

UREĐAJ ZA FOTO OSLOJAVANJE POMOĆU UV LED DIODA I ARDUINA

Horvatiček, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:996138>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-03**



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

LUKA HORVATIČEK

**UREĐAJ ZA FOTO OSLOJAVANJE
POMOĆU UV LED DIODA I ARDUINO
MIKROUPRAVLJAČA**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2024.

KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
PROFESSIONAL UNDERGRADUATE STUDY OF MECHATRONICS

LUKA HORVATIČEK

**DEVICE FOR PHOTO LAYERING WITH UV
LED DIODE AND ARDUINO
MICROCONTROLLER**

FINAL PAPER

KARLOVAC, 2024.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU
STROJARSKI ODJEL
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKE

LUKA HORVATIČEK

**UREĐAJ ZA FOTO OSLOJAVANJE
POMOĆU UV LED DIODA I ARDUINO
MIKROUPRAVLJAČA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr. sc. Adam Stančić, prof. struč. stud.

KARLOVAC, 2024.

PREDGOVOR

Izjavljujem da sam završni rad na temu „UREĐAJ ZA FOTO OSLOJAVANJE POMOĆU UV LED DIODA I ARDUINO MIKROUPRAVLJAČA“ izradio samostalno, koristeći znanje stečeno tijekom studija i koristeći navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru dr. sc. Adamu Stančiću na savjetima i pomoći pri izradi ovog rada.

SAŽETAK

Ultraljubičaste (engl. Ultraviolet – UV) svjetleće diode (engl. Light-emitting diodes – LED) posljednjih su godina privukle značajnu pozornost u industriji zbog svojih jedinstvenih svojstava i jednostavnosti primjene. Najpoznatiji primjer korištenja UV LED dioda je u medicini kao dezinficijens za bakterije koje su osjetljive na ultraljubičasto svjetlo. Također koriste se u salonima ljepote gdje se koriste kao izvor svjetlosti za stvrđavanje raznih gelova i ljepila. U konačnici primjena im je svestrana, te ću u prezentiranom radu objasniti povijest LED dioda, njihove karakteristike i primjene kao i primjenu UV LED dioda u industrijskoj elektronici za izradu tiskanih pločica.

Cilj prezentiranog završnog rada je izraditi prototip uređaja za foto oslojavanje tiskanih pločica s pomoću ultraljubičastih svjetlećih dioda. U radu će biti objašnjeni osnovni pojmovi svjetlosne tehnike, princip rada UV LED dioda, funkcijska struktura prototipa i programska podrška Arduino IDE.

Ključne riječi: Arduino, Svjetlost, Tiskana pločica, UV LED dioda

SUMMARY

Ultraviolet (UV) light-emitting diodes (LED) have attracted considerable attention in the industry in recent years due to their unique properties and ease of application. The best known example of the use of UV LEDs is in medicine as a disinfectant for bacteria that are sensitive to ultraviolet light. They are also used in beauty salons where they are used as a light source to harden various gels and glues. Ultimately, their application is versatile and in the presented final paper I will explain the history of LED diodes, their characteristics and applications, as well as the use of UV LEDs in industrial electronics for the production of printed circuit boards. The goal of the presented final paper is to create a prototype device for photo layering of printed circuit boards using UV LED diodes. The final paper will explain the basic principles of lighting technology, the working principle of UV LED diodes, functional structure of the prototype and the Arduino IDE program support.

Key words: Arduino, Light, Printed circuit board, UV LED diodes.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. SVJETLOST	2
2.1. Boje i utjecaj na čovjeka	5
2.2 Svjetlo-tehničke veličine	6
2.2.1 Svjetlosni tok.....	6
2.2.2 Jakost svjetlosti.....	6
2.2.3 Luminacija.....	7
2.2.4 Rasvijetljenost.....	7
2.3 Geometrijska optika i zakoni svjetlosti	9
2.3.2 Indeks loma.....	12
3. POSTAVA PROJEKTA	14
3.1 Diode i princip rada.....	14
3.1.2 Povijest LED diode i karakteristike	15
3.2 Arduino Nano mikroupravljač	18
3.3 LCD tehnologija i način uporabe	21
3.3.1 LCD 16 x 2 zaslon	21
3.3.2 Povezivanje LCD zaslona s mikroupravljačem	24
3.4 Tranzistor TIP31C i ostale komponente.....	25
4. Sastavljanje i testiranje sustava.....	27
4.1 Povezivanje i rad s mikroupravljačem.....	27
4.1.2 Rad s mikroupravljačem	29
4.2 Sastavljanje kućišta	30
4.3 Lemljenje.....	31
4.3.1 UV svjetleće diode	33
4.4 Izrada i razvoj tiskane pločice	34
4.5 Slaganje komponenata na tiskanu pločicu i testiranje	37
4.6 Napajanje.....	40
5. Konekcija i programska podrška.....	41
5.1 Ostvarivanje konekcije.....	41
5.2 Testiranje programskog koda i osnovne funkcije.....	43
5.2.1 void setup() funkcija.....	45
5.2.2 Void loop() funkcija	46

6. ZAKLJUČAK.....	54
7. POPIS LITERATURE.....	55

POPIS SLIKA

Slika 1: Valne duljine svjetlosti [3].....	3
Slika 2: Svjetlost vidljiva ljudskim okom [2].....	5
Slika 3: Svjetlosni tok [4]	6
Slika 4: Jakost svjetlosti [4]	7
Slika 5: Luminacija [4]	7
Slika 6: Rasvjetljenost [4]	8
Slika 7: Sjena na površini [5].....	9
Slika 8: Zakon odbijanja svjetlosti [6].....	10
Slika 9: Fermatov princip refleksije [7]	11
Slika 10: Snellov zakon [8]	12
Slika 11: Sastav i simbol diode [9]	14
Slika 12: Izgled i simbol LED diode [10]	15
Slika 13: Generiranje svjetlosti pomoću LED diode [12]	16
Slika 14: Konstrukcija LED diode [13].....	16
Slika 15: Pinovi i njihov položaji na mikroupravljaču Arduino Nano [16].....	19
Slika 16: LCD pokazivač 16 x 2 [18]	23
Slika 17: I2C modul sa pinovima [19]	23
Slika 18: Shematski prikaz spoja [20]	24
Slika 19: TIP 31C tranzistor [21]	25
Slika 20: USB mini kabel [22].....	27
Slika 21: Sklopljeno kućište.....	30
Slika 22: Lemljenje otpornika na tiskanu pločicu [24].....	31
Slika 23: Pokositranje finožičanog vodiča (licne) [24].....	32
Slika 24: UV LED svjetleći paneli.....	33
Slika 25: Predložak tiskane pločice.....	34
Slika 26: Tiskana pločica nakon jetkanja	35
Slika 27: Raspodjela komponenata na tiskanoj pločici.....	37
Slika 28: Tiskana pločica sa LCD zaslonom.....	38
Slika 29: Konekcija tiskane pločice s komponentama	39
Slika 30: Konektor napajanja [25]	40
Slika 31: Povezivanje mikroupravljača i računala USB kabelom	41
Slika 32: Odabir Porta (Ulaza)	42
Slika 33: Odabir mikroupravljača	43
Slika 34: Odabir Bootloadera	43
Slika 35: Prikaz informacija o trajanju i oštini oslojavanja	46
Slika 36: Učitavanje programskog koda u sustav	51
Slika 37: Sklopljen sustav - prednja strana.....	51
Slika 38: Sklopljen sustav - lijeva strana.....	52
Slika 39: Sklopljen sustav - desna strana.....	53

POPIS TABLICA

Tablica 1: Prednosti i nedostaci LED diode [12].....	17
Tablica 2: Osnovne naredbe za 16 x 2 zaslon [17]	22
Tablica 3: Dodatne komponente	29
Tablica 4: Osnovne Arduino naredbe	29

1. UVOD

Zadatak završnog rada je izrada uređaja za foto oslojavanje s pomoću Arduino Nano mikroupravljača i svjetlećih dioda. Uređaj bi se koristio za prijenos tiskanih veza na tiskanu pločicu. Prilikom izrade završnog rada javlja se potreba prepravka samog dizajna rada radi pogrešne procjene dimenzija kućišta što je riješeno modeliranjem novog kućišta. Isto tako se javlja problem i neispravnog koda te neadekvatnog pozicioniranja dijelova u samom kućištu. Arduino Nano mikroupravljač će se koristiti za uključenje i isključenje LED svjetiljki, te čini „mozak“ samog projekta. Odabran je radi svoje jednostavnosti, pristupačnosti te lakog prilagođavanja novim sustavima. U radu su korištena dva potenciometra, od kojih će prvi služiti za vrijeme osvjetljavanja, dok će drugi služiti za intenzitet svjetlosti. LCD 16 x 2 zaslon će biti povezan putem IC2 konekcije radi jednostavnosti i brzine s Arduino Nano mikroupravljačem, te na zaslonu prikazivati željene informacije i podatke. Dodatna prednost koju IC2 konekcija nudi je smanjenje potrebnog ožičenja za funkcioniranje rada. Nakon dovršavanja rada postoji i mogućnost ugradnje tandem svjetlećih dioda, odnosno crvene i ultraljubičaste. Crvene se mogu koristiti prilikom postavljanja predloška tiskanih veza na foto osjetljivi film same tiskane pločice, dok bi se UV diode koristile za foto oslojavanje.

2. SVJETLOST

Svjetlost se emitira s pomoću električne energije, te se svjetlost može definirati kao skup elektromagnetskog zračenja. Elektromagnetsko zračenje se može zamisliti kao skup čestica koje nazivamo fotoni. Najpoznatiji oblik elektromagnetskog vala je svjetlost. Elektromagnetski valovi su transverzalni valovi koji se sastoje od električnog i magnetskog polja te se šire u prostoru. Foton je elementarna čestica koja nosi određenu količinu energije te nema masu niti električni naboj, a u vakuumu se kreće brzinom svjetlosti $c = 299\,792\,458$ m/s. Elektromagnetska zračenja međusobno se razlikuju po frekvenciji. Svjetlost nastaje kada se električni naboji kreću u elektromagnetskom polju. Snop svjetlosti koji ima nižu količinu energije ima i nižu frekvenciju, ali i veću valnu duljinu. Snop svjetlosti koji ima višu količinu energije ima i veću frekvenciju, ali i manju valnu duljinu [1].

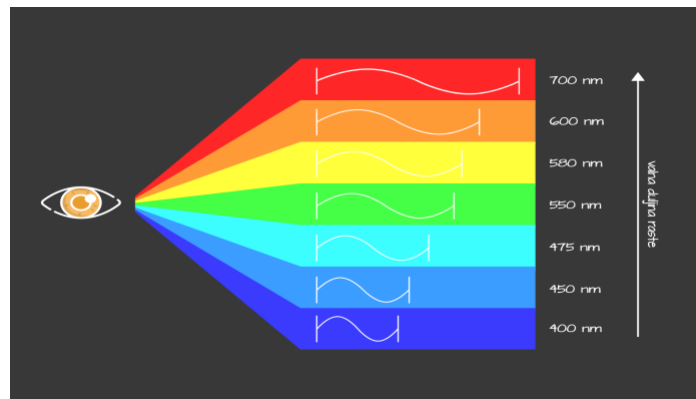
Formula za izračunavanje valne duljine :

$$\text{valna duljina [m]} = \text{brzina svjetlosti [m/s]} / \text{frekvencija [Hz]} \quad (1-1)$$

Primarni izvori svjetlosti su ona tijela i objekti koji svijetle sami od sebe. Neki od primjera su: zagrijana tijela na višu temperaturu, zvijezde te vruće kovine, tijela koja isijavaju svjetlost radi raznih kemijskih procesa kao na primjer svijetleći kukci.

Sekundarni izvori svjetlosti su ona tijela od kojih se reflektira svjetlost. Mjesec spada pod sekundarne izvore svjetlosti jer se od nebeskog objekta reflektira svjetlost koja dolazi sa Sunca. Umjetni izvori svjetlosti su tijela koja svijetle pod utjecajem vrste izgaranja ili radi zagrijavanja električnom energijom ili nekim drugim elementom, na visoku temperaturu. Među umjetne izvore svjetlosti spadaju: baklje, svijeće, žarulje, svjetiljke i lampe. Osnovni pojmovi koji su vezani uz svjetlost su njeno širenje te snop i raspon. Kad je riječ o svjetlu treba navesti pojmove kao što su: refleksija, refrakcija svjetlosti, interferencija i polarizacija. Refleksija i refrakcija svjetlosti nastaju kada zrake svjetlosti stignu na dva optička sredstva drugačije optičke gustoće. U tom slučaju se jedan dio svjetlosti reflektira, a drugi dio se lomi po zakonima refleksije i loma. Difrakcija nastaje kada svjetlost odstupanjem od svog pravocrtnog širenja dolazi do pukotine. Svaka točka valne fronte koja prolazi pukotinom postaje izvorom novog vala. Interferencija nastaje kombiniranjem raznih svjetlosnih valova iz dva izvora te se kreiraju svjetlije i tamnije površine i plohe.

Polarizacija svjetlosti nastaje kada titraju magnetsko i električno polje koji nesimetrično titraju te nastaju zbog refleksije, disperzije ili dvoloma. Manipulacija svjetlom koristi se od drevnih dana u čovjekovu korist. Od osvjetljivanja objekata vidljivih ljudskim okom do kontroliranja nevidljivog spektra svjetlosti. Osnovne karakteristike svjetlosti i svjetlosni spektar su temelj prezentiranog završnog rada.



Slika 1: Valne duljine svjetlosti [3]

U nastavku su navedene neke bitne karakteristike svjetla:

Valna duljina i intenzitet: slika 1 prikazuje valnu duljinu svjetlosti. Ključna i osnovna karakteristika svjetlosne zrake je valna duljina. Svjetlo putuje zrakom slično kao i val, a udaljenost između dva susjedna vrha naziva se valna duljina. Intenzitet je druga karakteristika svjetlosne zrake. Npr. površina dvostruko udaljena od izvora svjetlosti primit će dvostruko manji intenzitet svjetla.

Spektar elektromagnetskog zračenja: kada govorimo o svjetlosti, najčešće se misli na svjetlost vidljivu ljudskim okom. Za svjetlost valnih duljina u rasponu od 400 nm (ljubičasta boja) do 700 nm (crvena boja), frekvencija je obrnuto proporcionalna valnoj duljini što znači da crvena svjetlost ima najmanju, a ljubičasta najveću frekvenciju. Povećanjem frekvencije iznad ljubičaste svjetlosti ulazi se područje ultraljubičastog (UV) zračenja te se na njega nastavljaju gamma i rendgensko zračenje (x-zrake). Smanjenjem frekvencije dolazimo do infracrvenog područja zračenja na koje se nastavlja mikrovalno i radio zračenje. Valna duljina kod radiovalova je najveća, dok je raspon gamma zračenja najmanji raspona [3].

Disperzija svjetlosti: ovo je pojava kod koje dolazi razlaganja bijele svjetlosti na boje. Do pojave disperzije dolazi kada bijela svjetlost dolazi na prozirno sredstvo za koje kut loma ovisi o valnoj duljini svjetlosti. Primjer disperzije svjetlosti je nastanak duge gdje se Sunčeva svjetlost razlaže na boje kroz kapljice kiše te nastaje duga.

Polarizacija svjetlosti: polarizacija je pojava kojom se dokazuje da je val transverzalan. Kod svjetlosti koja je nepolarizirana, čestice u električnom polju titraju u svim smjerovima okomitima na smjer širenja svjetlosti. Tijekom polarizacije svjetlosti, propuštaju se samo one čestice koje su u ravnini polarizacije. Svjetlost se može polarizirati potpuno i djelomično. Jedan od načina polariziranja svjetlosti je s pomoću polarizatora. Polarizator je element, najčešće kristal ili staklo koji služi za uklanjanje refleksije Sunčeve svjetlosti. Najjednostavniji primjer polarizatora je retrovizor na vozilima.

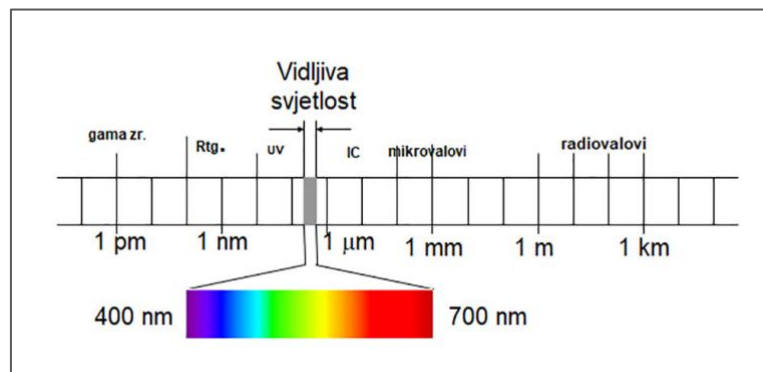
Drugi oblik polarizacije je polarizacija putem refleksije. Prilikom upada svjetlosti na granicu optičkog sredstva, jedan dio svjetlosti se lomi, dok se drugi dio reflektira. Kada je kut između lomljene i reflektirane zrake jednak pravom kutu, tada dolazi do kompletne linearne polarizacije.

Youngov pokus i interferencija svjetlosti: interferencijom se može nazvati međudjelovanje dva svjetlosna vala, a budući da je svjetlost transverzalni val postoji konstruktivna i destruktivna interferencija svjetlosti. Youngovim pokusom opisuje se interferencija svjetlosti i njihovo međudjelovanje. Interferencija svjetlosti se tada prikazuje na dvije uske pukotine koje postaju izvori koherentnih valova. Daljnjom interakcijom između pukotina stvara se podjednak broj konstruktivne i destruktivne interferencije.

Ogib ili defrakcija: nastaje kada svjetlost dolazi do pukotine ili procjepa i može se usporediti s valnom duljinom upadne svjetlosti. Svaka čestica koja prolazi kod navedenu pukotinu ili procjep stvara novi val, to jest novi izvor svjetlosti. Uvjet destruktivne interferencije kod ogiba jednak je konstruktivnoj interferenciji kada dolazi do interferencije na dvije pukotine.

2.1. Boje i utjecaj na čovjeka

Boja se može definirati kao osjet ovisan o frekvenciji svjetlosnog zračenja. Zračenja svake pojedinačne valne duljine daju podražaj na različite prijamne mehanizme oka. U vidnom spektru ljudsko oko može raspoznati skupine boja sljedećim redoslijedom: crvena i narančasta, zatim žuta i zelena te na kraju plava i ljubičasta boja. Ljudsko oko ima ograničen raspon valnih duljina, no ima sposobnost raspoznavanja vrlo malih razlika unutar tog spektra.



Slika 2: Svjetlost vidljiva ljudskim okom [2]

Slika 2 prikazuje puni spektar elektromagnetskog zračenja. Na jednoj strani su gama i rendgensko zračenje koje je visoko energetski ionizirano te je opasno za ljudsko zdravlje. Na drugom kraju spektra nalazi se niskofrekventno radiovalno zračenje koje se koristi za prijenos informacija i nije opasno za čovjeka. Vidljivo svjetlo je vrlo mali dio elektromagnetskog spektra koji drugačije doživljavamo kao boje.

Boje u ljudskom životu imaju bitnu ulogu jer imaju značajan utjecaj na naše zdravlje, raspoloženje i ugođaj. Naša percepcija boja ovisi o više vrsta svjetlosti (umjetna ili dnevna, prigušena ili intenzivna), našem raspoloženju, nijansi boje itd. Danas je zastupljen problem plavog svijetla koji može izazvati probleme i tegobe u cirkadijskom ritmu ljudi. Plavo svijetlo narušava taj ritam i naše tijelo funkcionira kao da je dan. Izvor plavog svijetla je u današnje doba gotovo svuda prisutan, a neki od primjera su: ekran računala i različitih uređaja ili žarulja s temperaturom svjetla iznad 3000 K [1].

Dugotrajno narušavanje cirkadijskog ritma dovodi do raznih negativnih efekata na zdravlje, poput povećane sklonosti kardiovaskularnim bolestima, prekomjernoj težini, nesanicima itd. Osobe koje potiču upotrebu plave ili bijele umjetne rasvjete iznad 3000 K

koriste se argumentom da takva rasvjeta povećava budnost, no upitno je koliko je ta budnost povećana, a koliko se poremetio cirkadijski ritam [1].

2.2 Svjetlo-tehničke veličine

Svjetlo-tehničke veličine opisuju osnovne zakone po kojima se svjetlost lomi i rasipa na neku površinu. Neke od svjetlo-tehničkih veličina su:

- svjetlosni tok
- jakost svjetlosti
- luminacija
- rasvijetljenost

2.2.1 Svjetlosni tok

Slika 3 prikazuje svjetlosni tok i količinu svjetlosti koju svjetlost emitira. Svjetlosni tok (Ω) se može opisati kao snaga zračenja koju imitira izvor svjetla u svim smjerovima. Ljudsko oko svjetlosni tok vrednuje prema krivulji osvijetljenosti ljudskog oka. Mjerna jedinica za tok se naziva lumen [lm] [1].

Formula za izračunavanje svjetlosnog toka:

$$\Phi \text{ [lm]} = I \text{ [cd]} \cdot \Omega \text{ [sr]}$$



Slika 3: Svjetlosni tok [4]

Kod svjetlo-tehničkih veličina je također potrebno razlikovati običan kut od prostornog kuta. Kut je dvodimenzionalni pojam, što znači da ima 2π radijana. Prostorni kut je nedimenzionalna veličina te ima 4π radijana.

2.2.2 Jakost svjetlosti

Jakost svjetlosti je snaga zračenja koju svjetlost emitira u određenom smjeru i prikazana je na slici 4 te se može predstaviti kao vektor. Kada se vrhovi vektora spoje u jednoj ravnini izvora svjetlosti dobije se krivulja distribucije jačine svjetlosti ili distribucijska krivulja. Mjerna jedinica za jakost svjetlosti je kandela [cd] [1].

Formula za izračunavanje jakosti svjetlosti:

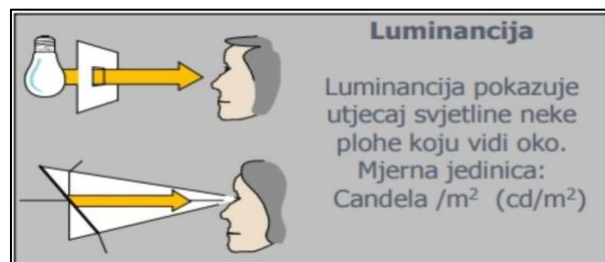
$$I [\text{cd}] = \Phi [\text{lm}] / \Omega [\text{sr}]$$



Slika 4: Jakost svjetlosti [4]

2.2.3 Luminacija

Slika 5 prikazuje utjecaj svjetlosti na oko čovjeka dok promatra osvijetljenu plohu. Luminacija se može opisati kao sjajnost određene površine promatrana ljudskim okom. Mjerna jedinica je kandela po površini (cd/m^2) [1]. Ljudsko oko ima sposobnost uočavati i male razlike u iluminaciji te je ovo jedina svjetlo-tehnička veličina koju ljudsko oko direktno percipira.



Slika 5: Luminacija [4]

2.2.4 Rasvijetljenost

Slika 6 prikazuje rasvijetljenost. Rasvijetljenost se može definirati kao količina svjetlosnog toka koja dolazi na određenu površinu. Može se i definirati kao snaga po jedinici površine. Prosječna rasvijetljenost neke površine je svjetlosni tok po jedinici površine i računa se prema izrazu: $E [\text{lx}] = \Phi [\text{lm}] / A [\text{m}^2]$ [1]. Rasvijetljenost se mjeri s pomoću luksmetra na površinama koje su horizontalne ili vertikalne, no mjerenje pomoću luksmetra nije precizno zato što bitno ovisi o faktoru refleksije. Budući da distribucija svjetlosti rasvjete nije jednolika, standardi se obično odnose na prosječnu rasvijetljenost. Time se matematički uzimaju u obzir nepravilnosti što znači da je prosječna rasvijetljenost izmjereni prosjek rasvijetljenosti u prostoru.



Slika 6: Rasvjetljenost [4]

Svjetlo-tehničke veličine imaju važnu ulogu u svakodnevnom životu ljudi. Tok cestovnog prometa oslanja se na svjetlo-tehničke veličine u obliku smjernica i služe kao regulator prometa. Za efikasno upravljanje prometnim tokovima postavljene su norme koje pružaju sigurniju, ugodniju i kvalitetniju vožnju prilikom transporta u svim granama prometa [1].

Neke od tih normi su:

- faktor kvalitete
- kriterij svjetlo-tehničkih veličina
- javna rasvjeta

Faktor kvalitete je najvažniji element svjetlo tehničkih veličina koji se koristi u prometu. Pod faktor kvalitete spadaju sljedeći elementi:

- optičko vođenje,
- nivo osvjetljenosti,
- bljeskanje,
- vidni uvjeti,
- nivo sjajnosti

Navedeni faktori prikazuju primjenu svjetlo tehničkih-veličina i njihovu prisutnost u stvarnom životu. Nivo sjajnosti je najvažniji element u prometu zato što utječe na razinu vidljivosti okoline i sudionika u prometu kod vozača. Vidni uvjeti osiguravaju dobru preglednost na prometnici te samim time smanjuju mogućnost nesreća. Javna rasvjeta također igra vrlo bitnu ulogu radi smjera rasipanja svjetla na prometnici, utjecaja na nivo sjajnosti i nivo osvjetljenosti. Pojam refleksije i rasipanja će biti detaljnije objašnjen u nadolazećim poglavljima. Faktor kvalitete se sastoji od navedenih normi, a norme se sastoje od svjetlo-tehničkih veličina i opisane su u prethodnim poglavljima.

2.3 Geometrijska optika i zakoni svjetlosti

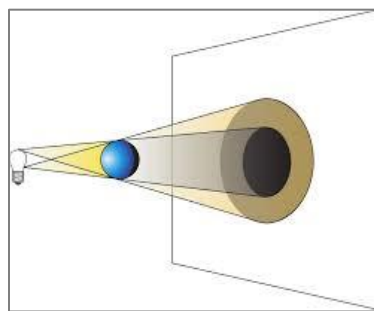
Geometrijskom optikom se naziva onaj dio optike kod kojeg se širenje svjetlosti može opisati pomoću svjetlosnih zraka. Svjetlost se širi u svim pravcima, te se svjetlosna zraka može zamisliti kao linija okomita na valne fronte, usmjerena u pravcu gibanja valnih fronta. U geometrijskoj optici nalaze se zakonitosti koji se odnose na optičke sustave i na pojavu širenja svjetlosti kroz dioptrijska sredstva, odbijanje i lom svjetlosti na graničnoj plohi dvaju sredstava te nastanak slike za izvor svjetlosti. Svrha geometrijske optike je pronalaženje zakonitosti koje se odnose na stvaranje slike s pomoću uređaja ili optičkih sustava [5].

Osnovni zakoni geometrijske optike vrijede kada svjetlost:

- pada na ravnomjernu glatku površinu te se od nje odbija ili reflektira,
- širi u prostoru,
- prolazi kroz glatku, graničnu plohu između dva prozirna sredstva ili se na njoj reflektira ili lomi

Ponašanje svjetlosti u tri navedena primjera je definirano sa sljedećim zakonima:

- zakon širenja svjetlosti – širenje svjetlosti u pravocrtnom smjeru u nekom homogenom izotropnom sredstvu,
- zakon odbijanja svjetlosti (refleksija),
- zakon loma svjetlosti (refrakcija)

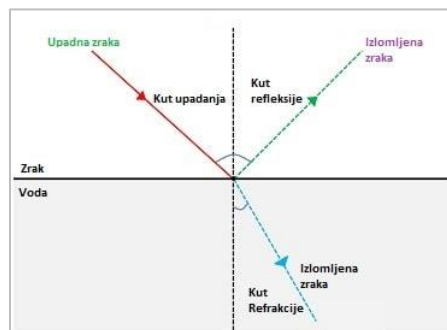


Slika 7: Sjena na površini [5]

Slika 7 prikazuje širenje svjetlosti na površinu, to jest pad svjetlosti na glatki objekt nakon čega se od nje odbija (ili reflektira). Prikazani krug prikazuje sjenu i polusjenu površine koja nastaje nakon što svjetlost pada na površinu plavog objekta.

2.3.1 Zakon odbijanja svjetlosti

Tijekom pada svjetlosti na površinu nekog tijela, jedan dio svjetlosti se odbija. Ako je površina tijela glatka, onda je refleksija pravilna - paralelan snop svjetlosti se isto reflektira u jedan paralelni svjetlosni snop. Slika 8 prikazuje kut upada svjetlosti te kut refleksije. U slučaju da svjetlosni snop padne na nepravilnu površinu nekog tijela, svjetlost se također reflektira nepravilno. Taj pojam se naziva difuzna refleksija. Prilikom pada svjetlosnih zraka na ravnu ugrađenu plohu može se vidjeti da se svjetlost odbije od plohe i ostaje u ravnini okomitoj na samu plohu. To znači da će odbijena i upadna zraka ležati u upadnoj ravnini koja je određena upadnom zrakom i normalom na plohu. Kut refleksije jednak je upadnom kut [5].



Slika 8: Zakon odbijanja svjetlosti [6]

Fermatov princip refleksije

Jedan od najboljih primjera refleksije je Fermatov princip refleksije svjetlosti. Najvažniji zakoni geometrijske optike se izvlače iz Fermatovog principa[7]. Svjetlost proizlazi iz točke A, te pada na površinu i odbija se u točku B iz čega proizlazi zakon odbijanja svjetlosti. Udaljenost od točkaka do površine računa se na slijedeći način.

Udaljenost od točke A do površine:

$$s_1 = \sqrt{a^2 + x^2} \quad (1-2)$$

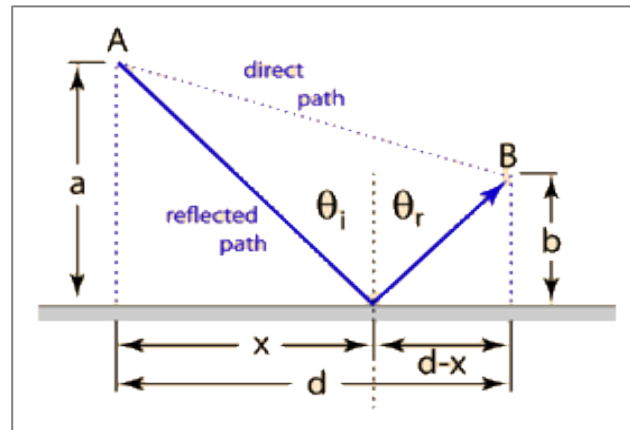
Udaljenost od površine do točke N:

$$s_2 = \sqrt{b^2 + (d^2 - x^2)} \quad (1-3)$$

Ukupna udaljenost površine:

$$t = \frac{s_1}{v} + \frac{s_2}{v} = \frac{1}{v}(\sqrt{a^2 + x^2}) + (\sqrt{b^2 + (d^2 - x^2)}) \quad (1-4)$$

Slika 9 prikazuje Fermatov princip refleksije i usporedbu direktnog upada svjetlosne zrake sa odbijenom zrakom svjetlosti. Prema Fermatovom principu derivacija t na x treba biti jednaka nuli zato što se traži najkraća vremenska putanja svjetlosti od točke A do točke B.



Slika 9: Fermatov princip refleksije [7]

Iz prethodnog izraza može se izračunati:

$$\frac{d}{t} = \frac{1}{2} \frac{2x}{\sqrt{a^2+x^2}} + \frac{1}{2} \frac{2(d-x)(-1)}{\sqrt{b^2+(d-x)^2}} = 0 \quad (1-5)$$

Te iz prethodne jednadžbe proizlazi:

$$\frac{x}{\sqrt{a^2+x^2}} = \frac{d-x}{\sqrt{b^2+(d-x)^2}} \quad (1-6)$$

Iz slike 9 slijedi da je to ekvivalentno iznosu:

$$\sin \theta_i = \sin \theta_r \quad (1-7)$$

Ovaj izraz nazivamo zakonom refleksije. Kut upada svjetlosti jednak je kutu refleksije svjetlosti.

2.3.2 Indeks loma

Indeks loma se može opisati kao trodimenzionalna fizikalna veličina koja opisuje međudjelovanje optičke prozirne tvari i svjetlosti.

Definira se kao omjer brzine svjetlosti c i brzine svjetlosti u tvari v :

$$n = \frac{c}{v} \quad (1-8)$$

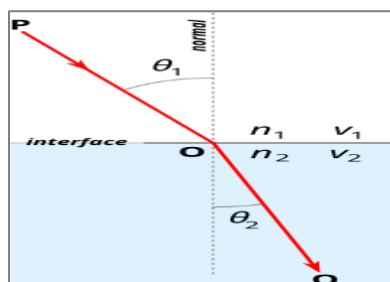
Svjetlost se u nekoj tvari širi brzinom:

$$v = \frac{c}{(\epsilon_r \mu_r)^{\frac{1}{2}}} \quad [\text{m/s}] \quad (1-9)$$

Vrijednost ϵ_r je relativna dielektrična permitivnost, a μ_r je relativna magnetska permeabilnost u optičkom sredstvu. Za magnetsku permeabilnost u optičkom sredstvu onda vrijedi $\mu_r \approx 1$, što znači da indeks loma ovisi samo o relativnoj dielektričnoj permitivnosti. Kod nekih tvari ipak može doći do odstupanja od tog pravila zbog postojanja električnih dipola u dielektricima i ovisnosti relativne dielektrične permitivnosti o frekvenciji svjetlosti. Indeks loma u vakuumu je jednak 1, a u optičkom sredstvu najmanji je kod crvene, te najveći za ljubičastu svjetlost [5].

Snellov zakon loma

Snellov zakon loma omogućava predviđanje gibanja svjetlosnih zraka ako su poznati indeksi loma optičkih medija na putu tih svjetlosnih zraka što prikazuje slika 10. Pri prijelazu svjetlosne zrake iz jednog optičkog medija u drugi svjetlosna zraka se lomi. Upadna zraka, okomica na graničnu ploču i zraka loma leže na istoj ravnini [5].



Slika 10: Snellov zakon [8]

Formula zakona refrakcije:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1-10)$$

Navedene vrijednosti u formuli su:

θ_1 - kut koji zatvara upadna zraka svjetlosti s okomicom na granicu sredstva,

θ_2 - kut koji zatvara lomljena zraka svjetlosti s okomicom na granicu sredstva,

v_1 - brzina upadne zrake,

v_2 - brzina lomljene zrake,

$n_{1,2}$ - indeks loma

Iz zakona se može zaključiti da omjer sinusa upadnog kuta i sinusa kuta loma ima vrijednost koja ovisi isključivo o indeksima loma optičkih sredstava između kojih se zraka lomi. Brzina svjetlosti u nekom sredstvu je obično manja od brzine svjetlosti u vakuumu. Prilikom opisa različitih veličina uvodi se veličina koja se naziva indeks loma, koji je prethodno opisan na prije navedenoj stranici završnog rada pod redoslijedom (1-8) i definirana je kao:

$$n = \frac{c}{v} \quad (1-11)$$

c označava brzinu svjetlosti u vakuumu, dok v označava brzinu svjetlosti u nekom sredstvu.

Za dva sredstva čiji su indeksi lomova drugačiji, sredstvo koje ima veći indeks loma definira se kao optički gušće sredstvo. Kada sredstvo prelazi iz jednog sredstva u drugo frekvencija se ne mijenja, to jest vrijedi za oba sredstva.

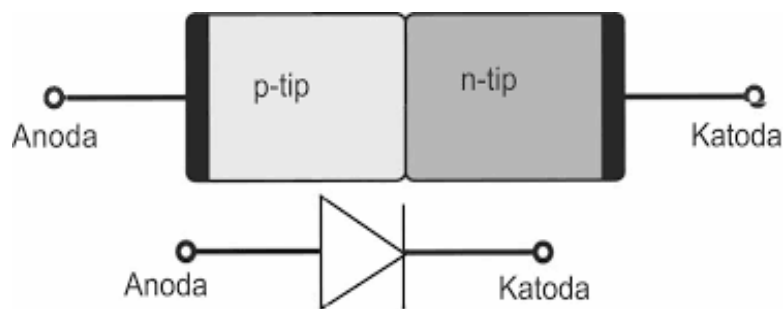
Snellov zakon predstavlja temelj pojave lomljenja svjetlosti, te je kao takav jedan od temeljnih elemenata zaslužnim za razvoj fizike. U fizici se Snellov zakon najviše koristi prilikom istraživanja o valovima i optici. Rezultat loma svjetlosti je promjena brzine iz pravca širenja svjetlosti, pa do prelaska u drugo optičko sredstvo. Još jedan element koji se povezuje uz Snellov zakon je pojam totalne refleksije. Ako svjetlost prelazi iz sastavno gušćeg sredstva u sastavno rjeđe sredstvo, kut loma je veći od upadnog kuta i svjetlost se onda rasipa od okomicu. Povećanjem upadnog kuta se povećava i kut loma, te je u jednom trenutku kut loma jednak pravom kutu. Svjetlost tada ne prolazi u drugo sastavno sredstvo već se reflektira na samom rubu i ta pojava se naziva totalna refleksija. Kut pri kojem dolazi do pojave totalne refleksije naziva se graničnim kutom. Granični kut se definira iz Snellovog zakona (3-1).

3. POSTAVA PROJEKTA

U ovom poglavlju ću razraditi i opisati komponente (LED diode, mikroupravljač Arduino Nano, laptop napajanje 12 V, MOSFET tip 31c, LCD zaslon 16 x 2) za izradu zadanog rada. Arduino Nano mikroupravljač koristi se za uključenje i isključenje UV LED svjetiljki, prvim potenciometrom se odabire vrijeme osvjetljavanja, dok se drugim potenciometrom odabire intenzitet svjetlosti.

3.1 Diode i princip rada

Dioda je elektronička komponenta koju je osmislio engleski fizičar William Henry Eccles 1919 godine. Dioda se sastoji od dva terminala, te ima ulogu da provodi struju u jednom smjeru - idealan otpor u jednom smjeru je nula, a u drugom smjeru idealni otpor je vrlo visok ili beskonačan. Poluvodičke diode izvede se kao PN spoj ili kao spoj metal poluvodič [9].



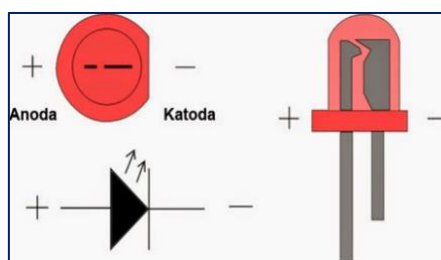
Slika 11: Sastav i simbol diode [9]

Diode se obično razvrstavaju po tome od kojeg su materijala izrađene (germanij, galijev arsenid, silicijev karbid, silicij). Po funkciji se dijele na: ispravljačke, LED, svjetleće, Zenerove diode, foto diode, tunel diode itd. Dioda na slici 11 je prema izvodu spoj metal-poluvodiča. N strana i P strana diode građene su od poluvodiča (najčešće silicij) koji su obogaćeni drugim elementima kako bi se dobila odgovarajuća svojstva. Na primjer germanij P-tipa je obogaćen indijem, a N-tipa najčešće arsenom. Da bi se dioda uključila u strujni krug i da predstavlja mali otpor potrebno je N stranu spojiti na negativni pol (katoda) i na P stranu spojiti na pozitivni pol (anoda) [9]. Dioda se najčešće koristi za propuštanje struje u jednom smjeru (propusna polarizacija), dok u nepropusnoj polarizaciji ne propušta struju. Na diodu se može gledati kao na elektroničku verziju nepovratnog ventila. Diode ovakve vrste najčešće se koriste za ispravljanje izmjenične struje, to jest pretvaraju val izmjenične struje u istosmjerni val,

te se stoga zovu ispravljačke diode. Diode se često koriste u radio prijamnicima kao odvajajući modulacije određenog signala, no mogu imati i drugačiju ulogu od ispravljanja izmjeničnog signala. Dioda se može koristiti i kao temperaturni senzor ili kao izvor referentnog napona prilikom pada napona u propusnoj polarizaciji radi temperaturne promjene. Svojstva dioda mogu se prilagoditi izborom različitih materijala od kojih su napravljene, te ih tako „specijalizirati“ za određenu primjenu. Zenerove diode koriste svojstvo proboja napona za regulaciju napona, lavinske diode se koriste za zaštitu strujnih krugova, te LED diode koje emitiraju svjetlost kada poluvodički materijal u propusnoj polarizaciji otpušta fotone [9].

3.1.2 Povijest LED diode i karakteristike

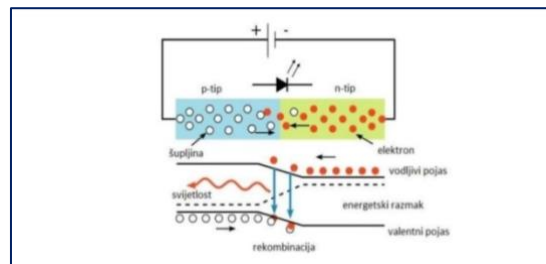
LED dioda je izumljena 1962. godine i izumio ju je Nick Holonyack iz tvrtke General Electric. Prva komercijalna proizvodnja počela je 1967. godine u SAD-u (Monstanto Company), te su se te prve diode koristile kao indikatori. Godine 1976. otkrivena je visoko sjajna LED dioda, te je počela njihova primjena u signalizaciji i telekomunikaciji. Kako je vrijeme prolazilo razvila se i LED tehnologija, te je rastao tok emitirane svjetlosti, to jest njihova učinkovitost. Godine 1995. se na LED tehnologiju počelo gledati kao na izvor svjetlosti, te je Shuji Nakamura (Nichia Corporation), dizajnirao prvi visoko bijeli sjajni LED izvor svjetlosti. Ubrzo je otkrivena i linearnost između eksponencijalnog povećanja svjetlosnog toka i vremena, te je nastao tzv. Haitzov zakon [1].



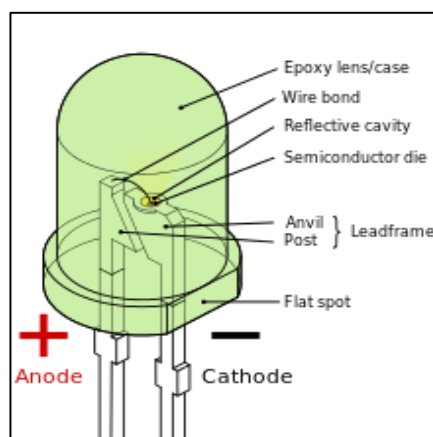
Slika 12: Izgled i simbol LED diode [10]

Slika 12 prikazuje simbol i izgled LED diode. LED diode se u današnje vrijeme koriste sve više radi svojih zadovoljavajućih performansi, cijene i jednostavnosti izrade. Još jedan primjer LED diode je RGB dioda (engl. Red-Green-Blue) i sastoji se od tri diode zelene, crvene i plave boje. Intenzitet boja se može regulirati i time se dobiva širi spektar ostalih boja.

LED dioda je sastavljena od materijala kao i standardna diode te sadrži poluvodički čip koji je obogaćen određenim primjesama kako bi se stvorio P – N spoj. Kada električna energija dolazi do diode izaziva se kretanje elektrona između anode i katode. Elektroni popunjavaju šupljine i kada elektron popuni šupljinu dođe do pada energetske razine u elektronu te dolazi do oslobađanja energije u obliku fotona. [1] Razlika u energetske razine vodljive i valentne vrpce određuje valnu duljinu fotonskog (elektromagnetskog) vala koji se oslobađa, to jest boju emitirane svjetlosti. Slika 13 prikazuje postupak rekombinacije što znači da elektron gubi energiju i kreće otpuštanje fotona, to jest stvaranje svjetlosti. LED diode su učinkoviti izvor svjetlosti zato što se fotoni oslobađaju bez velikog utroška energije za razliku od standardnih žarulja. Danas se LED diode koriste posvuda: u domovima, automobilima, mobitelima i televizorima te različitim elektroničkim uređajima [9].



Slika 13: Generiranje svjetlosti pomoću LED diode [12]



Slika 14: Konstrukcija LED diode [13]

Konstrukcije svjetleće diode je prikazana na slici 14 i sastoji se od: anode, katode, žičane veze, poluvodičkog čipa, metalnog okvira, reflektora i kućišta od smole.

LED dioda ima dva vodiča, a to su katoda i anoda. Anoda je spojena na pozitivnu stranu strujnog kruga, a katoda na negativnu stranu strujnog kruga. Na slici 14 je prikazano kako se katoda nalazi na ravnom dijelu kućišta. Kućište je često iste boje kao i emitirana svjetlost diode. Na prošireni dio katode smješten je poluvodički čip, koji je povezan s anodom putem žičane veze. Metalni okvir se sastoji od klina i nakovnja. Oblik metalnog okvira služi za raspoznavanje vodiča, te također drži okvir na mjestu dok se cijela dioda zatvara u epoksidnu smolu. Reflektor je smješten povrhu vrha poluvodičkog čipa radi boljeg isijavanja fotona. Na slici 13 se može vidjeti energetski razmak između valentnog i vodljivog pojasa, a taj energetski razmak kod poluvodiča može biti indirektan i direktan. Kod LED dioda se obično koriste materijali s direktnim energetskim razmakom jer dolazi do vidljive emisije svjetla [1].

Tablica 1: Prednosti i mane LED diode [12]

Prednosti	Nedostaci
troši manje snage = manja potrošnja električne energije	fiksno određen napon i struja za uporabu
duže trajanje od „obične“ žarulje što je ekonomski isplativije	nešto veća cijena u usporedbi s ostalim žaruljama
izdržljivije i čvršće od „običnih“ žarulja zahvaljujući strukturi	emisije plavog svjetla na određenim LED-diodama
ne stvaraju emisije štetne za čovjeka i okolinu (osim plavog svjetla)	radne karakteristike ovise o temperaturi okoline
ne zagrijavaju prostor u kojem se nalaze, manja vjerojatnost nezgode ili požara	
manje su osjetljive na hladnoću i temperaturne promjene	

Tablica 1 prikazuje prednosti i nedostatke LED dioda i može se zaključiti kako LED diode imaju više prednosti nego nedostataka. Manja potrošnja električne energije i duže trajanje od „obične“ žarulje ih čini prikladnim za korištenje u kućanstvu i industriji. Jedina značajna negativna karakteristika LED žarulja su navedene emisije plavog svijetla koje u većim količinama ostavljaju dugotrajne posljedice na zdravlje čovjeka. Cijena je nešto veća u usporedbi s ostalim žaruljama, no gledajući izdržljivost, trajanje i ostale pozitivne karakteristike, može se reći da i cijena nije značajan nedostatak.

3.2 Arduino Nano mikroupravljač

Arduino Nano mikroupravljač je preferirani upravljački sklop za široki spektar projekata koji zahtijevaju mikroupravljač manjih dimenzija i koji je jednostavan za korištenje. Arduino Nano mikroupravljač je baziran na ATmega 328 čipu, te ima skoro istu funkcionalnu svrhu kao model Arduino Duemilanove. Arduino Nano radi s Mini - B USB kablom umjesto USB C tipa koji se nameće kao standardni kabl. Neke od sličnih mikroupravljačkih ploča sa sličnim funkcionalnim sposobnostima su: Arduino Nano 33 BLE, Arduino Nano 33 BLE SENSE, Arduino Micro i drugi modeli. Najbitniji dio Arduino Nano mikroupravljača je navedeni čip (ATMega328) koji se zbog svojih karakteristika ugrađuje i u ostale vrste mikroupravljača koji se razlikuju prema dostupnom hardveru. Arduino Nano ne zahtijeva pritisak gumba za reset, kao što trebaju drugi tipovi mikroupravljača, nego je dizajniran na način da se resetira sam pomoću softvera ili programa u kojem korisnik radi. Arduino Nano dolazi sa prethodno instaliranim sustavom za učitavanje sustava prilikom pokretanja (engl. bootloader).

Osnovne specifikacije mikroupravljača (AT mega 328) navedene su u nastavku [15]:

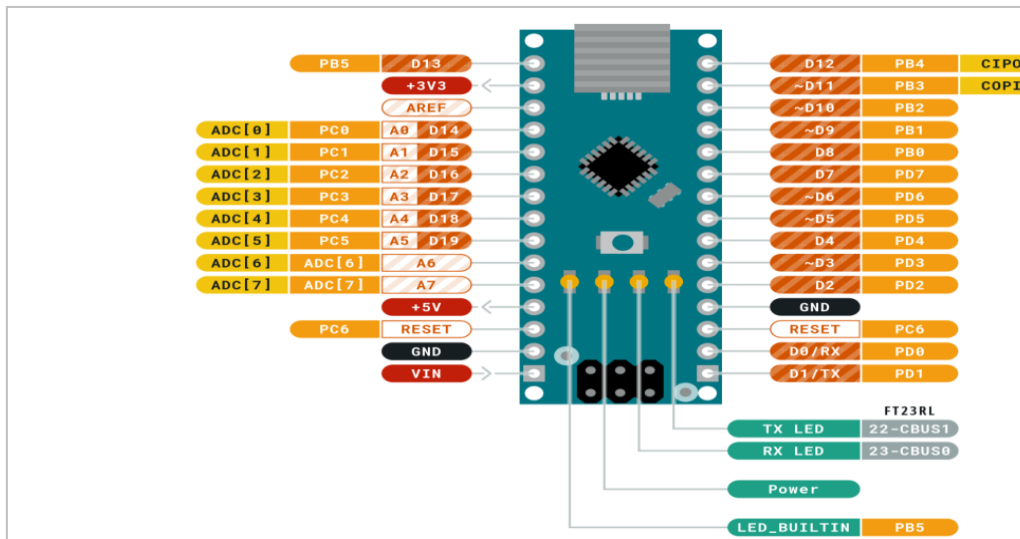
Memorija: ATmega328 ima 32 KB memorije, te također 2 KB RAM memorije i 1 KB EEPROM-a.

Napajanje: Arduino mikroupravljač se napaja s MINI-B USB kablom (što se može nazvati i nedostatkom). Ima 6 - 20 V ulaznog napona (granični napon), a radni napon je 5 V.

Input i Output (ulazni i izlazni pinovi): svaki od 14 digitalnih pinova na mikroupravljaču se mogu koristiti za ulaz ili izlaz signala te također posjeduje 8 analognih inputa.

Mogućnost programiranja: na stranici proizvođača moguće je preuzeti programsku podršku za programiranje mikroupravljača. Čip dolazi s unaprijed instaliranim „bootloaderom“ koji omogućava učitavanje novog koda bez vanjskog programatora. Bootloader se također može zaobići te je moguće mikroupravljač programirati ISCP (engl. In Circuit Serial Programming) metodom.

Komunikacija: čip ATmega 328 dolazi s ugrađenom UART TTL (engl. Universally Asynchronous Receiver / Transmitter Transistor - Transistor Logic) serijskom komunikacijom koja je dostupna na pinovima 0 (RX – prijamnik) i 1 (TX - predajnik). Sučelje FTDI (engl. Future Technology Devices International) FT 232RL provodi serijsku komunikaciju preko USB-a, a također su podržani I2C protokol (engl. Inter-Integrated Circuit) i SPI protokol (engl. Serial Peripheral Interface).



Slika 15: Pinovi i njihov položaji na mikroupravljaču Arduino Nano [16]

Detaljniji opis pinova prikazanih na slici 15 dan je u nastavku:

- CRNA: uzemljenje
- CRVENA: napajanje
- PLAVA: LED- dioda
- LJUBIČASTA: SWD (engl. Serial wire debug) pin
- TAMNO PLAVA: unutrašnji pin
- TAMNO NARANČASTA: digitalni pin
- NARANČASTA: pin mikroupravljača
- ŽUTA: *default* (zadana vrijednost)
- Analogni pinovi (A6, A7) : nemaju boje

Fleksibilnost Arduino Nano mikroupravljača je jedna od najvećih benefita kod korištenja navedenog uređaja. Mogućnost lakog povezivanja na različite vanjske uređaje kao što su senzori, GPS i GSM modemi je najveći prodajni adut (engl. selling point) uređaja. Arduino Nano mikroupravljač se najčešće koristi kod izrade projekata u polju robotike i elektronike entuzijasta, studenata ili profesionalaca. Male dimenzije čine mikroupravljač kompaktnim i lakim za spajanje i prenošenje.

Arduino Nano mikroupravljač koristi Arduino IDE softver (engl. Integrated Development Environment) koji svoje temelje vuče iz programskog jezika C. Arduino IDE softver je jednostavan za korištenje, te pripada „open source“ inicijativi što znači da je originalni kod dostupan svim korisnicima i da mogu slobodno i besplatno mijenjati, uređivati i poboljšavati sadržaj kojim se bave. Radi lakšeg upravljanja i komunikacije između mikroupravljača i ostalih komponenata moguća je i opcija preuzimanja (engl. download) raznih pomagala sa stranice proizvođača. Arduino IDE dolazi s opcijom pohrane već kreiranih programa u „sketchbook“ (blok za testiranje). Sketchbook služi za pohranu prethodno spojenih uređaja i programskog koda te za testiranje novog programskog koda.

Nedostaci Arduina Nano mikroupravljača su: hardverska ograničenja, limitirana procesna snaga i memorija, neprikladan za komponente većih i jačih performansi. Prednosti navedenog mikroupravljača su: širok spektar kompatibilnih komponenata, „open source“ tj. Otvorenost programskog koda svima dostupna za uporabu, velika količina zbirki i pomagala te niska cijena i efikasnost sustava.

Arduino IDE dolazi sa specijaliziranom instaliranom LCL bibliotekom (engl. Liquid Chrystal Library). Navedena biblioteka uvelike olakšava rad s alfanumeričkim zaslonom zasnovanom na tekućim kristalima i služi za lakšu uspostavu komunikacije između programa i mikroupravljača. Također sadrži neke od osnovnih funkcija za korištenje, a mogu se izdvojiti sljedeće funkcije:

- **lcd.print()** – ispisuje određene informacije na zaslon. Neki moderniji LCD zasloni imaju opciju prikazivati animacije i simbole na zaslonu
- **lcd.home()** – pozicionira kursor na početno polje (0, 0), ali ne briše prethodne informacije prikazane na zaslonu
- **lcd.backlight()** – uključuje pozadinsko osvjetljenje
- **lcd.noBacklight()** – isključuje pozadinsko osvjetljenje
- **lcd.setCursor()** – pozicionira kursor na zadanu poziciju. Prva koordinata (X) označava položaj gledajući s lijeva na desno, a druga odozgora prema dolje.

3.3 LCD tehnologija i način uporabe

Zaslon s tekućim kristalima LCD (engl. Liquid Crystal Display) je vrsta ravnog zaslona koji koriste tekuće kristale u svom osnovnom obliku rada. LCD zasloni su bili veliki korak naprijed s obzirom na tehnologiju koja se do tada koristila i koju su na kraju i zamijenili (npr. plinski plazma zaslon). LCD zasloni su tanji, troše puno manje energije od LED i raznih plinskih zaslona zbog toga što rade na principu blokiranja svjetlosti, a ne emitirajući ju. Dok LED zasloni emitiraju svjetlost, tekući kristali u LCD-u stvaraju sliku koristeći pozadinsko osvjetljenje. S napretkom tehnologije i LCD zasloni su počeli biti zastarjeli te su zamijenjeni novom OLED (engl. Organic Light-Emitting Display Diode) tehnologijom. Boje kod LCD zaslona se sastoje od piksela. Svaki piksel u sebi ima 3 manja podpiksela koji su filtrima obojeni u boje (crvena, plava, zelena). Kombinacijom navedenih boja formiraju se nove boje.

3.3.1 LCD 16 x 2 zaslon

U prezentiranom radu korišten je 16 x 2 zaslon s tekućim kristalima koji može prikazati 16 znakova ili simbola u svakom od svoja dva reda. Najčešće se koriste za alfanumerički prikaz u raznim elektroničkim uređajima, očitavanja senzora i osnovne grafike. LCD zaslon blokira ili propušta (ovisno o zadanoj komandi) svjetlost, te se na zaslonu pojavljuju znakovi ili simboli. Kontrolira se slanjem podataka ili naredbi upravljaču koji zauzvrat upravlja prikazom informacija. 16 x 2 zaslon ima 16 pinova, raspoređenih u 2 reda po 8 pinova. Pinovi se koriste za komunikaciju, signaliziranje, napajanje itd. Sami zaslon se sastoji od PCF8574 kontrolera kojim se omogućava serijska i paralelna komunikacija između mikroupravljača i LCD zaslona. Komunikacija sa mikroupravljačem se vrši putem I2C komunikacije. Za korištenje LCD zaslona potrebna je biblioteka. Na prethodnoj stranici su opisane neke od osnovnih funkcija za uspješno upravljanje LCD zaslonom. Od navedenih osnovnih funkcija najčešće se koriste funkcija `lcd.print()`, koja ispisuje određene informacije na zaslon. Funkcija `lcd.home()`, koja pozicionira kursor na početno polje (0, 0) i funkcija `lcd.setCursor()` čija je svrha postavljanja cursora na određenu poziciju.

Tablica 2 prikazuje osnovne naredbe za upravljanje LCD zaslonom bez I2C konekcije. Prikazani serijski brojevi su namješteni tvorničkim postavkama, no moguće ih je promijeniti na druge pinove i brojeve.

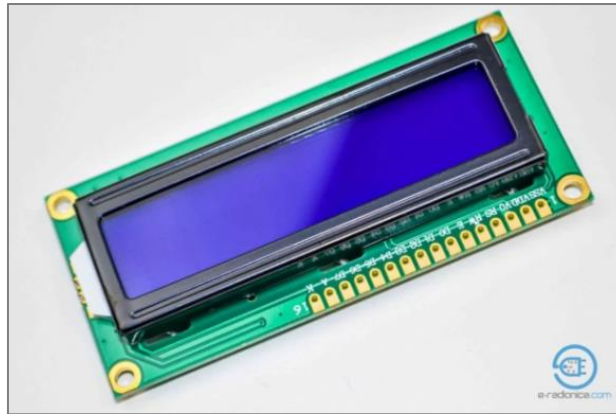
Tablica 2: Osnovne naredbe za 16 x 2 zaslon [17]

Serijski broj	Heksadecimalni zapis	Naredba LCD registru
1.	01.	Očisti zaslon
2.	02.	Povratak nazad
3.	04.	Smanji kursor (ulijevo)
4.	06.	Povećaj kursor (udesno)
5.	05.	Pomakni prikaz desno
6.	07.	Pomakni prikaz lijevo
7.	08.	Prikaz i kursor isključeni
8.	0A.	Prikaz isključen, kursor uključen
9.	0C.	Prikaz uključen, kursor isključen
10.	0E.	Prikaz uključen, kursor treperi
11.	0F.	Prikaz uključen, kursor treperi
12.	10.	Pomakni kursor ulijevo
13.	14.	Pomakni kursor udesno
14.	18.	Pomakni cijeli prikaz na lijevo
15.	1C.	Pomakni cijeli prikaz na desno
16.	80.	Vrati kursor na početak 1 reda
17.	C0.	Vrati kursor na početak 2 reda
18.	38.	2 red, matrica 5 x 7

LCD 16 x 2 zaslon ima 2 registra, jedan za naredbe, a drugi za podatke. Odabir registra se koristi za pristup pojedinom registru.

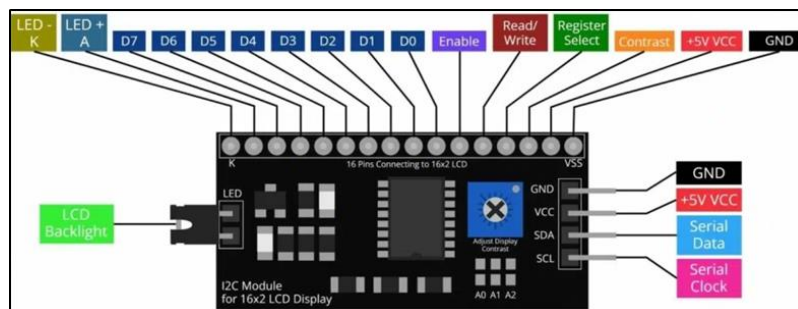
Naredba: je instrukcija LCD-u za obavljanje unaprijed definiranog zadatka kao što su: kontroliranje zaslona, namještanje pozicije kursora, resetiranje zaslona itd. Naredba služi kao signal sistemu da je potrebno izvršiti određeni zadatak.

Registar podataka: registar podataka služi za pohranu podataka koji se prikazuju na LCD-u. Kod slanja podataka na LCD uređaj oni se šalju dalje na u registar podataka i tamo se obrađuju. Nakon obrade podatka, informacija se šalje dalje u sustav i kreće provedba zadane naredbe.



Slika 16: LCD pokazivač 16 x 2 [18]

Slika 16 prikazuje LCD zaslon. Za komunikaciju se koristi I2C modul koji je kompatibilan sa svim vrstama LCD zaslona. Često se koristi u radu s Arduino Nano mikroupravljačem i Croduino izvedbom (mikroupravljač zasnovan na Arduino tehnologiji proizveden u Hrvatskoj). Budući da koristi I2C komunikaciju sa povezanim mikroupravljačem, zauzima samo dva analogna pina na Croduino mikrupravljaču.



Slika 17: I2C modul sa pinovima [19]

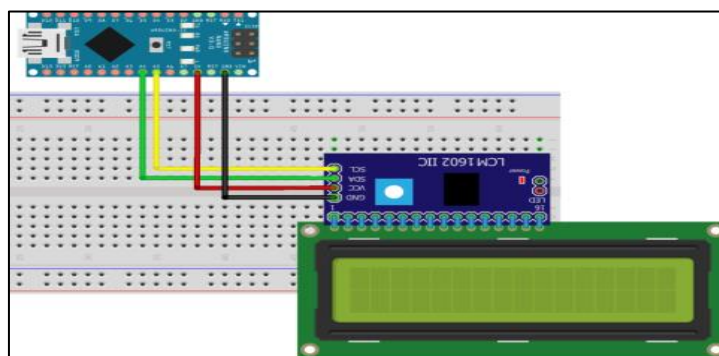
Slika 17 prikazuje I2C modem koji se sastoji od četiri glavna pina:

- GND - uzemljenje
- SDA - pin za podatke
- SCL - konektor
- SCL - vremenski pin

LCD pokazivači imaju veliku uporabu u današnjem svijetu radi svoje efikasnosti i jednostavnog spajanja s vanjskim uređajima. Veliki asortiman LCD pokazivača čini ih omiljenim uređajem za prikaz informacija na različitoj opremi, uređajima i instrumentima. Unatoč svojoj popularnosti, LCD pokazivači se polako istiskuju iz uporabe u zamjenu za ekonomski i financijski isplativije OLED pokazivače.

3.3.2 Povezivanje LCD zaslona s mikroupravljačem

Povezivanje LCD zaslona i Arduino mikroupravljača će biti izvedeno putem I2C konekcije. I2C konekcija uključuje dvije linije/žice koje šalju i primaju podatke. Sastoji se od SCL-a (engl. Serial Clock Lock) i SDA (engl. Serial Data Pin) linija. SCL linija služi za pulsiranje Arduino mikroupravljača u redovitim intervalima, a SDA linija služi za slanje podataka između dva uređaja. U I2C konekciji se uvijek nalazi jedan upravljački uređaj, s jednim ili više drugih uređaja spojenih sa SCL ili SDA konekcijom. Linija sata se mijenja s niske na visoku, informacija se šalje preko ploče do I2C uređaja pa preko SDA linije. Kako se pulsiranje nastavlja i šalje sve više i više bitova, dolazi do formiranja naredbe ili podatka. Nakon formiranja, naredba ili podatak se šalju nazad u I2C modem te se izvršava zadana naredba. Svaki uređaj u I2C „zirci“ je nezavisan o mikroupravljaču, ali će odgovoriti na informaciju koju mu šalje mikroupravljač. I2C dopušta svakom prepoznatom uređaju da ima vlastitu adresu što omogućava komunikaciju između Arduino mikroupravljača i drugih uređaja. Za Nano mikroupravljač i uspostavljanje konekcije s I2C odgovorni su pinovi označeni A4 i A5. Spajanjem LCD zaslona s mikroupravljačem uz korištenje SDA i SCL pinova uspostavlja se veza. Nakon uspostave veze započinje postupak preuzimanja Liquid Crystal I2C biblioteka (engl. library). Pohranom preuzetog paketa mogu se koristiti odgovarajuće prethodno navedene funkcije za upravljanje LCD zaslonom. Slika 18 prikazuje I2C konekciju sa Arduino Nano mikroupravljačem i LCD-om.



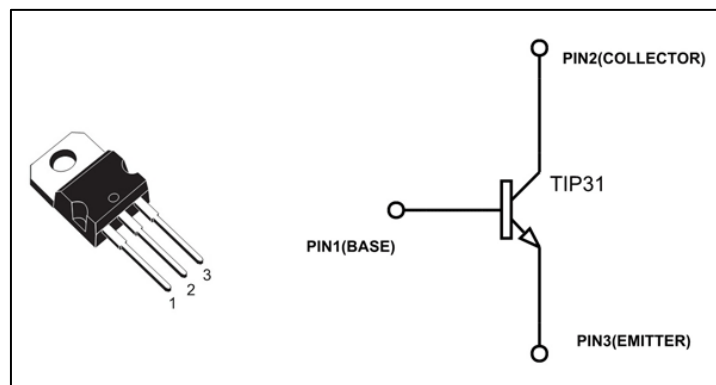
Slika 18: Shematski prikaz spoja [20]

Još jedna prednost koju I2C konekcija ima je brzina. I2C modul radi na različitim brzinama, te se prilagođava raznim brzinama prijenosa podataka i naredbi na temelju zahtjeva povezanih uređaja. Arduino IDE dolazi s pomagalom koje se zove „wire“

(hrv. žica) koja pojednostavljuje komunikaciju između I2C i ostalih uređaja te u sebi ima dodatne naredbe i komande te dodatno pojednostavljuje uporabu.

3.4 Tranzistor TIP31C i ostale komponente

Na slici 19 prikazan je TIP 31C tranzistor snage s tri terminala, te je po klasifikaciji tip tranzistora srednje snage. TIP 31C tranzistor je dizajniran za pojačanje. Tranzistor može izdržati maksimalni napon opterećenja od 100 V. Korištenje ovog modela je popularno radi dobre kvalitete, niske cijene i pouzdanosti. Može ga se koristiti kao instrument za pojačanje signala, kao sklopku, ili se može upravljati njime putem mikroupravljača jer ima veliku brzinu i odziv pojačanja, te će shodno tome TIP 31C favorizirati aplikacije i uređaje za prebacivanje velike brzine [21].



Slika 19: TIP 31C tranzistor [21]

Kao što je već navedeno TIP 31C je tranzistor snage s tri terminala, a to su:

- **PIN1 (BAZA):** djeluje kao okidač te pali tranzistor
- **PIN2 (KOLEKTOR):** spajanje na opterećenje
- **PIN2 (ODAŠILJAČ):** spaja se na uzemljenje (GND)

Tehničke specifikacije tranzistora su [21]:

- Maksimalna disipacija je 40 (W), maksimalna kolektorska struja je 3 A
- Maksimalna jakost struje kroz bazu tranzistora je 1A DC, dok je maksimalna struja kroz kolektor tranzistora 3A DC
- Maksimalna VEBO (eng. Emitter to base voltage) iznosi 5 V
- Raspon minimalne i maksimalne jakosti struje je od 10 do 50 A
- Maksimalni napon kolektor- baze (VCB) i kolektor emitera (VCE) su 100 V
- Radna temperatura je u rasponu od - 65° do 150° C

Tablica 3: Dodatne komponente

 <p>1.Otpornici</p>	 <p>2. Potenciometar Vrijeme osvjetljavanja</p>	 <p>3.Laptop napajanje(12 V)</p>
 <p>4.Led diode</p>	 <p>5.Konektori 220 V 3 PIN</p>	 <p>6.Potenciometar Intenzitet svjetlosti</p>
 <p>7.Prekidači</p>	 <p>8.Pin konektori</p>	 <p>9.TIP 31C tranzistor</p>

Dodatne komponente korištene u završnom radu su prikazani u tablici 3. Potenciometri služe za reguliranje intenziteta svjetlosti i odabir vremena foto oslojavanja. Pin konektori služe za ostvarivanje odgovarajuće konekcije između uređaja i kao dodatne točke spajanja. Za napajanje je korišteno standardno laptop napajanje od 12 V. UV LED diode su osnovni element UV LED svjetlećih panela.

4. Sastavljanje i testiranje sustava

U ovom poglavlju završnog rada pozabavit ćemo se sastavljanjem navedenog sustava, ostvarivanja konekcije s mikroupravljačem, opisati postupak izrade tiskane pločice (engl. Printed Circuit Board), te prikazati rješenja problema koji su se pojavili prilikom sastavljanja sustava.

4.1 Povezivanje i rad s mikroupravljačem

Između računala i mikroupravljača potrebno je osigurati dobru i protočna povezanost. U ovom projektu koristi se USB mini kabel koji služi za prijenos podataka i informacija, te napajanje prema mikroupravljaču. Nakon instalacije potrebnog programa za konekciju (engl. Driver) vrši se provjera putem operativnog sustava na računalu (MS Windows 11). Inače se ažuriranje i instalacija programa za konekciju odvija automatski, no u ovom slučaju instalacija se morala pokretati ručno radi neprepoznavanja dostupnih ažuriranja programske podrške (engl. update) . Nakon provjere komunikacije između računala i mikroupravljača potrebno je odabrati odgovarajuće serijsko komunikacijsko sučelje (engl. COM Port) te se može krenuti s daljnjim radom. Slika 20 prikazuje USB mini kabel s pomoću kojeg se ostvaruje odgovarajuća povezanost između tiskane pločice s mikroupravljačem i laptopa.



Slika 20: USB mini kabel [22]

Nakon provjere konekcije između računala i mikroupravljača pokreće se aplikacija Arduino IDE te je potrebno odabrati određeni model mikroupravljača. Model se odabire navedenim opcijama u padajućem izborniku: *Tools* → *Board* → *Arduino Boards AVR* → *Arduino Nano*. Odabirom mikroupravljača Arduino Nano potrebno je odabrati adekvatni komunikacijski model ili sučelje. Odabir bi se trebao dogoditi

automatski s povezanim mikroupravljačem, no u slučaju da to nije moguće, opcija ručnog spajanja je moguća. Ručno spajanje se odabire opcijama u padajućem izborniku: *Tools* → *Ports* → *Com*. Odabirom opcije potvrdi (engl. verify) provjerava se ispravnost koda i u slučaju da nema grešaka odabire se opcija Upload. U slučaju da ne uspije učitavanje koda u Arduino IDE programsku podršku potrebno je temeljito provjeriti cijeli programski kod. Sustav automatski prikazuje na desnoj strani sučelja pogrešku (engl. error) signalizirajući da nešto nije u redu. Klikom miša na prikazanu pogrešku dolazimo do opcije automatskog detektiranja problema. Navigacijom na opcije u padajućem izborniku: *File* → *Preferences*, te označavanjem kvadratića „Editor Quick Suggestions“ prikazuje se navedena značajka koja nakon označavanja odgovarajućeg mikroupravljača i ponovnog učitavanja koda izbacuje detektirane greške i daje prijedloge kako nastaviti s daljnjim programiranjem. Druga opcija detektiranja grešaka prilikom učitavanja koda je izvršavanje automatskog formatiranja. Navigacijom na opcije u padajućem izborniku: *Tools* → *Auto format* i označavanjem odgovarajućeg kvadratića uključuje se navedena značajka koja funkcionira na sličnom principu kao Quick Suggestions Editor.

Također je potrebno provjeriti potencijalne probleme koji nisu softverske prirode kao što su:

- provjeriti žičane veze i spojeve,
- provjeriti izvor napajanja,
- provjeriti vrijednosti izlaza/ulaza,
- pripaziti na neispravne lemове (ako ih ima)

Kratki spojevi su čest problem i često nastaju kod područja gdje se žice međusobno dodiruju ili spajaju. Komponente koje su vruće na dodir također mogu biti nuspojava neispravne veze ili prevelikog napona. Osjetom mirisa moguće je uočiti pregorjele komponente koji se onda po potrebi mijenjaju. Napajanje se mora isključiti odmah nakon uočavanja pregorjelog elementa kako bi se spriječilo oštećivanje drugih komponenti. U slučaju da je problem nastao kod napajanja potrebno je provjeriti je li lampica na spojena mikroupravljač i provjeriti sami izvor napajanja. Ako lampica na mikroupravljaču svijetli i izvor napajanja ispravan, potrebno je probati napajati komponente neovisno o mikroupravljaču, putem vanjskog uređaja npr. baterije.

4.1.2 Rad s mikroupravljačem

Programiranje kod Arduino mikroupravljača je slično kao kod „običnog“ C/C++ programiranja (uz neke značajne razlike). Najviše se razlikuju po tome što sustav Arduino IDE mora imati dvije temeljne funkcije koje izvršavaju neki programski kod, a to su:

1. void setup()
2. void loop()

Funkcija *setup()* služi za definiranje izraza koji se očitavaju samo jednom u kodu, to jest kada započinje pokretanje projekta. Definiranjem varijabli i parametara funkcija *setup()* u temelju služi za postavljanje određenih početnih vrijednosti [23].

Funkcija *loop()* koristi se nakon kreiranja funkcije *setup()*, te radi točno ono što i samo ime sugerira, izvršava se niz naredbi u beskonačnoj petlji. Petlja predstavlja centar samog programskog koda te se koristi za aktivno upravljanje mikroupravljačem [23].

Tablica 4: Osnovne Arduino naredbe [23]

Funkcija	Objašnjenje
digitalRead()	Očitava vrijednost digitalnog pina (visoki ili niski)
digitalWrite()	Zapisuje visoku ili nisku vrijednost na digitalni pin
pinMode()	Odabrani pin se ponaša kao ulaz ili izlaz
analogWrite()	Zapisuje analognu vrijednost na pin, osvjetljenje
analogRead()	Očitava vrijednost određenog analognog pina
Serial.print()	Šalje podatke na ASCII port kao čitljiv tekst
Serial.read()	Procesuirala nadolazeće serijske podatke
Serial.begin()	Postavlja brzinu za nadolazeći prijenos podataka
delay()	Pauzira program na određeno vrijeme u milisekundama.(navedeno kao jedan parametar)

4.2 Sastavljanje kućišta

Kućište je napravljeno od akrilnog stakla (tj. polimer koji se još naziva i pleksiglas). Akrilno staklo definira otpornost, čvrstoća i visoka transparentnost i otpornost na UV zračenje. Akrilno staklo je otprilike deset puta lakše od običnog stakla iste debljine. Primjene akrilnog stakla su česte, a neke od njih su zastakljivanje prozora, ormarića, vrata, nadstrešnica itd. Obrada akrilnog stakla je vrlo laka, najosnovnijim alatom za obradu drva i metala može se jednostavno bušiti, piliti, preoblikovati i savijati.

Slika 21 prikazuje sklopljeno kućište. Kućište je jedan od osnovnih elemenata navedenog projekta, te kao što je gore navedeno korišten je polimer akril. Poklopac samog kućišta mora biti ravan radi lakšeg postavljanja svjetlećih dioda. Baziran na širini i dužini samog kućišta određeni broj svjetlećih dioda se mora ravnomjerno rasporediti po cijeloj dužini samog poklopca.

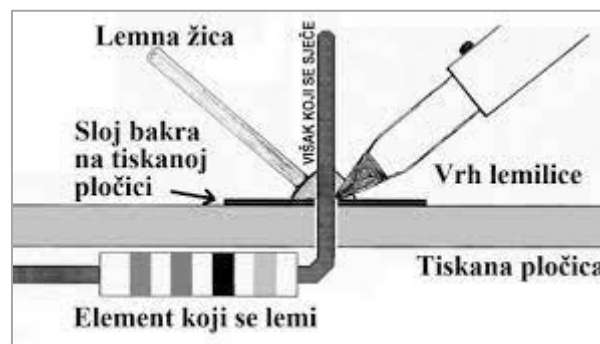


Slika 21: Sklopljeno kućište

Ravnalom i flomasterom je potrebno označiti dimenzije te zatim ručnom pilom izrezati i oblikovati okvire te sjedišta za komponente. Prilikom mjerenja i označavanja flomasterom potrebno je obratiti pažnju na točnost samih dimenzija kako predviđeni prostor za komponente ne bi bio prevelik ili premali. Potrebno je i izrezati kanale za u kućištu koji služe kako bi se žicama mogla ostvariti zadovoljavajuća konekcija između komponenata.

4.3 Lemljenje

Izrada bilo kojeg elektroničkog uređaja zahtijeva lemljenje. Lemljenje se dijeli na tvrdo i meko lemljenje. Lemni spojevi imaju prednost u tome što trajno osiguravaju dobru mehaničku stabilnost zalemljenih komponenti. U slučaju kvara, svaki zalemljeni dio se može lako zamijeniti. Sve površine koje se leme obavezno moraju biti čiste. Kod tiskanih pločica bakrenu površinu je preporučljivo blago polirati. Za skidanje tankih slojeva može se koristiti i obična gumica za brisanje. Predmet lemljenja (npr. bakrena žica) uvijek mora doći između zagrijanog vrha lemilice s jedne strane i tinola (lemne žice) s druge strane. Ovim postupkom se osigurava rastapanje tinola tek nakon što predmet lemljenja dostigne određenu temperaturu. Vrh same lemilice se zadržava dvije do tri sekunde dok se ne formira lem. Tijekom dodavanja lema potrebno je pripaziti na količinu lema jer premala količina lema može uzrokovati loš spoj [24].



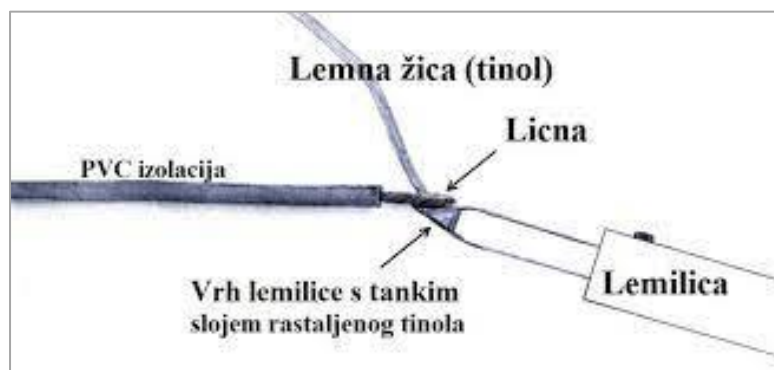
Slika 22: Lemljenje otpornika na tiskanu pločicu [24]

Slika 22 prikazuje postupak lemljenja otpornika na tiskanu pločicu. Vrh lemilice nalazi se s jedne strane, a s druge strane spojnog mjesta nalazi se lemna žica. Vrh lemilice je najbitniji dio lemilice te se ne smije „šmirglati“ ili na bilo kakav drugi način obrađivati. Vrh lemilice se sastoji od više slojeva metala i ako se vanjski sloj ošteti, tada tinol više ne prijanja i potrebno je nabaviti novi vrh. Tijekom lemljenja vrh se ne

umače niti u kolofonij niti u pastu za lemljenje [24]. Potrebno je i napomenuti da neke elektroničke komponente (npr. MOSFET (engl. Metal – Oxide – Semiconductor - Field Effect - Transistor), CMOS (engl. Complementary – Metal – Oxide - Semiconductor). Prilikom postupka lemljenja elektroničke komponente mogu biti uništene pod utjecajem statičkog elektriciteta. Vjerojatnost ovakvih situacija se dosta smanjuje kod skupljih i kvalitetnijih ESD (engl. Electrostatic Discharge Safe) lemnih stanica.

Jedna od najčešćih pogrešaka kod lemljenja je direktno dodavanje lemne žice na vrh lemne drške. Posljedica su loši lemní spojevi koji su nevodljivi ili loše vodljivi. Ovakva vrsta spojeva se naziva „hladni spoj“ [24].

Jedan od osnovnih elemenata za uspješno lemljenje je lemna žica. Osnovni sastojak lemne žice (tinol) je kositar. Za najširu primjenu koristi se lemna žica koja sadrži 60 % kositra i 40 % olova (60/40), promjera od 0,7 mm do 1,0 mm. Temperatura taljenja je 188 °C, a nisko talište je prednost, jer se elektronički elementi prilikom lemljenja manje zagrijavaju [24].



Slika 23: Pokositranje finožičanog vodiča (licne) [24]

Slika 23 prikazuje primjer nanošenja sloja kositra. PVC izolacija se skida s vodiča prije samog početka. Goli snop žica ručno se dodatno zakrene da budu zajedno. Prilikom zagrijavanja tinol se otapa i upija među žice. Nakon hlađenja kraj licne postaje krut i lakše se spaja na mehaničke stezaljke. Sličnim postupkom mogu se pokositriti i ostale bakrene površine (npr. krute žice ili lemne ušice). Takva predradnja olakšava međusobno spajanje [24]. Još jedan bitan element kod postupka lemljenja je lemna pasta. Danas se sve češće koriste SMT (engl. Surface Mount Technology) lemne paste koje služe kao zaštitno sredstvo unutar same jezgre žice. U principu su

iste kao obične paste, samo što se kod SMT- a koristi lemljenje s pomoću vrućeg zraka. Najčešće se koriste kod proizvodnje kompleksnijih tiskanih pločica. Pasta se nanosi na prethodno pripremljenu tiskanu pločicu, najčešće špricom ili kapaljkom te se zatim postavljaju komponente te kreće zagrijavanje paste vrućim zrakom dok ne nastane spoj. SMT pasta također smanjuje vjerojatnost neispravnih lemova.

4.3.1 UV svjetleće diode

Svjetleće diode su puno učinkovitije od fluorescentnih žarulja ili standardnih žarulja sa žarnom niti. Učinkovitost svjetlećih dioda je pet do deset puta veća, što ih čini više prihvatljivima za okoliš i jeftinijima za rad.



Slika 24: UV LED svjetleći paneli

Slika 24 prikazuje UV LED svjetleće panele. UV LED svjetleći panel čine 7 redova po 3 serijski spojene UV LED diode, svaki red daje snagu od 0.72W što u konačnici daje 5W ukupne snage svjetlećih dioda pri naponu od 12V. 5W LED dioda je ekvivalentna 60W standardnoj volframovoj žarulji. Panel se učvršćuje na kućište s pomoću dvoslojne samoljepljive trake.

4.4 Izrada i razvoj tiskane pločice

Za kompletno povezivanje cjelokupnog sustava u jednu cjelinu potrebno je izraditi tiskana pločica. Podloga tiskanih pločica se obično sastoji od staklenih vlakana koja su impregnirana epoksidnom smolom (vitroplast), no moguća je i izrada od drugih materijala kao što su keramika ili fluoropolimeri.

Tiskane pločica se može izraditi s pomoću dvije metode:

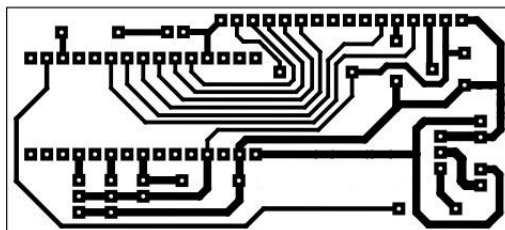
- toner transfer metoda
- metoda foto oslojavanja

Shema za tiskanu pločicu je izrađena s pomoću aplikacija Easy EDA i Proteus Demo, a metoda izrade pločice je Toner transfer metoda. Nakon izrade sheme konstruira se predložak ili „podloga“ tiskanih veza.

Elementi korišteni tijekom izrade su:

- fotografski papir,
- klorovodična kiselina (HCl),
- jednoslojna pločica,
- vodikov peroksid 30 % (H₂O₂)

Prvi korak pri izradi tiskane pločice je konstruiranje sheme u programu Proteus. Odabirom opcija u padajućem izborniku: *New Project* → *Design Template* → *Default* → *Layout Templates* odabire se sloj tiskane pločice, i može se početi s konstruiranjem sheme.

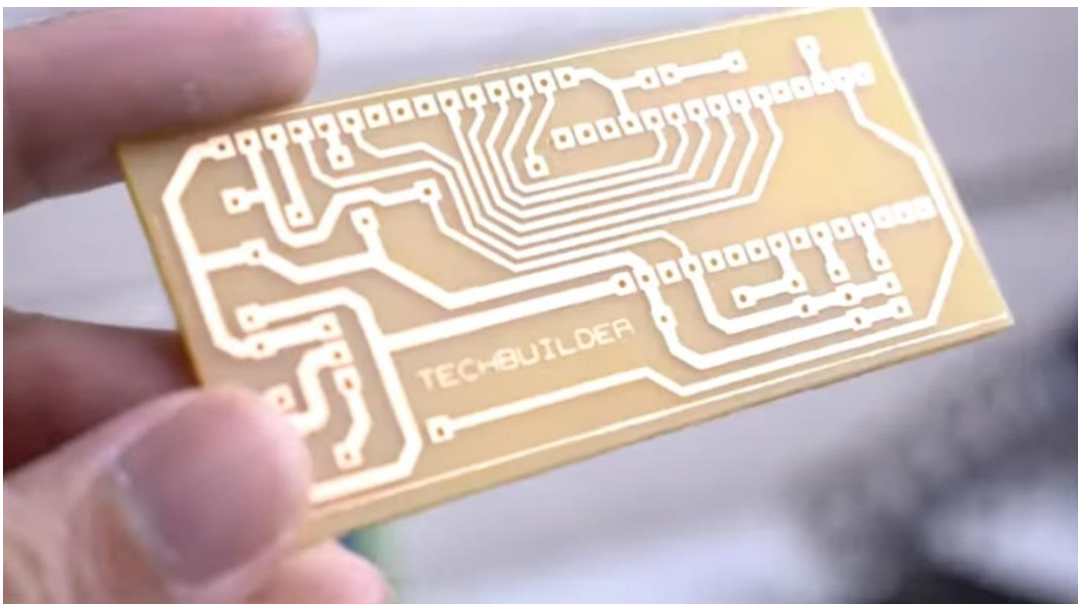


Slika 25: Predložak tiskane pločice

Slika 25 prikazuje predložak tiskane pločice. Predložak se koristi kao temelj za izradu same tiskane pločice. Nakon provjere svih veza i spojeva u programu Proteus može se krenuti s izradom tiskane pločice.

Nakon provjere predloška, laserskim pisačem se iscrtava predložak na fotografski papir. Fotografski papir je nužan kod Toner transfer metode jer olakšava prebacivanje samog tonera na pločicu. Tiskanu pločicu je zatim potrebno izrezati na odgovarajuću dimenziju (dimenzija predloška).

Tiskana pločica sadrži bakreni dio koji se mora očistiti od prljavštine i radi zaštite od oksidacije. Čišćenje se provodi mekanom krpom i ne nagrizajućim sredstvom za čišćenje. Očišćena tiskana pločica se zatim dodatno čisti acetonom kao dodatna predostrožnost prije početka daljnjih razvojnih procesa. Predložak se postavlja na samu tiskanu pločicu te se pritišće objektom kako bi se papir zalijepio na površinu tiskane pločice. Postupak traje otprilike pet minuta, te se nakon toga tiskana pločica stavlja u mlaku vodu na petnaest minuta kako bi se papir što lakše uklonio s tiskane pločice, a da pritom ne bude oštećenja samog tonera i tiska. Nakon vađenja tiskane pločice iz vode potrebno je provjeriti sve spojeve i veze, a u slučaju da postoje područja na koja se toner nije dobro zalijepio, nužno je markerom popraviti navedene dijelove tiskane pločice. Sljedeći korak u razvoju tiskane pločice je postupak jetkanja.



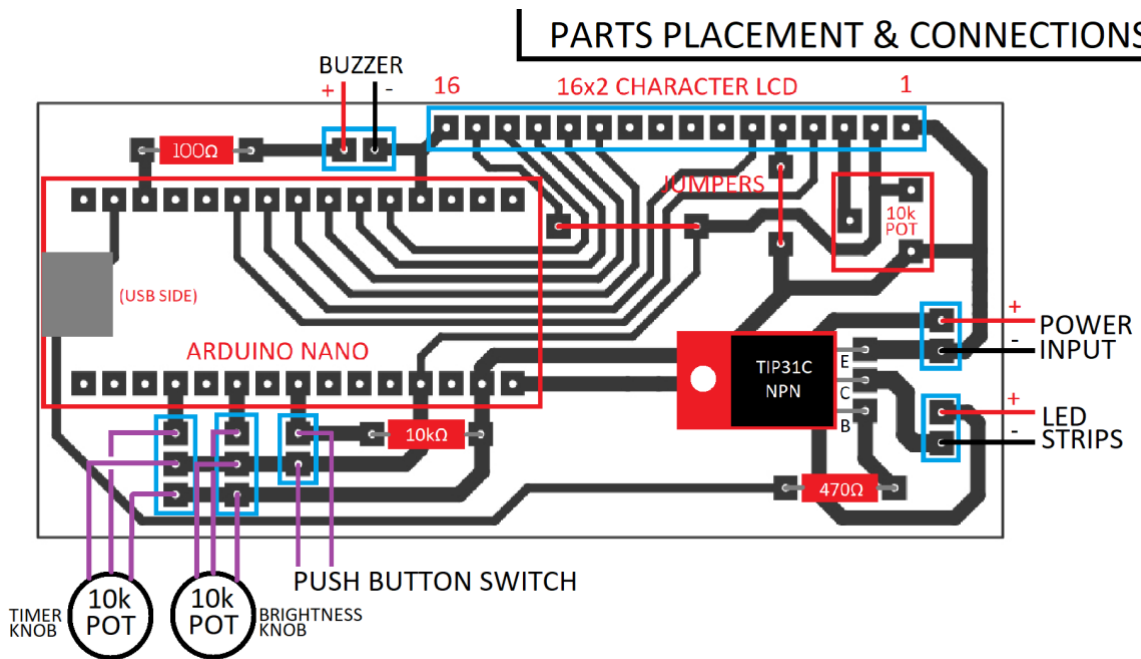
Slika 26: Tiskana pločica nakon jetkanja

Slika 26 prikazuje tiskanu pločicu nakon jetkanja. Jetkanjem se skida suvišan bakar s tiskane pločice. Postupak se najčešće vrši u otopinama kao što su solne kiseline ili vodikov peroksid. Prilikom rukovanja ovim tvarima potreban je maksimalan oprez radi agresivnih i nagrizajućih svojstava navedenih tvari.

Tiskana pločica se uranja u heterogenu otopinu koja se sastoji od 770 ml vode (H_2O), 30 ml vodikovog peroksida (H_2O_2) i 200 ml solne kiseline (HCl) koncentracije 30 %. Vodu je preporučljivo prvo zagrijati kako bi se cijeli proces ubrzao. Nakon stavljanja tiskane pločice u otopinu, navedenu posudu s otopinom je potrebno ljuljati i tresti radi što boljeg djelovanja otopine na pločicu. Proces obično traje deset minuta, no moguće je da će postupak trajati i duže radi neadekvatne temperature, nepravilnog omjera kemikalija i vode, te same količine bakra na pločici. Nakon jetkanja tiskana pločica se ispiru vodom. Tiskana pločica se dodatno čisti te se ostaci tonera ili foto laka skidaju acetonom. Tiskana pločica je tada spremna za bušenje i lemljenje komponenata na samu pločicu.

Drugi način izrade tiskane pločice je metoda foto oslojavanja. Metoda foto oslojavanja se obično koristi u razvoju skupljih i složenijih tiskanih pločica gdje je potrebna velika preciznost. Kod ove metode se koristi vertinaks pločica koja je prekrivena posebnim foto filmom. Vertinaks pločica se reže po mjeri te se odljepljuje zaštitna folija na samoj pločici. Nakon uklanjanja folije stavlja se termo folija na samu pločicu te se primjenjuje pritisak. Tiskane pločice se osvjetljuju žaruljama, svjetlećim diodama, LED cijevima itd. Vrijeme osvjetljivanja ovisi jačini žarulje, debljini stakla, no obično traje od pet do osam minuta ako je u pitanju obična žarulja od 100 W. Nakon osvjetljivanja tiskana pločica se hladi, te zatim stavlja u natrijev hidroksid (NaOH) na nekoliko minuta. Tiskana pločica se zatim stavlja u prethodno opisanu otopinu, te se nakon toga ispiru vodom. Nakon ispiranja vodom pločica je spremna za bušenje i slaganje odabranih komponenata na pločicu.

Sve navedene metode se koriste u izradi tiskanih pločica s drugačijim stupnjem efikasnosti i brzinom izrade. Toner transfer metoda se koristi kod izrade dvoslojnih i višeslojnih tiskanih pločica i više se koristi kod izrade jednostavnijih tiskanih pločica. Metoda foto oslojavanja je najpopularnija metoda izrade tiskane pločice radi svoje kvalitete i brzine izrade. Dodatna mogućnost ubrzanja samog osvjetljivanja je moguća ugradnjom jačih svjetlećih elemenata. Koristi se kod izrada svih vrsta tiskanih pločica. U današnje vrijeme sve češće se koristi tehnologija površinskog montiranja (engl. Surface - Mount Technology). Komponente koje su se inače provlačile kroz prethodno probušene rupe sada se više ne provlače, nego se komponente lijepe na površinu, te im se izvodi ili rubne plohe leme na onu stranu gdje se nalazi komponenta.



Slika 27: Raspodjela komponenata na tiskanoj pločici

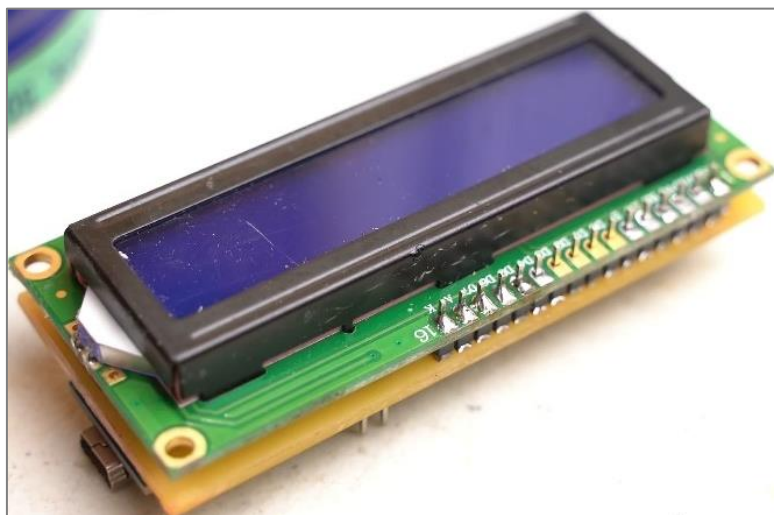
Slika 27 prikazuje raspodjelu komponenata na tiskanoj pločici. Ljubičasto ožičenje označuje dva potenciometra, od kojih jedan služi za regulaciju osvjetljavanja, dok drugi služi za regulaciju svjetlosti. Crno - crveno ožičenje na desnoj strani slike označava svjetleće diode i ulaznu struju. Odmah pored nalazi se TIP31C NPN tranzistor. Na samom vrhu tiskane pločice se nalazi LCD 16 x 2 zaslon (pinovi zaokruženi plavom bojom). Mikroupravljač Arduino Nano je „mozak“ cijelog projekta, te zauzima najviše prostora na samoj tiskanoj pločici. Konekcija s Arduino mikroupravljačem se ostvaruje utorom za USB (USB side).

4.5 Slaganje komponenata na tiskanu pločicu i testiranje

Nakon izrade tiskane pločice potrebno je na samu pločicu postaviti odgovarajuće komponente. Komponente se postupkom lemljenja postavljaju na tiskanu pločicu. Raspored komponenata je prikazan na slici 25.

Prvi korak je postavljanje odgovarajućih otpornika na tiskanu pločicu. Otpornici od 10kΩ, 100Ω i 470Ω se postavljaju na probušene položaje na tiskanoj pločici. Postavljanjem otpornika se osigurava pasivan otpor nadolazećoj struji. Idući korak je postavljanje tranzistora TIP31C. Tranzistor ima mogućnost korištenja kao sklopka ili pojačalo. Arduino Nano mikroupravljač se ne može postaviti na tiskanu pločicu bez odgovarajućih konektora. Lemljenjem konektora na mikroupravljač omogućuje se

postavljanje mikroupravljača na tiskanu pločicu. Iduća komponenta koja ide na tiskanu pločicu je 10kΩ Trimer otpornik. Uloga ovog otpornika je da ograničava nadolazeću struju. Prilikom lemljenja komponenta mora se paziti na „hladne lemve“ kako ne bi došlo do lošeg protoka struje. Za povezivanje tiskane pločice s LCD 16 x 2 zaslonom potrebno je postaviti i zalemiti konektor od 16 pinova. Konektor omogućava konekciju između zaslona s ostatkom komponenta na tiskanoj pločici. Nakon lemljenja konektora, potrebno je LCD 16 x 2 zaslon zalemiti za konektor kako bi se ostvarila cjelokupna konekcija i povezanost. Dodatni 2 - pinski konektori se postavljaju i leme na tiskanu pločicu kako bi se dodatno pojednostavnilo spajanje s vanjskim uređajima.

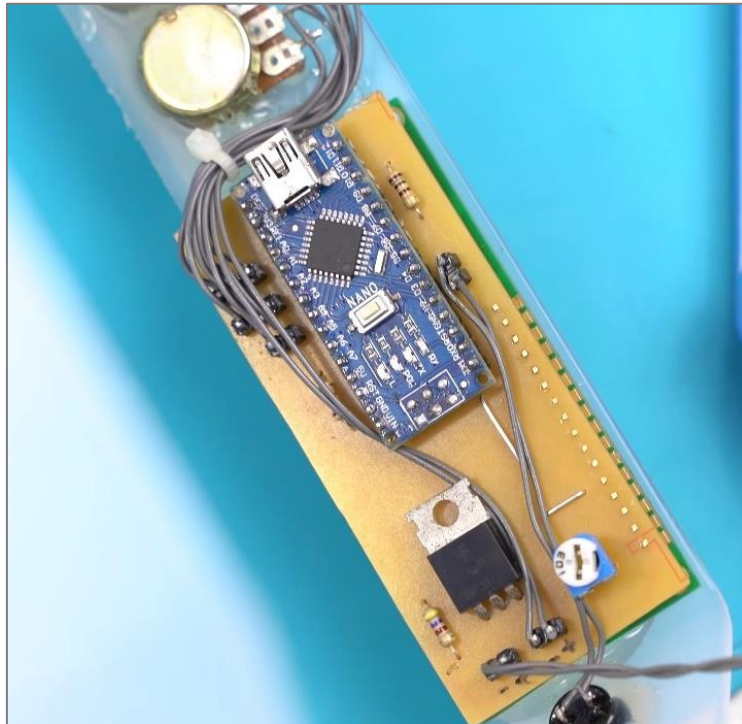


Slika 28: Tiskana pločica sa LCD zaslonom

Slika 28 prikazuje LCD zaslon na prethodno izrađenoj tiskanoj pločici. Oštrina prikazanih informacija na LCD zaslonu se regulira putem Trimer otpornika. Jednostavnim i blagim okretanjem otpornika se povećava i smanjuje oštrina prikazanih informacija na zaslonu.

Nakon lemljenja potrebnih komponenta na tiskanu pločicu, pločica s LCD zaslonom se postavlja u unaprijed izrezani prostor unutar kućišta. Prilikom postavljanja tiskane pločice sa zalemljenim komponentama mora se paziti da svaka strane tiskane pločice „dobro sjedne“ u predviđeni prostor. U suprotnom se može dogoditi ispadanje tiskane pločice. Tiskana pločica s LCD zaslonom dodatno se osigurava ljepilom, te je potrebno lagano pritisnuti kako bi se ljepilo primilo za LCD zaslon i za sami

pleksiglas. Umjesto ljepila moguće je korištenje vijaka za pravilno pozicioniranje tiskane pločice. Idući korak je postavljanje dvaju potenciometara na predviđene pozicije. Prilikom postavljanja dvaju potenciometara pojavio se problem rotiranja potenciometara radi odvijanja matice i viška prostora oko potenciometra. Problem je riješen dodavanjem ljepila u višak prostora.



Slika 29: Konekcija tiskane pločice s komponentama

Nakon postavljanja tiskane pločice u zadanu konstrukciju, potrebno je ostvariti odgovarajuću konekciju s LED pločama. Slika 29 prikazuje tiskanu pločicu sa LCD zaslonom, Arduino Nano mikroupravljačem i prethodno navedenim komponentama. Jednostavnim ožičenjem ostvaruje se sljedeća konekcija: *LED ploče* → *Tiskana pločica s mikroupravljačem i LCD zaslonom* → *Potenciometri* → *Gumb* → *Sklopka za uključivanje* → *Utičnica*. Prilikom povezivanja komponenata potrebno je pripaziti na pravilno ostvarivanje konekcije kako bi se smanjila mogućnost tehničkih poteškoća i kako bi učitavanje koda u sustav prošlo neometano.

4.6 Napajanje

Napajanje se vrši putem običnog laptop napajanja od 12 V – 2 A, te je prikazano na stranici 26. U slučaju da se svjetleće diode ne uključe, potrebno je provjeriti lemne spojeve radi mogućih „hladnih spojeva“, te navedene ispraviti postupkom ponovnog lemljenja. Neadekvatno napajanje također može uzrokovati probleme prilikom uključivanja uređaja. Postoji mogućnost nadogradnje oblika napajanja. Kako bi se olakšalo prenošenje projekta sa jednog mjesta na drugo, moguća je izrada i montaža baterije za opskrbu električnom energijom [25].

Konektor napajanja

DC (engl. Direct Current) konektor prikazan na slici ispod je standardna vrsta konektora. U usporedbi s ostalim vrstama konektora kao što su AC (engl. Alternating Current) konektori, DC konektori imaju više podvrsta i specijalizirani su za određene napone.



Slika 30: Konektor napajanja [25]

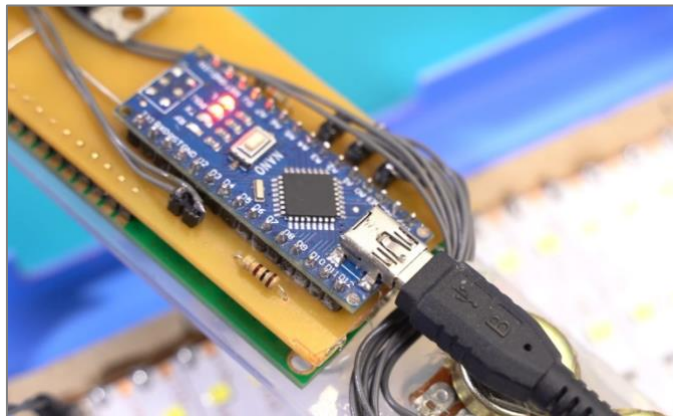
Vrste konektora variraju od malih dimenzija, koji se koriste za napajanje amaterskih elektroničkih uređaja, do glomaznih konektora koji se koriste u automobilske industriji. Dimenzije i pozicioniranje konektora se mora pažljivo odabrati kako ne bi došlo do preopterećenja sustava napajanja i povezivanja s pogrešnim i nekompatibilnim uređajima [25].

5. Konekcija i programska podrška

U ovom poglavlju bit će opisan programski kod, ostvarivanjem potrebne konekcije između mikroupravljača i laptopa, proučiti potencijalne probleme s kodom, te opisati općenitu funkcionalnost gotovog projekta.

5.1 Ostvarivanje konekcije

Konekcija između tiskane pločice s Arduino Nano mikroupravljačem se ostvaruje putem mini USB kabla prikazanog na stranici 27. USB mini kabel povezuje tiskanu pločicu s mikroupravljačem i laptop s prethodno instaliranim sučeljem Arduino IDE. Konekcija je potrebna radi „prebacivanja“ (engl. upload) odabranog programskog koda u prethodno opisani Arduino IDE softver. Prilikom spajanja postojao je problem neprepoznavanja mikroupravljača Arduino Nano, problem je riješen „ažuriranjem“ (engl. update) Arduino IDE softvera. Slika 31 prikazuje ostvarivanje konekcije između mikroupravljača i računala.

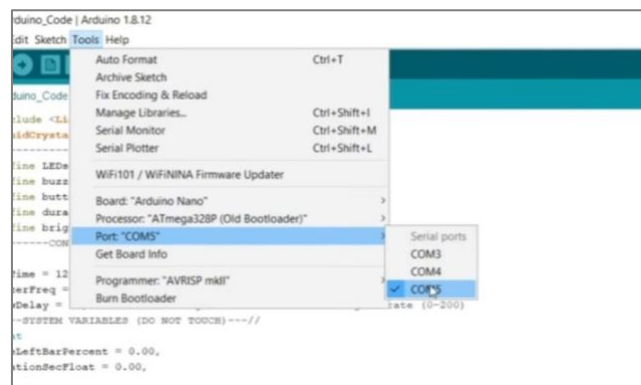


Slika 31: Povezivanje mikroupravljača i računala USB kabelom

Nakon što Arduino IDE softver prepozna odgovarajući uređaj, potrebno je definirati model mikroupravljača. To se postiže sljedećim opcijama u padajućem izborniku: *Tools* → *Board* → *Arduino Boards AVR* → *Arduino Nano*. Opcija *Tools* nudi raznovrsna pomagala i sastoji se od pohranjenih skica. Opcija *Boards* otvara opciju vidljivih mikroupravljača, te nudi opciju odabira istih. *Arduino Boards AVR* nudi prikaz i odabir Arduino mikroupravljača s AVR jezgrom. Neke od ploča koje se često koriste, a podržavaju AVR jezgru su: Arduino Nano, Arduino Uno, Arduino Uno WIFI, Arduino Mini, Arduino Mega i Arduino Leonardo. Na kraju opcija *Arduino Nano* služi kao potvrda da je uređaj dobro prikazan i povezan s Arduino IDE softverom. Konekcija se

uspostavlja odabirom odgovarajućeg Arduino mikroupravljača, a u konkretnom slučaju je to Arduino Nano mikroupravljač.

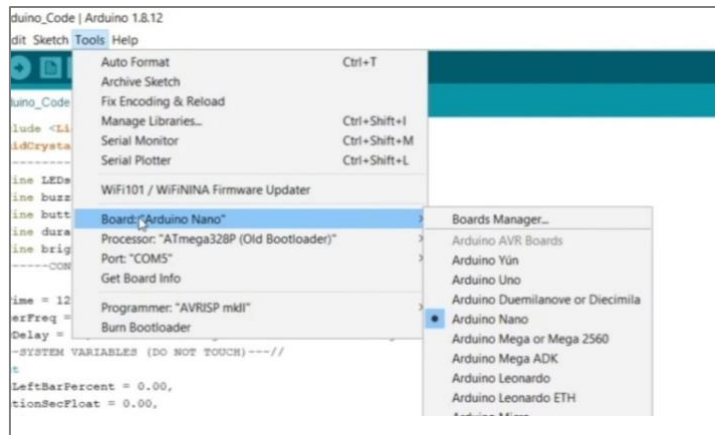
Nakon što je uspostavljena komunikacija između mikroupravljača i laptopa, potrebno je odabrati odgovarajuće komunikacijsko sučelje ili ulaz (engl. Port). Odabir ulaza se odnosi na odabranu ploču ili neki drugi prepoznati uređaj koji je povezan s laptopom. Pošto Arduino IDE softver automatski prepoznaje prethodno povezane mikroupravljače i njihovi port ulazi će automatski biti povezani sa odgovarajućim mikroupravljačem. Ukratko, Arduino IDE softver „pamti“, pohranjuje i razlikuje portove od različitih vrsta ploča i uređaja. Dostupni priključci su vidljivi klikom miša na opcije u padajućem izborniku: *Tools* → *Port row*. Ime ulaza u većini slučajeva će biti isto kao ime spojenog uređaja.



Slika 32: Odabir Porta (Ulaza)

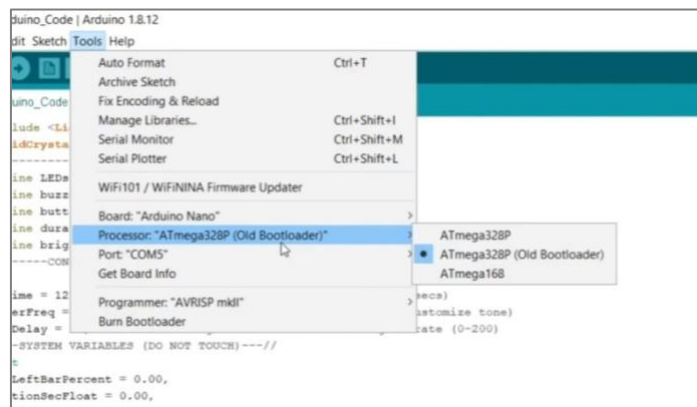
Slika 32 prikazuje odabir odgovarajućeg ulaza. Nakon odabira odgovarajućeg ulaza potrebno je odabrati ploču (odabir ploče opisan je na idućoj stranici). Odabirom ploče (engl. Board) daju se Arduino IDE softveru potrebne informacije kako sastaviti određenu skicu, te koje protokole koristiti prilikom učitavanja iste. U nekim slučajevima je potrebno pojedinačno kontrolirati odabir ploče i priključka. Selekcija ploča odabire se sljedećim opcijama u padajućem izborniku: *Tools* → *Board row*. Neki od primjera nemogućnosti ostvarenja konekcije između mikroupravljača i softvera su:

- ploču ne prepoznaju drugi spojeni uređaji i komponente,
- ploča odabire krivi ulaz,
- odabir ploče koja je prethodno bila povezana, ali ne u ovom trenutku,
- ploča ne prepoznaje ulaz,
- ploča se ne može automatski identificirati



Slika 33: Odabir mikroupravljača

Slika 33 prikazuje odabir mikroupravljača/ploče. Arduino IDE pohranjuje informacije o prethodno spojenim pločama te je potrebno odabrati odgovarajući mikroupravljač.



Slika 34: Odabir Bootloadera

Slika 34 prikazuje odabir Bootloadera, a to je mali dio Arduino IDE softvera koji omogućava učitavanje skica na odabranu Arduino ploču. Bootloader dolazi unaprijed instaliran na većini mikroupravljača koji se danas koriste.

5.2 Testiranje programskog koda i osnovne funkcije

Nakon uspostavljanja odgovarajuće konekcije, potrebno je napisati odgovarajući kod i ubaciti ga (engl. upload) na Arduino ploču. Korisnik putem potenciometra određuje vrijeme osvjetljenja i uključuje svjetleće diode. Informacije o trajanju osvjetljivanja i napretku su prikazane na LCD zaslonu. Kada istekne zadano vrijeme (vrijeme oslojavanja), LED diode se isključuju i korisnik je obaviješten zvučnim signalom. Kako bi se navedeni protokoli i obrasci prebacili u kod korišten je Arduino IDE

softver, te Arduino LiquidCrystal Library skup pomoćnih funkcija. U nastavku biti će opisan programski kod. Izvor programskog koda se nalazi u popisu literature.

Program počinje sa početnom naredbom za LiquidCrystal biblioteku [26].

- `#include <LiquidCrystal.h>`
- `LiquidCrystal lcd(7,6,5,4,3,2);`

Deklaracija pinova prikazuje pinove Arduino mikroupravljača na kojem su spojene komponente.

```
//-----PIN zadaci-----//
```

- `define LEDs 11 //LED Pin za paljenje LED tranzistora`
- `define buzzer 10 // Pin za zvučnu obavijest`
- `#define button A4 //PIN za odabiranje gumba`
- `#define durationPot A0 //PIN vrijeme potencijometra`
- `#define brightnessPot A2 //PIN svjetlost potencijometra`

Svaka varijabla ima drugačije parametre, na primjer inicijalizacijom brojača uključuje se i komponenta za zvučnu obavijest.

```
//-----Konfiguracijski parametri -----//
```

- `int`
- `maxTime = 1200, //Maksimalno vrijeme odbrojavanja tajmera (u sekundama)`
- `buzzerFreq = 1000, //Frekvencija zvučne obavijesti (Hz, Prilagodba tona)`
- `glowDelay = 10; //Promjena intenziteta svjetlosti svjetlećih dioda (0-200)`

Prilikom izvođenja određenih naredbi, inicijaliziraju se sistemske varijable koje služe za pohranu podataka.

```
//---Sistemske varijable---//
```

float

```
timeLeftBarPercent = 0.00, // Preostalo vrijeme na LCD zaslonu u podtocima
```

```
durationSecFloat = 0.00, // Vremenski period
```

```
durationSecSelect = 0.00; // Odabir vremenskog perioda
```

int

```

whitePWM = 0,
duration = 0,           // trajanje
durationSec = 0,       // trajanje u sekundama
brightness = 0,        // osvijetljenost
brightnessPercent = 0, // Postotak osvijetljavanja
brightnessPWM = 0,     // osvijetljenost PWM (engl.Pulse Width
Modulation)
seconds = 0,           // sekunde
minutes = 0,           // minute
exposureLoop = 0,     // petlja osvijetljenja
startupLoop = 0;      // početak petlje
unsigned long previousMillis = 0; Treptanje bez odgode
const long interval = 1000; // konstanta intervala
char timeMinSec[16]; // spremanje vrijednosti

```

5.2.1 void setup() funkcija

Postavljanjem vanjskih izlaznih pinova [pinMode()], inicijalizira se LCD i kreće prikazivanje informacija na LCD zaslon [26].

```

//VOID SETUP (Pokreće kodove prije početka petlje )-//
void setup(){
pinMode(LEDs,OUTPUT); pin svjetleće diode
pinMode(buzzer, OUTPUT); pin zvučne obavijesti
lcd.begin(16, 2); startaj LCD
lcd.clear(); Očisti LCD
brightnessPWM = map(analogRead(brightnessPot),0,1023,0,255);
while(digitalRead(button)==LOW){ isključi kada je vrijednost
potenciometra „0“
lcd.setCursor(0,0);lcd.print("Tiskana pločica UV "); postavi kursor
na poziciju (0,0)
lcd.setCursor(0,1);lcd.print("Uređaj za foto oslojavanje"); postavi
kursor na poziciju (0,1)
for (int i=0; i <= brightnessPWM; i++){
analogWrite(LEDs,i); paljenje Led-ica
delay(glowDelay); odgoda osvijetljivanja
}
lcd.clear(); Očisti LCD od prethodnih vrijednosti
lcd.setCursor(0, 0) ;lcd.print("Firmware Version");delay(500);

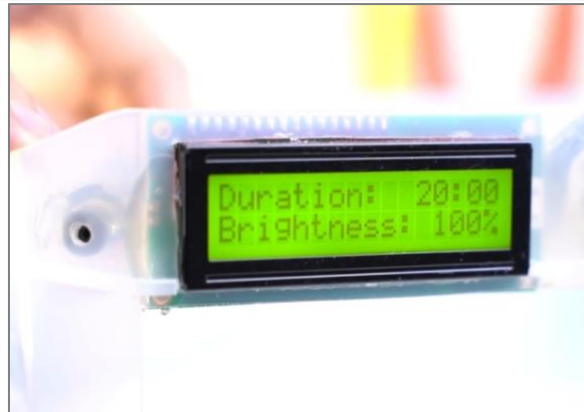
```



```

lcd.setCursor(0, 1);lcd.print("TechBuilder v3.1");delay(500);
break;
}
lcd.clear();Očisti LCD od prethodnih vrijednosti
}

```



Slika 35: Prikaz informacija o trajanju i oštini oslojavanja

Slika 35 prikazuje LCD zaslon koji pruža informacije o trajanju i intenzitetu oslojavanja. Intenzitet oslojavanja moguće je namjestiti zakretanjem vijka na stražnjoj strani projekta. Vrijeme trajanja foto oslojavanja je potrebno pravilno procijeniti kako ne bi došlo do oštećenja tiskane pločice.

5.2.2 Void loop() funkcija

Korisnik mora definirati trajanje i jačinu svjetlosti, te ažurira naredbe na temelju određenih vrijednosti. Nakon pritiska gumba za pokretanje projekta, pohranjuje se zadnja informacija o trajanju UV osvjetljenja, te počinje proces oslojavanja. Nakon isteka definiranog vremenskog perioda, proces oslojavanja se zaustavlja isključivanjem svjetlećih dioda. Za ponovno pokretanje uređaja potrebno je pritisnuti tipku za resetiranje, te u slučaju promjene intenziteta svjetlosti i vremenskog trajanja, ponovo postaviti navedene parametre.

```

void loop(){
//--prikupljanje informacija o trajanju --//
duration = analogRead(durationPot); // očitavanje vrijednosti o
trajanju putem potencijometra
durationSec = map(duration,0,1023,0, maxTime); // maksimalno
vremensko trajanje
//--Prikupljanje informacija o intenzitetu svjetlosti --//

```

```

brightness = analogRead(brightnessPot); // očitavanje vrijednosti sa
potenciometra
brightnessPercent = map(brightness,0,1023,0,100); // postotak
svjetlosti
brightnessPWM = map(brightness,0,1023,0,255);
//--Kontrola intenziteta LED svjetlosti u stvarnom vremenu --//
analogWrite(LEDs,brightnessPWM); // paljenje dioda, jačina
svjetlosti
minutes = durationSec/60; trajanje od 60 sekundi
seconds = durationSec%60; trajanje od 60 sekundi
lcd.setCursor(0,0);lcd.print("trajanje: "); // kursor na (0,0)
sprintf(timeMinSec,"%0.2d:%0.2d",minutes,seconds);
lcd.setCursor(11,0);lcd.print(timeMinSec); // postavi kursor na
poziciju (11, 0)
if(brightnessPercent<100){ // " ili lcd.clear();" funkcija.
Smanjenje titranja LCD-a
lcd.setCursor(14, 1); // postavi kursor na poziciju (14, 1)
lcd.print(" "); // očitaj tekst na LCD}
lcd.setCursor(0, 1); // postavi kursor na poziciju (0, 1)
lcd.print("svjetlina: "); // očitaj tekst na LCD
lcd.setCursor(12, 1); // postavi kursor na poziciju (12, 1)
lcd.print(brightnessPercent); // postotak svjetlosti
lcd.setCursor(15, 1); // postavi kursor na poziciju ( 15, 1)
lcd.print("%");// očitaj tekst na LCD
if (digitalRead(tipka)==HIGH){
durationSecSelect = durationSec; // vremenski odabir
durationSecFloat = durationSec; // vremenski odabir
lcd.clear();// očisti vrijednost sa LCD-a
/*
lcd.setCursor(0, 0);lcd.print("pokretanje");delay(300);
lcd.setCursor(0, 0);lcd.print("pokretanje. ");ton(buzzer,
buzzerFreq*3, 100);delay(300);
lcd.setCursor(0, 0);lcd.print("pokretanje.. ");ton(buzzer,
buzzerFreq*3, 100);delay(300);
lcd.setCursor(0, 0);lcd.print("pokretanje...");ton(buzzer,
buzzerFreq*3, 100);delay(500);
*/
lcd.setCursor(0,0);lcd.print(" START ");

```

```

lcd.setCursor(0, 1); // postavi kursor na poziciju (0, 1)
for (int i=0; i <= 15; i++){
lcd.print((char) 255);delay(35);
tone(buzzer, buzzerFreq*2, 50);
}
lcd.print((char) 255);
delay(300);
analogWrite(LEDs,brightnessPWM);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0); // postavi kursor na poziciju (0, 0)
lcd.print("preostalo vrijeme: ");
while(exposureLoop==0){
timeLeftBarPercent = 100*(durationSecFloat/durationSecSelect);
unsigned long currentMillis = millis();
if (currentMillis - previousMillis >= interval){
previousMillis = currentMillis;
minutes = durationSec/60;
seconds = durationSec%60;
sprintf(timeMinSec,"%0.2d:%0.2d", minutes, seconds);
lcd.setCursor(11, 0);
lcd.print(timeMinSec);
if(timeLeftBarPercent<2) {for (int v=0; v <= 15;
v++){lcd.setCursor(v, 1);lcd.print((char) 255);}}
else if(timeLeftBarPercent<6.25){for(int v=0; v <= 14;
v++){lcd.setCursor(v, 1);lcd.print((char) 255);}}
else if(timeLeftBarPercent<12.5){for(int v=0; v <= 13;
v++){lcd.setCursor(v, 1);lcd.print((char) 255);}}
else if(timeLeftBarPercent<18.75){for(int v=0; v <= 12;
v++){lcd.setCursor(v, 1);lcd.print((char) 255);}}
else if(timeLeftBarPercent<25) {for (int v=0; v <= 11;
v++){lcd.setCursor(v, 1);lcd.print((char) 255);}}
else if(timeLeftBarPercent<31.25){for(int v=0; v <= 10;
v++){lcd.setCursor(v, 1);lcd.print((char) 255);}}
else if(timeLeftBarPercent<37.5) {for(int v=0; v <= 9;
v++){lcd.setCursor(v, 1);lcd.print((char) 255);}}
else if(timeLeftBarPercent<43.75){for(int v=0; v <= 8; v++){
lcd.setCursor(v, 1);lcd.print((char) 255);}}
}

```

```

else if(timeLeftBarPercent<50) {for(int v=0; v <= 7; v++){
lcd.setCursor(v, 1);lcd.print((char) 255);}}
else if(timeLeftBarPercent<56.25){for(int v=0; v <= 6; v++){
lcd.setCursor(v, 1);lcd.print((char) 255);}}
else if(timeLeftBarPercent<62.5) {for(int v=0; v <= 5; v++){
lcd.setCursor(v, 1);lcd.print((char) 255);}}
else if(timeLeftBarPercent<68.75){for (int v=0; v <= 4;
v++){lcd.setCursor(v, 1);lcd.print((char) 255);}}
else if(timeLeftBarPercent<75) {for (int v=0; v <= 3;
v++){lcd.setCursor(v, 1);lcd.print((char) 255);}}
else if(timeLeftBarPercent<81.25){for (int v=0; v <= 2;
v++){lcd.setCursor(v, 1);lcd.print((char) 255);}}
else if(timeLeftBarPercent<87.5) {for (int v=0; v <= 1;
v++){lcd.setCursor(v, 1);lcd.print((char) 255);}}
else if(timeLeftBarPercent<93.75){lcd.setCursor(0,
1);lcd.print((char) 255);}
durationSec--;
durationSecFloat--;
}
if(durationSec<=0){
digitalWrite(LEDs,LOW); //ugasi svjetleće diode kada tajmer padne na
0
tone(zujalica,3000,500);
lcd.setCursor(0,0);lcd.print(" oslojavanje ");
lcd.setCursor(0,1);lcd.print(" završetak ");
delay(500);lcd.clear();() // pauziraj i očisti LCD
lcd.setCursor(0,0);lcd.print(" Pritisni gumb ");// postavi kursor
na(0, 0), ispis na LCD
lcd.setCursor(0,1);lcd.print(" za start "); // postavi kursor na(0,
1), ispis na LCD
delay(500); // pauziraj
while(digitalRead(button)==LOW){} //Pritiskom gumba se resetira
sistem
for (int i=0; i <= 255; i++){ //Glow-up Illumination LED
analogWrite(LEDs,i);
delay(glowDelay); // pauziraj
}
lcd.clear();// pauziraj i očisti LCD

```

```

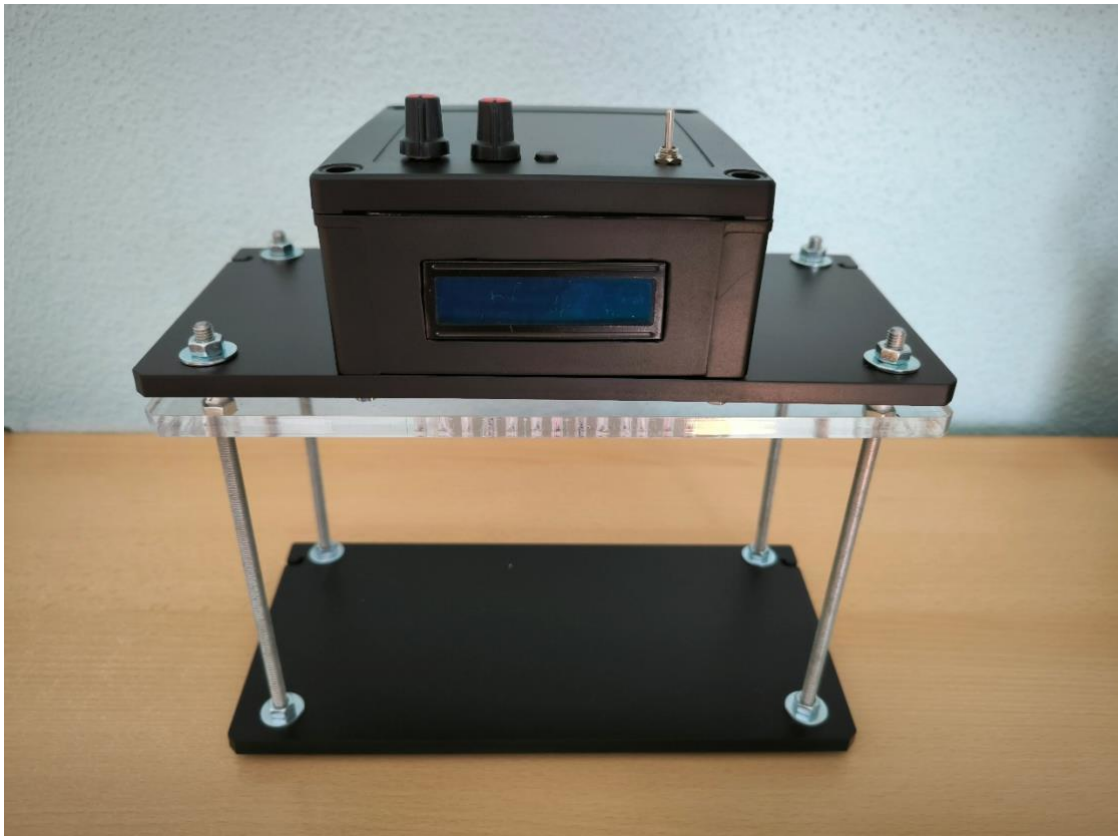
exposureLoop=1; //petlja oslojavanja
}
else if(digitalRead(button)==HIGH){
digitalWrite(LEDs,LOW);
tone(buzzer,3000,500);
lcd.setCursor(0,0);lcd.print(" poništi "); // postavi kursor na(0,
0), ispis na LCD
lcd.setCursor(0,1);lcd.print(" Proces! "); // postavi kursor na(0,
1), ispis na LCD
delay(750); // pauziraj
lcd.setCursor(0,0);lcd.print("izlaganje"); // postavi kursor na(0,
0), ispis na LCD
lcd.setCursor(0,1);lcd.print(" kraj "); // postavi kursor na(0, 1),
ispis na LCD
delay(500);lcd.clear();// pauziraj i očisti LCD
lcd.setCursor(0,0);lcd.print(" Pritisni gumb ");
lcd.setCursor(0,1);lcd.print(" za start ");
while(digitalRead(button)==LOW){} //Pritiskom gumba se resetira
sistem
for (int i=0;i<=brightnessPWM;i++){
analogWrite(LEDs,i); // paljenje dioda
delay(glowDelay); // pauziraj
}
lcd.clear(); // očisti LCD zaslon
exposureLoop=1; //petlja oslojavanja
}
} //kraj While funkcije
exposureLoop=0;
} / kraj gumba za start
delay(20); // pauziraj
} //kraj petlje

```



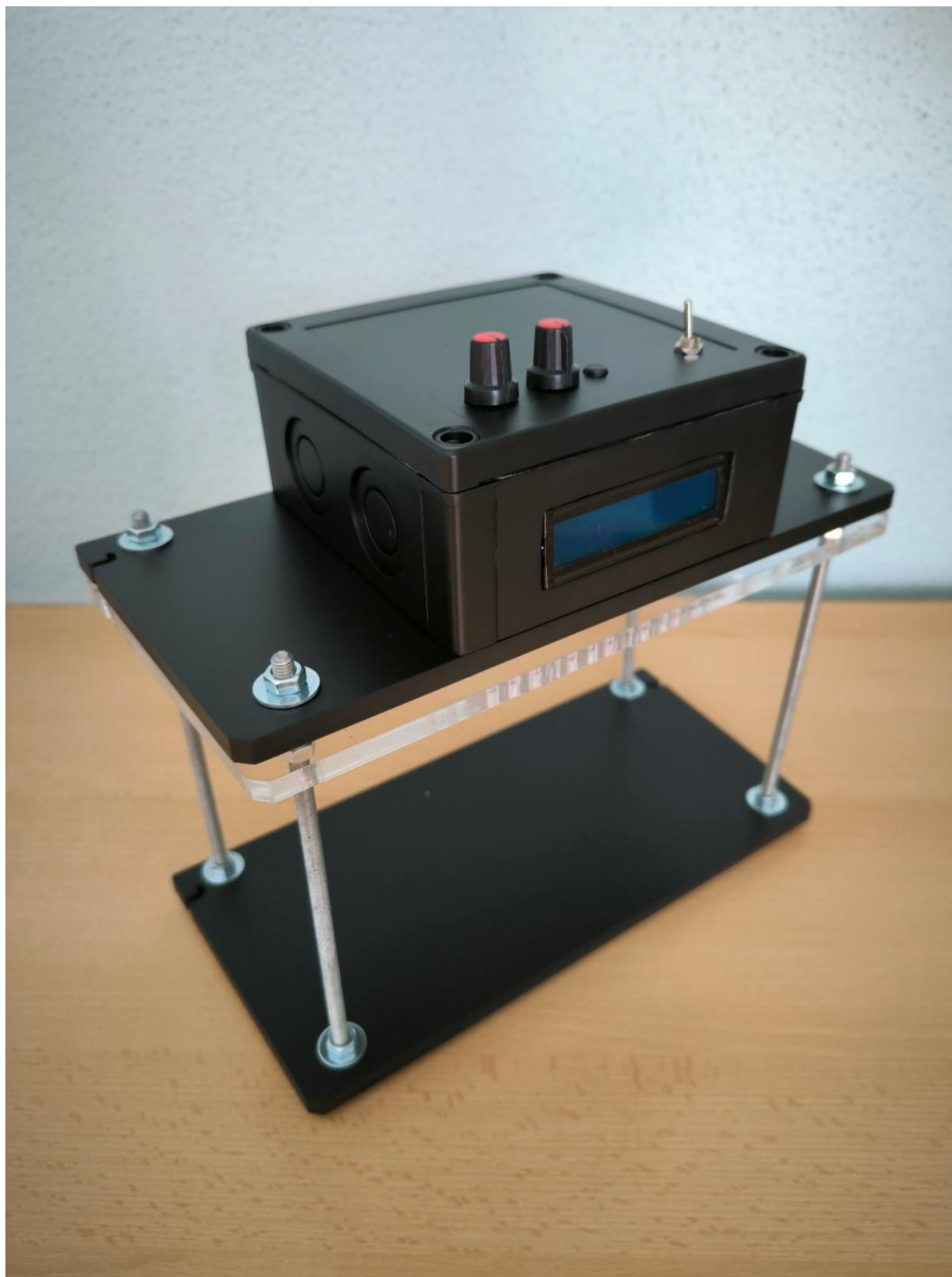
Slika 36: Učitavanje programskog koda u sustav

Slika 36 prikazuje postupak učitavanja programskog koda u sustav. Nakon provjere programskog koda, potrebno je provjeriti odabir ulaza (porta), te odabir mikroupravljača. Opcijom za prebacivanje (engl. upload) se vrši prijenos koda i uključuju se svjetleće diode. LCD zaslon prikazuje informacije potrebne za uspješno foto oslojavanje.



Slika 37: Sklopljen sustav - prednja strana

Na slici 37 prikazan je sklopljen sustav koji se sastoji od 3 ploče akrilnog stakla (pleksiglasa) debljine 10 mm koje su međusobno povezane navojnom šipkom metričkog navoja M6. Prva ploča služi kao „poklopac“ i nosač kućišta, dok srednja ploča služi kao nosač LED dioda. Gornja i donja ploča bojane su u crnu boju, dok je srednja ploča ostala u originalnom stanju zbog boljeg reflektiranja svjetlosti.



Slika 38: Sklopljen sustav - lijeva strana



Slika 39: Sklopljen sustav - desna strana

Dvije slike u nizu prikazane iznad nude uvid u kompletno spojen uređaj za foto oslojavanje. Kao što je već navedeno uređaj je u cijelosti obojan u crnu boju te stoji na pločama koje služe kao dodatna potpora.

6. ZAKLJUČAK

Zadatak završnog rada je izrada uređaja za foto oslojavanje tiskanih pločica. Metoda foto oslojavanja nudi kvalitetnije i brže rezultate prilikom izrade tiskanih pločica od ostalih metoda, kao što je toner transfer metoda. Kroz izradu projekta, autor završnog rada se upoznao s osnovama rada uređaja za foto oslojavanje, postupkom izrade tiskane pločice putem toner transfer metode i Arduino programske podrške. Također je unaprijeđeno znanje u izradi električnih shema i lemljenja raznih komponenata. Kombiniranjem ovih metoda i komponenata navedeni projekt se dizajnirao dio po dio, te po potrebi prepravljao. Nakon što se došlo do prototipa koji daje zadovoljavajuće rezultate, može se razmišljati o unaprijeđenju samog prototipa. Prezentirani uređaj daje zadovoljavajuće rezultate u području oslojavanja, te se odlikuje kratkim vremenskim trajanjem postupka i dobrom konačnom kvalitetom same tiskane pločice.

Moguća unaprijeđenja prototipa može biti implementiranje baterije za lakši prijenos projekta. LCD zaslon se može unaprijediti OLED zaslonom na kojem postoji opcija korištenja posebnih znakova i animacija. Također je moguća izrada kućišta 3D tiskanjem te nabavka i implementiranje jačih LED dioda i napajanja kako bi se smanjilo vrijeme oslojavanja. U svrhu što preciznijeg osvjetljivanja može se implementirati programski kod za fokus svjetla na određene dijelove tiskane pločice.

7. POPIS LITERATURE

- [1] Gavran,M, Osijek 2017 fakultet elektrotehnike i računarstva URL:
<https://repositorij.etfos.hr/islandora/object/etfos:1499/datastream/PDF/view> , datum pristupa 1.8.2024
- [2] Razlaganje svjetlosti URL: <https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/2251664/razlaganje-svjetlosti.html> , datum pristupa 2.8.2024
- [3] Spektar elektromagnetskog zračenja, valna duljina, disperzija svjetlosti, ogib URL:
<https://gradivo.hr/pages/spektar-em-zracenja> , datum pristupa 1.8.2024
- [4] Damjanović,T, Javna rasvjeta- osvrt na potrošnju električne energije Osijek 2016,
URL: <https://repositorij.etfos.hr/islandora/object/etfos:729> , datum pristupa 5.8.2024
- [5] Geometrijska optika i zakoni refleksije, URL: <https://element.hr/wp-content/uploads/2020/06/unutra-52171.pdf> , datum pristupa 6.8.2024
- [6] Zakon loma svjetlosti , URL:
<https://www.stemlittleexplorers.com/hr/demonstracija-refrakcije/> , datum pristupa 6.8.2024
- [7] Law of reflection and Fermat's Principle of Reflection URL:
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/Fermat.html> , datum pristupa 7.8.2024
- [8] Snellov zakon URL: https://hr.wikipedia.org/wiki/Snelliusov_zakon, datum pristupa 8.8.2024
- [9] Župa,M, Diode Sveučilište u Splitu, URL:
<https://repositorij.pmfst.unist.hr/islandora/object/pmfst:1783/datastream/PDF/view> , datum pristupa 9.8.2024
- [10] Led shema URL: <https://www.automatika.rs/wp-content/uploads/2020/03/led.jpg> , datum pristupa 8.8.2024
- [11] Princip rada i svojstva led diode URL:
<http://mmctim24.azurewebsites.net/read.html> , datum pristupa 9.8.2024
- [12] Maks.Ž. Diode, Sveučilište u Splitu 2023 URL:
<https://zir.nsk.hr/islandora/object/pmfst%3A1783/datastream/PDF/view> , datum pristupa 10.8.2024
- [13] Konstrukcija LED diode i struktura URL: <https://forum.digikey.com/t/how-to-test-an-led/1990> , datum pristupa 9.8.2024

- [14] Auto Core Robotica UV led diode URL: <https://www.autocorerobotica.com.br/led-ultravioleta-alto-brilho-5mm> , datum pristupa 10.8. 2024
- [15] Arduino Nano info store URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/nano/#tech-specs> datum pristupa 13.8.2024
- [16] Arduino Nano pinnout URL: <https://forum.arduino.cc/t/chinese-clone-of-arduino-nano-pins-not-working/934403> datum pristupa 15.8.2024
- [17] 16 X 2 display pinnouts and commands tablica 2 URL: <https://www.electronicsforu.com/technology-trends/learn-electronics/16x2-lcd-pinout-diagram> , datum pristupa 17.8.2024
- [18] 16 x2 display karakteristike URL: <https://soldered.com/hr/learn/kkm-lcd-16x2/> ,datum pristupa 18.8.2024
- [19] I2CModul URL: <https://www.okuelectronics.com/demystifying-the-i2c-module-for-arduino/> datum pristupa 19.8.2024
- [20] How to interface with arduino,lcd i2c URL: <https://linuxhint.com/arduino-nano-i2c-lcd-display/> , datum pristupa 19.8.2024
- [21] TIP31C transistor datasheet URL: <https://makerselectronics.com/product/tip31c> ,datum pristupa 21.8.2024
- [22] USB mini kabel URL: <https://hr.akyga.com/proizvodi/138-kabel-usb-a-mini-b-5-pin-1-8-m-ak-usb-03.html> , datum pristupa 23.8.2024
- [23] Basic Arduino functions URL: <https://www.arduino.cc/reference/en/> , datum pristupa 25.8.2024 tablica 3
- [24] lemljenje, elektronika
URL:<https://www.stem.ba/images/ElektronikaKomponente/lemljenje.pdf> , datum pristupa 27.8.2024
- [25] DC konektor info URL: <https://www.sparkfun.com/products/119> ,datum pristupa 29.8.2024
- [26] Originalni programski kod URL: <https://www.youtube.com/watch?v=QNTBKBjc-XE> , datum pristupa 29.8.2024