

# **V iskanju zvoka**

**Področje naloge: Fizika in astronomija**

Osnovna šola Majde Vrhovnik, Gregorčičeva 16, 1000 Ljubljana

**Avtor: Erik Smrkolj, 9. razred**

**Mentorica: Vesna Gartner**

**Ljubljana, 2025**

# Kazalo

1	Uvod .....	1
1.1	Hipoteze .....	1
1.2	Raziskovalna vprašanja.....	1
2	Slovarček izrazov .....	1
3	Kaj je zvok.....	2
4	Fizikalna teorija in matematika .....	2
5	Metode.....	4
5.1	Elektronika.....	4
5.2	Izdelava elektronske naprave za določanje smeri izvora zvoka .....	14
5.3	Opis delovanja vezja elektronske naprave za določanje smeri izvora zvoka .....	17
5.4	Programska koda.....	18
5.5	Natančnost elektronske naprave za določanje smeri izvora zvoka.....	21
6	Rezultati.....	22
7	Razprava .....	26
8	Potrjevanje hipotez .....	27
9	Zaključek .....	27
10	Zahvala .....	28
11	Elektronski viri .....	29
12	Slikovni viri.....	29

## Kazalo tabel

Tabela 1: Vezje »in«.....	5
Tabela 2: Vhodna signala za vezje SR_LATCH.....	11
Tabela 3: Izhodna signala za vezje SR_LATCH.....	11
Tabela 4: Seznam elektronskih komponent.....	14
Tabela 5: Natančnost meritev kota tleskanja.....	25

## Kazalo slik

Slika 1: Širjenje zvoka do dveh receptorjev v dvodimenzionalnem prostoru. ....	3
Slika 2: Geometrijska predstavitev izračuna smeri izvora zvoka. ....	3
Slika 3: Vezje "IN" (AND). ....	6
Slika 4: Shematski znak in tabela vhodno-izhodnih vrednosti vezja "IN" (AND).....	6
Slika 5: Prikazuje vezje "NE" (NOT). ....	7
Slika 6: Shematski znak in tabela vhodno-izhodnih vrednosti vezja "NE" (NOT). ....	7
Slika 7: Shematski prikaz tranzistorja.....	7
Slika 8: Logična vrata "IN" (AND) sestavljena iz dveh tranzistorjev. ....	8
Slika 9: Logična vrata "NE" (NOT) sestavljena iz upora in tranzistorja.....	9
Slika 10: Slika prikazuje logična vrata in tabelo vhodno-izhodnih vrednosti "NE- IN"(NAND). ....	9
Slika 11: Slika prikazuje logična vrata in tabelo vhodno-izhodnih vrednosti "ALI"(OR). ....	9
Slika 12: Slika prikazuje logična vrata in tabelo vhodno-izhodnih vrednosti "NE-ALI"(NOR). .....	10
Slika 13: Slika prikazuje logična vrata in tabelo vhodno-izhodnih vrednosti "EKSKLUZIVNI OR"(XOR). ....	10
Slika 14: Spominsko vezje SR_LATCH iz dveh "NE-ALI"(NOR) vezij.....	11
Slika 15: Vezje za združevanje dveh logičnih signalov (zvoka) v enega za merjenje časovnega zamika. ....	12
Slika 16: Vezje za združevanje dveh logičnih signalov (zvoka) v enega za merjenje časovnega zamika in določanje vrstnega reda zaznave obeh mikrofonov.....	13
Slika 17: Načrt električnega vezja. ....	15
Slika 18: Tiskano vezje elektronske naprave za določanje smeri izvora zvoka. ....	16
Slika 19: Položaji elektronskih komponent na tiskanem vezju. ....	17

Slika 20: Izdelana elektronska naprava za določanje smeri izvora zvoka. ....	22
Slika 21: Položaj tleskanja pri kotu $+90^\circ$ .....	23
Slika 22: Položaj tleskanja pri kotu $+45^\circ$ .....	23
Slika 23: Položaj tleskanja pri kotu $+0^\circ$ .....	24
Slika 24: Položaj tleskanja pri kotu $-45^\circ$ . ....	24
Slika 25: Položaj tleskanja pri kotu $-90^\circ$ . ....	25

# Povzetek

V raziskovalni nalogi je predstavljeno lokaliziranje smeri izvora zvoka, ki temelji na merjenju časovnega zamika med zaznavo dveh receptorjev z znano medsebojno razdaljo.

Po preučitvi fizikalnih osnov zvoka, načina določanja smeri izvora zvoka v živem svetu ter teoriji elektronike, logičnih vezij in programiranja, sem izdelal elektronsko napravo za določanje smeri izvora zvoka, ki temelji na merjenju časovnega zamika, v katerem zvok istega izvora zaznata dva mikrofona. Naprava smer izvora zvoka pokaže s premikom kazalca v smer, odkoder je prišel zvok. Natačnost meritev sem preizkusil s tleskanjem pri petih različnih kotih in rezultate prikazal v tabelah in slikah. Ugotovil sem, da ima naprava primerno natančnost določanja smeri izvora zvoka.

Ključne besede: zvok, iskanje zvoka, izvor zvoka, mikrofoni, lokaliziranje, elektronski čip, logična vrata, oscilator, binarni sistem, tiskano vezje...

# 1 Uvod

Verjetno ste že izgubili telefon in ko ste ga poklicali, je začel zvoniti. Tako ste ga lažje poiskali. Ko zaslišimo zvok, naši možgani pridobijo tudi podatek o smeri tega zvoka, kar je z drugo besedo lokalizacija zvoka. Ta funkcija je bila v evoluciji izjemno pomembna za prepoznavanje smeri, iz katere je prihajala nevarnost. Brez dveh receptorjev za zvok, ta funkcija ni mogoča. Tudi v današnjem življenju je še vedno pomembna, saj jo uporabljamo pri zaznavanju nevarnosti in v lokaliziranju vseh stvari, ki oddajajo zvok. Zaradi pomembnosti te teme, sem se odločil, da bom o njej napisal raziskovalno nalogo.

## 1.1 Hipoteze

H1: Z izračunom časovnega zamika zaznave zvoka na dveh receptorjih lahko določimo smer izvora zvoka.

H2: Hitrost širjenja zvoka je v vse smeri enaka.

## 1.2 Raziskovalna vprašanja

R1: Ali z elektronsko napravo lahko določimo smer izvora zvoka?

R2: Kako natančna je elektronska naprava za določanje smer izvora zvoka?

# 2 Slovarček izrazov

**Lokaliziranje** pomeni pridobivanje podatkov o lokaciji predmeta.

**Triangulacija** je način določanja lege triangulacijske točke s pomočjo trikotniških pravil in dveh točk z znanima koordinatama.

**Mikrokontrolerji** so elektronske naprave, ki jih lahko sprogramiramo. Delujejo kot osebni računalniki, vendar so manjši in bolj preprosti. Lahko jih imenujemo tudi krmilniki.

**Oscilator** je elektronska komponenta, ki enakomerno-ritmično spreminja izhodni signal iz stanja »0« v stanje »1« in to ponavlja.

**Čip** je komponenta, ki se uporablja v računalnikih. V njem so povezave, ki tvorijo logična vrata, ki se lahko povezujejo v bolj kompleksne strukture za različne operacije

**Mikroračunalnik** je elektronska naprava, ki ima procesor in je veliko bolj zmogljiv in hitrejši kot mikrokontroler, vendar je večji in zahtevnejši in porabi več električne energije. Je odličen za opravljanje kompleksnih izračunov. Je manjši od osebnega računalnika, vendar po navadi večji od mikrokontrolerja.

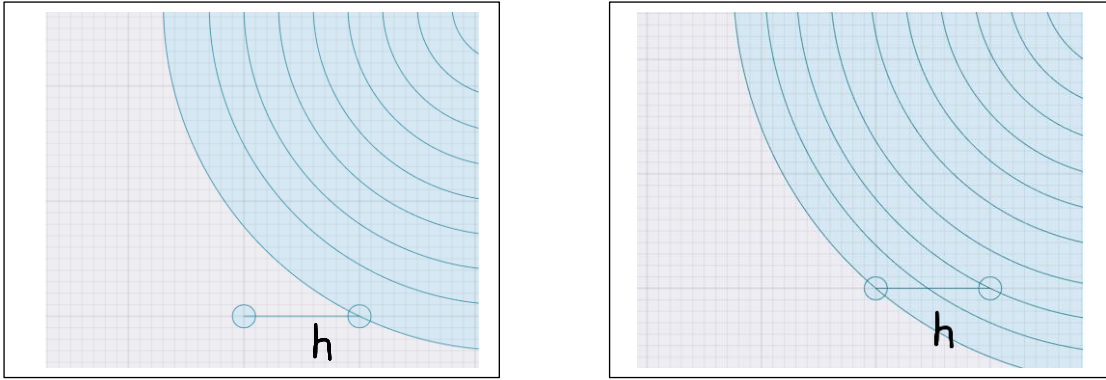
### 3 Kaj je zvok

Zvok je valovanje oziroma vibriranje delcev snovi med seboj, in se širi od vira zvoka v vse smeri (Wikipedia. *Zvok*, b.d.). Hitrost širjenja je odvisna predvsem od gostote snovi. V zraku je hitrost zvoka približno 343m/s (Wikipedia. *Hitrost zvoka*, b.d.).

Človek lahko lokalizira smer izvora zvoka zaradi dveh slušnih receptorjev v ušesih, ki sta nekoliko oddaljena med seboj. Ker sta receptorja med seboj oddaljena, zvok pride do enega receptorja nekoliko prej kot do drugega, kar lahko izračunamo kot časovni zamik (Wikipedia. *Sound localization*, b.d.).

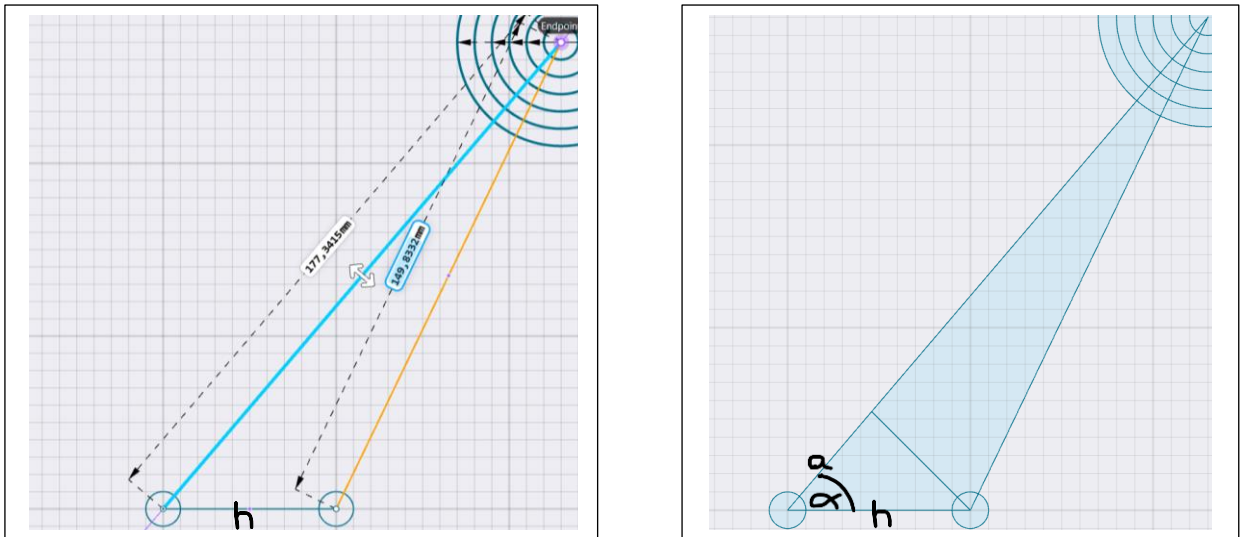
### 4 Fizikalna teorija in matematika

Predstavljamo si dvo-dimenzionalni prostor, v katerem imamo dva mikrofona, med njima je znana in stalna razdalja. Ko se v prostoru pojavi zvok, ki se širi od izvora v vse smeri s hitrostjo 343m/s, čez nekaj časa zvok pripotuje najprej do prvega receptorja za zvok in nekoliko kasneje še do drugega (slika 1).



Slika 1: Širjenje zvoka do dveh receptorjev v dvodimenzionalnem prostoru.

Pri izračunu si lahko pomagamo z geometrijo, tako da ga predstavimo s triangulacijo. Razdalja med receptorjema za zvok je hipotenuza "h", časovni zamik pa pretvorimo v razdaljo, če ga pomnožimo s hitrostjo zvoka, in dobimo stranico "a" (slika 2).



Slika 2: Geometrijska predstavitev izračuna smeri izvora zvoka.

$$a = (t_2 - t_1) \cdot 34300$$

$$\cos(\alpha) = \frac{a}{h}$$

$$\text{kot } \alpha = \arccos\left(\frac{a}{h}\right)$$

$$\text{smer zvoka} = \arccos\left(\frac{\text{časovni zamik} \cdot \text{hitrost zvoka}}{\text{razdalja med receptorji}}\right)$$

Zgornja enačba omogoča določanje smeri izvora zvoka le za 90 stopinj celotnega kroga okoli dveh receptorjev, saj nam ne pove ali je zvok prišel z leve ali desne strani. Ker pa želimo določiti smer izvora zvoka za vsaj 180 stopinj kroga, moramo ugotoviti še, do katerega receptorja je zvok prišel najprej. Iz tega sledi:

Če je zvok najprej prišel do prvega receptorja

$$REZULTAT = \alpha + 90^\circ$$

Če je zvok najprej prišel do drugega receptorja

$$REZULTAT = \alpha - 90^\circ$$

Podatka, ki nas zanimata, sta stranica 'a' v trikotniku in kateri receptor je zaznal zvok prej. Stranico 'a' pridobimo s časovnim zamikom zaznave zvoka med obema receptorjema, ki ga najlažje izmerimo z namensko štoparico. Ta začne šteti čas, ko prvi receptor zazna zvok in ustavi štetje, ko tudi drugi receptor zazna zvok.

## 5 Metode

### 5.1 Elektronika

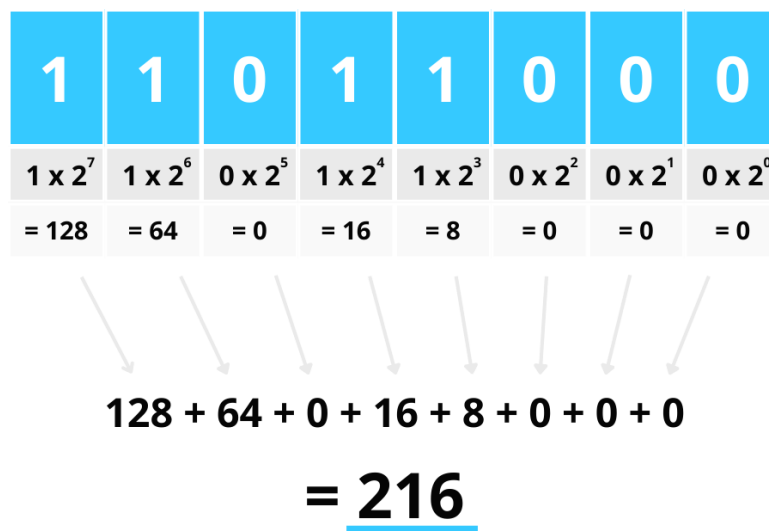
Namesto receptorjev za zvok oziroma ušes, se v elektronskih napravah uporabljajo mikrofoni, namesto možganov pa informacije obdelujejo mikrokontrolerji. Nisem želel narediti prevelike elektronske naprave, zato sem predvidel, da bosta mikrofona oddaljena približno 7 cm. Hitrost zvoka v zraku pri sobni temperaturi je 343 m/s oziroma 34300 cm/s. Želel sem zagotoviti natančnost določanja izvora smeri zvoka na vsaj 5 kotnih stopinj, zato sem potreboval hitre in natančne merilnike časa, z natančnostjo do nekaj mikrosekund. Ker so mikrokontrolerji za merjenje časa prepočasni ali pa preveliki, sem za merjenje časovnega zamika naredil svoje električno vezje.

#### **Bit**

Bit je logični električni signal, ki ima dve stanji: prižgano ali "1" in ugasnjeno ali "0". To je osnova vseh digitalnih računalnikov, ki s pomočjo bitov izvajajo različne račune in operacije. Na ta način lahko pošiljamo, beremo in prepoznavamo podatke.

## Binarni sistem

Binarni sistem je način štetja, ki ga uporabljajo digitalni računalniki s pomočjo bitov(1/0), pri katerem ima vsaka naslednja številka dvakrat večjo vrednost od prejšnje (Mikke, b.d.).



Primer: v kolikor želimo število večje od 255, dodajamo bite.

$$\text{Npr. } 257_{\text{decimalno}} = 100000001_{\text{binarno}}$$

## Logična vrata

V vsaki napravi, ki izvaja neko logično operacijo, so logična vrata (angleško "logic gates"). Poznamo dva osnovna tipa logičnih vrat: to sta vezje "IN" (AND) in vezje "NE" (NOT).

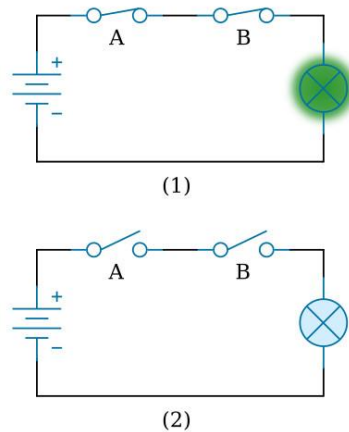
### Vezje "IN" (AND)

Vezje "IN" si ponazorimo z žarnico, dvema stikaloma in napajanjem, kar prikazuje tabela 1.

stikala	VHODNI SIGNAL
žarnica	IZHODNI SIGNAL

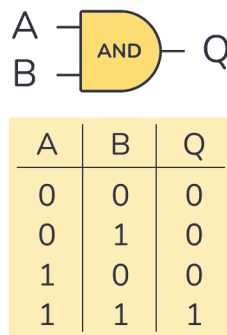
Tabela 1: Vezje »in«

Ko je električni krog sklenjen, se bo žarnica prižgala, kar pomeni digitalni bit vrednosti 1. Ko žarnica ni prižgana, je vrednost digitalnega bita 0 (slika 3) (Paľa, b.d.).



Slika 3: Vezje "IN" (AND).

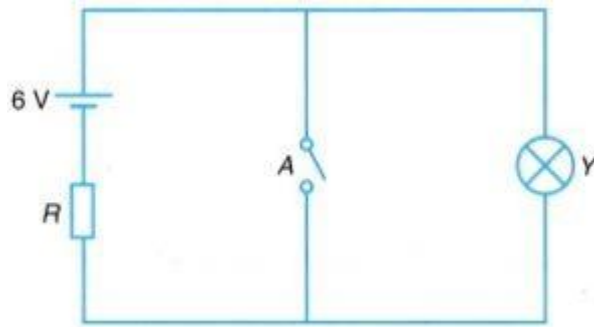
Torej, če sta A in B vhodna signala povezana bo IZHODNI SIGNAL prikazan kot 1, kar prikazuje slika 4 (Oyvind. *Truth table and gate*, b.d.).



Slika 4: Shematski znak in tabela vhodno-izhodnih vrednosti vezja "IN" (AND).

### Vezje "NE" (NOT)

To vezje uporabi upor "R", ki zniža napetost. Ker električni tok najlažje teče po najbolj prevodni poti, bo tekel preko stikala A, ko je stikalo povezano, in nazaj preko upora, ne pa preko žarnice in upora. V tem primeru se bo izhodni signal (žarnica) izklopil oziroma postal "0". Če pa stikalo A ni vklopljeno, pa bo električni tok tekel skozi izhodni signal (žarnico), ki bo pokazal "1" (slika 5 in slika 6) (Electricalvoice, b.d., Oyvind. *Truth table not gate*, b.d.).



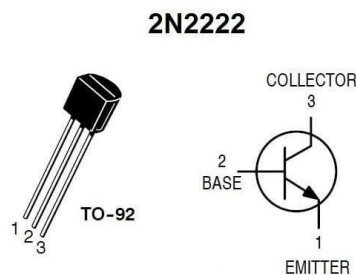
Slika 5: Prikazuje vezje "NE" (NOT).



A	Q
0	1
1	0

Slika 6: Shematski znak in tabela vhodno-izhodnih vrednosti vezja "NE" (NOT).

Zgoraj opisani vezji sta sestavljeni iz analognih elektronskih elementov, nista pa primerni za avtomatičen način merjenja. Zato sem, pri izgradnji elektronske naprave za določanje smeri zvoka, uporabil elektronska stikala ali tranzistorje tipa BJT. Tranzistor je stikalo, ki se zapre, le ko je nanj priklopljena električna napetost oziroma pozitiven signal ali "1". Shematski prikaz tranzistorja prikazuje slika 7 (Teenggprojects, 2018).



Slika 7: Shematski prikaz tranzistorja.

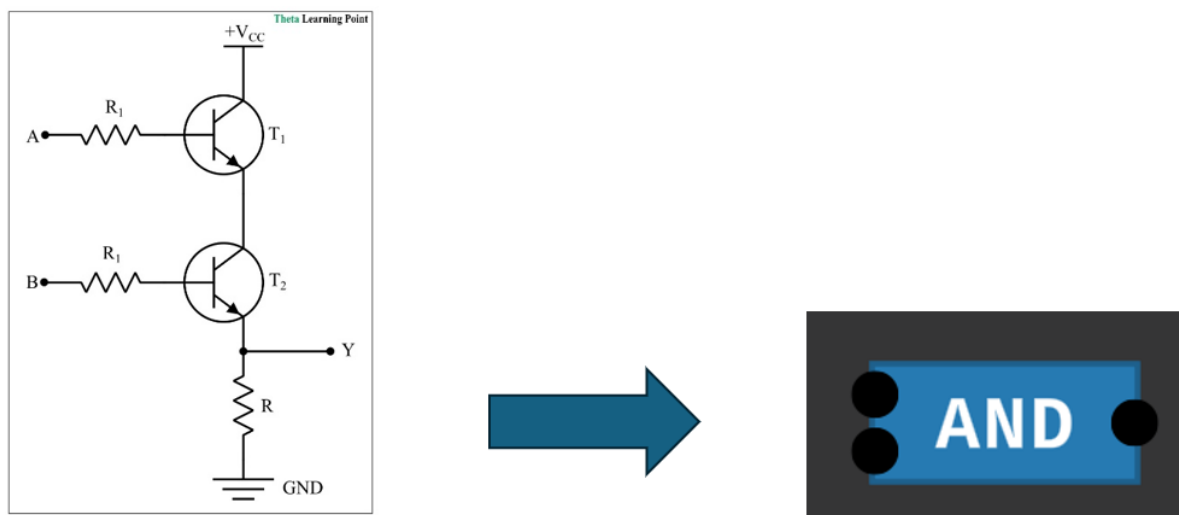
»EMITTER« je vhod signala, ki ga želimo prižigati ali ugašati.

»COLLECTOR« je izhodni signal, ki je lahko enak vhodnemu signalu (»EMITTER«) ali pa ga ni.

»BASE« je signal, ki določi ali je izhodni signal (»COLLECTOR«) enak vhodnem signalu, ali pa ga ni. Če je ta signal enak digitalnem bitu »0«, potem izhodnega signala ni. Če pa je enak digitalnem bitu »1«, potem je izhodni signal enak vhodnemu.

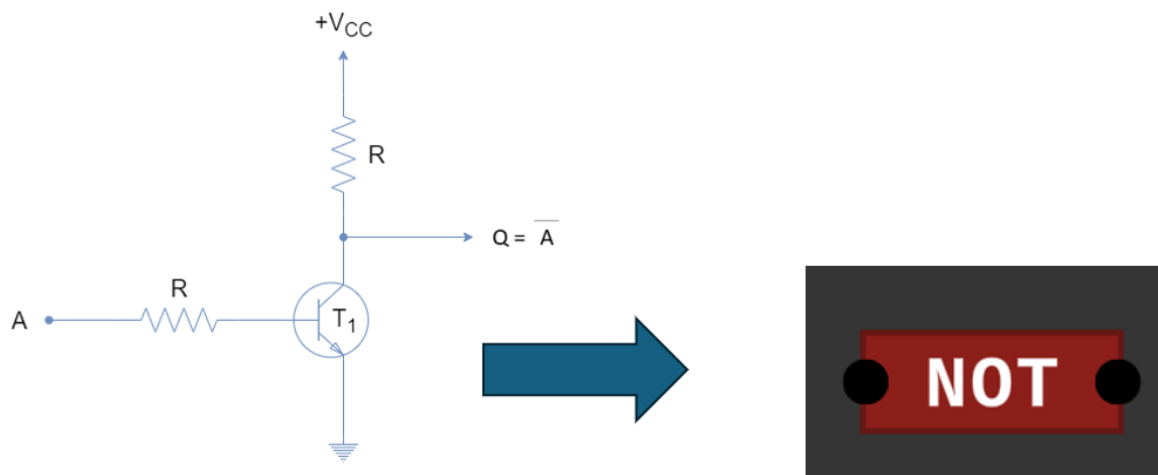
Tranzistor si lahko predstavljamo kot ventil za vodo. Če ventil odpremo, bo voda pritekla, če ga zapremo, pa ne bo.

Če na »EMITTER« in »BASE« priključimo električno napetost (priporočljivo 5V) torej logična »1«, bo »COLLECTOR« (IZHOD) imel stanje 5V ali »1«. Če pa »BASE« povežemo z ozemljitvijo (GROUND), ki pomeni napetost 0V pa bo »COLLECTOR« (IZHOD) 0 voltov ali logična »0«. Z enima ali dvema tranzistorjema nadomestimo stikala, ter naredimo logična vrata »IN« (AND) ali »NE« (NOT) (slika 8 in slika 9) (Theta learning point, b.d., Electronics lab, b.d.).



(Na levi strani so vhodni signali, na desni pa izhodni)

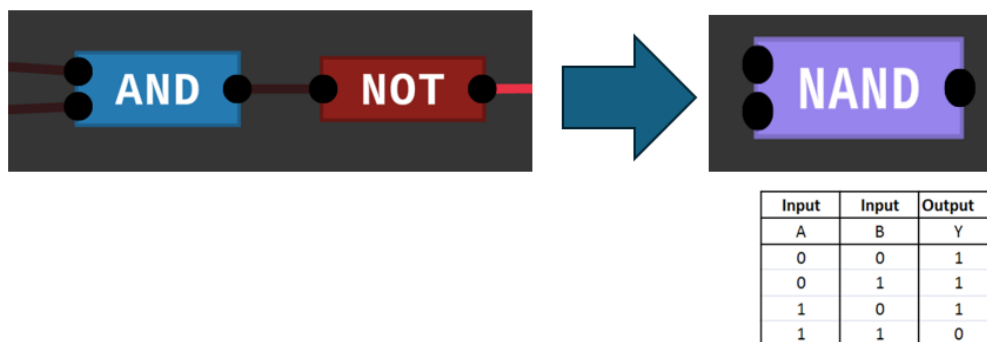
Slika 8: Logična vrata »IN« (AND) sestavljena iz dveh tranzistorjev.



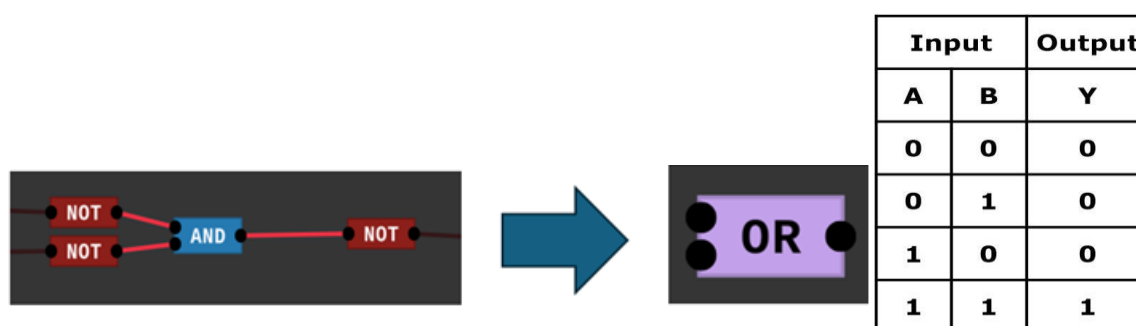
(Na levi strani so vhodni signali, na desni pa izhodni)

Slika 9: Logična vrata “NE” (NOT) sestavljena iz upora in tranzistorja.

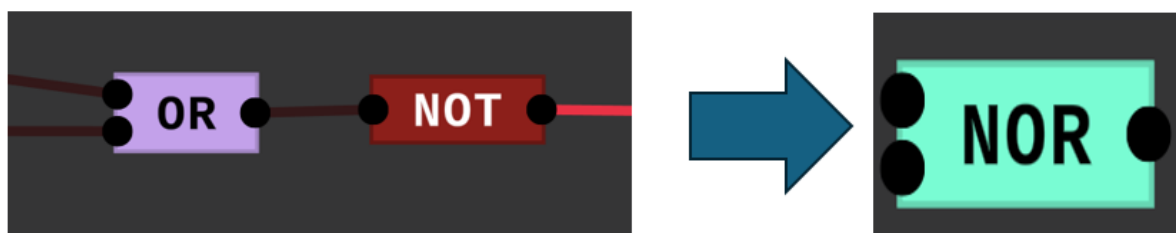
S kombinacijo obeh osnovnih logičnih vrat lahko sestavimo še bolj zahtevna kot so “NE-IN”(NAND), “ALI”(OR), “NE-ALI”(NOR) in “EKSKLUZIVNI OR”(XOR) (slike 10-13) (Virtual labs, b.d., Bipin, 2023, Tpointtech, b.d., Plymouth university 2018, b.d). Na teh slikah svetlo rdeča barva povezave pomeni stanje signala 1, rjavo pa stanje signala 0.



Slika 10: Slika prikazuje logična vrata in tabelo vhodno-izhodnih vrednosti “NE-IN”(NAND).

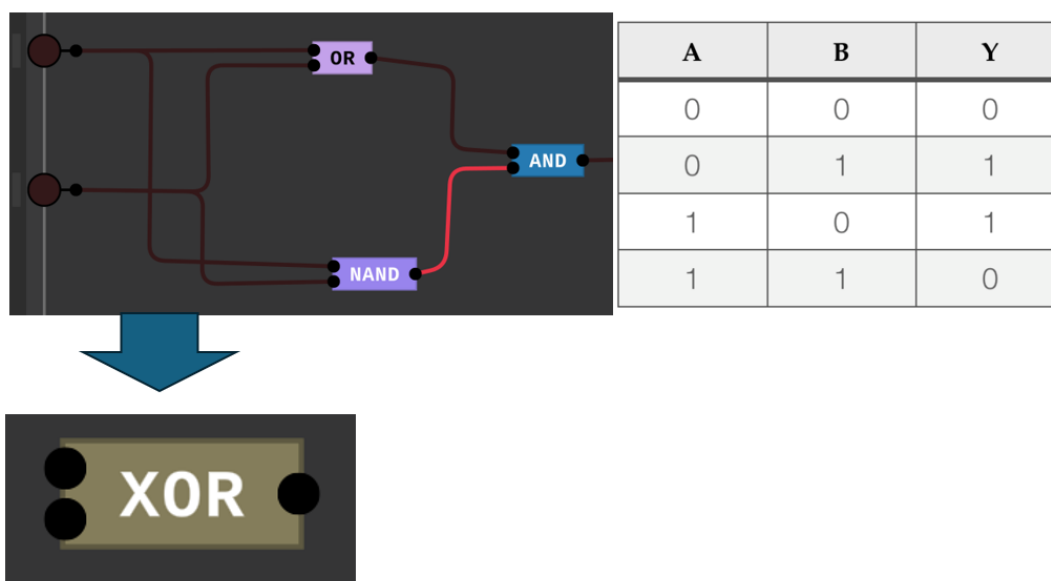


Slika 11: Slika prikazuje logična vrata in tabelo vhodno-izhodnih vrednosti “ALI”(OR).



Input		Output
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

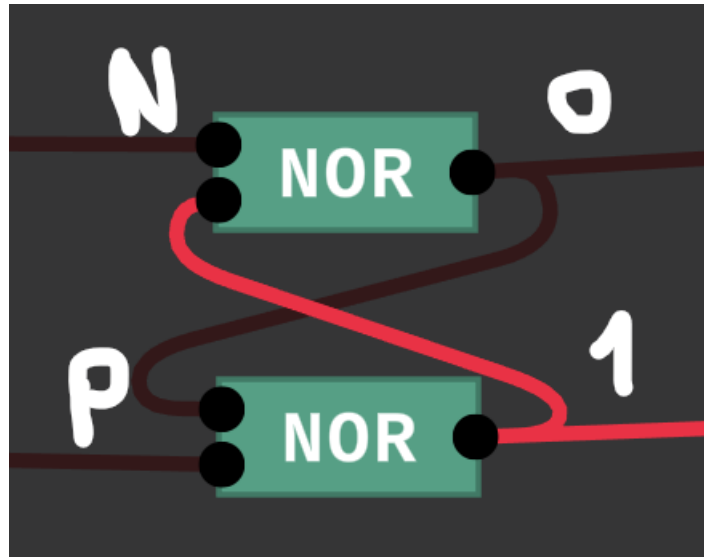
Slika 12: Slika prikazuje logična vrata in tabelo vhodno-izhodnih vrednosti "NE-ALI"(NOR).



A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Slika 13: Slika prikazuje logična vrata in tabelo vhodno-izhodnih vrednosti "EKSKLUZIVNI OR"(XOR).

Če želimo, da imajo vezja spomin, lahko to naredimo z uporabo dveh "NE-ALI"(NOR) vezji s pravilnimi povezavami in jih imenujemo enobitni spomin ali SR\_LATCH (slika 14).



Slika 14: Spominsko vezje SR\_LATCH iz dveh "NE-ALI"(NOR) vezij.

Spominsko vezje SR\_LATCH ima dva vhodna signala:

N	NASTAVI (SET)
P	PONASTAVI (RESETIRAJ)

Tabela 2: Vhodna signala za vezje SR\_LATCH

in dva izhodna signala:

0	Signal je ponastavljen
1	Signal je nastavljen

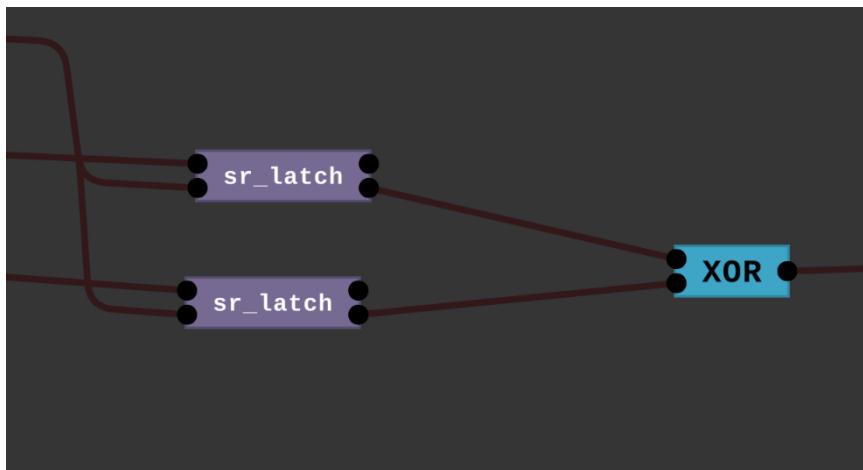
Tabela 3: Izhodna signala za vezje SR\_LATCH

Povzetek delovanja vrat SR\_LATCH:

- Ko je  $N = 1$  in  $P = 0$ , latch postavi izhod na "1" (set stanje).
- Ko je  $N = 0$  in  $P = 1$ , latch postavi izhod na "0" (reset stanje).
- Ko sta oba vhoda  $N = 0$  in  $P = 0$ , latch ohranja prejšnje stanje (stanje se ne spremeni).
- Stanje, kjer sta oba vhoda  $N = 1$  in  $P = 1$ , je nedovoljeno, saj to povzroči natančno nasprotni izhode, kar vodi v negotov izhod, zato se temu stanju izogibamo.

Opisal sem vsa logična vezja, ki sem jih potreboval. Z njimi sem sestavil elektronsko vezje, ki izmeri časovni zamik dveh signalov tako, da dva signala logično združi in meri čas, ko je signal prižgan (enak 1)

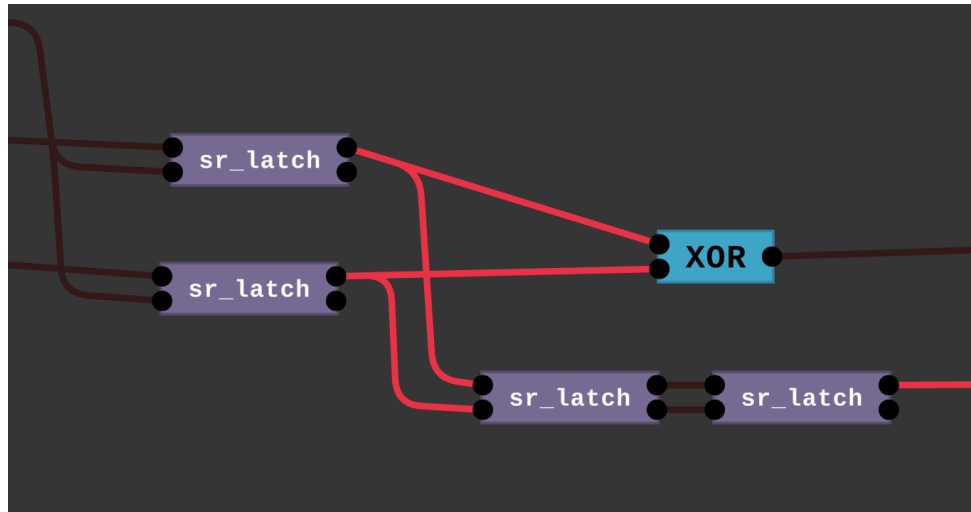
Za združevanje dveh signalov (zvoka) v enega, sem uporabil vezje iz enega XOR in dveh SR\_LATCH vrat, ki so povezana tako, da izhod vezja postane enak 1, ko prvi mikrofonski zazna zvok. Nato ostane 1 skozi ves časovni zamik med signaloma v obeh mikrofonskih in se spremeni v 0, ko drugi mikrofonski zazna zvok (slika 15).



Slika 15: Vezje za združevanje dveh logičnih signalov (zvoka) v enega za merjenje časovnega zamika.

Izhodni signal XOR bo »1«, ko se eden od dveh vhodnih signalov prižge in bo ostal »1« tudi če prvi vhodni signal spremeni stanje nazaj na »0«. Izhodni signal XOR pa bo nazaj postal »0« samo, če bo drugi vhodni signal tudi »1« ali pa če se bosta SR\_LATCHA ponastavila (v primeru napak in motenj). Štetje časa in s tem izračun časovnega zamika zaznave zvoka med obema mikrofonom poteka od trenutka, ko XOR na sliki 15 na svojem izhodu spremeni vrednost 0 v 1, do trenutka, ko se vrednost na izhodu ponovno spremeni v 0.

Kot sem napisal že v uvodu, z merjenjem časovnega zamika z vezjem na sliki 17 lahko določimo smer izvora zvoka samo v eni četrtini kroga oziroma  $90^\circ$ . Ker pa sem želel določiti smer izvora zvoka v polovici kroga ( $180^\circ$ ), sem k vezju na sliki 15 dodal še dvojice SR\_LATCH vrat, ki zaznata, kateri mikrofonski je zaznal zvok prej (slika 16).



Slika 16: Vezje za združevanje dveh logičnih signalov (zvoka) v enega za merjenje časovnega zamika in določanje vrstnega reda zaznave obeh mikrofonov.

Kadar je izhod SR\_LATCH vrat v desnem kotu spodaj na sliki 16 enak 1, pomeni, da je zvok prvi zaznal mikrofonski, ki je vezan na vhod spodnjih SR\_LATCH vrat na levi strani slike, sicer je zvok prvi zaznal mikrofonski, ki je vezan na vhod zgornjih SR\_LATCH vrat na levi strani slike.

### Merjenje časovnega zamika z uro oziroma oscilatorjem

Za merjenje časovnega zamika sem potreboval ponavljajoči signal, ki se spreminja med stanjema 0 in 1 v časovnem razmerju 1:1. Hitrejše ponavljanje (frekvenca signala) omogoča večjo natančnost merjenja časa. Časovni zamik sistem izračuna po formuli:

$$\text{čas} = \frac{\text{prešteto število signalov}}{\text{frekvenca števca}}$$

Teoretični primer: frekvenca števca = 100, prešteto število signalov je 5:  $\text{čas} = \frac{5}{100} = 0.02s$ .

Za merjenje časovnega zamika sem uporabil oscilator s frekvenco 6.144.000 Hz, saj je moral biti dovolj hiter, ker so na kratki razdalji med mikrofonoma (7-8cm) časovni zamiki zvoka s hitrostjo 34300cm/s zelo kratki. Zaželeno je bila tudi dobra natančnost meritve, ki jo omogoča visoka frekvenca štetja signalov.

Ko sistem (zgoraj opisano vezje) opravi meritev časovnega zamika in meritev prebere, da sistemu znak, da je meritev prebrana, in da lahko ponovno meri časovni zamik. Za to opravilo

sem uporabil mikrokontroler ARDUINO NANO, ki izvede funkcijo branja časovnega zamika z vezja, ter podatke prikaže s pomočjo kazalca na servo motorju, ki pokaže smer izvora zvoka.

## 5.2 Izdelava elektronske naprave za določanje smeri izvora zvoka

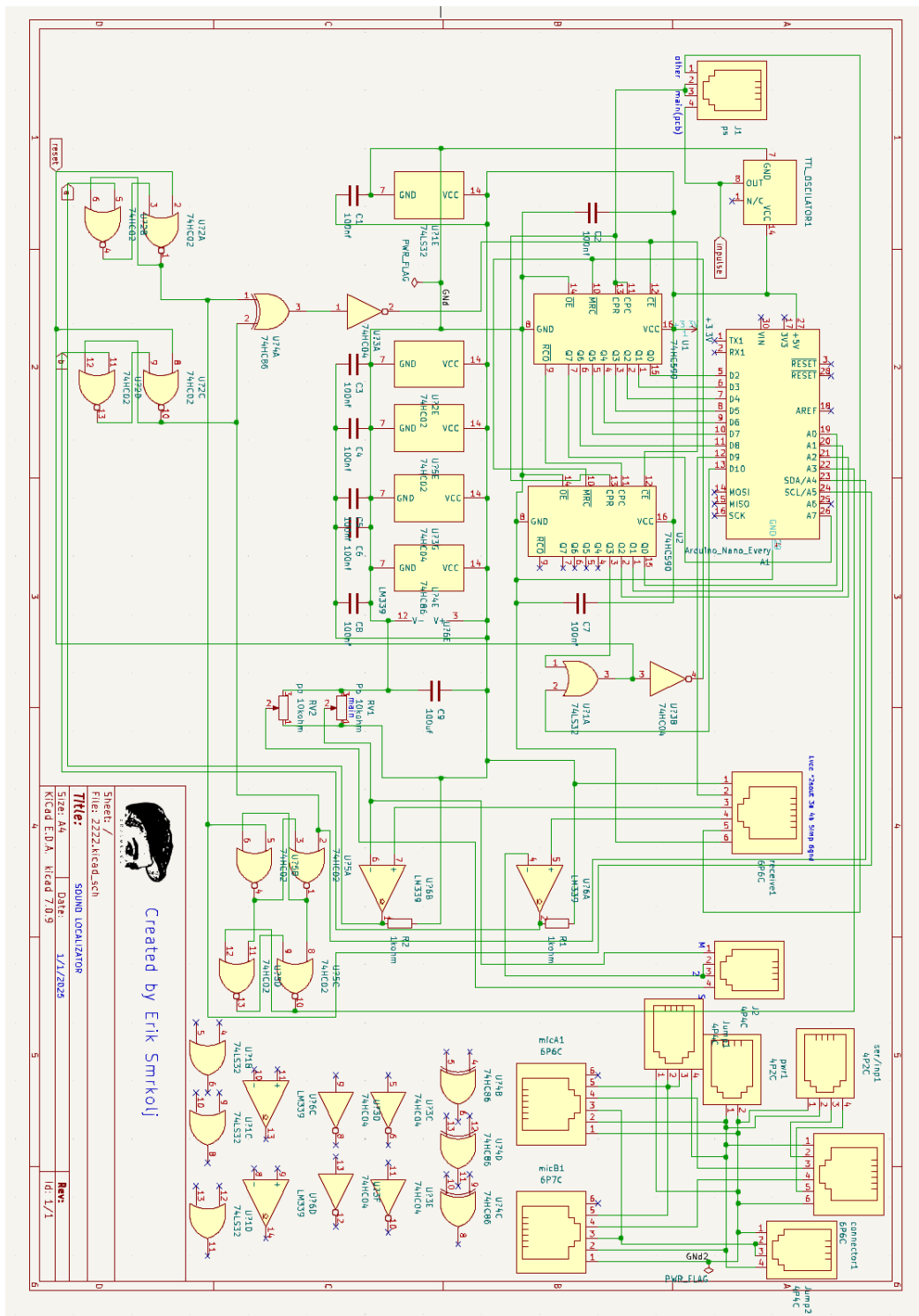
Na osnovi zgoraj predstavljenih izhodišč sem izdelal delujočo elektronsko napravo za določanje smeri izvora zvoka. Za vezja uporabljamo tranzistorje, vendar bi za svoje vezje potreboval večje število tranzistorjev, kar bi bilo za izdelavo zahtevnejše, naprava pa bi bila tudi precej večjih mer. Zaradi tega sem se odločil, da uporabim mikročipe, ki imajo tranzistorje v sebi, vendar so veliko manjši.

Za vezje sem potreboval elektronske komponente, ki so naštet v tabeli 1:

elektronska komponenta	tip mikročipa ali komponente	Število logičnih vrat v vezju	Število mikročipov ali komponent
Veze NOT	74HC04	2	1
Veze XOR	74HC86	1	1
Veze NOR	74HC02	4	2
Veze OR	74HC32	1	1
COMPARATOR	LM393	2	1
12 BIT COUNTER	74HC590	2	2
mikrokontroler	ARDUINO NANO	1	1
mikrofon	MAX9814 Microphone AGC Amplifier Board Module Auto Gain Control	2	2

Tabela 4: Seznam elektronskih komponent

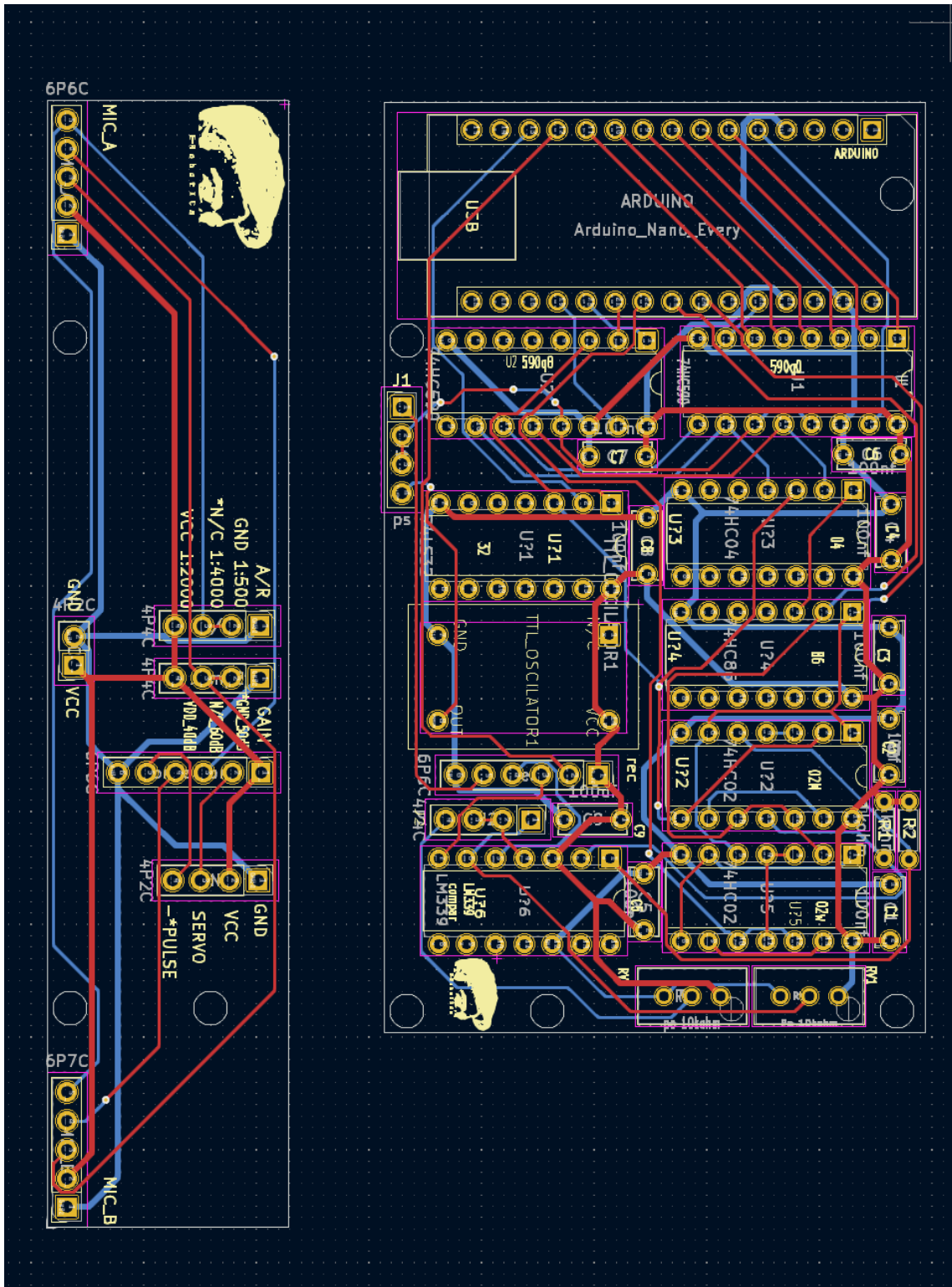
Sprva sem razvil načrt celotnega električnega vezja (slika 17):



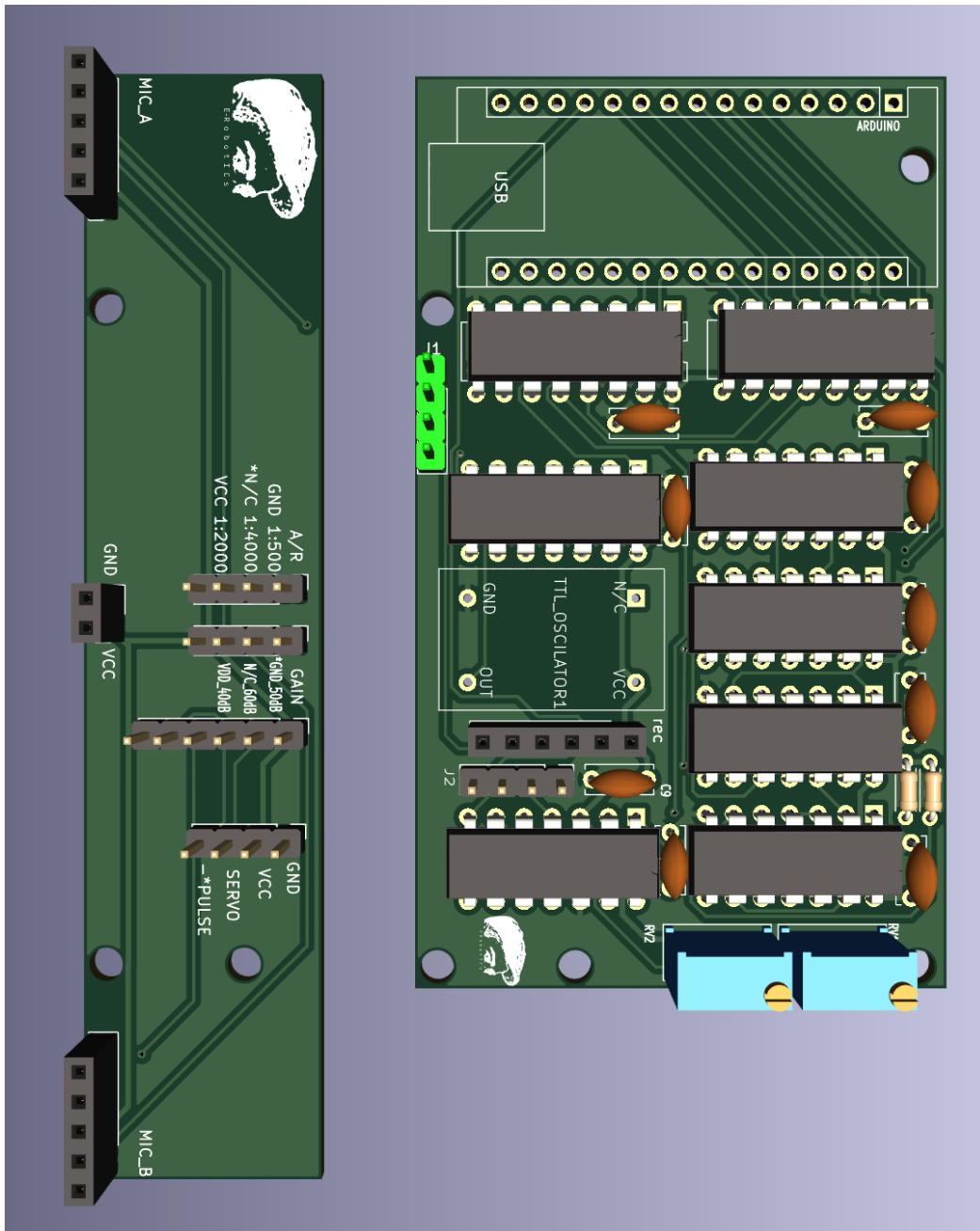
Slika 17: Načrt električnega vezja.

Tiskano vezje je tanka in trdna plošča, na kateri so povezani čipi in ostale komponente. Najdemo jih predvsem v računalnikih in mikrokontrolerjih (Arduino). S pomočjo programa "KICAD7", za katerega uporabo sem pomoč našel na strani Youtube (Pcb Cupid, b.d.), sem

izdelal načrt plošče (slika 18 in slika 19) za tiskano vezje in ga poslal v izdelavo podjetju PCBWAY (www.pcbway.com), ki mi je izdelane plošče poslalo po pošti.



Slika 18: Tiskano vezje elektronske naprave za določanje smeri izvora zvoka.



Slika 19: Položaji elektronskih komponent na tiskanem vezju.

### 5.3 Opis delovanja vezja elektronske naprave za določanje smeri izvora zvoka

Mikrofona ob zaznavi zvoka pošljeta analogni signal čipu, ki primerja signal mikrofona in signal, ki ga poljubno nastavimo s trimerjem. Če je signal mikrofona večji od signala trimerja, potem je logična vrednost izhoda 1. Ta vrednost gre v čip, ki vsebuje dvoje SR\_LATCH vrat, ki ta signal zadržita, dokler ga mikrokontroler Arduino ne ponastavi. Signala teh dveh

SR\_LATCH vrat prideta v še dvoje SR\_LATCH vrat, ki določata, kateri mikrofonski signal je zaznal prvi. Drugi del signala pošlje čipu s XOR vrati. XOR vrata spremenijo dva signala v enega tako, da je izhodni signal enak 1 le, kadar je prižgan eden od dveh vhodnih signalov. Ta izhodni signal gre v čip z NOT vrati, ki ga obrnejo, poleg tega pa obrnejo tudi signal RESET, ki je glavni za ponastavljanje celotnega sistema in dovoli, da se celoten proces meritve ponovi še enkrat. Signal RESET gre v čip, ki šteje. Če signal iz stanja 1 spremenimo v 0 in spet v 1, smo tako resetirali štetje. Drugi signal vrat NOT (signal, ki je obrnjen iz XOR) gre tudi v vhod čipa za štetje in določa, kdaj lahko čip začne in preneha s štetjem. Pin, ki ga imenujemo RIPPLE CARRY je namenjen povezavi dveh 8-bitnih čipov za štetje skupaj, saj sem potreboval 12 bitni sistem štetja, na voljo pa sem imel samo 8 bitne čipe za štetje.

Na mikrokontroler Arduino nano sem povezal vse vhode 11 bitov iz števec, vhod smeri, ki sporoči, kateri mikrofonski signal je zaznal prvi, ter dva vhoda prvega SR\_LATCHA, ki povesta, kdaj je štetje končano in kdaj lahko ponastavi celotni sistem. Povezana sta tudi dva izhoda za RESET in servo motor, ki vrti kazalec smeri izvora zvoka v fizični obliki.

Arduino nano pošlje RESET signal, ki gre do čipa z OR vrati, drugi vhod pa je povezan z zadnjim bitom števec, ki zazna ali so napake pri zaznavi ali prisotni odmevi. V kolikor števec ne prešteje do določene vrednosti, pomeni, da se je pojavila napaka (največkrat kadar le eden izmed obeh mikrofonov zazna zvok drugi pa ne) ali odmev.

## 5.4 Programska koda

Arduino nano sem priključil v računalnik preko USB vmesnika in vanj naložil naslednji program, ki je zapisan v programskem jeziku c++ ali cpp:

```
```cpp
//-----created by Erik-----

#include <math.h>
#include <Servo.h>

Servo myservo;
```

```

float frequency = 6144000; //frequencia
float c = 7.9; //razdalja(cm)
float offset = 1.125;
void setup() {
Serial.begin(9600);

pinMode(2, INPUT);
pinMode(3, INPUT);
pinMode(4, INPUT);
pinMode(5, INPUT);
pinMode(6, INPUT);
pinMode(7, INPUT);
pinMode(8, INPUT);

pinMode(9, INPUT); //Servo

pinMode(10, OUTPUT); //Reset

pinMode(A0, INPUT);
pinMode(A1, INPUT);
pinMode(A2, INPUT);
pinMode(A3, INPUT); //SMER
pinMode(A4, INPUT);
pinMode(A5, INPUT);
pinMode(A7, INPUT);

//reset
digitalWrite(10, HIGH);
delay(1);
digitalWrite(10, LOW);

myservo.attach(9);
}

void loop() {
int resetpinA = digitalRead(A4);
int resetpinB = digitalRead(A5);
if (resetpinA and resetpinB == 1){
int bit0 = digitalRead(2);
int bit1 = digitalRead(3);

```

```

int bit2 = digitalRead(4);
int bit3 = digitalRead(5);
int bit4 = digitalRead(6);
int bit5 = digitalRead(7);
int bit6 = digitalRead(8);
int bit7 = digitalRead(A7);
int bit8 = digitalRead(A0);
int bit9 = digitalRead(A1);
int bit10 = digitalRead(A2);

int WAY = digitalRead(A3);

// dsetiški pretvornik
int number = ((bit10 << 10) | (bit9 << 9) | (bit8 << 8) | (bit7 << 7) | (bit6 << 6) | (bit5 << 5) | (bit4 << 4) | (bit3
<< 3) | (bit2 << 2) | (bit1 << 1) | bit0);

float result = (number / c) * 34300 / frequency;

if (result > 1 or result < 0){
Serial.println(number);
digitalWrite(10, HIGH);
delay(1);
digitalWrite(10, LOW);
}

float arc_result = acos(result);

// pretvori iz radianov to stopinje
float degrees = (arc_result * (180.0 / PI)* offset);

if (degrees != 0 and degrees <= 90) {
if (WAY == 1){
    Serial.println("WAY1");
    myservo.write(90+degrees);
    Serial.println(int(degrees));
    digitalWrite(10, HIGH);
    delay(300);
    digitalWrite(10, LOW);
}
}

```

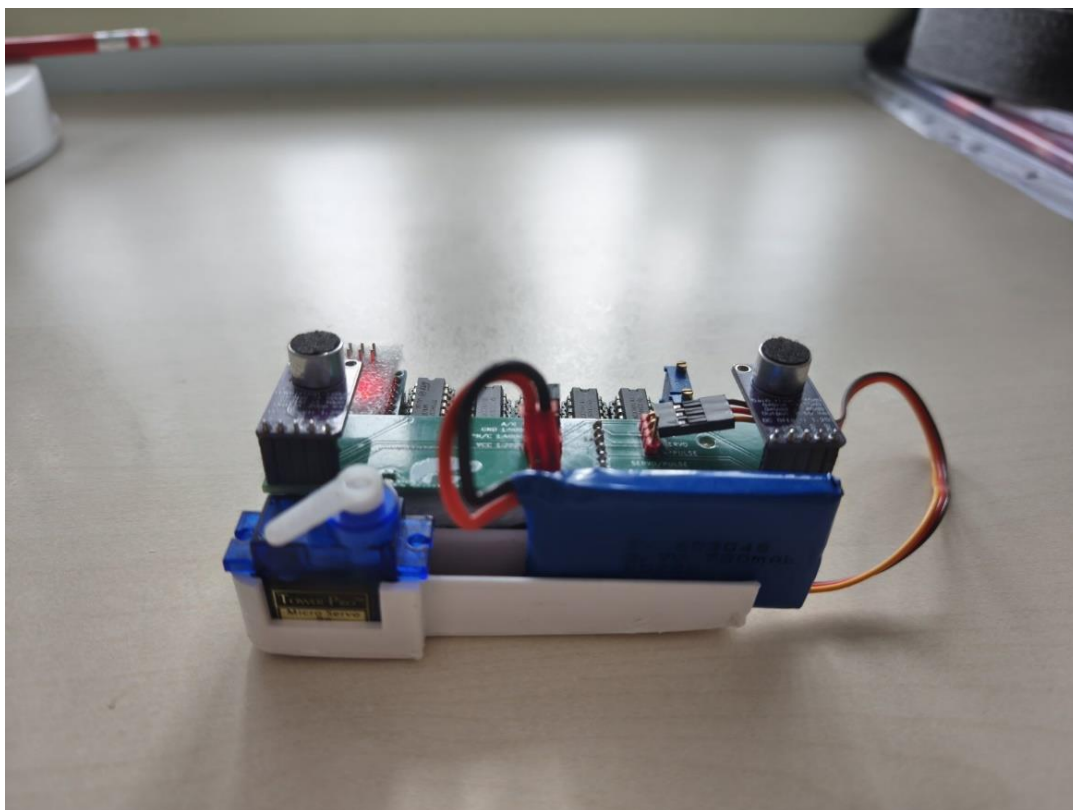
```
if (WAY == 0){
    Serial.println("WAY0");
    Serial.println(int(degrees));
    myservo.write(90-degrees);
    digitalWrite(10, HIGH);
    delay(300);
    digitalWrite(10, LOW);
}
}
else{
myservo.write(90-degrees);
digitalWrite(10, HIGH);
delay(1);
digitalWrite(10, LOW);
}
}
}
'''
```

## 5.5 Natančnost elektronske naprave za določanje smeri izvora zvoka

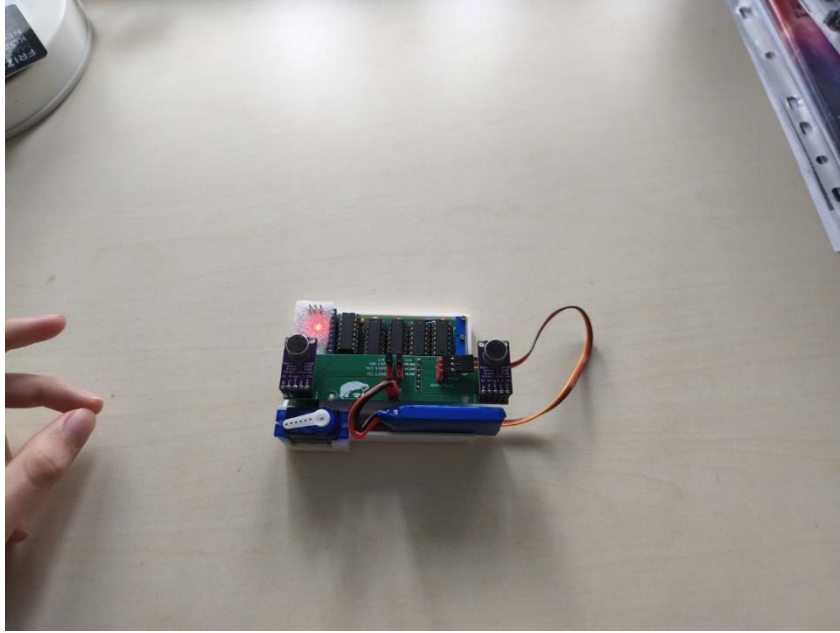
Za določitev zanesljivosti delovanja in natančnosti naprave, ki sem jo izdelal, sem opravil 100 ponovitev tleskanja za vsakega izmed petih izbranih kotov ( $-90^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ), torej skupno 500 meritev. Pri vsakem tlesku sem zabeležil, ali je kazalec moje naprave pokazal v smer, iz katere je prihajal zvok tleskanja, ali ne.

## 6 Rezultati

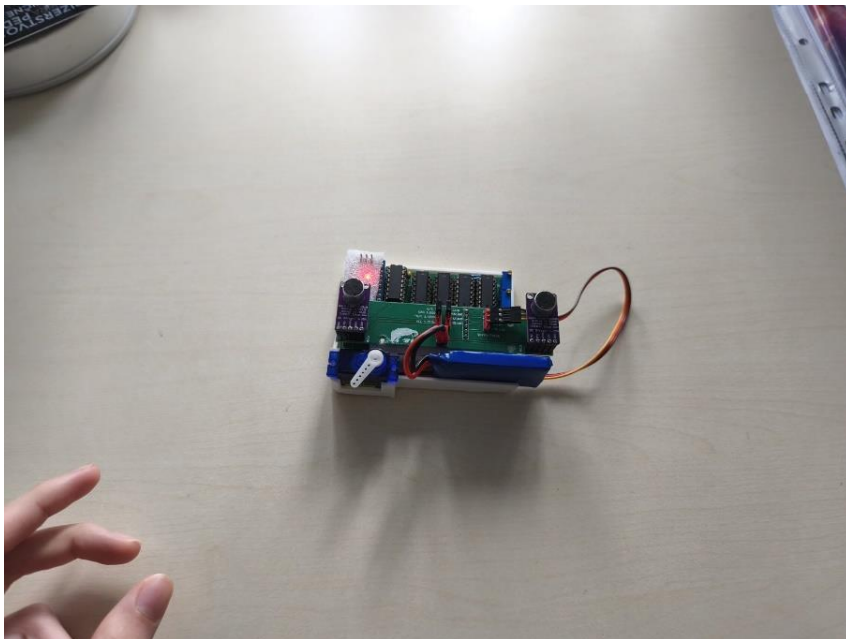
Končni izgled elektronske naprave za določanje smeri izvora zvoka prikazuje slika 20. Natančnost meritev naprave pri določanju smeri zvoka pri petih različnih kotih (slike 21, 22, 23, 24, 25) je prikazana v tabeli 2.



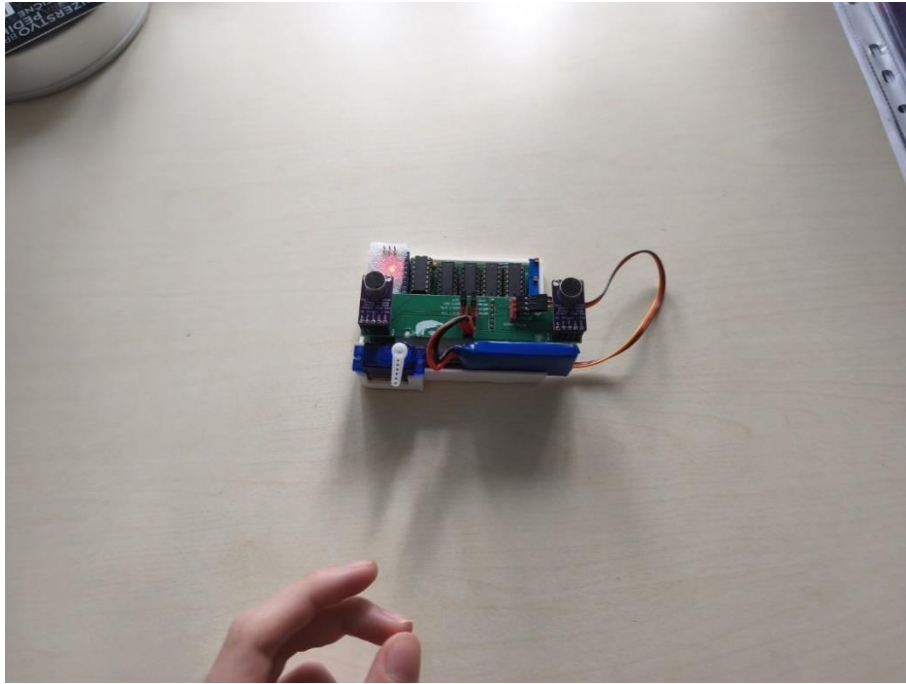
*Slika 20: Izdelana elektronska naprava za določanje smeri izvora zvoka.*



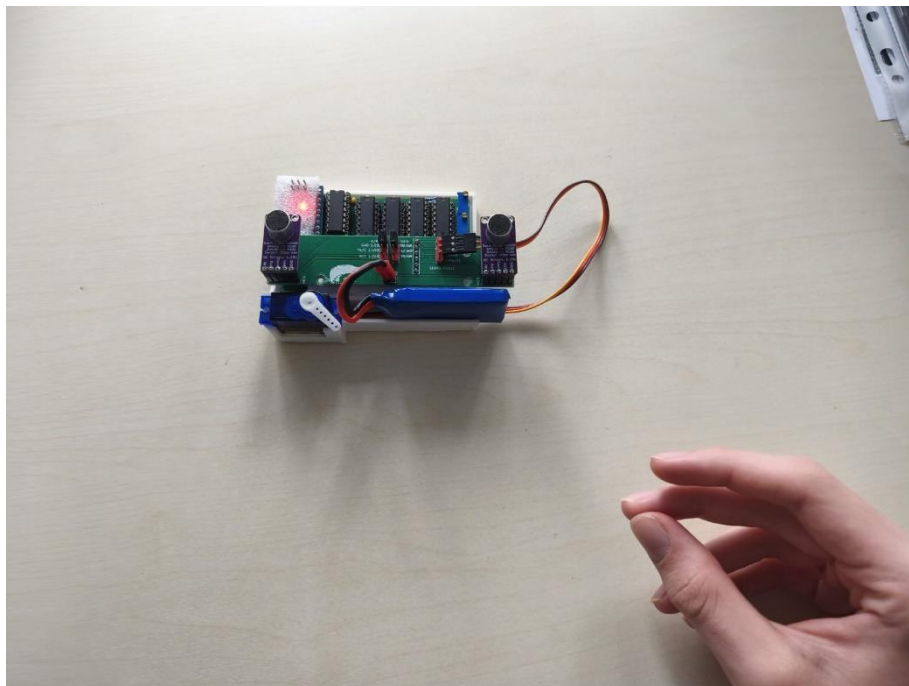
*Slika 21: Položaj tleskanja pri kotu  $+90^\circ$ .*



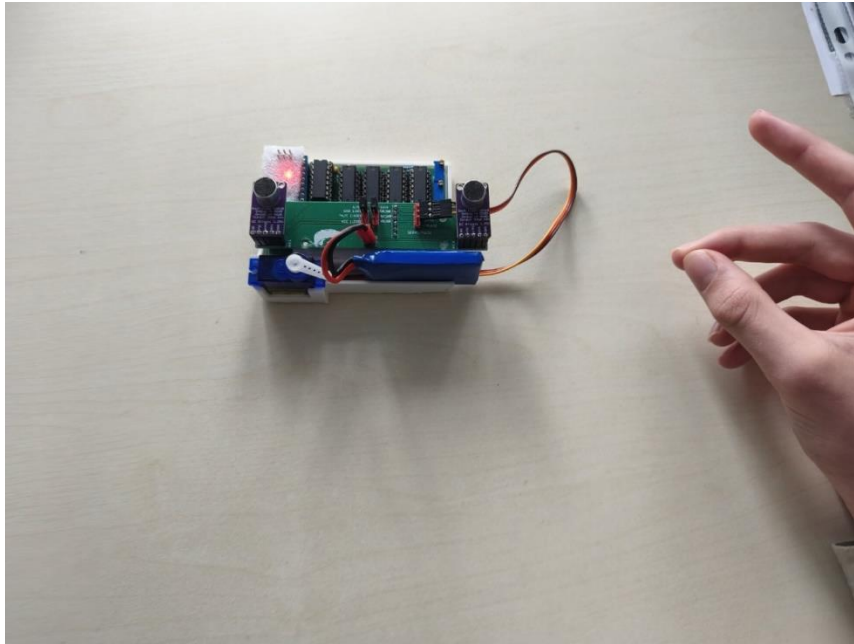
*Slika 22: Položaj tleskanja pri kotu  $+45^\circ$ .*



*Slika 23: Položaj tleskanja pri kotu  $+0^\circ$ .*



*Slika 24: Položaj tleskanja pri kotu  $-45^\circ$ .*



*Slika 25: Položaj tleskanja pri kotu  $-90^\circ$ .*

Kot ( $^\circ$ )	Št. pravilno določenih kotov	Št. nepravilno določenih kotov	Delež pravilno določenih kotov (%)
90	99	1	99
45	97	3	97
0	98	2	98
-45	90	10	90
-90	79	21	79

*Tabela 5: Natančnost meritev kota tleskanja*

## 7 Razprava

V okviru svoje naloge sem izdelal delujočo elektronsko napravo za določanje smeri izvora zvoka, ki ima visoko natančnost pri meritvah (90% ali več), nekoliko nižja (79%) je le pri kotu  $-90^\circ$ , česar pa nisem uspel pojasniti. Pri razvoju elektronskega vezja in programske kode sem se srečeval z različnimi težavami. Na začetku razvoja naprave sem poskusil določiti smer izvora zvoka z mikroračunalnikom "raspberry pi", vendar sem sklepal, da je prepočasen, saj ni nikoli prikazoval pravih rezultatov. Zato sem prešel na čipe brez mikroprocesorjev, ki so veliko hitrejši, vendar jih je tudi težje uporabljati. Ko sem naredil vezje za štetje, nisem bil prepričan, ali pravilno deluje, saj mi je manjkala merilni inštrument osciloskop, vendar sem ga uspel dobiti in je bistveno prispeval k hitrosti razvoja in kvaliteti izvedbe elektronskega vezja. Sprva sem imel mikrofona slabše kvalitete, ki sta slabo pretvarjala analogni signal v digitalnega, zato sem za testni zvok uporabljal ploskanje. Nato sem uporabil kvalitetnejša in naprednejša mikrofona, pri katerih je možno spreminjati ojačanje signala zvoka. Za testni zvok sem nato pričel uporabljati tleskanje, ki v primerjavi s ploskanjem predstavlja bolj točkovni izvir zvoka, kar po mojem mnenju dodatno prispeva k natančnosti meritev. Zanesljivost meritev bi lahko izboljšal še z nadgradnjo programske kode za Arduino nano tako, da bi naprava pokazala smer izvora zvoka le, če bi meritve dveh zaporednih tleskov z istega mesta pokazale enak rezultat. Slabost take nadgradnje programske kode pa je počasnejše izvajanje meritev, saj bi za vsako meritev potrebovali dvojni čas.

Sprva sem načrtoval izdelavo naprave, ki bi določila smer izvora zvoka kjerkoli v tridimenzionalnem prostoru in ne samo v dvodimenzionalni ravnini. Teoretične osnove takega merjenja so podobne, vendar je izračunavanje časovnih zamikov bolj zapleteno. Pri izdelavi naprave bi moral uporabiti dodatni mikrofona, napisati bolj zapleteno programsko kodo in kazalec smeri izvora zvoka premikati s pomočjo dveh med seboj pravokotno postavljenih servo motorjev.

## 8 Potrjevanje hipotez

Prvo hipotezo, ki pravi da: »Z izračunom časovnega zamika zaznave zvoka na dveh receptorjih lahko določimo smer izvora zvoka« lahko potrdim, saj sem izdelal elektronsko napravo, ki deluje po tem postopku. Dokazal sem, da takšna elektronska naprava tudi deluje.

Drugo hipotezo, ki pravi da je: »Hitrost širjenja zvoka je v vse smeri enaka« lahko tudi potrdim, saj moja naprava ne bi pravilno določila smeri izvora zvoka, če bi bila hitrost širjenja le tega odvisna od njegove smeri.

## 9 Zaključek

V svoji nalogi sem na osnovi teoretičnih izhodišč, ki so opisana v uvodu in metodah, izdelal delujočo elektronsko napravo za določanje smeri izvora zvoka. Z meritvami sem prikazal visoko natančnost izdelane naprave. Naprava določa smer v dvodimenzionalni ravnini, v prihodnosti pa bi z dodatnim teoretičnim razmislekom, nadgradnjo naprave in programske kode naprava lahko izmerila smer izvora zvoka tudi v tridimenzionalnem prostoru.

## 10 Zahvala

Iskreno se zahvaljujem svoji mentorici Vesni Gartner za podrobno branje naloge in predloge izboljšav. Prav tako se zahvaljujem gospe Varji Tavčar Žužek za lektoriranje raziskovalne naloge.

## 11 Elektronski viri

1. Wikipedia. *Zvok*, b.d. <https://sl.wikipedia.org/wiki/Zvok> (obiskano 15.2.2025)
2. Wikipedia. *Hitrost zvoka*, b.d. [https://sl.wikipedia.org/wiki/Hitrost\\_zvoka#:~:text=Hitr%C3%B3st%20zv%C3%B3ka%20\(oznaka%20c\)%20je,prvi%20zapisal%20Pierre%2DSimon%20Laplace](https://sl.wikipedia.org/wiki/Hitrost_zvoka#:~:text=Hitr%C3%B3st%20zv%C3%B3ka%20(oznaka%20c)%20je,prvi%20zapisal%20Pierre%2DSimon%20Laplace) (obiskano 16.2.2025)
3. Wikipedia. *Sound localization*, b.d. [https://en.wikipedia.org/wiki/Sound\\_localization](https://en.wikipedia.org/wiki/Sound_localization) (obiskano 12.2.2025)
4. Pcb Cupid. *Kicad Youtube playlist*. <https://youtube.com/playlist?list=PLn6004q9oeqG191KifK6xHGuqvXGb374G&si=o6pbGZ1Tb5yrxO1M> (obiskano 7.4.2025)

## 12 Slikovni viri

5. Mikke. *The binary number system explained*, b.d. <https://mikkegoes.com/wp-content/uploads/2018/05/The-binary-number-system-explained-%E2%80%93-An-example-of-reading-binary-code-and.png> (obiskano 18.2.2025)
6. Pal'a. *Electric circuit studio*, b.d. <https://ecstudiosystems.com/discover/textbooks/basic-electronics/logic-gates/images/and-gate-equivalent-circuit.jpg> (obiskano 18.2.2025)
7. Oyvind. *Truth table and gate*, b.d. <https://www.build-electronic-circuits.com/wp-content/uploads/2022/09/Truth-table-AND-gate.png> (obiskano 18.2.2025)
8. Electricalvoice. *Switch representation of not gate*, b.d. <https://cdn-0.electricalvoice.com/wp-content/uploads/2018/10/switch-representation-of-not-gate2-300x166.jpg> (obiskano 18.2.2025)
9. Oyvind. *Truth table not gate*, b.d. <https://www.build-electronic-circuits.com/wp-content/uploads/2022/09/Truth-table-NOT-gate.png> (obiskano 18.2.2025)
10. Teenggprojects. RSdesginspark. *Basics of 2N2222 Bipolar Junction Transistor*, 10 Sep 2018. [https://res.cloudinary.com/rs-designspark-live/image/upload/c\\_limit,w\\_600/f\\_auto/v1/article/1975-1\\_4245f986d53258d45565b72010f9f7869775c6c0](https://res.cloudinary.com/rs-designspark-live/image/upload/c_limit,w_600/f_auto/v1/article/1975-1_4245f986d53258d45565b72010f9f7869775c6c0) (obiskano 18.2.2025)

11. Theta learning point. *What is and gate in digital electornics*, b.d. <https://www.thetalearningpoint.com/2023/07/what-is-and-gate-in-digital-electronics.html> (obiskano 18.2.2025)
12. Electronics lab. *Not gate schematics*, b.d. <https://www.electronics-lab.com/wp-content/uploads/2021/07/RTL-2.png> (obiskano 18.2.2025)
13. Virtual labs. *Truth nand*, b.d. [https://de-iitr.vlabs.ac.in/exp/truth-table-gates/images/truth\\_nand.png](https://de-iitr.vlabs.ac.in/exp/truth-table-gates/images/truth_nand.png) (obiskano 18.2.2025)
14. Bipin. *Boolean Algebra and Logic Gates*, Oct 11, 2023 [https://miro.medium.com/v2/resize:fit:640/format:webp/0\\*x\\_1gT7YVlmrRBz6y](https://miro.medium.com/v2/resize:fit:640/format:webp/0*x_1gT7YVlmrRBz6y) (obiskano 18.2.2025)
15. Tpointtech. *NOR Gate*, b.d. <https://images.tpointtech.com/tutorial/digital-electronics/images/nor-gate-in-digital-electronics3.png> (obiskano 18.2.2025)
16. Plymouth university, 2018. *XOR Truth table*, b.d <https://blogs.plymouth.ac.uk/embedded-systems/wp-content/uploads/sites/94/2018/09/XOR-Truth-Table.png> (obiskano 18.2.2025)