C.A 834 | KIMO DB200 |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|---|
| Rozsah merania zvuku (dB) | 40 - 130 | 30 - 130 | 30 - 130 |
| Presnosť pri 1 kHz (dB) | ± 3,5 | ± 1,5 | ± 1,5 |
| Hmotnosť (g) | 135 | 230 | 280 |
| Rozmery (mm) | 130x52x32 | 205x61x38 | 270x70x40 |
| Cena (Kč) | 1 059 | 14 929 | 33 096 |
| Ďalšie špecifikácie a príslušenstvo | - funkcia min/max | - funkcia max - analógový výstup | - funkcia min/max - analógový výstup |

| | | | |
|---------|--|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> - podsvietený LCD displej - možnosť upevnenia na statív | <ul style="list-style-type: none"> - kalibrátor C.A 833 - indikácia stavu batérie - podsvietený LCD displej - možnosť upevnenia na statív | <ul style="list-style-type: none"> - možnosť upevnenia na statív + statív - 5 meracích režimov - možnosť ukadania do pamäti a vytvárania meracích reportov - LCD displej s 3D efektom - prenos cez USB - software LDB200 umožňuje prenos dát do PC - micro SD - nabijateľná batéria - kalibrátor CAL200 |
| Obrázok |  |  |  |

PulsarSafeEar

PulsarSafeEar je hlukom aktivovateľné nástenné zariadenie, ktoré v podobe textovej signalizácie oznámi zvýšenú hladinu zvuku. Využíva sa v knižniciach, nemocniciach, školách, baroch, priemyselných podnikoch a iných pracoviskách. V ponuke sú 4 typy signalizácie a pre nemocnice sa najviac využíva verzia č.4, tzv. „SHHH Quiet Zone“. Nevýhodou pre český trh je dostupnosť iba v anglickom, francúzskom, nemeckom, španielskom a čínskom jazyku. PulsarSafeEar je možné pripojiť pomocou USB káblu k počítaču a naprogramovať podľa našich špecifických požiadaviek. Zaznamenáva hladiny hluku počas zvoleného časového úseku (napríklad v nemocnici po dobu jednej 8h zmeny) a vyhodnotenie sa následne zobrazí vo forme grafického záznamu na

obrazovke počítača. Rozsah merania zvuku je od 40 dB do 114 dB. Cena sa pohybuje od 13 000 Kč vyššie v závislosti od pridaných doplnkov. PulsarSafeEar je zariadenie, ktoré je na rozdiel od digitálnych hlukomerov vhodné aj do nemocničného prostredia. Nevýhodou je obmedzená jazyková dostupnosť a absencia viacstupňovej svetelnej signalizácie [9].



Obrázok 2.1: 4 verzie signalizácie PulsarSafeEar [9]

SoundEar 3-300

SoundEar je zariadenie s trojstupňovou svetelnou signalizáciou používané v nemocniciach na vyhodnocovanie hluku. Klasicky býva umiestnené na dobre viditeľnom mieste na stene. Software ponúka kompletný záznam, analýzu a uchovanie dát po dobu 600 dní. Všetky záznamy sú uchovávané v CSV formáte, ktorý umožňuje ich otvorenie v programe Microsoft Excel. Svetelná signalizácia sa dá jednoducho vypnúť, aby napríklad v noci nerušila pacientov. Rozsah merania zvuku je od 30 dB do 120 dB a cena sa pohybuje od 27 000 Kč v závislosti od doplnkov [10].

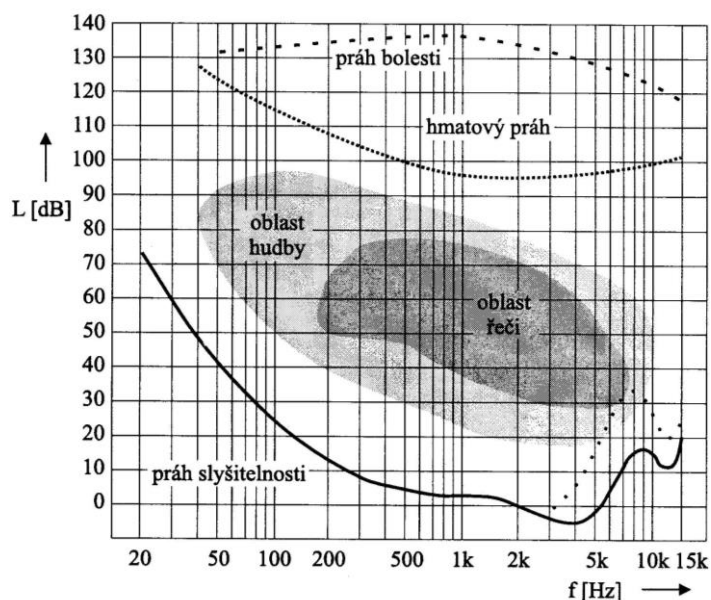


Obrázok 2.2: SoundEar 3-300 [10]

2.2 Vplyv hluku na ľudský organizmus

Aby bol zvuk počuteľný, musí intenzita, respektíve akustický tlak, prekročiť určitú hodnotu, ktorá sa nazýva prah počuteľnosti. Jeho hodnota variuje v závislosti na frekvencií, ale je taktiež rozdielny podľa toho, či sa jedná o čisté tóny, alebo pásmový či širokopásmový zvuk. Závisí aj na smeru dopadu zvuku a na jeho monourálnosti (posluch jedným uchom) či binaurálnosti (posluch oboma ušami). Pri veľkej intenzite podnetov môže nastať podráždenie hmatových receptorov (nad 120 dB), tomuto odpovedá hmatový prah. Pri ďalšom náraste intenzity je už podráždenie vnímané ako bolesť a pohybuje sa nad hodnotou 140 dB. Tu sa nachádza prah bolesti a môže dôjsť k trvalému poškodeniu. Medzi prahom počuteľnosti a hmatovým prahom sa nachádza oblasť počuteľnosti, sluchové pole. V tejto oblasti sa dajú nájsť frekvencie a intenzity reči i hudby viz obrázok 2.3 [2].

Vplyv hluku na ľudský organizmus sa rozdeľuje do dvoch hlavných oblastí. Do prvej oblasti sa zaraďujú účinky hluku na sluchové ústrojenstvo a do druhej ostatné (systémové) účinky. Zvuky, ktoré majú intenzitu nad 60 dB, môžu byť nebezpečné pre vegetatívny systém a nad 120 dB pre tkanivá a bunky. Obzvlášť nebezpečné sú náhle zvuky, napríklad explózie a výstrely, pri ktorých dochádza k prudkému nárastu a poklesu akustického tlaku. Podľa nariadenia vlády č.272/2011 Sb. by hluk v nemocničnom prostredí nemal presahovať 40 dB [11–13].



Obrázok 2.3: Sluchové pole [2]

Účinky hluku na sluchové ústrojenstvo sú podobné u všetkých jedincov. Zvuky s vyššími intenzitami môžu spôsobiť zhoršenie či stratu sluchu, poruchy rovnováhy atď.

Pri systémových účinkoch hluku dochádza k zmenám funkcie v ostatných častiach organizmu. Najčastejšie sú neurovegetatívne zmeny (zmena krvného tlaku, svalového

tonusu), zmeny nervových funkcií (učenie, koncentrácia), či zmeny kvality a dĺžky spánku. Hluk ďalej pôsobí na psychickú pohodu a celkový zdravotný stav [11, 12].

Táto práca sa zaoberá vytvorením analyzátoru hluku pre neonatologickú jednotku intenzívnej starostlivosti, a preto je cieľom záujmu najmä vplyv hluku na neonatologických pacientov. Podľa štúdie z roku 2015, v ktorej boli neonatologickí pacienti vystavení bežnému ruchu na oddelení, sa zistilo, že hluk má na predčasne narodené deti výrazné fyziologické aj psychické účinky. Z nasledujúcej tabuľky vyplýva, že vyššia hladina hluku spôsobuje zvýšenie srdečnej frekvencie (HR) a zníženie saturácie krvi kyslíkom (O₂ satur.). Taktiež klasifikácia APIB, ktorá hodnotí neurobehaviorálne fungovanie predčasne narodených detí, variuje medzi hodnotami 2 (klasifikované ako veľmi dobré) až 6 (klasifikované ako zlé, nedostačujúce). Z výsledkov štúdie vyplýva, že hluk má na neonatologických pacientov negatívny vplyv [14].

Tabuľka 2.2: Štatistické výsledky štúdie [14]

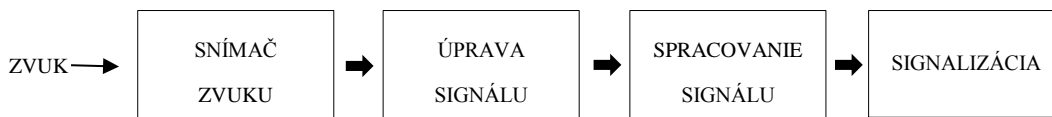
| Premenná | Priemer | | Minimum | | Maximum | | Štandardná odchýlka | |
|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------------|--------|
| | Spánok | Hluk | Spánok | Hluk | Spánok | Hluk | Spánok | Hluk |
| Priemerný hluk (dBa) | 58.62 | 61.34 | 55.80 | 54.50 | 63.40 | 67.90 | 1.70 | 2.88 |
| Min. hluk (dBa) | 47.80 | 47.30 | 45.30 | 45.10 | 50.00 | 49.80 | 1.21 | 1.02 |
| Max. hluk (dBa) | 75.92 | 78.86 | 71.20 | 74.70 | 80.00 | 83.00 | 2.06 | 1.92 |
| Váha (kg) | 1837.15 | 1837.14 | 1487.00 | 1487.00 | 2282.50 | 2282.50 | 218.63 | 218.64 |
| HR (údery / min) | 137.74 | 142.59 | 110.00 | 122.50 | 158.00 | 160.90 | 10.36 | 8.7 |
| O₂ satur. (%) | 95.58 | 94.96 | 93.00 | 91.60 | 98.00 | 97.30 | 1.05 | 1.12 |
| APIB | 3.54 | 3.55 | 2.00 | 2.00 | 6.00 | 6.00 | 1.38 | 1.38 |

3 Ciele práce

Cieľom tohoto projektu je navrhnuť a vytvoriť prototyp analyzátoru hluku pre neonatologickú jednotku intenzívnej starostlivosti. Zo zadania práce vyplýva, že analyzátor hluku musí obsahovať trojstupňovú svetelnú signalizáciu, ktorá by mala pomôcť upozorniť personál a návštevy oddelenia na zvýšenú hladinu hluku. Zariadenie by malo kontinuálne zaznamenávať intenzitu hluku a vyhodnocovať jej úroveň pomocou mikroprocesoru Arduino Uno. Pri prekročení limitných hodnôt sa automaticky spustí jedna z dvoch výstražných signalizácií. Pri miernom hluku sa rozsvieti séria žltých LED diód a po prekročení najvyššej prípustnej hodnoty hluku sa spustí červená signalizácia. Zelená farba LED diód oznamuje akceptovateľnú intenzitu hluku, ktorá nijakým spôsobom neobťažuje neonatologických pacientov. Analyzátor hluku obsahuje možnosť nastavenia vlastných prahových hodnôt pre svetelné signalizácie. Celé zariadenie by malo fungovať samostatne, byť vizuálne nerušivé, a teda vhodné do nemocničného prostredia.

4 Postup návrhu zariadenia

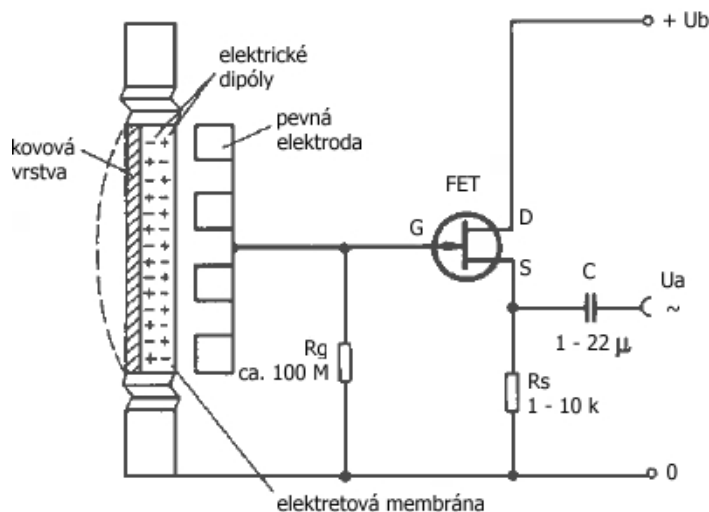
Pri navrhovaní analyzátoru hluku bola vytvorená bloková schéma, ktorá popisuje základné časti zariadenia. Každý z blokov je podrobne vysvetlený v nasledujúcich podkapitolách.



Obrázok 4.1: Bloková schéma zariadenia

4.1 Snímač zvuku

Ako snímač zvuku bol použitý jednoduchý elektretový mikrofón, ktorý zaraďujeme medzi kondenzátorové mikrofóny. Tento druh mikrofónov je tvorený dvoma kovovými doštičkami, z ktorých jedna je pevne upevnená a druhá je pohyblivá. Pohyblivá doštička má funkciu akustickej membrány a jej približovaním a oddialovaním sa mení kapacita a tým pádom aj výstupné napätie. Pevná elektróda je tvorená vstvou elektretu, ktorý v sebe permanentne uchováva náboj, vďaka čomu mikrofón nepotrebuje veľké polarizačné napätie ako je tomu napríklad u klasického kondenzátorového typu. Výstupné napätie musí byť spracované predzosilovačom s vysokým vstupným odporom [15].



Obrázok 4.2: Princíp elektretového mikrofónu [15]

Pri návrhu analyzátoru hluku bol použitý elektretový mikrofón typu MCE-100. V tabuľke 4.1 nájdeme jeho bližšie špecifikácie.

Tabuľka 4.1: Parametre mikrofónu MCE-100 [16]

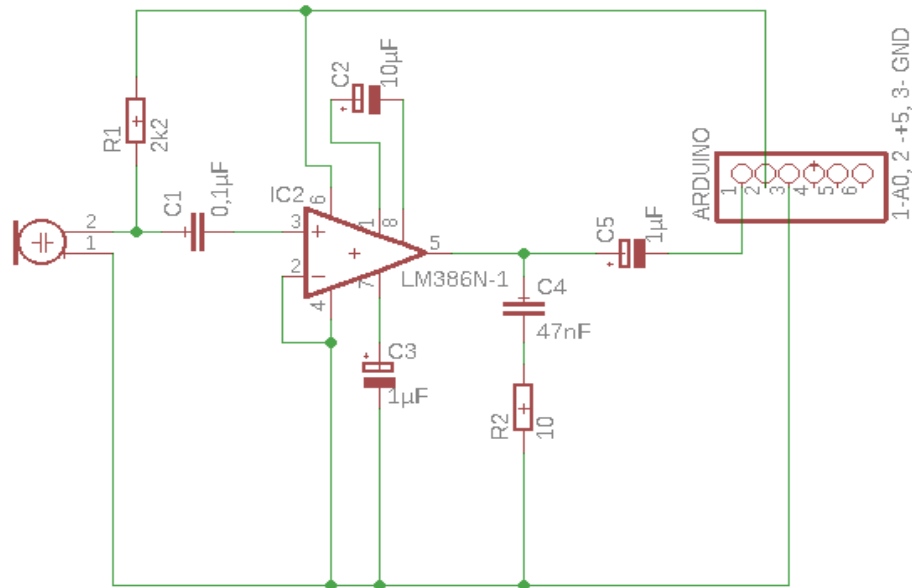
| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Frekvenčný rozsah (Hz) | 50 – 10 000 |
| Citlivosť (mV/Pa/1 kHz) | 5,6 |
| Výstupná impedancia (k Ω) | 2 |
| Napájanie (V) | 1,5 - 10 |
| Napájanie (mA) | 5 |
| Coupling kondenzátor (μ F) | 0,1 – 4,7 |

4.2 Úprava signálu po výstupe z mikrofónu

Výstupom z mikrofónu je slabý elektrický signál, ktorý je skreslený a ovplyvnený šumom. Na jeho úpravu sa používa mikrofónny predzosilovač, ktorý znásobuje vstupné napätie. V tejto práci boli pre vytvorenie predzosilovača potrebné nasledujúce komponenty z rady E12 a E6:

- rezistory (2,2 k Ω , 10 Ω)
- kondenzátory (0,1 μ F, 10 μ F, 1 μ F, 0,047 μ F)
- operačný zosilovač LM 386

Na obrázku 4.3 je schéma mikrofónneho predzosilovača, ktorá bola vytvorená v programe Eagle. Mikrofón aj zosilovač LM 386 sú napájané napätím 5 V z pinu z mikroprocesoru Arduino a zem je vytvorená pomocou pinu GND. Rezistor R1 musí byť zapojený medzi kladným napájaním a pozitívnym výstupom mikrofónu, aby naň bolo privádzané potrebné napätie. Hodnotu rezistoru získame z technického listu konkrétneho mikrofónu. Kondenzátor C1 slúži na odfiltrovanie DC zložiek signálu a jeho hodnoty odporúča technický list. Zosílenie zosilovača nastavujeme pomocou kondenzátora C2. Pre typ LM 386 platí, že pri zapojení bez akéhokoľvek kondenzátora je zosílenie 20. Pre získanie maximálneho zosílenia ($A=200$) je potrebné pripojiť kondenzátor o hodnote 10 μ F, ktorý bol použitý aj v nižšie uvedenej schéme. Kondenzátor C3 je nevyhnutný pre zlepšenie stability zosilovača. V prípade jeho absencie môže dôjsť k osciláciám narúšajúcim elektrický signál. Akýkoľvek DC offset z výstupu LM 386 je odstránený použitím kondenzátora C5. Zapojenie C4 slúži ako vyrovnávací kondenzátor. Výstup z operačného zosilovača je privedený na A0 pin mikroprocesoru Arduino, kde je následne spracovaný a vyhodnotený [17].

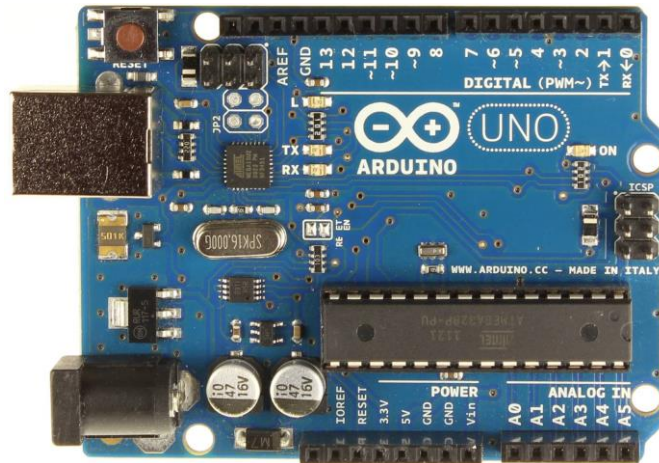


Obrázok 4.3: Schéma predzosilovača

4.3 Spracovanie signálu

Pre spracovanie upraveného signálu bola zvolená vývojová platforma Arduino. Vývoj prvého mikroprocesoru Arduina započal v roku 2005, kedy sa pracovníci talianskeho Interaction Design Institute rozhodli vytvoriť jednoduchý a zároveň lacný vývojový set určený primárne pre študentov, ktorí si drahšie dosky nemohli dovoliť. Platforma Arduino sa medzi študentmi stala veľmi populárnou, a preto sa jej tvorcovia rozhodli ponúknuť ju celému svetu. Jedná sa o Open Source projekt, čo znamená nie len predaj dosiek, ale aj zdieľanie všetkých schém a návodov. Programová časť Arduina je založená na programovacom jazyku Processing, ktorý má vlastný editor a je určený k výuke programovania.

V tejto práci bola použitá platforma Arduino Uno, ktorá patrí v súčasnej dobe medzi najpoužívanejšie. Na doske môžeme nájsť procesor Atmega328 a taktiež USB konektor. Obsahuje aj napájací konektor, ktorý sa dá použiť v prípade, ak by sme mikroprocesor Arduino nechceli napájať cez USB, ale zo siete [18].



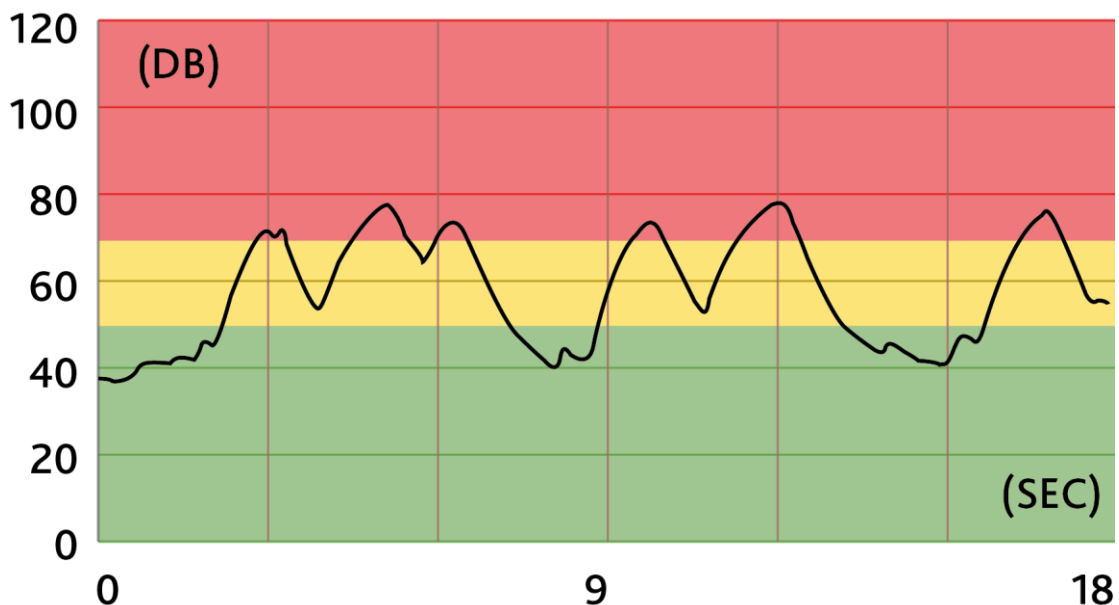
Obrázok 4.4: Vývojová platforma Arduino Uno [18]

Mikroprocesor Arduino Uno ponúka napájanie 3,3 V a 5 V. V tejto práci bolo použité len napájanie 5 V, a to pre celý obvod. Platforma taktiež obsahuje piny zem, analógové vstupy/výstupy, digitálne vstupy/výstupy a ďalšie, ktoré však pri návrhu analyzátoru hluku použité neboli. Jednotlivé piny sú schopné operovať s maximálnou hodnotou prúdu 40 mA, pričom odporúčaná hodnota je 20 mA. Napájací pin 5 V dokáže poskytnúť užívateľovi prúd 500 mA. Pri prekročení týchto hodnôt môže dôjsť k poškodeniu mikroprocesoru, alebo k jeho nesprávnemu fungovaniu. Kvôli týmto maximálnym prípustným hodnotám boli v projekte použité tri tranzistory, jeden pre každú z troch svetelných signalizácií. Každá vetva optickej signalizácie potrebuje pre jednu farbu LED diód prúd 100 mA. V prípade, že by boli zapojené všetky tri súčasne a navyše by bola zapojená vetva s mikrofónom a predzosilovačom, priblížili by sme sa limitnej hodnote prúdu. Tranzistory sa stanú aktívnymi na základe príkazu z mikroprocesoru Arduino, ale nikdy nie naraz. Pre bližšiu predstavu a ukážku schémy zapojenia slúži nasledujúca podkapitola [18].

4.4 Svetelná signalizácia

Zo zadania pre návrh analyzátoru hluku vyplýva, že signalizácia musí byť trojstupňová. Z tohoto dôvodu boli zvolené tri rozdielne farby LED diód, a to zelená, žltá a červená. Predpokladaný rozsah intenzity hluku na neonatologickej jednotke intenzívnej starostlivosti nepresahuje 100 dB. Tento rozsah je rozdelený na 3 oblasti podľa toho, aký hluk je aktuálne dosiahnutý, viz obrázok 4.5. Farby jednotlivých oblastí korešpondujú s farbou LED diód, ktoré sa v danej chvíli rozsvietia. Zelená oblasť znamená prípustné hodnoty hluku, ktorý nijako neruší neonatologických pacientov. Žltá časť signalizuje zvýšený hluk. Po prekročení konkrétnej hodnoty sa rozsvietia červené LED diódy. Táto signalizácia je najzávažnejšia, pretože hluk dosiahol neprípustné hodnoty a musí byť čo najskôr odstránený.

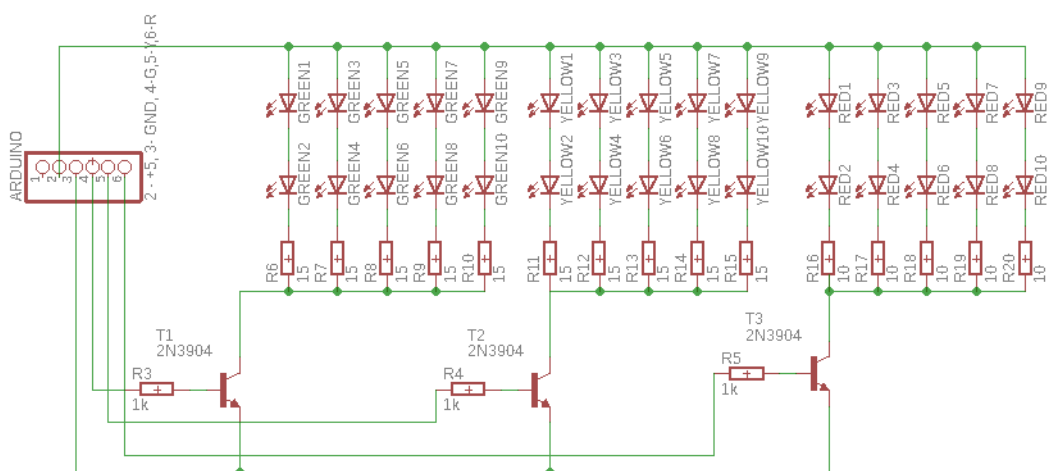
Zvolenie farieb nie je náhodné, ale vyplýva zo spoločensky zaužívanej farebnej škály výstražných znamení, s ktorou sa bežne stretávame napríklad v podobe semaforov. Červená výstražná farba vždy znamená ohrozenie, alebo prekročenie maximálnej hodnoty. Mierne nedodržanie limitov je oznámené žltou farbou. Zelená signalizuje udržiavanie sa v prípustných hodnotách. Znázornenie rozdelenia trojstupňovej svetelnej signalizácie je na obrázku 4.5, ktorý bol vytvorený pomocou telefónnej aplikácie Sound meter a farebne upravený programom Adobe Illustrator.



Obrázok 4.5: Trojstupňová svetelná signalizácia

Pre vytvorenie optickej časti analyzátoru hluku boli potrebné nasledujúce elektronické súčiastky:

- 10 zelených LED diód s parametrami 5 mm, 20 mA, 2V
- 10 žltých LED diód s parametrami 5 mm, 20 mA, 2 V
- 10 červených LED diód s parametrami 5 mm, 20mA, 2 V
- 3 tranzistory 2N3904
- rezistory (15 Ω , 10 Ω , 1 k Ω)



Obrázok 4.6: Schéma zapojenia LED diód

Na obrázku 4.6 je znázornené zapojenie všetkých troch vetiev LED diód. Každá z nich je napájaná 5 V z mikroprocesoru Arduino Uno. Ich rozsvietenie je riadené pomocou platformy Arduino, a to konkrétne aktivovaním digitálneho pinu, na ktorý je pripojený tranzistor prislúchajúci konkrétnej skupine farebných LED diód. Usporiadanie bolo zvolené z dôvodu úspory odberu prúdu. V týchto prípadoch odoberá každá vetva maximálne 100 mA, čo vyplýva z parametrov LED diód (každá z nich potrebuje 20 mA). 10 LED diód pre konkrétnu farbu je rozdelených do paralelného a sériového zapojenia. Paralelne je vytvorených 5 vetiev, pričom každá obsahuje dve sériovo zapojené LED diódy s ochranným rezistorom. Pre výpočet hodnôt rezistorov je použitý vzorec:

$$R = \frac{U_z - U_d - U_t}{I}, \quad (4.1)$$

kde U_z je napätie zdroja, v tomto prípade 5 V z mikroprocesoru Arduino. U_d je napätie na LED dióde a je dané jej parametrami, pričom skutočná hodnota nikdy nie je presne 2 V. Reálna hodnota napätia pre daný farebný typ diódy bola zistená zmeraním v laboratóriu. U_t je saturačné napätie tranzistoru a jeho hodnotu získame z technického listu, I je prúd pretekajúci vetvou, teda 20 mA [19].

Vo výpočte je použitý dvojnásobok U_d z dôvodu sériového zapojenia dvoch LED diód. Pre zelené LED diódy je hodnota rezistoru nasledovná:

$$R_{GREEN} = \frac{5 - 2 \cdot 2,02 - 0,7}{0,02} = 13 \Omega$$

Pre žlté LED diódy je hodnota rezistoru:

$$R_{YELLOW} = \frac{5 - 2 \cdot 2,03 - 0,7}{0,02} = 12 \Omega$$

Pre červené LED diódy je hodnota rezistoru:

$$R_{RED} = \frac{5 - 2 \cdot 2,06 - 0,7}{0,02} = 9 \Omega$$

Pri konštrukcii zariadenia boli pre zelené a žlté LED diódy použité rezistory s hodnotou 15 Ω a pre červené 10 Ω . Všetky rezistory pochádzajú z rady E 12.

5 Výsledky

V nasledujúcich podkapitolách je uvedená finálna konštrukcia zariadenia spolu s kódom mikroprocesoru Arduina Uno, jeho kalibrácia a možnosť realizácie zmien.

5.1 Analyzátor hluku so svetelnou signalizáciou

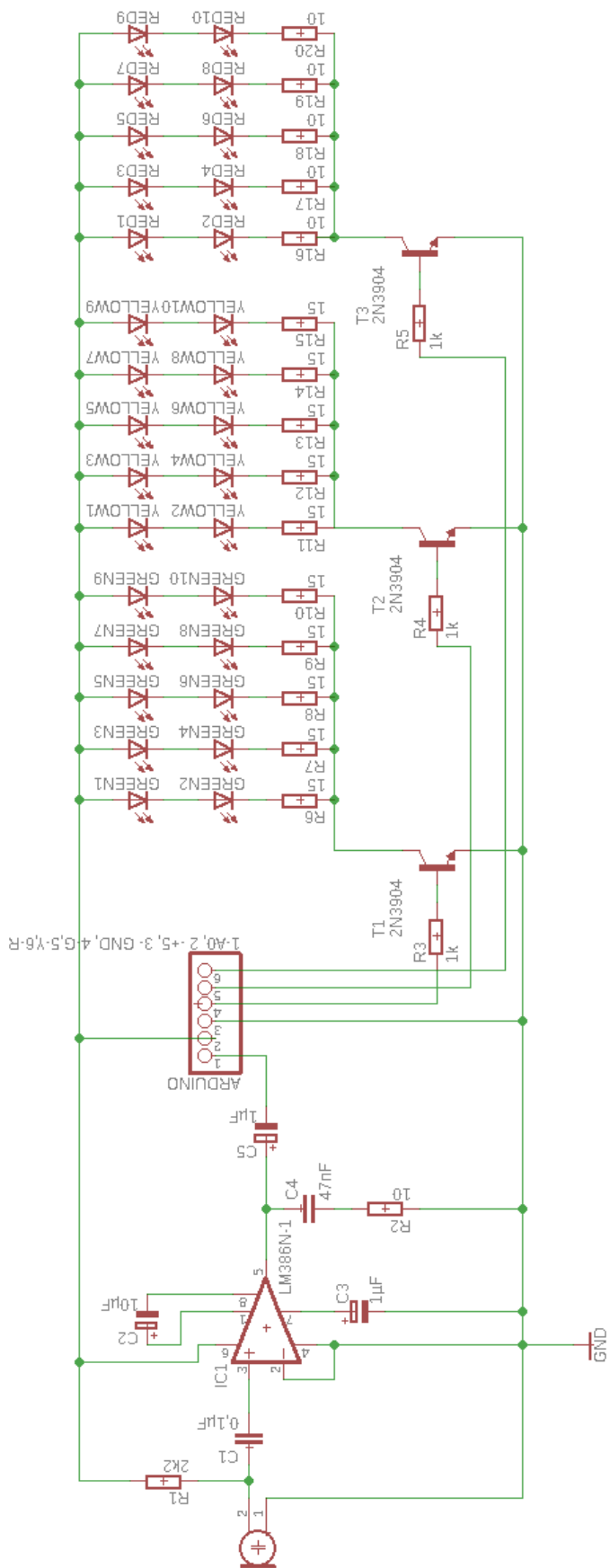
Pre vytvorenie analyzátoru hluku so svetelnou signalizáciou bol navrhnutý elektrický obvod, ktorý je spojením mikrofónnej časti a optickej časti z kapitol 4.2 a 4.4. Prostredie programu Eagle neponúka zaradiť do schémy platformu Arduino Uno, a preto bola zvolená možnosť zaradiť do schémy iba súčiastku s potrebným množstvom pinov. Schéma zariadenia je na obrázku 5.1.

Z návrhu je vidieť, že signál z mikrofónu je upravený pomocou mikrofónneho predzosilovača a následne spracovaný pomocou platformy Arduino Uno. V nej je pomocou naprogramovaného kódu rozhodnuté, ktorá vetva LED diód bude spustená.

Jednotlivé časti systému boli najskôr skonštruované a otestované samostatne. Ako prvá bola vytvorená časť so svetelnou signalizáciou. Zmeny hodnôt snímané mikroprocesorom Arduino Uno boli uskutočnené pomocou trimru. Nastavovanie rôznych hodnôt odporu tejto súčiastky spôsobilo rozdielne hodnoty napätia, ktoré slúžili ako analógový vstup do mikroprocesoru. V mikroprocesore Arduino je použitý 10-bitový analógovo-digitálny prevodník a z tohoto dôvodu variujú výstupné hodnoty medzi 0–1023. Toto rozpätie zodpovedá vstupnému napätiu 0-5 V. Pre prepočet na napätie musíme použiť vzorec:

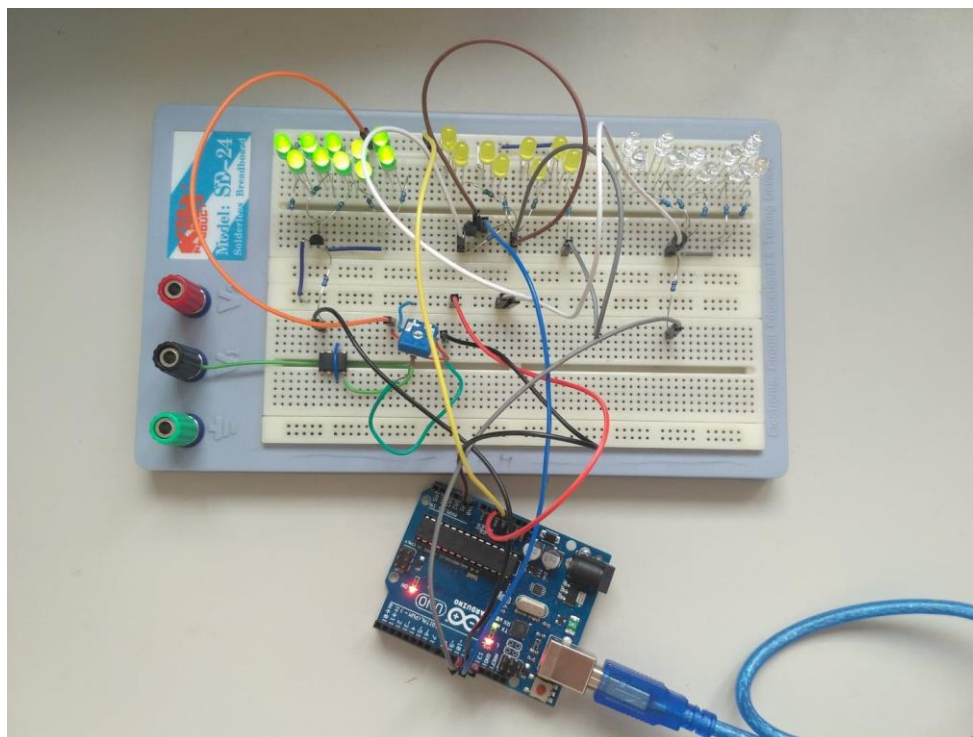
$$y = \frac{x}{1023} \cdot 5, \quad (5.1)$$

kde y je hodnota napätia a x je hodnota analógového výstupu platformy Arduino Uno.



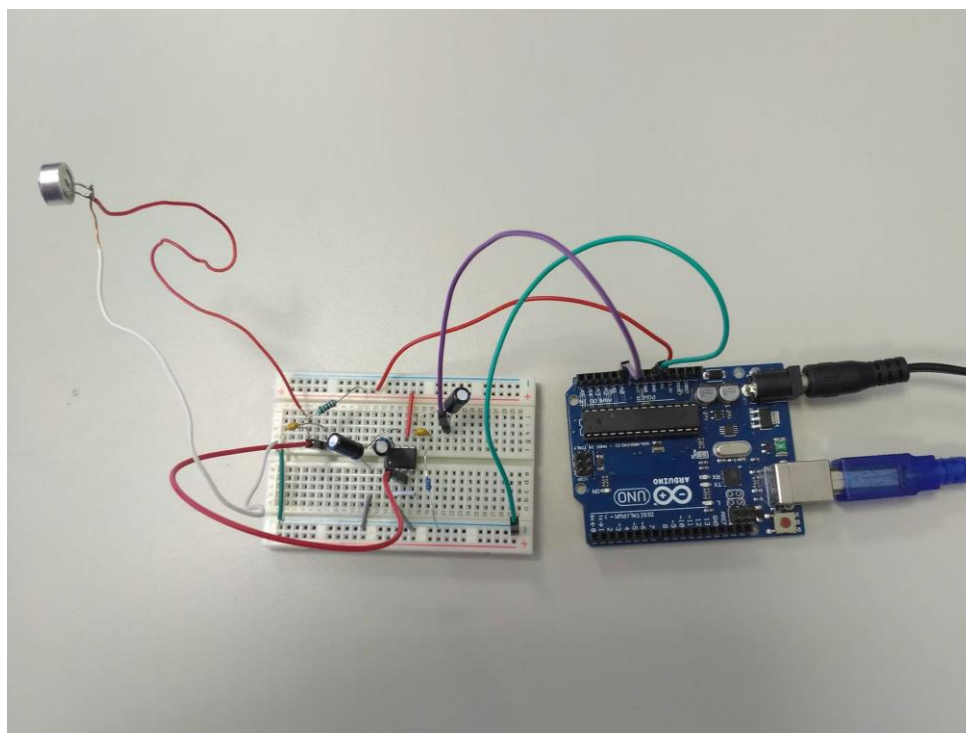
Obrázok 5.1: Schéma analyzátoru hluku

Konštrukcia svetelnej časti je znázornené na obrázku 5.2.



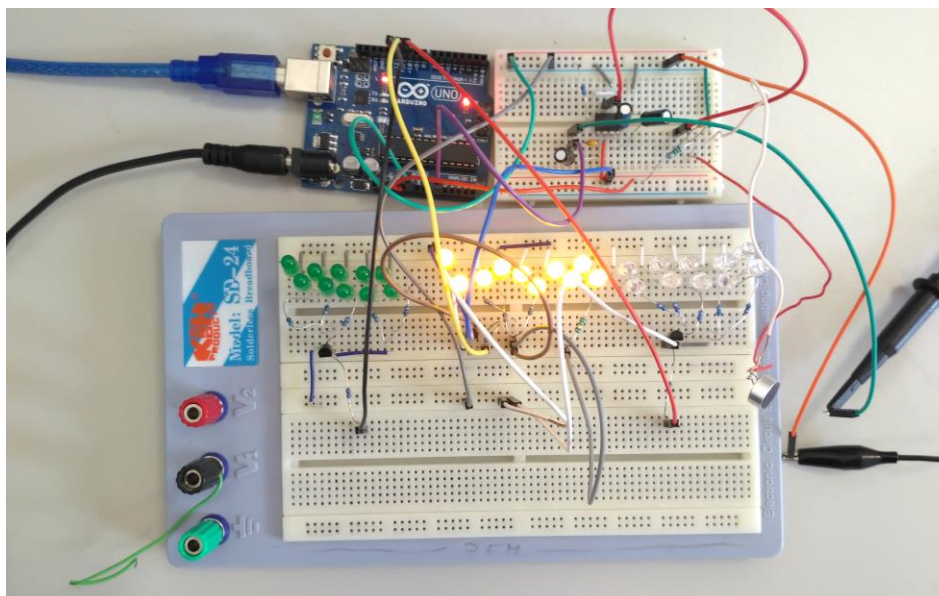
Obrázok 5.2: Praktické prevedenie svetelnej signalizácie

Testovanie mikrofónu bolo taktiež uskutočnené samostatne. Zapojenie mikrofónu a predzosilovača môžeme vidieť na obrázku 5.3.



Obrázok 5.3: Realizácia mikrofónnej časti

Po otestovaní funkčnosti jednotlivých častí boli zapojené dokopy. Nasledujúci obrázok 5.4 znázorňuje zapojenie celého analyzátoru hluku s trojstupňovou optickou signalizáciou na nepájivom poli.

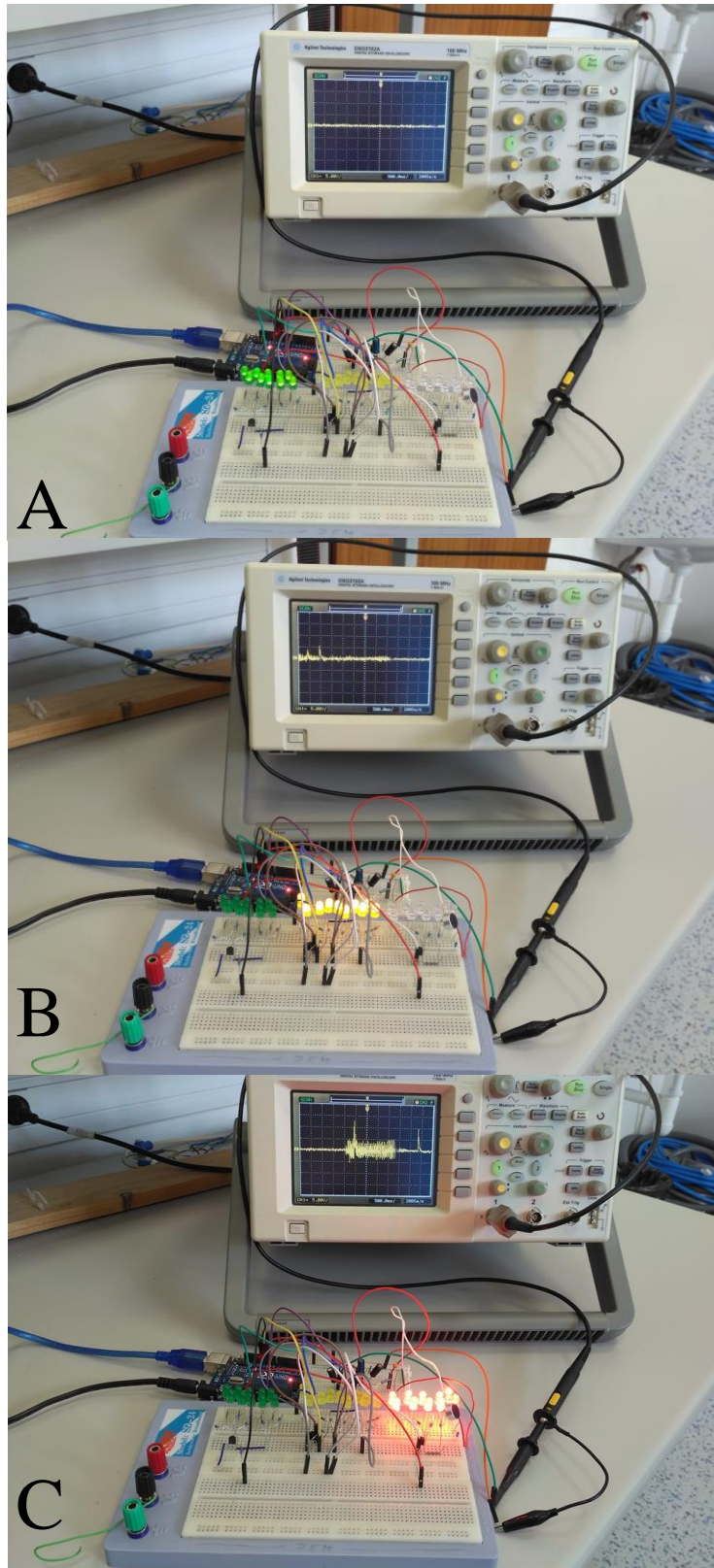


Obrázok 5.4: Analyzátor hluku so svetelnou signalizáciou

Arduino Uno bolo naprogramované tak, aby sa po prekročení prahových hodnôt spustila vetva obvodu pre konkrétnu farbu LED diód. Osciloskopom bolo overené, že na základe zmien hluku sa menia dané farby. Pri najnižších amplitúdach akustického vlnenia sa rozsvietili zelené LED diódy, pri vyšších amplitúdach žlté a pri najvyšších sa spustila výstražná červená signalizácia. Názorná ukážka sa nachádza na obrázku 5.5. Tabuľka 5.1 ponúka prehľad medzi napätia pre tri svetelné signalizácie. Hodnoty boli získané pomocou merania signálu pred vstupom do mikroprocesoru Arduino a boli zaznamenané osciloskopom.

Tabuľka 5.1: Medze napätia pre jednotlivé signalizácie

| Farba signalizácie | Zelená | Žltá | Červená |
|-----------------------------------|--------|-----------|---------|
| Peak-to-peak hodnota napätia (mV) | < 200 | 200 - 340 | > 340 |



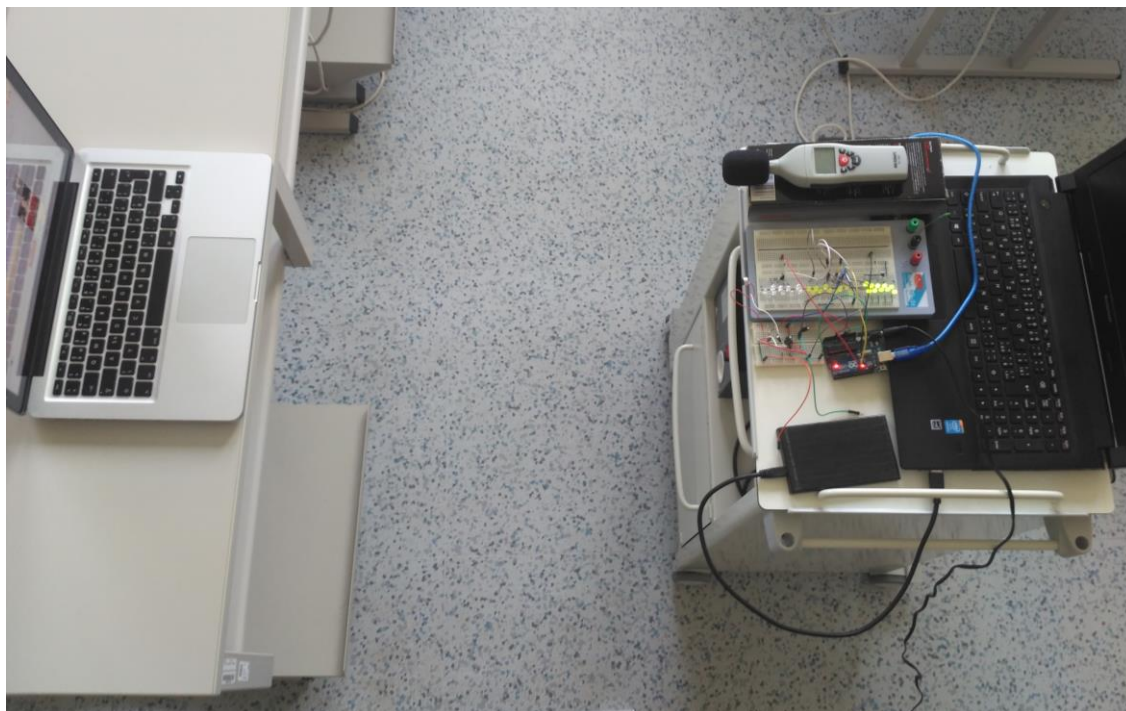
Obrázok 5.5: Zaznamenávanie odozvy zariadenia na rôzne intenzity zvuku. A časť obrázku je odpoveďou na tiché prostredie, signalizácia je zelená a amplitúda signálu minimálna. V časti B obrázku je možné vidieť reakciu zariadenia na mierny hluk, je spustená žltá signalizácia a amplitúda signálu je vyššia ako v prvom prípade. V časti C reaguje analyzátor hluku na hlučné prostredie a svietia červené LED diódy. Signál dosahuje najvyššiu amplitúdu.

5.2 Kalibrácia zariadenia

Ďalším krokom po otestovaní zariadenia bola jeho kalibrácia, pri ktorej boli použité nasledujúce pomôcky:

- analyzátor hluku so svetelnou signalizáciou
- notebook ako zdroj zvuku s frekvenciou 1 kHz
- notebook na sledovanie hodnôt z mikroprocesoru Arduina Una
- digitálny hlukomer Voltcraft SL-100

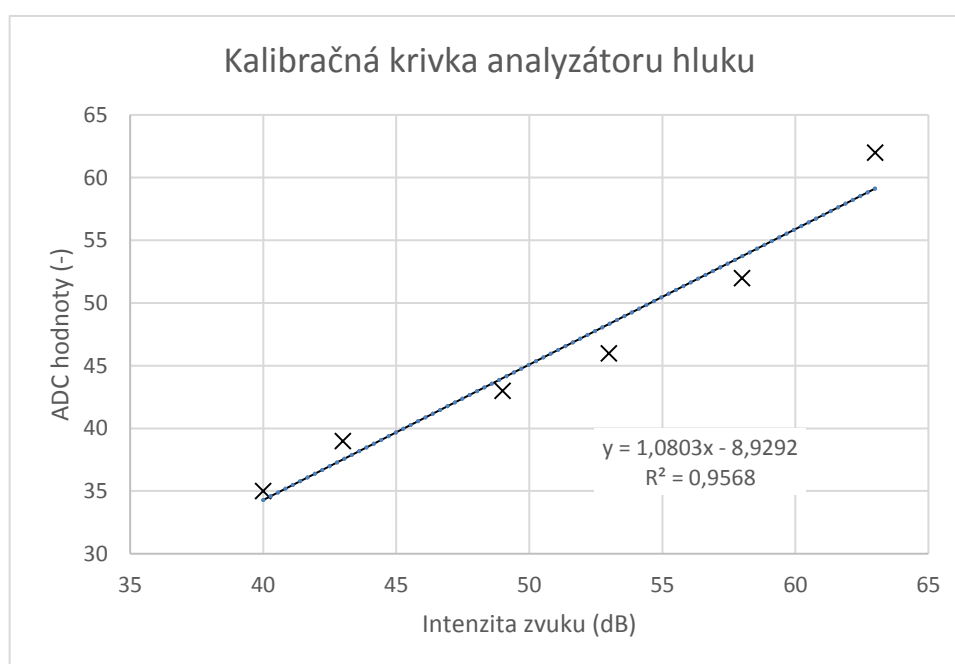
Kalibrácia zariadenia prebiehala v tichej miestnosti, aby bolo maximálne zabránené rušeniu kalibrácie inými zvukmi. Aby bolo možné sledovať a zaznamenávať aktuálne hodnoty hluku, bol analyzátor hluku pripojený k notebooku. Vedľa mikrofónu analyzátoru hluku bol umiestnený digitálny hlukomer Voltcraft. Tým pádom boli zabezpečené rovnaké podmienky merania pre oba mikrofóny. Vo vzdialenosti 120 cm od mikrofónov bol do rovnakej výšky umiestnený druhý notebook, ktorý slúžil ako zdroj zvuku. Kalibrácia hlukomerov sa vždy realizuje pri frekvencií zvuku 1 kHz, ktorá je štandardom. Pomocou internetovej stránky YouTube bolo spustené video so sínusovým tónom s frekvenciou 1 kHz. Hlasitosť videa postupovala od úplného ticha o približnej hodnote 40 dB k hluku s intenzitou 63 dB. Tieto hodnoty boli zaznamenávané pomocou digitálneho hlukomeru. Pre porovnanie boli sledované hodnoty ADC, ktoré sú výstupom z platformy Arduina. Názov vyplýva z analógovo-digitálnej konverzie signálu z mikrofónu. Namerané hodnoty sa nachádzajú v tabuľke 5.1, z ktorej bola následne vytvorená kalibračná krivka.



Obrázok 5.6: Rozmiestnenie kalibračnej aparatúry

Tabuľka 5.2: Namerané hodnoty hlukomeru a analyzátoru hluku

| Intenzita zvuku (dB) | ADC hodnoty (-) |
|----------------------|-----------------|
| 40 | 35 |
| 43 | 39 |
| 49 | 43 |
| 53 | 46 |
| 58 | 52 |
| 63 | 62 |



Obrázok 5.7: Kalibračná krivka analyzátoru hluku

Z kalibračnej krivky zariadenia bola získaná rovnica pre prepočet ADC hodnôt na intenzitu zvuku v decibeloch:

$$I = \frac{ADC + 8,9292}{1,0803}, \quad (5.1)$$

Tento prepočet je aplikovaný v programe mikroprocesoru Arduino a vypisované hodnoty sú rovné intenzite hluku.

5.3 Nastavenie vlastných parametrov užívateľom

Zo zadania práce vyplýva, že analyzátor hluku musí mať možnosť realizácie zmien. Pre nastavenie vlastných parametrov bol vytvorený nasledujúci sprievodca, ktorý užívateľa zariadenia prevedie jednotlivými krokmi:

1. Ak ste nikdy nepracovali s platformou Arduino, stiahnite si softvér Arduino z oficiálneho internetového odkazu do Vášho počítača: <https://arduino.cc/en/Main/Software> a nainštalujte ho podľa návodu na danej internetovej stránke.
2. Pripojte analyzátor hluku pomocou USB kábla k Vášmu počítaču.
3. V prípade, že ide o nastavenie nových parametrov po prvý krát, je nutné vložiť kód z prílohy A do príkazového okna. Ak ste už niekedy parametre zariadenia nastavovali, kód sa vo Vašom programe nachádza a môžete pokračovať nasledujúcim bodom.
4. Nájdite v kóde časť, kde je v komentári napísané: „Tu prepíšte...“ a namiesto hodnoty intenzity hluku, ktorá je prednastavená, ju prepíšte na Vami požadovanú. Pre názornú ukážku slúži obrázok 5.8, na ktorom je príklad nastavenia hodnoty hluku v decibeloch pre zelenú svetelnú signalizáciu. Miesto nastavenia hodnoty je zvýraznené žltou farbou.

```

sketch_nov02a | Arduino 1.8.5
File Edit Sketch Tools Help

sketch_nov02a
peakToPeak = signalMax - signalMin; // max - min = peak-to-peak amplituda
dB = ((peakToPeak + 8.9292)/1.0803); // prepocet ADC hodnot na decibely

if (dB < 50) // Tu prepiste maximalnu pripustnu hodnotu hluku (v dB) pre zelenu opticku signalizaciu
{
digitalWrite(Green, HIGH);
digitalWrite(Yellow, LOW);
digitalWrite(Red, LOW);
}
if (dB > 51 && peakToPeak < 65 ) // Tu prepiste minimalnu a maximalnu hodnotu hluku (v dB) pre zltu opticku signalizaciu
{
digitalWrite(Yellow, HIGH);
digitalWrite(Green, LOW);
digitalWrite(Red, LOW);
}

if (dB > 66) // Tu prepiste minimalnu hodnotu hluku (v dB) pre cervenu opticku signalizaciu
{
digitalWrite(Red, HIGH);
digitalWrite(Green, LOW);
digitalWrite(Yellow, LOW);
}

Serial.println(dB); // Vypis aktualnej hodnoty dB
delay (1000); // Pauza 1 sekundu
}

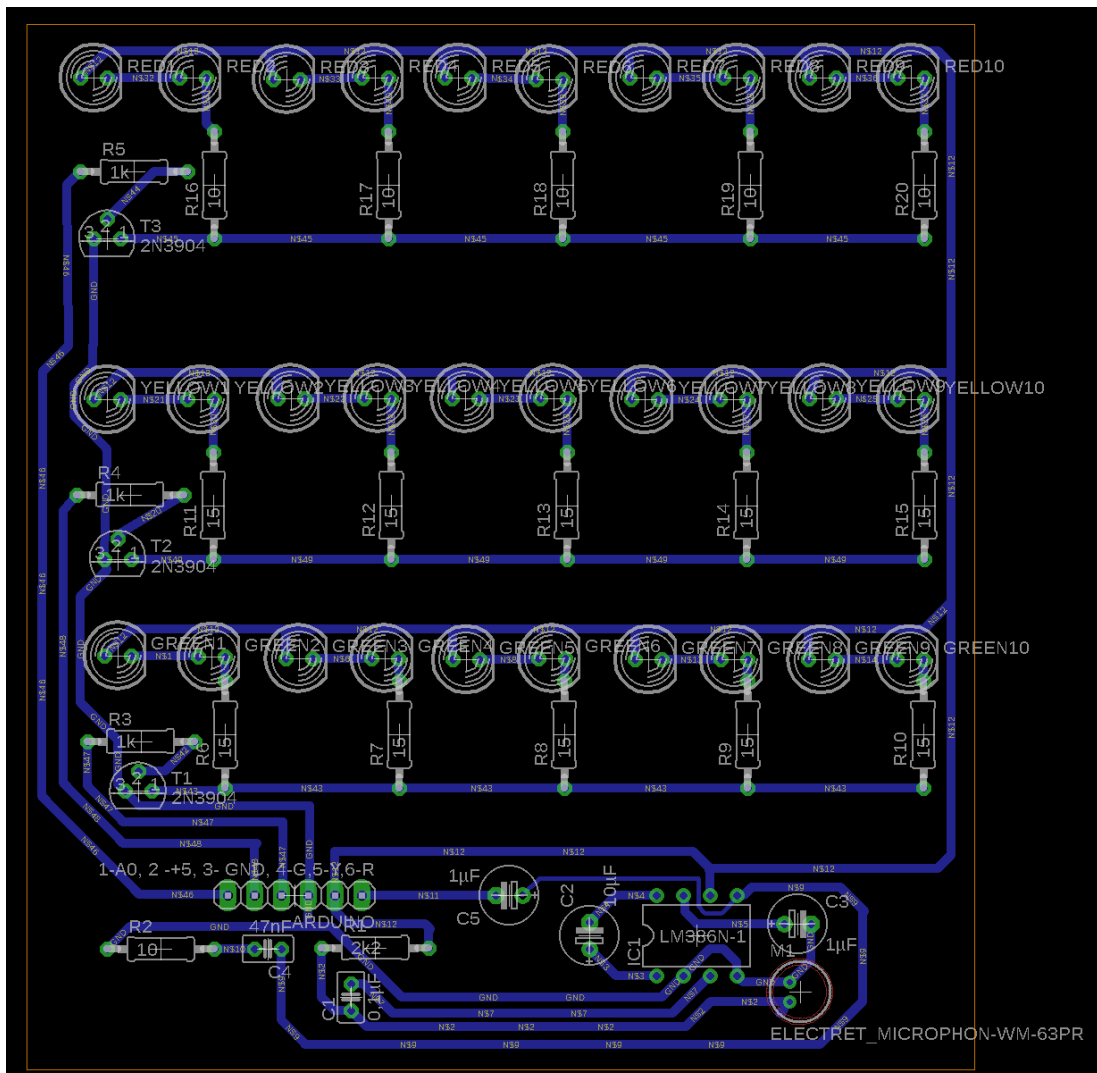
```

Obrázok 5.8: Nastavenie vlastnej hodnoty hluku pre zelenú signalizáciu

5. V ľavom hornom rohu stlačte tlačidlo šípky, ktorá dané zmeny uloží do mikroprocesoru Arduino zabudovaného v analyzátore hluku.
6. Bezpečne odpojte analyzátor hluku.

5.4 Návrh dosky plošných spojov

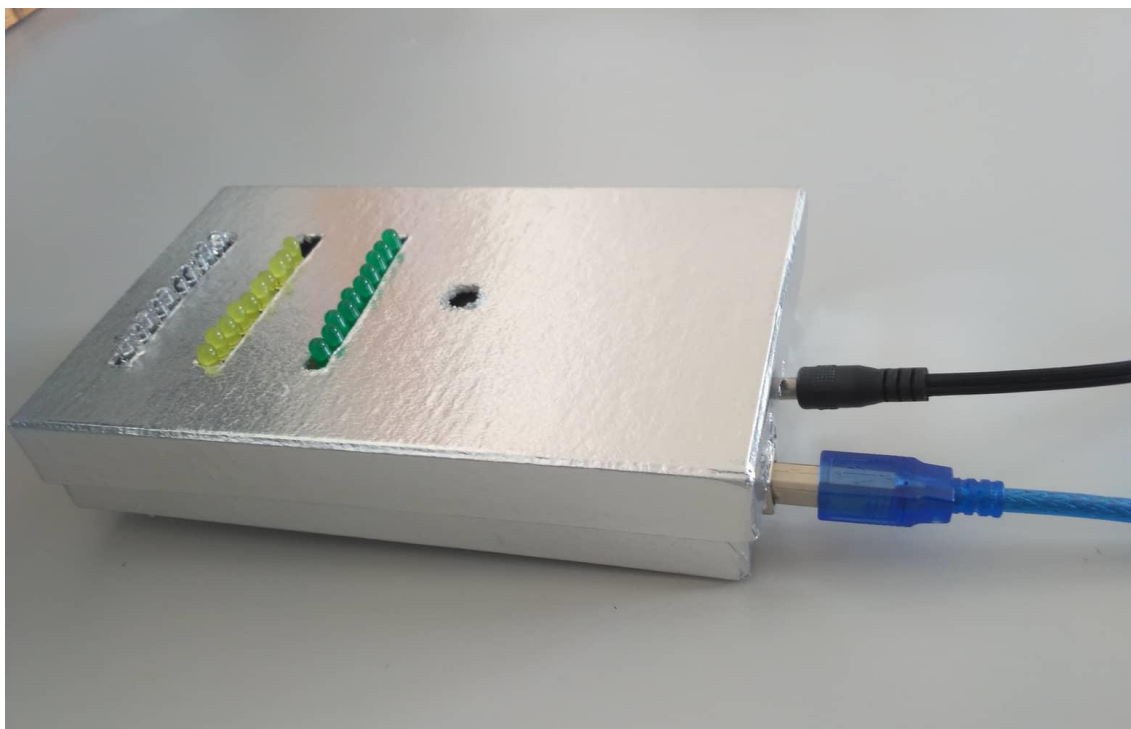
V rámci návrhu projektu bola v programe Eagle vytvorená doska plošných spojov.



Obrázok 5.9: Návrh dosky plošných spojov

5.5 Návrh krytu zariadenia

Pre analyzátor hluku bol vytvorený prototyp krytu. Obsahuje otvory pre svetelnú signalizáciu a mikrofón. Na spodnej strane sú umiestnené otvory pre napájanie a pripojenie USB. Zadná strana sa dá umiestniť alebo zavesiť na stenu.



Obrázok 5.10: Návrh krytu zariadenia



Obrázok 5.11: Zadná strana zariadenia

6 Diskusia

Výstupom bakalárskej práce je návrh a realizácia analyzátoru hluku pre neonatologickú jednotku intenzívnej starostlivosti, ktorý splňuje požiadavky zadania. V prípravách pred návrhom zariadenia bol braný ohľad na súčasný stav trhu, ktorý ponúka len malé spektrum hlukomerov so svetelnou signalizáciou a možnosťou realizácie vlastných nastavení.

Analyzátor hluku je zložený zo 4 hlavných častí. Prvou je mikrofón, ktorý slúži k transformovaniu zvuku na elektrický signál. Druhá časť je zložená z mikrofónneho predzosilovača, ktorý bol navrhnutý tak, aby optimálne upravoval a zosiloval signál. Tretiu časť tvorí mikroprocesor Arduino Uno, ktorý spracováva signál a tvorí rozhodovací prvok celého zariadenia. Táto vývojová platforma bola použitá na základe svojej dostupnosti a jednoduchosti z hľadiska programovania. Posledná časť je signalizačná a je tvorená tromi vetvami LED diód.

Prvým krokom pri navrhovaní zariadenia bolo vytvorenie funkčnej mikrofónnej časti. Na začiatku boli otestované dva typy snímačov zvuku, ktoré sú primárne určené pre komunikáciu s mikroprocesorom Arduino. Tieto jednoduché zariadenia ale neposkytovali dostatočnú citlivosť, a preto bola zvolená možnosť použiť elektretový mikrofón a vytvoriť si vlastný predzosilovač. Pri jeho návrhu bol použitý program Eagle, v ktorom bola vytvorená schéma obvodu. Následne bol mikrofón so zosilovačom zapojený na nepájivom poli. Jeho výstup bol pripojený k pinu mikroprocesoru Arduino Uno, a tým pádom bolo možné pozorovať zmeny ADC hodnôt na pripojenom notebooku. Obmedzením mikrofónu je najmä nutnosť zaznamenávať zvuk prichádzajúci kolmo na mikrofón. Zariadenie funguje nepresnejšie pri zázname zvukov zo strán.

Druhým krokom bolo navrhnutie optickej časti zariadenia. Analyzátor hluku pomocou svetelnej signalizácie upozorňuje personál či návštevy oddelenia na zvýšený hluk. Zo zadania vyplývalo, že signalizácia musí byť trojstupňová, a preto boli zvolené tri rôzne farby LED diód, konkrétne červená, žltá a zelená. Zvolené farby sú bežne používané pre klasifikáciu vhodnosti určitého javu. Druhým dôvodom vybrania tejto farebnej kombinácie je výborné rozlíšenie farieb aj z väčšej vzdialenosti. Ďalej bolo navrhnuté rozdelenie LED diód do troch vetiev, z ktorých každá je riadená samostatne svojím vlastným tranzistorom. Tento druh zapojenia vyplýva z potreby spotreby čo najmenšieho prúdu tak, aby bola dodržaná maximálna možná hodnota prúdu poskytnutá platformou Arduino. Po vytvorení schémy pomocou programu Eagle bola svetelná časť zariadenia skonštruovaná prakticky na nepájivom poli. Elektrický obvod bol napájaný pomocou mikroprocesoru Arduino a jednotlivé vetvy LED diód s tranzistormi pripojené samostatne na tri digitálne piny. Vzhľadom na to, že mikrofónna a optická časť boli testované samostatne, bol ako prvok vykonávajúci zmeny napätia použitý trimr. Kód v mikroprocesore bol naprogramovaný tak, aby sa pri prekročení nastavených hodnôt

aktivoval jeden z troch digitálnych pinov, a tým pádom sa rozsvietila konkrétna séria LED diód. Typ zvolených LED diód vyplýval z vhodnosti ich parametrov. Každá z nich má priemer 5 mm, ktorý je dostatočný na to, aby bola svietiacia LED dióda vidieť z niekoľkých metrov a stále bola schopná svojou intenzitou upozorniť osobu, nachádzajúcu sa v danom priestore, na zvýšený hluk. Druhá výhoda zvolených LED diód je potreba relatívne nízkeho prúdu, konkrétne 20 mA. Posledným významným parametrom bolo potrebné napätie, ktoré sa pohybovalo okolo 2 V. Pri realizovanom zapojení piatich paralelných vetiev, pričom každá obsahovala dve sériovo zapojené LED diódy, bola dodržaná maximálna možná hodnota napätia 5 V poskytnutá mikroprocesorom Arduino Uno.

Otestované funkčné časti boli zapojené dokopy na nepájivom poli. Mikroprocesor Arduino Uno bol naprogramovaný tak, aby vyhľadával rozdiel maximálnej a minimálnej hodnoty signálu. Dôvodom je podstata zvuku, tzn. vlnenie. Preto bolo nutné nájsť peak-to-peak hodnotu jednotlivých periód sínusovej krivky. Ďalším krokom bola kalibrácia zariadenia. Rozmiestnenie aparatury na obrázku 5.6 bolo odfotené po vykonaní kalibrácie a nie je dodržaná vzdialenosť 120 cm. Aby bolo možné vytvoriť fotku, bol pohyblivý stolček s mikrofónom a analyzátorom hluku priblížený k notebooku so zdrojom zvuku. Kalibračná krivka je na úseku od 40 dB do 65 dB lineárna. Pri nižších a vyšších hodnotách lineárny charakter stráca. Analyzátor hluku je situovaný v prostredí neonatológie a teda hluk na oddelení bežne nepresiahne 70 dB. Na základe kalibračnej krivky bol implementovaný do kódu mikroprocesoru Arduino prepočet ADC hodnôt na decibely. Pri intenzitách zvuku vyšších ako 65 dB teda prepočet nesúhlasí a vypisovaná hodnota intenzity zvuku nekorešponduje so skutočnou. Pre užívateľa je najdôležitejšia práve oblasť od 40 do 65 dB, kde si nastavuje prahové hodnoty jednotlivých svetelných signalizácií. Analyzátor hluku je teda schopný zaznamenávať zvuky aj mimo lineárnu oblasť, ale bez presného prepočtu na intenzitu zvuku. Mikroprocesor je naprogramovaný tak, aby vyhodnotil intenzitu zvuk každú sekundu. To znamená, že pri kratšom trvaní zvuku nebude tento signál zaznamenaný farebnou zmenou. Pri nastavení kratšej doby sa farby menili veľmi rýchlo a boli rušivé, čo by znamenalo nevhodnosť umiestnenia do neonatologického prostredia. Pri zvolení dlhšieho časového úseku zariadenie nereagovalo správne, pretože aj po skončení hluku signalizácia svietila. Doba jednej sekundy sa teda javila ako najvhodnejšia.

Poslednou časťou práce bolo vytvorenie kompletného prototypu analyzátoru hluku. Kryt zariadenia obsahuje na zadnej strane záves, pomocou ktorého je možné umiestniť analyzátor hluku na stenu. Ideálnym prípadom je umiestnenie zariadenia vo výške asi 1,5 m tak, aby predná časť s mikrofónom smerovala do stredu miestnosti. Takto situovaný analyzátor hluku je schopný spoľahlivo spĺňať svoju funkciu. Jednotlivé komponenty zariadenia sú zapojené do nepájivého poľa. V rámci bakalárskej práce bola navrhnutá aj doska plošných spojov, ktorá však z časového hľadiska nebola reálne vytvorená. Jej realizácia by mohla byť predmetom vylepšenia aktuálneho stavu zariadenia

či nadväzujúceho projektu. Analyzátor hluku je napájaný sieťovým zdrojom. Toto riešenie sa javilo ako optimálne najmä vzhľadom na odstránenie nutnosti vymieňať batérie pri takomto type napájania. Analyzátor hluku by mal fungovať neustále a kontinuálne vyhodnocovať hluk, čo znamená spotrebu energie 24 hodín denne. Pri batérovom napájaní by táto voľba nebola výhodná z ekonomického ani praktického hľadiska.

Analyzátor hluku pre neonatologickú jednotku intenzívnej starostlivosti je teda samostatne fungujúce zariadenie, ktoré pomocou trojstupňovej svetelnej signalizácie upozorňuje personál a návštevy neonatologického oddelenia na zvýšený hluk.

7 Záver

Cieľom bakalárskej práce bolo navrhnuť a zrealizovať prototyp analyzátoru hluku pre prostredie neonatologickej JIS. Z analýzy súčasného stavu vyplynulo, že aktuálne na trhu nie je veľké spektrum podobných zariadení, poprípade niektoré nespĺňajú požiadavky projektu.

Zariadenie oznamuje zvýšenú úroveň hluku pomocou optickej signalizácie. Tá je realizovaná tromi vetvami LED diód rôznych farieb. Úroveň hluku je rozdelená podľa svojej závažnosti na tri oblasti, pričom každá z týchto úrovní je signalizovaná inou farbou LED diód. Zelené, žlté a červené LED diódy slúžia ako upozornenie pre personál nemocnice či návštevy, že úroveň hluku na danom oddelení je zvýšená a môže mať na pacientov nepriaznivé účinky. Pre návrh analyzátoru hluku bola vytvorená bloková schéma, ktorá špecifikuje použitie jednotlivých komponentov. Na snímanie zvuku bol použitý elektretový mikrofón, ktorého výstupný signál je zesílený mikrofónnym predzosilovačom. Takto upravený signál je následne spracovaný pomocou mikroprocesoru Arduino Uno. To je naprogramované tak, aby sa po prekročení kritických hodnôt hluku rozsvietila konkrétna vetva LED diód. Interval, v ktorom je zariadenie schopné prepočítavať napätie na intenzitu zvuku je od 40 do 65 dB, pri vyšších hodnotách zvuk zaznamená, ale prepočet nie je totožný so skutočnou hodnotou. V rámci tohoto intervalu má užívateľ možnosť nastavenia prahových hodnôt pre svetelné signalizácie. Elektronická časť zariadenia je umiestnená v kryte, ktorý je určený k umiestneniu na stene. Analyzátor hluku je napájaný z rozvodu elektrickej siete, čo zabezpečuje kontinualitu vyhodnocovania hluku.

Zoznam použitej literatúry

- [1] KUTMAN, Otakar. *Fyzika II (Akustika)*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1991. ISBN 80-01-00655-7.
- [2] JIŘÍČEK, Ondřej. *Úvod do akustiky*. B.m.: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02460-1.
- [3] LIBERKO, Miloš. *Hluk v prostředí. Problematika a řešení* [online]. 2004. Dostupné z: http://www.ceskyfocalpoint.cz/wp-content/uploads/2015/12/pupr_hluk_text.pdf
- [4] SCHIMMEL, Jiří. *Elektroakustika*. 2013. ISBN 978-80-214-4716-5.
- [5] KOLMER, F., KYNCL, J. *Prostorová akustika*. 1. vyd. Praha: SNTL, ISBN 04-514-80.
- [6] Meratex. [meratex.cz](http://www.meratex.cz) [online]. [vid. 2017-12-25]. Dostupné z: <http://www.meratex.cz/image/data/Hlukomery/FT-DB200-sk.pdf>
- [7] Mall. [mall.sk](http://www.mall.sk) [online]. [vid. 2017-12-25]. Dostupné z: <https://www.mall.sk/hlukomery/voltcraft-sl-50>
- [8] GHV Trading. [ghvtrading.sk](http://www.ghvtrading.sk) [online]. [vid. 2017-12-25]. Dostupné z: <https://www.ghvtrading.sk/meracie-pristroje/neelektricke/hlukomery/ca834.html>
- [9] Pulsar Instruments. *Pulsar Instruments Plc* [online]. 27. prosinec 2017. Dostupné z: <https://pulsarinstruments.com/product/pulsarsafeear/>
- [10] Soundear. *SoundEar A/S* [online]. 27. prosinec 2017. Dostupné z: <http://soundear.com/soundear3-300/>
- [11] BARTLOVÁ, Adéla. *Negativní působení hluku a jeho prevence*. Brno, 2006. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně. Pedagogická fakulta. Katedra speciální pedagogiky.
- [12] HAVRÁNEK, Jiří et al. *Hluk a zdraví*. 1. vyd. Praha: Avicenum, zdravotnické nakladatelství, 1990. ISBN 80-201-0020-2.
- [13] *Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací* [online]. 23. září 2011. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272>
- [14] CARDOSO, Sandra Maria Schefer, Lorena de Cássia KOZLOWSKI, Adriana Bender Moreira DE LACERDA, Jair Mendes MARQUES a Angela RIBAS. Newborn physiological responses to noise in the neonatal unit. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology* [online]. 2015, **81**(6), 583–588 [vid. 2017-12-27]. ISSN 1808-8694. Dostupné z: doi:10.1016/j.bjorl.2014.11.008
- [15] WIRSUM, Siegfried. *Abeceda NF techniky*. 1. vyd. Praha: BEN-technická literatura, 1998. ISBN 80-86056-26-0.
- [16] MCE-100 - PRO SIGNAL - CARTRIDGE, ELECTRET MICROPHONE | Farnell CS. www.farnell.com [online]. 2. květen 2011 [vid. 2018-04-27]. Dostupné

z: <http://cz.farnell.com/pro-signal/mce-100/cartridge-electret-microphone/dp/3359621>

- [17] BALLOU, Glen, ed. *Handbook for sound engineers* [online]. 4. vyd. B.m.: Focal Press, 2008. ISBN 978-0-240-80969-4. Dostupné z: <https://nikospapachristou.files.wordpress.com/2013/02/handbook-for-sound-engineers.pdf>
- [18] VODA, Zbyšek a A TÝM HW KITCHEN. Průvodce světem Arduina. *Arduino* [online]. 2014 [vid. 2017-12-27]. Dostupné z: <https://arduino.cz/e-book-zdarma/>
- [19] MONK, Simon. *Electronics Cookbook*. B.m.: O'Reilly Media, 2017. ISBN 978-1-4919-5340-2.
- [20] MAŤÁTKO, Jan. *Elektronika*. 4. vyd. B.m.: IDEA SERVIS, 1987. ISBN 80-85970-20-1.
- [21] ROADSTRUM, William H., WOLAVER, Dan H. *Electrical engineering for all engineers*. 1993. 2. ISBN 0-471-51043-2.
- [22] TKOTZ, Klaus a kol. *Příručka pro elektrotechnika*. 2. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2006. ISBN 80-86706-13-3.

Príloha A: Kód mikroprocesoru Arduino Uno s popisom

```
const int Green = 12;

const int Yellow = 11;

const int Red = 10;

const int sampleWindow = 50;

unsigned int sample;

unsigned int dB;

void setup() {
  pinMode(Green, OUTPUT);
  pinMode(Yellow, OUTPUT);
  pinMode(Red, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {

  unsigned long startSample= millis(); // Zaciatok vzorkovacieho okna
  unsigned int peakToPeak = 0; // peak-to-peak hodnota

  unsigned int signalMax = 0;
  unsigned int signalMin = 1024;

  // uchovanie dat po dobu 50 ms
  while (millis() - startSample < sampleWindow)
  {
    sample = analogRead(0);
    if (sample < 1024)
```

```

    {
        if (sample > signalMax)
        {
            signalMax = sample; // ulozenie maximalnej hodnoty
        }
        else if (sample < signalMin)
        {
            signalMin = sample; // ulozenie minimalnej hodnoty
        }
    }
}

peakToPeak = signalMax - signalMin; // max - min = peak-to-peak amplituda
dB = ((peakToPeak + 8.9292)/1.0803); // prepocet ADC hodnot na decibely

if (dB <50) // Tu prepiste maximalnu pripustnu hodnotu hluku (v dB) pre zelenu
opticku signalizaciu
{
    digitalWrite(Green, HIGH);
    digitalWrite(Yellow, LOW);
    digitalWrite(Red, LOW);
}

if (dB > 51 && peakToPeak < 65 ) // Tu prepiste minimalnu a maximalnu hodnotu
hluku (v dB) pre zltu opticku signalizaciu
{
    digitalWrite(Yellow, HIGH);
    digitalWrite(Green, LOW);
    digitalWrite(Red, LOW);
}

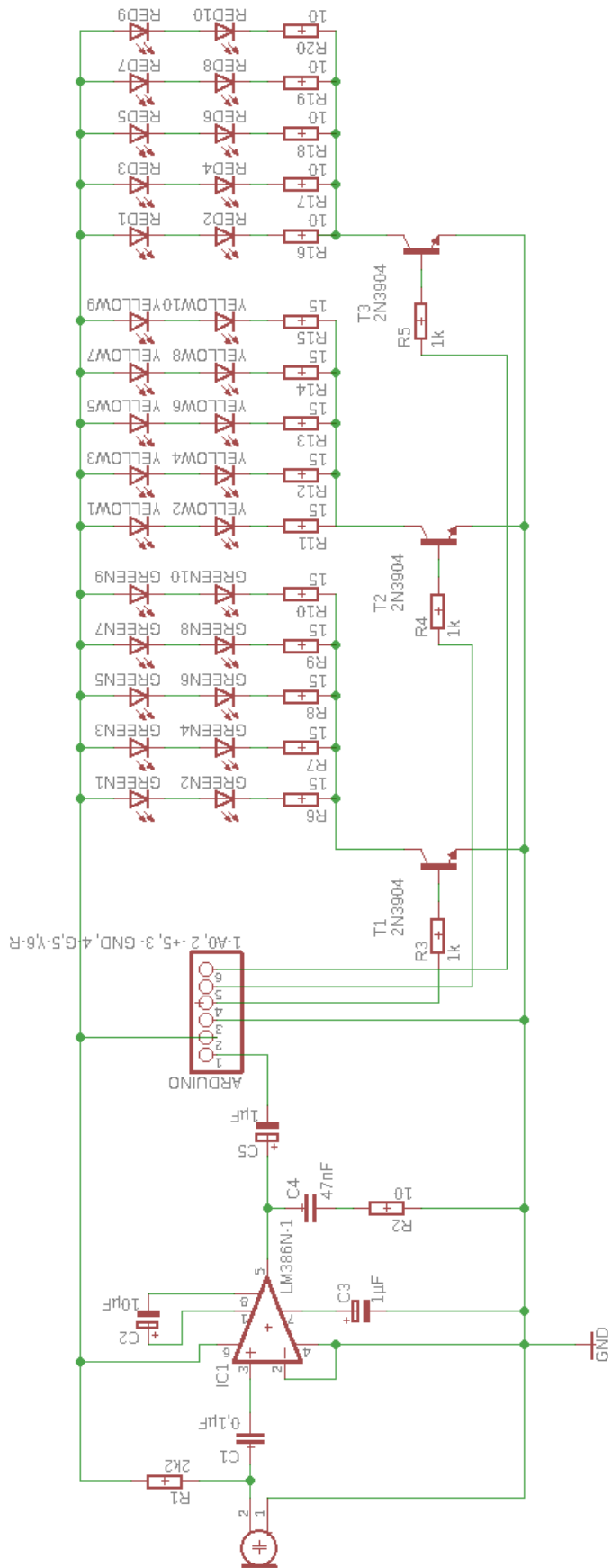
if (dB > 66) // Tu prepiste minimalnu hodnotu hluku (v dB) pre cervenu opticku
signalizaciu

```

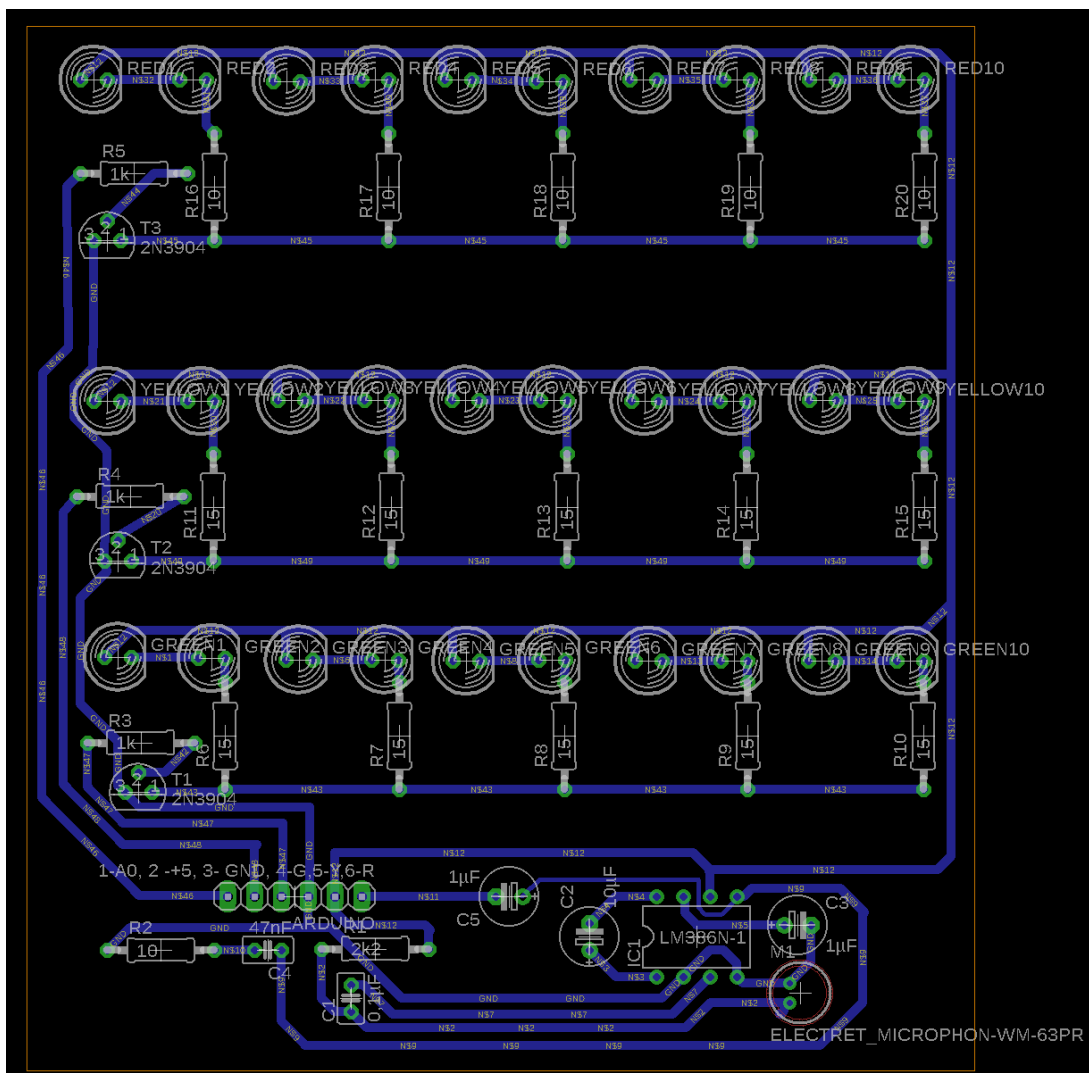
```
{  
digitalWrite(Red, HIGH);  
digitalWrite(Green, LOW);  
digitalWrite(Yellow, LOW);  
}  
  
Serial.println(dB); // Vypis aktualnej hodnoty dB  
delay (1000); // Pauza 1 sekundu  
  
}
```

Príloha B: Zoznam použitých súčiastok a schéma zariadenia

| Súčiastka | Hodnota/názov/typ | Počet kusov |
|--------------------|-------------------|-------------|
| Rezistor | 2,2 k Ω | 1 |
| | 1 k Ω | 3 |
| | 15 Ω | 5 |
| | 10 Ω | 11 |
| Kondenzátor | 10 μ F | 1 |
| | 1 μ F | 2 |
| | 0,1 μ F | 1 |
| | 0,047 μ F | 1 |
| Tranzistor | 2N3904 | 3 |
| Operačný zosilovač | LM 386 | 1 |
| LED dióda | červená | 10 |
| | žltá | 10 |
| | zelená | 10 |
| Mikrofón | MCE-100 | 1 |



Príloha C: Návrh dosky plošných spojov



Príloha D: Obsah priloženého CD

- Kľúčové slová v sj a aj (Kľúčové_slová_v_sj_a_aj.pdf)
- Abstrakt slovensky (Abstrakt_v_sj.pdf)
- Abstrakt anglicky (Abstrakt_v_aj.pdf)
- Naskenované zadanie bakalárskej práce (Zadanie_Bakalarskej_prace.pdf)
- Bakalárska práca (Bakalarska_praca.pdf)
- Schéma zariadenia v Eagle (Schema_zariadenia.sch)
- Schéma dosky plošných spojov v programe Eagle (Doska_plosnych_spojov.brd)
- Kód mikroprocesoru Arduino Uno (sketch_nov02a.ino)