

# IZRADA I ANALIZA RADA SKLOPA ZA DETEKCIJU UDALJENOSTI OBJEKTA

---

Miličević, Davorin

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:908978>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-21**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni studij**

***IZRADA I ANALIZA RADA SKLOPA ZA DETEKCIJU  
UDALJENOSTI OBJEKTA***

**Završni rad**

**Davorin Miličević**

**Osijek, 2022.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 31.08.2022.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Davorin Miličević
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	4713, 22.07.2019.
<b>OIB Pristupnika:</b>	69973950593
<b>Mentor:</b>	Prof. dr. sc. Marijan Herceg
<b>Sumentor:</b>	,
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Izrada i analiza rada sklopa za detekciju udaljenosti
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektronika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rad:</b>	U sklopu završnog rada potrebno je napraviti te analizirati princip rada sklopa za detekciju udaljenosti objekta. Princip rada izrađenog sklopa treba biti zasnovan na optičkim signalu te je potrebno napraviti detaljnu analizu sklopa kako bi se vidio utjecaj udaljenosti objekta i elektroničkih signala u sklopu. (tema je rezervirana za: Davorin Miličević)
<b>Prijedlog ocjene završnog rada:</b>	Dobar (3)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 1 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 1 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	31.08.2022.
<b>Datum potvrde ocjene od strane Odbora:</b>	07.09.2022.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.
	Datum:



**FERIT**

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

## IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 07.09.2022.

Ime i prezime studenta:

Davorin Miličević

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Mat. br. studenta, godina upisa:

4713, 22.07.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

6

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Izrada i analiza rada sklopa za detekciju udaljenosti**

izrađen pod vodstvom mentora Prof. dr. sc. Marijan Herceg

i sumentora ,

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Zadatak završnog rada.....	3
2. OPIS POSTOJEĆIH RJEŠENJA ZA MJERENJE UDALJENOSTI.....	4
2.1. Ultrazvučni senzori.....	4
2.2. LiDAR .....	5
2.3. Radar.....	7
3. OPIS NAPRAVLJENIH UREĐAJA ZA MJERENJE UDALJENOSTI.....	8
3.1. Uređaj za mjerenje zasnovan na infracrvenom (IR) senzoru.....	8
3.1.1. Shema i princip rada sklopa.....	8
3.1.2. Opis realizacije uređaja .....	10
3.2. Uređaj za mjerenje udaljenosti zasnovan na ultrazvučnom senzoru.....	14
3.2.1. Shema i princip rada.....	14
3.2.2. Realizacija uređaja .....	17
4. REZULTATI MJERENJA.....	19
4.1. Mjerenja na uređaju zasnovanom na infracrvenom senzoru .....	19
4.2. Mjerenja na uređaju zasnovanom na ultrazvučnom senzoru.....	33
4.3. Usporedba infracrvenih i ultrazvučnih senzora .....	42
5. ZAKLJUČAK.....	44
LITERATURA.....	45
SAŽETAK .....	48
ABSTRACT.....	49
ŽIVOTOPIS.....	50
PRILOZI.....	51

## 1. UVOD

Mjerenje i detekcija udaljenosti objekta zauzima značajno mjesto kod industrijskih procesa, robotike, morskog prometa, kontrole zračnog prometa ili mapiranja 3D prostora, jer daje kvantitativne informacije o položaju, udaljenosti, brzini kretanja ili veličini površine detektiranog objekta. Dobivene mjerne informacije su najčešće analognog oblika. Mjerna informacija se pretvara u formu digitalnog oblika zbog lakše obrade, prijenosa, očitavanja i veće otpornosti na šum. Dobivanje mjernih informacija se provodi pomoću raznih mjernih senzora poput:

- Ultrazvučnih senzora,
- Infracrvenih senzora,
- Optičkih senzora,
- Radara,
- LiDAR – laserski radar (engl. Light Detection and Ranging),
- Piezo električnih senzora.

Senzor predstavlja uređaj koji pretvara mjerenu fizičku veličinu u električni signal. Kao takav se koristi za provjeru rada, procjenu stanja rada i nadzor procesa. Može se koristiti prije, u toku i poslije procesnih operacija koje uključuju mjerenja udaljenosti, detekciju i praćenje objekta ili određivanja pozicije u prostoru.

Mjerenje udaljenosti u robotici zahtijeva primjenu ultrazvučnih i infracrvenih senzora. U robotici, planiranje kretanja mobilnog robota vrlo je važna stavka. Stoga se koriste vanjski senzori kako bi se odredila što bolja pozicija robota u prostoru. Budući da ultrazvučni i infracrveni senzori imaju prednost niske cijene i visoke preciznosti mjerenja, kombinacija s više ultrazvučnih i infracrvenih senzora u određenoj mjeri može nadoknaditi nedostatke koje samostalno imaju ultrazvučni senzori poput nemogućnosti detekcije objekta u neposrednim blizinama, te infracrveni senzori na čiji pravilan rad utječu mnogi vanjski čimbenici. Na taj način zajedničkom detekcijom i mjerenjem udaljenosti objekta omogućavaju efikasnije i preciznije planiranje kretanja robota u prostoru [1].

Senzor za detekciju i mjerenje udaljenosti objekta svoje mjesto je pronašao i u industrijskim procesima. Između ostalog porast automatizacije kompleksnih proizvodnih sustava iziskuje primjenu komponenti koje imaju mogućnost prikupljanja i prijenosa informacija ključnih za proizvodni proces. Kako bi se to postiglo, sve učestalije dolazi do korištenja optičkih senzora [2] koji svoju primjenu pronalaze u industrijskim procesima poput [3]:

- Detekcija pokretne trake,
- Detekcija ruba metala itd.

Kako se morski promet stalno povećava, tako se povećava i potreba za osiguranjem plovidbe. Sigurna plovidba moguća je samo ako ima dovoljno informacija o navigacijskim uvjetima. Današnji navigacijski radari pružaju potrebne informacije u dvije faze: prvo; otkrivanje navigacijskih objekata; drugo, definiranje dinamičnih parametrima objekta. Identifikacija i definiranje parametara objekta može poboljšati kvalitetu dostupnih informacija za navigaciju. Identifikacija objekta pri navigaciji na moru znači promatranje detektiranog objekta ne samo kao nepokretne točke, nego kao plovila sa sposobnostima kretanja u više smjerova. Dostupnost informacije koju može pružiti radar u sferi ATR (engl. Automatic Target Recognition) je ključna za pospješivanje praćenja objekta i plovidbe u realnim uvjetima. Informacije koje radar pruža se mogu iskoristiti za unapređivanje algoritama za praćenje [4].

Veliku popularnost u posljednje vrijeme stječu senzori s piezo električnim efektom, posebice u području kontrole zračnog prometa u zračnim lukama [5]. Ovakva vrsta senzora predstavlja obećavajuću priliku za razvoj i potpunu implementaciju njihovog rada u zračnom prometu. Potreba za uporabom senzora s piezo električnim efektom se javlja zbog većeg broja zrakoplova koji stvaraju otežani promet gdje se sigurnosni zahtjevi općenito smanjuju. Prema tome ovi senzori će omogućavati detekciju zrakoplova i određivanje njegove pozicije nakon slijetanja, te upućivanje zrakoplova u terminal. Uz to sigurnosni zahtjevi postaju ispunjeniji te samo funkcioniranje zračne luke postaje protočno. Naime ASDE-X sustav [6], čija je osnova rada piezo električni senzor je već krenuo s radom u SAD-u, te se njegove performanse i rad mjere i trenutno analiziraju [5].

Tradicionalno mapiranje prostora je metoda koja ima određene mane kao što su: velika količina ulaznih podataka, dugotrajan postupak prikupljanja podataka i mala vjerojatnost određivanja točnog vremena rekonstrukcije mape prostora. Poteškoće su najviše uzrokovane gustom vegetacijom čije postojanje smanjuje preciznost mapiranja putem (engl. tilt-shift) fotografija [7]. Zbog toga u ovo područje primjene ulaze zračni LiDAR sustavi montirani na UAV dronove kako bi poboljšali efikasnost i preciznost mapiranja prostora. LiDAR je mjerna tehnologija koja predstavlja novi način dobivanja prostornih informacija čija je temeljna karakteristika potpuna digitalizacija signala kojom se povećava brzina uzorkovanja i proširuje vremenska rezolucija pri obradi signala, kako bi se pri mjerenju dobile što kvalitetnije informacije [7]. Uostalom primjena ove tehnologije je zamijenila standardnu stereo-fotogrametriju zbog ograničenosti primjene na

prostorima s visokim udjelima vegetacije. U ovom području primjene LiDAR sustava početak komercijalne uporabe je započeo sredinom 1990-tih godina[8].

### **1.1. Zadatak završnog rada**

U sklopu ovog završnog rada potrebno je implementirati dva različita sklopa za mjerenje udaljenosti objekta. Prvi sklop realiziran je na osnovu infracrvenog (IR) senzora na PCB pločici, dok je drugi realiziran na osnovu ultrazvučnog senzora. Sklop će biti spojen na eksperimentalnoj pločici, programiran na Arduino Uno mikroupravljaču i testiran na određenim udaljenostima. Dodatno će se provesti međusobna usporedba dvaju sklopova.



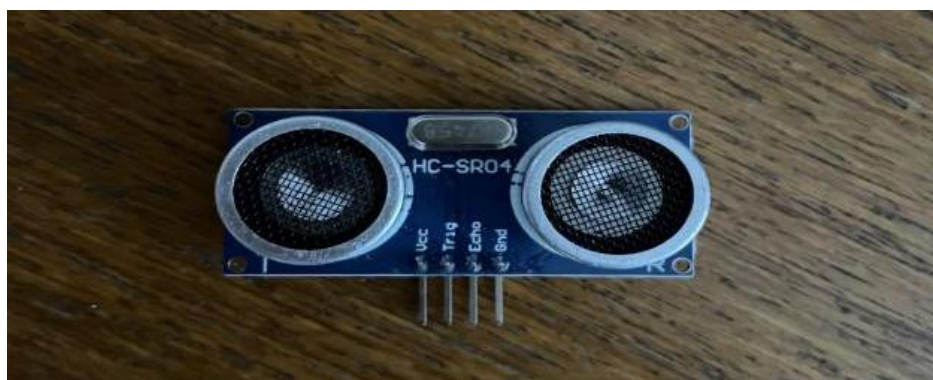
## 2. OPIS POSTOJEĆIH RJEŠENJA ZA MJERENJE UDALJENOSTI

U ovom poglavlju predstavljena su postojeća rješenja sustava za mjerenje i detekciju udaljenosti objekta u prostoru:

1. Ultrazvučni senzori
2. LiDAR
3. Radar

### 2.1. Ultrazvučni senzori

Ultrazvučni senzori izrađuju se od ultrazvučnog primopredajnika, uređaja za formiranje izlaznog signala i pojačivača. Ultrazvučni senzor je prikazan na slici 2.1:



*Slika 2.1. Ultrazvučni senzor*

Primopredajnik periodično emitira ultrazvučni val frekvencije 10 – 400 kHz, te nakon toga prima reflektirani val od objekta (prepreke). U prijemniku senzora (Slika 2.1) određuje se vrijeme  $t$  između emitiranja i prijema signala [3]. Na osnovu poznate brzine  $c$  prostiranja ultrazvučnog vala kroz medij računa se udaljenost objekta  $S$  prema izrazu (2-1).

$$S = \frac{t \times c}{2} \quad (2-1)$$

Ovaj način računanja udaljenosti se zasniva na određivanju proteklog vremena između odaslanog i detektiranog signala - TOF (engl. Time of flight). Rezultati udaljenosti dobivaju se tako što emiter odašilje određen broj jednakih impulsa ultrazvučnog vala pomoću piezo-električnog kristala. Generiranje impulsa se općenito može provoditi pomoću mikroupravljača koji postavlja priključnice emitera u logičko stanje '1' i '0', ili putem strujnog kruga s tranzistorima prilikom promjene napona (0 V – 5 V) na priključnicama emitera. Nakon generiranja impulsa valova prijemnik prelazi u fazu „slušanja“, odnosno čekanja na nadolazeći reflektirani val. Priključnice

prijemnika imaju funkciju slanja izlaznog signala mikroupravljaču ili strujnom krugu s komparatorima, te su postavljene u logičko stanje '0' odnosno na napon od 0 V tokom generiranja impulsa valova. Nakon prestanka odašiljanja impulsa, priključnice prelaze u logičko stanje '1', odnosno na napon od 5 V, te započinje mjerenje vremenskog intervala u kojem ultrazvučni val putuje. U slučaju da je na prijemnik stigao reflektirani val priključnice prelaze u logičko stanje '0' (napon 0 V), a u slučaju da nije val detektiran tada će logičko stanje '1' (napon 5 V) trajati neko vrijeme te potom preći u '0' (napon 0 V). Na osnovu vremena u kojem su priključnice bile u logičko stanju '1' (napon 5 V) se određuje udaljenost objekta. Od senzora do objekta ultrazvučni val se širi u rasponu kutova od 5° do 10° [9]. Detekcija blizine objekata na osnovu vremena rasprostiranja ultrazvuka od predajnika do prijemnika u načelu je jednostavna, ali se u gradnji senzora javlja više problema (zavisnost brzine od pritiska zraka, slabljenje intenziteta zbog radijalnog širenja i apsorpcije, djelovanje šuma i dr.) [3]. Dodatna mana je utjecaj temperature što izazva promjenu brzine kojom val prelazi određenu putanju do objekta i natrag. Između ostalog, za udaljenosti ispod 30 cm, ultrazvučni senzori imaju poteškoće pri mjerenju [1]. Prednosti ultrazvučnih senzora očituju se u njihovim visokim preciznostima na udaljenostima od 30-400 cm, pristupačnoj cijeni, malim dimenzijama te imunosti na vanjske podražaje poput vjetra, kiše, sunca i drugih valova koji dolaze u interferenciju s emitiranim ultrazvučnim valovima [9].

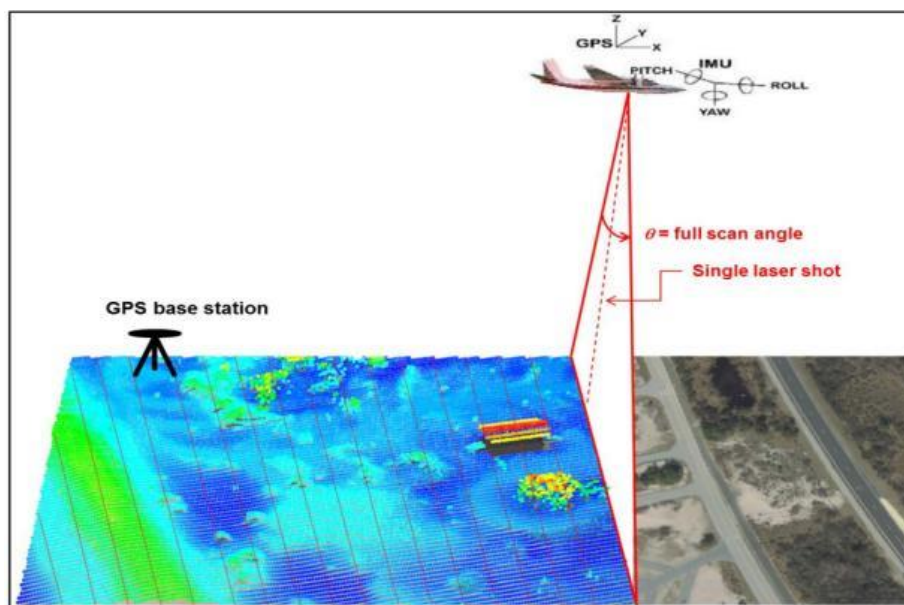
## 2.2. LiDAR

LiDAR predstavlja akronim za detekciju svjetlosti, te mjerenje udaljenosti na osnovu promatranih ultraljubičastih, infracrvenih ili vidljivih svjetlosnih zraka. Princip rada zasniva se na tehnologiji koja emitira intenzivne, usmjerene zrake svjetlosti i mjeri vrijeme koje je potrebno senzoru da detektira reflektirane zrake. Na osnovu neprestanog odašiljanja impulsa svjetlosnih zraka i detekcije reflektiranih zraka u određenom vremenskom intervalu izrađuje se kompleksna mapa detektiranog objekta [10]. Pomoću dobivenih informacija o vremenskom trajanju putovanja impulsa svjetlosne zrake izvodi se izračun udaljenosti detektiranog objekta pomoću izraza (2-1).

Kao i kod ultrazvučnog senzora, način izračuna udaljenosti se zasniva na TOF-u. Brzina uzorkovanja emitiranog impulsa svjetlosne zrake je veća od 150 kHz [10]. Prednosti LiDAR sustava iskazuju se u brzini prikupljanja podataka i visokoj preciznosti. Sustav pruža puno detaljniji prikaz površine čime se ostvaruje mogućnost prikupljanja podataka u teško pristupačnim područjima (npr. visoke planine ili snježna područja). Dodatno, sustav je imun na olujna vremena. S druge strane javljaju se mane poput refleksija sunčevih zraka koje smanjuju efikasnost mjerenja.

Uostalom problem se javlja i pri određivanju dubine vodenih površina zbog principa rada LiDAR-a, te dobiveni setovi podataka za koje je potrebno izvjesno vrijeme kako bi se analizirali.

LiDAR je postao pouzdana metoda za prikupljanje velike količine podataka s visokim stupnjem preciznosti za područjima s krajolicima, plitkim vodama i projektnim mjestima s gustom vegetacijom. Općenito LiDAR može biti smješten u zrakoplovu, helikopteru, dronu, mobilnom robotu ili statičan na površini zemlje, odakle efikasno skuplja podatke s određenih područja (Slika 2.2) [10].

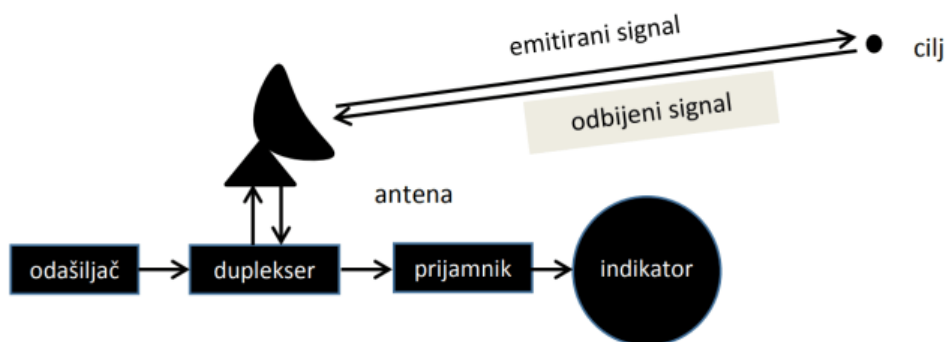


*Slika 2.2. Shematski prikaz linijskog skeniranja terena iz zrakoplova pomoću LiDAR sustava [10]*

Osim što je LiDAR često zastupljen u prostornom skeniranju, također se koristi za nadzor i inspekciju dalekovoda. Kako bi bilo olakšano korištenje i raspodjela resursa na velikim farmama te povećanje produktivnosti rada, koriste se dronovi na kojima su instalirani LiDAR-i. U rudarstvu LiDAR se pokazao kao odlična tehnologija za izračunavanje udjela korisnih ruda u rudnicima. Prednost u tom dijelu se očituje zbog toga što ne ometa rad rudnika, te smanjuje vrijeme i troškove rudarenja. Zbog mogućnosti implementacije LiDAR-a na dronove, sve se više uključuju u nadzor prometnih sustava u nastojanju smanjivanja gužvi u prometu i brži transport [23].

### 2.3. Radar

Radar je elektromagnetski sustav koji se koristi za detekciju, lociranje i mjerenje udaljenosti objekta u određenom prostoru. Tehnologija koju koristi radi na principu odašiljanja elektromagnetnih impulsa energije pomoću kojih se locira određeni objekt. Radarski sustav pretražuje određeni prostor i utvrđuje je li u tom prostoru postoji neki objekt. Kako bi se dobili podaci o promatranom objektu, radar u prostor odašilje uzak snop elektromagnetske energije. Kada se taj snop susretne sa promatranim objektom dio energije se reflektira natrag u prijammnik radara, gdje se dalje obrađuje. Emitirani snop tj. radar se unaprijed zakreće te se tako promatra prostor koji želimo nadzirati. Cijeli se postupak više puta ponavlja, što povećava vjerojatnost da se pronađe određeni objekt. Procesiranjem signala donosi se odluka je li detektiran određen objekt u prostoru. U slučaju detekcije, određuje se lokacija, udaljenost i ostale informacije o objektu [12]. U blok dijagramu na slici 2.3. prikazani su moduli od kojih se radar sastoji. Modul odašiljač se koristi kao transmitter koji generira signal za emitiranje. Duplekser omogućava dvosmjernu komunikaciju jednom kanalom, te izolira prijammnik od odašiljača. Dodatno omogućuje odašiljaču i prijammniku da rade na različitim frekvencijama i pri tome da imaju pristup istoj anteni. Antena emitira generirani signal u prostor koji se prenosi prema objektu. Nakon što se signal (radio val) odbije od objekta vraća se prema anteni u raspršenom obliku. Prilmljeni signal duplekser usmjeruje na prijammnik. Prijammnik demodulira signal te ga pojačava sa pojačalom i šalje ga dalje na indikator. Indikator prikazuje promatraču sliku gdje se nalazi promatrani objekt[13].



Slika 2.3. Blok dijagram Radara[13]

### 3. OPIS NAPRAVLJENIH UREĐAJA ZA MJERENJE UDALJENOSTI

U ovom poglavlju opisani su sljedeći sklopovi za mjerenje udaljenosti objekata:

1. Uređaj za mjerenje udaljenosti zasnovan na infracrvenom (IR) senzoru
2. Uređaj za mjerenje udaljenosti zasnovan na ultrazvučnom senzoru

#### 3.1. Uređaj za mjerenje zasnovan na infracrvenom (IR) senzoru

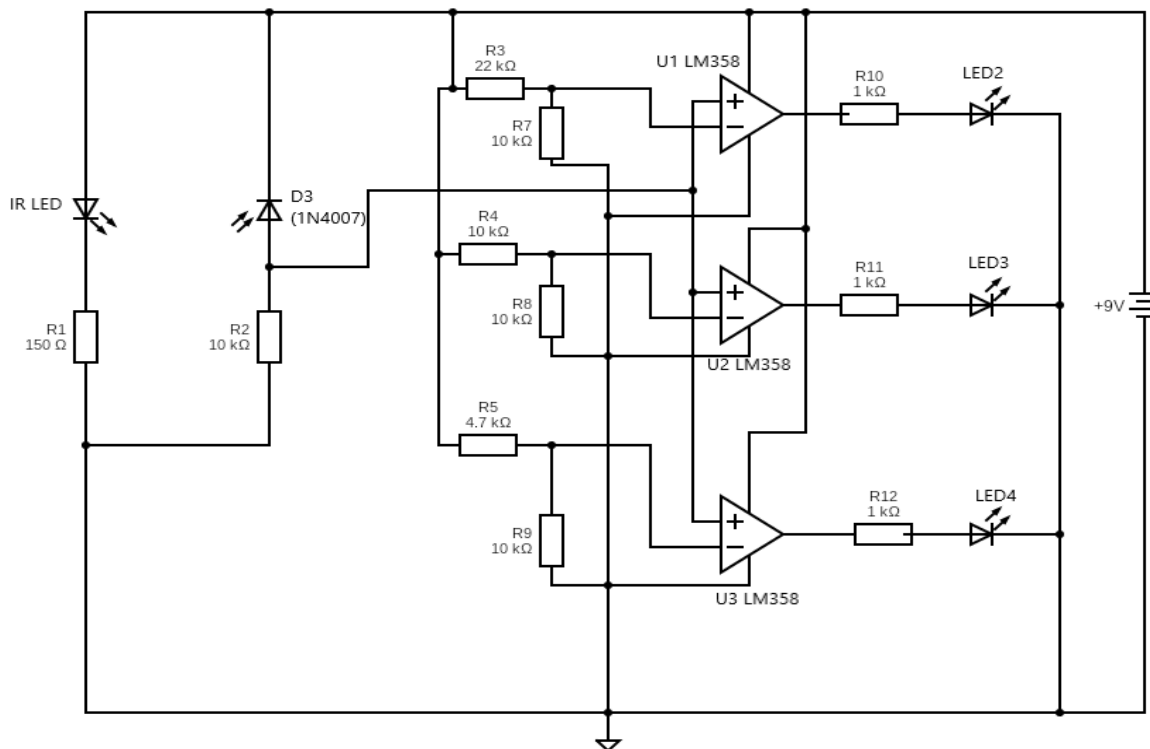
Uređaj za mjerenje udaljenosti zasnovan na infracrvenom senzoru predstavlja vrstu mjernog sustava koji radi na principu odašiljanja i detektiranja infracrvenih elektromagnetnih valova čije se valne duljine nalaze između vidljivog svjetla i radiovalova.

##### 3.1.1. Shema i princip rada sklopa

Prema shemi sklopa (Slika 3.1.) na napon baterije od 9 V su priključene IR LED dioda koja se ponaša kao odašiljač vala i foto-dioda (1N4007) kao prijemnik. Otpornici R1(150  $\Omega$ ) i R2(10 k $\Omega$ ) su serijski spojeni na prijemnik i odašiljač kako bi se diode osigurale od prevelike struje i pregorijevanja. Princip rada samog senzora koji je nastao kombinacijom IR LED diode i foto-diode temelji se na zakonima fizike: Planck-ov zakon o radijaciji, Stephan Boltzman-ov zakon i Weinov zakon pomaka [15]. Emiter (IR LED dioda) odašilje infracrvene valove koji nose određenu energiju. Ukoliko unutar dometa senzora bude postojao objekt doći će do refleksije vala, čije putovanje će se nastaviti ka prijemniku, a tijekom putovanja će dolaziti do rasipanja energije koju val nosi. Zbog rasipanja energije vala na većim udaljenostima struja kroz IR diodu će biti manja. Kao rezultat toga, povratni signal će ovisiti o količini emitirane energije i udaljenosti na kojoj se objekt nalazi, te rasponu valnih duljina koje foto-dioda može otkriti [16].

Valna duljina infracrvenog vala koju IR LED dioda generira mora biti jednaka valnoj duljini koju foto-dioda detektira. Zbog osjetljivosti foto-diode na pojavu infracrvene svjetlosti, dolazi do promjene otpora i izlaznog napona prema količini primljene svjetlosti.

Na slici 3.1. mogu se uočiti tri operacijska pojačala LM358 koji rade kao dualni komparatori. Operacijska pojačala su konfigurirana u neinvertirajućem *modu* kako bi se postigao uvjet komparacije da se u slučaju veće vrijednosti napona neinvertirajućeg terminala u odnosu na invertirajući postigne logička „1“, te time izlazna nožica komparatora postigne logičko stanje „1“. Zbog toga je invertirajući terminal spojen na referente otpornike kako bi se kontrolirala amplituda referentnog napona.



*Slika 3.1. Shema uređaja za mjerenje udaljenosti zasnovanog na infracrvenom IR senzoru*

Struja protječe kroz otpornike od  $R3(22\text{ k}\Omega)$  i  $R7(10\text{ k}\Omega)$ , te se potom stvara razlika potencijala na otpornicima čija se magnituda računa Ohmovim zakonom te ona predstavlja referentni napon. Identičan postupak određivanja magnitude referentnog napona će se primijeniti i za otpornike  $R4$ ,  $R8$ , te otpornike  $R5$  i  $R9$ , s obzirom da će se vrijednosti napona međusobno bitno razlikovati. Prilikom približavanja objekta IR senzoru, povećava se količina infracrvene svjetlosti koju fotodiode prima, te se time povećava i struja koju ona generira, a samim time se povećava i pad napona na otporniku  $R2$  – usporedni napon. Zatim se radi usporedba referentnog napona i usporednog napona (dobivenog zbog blizine objekta). Rezultat komparacije dvaju napona pružaju dualni komparatori LM358. S druge strane kako bi komparacija bila moguća neinvertirajući terminal je direktno spojen na pozitivnu priključnicu foto-diode, odnosno točke na kojoj dolazi do promjene napona koji se uspoređuje s referentnim.

Funkcija LM358 komparatora generalno se očituje u postavljanju izlazne nožice u stanje logičke „0“ ili „1“, u ovisnosti od rezultata usporedbe napona dvaju terminala. Ukoliko je usporedni napon (napon neinvertirajućeg terminala) veći od referentnog napona (napon invertirajućeg terminala), struja će proći kroz izlaznu nožicu. Između ostalog na svaki invertirajući terminal LM358 sklopa

(oznaka U1-U3) su spojeni otpornici različitih vrijednosti radi postizanja drugačijih vrijednosti referentnih napona. Pri tome, kao izlaz su odabrane LED(2-4) diode koje sa serijski spojenim otpornicima od R10, R11 i R12 od 1 k $\Omega$  predstavljaju indikatore. Indikatori postaju aktivni u slučaju da je komparacija postigla logičko stanje „1“. Komparatori uključuju LED (2-4) diode (indikatore) na drugačijim udaljenostima od objekta. Načelno gledano prema slici 3.1. predefinirana su tri različita referentna napona. Prilikom mjerenja udaljenosti, komparator LM358 (U1) će pri većim udaljenostima uključiti LED diodu, a potom će približavanjem objekta senzoru ostali komparatori izvršiti identičnu radnju. U suprotnom će sve LED diode biti isključene jer referentni napon je u tom slučaju veći od promjenjivog napona foto-diode.

### 3.1.2. Opis realizacije uređaja

Za realizaciju uređaja su bile potrebne sljedeće komponente:

- IR LED dioda
- Foto-dioda (1N4007)
- Otpornici od 22 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$ , 4,7 k $\Omega$ , 1 k $\Omega$ , 150  $\Omega$
- DC 9 V izvor
- LED dioda
- LM 358 operacijsko pojačalo.

Prilikom odabira komponenata kod slučaja s operacijskim pojačalom postojala je i moguća verzija izvedbe s LM 324. Specifikacije LM 358 i LM 324 su generalno slične, što se može iščitati iz (Tablice 3.1.).

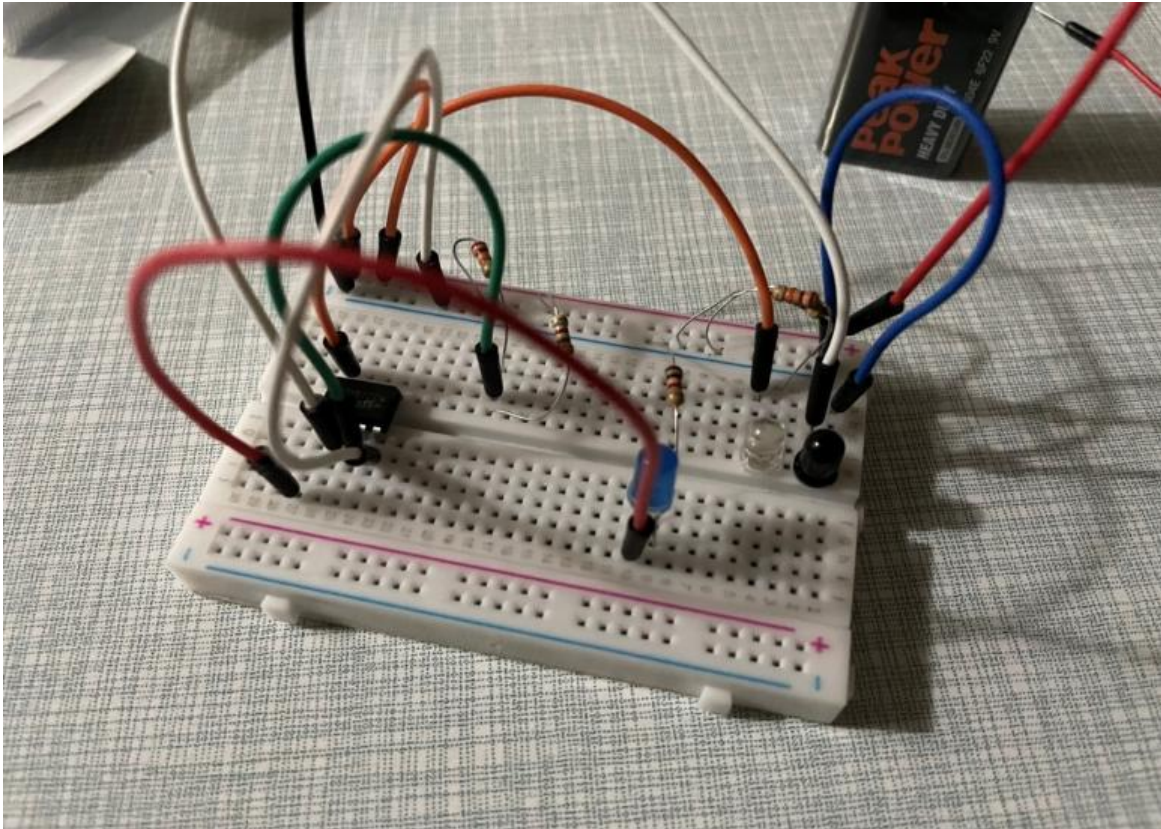
**Tablica 3.1.** Tablica specifikacija LM 358 i LM 324 OP[17]

Specifikacije	LM 358	LM 324
Napajanje	32V	32V
Disipacija snage	830mW (DIP)	1130mW (DIP)
Ulazni <i>offset</i> napon	5mV	5mV
Ulazni <i>offset drift</i> napona	20 $\mu$ V/C (max.)	30 $\mu$ V/C (max.)

Vidljivo je da razlika leži u disipaciji snage koja je manja kod LM 358 (Tablica 3.1.). Također LM 324 je kompleksniji sklop jer se unutar sklopa nalaze četiri operacijska pojačala, za razliku od

LM358 koji ima dva. Zbog toga većeg broja operacijskih pojačala LM 324 ima 14 nožica (DIP-14 paket), dok LM358 ima 8 nožica (DIP-8 paket) . Budući da je LM 324 kompleksniji, doći će do veće disipacije snage na nožicama sklopa. Disipacija snage predstavlja i uzrok povećanja pomaka ulaznog napona (engl. *Offset drift*) [17]. Detaljne karakteristike LM 358 su vidljive u prilogu P.3.1..

Prvotno realizacija sklopa je provedena u testnoj verziji na eksperimentalnoj pločici (Slika 3.2.).



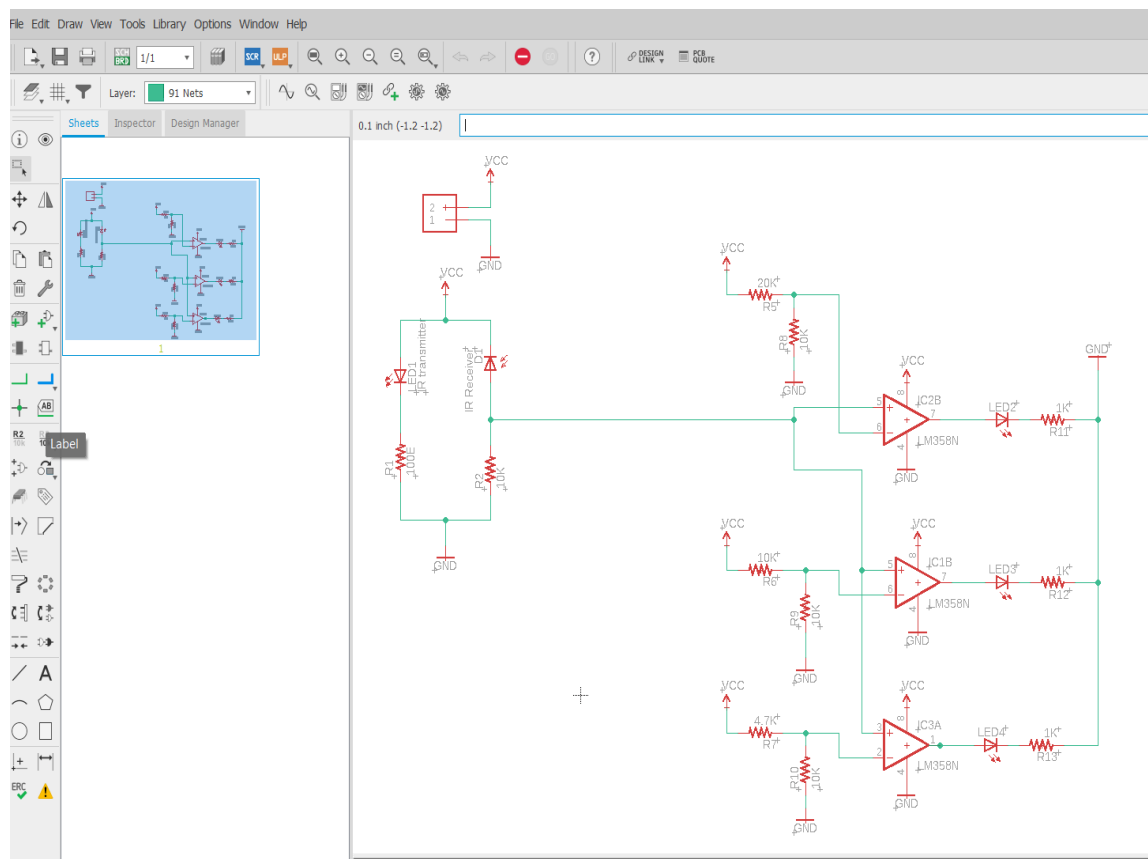
*Slika 3.2. Prikaz izvedbe uređaja za mjerenje udaljenosti zasnovanog na IR senzoru na eksperimentalnoj pločici*

U testnoj fazi sklop je izveden s jednim primjerkom LM 358 operacijskog pojačala (Slika 3.2.). Time je postavljen jedan referentni napon, te se rezultat očituje u uključivanju jedne LED diode. Iz slike 3.2. se još može vidjeti da se foto-dioda nalazi relativno blizu IR LED diodi, iz razloga što kut refleksije ima bitan utjecaj na ukupni broj i energiju valova koji dolaze na prijemnik. Dakle, nakon generiranja, infracrveni val putuje do površine objekta od kojeg se reflektira natrag na prijemnik. Kut refleksije će ovisiti o položaju objekta prostoru i kutu pod kojim se val odašilja iz emitera. Stoga je praksa da se emiter i prijemnik postave međusobno blizu kako bi se foto-dioda pronašla unutar optimalnog kuta refleksije ( $5^\circ - 10^\circ$ ), što bi za posljedicu imalo puno veći broj reflektiranih valova na foto-diodu, a samim time i veći udio energije bi dospijevao na foto-diodu.



Smetnja koja se može bitno javlja zbog neposredne blizine emitera i prijemnika se može riješiti postavljanjem tanke pregrade između. U slučaju odmicanja foto-diode od IR LED diode manji broj valova će zbog povećanog kuta refleksije stići na prijemnik. Potom manja energija će dospjeti na foto-diodu što će rezultirati manjom strujom koju foto-dioda generira. To može za posljedicu imati detekciju objekta na puno manjim maksimalnim udaljenostima, a i otvorena je mogućnost ne detektiranja objekta ako se foto-dioda ne pronađe unutar kuta refleksije. U slučaju međusobne veće udaljenosti emitera i prijemnika bi bilo potrebno ostvariti veći kut refleksije kako bi reflektirani valovi stigli na foto-diodu, a to bi rezultiralo promjenom kuta pod kojim IR LED dioda generira valove ili promjenom položaja objekta kojeg se detektira.

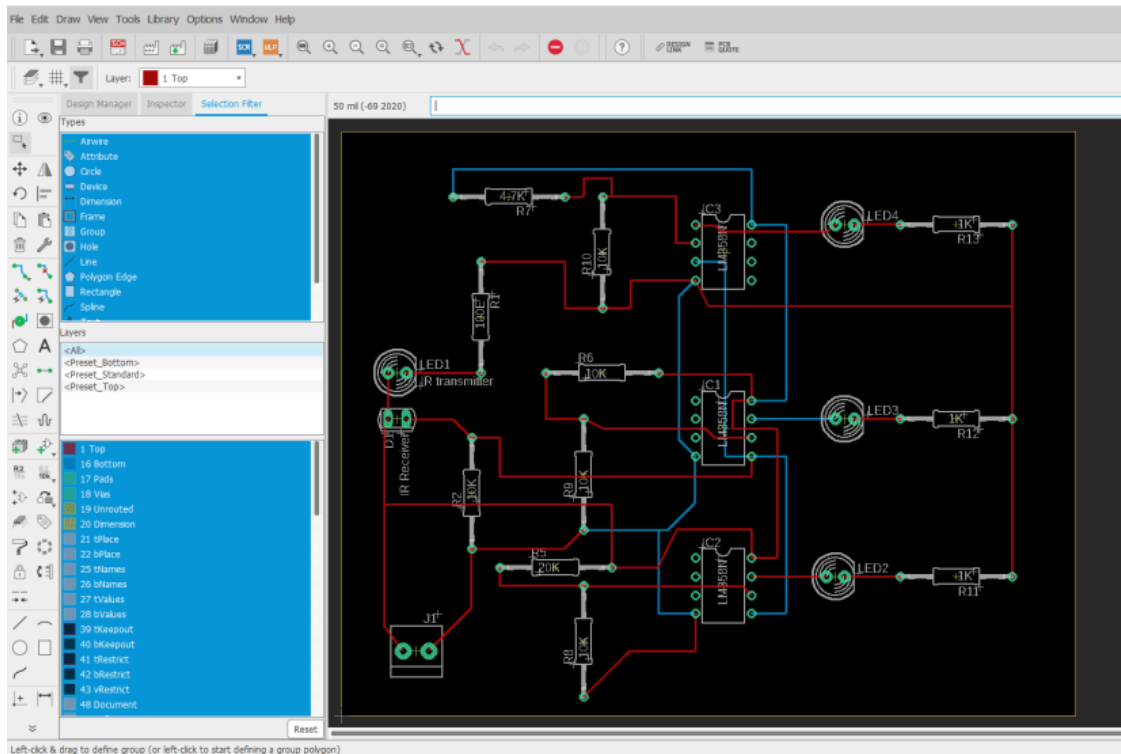
Konačna verzija sklopa je realizirana pomoću programa *Eagle*. Shema uređaja za mjerenje udaljenosti pri izradi PCB pločice rađena je u *Eagle*-ovom *Schematic Editoru* (Slika 3.3.)



*Slika 3.3. Shema uređaja za mjerenje udaljenosti zasnovanog na IR senzoru, izrađena u Eagle Schematic Editor-u*

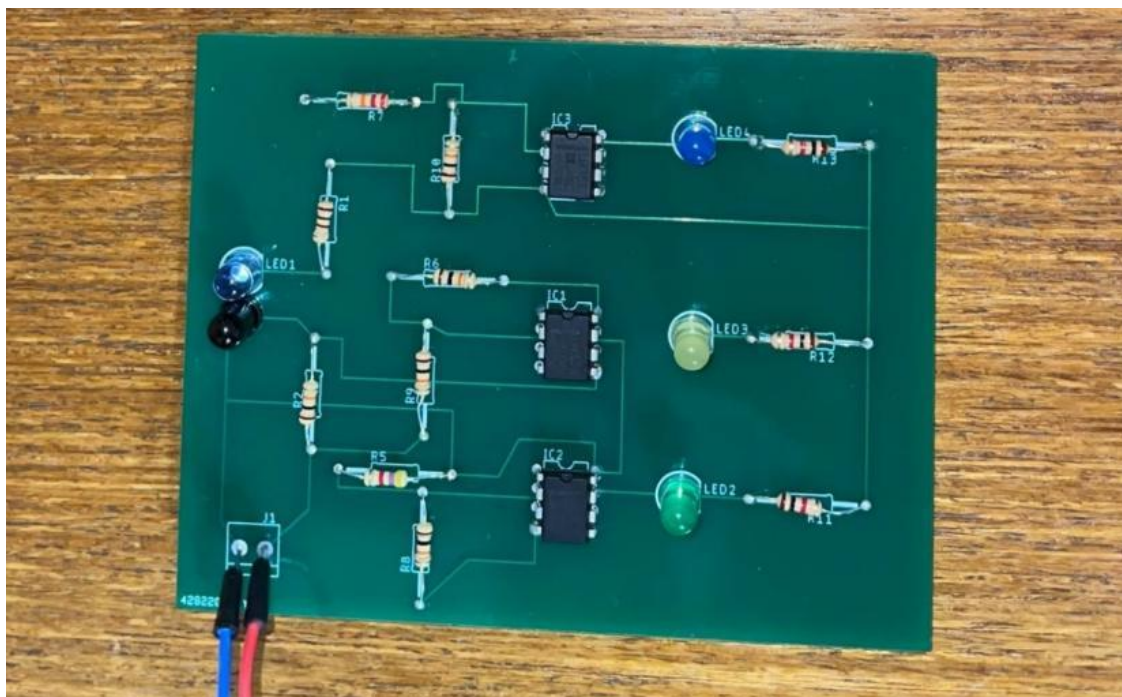
Na osnovu slike 3.3. pomoću *Board* alata, spojen je sklop te su adekvatno pozicionirane komponente sklopa na virtualnom prikazu pločice (Slika 3.4.). Ovim alatom se dodatno određuje i modificira veličina pločice, spajaju komponente i određuje koliko slojeva će imati PCB. Spajanje se može vršiti ručno ili „*autorouterom*“. Prema slici 3.4. spajanje je odrađeno ručno gdje su crveni

vodiči na prvom sloju pločice, dok plavi na drugom. PCB pločica se sastoji od 2 sloja, te veličina pločice je 100x80 mm.



*Slika 3.4. Prikaz sheme spajanja uređaja za mjerenje udaljenosti zasnovanog na IR senzoru izrađene u Baord alatu*

Na osnovu slike 3.3. i slike 3.4. je u konačnici izrađena PCB pločica (Slika 3.5.).



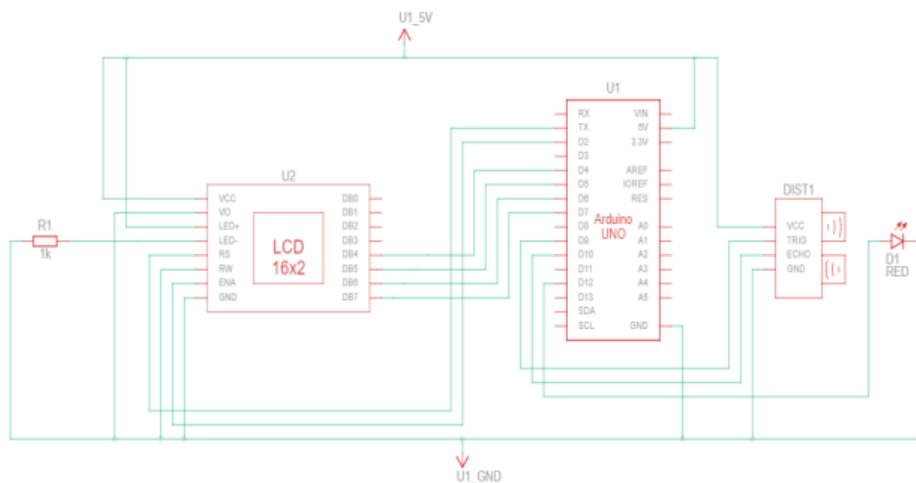
*Slika 3.5. Prikaz uređaja za mjerenje udaljenosti zasnovanog na IR senzoru izrađenog na PCB pločici*

## 3.2. Uređaj za mjerenje udaljenosti zasnovan na ultrazvučnom senzoru

Uređaj za mjerenje udaljenosti zasnovan na ultrazvučnom senzoru predstavlja mjerni sustav koji radi na principu emitiranja i primanja ultrazvučnih valova.

### 3.2.1. Shema i princip rada

Slika 3.6. prikazuje shemu uređaja za mjerenje udaljenosti zasnovanog na ultrazvučnom senzoru. Projektiranje ovog sklopa je odrađeno u *AutoDesk* programu *TinkerCad*, u prilogu P.3.2. se nalazi poveznica od dizajna sklopa.



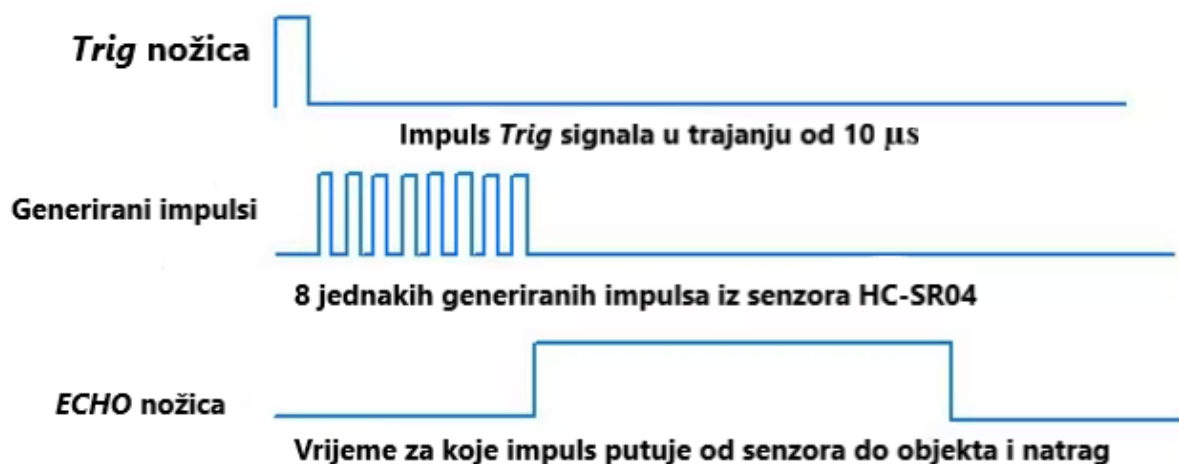
*Slika 3.6. Shema uređaja za mjerenje udaljenosti zasnovanog na ultrazvučnom senzoru*

Iz slike 3.6. je vidljivo da su *VCC* nožice LCD16x2, Arduina i ultrazvučnog senzora spojene na izvor od 5V, analogno tomu su na uzemljenje spojene *GND* nožice komponenta. Ultrazvučni senzor sadrži 4 nožice, odnosno *VCC* i *GND* koji su veće spojene, te uz njih *Trig* i *Echo* nožice. *Trig* nožica koja predstavlja emiter senzora koji generira signal je spojena na *D9* nožicu, dok je *Echo* nožica spojena na *D10* nožicu Arduina, te predstavlja prijemnik senzora koji detektira signal. LED *D1* dioda spojena je na *D12* nožicu i uzemljenje te se ponaša kao indikator. Kako bi se ostvarila komunikacija između Arduina i LCD 16x2, *RS* nožica je spojena na *TX* nožicu. *RS* (engl. Register Select) nožica određuje u kojem će *modu* (engl. Command mode ili engl. Data mode – dodatno u prilogu P.3.3.) raditi LCD zaslon. Nožica *V0* je spojena na uzemljenje radi određivanja kontrasta zaslona, no budući da nema vanjskog izvora napona većih vrijednosti (12V i više) nije potrebno dodavati potencijometar za kontrolu kontrasta svjetlosti zaslona. Nožice *DB4 – DB7* su spojene na Arduino redom na nožice *D4-D7*, te se njihova funkcija ogleda u prikazu podataka koji su konfigurirani u mikro-upravljaču. Dodatno *LED+* i *LED-* nožice su spojene na 5V i *GND* zbog

toga što obavljaju operaciju iluminacije LCD zaslona, odnosno zaduženi su za rad i prikaz LCD-a. Otpornik je dodan na *LED*- nožicu radi ograničavanja struje kroz komponentu, ali i zbog produljenja radnog vijeka.

Načelno ultrazvučni senzor putem emitera odašilje ultrazvučni val, čiji se određeni dio nakon refleksije vraća na prijemnik. Kako bi se generirao val, nožica *Trig* (puni naziv – engl. *Trigger*) se mora postaviti u stanje logičke „1“. Vremensko trajanje impulsa će biti 10  $\mu$ s (Slika 3.7.). Potom će modul generirati 8 jednakih cikličkih impulsa[18]. Zatim *Echo* nožica prelazi u stanje logičke „1“, nakon prestanka emitiranja impulsa. Zatim će uslijediti „slušanje“ ili čekanje reflektiranog impulsa. U slučaju da se nije pojavio reflektirani impuls, vremensko trajanje logičke „1“ *Echo* nožice će biti 38 ms[18], te potom će preći u stanje logičke „0“. No, ako reflektirani impuls stigne na prijemnik, *Echo* nožica će dostići logičku „0“ prije 38 ms. Prema vremenu za koje je *Echo* nožica bila u stanju logičke „1“, može se zaključiti udaljenost koju je zvuk prešao. Stoga se određivanje udaljenosti koristi se (Formula 2-1) iz poglavlja 2.1.

### Vremenski dijagram ultrazvučnog HC-SR04 senzora



*Slika 3.7. Vremenski dijagram rada ultrazvučnog senzora[18]*

Kako bi u konačnici odredili udaljenost objekta, podatak o vremenu će biti iskorišten u programu prema kojemu je konfiguriran mikroupravljač. Za povezivanje ultrazvučnog senzora i LCD zaslona s Arduinoom, te ispis informacija o mjerenju izrađen je program u Arduino programskoj podršci. Program je pisan u C++ programskom jeziku (Slika 3.8.). Komunikacija preko Arduino IDE programske podrške je obavljena putem USB-a.



```
LCD_Rad$
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(1, 2, 4, 5, 6, 7);
const int trigPin = 9;
const int echoPin = 10;
long duration;
int distanceCm, distanceInch;
void setup() {
  lcd.begin(16,2);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
}
void loop() {
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  distanceCm= duration*0.034/2;
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Udaljenost:");
  lcd.print(distanceCm);
  lcd.print(" cm");
  delay(10);
  if(distanceCm > 50){
    digitalWrite(12, HIGH);
  }
  else{
    digitalWrite(12, LOW);
  }
  delay(100);
}
```

**Slika 3.8.** C++ kod za rad uređaja pri mjerenju udaljenosti na osnovu ultrazvučnog senzora

Iz slike 3.8. se vidi da se za LCD modul mora uključiti vanjska biblioteka *LiquidCrystal*, kako bi se omogućila znakovno-numerička komunikacija. U prilogu P.3.4. je prikazana biblioteka *LiquidCrystal*. Zatim se kreira LCD instanca koja prima parametre nožica *RS*, *E*, *DB4*, *DB5*, *DB6*, *DB7*. Ovi parametri služe za komandnu kontrolu i ispis LCD modula što je navedeno u prilogu P.3.3.. Prema shemi sklopa iz slike 3.6., nožice *Trig* i *Echo* su definirane kao konstante vrijednosti na pozicijama 9 i 10. Varijable *duration* i *distance* predstavljaju vrijeme koje se dobiva od ultrazvučnog senzora, te udaljenost koja će se računati formulom. U funkciji *setup()* je inicijalizirano sučelje za LCD zaslon u kojem se definiraju širina i visina modula. Naredbom *pinMode* je određeno je li inicijalizirana nožica izlazna ili ulazna. U funkciji *loop()* nožica *Trig* je postavljena u logičku „0“ na 2  $\mu$ s, kako bi početni uvjeti bili jednaki. Prema Slici 3.7. Trig je u prvih 10  $\mu$ s u logičkom stanju „1“, stoga se u kodu (Slika 3.8.) *Trig* nožica postavlja u stanje

logičke „1“(HIGH) na trajanje od 10  $\mu$ s funkcijom *digitalWrite()*. Pomoću funkcije *pulseIn()* iščitava se vrijeme putovanja zvučnog impulsa i sprema se u varijablu *duration* u mikrosekundama. Funkcija prima 2 parametra, od kojih se prvi parametar odnosi na pin s kojeg se očitava vrijednost, a drugi logičko stanje. Ovim naredbama započinje generiranje impulsa, te mjerenje vremena kroz koje ultrazvučni impuls putuje. Udaljenost se računa prema Formuli (2-1) i sprema se u varijablu *distanceCm*. Objekt *lcd* naredbama *setCursor* postavlja red u kojem će se podatci ispisivati, te ih funkcijom *print* ispisuje. Dodatno je u kodu naveden uvjet prema kojemu će se uključivati LED dioda u slučaju udaljenosti veće od 50 cm.

### 3.2.2. Realizacija uređaja

Komponente koje čine uređaj za mjerenje udaljenosti, kao što je prikazano na Slici 3.6. jesu:

- Ultrazvučni senzor HC-SR04
- Arduino Uno Rev3
- LCD 16x2
- Otpornici 220  $\Omega$

Na osnovu sheme iz slike 3.6. i testiranja rada, sklop je konstruiran i spojen na eksperimentalnoj pločici (Slika 3.9.)



*Slika 3.9. Realizacija sklopa za mjerenje udaljenosti zasnovanog na ultrazvučnom senzoru*

Prema slici 3.9. može se vidjeti određeno očitavanje LCD senzora. Uz implementaciju je vidljivo da je LED dioda uključena kako je u programskom kodu navedeno. Dodatno za funkcioniranje LCD

zaslona bilo je potrebno lemljenje nožica modula. U prilogima P.3.5. i P.3.6. su navedeni datasheet-i od LCD modula i Arduina.

## 4. REZULTATI MJERENJA

Mjerenja su rađena na uređajima za mjerenje udaljenosti koji se zasnivaju na IR i ultrazvučnom senzoru iz više aspekata. Prilikom mjerenja u obzir su se uzimali određeni faktori koji možebitno utječu na odstupanja mjerenja, te uvjeti pri kojima su mjerenja rađena.

### 4.1. Mjerenja na uređaju zasnovanom na infracrvenom senzoru

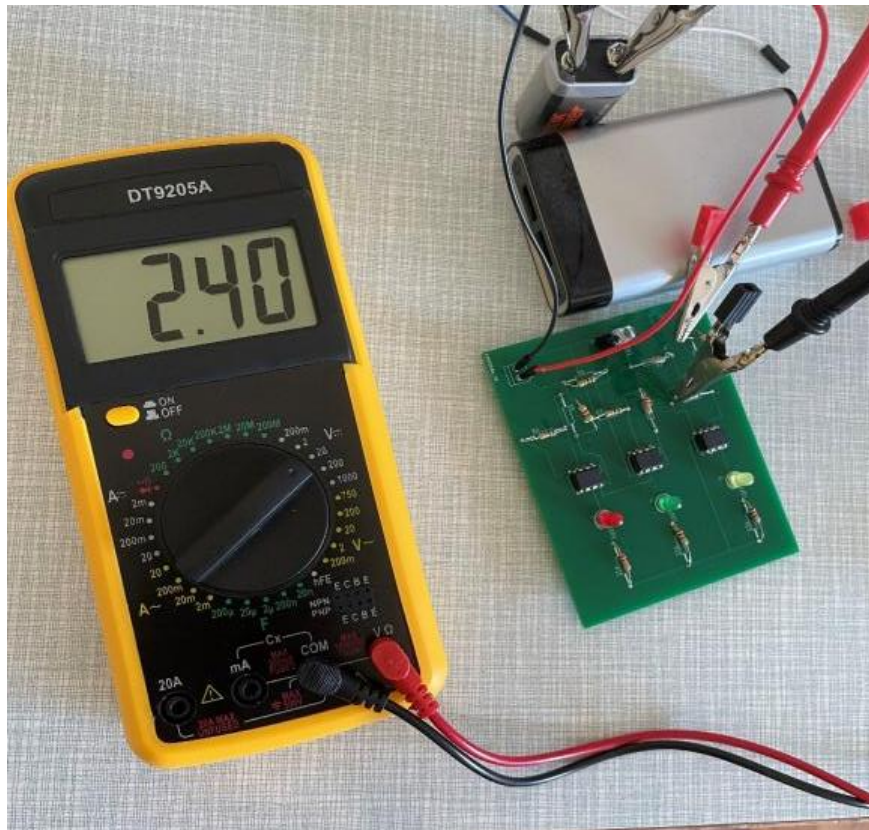
Uređaj zasnovan na IR senzoru, izrađen na PCB pločici (Slika 3.5.) podvrgnut je mjerenjima referentnih napona (napona na otpornicima R3 i R7, R4 i R8 te R5 i R9) i napona fotodiode(1N4007) prikazanih na Slici 3.1. Prilikom mjerenja napona, ujedno je mjerenja udaljenost objekta. Približavanjem objekta senzoru u trenutcima uključivanja LED dioda izmjerena je udaljenost. Mjerenja se napravljena na U1, U2 i U3 LM358 komparatorima i otporima vrijednosti R3(22 k $\Omega$ ) i R7(10 k $\Omega$ ), R4(10 k $\Omega$ ) i R8 (10 k $\Omega$ ), te R5 (4,7 k $\Omega$ ) i R9(10 k $\Omega$ ). Tablica 4.1. prikazuje dobivene podatke.

*Tablica 4.1. Dobiveni podatci tijekom mjerenja udaljenosti uređajem zasnovanim na IR senzoru*

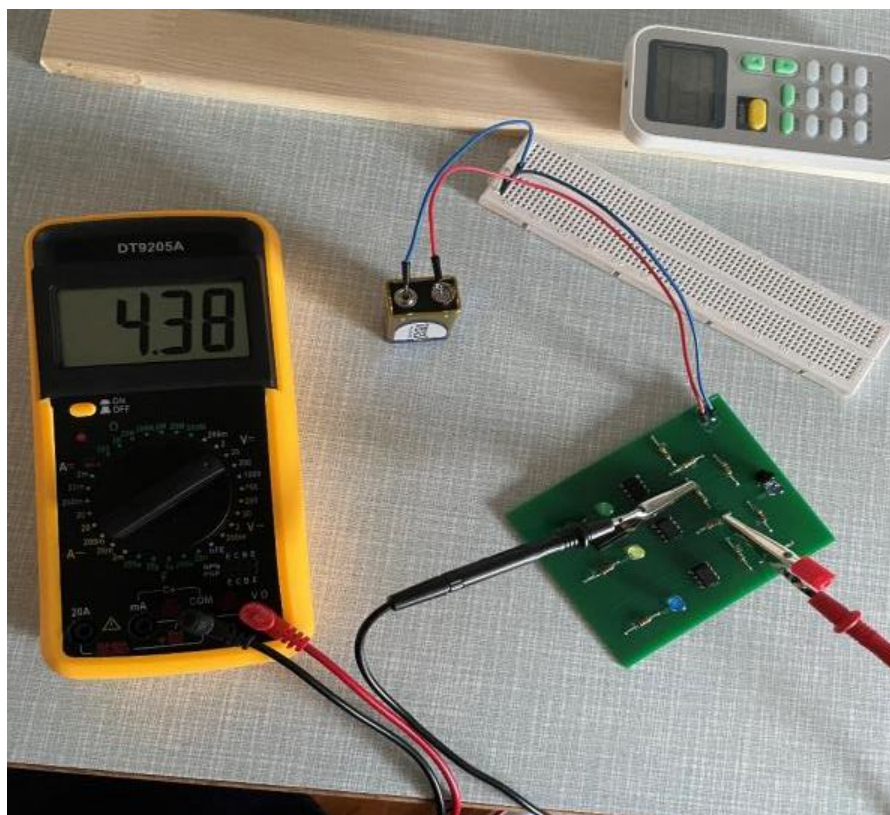
Udaljenost (cm)	Referentni napon (V) U1-U2-U3	Usporedni napon (napon foto-diode)(V)	Broj uključenih LED dioda
50	2.40 – 4.38 – 6.12	1.96	0
30	2.40 – 4.38 – 6.12	2.01	0
23	2.40 – 4.38 – 6.12	2.53	1
15	2.40 – 4.38 – 6.12	3.49	1
10	2.40 – 4.38 – 6.12	4.69	2
5	2.40 – 4.38 – 6.12	7.30	3

Iz Tablice 4.1. vidi se kako je referentni napon U1 konfiguriran pomoću otpornika R3 (22 k $\Omega$ ) i R7(10 k $\Omega$ ), te je dobivena vrijednost od 2.40 V što je prikazano na slici 4.1. Zatim izmjeren je referentni napon U2 na otpornicima R4(10 k $\Omega$ ) i R8 (10 k $\Omega$ ), te je iznosio 4.38 V što je prikazano na slici 4.2. U konačnici je izmjeren napon U3 na otpornicima R5 (4,7 k $\Omega$ ) i R9(10 k $\Omega$ ), čija je vrijednost bila 6.12 V što se može vidjeti na slici 4.3.

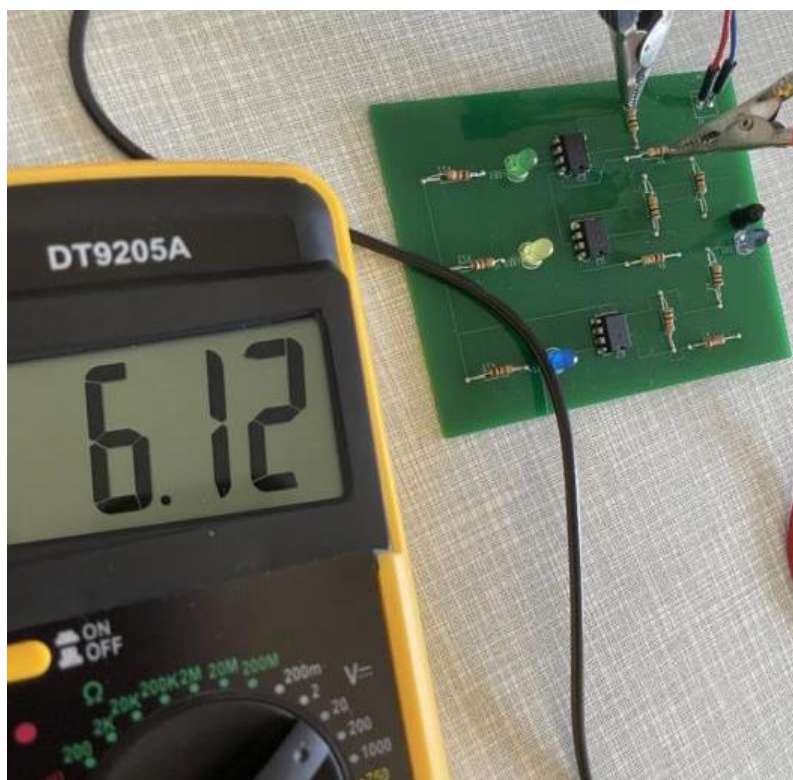




*Slika 4.1. Rezultat mjerenja referentnog napona na otpornicima R3 i R7*

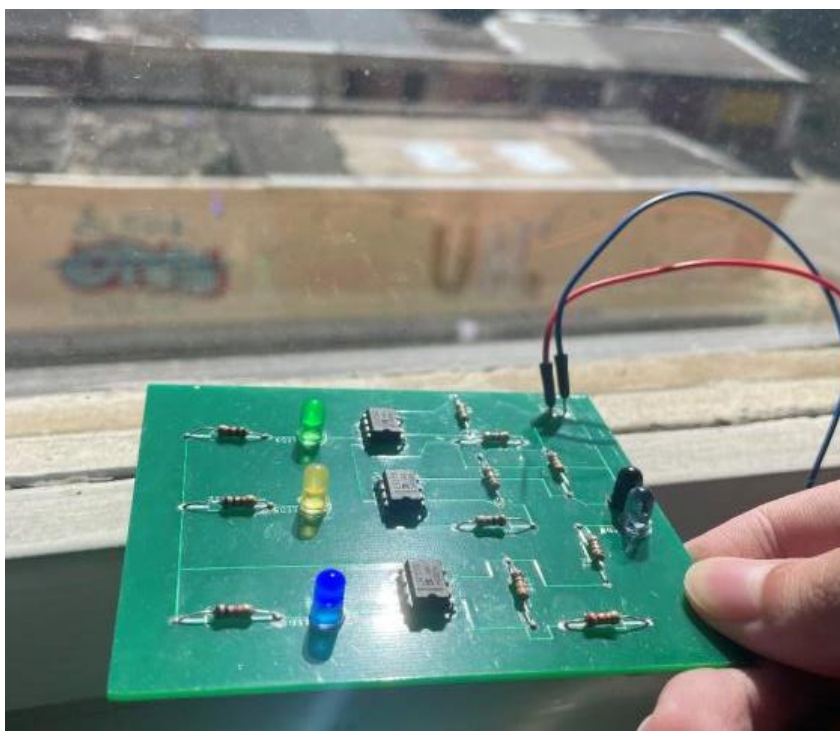


*Slika 4.2. Rezultat mjerenja referentnog napona na otpornicima R4 i R8*



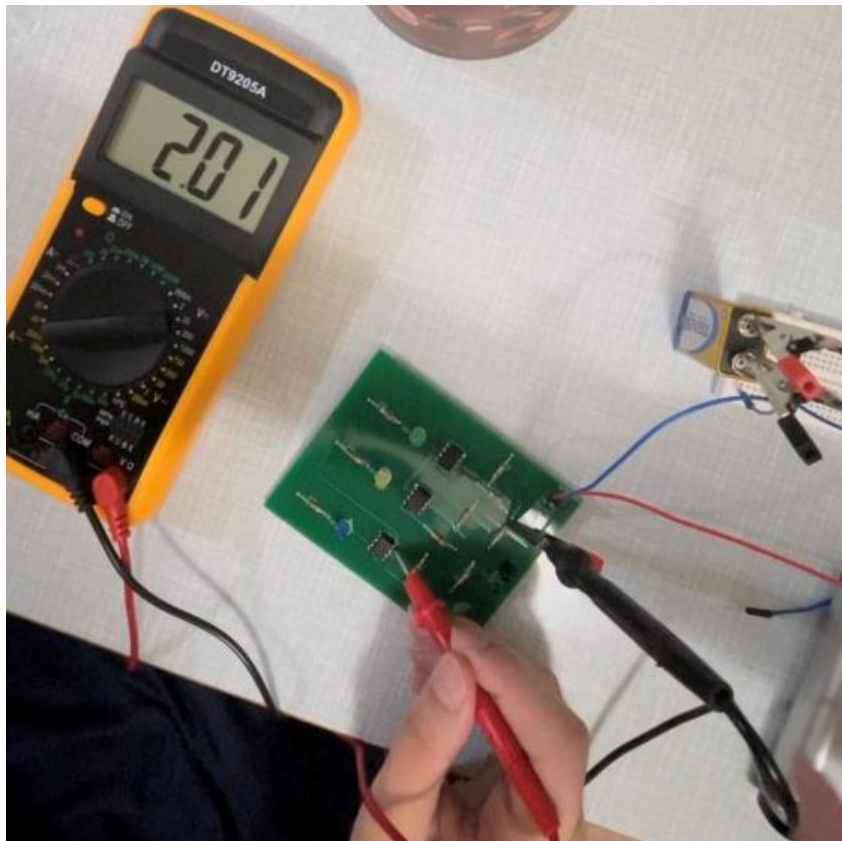
*Slika 4.3. Rezultat mjerenja referentnog napona na otpornicima R5 i R9*

Prilikom mjerenja je opaženo da u slučaju direktnog izlaganja sunčevim zrakama, svjetlosni valovi će interferirati s infracrvenim, što će za rezultat imati uključivanje svih LED dioda (zbog puno dolaska puno veće energije na foto-diodu) što je vidljivo na Slici 4.4.



*Slika 4.4. Prikaz uključivanja svih LED dioda uslijed izlaganja IR senzora direktnim sunčevim zrakama*

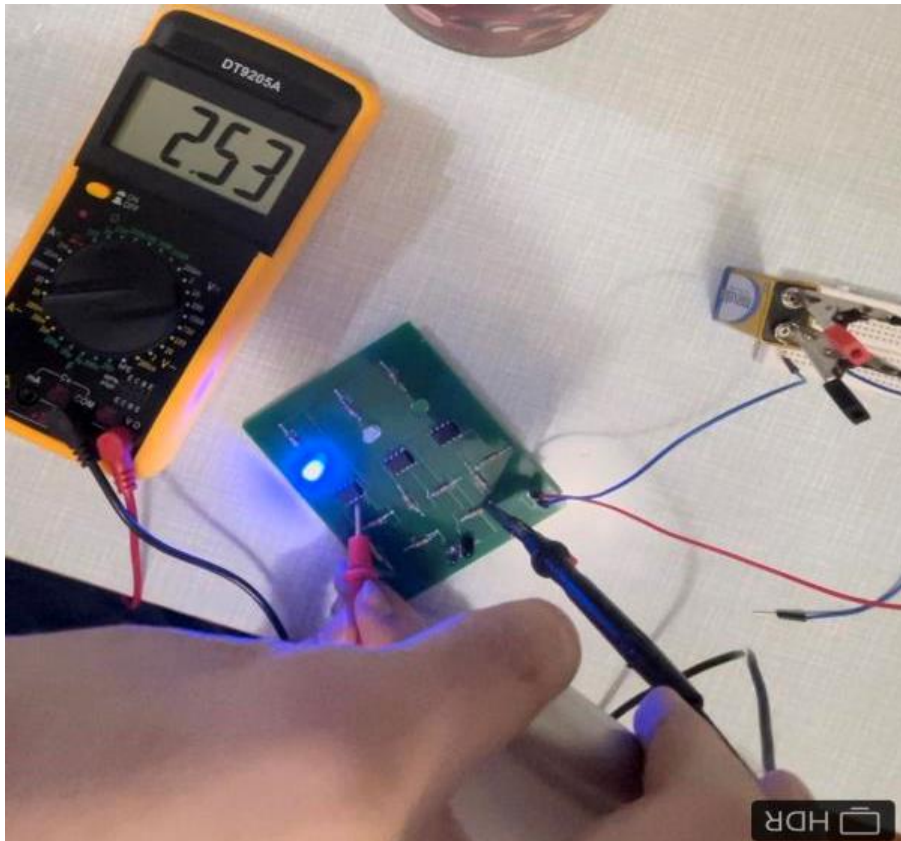
Istodobno je iz Tablice 4.1. vidljiva analogija između udaljenosti i usporednog napona. Smanjivanjem udaljenosti objekta od IR senzora povećava se usporedni napon. Tijekom prvih mjerenja površina o koju su se reflektirale zrake je izrađena od aluminijske (slike 4.5., 4.6., 4.7., 4.8., 4.9. i 4.10). Objekt koji je postavljen na udaljenosti veće od 25 cm neće uzrokovati znatnije povećavanje usporednog napona (napona foto-diode), te time napon neće biti veći od referentnog napona  $U_1$ , što je vidljivo na slici 4.5.



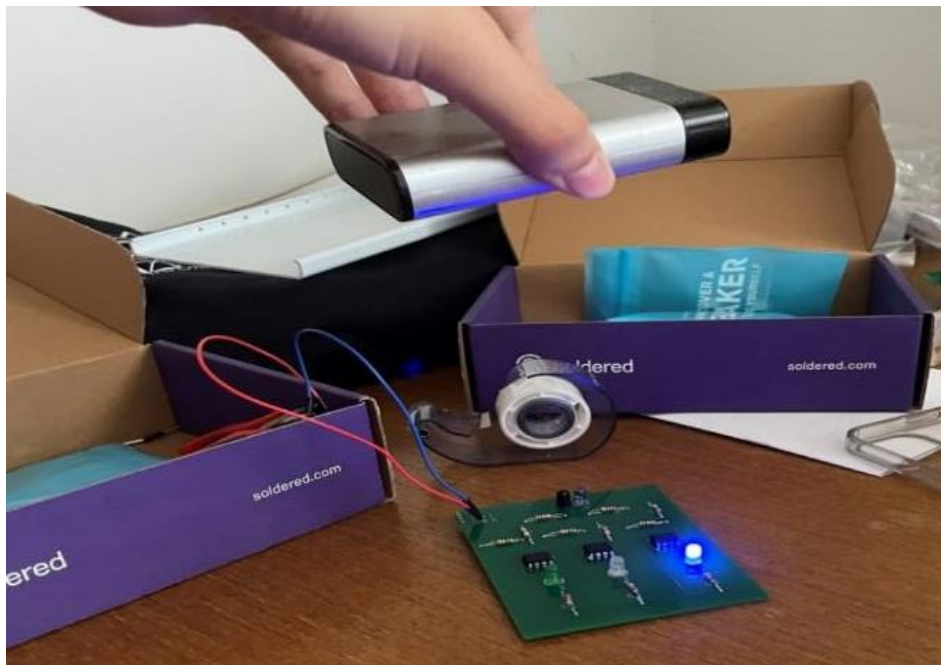
*Slika 4.5. Rezultat mjerenja usporednog napona na udaljenosti objekta većoj od 25 cm*

Prema slici 4.5. je vidljivo da je usporedni napon postigao vrijednost 2.01 V na udaljenosti većoj od 25 cm, te da se LED dioda nije uključila. Drugim riječima, na udaljenostima od 30 cm i više objekt neće biti detektiran. No, kako bi se LED dioda uključila potrebno je da vrijednost usporednog napona bude veća od referentnog odnosno od vrijednosti 2.40 V.

Daljnijim približavanjem objekta aluminijske površine dobiva se usporedni napon od 2.53 V na udaljenosti od 24 cm što rezultira uključivanjem LED diode. Rezultat mjerenja usporednog napona je prikazan na slici 4.6., a slika 4.7. prikazuje detekciju objekta iz drugog kuta na identičnoj udaljenosti, te je korišten isti objekt pri mjerenju. Također u narednim slikama će biti prikazano mjerenje usporednog napona na manjim udaljenostima, uz iluminacije svih LED dioda.

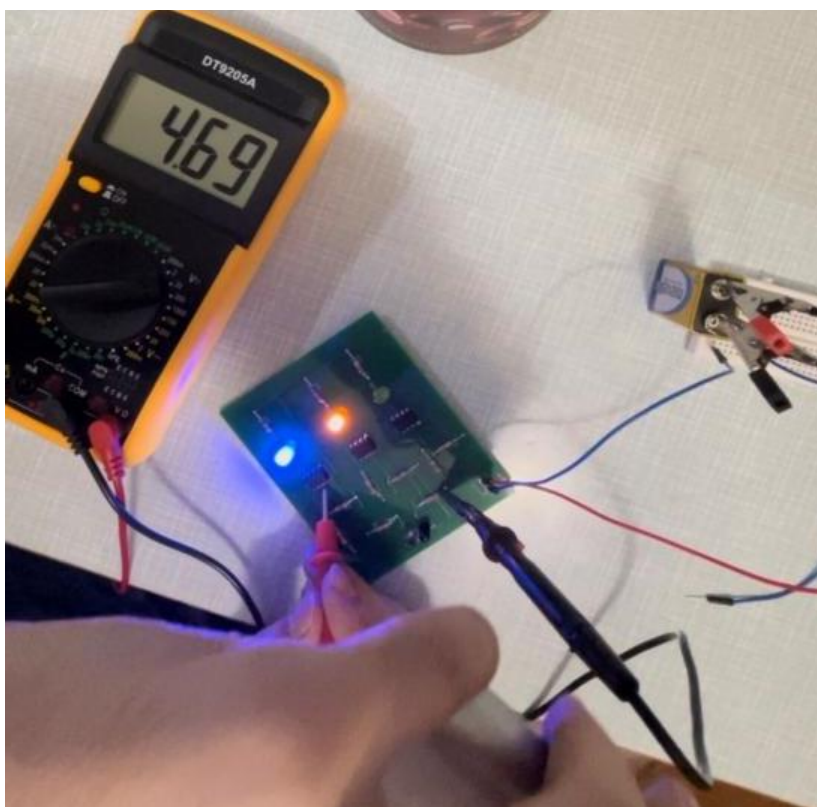


*Slika 4.6. Prikaz mjerenja usporednog napona na udaljenosti od 24 cm i iluminacije LED diode*

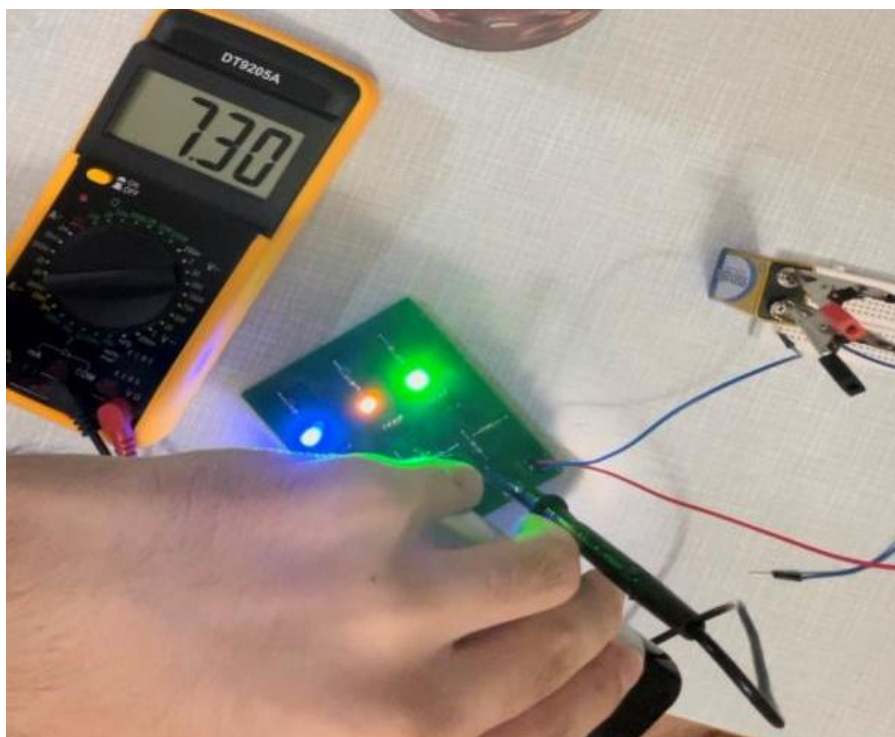


*Slika 4.7. Uključivanje LED diode pri udaljenosti od 23 cm (površina aluminij)*

Rezultat mjerenja usporednog napona na udaljenosti od 10 cm je iznosio 4.69 V, što se može vidjeti na slici 4.8. Također je korišten identičan objekt kao i za prošla mjerenja.

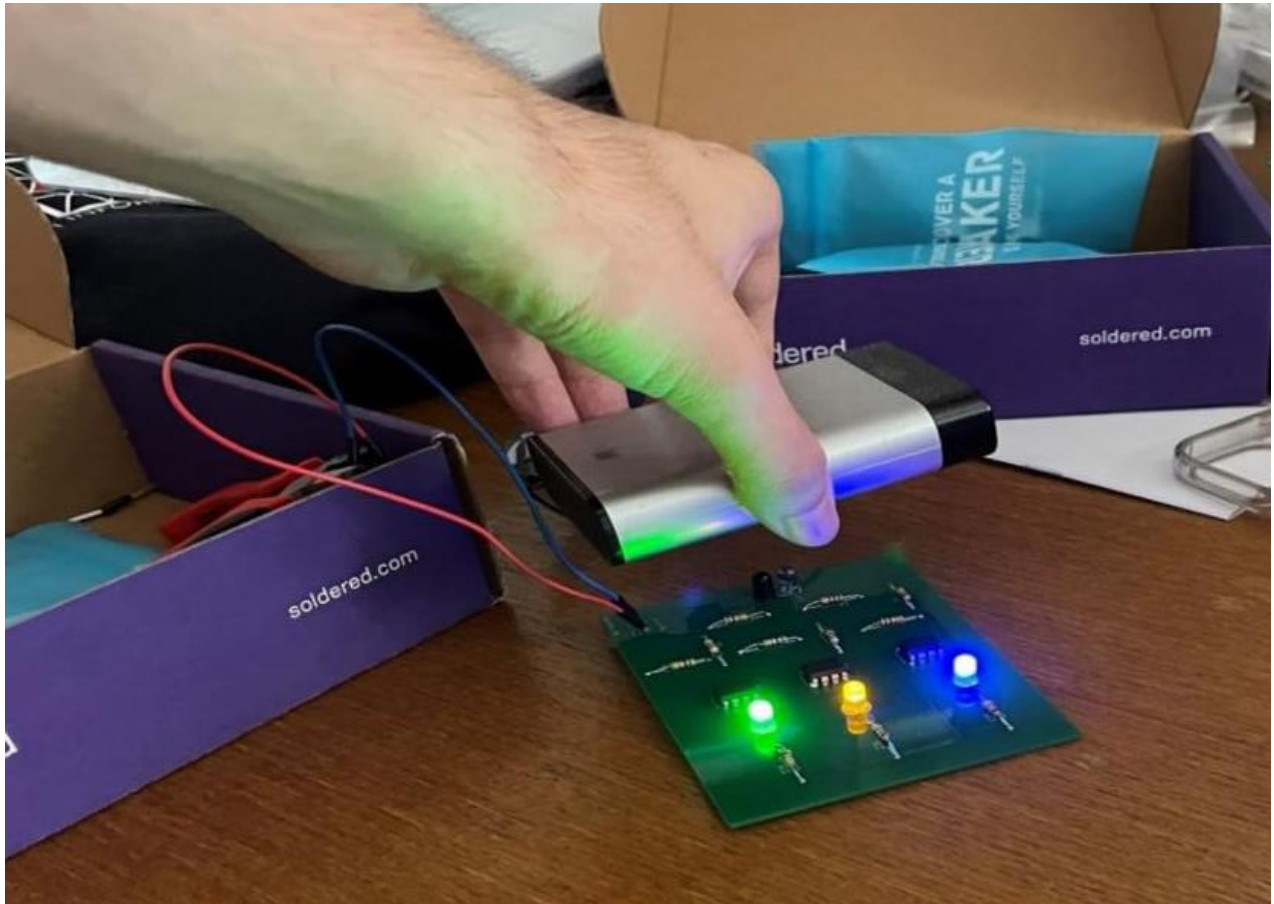


*Slika 4.8. Rezultat mjerenja usporednog napona na udaljenosti od 10 cm uz iluminaciju dvije LED diode  
U konačnici je na udaljenosti od 5 cm izmjeren usporedni napon, te je prikazan slikom 4.9.*



*Slika 4.9. Rezultat mjerenja usporednog napona na udaljenosti od 5 cm uz iluminaciju svih LED dioda*

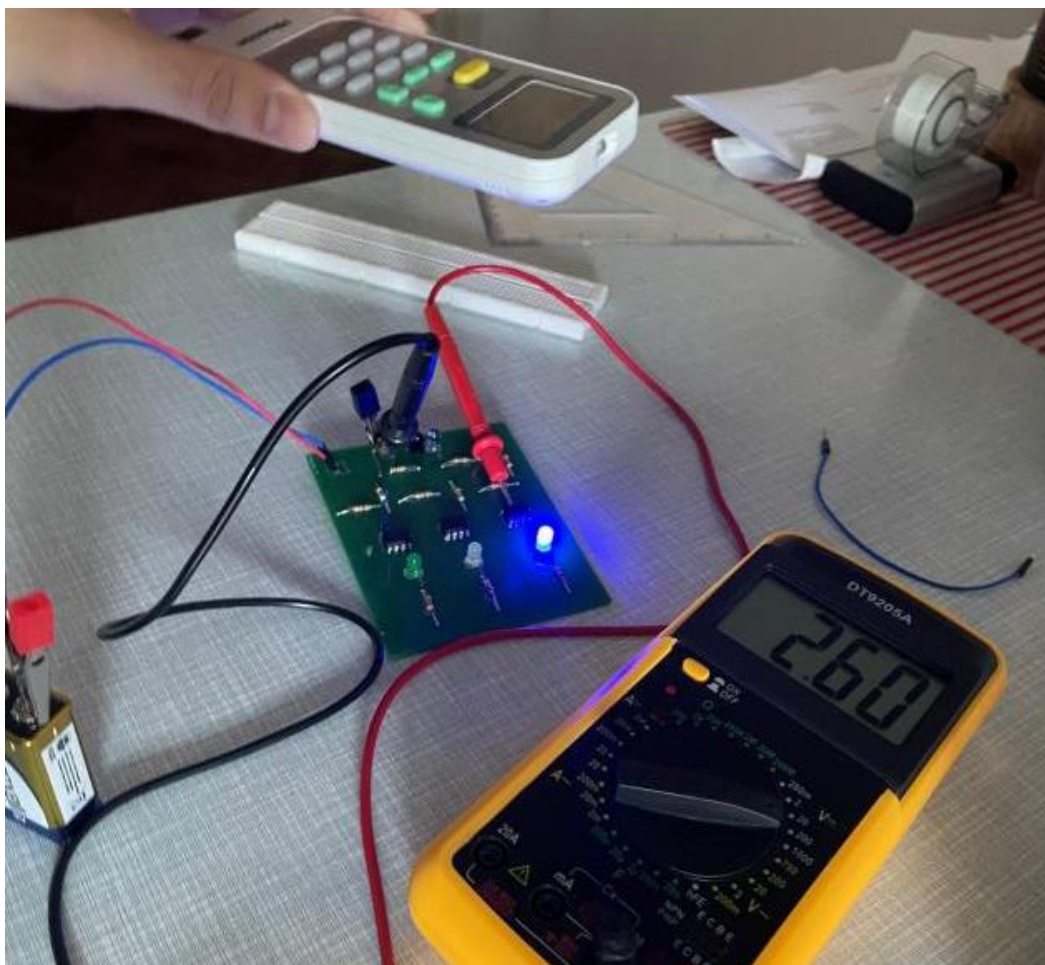
Iz drugog kuta je prikazana detekcija objekta na udaljenosti od 5 cm, što se može vidjeti na slici 4.10.



*Slika 4.10. Prikaz rada sklopa u neposrednoj blizini objekta i senzora*

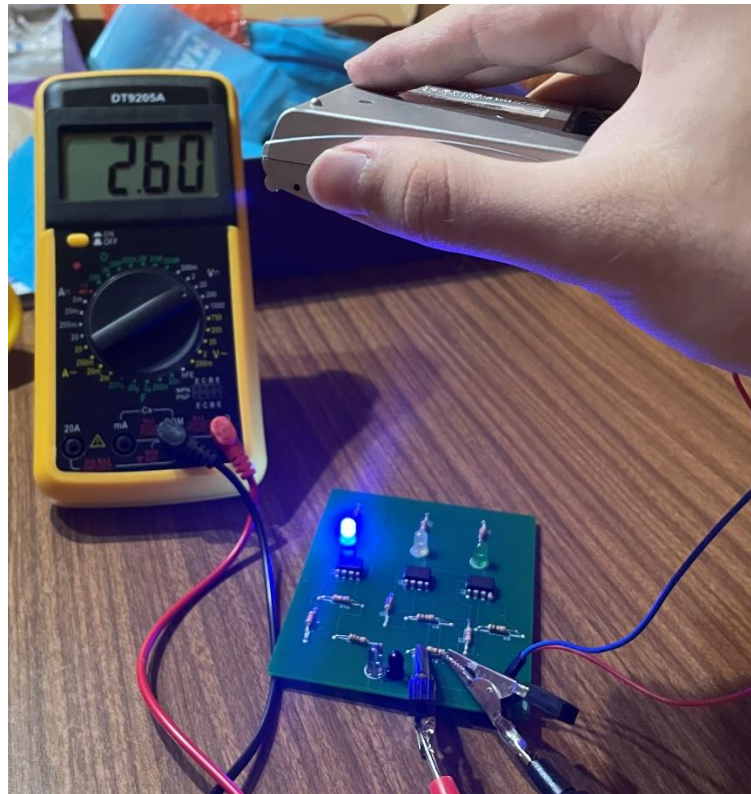
Prema slici 4.10. je vidljiva iluminacija svih triju LED dioda, na udaljenosti od 5 cm. Time su postignute vrijednosti usporednog napona veće od 7.30 V, čiji je rezultat prikazan na slici 4.9.

Vrste materijala, te boja površine imaju značajnu ulogu prilikom mjerenja udaljenosti. Zbog boljeg faktora refleksije, veće energije reflektiranih valova su zaprimljene na prijemniku. To se ogleda u razini usporednih napona (napona foto-diode) koje se postižu prilikom mjerenja. Mjerenja su odrađena na određenim vrstama površina uzimajući obzir boje koje su te površine imale, zatim su postignute korelacije između napona i udaljenosti objekta. Analogno mjerenjima izvedenim na objektu čija je površina aluminij, izvedena su mjerenja na površinama od plastike, drveta, metala i kože. Kako bi se uvidio utjecaj različitih materijala od kojeg su površine načinjene mjerenja su rađena tako da su izmjerene vrijednosti usporednog napona približno jednake. Pomoću tog principa se može uočiti postojanje razlike u dobivenim rezultatima u ovisnosti od materijala. Stoga, prema slici 4.11. se može vidjeti detekcija objekta čija je površina plastika. Mjerenje je rađeno na udaljenosti od 19 cm, te je postignut napon 2.60 V.



*Slika 4.11. Detekcija plastične površine objekta na udaljenosti od 19 cm*

Iz slike 4.11. se može vidjeti da je za plastični objekt potrebna manja udaljenost kako bi se usporedni napon (napon foto-diode) dovoljno povećao da se LED dioda uključi, odnosno da bude veći od referentnog  $U_1$  napona. Dodatno, korišteni objekt je bijele boje koja ima bolja svojstva refleksije [23], odnosno više valova će se reflektirati na prijemnik. U slučajevima da objekt detekcije ima crnu površinu rezultati će biti drugačiji. Budući da crna boja najviše apsorbira emitirane zrake, potrebno je objekt približiti senzoru na udaljenost od 7 cm, kako bi se uključila LED dioda i postigao veći usporedni napon (napon foto-diode) od 2.52 V što je vidljivo na slici 4.15. Dakle, kako vrsta površine tako i boja imaju bitnu ulogu pri detekciji objekta pomoću IR senzora. No, ipak za svjetlije boje poput (svijetlo sive, žute, plave) neće biti većih odstupanja za amplitude napona pri mjerenjima udaljenosti, za razliku od crne i iznimno tamnih boja za koje će se rezultati mjerenja promijeniti u većim razmjerima. Za navedene boje su mjerenja dodatno potkrepljena slikama 4.12., 4.13, i 4.14. iz kojih se može vidjeti da su udaljenosti objekta od senzora približno jednake.

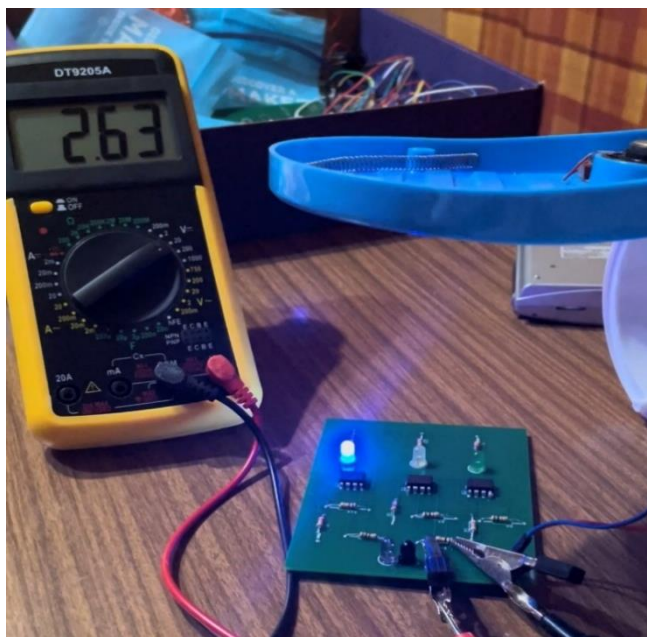


*Slika 4.12. Detekcija plastičnog objekta sive boje na udaljenosti od 18 cm*



*Slika 4.13. Detekcija plastičnog objekta žute boje na udaljenosti od 16 cm*





*Slika 4.14. Detekcija plastičnog objekta plave boje na udaljenosti od 18 cm*

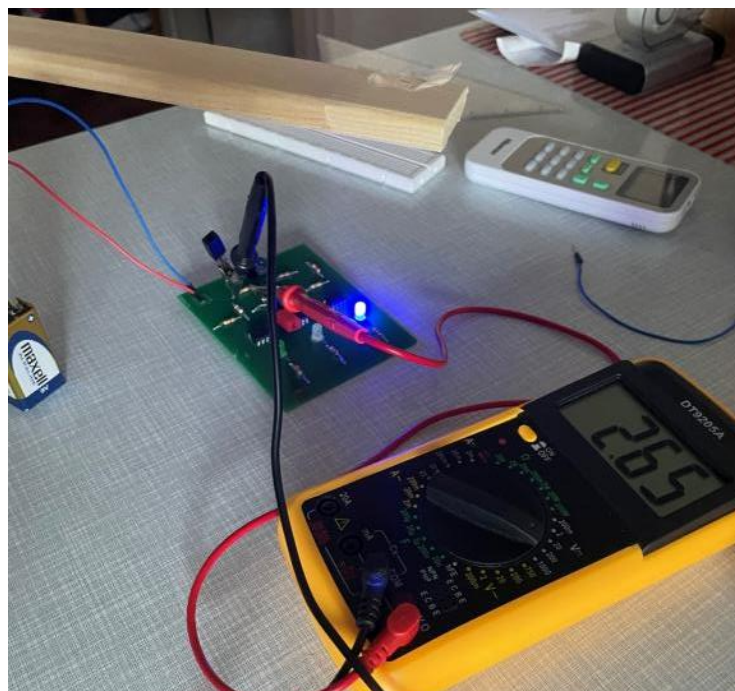
Analogno mjerenjima na plastičnim površinama, ista praksa će vrijediti i za drvo, metal i aluminij, gdje će svjetlije boje pokazati bolja svojstva pri detekciji.

Mjerenje je izvedeno na udaljenosti od 15 cm, te je postignut napon od 2.65 V.



*Slika 4.15. Prikaz mjerenja usporednog napona pri detekciju plastičnog objekta crne boje na udaljenosti od 7 cm uz iluminaciju jedne LED diode*

Također, uz vrstu boje bitan faktor koji se javlja kod drugog tipa površine objekta jest struktura površine. Drvene površine su često hrapavije zbog čega može doći do većeg raspršenja reflektiranih valova, a time i drugačijih rezultata mjerenja, čiji je rezultat prikazan slikom 4.16.



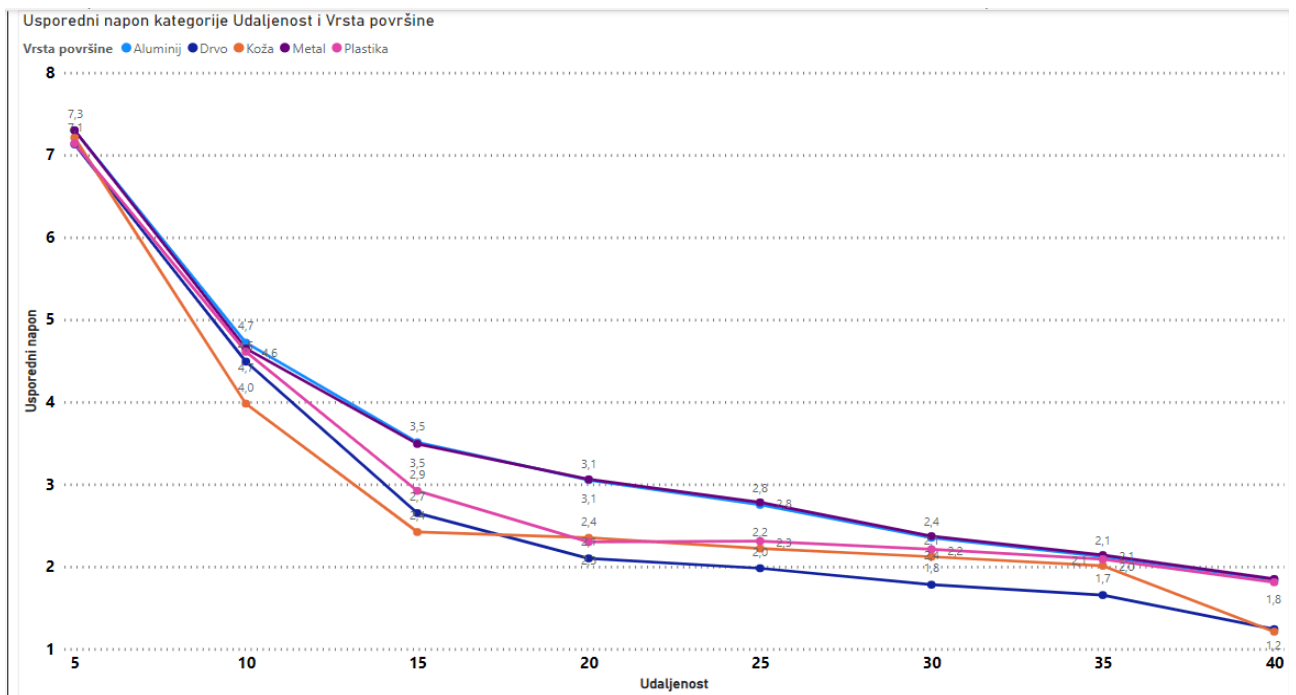
*Slika 4.16. Detekcija drvene površine objekta na udaljenosti od 15 cm*

U konačnici je korištena metalna površina objekta pri mjerenju na udaljenosti od 27 cm (slika 4.17.), te je dobiven napon od 2.62 V.



*Slika 4.17. Detekcija metalne površine objekta na udaljenosti od 27 cm*

Detaljni podatci dobiveni mjerenjem su dodatno opisani grafikonom (Slika 4.18.)

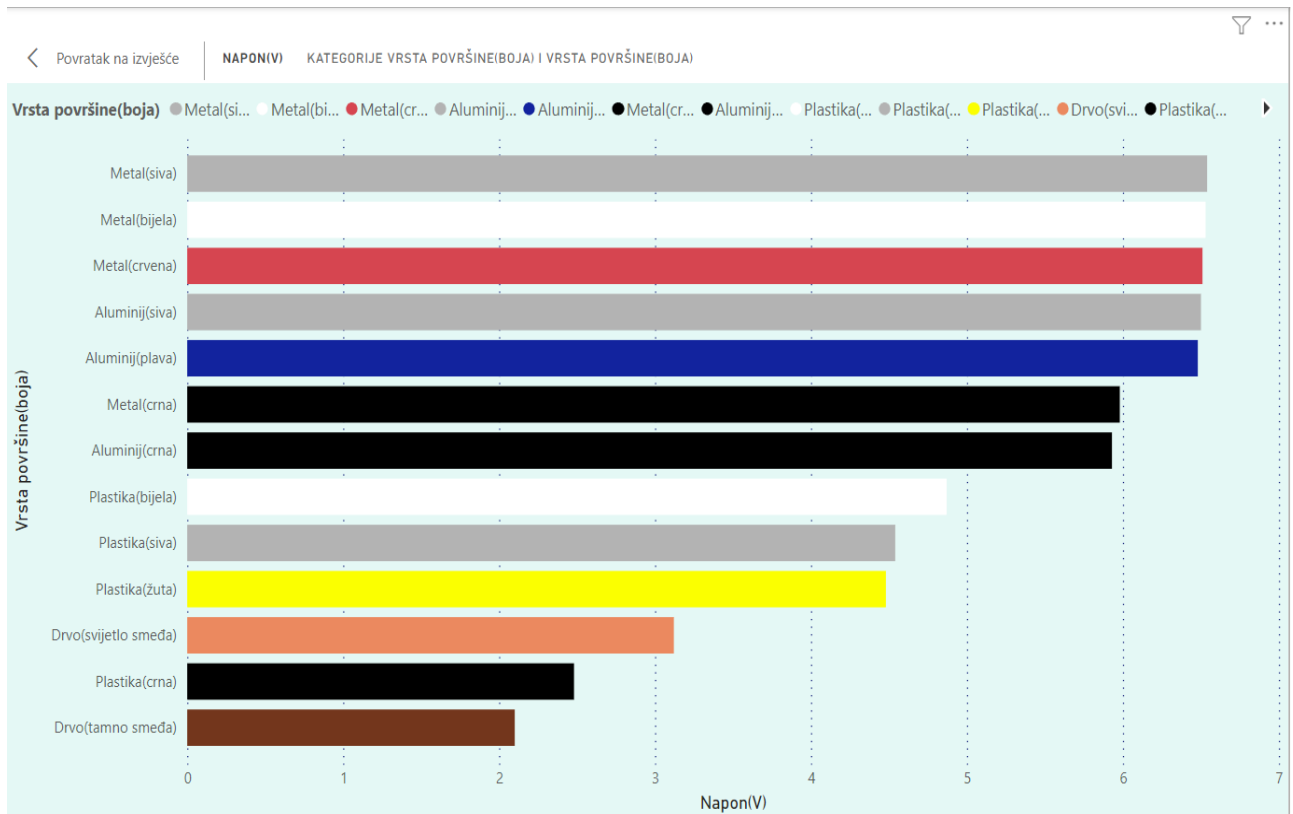


*Slika 4.18. Mjerene vrijednosti udaljenosti i napona na osnovu različitih površina, izvedena na osnovu uređaja s IR senzorom*

Iz slike 4.18. vidi se grafički prikaz vrijednosti usporednog napona i udaljenosti za različite vrste materijala. Linijskim grafikonom predstavljena je korelacija između dvaju varijabli. Iako je veličina površine imala minornu ulogu, pri mjerenju su korišteni objekti čije veličine površine nisu u većim razmjerima međusobno odstupale. Zbog toga za svaku od navedenih vrsta površina napon postiže skoro identičnu vrijednost na udaljenosti od 5 cm i manje. To je evidentno zbog same veličine površine objekta koja je pri izvedenim mjerenjima „prekrivala“ senzor, te je time isporučivana veća količina energije prijemniku. Kako se objekt odmiče od senzora, veći broj reflektiranih valova neće stići na prijemnik, te time je energija manja, što se očituje i manjom vrijednošću izmjerene amplitude napona.

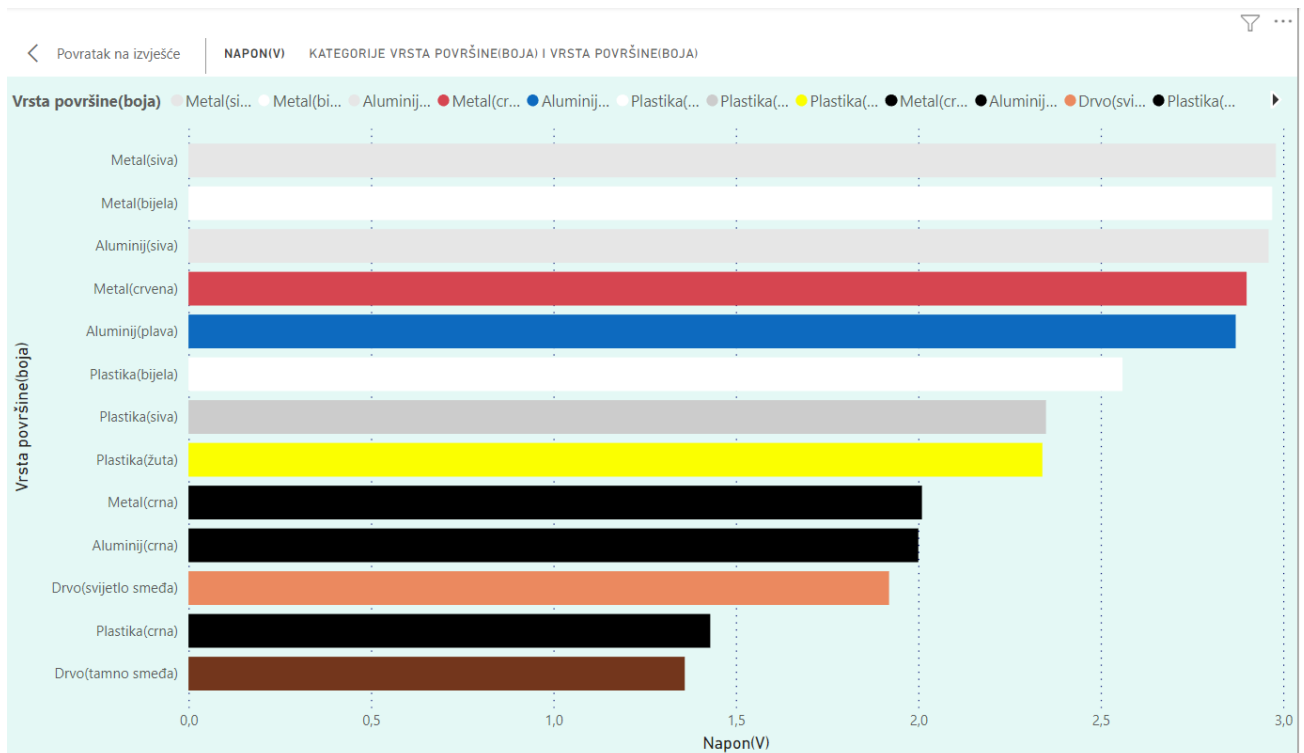
Drvo zbog svoje strukture je materijal koji najvećim dijelom apsorbira IR zrake, te time je potrebno Plastika i aluminij imaju slične vrijednosti na navedenim udaljenostima, s time da aluminij u nekim slučajevima je postigao veće vrijednosti napona. Dok je metal u konačnici postigao najbolje rezultate, odnosno objekti s tim površinama su detektirani na najvećim udaljenostima. Dobiveni rezultati se poklapaju s tvrdnjama da metal i aluminij najbolje reflektiraju infracrvene zrake[24], dok takav slučaj nije kod kože i drveta, što se može i na grafu uočiti odnosom između udaljenosti objekta i izmjerene amplitude napona.

Dodatan čimbenik koji uz vrstu površine utječe jest boja. Razlog zbog kojeg boja utječe na konačni rezultat leži u tome što uz vrstu materijala od kojeg je načinjena površina, različite boje određenim intenzitetom upijaju IR zračenje, te se time određuje visina stupnja refleksije, odnosno ukupan broj odbijenih valova. Boja kao takva imala je utjecaj pri refleksiji, što je i vidljivo prema vrijednostima koje su postignute za plastične površine iz slika (4.11-4.15.) i grafa sa slike 4.19. S druge strane za metalne i aluminijske površine koje su svjetlijih boja veći broj zraka se reflektirao na prijemnik, što se očitovalo većim usporednim naponom kako je vidljivo na slici 4.19.



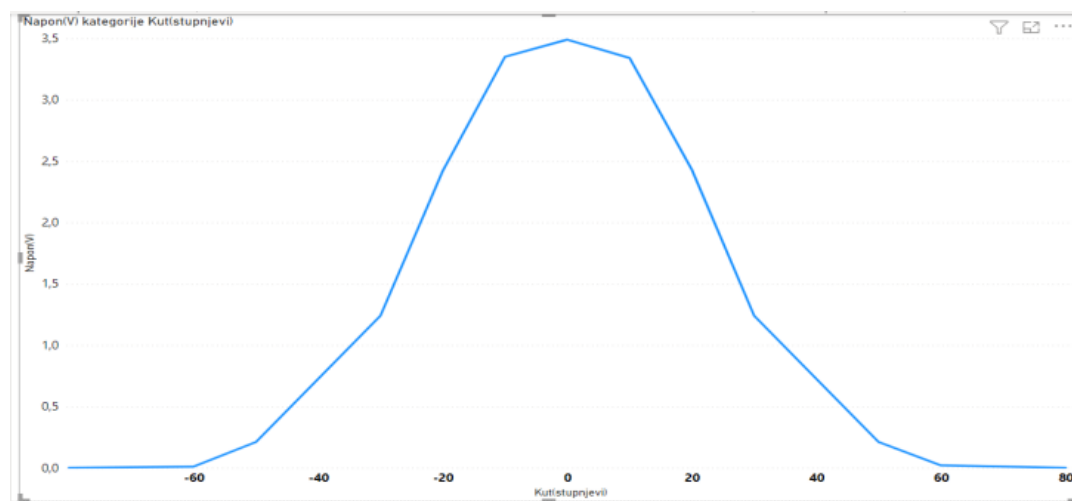
**Slika 4.19.** Detekcija objekata na udaljenosti od 10 cm

Slika 4.19. prikazuje rezultate dobivene mjerenjem različitih vrsta površina i različitih boja za svaku od površina na fiksnoj udaljenosti od 10 cm. Iz grafikona se može vidjeti da su svjetlije boje imale veću amplitudu napona, te da je odstupanje između rezultata vidljivo kako se boje razlikuju. Osobito se može uočiti da je kod svake vrste površine najkasnije detektirana crna boja, dok najprije bijela. Mjerenja na istom principu su rađena i prikazana na slici 4.20. s razlikom da je udaljenost objekta bila 20 cm. Dobiveni rezultati glede odstupanja izmjerenih vrijednosti između boja i vrsta površina se podudaraju s onima iz slike 4.19. uzimajući u obzir da je zbog većih udaljenosti manja amplituda napona.



**Slika 4.20.** Mjerenje udaljenosti objekata različitih boja i vrsta površini na udaljenosti od 20 cm

Na mjerenje udaljenosti dodatno je utjecao kut pod kojim su objekti postavljeni. Načelno raspon kuta u kojem bi senzor detektirao objekt se kreće od  $-22,5^\circ$  i  $22,5^\circ$  [16]. Na temelju toga su rađena mjerenja na metalnoj površini objekta sive boje prikazana slikom 4.21.



**Slika 4.21.** Grafički prikaz mjerenja usporednog napona (napon foto-diode) u odnosu na različite vrijednosti kutova pri udaljenosti metalnog objekta sive boje od 15 cm

Na slici 4.21. se vidi primjer Gaussov-e raspodjele izmjerenih vrijednosti napona u odnosu na kutove. Primjetno je značajno povećanje napona u rasponu od  $-20$  do  $20^\circ$ . To je područje u kojemu se najviše reflektiraju valovi, pri čemu dolazi do veće akumulacije energije na prijemnik. Iz

navedenog vrijedi da za što preciznije rezultate mjerenja je potrebno postaviti unutar optimalnog raspona kutova.

## 4.2. Mjerenja na uređaju zasnovanom na ultrazvučnom senzoru

Uređaj zasnovan na ultrazvučnom senzoru spojen je na eksperimentalnoj pločici, te je rezultat mjerenja prikazan na LCD zaslonu (Slika 4.22.). Budući da su rezultati mjerenja dobiveni kroz mikroupravljač uz njihov prikaz na zaslonu u centimetrima, napravljena je usporedba izmjerenih udaljenosti između ultrazvučnog senzora i džepnog metra. Prilikom pomicanja objekta doći će do isključivanja i uključivanja LED diode prema tomu kako je mikroupravljač programiran (Slika 3.8.). Mjerenja su rađena na sobnoj temperaturi koja ima značajan učinak na krajnji rezultat [9]. Dodatno, faktor koji je utjecao na mjerenje je kut pod kojim je objekt postavljen, te veličina površine objekta.

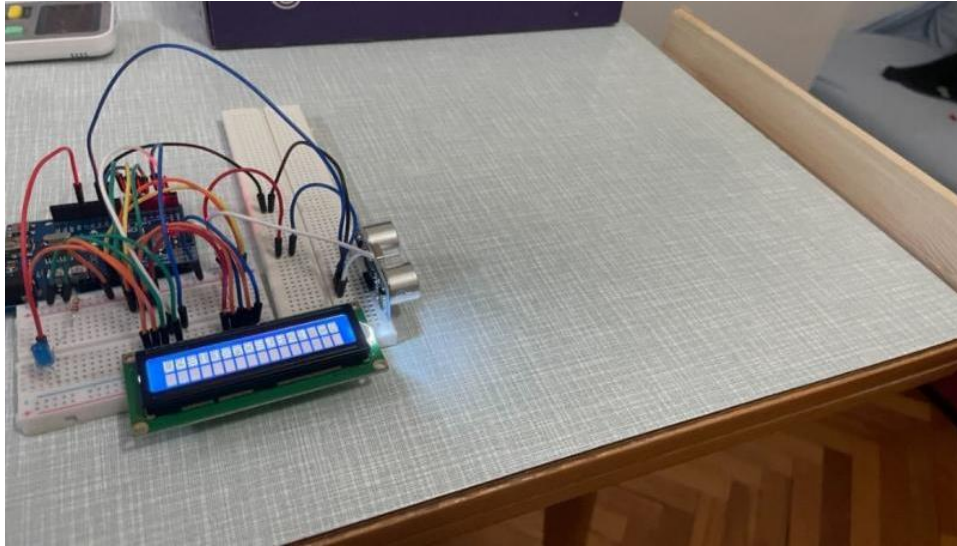
Prema slici 4.22. senzor je izmjerio udaljenost od objekta čija je površina plastika. Daljnja detaljnija mjerenja su izvođena navedenim postupkom prema slici 4.22. Dodatno su izmjerene udaljenosti na različitim površinama objekata poput metala, aluminija, drveta i kartona.



*Slika 4.22. Prikaz mjerenja udaljenosti objekta plastične površine*

Iz slike 4.22. se može vidjeti da je izmjerena udaljenosti od 23 cm što je prikazano na LCD zaslonu. Mjerenje je urađeno pri sobnoj temperaturi, uz optimalan kut emitiranja valova koji se kreće između  $0 - 2^\circ$ .

Sljedeće mjerenje je izvedeno na drvenoj površini čiji su rezultati vidljivi na slici 4.23.



*Slika 4.23. Prikaz mjerenja udaljenosti od objekta drvene površine*

Iz slike 4.23. se vidi rezultat mjerenja udaljenosti od 24 cm. Uvjeti pri kojima je mjereno su identični onima iz prethodnog mjerenja.

Izvedeno je mjerenje i na metalnoj površini objekta, te su dobiveni jednaki rezultati kao i za dva prethodna mjerenja što se može vidjeti na slici 4.24.

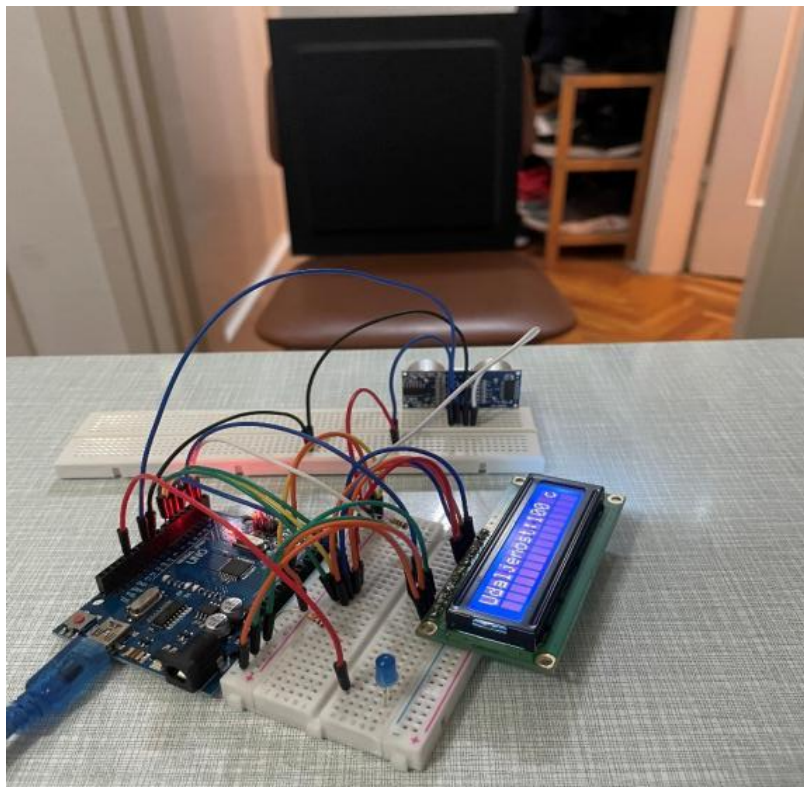


*Slika 4.24. Prikaz mjerenja udaljenosti od objekta metalne površine*

Iz slika 4.22., 4.23. i 4.24. može se vidjeti da su rezultati mjerenja podjednaki neovisno o vrsti površine. Takav zaključak proizlazi iz vrste valova koje senzor emitira. Riječ je o ultrazvučnim valovima koji zbog drugačijih valnih duljina i frekvencija na kojima titraju nisu previše osjetljivi na boje, strukturu površine i vanjske faktore (poput sunčevih zraka i sl.). Između ostalog, ultrazvučni valovi su zapravo zračna strujanja koja imaju relativnu dobru otpornost na bilo kakve

vanjske podražaje (pijesak, prašina, voda, magla i sl.) u zraku, dok u vakuumu zbog nepostojanja zračnih strujanja senzor ih ne bi mogao detektirati. Stoga je ultrazvučni senzor i efikasniji i pouzdaniji uređaj za mjerenje uz manu nedovoljne preciznosti. Dakako će se moći iz prethodnih i budućih slika zaključiti da ultrazvučni senzor ima mogućnost mjerenja i detekcije objekta na većim udaljenostima, dok kod IR senzora to je bilo ograničeno na 27 cm u slučaju metalne površine koja ima svjetliju boju, a kod drugih površina čak i manje. Pri većim udaljenostima se mogu dobiti krivi podatci, jer postoji mogućnost da se val nasumično reflektira o neku bližu površinu od one prema kojoj se mjeri udaljenost. Budući da nije bilo vidljive razlike pri mjerenju s različitim vrstama površina mjerenje je izvedeno na aluminijskoj površini, kako bi se odredila preciznost mjernog uređaja. Također za sva mjerenja na različitim udaljenostima su analogno rađena mjerenja pomoću džepnog metra.

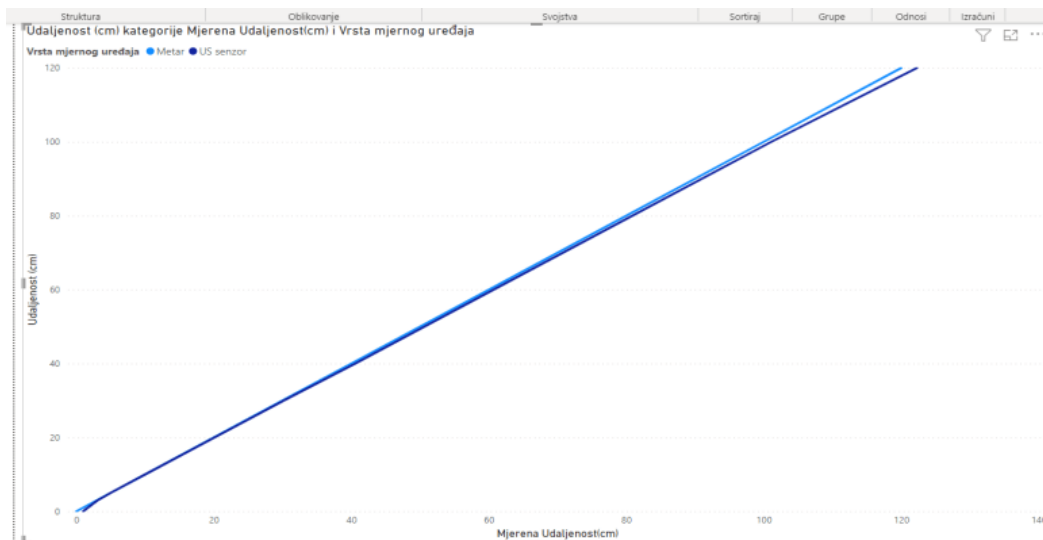
Prema slici 4.25. može se vidjeti mjerenje udaljenosti od objekta aluminijske površine, te rezultat mjerenja. Na objektu sa slike 4.25. su izvedena mjerenja i na drugim udaljenostima, te je izvršena usporedba s džepnim metrom.



*Slika 4.25. Mjerenje udaljenosti od objekta aluminijske površine*

Dobiveni podatci usporedbe senzora i džepnog metra su prikazani grafikonom na slici 4.26.





*Slika 4.26. Rezultati usporednog mjerenja udaljenosti pomoću ultrazvučnog senzora i džepnog metra*

Slika 4.26. prikazuje rezultate mjerenja koji su postignuti usporednim mjerenjem pomoću senzora i džepnog metra. Vidljivo je određeno odstupanje pri mjerenju s ultrazvučnim sensorom u odnosu na metar. Na udaljenosti od 120 cm, što je zabilježio ultrazvučni senzor, džepni metar je pokazao rezultat od 121,24 cm. Približavanjem objekta senzoru odstupanja se smanjuju, te na udaljenostima 40 cm i niže dolazi do izjednačavanja izmjerenih vrijednosti. U obzir su uzete pojave krivog očitavanja skale metra i veličina površina objekta, kao uzroci odstupanja rezultata. No, pri udaljenostima manjima od 3 cm, ultrazvučni senzor nije pokazivao rezultate mjerenja, odnosno prikazivana je udaljenost 4 cm (Slika 4.27). Kut odašiljanja valova se kretao u rasponu (-5 do 5)°.



*Slika 4.27. Mjerenje i prikaz mjernog rezultata na udaljenosti manjoj od 1 cm*

Prema slici 4.27. se može vidjeti da se objekt nalazi u neposrednoj blizini senzora, gdje je međusobna udaljenost manja od 1 cm. No, vidljivo je da se na LCD zaslonu prikazuje rezultat od 4 cm, što nije točan rezultat mjerenja s obzirom gdje se objekt nalazi. Također u određenim slučajevima gdje bi u potpunosti prekrili odašiljač i prijemnik senzora dolazilo bi do prikazivanja nasumičnih vrijednosti na LCD zaslonu. Ova nemogućnost dobivanja točnog mjernog rezultata proizlazi iz razloga što se prilikom emitiranja ultrazvučnih valova, oni odmah reflektiraju natrag na odašiljač. Drugim riječima, niti jedan val reflektirani val neće dospjeti na prijemnik, pri čemu nožica prijemnika *Echo* neće poslati nikakav signal mikroupravljaču što će rezultirati prikazanom vrijednošću mjerenja na LCD zaslonu (Slika 4.27).

Također, velik utjecaj ima i veličina površine objekta [20] od kojeg se mjeri udaljenosti. Mjerenje je rađeno na objektima od kartonskih površina. Prvi objekt je veličine 17x23 cm, dok drugi je 27x30cm. Stoga slika 4.28. prikazuje mjerenje udaljenosti na objektu od kartona čija je veličina površina 17x23cm.

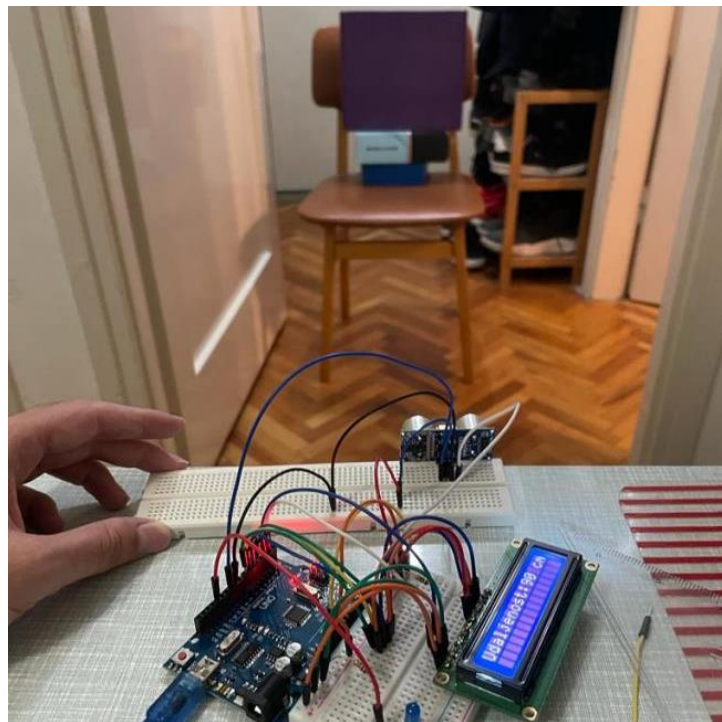


**Slika 4.28.** Mjerenje udaljenosti od objekta kartonske površine veličine 17x23 cm

Na slici 4.28. se vidi da je ultrazvučni senzor direktno usmjeren prema objektu, te da je izmjerena udaljenost od 49 cm. Također su u obzir uzeti uvjeti sobne temperature od 24 ° Celzijevih, što

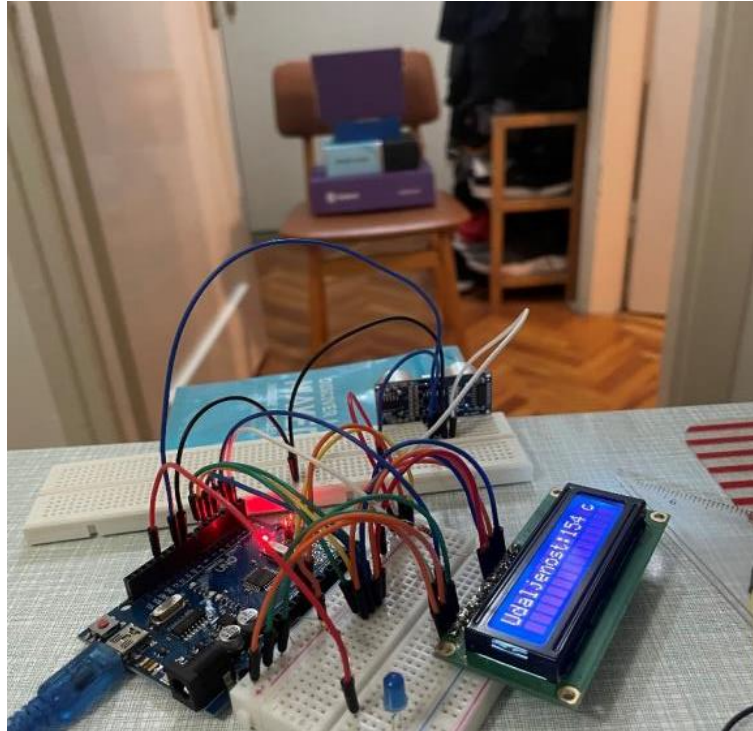
možebitno može utjecati na mjerenje. Istodobno je izmjerena udaljenost džepnim metrom u iznosu od 49.9 cm.

Pri povećavanju udaljenosti objekta od senzora je evidentirano dobivanje rezultata na slici 4.29. koji značajno odstupaju od vrijednosti izmjerenih džepnim metrom. Naime, izmjerena je udaljenost 90 cm, što predstavlja značajnu mjernu pogrešku. No, nakon ponovljenih mjerenja dobivene su vrijednosti od 154 cm (Slika 4.30.) i 151 cm (Slika 4.31.), dosta bliža onoj što je izmjerena džepnim metrom, koja je iznosila 149 cm. Takvo odstupanje je uzrokovano okolnim objektima od kojih se može reflektirati ultrazvučni val, te tako prije stići na prijemnik i rezultirati pogrešnim rezultatom mjerenja. Stoga, kako bi se umanjila takva pogreška potrebno je postignuti što optimalniji kut pri emitiranju valova (senzor treba biti direktno usmjeren ka objektu), te ponavljati mjerenja kako bi se dobila točnija vrijednost.

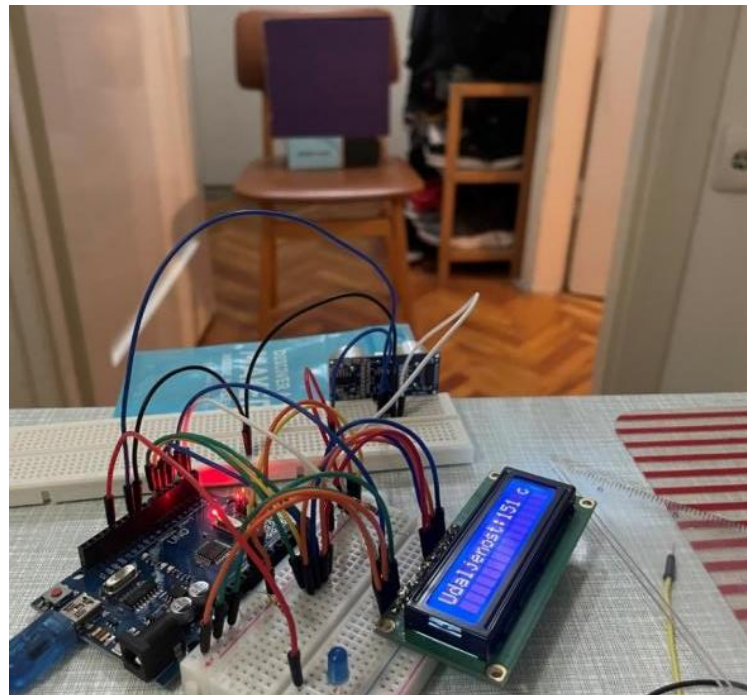


*Slika 4.29. Mjerenje udaljenosti objekta kartonske površine uz značajnu mjernu pogrešku*

Veličina površine kao uzrok odstupanja mjerenja će se više očitovati na većim udaljenostima što je vidljivo na slikama 4.30. i 4.31. gdje će biti prikazani rezultati mjerenja na LCD zaslonu. Prema tomu će se steći jasniji dojam o utjecaju veličina površina pri mjerenjima s ultrazvučnim senzorima.



*Slika 4.30. Mjerenje udaljenosti od objekta kartonske površine veličine 17x23 cm*



*Slika 4.31. Mjerenje udaljenosti objekta kartonske površine veličine 27x30 cm*

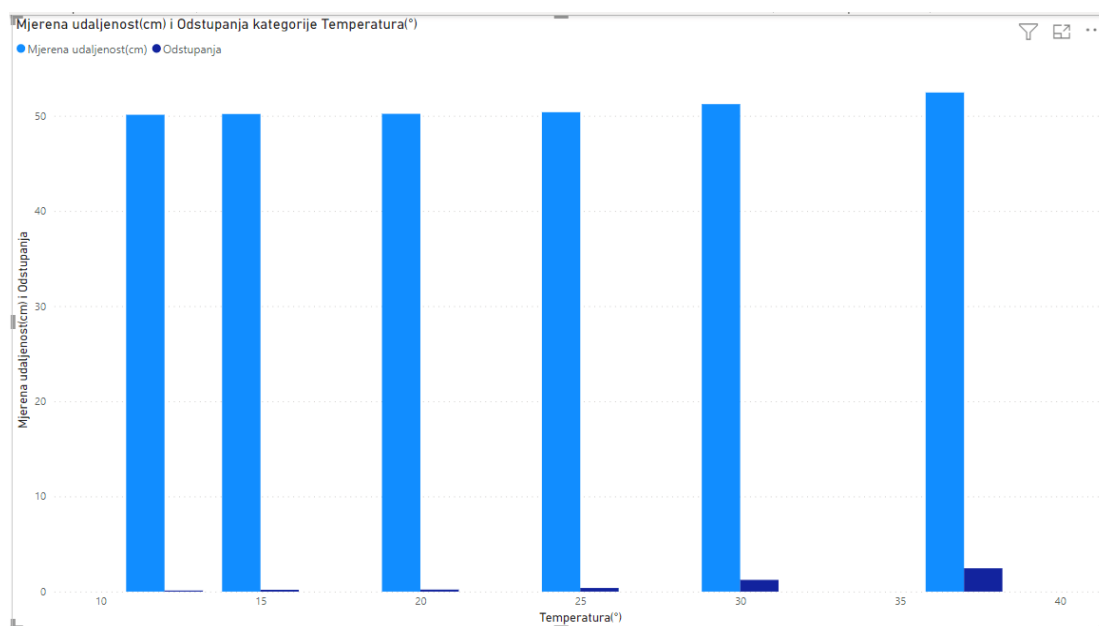
Iz slika 4.30. i 4.31. može se vidjeti razlika u izmjerenim rezultatima, gdje veličina površina igra puno veću ulogu. Sva mjerenja su izvedena pod jednakim kutom emitiranja valova koji je varirao između  $(0-1)^\circ$ . Izmjereni podatci i usporedba objekata kartonske površine različitih veličina su prikazani Tablicom 4.2.

**Tablica 4.2.** Prikaz izmjerenih podataka putem ultrazvučnog senzora i džepnog metra uz međusobna odstupanja

Udaljenost (Ultrazvučni senzor) – Objekt (17x23) (cm)	Udaljenost (Ultrazvučni senzor) – Objekt (27x30) (cm)	Udaljenosti (džepni metar) (cm)	Odstupanje (%)
49	50	49.9	1.11 i 0.10
100	102	103.5	4.18 i 1.23
154	151	149.0	4.67 i 1.67

Kako je navedeno u [20], različite veličine površina će s povećanjem udaljenosti će imati drugačija odstupanja pri mjerenju. Veće površine će biti manje pogođene većim odstupanjima pri većim udaljenostima, dok manje površine će imati znatnija odstupanja od pravih vrijednosti izmjerenih metrom, što se vidi iz Tablice 4.2.

Faktor koji ima također utjecaj na preciznost mjerenja je temperatura zraka. Povećanjem temperature dolazi do smanjivanja brzine zvuka, što za posljedicu donosi i mjerenja manjih preciznosti. Kako je istaknuto u [19], brzina zvuka se smanjuje za 0.17 m/s, za svako povećanje temperature od jednog stupnja Kelvina. Stoga su napravljena mjerenja pri različitim temperaturama zraka što je prikazano grafikonom na slici 4.32.



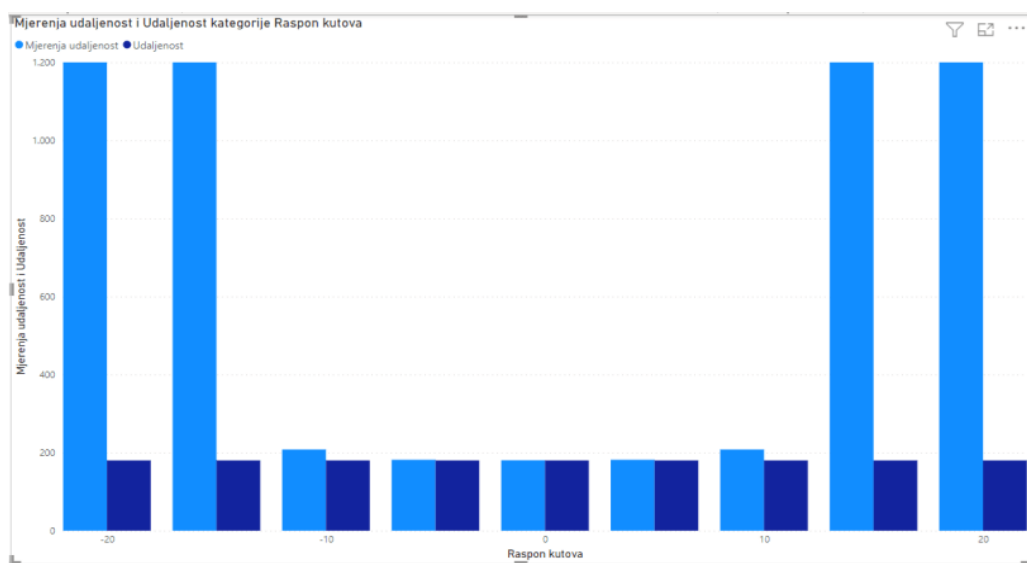
**Slika 4.32.** Rezultati mjerenja udaljenosti objekta i odstupanja od izmjerenih vrijednosti u optimalnim uvjetima

Na slici 4.32. vide se izmjerene udaljenosti u rasponu temperatura zraka od 10 ° do 40 °. Kao što rečeno u [19], postignuta su određena odstupanja vrijednosti udaljenosti kroz različite temperature. Rezultati prema grafikonu pokazuju da s porastom temperature nastaju sve veća odstupanja od referentne vrijednosti udaljenosti koja je izmjerena džepnim metrom te je iznosila 50 cm. Općenito, mjerenja udaljenosti objekta pri sobnim temperaturama su vrlo precizna. Odnosno odstupanja u postotku se kreću između 0.1% i 0.2%.

Čimbenik koji dodatno utječe na preciznost mjerenja je raspon kutova. Raspon kutova unutar kojeg su uspješno detektirani objekti te izmjerene udaljenosti se kretao između -10° i 10°. Mjerenja su provedena na različitim udaljenostima i kutovima, pri sobnoj temperaturi, te objekt bio predmet od kartona. Rezultati provedenih mjerenja su prikazani na Tablici 4.3. Dok grafički prikaz rezultat je vidljiv na slici 4.33.

*Tablica 4.3. Rezultati mjerenja udaljenosti objekta u odnosu na raspon kutova*

Kut (0°)			Raspon kutova (-5° do 5°)	
Udaljenost(cm)	Mjerena udaljenost(cm)	Odstupanje(cm)	Mjerena udaljenost(cm)	Odstupanje(cm)
<b>30</b>	30.01	0.01	30.1	0.1
<b>50</b>	50.11	0.11	50.34	0.34
<b>100</b>	100.23	0.23	101.2	1.2



*Slika 4.33. Grafički prikaz rezultata mjerenja udaljenosti objekta u odnosu na raspon kutova*

Iz Tablice 4.3. su grafički prikazane vrijednosti (Slika 4.33.) iz kojih se vide da su odstupanja između stvarne i mjerene udaljenosti male unutar raspona kutova od  $-5^\circ$  do  $5^\circ$ . Kako se taj raspon povećava smanjuje se preciznost mjerenja, te odstupanja dolaze do vrijednosti od nekoliko centimetara. No, vidljivo je da u rasponu većem od  $20^\circ$ , senzor nije uspio detektirati objekt, te je LCD zaslonu ispisao vrijednost koju može maksimalno očitati. Ustanovljeno je da za što preciznija mjerenja su potrebne optimalne temperature, raspon kutova unutar  $10^\circ$ , te dodatna pažnja prema vrsti i veličini objekta.

### 4.3. Usporedba infracrvenih i ultrazvučnih senzora

Nakon provedenih mjerenja korištenjem oba uređaja za mjerenje udaljenosti i detekcije objekta ustanovljene su razlike između senzora. Razlike su se očitovale u sferama dometa, raspona kutova, otpornosti na vanjske utjecaje i preciznosti (referentna udaljenost 20 cm u optimalnim uvjetima). Parametri su prikazani Tablicom 4.4.

*Tablica 4.4. Vrijednosti parametara ultrazvučnog i infracrvenog senzora*

Svojstva	Ultrazvučni senzor	Infracrveni senzor
<b>Dometa</b>	3-400 cm	0,5 – 26cm
<b>Raspon kutova</b>	$-10^\circ$ do $10^\circ$	$-22,5^\circ$ do $22,5^\circ$
<b>Otpornosti na vanjske čimbenike</b>	Visoka otpornost	Niska otpornost
<b>Preciznost (referentne vrijednosti)</b>	Odstupanja od 0,1% do 1,3%	Odstupanja od 0,05% do 0,1%

Iz Tablice 4.4. se vidi da u sferi dometa ultrazvučni senzor prednjači zbog mogućnost detekcije objekta na udaljenosti od 4 m. Za razliku od toga infracrveni senzor je mogao mjeriti do 0.5 cm, što se referenciralo i samom promjenom napona foto-diode. S druge strane infracrveni senzor može detektirati objekt u širem rasponu kutova i u toj sferi dati precizniju informaciju za razliku od ultrazvučnog senzora. Između ostalog vanjski čimbenik poput sunčeve svjetlosti je uvelike utjecao na IR senzor, što se rezultiralo uključivanjem svih LED dioda. Odnosno direktnu sunčevu svjetlost je foto-dioda apsorbirala, te je izmjeren napon na foto-diodi u iznosu od 8.24 V, odnosno kao da se objekt nalazi u neposrednoj blizini senzora. No, od vanjskih čimbenika jedino je povećavanje temperature zraka imalo utjecaj na krajnji rezultat mjerenja. Mjerenjem na različitim

udaljenostima su definirane i preciznosti obaju senzora. Općenito gledano, IR senzor raspolaže s manjim odstupanjima izmjerenih udaljenosti u odnosu na stvarnu. Kod ultrazvučnog senzora su nešto veća odstupanja, ali i veća je ovisnost o veličini površine. Kako je detaljno rečeno o karakteristikama i performansama dvaju senzora u članku [21], može se u konačnici zaključiti da se svaki senzor u određenoj sferi djelovanja ističe. U ovisnosti ako je za mjerenje ključna stavka preciznost na manjim dometima, raspon kutova, dok otpornost na vanjske faktore predstavlja manju važnost onda se ističe infracrveni senzor. S druge strane, ako su otpornost na vanjske faktore, veći domet i veća osjetljivost senzora bitnije, onda je bolja opcija ultrazvučni senzor. No, u konačnici oba senzora su se pokazala djelotvornim pri mjerenjima, te njihovom kombinacijom bi se dodatno mogli zaobići određeni nedostaci, te postići bolji rezultati mjerenja.



## 5. ZAKLJUČAK

U ovome radu fokus istraživanja su bili uređaji za detekciju i mjerenje udaljenosti objekta u prostoru. Korišteni su uređaji zasnovani na infracrvenim (IR) i ultrazvučnim sensorima. Cilj je bio detaljan prikaz, opis i izvedba ovih uređaja i mjerenja, te njihova međusobna usporedba. U prvom dijelu rada opisan je uređaj zasnovan na infracrvenom (IR) senzoru, gdje su detaljno izneseni shema i princip rada. Potom je u drugom dijelu radar opisana izvedba uređaja koja je izrađena na PCB pločici. S druge strane kod uređaja zasnovanog na ultrazvučnom senzoru, su prvo predstavljene shema i princip rada uz adekvatnu programsku podršku, zatim realizacija na eksperimentalnoj pločici. Pomoću realiziranih uređaja napravljena su različita mjerenja udaljenosti. To je uključivalo mjerenje udaljenosti na različitim vrstama površina, te bojama tih površina. Uostalom, prikazivani su rezultati mjerenja udaljenosti u odnosu na raspon kutova u kojima su se objekti pronalazili. Također su se u obzir uzimali utjecaji direktnih sunčevih zraka i veličine površina za svaki uređaj pojedinačno. Stoga, kako bi uvidjeli određene mane i nedostatke, napravljena je usporedba između dvaju uređaja, gdje su iznesene činjenice o svakom uređaju, te potkrepljene rezultatima mjerenja. Rezultati mjerenja su pokazali da IR senzor može detektirati i točno izmjeriti udaljenost objekta u neposrednim blizinama. U neposrednu blizinu ulaze udaljenosti manje od 2 cm. No, na udaljenostima većim od 35 cm IR senzor ne uspijeva detektirati objekt. Na mjerne rezultate IR senzora velik utjecaj su imale različite vrste površina i boja, što se očitovalo dobivanjem drugačijih rezultata mjerenja na različitim udaljenostima. Također, IR senzor je bio iznimno podložan djelovanju direktnih sunčevih zraka, što je rezultiralo detektiranjem objekta iako se nije nalazio u radijusu detekcije. S druge strane ultrazvučni senzor nije uspio detektirati objekt na udaljenostima manjim od 3 cm, ali za razliku od IR senzora rezultati mjerenja su dobiveni na puno većim udaljenostima od 150 cm i više. Unatoč otpornosti ultrazvučnog senzora na vanjske uvjete poput sunčevih zraka, pri mjerenju su uočena mjerna odstupanja čiji uzrok se pronalazi u veličini površine. Dakle, veličina površine je imala znatan utjecaj pri dobivanju konačnog rezultat mjerenja. Također su prikazani rasponi kutova pri kojima će senzori imati mogućnost detekcije objekta i mjerenja udaljenosti. U konačnici se može zaključiti da se na osnovu rezultata mjerenja svaki uređaj pojedinačno može isticati u određenoj sferi rada, uzimajući u obzir koliko mjerenja moraju biti pouzdana, precizna ili na kojoj udaljenosti se izvode, te da ovi uređaji zauzimaju već bitno mjesto u svijetu mjerenja udaljenosti i detekcije objekata.

## LITERATURA

- [1]. Q. Yong, H. Jing, W. Lijie, Measuring System for Mobile Robot Based on Multiple Sensors, Proceedings of 2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology, 980-984 str., Harbin, China, 2011
- [2]. S. Werzinger\*a , L. Härteisa , A. Köhlera , R. Engelbrechta,b, B. Schmaussa, Effective light coupling in reflective fiber-optic distance sensors using a double-clad fiber, 2017 25th Optical Fiber Sensors Conference (OFS), 1-4 str., Jeju Korea (South), 2017
- [3]. M. Popović, Senzori i mjerenja, Sarajevo, 2004
- [4]. C. Alexandrov;A. Draganov;N. Kolev, An application of automatic target recognition in marine navigation, Proceedings International Radar Conference, 250-254 str., Alexandria, VA, USA, 1995
- [5]. C. S. Leung, W.-D. Hao, Piezo electric sensors for monitoring airport surface movement — A sustainable airport ground traffic management system, 2011 IEEE Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems, 330-334 str. Vienna, Austria, June 29 - July 1, 2011
- [6]. W. Thomas, Annual runway safety report, FAA Air Traffic Organization, Washington, DC 20591, 2009. dostupno na : <https://libraryonline.erau.edu/online-full-text/faa-miscellaneous/FAA-Runway-Safety-Report-2009.pdf> (Posjećeno 20.6. 2022)
- [7]. C. Weil , Z. Jian, Application of intelligent UAV onboard LiDAR measurement technology in topographic mapping College of Urban Construction, 2021 IEEE International Conference on Emergency Science and Information Technology (ICESIT), 940-944 str., Chongqing, China, 2021
- [8]. J. C. Fernandez-Diaz, W. E. Carter, R. L. Shrestha, C. L. Glennie, M. P. Sartori, A. Singhanian, Early results from a high-resolution hybrid terrestrial and bathymetry mapping LiDAR, 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 4994-4999 str., Munich, Germany, 2012
- [9]. N. Amin Singh, M. Borschbach, Effect of external factors on accuracy of distance measurement using ultrasonic sensors, 2017 International Conference on Signals and Systems (ICSigSys), 266 – 272 str. , Bali Indonesia, 2017
- [10]. J. Carter, K. Schmid, K. Waters, L. Betzhold, B. Hadley, R. Mataosky, J. Halleran, Lidar 101: An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications, NOAA Coastal Services Center, November 2012, URL: <https://coast.noaa.gov/data/digitalcoast/pdf/lidar-101.pdf> (Posjećeno 20.6.2022)

- [11]. Types Of Remote Sensing: Technology Changing The World , Earth Observing System, W. El Camino Real, Suite 180, Mountain View, CA 94040, USA, 2020 dostupno na : <https://eos.com/blog/types-of-remote-sensing/> posjećeno (25.6.2021)
- [12]. N. Prasad Bhatta, M. GeethaPriya RADAR and its Applications, Jain University, Bengaluru, India, 2017, dostupno na : [https://www.researchgate.net/publication/316696944\\_RADAR\\_and\\_its\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/316696944_RADAR_and_its_applications) posjećeno\_(27.6. 2021)
- [13]. E. Zentner, Antene i radiosustavi, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2001.
- [14]. M.R Yaacob, N.S.N Anwar, A.M Kassim, Nik Anwar, “Effect of Glittering and Reflective Objects of Different Colors to the Output Voltage-Distance Characteristics of Sharp GP2D120 IR,” ACEEE International Journal of Electrical and Power Engineering, Vol. 3 (2). pp. 6-10. 2012
- [15]. T. Agarwal, What is an IR Sensor : Circuit Diagram & Its Working, ElProCus Technologies Pvt Ltd, Hyderabad, Telangana 500072. <https://www.elprocus.com/infrared-ir-sensor-circuit-and-working/> (Posjećeno 24.06.2022)
- [16]. P.M. Novotny & N.J. Ferrier , Using Infrared Sensors and the Phong Illumination Model to Measure Distances, Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No.99CH36288C), 1644 – 1648 str. , Detroit, MI, USA, 1999.
- [17]. LM324 vs LM358 Op Amp ICs, Components101, 2021, <https://components101.com/article/difference-between-lm358-and-lm324> (Posjećeno 24.06.2022)
- [18]. A. A. Jabbaar, Ultrasonic Sensor HC-SR04 with Arduino Tutorial, Arduino Project Hub, 2019 <https://create.arduino.cc/projecthub/abdularbi17/ultrasonic-sensor-hc-sr04-with-arduino-tutorial-327ff6> (Posjećeno 25.06.2022)
- [19]. P. P. N. 2015, “Ultrasonic sensors knowledge (part 4): Influences on measurement accuracy,” dostupno na: <http://www.pepperl-fuchs.com/global/en/25518.html>, (Posjećeno 1.7. 2022)
- [20]. Dr. H. K. Hoomod, S. M. M. Al-Chalabi, Objects Detection and Angles Effectiveness by Ultrasonic Sensors HC-SR04, International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online): 2319-7064, 918- 928 str., Baghdad Irak, 2017
- [21]. S. Adarsh, S. Mohamed Kaleemuddin, D. Bose, K. I. Ramachandran, Performance comparison of Infrared and Ultrasonic sensors for obstacles of different materials in vehicle/ robot navigation applications, International Conference on Advances in Materials

and Manufacturing Applications (IConAMMA-2016), 1-9 str., 14–16 July 2016, Bangalore, India

- [22]. A. Thompson, 5 compelling applications for lidar technology, Microdrones, 2018, dostupno na: <https://www.microdrones.com/en/content/5-compelling-applications-for-lidar-technology/> (Posjećeno 4.7.2022)
- [23]. C. Deziel, Which Colors Reflect More Light?, Leaf Group Ltd. 2018, dostupno na: <https://sciencing.com/colors-reflect-light-8398645.html> (Posjećeno 18.7. 2022)
- [24]. K. Rose, Materials That Absorb Infrared Rays, Leaf Group Ltd. 2018, dostupno na: <https://sciencing.com/materials-absorb-infrared-rays-8044395.html> (Posjećeno 24.8. 2022)

## **SAŽETAK**

U sklopu ovog završnog rada izrađeni su i analizirani sklopovi za detekciju i mjerenje udaljenosti objekta. Napravljeni su uređaji zasnovani na infracrvenim (IR) i ultrazvučnim sensorima. Opisan je princip rada svakog uređaja te su napravljeni realni sklopovi. Nadalje, za svaki uređaj su izvedena mjerenja udaljenosti, te su rezultati mjerenja uspoređeni. Rezultati mjerenja pokazali su podjednake performanse oba uređaja.

Ključne riječi: Infracrveni senzor, ultrazvučni senzor, mjerenje udaljenosti, detekcija objekta, beskontaktna mjerenja.

## **Production and analysis of the operation of the distance detection assembly**

### **ABSTRACT**

In this final work, distance measuring and object detection circuits were designed and analyzed. Devices are made, based on infrared (IR) and ultrasonic sensors. Work principle was also described for each device, and detailed circuits were made. Furthermore, measurements and comparison had been done for each device separately. Results have showed equal performance of both devices.

Keywords: Infrared sensor, ultrasonic sensor, distance measurement, object detection, contactless measurements.

## **ŽIVOTOPIS**

Davorin Miličević rođen je u Kiseljaku 5.1.2000. godine. Pohađao je osnovnu školu „Gromiljak“ u Gromiljaku te ju završio s odličnim uspjehom. Nakon toga obrazovanje nastavlja sa srednjom školom „Ivan Goran Kovačić“ u Kiseljaku pritom upisujući smjer opća gimnazija. Srednju školu završava s odličnim uspjehom. U želji za povećavanjem i prikupljanjem dodatnih znanja s tehničkog polja odlučuje upisati Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, polažući državnu maturu pristupa prvom odabiru FERIT-u smjer elektrotehnika i informacijska tehnologija, te tijekom studiranja na 2. godini odabire smjer elektrotehnika: komunikacije i informatika.

## PRILOZI

**Prilog P.3.1.** – LM 358 Datasheet. - <https://www.ti.com/lit/pdf/snosbt3>

**Prilog P.3.2.** – Poveznica od dizajna sklopa - <https://www.tinkercad.com/things/g2YiQUU6kXe?sharecode=S310oI--GcyDq8RzYnA-Dz6pT2YFX7ky2N9UPAIfSCQ>

**Prilog P.3.3.** – Detaljniji opis nožica LCD-a - <https://linuxhint.com/lcd-16x2-pin-configuration/>

**Prilog P.3.4.** – Detaljni opis i prikaz LiquidCrystal library-a - <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/liquidcrystal/>

**Prilog P.3.5.** – Arduino Uno DataSheet - <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>

**Prilog P.3.6.** – LCD 16X2 Datasheet - <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/ADM1602K-NSW-FBS-3.3v.pdf>