

ELPROS

REGIONALNI CENTAR KOMPETENTNOSTI

ELEKTROTEHNIČKA I PROMETNA ŠKOLA OSIJEK

PRIRUČNIK ZA PROJEKTIRANJE I IZRADU PROTOTIPA ELEKTRONIČKIH SKLOPOVA: IZRADIMO proDIGY

Soldered Electronic d.o.o.
Osijek 2022.



**EUROPSKI STRUKTURNI
I INVESTICIJSKI FONDOVI**



**UČINKOVITI
LJUDSKI
POTENCIJALI**

Sva prava pridržana. Niti jedan dio ove knjige ne smije se reproducirati ili prenositi u bilo kojem obliku, niti na koji način. Zabranjeno je svako kopiranje, citiranje te upotreba knjige u javnim i privatnim edukacijskim organizacijama u svrhu organiziranih školovanja, a bez pisanog odobrenja autorskih prava.

Copyright© RCK ELPROS

PRIRUČNIK ZA PROJEKTIRANJE I IZRADU PROTOTIPA ELEKTRONIČKIH SKLOPOVA: IZRADIMO proDIgY

Soldered Electronics d.o.o.
Osijek, 2022.

"Sadržaj publikacije/emitiranog materijala isključiva je odgovornost RCK ELPROS"



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

ZAHVALA

Zahvaljujemo se Srednjoj školi Isidora Kršnjavoga Našice i nastavniku Božidaru Sabi radi dozvole fotografiranja upotrebe njihove LKPF SMT linije za automatiziranu izradu PCB-a, a što je doprinijelo kompletnosti ovog priručnika.

SADRŽAJ

Predgovor.	IX
Zahtjevi za priručnik	XI
1. Uvod u projektiranje elektroničkih sklopova.	1
2. Koraci projektiranja i izrade elektroničkih sklopova	5
2.1. Specifikacije	6
2.2. Istraživanje	6
2.3. Prototipiranje	7
2.4. Shema i simulacija	7
2.5. Projektiranje PCB-a	8
2.6. Izrada PCB-a	12
2.7. Izrada programske podrške	13
3. Uređaj proDIgY	17
4. Istraživanje	19
5. Prototipiranje	27
5.1. Prototipna pločica (<i>protoboard</i>).	28
5.2. Univerzalni digitalni mjerni instrument	30
5.3. Istosmjerni izvor napajanja	30
5.4. Funkcijski generator.	31
5.5. Digitalni osciloskop	31
5.6. Lemilice i lemljenje	32
5.6.1. Lemljenje TH komponenti	37
5.6.2. Lemljenje SMD komponenti.	38

5.7. Primjer prototipiranja naponskog regulatora proDIGY razvojnog sustava.	41
6. Izrada sheme i simulacija.	42
6.1. KiCAD 6.0.	42
6.2. KiCAD shema	44
6.3. Izrada sheme s gotovim simbolima	49
6.4. Izrada sheme sa samostalno izrađenim simbolima	59
6.5. Simulacija u KiCAD 6.0	68
6.6. Konačna shema proDIGY sklopa	78
6.6.1. Mikroupravljač ESP8266	79
6.6.2. Sklopovlje za programiranje mikroupravljača	81
6.6.3. Ulazi i izlazi s ploče te napajanje	83
7. Dizajn tiskane ploče	85
7.1. Elektroničke tiskane pločice	85
7.2. Pakiranja elektroničkih komponenti	88
7.2.1. TH kućišta.	89
7.2.2. SMD kućišta	91
7.3. BOM dokument za dizajn PCB-a	95
7.4. Dodjeljivanje otisaka komponenti	96
7.5. Dizajn PCB-a s KiCAD-om.	101
7.5.1. Program za uređivanje PCB-a (<i>eng. PCB Editor</i>)	101
7.5.2. Uvoz otisaka sa sheme	105
7.5.3. Slojevi PCB-a	108
7.5.4. Pravila dizajna (<i>eng. Design Rules</i>)	113
7.5.5. Crtanje PCB-a (<i>eng. Routing</i>).	121

7.5.6. Samostalna izrada otiska komponente	138
7.6. Izrada proizvodnih datoteka.	145
7.7. Dizajn proDIgY sklopa	150
7.7.1. Raspored komponenti	150
7.7.2. Postavljanje vodova i <i>Copper fill</i>	153
7.7.3. Dodavanje vizualnih oznaka i dovršavanje ploče.	154
8. Izrada tiskanih pločica	156
8.1. Foto postupak obrade tiskane pločice	157
8.2. Automatizirana obrada tiskane pločice	164
8.2.1. Planiranje procesa izrade	166
8.2.2. Priprema procesne faze	167
8.2.3. Procesna faza	171
8.3. Izrada PCB-a s vanjskim uslugama	179
9. Programska podrška	184
9.1. Arduino IDE.	184
9.2. Instalacija ESP8266 baziranih razvojnih sustava	189
9.3. proDIgY <i>pinout</i>	191
9.4. Primjer treperenja LED-ice	192
9.5. Primjer jednostavne <i>web</i> -stranice za LED ON/OFF	193
10. POJMOVNIK	199

Predgovor

Poštovani čitaoc,

pred Vama je priručnik kojemu je namjera uvesti Vas u područje projektiranja i izrade prototipa elektroničkih sklopova. Jednostavnije rečeno, ovo je područje slabo zastupljeno u prosječnoj strukovnoj školi u Hrvatskoj i gotovo da i ne postoji literatura, posebice na hrvatskom jeziku.

Prema dostupnim informacijama, u nastavi se ovo područje manje-više svodi na izradu elektroničkih sklopova prema gotovoj dokumentaciji preuzetoj s različitih internetskih stranica ili časopisa u kojima se objavljuju članci iz područja elektronike. Iako je tako dostupna dokumentacija šarolika, ona uglavnom sadrži sve što je potrebno za izradu sklopa, najčešće jednim od *hobby* postupaka, poput foto postupka ili sitotiska. Projektiranje sklopova računalom je slabije zastupljeno, kao i strojna obrada tiskanih pločica i ugradnja komponenata, a o samom razvoju elektroničkog sklopa, od ideje do prototipa spremnog za izradu u većim količinama, teško da se uopće može govoriti. Ovim priručnikom želimo Vam približiti to područje, sam koncept i problematiku rada na prototipu.

Neke dijelove projektiranja i izrade opisali smo samo informativno, bez ulazanja u detalje, jer je riječ o poslovima kojima se bave timovi specijaliziranih stručnjaka, dok smo drugim dijelovima projektiranja dali više prostora i detaljnije ih objasnili jer predstavljaju temeljne poslove u procesu rada na prototipu sklopa. Također, cijeli smo proces opisali na primjeru razvoja jednog konkretnog jednostavnijeg rješenja i složenijeg sklopa koji smo nazvali proDIGY, a koji će Vas uvesti u razvoj sve popularnijih IoT uređaja.

Priručnik smo namijenili prije svega učenicima i nastavnicima, ali i svima ostalima koji žele ući u područje razvoja elektroničkih sklopova. Priručnik smo nastojali pisati jednostavnim jezikom i s jednostavnim primjerima te dati uvod u koncepte izrade složenijih sklopova. U ovaj priručnik uložili smo svoja nastavnička i stručna znanja temeljena na dugogodišnjem iskustvu u radu s razvojem elektroničkih sklopova te se nadamo da će Vas ovaj priručnik zainteresirati za učenje i razvoj u ovom području.

Autori

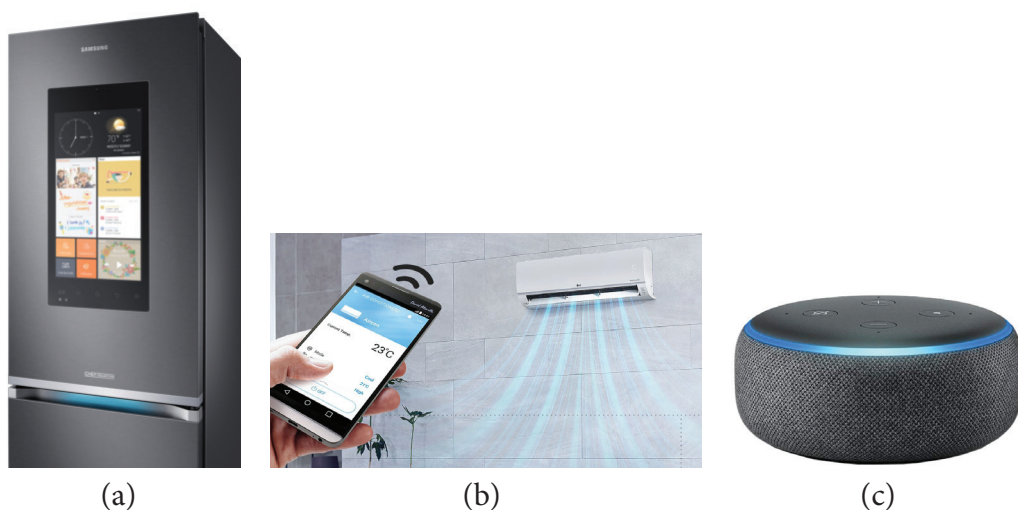
Zahtjevi za priručnik

Osnovni zahtjevi uz ovaj priručnik su:

- računalo s operacijskim sustavom
- vještina rada s računalom
- znati postupak instalacije programske podrške na računalo
- pristup internetu
- ako želite izraditi elektronički sklop opisan u ovoj knjizi, pored seta komponenti potrebni su i alati za lemljenje
- Vaše vrijeme i predanost.

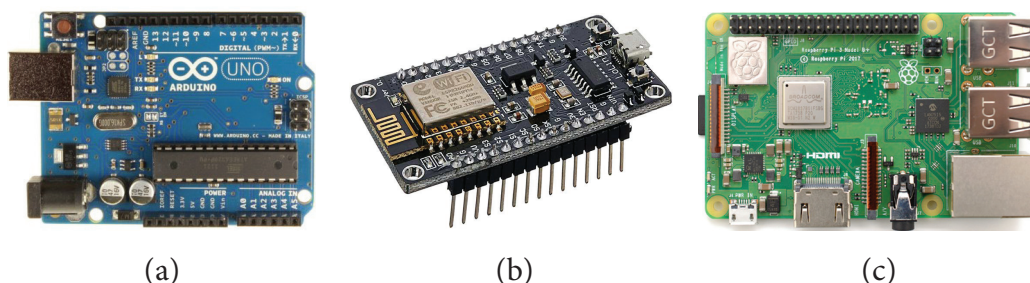
1. UVOD U PROJEKTIRANJE ELEKTRONIČKIH SKLOPOVA

Nekoliko minuta prije nego ste počeli čitati ovu knjigu, sigurno ste koristili mobitel, računalo, televizor ili neki od drugih Vama dostupnih elektroničkih uređaja. U današnjem svijetu okruženi smo različitim uređajima koji nam olakšavaju svakodnevni život, osobnu i poslovnu komunikaciju, dostupnost informacijama, prikaz multimedijskog sadržaja, sigurnosni nadzor, daljinsko upravljanje i sl. Široku dostupnost ovakvih uređaja omogućilo je nekoliko otkrića u razvoju elektroničkih sklopova (*eng. electronic circuits*). Jedni od najbitnijih su razvoj tranzistora, integriranih sklopova i elektroničkih tiskanih pločica (*eng. Printed Circuit Board – PCB*). Ovo je omogućilo masovnu proizvodnju, smanjenje dimenzija, potrošnje i smanjenje cijene, što je u konačnici dovelo do danas sveprisutnih elektroničkih uređaja. Ovo je praćeno razvojem bežičnih mobilnih komunikacijskih tehnologija, koje omogućavaju nadzor i upravljanje uređajima na daljinu. Sav ovaj napredak u tehnologiji doveo je do razvoja IoT (*eng. Internet of Things – internet objekata*) tehnologije, elektronički uređaji koji su spojeni na internet. Zbog ovoga danas nerijetko dolazi do ugradnje različitih elektroničkih sklopova u uređaje, koji ih dosad nisu imali, radi proširenja njihovih funkcionalnosti. Hladnjak sa zaslonom za spajanje na internet te naručivanje namirnica, perilica rublja s mogućnosti javljanja na mobilni uređaj kada je ciklus pranja gotov, klima uređaj s mogućnosti daljinske kontrole temperature u prostoriji, zvučnik s prepoznavanjem govora i pristupom internetu, i mnogi drugi uređaji (v. sliku 1.1.).



Slika 1.1. Primjeri uređaja s naprednim mogućnostima: (a) hladnjak sa zaslonom (www.samsung.com), (b) klima uređaj upravljan s mobilnim uređajem (www.lg.com), (c) zvučnik s prepoznavanjem govora i pristupom internetu (www.amazon.com).

Krajem 90-tih godina 20-tog stoljeća počela se razvijati zajednica inženjera koji se zalažu za razvoj sklopovlja otvorenog pristupa (*eng. Open Source Hardware – OSH*). Neke od prvih tvrtki koje su krenule s inicijativom su *Arduino*, *SparkFun* i *Adafruit*, s tim da danas postoji velik broj tvrtki koje se zalažu za OSH koncept. OSH je omogućio veću dostupnost i jednostavnije korištenje hardvera. Prije inicijative, za rad s mikroupravljačima (*uC*) bilo je potrebno imati poseban programator, koristiti programski jezik niske razine te posjedovati druga znanja i vještine najčešće poznate samo inženjerima. S razvojem tehnologije i OSH zajednice izrađeni su razvojni sustavi koje je jednostavno spojiti s osobnim računalom putem sveprisutnog USB (*eng. Universal Serial Bus*) sučelja te pisati programski kôd s programskim jezicima više razine, koji su bolje razumljivi korisnicima. Primjeri ovakvih sustava su Arduino UNO razvojni sustav od tvrtke BCMI (prije Arduino AG), NodeMCU razvojni sustavi temeljeni na ESP SoC (*eng. System on Chip – sustav na integriranom sklopu*), koji imaju mogućnost spajanja na WiFi mrežu, Raspberry Pi sustavi od Raspberry Pi Foundation (prodaja razvojnog sustava je zaštićena, ali su besplatno dostupne sheme sustava, operacijski sustav te razni kompjaleri) i sl. (v. sliku 1.2.). Ovakvi sustavi su približili razvoj hardvera osobama koji po struci ne moraju biti inženjeri. Također, zahvaljujući ovim sustavima, razvoj hardvera i programske podrške (*eng. softwarea*) moguće je približiti djeci svih uzrasta te uz manju cijenu opremiti laboratorije osnovnih i srednjih škola.



Slika 1.2. Primjeri elektroničkih sklopova razvijenih s OSH konceptom: (a) Arduino UNO razvojna ploča, (b) NodeMCU – ESP8266 razvojna ploča, (c) Raspberry 3 B+ razvojna ploča.

Kako u svijetu, i u Hrvatskoj razvijala zajednica koja je cijenila otvorenost, bilo za kôd ili sklopovlje. U brojnim udrugama (*eng. Hackerspace, makerspace*) se radilo s Arduinom, Raspberry Pijem i drugim pločama koje su bazirane na otvorenosti. Za njihovo programiranje koristio se Arduino IDE, koji je također otvorenog koda. U komercijalnom smislu, otvoreni kod i otvoreno sklopovlje se nije pretjerano proširilo. Postoji nekoliko tvrtki koje njeguje kulturu otvorenosti,

kao što su Soldered Electronics i Circuitmess, no one su u manjini.

Ako se okrenete oko sebe, štoviše nerijetko i na sebi, možete vidjeti različite elektroničke uređaje: pametne satove (*eng. Smart Watches*), pametne narukvice (*eng. Smart Bands*), mobitele, razne daljinske upravljače, tablete i sl. Svi navedeni uređaji se sastoje od nekakvog kućišta, ulaza u obliku tipki ili dodirnog ekrana koji omogućavaju korisniku upravljanje, izlaza u obliku zvučnika ili ekrana preko kojeg korisnik dobiva povratne informacije, a unutar kućišta se nalazi PCB sa svim elektroničkim komponentama. Izrada PCB-a zahtijeva korištenje programskih alata za dizajn PCB-a. Razvoj tehnologije i OSH koncepta rezultirao je smanjenjem cijena izrade hardvera. Istodobno je zajednica otvorenog kôda (*eng. Open Source Software – OSS*) razvijala i besplatne programe za projektiranje (dizajn) PCB-a. Neki od poznatijih su KiCAD, Fritzing, EasyEDA i dr. Posjedovanjem računala i besplatnog softvera za PCB dizajn, svima je omogućeno projektiranje vlastitog elektroničkog sklopa. Pretraživanjem interneta i OSH primjera projekata moguće je, uz primjere dobre prakse, naučiti kako projektirati PCB. U kombinaciji s elektroničkim komponentama (mikroupravljačima) koje podržavaju softvere otvorenog kôda, moguće je dizajnirati vlastite uređaje s raznim funkcionalnostima u okviru vlastitog doma, bez potrebe za sofisticiranom i skupom opremom. Na temelju vlastitog PCB dizajna moguće je jednostavno poslati svoj projekt na izradu tvrtkama kao što su JLCPCB (jlcpcb.com), PCBWay (www.pcbway.com) i sl. S gotovim PCB-om potrebno je zalemiti sve komponente te krenuti s testiranjem i programiranjem prototipa.

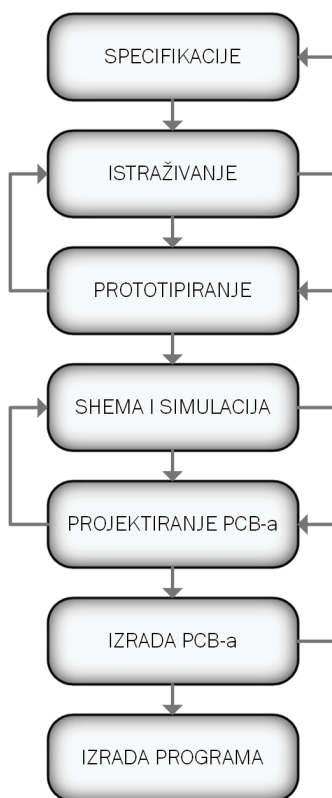
S ovim priručnikom naučit ćete osnove izrade prototipa elektroničkih sklopova kroz osam poglavlja. Svako poglavlje daje uvid u pojedine aspekte projektiranja elektroničkih sklopova, od same konceptualizacije do konačne izrade gotovog prototipa elektroničkog sklopa. U priručniku se razvija digitalni sklop pod nazivom proDIGY, koji omogućava jednostavno programiranje te spajanje dodatnih komponenti, kao što su različiti senzori, motori, zvučna i svjetlosna signalizacija i sl., a sve u pogledu proširenja njegovih mogućnosti prema potrebama učenika. Sa završetkom ove knjige, učenik će imati vlastiti elektronički sklop, koji je samostalno izradio i s kojim će moći realizirati različite nove elektroničke uređaje te tako dodatno razvijati svoje vještine u izradi elektroničkih sklopova.

U drugom poglavlju dani su koraci izrade elektroničkih sklopova. Treće poglavlje predstavlja glavni zadatak ovog priručnika, a to su specifikacije i zahtjevi za uređaj proDIGY (razvojni sustav temeljen na OSH konceptu) koji će se izradivati kroz poglavlja ovog priručnika. Postupak pretraživanja trenutnog stanja tehnike te istraživanja komponenti na temelju zadanih specifikacija proDIGYa opisano je u četvrtom poglavlju. Peto poglavlje daje primjere alata za testiranje rada komponenti i izradu prototipa. Šesto poglavlje prikazuje postupak izrade sheme proDIGY-a s KiCAD alatom te jednostavne postupke simulacije komponenti na računalu. Na temelju izrađene sheme, u sedmom poglavlju prikazan je postupak

dizajniranja PCB-a s KiCAD alatom. U osmom poglavlju objašnjene su tehnike izrade tiskanih pločica te su u devetom poglavlju dani primjeri programiranja gotovog proDIGY razvojnog sustava.

2. KORACI PROJEKTIRANJA I IZRADE ELEKTRONIČKIH SKLOPOVA

Projektiranje i izrada elektroničkih sklopova je postupak (procedura) koji se sastoji od nekoliko glavnih koraka (faza). Koraci su slijedni (sekvencijalni), ali u određenim slučajevima potrebno je vratiti se nazad (najčešći slučaj kod kompleksnijih proizvoda, v. sliku 2.1.). Neki od uzroka povratka na prethodni korak mogu biti nedostatak komponente koji nije uočen tijekom istraživanja, već tijekom prototipiranja, nedostupnost komponente tijekom izrade PCB-a te se ista mora zamijeniti s drugom i sl. Kod jednostavnijih projekata, kao što je i proDIgY, ako su svi koraci dobro i kvalitetno odrađeni, najčešće nema potrebe za povratak na neki od prethodnih koraka. U ovom poglavlju su ukratko objašnjene pojedine faze projektiranja i izrade elektroničkog sklopa, a u narednim poglavljima isto će biti pokazano na jednostavnijim primjerima i primjeru projektiranja i izrade sklopa pod nazivom proDIgY.



Slika 2.1. Koraci izrade elektroničkih sklopova.

2.1. SPECIFIKACIJE

U prvom koraku se na temelju početne ideje definiraju specifikacije uređaja. Specifikacije je potrebno što detaljnije opisati. Definiraju se kroz razgovor ili na temelju standardnog upitnika. Cilj je definirati sve potrebne funkcionalnosti, dimenzije, potrošnju energije, cijenu, okolinu rada, svojstva kućišta i sl. Rezultat je dokument, najčešće standardiziran od tvrtke koja izrađuje sklop, s popisom specifikacija uređaja, a s kojim se ulazi u sljedeći korak.

2.2. ISTRAŽIVANJE

Na temelju dokumenta s definiranim specifikacijama kreće se u postupak istraživanja (*eng. research*). Prvo se istražuje postoje li već komercijalni i dostupni slični elektronički sklopovi. Uspoređuju se specifikacije sličnih dostupnih proizvoda sa sklopom koji se želi izraditi. Sve razlike se označavaju te ih je potrebno detaljnije analizirati. Može se dogoditi da je komercijalno dostupan proizvod s potpuno istim funkcionalnostima, osim što napajanje nije baterijsko. Istraživanjem tog proizvoda moguće je dobiti korisne informacije, koje će olakšati razvoj traženog sklopa uz dodavanje funkcionalnosti da se napaja iz baterije. Nerijetko se slični proizvodi nabave te se uživo testiraju njihove funkcionalnosti. Na temelju istraživanja može doći i do promjene specifikacija uređaja jer se, primjerice, otkrije da neke funkcionalnosti nisu u praksi korisne. Jednostavan primjer je da svjetleća dioda na uređaju ima prejak intenzitet svjetla te po noći ometa upotrebu uređaja. Specifikaciju je potrebno izmijeniti u smislu ograničenja intenziteta svjetla svjetleće diode.

Nakon usporedbe s drugim sličnim uređajima slijedi postupak istraživanja elektroničkih komponenti dostupnih na tržištu, koje će zadovoljiti definirane specifikacije. Pretraga počinje pregledom kataloga (dostupni su katalozi u obliku knjiga, ali u današnje vrijeme se najčešće koriste web-katalozi) velikih dobavljača komponenti, najčešći su to Mouser (hr.mouser.com), DigiKey (www.digikey.com), TME (www.tme.eu) i Farnell (export.farnell.com). Za svaku komponentu je potrebno istražiti dokumentaciju (*eng. datasheet*) te potvrditi ispunjenje traženih specifikacija. Često se pronađe više komponenti, najčešće od različitih proizvođača, koje odgovaraju svim specifikacijama. To je pozitivna praksa jer se time smanjuje mogućnost nedostatka komponenti od dobavljača (lagano je zamijeniti komponentu koja nedostaje s drugom koja odgovara specifikacijama). Postupak istraživanja komponenti je tim lakši što osoba ima više iskustva i predznanja o specifikacijama već poznatih komponenti, tj. što ima više iskustva s izradom PCB-a.

Na kraju se provodi istraživanje kućišta uređaja. Koje materijale je potrebno

koristiti, način izrade kućišta, otpornost na vanjske utjecaje i sl. Rezultat istraživanja je dokument, najčešće standardiziran, s listom komponenti i materijala koji će se koristiti za izradu uređaja, tzv. BOM (*eng. Bill Of Materials*).

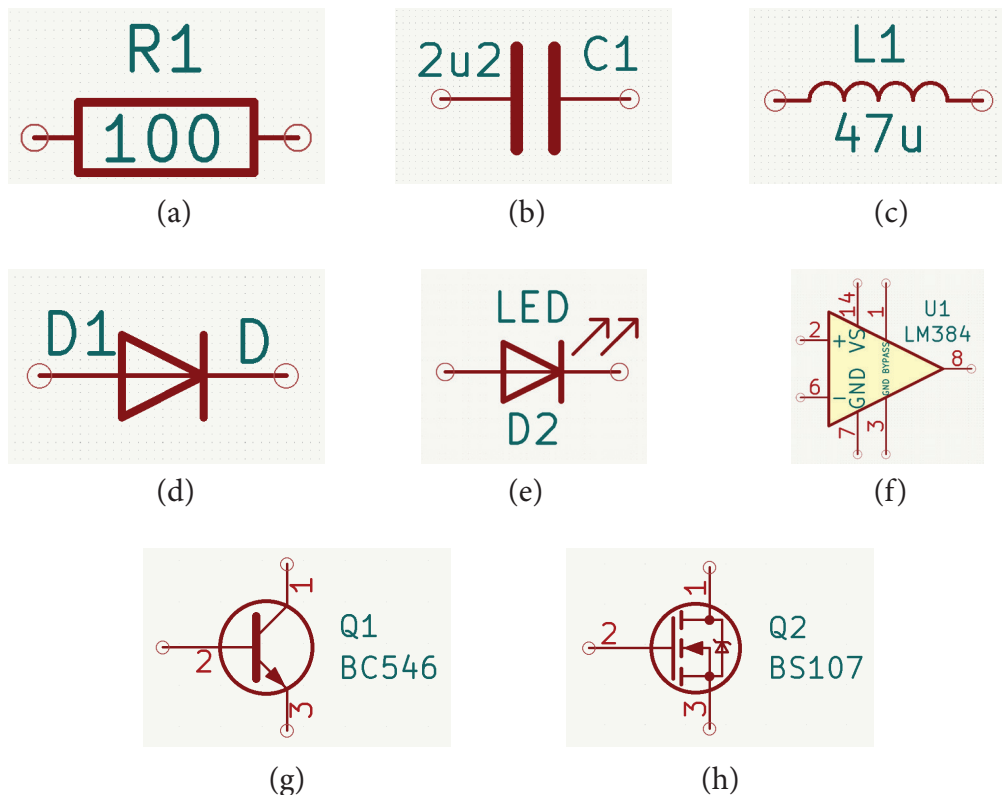
2.3. PROTOTIPIRANJE

Prototipiranje je postupak kojim se testira rad pojedinih komponenti koristeći različite alate i instrumente te vodiče za spajanje elektroničkih komponenti. S iskustvom u projektiranju elektroničkih sklopova i ponovnom upotrebom već testiranih komponenti, vrijeme provedeno u koraku prototipiranja se smanjuje. Najčešće se prototipiranjem testira rad pojedinih dijelova projektiranog sklopa, kao primjerice naponska regulacija sklopa, sklop za serijsku komunikaciju i sl. U iznimnim slučajevima se testira rad samo jedne komponente. Nakon izvedenog prototipiranja možemo u potpunosti potvrditi funkcionalan rad testiranih sklopova. Još uvijek postoji mogućnost da u konačnoj izvedbi uređaja, nakon izrade PCB-a i lemljenja komponenti, neki dijelovi ne rade ispravno, primjerice zbog veće frekvencije rada dijela sklopa koja nije testirana u fazi prototipiranja. U ovom slučaju je potrebno napraviti detaljnu analizu nedostatka te isti korigirati u prethodnim fazama.

2.4. SHEMA I SIMULACIJA

Nakon odrađenih prethodnih faza, dostupan je popis komponenti koje se mogu koristiti za izradu prototipa te su testirani načini rada, ili su od prije poznati, pojedinih dijelova konačnog sklopa. Sljedeći korak je crtanje (izrada) električne sheme konačnog sklopa. Koriste se CAD (*eng. Computer Aided Design*) alati koji najčešće pored izrade sheme omogućavaju i dizajn PCB-a. Za izradu sheme u odabranom CAD alatu moraju postojati simboli svih komponenti koje će se koristiti za izradu sklopa. Najčešće simbol predstavlja crtež komponente nacrtan s nekim geometrijskim likom unutar kojeg se nalaze nazivi nožica (*eng. pins*) komponente koje su prikazane crtama. Simbol je moguće iskoristiti iz već dostupnih biblioteka simbola korištenog alata ili sve simbole napraviti od nule na temelju dokumentacije komponenti (tvrtke uvijek imaju vlastite biblioteke simbola razvijene od nule, dok se u hobističke svrhe češće koriste već gotove biblioteke). Na slici 2.2. prikazani su primjeri simbola standardnih elektroničkih komponenti u KiCAD alatu. Navedeni simboli su standardizirani od strane IEEE (*eng. Institute of Electrical and Electronics Engineers*), standard 315 i 315A. Izradu sheme je moguće podijeliti na više osoba s obzirom na složenost sklopa. Također, sheme mogu ići na reviziju te je često potrebno više iteracija (ponavljanja) za konačnu

shemu sklopa. Neki CAD alati podržavaju i simulaciju rada elektroničkog sklopa na računalu. U određenim slučajevima, simulacija može i zamijeniti korak prototipiranja, posebice za jednostavnije sklopove. Rezultat ovog koraka su izrađene i revidirane sheme prototipa elektroničkog sklopa na temelju kojih se dizajnira konačni PCB.



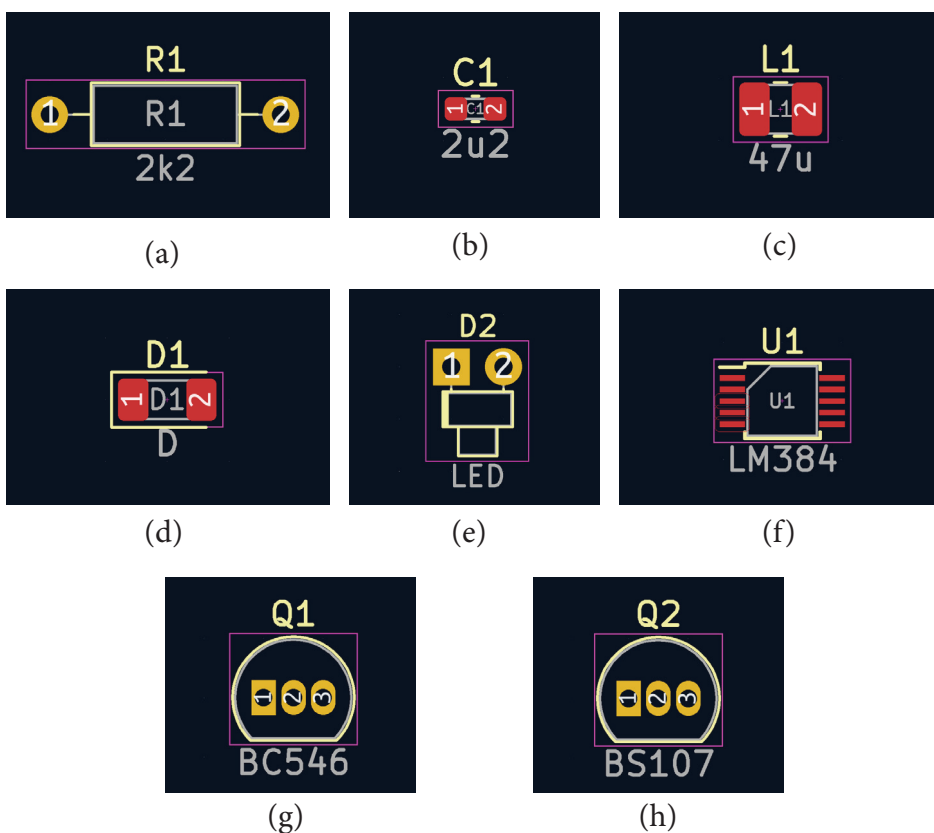
Slika 2.2. Primjeri simbola standardnih elektroničkih elemenata (komponenti) u KiCad alatu: (a) otpornik, (b) kondenzator, (c) zavojnica, (d) dioda, (e) svijetleća dioda, (f) operacijsko pojačalo, (g) bipolarni NPN tranzistor i (h) unipolarni N-kanalni tranzistor s efektom polja.

2.5. PROJEKTIRANJE PCB-A

Pojednostavljeno, postupak projektiranja (dizajna) PCB-a je korak prilikom kojeg se na temelju sheme sklopa u odabranom CAD alatu crtaju vodiči između pojedinih nožica komponenti i pozicioniraju komponente na odabranom PCB-u.

Koraci projektiranja i izrade elektroničkih sklopova

Da bi komponentu mogli postaviti na PCB ista mora biti slikovito prikazana sa svim svojim fizičkim nožicama i dimenzijama istovjetno stvarnim nožicama i dimenzijama komponente. Ovaj slikoviti prikaz stvarne komponentne naziva se otisak (*eng. footprint*). Isto kao i za simbol kod izrade sheme, otisak komponente je moguće pronaći u postojećim bibliotekama za CAD alat, koji koristite, ili je isti moguće izraditi samostalno od nule na temelju dokumentacije komponente (najčešće na samom kraju dokumentacije komponente nalazi se tehnički nacrt komponente sa svim dimenzijama). Za jednu komponentu, primjerice otpornik $100\ \Omega$, može biti više otisaka. Isti je moguće nabaviti u različitim dimenzijama i vrstama pakiranja (o vrstama pakiranja i dimenzijama komponenti možete više pronaći u poglavlju 7. Na slici 2.3. prikazani su primjeri otisaka za standardne komponente prikazane na slici 2.2. Za otpornik $R1$ odabran je DIN0207 otpornik koji se lemi kroz PCB tzv. TH komponente (*eng. TH – Through Hole*). Također,



Slika 2.3: Primjeri otisaka standardnih elektroničkih elemenata (komponenti) u KiCad alatu: (a) TH otpornik, (b) SMD 0603 kondenzator, (c) SMD 1008 zavojnica, (d) SMD 1206 dioda, (e) TH svjetleća dioda, (f) SMD TSSOP operacijsko pojačalo, (g) TH TO-92 bipolarni tranzistor i (h) TH TO-92 unipolarni tranzistor s efektom polja.

1,55 mm
SMD 0603

1,00 mm
SMD 0402

TH 6,50 mm

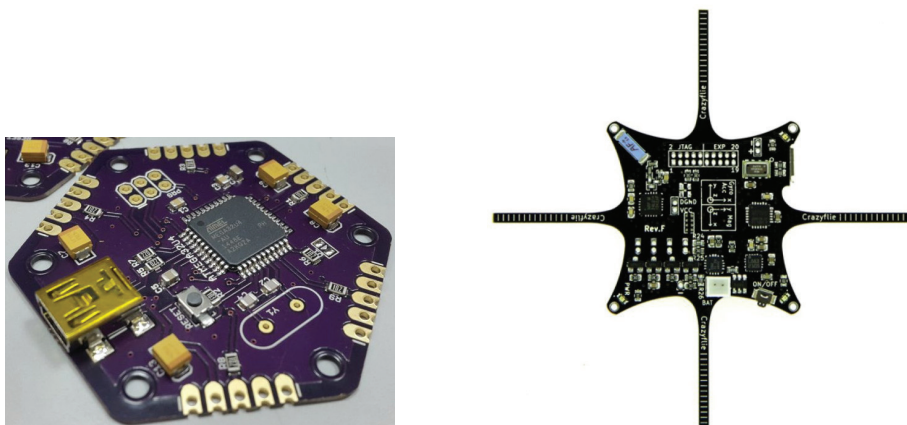
The image shows a populated PCB with the following components and labels:

- Common Diodes and Transistors:** SC79, SC70, SMD, SOT23, SOT223, SOT89, DPAK, D2PAK.
- XTAL/OSC:** 5X3.2, 2X1.2, 2.5X2.
- HC49:** A timer component.
- SS90C46:** A microcontroller component.
- 90C46:** A microcontroller component.

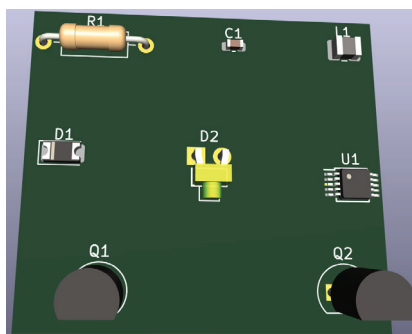
The board also features various pin headers and labels such as 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100.

Prilikom dizajna PCB-a potrebno je definirati širine vodiča, razmak između vodiča, broj slojeva PCB-a, dimenzije PCB-a, tekst i sl. Postoje odgovarajući standardi i pravila koji se moraju poštivati tijekom dizajna PCB-a, npr. širina i razmak između vodiča s obzirom na aplikaciju (komunikacijski vodiči, vodiči za napajanje i sl.), razmak potreban za hlađenje pojedinih komponenti većih snaga itd. Također, sam izgled PCB-a nije uvijek pravokutan, nego je nekada potrebno „ostaviti dojam“ i komponente rasporediti po određenom predefiniranom obliku uz poštivanje svih pravila dizajna PCB-a.

Iskustvom je moguće postići različite funkcionalne oblike PCB-a (v. sliku 2.6.).



Slika 2.6. Primjeri različitih oblika PCB-a, lijevo izvor www.gadgetronicx.com, desno www.bitcraze.io.



Slika 2.7. Primjeri 3D modela komponenti sa slike 2.3.

Kao i sa shemom, projektiranje PCB-a je iterativan postupak podložan reviziji. Nekada je potrebno prilagoditi dizajn drugom proizvođaču PCB-a. Budući da nije isti način proizvodnje, nekada je potrebno izmijeniti PCB kako bi odgovarao novom načinu izrade. Određeni programski alati omogućavaju izračun i simulaciju rada komponenti na PCB-u. Rezultati simulacije mogu uputiti na moguće nedostatke u dizajnu prije same izrade PCB-a te iste ispraviti prije koraka izrade. Nažalost, navedene funkcionalnosti nisu besplatne ili im je ograničen način rada te većina dizajnera izradi i testira PCB tek nakon što se uoče nedostaci u dizajnu. Neki programski alati, uključujući i KiCAD, omogućavaju i 3D prikaz dizajniranog PCB-a uz uvjet da postoje 3D modeli svih komponenata koje su se koristili u dizajnu. Pregledom 3D modela PCB-a moguće je dodatno uočiti moguće nedostatke te ih ispraviti prije same izrade PCB-a. Posebno se ovo odnosi na izradu kućišta u koji će PCB biti postavljen. Ako je dostupan 3D model kućišta,

moгуće je prikazati kako model PCB-a odgovara kućištu te ispraviti moguće nedostatke kućišta ili po potrebi promijeniti poziciju komponente na PCB-u ili sl. Na slici 2.7. prikazan je primjer 3D modela komponenti u KiCad alatu čiji su otisci prikazani na slici 2.3.

Sa gotovim revidiranim PCB dizajnom softverom za izradu PCB-a izrađuju se tzv. *Gerber* datoteke za svaki sloj PCB-a. *Gerber* datoteke su tekstualni dokumenti koji sadrže upute (naredbe) za strojeve koji izrađuju PCB. Definirala ga je tvrtka Ucamco te su specifikacije otvorene i dostupne na www.ucamco.com/en/gerber. Koje su sve *Gerber* datoteke potrebne ovisi o samom proizvođaču PCB-a te je popis uvijek naveden u uputama proizvođača za pripremu *Gerber* datoteka. Primjer uputa za pripremu *Gerber* datoteka s KiCAD programom tvrtke JLCPCB može se pronaći na <https://support.jlcpb.com/article/194-how-to-generate-gerber-and-drill-files-in-kicad-6>.

2.6. IZRADA PCB-A

PCB se sastoji od baze i vodiča. Baza je tanka izolacijska ploča (različite vrste dielektrika) čiji je zadatak, pored izolacije, i osiguravanje mehaničke čvrstoće sklopa sa svim komponentama. Baza je kompozitni materijal. Izrađena je od različitih materijala kao što su staklena vlakna ili papir koji su povezani s nekom vrstom smole npr. epoksidne i fenolne smole, ovisno o specifikacijama. Vodiči PCB-a čvrsto su zalijepljeni na bazu te služe za električno povezivanje komponenti na PCB-u. Vodiči su izrađeni najčešće od bakra visoke čistoće u obliku tankih traka (*eng. tracks*). Pored bakra može se koristiti i nikal ili berilij-bakar legura. PCB može imati više slojeva vodljivih dijelova. Dva su vidljiva vanjska sloja (gornji i donji sloj ili prednji i stražnji sloj) te može biti više unutarnjih nevidljivih slojeva. Na slici 2.8. prikazan je pojednostavljeni prikaz četveroslojnog PCB-a s dva vanjska vidljiva sloja i dva unutarnja nevidljiva sloja. Debljina vo-



Slika 2.8. Pojednostavljeni prikaz četveroslojnog PCB-a.

diča ovisi o primjeni, ali za standardnu upotrebu debljina vodiča (traka) vanjskih slojeva je 0,035 mm te je ukupna debljina PCB-a 1,6 mm. Tvrtke za izradu PCB-a najčešće koriste mjeru za slojeve bakra u oz/ft^2 (unca po kvadratnoj stopi) gdje se za vanjske slojeve koristi 1 oz/ft^2 što odgovara debljini bakra od 35 μm , a za unutarnje slojeve 0,5 oz/ft^2 što odgovara debljini bakra od 18 35 μm . Višeslojni (više od dva sloja) PCB-ovi najčešće se izrađuju lijepljenjem dvoslojnih i jednoslojnih PCB-ova zajedno s materijalom koji se zove *pre-preg*. Na ovaj način moguće je dobiti PCB s velikim brojem (50 i više) slojeva. Navedeno vrijedi za čvrste (*eng. rigid*) PCB-ove. Pored njih postoje i savitljivi PCB-ovi i kombinacije savitljivih i čvrstih PCB-ova. Za savitljive PCB-ove sama riječ kaže da je im je baza savitljiva (*eng. flexible*). Najčešće se sastoje od jednog ili dva sloja te je cijena izrade nekoliko puta veća u usporedbi s čvrstim PCB-om.

Postoje različiti postupci izrade PCB-a. Mogu se podijeliti u dvije glavne grupe:

- postupak jetkanja i
- aditivni postupak.

Postupak jetkanja sastoji se od uklanjanja dijelova bakra s PCB-a kako bi se izradili vodiči koji povezuju komponente. Uklanjanje bakra može se izvesti pomoću kemijskih sredstava, svrdlom CNC (*eng. Computer Numerical Control*) uređaja ili laserskom zrakom.

Aditivni postupak koristi samo bazu PCB-a bez sloja bakra. Kemijskim postupkom u kupki na bazu se nanosi bakar na mjestima vodiča. Ovaj postupak je štedljiviji od postupka jetkanja jer nema uklanjanja bakra. Na kraju postupka izrade PCB-a izvodi se provjera ispravnosti koja uključuje vizualnu i električnu provjeru pojedinih spojeva PCB-a.

S gotovim PCB-om slijedi postupak sastavljanja (*eng. assembly*) PCB-a, tj. lemljenje komponenti na PCB. Postupak može biti automatiziran ili se može odraditi ručno. Ručno sastavljanje se izvodi upotrebom raznih alata za lemljenje. Gotov i sastavljen PCB se ponovno testira na ispravnost spojeva.

Više o postupku izrade PCB-a, s primjerom izrade PCB uređaja, možete pronaći u poglavlju 8.

2.7. IZRADA PROGRAMSKE PODRŠKE

Današnji svijet u kojem živimo je digitalan svijet. Analogni signali kao što su zvuk, svjetlo, temperatura i sl. pretvaraju se u digitalne signale, niz nula i jedinica te se isti obrađuju u korisne informacije i radnje. Za obradu digitalnih signala koriste se različite digitalne procesne jedinice, kao što su CPU (*eng. Central Processing Unit*), GPU (*eng. Graphical Processing Unit*), uC i sl. Za ispravan rad digitalnih procesnih jedinica potrebne su naredbe prevedene u strojni kôd.

Strojni kôd je niz nula i jedinica koje procesnoj jedinici označavaju određene naredbe (instrukcije). Budući da strojni kôd nije razumljiv čovjeku, čovjek naredbe piše zadanim standardnim izrazima po definiranim pravilima. Navedeni skup pravila i izraza zajednički se naziva računalni programski jezik, tj. programski jezik. Što je programski jezik oblikom, pravilima i konceptima bliži pisanom ljudskom jeziku, za isti se smatra da je viši programski jezik od svojih prethodnika. Svi viši programski jezici moraju se prevesti u asemblerski jezik. Asemblerski jezik predstavlja najniži programski jezik za određenu procesnu jedinicu (bolji izraz je određenu arhitekturu računala, a više o ovoj temi možete pronaći u raznim knjigama o arhitekturi računala). Asembler je softver koji prevodi asemblerski jezik u strojni kôd, a kompajler prevodi viši programski jezik u asemblerski jezik. Većina današnjih uređaja koristi uC kao glavne digitalne procesne jedinice. Programi za njih se često pišu u nekom od viših programskih jezika kao što su C, ANSI C, Ada, MicroPython, C++ ili zbog posebnih zahtjeva izvođenja u stvarnom vremenu asemblerskim jezikom. Program napisan asemblerskim jezikom je najučinkovitiji, ali zahtjeva najviše vremena za razvoj te u uvjetima gdje nisu zadana stroga vremenska ograničenja najčešće se odabire pisanje u nekom od viših programskih jezika koji su jednostavniji za razvoj programa i omogućuje brži razvoj. Na slici 2.9. prikazan je primjer asemblerskog kôda i C kôda.

```

1 ADDRESS 00
2 LOAD S0, 128 ; MNOZENIK
3 LOAD S1, 06 ; MNOZITELJ
4 LOAD S2, 00 ; NIZIH 8 BITA
5 LOAD S3, 00 ; VISIH 8 BITA
6 MNOZI:
7 ADD S2, S0 ; ZBROJI S NIZIH 8 BITA
8 ADDCY S3, 00 ; AKO JE ZBROJ VECI OD
9 ; 255 DODAJ 1 VISIH 8 BITA
10 SUB S1, 01 ; ODUZMI 1 MNOZENIKU
11 JUMP NZ, MNOZI ; AKO REZULTAT PRETHODNE
12 ; OPERACIJE NIJE 0 PONOVI

```

(a)

```

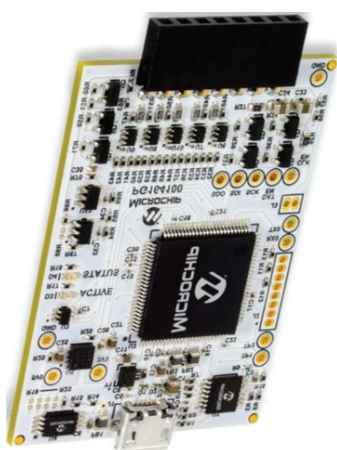
1 #include "pitches.h"
2
3 const int threshold = 10; // minimum reading
4 // of the sensors that
5 // generates a note
6
7 // notes to play, corresponding to the 3 sensors:
8 int notes[] = {
9     NOTE_A4, NOTE_B4, NOTE_C3
10 };
11
12 void setup() {
13
14 }
15
16 void loop() {
17     for (int thisSensor = 0; thisSensor < 3; thisSensor++) {
18         // get a sensor reading:
19         int sensorReading = analogRead(thisSensor);
20
21         // if the sensor is pressed hard enough:
22         if (sensorReading > threshold) {
23             // play the note corresponding to this sensor:
24             tone(8, notes[thisSensor], 20);
25         }
26     }
27 }

```

(b)

Slika 2.9. Primjer programa pisanog u asemblerskom jeziku (a) za picoBlaze uC, primjer programa pisan u C programskom jeziku za Arduino kompatibilne uC.

Za prebacivanje programa (*eng. programme upload*) na uC potreban je uređaj koji se zove *programator*. Najčešće svaka tvrtka koja proizvodi uC koristi zasebni programator koji se mora dodatno nabaviti uz uC koji se koristi na razvijenom PCB-u. Primjer programatora za uC od tvrtke *Microchip* i *STM* je prikazan na slici 2.10. OSH zajednica je riješila ovaj problem tako što su razvili pogonski program (*eng. bootloader*) koji omogućava prebacivanje programa na uC jednostavnim USB na UART (*eng. Universal Asynchronous Receiver-Transmitter – univerzalni asinkroni primopredajnik*) serijskim protokolom. Za ovaj protokol nisu potrebni skupi i kompleksni uređaji kao na slici 2.10. i time je pojednostavljen sam postupak izrade programske podrške digitalnih elektroničkih sklopova temeljenih na uC. Ovo ne vrijedi za sve uC dostupne na tržištu budući da *boot-*



(a)



(b)

Slika 2.10. Primjer PG164100 programatora i debuggera za Microchip uC (a), primjer ST LINK V2 programatora i debuggera za STM uC.

loader nije razvijen za njih, ali i danas se od strane OSH zajednice razvijaju novi *bootloaderi* koji podržavaju sve više različitih uC-ova.

Prilikom razvoja programa dolazi do pogrešaka (*eng. bug*) u kôdu i neželjenog ponašanja razvijenog sklopa zbog napisanog programa. Napisani programski kôd moguće je testirati pomoću emulatora ili simulatora na računalu, ali oni su najčešće skupi te se testiranje programa najčešće izvodi na samom uređaju u laboratorijskim uvjetima. U ovom slučaju u otkrivanju bugova pomažu uređaji, tzv. *debugger*, koji omogućavaju direktan pristup memoriji procesne jedinice (npr. uC) i prikaz vrijednosti varijabli. U nedostatku ovog uređaja koriste se razni zaobilazni načini provjere stanja varijabli. Za uC koji koriste Arduino *bootload-*

er najčešće se koristi ispis ASCII (*eng. American Standard Code for Information Interchange*) znakova putem USB – UART sučelja, koji se koristi i za upload programa na uC. Kôdove ASCII znakova interpretiraju programi koji se najčešće nazivaju serijski monitori (*eng. Serial monitor*). Serijski monitori prikazuju ASCII kôdove u obliku koji je čitljiv ljudima te je dostupno nekoliko OS serijskih monitora. Najpoznatiji su Tera Term (ttssh2.osdn.jp), Putty (www.putty.org) te serijski monitor Arduino IDE (*eng. Integrated Development Environment*).

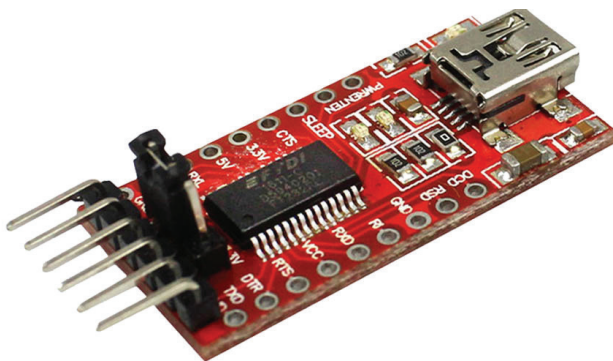
U ovom priručniku koristi se Arduino kompatibilan uC s Arduino *bootloaderom* te će se isti programirati s USB – UART sučeljem. Koristi se Arduino IDE s C/C++ programskim jezikom i s nizom već razvijenih biblioteka od strane OSH zajednice. Više o programskoj podršci i primjerima za proDIGY uređaj možete pogledati u poglavlju 9.

3. UREĐAJ PRODIGY

Ovaj priručnik Vas vodi kroz postupak prototipiranja elektroničkih sklopova s razvojem digitalnog sklopa kojem smo dali naziv proDIgY. Naziv dolazi od engleske riječi *prodigy* koja u prijevodu znači „talentirano dijete“, „nešto nevjerovatno“ ili „čudo od djeteta“ (www.merriam-webster.com/dictionary/prodigy). Sam naziv govori da kroz ovaj priručnik želimo da napravite nešto što dosad niste radili, nešto što će pomoći u razvoju Vaših talenata, s naglaskom na razvoj elektroničkih sklopova. Drugi dio naziva je naznačen velikim slovima „DIY“ što je engleska skraćenica za *Do-It-Yourself*, u prijevodu „uradi sam“, najčešće kod kuće i bez profesionalnog iskustva. Želimo da proDIgY možete izraditi sami kod kuće ili u školi, tj. da Vam za njegovu izradu nije potrebno profesionalno višegodišnje iskustvo u projektiranju elektroničkih sklopova. Ideja proDIgY uređaja je da naučite kroz primjer sve korake projektiranja i izrade prototipa elektroničkih sklopova, kako je prikazano na slici 2.1, te na kraju imati gotov elektronički sklop, koji možete samostalno programirati i proširivati njegove funkcionalnosti po vlastitim potrebama.

Najčešće se do specifikacija elektroničkog sklopa dolazi razgovorom (upitnikom) s kupcem koji ima određenu ideju te mu je potrebna realizacija njegove ideje. Budući da u ovom slučaju nemamo kupca, sama ideja je predstavljena na početku ovog poglavlja. Potrebno je razviti uređaj koji će Vas naučiti sve korake projektiranja i izrade prototipa elektroničkog sklopa.

Jedna od glavnih karakteristika proDIgY-a je da ga je jednostavno programirati i da je u skladu s OSH inicijativom. Najšira OSH platforma za jednostavne programibilne elektroničke sklopove je Arduino. Arduino nudi besplatni softver za pisanje i sastavljanje programskog kôda te su dostupni pogonski programi mikroupravljača (eng. *bootloader*) koji omogućavaju upotrebu jednostavnih i jeftinih UART programatora za programiranje mikroupravljača (v. sliku 3.1.). Da



Slika 3.1. Primjer jednostavnog USB na UART adaptera za programiranje Arduino kompatibilnih mikroupravljača (www.ebay.com).

bi bilo moguće koristiti Arduino okolinu potrebno je odabrati mikroupravljač koji je kompatibilan s Arduino sustavom. Lista mikroupravljača se stalno proširuje te je iste moguće provjeriti pretraživanjem interneta.

Druga glavna karakteristika je mogućnost spajanja proDIgY-a na Wi-Fi mrežu. Isto omogućava upravljanje dijelovima proDIgY-a putem bežične komunikacije te izradu jednostavnih *web*-stranica koje omogućavaju daljinski nadzor i upravljanje.

Ostale karakteristike su mogućnost programiranja i napajanje pomoću USB konektora i/ili USB – UART adaptera, dimenzije ne veće od 70 mm×35 mm, minimalno 20 digitalnih nožica dostupnih na zaglavnim priključcima (*eng. Headers pins*), minimalno jedan ulaz za analogni signal, dostupan na *header* pinovima, napajanje sklopa putem Li-ion baterije, tipkalo za *reset*, tipkalo spojeno na jednu digitalnu nožicu, senzor temperature te četiri svjetleće diode, od toga dvije za prikaz komunikacije s računalom, jedna za prikaz stanja rada sklopa i jedna za korisničko upravljanje, spojena na digitalnu nožicu.

Također, čitavi sklop treba biti moguće zalemiti s ručnom lemilicom, tj. potrebno je koristiti TH komponente, ako je moguće, ili SMD komponente većih dimenzija.

Ukratko, specifikacije proDIgY elektroničkog sklopa su redom:

- komponente pogodne za lemljenje ručnom lemilicom
- mikroupravljač ESP8266 kompatibilan s Arduino okruženjem
- mogućnost bežične komunikacije putem Wi-Fi mreže
- programiranje preko USB priključka računala i/ili s USB – UART adapterom
- digitalni i analogni ulazi/izlazi dostupni na *header* pinovima
- korisniku dostupno najmanje 15 digitalnih ulaza/izlaza
- korisniku dostupan najmanje jedan analogni ulaz
- napajanje sklopa preko USB priključka ili s Li-ion baterijom
- dostupna svjetleća dioda za indicaciju napajanja ploče
- dostupne svjetleće diode za indicaciju programiranja i UART komunikacije,
- dostupna svjetleća dioda spojena na jedan digitalni izlaz
- dostupan senzor temperature
- dimenzije konačnog sklopa ne veće od 68 mm×30 mm
- rad u standardnoj okolini: raspon temperature 0°C-40°C, relativna vlaga od 30 % do 70 %, bez otpornosti na vodu
- uređaj treba biti pristupačne cijene.

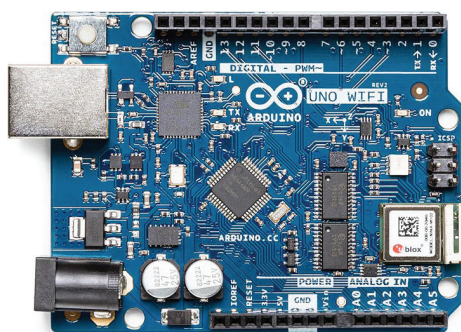
4. ISTRAŽIVANJE

Nakon definiranih specifikacija sljedeći korak je istraživanje. Prvo se istražuju postoje li već komercijalni i dostupni slični elektronički sklopovi. Jedna od glavnih karakteristika proDIgY-a je da je u skladu s OSH inicijativom, tj. da je kompatibilan s Arduino razvojnim okruženjem. Prvo je potrebno pregledati sve dostupne Arduino razvojne sustave i usporediti ih sa specifikacijama proDIgY sklopa.

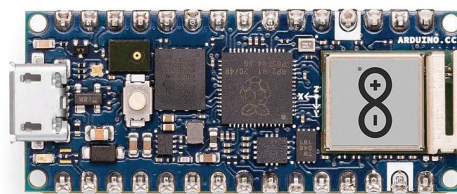
Pretraživanjem *web*-stranice <https://store.arduino.cc/collections/boards> moguće je pronaći niz razvojnih sustava sličnih specifikacija kao što je proDIgY. U trenutku pisanja ovog priručnika po specifikacijama su najbliži *Arduino UNO WiFi Rev2* i *Arduino Nano RP2040 Connect* (v. sliku 4.1.).

Usporedbom specifikacija proDIgY-a i Arduino UNO WiFi Rev2 dolazi se do zaključka da u nekoliko točki Arduino UNO WiFi Rev2 ne odgovara traženom sklopu. Dimenzije sklopa ne odgovaraju, veće su od zadanih 68 mm×30 mm, nema senzor temperature, ali sadrži 3D akcelerometar i žiroskop. Moguće je u specifikacijama proDIgY-a zamijeniti senzor ako komercijalni uređaj odgovara po svim ostalim specifikacijama. Ne sadrži *header* izvode za USB – UART adapter, već za poseban SPI programator (v. sliku 2.10.a), što je moguće zamijeniti u vlastitom dizajnu. Arduino UNO WiFi Rev2 ne sadrži jedan mikroupravljač, koji realizira sve funkcionalnosti, već tri mikroupravljača što uvelike otežava dizajn i izradu elektroničkog sklopa. Pored Wi-Fi bežične komunikacije, ima i mogućnost *Bluetooth* komunikacije. Glavni nedostatak je što dizajn i komponente nisu pogodne za ručno lemljenje. Koriste se SMD komponente manjih dimenzija koje su pogodne za strojnu izradu ili za lemljenje s vrućim zrakom.

Druga opcija je Arduino Nano RP2040 Connect. U ovom slučaju dimenzije sklopa dogovaraju, ali nema mogućnost programiranja s USB – UART adapte-



(a)



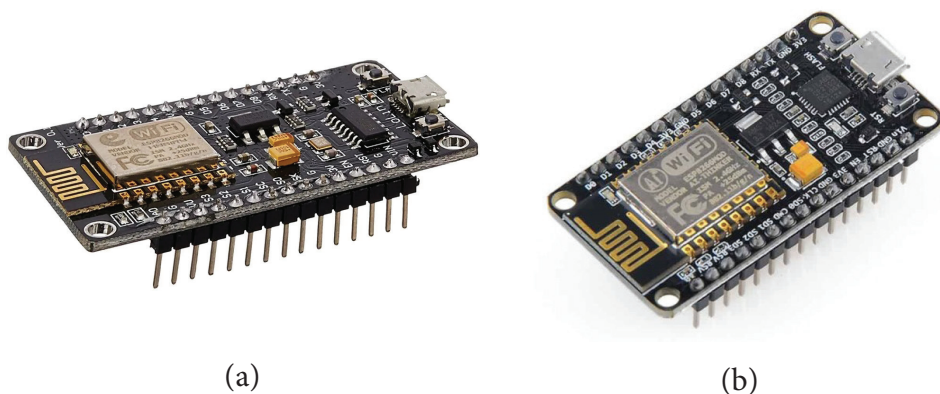
(a)

Slika 4.1. Arduino UNO WiFi Rev2 (a), Arduino Nano RP2040 Connect (b) (www.arduino.com).

rom. Ne sadrži senzor temperature, ali sadrži 3D akcelerometar, žiroskop i mikrofon te RGB svjetleću diodu. Potrebno je naglasiti i da je cjenovno Arduino Nano RP2040 Connect oko 50 % jeftiniji u odnosu na Arduino UNO WiFi Rev2. Iako po specifikacijama više odgovara proDIGY sklopu, glavni nedostatak je što dizajn i komponente nisu pogodne za ručno lemljenje. Koriste se SMD komponente manjih dimenzija koje su pogodne za strojnu izradu ili za lemljenje s vrućim zrakom.

Ako u neku od internet tražilica upišemo *Arduino alternatives WiFi boards* pronaći ćemo niz sklopova sa sličnim mogućnostima kao i prethodna dva uređaja. Najčešći su NodeMCU, koji koristi ESP8266 mikroupravljač, od tvrtke Espressif (www.espressif.com) te Wemos elektronički sklopovi s mikroupravljačima od iste tvrtke.

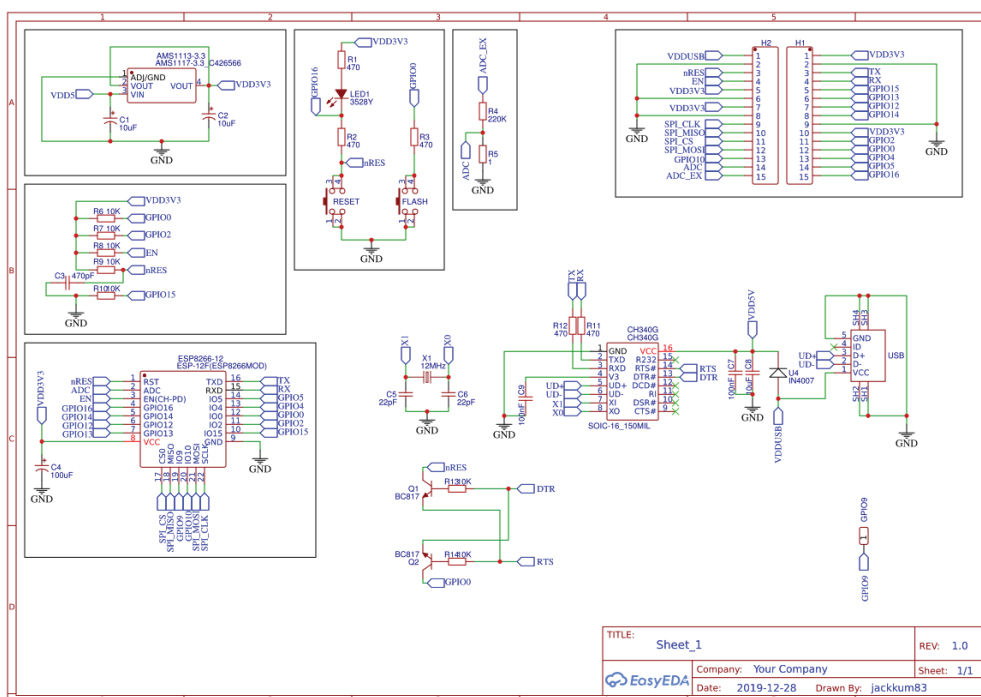
NodeMCU razvijen je od strane OSH zajednice te ga je moguće nabaviti od različitih proizvođača i u različitim verzijama s manjim ili većim izmjenama (v. sliku 4.2.). Sa slike 4.2.a vidljivo je da je većina korištenih komponenti većih dimenzija koje je moguće lemiti ručnom lemlicom. Nekoliko otpornika i kondenzatora su manjih SMD dimenzija, ali je iste jednostavno moguće zamjeniti s većim 0805 ili 1206 pakiranjima (više o pakiranjima komponenti možete pronaći u potpoglavlju 7.2.). Nisu potrebni dodatni mikroupravljači, što olakšava sam dizajn. Korišteni ESP8266 mikroupravljač, točnije ESP8266 modul (ESP-12), od tvrtke AI-Thinker (www.ai-thinker.com), sadrži 17 digitalnih ulaza/izlaza, od kojih jedan može biti analogni ulaz, a što odgovara traženim specifikacijama. Podržava traženu Wi-Fi komunikaciju te je kompatibilan s Arduino razvojnim okruženjem. Budući da se koristi modul od AI-Thinker, Wi-Fi antena je već ugrađena te nije potreban dizajn iste. Dimenzijama od 56 mm×32 mm odgovara traženim dimenzijama. Nedostaje napajanje Li-ion baterijom, senzor temperature te izvodi za USB – UART adapter. Kako je navedeno i ranije, NodeMCU razvijen je od



Slika 4.2. NodeMCU primjer 1 (a), NodeMCU primjer 2 (b).

strane OSH zajednice te su dostupne besplatne sheme sklopa. Jedan primjer sheme prikazan na slici 4.3. skinut je s *image.easyeda.com*. Velik broj sličnih shema, izrađenih s različitim alatima, dostupan je na različitim web-stranicama. NodeMCU održava OSH zajednica pomoću Github servisa te su podaci o njihovoj verziji dostupni na *github.com/nodemcu/*, tj. *github.com/nodemcu/nodemcu-devkit/blob/master/Documents/NODEMCU_ESP12.PDF* za sheme i listu korištenih materijala, tj. BOM (v. sliku 4.4.). Na temelju dostupne liste materijala moguće je istražiti sve korištene komponente i njihova svojstva, koristeći pripadajuću dokumentaciju dostupnu na internetu. Također, cijena NodeMCU razvojnog sklopa se trenutno kreće oko 15 EUR na HR tržištu, što je pristupačna cijena za većinu korisnika.

NodeMCU predstavlja dobar početni primjer za naš proDIGY sklop. Zadovoljava većinu specifikacija te je jednostavan za izradu s ručnom lemilicom. Kako je navedeno ranije, nedostaje napajanje Li-ion baterijom te senzor temperature. NodeMCU kao izvor napajanja koristi napajanje od USB sučelja preko USB konektora. Budući da USB sučelje ima 5 V napajanje, a ESP8266 za ispravan rad koristi napajanje od 3,3 V, u shemi na slici 4.3. vidljivo je da se koristi AMS1117-3.3 naponski regulator. Funkcija naponskog regulatora je spustiti napon napajanja USB-a s 5 V na 3,3 V potrebnih za napajanje ESP8266. Pored AMS1117-3.3,



Slika 4.3. Primjer sheme NodeMCU (*image.easyeda.com*).

dostupni su i drugi različiti naponski regulatori kao što su LT1117, NCP1117 i sl.

Dodatnim pretraživanjem interneta moguće je pronaći razvojni sustav FeatherS2 (<https://feathers2.io/>), prikazan na slici 4.5. FeatherS2 je kompleksniji od NodeMCU, ali sadrži napajanje Li-ion baterijom i USB-om. Na stranici proizvođača dostupna je shema sustava, korišten je TP4065 integrirani sklop za punjenje Li-ion baterije i vidljiv je način spajanja baterije. Pored TP4065, pretraživanjem interneta za pojam *Li-ion charger board*, moguće je pronaći jeftine module na temelju sklopa TP4056 (v. sliku 4.6.a.). Pregledom dokumentacije TP4056 (TC4056) sklopa moguće je pronaći jednostavnu shemu spajanja sklopa za punjenje Li-ion baterija (v. sliku 4.6.b) i pakiranje je SOP-8 koje je pogodnije

Comment	Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity
100uF TAJB107M006RNJ	Capacitor, SM Tantalum; Body 3.5 x 2.8 mm (LxW typ)	C1	SMT_C_Tantalum_B	SMT_C_Tantalum_B	1
470pF	Surface mount capacitor 0402	C2, C10	SMT_C_0402	SMT_C_0402	2
22pF	Surface mount capacitor 0402	C4, C5	SMT_C_0402	SMT_C_0402	2
100nF	Surface mount capacitor 0402	C6, C8	SMT_C_0402	SMT_C_0402	2
10uF	Surface mount capacitor 0402	C7, C11	SMT_C_0402	SMT_C_0402	2
1uF	Surface mount capacitor 0402	C9	SMT_C_0402	SMT_C_0402	1
1N4007/M7(DO- 214AC)	Surface mount schottky diode DO- 214AC(SMA) Package	D1	SMT_DIODE_DO_214AC	SMT_DIODE_SCHOTTKY_DO_214AC	1
THT_Male_P_1x15	THT Male pin header strip 1x15	J1, J2	THT_Male_P_1x15- 2.54mm	THT_Male_P_1x15	2
BLUE	SMT LED	LED1	SMT_LED_0603	SMT_LED_0603	1
470	Surface mount resistor 0402	R1, R7, R8, R10, R12	SMT_R_0402	SMT_R_0402	5
12k	Surface mount resistor 0402	R2, R4, R5, R6, R13, R14, R15	SMT_R_0402	SMT_R_0402	7
0(NC)	Surface mount resistor 0402	R3	SMT_R_0402	SMT_R_0402	1
220k (1%)	Surface mount resistor 0402	R9	SMT_R_0402	SMT_R_0402	1
100k (1%)	Surface mount resistor 0402	R11	SMT_R_0402	SMT_R_0402	1
KEY_USER	SMT Tactile ?Switch PTS 820 Series	S1	SMT_SW_PTS_820	SMT_SW_PTS_820	1
KEY_FLASH	SMT Tactile ?Switch PTS 820 Series	S3	SMT_SW_PTS_820	SMT_SW_PTS_820	1
ESP_12	ESP-12 Wi-Fi Module by AI- Thinker	U1	ESP_12	ESP_12	1
CH340G	CH340G USB to serial (UART) bridge	U2	SOP-16	CH340G	1
USB_Micro_5S_B	USB micro female SMT with 4 fixed foot	U3	USB_MICRO_5S_B	USB_Micro_5S_B	1
SPX3819M5-L-3-3	500mA, Low-Noise LDO Voltage Regulator	U4	SOT23-5	SPX3819	1
S8050	Surface mount NPN transistor, package SOT-23	VT1, VT2	SMT_TRIODE_NPN	SMT_TRIODE_NPN	2
12MHz (2520/3225)	Passive crystal	X1	SMT_XTAL_2520	SMT_XTAL_PASSIVE	1

Slika 4.4. BOM dokument NodeMCU-a.

za lemljenje ručnom lemilicom. Li-ion baterije često dolaze s već ugrađenim konektorom za spajanje, kao što je prikazano na slici 4.6.c. Prikazani JST PH 2 mm konektor se često koristi za spajanje Li-ion baterija te se isti koristi i na FeatherS2 sklopu sa slike 4.5. Za spajanje Li-ion baterije prijedlog je upotreba prikazanog konektora zbog jednostavnog spajanja s postojećim Li-ion baterijama s navedenim konektorom. Moguće je odabrati i spajanje Li-ion baterije bez konektora, tj. direktno je zalemiti na PCB. Dizajn PCB-a na ovaj način je jednostavniji i jeftiniji, ali je teže zamjeniti Li-ion bateriju.

Budući da je proDIGY potrebno moći napajati putem USB konektora i/ili Li-ion baterije, potrebno je istražiti način spajanja navedenih napajanja. Na shemi FeatherS2 sklopa vidljiv je način spajanja integriranog sklopa za punjenje baterije i naponskog regulatora (v. sliku 4.7.) Niz kondenzatora u donjem lijevom kutu na slici 4.7 koriste se za filtriranje napona te ih mi u svojem dizajnu, radi jednostavnosti, nećemo koristiti (pretpostavljamo da ćete koristiti kvalitetnije USB napajanje kao što je napajanje od USB konektora osobnog računala te nema potrebe za dodatnim filterima napona). Pored naponskog regulatora (NCP167) i integriranog sklopa za punjenje Li-ion baterije (TP4065), na shemi se nalazi i p-kanalni MOSFET čija je zadaća isključiti/uključiti napajanje preko Li-ion baterije. Ako je prisutno napajanje s USB konektora (USB_P vodič), p-kanalni MOSFET ne vodi te je na ulaz naponskog regulatora spojen napon s USB konektora. Ako nije prisutno napajanje s USB konektora tada p-kanalni MOSFET vodi te je na ulaz naponskog regulatora spojen napon s Li-ion baterije (VBAT). *Schottky* diode (na slici 4.7. D4 i D5) koriste se za zaštitu od obrnutog polariteta napona napajanja. D5 pored te uloge ima i ulogu isključenja rada LE diode D1 koja služi za indicaciju USB napajanja i LE diode D3 koja ima ulogu indicacije punjenja Li-ion baterije. Uz pretpostavku da se koristi neki od standardnih USB konektora, s kojim nije moguće obrnuti polaritet napona USB napajanja, može se iz dizajna ukloniti dioda D5. U suradnji s nastavnikom prokomentirajte i ostale dijelove sheme te je li moguće dodatno pojednostaviti istu uz zadržavanje funkcionalnosti.

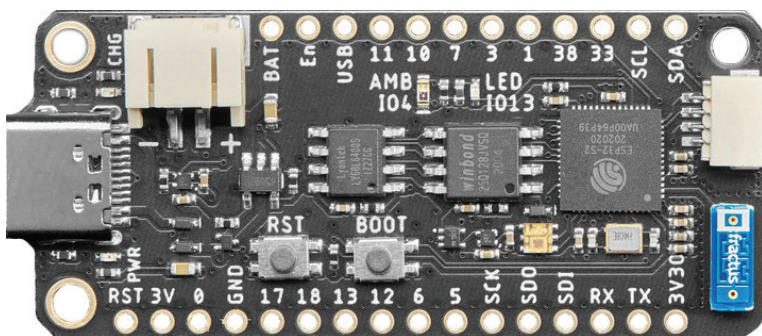
Još jedna funkcionalnost koju je potrebno istražiti je dostupan senzor temperature. Pretraživanjem interneta za pojam *Arduino digital temperature sensor*, najčešći rezultat koji ćete dobiti je DS18B20 senzor temperature. Pregledom tehničke dokumentacije istog, vidljivo je da je u pitanju digitalni senzor temperature (digitalno šalje podatke temperature upotrebom 1-Wire komunikacijske sabirnice), koji se izrađuje u tri različita kućišta, a od kojih je nama najzanimljivije (zbog jednostavnosti lemljenja) TO-92 TH kućište. Pored ovih karakteristika, bitno je da mu odgovara napajanje od 3,3 V te da može mjeriti temperaturu u rasponu od -55 °C do 125 °C, što ga čini pogodnim za različite primjene.

Da bi ESP8266 mikroupravljač bilo moguće programirati s USB sučeljem i Arduino programskim okruženjem, potreban je pretvornik (adapter) koji signale s USB sabirnice pretvara u signale UART sabirnice. U slučaju NodeMCU koristi

se CH340G integrirani sklop. Postoji i verzija CH340C za koju nije potreban vanjski kristal od 12 MHz za rad pa bi bio bolji odabir zbog jednostavnijeg dizajna u usporedbi s CH340G, koji se koristi kod NodeMCU. Pored CH340 moguće je pronaći i druge USB – UART pretvornike kao što su CP2102, FT232, PL2303 i sl. U suradnji s nastavnikom pregledajte njihovu tehničku dokumentaciju i usporedite njihove karakteristike i cijenu. Pretraživanjem interneta za tehničku dokumentaciju CH340 sklopa moguće je pronaći primjere spajanja istog. Jedan primjer je prikazan na slici 4.8. U suradnji s nastavnikom prokomentirajte shemu te kako istu iskoristiti za razvoj proDIgY-a.

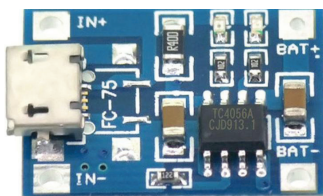
Na tržištu su dostupna i razna druga rješenja te se često tijekom razvoja odabiru komponente s kojima je osoba već imala iskustva, a zadovoljavaju sve specifikacije. Vi ne morate odabrati sve iste komponente koje su korištene u ovoj knjizi te Vas Vaši nastavnici mogu uputiti na korištenje drugih, ali sve komponente moraju zadovoljavati tražene specifikacije iz poglavlja 3. Također, možete prema uputama nastavnika i izmijeniti specifikacije iz poglavlja 3 ako niste u mogućnosti razviti uređaj istovjetan proDIgY-u, npr. ukloniti mogućnost spajanja na Wi-Fi ili ukloniti mogućnost napajanja s Li-ion baterijom.

Na slici 4.9. prikazan je BOM dokument proDIgY sklopa dobiven provedenim istraživanjem. Ukupna nabavna cijena komponenti za proDIgY ploču, od standardnih distributera od kojih je kupovina iz Hrvatske moguća i jednostavna, iznosi 5,40 EUR bez senzora temperature te oko 10,00 EUR sa senzorom temperature. Na taj trošak treba dodati trošak izrade ili narudžbe tiskane ploče, koji značajno ovisi o metodi izrade i proizvođaču te ploče.

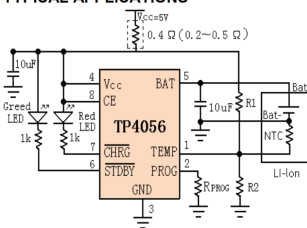


Slika 4.5. FeatherS2 razvojni sustav.

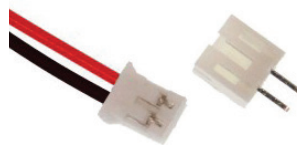
TYPICAL APPLICATIONS



(a)



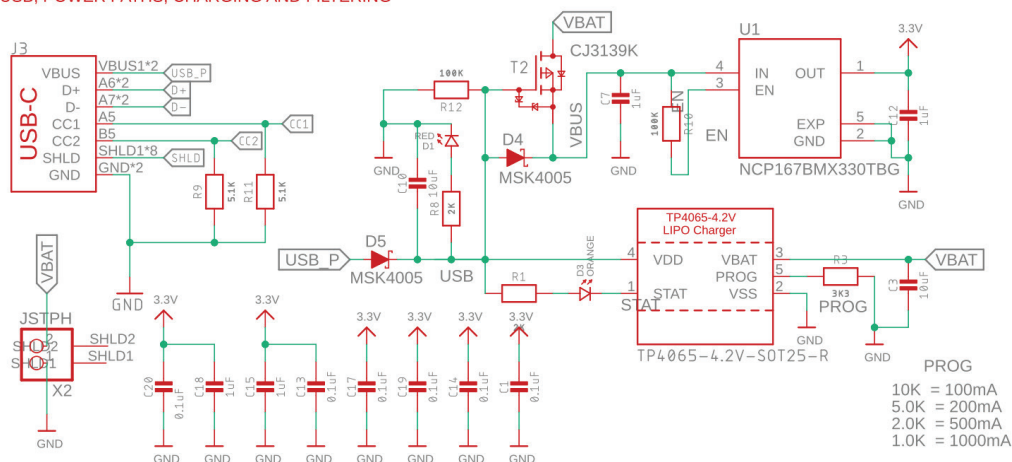
(b)



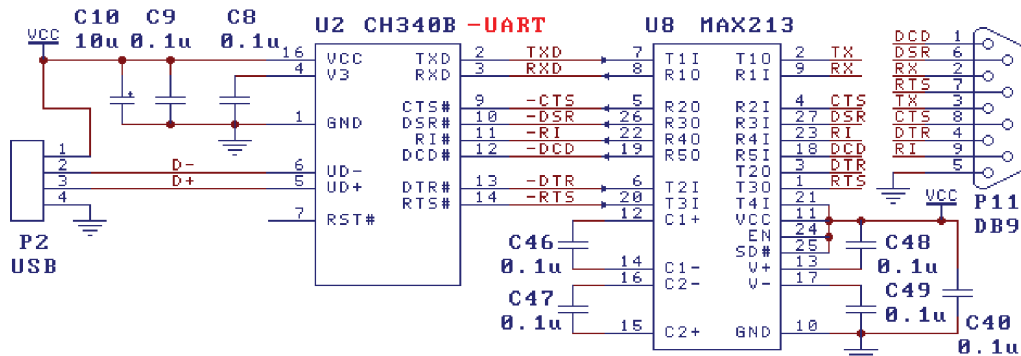
(c)

Slika 4.6. Primjer TC4056 ploče za punjenje Li-ion baterije (a), standardna shema spajanja TP4056 iz dokumentacije (b), (c) JST PH 2 mm muški i ženski konektor.

USB, POWER PATHS, CHARGING AND FILTERING



Slika 4.6. Primjer TC4056 ploče za punjenje Li-ion baterije (a), standardna shema spajanja TP4056 iz dokumentacije (b), (c) JST PH 2 mm muški i ženski konektor.



Slika 4.8. Primjer sheme USB – UART pretvornika s CH340(B,C) sklopom.

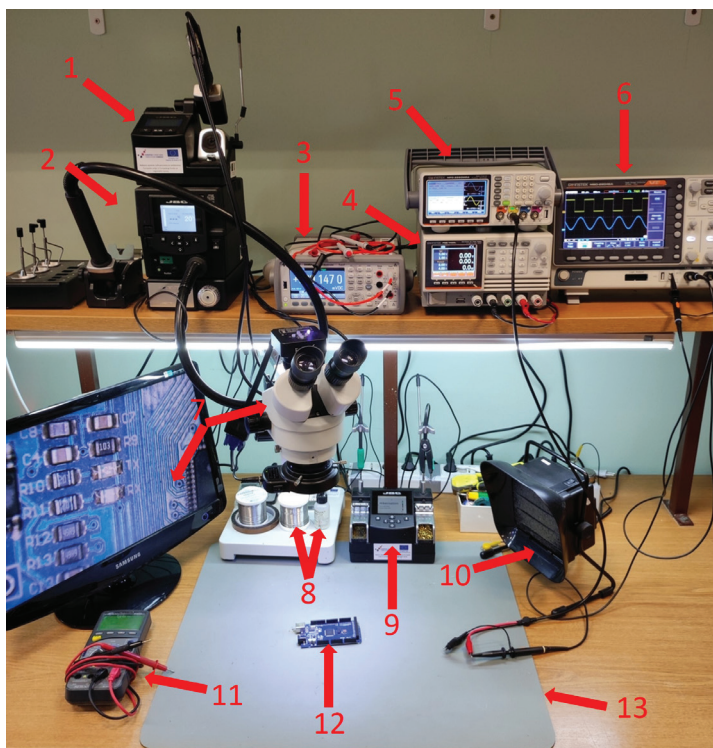
	Sourced	Placed	References	Value	Footprint	Quantity
1	☒	☒	C1, C5, C6	C1206C104M5RACTU	1206C	3
2	☐	☐	C2, C3	CL31B225KOHNNNE	1206C	2
3	☐	☐	C4	1206CG271J102NT	1206C	1
4	☐	☐	R3, R6, R7, R8, R9, R11	CRG1206F10K	1206R	6
5	☐	☐	R5, R10, R12, R13	CR1206-JW-222ELF	1206R	4
6	☐	☐	R1, R2	CR1206-JW-512ELF	1206R	2
7	☐	☐	R14, R15	RC1206FR-071KL	1206R	2
8	☐	☐	R4	CR1206-FX-2491ELF	1206R	1
9	☐	☐	D2, D4	THT_LED_5MM_BLUE	THT_LED_5MM_BLUE	2
10	☐	☐	D1	THT_LED_5MM_PURPLE	THT LED 5mm PURPLE	1
11	☐	☐	D3	THT_LED_5MM_WHITE	THT LED 5mm WHITE	1
12	☐	☐	U1	CH340C	SOP-16	1
13	☐	☐	U2	SE5218	SOT-23-5	1
14	☐	☐	U3	DS18B20	TO-92	1
15	☐	☐	U4	ESP8266(ESP12-F)	ESP 8266(ESP12-F)	1
16	☐	☐	F1	1206FUSE-500mA	1206FUSE	1
17	☐	☐	SW1, SW2	YTSA007A0151803B	YTSA007A0151803B	2
18	☐	☐	H1, H2	HOLE_3.2mm	HOLE_3.2mm	2
19	☐	☐	K4, K5	HEADER_MALE_15X1	HEADER_MALE_15X1	2
20	☐	☐	K1	easyC-SMD	easyC-connector	1
21	☐	☐	K2	U262-161N-4BVC11	U262-161N-4BVC11	1
22	☐	☐	K3	NOVA_programmer_header	HEADER_MALE_6X1	1

Slika 4.9. Prikaz konačnog BOM-a proDigY razvojnog sustava.

5. PROTOTIPIRANJE

Jedan od rezultata prethodnog postupka istraživanja je popis komponenti koje odgovaraju specifikacijama željenog proizvoda. Iako same komponente odgovaraju specifikacijama, često, ako ne i uvijek, potrebno je provjeriti način rada komponente. Ovaj postupak zove se prototipiranje. S iskustvom u izradi elektroničkih sklopova, nerijetko se već korištene komponente ponovno upotrebljavaju u novom sklopu. Budući da je ista već testirana, nema potrebe za ponavljanjem postupka.

Postupak prototipiranja uključuje spajanje pojedinih dijelova uređaja na prototipnim pločama, lemljenje komponenti vodičima, mjerenje napona, struje, programiranje pojedinih dijelova uređaja, izrada manjeg dijela PCB-a radi testiranja dijela elektroničkog sklopa i sl. Za ovaj postupak koriste se različiti alati i instrumenti. Na slici 5.1. prikazan je primjer radnog mjesta (stola) za prototipiranje. Općenito, radni stol za prototipiranje ne mora sadržavati sve prikazano na slici, već može sadržavati i dodatne uređaje i alate za rad, koji nisu prikazani na slici 5.1, npr. računalno za programiranje mikroupravljača, razna kliješta i sl. Na slici 5.1. brojevima su označeni sljedeći instrumenti i alati:



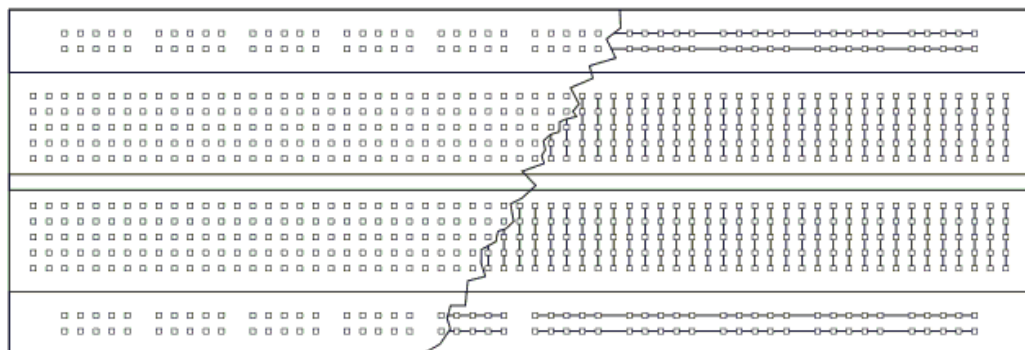
Slika 5.1. Primjer radnog mjesta za razvoj prototipa.

1. stanica za odlemljivanje
2. stanica za lemljenje na vrući zrak
3. stolni (laboratorijski) multimetar
4. istosmjerni izvor napajanja
5. funkcijski generator
6. digitalni osciloskop
7. povećalo s kamerom i LCD zaslonom
8. tinol žica i flux
9. stanica za lemljenje
10. uređaj za usis lemnog dima
11. multimetar
12. primjer elektroničkog sklopa
13. zaštitna antistatik podloga.

U nastavku teksta prikazani su primjeri standardnih alata koji se koriste za postupak prototipiranja i kroz primjer će biti objašnjen i prikazan postupak prototipiranja dijela uređaja proDIGY.

5.1. PROTOTIPNA PLOČICA (PROTOBOARD)

Prototipne, eksperimentalne pločice (*eng. protoboard*) osnovni su pribor koji se koristi za realizaciju sklopova koji su sastavljeni od integriranih sklopova, tranzistora, dioda, otpornika, kondenzatora, sklopki, pokaznika i sl. Svaka se pločica (v. sliku 5.2.) sastoji od nožišta i sabirnica. Nožište se sastoji od 63 reda s po 10 rupa u redu, od kojih je po 5 rupa električki spojeno i odvojeno utorom. Razmak je između središta rupa 2,54 mm (0,1 inch), što odgovara razmaku nožica standardnih vrsta integriranih sklopova DIP (*eng. Dual In-line Package*). Širina utora je 7,62 mm (0,3 inch) i odgovara širini integriranih sklopova s 14,

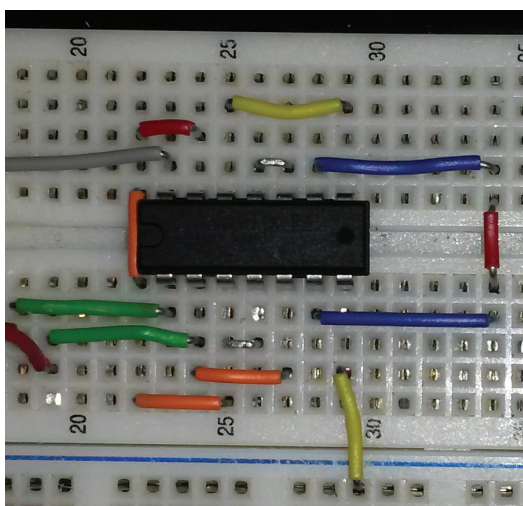


Slika 5.2. Prototipna pločica.

16, itd. pari nožica (DIP). Ako se takav integrirani sklop postavi u nožište, za svaku nožicu preostaju još po četiri rupe za međuspojeve između točaka sklopa. Svi integrirani krugovi postavljaju se u nožište prototipne pločice s istom orijentacijom - polukružni utor ili rupa na gornjoj strani kućišta okreću se prema gore.

Vodiče treba, ako je moguće, polagati oko komponenti, a ne preko njih i to tako da leže na površini nožišta. Na taj je način ožičenje pregledno, spojevi pouzdaniji i ne može ih se nehotice prekinuti. Prikaz dobrog primjera spajanja integriranog sklopa u DIP14 pakiranju na eksperimentalnu pločicu prikazan je na slici 5.3. Također, često se koriste i tzv. Dupont vodiči, koji su pogodni za spajanje sa standardnim *header* pinovima koje je moguće vidjeti i na raznim primjerima OSH elektroničkih sklopova (v. sliku 1.2.). Postoji više vrsta (ovisno o načinu spajanja); muško-ženski, žensko-ženski i sl. (v. sliku 5.4.). Često se koriste kod prototipiranja zbog jednostavnosti spajanja s header pinovima.

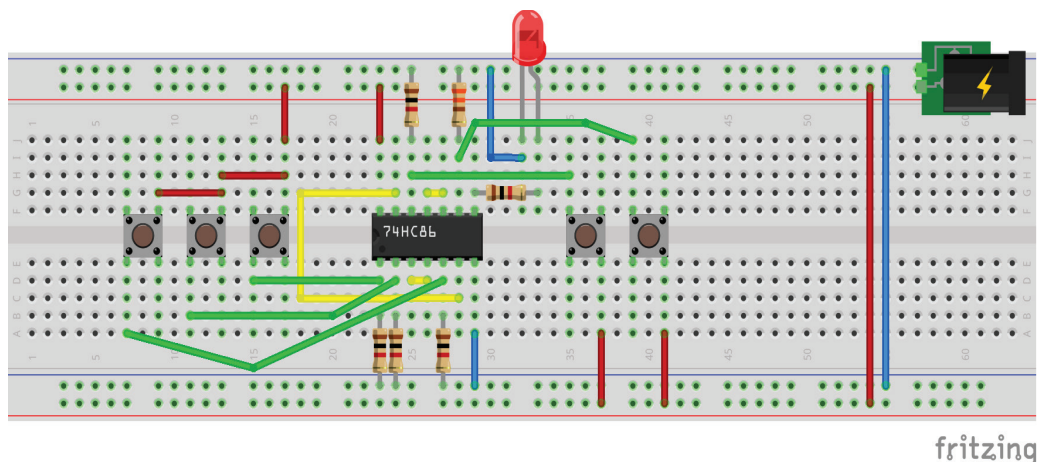
Za hobističke primjene koriste se i razni programski alati za prikaz spajanja



Slika 5.3. Primjer dobrog spajanja integriranog sklopa u DIP14 pakiranju na prototipnoj pločici.



Slika 5.4. Primjer dupont vodiča s lijeva na desno: žensko -ženske, žensko-muške i muško-muške.



Slika 5.5. Primjer spajanja komponenti s *Fritzing* (<https://fritzing.org/>) programskim alatom.

komponenti na eksperimentalnoj pločici. Jedan od OSH alata je *Fritzing* (<https://fritzing.org/>), koji omogućava spajanje i prikaz komponenti na *protoboardu* (održavan na <https://github.com/fritzing>). Primjer je prikazan na slici 5.5.

Ožičenje treba izvršiti uz isključeno napajanje i to uredno kako bi se moguće neispravnosti mogle lakše otkloniti! Prije uključenja napona, provjeriti da napajanje na prototipnoj pločici nije u kratkom spoju!

5.2. UNIVERZALNI DIGITALNI MJERNI INSTRUMENT

Univerzalni digitalni mjerni instrument (kolokvijalno multimetar, v. sliku 5.6.) je mjerni uređaj koji može mjeriti različite električne veličine. U pravilu može mjeriti istosmjerni i izmjenični napon i struju, otpor (ampermetar, ohmmetar i voltmetar), detektirati kratak spoj između dvije točke, a nerijetko može mjeriti i kapacitet, temperaturu (koristeći temperaturnu sondu), testirati ispravnost tranzistora, prepoznavanje logičkih stanja (logička sonda) i sl.

Multimetar se kod prototipiranja često koristi za detekciju kratkog spoja (tzv. *zujalica*), mjerenje jakosti struje strujnog kruga i napona na pojedinim izvodima prototipnog sklopa.

5.3. ISTOSMJERNI IZVOR NAPAJANJA

Svaki električni sklop za rad treba napajanje. Ovisno o vrsti sklopa, može biti istosmjerno ili izmjenično napajanje. Prilikom razvoja elektroničkih uređaja često se koriste laboratorijski naponski izvori napajanja, koji imaju mogućnost



Slika 5.6. Primjer univerzalnog digitalnog mjernog instrumenta.

postavljanja napona i jakosti struje izlaza. Neki imaju mogućnost limitiranja jakosti struje izlaza ili rada kao strujni izvor te mogu posjedovati više izlaza.

5.4. FUNKCIJSKI GENERATOR

Elektronički sklopovi se sastoje od različitih ulaza. To mogu biti tipkala koja pritiskom spajaju ulaz sklopa s naponom od 0 V ili s naponom od 3.3 V, mogu biti prekidači sa sličnom funkcionalnošću i sl. Također, neki ulazi sklopova trebaju posebne valne oblike napona. U digitalnim elektroničkim sklopovima nerijetko je potreban ulaz signala takta, periodički pravokutni istosmjerni naponski signal određene frekvencije. U nekim drugim slučajevima potreban je periodički izmjenični naponski sinusni signal. Zbog svega navedenoga, prilikom izrade elektroničkih sklopova koriste se funkcijski generatori (generatori funkcija).

5.5. DIGITALNI OSCILOSKOP

Digitalni osciloskop mjerni je uređaj koji prikazuje, obrađuje i sprema podatke o valnom obliku napona u vremenu. Za razvoj elektroničkih sklopova koristi se za prikaz napona ulaza i izlaza u stvarnom vremenu. Karakterizira ga

maksimalna frekvencija ulaznog signala, broj uzoraka signala u sekundi (*eng. sample rate*), broj kanala (ulaza), opcije analize mjenenog signala.

Na ulaze (kanale) osciloskopa spajaju se osciloskopske mjerne sonde. Mjerna sonda osciloskopa sastoji se od BNC priključka i dvije stezaljke, krokodilka za uzemljenje (GND) i stezaljke za ulazni napon.

5.6. LEMILICE I LEMLJENJE

Lemljenje je postupak spajanje metalnih elemenata (npr. vodiča) legurom čija je temperatura taljenja niža od temperature taljenja metalnih elemenata koje je potrebno spojiti. Lemljenje osigurava kontinuitet metala, a samim time i provodnost.



Slika 5.7. Primjer lemne stanice s temperaturnom kontrolom (www.conrad.com).

Prilikom lemljenja u elektroničkim sklopovima koriste se temperature niže od 450 °C što spada u tzv. meko lemljenje. Za lemljenje elektroničkih sklopova potreban je:

- alat za lemljenje
- tinol žica ili tinol pasta
- flux za lemljenje
- sredstvo za čišćenje.

U standardne alate za lemljenje spadaju električne lemilice, pincete, razna

klješta, trake za odlemljivanje, spužvice za čišćenje, povećala i sl. Također, pored standardnih alata, mogu se koristiti i pećnice za lemljenje, stanice za odlemljivanje, stol za grijanje, prijenosne lemilice i dr.

Ručne električne lemilice se najčešće koriste prilikom prototipiranja elektroničkih sklopova. Vrh ručne lemilice se grije te fizičkim spajanjem vrha, tinola i metalnih elemenata dolazi do lemljenja. Postoje različite vrste, ali najčešće se koriste lemne stanice s kontrolom temperature lemljenja (v. sliku 5.7.). Pored mogućnosti namještanja temperature lemljenja, često imaju mogućnost zamjene vrhova lemilice, dodatke za čišćenje vrha lemilice i sl. Navedena lemilica koristi se za lemljenje TH i SMD komponenti.

Druga vrsta lemilica, koja se često koristi kod prototipiranja za lemljenje SMD komponenti, je ručna električna lemilica na vrući zrak. Kroz mlaznicu lemilice puše vrući zrak visoke temperature, struji preko tinola (najčešće u obliku paste) i metalnih elemenata te dolazi do procesa lemljenja. Primjer električne lemilice na vrući zrak prikazan je na slici 5.8. Pored kontrole temperature zraka, moguće je kontrolirati i protok zraka kroz mlaznicu. Prilikom lemljenja s vrućim zrakom, potrebno je odbarati odgovarajuću mlaznicu i postavke protoka zraka s obzirom na veličinu komponente i udaljenost mlaznice od komponente. Ako je protok zraka prevelik moguće je odlemiti susjedne komponente ili „otpuhati“



Slika 5.8. Primjer lemne stanice na vrući zrak s temperaturnom kontrolom i kontrolom protoka (www.conrad.com).

komponentu koja se lemi.

Tinol (*eng. solder*) se koristi za spajanje dvaju metalnih dijelova (npr. spajanje metalne nožice komponente s kositrenom nožicom/pad-om PCB-a) zagrijavanjem s lemilicom. Postoji nekoliko vrsta tinola, ovisno o omjeru korištenih metala legure (kositar, olovo, srebro i sl.), ali najčešći su Sn60/Pb40 (skraćeno SN60, maseni postotak 60 % kositra i 40 % olova) i Sn63/Pb37 (skraćeno SN63, maseni postotak 63 % kositra i 37 % olova). Iako je SN60 jeftiniji od SN63, SN63 pokazuje bolje karakteristike te je isti preporučljivo koristiti. Neke od glavnih prednosti SN63 u odnosu na SN60 su:

- niža temperatura taljenja za SN63 je 183 °C, a za SN60 190 °C
- oko 40 % kraće vrijeme stvrdnjavanja u odnosu na SN60
- gustoća SN63 je manja u odnosu na SN60 te je masa zalemljenog uređaja manja
- zbog veće količine kositra, SN63 ima bolja električna i toplinska svojstva.

Tinol u obliku žice (*eng. solder wire*) najčešće se koristi za ručno lemljenje lemilicom. Tinol žica može, pored tinola, sadržavati u svojem središtu flux za lemljenje. Volumni omjer tinola i fluxa, u tinol žici, je između 20 % i 30 %, tj. u masenom postotku između 2 % do 3,5 %. Promjer tinol žice je također jedna od karakteristika koje utječu na postupak lemljenja. Prevelika tinol žica, u odnosu na nožice koje želimo zalemiti, može otežati lemljenje stvaranjem prevelikog sloja lema i potrebom za čišćenjem. Korisno je pravilo da promjer tinol žice bude malo manji od polumjera pad-a (površine) koji se lemi. Često korišteni promjeri tinol žice su 0,5 mm, 0,75 mm, 1,0 mm i 2,0 mm s 2,5 % masenim postotkom fluxa (v. sliku 5.9.). Postoje u prodaji bezolovne tinol žice kao i kombinacija Sn



Slika 5.9. SN63 tinol žica bez *fluxa* promjera 1,0 mm (a), SN60 tinol žica promjera 0.5 mm s 2,2 % *fluxa*.

Pb Cu, ali i dalje najbolje karakteristike za ručno lemljenje pokazuje SN63.

Pored tinol žice za lemljenje SMD komponenti koristi se tinol pasta (*eng. solder pastes, solder creams*). Tinol pasta se sastoji od usitnjenog tinola (u obliku praha), fluxa i aditiva. Pored SN63 koriste se i tinol paste s legurama u masenom postotku Sn62Pb36Ag2 te Bi57Sn42Ag1. SN62 pasta ima veću temperaturu taljenja na 179 °C, a Bi57 ima nižu na 137 °C. Kombinacija dviju pasti s višim i nižim talištem koristi se kod lemljenja u slučaju kada se komponente nalaze na gornjoj i donjoj strani PCB-a i koristi se lemljenje s pećnicom. Prvo se koristi pasta više temperature na jednoj strani PCB-a, a nakon završenog lemljenja se koristi pasta niže temperature za drugu stranu. Na ovaj način, zbog niže temperature lemljenja, komponente koje su prve zalemljene ostanu zalemljene. Tinol paste su najčešće pakirane u obliku šprica za lakše nanošenje na PCB. Primjeri su prikazani na slici 5.10.



Slika 5.10. SN63 tinol žica bez fluxa promjera 1,0 mm (a), SN60 tinol žica promjera 0.5 mm s 2,2 % fluxa.

Već nekoliko puta u prethodnim poglavljima je naveden izraz *flux*. Flux služi za čišćenje metalnih elemenata koji se leme. On uklanja tanak sloj oksida, koji se može formirati na površini metala te je najčešći uzrok onečišćenja metala. Također, flux sprečava ponovno formiranje oksida tijekom lemljenja. Flux se može nalaziti u tinol žicama, samostalno u obliku tekućine ili paste te u pastama za lemljenje. U sebi sadrži najčešće određenu vrstu kiseline (*eng. halide* – halogenidi) koja nagriza sloj oksida. S obzirom na jačinu kiseline (često se koristi izraz *aktivnost flux-a*), dijele se na slabe aktivne (oznaka L), srednje aktivne (oznaka M) i jako aktivne (oznaka H) fluxe. Budući da dio fluxa može ostati i nakon lemljenja, potrebno je temeljito očistiti prostor oko spoja kako ne bi došlo do korozije metala ili oštećenja komponenti. Postoje i fluxi nakon kojih nije potrebno

čišćenje, tzv. *no-clean flux* koji ne sadrže halogenide (*eng. halide-free*). Fluxi su često izrađeni od smole bora (*eng. rosin/colophony based*) ili sintetičkih smola



(a)



(b)

Slika 5.11. Flux u tekućem obliku No-Clean (a), flux u obliku paste izrađen od smole bora (b).

(*eng. resin based*). Primjeri su prikazani na slici 5.11.

Zadnji korak nakon svakog postupka lemljenja je čišćenje. Onečišćenja najčešće nastaju od ostataka fluxa te od prašine, masti, ulja i sl. Onečišćenja se uklanjaju da bi se smanjila mogućnost nastajanja korozije, uklonila mogućnost neželjenog spoja između pojedinih traka na PCB-u, estetike PCB-a i sl. Najčešća otapala koja se koriste za čišćenje su etilni alkohol (etanol) i izopropilni alkohol u visokom postotku masenog udjela. Etanol se koristi iznad 90 %, a izopropil iznad 99 % masenog udjela. Pored otapala koriste se i razne blage četkice za čišćenje. Hobistički se često koriste mekane četkice za zube. U profesionalnim radionicama koriste se i ultrazvučne kupke zajedno s različitim otapalima, a koje mogu očistiti i dijelove ispod SMD komponenti što nije slučaj s ručnim čišćenjem. Prilikom čišćenja s navedenim otapalima, budući da su zapaljivi, potrebno je biti oprezan da pare otapala ne dođu u kontakt s izvorom topline. Također, potrebno je minimizirati mogućnost udisanja para otapala, tj. provjetravati prostoriju te ekološki zbrinuti ostatke tekućine.

Prilikom razvoja i izrade prototipa elektroničkog sklopa većinom, a i Vi ćete tako raditi, postupak lemljenja se izvodi ručno. I kod automatiziranih postupaka sastavljanja (*eng. assembly*) ponekad je potrebno popraviti lem ručnim lemljenjem. Tijekom prototipiranja potrebno je ponekad zasebne komponente ručno lemiti na žice ili samo dio gotovog PCB-a zalemiti s komponentama. Kod manjih proizvodnji također se često koristi ručno lemljenje, posebno u slučajevima TH komponenti.

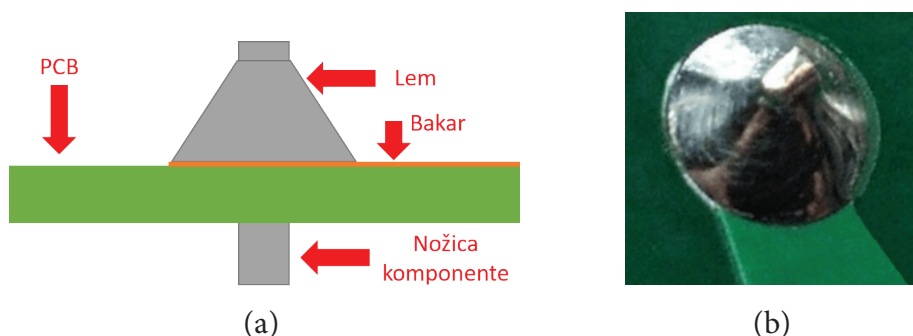
Ručno lemljenje se može podijeliti na dvije tehnike: lemljenje TH komponenti i lemljenje SMD komponenti. U oba slučaju potrebno je imati čistu radnu okolinu i pripremljene sve potrebne alate za lemljenje. Također, radna okolina mora biti ESD sigurna (*eng. Electrostatic Discharge* – elektrostatičko pražnjenje) s čime se izbjegava mogućnost oštećenja komponenti. Ovo se postiže upotrebom antistatik podloge i/ili antistatik rukavice te uzemljenom lemilicom. Kod obje tehnike lemljenja, potrebno je da PCB i sve komponente te njihove nožice budu čiste. Vrh lemilice ne smije biti prevelikih ili premalih dimenzija s obzirom na dimenzije nožica komponenti. Pravilo je da temperatura lemilice bude postavljena na cca. 50 °C iznad temperature taljenja tinola. Kod većine tinola temperatura lemilice od 250 °C je odgovarajuća, dok za tinole s nižim talištem, kao što je Bi57, odgovara temperatura od 200 °C. Temperature lemljenja iznad 300 °C mogu dovesti do lema niže kvalitete te oštetiti samu komponentu dugotrajnijim izlaganjem višim temperaturama. Još jedno od bitnih pravila prilikom lemljenja je da se ne smije predugo lemiti vrhom lemilice. Preporuka je maksimalno 4 s.

5.6.1. LEMLJENJE TH KOMPONENTI

Za TH komponente preporuka je sljedeći postupak ručnog lemljenja:

1. Pripremiti komponente, odrezati nožice komponenti na odgovarajuću dužinu i po potrebi ih očistiti.
2. Učvrstiti PCB s odgovarajućim držačima i postoljem. Time se osigurava da ne dolazi do pomaka PCB-a tijekom lemljenja.
3. Odabrati odgovarajuću tinol žicu, promjer jednak polovini promjera površine koja se želi zalemiti.
4. Zagrijati lemilicu, očistiti vrh (provući vrh preko mokre spužve nekoliko puta) te na čisti vrh otopiti manju količinu tinol žice.
5. Umetnuti komponentu na odgovarajuće mjesto na PCB-u.
6. Staviti flux na dijelove PCB-a i nožica komponenti koji će se lemiti.
7. Zagrijani vrh lemilice prisloniti pod kutom od cca. 45 °C, ali tako da vrh dira što veći dio površine koju želimo zalemiti.
8. Nakon cca. 1 sprisloniti tinol žicu na spoj vrha lemilice i površine koju želimo zalemiti te pustiti da se otopi oko čitave površine koju lemimo.
9. Ukloniti tinol žicu.
10. Ukloniti vrh lemilice. Uzeti u obzir da čitav postupak od prislanjanja do uklanjanja vrha lemilice ne bi trebao trajati duže od 4 s.
11. Vizualno pregledati novonastali lem. Lem se treba u obliku konusa spuštati prema PCB-u kako je prikazano na slici 5.12.
12. Očistiti vrh lemilice te na čisti vrh otopiti manju količinu tinol žice i odložiti lemilicu u postolje.

13. Na kraju očistiti novonastali lem s četkicom i odabranim otapalom. Čišćenje je uvijek preporučljivo napraviti odmah nakon lemljenja budući da se s vremenom onečišćenja stvrdnjavaju te ih je teže očistiti.



Slika 5.12. Skica ispravnog lema TH komponente (a), stvarni primjer ispravnog lema TH komponente (b).

5.6.2. LEMLJENJE SMD KOMPONENTI

Za SMD komponente u pakiranju s većim dimenzijama nožica, kao što su 0805 i veća pakiranja, SOT pakiranja, SOIC pakiranja i sl., moguće je koristiti ručnu lemilicu s vrhovima manjih dimenzija. Postupak lemljenja je jednak postupku lemljenja TH komponenti opisanom u potpoglavlju 5.6.1 uz jednu razliku u koraku 5. TH komponente je jednostavno umetnuti u predviđene rupe na PCB-u, dok je za SMD komponente potrebno iste učvrstiti s određenim alatom (pinceta, vakuumski držač i sl.) ili malom količinom ljepila zalijepiti na PCB te nastaviti s koracima 6 – 13 iz potpoglavlja 5.6.1.

Sličan postupak je moguće primijeniti i koristeći tinol pastu umjesto tinol žice. Nakon što je SMD komponenta postavljena i učvršćena na odgovarajuću poziciju na PCB-u, na nožice je potrebno nanijeti tinol pastu. Pri korištenju tinol paste nije potrebno koristiti *flux* budući da se isti već nalazi u tinol pastu. Nakon što je tinol pasta nanesena na sve nožice, zagrijani vrh lemilice potrebno je prisloniti na pojedinu nožicu, dok ne dođe do lemljenja. Ponoviti postupak za sve nožice. Nastaviti s koracima 11 – 13 iz potpoglavlja 5.6.1.

Druga, i puno češća, tehnika ručnog lemljenja SMD komponenti je upotrebom lemilice na vrući zrak. Koraci lemljenja SMD komponenti s lemilicom na vrući zrak su sljedeći:

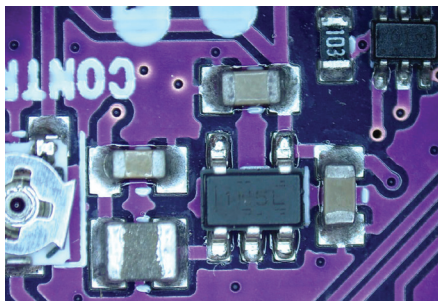
1. Odabrati odgovarajuću mlaznicu za lemilicu i postaviti željenu temperaturu zraka i protok.
2. Učvrstiti PCB s odgovarajućim držačima.

3. Na odgovarajuće nožice nanijeti odabranu tinol pastu.
4. Postaviti komponentu na PCB i poravnati je u odnosu na nožice komponente (za ovaj postupak najčešće se koristi povećalo ili mikroskop (v. sliku 5.1., označeno sa 7).
5. Ako se u okolini komponente nalaze već zalemljene SMD komponente, iste je potrebno zaštititi. Često se koristi PET samoljepljiva traka otporna na visoke temperature koja se postavi oko već zalemljenih komponenti.
6. Približiti mlaznicu lemilice nožicama i pričekati da se otopi pasta.
7. Odmaknuti mlaznicu lemilice i odložiti je na odgovarajuće postolje te pričekati da se lem ohladi.
8. Vizualno pregledati novonastali lem. Primjer dobrih SMD lemova nalazi se na slici 5.14.
9. Na kraju očistiti novonastali lem s četkicom i odabranim otapalom. Čišćenje je uvijek preporučljivo napraviti odmah nakon lemljenja budući da se s vremenom onečišćenja stvrđavaju te ih je teže očistiti. Kod SMD lemljenja za čišćenje se koriste, ako su dostupne, i ultrazvučne kupke. PCB koji je potrebno očistiti uroni se u ultrazvučnu kupku s odgovarajućim otapalom. Ovakav postupak čišćenja može očistiti i dijelove PCB-a ispod SMD komponenti (v. sliku 5.13., v. video primjer na <https://www.youtube.com/watch?v=R7xjFCAV0u0>).

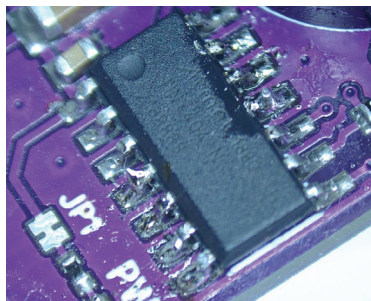
Još jedan način lemljenja SMD komponenti je Reflow lemljenje (*eng. Reflow soldering*). Za ovaj način lemljenja potrebno je prvo imati stencil (*eng. stencil*).



Slika 5.13. Primjer ultrazvučne kupke www.conrad.com.



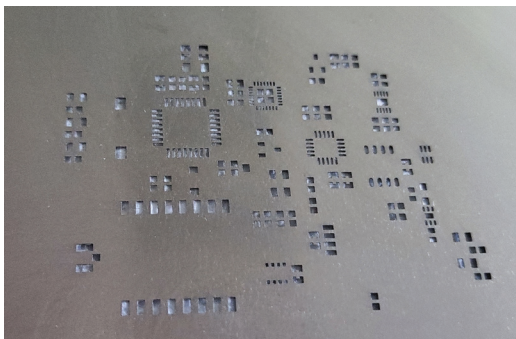
(a)



(b)

Slika 5.14. Primjer dobrih lemova (a) i (b) loših lemova SMD komponenti.

Stencil je tanki metalni list s rupama na mjestima (lokacije padova komponenti) na koja je potrebno postaviti tinol pastu na PCB (v. sliku 5.15.) Stencil se poravnava i pričvrsti za PCB te se zatim preko stencila ravnomjerno nanese tinol pasta. Stencil se ukloni s PCB-a te je rezultat ovog postupka izjednačena prekrivenost tinol pastom samo na mjestima padova komponenti. Nakon nanošenja tinol paste potrebno je pažljivo postaviti komponente na odgovarajuće mjesto. Budući da tinol pasta ima adhezivna svojstva, komponente će ostati na PCB-u tijekom prenošenja (ipak je potrebno izbjegavati udarce PCB-a). Sljedeći korak je stavljanje PCB-a s komponentama u tzv. *Reflow pećnicu* (eng. reflow oven) koja zagrijava PCB prema zadanim temperaturama, ali ne višim od maksimalno dozvoljenih za pojedine komponente na PCB-u. Tijekom zagrijavanja dolazi do spajanja metalnih elemenata (lemljenja). Nakon što se PCB ohladi, potrebno je provjeriti električne veze za kratke spojeve i otvorene krugove. Postupak lemljenja može se provesti i s lemilicom na vrući zrak, ali je potrebno paziti da tijekom lemljenja jedne komponente ne dođe do pomicanja okolnih komponenti.

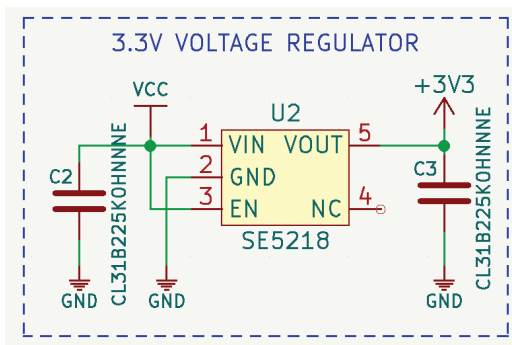


Slika 5.15. Primjer stencila za PCB.

5.7. PRIMJER PROTOTIPIRANJA NAPONSKOG REGULATORA PRODIGY RAZVOJNOG SUSTAVA

Kako je objašnjeno u 5. poglavlju, i specificirano u 3. poglavlju, proDIgY treba imati mogućnost napajanja preko USB priključka i Li-ion baterijom. U 5. poglavlju istraženi su sklopovi potrebni za realizaciju traženog napajanja te je iste potrebno testirati prije konačne izrade proDIgY-a. Na temelju tehničke dokumentacije izrađena je shema na slici 5.16. Koristi se regulator napona oznake SE5218 koji ulazni napon do 6V pretvara u izlazni napon od 3,3 V. Minimalna razlika između izlaznog i ulaznog napona mu je 175 mV, a maksimalna struja koju može dati iznosi 800 mA. Signal označen s VCC na shemi će dolaziti s USB-C konektora, preko osigurača na finalnom proizvodu, a ovdje označava napon od otprilike 5 V. Spojen je direktno na pin VIN koji služi za ulazni napon te na pin EN koji pali regulator napona. Ako ne bismo spojili pozitivan napon na EN pin, regulator napona nikada ne bi spuštao napon. Na pin VCC je povezan i kondenzator C2 oznake CL31B225KOHNNNE kapaciteta 2,2 uF koji ima ulogu decoupling kondenzatora. Isti kondenzator nalazi se i na izlazu iz regulatora napona na pinu VOUT na kojemu regulator napona daje izlazni napon od 3,3 V. NC (eng. No Connection) pin označava da se na taj pin ne spaja ništa. Opisani spoj, koji je i prikazan na slici 5.16., može biti prototipiran na bušenoj ploči kako bi se potvrdila njegova ispravnost.

U inicijalnoj specifikaciji navedeno je da se uređaj mora moći napajati i Li-ion baterijom. Tijekom razvoja, ponekad se može dogoditi da neku od specifikacija nije moguće ostvariti. Kako bi se to demonstriralo, ovdje neće biti implementiran punjač za Li-ion baterije niti konektor za Li-ion baterije. Moglo se dogoditi da je kao gornja granica određeno 10,00 EUR sa senzorom temperature, te nije bilo više budžeta za punjač za Li-ion baterije. Moglo se dogoditi i da je nestašica elektroničkih komponenti te integrirani krug za punjač za Li-ion baterije nije bilo moguće nabaviti. U svakom slučaju, punjač na ovom prototipu nije integriran.



Slika 5.16. Primjer sheme naponskog regulatora SE5218 za prototipiranje.

6. IZRADA SCHEME I SIMULACIJA

Tijekom postupka prototipiranja, objašnjenog u 5. poglavlju, i za izradu konačnog prototipa i proizvoda potrebno je izraditi shemu sklopa. Na temelju sheme moguće je izraditi prototip koristeći eksperimentalnu pločicu, PCB i sl. Također, shema u određenim slučajevima, uz dostupne modele korištenih komponenti, omogućava i simulaciju sklopa na računalu bez potrebe za izradom istog. Iako je simulacija aproksimacija stvarnog svijeta, u većini slučajeva omogućava dovoljan uvid u rad sklopa te uočavanje pogrešaka u razvoju.

Za izradu shema koriste se različiti komercijalni ili besplatni CAD alati za PCB dizajn. Najčešće CAD alati imaju mogućnost izrade sheme te nakon toga i mogućnost dizajna (crtanja) PCB-a. Neki od poznatijih su Altium Designer (www.altium.com), OrCAD (www.orcad.com), KiCAD (www.kicad.org), Eagle (www.autodesk.com/products/eagle/) i sl. Nabrojani programski alati imaju različite mogućnosti te je na korisniku da odabere koji mu najviše odgovara. Iako nemaju iste mogućnosti, koncepti izrade sheme i dizajna PCB-a za sve je jednak. U ovom priručniku koncepti izrade sheme biti će pokazan s KiCAD alatom budući da je isti besplatan i svi ga mogu koristiti na svojim računalima.

6.1. KICAD 6.0

KiCAD je moguće preuzeti s www.kicad.org te je preporuka preuzeti najnoviju stabilnu verziju za korištenje operacijski sustav. Tijekom pisanja ovog priručnika najnovija stabilna verzija je KiCAD 6.0 s kojim će biti i odrađen razvoj proDIGY sklopa. KiCAD je moguće instalirati na Windows, MAC OS i nekoliko verzija Linux operacijskog sustava. Preporuka je prilikom instalacije odabrati i instalaciju demo projekata koji mogu pomoći prilikom vježbanja rada s KiCAD-om.

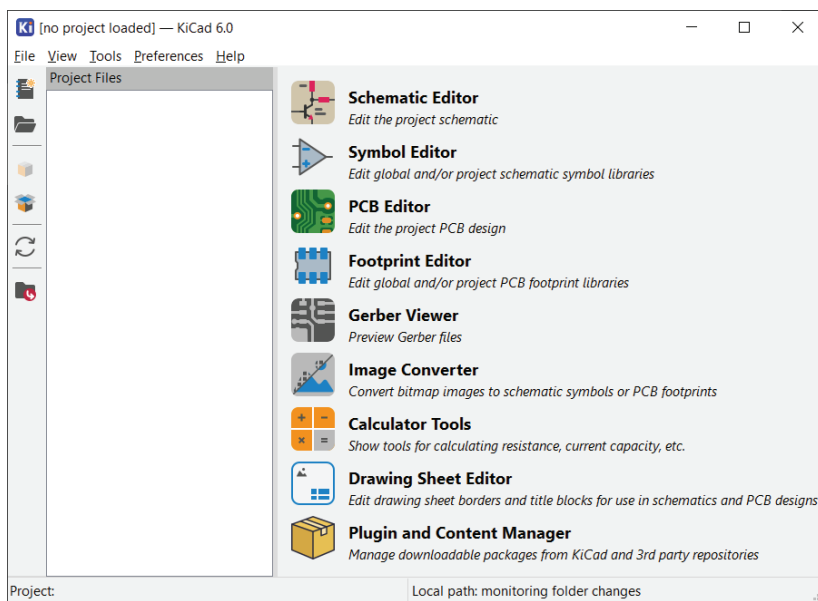
Nakon provedene instalacije potrebno je pokrenuti program KiCAD. Otvara se početni prozor prikazan na slici 6.1. U gornjem dijelu prozora nalazi se standardni izbornik, *File*, *Tools*, dok se s lijeve i desne strane nalaze ikone najčešće korištenih funkcionalnosti kao što su izrada novog projekta, otvaranje postojećeg, uređivanje sheme projekta (eng. *Schematic Editor*), uređivanje dizajna PCB-a (eng. *PCB Editor*), otvaranje računskih alata (eng. *Calculator Tools*), instalacija dodatnih sadržaja (eng. *Plugin and Content Manager*) i sl. Preporuka je kratko pregledati funkcionalnosti svih ikona tako da mišem pokažete na iste. Također, slobodno otvorite *Calculator Tools* ili *Plugin and Content Manager* te istražite što sve sadrže.

Rad s KiCAD alatom započet ćemo s izradom novog praznog projekta klikom na *File* → *New Project* ili kratica na tipkovnici Ctrl+N. Potrebno je odabrati

odgovarajuću lokaciju na podatkovnom mediju te naziv projekta.

Kroz ovaj priručnik bit će navedene različite kratice na tipkovnici (kao što je *Ctrl+N*) koje će omogućiti brži rad s programom te ćete ih s vremenom naučiti napamet. Budući da ćemo u ovom poglavlju pokazati crtanje shema s KiCAD alatom, krenut ćemo s jednostavnim sklopom izrade sheme spoja naponskog regulatora s 5 V USB konektora na 3,3 V koji se može iskoristiti za rad proDIGY sklopa. Prema tome, projekt ćemo nazvati *Voltage_regulator_5V_3.3V*. Ako Vaši nastavnici odluče ploču razvijati interaktivno od početka, preporuka je projekt nazvati *proDIGY_v1.0*. Također, u tom slučaju je preporuka koristiti neki od sustava verzioniranja (lokalni ili na mreži) kao što je *Git*. Ovakvi sustavi omogućavaju praćenje raznih verzija Vašeg projekta kroz povijest i lagan povratak u prethodno stanje. KiCAD je u potpunosti kompatibilan sa sustavima verzioniranja budući da svi dokumenti koje generira su tzv. tekstualnog oblika. To možete i samostalno potvrditi otvaranjem bilo koje KiCAD generirane datoteke u nekom od programa za obradu teksta (*Notepad ili sl.*). OSH zajednica sve projekte održava putem odabranih Git sustava na mreži (*online*). Na taj način svi se mogu uključiti u razvoj, a korisnicima je omogućeno jednostavno dijeljenje sadržaja.

Izradom novog projekta na odabranoj lokaciji KiCAD generira tri datoteke tipa *.kicad_pro*, *.kicad_sch* i *.kicad_pcb*. Iz samih naziva može se zaključiti da je *pro* tip datoteke vezan za sam projekt, *sch* za shemu te *pcb* za dizajn PCB sklopa.



Slika 6.1. Početni prozor KiCAD 6.0 programa.

6.2. KICAD SHEMA

Za izradu sheme koristit ćemo primjer naponskog regulatora od NodeMCU. U određenim verzijama NodeMCU koristi se AMS1117-3.3, dok najnovija verzija koristi SPX3819-3.3 naponski, LDO (*eng. Low Dropout Voltage*), regulator.

Za izradu sheme u ovom priručniku koristit ćemo AMS1117-3.3, a u dogovoru s Vašim nastavnikom možete odabrati drugu opciju SPX3819 (shema dostupna na github.com/nodemcu/nodemcu-devkit/blob/master/Documents/NO-DEMCU_ESP12.PDF) ili neku treću dostupnu verziju.

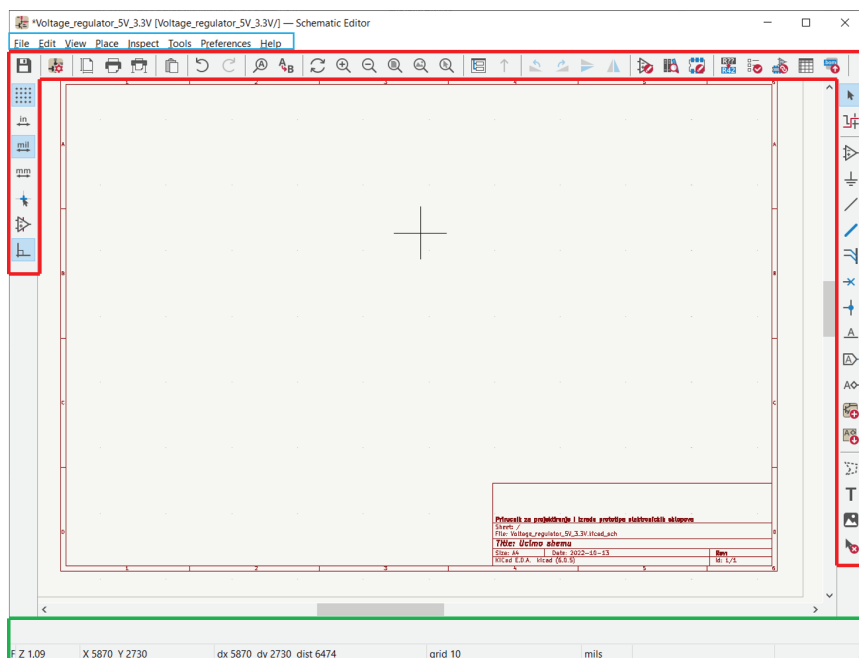
Za izradu *naponskog regulatora s 5 V na 3,3 V* koristit ćemo listu materijala u tablici 6.1. Za izradu sheme potrebni su simboli svih komponenti koje ćemo koristiti. Simbol je jednostavna grafička reprezentacija komponente i njezinih nožica (pinova). Najčešći prikaz simbola je u obliku pravokutnika na čijim stranicama su označeni pinovi. Pored ovakve vrste simbola, postoje i simboli standardnih komponenti čiji su primjeri prikazani na slici 2.2. Za AMS1117-3.3 naponski regulator, koji ćemo koristiti za izradu ove sheme, tehničku dokumentaciju moguće je pronaći na www.advanced-monolithic.com/pdf/ds1117.pdf. Iz iste je moguće saznati da regulator ima tri nožice (GND/ADJ, IN, OUT) te tri različita kućišta. KiCAD u potpunosti odvaja simbol komponente od otiska komponente (*eng. footprint*) koji će se koristiti za dizajn PCB-a. Na ovaj način je moguće istom simbolu dodijeliti različite otiske, ovisno o samom dizajnu PCB-a. Više o načinu dodjeljivanja otisaka komponenti pojedinom simbolu na shemi bit će objašnjeno u narednim poglavljima.

Comment	Description	Designator	Symbol	Footprint	Quantity
AMS1117-3.3	1A Low Dropout regulator, positive, 3.3V fixed output,	U1	AMS1117-3.3	SMD_SOT-223-3	1
USB_B_Micro	USB micro female SMT with 4 fixed foot	J1	USB_B_MICRO	Micro USB B 105017-0001	1
THT_Male_P_1x4	Connector Header Through Hole 4 position	J2	Conn_01x04	THT_Male_P_1x15-2.54mm	1
10uF	Surface mount capacitor Tantalum	C1	C_polarized	EIA 3528-21	1
22uF	Surface mount capacitor Tantalum	C2	C_polarized	EIA 3528-21	1
BAT49	TH Schottky diode	D1	D_Schottky	MELF	1

Tablica 6.1. BOM dokument naponskog regulatora 5 V na 3,3 V.

Izrada sheme započinje otvaranjem *Schematic Editor*a klikom na istoimenu ikonu sa slike 6.1. Otvara se novi prozor s praznim listom za izradu sheme, kako je prikazano na slici 6.2. Prozor se sastoji od nekoliko glavnih dijelova označenih na slici 6.2. Plavi pravokutnik predstavlja standardni izbornik programa, crveni pravokutnik označava ikone različitih alata koji se koriste za crtanje sheme, ze-

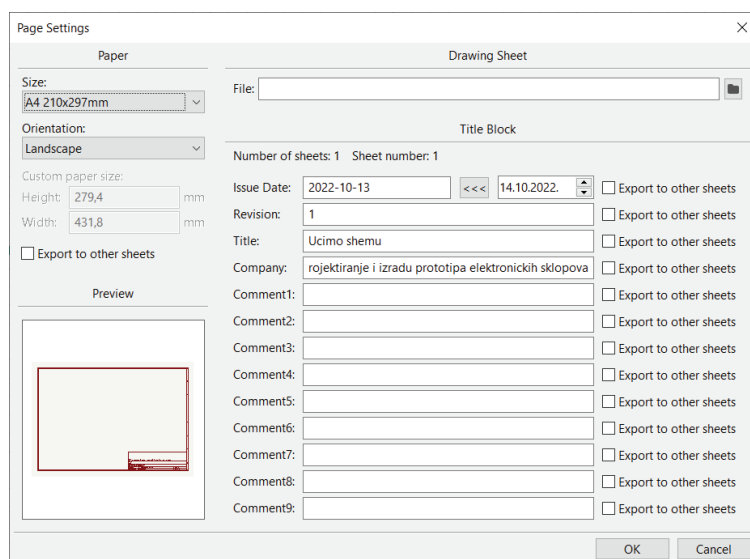
leni kvadrat označava statusnu traku koja prikazuje informacije o dimenzijama, lokaciji, naziv simbola i sl., a u sredini se nalazi list za crtanje sheme. Standardna dimenzija lista je veličina A4 papira te se u donjem desnom kutu nalaze informacije o izrađenoj shemi, kao npr. naziv *Ucimo shemu*. Informacije o shemi moguće je izmijeniti na više načina kao što je lijevi dvoklik na tekst unutar informacija o shemi, desnim klikom miša na tekst unutar informacija o shemi te odabir *Properties* ili preko izbornika: *File → Page Settings*. Kako je i ovdje opisano, operacije u KiCAD-u je moguće odraditi na više načina te ćete Vi sami odabrati koji Vam je način brži ili jednostavniji u datom trenutku. Prozor (*eng. Page Settings*) prikazan na slici 6.3. je sam po sebi jasan te možete u pojedina polja upisati željeni tekst i vidjeti promjene na listu sheme. Preporuka je s prvom verzijom sheme krenuti od *Revision 1* te kako mijenjate shemu povećavati i broj. Pored revizije još jedna bitna opcija je i veličina lista, koju je moguće birati između standardnih veličina papira A4, A3, A2, itd. Mi ćemo za ovaj primjer koristiti standardu veličinu papira A4 u pejzažnoj orijentaciji.



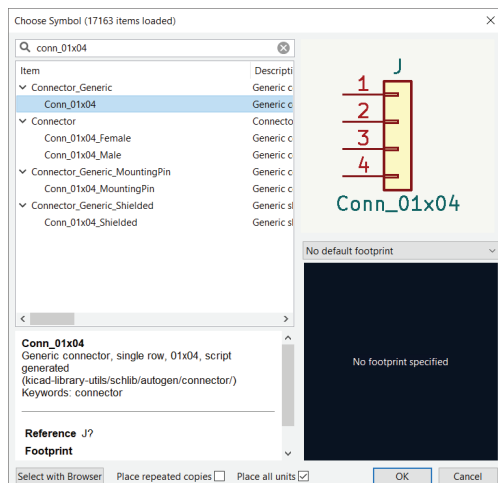
Slika 6.2. Početni prozor KiCAD programa za crtanje shema.

Alati s lijeve strane označeni crvenim pravokutnikom koriste se za uređivanje izgleda sheme kao što je prikaz mreže točaka (*eng. grid dots*), odabir mjerne jedinice (najčešće se koriste *mm* ili *mils* gdje *mils* predstavlja tisućiti dio inča) i sl. Alati s gornje strane koriste se za spremanje, ispis i uređivanje lista, promjenu uvećanja (zumiraj na trenutne objekte na shemi *Ctrl+Home* tipke, zu-

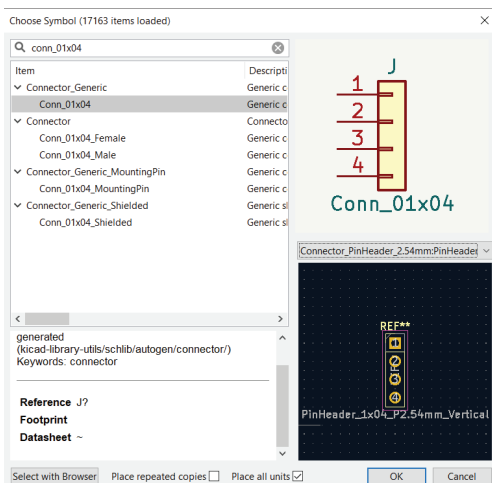
miraj na čitavi list *Home* tipka i sl.), izmjenu orijentacije odabranih elemenata te rad sa simbolima i bibliotekama. Ponekad može doći do nepravilnog prikaza sheme te je u tom slučaju potrebno osvježiti shemu s *Refresh* alatom  ili pritiskom na tipku *F5*. Alati s desne strane koriste se za crtanje same sheme. Alat za odabir (eng. *Select item(s)* ) koristi se za odabir jednog ili više objekata na shemi (simbol, tekst, vodič i sl.) lijevim klikom miša. Alat je moguće odabrati i s tipkom *Esc*. Za odabir više objekata može se držati lijeva tipka miša i proći (odabrati) preko željenih objekata ili s pritisnutom tipkom *Shift* te klikom na više objekata. Alat za umetanje simbola  (tipka *A*) otvara novi prozor u kojem se pretražuju sve dostupne KiCAD biblioteke simbola. S obzirom na broj simbola u bibliotekama, ponekad je potrebno pričekati određeno vrijeme do otvaranja prozora. Na slici 6.4. prikazan je prozor za pretraživanje simbola. Na slici 6.4.a u prostor za pretraživanje (eng. *Search Box*) upisan je primjer *conn_01x04* te su ispod navedeni svi dostupni simboli i nazivi biblioteka, koji odgovaraju traženoj pretrazi. Na desnoj strani slike 6.4.a prikazan je odabrani simbol i otisak, ukoliko isti postoji. Za odabrani simbol ne postoji uobičajeni otisak (eng. *Default footprint*) te je isti moguće odabrati iz liste dostupnih. Na slici 6.4.b odabran je otisak standardnog header konektora s četiri nožice u jednom redu razmaknute 2,54 mm što odgovara razmaku od 100 mils. Lijevim klikom na OK odabrani simbol moguće je postaviti na list. Više o simbolima biti će objašnjeno u potpoglavlju



Slika 6.3. Prozor postavki lista sheme.



(a)



(b)

Slika 6.4. Prozor alata za umetanje simbola (a) bez odabranog otiska i (b) s odabranim otiskom.

6.3. i 6.4.

Alat za dodavanje priključaka (tipka P) izvora napajanja $\perp$ (eng. *Power port*) dodaje odabrani simbol (oznaku, eng. *Label*) izvora napona, npr. +3,3 V. Isto je moguće postići i s alatom za umetanje simbola (pokušajte pronaći simbol izvora napona +3,3 V), ali se s *Power port* alatom može brže pretražiti željeni simbol. Alat za crtanje vodiča (eng. *Wire*), kako i sama riječ kaže, crta vodiče (žice) na shemi te povezuje željene pinove. Ako neki od pinova simbola ne želimo koristiti, tj. neće biti povezan vodičem s drugim pinom, tada taj pin označimo da nije spojen s (eng. *No connection*) alatom koristeći tipku Q. Pojedine vodiče možete označiti s *Add a net label* alatom, koristeći tipku L, a tekst na list sheme možete dodati s alatom za izradu teksta (eng. *Add Text*), tipka T na tipkovnici. Često korišten alat prilikom crtanja shema je alat za crtanje grafičkih linija $\square$ (eng. *Add connected graphic lines*), kratica I na tipkovnici, koji se koristi za označavanje pojedinih dijelova sheme. Ostale alate, koji nisu navedeni u ovom potpoglavlju, detaljnije ćemo opisati u sljedećim poglavljima kada ćemo ih i koristiti.

Preporuka je detaljno istražiti sve alate i kratice koje se koriste prilikom crtanja shema. U tablici 6.2., radi lakšeg snalaženja, prikazan je popis često korištenih kratica na tipkovnici za pojedine operacije u KiCAD-u za rad sa shemom. Radom s KiCAD-om naučit ćete automatski koristiti kratice te neće biti potrebe za klikanjem po ikonama alata.

Pored kratica bitno je navesti i način „navigiranja“ po listu sheme. Kada je odabran *Select* alat, lijeva tipka miša odabire objekt, a kretanje po shemi lijevo – desno – gore – dolje omogućeno je klikom i držanjem pritisnute srednje tipke miša (najčešće se nalazi na vertikalnom valjku, eng. *Scroll* miša). Istu funkcio-

nalnost ima i držanje pritisnute desne tipke miša. Vertikalni valjak omogućava povećanje i smanjivanje lista sheme (zumiranje). Klik desne tipke miša prikazuje izbornik za trenutni alat/objekt.

Statusna traka (označena zelenim pravokutnikom na slici 6.2.), osim što prikazuje informacije o trenutnoj lokaciji pokazivača i osnovne informacije o odabranom simbolu, može se koristiti i za mjerenje udaljenosti na listu sheme. Za navedeno se koriste dx , dy i $dist$ oznake na statusnoj traci. dx i dy predstavljaju udaljenost po osima, dok $dist$ predstavlja euklidsku udaljenost od odredišta. Otvaranjem sheme odredište je postavljeno u gornji lijevi kut lista sheme. Navedno možete i sami provjeriti postavljanjem pokazivača na navedenu lokaciju. dx , dy i $dist$ imat će vrijednost 0,00. Odredište je moguće jednostavno promijeniti tako da se pritisne *Space* tipka na tipkovnici. Pritiskom na *Space* tipku trenutna lokacija pokazivača na listu sheme postaje odredište za određivanje udaljenosti. Ova funkcionalnost nije toliko bitna prilikom crtanja sheme, ali ćete je često koristiti prilikom dizajna PCB-a te izrade vlastitih simbola i otisaka komponenti.

Također, nemojte zaboraviti često spremati svoj dizajn kako ne biste izgubili podatke. KiCAD automatski sprema sigurnosnu kopiju na disk. U izborniku *Preferences* → *Preferences* otvara se *Preferences* prozor u kojem možete mijenjati postavke izrade sigurnosne kopije, izmijeniti uobičajene kratice i druge parametre. Preporuka je istražiti što se sve može mijenjati u spomenutom prozoru.

Kratice na tipkovnici	Opis	Kratice na tipkovnici	Opis
<i>Home</i>	Zumiranje na čitavi list sheme	<i>R, X, Y</i>	Rotiraj odabrani objekt u obrnutom smjeru kazaljke na satu, okreni oko horizontalne osi, okreni oko vertikalne osi
<i>Ctrl + Home</i>	Zumiranje na postojeće objekte sheme	<i>G</i>	Pomakni odabrani objekt zajedno s vodičima
<i>Ctrl + F</i>	Pronađi tekst u listu	<i>M</i>	Pomakni objekt, vodiči će se odspojiti
<i>Ctrl + Alt + F</i>	Pronađi i zamjeni tekst u listu	<i>Delete</i>	Obrisi odabrane objekte
<i>Ctrl + S</i>	Spremi shemu	<i>W</i>	Crtaj vodič
<i>Ctrl + Z</i>	Poništi zadnju operaciju (Undo)	<i>L</i>	Dodaj oznaku
<i>F5</i>	Osvježi grafiku na listu	<i>Ctrl + D</i>	Dupliciraj označene objekte
<i>A</i>	Dodaj simbol iz biblioteke	<i>P</i>	Dodaj oznaku izvora napajanja
<i>Insert</i>	Ponovno dodaj zadnje korišteni simbol	<i>U</i>	Uredi oznaku objekta
<i>E</i>	Otvori prozor za izmjenu parametara objekta	<i>V</i>	Uredi vrijednost objekta

Tablica 6.2. Često korištene kratice za rad s KiCAD Schematic Editor-om.

Općenito u svim alatima za dizajn PCB-a postoje dva glavna načina izrade simbola:

1. Prvi je da se svi simboli pronađu već izrađeni unutar gotovih biblioteka (kao što je prikazano na slici 6.4.) ili pretraživanjem interneta pronaći već gotovu biblioteku, tj. simbol ili otisak koristeći neku od stranica kao što je www.snapeda.com.

2. Drugi način je izraditi simbole od nule, tj. da se na temelju tehničke dokumentacije komponenti samostalno izradi biblioteka (svih ili samo odabranih) simbola koji će se koristiti u dizajnu. Hobistički se češće koristi prvi način, dok se profesionalno češće koristi drugi način izrade simbola. Naravno, ako neka komponenta nema izrađen simbol, morate ga samostalno izraditi.

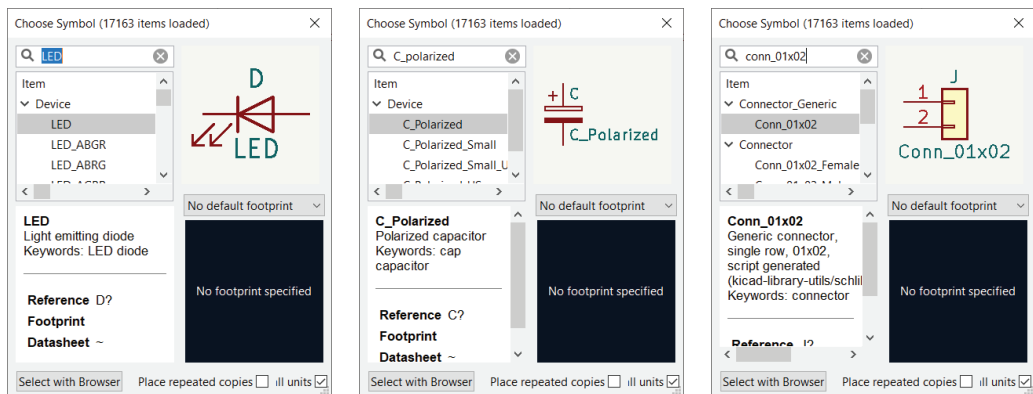
Na primjeru *Voltage_regulator_5V_3.3V* pokazat ćemo oba načina izrade sheme u sljedećim potpoglavljima.

6.3. IZRADA SCHEME S GOTOVIM SIMBOLIMA

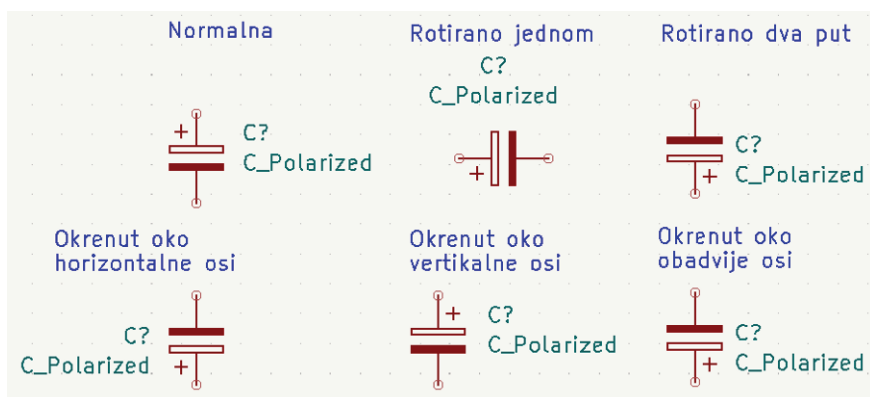
Prvi način crtanja sheme naponskog regulatora je koristeći već gotove KiCAD biblioteke. Lista korištenih komponenti je navedena u tablici 6.1., a shema je slična shemi na slici 4.3., uz manju promjenu da se koristi *Schottkeyjeva* dioda kao zaštita od obrnuto polariziranog napona ulaza.

Prvi korak je pretražiti postojeće biblioteke u KiCAD-u za simbole komponenti od kojih se sastoji naš sklop. Pritisnite tipku A na tipkovnici za dodavanje novog simbola shemi (Napomena – prilikom prvog otvaranja biblioteka potrebno pričekati nekoliko trenutaka zbog učitavanja istih u memoriju.). Preporuka je pregledati koje su sve biblioteke dostupne. U polje za pretraživanje možete upisati *R* (oznaku za otpornik), zatim *R_trim* (trimer otpornik), *R_potentiometer* (potencijometar otpornik) i sl. Možete primijetiti kako se smanjuje broj rezultata pretrage shodno upisivanju slova u polje za pretraživanje. Samo *R* rezultirat će s nekoliko tisuća rezultata, dok će upisivanje *R_pot* rezultirati s desetak rezultata. Slične pretrage možete pokušati za tranzistore (oznaka *Q*) *Q_NPN*, *Q_PNP*. Probajte i za ostale tranzistore koje ste dosad učili. Samu biblioteku možete pretraživati i odabirom *Symbol Library Browser* u *View* izborniku, tj. odgovarajuće ikone na alatnoj traci. Na slici 6.5. prikazana su tri primjera pretraživanja nekih komponenti u KiCAD bibliotekama.

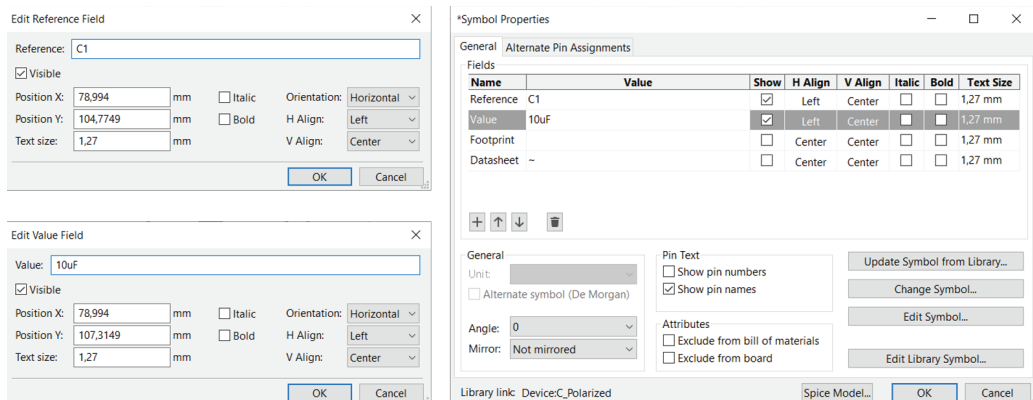
Za ovu jednostavnu shemu potrebna su nam dva tantal kondenzatora. Tantal kondenzatori su elektrolitski kondenzatori, tj. imaju anodu označenu s + i katodu označenu s -. Simbol elektrolitskog kondenzatora u KiCAD bibliotekama zove se *C_polarized*. Dovoljno je u filter za pretraživanje upisati *C_pol* te će biti odabran odgovarajući simbol, kao što je prikazano na slici 6.5.b. Klikom na OK



Slika 6.5: Primjer pretraživanja KiCAD biblioteke simbola za (a) LED, (b) C_polarized elektrolitski kondenzator i (c) conn_01x02 jednorezni header s dva pina.



Slika 6.6: Primjer različitih rotacija i okretanja simbola elektrolitskog kondenzatora.



Slika 6.7: Prozori za izmjenu reference (gore lijevo), vrijednosti simbola (dolje lijevo) i svojstava (desno) simbola.

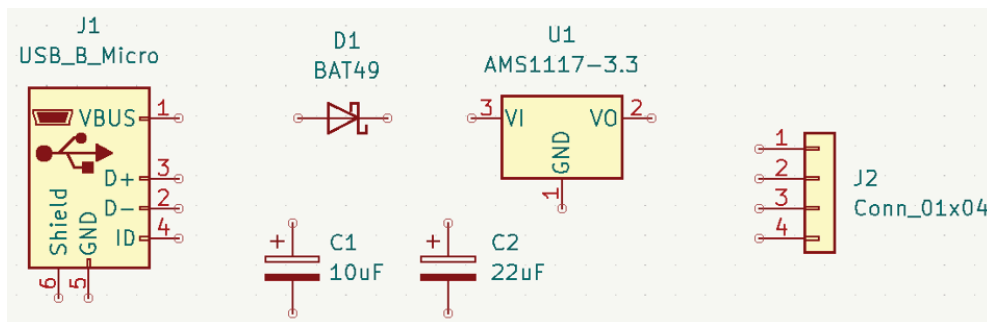
odabrani simbol je zalijepljen na pokazivač miša te se može postaviti na željenu lokaciju lista sheme klikom lijeve tipke miša. Isti je moguće rotirati i okretati oko osi, dok je zalijepljen za pokazivač miša, koristeći kratice *R*, *X*, *Y* na tipkovnici prije samog postavljanja na list sheme. Na slici 6.6. prikazan je primjer upotrebe *R*, *X*, *Y* kratica na simbolu elektrolitskog kondenzatora. Tekst alatom su označene rotacije i okretanja simbola. Simbol je moguće multiplicirati (ponoviti unos istog) pritiskom na tipku *Insert* ili označavanjem simbola i pritiskom *Ctrl + D* ili prije pritiska na OK u prozoru *Choose Symbol* odabrati *Place repeated copies*. Pritiskom na tipku *Esc* poništava se trenutno odabrani alat te se uključuje alat za odabir (*Select* alat).

Svaki simbol na shemi mora imati postavljenu oznaku (*eng. Reference*) te vrijednost (*eng. Value*). Za referencu se upisuje oznaka simbola (*R* za otpornik, *C* za kondenzator, *L* za zavojnicu, *Q* za tranzistor, *U* za integrirani sklop, *D* za diodu, *J* ili *K* za konektor, *SW* za sklopku, *H* za rupu u ploči i sl. Popis oznaka možete pronaći na poveznici https://en.wikipedia.org/wiki/Reference_designator.) zajedno s dekadskom vrijednosti, bez razmaka između oznake i vrijednosti. Prva vrijednost za svaku pojedinu kategoriju kreće od 1. Referencu je moguće promijeniti tako što se simbol označi i pritisne slovo *U* te se u novootvorenom prozoru *Edit Reference Field?* zamijeni sa željenom dekadskom vrijednosti. Isto je moguće napraviti s kraticom *E* te u prozoru *Symbol Properties* zamijeniti ? kao u prethodnom slučaju. Primjer vidjeti na slici 6.7.

Kao vrijednost se upisuje vrijednost komponente koju ćete koristiti. Za naš primjer trebamo jedan kondenzator od 10 μF i 22 μF . Budući da se u shemama ne koriste grčki simboli, umjesto μ koristi se slovo *u*. Također, između jedinice i vrijednosti se ne stavlja razmak. Vrijednost označenom simbolu je moguće promijeniti kraticom *V* na tipkovnici te u novootvorenom prozoru *Edit Value Field* izmijeniti željenu vrijednost. Isto je moguće napraviti s kraticom *E* te u prozoru *Symbol Properties* izmijeniti *Value* polje kao u prethodnom slučaju (primjer vidjeti na slici 6.7.) Dizajner može odlučiti hoće li upisati točan broj komponente (*eng. Part Number*) umjesto vrijednosti ili neku drugu odabranu oznaku koja mu odgovara. Iz tog razloga alati za PCB dizajn nemaju ograničenja vazana uz unos vrijednosti.

Sljedeći korak, kod ovog jednostavnog sklopa, je dodavanje svih simbola iz BOM-a u tablici 6.1. Kada je u pitanju kompleksniji sklop, shema se crta u segmentima. Izvor napona, senzori, dio za obradu, izlaz ili neka druga podjela. Također, za različite segmente sheme ne moraju biti zadužene iste osobe, tj. izrada sheme može biti podijeljena među ljudi u timu. Svi simboli iz KiCAD biblioteka potrebni za izradu sklopa prikazani su na slici 6.8.

Pored odabranih simbola komponenti, potrebno je dodati i oznake pinova izvora napajanja. U ovom dizajnu koristit ćemo GND i +5 V simbole. Iste je moguće dodati u shemu koristeći *P* kraticu te u novootvorenom prozoru *Choose*



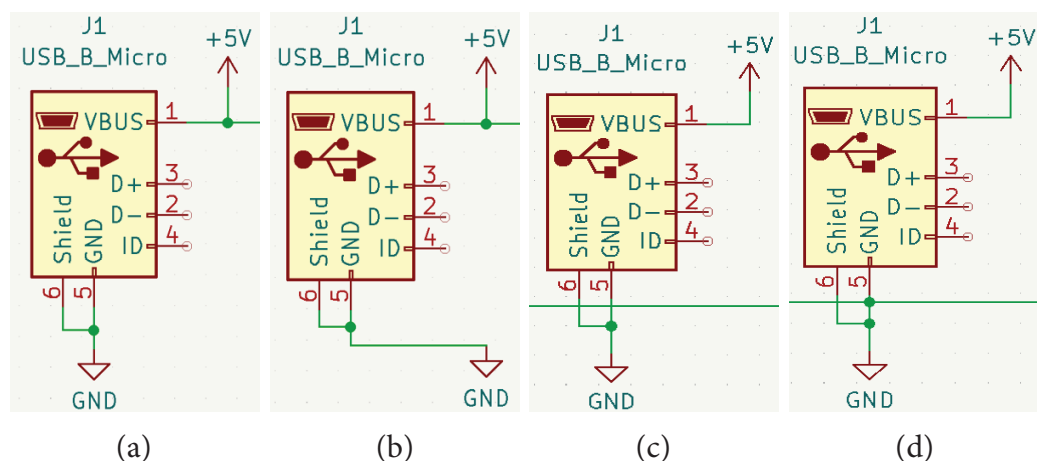
Slika 6.8. Svi simboli naponskog regulatora prema BOM iz tablice 6.1.

Power Symbol odabrati odgovarajuće simbole.

Nakon dodavanja simbola komponenti potrebno je iste povezati vodičima. Preporuka je crtati samo horizontalne i vertikalne vodiče te stoga treba uključiti opciju *Switch H & V only mode* na lijevoj alatnoj traci. Kratica *W* omogućava alat za crtanje vodiča. Odabirom alata na lokaciji pokazivača počinje se crtati vodič. Ako ne želite započeti crtati vodič od navedene lokacije, potrebno je pritisnuti *Esc* jednom. Crtanje vodiča počinje lijevim klikom miša. Svaki klik lijevom tipka miša, ili pritisak tipke *Enter*, fiksirat će trenutni vodič te nastaviti crtati u drugim smjerovima. Kada želite završiti vodič, potrebno je dva puta kliknuti lijevom tipkom miša i zatim *Esc* tipku ili desnim klikom miša odabrati *Finish wire* opciju u padajućem izborniku. Također, kada je odabran *Select* alat, dovođenjem pokazivača na vrh pina simbola *Select*, isti će automatski prijeći u *Wire* alat te je lijevim klikom miša moguće početi crtati žicu od odabranog pina. Preporuka je postavljati pinove simbola, koje je potrebno povezati, na istim linijama (koliko je moguće) tako da se isti mogu povezati ravnim vodičem. Također, potrebno je izbjegavati natrpanost (prevelik broj vodiča na shemi), a to je moguće izbjeći pravilnom upotrebom globalnih oznaka (kratica *Ctrl + L* na tipkovnici), čiju upotrebu ćem također pokazati na ovom jednostavnom primjeru. Na slici 6.9. je prikazan primjer jednostavnog spoja USB konektora sa uzemljenjem (*GND*) i naponom (+5 V). Vidljivo je da je primjer 6.9.a vizualno ljepši u odnosu na primjer 6.9.b, uz jednaku funkcionalnost. Spajanje dvaju vodiča izvodi se na način da se prilikom crtanja novog vodiča klikne lijevom tipkom miša na vodič s kojim se želi spojiti. Na mjestu klika pojavit će se zeleni kružić koji označava spoj (*eng. Junction*) te će završiti postupak crtanja novog vodiča. Ako novi vodič crtate preko već postojećih vodiča, neće doći do stvaranja spoja između vodiča. Želite li ipak spojiti vodiče, možete koristiti alat za spajanja (*eng. Add a Junction*) s kraticom na tipkovnici *J* te lijevim klikom miša napraviti željeni spoj.

Pojedine pinove simbola nekada ne želite koristiti jer za Vaš sklop nisu potrebni. U tom slučaju morate označiti navedene pinove da su namjerno odspojeni.

Za ovu funkcionalnost koristi se alat za odspojene pinove (*eng. Add a no-connection flag*), kratica na tipkovnici Q. Postavljanjem pokazivača na vrh pina koji ne želite koristiti i pritiskom na tipku Q nacrtat će se plavi križić na navedenom pinu (✕). S uključenim alatom potrebno je kliknuti i na ostale pinove simbola koje ne želite koristiti u svojem sklopu.



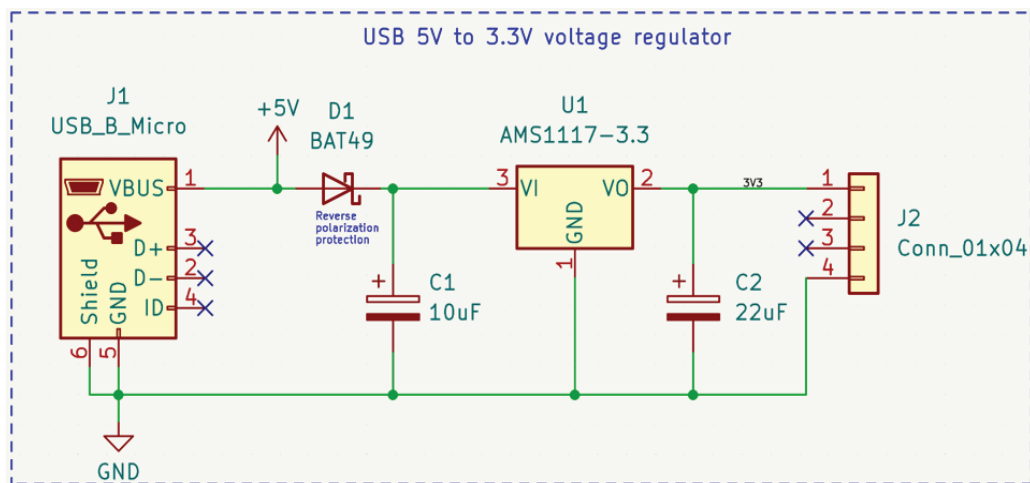
Slika 6.9. Spajanje pinova vodičima (a) primjer vizualno „boljeg“ i (b) „lošijeg“ povezivanja, (c) primjer vodiča bez spoja i (d) sa spojem.

Vodiče u shemi je moguće imenovati (označiti određenom oznakom). Iako sam naziv vodiča za funkcionalnost sheme nije bitan, može kasnije olakšati rad prilikom dizajna PCB-a te olakšati naknadno čitanje i analiziranje sheme. Najčešće se imenuju vodiči izvora napajanja (Vin, Vout, Vcc, GND, V1, V2, 3V3, 5 V, +5 V, +3,3 V, +12 V i sl.), komunikacijski vodiči (Din, Dout, RX, TX, i sl.) te ostali vodiči koji su bitni u dizajnu PCB-a. Vodič se imenuje s *Add a net Label* alatom, kratica L na tipkovnici. Odabirom alata potrebno je upisati sam naziv vodiča u novootvorenom prozoru te odabrati svojstva teksta (veličinu, poravnanje i sl.). Klikom na OK potrebno je lijevom tipkom miša kliknuti na vodič koji se imenuje. Na vodiču će se pojaviti napisani tekst. Bitno je napomenuti da dodavanjem simbola napajanja s kraticom P (npr. +5 V) i povezivanjem simbola s vodičem taj je vodič nazvan +5 V. Budući da se takve oznake često koriste za imenovanje vodiča, KiCAD sadrži niz simbola koji nam pomažu u istom. Navedeni simboli predstavljaju globalne oznake naziva kao naziv simbola (+5 V i sl.).

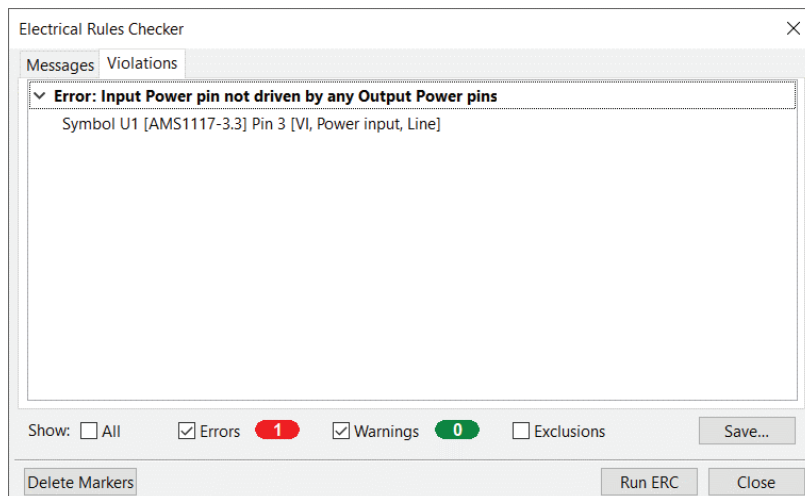
Sam raspored simbola na shemi ovisi o dizajneru te isti sklop može imati različite, ali jednako funkcionalne sheme. Nepisano pravilo je da se ulaz sklopa postavlja u lijevi dio sheme, a izlazi sklopa u desni dio sheme. Vrijedi isto ovo pravilo i za pojedini segment ako je shema podijeljena u segmente.

Na slici 6.10. prikazana je jedna verzija crtanja sheme *Voltage_regulator_5V_3.3V*. Lijevo se nalazi konektor s ulaznim naponom, desno smo postavili

header konektor na koji je spojen izlazni napon. Kao što vidite, koristili smo većinu alata koji su objašnjeni u ovom poglavlju. Alat za dodavanje teksta (kratica *T*) koristili smo za naslov i objašnjenje funkcionalnosti *Schottky* diode. Alat za crtanje grafičkih linija (kratica *I*) koristili smo za stavljanje sheme u okvir. Označili smo pinove koji se ne koriste alatom za odspojene pinove (kratica *Q*). Na konektoru *J2* pinovi 2 i 3 nam nisu potrebni. Mogli smo uzeti i dvo-pinski header konektor, ali kako bi se izbjegla mogućnost nenamjernog kratkog spoja, zbog blizine + i - vodiča, odabran je četvero-pinski konektor. Na konektoru *J1* nisu nam potrebni pinovi 2, 3, 4 budući da s USB konektora koristimo samo pinove za izvor napajanja od +5 V, a ne i podatkovne pinove. Vodiče smo spajali



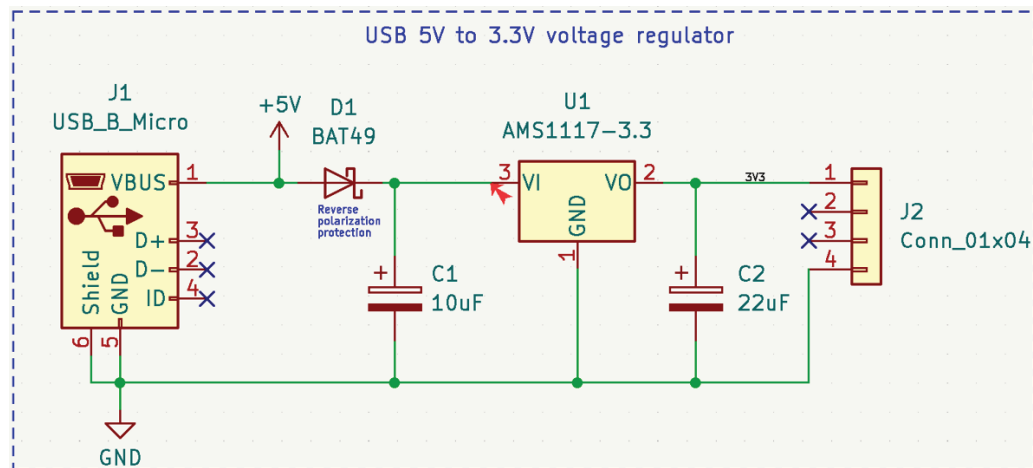
Slika 6.10. Prva verzija sheme sklopa naponskog regulatora 5 V na 3,3 V.



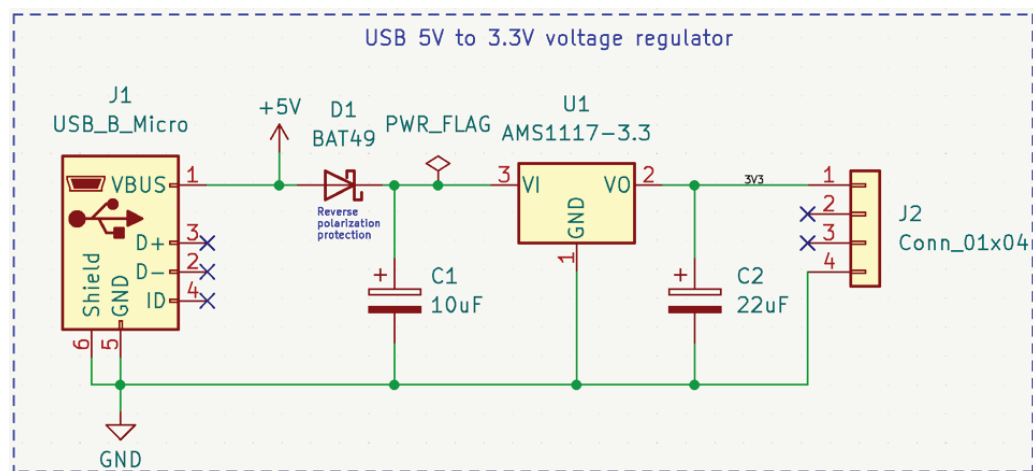
Slika 6.11. ERC rezultat za shemu sa slike 6.10.

koristeći *Wire* (kratica *W*) i *Junction* (kratica *J*) alat te pomoću alata za dodavanje simbola izvora napajanja (kratica *P*) dodali *GND* i +5 V simbole.

Nakon nacrtane sheme KiCAD, preporuka je izvesti provjeru električnih pravila, ili ERC (*eng. Electric Rules Check*). Pravila koja se provjeravaju definirana su u *File* → *Schematic Setup...* → *Electrical Rules*. ERC javlja greške vezane za nespojene pinove, izlazni pin spojen na izlazni pin, neoznačen izvor napajanja i sl. ERC se izvodi klikom na ikonu u gornjem dijelu (slika 6.2., označen crveni pravokutnik) alatne trake ili *Inspect* → *Electric Rules Checker*. U novootvorenom



Slika 6.12. Prva verzija sheme nakon ERC provjere, crvena strelica označava ERC grešku sa slike 6.11.



Slika 6.13. Prva verzija sheme s dodanim PWR_FLAG simbolom za ispravak ERC greške sa slike 6.11.

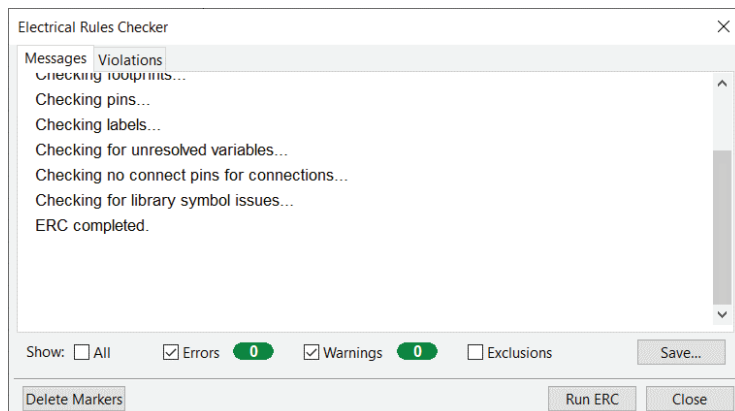
prozoru za pokretanje ERC-a potrebno je kliknuti na *Run ERC* gumb.

Za shemu sa slike 6.10. rezultat provjere je prikazan na slici 6.11. Iako ova jednostavna shema vizualno nema nikakvih pogrešaka, ERC javlja da pin 3 simbola *U1* nema izvor napajanja. Također, na shemi je dodana crvena strelica koja označava mjesto na shemi na kojem je detektirana pogreška (v. sliku 6.12.) Iako smo na shemi označili +5 V vodič, u KiCAD-u je potrebno naglasiti da vodič predstavlja izvor napajanja, jer postoji mogućnost da je +5 V, primjerice, napon dobiven od senzora ili sl. Ovu grešku rješavamo na način da se s *PWR_FLAG* simbolom označi vodič za koji je potrebna oznaka da je izvor napajanja. Simbol se dodaje kao i svi ostali simboli dosada. Koristite kraticu *A* na tipkovnici te u filter polje upišete *pwr_flag*. *PWR_FLAG* i simbol se spoji s vodičem koji je povezan s pinom 3 simbola *U1*, kako je i prikazano na slici 6.13. Shemu je potrebno spremići te ponovno izvesti ERC. Na slici 6.14. vidljivo je da je greška ispravljena te više nema niti grešaka niti upozorenja za nacrtanu shemu. Iako postavljanje *PWR_FLAG* simbola ne mijenja funkcionalnost samog sklopa, preporuka je koristiti ERC i ispraviti pronađene greške. Moguće je pronađene greške promijeniti u upozorenja ili u potpunosti isključiti iz provjere. Navedeno je moguće klikom desne tipke miša te u padajućem izborniku odabrati željene promjene.

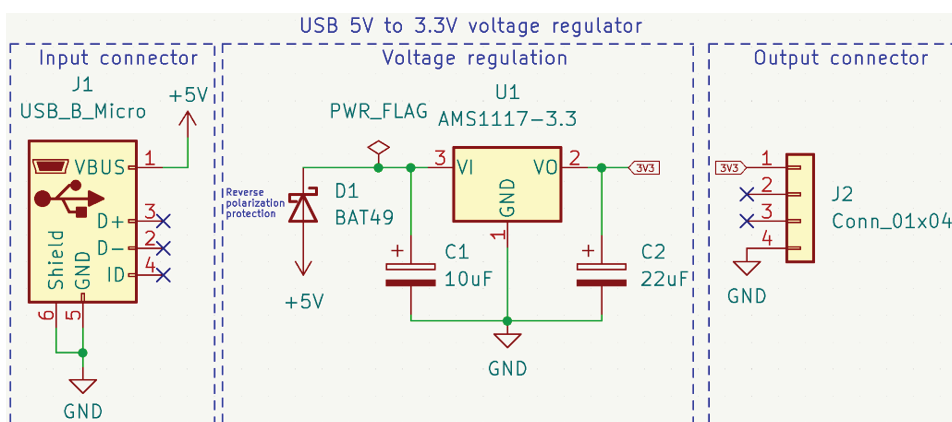
Druga verzija crtanja sheme naponskog regulatora s 5 V na 3.3 V prikazana je na slici 6.15. U ovoj verziji shema je podijeljena na tri segmenta. Iako su segmenti fizički odvojeni (nema vodiča koji ih vizualno povezuju), segmenti su povezani upotrebom globalnih oznaka kao što su +5 V, *GND* i 3V3. Kao što je već rečeno u ovom potpoglavlju, simboli +5 V i *GND* predstavljaju globalne oznake već definirane u KiCAD bibliotekama. Za primjer upotrebe vlastite globalne oznake, definirana je nova globalna oznaka (*Ctrl* + *L*) s postavkama sa slike 6.16. Na jednak način je moguće koristiti i simbol +3.3 V iz KiCAD biblioteka, ali je ovdje, radi primjera, izrađena vlastita globalna oznaka. Na ovaj način, iako nema vodiča između pina 2 simbola *U1* te pina 1 simbola *J2*, pinovi su ipak povezani budući da im vodiči imaju isti naziv. Isto vrijedi za pin 1 simbola *J1* i pin anode za *Schottkey* diodu *D1*, čiji su vodiči označeni s +5 V. Isto je moguće provjeriti i izvođenjem ERC-a, koji neće rezultirati greškom.

Na koji od dva načina ćete crtati shemu ovisi o samom dizajneru te o pravilima koja se koriste u tvrtki prilikom crtanja sheme.

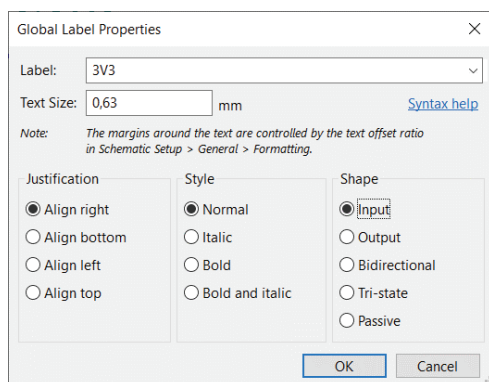
Pored funkcionalnih elemenata sheme, kao što su simboli, vodiči i oznake, postoje i simboli koji nisu bitni za izvedbu sheme, nego za fizičku izvedbu PCB-a. To su mehanički dijelovi kao što su rupe za montažu PCB-a, tzv. fiducija (*eng. fiducial*) koja se koristi za označavanje PCB-a radi poravnavanja slojeva PCB-a te pomaže automatiziranim strojevima za izradu PCB-a, i sl. Dobra praksa je da se navedeno označi na listu sheme te će dizajneri, koji crtaju PCB (ne mora biti ista osoba koja crta sheme), znati da se navedeni moraju dodati na PCB. Budući da rupe, tzv. fiducija, ne predstavljaju dodatnu komponentu, iste je



Slika 6.14. ERC rezultat za shemu sa slike 6.13.



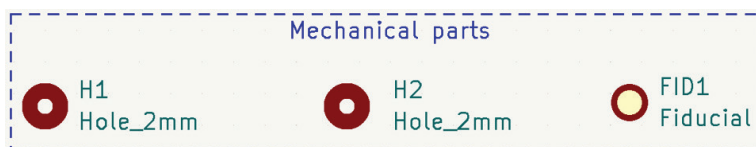
Slika 6.15. Druga verzija sheme sklopa naponskog regulatora 5 V na 3,3 V.



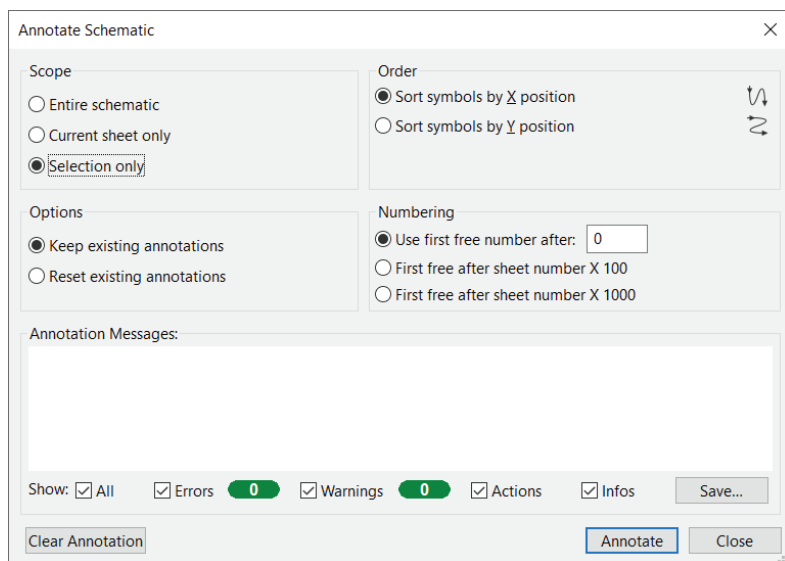
Slika 6.16. Postavke globalne oznake koristene na slici 6.15.

moguće isključiti iz BOM dokumenta na način da se u svojstvima istih (kratica E na tipkovnici, slika 6.7. desno) klikne na *Exclude from bill of materials*. Na slici 6.17. prikazan je primjer dodanih mehaničkih dijelova za sklop koji smo nacrtali u ovom potpoglavlju. Dodali smo dvije rupe koje se mogu koristiti za pričvršćivanje PCB-a na kućište te jedna fiducija za orijentaciju.

Još jedan koristan alat koji ćemo spomenuti je alat za automatsko označavanje referenci simbola, ikona  na alatnoj traci. Najčešće dizajner želi označiti reference određenih simbola samostalno određenim dekadskim brojem (npr. U1, SW1, Q1 i sl.), dok za neke simbole nije bitno koju će brojčanu oznaku koristiti. U tom slučaju moguće je koristiti alat za automatsko označavanje referenci simbola. Otvaranjem alata prikazuje se prozor sa slike 6.18. Neke od opcija su numeriranje simbola čitave sheme, samo odabranog dijela simbola, zadržavanje trenutnih oznaka referenci, sortiranje po X ili Y osi, itd. Postupak automatskog označavanja, s ranije označenim opcijama, pokreće se klikom na *Annotate*.



Slika 6.17: Mehanički simboli za sklop naponskog regulatora 5 V na 3,3 V.



Slika 6.18. Alat za automatizirano označavanje referenci simbola.

6.4. IZRADA SCHEME SA SAMOSTALNO IZRAĐENIM SIMBOLIMA

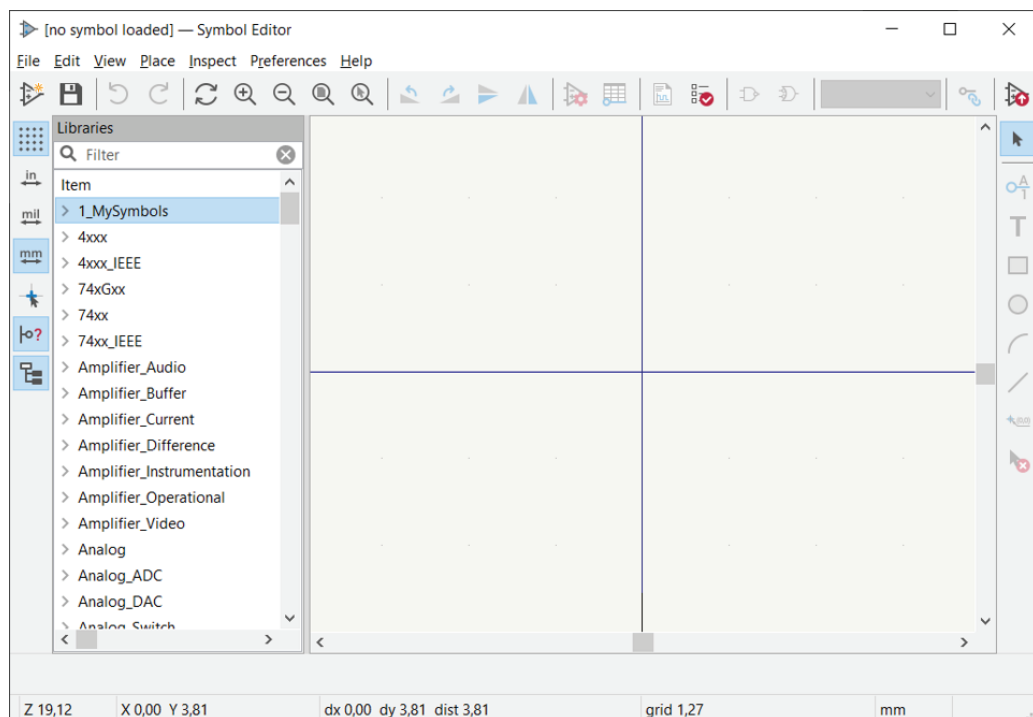
Kada se radi potpuno novi dizajn sklopa, često se koriste komponente za koje nije izrađen simbol u postojećim bibliotekama alata za PCB dizajn te je isti potrebno samostalno izraditi. Također, praksa kod određenih tvrtki je da se svi simboli i otisci (bez obzira što su isti izrađeni u dostupnim bibliotekama) izrade od nule i spremaju u vlastitu biblioteku. Navedeno se najčešće primjenjuje zbog mogućih pogrešaka koje su puno češće za otiske (*eng. footprint*) nego za simbole, a koje rezultiraju neupotrebljivim PCB-om. Ove se pogreške detektiraju tek kada je PCB izrađen te je tada već utrošeno vrijeme na dizajn (koji je djelomično pogrešan), čekanje izrade PCB-a, ispravak dizajna zbog pogreške te čekanje izrade novog ispravljenog PCB-a. Tvrtke izbjegavaju ove pogreške razvijanjem svojih biblioteka.

U ovom poglavlju prikazat ćemo primjer izrade dva simbola u vlastitoj biblioteci, a koji ćemo koristiti za primjer iz prethodnog poglavlja. Da bi izradili simbol, i kasnije otisak, komponente potrebno je imati tehničku dokumentaciju komponenti te je preporuka imati i stvarnu fizičku komponentu i pomično mjerilo. Zadnje dvoje navedeno se koristi prilikom izrade otiska i potvrđivanje mjera navedenih u tehničkoj dokumentaciji.

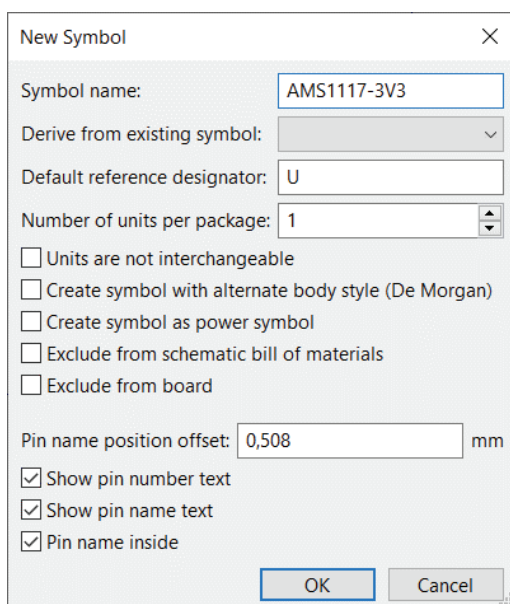
Za primjer izrade simbola izradit ćemo simbol za AMS1117-3.3 i USB B *Micro* konektor. Iako simboli već postoje u KiCAD bibliotekama (budući da se ove komponente često koriste i u drugim programima za PCB dizajn, najčešće ih možete pronaći gotove), ponovno ćemo ih izraditi i spremiti u vlastitu biblioteku. Prvi korak je pronaći tehničku dokumentaciju za obje komponente. Tehničku dokumentaciju za AMS1117-3.3 možete pronaći na poveznici www.advanced-molnolithic.com/pdf/ds1117.pdf dok za USB B *Micro* konektor istu možete pronaći na https://www.molex.com/pdm_docs/sd/1050170001_sd.pdf, tj. na poveznici https://www.molex.com/molex/products/part-detail/io_connectors/1050170001, gdje je moguće dobiti dodatne informacije o konektoru. Preporuka je u projektu napraviti mapu *References* gdje ćete spremiti svu svoju dokumentaciju o korištenim komponentama.

Budući da su simboli i biblioteke u stvarnosti tekstualni dokumenti, potrebno ih je spremiti u mapu na računalu. Prijedlog je napraviti mapu pod nazivom *MyLibs* te u njoj napraviti mapu *Sym* gdje će biti spremljeni svi Vaši simboli.

Prvi korak pri izradi simbola u KiCAD 6.0 je pokrenuti alat za uređivanje simbola (*eng. Symbol Editor*) pomoću istoimene ikone prikazane na slici 6.1. Otvara se novi prozor te je u njemu potrebno kliknuti na *File → New Library...* Otvara se novi prozor u kojem je moguće birati između vrste biblioteke *Global* i *Local*. Ako je biblioteka globalna, može se koristiti u bilo kojem projektu, a ako je biblioteka lokalna, može se koristiti samo u trenutnom projektu. Klikom na



Slika 6.19. Uređivač simbola u KiCAD-u (*Symbol Editor*).

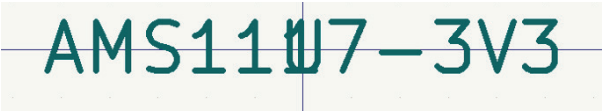


Slika 6.20. Prozor za izradu novog simbola.

OK odabrati lokaciju mape *Sym* te dati naziv biblioteci. Kod naziva je preporuka početi sa znamenkom manjom od 4 budući da je prva ugrađena KiCAD biblioteka 4xxx. Ako je početak naziva Vaše biblioteke znamenka manja od 4, onda će se ista prikazati prva na popisu dostupnih biblioteka te će Vam biti olakšano pretraživanje. Za ovaj primjer možete koristiti naziv *1_MySymbols*. Prozor *Symbol Editor*-a s dodanom (označeno plavom bojom) bibliotekom *1_MySymbols* prikazan je na slici 6.19. Kao i prozor za uređivanje shema (slika 6.2.), sastoji se od ikona alata za crtanje simbola, lista za crtanje simbola i popisa svih biblioteka.

U prozoru na slici 6.19. potrebno je odabrati biblioteku *1_MySymbols* te kliknuti na *File → New Symbol* ili na ikonu na alatnoj traci . U novom prozoru, koji je prikazan na slici 6.20., potrebno je napisati ime simbola te prema standardu odrediti oznaku reference simbola komponente. Lista oznaka komponenti navedena je na poveznici https://en.wikipedia.org/wiki/Reference_designator te je potrebno pridržavati se istih.

Za naš prvi simbol odabiremo AMS1117-3.3. Za naziv smo upisali AMS1117-3V3, a za referencu trebamo upisati *U* budući da je isti integrirani sklop (*IC*). Ostale opcije u prozoru ostaviti kako su popunjene na slici 6.20. te kliknuti na



Slika 6.21. Dodan novi simbol.

ORDERING INFORMATION:

PACKAGE TYPE			OPERATING JUNCTION TEMPERATURE RANGE
TO-252	SOT-223	8L SOIC	
AMS1117CD	AMS1117	AMS1117CS	-40 to 125° C
AMS1117CD-1.5	AMS1117-1.5	AMS1117CS-1.5	-40 to 125° C
AMS1117CD-1.8	AMS1117-1.8	AMS1117CS-1.8	-40 to 125° C
AMS1117CD-2.5	AMS1117-2.5	AMS1117CS-2.5	-40 to 125° C
AMS1117CD-2.85	AMS1117-2.85	AMS1117CS-2.85	-40 to 125° C
AMS1117CD-3.3	AMS1117-3.3	AMS1117CS-3.3	-40 to 125° C
AMS1117CD-5.0	AMS1117-5.0	AMS1117CS-5.0	-40 to 125° C

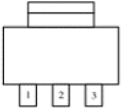
*For additional available fixed voltages contact factory.

PIN CONNECTIONS

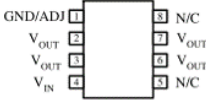
3 PIN FIXED/ADJUSTABLE VERSION

- 1- Ground/Adjust
- 2- V_{OUT}
- 3- V_{IN}

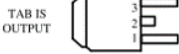
SOT-223 Top View



8L SOIC Top View



TO-252 FRONT VIEW



Slika 6.22. Izvadak iz tehničke dokumentacije AMS1117.

OK. U prozoru za crtanje simbola pojavljuje se prazni simbol, tj. tekst, kako je prikazano na slici 6.21. Sljedeći korak je analizirati samu komponentu iz tehničke dokumentacije te početi s crtanjem simbola. Na slici 6.22. prikazan je izvadak s prve stranice tehničke dokumentacije AMS1117. Vidljivo je da postoje razne vrste sklopa i u tri različita kućišta, ali svi sadrže samo tri nožice (ulazni napon V_{IN} , izlazni napon V_{OUT} te uzemljenje GND). Ova informacija i pravila za crtanje simbola integriranih sklopova dovoljna su nam da nacrtamo naš novi simbol.

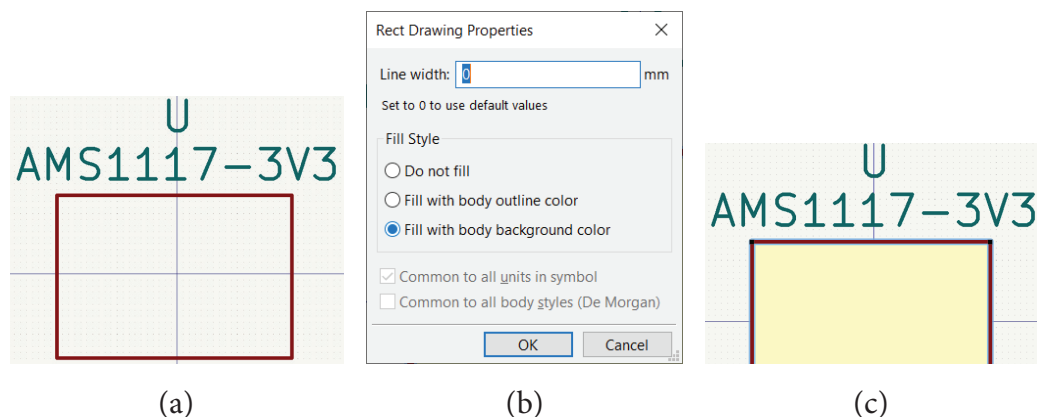
Nakon dodavanja praznog simbola, tekst je potrebno pomaknuti s alatom za pomak (označiti tekst te kliknuti desnom tipkom miša i u padajućem izborniku odabrati *Move* alat ili, kao i za crtanje shema, pritisnuti tipku *M*) te tako napraviti prostor za simbol.

Kod crtanja simbola bitno je poznavati pravila kojih se dizajner mora pridržavati. Za crtanje simbola integriranih sklopova potrebno se pridržavati sljedećih pravila.

1. Simbol je pravokutnog oblika oko kojeg se nalaze nožice (pinovi).
2. Nožice se organiziraju u funkcionalne grupe (ulazi, izlazi, napajanja i sl.)
3. Nožice izvora napajanja (npr. +3,3 V i GND) postavljaju se na gornjem i donjem dijelu pravokutnika.
4. Pinovi ulaza postavljaju se na lijevu stranu pravokutnika.
5. Pinovi izlaza postavljaju se na desnu stranu pravokutnika.

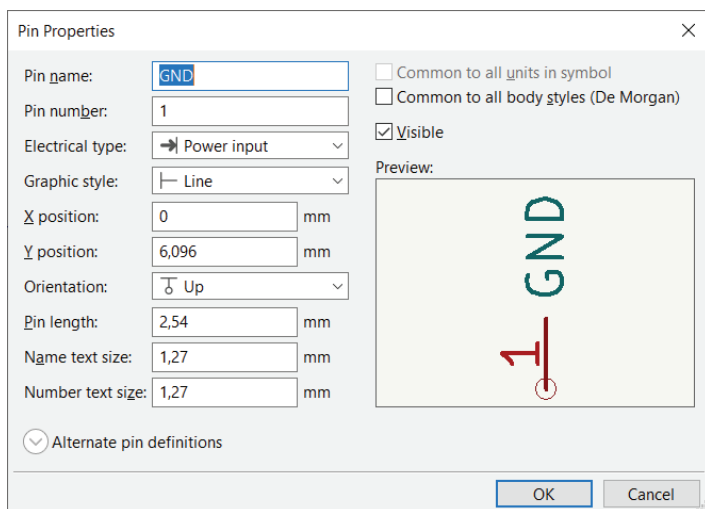
Sljedeći navedena pravila nacrtat ćemo simbol AMS1117-3V3. Ispod pomaknutog teksta potrebno je nacrtati pravokutnik s istoimenim alatom (ikona  na alatnoj traci), kako je prikazano na slici 6.23.a. U svojstvima nacrtanog pravokutnika (tipka E) potrebno je odabrati da se boja pravokutnika popuni s pozadinskom bojom (v. sliku 6.23.b) te će pravokutnik izgledati kao na slici 6.23.c.

Sljedeći korak je dodavanje nožica komponente na pravokutnik. Za dodava-

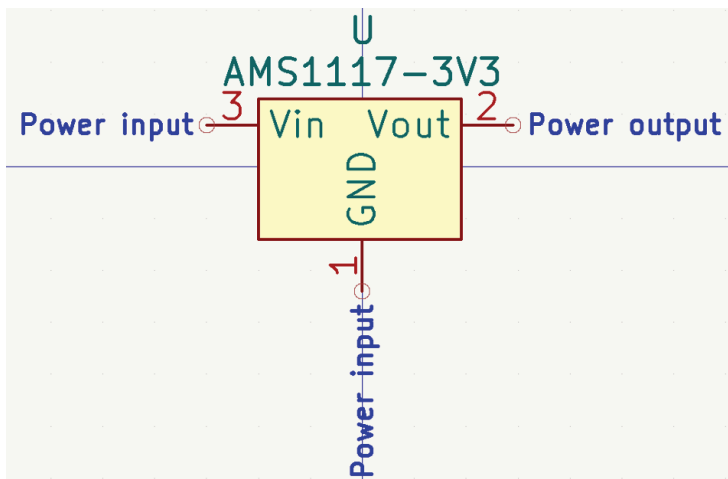


Slika 6.23. Crtanje novog simbola (a) crtanje pravokutnika, (b) svojstva pravokutnika i (c) pravokutnik s pozadinskom bojom.

nje pinova koristi se istoimeni alat (ikona ) , kratica P na tipkovnici. Dodavanjem novog pina otvara se prozor kao na slici 6.24. u kojem je potrebno popuniti svojstva novog pina. Prvi pin koji ćemo dodati je GND pin 1. Ime i broj pina postavi se na temelju dokumentacije. U polju *Electrical type* može se birati između ponuđenih standardnih opcija: ulaz, izlaz, dvosmjernan i sl. Budući da GND predstavlja ulazni izvor napajanja, za isti ćemo odabrati *Power input*. Za stil pina (eng. *Graphical style*) odabiremo liniju. Pored linije moguće je odabrati invertiranu liniju, oznaku signala takta i sl. Zadnja opcija koju je potrebno postaviti je orijentacija pina. Odabire se s obzirom na poziciju pina na simbolu. Ako želite



Slika 6.24. Prozor za postavljanje svojstva pina.



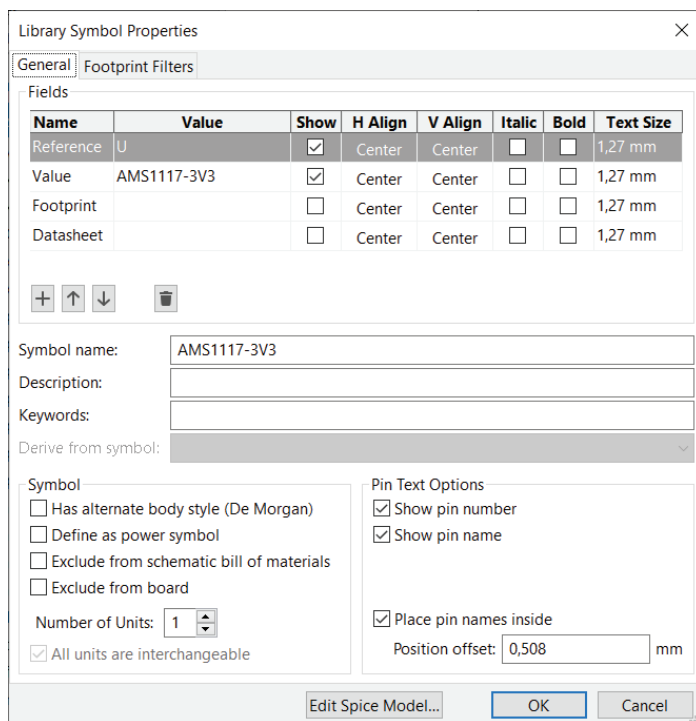
Slika 6.25. Gotov simbol AMS1117-3V3.

postaviti pin na donjoj strani pravokutnika sa slike 6.23.c, potrebno je odabrati orijentaciju prema gore (linija bez kruga označava stranu pravokutnika na koju se pin spaja, a krug označava mjesto spajanja pina s vodičem u shemi). Ako želimo postaviti pin s lijeve strane pravokutnika, potrebno je odabrati desnu orijentaciju, itd.

Za ostala dva pina potrebno je ponovno provesti postupak uz odgovarajuće promjene i to tako da se *Vin* nalazi na lijevoj strani, a *Vout* na desnoj strani pravokutnika (*Vout* je izlazni napon). Konačni gotovi simbol je prikazan na slici 6.25. te je isti snimljen u biblioteku *1_MySymbols*.

Svojstva simbola moguće je mijenjati klikom na ikonu . Otvara se prozor kao na slici 6.26. koji se sastoji od dvije kartice: opća svojstva (*eng. General*) i filteri otisaka (*eng. Footprint Filters*). U općim svojstvima moguće je mijenjati postavke simbola kao i dodati tehničku dokumentaciju za simbol, opis za simbol, ključne riječi i otisak. U kartici za filtere otiska (*eng. Footprint Filters*) moguće je definirati ključne riječi koje će se koristiti prilikom pretraživanja biblioteka otisaka, npr. upisivanjem *CP_** prikazat će se otisci čiji nazivi počinju s *CP*. Više detalja o definiranju filtera otisaka možete pronaći na poveznici klc.kicad.org/symbol/s5/s5.2/.

Bitno je naglasiti da simbol nije spremljen u biblioteku dok ne kliknete na



Name	Value	Show	H Align	V Align	Italic	Bold	Text Size
Reference	U	☒	Center	Center	☐	☐	1,27 mm
Value	AMS1117-3V3	☒	Center	Center	☐	☐	1,27 mm
Footprint		☐	Center	Center	☐	☐	1,27 mm
Datasheet		☐	Center	Center	☐	☐	1,27 mm

Symbol name: AMS1117-3V3

Description:

Keywords:

Derive from symbol:

Symbol

☐ Has alternate body style (De Morgan)

☐ Define as power symbol

☐ Exclude from schematic bill of materials

☐ Exclude from board

Number of Units: 1

☒ All units are interchangeable

Pin Text Options

☒ Show pin number

☒ Show pin name

☒ Place pin names inside

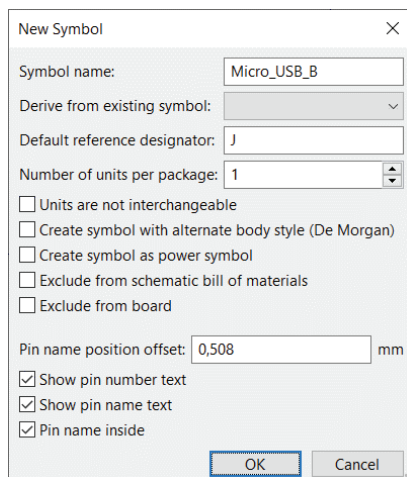
Position offset: 0,508 mm

Edit Spice Model... OK Cancel

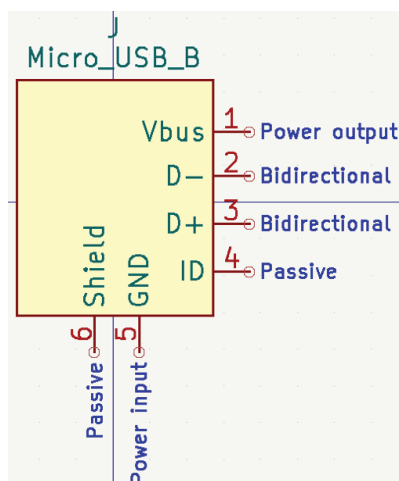
Slika 6.26. Svojstva simbola.

Save all changes ikonu  na alatnoj traci. Isto je naznačeno zvjezdicom u prozoru s popisom biblioteka. Trenutne izmjene možete spremiti i s *Ctrl* + *S* kraticom na tipkovnici.

Sljedeći simbol koji ćemo samostalno izraditi je USB *micro* B konektor. Tehnička dokumentacija je na poveznici https://www.molex.com/molex/products/part-detail/io_connectors/1050170001, ali na istoj nije dostupan raspored pinova konektora, nego samo mehaničke dimenzije koje su potrebne za izradu otiska kako je prikazano na slici 6.29. Za sve USB konektore raspored nožica dostupan je na poveznici https://en.wikipedia.org/wiki/USB_hardware. Molex 1050170001 konektor je 5-pinski *micro* USB B konektor te je raspored nožica



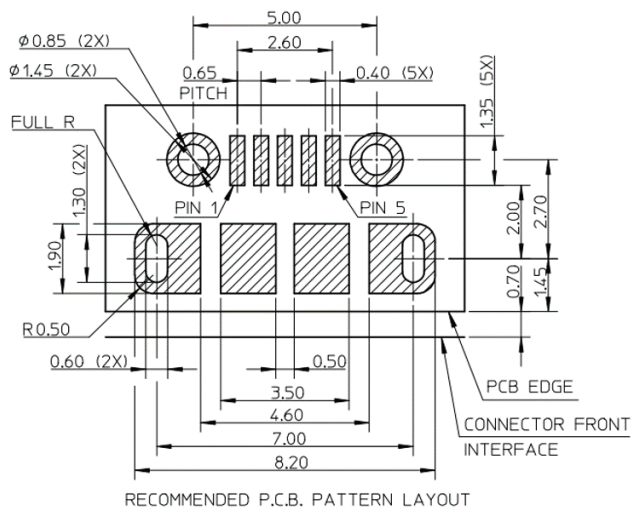
Slika 6.27. Prozor za izradu novog simbola *micro* USB B konektora.



Slika 6.28. Gotov simbol *micro* USB B konektora.

za isti prikazan na slici 6.30. Pored 5 pinova potrebnih za USB komunikaciju za navedeni konektor, potreban je još pin oklopa (*eng. Shield*) koji se spaja s uzemljenjem.

Za izradu simbola potreban nam je popis pinova sa slike 6.30. i informacija da postoji dodatni pin oklopa (pin broj 6). Kao i za prošli simbol, potrebno je pokrenuti alat za uređivanje simbola (*eng. Symbol Editor*) pomoću istoimene ikone prikazane na slici 6.1. Budući da smo već izradili vlastitu biblioteku *1_MySymbols*, istu je potrebno odabrati kako je i prikazano na slici 6.19. te stvoriti novi simbol s *File → New Symbol...* s postavkama kao na slici 6.27. Ponoviti postupak kao i za prethodni simbol, pomaknuti tekst, nacrtati pravokutnik, popuniti unutrašnjost pravokutnika s bojom pozadine te dodati odgovarajuće pinove. Dimen-



Slika 6.29. Izvadak iz tehničke dokumentacije Molex 1050170001 micro USB B konektora.

Mini/Micro-A and -B pinout

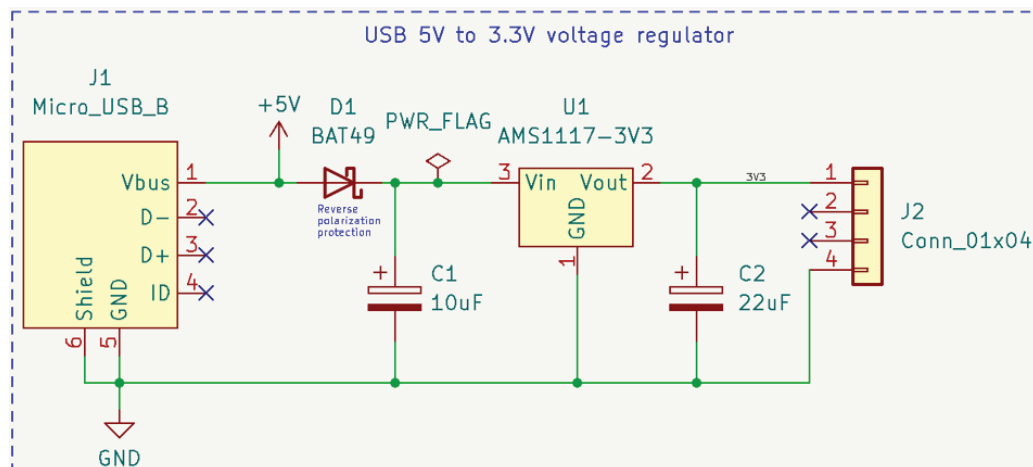
Pin	Name	Wire color ^[a]	Description
1	V _{BUS}	Red	+5 V
2	D-	White	Data-
3	D+	Green	Data+
4	ID	No wire	On-The-Go ID distinguishes cable ends: "A" plug (host): connected to GND "B" plug (device): not connected
5	GND	Black	Signal ground

Slika 6.30. Pinovi USB konektora s poveznice https://en.wikipedia.org/wiki/USB_hardware.

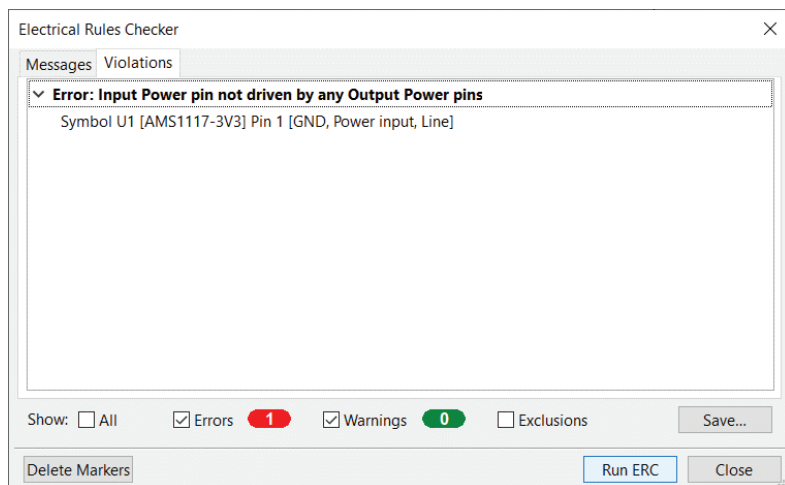
zije pravokutnika namjestiti tako da je moguće pozicionirati 6 pinova. Kako je navedeno na slici 6.25., potrebno je dodati nove pinove s alatom za dodavanje pinova (kratica na tipkovnici *P*) te odabrati odgovarajuća svojstva pinova. Konačni gotovi simbol je prikazan na slici 6.28.

Ostali simboli potrebni za shemu našeg sklopa naponskog regulator s 5 V na 3,3 V su generički simboli elektroničkih komponenti (elektrolitski kondenzator, *Schottky* dioda, *header* konektor) te ih u ovim uputama nećemo izraditi, uz napomenu da profesionalci često i ovaj dio odrade samostalno za svoju biblioteku.

Nakon što smo izradili željene nove simbole, potrebno ih je iskoristiti za izradu sheme naponskog regulatora. Ponovnim otvaranjem sheme *Voltage_regu-*



Slika 6.31. Prva verzija sheme sa samostalno izrađenim simbolima.



Slika 6.32. ERC pogreška za shemu sa slike 6.31.

lator_5V_3.3V.kicad_sch te klikom na alat za dodavanje simbola (A na tipkovnici) u novootvorenom prozoru vidljivo je da je prva na listi biblioteka upravo naša *1_MySymbols* biblioteka. Budući da smo biblioteku nazvali s početnom znamenkom manjom od 4, pojavljuje se prva na listi. Klikom na biblioteku vidljivo je da se u njoj nalaze dva naša novoizrađena simbola. Na shemi sa slike 6.13. potrebno je izbrisati simbole *J1* i *U1* (ako želite, možete ispočetka nacrtati čitavu shemu) te umjesto njih dodati istoznačne simbole iz biblioteke *1_MySymbols*. Na slici 6.31. prikazana je nova shema s novoizrađenim simbolima. ERC provjerom dobiva se pogreška kako je prikazano na slici 6.32. Razlog je što smo za svoj *Micro_USB_B* simbol GND definirali kao *Power input*, što nije pogrešno. Ovu ERC grešku rješavamo na isti način kako je objašnjeno u potpoglavlju 6.3.- dodavanjem *PWR_FLAG* simbola na strelicom označeni vodič. Spremanjem i ponovnim ERC-om greška je otklonjena, kako je vidljivo na slici 6.33.

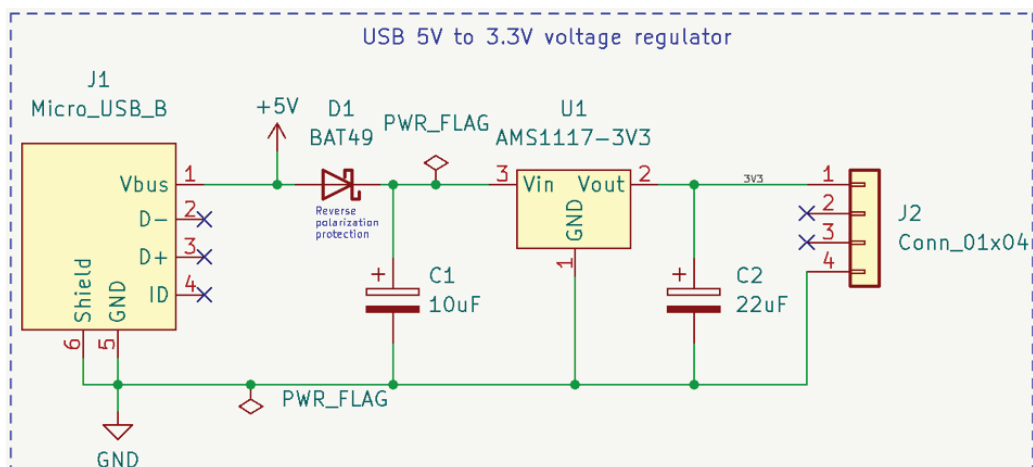
Nakon što smo naučili crtati shemu, moguće je jednostavno unaprijediti željeni sklop. Za naš primjer možemo dodati svjetlosne indikatore ulaznog i izlaznog napona. Odabrali smo na ulazu crvenu LED-icu, a na izlazu zelenu LED-icu. Konačna shema, sa samostalno izrađenim simbolima, prikazana je na slici 6.34. Otpornik *R2* spojen je s jednim krajem samo na vodič koji je imenovan (alat kratica *L*) *3V3* te je s navedenim automatski povezan s vodičem *3V3* spojen na pin 2 komponente *U1*.

Navedeni sklop je moguće implementirati na prototipnoj pločici radi testiranja. Ako su dostupni modeli pojedinih komponenti prije implementacije, moguće je isti simulirati na računalu. U sljedećem potpoglavlju biti će prikazan primjer jednostavne simulacije elektroničkog sklopa s KiCAD alatom.

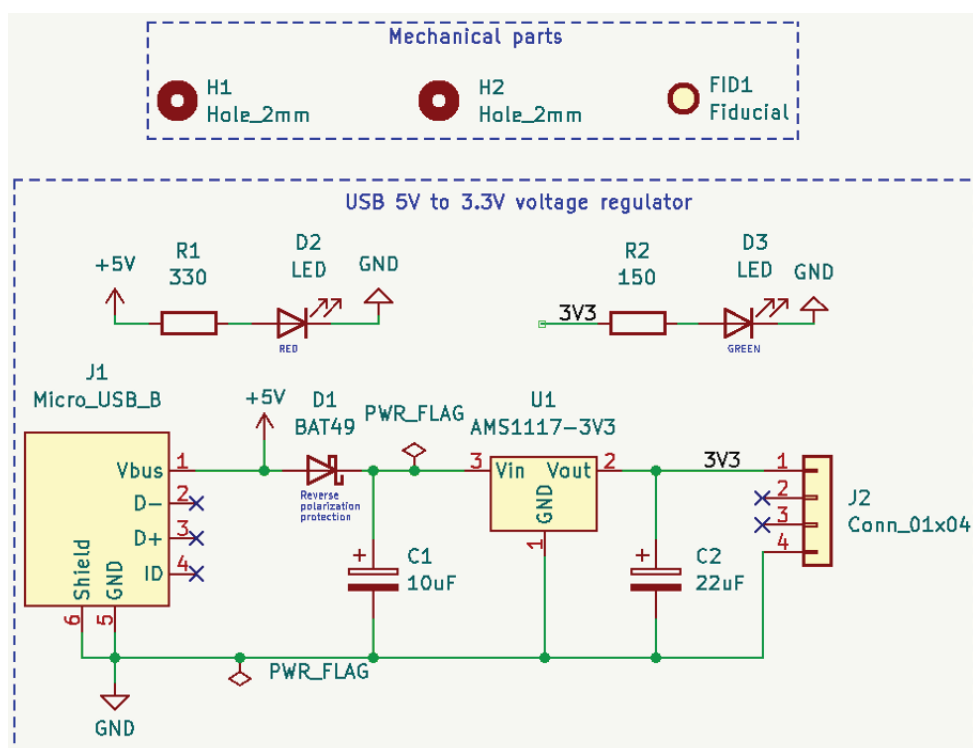
6.5. SIMULACIJA U KICAD 6.0

Razvoj elektroničkog sklopa rijetko se kada može završiti izravnim procesom od koncepta do implementacije. Tijekom razdoblja razvoja, testira se više vrsta dizajna i neki od njih dolaze do razine implementacije. Ovi različiti sklopovi (prototipovi) omogućavaju inženjeru bolje shvaćanje zahtjeva i moguće rješenje za završni proizvod. U počecima su inženjeri razvijali prototipove sklopova na papiru te ih potpuno ili djelomično implementirali pomoću komponenti i integriranih sklopova. Ovaj je postupak zamarajući i sklon greškama, posebno ako se razvija složeni sklop. Razvojem računala projektiranje analognih i digitalnih sklopova poprilično se pojednostavljuje. CAD alati omogućuju razvoj virtualnog digitalnog sklopa na računalu bez potrebe za njegovom fizičkom implementacijom tijekom razdoblja dizajna.

Jedan od koraka razvoja elektroničkih sklopova s računalom je i simulacija njegovog rada. Simulacija predstavlja model ponašanja stvarnog sustava najče-



Slika 6.33. Prva verzija *sheme* sa samostalno izrađenim simbolima i ispravljenom ERC greškom sa slike 6.32.

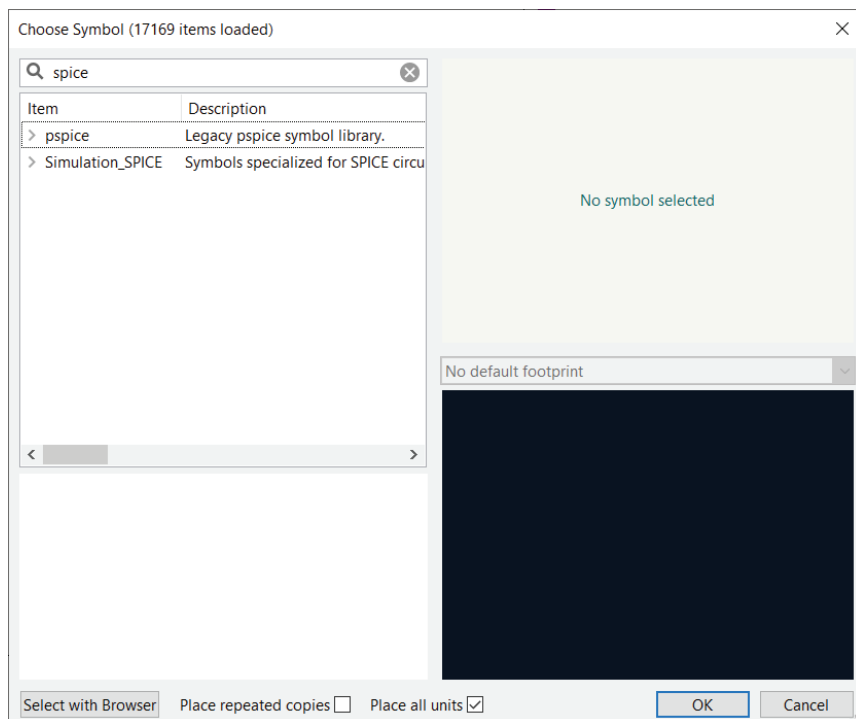


Slika 6.34. Konačna *shema* sklopa sa dodanim svjetlosnim indikatorima napona ulaza i izlaza.

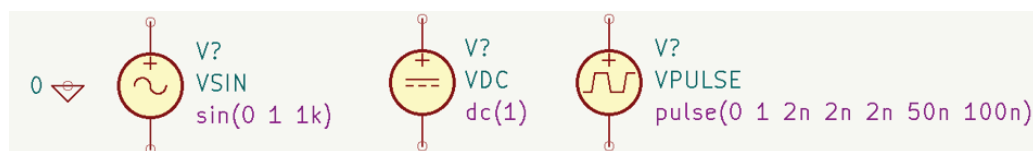
šće izveden na računalu. Simulacija oponaša stvarne ulaze i okolinu sustava te prikazuje očekivane izlaze na temelju izrađenog modela.

U razvoju analognih i digitalnih elektroničkih sklopova koristi se SPICE (*eng. Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*) simulator otvorenog kôda. Pored verzija otvorenog kôda, postoje i komercijalne verzije koje se koriste u profesionalnim CAD alatima.

KiCAD koristi *ngspice* (ngspice.sourceforge.io), simulator otvorenog kôda koji omogućava simulaciju analogne i digitalne elektronike. Da bi sklop bilo moguće simulirati za sve njegove dijelove (komponente na shemi), moraju postojati modeli dijelova, a nakon toga se provodi simulacija s naredbama za izvođenje

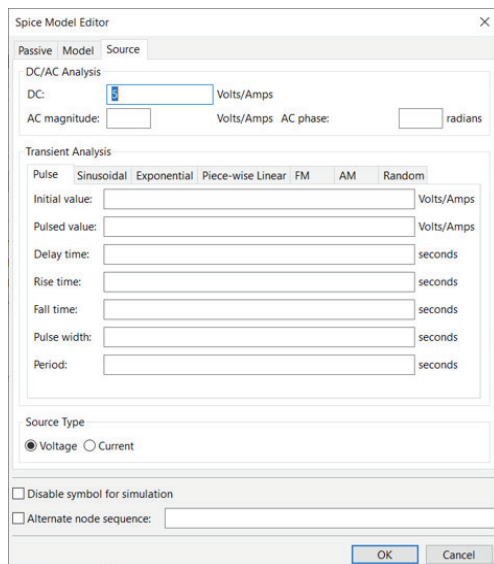


Slika 6.35: Spice biblioteke dostupne s alatom za dodavanje simbola.

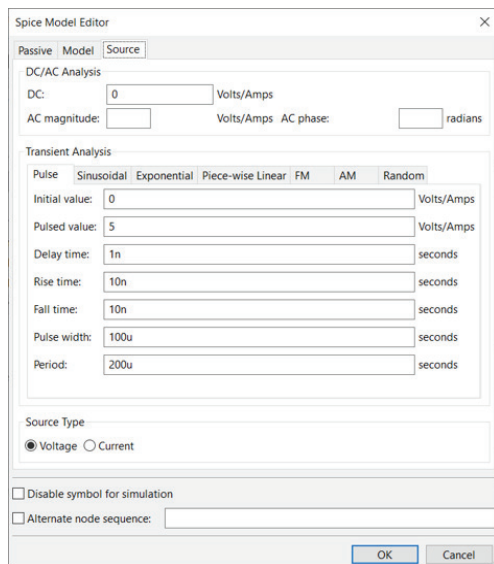


Slika 6.36: Simboli naponskih izvora za KiCAD spice simulaciju, s lijeva na desno: multi potencijal, izmjenični sinusni izvor, istosmjerni izvor, signal takta.

iste. Modeli su tekstualni dokumenti s raznim parametrima komponenti. Moguće ih je nabaviti od strane proizvođača komponenti ili u već gotovim bibliotekama CAD alata. Na stranici <https://ngspice.sourceforge.io/modelparams.html#collections> moguće je pronaći poveznice na modele i stranice proizvođača koji izrađuju modele komponenti te upute kako izgleda sam *ngspice* model.

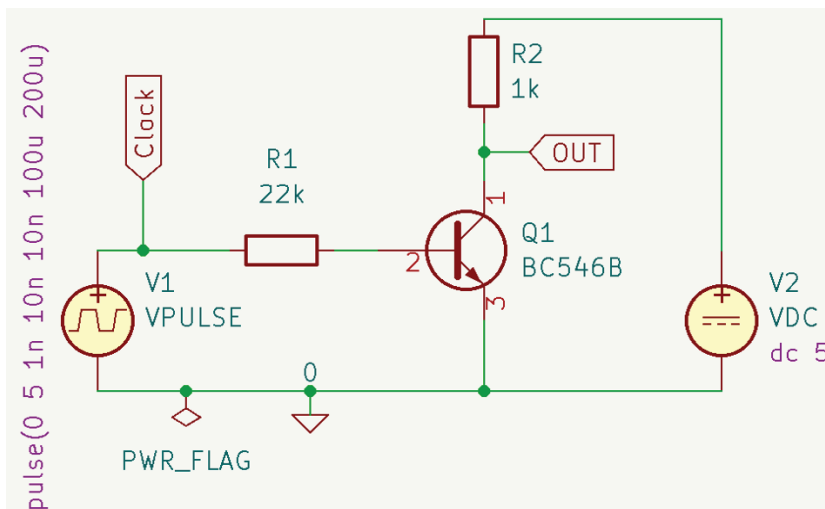


(a)



(b)

Slika 6.37. Postavke modela DC izvora napajanja (a) i izvora signala takta (b).



Slika 6.38. Shema NE sklopa s BC546B bipolarnim tranzistorom.

Da bi bilo moguće simulirati sklop za isti je prvo potrebno nacrtati shemu. Nakon crtanja sheme za svaku komponentu, potrebno je definirati (ako već nije definiran) SPICE model te zatim provesti samu simulaciju s odgovarajućim simulatorom.

Za primjer simulacije s KiCAD alatom izradit ćemo shemu jednostavnog NE sklopa s bipolarnim tranzistorom BC546B. Shema se izrađuje na isti način kao što je pokazano u prethodnim potpoglavljima, uz malu razliku, a to je da je potrebno postaviti odgovarajuće modele pojedinih komponenti. Za izvore napajanja u KiCAD simulaciji nije moguće koristiti simbole oznaka napajanja kao +5 V, +3 V i sl., koji se postavljaju s P alatom, nego se moraju koristiti posebni *spice* simboli. *Spice* simboli se postavljaju na isti način kao i svi ostali, koristeći alat za dodavanje simbola (kratica A) te u filteru upisati *spice*. KiCAD sadrži dvije *spice* biblioteke, kako je prikazano na slici 6.35., te se iste koriste za dodavanje često korištenih modela komponenti kao što su izvori napajanja. Na slici 6.36. prikazan

In Spice values, the decimal separator is the point
Values can use Spice unit symbols.

Spice unit symbols in values (case insensitive):

f	femto	1e-15
p	pico	1e-12
n	nano	1e-9
u	micro	1e-6
m	milli	1e-3
k	kilo	1e3
meg	mega	1e6
g	giga	1e9
t	terra	1e12

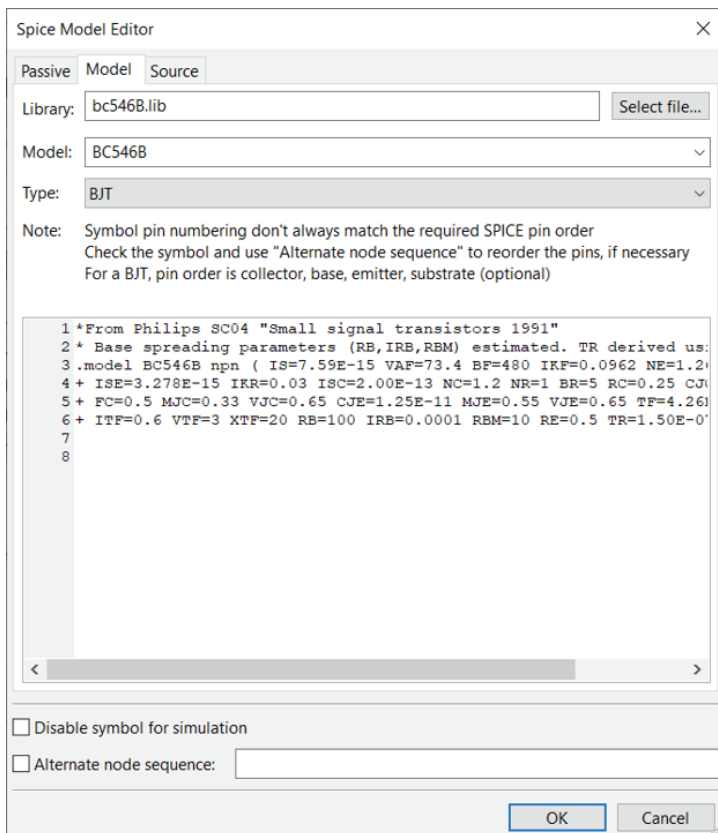
Slika 6.39. Pravila za pisanje vrijednosti jedinica za *spice* simulaciju.

```

bc546B.lib - Notepad
File Edit Format View Help
*From Philips SC04 "Small signal transistors 1991"
* Base spreading parameters (RB,IRB,RBM) estimated. TR derived using BCY58 data
.model BC546B npn ( IS=7.59E-15 VAF=73.4 BF=480 IKF=0.0962 NE=1.2665
+ ISE=3.278E-15 IKR=0.03 ISC=2.00E-13 NC=1.2 NR=1 BR=5 RC=0.25 CJC=6.33E-12
+ FC=0.5 MJC=0.33 VJC=0.65 CJE=1.25E-11 MJE=0.55 VJE=0.65 TF=4.26E-10
+ ITF=0.6 VTF=3 XTF=20 RB=100 IRB=0.0001 RBM=10 RE=0.5 TR=1.50E-07)
Ln 1, Col 1 100% Windows (CRLF) UTF-8

```

Slika 6.40. Primjer *spice* modela BC546B NPN tranzistora.



Slika 6.41. Postavljanje *spice* modela simbola.

je primjer često korištenih izvora napajanja za simulaciju elektroničkih sklopova. Pored prikazanih, postoje i drugi simboli koji se koriste pri simuliranju te je preporuka da se u navedenim dvama bibliotekama analiziraju i ostali simboli.

Svatomu simbolu moguće je promijeniti parametre modela klikom na *Spice model*, gumb u prozoru za uređivanje simbola (tipka E, v. sliku 6.7.) Na slici 6.37.a prikazan je primjer postavljanja vrijednosti istosmjernog izvora napajanja na 5 V, a na slici 6.37.b postavljen je napon signala takta (pravokutni istosmjerni signal naponskih razina 0 V i 5 V) frekvencije od 5 kHz.

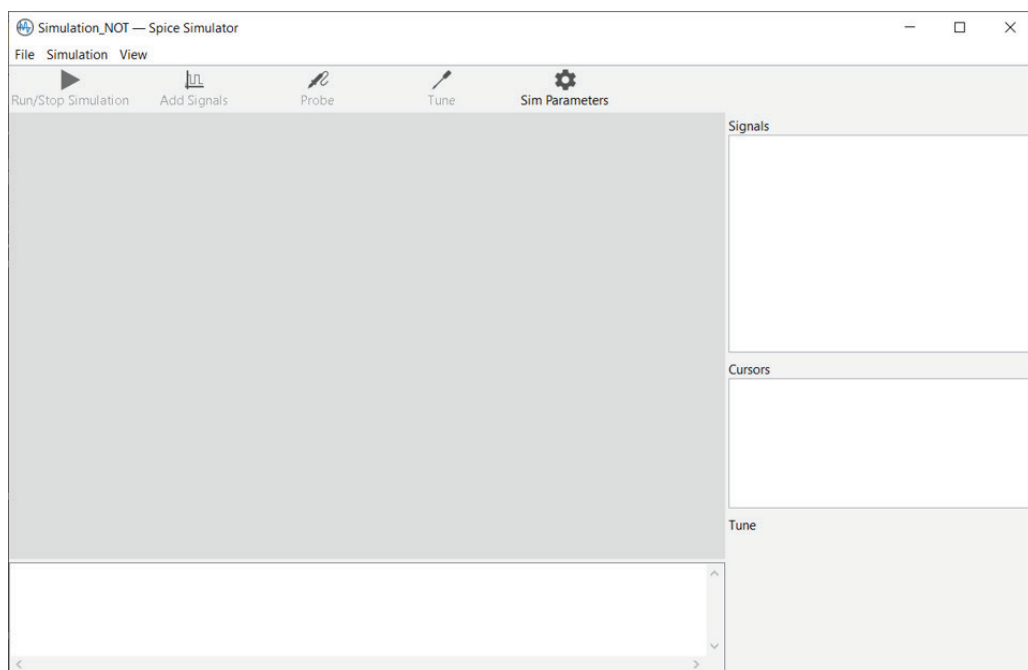
Za primjer simulacije koristiti ćemo shemu sa slike 6.38. Shema predstavlja NE tranzistorski sklop, na čijem ulazu je napon signala takta (pravokutni signal između 0 V i 5 V) frekvencije 5 kHz. Potrebno je napraviti novi KiCAD projekt (i nazvati ga primjerice, *Simulation_NOT*) te nacrtati shemu kao na slici 6.38., prema uputama iz prethodnih potpoglavlja. Shemu provjeriti s ERC-om. Vrijednosti otpornika koriste se za simulaciju te je potrebno iste unijeti prema pravilima prikazanim na slici 6.39. Otpornik *R1* ima vrijednost otpora od 22 kΩ, a otpornik

$R2$ vrijednost od 1 k Ω .

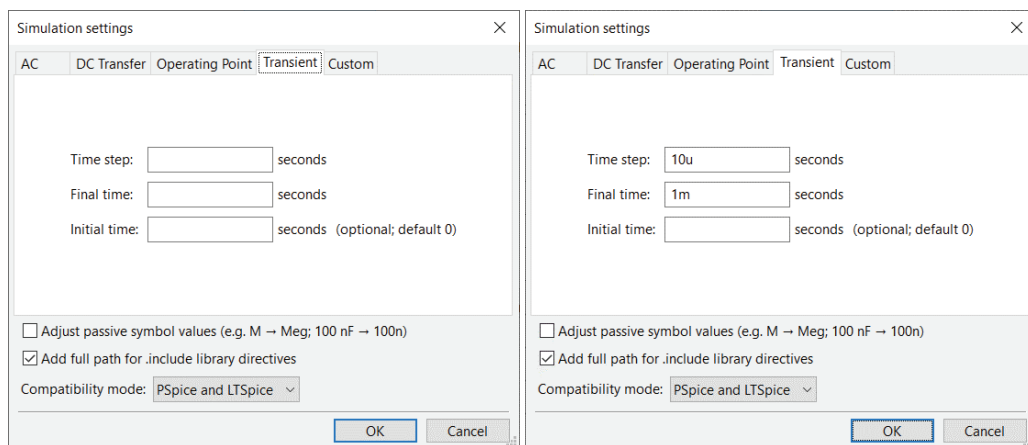
Sam simbol BC546 tranzistora postoji u KiCAD bibliotekama, ali za isti ne postoji *spice* model. Modele komponenti moguće je pronaći na stranicama proizvođača, a za sami BC546B tranzistor moguće je pronaći model od proizvođača Philips. U Internet tražilicu potrebno je unijeti *Philips BC546B spice model* te ćete dobiti nekoliko rezultata modela tranzistora. Na slici 6.40. prikazan je odabrani kôd *spice* modela BC546B tranzistora. Prikazani kôd potrebno je spremiti kao *.lib* datoteku. Prijedlog je napraviti svoju mapu naziva *Spice* u *MyLibs* mapi (gdje se već nalazi mapa za Vaše simbole), a kamo ćete spremati sve svoje modele komponenti. Konačni naziv *spice* modela je *bc546B.lib*. Isti je potrebno učitati za simbol *Q1* sa sheme. Odabrati simbol, pritisnuti tipku *E* te kliknuti na *Spice Model*. U novootvorenom prozoru odabrati karticu (eng. *Tab*) *Model* te pod *Library* kliknuti na *Select file*, pronaći i odabrati kreiranu biblioteku *bc546B.lib*. S odabirom biblioteke kratica *Model* će prikazati sam tekst modela, kako je prikazano na slici 6.41. U određenim slučajevima, oznake pinova modela ne odgovaraju oznakama pinova simbola te je tada potrebno koristiti opciju *Alternate node sequence*. Za ovaj primjer navedeno nije potrebno. Sve ostale komponente sheme imaju odgovarajuće modele te ih nije potrebno dodavati. Na shemi su dodane dvije globalne oznake *Clock* i *OUT* radi kasnije lakšeg prikaza rezultata simulacije.

Sljedeći korak je izvođenje same simulacije. Simulacija se pokreće klikom na izbornik *Inspect* → *Simulator*. Otvara se novi *Spice Simulator* prozor kako je prikazano na slici 6.42. Da bi pokrenuli simulaciju, prvo je potrebno odabrati postavke iste. Postavke simulacije odabiru se klikom na gumb *Sim Parameters* u *Spice Simulator* prozoru (sve ostale opcije u prozoru su zasivljenje jer bez postavki nije moguće provesti simulaciju). Klikom na *Sim Parameters* otvara se novi prozor (prikazano na slici 6.43.a.) Moguće je birati između različitih vrsta simulacija kao što je frekvencijska AC analiza, povećanje DC napona te analiza prijelaza (eng. *Transient Analysis*) koja izračunava prijelaz izlaza iz jednog u drugo stanje kroz vrijeme za postavljene ulaze. Za simuliranje rada sklopa najčešće se koristi analiza prijelaza jer prikazuje rad sklopa u točno određenim vremenskim trenucima. Ovisno o složenosti sklopa, periodu između uzoraka, ukupnom trajanju simulacije te obradbenoj snazi računala ovisi i trajanje izračuna same simulacije. Ako je vrijeme izračuna simulacije na računalu predugo, moguće je smanjiti ukupno trajanje simulacije, tj. ukupan broj vremenskih uzoraka.

Na slici 6.43.b prikazan je primjer parametara simulacije za sklop sa slike 6.38. Period ulaznog signal takta postavljen je na 200 μ s. U tom vremenskom intervalu događaju se dvije promjene: prijelaz s 0 V na 5 V (100 μ s) i obratno, prijelaz s 5 V na 0 V (100 μ s). Preporuka je da vremenski korak simulacije (eng. *Time step*) bude najmanje 10 puta manji od trajanja najmanje očekivane promjene sklopa. U ovom slučaju to bi bilo 10 μ s. Moguće je odabrati i kraći korak, ali



Slika 6.42. Prozor simulatora.



(a)

(b)

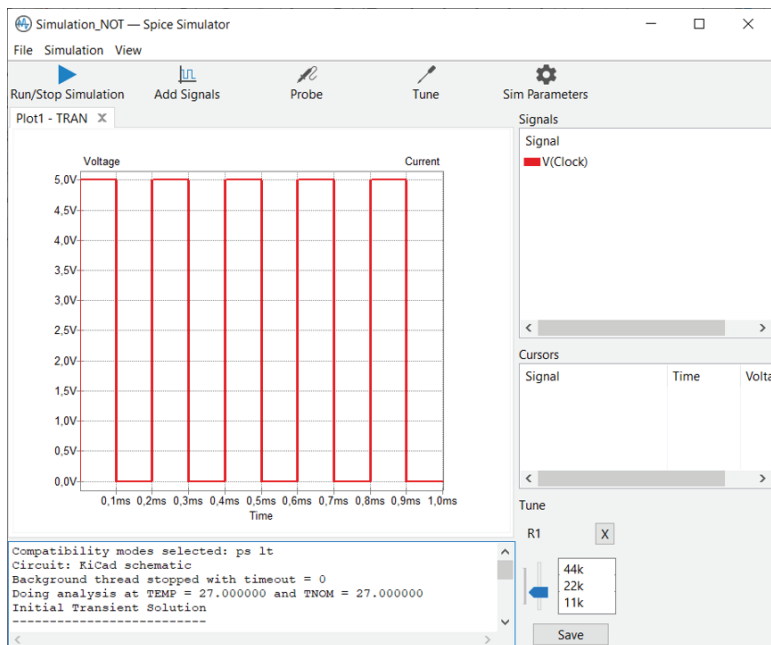
Slika 6.43. Prozor postavki simulacije (a) te (b) odabrane postavke simulacije za sklop sa slike 6.38.

se u tom slučaju povećava količina izračuna, iako nema potrebe za tim. Konačno vrijeme simulacije (*eng. Final time*) potrebno je odabrati na način da se prikažu najmanje dvije periode ulaznog signala te da je moguće vidjeti očekivanu promjenu na izlazu. U ovom slučaju odabrali smo 1 ms, tj. prikazat će se pet perioda ulaznog signala i odgovarajuće promjene na izlazu. Zadnje što je potrebno postaviti je odabir kompatibilnosti (*eng. Compatibility mode*) s *PSpice* i *LTspice* modelima. Klikom na OK potvrđuju se postavke te je sada u prozoru simulatora (slika 6.42.) omogućen gumb *Run/Stop Simulation*.

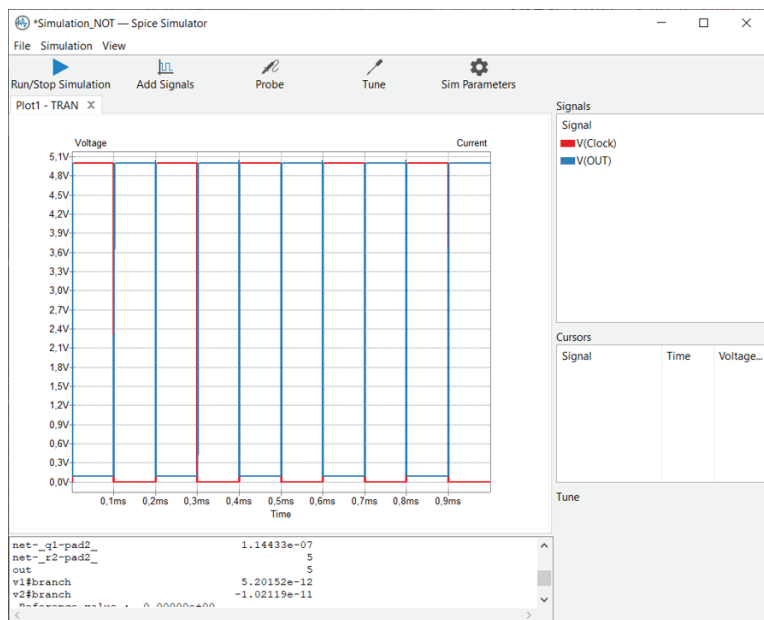
Klikom na *Run/Stop Simulation* pokreće se izračun same simulacije po zadanim postavkama te se u donjem lijevom dijelu prozora (v. sliku 6.44.) prikazuje kratak izvještaj o provedenoj simulaciji. Ako simulacija nije ispravno izvedena, u istom prozoru bit će prikazane i pogreške. Na temelju opisanih pogrešaka moguće popraviti grešku te ponoviti postupak. Često se mogu dogoditi pogreške prilikom kopiranja teksta *spice* modela s *web*-stranica (zabranjeni znakovi i sl.). Nakon izvedene simulacije, ostali alati (*eng. Add Signal, Probe, Tune*) su omogućeni. Alat za dodavanje signala otvara prozor s listom signala, koje je moguće prikazati nakon provedenog izračuna simulacije. Na listi signala nalaze se i signali označeni s globalnim oznakama na shemi (*Clock* i *OUT*). Na slici 6.44. prikazan je primjer dodanog naponskog signala *Clock*. Taj signal predstavlja vrijednost napona žice na shemi označene s *Clock*. Isto kao da smo na stvarnom sklopu na navedenu žicu spojili osciloskop. Na isti graf moguće je dodati više signala koji će biti prikazani različitim bojama kao što je vidljivo na slici 6.45. Iz simuliranih ulaza i izlaza vidljivo je da nacrtani sklop radi kao *NE* sklop. Kada je *Clock* napon (crvena boja) oko 0 V, napon *OUT* (plava boja) je oko 5 V i obrnuto. Na simulatoru je moguće prikazati i više grafova. Novi graf se otvara s *File* → *New Plot* te se na isti mogu dodavati signali s već opisanim postupkom.

Tune alat omogućava odabir komponente na shemi čiju vrijednost u simulaciji možemo mijenjati u određenim granicama. Klikom na *Tune* alat otvara se shema i moguće je odabrati simbol na shemi čiju vrijednost želite mijenjati u simulaciji. Ovaj alat ne može se koristiti za sve simbole budući da neki nemaju vrijednosti koje se mogu mijenjati, npr. simbol BC546B nema niti jedan promjenjivi parametar. Na primjeru na slici 6.44. s *Tune* alatom odabran je simbol otpornika *R1* i u donjem desnom kutu prozora *simulatora* prikazana je mogućnost izmjene vrijednosti otpora. Kako se mijenja vrijednost otpora tako se simulacija ponovno izvodi i prikazuju se rezultati.

U ovom priručniku nećemo detaljnije objašnjavati simulaciju s KiCAD i *ngspice* alatima. Ako vam je potrebno više informacije i primjera, možete ih pronaći na <https://ngspice.sourceforge.io/ngspice-eeschema.html>.



Slika 6.44. Izvedena simulacija s dodanim signalom *Clock* i odabranom komponentom R1 s *Tune* alatom.



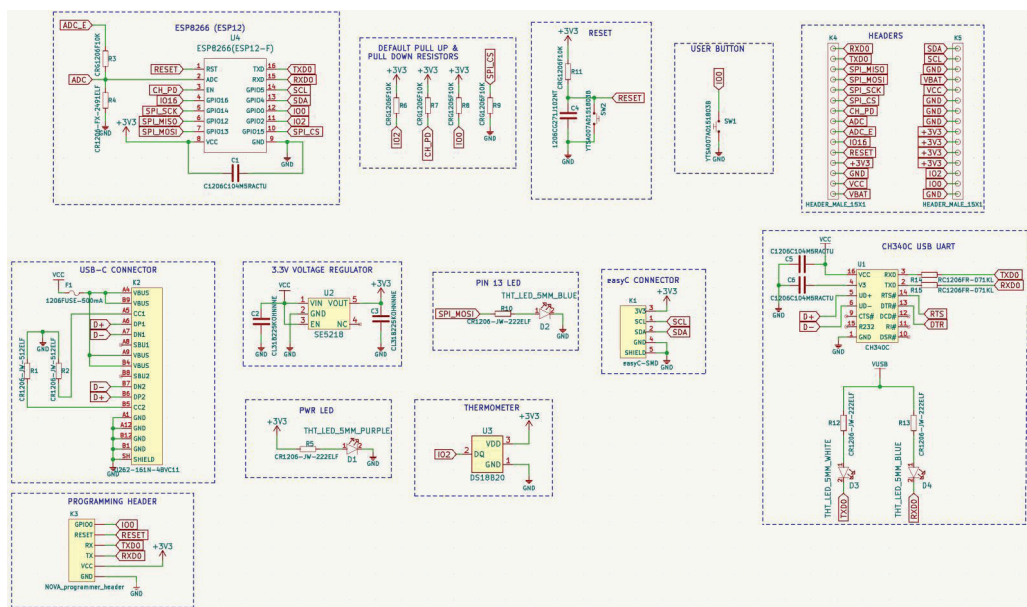
Slika 6.45. Izvedena simulacija s dodanim signalom *Clock* i *OUT*.

6.6. KONAČNA SHEMA PRODIGY SKLOPA

Budući da je postupak izrade sheme jasan, moguće je izraditi shemu sklopa proDIGY. Sklop se sastoji od komponenti navedenih u BOM dokumentu (v. sliku 4.9.) te su u postupku istraživanja određeni načini spajanja pojedinih korištenih komponenti. Primjer gotove sheme prikazan je na slici 6.46. Vaša shema ne mora biti jednaka, čak ne mora sadržavati ni potpuno jednake komponente ako u trenutku razvoja iste nisu dostupne ili se odlučite za neke druge komponente, ali funkcionalnosti bi trebale biti jednake. Na shemi sa slike 6.46. svi simboli su samostalno izrađeni, ali Vi u svojem dizajnu možete koristiti i već gotove simbole iz KiCAD biblioteka ili ih pronaći na internetu.

Na shemi je vidljivo da je ona podijeljena u smisaone cjeline. Svaka funkcionalnost ploče odvojena je od drugih dijelova na vizualni način pravokutnikom. Primjer jedne funkcionalnosti je označen s *USB-C CONNECTOR* na shemi, a prikazuje USB-C konektor sa popratnim komponentama. Takvim odvajanjem se dobiva na preglednosti i omogućuje brže razumijevanje sheme. Odvajanje u smisaone cjeline je dobra praksa te se preporuča implementirati u svaku shemu.

U suradnji s nastavnikom odlučite na koji način ćete nacrtati shemu proDIGY sklopa te je realizirajte s KiCAD alatom.



Slika 6.46. Konačna shema proDIgY-a.

6.6.1. MIKROUPRAVLJAČ ESP8266

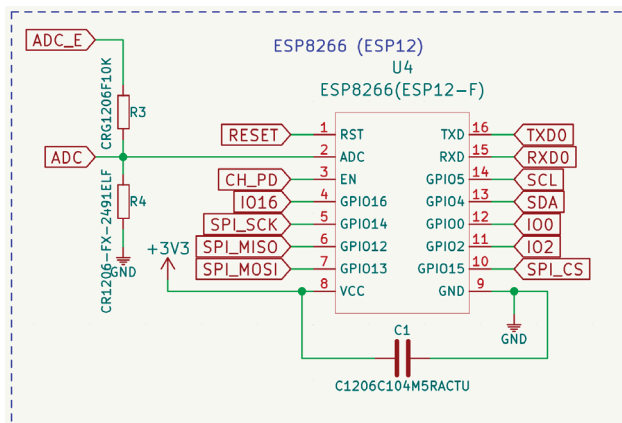
Kada se shema krene analizirati, kreće se od mikorupravljača prikazanog u funkcionalnom bloku ESP8266 (ESP12) na slici 6.47. Radi se o ESP8266 mikorupravljaču proizvođača Espressif, s najvažnijom značajkom mogućnosti povezivanja na Wi-Fi, a koji je odabran odmah na početku kroz specifikaciju uređaja. Na njega je direktno povezan kondenzator C1 koji služi kao decoupling kondenzator, a standardna praksa je dodati mali kondenzator u blizinu svakog izvora napajanja integriranog kruga. Ovdje je korišten MLCC kondenzator, ali možete koristiti bilo koji drugi koji Vam je pri ruci. Često se kombinira jedan kapaciteta 100 nF s drugime kapaciteta između 1 μ F i 10 μ F. Mikroupravljač se napaja s 3,3 V.

S obzirom da analogni ulaz mikorupravljača, označen s ADC, podržava ulazne napone do samo 1 V, što je nestandardno, dodan je djelitelj napona s otpornicima R3 i R4 kako bi mikroupravljač mogao na svom analognom ulazu čitati napone sve do 3,3 V, putem konekcije na pinu ADC_E.

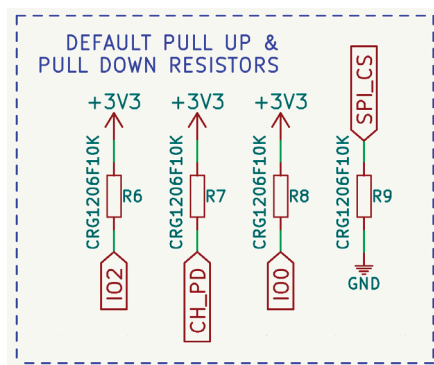
Svi izvodi mikroupravljača su, pomoću labela u KiCAD-u, pripremljeni za spajanje s ostalim dijelovima sheme. Pri analizi mikroupravljača, ne smijemo ignorirati otpornike prikazane u bloku DEFAULT PULL UP & PULL DOWN RESISTORS, prikazani na slici 6.48. Radi se o otpornicima otpora 10 k Ω koji se koriste kako bi iskonfigurirali mikroupravljaču stanja ispravna za nesmetano korištenje. Tako se postavljanjem GPIO2 na HIGH (visoka naponska razina, ovdje 3,3 V), GPIO0 na HIGH te GPIO15 (označen sa SPI_CS na shemi) na LOW (niska naponska razina, eng. ground) postiže da mikroupravljač pri uključanju počinje izvoditi ono što mu je spremjeno u FLASH memoriji, što je upravo ono što želimo. Dakle, krenut će izvoditi onaj programski kod kojega mu prenesemo. Osim toga, postavljanjem CH_PD na HIGH aktiviramo mikroupravljač. Da taj izvod nije povezan, mikroupravljač ne bi ništa radio kada bi dobio napajanje – to je njegov enable izvod.

Svaki mikroupravljač mora imati mogućnost resetiranja, tako i ovaj, što je prikazano u bloku RESET na shemi te na slici 6.49. Osim tipkala SW2 za resetiranje, postavljen je i serijski otpornik od 10 k Ω u seriju kako bi limitirao maksimalnu struju te jedan kondenzator C4 kako bi se minimizirao šum koji nastaje pritiskom na tipkalo.

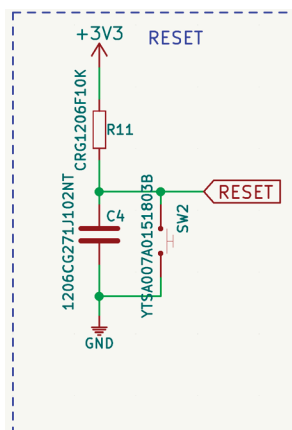
U bloku USER BUTTON, prikazanom na slici 6.50., postavljeno je još jedno tipkalo SW1. Ono spaja izvod GPIO0 (oznaka IO0 na shemi) s groundom. Osim što se može koristiti kao tipkalo s programibilnom namjenom (namjena se određuje kroz programski kod), specifično je jer je povezan na GPIO0. Ako se ovo tipkalo pritisne u trenutku uključanja ploče (dovođenja napona mikorupravljaču) ili se ploča resetira (na tipkalo SW2) dok je SW1 pritisnut, ploča odlazi u bootlo-ader način rada. Kada je u tom načinu rada, ne izvršava ono što mu je spremjeno u FLASH memoriji, nego čeka novi kôd kojeg će spremiti u FLASH memoriju. Time je omogućeno reprogramiranje uređaja.



Slika 6.47. Shema ESP8266 dijela proDIgY-a.



Slika 6.48. Shema standardnih *PULL-UP* i *PULL-DOWN* otpornika proDIgY-a.



Slika 6.49. Shema reseta ESP8266 mikroupravljača proDIgY-a.

6.6.2. SKLOPOVLJE ZA PROGRAMIRANJE MIKORUPRAVLJAČA

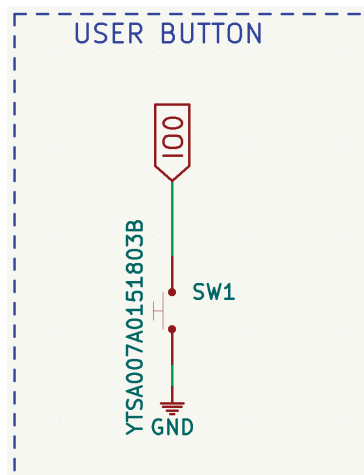
Zahvaljujući spomenutom tipkalu SW1, koje ima mogućnost postavljanja mikorupravljača u bootloader način rada, moguće je prenijeti novi kôd u FLASH memoriju. Da bismo to mogli napraviti, potrebno nam je dodatno sklopovlje prikazano u bloku CH340C USB UART, na shemi 6.46. te na slici 6.51. Radi se o specijalnom integriranom krugu, oznake CH340C, koji pretvara USB komunikaciju u UART komunikaciju. ESP8266 mikroupravljač može primiti novi kod u svoju FLASH memoriju upravo preko UART komandi. Da bi to bilo moguće, mikroupravljač mora imati poseban bootloader, programski kod u svojoj FLASH memoriji, koji omogućava reprogramiranje putem UART komandi. Srećom, mikroupravljač ESP8266 tvornički dolazi s takvim bootloaderom.

Integrirani krug CH340C napaja se direktno s napajanja USB porta naponom od 5 V. Na svojem izvodu za napajanje, naziva VCC, ima jedan decoupling kondenzator C5. Osim toga, CH340C u sebi ima interni regulator napona pa je zbog toga na njegov izvod V3 potrebno staviti još jedan decoupling kondenzator. Nadalje, linije D+ i D- su direktno povezane s USB-C konektorom putem kojeg se ostvaruje USB veza s računalom na koji se povezuje ploča.

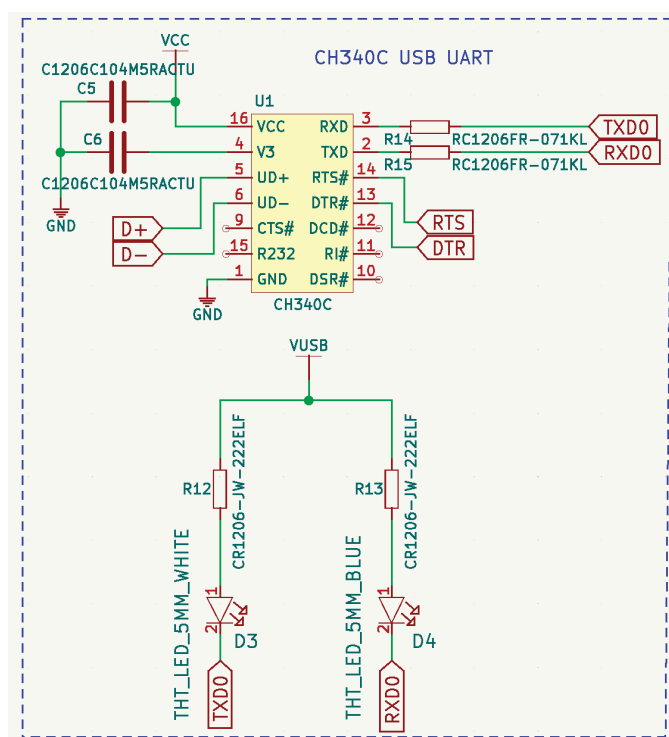
Veza između integriranog kruga CH340C i mikorupravljača ostvaruje se preko izvoda RXD i TXD tog integriranog kruga. TXD označava transmit liniju, onu koja šalje podatke, dok RXD označava receive liniju, onu koja prima podatke. Linije se povezuju unakrsno između USB-UART konvertera i mikorupravljača. Zbog toga se RXD konvertera spaja s TXD mikorupravljača i obrnuto. U seriji, na obje linije, nalazi se otpornici (R14 i R15) koji ograničavaju maksimalnu struju koja može teći tim linijama. To je zbog sigurnosti, kako se ne bi dogodile kratkotrajne i iznimno velike struje (eng. Peak current) koje mogu srušiti napon u sustavu ili oštetiti dijelove sustava.

Kako bi korisnik imao vizualnu interpretaciju onoga što se događa na ploči, dodane su dvije LE diode na TXD0 i RXD0 linije, označene s D3 i D4. One će svijetliti samo u trenucima kada se događa razmjena informacija na tim linijama.

Osim ugrađenog integriranog kruga CH340C, ugrađena je još jedna opcija programiranja, u slučaju da je nezgodno zalemiti SMD pakiranje malih dimenzija integriranog kruga CH340C ili USB-C konektor. Prikazano je u bloku PROGRAMMING HEADER, na slici 6.52. Radi se o konektoru na kojemu su izdvojeni izvodi koji omogućuju jednostavno i direktno programiranje ESP8266 mikorupravljača. Osim napajanja, na njemu se nalaze i UART izvodi za komunikaciju te linije RESET i GPIO0 s kojima je moguće postaviti kontroler u bootloader način rada, tj. način rada u kojemu je spreman spremati novi programski kod u svoju memoriju. Postoje i posebni programeri koji odgovaraju ovim izvodima i rasporedu tih izvoda (v. sliku 3.1.) tako da je programiranje iznimno jednostavno.



Slika 6.50. Shema tipkala SW1 proDigY-a.



Slika 6.51. Shema CH340C pretvornika za proDigY-a.

6.6.3. ULAZI I IZLAZI S PLOČE TE NAPAJANJE

Naravno, kako bi cijela ploča imala smisao, moramo se nekako priključiti na nju. U bloku HEADERS, prikazan na slici 6.53., mogu se vidjeti veze koje se ostavljaju kako bi se moglo pristupiti svakom dijelu ploče. Korisnik ploče, zahvaljujući ovim izvodima, može doći do bilo kojeg dijela elektroničke sheme na jednostavan način. Dostupna su sva napajanja, izvodi s mikorupravljača te komunikacije.

Glavni ulaz u ploču je pak USB-C konektor, prikazan u bloku USB-C CONNECTOR te na slici 6.54. USB-C konektori imaju mogućnost priključka kabela u obje orijentacije pa zbog toga imaju duplicirane veze koje su na fizičkom konektoru zrcaljene. Iz tog razloga se svi izvodi nalaze dva puta na shemi. Napajanje, koje se dobiva preko USB-C kabela, spojeno je preko PTC osigurača od 500mA na glavni naponski vod naziva VCC. PTC osigurač će se nakratko odspojiti (na nekoliko minuta) ako struja koja teče njime pređe 500 mA. To je korisno kao sigurnosni mehanizam, primjerice ako korisnik napravi kratki spoj na izvodima ploče, kako bi se sačuvali od oštećenja ostali dijelovi.

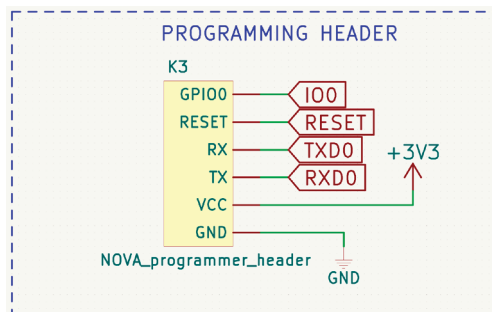
Posebnu pažnju kod USB-C standarda potrebno je obratiti na odabir željenog napona i struje koja će biti dostupna kroz njegov konektor. S obzirom da je USB-C razvijen da bude kompatibilan u brojnim sustavima, pruža i razne opcije za napajanje koje se određuju otpornicima na CC1 i CC2 izvodima konektora. Odabirom 5,1 k Ω otpornika, R1 i R2 na shemi, spojenih prema groundu, određujemo da želimo koristiti USB-C na 5 V s maksimalnom strujom od 3 A.

Osim brojnih ground veza, SHIELD izvod je također spojen na ground. Radi se o metalnoj ovojnici fizičkog konektora, za koju želimo da bude spojena na ground kako bismo smanjili šumove električnih polja na svim ostalim signalima.

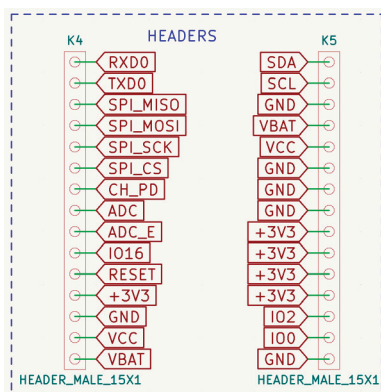
Dodatno, na ploči se nalazi i easyC konektor, koji je specijalizirani sustav za jednostavno povezivanje ploča na I2C komunikaciji. Standard je tvrtke Soldered, a kompatibilan je sa standardom qwiic tvrtke Sparkfun Electronics, od kojih se mogu pribaviti specijalizirani kablovi i drugi senzori za taj standard. Tu su i dvije LE diode, D1 kao indikacija napona i uključanje ploče te D2 kao signalna LE dioda na pinu 13 mikorupravljača.

Ploča ima i ugrađeni senzor temperature, oznake U3 na shemi, točna komponenta DS18B20. Mjeri temperaturu od -55 °C do +125 °C te komunicira putem OneWire standarda.

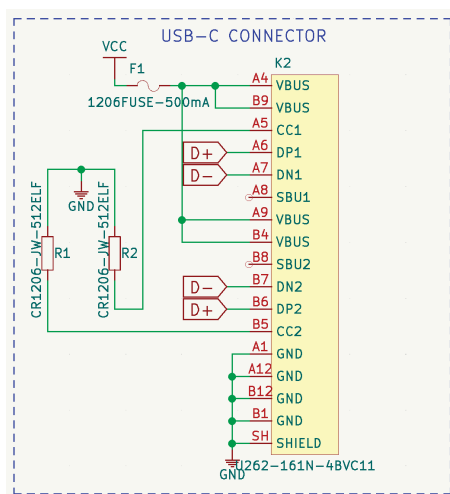
Napajanje ploče se vrši putem USB-C konektora na kojemu se dobiva 5 V. Regulator napona, oznake SE5218 i U2 na shemi, spušta taj ulazni napon od 5 V na 3,3 V kojega onda koristi kompletan sustav. Napajanje korišteno za prototip identično je onome na ploči i već opisano u odlomku 5.7.



Slika 6.52. Shema header nožica za programiranje proDigY-a.



Slika 6.53. Shema header konektora proDigY-a.



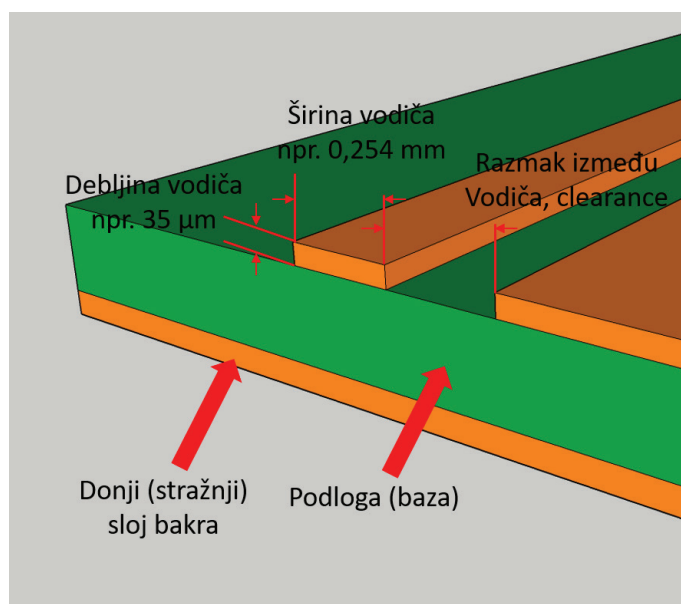
Slika 6.54. Shema USB-C konektora proDigY-a.

7. DIZAJN TISKANE PLOČE

7.1. ELEKTRONIČKE TISKANE PLOČICE

Mehaničko i električno povezivanje različitih elektroničkih komponenti najčešće se postiže korištenjem elektroničkih tiskanih pločica (*PCB*). *PCB* se može koristiti u fazi prototipiranja uređaja, a danas obavezno u konačnom gotovom proizvodu.

Osnovni dijelovi *PCBa* prikazani su na slici 7.1. Sastoji se od baze (podloge) i jednog ili više vodljivih slojeva (vodiča). Dva su vidljiva vanjska sloja (gornji i donji sloj ili prednji i stražnji sloj) te može biti više unutarnjih nevidljivih slojeva. Baza je tanka izolacijska ploča (različite vrste dielektrika) čiji je zadatak, pored izolacije, da osigura mehaničku čvrstoću sklopa sa svim komponentama. Baza je kompozitni materijal. Izrađena je od različitih materijala kao što su staklena vlakna ili papir koji su povezani s nekom vrstom smole, npr. epoksidne i fenolne smole, ovisno o specifikacijama. Često se izrađuju od celuloznih vlakana (papira) koji su impregnirani fenolnom smolom (tzv. pertinaks) generičkog naziva FR3 (*eng. Fire Resistant 3*) ili staklenih vlakana impregniranih epoksidnom smolom (tzv. vitroplast) generičkog naziva FR4 (*eng. Fire Resistant 4*) dok se kod specijaliziranih aplikacija koriste i materijali kao što su aluminij, keramika, teflon i sl.

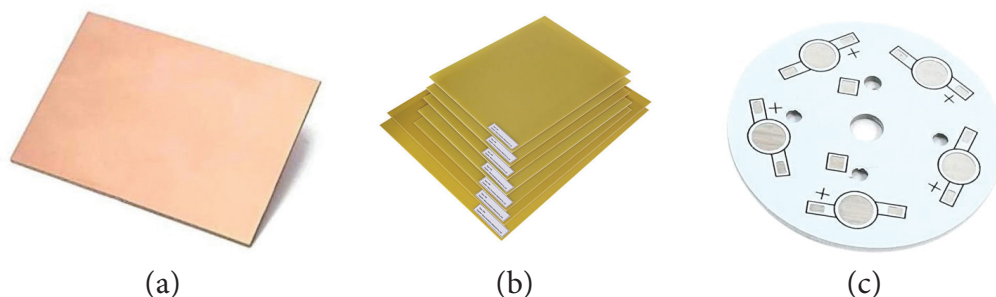


Slika 7.1. Osnovni dijelovi elektroničkih tiskanih pločica.

(v. sliku 7.2.). Vodiči PCB-a čvrsto su zalijepljeni na bazu te služe za električno povezivanje komponenti na PCB-u. Vodiči su izrađeni najčešće od bakra visoke čistoće u obliku tankih traka (*eng. tracks*). Osim bakra, može se koristiti i nikal ili berilij-bakar legura. Debljina vodiča ovisi o primjeni, ali za standardnu upotrebu debljina vodiča (traka) vanjskih slojeva je 0,035 mm te je ukupna debljina PCB-a 1,6 mm. Tvrtke za izradu PCB-a najčešće koriste mjeru za slojeve bakra u oz/ft² (unca po kvadratnoj stopi), gdje se za vanjske slojeve koristi 1 oz/ft² što odgovara debljini bakra od 35 μm, a za unutarnje slojeve 0,5 oz/ft² što odgovara debljini bakra od 18 μm..

Izrada tiskanih pločica napredovala je s razvojem tehnologije. Prve tiskane pločice su bile jednoslojne (jedan vodljivi sloj bakra) i najčešće su se sastojale od niza rupa kroz koje su prolazili izvodi elektroničkih komponenti (TH komponente). Komponente su se slagale na strani pločice bez vodljivog sloja (gornji sloj), a izvodi su se lemlili sa suprotne strane (donji sloj). Takav pristup povezivanja komponenti u sklopovima donio je veliko povećanje kvalitete izrade u odnosu na dotadašnji način (povezivanje žicama u zraku). Danas se takve pločice najčešće koriste kao prototipne pločice za brzi razvoj i testiranje rada prototipa čitavog ili dijela sklopa.

Idući korak u razvoju tiskanih pločica su bile dvoslojne pločice. Kod dvoslojnih pločica vodljivi sloj se nalazi s obje strane podloge, što je rezultiralo bitnim smanjenjem broja kratkospojnika (vodiči koji su zalemljeni na pločicu, a čija je uloga električno spajanje fizički odvojenih vodova) te smanjenjem konačne dimenzije pločice. Mana dvoslojnih pločica je potreba za bitno preciznijom izradom zbog toga što se vodiči s gornjeg i donjeg sloja moraju točno preklapati na točno određenim mjestima (mjesto provrta). U počecima je električna veza između gornjeg i donjeg sloja ostvarena lemljenjem kroz provrt (rupu na PCB-u), a kasnije su navedeni provrti metalizirani, što je rezultiralo izradom *via*. Same *via*-e ubrzavaju proces lemljenja komponenti te olakšavaju pozicioniranje kom-



Slika 7.2. Primjeri vrsta elektroničkih tiskanih pločica: (a) FR3, (b) FR4 i (c) aluminij.

ponenti na PCB-u.

Višeslojne pločice su razvijene zbog potrebe za smještanjem što je više moguće komponenti na što manji prostor. Najčešće se izrađuju lijepljenjem dvoslojnih i jednoslojnih PCB-ova zajedno s materijalom koji se zove *prepreg*. Na ovaj način moguće je dobiti PCB s velikim brojem (50 i više) slojeva. Korištenjem ove tehnike, nije neophodno da via-e prolaze kroz sve slojeve pločice, već je česta pojava da metalizirane rupe prolaze samo kroz neke pojedinačne slojeve i tako spajaju vodiče na različitim unutarnjim/vanjskim vodljivim slojevima. Tako postoje „zakopane“ via-e (*eng. burried via*) i „slijepe“ via-e (*eng. blind via*). *Burried via* nije vidljiva na vanjskim slojevima PCB-a te se koristi za povezivanje dvaju ili više unutarnjih vodljivih slojeva PCB-a. *Blind via* povezuje jedan od vanjskih slojeva s jednim ili više unutarnjih vodljivih slojeva PCB-a. Ako je promjer via-e manji od 6 mils (0,15 mm), ta se via naziva još i *microvia*.

Osim bakra i izolacijskih slojeva, gornji i donji dio PCB-a može sadržavati i tzv. masku za lemljenje. To je sloj laka (stop lak) koji sprječava nastanak neželjenih spojeva na PCB-u (sprečava prelazak lema na vodiče i padove). Označavanje PCB-a izvodi se najčešće postupkom sitotiska (*eng. Silkscreen*) te također predstavlja još jedan sloj PCB-a.

Zbog potrebe za pozicioniranjem PCB-a u malom prostoru, u kućištu nepravilnih dimenzija, razvijeni su i savitljivi PCB-ovi te kombinacija savitljivih i standardnih (čvrstih) PCB-ova. Savitljivi PCB-ovi se najčešće sastoje od jednog ili dva vodljiva sloja te im je baza izrađena od savitljivog materijala. Ovo omogućava postavljanje PCB-a u različita kućišta (npr. često se koriste prilikom izrade digitalnih fotoaparata).

U industrijskoj proizvodnji tiskanih pločica, zbog smanjenja dimenzija komponenti, odnosno smanjenja prostora, upotreba TH komponenti zastarijeva te se češće primjenjuje SMD tehnologija zbog jednostavnijeg automatiziranog postupka postavljanja i lemljenja komponenti (*eng. assembly*).

Industrija vezana za proizvodnju PCB-a je standardizirana od strane različitih organizacija od kojih je najpoznatija IPC (originalna skraćenica je *eng. Institute for Printed Circuits*, ali danas se samo koristi naziv IPC), a druge su ISO (*eng. International Organization for Standardization*), IEC (*eng. International Electrotechnical Commission*) i sl. IPC definira niz standarda i preporuka vezanih za sve korake izrade PCB-a. Neki od važnih IPC općih standarda su:

- IPC-T-50F (*eng. Terms and Definitions for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits*), a koji sadrži opće opise, ilustracije i definicije vezane za PCB.
- IPC-S-100 (*eng. Standards and Specifications Manual*), priručnik koji sadrži potpuni pregled specifikacija svih aspekata tehnologije povezivanja elektroničkih sklopova.

- IPC-M-106 (*eng. Technology Reference for Design Manual*), PCB tehnologija velike gustoće, fleksibilni PCB i sl.
- Pored općih, IPC definira i specifične standarde prilikom dizajna i izrade PCB-a. Neki od korisnih standarda su:
- IPC-2221A (*eng. Generic Standard on Printed Board Design*), opći zahtjevi za dizajn i montažu komponenti za jednoslojne i višeslojne PCB-ove.
- IPC-2226 (*eng. Section Design Standard for High Density Interconnect (HDI) Printed Boards*), zahtjevi za dizajn i montažu komponenti PCB-a visoke gustoće.
- IPC-M-105 (*eng. Rigid Printed Board Manual*) specificira dimenzije, tolerancije, performanse čvrstih tiskanih pločica, testiranje lema i sl.
- IPC-D-325A (*eng. Documentation Requirements for Printed Boards*), opći zahtjevi i specifikacije za potpunu dokumentaciju PCB-a.
- Pored navedenih standarda, postoji i niz drugih koji se koriste prilikom izrade PCB za specijalizirane svrhe, automatizirana industrijska izrada i sl. Potrebno je napomenuti da se navedeni standardi moraju kupiti da bi ih mogli koristiti.

7.2. PAKIRANJA ELEKTRONIČKIH KOMPONENTI

Na samom početku ovog priručnika spomenute su dvije podjele pakiranja komponenti. S obzirom na način postavljanja na PCB to su TH i SMD. Postoje diskretne elektroničke komponente i integrirani elektronički sklopovi. Diskretne komponente imaju najčešće samo jednu funkcionalnost te u njih spadaju otpornici, kondenzatori, tranzistori i sl. Integrirani elektronički sklop (*eng. Chip, Integrated Circuit*) predstavlja više spojenih diskretnih elektroničkih komponenti izrađen u jednom komadu na tankom sloju materijala kao što je silicij. Općenito elektroničke komponente u integriranom sklopu su mikroskopskih veličina u odnosu na samu komponentu u kućištu. Diskretne i integrirane komponente nalaze se u kućištu određenog oblika i dimenzija za koji se najčešće koristi izraz pakiranje (*eng. Package*) ili kućište. S razvojem tehnologije i povećanjem broja nožica komponenti i smanjenjem dimenzija razvijena su i različita pakiranja komponenti.

Kućišta komponenti su detaljno opisana u tehničkoj dokumentaciji komponente sa svim mjerama koje su potrebne za izradu otiska kućišta komponente. Primjer opisa kućišta DIP14 za integrirani sklop 74LS00 prikazan je na slici 7.3. Vidljivo je da su sve dimenzije na skici izražene u dvije mjere: inč (*eng. inch*) i milimetri. Na slici 7.3. mjere u milimetrima su u zagradama. Za navedene mjere koristi se izraz imperijalni i metrički sustav mjerenja te je u CAD alatima najče-

šće moguće birati između dva sustava mjerenja. KiCAD također ima mogućnost odabira između *mils* i *mm*, kako je objašnjeno u potpoglavlju 6.2.

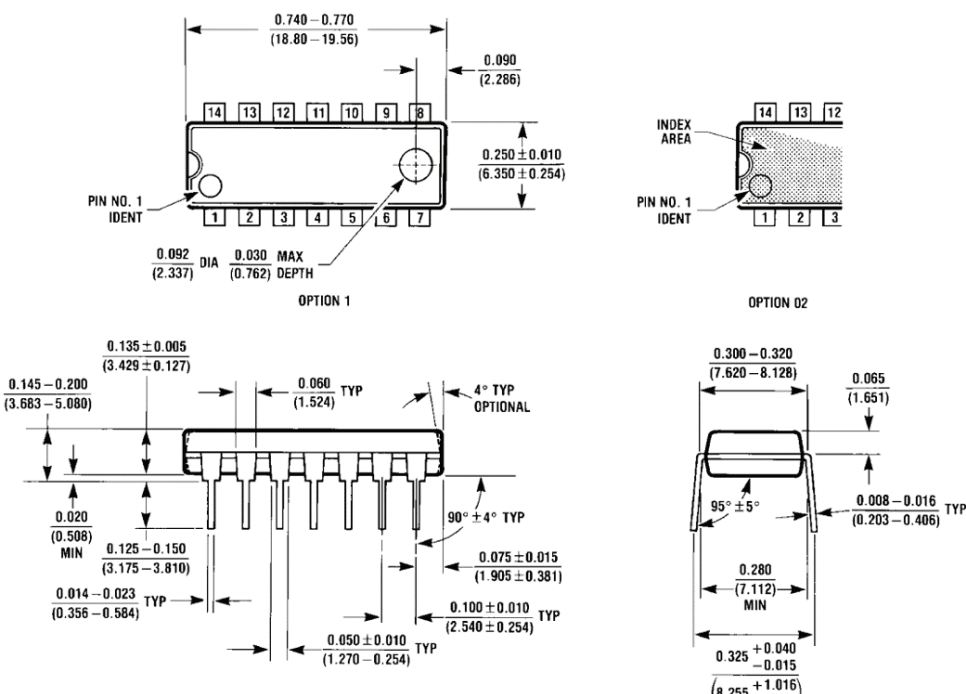
U nastavku ovog poglavlja navedena su i objašnjena najčešća pakiranja diskretnih i integriranih komponenti.

7.2.1. TH KUĆIŠTA

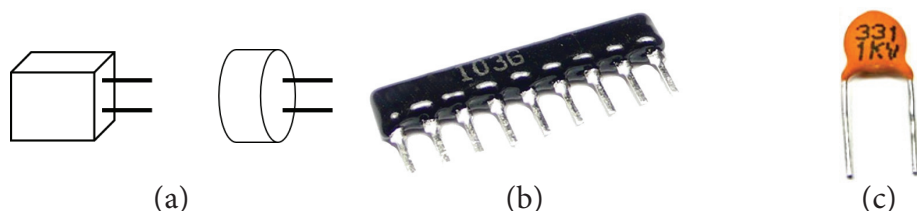
Pored izraza TH, često se koristi i izraz THT (*eng. Through Hole Technology*) koji predstavlja tehnologiju izrade PCB-a s TH komponentama. Vrste TH kućišta najčešće ovise o samoj diskretnoj komponenti koja se koristi. Za otpornike su česta cilindrična kućišta s aksijalno postavljenim nožicama (žice izviru sa strana kućišta kao „ruke“, primjer je moguće vidjeti na slici 2.4.) ili kvadratna kućišta s radijalno postavljenim nožicama (nožice su ispod kućišta kao „noge“, v. sliku 7.4.a.) Otporničke mreže, gdje se u jednoj diskretnoj komponenti nalazi više otpornika, najčešće su pakirane u SIL (*eng. Single In-Line*) kućištu, nožice radijalno postavljene u jednom redu, kao na slici 7.4.b.

Kondenzatori i diode, kao i otpornici, su najčešće pakirani u cilindrična kućišta s aksijalno ili radijalno postavljenim nožicama, a pored njih su česta i disk pakiranja kondenzatora s radijalno postavljenim nožicama (v. sliku 7.4.c.) Za tranzistore, tiristore, *triace* (trijake) i naponske regulatore postoji preko 500 vrsta različitih pakiranja, iako se najčešće koristi oko 100 različitih vrsta. Za metalna kućišta česta su pakiranja TO-5, TO-18 i TO-39 (v. sliku 7.5.a.) dok su za plastična kućišta najčešća pakiranja TO-92 za male struje i TO220 za velike struje, (v. slike 7.5.a i 7.5.c.)

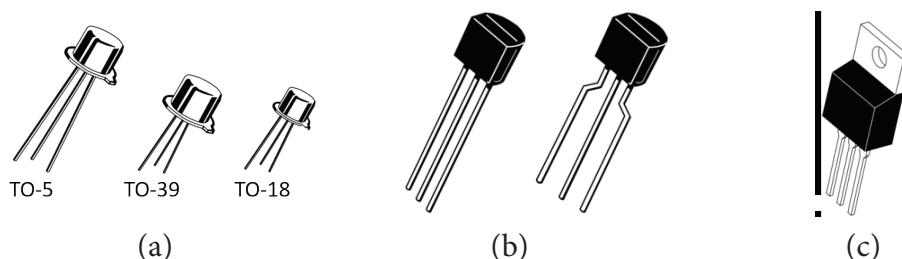
Integrirani sklopovi u TH tehnologiji najčešće su pakirani u DIP (*eng. Dual In-Line Package*) kućišta. Kućišta se sastoje od dva reda nožica gdje su nožice razmaknute 100 mils (2,54 mm)) te su pogodna za spajanje na prototipnu pločicu. Često se u dokumentaciji koristi i naziv PDIP (*eng. Plastic Dual In-Line Package*) što dodatno označava da je u pitanju plastično kućište. Na slici 7.6. prikazani su primjeri skica DIP kućišta. Prva nožica je označena bijelom točkom (okruglo udubljenje u kućištu) te se nožice broje u obrnutom smjeru kazaljke na satu. Također, utor na kućištu označava gornji dio sklopa, gdje lijeva nožica od utora (kada je utor okrenut prema gore) predstavlja prvu nožicu. Na slici 7.7. prikazan je primjer Intel-ovog 8088 procesora u DIP40 pakiranju gdje crvena strelica označava utor koji predstavlja gornji dio integriranog sklopa. Najmanji broj nožica u DIP pakiranju je četiri (DIP4), a najveći je 64 nožice (DIP64).



Slika 7.3. Dimenzije DIP14 pakiranja (izvadak iz tehničke dokumentacije 74LS00 integriranog sklopa).



Slika 7.4. Primjeri kućišta (a) kućišta s radialno postavljenim nožicama, (b) SIL kućište, (c) disk kućište kondenzatora s radialno postavljenim nožicama.



Slika 7.5. Primjeri kućišta tranzistora (a) metalna kućišta, (b) plastično kućište TO-92 s ravnim i savijenim nožicama, (c) TO-220 kućište.

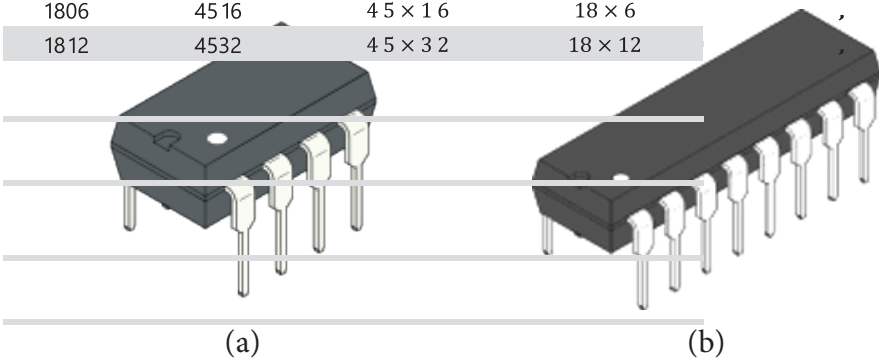
7.2.2. SMD KUĆIŠTA

Zbog sve veće potrebe da PCB bude što manji te zbog sve veće potrebe za automatiziranom izradom elektroničkih sklopova, TH tehnologija se sve manje koristi jer je naslijedila SMT (eng. Surface Mount Technology). U SM tehnolo-

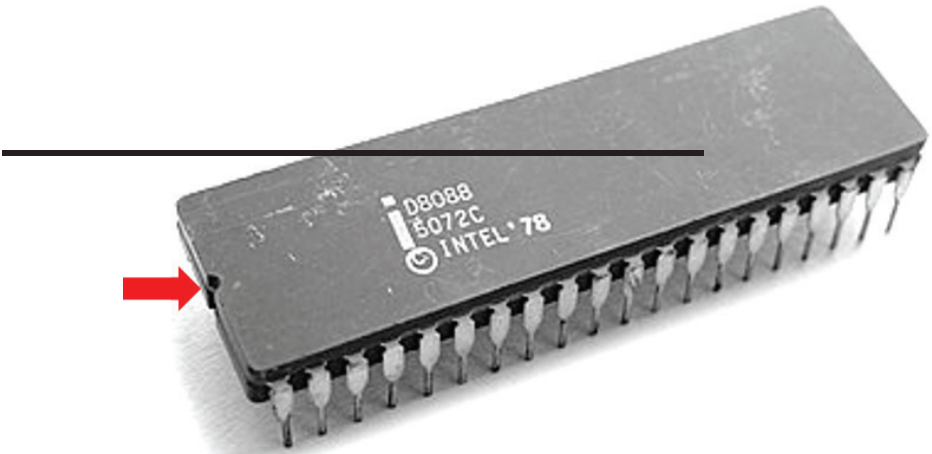
giji komponente na PCB-u se mogu postavljati na oba vanjska vodljiva sloja. Komponente koje se koriste u SMT izradi elektroničkog sklopa nazivaju se SMD (eng. Surface Mount Device). SMD verzije komponenti integrirane elektroničke komponente imaju manje nožice u usporedbi s TH komponentama ili nemaju nožice, već samo metalizirani površni (eng. pad).

Neke elektroničke komponente kao što su otpornici, kondenzatori ili diode su pravokutnog oblika i označene su s četiri znamenke u mil ili desetina milimetra d

0201	0603	0805	1608
0402	1005	1206	1812
0603	1608	2520	3225
0805	2012	3216	4516
1008	2520	3225	4532
1206	3216	3225	4532
1210	3225	3225	4532
1806	4516	4516	4532
1812	4532	4532	4532



Slika 7.6. Primjeri DIP kućišta (a) DIP8 i (b) DIP16.

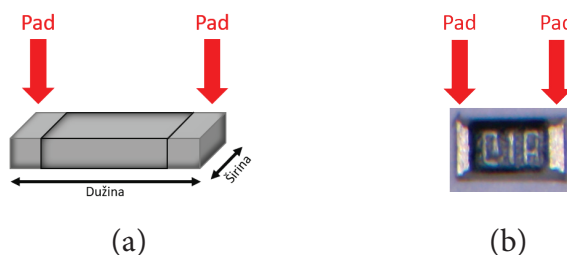


Slika 7.7. Primjer Intel 8088 mikroprocesora u DIP40 kućištu (crvena strelica označava utor koji predstavlja gornji dio sklopa).

trebom za manjim komponentama, uvedene su i oznake sa šest znamenki. Tablica 7.1. prikazuje odabrane oznake i dimenzije SM komponenti kao što su otpornici, kondenzatori i diode. Na slici 7.8.a prikazan je oblik SMD komponente te primjer SMD otpornika na slici 7.8.b. Metalizacija pad-a može biti samo s jedne strane, s tri strane ili s pet strana (gore, dolje, lijevo, desno i prednja strana). Na slici 7.8.a pretpostavka je da je pad metaliziran s pet strana. Također, postoji i EIA (*eng. Electronic Industries Alliance*) koja pored četveroznamenkaste oznake dužine i širine u metričkim jedinicama sadrži i dvoznamenkastu oznaku visine. Za primjer oznaka EIA 3528-21 označava SMD kućište dimenzija 3,5 mm × 2,8 mm s visinom 2,1 mm.

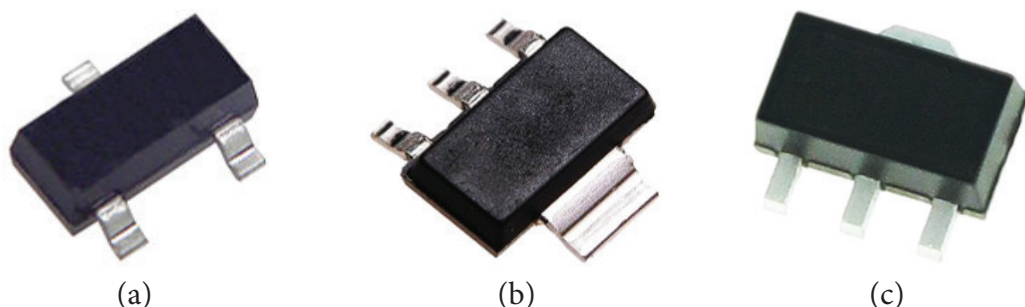
Tranzistori, naponski regulatori i druge komponente s manjim brojem izvoda pakirane su najčešće u SOT (*eng. Small Outline Transistor*) kućištu. Najčešći su SOT-23, SOT-223 i SOT-89 kućišta (v. sliku 7.9.) Tranzistori većih snaga (struje i preko 100 A) često su pakirani u TO-263 (D2PAK – *eng. Double Decawatt Package*) kućištu koje može imati i do sedam nožica (v. sliku 7.10.) Pored njega postoji i kućište manjih dimenzija (DPAK) te većih dimenzija (D3PAK). Ovo su najčešća kućišta, ali postoje i druga dostupna pakiranja koja su standardizirana ili specifična samo za neke proizvođače.

Tablica 7.1. SMD metričke i imperijalne oznake diskretnih komponenti.

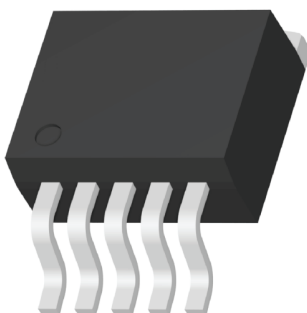


Slika 7.8. Skica pravokutne SMD komponente bez nožica (a), primjer SMD 0603 (imperijalni) otpornika (b).

Integrirani sklopovi su često pakirani u SOIC (*eng. Small Outline Integrated Circuit*) kućište ili skraćeno SO (*eng. Small Outline*) s razmakom nožica (od središta do središta *eng. pitch*) od 50 mils, tj. 1,27 mm. Često se koriste za sklopove od 8 nožica (4 nožice sa svake strane), a moguće su verzije i do 28 nožica (v. sliku 7.11.) Pored SO kućišta, postoje još i SSO (*eng. Shrink Small Outline*) i TSSO (*eng. Thin Shrink Small Outline*) kućišta koja mogu imati i do 80 nožica s pitchem od 0,65 mm do 0,4 mm. Također, TSSOP je, pored smanjenog pitch-a, i manje visine (smanjena je debljina kućišta i iz tog razloga je u nazivu i *eng. Thin* – tanak). Na slici 7.12. prikazan je primjer usporedbe SO i SSO kućišta sa 16 nožica gdje je vidljivo smanjenje dimenzija kućišta uz zadržavanje jednakog broja nožica sklopa. Za integrirane sklopove do 250 nožica koriste se takozvana QFP (*eng. Quad Flat Pack*) kućišta. Nožice su raspoređene na sve četiri stranice kućišta, a pitch u ovom pakiranju nije uvijek isti. Što je veći broj nožica integriranog sklopa, pitch se smanjuje pa je, primjerice, za 80 nožica pitch 0,8 mm dok je za 100 nožica 0,65 mm. Također je dostupna i TQFP (*eng. Thin Quad Flat Package*) verzija sa istim svojstvima, ali s tanjim kućištem. Na slici 7.13. prikazan je primjer QFP64 i QFP44 kućišta gdje je vidljiv karakterističan raspored nožica na sve četiri strane kućišta što dodatno smanjuje ukupne dimenzije istoga. Zbog sve veće potrebe za smanjenjem dimenzija pakiranja integriranih sklopova razvijeno je QFN (*eng. Quad Flat No-leads*) kućište. Budući da same nožice, koje izviru



Slika 7.9. SOT-23, SOT-223, SOT-89 kućište.

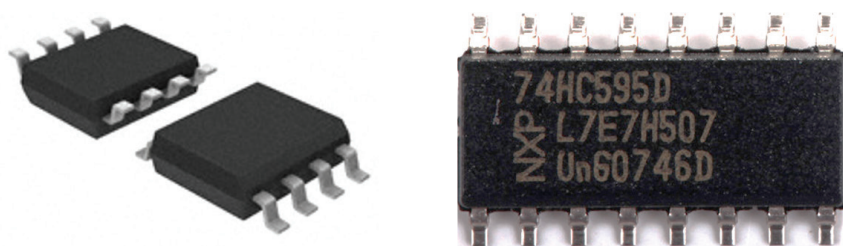


Slika 7.10. TO-263 kućište.

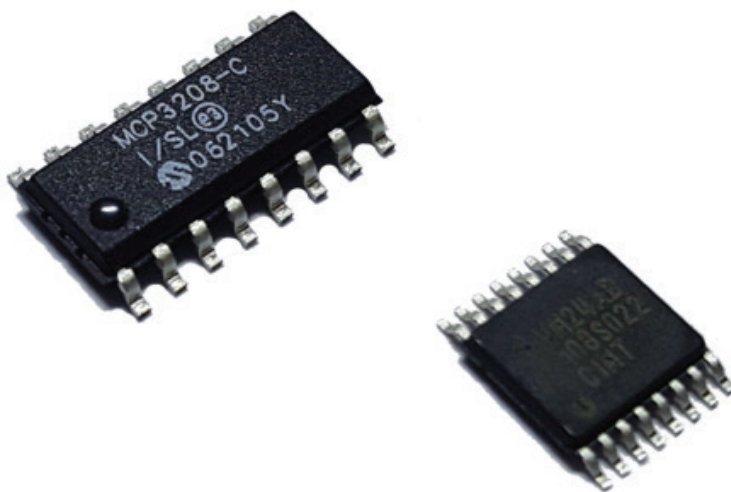
iz stranica kućišta, povećavaju dimenzije kućišta, one su uklonjene te je dodatno smanjena dimenzija kućišta. *No-leads*, u samom nazivu, označava da kućište nema nožice, već metalizirane podloge. Pitch je najčešće 0,5 mm te standardna pakiranja mogu imati do 100 nožica. Također, na donjem dijelu kućišta moguće je postaviti metaliziranu podlogu te tako povećati odvođenje topline sa integriranog sklopa. Na slici 7.14. prikazan je primjer kućišta, a na slici 7.15. prikazana je usporedba DIP14 i QFN8 kućišta gdje je vidljivo drastično smanjenje u dimenzijama pakiranja SMD integriranih sklopova.

Kod svih objašnjenih kućišta, kružno udubljenje u kućištu označava prvu nožicu sklopa te je redoslijed nožica u obrnutom smjeru kretanja kazaljki na satu.

Pored prikazanih kućišta, postoje i razna druga kućišta kao i različite verzije te nazivi prikazanih kućišta specifična za pojedine proizvođače. Također, u budućnosti će se razvijati nova kućišta s kojima ćete morati raditi. Slobodno istražite što je sve dostupno od pojedinih proizvođača, a da najviše odgovara vašem dizajnu PCB-a.



Slika 7.11. SOIC-8 (SO-8) i SOIC-16 (SO-16) kućište.

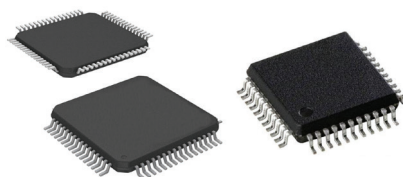


Slika 7.12. SO-16 (SOIC-16) i SSO-16 kućište.

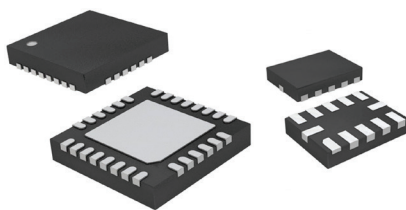
Zbog statičkog elektriciteta obavezno je dodirnuti nekakvu metalnu uzemljenu površinu prije rukovanja integriranim sklopovima bilo koje vrste! Ako postoji mogućnost, preporuka je korištenje antistatik podloge i antistatik (ESD) rukavica.

7.3. BOM DOKUMENT ZA DIZAJN PCB-A

Za primjer dizajniranja PCB-a nastavljamo raditi sa shemom na slici 6.34. Budući da smo originalnu shemu izmijenili te dodali svjetleće diode za indikatore ulaznog i izlaznog napona, potrebno je izmijeniti BOM dokument. Kako je navedeno u poglavlju 2 i prikazano na slici 2.1., postupak projektiranja i izrade prototipa je iterativan postupak te se nerijetko potrebno vratiti nazad u koracima. Novi BOM dokument s dodanim komponentama prikazan je u tablici 7.2. S navedenim komponentama krećemo u sljedeći korak, a to je dodjeljivanje otisaka simbolima.



Slika 7.13: QFP64 i QFP44 kućišta.



Slika 7.14: QFN24 i QFN12 kućište.



Slika 7.15: Usporedba DIP14 (gledan s gornje strane) i QFN8 (gledan s donje strane) kućišta.

Comment	Description	Designator	Symbol	Footprint	Quantity
AMS1117-3.3	1A Low Dropout regulator, positive, 3.3V fixed output,	U1	AMS1117-3.3	SMD_SOT-223-3	1
USB_B_Micro	USB micro female SMT with 4 fixed foot	J1	USB_B_MICRO	Micro USB B 105017-0001	1
THT_Male_P_1x4	Connector Header Through Hole 4 position	J2	Conn_01x04	THT_Male_P_1x15-2.54mm	1
10uF	Surface mount capacitor Tantalum	C1	C_polarized	EIA 3528-21	1
22uF	Surface mount capacitor Tantalum	C2	C_polarized	EIA 3528-21	1
BAT49	TH Schottky diode	D1	D_Schottky	MELF	1
330R	Surface mount resistor	R1	R	SMD 1206	1
150R	Surface mount resistor	R2	R	SMD 1206	1
LED RED	THT 3mm LED	D2	LED	THT 3mm	1
LED GREEN	THT 3mm LED	D3	LED	THT 3mm	1
Mounting hole	Hole 2mm	H1, H2	MountingHole	MountingHole_2mm	2
Fiducial	Figucial 1,5mm	FID1	Fiducial	Fiducial_1,5mm	1

Tablica 7.2. BOM dokument naponskog regulatora 5 V na 3,3 V verzija 2.

7.4. DODJELJIVANJE OTISAKA KOMPONENTI

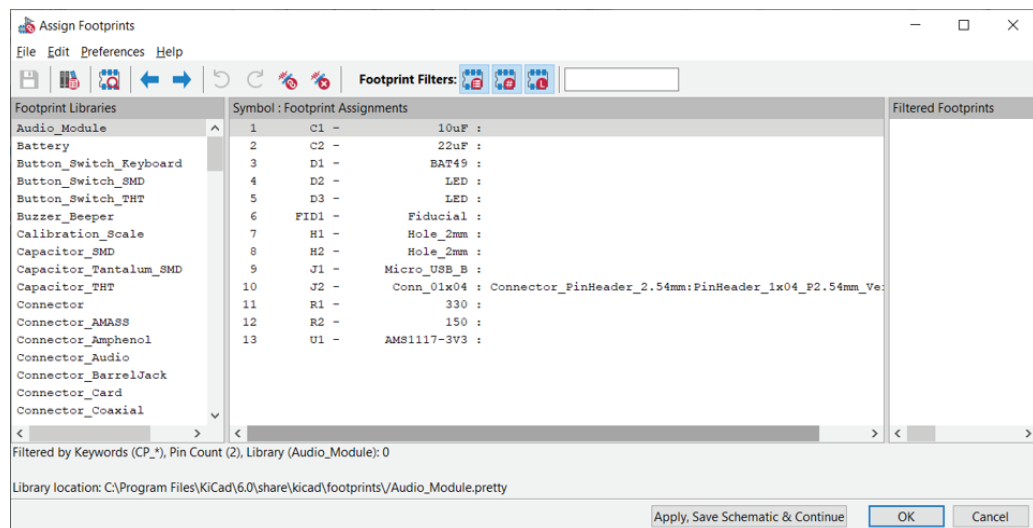
U KiCAD-u, za razliku od drugih alata, pojedinim simbolima nije automatski dodijeljen otisak stvarne fizičke komponente. Razlog tome je što, primjerice, za simbol otpornika, koji je generički simbol, možete koristiti različite stvarne fizičke komponente. Za isti otpornik netko će odabrati TH otpornik, netko SMD 0402, a netko SMD 1206. Neki alati za dizajn PCB-a za svaki od navedenih primjera imat će poseban simbol i za njega dodijeljen odgovarajući otisak, dok kod KiCAD-a za isti simbol, ali različitom oznakom (*eng. Reference Designator*), možete dodijeliti drugi otisak.

Da bi započeli postupak dodjeljivanja otisaka simbolima na shemi, sve komponente na shemi moraju biti označene odgovarajućim oznakama. Samo dodjeljivanje otisaka nekada je moguće postaviti i prilikom samog dodavanja simbola na shemu. Na slici 6.4.b prikazan je primjer simbola standardnog header konektora s četiri nožice. Za simbol je moguće odabrati više različitih otisaka, s tim da početno nije dodijeljen niti jedan otisak (*eng. no default footprint*, v. sliku 6.4.a.) Za primjer na slici 6.4.b odabran je standardi pin header s četiri nožice u jednom redu razmaknute 2,54 mm. Također, svaki simbol je moguće urediti (tipka E) te mu dodijeliti otisak. U prozoru za uređivanje simbola (primjer prikazan na slici 6.7. desno) potrebno je kliknuti na prazno polje *Footprint* te zatim kliknuti na ikonu  za otvaranje biblioteke otisaka. Potrebno je pretražiti biblioteku u novootvorenom prozoru te odabrati željeni otisak. Ako je prilikom dodavanja simbola već dodijeljen otisak, naziv istog bit će naveden u polju *Footprint*.

Iako je moguće unaprijed dodijeliti otisak komponente simbolu, KiCAD preporučuje da se navedeno radi na samom kraju kada je shema u potpunosti

gotova. Normalno, kako smo već naveli, postupak projektiranja i izrade prototipa je iterativan proces te postoji vjerojatnost da ćete morati mijenjati shemu i ponavljati postupak dodjeljivanja otisaka.

Dodjeljivanje otisaka izvodi se s alatom za dodavanje otisaka (eng. *Footprint Assignment Tool*), ikona  na gornjoj alatnoj traci prozora prikazanog na slici 6.2. (prvi put kada se pokreće navedeni alat, potrebno je pričekati kratko vrijeme da se učitaju sve KiCAD biblioteke otisaka, eng. *Footprint Libraries*). Klikom na ikonu otvara se prozor kao na slici 7.16., s popisom svih simbola na shemi te dostupnim bibliotekama otisaka. Na slici 7.16. vidljivo je da je za simbol *J2* već postavljen otisak na vertikalni pin header konektor s četiri nožice s razmakom nožica od 2,54 mm koji smo odabrali prilikom dodavanja samog simbola u shemi. Za ostale simbole na shemi sa slike 6.34. otisci nisu postavljeni te ih je u ovom alatu potrebno postaviti da bi se moglo krenuti s dizajnom PCB-a. Otisci se postavljaju klikom na odabrani simbol u alatu za postavljanje otisaka. Klikom na pojedini simbol isti se označi na shemi, kako je prikazano na slici 7.17. gdje je označen simbol *C1* te je na shemi centriran i označen navedeni simbol. Za navedeni simbol potrebno je pretražiti biblioteke te pronaći odgovarajući otisak, ako isti postoji (ako otisak ne postoji, potrebno ga je samostalno izraditi ili u dizajnu promijeniti otisak komponente koji postoji u bibliotekama). Prilikom pretraživanja biblioteka, moguće je uključiti tri filtera koji će suziti pretragu otisaka. Prvi filter (ikona ) filtrira sve otiske na temelju definiranih ključnih riječi filtera otisaka za odabrani simbol. Definiranje ključnih riječi filtera otisaka objašnjeno je u potpoglavlju 6.4. (v. sliku 6.26.) Drugi filter (ikona ) filtrira sve otiske koji

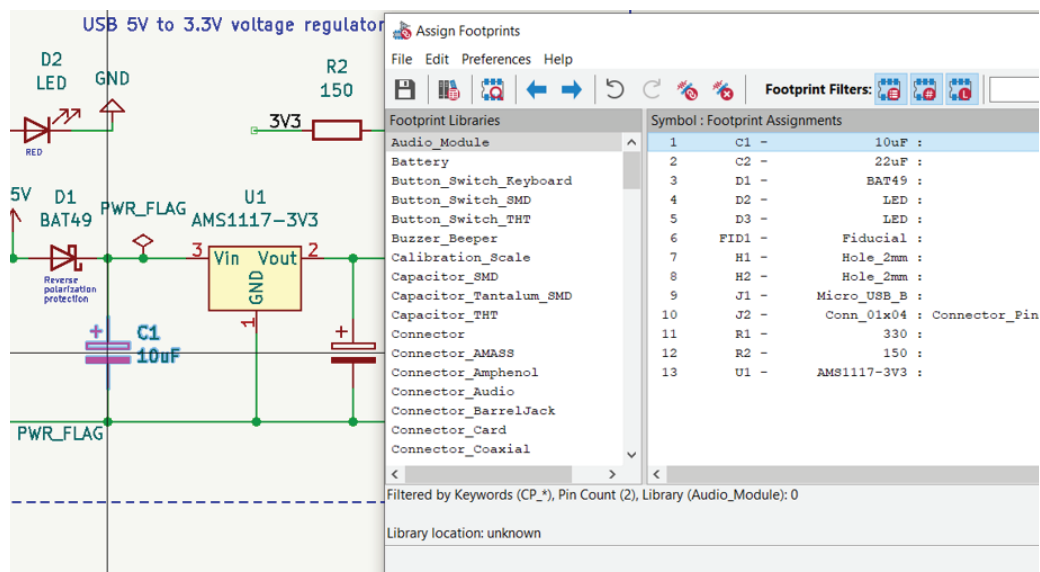


Slika 7.16. KiCAD Footprint Assignment Tool za shemu sklopa naponskog regulatora 5 V na 3,3 V.

imaju isti broj nožica kao pripadajući simbol. Treći filter (ikona ) uključuje filtriranje u odabranoj biblioteci ili se filteri primjenjuju na sve biblioteke. Preporuka je uključiti sva tri filtera prilikom pretraživanja biblioteka otisaka.

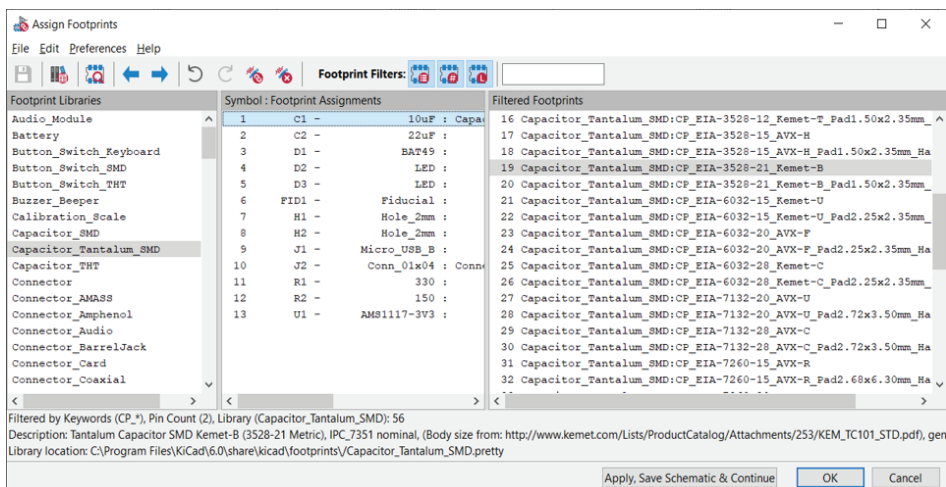
Budući da su u BOM-u (eng. Bill of materials) navedeni svi simboli i odgovarajući otisci, iste je potrebno pronaći u dostupnim bibliotekama. Za C1 navedeno je da je u pitanju SMD tantalni kondenzator u pakiranju EIA 3528-21. U alatu za dodavanje otisaka potrebno je kliknuti na C1, kako je prikazano na slici 7.18., te pronaći biblioteku *Capacitor_Tantalum_SMD* u lijevom dijelu prozora. U donjem dijelu prozora prikazane su odabrane opcije filtra i svojstva odabranog otiska te lokacije biblioteke otiska (v. sliku 7.19.) Prva linija predstavlja opcije filtera gdje je vidljivo da se pretražuju svi otisci koji počinju s CP_ (skraćeno od eng. *Capacitor Polarized*) koji imaju dvije nožice te je uključen filter biblioteka. Druga linija predstavlja osnovne informacije o odabranom otisku dok zadnja linija prikazuje lokaciju biblioteke odabranog otiska.

S uključena sva tri filtera u desnom dijelu prozora (eng. *Filtered Footprints*), prikazat će se lista otisaka koja odgovara odabranim kriterijima. Na slici 7.18. vidljivo je da svi otisci počinju s nazivom CP_ te je od ponuđenih potrebno odabrati EIA 3528-21, kako je prikazano na slici. Iako su kućišta standardizirana, preporuka je mjere otiska provjeriti i usporediti s mjerama u tehničkoj dokumentaciji te, ako je moguće, usporediti i s dimenzijama fizičke komponente koristeći neki od preciznih alata kao što je pomična mjerka.



Slika 7.17. Označeni simbol C1 u alatu za postavljanje otisaka te prikaz na shemi.

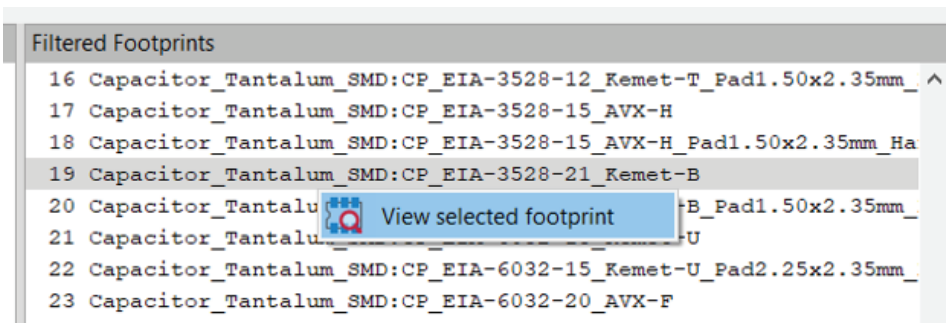
Svaki otisak moguće je otvoriti s preglednikom desnim klikom miša na naziv te klikom na *View selected footprint* (slika 7.20.) ili klikom na ikonu  u prozoru za postavljanje otisaka. Otvara se novi prozor s pregledom otiska (v. sliku 7.21.). Na lijevoj strani prozora nalaze se standardni alati, kao što je objašnjeno za alate u potpoglavlju 6.2., koji se koriste prilikom izrade sheme. Jedan od mogućih alata je ravnilo  (eng. *Ruler*) s kojim se mogu izvesti izmjere samog otiska te potvrditi odgovara li odabrani otisak. Na slici 7.21. prikazan je primjer izmjere dužine otiska od 4,4 mm. Još jedan od načina pregleda odabranog otiska



Slika 7.18. Postavljanje otiska za simbol C1.

Filtered by Keywords (CP_*), Pin Count (2), Library (Capacitor_Tantalum_SMD): 56
Description: Tantalum Capacitor SMD Kemet-B (3528-21 Metric), IPC_7351 nominal, (Body size from: ht
Library location: C:\Program Files\KiCad\6.0\share\kicad\footprints\Capacitor_Tantalum_SMD.pretty

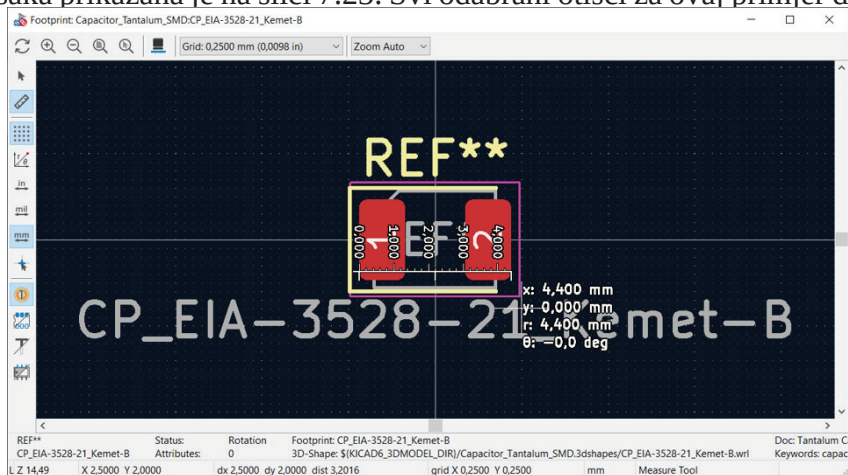
Slika 7.19. Uvećani dio informacija o otiscima.



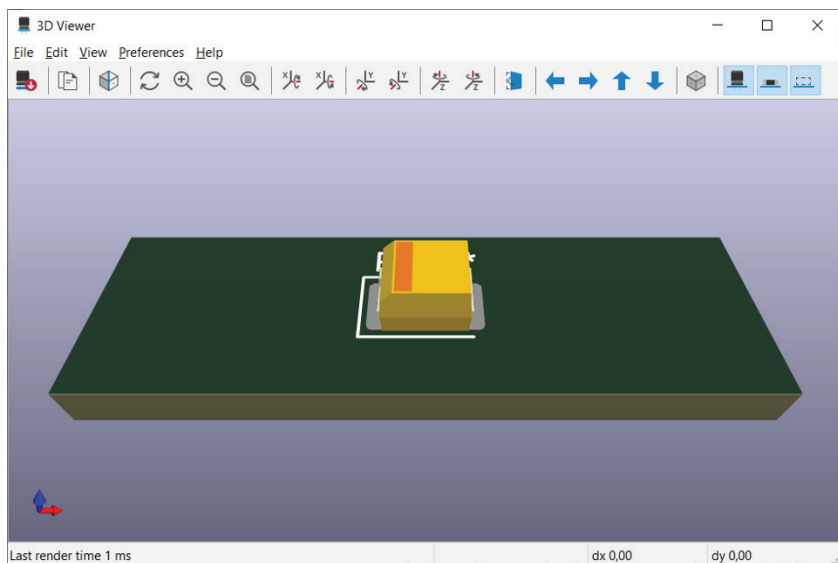
Slika 7.20. Pregled otiska u listi filtriranih otisaka.

je i 3D prikaz klikom na ikonu . Otvara se novi prozor kao na slici 7.22. koji prikazuje otisak u 3D prikazu na imaginarnom PCB-u. Ako je za otisak dodijeljen i 3D model kućišta, isti je također prikazan. Na slici 7.22. prikazan je primjer s dodijeljenim 3D modelom tantalnog kondenzatora. Model je moguće rotirati u svim smjerovima te ga povećavati po potrebi s alatima na gornjoj alatnoj traci.

Postupak postavljanja otisaka potrebno je odraditi za sve simbole na shemi prema BOM dokumentu. Za primjer za shemu sa slike 6.34. lista svih dodijeljenih otisaka prikazana je na slici 7.23. Svi odabrani otisci za ovaj primjer dostupni



Slika 7.21. Prozor preglednika otiska.



Slika 7.22. 3D prikaz otiska i komponente.

su u KiCAD bibliotekama. Za slučaj da otisci nisu dostupni, iste je potrebno samostalno izraditi. Postupak samostalne izrade otiska bit će naknadno objašnjen u potpoglavlju 7.5.6.

Symbol : Footprint Assignments			
1	C1 -	10uF :	Capacitor_Tantalum_SMD:CP_EIA-3528-21_Kemet-B
2	C2 -	22uF :	Capacitor_Tantalum_SMD:CP_EIA-3528-21_Kemet-B
3	D1 -	BAT49 :	Diode_SMD:D_MELF
4	D2 -	LED :	LED_THT:LED_D3.0mm
5	D3 -	LED :	LED_THT:LED_D3.0mm
6	FID1 -	Fiducial :	Fiducial:Fiducial_1.5mm_Mask3mm
7	H1 -	Hole_2mm :	MountingHole:MountingHole_2mm
8	H2 -	Hole_2mm :	MountingHole:MountingHole_2mm
9	J1 -	Micro_USB_B :	Connector_USB:USB_Micro-B_Molex-105017-0001
10	J2 -	Conn_01x04 :	Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x04_P2.54mm_Vert
11	R1 -	330 :	Resistor_SMD:R_1206_3216Metric
12	R2 -	150 :	Resistor_SMD:R_1206_3216Metric
13	U1 -	AMS1117-3V3 :	Package_TO_SOT_SMD:SOT-223-3_TabPin2

Slika 7.23. Konačni popis odabranih otisaka za shemu sa slike 6.34.

7.5. DIZAJN PCB-A S KICAD-OM

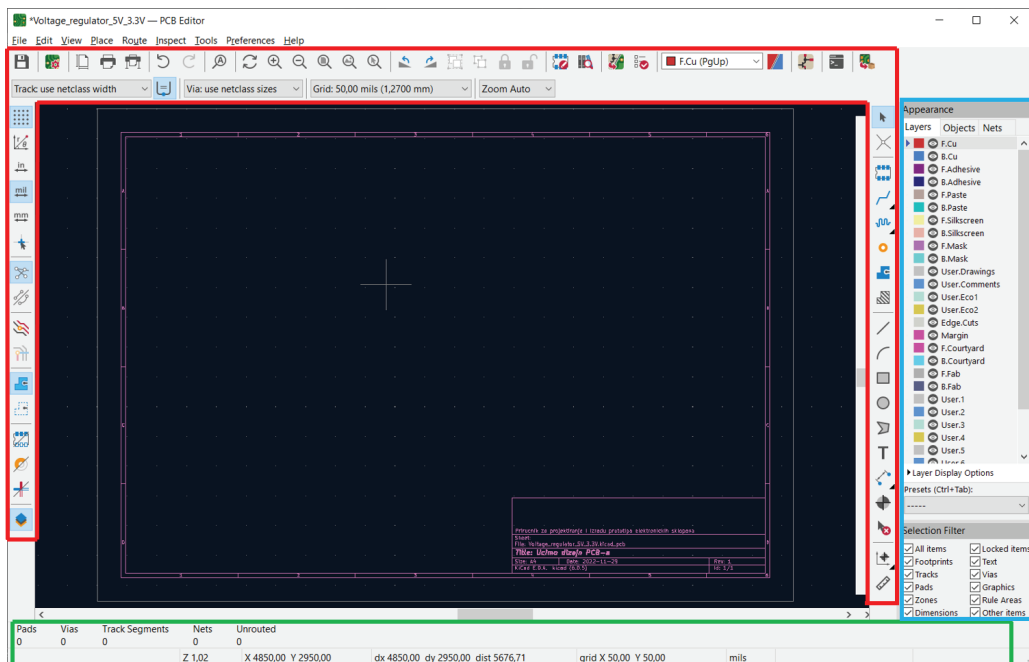
Nakon što su dodijeljeni svi otisci, potrebno je pokrenuti alat za dizajn PCB-a. Ako se trenutno nalazite u prozoru za crtanje shema, tada je potrebno kliknuti na ikonu  lociranu na gornjoj alatnoj traci koja će otvoriti program za uređivanje (dizajn) PCB-a (*eng. layout*). Isto je moguće napraviti i klikom na *PCB Editor* ikonu u početnom prozoru (v. sliku 6.1.)

7.5.1. PROGRAM ZA UREĐIVANJE PCB-A (*ENG. PCB EDITOR*)

Početni prozor KiCAD programa za dizajn PCB-a sličan je početnom prozoru KiCAD programa za uređivanje shema. Na slici 7.24. vidljivo je da se prozor sastoji od lista za crtanje (za razliku od *Schematic Editor*a, pozadina lista je crne boje) samog PCB-a, koji se nalazi u sredini. Sa donje strane (označeno zelenim pravokutnikom) nalazi se statusna traka koja prikazuje informacije o dimenzijama, lokaciji pokazivača, informacije o odabranom otisku i sl. Crveni pravokutnik označava alatne trake (lijevu, gornju i desnu), a plavi pravokutnik označava upravitelja prikaza PCB-a (*eng Appearance Manager*).

Lijevi dio alatne trake *PCB Editor*a ima jednake alate kao i KiCAD *Schematic Editor*. Odabir mjernih jedinica, vrsta pokazivača, veličina grida i sl. Pored navedenih alata, postoje i alati za upravljanje prikazom PCB dizajna. Alat za

prikaz nenacranih vodiča (*eng. ratsnest* ili *eng. air wires*), ikona , uključuje/isključuje prikaz linija koje predstavljaju vezu između žicama nespojenih nožica (padova) komponenti. Ikona  boja unutrašnjost poligona bakra, dok ikona  uključuje prikaz samo kontura poligona. Slično izvodi i ikona , ali za padove komponenti.

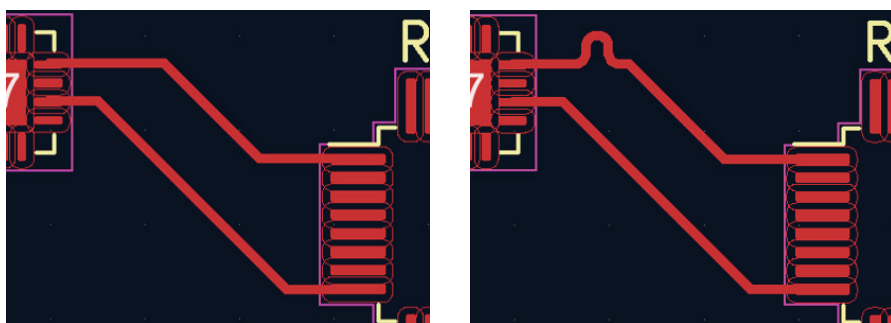


Slika 7.24. Početni prozor KiCAD programa za dizajn PCB-a (*eng. PCB Editor*).

Gornja alatna traka sastoji se od dva dijela: donjeg i gornjeg dijela. Donji dio služi za upravljanje odabirom širine vodiča (*eng. track*), promjera via-a, dimenzije grida te odabir uvećanja prikaza lista. Gornji dio sadrži ikone alata za uvećanje i smanjivanje prikaza lista   , rotiranje otiska, osvježavanje lista , izmjenu postavke ploče i pravila dizajna PCB-a , izradu proizvodnih datoteka , ažuriranje i usklađivanje komponenti sa shemom , provjeru pravila dizajna , odabir trenutnog sloja  **F.Cu (PgUp)**, spremanje dokumenta  (kratica na tipkovnici *Ctrl+S*) i sl.

Desna alatna traka sastoji se od alata za dizajn (crtanje) samog PCB-a po slojevima. Ikona  otvara prozor za pretraživanje i dodavanje otisaka komponenti (kratica na tipkovnici *A*). Preporuka je da se otisci uvijek dodaju sinkronizirano sa simbolima na shemi iako postoje iznimke. Za svaki otisak mora postojati i simbol na shemi i obratno. Dakle, ako je potrebno dodati otisak koji ne postoji na shemi isti je prvo potrebno dodati kao simbol na shemi te onda ažurirati dizajn

PCB-a. Ikona ✕ isključuje/uključuje ratsnest prikaz za odabrane otiske. Ikona ↗ ili kratica na tipkovnici *X* uključuje alat za crtanje vodiča (*eng. Route Tracks*), a ikona ○ uključuje alat za crtanje via-a. Alat za postavljanje željene dužine vodiča  na postojeći vodič dodaje zavojiti dio koji produžava vodič do željene dužine. Koristi se kada želimo imati više vodiča iste dužine. Primjer je prikazan na slici 7.25. gdje na slici 7.25.a oba vodiča nemaju jednaku dužinu, pomoću tune alata dodaje se koliko je potrebno zavoja da se dužine izjednače, kako je prikazano na slici 7.25.b. Alat  dodaje poligon s odabranim parametrima koji će se popuniti s bakrom, dok alat  dodaje poligon s odabranim parametrima koji se neće popunjavati s bakrom. Slijede alati za crtanje grafičkih objekata (linija, lukova, pravokutnika i sl.). Alat  služi za crtanje dimenzija po listu. Ako se na ikoni alata u donjem desnom kutu nalazi crni trokut, isti ima dodatne mogućnosti koje se otvaraju klikom i držanjem miša. Dodatne mogućnosti za alat za dimenzioniranje su , , tj. ukupno su dostupna 4 alata za crtanje dimenzija. Zadnji alat, koji ćemo spomenuti, je alat za mjerenje duljine ikona  s kojim jednostavno možete izmjeriti razmak između dviju točaka na listu.

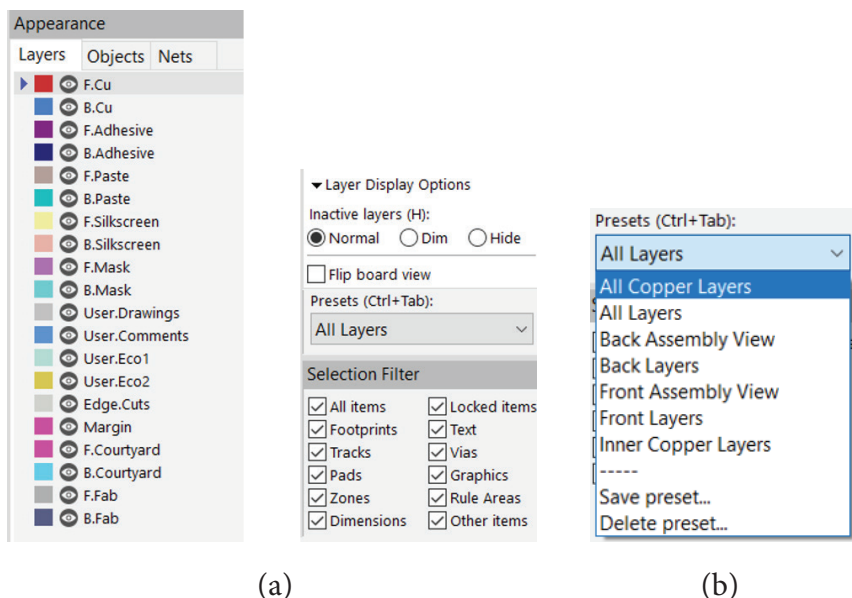


Slika 7.25. Primjer dva vodiča različite duljine (a), izjednačene duljine upotrebom *Tune* alata (b).

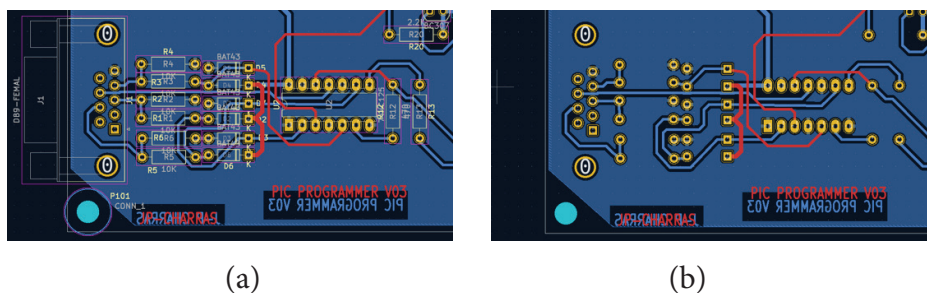
Na slici 7.26. prikazan je upravitelj prikaza PCB-a (*eng. Appearance Manager*). S upraviteljem prikaza moguće je mijenjati što će biti vidljivo od dijelova PCB-a na listu za crtanje. Upravitelj prikazuje sve moguće slojeve PCB-a, objekte i vodiče s čijim je prikazom moguće manipulirati. Moguće je uključiti ili isključiti prikaz pojedinih slojeva klikom na ikonu oka , moguće je birati između spremljenih postavki prikaza (*eng. Presets*), kako je prikazano na slici 7.26.b, moguće je odabrati da se prikazuju samo slojevi s bakrom (*eng. All Copper Layers*) što bi za primjer sa slike 7.26.a isključilo prikaz svih slojeva osim *F.Cu* i *B.Cu*. Također je moguće spremiti i svoje postavke pregleda sa *Save present*. Na slici 7.27.a prikazan je primjer dizajna PCB-a sa svim prikazanim slojevima (PIC Programmer demo projekt KiCAD 6.0) dok je na slici 7.27.b prikazan primjer sa prikazom samo slojeva s bakrom. Vidljivo je da na slici 7.27.b

nema obrisa komponenti te teksta u prikazu PCB-a. *Selection Filter* omogućava odabir elemenata PCB-a koji će biti odabrani prilikom višestrukog odabira (klikni i povuci) s  alatom. Ako je, primjerice, odabran (zaklikan) samo *tekst* prilikom višestruke selekcije na PCB-u, bit će odabran samo tekst. Postoje i drugi alati u PCB Editoru koji nisu ovdje navedeni te je preporuka da ih sami istražite i naučite koristiti kroz primjere.

Prije početka dizajna PCB-a, potrebno je odrediti dimenzije lista te svoj-



Slika 7.26. Upravitelj prikaza PCB-a (a), spremljene postavke prikaza (b).



Slika 7.26. Upravitelj prikaza PCB-a (a), spremljene postavke prikaza (b).

stva lista klikom na *File → Page Settings*. Otvara se prozor postavki lista (v. slicu 7.28.) gdje je moguće promijeniti standardnu dimenziju lista (A4 veličina), orijentaciju lista te osnovne informacije o listu. Isti prozor moguće je otvoriti desnim klikom miša na informacije o listu (donji desni kut lista) te klikom na

Properties. Možete koristiti postavke kao na slici 7.28. te kao i kod slučaja crtanja sheme krećemo od revizije 1.

Page Settings

Paper

Size: A4 210x297mm

Orientation: Landscape

Custom paper size:

Height: 11000 mils

Width: 17000 mils

Preview

Drawing Sheet

File:

Title Block

Issue Date: 2022-11-29 <<< 29.11.2022.

Revision: 1

Title: Ucimo dizajn PCB-a

Company: Prirucnik za projektiranje i izradu prototipa elektronic

Comment1:

Comment2:

Comment3:

Comment4:

Comment5:

Comment6:

Comment7:

Comment8:

Comment9:

OK Cancel

Slika 7.28: Prozor postavki lista PCB-a.

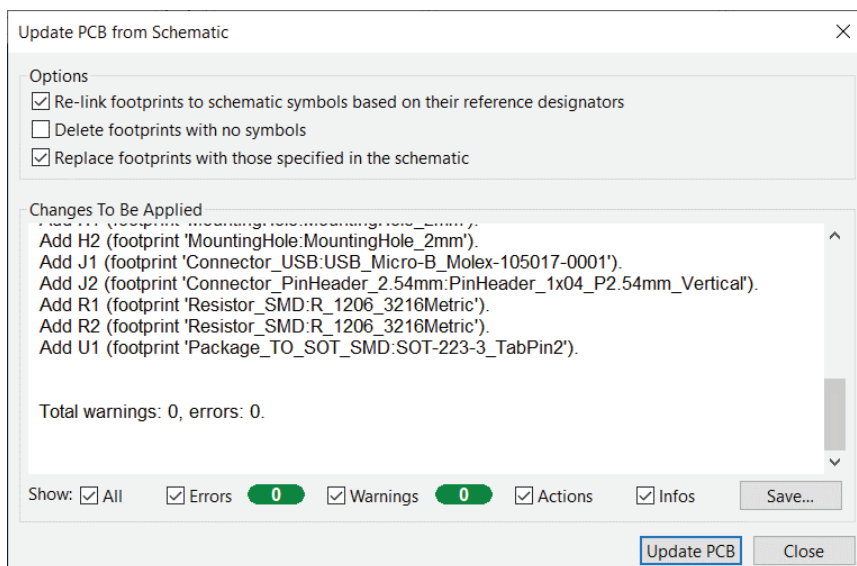
7.5.2. UVOZ OTISAKA SA SCHEME

Sljedeći korak, nakon postavljanja lista PCB-a, je uvoz otisaka sa sheme. U pravilu preporuka je uvijek prvo napraviti shemu te zatim otiske uvesti u *PCB Editor*. Također, moguće je dizajnirati PCB bez sheme i tada se direktno dodaju otisci u PCB Editoru, ali takva praksa se ne preporučuje.

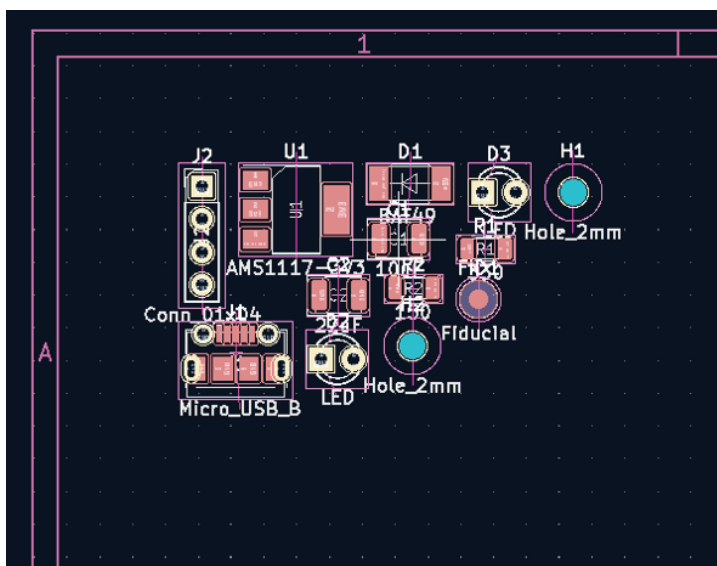
Klikom na ikonu , na gornjoj alatnoj traci, otvara se prozor alata za ažuriranje i usklađivanje komponenti sa shemom prikazan na slici 7.29. Alat ima nekoliko opcija te daje informacije o uvezenim otiscima komponenti. Na slici 7.29. odabrane su opcije za ponovno povezivanje otisaka sa simbolima na shemi preko oznaka simbola te opcija usklađivanja otisaka sa odabranim otiscima u shemi. Također je vidljivo da ažuriranje otisaka neće proizvesti niti jedno upozorenje ili grešku. Zatim je potrebno kliknuti na gumb *Update PCB*. Ako tijekom izrade prototipa dođe do promjene sheme uređaja, prvo je potrebno promijeniti shemu i

otiske komponenti u *Schematic Editoru* i ponoviti postupak ažuriranja i usklađivanja komponenti u *PCB Editoru*.

Alat izvede postupak ažuriranja i usklađivanja komponenti sa shemom te ispisuje informacije o postupku. Potrebno je kliknuti na gumb *Close*, koji će nas vratiti nazad na *PCB Editor*. Za pokazivač miša sada su zalijepljeni svi otisci

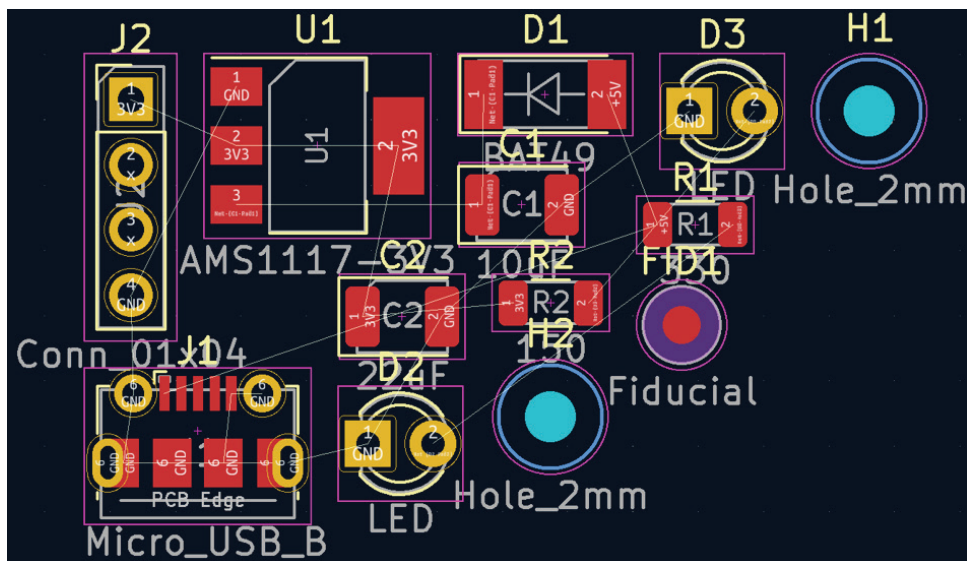


Slika 7.29: Prozor alata za ažuriranje i usklađivanje komponenti sa shemom.

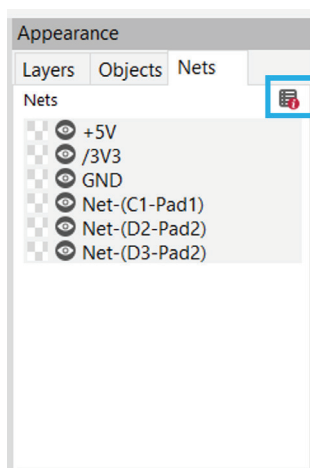


Slika 7.30: Uvezeni otisci sa sheme zalijepljeni za kursor.

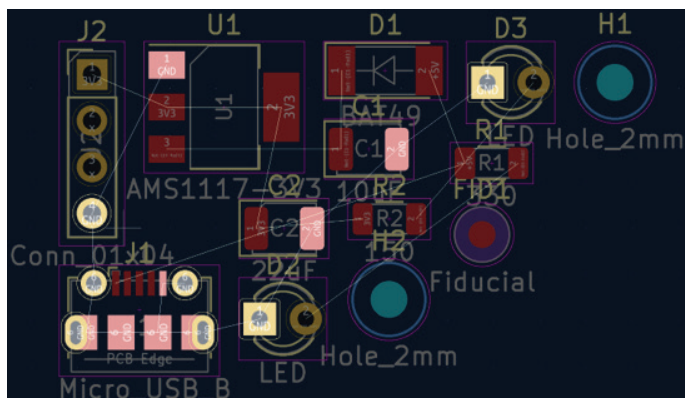
komponenti (v. sliku 7.30.) te klikom na odabrano mjesto na shemi postaviti ćete sve komponente. Postavljanjem komponenti na list dijelovi komponenti mijenjaju boje s obzirom na sloj kojem pripadaju (v. sliku 7.31. gdje su prikazani svi slojevi PCB-a). Sve komponente su trenutno postavljene na prednji (gornji) sloj, što najčešće i je slučaj. Rijetko se tijekom dizajna PCB-a komponente postavljaju na gornji i donji sloj, tj. preporuka je, ako je moguće, da se komponente postavljaju



Slika 7.31. Postavljeni otisci na list PCB Editora sa prikazanim svim slojevima.



Slika 7.32. Nets tab upravitelja prikaza nakon uvezenih otisaka.



Slika 7.33. Otisci s istaknutim GND netom.

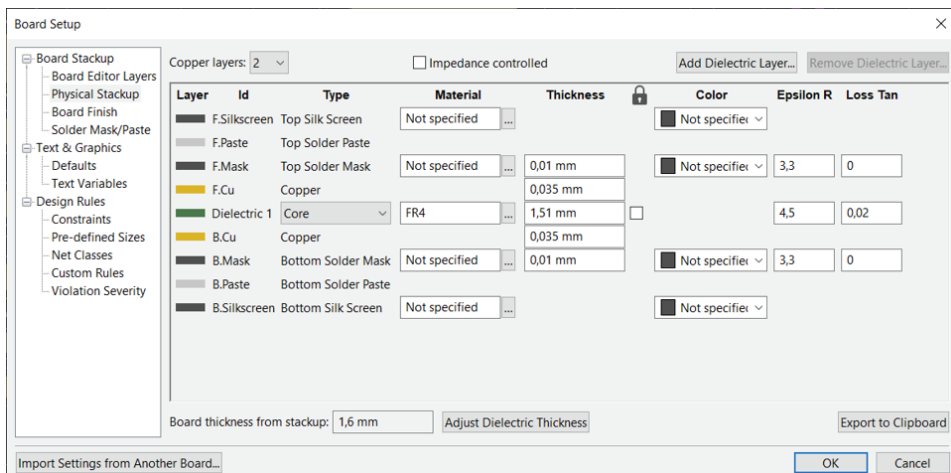
samo na gornji sloj PCB-a. Također, na slici 7.31. vidljiv je ratsnest (bijele tanke linije) te je vidljivo da su pojedine nožice i padovi označeni nazivima koji odgovaraju nazivima vodiča na shemi, npr. 3V3, GND, +5 V i sl. Na statusnoj traci prikazane su osnovne informacije o uvezenim otiscima, kao što su broj padova, via-a, nespojenih vodiča i sl.

S uvozom otisaka došlo je i do promjena u upravitelju prikaza (*eng. Appearance Manager*). Sada je popunjena kartica *Nets* s popisom naziva vodiča iz sheme sa slike 6.34. **Potrebno je naglasiti razliku između Track i Net. Track predstavlja vodič između dvije točke (dva pada, dvije nožice i sl.), a Net predstavlja naziv vodiča koji može spajati više točaka, kao npr. GND, +5 V i sl.** Na slici 7.32. prikazana je *Nets* kartica za uvezene otiske. Klikom na ikonu oka moguće je isključiti prikazivanje pojedinog neta, ali također je moguće i istaknuti (*eng. Highlight*) pojedini net desnim klikom miša na naziv neta i odabirom *Highlight*. Na slici 7.33. prikazan je primjer naglašavanja neta GND gdje je vidljivo da su istaknuti (svjetlijih boja) padovi i ratsnest samo za GND net. Ova funkcionalnost je korisna kada se PCB sastoji od većeg broja netova te je potrebno pregledati ili pronaći pojedini net. Klikom na ikonu , označenu plavim pravokutnikom na slici 7.32., otvara se tablični prikaz net-ova s mogućnosti pretraživanja. Ovo je korisno kada dizajn sadrži velik broj netova te je jednostavnije pretražiti po nazivu. Poništavanje highlighta izvodi se tipkom na tipkovnici ~ (tilda, *AltGr+1*).

7.5.3. SLOJEVI PCB-A

Koje sve slojeve PCB sadrži ovisi o dizajnu PCB-a, tj. o postavkama odabranog PCB-a u KiCAD-u. PCB može imati više ili manje slojeva, ovisno o broju vodljivih slojeva. Primjerice, može imati 2, 4, 6, 8, 10, itd. vodljivih slojeva. Slojevi PCB-a postavljaju se u *File → Board Setup* ili klikom na ikonu  na gornjoj alatnoj traci. Otvara se prozor kao na slici 7.34. u kojem je moguće mijenjati postavke fizičkih slojeva PCB-a, slojeve koji se prikazuju u PCB Editoru, itd.

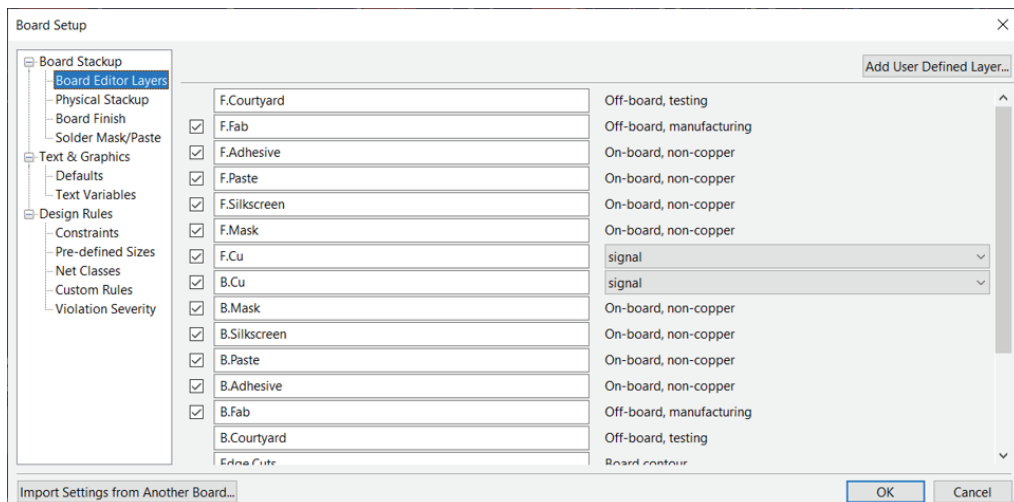
Prvi korak je postaviti svojstva fizičkog (stvarnog) PCB-a, onog koji će se izraditi. Za jednostavne primjere koje ćemo raditi u ovom priručniku, kao što je proDIGY, potrebno je postaviti samo broj slojeva bakra na 2 i odabrati FR4 za izolator (dielektrik, baza PCB-a) između slojeva. Sve ostale postavke su standardne te je konačna debljina PCB-a 1,6 mm. Možete dodavati dielektrične slojeve te mijenjati dielektrične konstante, ali za ovaj priručnik koristit ćemo standardne (*eng. Default*) vrijednosti. Također, pokušajte promijeniti broj slojeva te analizirati promjene slojeva u otvorenom prozoru. U *Board Finish* svojstvima odabirete opcije kao što su odabir završnog sloja bakra (kositrenje, niklovanje i sl.), metalizacija ruba (*eng. Plated board edge*), zarezivanje padova na rubovima PCB-a



Slika 7.34. Prozor za postavljanje svojstava PCB-a i pravila dizajna.

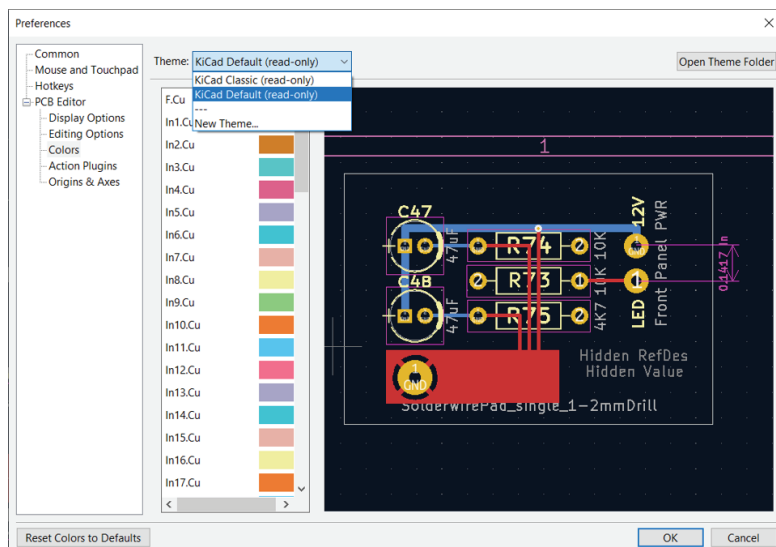
(eng. *Castellated pads*) i sl. U *Solder Mask/Paste* opcijama ostavljate standardne vrijednosti, osim ako proizvođač PCB-a nije specifično odredio posebne specifikacije.

Koji će sve slojevi biti vidljivi u upravitelju prikaza, tj. s kojim slojevima će biti moguće raditi u PCB Editoru, bira se u *Board Editor Layers* dijelu postavki. Kako je prikazano na slici 7.35., u prozoru su navedeni svi slojevi PCB-a te je moguće promijeniti naziv sloja i odabrati hoće li se navedeni sloj prikazivati u PCB Editoru. Za vodljive slojeve moguće je odabrati je li sloj za vodiče (eng. *Signal*) ili je za napajanje (eng. *Power plane*) i sl.

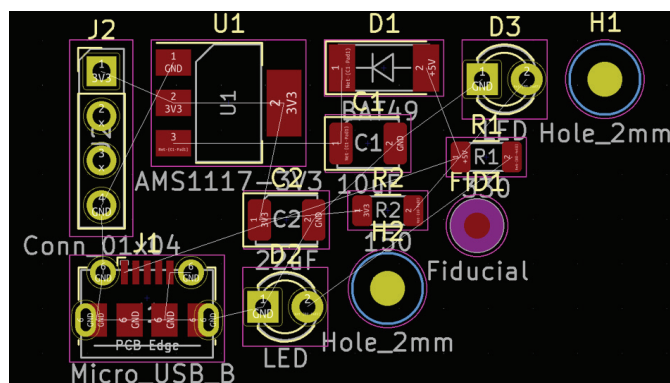


Slika 7.35. Prozor za postavljanje svojstava PCB-a – slojevi u PCB Editoru.

Svakom sloju u PCB Editoru dodijeljena je odgovarajuća boja i kada se navedeni sloj koristi svi elementi u tom sloju su iste, odgovarajuće boje. Boje je moguće mijenjati u. *Preferences* prozoru koji se otvara s padajućim izbornikom *Preferences* → *Preference*, a isti je prikazan na slici 7.36. i najjednostavniji je način za izmjenu boja. U KiCAD-u instalirane su dvije teme naziva *KiCAD Classic* i *KiCAD Default*. Prilikom instalacije odabrana je *KiCAD Default* tema te je ista korištena na svim dosad prikazanim slikama PCB Editora. Na slici 7.37. prikazan je isti primjer uvezenih otisaka kao na slici 7.31., ali s odabranom *KiCAD Classic* temom. Svaki korisnik će imati svoje preference za boje te će, shodno tome, odabrati temu ili napraviti svoju novu temu.



Slika 7.36. Prozor za postavljanje svojstava PCB-a – slojevi u PCB Editoru.



Slika 7.37. Postavljeni otisci na list PCB Editora s odabranom KiCAD Classic temom boja.

Svaki sloj u PCB Editoru ima svoju funkciju i značenje. U nastavku će biti objašnjeni pojedini standardni slojevi koji se koriste prilikom dizajniranja PCB-a.

Slojevi koji imaju i gornju (prednju) i donju (stražnju) stranu označeni su s *F* (skraćenica od *eng. Front*) i *B* (skraćenica od *eng. Back*).

Vodljivi bakreni slojevi prednje i stražnje strane označeni su s *F.Cu* i *B.Cu* (skraćeno od *lat. Cuprum – bakar*). Na ove slojeve se postavljaju komponente (otisci) iako, kako je već objašnjeno, najčešće samo na sloj *F.Cu*. Ako postoji više od dva vodljiva sloja, ostali su slojevi skriveni, tj. nalaze se unutar baze PCB-a i njihove oznake su *In1.Cu*, *In2.Cu*, itd. Na unutrašnjim slojevima mogu se samo crtati vodiči i poligoni koji su s ostalim slojevima povezani s via-ma.

Tekst na samom PCB-u nalazi se na *F.Silk* i *B.Silk* slojevima. *Silk* je skraćeno od *Silkscreen* – sitotisak, jer se najčešće u postupku proizvodnje PCB-a tekst izrađuje tehnikom sitotiska. Tekst najčešće uključuje oznake komponenti, oznake polariteta napajanja, rub tijela komponente, naziv sklopa i sl. Najmanja veličina fonta teksta ovisi o samom proizvođaču te je potrebno proučiti upute proizvođača prilikom definiranja veličine teksta. Preporuka je ne stavljati tekst ispod SMT komponenti zbog mogućeg utjecaja na postupak lemljenja istih. Neke preporuke vezane za specifikacije teksta možete pogledati na <https://klc.kicad.org/footprint/f5/f5.1/>.

F.Mask i *B.Mask* sloj služe za definiranje lemne maske ili *stop-laka* koji onemogućava nastanak neželjenih spojeva na pločici tijekom lemljenja. KiCAD sam određuje lemnu masku na temelju dizajniranog PCB-a i dodatnih postavki u *Board Setup* prozoru. Od korisnika nisu potrebne nikakve dodatne akcije.

F.Paste i *B.Paste* sloj definiraju područje koje će biti prekriveno tinol pastom prilikom postupka lemljenja SMD komponenti reflow postupkom. Ovaj sloj koriste proizvođači za izradu stencila.

Edge.cuts sloj služi za dizajn konačnog oblika PCB-a. Poligoni na ovom sloju moraju biti zatvoreni i bez prekida. Na temelju poligona u ovom sloju, proizvođač PCB-a reže konačni PCB. PCB ne moraju uvijek biti pravokutnog oblika, kao što je prikazano na slici 2.6.

F.Adhes i *B.Adhes* slojevi najčešće se ne koriste te ih je moguće i isključiti u prikazu. Potrebni su ako se, primjerice, koristi reflow postupak lemljenja te se komponente nalaze na oba vanjska sloja bakra *F.Cu* i *B.Cu*. U tom slučaju je ponekad potrebno komponente na suprotnoj strani zalijepiti ljepilom, a ovim se slojem definira kamo se ljepilo postavlja.

F.CrtYd i *B.CrtYd* slojevi koriste se za definiranje „ograda“ oko komponente u čijem prostoru ne smije biti smještena niti jedna druga komponenta. Veličina „ograda“ može ovisiti o mogućnostima proizvođača PCB-a i o samoj tehnici lemljenja. Ako komponente ručno lemite, preporuka je da „ograda“ bude veća, tj. potrebno je osigurati više prostora između komponenti. Neke preporuke prilikom definiranja dimenzije ograde možete pogledati na <https://klc.kicad.org/footprint/>

[f5/f5.3/](#).

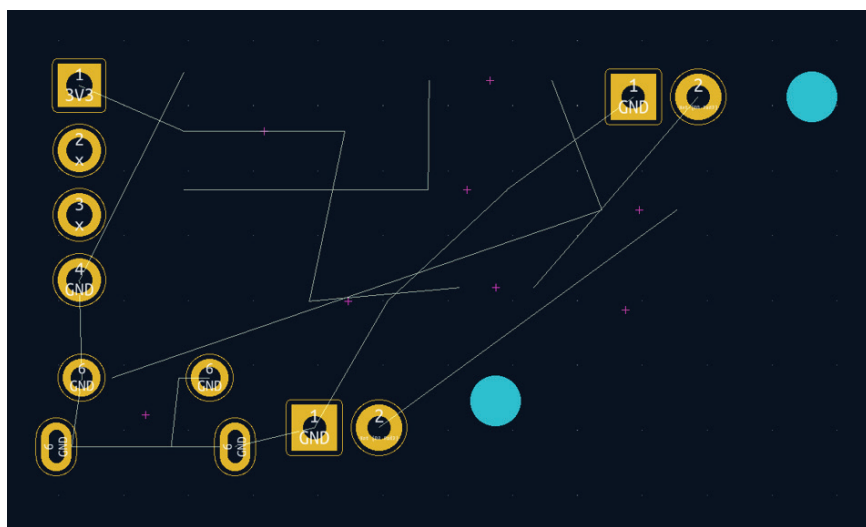
F.Fab i *B.Fab* slojevi koriste se za dokumentaciju te za komunikaciju određenih specifikacija s proizvođačima PCB-a. Najčešće sadrže naziv komponente, vrijednost, ocrtane rubove komponente i sl. Za gusto raspoređene SMT komponente nerijetko nema mjesta za oznake komponenti u odgovarajućem *Silk* sloju te se onda nalaze u odgovarajućem *Fab* sloju. Više o *Fab* sloju možete pronaći na <https://kicad.org/footprint/f5/f5.2/>.

Dwgs.User sloj koristi se za crteže dizajnera, a *Cmts.User* sloj koristi se za komentare. Ova dva sloja najčešće sadrže dodatne upute o otisku koje se moraju primjenjivati za navedeni otisak.

Eco1 i *Eco2* slojevi nemaju određenu svrhu od strane KiCAD-a te se ne koriste pri izradi otisaka. Korisnici ih mogu koristiti za svoje potrebe prilikom dizajna PCB-a.

Margin sloj definira marginu između ruba odrezanog PCB-a i samog funkcionalnog PCB-a.

Budući da ste sada upoznati sa svim slojevima u KiCAD-u pomoću upravitelja prikaza za primjer uvezenih otisaka sa slike 7.31., analizirajte što je nacrtano u pojedinim slojevima. Prvo isključite vidljivost svih slojeva (npr. pod *Presets* odaberite *Inner Copper Layers* i, budući da nema niti jednog unutarnjeg vodljivog sloja, svi ostali slojevi će biti isključeni) Nakon toga uključite vidljivost jednog sloja. Probajte uključiti vidljivost samo *B.Cu* sloja, rezultat treba biti kao na slici 7.38. Iako u *B.Cu* sloju nema niti jedne komponente, nožice TH komponenti prolaze i kroz gornji i donji vodljivi sloj te se leme u donjem sloju i zato su prikazane i u *B.Cu* sloju. Isto vrijedi i za rupe. Ponovite postupak i za ostale slojeve.



Slika 7.38. Prikaz otisaka sa slike 7.31 sa samo vidljivim *B.Cu* slojem.

7.5.4. PRAVILA DIZAJNA (ENG. DESIGN RULES)

Nakon upoznavanja sa slojevima, prije samog dizajna PCB-a potrebno je definirati pravila dizajna. Sama pravila dizajna ovise o vrsti sklopa koji se razvija. Je li to digitalni sklop, analogni sklop, analogno/digitalni sklop, sklop s visokim frekvencijama, sklop s visokim naponima i sl. Ova tema je opširna te ćemo u ovom priručniku navesti općenite pravila dizajna PCB-a.

Općenita pravila za dizajn PCB-a definirana su standardom IPC 2221. Budući da se teži za dizajnom PCB-a sve manjih dimenzija, potrebno je uzeti u obzir samu veličinu vodiča. Kada su u pitanju male struje, kao što su digitalni sklopovi, nema većih problema u veličini samih vodiča, ali kada su u pitanju vodiči napajanja ponekad su potrebne veće struje, a samim time i vodiči moraju biti većih dimenzija. Mora se također uzeti u obzir da je vodič trodimenzionalan, ima svoju duljinu, širinu i debljinu na PCB-u. Standardna debljina vodiča na PCB-u je 35 μm kako je i prikazano na postavkama ploče na slici 7.34. Debljinu vodiča moguće je mijenjati, ali to izaziva dodatne troškove prilikom proizvodnje tako da se za veće struje najčešće mijenja samo širina vodiča.

Opće pravilo prilikom dizajna PCB-a je dimenzionirati vodiče da budu što kraći. Što je vodič kraći njegov otpor je manji i obrnuto. Slično vrijedi i za širinu vodiča, što je vodič širi otpor vodiča je manji. Za vodič širine 1 mm i dužine 1 cm na standardnom PCB-u i na standardnoj temperaturi od 25 °C otpor je 5 Ω . S povećanjem temperature dolazi i do povećanja otpora. Također, s povećanjem struje kroz vodič raste temperatura samog vodiča.

Postoje standardne formule definirane od strane IPC 2221 koje se koriste za izračun, a u KiCAD-u za izračun može se koristiti *Calculator Tools* alat. Otvara se u glavnom KiCAD prozoru klikom na odgovarajuću ikonu (v. sliku 6.1.). U prozoru alata potrebno je otvoriti karticu. *Track Width*. AMS1117-3.3V, naponski regulator koji koristimo u našem primjeru, može isporučiti maksimalnu struju od 1 A. Naponske vodiče na PCB-u potrebno je dimenzionirati za navedenu maksimalnu struju. Pretpostavka je da će duljina vodiča biti oko 30 mm (možete pretpostaviti na temelju dimenzija PCB-a) te ne želimo da temperatura vodiča naraste više od 5 °C u odnosu na temperaturu okoline. Koristimo standardni dvoslojni PCB s debljinom bakra od 35 μm tj. 1 oz/ft². Na slici 7.39. prikazan je primjer izračuna potrebne širine vodiča. Na slici su naznačene vrijednosti koje je potrebno unijeti, objašnjen je postupak izračuna te je rezultat prikazan za vanjske i unutarnje slojeve. Za navedene postavke potrebna širina vodiča je 18 mils. Budući da u našem primjeru sklopa nije riječ o sklopu visoke gustoće, može se odabrati širina vodiča od 20 mils. Kod digitalnih sustava struja izlaza i ulaza najčešće ne prelazi 10 mA. Izračunajte minimalnu širinu vodiča za navedenu struju. Također, postoji minimalna širina vodiča ispod koje proizvođač PCB-a nije u mogućnosti proizvesti PCB. Tako je za JLCPCB minimalna širina vodiča 5 mils za standar-

dni dvoslojni PCB (v. <https://jlcpcb.com/capabilities/Capabilities>). Najčešće se u praksi ne koriste širine vodiča manje od 8 mils.

Razmak između vodiča (*eng. Clearance*) općenito ovisi o naponu proboja, kapacitetu između vodiča i premazima vodiča. *IPC 2221* definira najmanje dimenzije, ali najčešće su u praksi vrijednosti veće od zadanih minimalnih. Također, u određenim primjenama (visoke frekvencije) razmak između pojedinih vodiča je potrebno povećati kako bi se smanjio kapacitet između vodiča. Za ovu problematiku potrebno je pregledati dodatnu stručnu literaturu na ovu temu. *Calculator Tools* alat sadrži karticu *Electrical Spacing* u kojem su navedeni minimalni razmaci po *IPC 2221* standardu (v. sliku 7.40.). Na slici 7.40. vidljivo je da je za digitalne sustave kod kojih su naponi ispod 15 V (najčešće 5 V ili niže) minimalni razmak B2=0,1 mm. Najčešće se ovaj razmak ne koristi (tj. minimalni razmaci se koriste kada ih nije moguće izbjeći u dizajnu), nego je preporuka uvijek koristiti veći razmak, npr. za gusto raspoređene SMT komponente 8 mils ≈ 0,2 mm. Pored *Clearance*, postoji i izraz. *Creepage*. *Clearance* predstavlja zračnu udaljenost između vodiča (najkraći put) dok *Creepage* predstavlja udaljenost uz površinu PCB-a. Ova mjera koristi se kod sklopova s visokim naponima iznad 30 V AC ili 60 V DC.

Vrijednost struje (Current (I): 1.00 A)

Dozvoljeni rast temp. vodiča (Temperature rise (ΔT): 5.0 °C)

Izračunata širina vodiča (Trace width (W): 18,0111 mil)

Očekivana duljina vodiča (Conductor length: 30 mm)

Debljina bakra sloja PCB-a (Trace thickness (H): 35 μm)

External Layer Traces

Trace width (W):	18,0111	mil
Trace thickness (H):	35	μm
Cross-section area:	2,3185	mil ²
Resistance:	0,322261	Ω
Voltage drop:	0,322261	V
Power loss:	0,322261	W

Internal Layer Traces

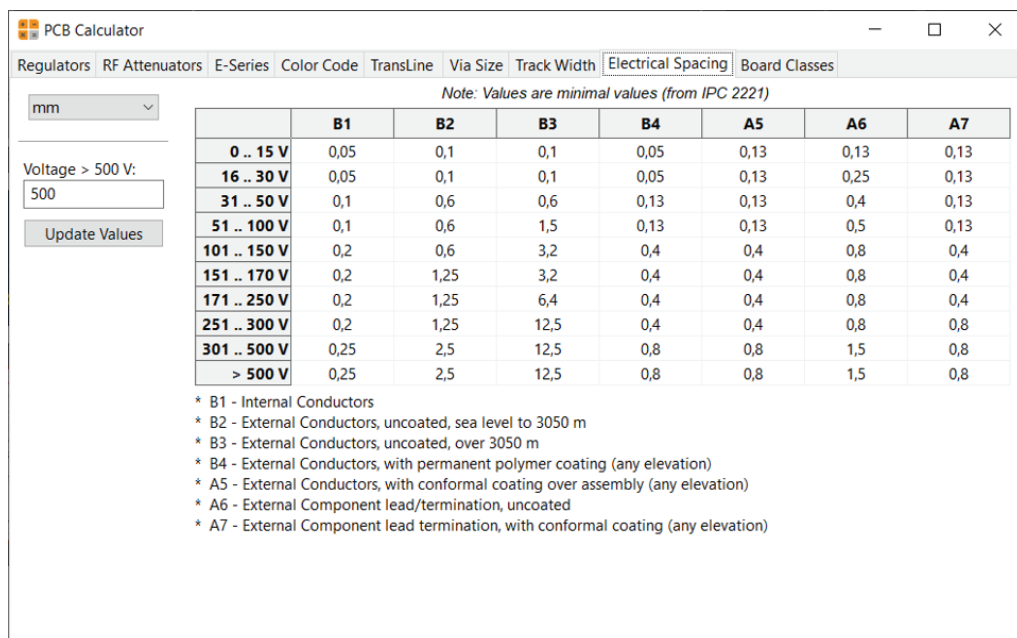
Trace width (W):	1,21087	mm
Trace thickness (H):	1	oz/ft ²
Cross-section area:	0,041654	mm ²
Resistance:	0,0123878	Ω
Voltage drop:	0,0123878	V
Power loss:	0,0123878	W

Reset to Defaults

Slika 7.39. Izračun širine vodiča na PCB-u s *KiCAD Calculator Tools* alatom za AMS1117-3.3V.

Via-e su metalizirane rupe koje povezuju dva ili više slojeva na PCB-u. Kako je već pisano u poglavlju 7.1., postoje *blind via-e*, *burried via-a* i normalne (*eng. thru*) *via-e*. *Via-u* pokriva sloj maske te ih nije moguće lemiti. Kao i vodiči na PCB-u, *via-e* također moraju biti dimenzionirane na način da propuštaju odgovarajuću struju. Dimenzija *via-e* je određena promjerom rupe te promjerom prstena *via-e*. Najmanje dimenzije promjera su definirane od strane proizvođača PCB-a, kao što je primjerice na <https://jlcpcb.com/capabilities/Capabilities> navedeno da je minimalni promjer rupe 0,2 mm dok je minimalni ukupni promjer rupe i prstena 0,4 mm. *Calculator Tools* alat sadrži karticu *Via Size* gdje je moguće, na temelju postavljenih dimenzija *via-e*, dobiti povratnu informaciju o električnim karakteristikama kao što je jakost struje kroz *via-u*. Na slici 7.41. prikazan je primjer izračuna električnih karakteristika za *via-u* čiji je promjer rupe 0,4 mm te ukupni promjer rupe s prstenom (*eng. via pad*) 0,8 mm. Vidljivo je da je procijenjena maksimalna struja oko 3 A što bi zadovoljavalo naš naponski regulator, kod kojeg je maksimalna struja 1 A.

Prilikom crtanja samih vodiča potrebno je izbjegavati oštre kutove. Kod oštih kutova vodiča može doći do refleksije signala ili do generiranja nepoželjnih elektromagnetskih smetnji (ponaša se kao antena). Također, može doći i do problema prilikom izrade PCB-a, posebno kada je u pitanju neki od postupaka



PCB Calculator

Regulators RF Attenuators E-Series Color Code TransLine Via Size Track Width Electrical Spacing Board Classes

Note: Values are minimal values (from IPC 2221)

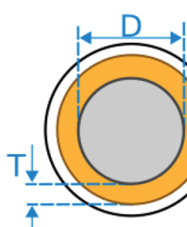
	B1	B2	B3	B4	A5	A6	A7
0 .. 15 V	0,05	0,1	0,1	0,05	0,13	0,13	0,13
16 .. 30 V	0,05	0,1	0,1	0,05	0,13	0,25	0,13
31 .. 50 V	0,1	0,6	0,6	0,13	0,13	0,4	0,13
51 .. 100 V	0,1	0,6	1,5	0,13	0,13	0,5	0,13
101 .. 150 V	0,2	0,6	3,2	0,4	0,4	0,8	0,4
151 .. 170 V	0,2	1,25	3,2	0,4	0,4	0,8	0,4
171 .. 250 V	0,2	1,25	6,4	0,4	0,4	0,8	0,4
251 .. 300 V	0,2	1,25	12,5	0,4	0,4	0,8	0,8
301 .. 500 V	0,25	2,5	12,5	0,8	0,8	1,5	0,8
> 500 V	0,25	2,5	12,5	0,8	0,8	1,5	0,8

* B1 - Internal Conductors
 * B2 - External Conductors, uncoated, sea level to 3050 m
 * B3 - External Conductors, uncoated, over 3050 m
 * B4 - External Conductors, with permanent polymer coating (any elevation)
 * A5 - External Conductors, with conformal coating over assembly (any elevation)
 * A6 - External Component lead/termination, uncoated
 * A7 - External Component lead termination, with conformal coating (any elevation)

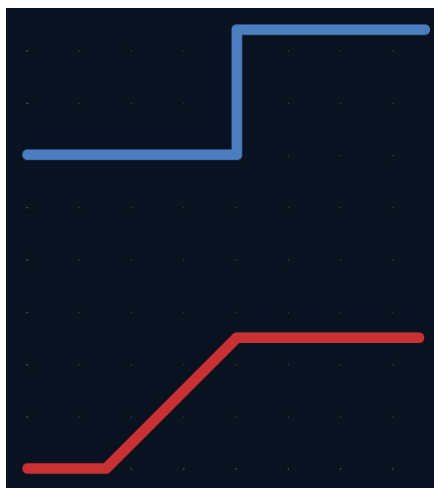
Slika 7.40. Razmak između vodiča u KiCAD Calculator Tools alatu.

jetkanja. Najbolje bi bilo da vodiči prate ravnu liniju, ali budući da navedeno nije moguće, eventualno u najjednostavnijim sklopovima, pravilo je izbjegavati oštre kutove, tj. ograničiti kut na 45° . Također, ako je moguće i na ostalim dijelovima PCB-a, na spojevima vodiča i nožica potrebno je izbjegavati izradu oštih kutova. Na slici 7.42. prikazan je primjer crtanja vodiča pod ostrim kutom (90°)

Attenuators	E-Series	Color Code	TransLine	Via Size	Track Width	Electrical Spacing	Board Classes
hole diameter (D): 0,4 mm plating thickness (T): 0,035 mm Via length: 1,6 mm via pad diameter: 0,8 mm drill hole diameter: 1 mm Z0: 50 Ω Applied current: 1 A Plating resistivity: 1,72e-08 $\Omega \cdot m$ relative permittivity: 4,5 Temperature rise: 10 $^\circ C$ Pulse rise time: 1 ns Results Resistance: 0,0001 Voltage drop: 0,0001 Power loss: 0,0001 Thermal resistance: 83,29 Estimated ampacity: 2,999 Capacitance: 1,598f Rise time degradation: 87,92% Inductance: 1,207nH Reactance: 3,792mΩ							



Slika 7.41. Izračun parametar via-a s KiCAD Calculator Tools alatom.



Slika 7.42. Razmak između vodiča u KiCAD Calculator Tools alatu.

stražnji sloj (plavi *trace*) i pod kutom od 45 ° prednji sloj (crveni *trace*). KiCAD s alatom za crtanje vodiča (kratica X na tipkovnici) pokušava crtati vodiče pod kutom od 45 °. Dostupni su i alati za zaobljenje vodiča (izrada luka), ako ima potrebe za istim.

Uz prethodno objašnjena pravila i preporuke, u nastavku su navedena još neka pravila i preporuke prilikom dizajna PCB-a:

- Prvo postaviti komponente o kojima ovisi konačni izgleda PCB-a i spoj s drugim dijelovima uređaja. Postaviti konektore, rupe, komponente koje trebaju hladnjak i sl.
- Ako jedna komponenta ima puno veći broj nožica u odnosu na sve ostale, nju prvu postaviti na PCB, a zatim preostale komponente oko nje.
- Ako je jedan ili više vodiča postavljeno između nožica neke komponente, razmaci između moraju biti jednako raspoređeni.
- Kod dvoslojnih PCB-ova se vodiči često na jednom sloju crtaju većinom u jednom smjeru, npr. X-os smjer, a na drugom sloju u Y-os smjeru ili obrnuto.
- Širina vodiča za GND treba biti najveća, zatim slijedi širina vodiča napajanja, a najmanja širina treba biti za vodiče signala, tj. $W_{\text{GND}} > W_{+} > W_{\text{SIGNAL}}$, gdje je W širina vodiča.
- Pokušati poredati komponente na način da je komponenta s najvećom potrošnjom najbliža izvoru napajanja, zatim slijedi komponenta s manjom potrošnjom i tako do kraja.
- Ako je moguće, osigurati što kraći vodič za spajanje s uzemljenjem (GND). Preporuka je koristiti poligon za GND, po mogućnosti na jednom sloju, npr. B.Cu sloj predstavlja GND.

Iako je preporuka slijediti navedena pravila vezana za postavljanje komponenti, kada su u pitanju digitalni sklopovi na frekvencijama manjim od 100 MHz ova pravila se ne moraju u potpunosti poštivati i moguće je PCB učiniti vizualno zanimljivim, npr. slika 2.6.

Na temelju navedenih pravila, potrebno je i prije početka crtanja samog PCB-a u postavkama ploče definirati pravila crtanja. Na temelju sheme našeg sklopa znamo da imamo vodiče koji služe za pretvaranje napona s 5 V na 3,3 V s jačinom struje do 1 A te nekoliko vodiča za prikaz napona na LED-icama. Uvozom otisaka sa sheme svi net-ovi su također uvezeni, kako je već objašnjeno i prikazano na slici 7.31.

Prije otvaranja prozora za postavljanje pravila, potrebno je odabrati mjerne jedinice na lijevoj alatnoj traci između mm i mil. Na temelju odabranih jedinica prikazivat će se vrijednosti u prozoru. Klikom na ikonu  na gornjoj alatnoj traci, i odabirom *Net Classes* postavljamo željena ograničenja za klase net-ova. Prva klasa je standardna klasa (*eng. Default*), čije su vrijednosti već definirane kao što je prikazano na slici 7.43. za metričke i imperijalne jedinice. Ovu ćemo

klasu koristiti za crtanje vodiča za svjetlosne indikatore. Budući da naš dizajn nije PCB visoke gustoće, povećat ćemo *clearance* na 0,25 mm $\approx$ 10 mils i *track width* na 0,30 mm = 12 mils. Ostale postavke nećemo mijenjati za *default* klasu. *Clearance* ne može biti veći od 0,25 mm budući da u našem sklopu koristimo USB B *micro* SMD konektor, čiji je razmak između padova 0,25 mm. Kako smo već izračunali na slici 7.39., za naš sklop za maksimalnu struju od 1 A potrebna je minimalna širina vodiča od 18 mils, što ćemo zaokružiti na 20 mils = 0,5 mm. Za potrebe ovih vodiča definirat ćemo novu *net* klasu naziva *Power* klikom na **+** znak u prozoru na slici 7.44. Za navedenu klasu ostavit ćemo iste postavke, osim

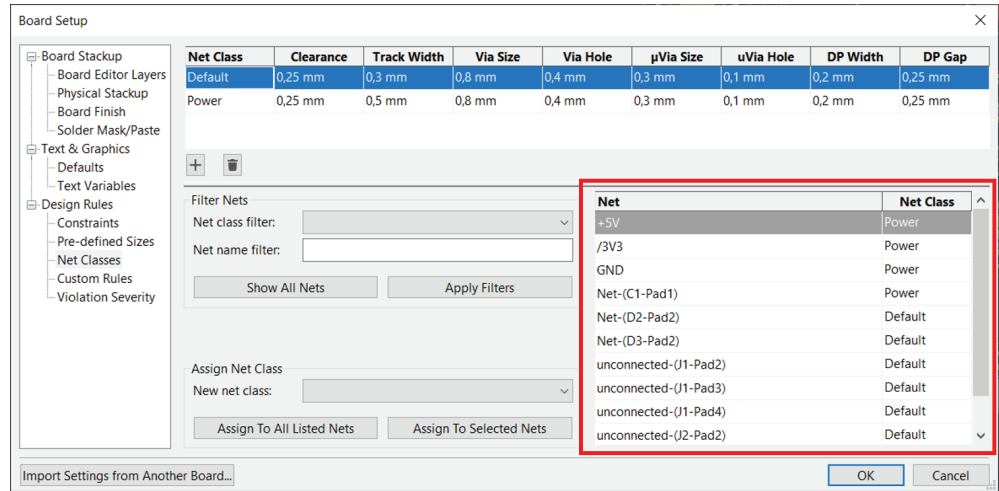
Net Class	Clearance	Track Width	Via Size	Via Hole	μVia Size	uVia Hole	DP Width	DP Gap
Default	0,2 mm	0,25 mm	0,8 mm	0,4 mm	0,3 mm	0,1 mm	0,2 mm	0,25 mm

(a)

Net Class	Clearance	Track Width	Via Size	Via Hole	μVia Size	uVia Hole	DP Width	DP Gap
Default	7,874016 mils	9,84252 mils	31,49606 mils	15,74803 mils	11,81102 mils	3,937008 mils	7,874016 mils	9,84252 mils

(b)

Slika 7.43. Standardne postavke net klase (a) u mm i (b) u mils.



Slika 7.44. Postavke *net* klasa u za naponski regulator s 5 V na 3,3 V (crveni pravokutnik označava listu net-ova u projektu).

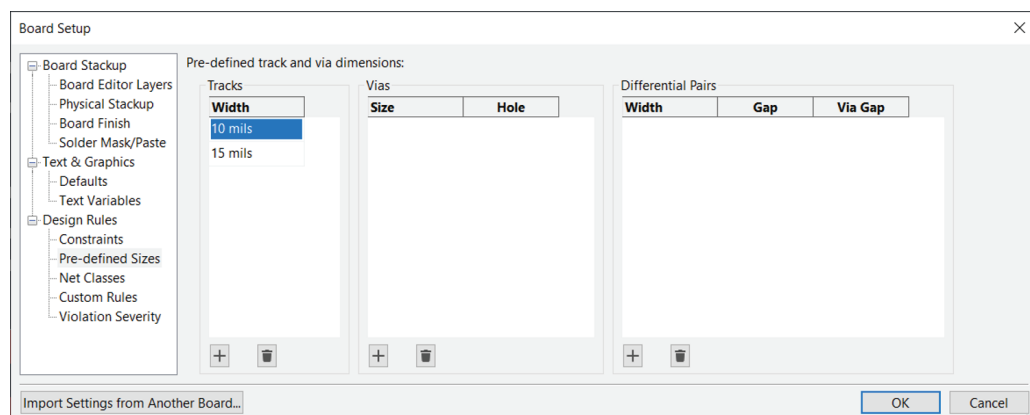
Net Class	Clearance	Track Width	Via Size	Via Hole	μVia Size	uVia Hole	DP Width	DP Gap
Default	9,84252 mils	12 mils	31,49606 mils	15,74803 mils	11,81102 mils	3,937008 mils	7,874016 mils	9,84252 mils
Power	9,84252 mils	20 mils	31,49606 mils	15,74803 mils	11,81102 mils	3,937008 mils	7,874016 mils	9,84252 mils

Slika 7.45. Postavke *net* klasa za naponski regulator s 5 V na 3,3 V u mils.

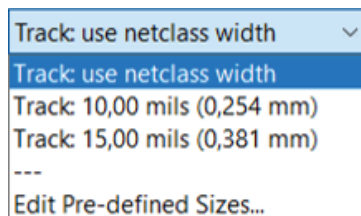
širine vodiča koji ćemo postaviti na 20 mils (v. sliku 7.45.). U donjem desnom dijelu prozora *Net Classes* (označeno crvenim pravokutnikom na slici 7.44.) nalazi se popis svih trenutnih klasa u dizajnu. Nakon definicija *net* klasa, potrebno je za pojedine *net*-ove na popisu odabrati koju klasu želimo koristiti.

Nekada nam određena širina vodiča treba samo za nekoliko vodiča u dizajnu pa ne želimo definirati novu *net* klasu, nego imati mogućnost brzog odabira širine prilikom crtanja vodiča. Navedeno je moguće realizirati u *Pre-defined Sizes* prozoru, kako je prikazano na slici 7.46. Na slici su definirane dodatne dvije širine vodiča (isto je moguće napraviti za *via*-e i diferencijalne parove) koje je moguće odabrati iz *Track* padajuće liste na gornjoj alatnoj traci (početni prozor *PCB Editor*, slika 7.24.) kako je prikazano na slici 7.47. Klikom na odgovarajuću širinu vodiča, novi vodič će biti navedene širine. U suprotnom će biti širine klase koja mu je dodijeljena.

Zadnje postavke koje je potrebno odrediti su u *Constraints* prozoru. *Constraints* predstavljaju ograničenja u dizajnu PCB-a koja se moraju poštivati i koje će KiCAD, uz *net* klase, provjeravati tijekom provjere pravila dizajna s DRC alatom. DRC alat se otvara klikom na ikonu  na gornjoj alatnoj traci. O ovom alatu ćemo više pisati na kraju dizajna PCB-a. Uobičajene postavke ograničenja



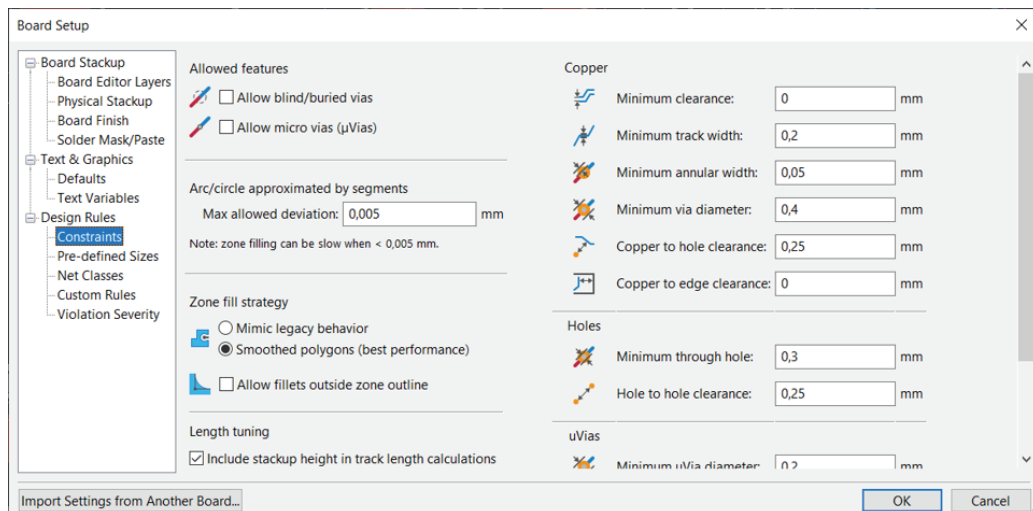
Slika 7.46. Prozor za definiranje dodatnih vodiča, *via*-a i diferencijalnih parova.



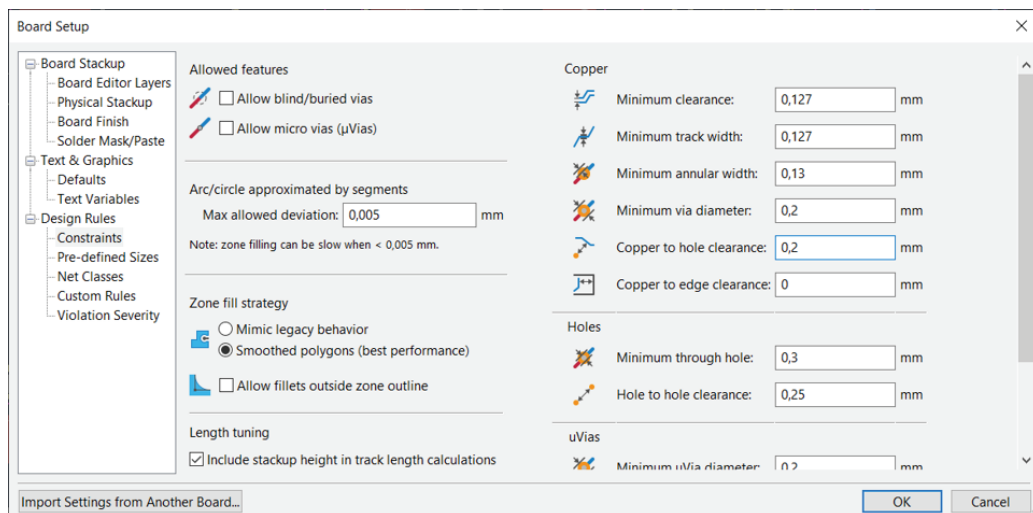
Slika 7.47. Padajuća lista na alatnoj traci *PCB Editor*a s dvije nove širine vodiča.

prikazana su na slici 7.48. Vrijednosti za različita ograničenja u ovom prozoru potrebno je pronaći u dokumentaciji proizvođača PCB-a. Na slici 7.49. prikazana su upisana ograničenja za proizvođača JLCPCB, koja su dokumentirana na stranici <https://jlcpcb.com/capabilities/Capabilities>. Vidljive su razlike u vrijednostima kao što su *clearance*, širina vodiča i sl.

S ovim postavkama je završen postupak postavljanja pravila dizajna te je



Slika 7.48. Prozor *Constraints* za definiranje ograničenja u dizajnu sa standardnim postavkama.



Slika 7.49. Prozor *Constraints* za definiranje ograničenja u dizajnu sa postavkama prema JLCPCB.

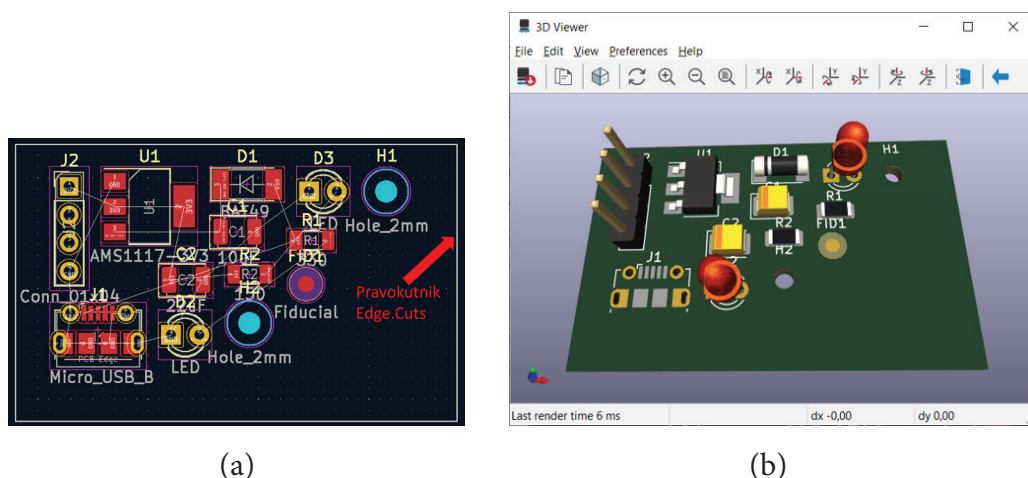
sada moguće početi raditi dizajn PCB-a. Iako se pravila dizajna postavljaju na početku, ponekad je potrebno izmijeniti ova pravila. Može se dogoditi da je zbog nemogućnosti nabave izabrane komponente istu potrebno zamijeniti s drugom čiji su padovi uži od trenutnih postavki širine vodiča. Zbog toga je potrebno dodati novu širinu vodiča s kojom je moguće dizajnirati PCB.

7.5.5. CRTANJE PCB-A (ENG. ROUTING)

Sam postupak dizajna PCB-a sastoji se od definicije rubova PCB-a i rupa za postavljanje, raspoređivanja komponenti (otisaka komponenti) na PCB-u, crtanja vodiča, via-a i poligona između nožica komponenti te označavanja PCB-a tekстом i grafikama.

Za definiranje rubova PCB-a potrebno je znati konačni oblik PCB-a i njegove dimenzije. Za naš ćemo definirati pravokutni oblik sa zaobljenim kutovima dimenzija 40 mm × 25 mm. Za definiranje rubova potrebno je koristiti *Edge.Cuts* sloj. Isti je potrebno odabrati u *Appearance manageru* i, budući da su navedene dimenzije u milimetrima i zaokružene na cijeli broj, postaviti grid na 1 mm na gornjoj alatnoj traci Grid: 1,0000 mm (39,37 mils). Ako želimo samo pravokutni oblik, koristi se alat za crtanje pravokutnika (ikona ). Budući da je zahtjev da kutovi budu zaobljeni, prvo je potrebno nacrtati pravokutnik traženih dimenzija pomoću alata za crtanje linija, ikona .

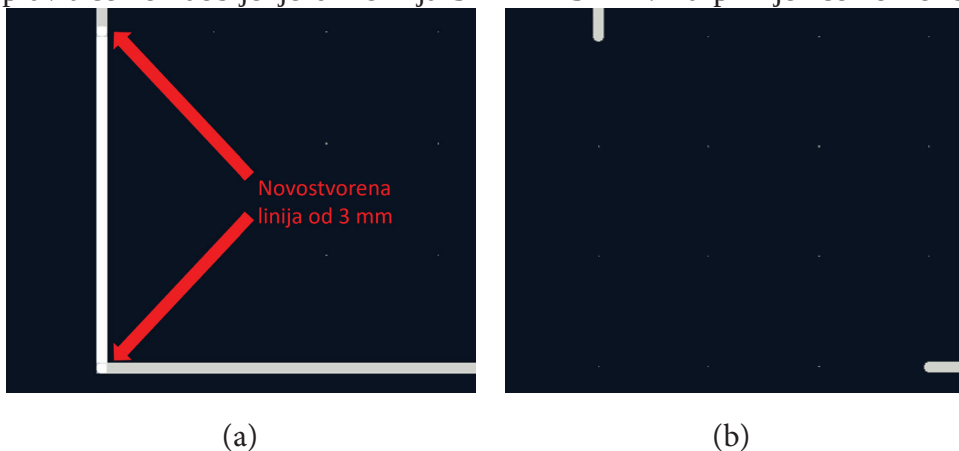
U *Edge.Cuts* sloju, s odabranim alatom za crtanje linija, nacrtati pravokutnik željenih dimenzija. Kako crtate liniju s alatom prikazuje se i sama dužina linije na



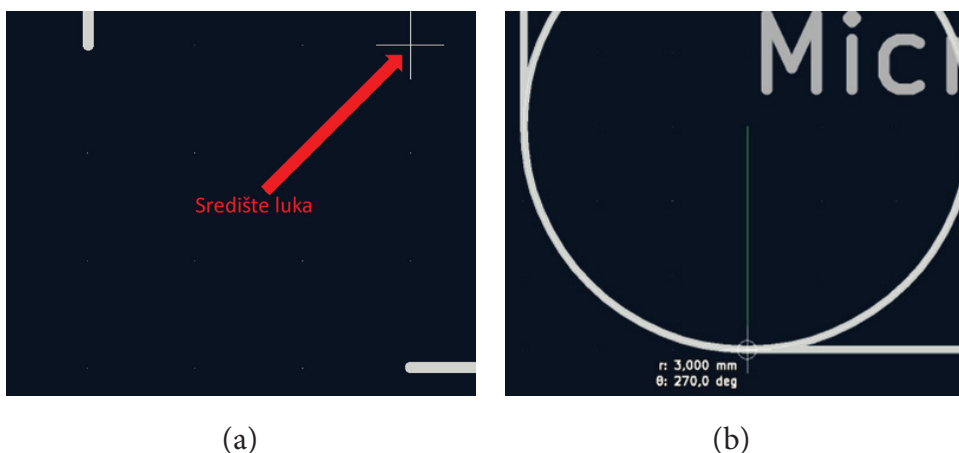
Slika 7.50. Definiranje dimenzija PCB-a (a) nacrtani pravokutnik u *Edge.Cuts* sloju, (b) 3D prikaz pravokutnog PCB-a.

listu, više informacija nalazi se u statusnoj traci prozora. Primjer nacrtanog pravokutnika je prikazan na slici 7.50.a. Možete otvoriti i 3D preglednik ploče gdje će biti vidljiva ploča s konačnim dimenzijama, kako je prikazano na slici 7.50.b. 3D preglednik otvarate u padajućem izborniku *View* → *3D Viewer* ili pritiskom na tipkovnici *Alt* + 3. U 3D pregledniku vidljiv je pravokutni oblik PCB-a i komponente koje imaju 3D modele dodijeljene otiscima.

Da bi se dobili zaobljeni kutovi, potrebno je prvo obrisati dio linija pravokutnika gdje će biti zaobljenje. Budući da nismo specificirali dimenzije zaobljenja, napraviti ćemo zaobljenje dimenzija 3 mm x 3 mm. Za primjer ćemo koristiti



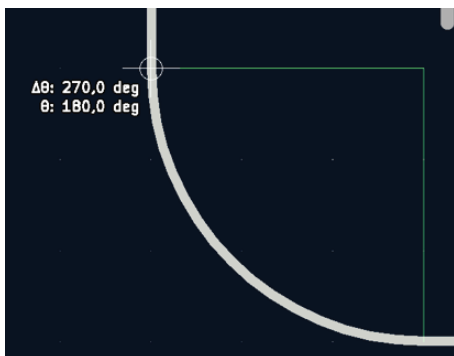
Slika 7.51. Stvaranje nove linije duljine (a), obrisane linije duljine u donjem lijevom kutu (b).



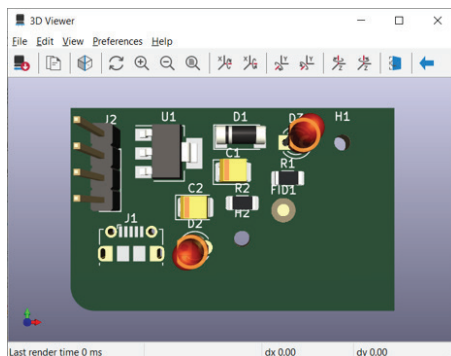
Slika 7.52. Crtanje zaobljenih kutova u Edge.Cuts sloju (a) definiranje središta luka, (b) definiranje polumjera luka.

donji lijevi kut. S odabranim *Select* alatom (tipka *Esc*) potrebno je pozicionirati pokazivač na liniju na 3 mm udaljenosti od kuta s jedne strane pravokutnika, kliknuti desnom tipkom miša i u izborniku odabrati  *Create Corner* *Insert* što će od navedene pozicije stvoriti novu liniju (v. sliku 7.51.a). Isto je moguće napraviti i pritiskom tipke *Insert* na tipkovnici. Novonastalu liniju duljine 3 mm potrebno je obrisati tako što se označi i pritisne tipka *Delete* na tipkovnici. Ovaj postupak je potrebno napraviti i na drugoj strani istog kuta tako da će donji lijevi kut izgledati kao na slici 7.51.b.

Sljedeći korak je izraditi zaobljeni kut. Navedeno je moguće realizirati upotrebom alata za crtanje luka (*eng. Arc* alat, ikona  na desnoj alatnoj traci). Bu-

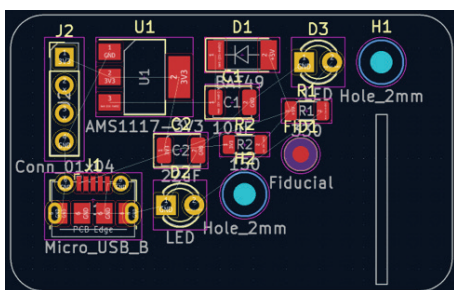


(a)

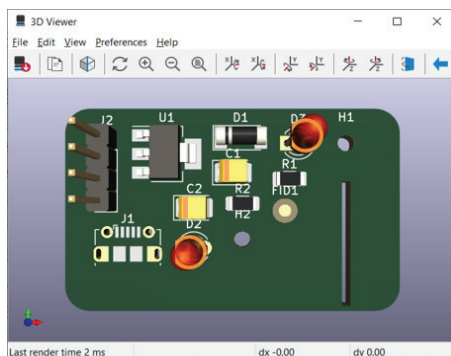


(b)

Slika 7.53. Nacrtni luk za donji lijevi kut (a), 3D prikaz PCB sa zaobljenim donjim lijevom kutom (b).



(a)



(b)

Slika 7.54. Primjer pravokutnog provrta u Edge.Cuts sloju (a), 3D prikaz PCB s primjerom pravokutnog provrta (b).

dući da znamo da je zaobljenje dimenzija 3 mm x 3 mm središte luka postavljamo s unutarnje strane pravokutnika na udaljenosti od 3 mm od obje strane pravokutnika, kako je prikazano pokazivačem na slici 7.52.a. Klikom miša definiramo središte kruga luka te je potrebno definirati polumjer dovlačenjem pokazivača do donje početne točke linije (udaljena 3 mm od kuta) i ponovno je potrebno kliknuti lijevom tipkom miša (v. sliku 7.52.b). Sada je definirano središte luka i polumjer i nacrtan je puni krug, kako je prikazano na slici 7.52.b. Još je preostalo definirati samu duljinu luka. Potrebno je u obrnutom smjeru od kazaljke na satu pomicati pokazivač koji na taj način uklanja (briše) dio luka. Postupak brisanja radimo do lijeve početne točke linije, gdje je potrebno kliknuti lijevom tipkom miša. Ovim je luk (zaobljeni kut) za donji lijevi kut PCB-a gotov, kako je i vidljivo na slici 7.53.a te prikazano u 3D pogledu na slici 7.53.b. Postupak je potrebno ponoviti i za preostala tri kuta PCB-a da bi se dobio konačan izgled sa zaobljenim kutovima.

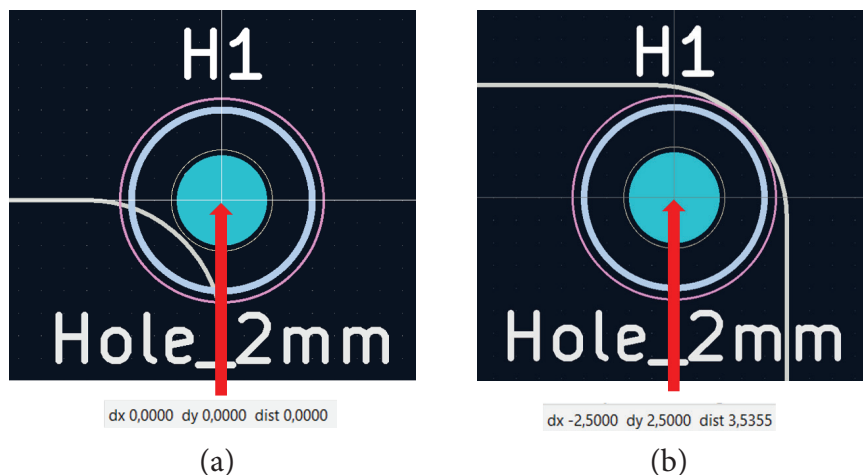
Koristeći ovu tehniku moguće je oblikovati PCB na različite načine, što zbog vizualnog identiteta, što zbog prilagodbe PCB-a kućištu i sl. Moguće je dobiti različite komplicirane oblike, kao što je prikazano na slici 2.6. Također, moguće je koristiti vektorsku grafiku za određivanja kompliciranih oblika PCB-a. Ako Vas zanima više o izradi kompleksnih oblika PCB pomoću vektorske grafike, možete pogledati video materijale na temu upotrebe besplatnog *Inkscape* (<https://inkscape.org/>) programa za izradu vektorske grafike zajedno s KiCAD-om za definiranje oblika PCB-a koji se nalazi na poveznici <https://www.youtube.com/watch?v=zjnwLTgil4A>. Ako je zbog prihvata na kućištu potreban, primjerice, pravokutni provrt, isti je također potrebno nacrtati u *Edge.Cuts* sloju. Na slici 7.54. prikazan je primjer dodatnog pravokutnog provrta na dijelu PCB-a, koji se može iskoristiti za prihvata na kućištu uređaja.

U sljedećem koraku postaviti ćemo dva provrta (rupe), koja smo definirali u shemi, i fiduciju. Jednu rupu označenu s H2 ćemo postaviti u donji lijevi kut, a drugu H1 u gornji desni kut. Fiduciju FID1 postaviti ćemo u gornji lijevi kut. Za središte rupa i fiducije koristit ćemo lokaciju 2,5 mm x 2,5 mm udaljenu od kuta PCB-a. Potrebno je grid postaviti na 0,5 mm na gornjoj alatnoj traci. Preporuka je u *Selection Filter* odabrati samo *Footprints* jer će biti olakšano označavanje samo otisaka komponenti alatom za odabir (ikona ). S uključenim alatom za odabir kliknuti na H1 otisak i pritisnuti tipku *M* na tipkovnici za pomicanje otiska (eng. *Move*). Pokazivač se automatski pozicionira na središte otiska te ga je moguće pomicati po listu. Preporuka je imati uključen prošireni pokazivač (ikona  na lijevoj alatnoj traci) dok se dizajnira PCB jer omogućava lakše poravnavanje komponenti po listu. Postoji više načina kako pozicionirati H1 na zadanu lokaciju. Jedan od načina je da se prvo središte H1 pozicionira na imaginarni vrh gornjeg desnog kuta, kao na slici 7.55.a, pritisne se tipka *Space* koja će postaviti trenutnu lokaciju pokazivača za odredište u određivanju udaljenosti na statusnoj

traci (vrijednosti dx , dy i $dist$ postaju 0). Pomakom otiska mijenjaju se vrijednosti na statusnoj traci. Otisak pomaknut po X-osi lijevo 2,5 mm te po Y-osi dolje 2,5 mm kako je prikazano na slici 7.55.b. Klikom miša pozicija otiska je promijenjena. Isto je potrebno napraviti i sa rupom H2 te fiducijom. Nemojte zaboraviti koristiti *Space* tipku.

Budući da se s pomakom otisaka može dogoditi da dio teksta na *Silk.Screen* sloju bude izvan granica PCB-a potrebno ih je pomaknuti istim postupkom kao i za pomicanje otiska. Također, u *Selection Filter* moguće je odabrati samo *Text* radi lakšeg označavanja teksta. Izgled PCB-a s postavljenim rupama i fiducijom prikazan je na slici 7.56.

Sljedeći korak je postavljanje konektora, regulatora te ostalih otisaka kao i postavljanje različitih oznaka koje su bitne za sam sklop. Kao i na shemi sa slike 6.34., s lijeve strane ćemo postaviti ulazni USB konektor, a s desne strane izlazni header konektor. Možete prvo sve otiske pomaknuti na sredinu PCB-a ili izvan granica PCB-a te ih postavljati jedan po jedan. Prilikom postavljanja otisaka, pored alata za pomicanje (tipka *M*), često se koristi i alat za rotaciju otiska (tipka *R*). USB konektor mora djelomično izlaziti iz granica PCB-a da bi se mogao neometano spojiti s USB kabelom. Na samom otisku je naglašen dio koji mora biti izvan granica PCB-a s linijom *PCB Edge*. Prilikom pozicioniranja potrebno je mijenjati postavke grida na gušće ili rjeđe, ovisno o potrebama. Da bi se otisak USB konektora postavio na vertikalnu sredinu pločice, potrebno je pozicionirati pokazivač na gornji ili donji rub PCB-a te pritisnuti tipku *Space* da se ponište mjere udaljenosti na statusnoj traci (dx , dy i $dist$). Zatim je potrebno označiti USB konektor i s alatom za pomak pozicionirati ga na udaljenosti po Y-osi, a po X-osi

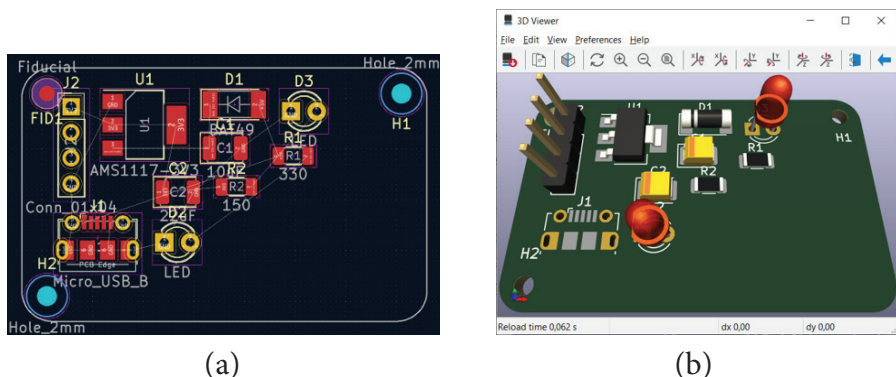


Slika 7.55. Pozicioniranje rupe H1: (a) postavljanje u vrh kuta i postavljanje mjerenja udaljenosti na , (b) pozicioniranje na željenu lokaciju.

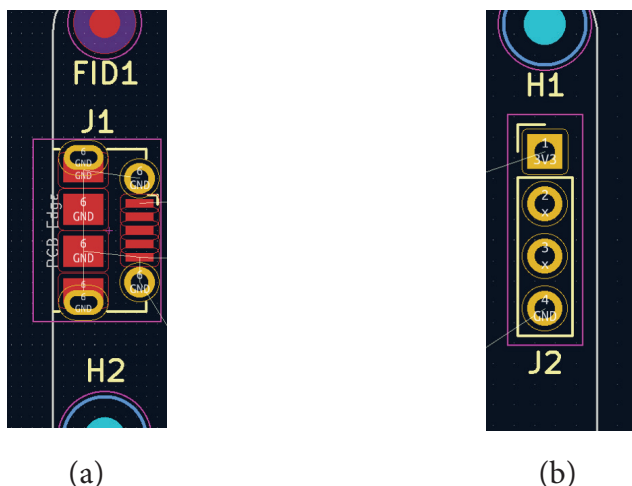
linija *PCB Edge* treba se poklapati s lijevim rubom PCB-a, kako je prikazano na slici 7.57.a.

Zatim je potrebno na isti način pozicionirati header konektor. Središte konektora treba biti po Y-osi 12,5 mm udaljen od gornjeg ili donjeg ruba, a po X-osi 2,5 mm od desnog ruba PCB-a. Konačna pozicija prikazana je na slici 7.57.b.

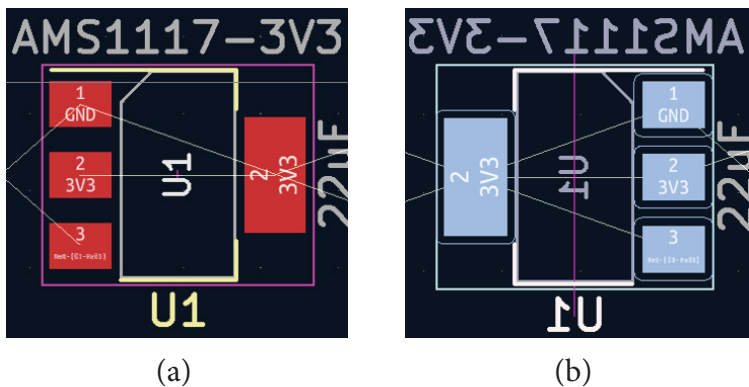
Kako je već navedeno u preporukama za dizajn PCB-a, sve ćemo otiske postaviti na prednji sloj (*F.Cu*). Ako je ipak potrebno neku komponentu postaviti na donji sloj, potrebno ju je označiti te pritisnuti tipku *F* na tipkovnici (skraćeno od *eng. Flip*). Isto je moguće i s desnim klikom miša te odabirom *Change Side/Flip*. Na slici 7.58. je prikazan primjer *U1* otiska u prednjem i stražnjem sloju. Vidljivo je da su sada padovi plave boje i da je sam otisak okrenut za 180°. Za lakši rad sa



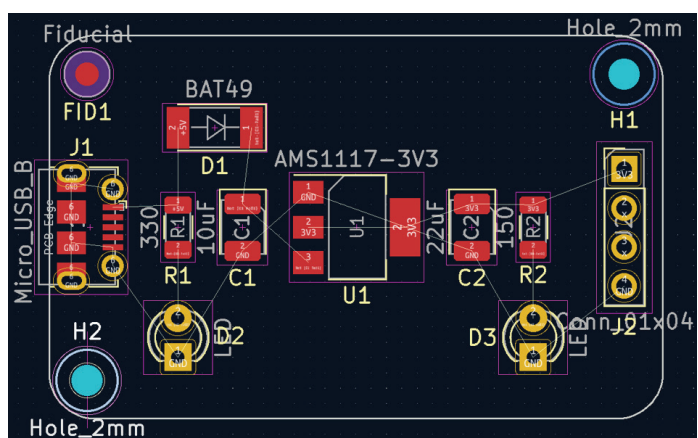
Slika 7.56. Postavljene rupe i fiducija na PCB-u (a), 3D prikaz (b).



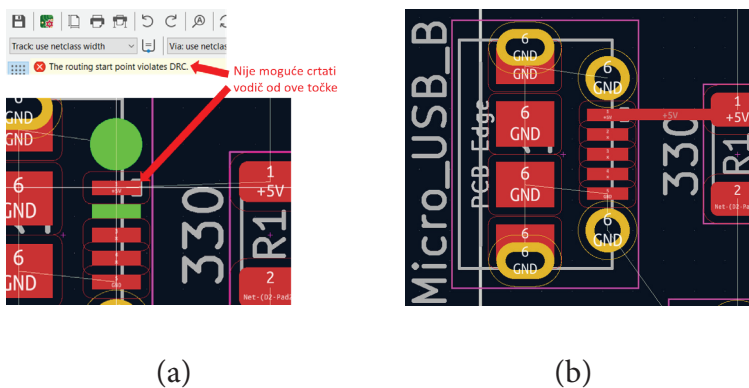
Slika 7.57. Postavljen USB konektor (a) i header konektor (b).



Slika 7.58: Postavljene rupe i fiducija na PCB-u (a), 3D prikaz (b).



Slika 7.59. Primjer pozicioniranja svih otisaka na PCB-u.



Slika 7.60. DRC greška zbog širine vodiča za pad +5 V (a), nacrtani vodič između padova s odabranom manjom širinom vodiča (b).

stražnjom stranom moguće je u potpunosti okrenuti ploču u padajućem izborniku *View* → *Flip Board View*.

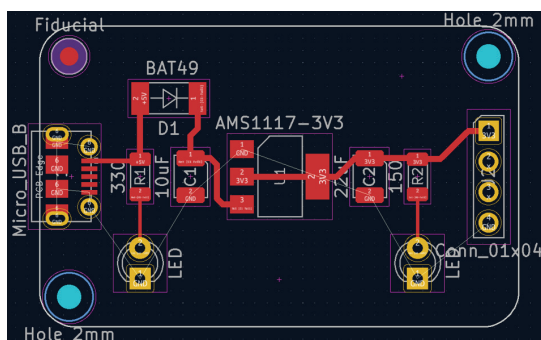
Sljedeći korak je pozicionirati najveću komponentu, otisak U1 koji ćemo pozicionirati na sredinu ploče. S lijeve i desne strane U1 preporuka je pozicionirati kondenzatore i otpornike, a diode na gornjem i donjem dijelu ploče. Potrebno je pokušati poravnati komponente koje trebaju biti povezane vodičima tako što ćete pratiti *ratsnest*. Također, komponente okrenuti tako da su, primjerice, svi *GND* padovi (nožice) od komponenti okrenuti prema dolje. Primjer pozicioniranja svih otisaka je prikazan na slici 7.59. Možete odabrati prikazane pozicije, ali ih također možete i na neki drugi način postaviti na PCB.

Sljedeći korak je *Routing*, tj. crtanje vodiča koji povezuju padove. Samo crtanje vodiča se izvodi s alatom za crtanje vodiča, ikona  na desnoj alatnoj traci, ili puno jednostavnije, a to je tipkom *X* na tipkovnici. Ako tijekom crtanja vodiča nije zadovoljeno neko od postavljenih ograničenja dizajna, crtanje neće započeti te će biti prikazana greška na gornjem dijelu prozora. Budući da ćemo za *GND* koristiti tzv. *Copper pour* (preostali dio bakra koji nije popunjen vodičima predstavljat će *GND*), *GND* ćemo zadnjeg spajati. Također, vodiči slijede odabrani *grid* pa je tijekom crtanja potrebno mijenjati gustoću *grida* kako bi mogli vodiče crtati po željenoj liniji.

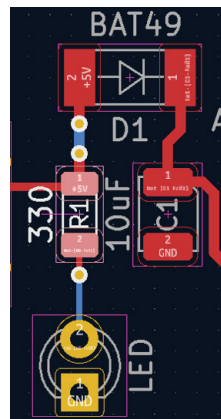
Postupak crtanja vodiča počinjemo s +5 V padom od USB konektora. Ako je u padajućoj listi odabira širine vodiča odabran *use net class width*, KiCAD će javiti grešku jer bi nacrtani vodič bio preblizu TH *GND* nožici i označit će zelenom bojom koje nožice/padove je moguće crtati vodičem odabrane širine, kako je prikazano na slici 7.60.a. Budući da će zbog širine vodiča, odabrane za net klasu, isti biti preblizu *GND* TH nožici, potrebno je odabrati manju širinu iz *Track* padajuće liste na gornjoj alatnoj traci. S odabranom širinom od 15 mils moguće je nacrtati navedeni vodič do +5 V pad-a od otpornika *R1*, kako je vidljivo na slici 7.60.b. Zatim je u *Track* padajućoj listi potrebno ponovno odabrati *use net class width* i nastaviti crtati vodiče.

Konačni primjer nacrtanih svih vodiča između padova, osim vodiča *GND*, s isključenim *F.Silkscreen* slojem, prikazan je na slici 7.61.a. Crtanje vodiča slijedi pravila koja smo već naveli. Vodiči bi trebali biti što kraći. Ako je moguće, poželjno je da vodiči budu ravne linije i da su sve komponente pozicionirane na gornji sloj. Možete primijetiti da širine vodiča odgovaraju odabranim širinama u postavkama *net* klasa.

Iako u ovom dizajnu nema potrebe za *via*-ma, tj. prebacivanjem vodiča u stražnji sloj (*B.Cu*), na primjeru ćemo pokazati upotrebu *via*-a. Za primjer ćemo prvo izbrisati vodič između pad-a otiska *R1* i TH nožice otiska *D2* (taj vodič ćemo prebaciti u stražnji sloj). U gornjem sloju potrebno je prvo nacrtati kratki vodič dužine cca. 1,3 mm (završiti vodič s lijevim klikom miša i pritiskom na *Esc*). Na kraj nacrtanog vodiča dodati *via*-u s alatom za dodavanje *via*-a, ikona



(a)



(b)

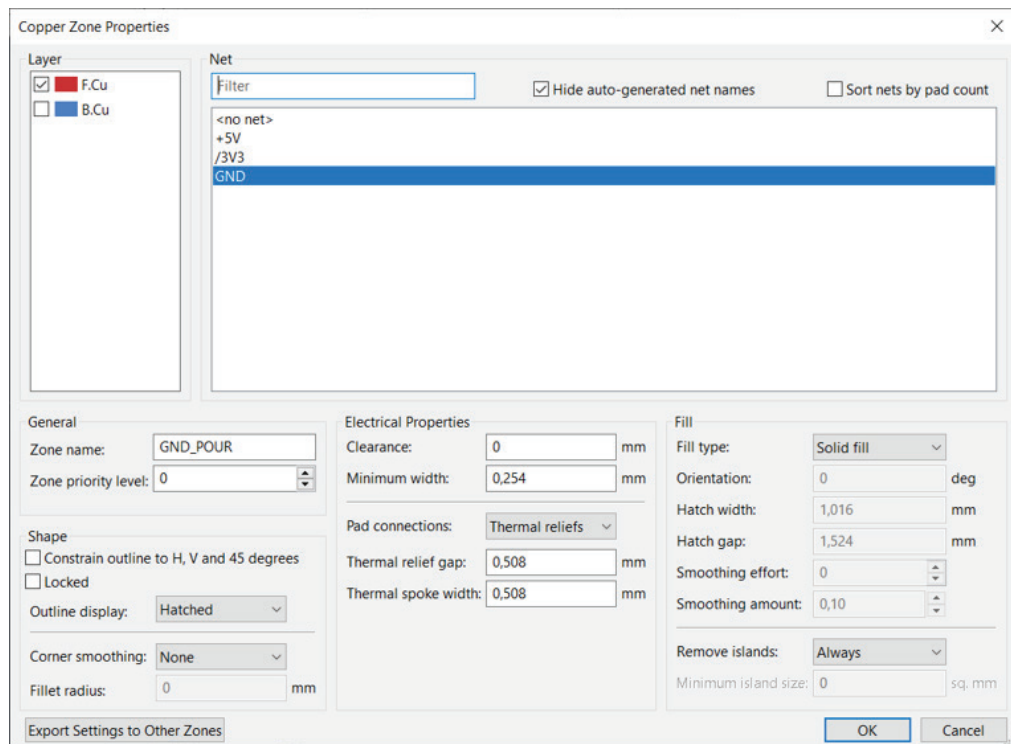
Slika 7.61. Primjer nacrtanih (rutanih) svih vodiča osim GND (a), primjer crtanja vodiča u donjem sloju pomoću *via-a* za SMT i THT komponente (b).

na desnoj alatnoj traci. Isto je moguće koristiti i kraticu na tipkovnici *Ctrl+Shift+V*. Nakon što je via dodana moguće je nastaviti crtanje vodiča i u sloju *B.Cu*. Potrebno je prvo odabrati stražnji sloj tipkom *PgDn* ili klikom na padajuću listu i odabrati *B.Cu*. Zatim s alatom za crtanje vodiča nacrtati vodič od nožice *D2* do via-e, kako je prikazano na slici 7.61.b. Ovo je primjer crtanja vodiča na stražnjem sloju za SMT i THT komponentu. Kada su u pitanju samo SMT komponente, za crtanje u stražnjem sloju potrebne su dvije via-e. Jedna via služi za prijelaz vodiča u donji sloj, a druga nazad za povratak u gornji sloj. Primjer je vidljiv na slici 7.61.b za otiske *R1* i *D1*. Također, prema preporuci da se na jednom sloju vodiči crtaju horizontalno, a na drugom vertikalno, vertikalne vodiče na prednjem sloju mogli smo pomoću via-a prebaciti u donji sloj. Za ovaj dizajn odabrali smo da svi vodiči budu u gornjem sloju, što ne mora biti slučaj za Vaš dizajn.

Nakon što ste nacrtali sve vodiče na PCB-u, možete probati pomaknuti neki od otisaka s alatom za pomak (tipka *M*). Primijetit ćete da prilikom pomicanja otiska nacrtani vodiči ostaju na mjestu, tj. ne pomiču se zajedno s otiskom (koristiti kraticu *Ctrl + Z* za undo). Ako želite pomaknuti otisak i vodiče, potrebno je koristiti alat za povlačenje, *Drag* alat (tipka *D* na tipkovnici). Testirajte pomicanje otisaka s drag alatom.

Sljedeći korak je nacrtati poligon koji će predstavljati bakar spojen na GND, tzv. *Copper Fill* ili. *Copper Pour*. *Copper Fill* crtamo s alatom za crtanje zona, ikona  na desnoj alatnoj traci. S ovim alatom možemo nacrtati poligon koji definira granice površine sloja koja će biti popunjena bakrom prema zadanim spe-

cifikacijama. U našem primjeru potrebno je prvo odabrati *F.Cu* sloj, odabrati alat  i kliknuti na početnu točku poligona. Budući da želimo popuniti čitavi prednji sloj s bakrom, početnu točku možemo odabrati bilo gdje izvan granica nacrtanog



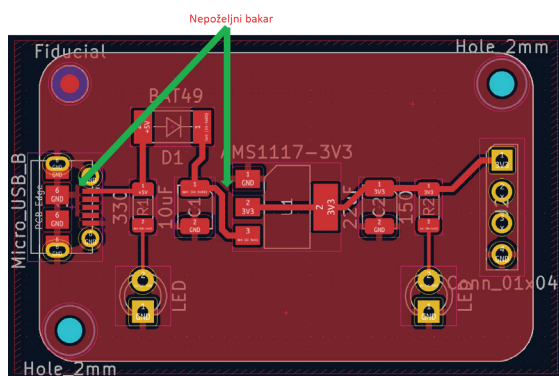
Slika 7.62. Primjer pozicioniranja svih otisaka na PCB-u.

PCB-a. Lijevim klikom miša se odabire početna točka i otvara se novi prozor kao na slici 7.62. za postavljanje svojstava bakrene zone (*copper fill*).

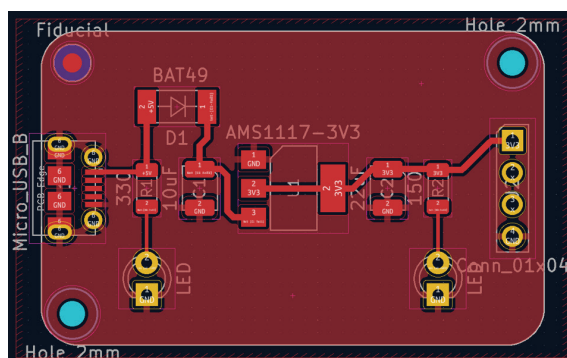
- Prvo je potrebno odabrati sloj za postavljanje bakra, na primjeru na slici 7.62. to je *F.Cu*. Nakon toga odabrati za koji *net* je spojen bakar, za naš slučaj treba odabrati *GND*.
- Zoni dati ime, npr. *GND_POUR*, te prioritet. Što je prioritet veći zona će biti prije nacrtana, tj. imat će prednost prilikom popunjavanja zone s bakrom.
- *Clearance* se postavi u 0 ako se koriste postavke od *net* klasa. Ako želite drugačiji *clearance*, potrebno ga je ovdje upisati.
- Minimalna širina (*eng. Minimum width*) određuje za koju minimalnu širinu će se popuniti bakar na sloju. Što je ova vrijednost veća, manje površine (npr. između padova komponenti) neće se popuniti s bakrom, ali također se onda

može dogoditi da neki padovi također neće biti spojeni na definiranu zonu iako ih je potrebno spojiti.

- Veza s padovima (*eng. Pad connection*) definira na koji način se bakrena zona spaja s padovima i nožicama. Najčešći odabir je *Thermal reliefs* – toplinsko otpuštanje (kolokvijalno *eng. Thermals*), a još je moguće odabrati bez konekcije (*eng. None*), toplinsko opuštanje samo za TH nožice (*eng. Reliefs for PTH*) i potpuni spoj (*eng. Solid*). Toplinsko otpuštanje *Thermals* ne spaja bakar zone u potpunosti s pad-om kao *solid* opcija, nego spaja do četiri vodiča u plus uzorku. Širina praznine između pad-a i bakra zone definirana je s *Thermal relief gap*, a debljina vodiča s *Thermal spoke width*. *Thermal* omogućava olakšano lemljenje jer ne dolazi do gubitka topline na okolni bakar.
- Tip popunjavanja (*eng. Fill type*) može biti potpun (*eng. Solid fill*) ili uzorak rešetke (*eng. Hatch pattern*). Najčešće je potpun.
- Otoci su dio bakra koji nisu povezani niti na jedan net. Opcija *Remove islands Always* uklanja otoke u *copper fillu* što je standardna postavka.



Slika 7.63: PCB s dodanim poligonom za copper fill, zelene strelice označavaju bakar koji je potrebno ukloniti.

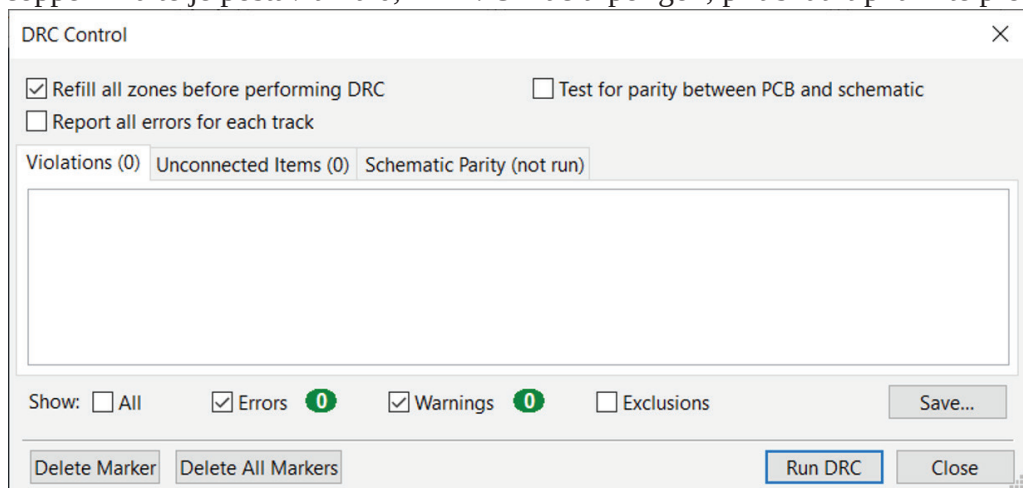


Slika 7.64: PCB s dodanim poligonom za copper fill te povećanom minimalnom širinom bakra.

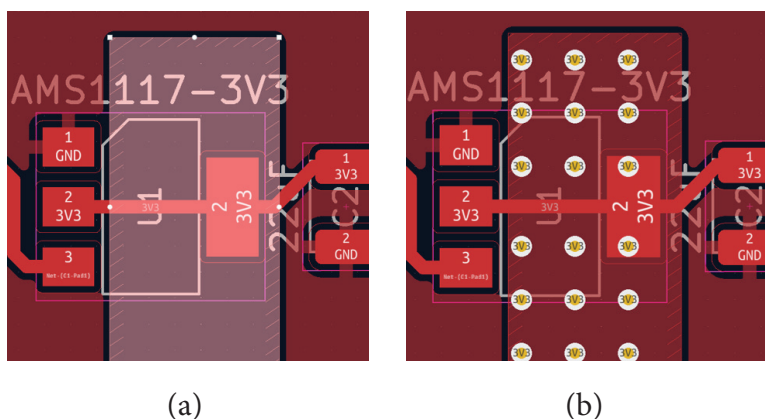
- Sam prikaz poligona na listu se bira u *Outline display*.
- Zaobljenje kutova poligona odabire se u *Corner smoothing*.

S određenim postavkama i klikom na OK potrebno je završiti crtanje poligona oko PCB-a. Prikazuje se pravokutnik s kosim crtama koji predstavlja poligon unutar kojeg će se „puniti“ bakar. Da bi se proveo postupak crtanja bakra unutar poligona, potrebno je još pritisnuti tipku B ili u padajućem izborniku *Edit* → *Fill All Zones*.

PCB s copper fillom prikazan je na slici 7.63. Zelene strelice označavaju dijelove bakra koji su nepoželjni na PCB-u, tvore vrhove. Iste je moguće ukloniti crtanjem poligona zabrane, ikona , ili je moguće korigirati minimalnu širinu copper filla te je postaviti na 0,4 mm. Označiti poligon, pritisnuti tipku *E* te pro-



Slika 7.65. Prozor za izvođenje DRC-s rezultatima provjere.



Slika 7.66. Dodavanje bakrene zone za hlađenje (a), dodavanje termalnih via-a (b).

mijeniti minimalnu širinu i kliknuti na OK. Za ponovno iscrtavanje bakra pritisnuti tipku *B*. Na slici 7.64. vidljivo je da nema više označenih dijelova bakra.

Budući da su svi padovi i nožice spojeni, moguće je provesti *Design Rules Check*, tj. DRC kao i kod crtanja sheme. Prilikom provjere provode se ispitivanja ograničenja postavljenih u net klasama i *Constraints* prozoru, na slici 7.48 i 7.49. Pritiskom na ikonu  otvara se prozor *DRC Control* te klikom na *Run DRC* izvodi se provjera (v. sliku 7.65.). Kako je prikazano na slici 7.65., za naš slučaj nema niti jednog upozorenja ili greške. U slučaju greške KiCAD strelicama označava lokaciju, kao što je i slučaj kod provjere shema.

Iako naš PCB nema nikakvih DRC grešaka te je električki ispravan, nismo uzeli u obzir da tijekom rada naponski regulator oslobađa određenu količinu topline. Prema formuli u tehničkoj dokumentaciji za naš slučaj maksimalna snaga je $P_D = (5\text{ V} - 3,3\text{ V})1\text{ A} = 1,7\text{ W}$ uz $T_A = 25\text{ °C}$ i toplinski otpor PCB-a od $R_{th} = 55\text{ °C/W}$. Maksimalna temperatura spoja je $123,5\text{ °C}$. Iako je mala vjerojatnost da će regulator konstantno raditi na maksimalnim vrijednostima struje od 1 A regulator je potrebno hladiti s bakrenim slojevima na PCB-u. Zbog navedenog ćemo ispod regulatora staviti još jednu zonu bakra spojenu na +3,3 V te isti povezati via-ma s donjim slojem bakra koji će služiti za disipaciju topline. Ovakve via-e se kolokvijalno zovu. *Thermal vias* jer je njihova uloga da odvede toplinu s komponente kroz svoje otvore.

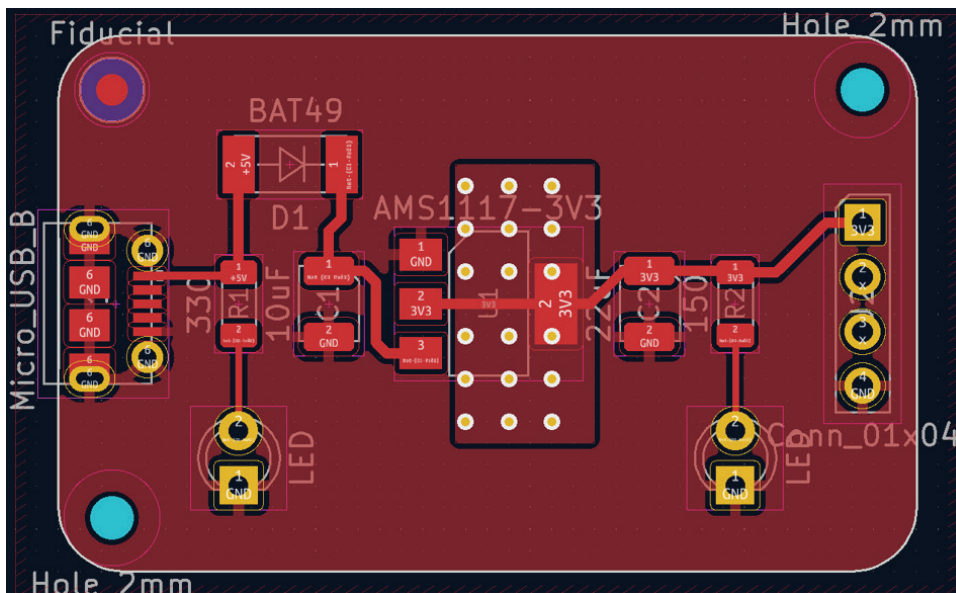
Na *F.Cu* sloj postaviti ćemo još jednu bakrenu zonu s  alatom. Zonu nacrtati otprilike kao na slici 7.66.a. Svojstva zone postaviti prema slici 7.62., ali je potrebno izmijeniti naziv zone (*3V3_POUR*), prioritet (postaviti na 1) te odabrati *solid* za veze s padovima. Pritisnuti tipku *B* da se ponovno popune sve zone.

Sljedeći korak je postavljanje via-a. Kliknuti na alat za umetanje via-a  ili *Ctrl+Shift+V* na tipkovnici te na izrađeni *copper fill*, npr. svakih 2 mm, postaviti via-u. Primjer je prikazan na slici 7.66.b.

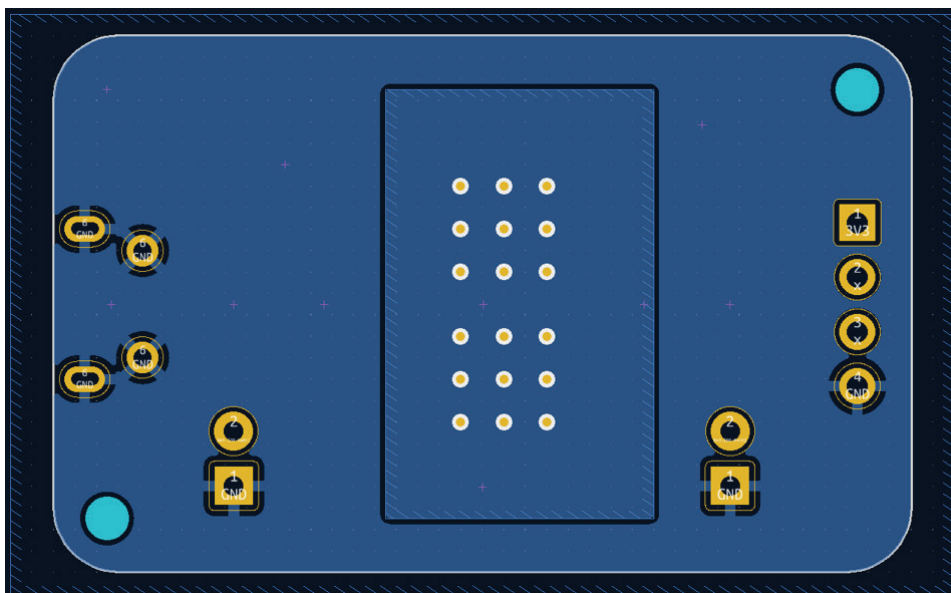
Na stražnjem sloju potrebno je također dodati zone bakra. S uključenim alatom za odabir (*Esc* tipka) na *F.Cu* sloju označiti zonu *GND_POUR* (može se u *Selection Filter* zaklikati samo *Zones*) zatim pritisnuti i držati pritisnutu tipku *Shift* te označiti još i zonu *3V3_POUR*. Pritisnuti tipku *Ctrl+D* (duplicira odabrane elemente, u ovom slučaju dva copper filla) te zatim tipku *F* da se kopirane zone prebace u donji sloj. Zatim je potrebno pozicionirati *3V3_POUR* zonu u sloju *B.Cu* na istu lokaciju na kojoj se nalazi u sloju *F.Cu*. Za ponovno iscrtavanje poligona koristiti tipku *B*. Da se postigne bolji učinak hlađenja ili napravi veća površina za, npr. lijepljenje hladnjaka, moguće je donji copper fill *3V3_POUR* povećati. Na kraju je ponovno potrebno izvesti DRC.

Konačni primjer prednjeg (gornjeg) i stražnjeg (donjeg) sloja prikazani su na slikama 7.67. i 7.68. Ovo nije jedini način crtanja vodiča za ovaj sklop. Moguće je, primjerice, u gornjem sloju s lijeve strane postaviti zonu spojenu na +5 V net, s desne strane postaviti zonu spojenu na 3V3 net, a donji sloj ostaviti kako je

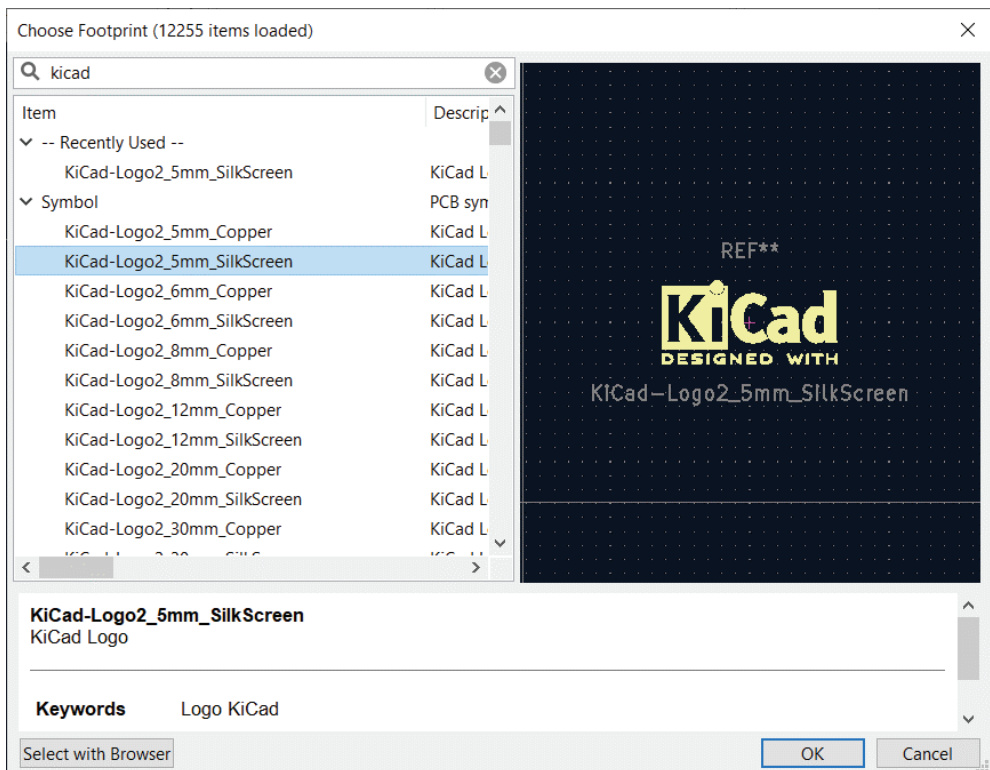
prikazan na slici 7.68. Ako je maksimalna struja sklopa manja od nazivne maksimalne struje, moguće je ne koristiti termalne via-e itd. Svi ovi dizajni su ispravni te će se rijetko dogoditi da dvije osobe imaju potpuno jednak dizajn PCB-a.



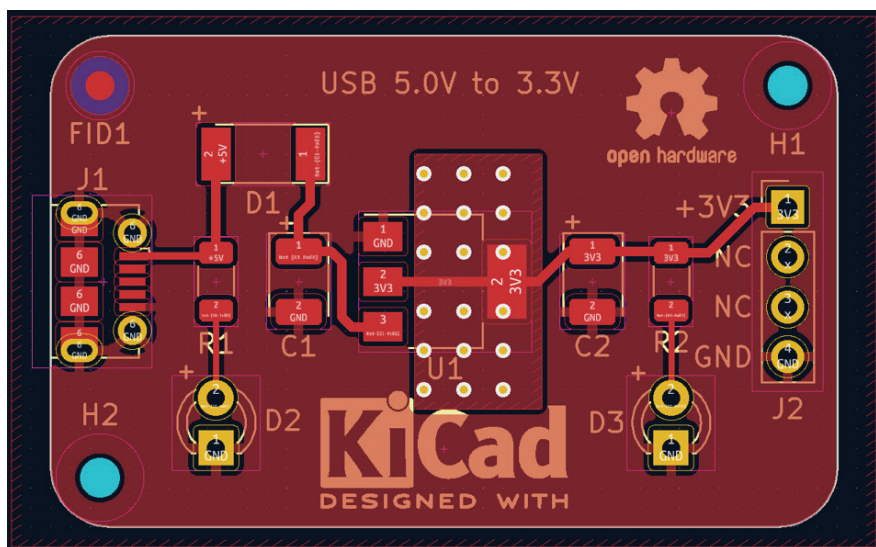
Slika 7.67: Konačni dizajn prednjeg dijela PCB-a s isključenim *F.Silkscreen* slojem.



Slika 7.68: Konačni dizajn stražnjeg dijela PCB-a s isključenim *B.Silkscreen* slojem.



Slika 7.69. Prozor za odabir otiska te pretraživanje KiCAD biblioteka otisaka.



Slika 7.70. Prednji dio PCB-a s uređenim Silkscreen slojem (isključen prikaz F.Fab sloja).

Zadnje što je potrebno napraviti na PCB-u je dodatno na *F.Silkscreen* sloju napisati naziv sklopa, polaritete komponenti te na nekakav način označiti proizvođača/dizajnera i sl. Za naš primjer, za sve komponente koje imaju polaritet, označit ćemo odgovarajuće padove/nožice sa znakom +. Za navedeno potrebno je označiti *F.Silkscreen* sloj i s tekst alatom (ikona **T** na desnoj alatnoj traci) dodati tekst željene veličine i pozicionirati ga na PCB-u. Preporuka je za TH komponente navedene oznake duplicirati i u *B.Silkscreen* sloju. Također, dodat ćemo naziv našeg sklopa (USB 5.0V to 3.3V) te grafičke oznake (*Designed with KiCAD i Open Hardware*).

Navedene grafičke oznake već su izrađene u obliku otiska u bibliotekama KiCAD-a te je iste potrebno dodati alatom za dodavanje otisaka (ikona  na desnoj alatnoj traci ili tipka A). Slično kao i kod pretraživanja biblioteka simbola, otvara se novi prozor *Choose Footprint*, kao na slici 7.69. U polje za pretraživanje upisati *KiCAD* te odabrati otisak prikazan na slici 7.69. Prema nazivu otiska vidljivo je da je u pitanju KiCAD logo koji je nacrtan u *Silkscreen* sloju. Klikom na OK postaviti otisak na donji dio PCB-a između LED-ica D2 i D3.

Još ćemo dodati Open Source Hardware logo. S odabranim alatom za dodavanje otisaka kliknuti lijevom tipkom miša te u polje za pretraživanje upisati OSH. Na listi će biti ponuđen niz otisaka, a potrebno je odabrati otisak s nazivom *OSHW-Logo2_7.3x6mm_SilkScreen* te ga postaviti u gornji desni kut. Konačni prikaz prednjeg i stražnjeg dijela PCB-a sa *Silkscreen* slojem prikazan je na slikama 7.70. i 7.71. Obratite pozornost na dodane oznake polariteta, nazive nožica, naziv sklopa te otiske dvaju logoa. Također, konačni 3D izgled prednje i stražnje strane PCB-a prikazan je na slici 7.72.

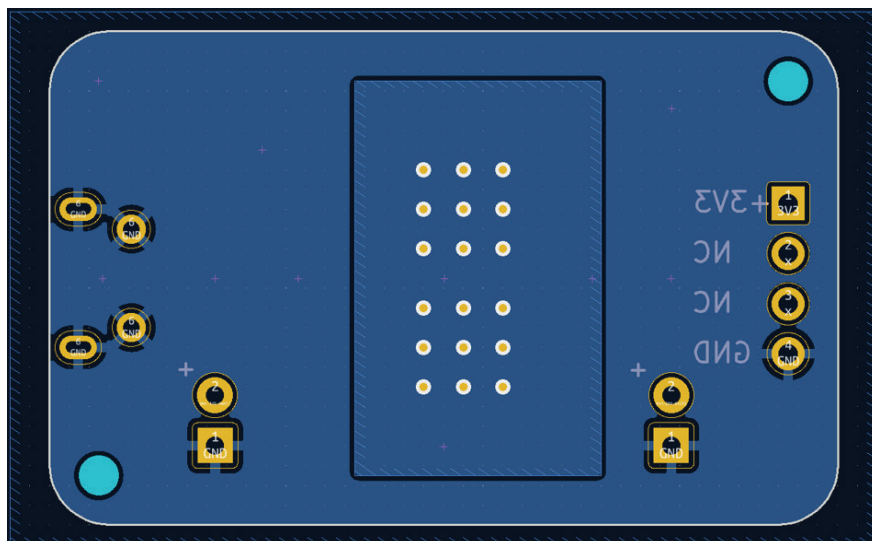
Prilikom objašnjavanja rada s PCB Editorom, u ovom poglavlju, konstantno smo uključivali i isključivali prikaz pojedinih slojeva s obzirom na dijelove PCB-a s kojim trenutno radimo, uključivali i isključivali pojedine *Selection Filters*, koristili različite alate i sl. Moguće da Vam ovo sve izgleda relativno komplicirano, ali s iskustvom ćete naučiti čitati dijelove dizajna automatski i moći ćete se snalaziti u dizajnu i s većim brojem uključenih slojeva te s većom gustoćom komponenti.

S ovim je sam dizajn PCB-a sklopa Naponskog regulatora s 5 V na 3,3 V gotov te je sljedeći korak izrada proizvodnih datoteka te sama izrada tiskane pločice.

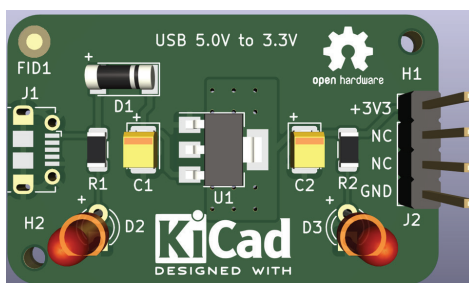
Još je potrebno naglasiti da tvrtke koje se bave projektiranjem elektroničkih sklopova prije koraka izrade proizvodnih datoteka imaju još jedan korak, a to je recenzija dizajna PCB-a. Tijekom recenzije, druga osoba (ili više njih), najčešće s višegodišnjim iskustvom u dizajnu PCB-a, pregledava dizajnirani PCB te daje svoje komentare i prijedloge kako (ako je potrebno) izmijeniti dizajn. Dizajn se prilagođava prema komentarima na temelju dobivenih recenzija. Ovaj postupak za Vas može odraditi, primjerice, Vaš nastavnik te ćete na taj način dobiti kvali-

tetniji PCB.

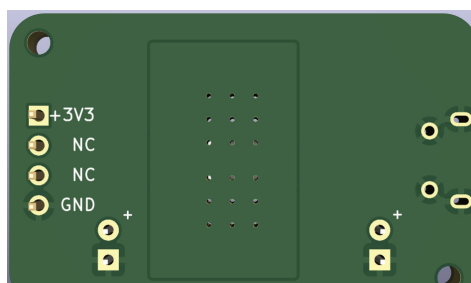
Prije koraka izrade proizvodnih datoteka, pokazat ćemo još jednostavan primjer samostalne izrade otiska. Kao i kod shematskih simbola često se može dogoditi da ne postoji otisak za željenu komponentu ili tvrtka želi imati uvijek samostalno izrađene sve otiske. Zbog navedenog je u sljedećem poglavlju objaš-



Slika 7.71. Stražnji dio PCB-a s uređenim *Silkscreen* slojem (isključen prikaz *B.Fab* sloja).



(a)



(b)

Slika 7.72. 3D prikaz konačnog dizajna PCB-a: (a) prednja strana, (b) stražnja strana.

njeno kako samostalno izraditi otisak komponente u KiCAD-u na temelju tehničke dokumentacije komponente.

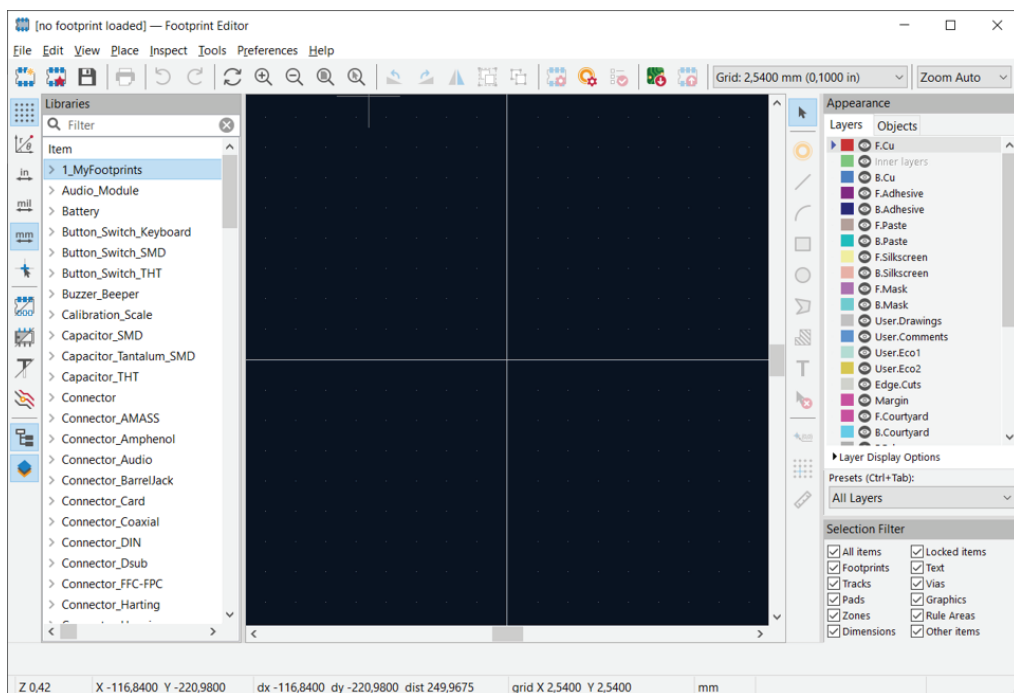
7.5.6. SAMOSTALNA IZRADA OTISKA KOMPONENTE

Budući da prilikom korištenja tuđih neprovjerenih biblioteka otisaka postoji mogućnost pogrešaka u samim otiscima zbog nepažnje ili nepreciznosti autora, korištenje istih mogu rezultirati neupotrebljivim PCB-om. Pogreške u otisku često se detektiraju tek kada je PCB izrađen. Da bi izbjegli ovakve pogreške, tvrtke samostalno izrađuju simbole i otiske komponenti.

Za primjer izrade otiska izradit ćemo otisak za AMS1117-3.3 koji je u SMD SOT-223-3 pakiranju. Iako ovaj otisak već postoji u KiCAD bibliotekama ponovno ćemo ga izraditi i spremiti u vlastitu biblioteku. Kako smo kod kreiranja simbola morali imati tehničku dokumentaciju komponente ista nam je potrebna i za otisak te se nalazi u našoj *References* mapi.

Biblioteka za otiske je također mapa na operacijskom sustavu, ali na kraju naziva mape mora biti ekstenzija *.pretty*. (npr. naziv mape može biti *1_MyFootprints.pretty*). Sami otisci, kao i simboli, su tekstualni dokumenti te će isti biti spremljeni u navedenu mapu.

Prvi korak pri izradi otiska u KiCAD 6.0 je pokrenuti alat za uređivanje otisaka (*eng. Footprint Editor*) pomoću ikone  na gornjoj alatnoj traci. Otvara se prozor uređivača otisaka (slika 7.73.) te je u njemu potrebno kliknuti na *File* → *New Library*. Otvara se novi prozor u kojem je moguće birati između vrste



Slika 7.73. Glavni prozor alata za uređivanje otisaka u KiCAD-u (*Footprint Editor*).

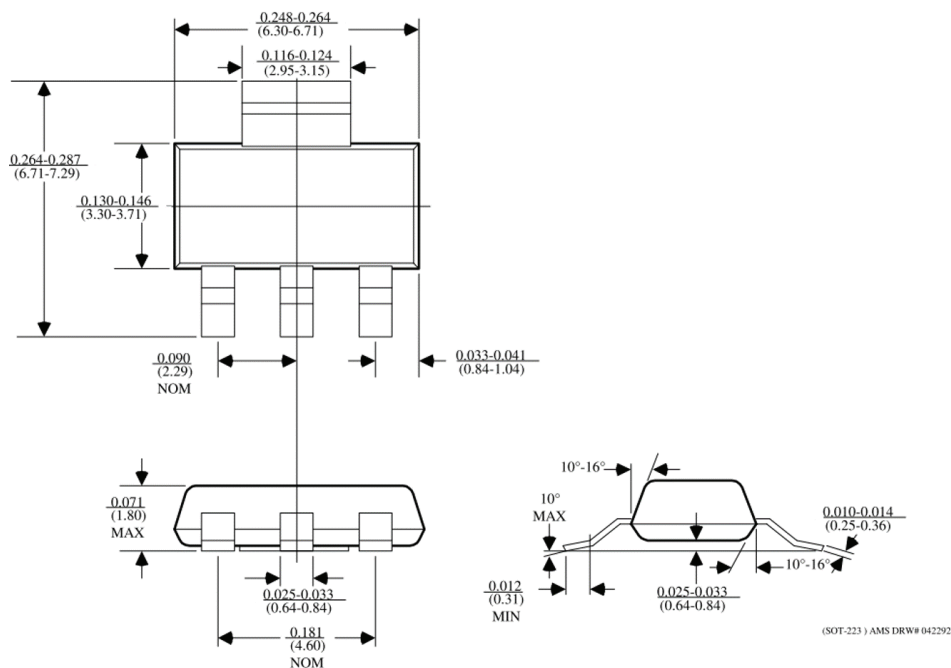
biblioteke *Global* i *Local*. Ako je biblioteka globalna, može se koristiti u bilo kojem projektu, a ako je lokalna može se koristiti samo u trenutnom projektu. Klikom na OK odabrati lokaciju mape *1_MyFootprints.pretty*. Za naziv je preporuka početi sa znamenkom budući da već postojeće KiCAD biblioteke ne počinju sa znamenkom. Ako je početak naziva Vaše biblioteke znamenka onda će se ista prikazati prva na popisu dostupnih biblioteka te će Vam biti olakšano pretraživanje.

Prozor *Footprint Editor*a s dodanom (označeno plavom bojom) bibliotekom *1_MyFootprints* prikazan je na slici 7.73. Kao i prozor za uređivanje PCB-a (slika 7.24.), sastoji se od ikona alata za crtanje otiska, lista za crtanje otiska, popisa svih biblioteka te *Appearance manager*a za rad sa slojevima.

U prozoru na slici 7.73. potrebno je odabrati biblioteku *1_MyFootprints* te kliknuti na *File* → *New Footprint*. ili na ikonu  na gornjoj alatnoj traci. U novootvorenom prozoru upisati naziv otiska, u našem slučaju naziv je *AMS1117_SOT_223_3*, te odabrati *SMD* za vrstu otiska i kliknuti na OK. Na listu za crtanje otiska dodan je tekst u *F.Silkscreen* i *F.Fab* slojevima.

Sljedeći korak je na temelju tehničke dokumentacije komponente nacrtati sami otisak u odgovarajućim slojevima. Izvadak iz tehničke dokumentacije vezan za SOT-223 pakiranje prikazan je na slici 7.74.

3 LEAD SOT-223 PLASTIC PACKAGE



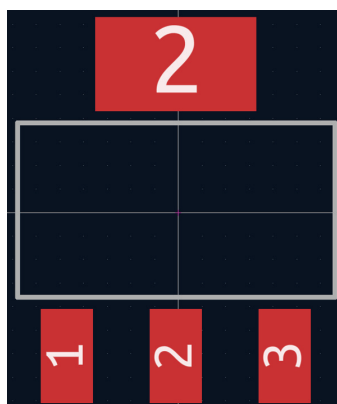
Slika 7.74. Izvadak iz tehničke dokumentacije AMS1117 vezano za SOT-223 pakiranje.

Na početku je potrebno u *F.Fab* sloju nacrtati obrub plastičnog dijela kućišta budući da se oko obruba kućišta postavljaju padovi otiska. Za navedeno je potrebno grid (u gornjoj alatnoj traci) postaviti na mjerilo koje odgovara dimenzijama kućišta. Iz slike 7.74. vidljivo je da su maksimalne dimenzije plastičnog dijela kućišta 6,71 mm×3,71 mm. Postaviti grid na 0,1 mm () te odabrati alat za crtanje pravokutnika (ikona ). Nacrtati pravokutnik dimenzija 6,7 mm×3,7 mm (v. sliku 7.75.). Prilikom crtanja otiska preporuka je koristiti mjerenje udaljenosti na statusnoj traci te *reset* udaljenosti sa *Space* tipkom, kao što smo radili i prilikom crtanja PCB-a.

Sljedeći korak je postaviti padove otiska kao na slici 7.76. s alatom za dodavanje padova, ikona  na desnoj alatnoj traci. Na temelju dokumentacije potrebno je izračunati dimenzije padova. Budući da postoji dovoljno razmaka između padova, moguće je povećati dimenzije za 0,2 mm te padove pomaknuti od plastičnog dijela kućišta za 0,2 mm. **Iako je previđeno u dokumentaciji, potrebno je naglasiti da je gornji pad električki spojen s nožicom 2, tj. spojen je na napon V_OUT.** Prema dokumentaciji, dimenzije donje tri nožice su 0,84 mm×1,79

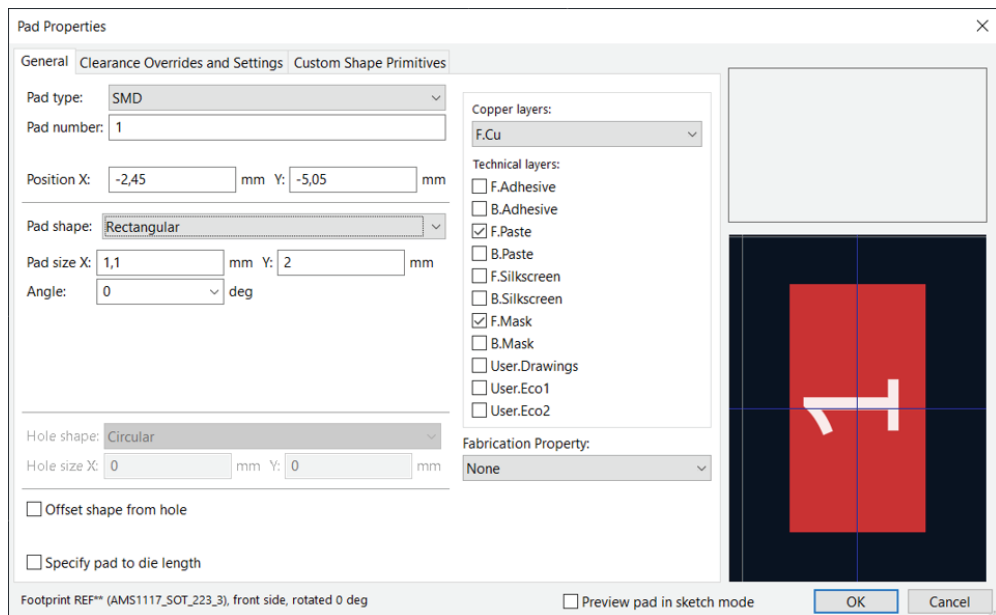


Slika 7.75. Obrub plastičnog dijela kućišta AMS1117 SOT-223 u *F.Fab* sloju.

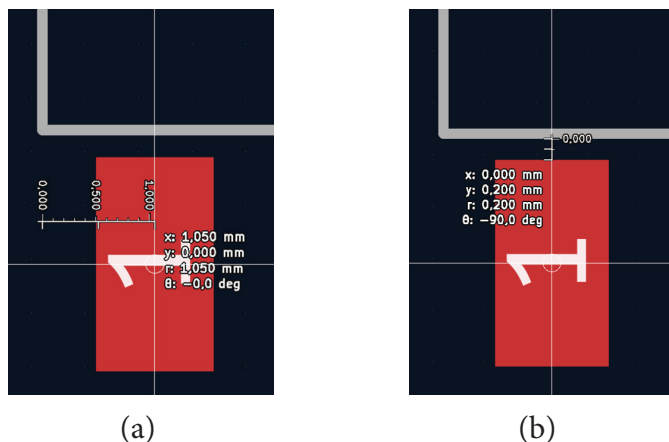


Slika 7.76. Otisak s postavljenim padovima.

mm što ćemo zaokružiti na 1,1 mm×2 mm, a gornje nožice 3,15 mm×1,79 mm što ćemo zaokružiti na 3,4 mm×2 mm. Središte nožice 1 pomaknuto je od lijevog ruba 1,04 mm što ćemo zaokružiti na 1,05 mm, središte nožice 2 pomaknuto je od središta nožice 1 2,29 mm što ćemo zaokružiti na 2,3 mm (*eng. pitch*). Isto tako središte nožice 2 u odnosu na središte nožice 3 pomaknuto je za 2,3 mm. Središte gornje nožice 2 pomaknuto je od lijevog ruba za 3,35 mm. Prilikom definiranja



Slika 7.77. Svojstva pad-a 1.



Slika 7.78. Postavljanje pozicije prvog pad-a: (a) prikaz udaljenosti od lijevo ruba kućišta, (b) prikaz udaljenosti od donjeg ruba kućišta.

mjera preporuka je imati fizičku komponentu i potvrditi mjere s pomičnom mjerkom. Sada imamo sve informacije potrebne za crtanje ostatka otiska te je sljedeći korak dodavanje padova.

Postaviti grid na 0,05 mm te kliknuti na ikonu  (preporuka je imati uključen prošireni pokazivač s ikonom  na lijevoj alatnoj traci jer omogućava lakše poravnavanje padova po listu). Dodaje se novi pad standardnih dimenzija, potrebno ga je postaviti na list (trenutno nije bitna točna lokacija). Pritisnuti *Esc* te dva puta kliknuti na pad da se otvore svojstva pad-a, kako je prikazano na slici 7.77. Svojstva za padove 1, 2 i 3 potrebno je postaviti kao na slici 7.77.

Za *Pad* type postaviti SMD, budući da je u pitanju SMD otisak, a također moguće je odabrati *Through-Hole*, *NPTH* (eng. *Non-Plated Through Hole*) *Mechanical* i sl. Pozicija trenutno nije bitna, budući da ćemo pomaknuti pad pomoću alata za pomak (*M* tipka na tipkovnici). Dimenziju postaviti na temelju tehničke dokumentacije, tj. 1,1 mm×2 mm. Za oblik pad-a odabrati pravokutni (eng. *Rectangular*), a drugi ponuđeni oblici su pravokutnik sa zaobljenim kutovima, ovalni oblik, kružni oblik i sl. Sam pad se nalazi u *F.Cu* sloju te će se koristiti i za određivanje lemne maske (*F.Mask* sloj) te za određivanje područja postavljanja tinol paste (*F.Paste* sloj). Ostala svojstva ne mijenjati te kliknuti na OK.

Nakon postavljanja svojstava našeg pad-a potrebno ga je pozicionirati. Postaviti pokazivač miša na donji lijevi kut obruba kućišta te pritisnuti tipku *Space* na tipkovnici za resetiranje mjerenja duljine na statusnoj traci. Za pozicioniranje pad-a potrebno je označiti pad, pritisnuti tipku *M* i uz pomoć mjerenja duljine na statusnoj traci postaviti pad kao na slici 7.78. (1,05 mm od lijevog kuta te 0,2 mm od gornjeg ruba kućišta).

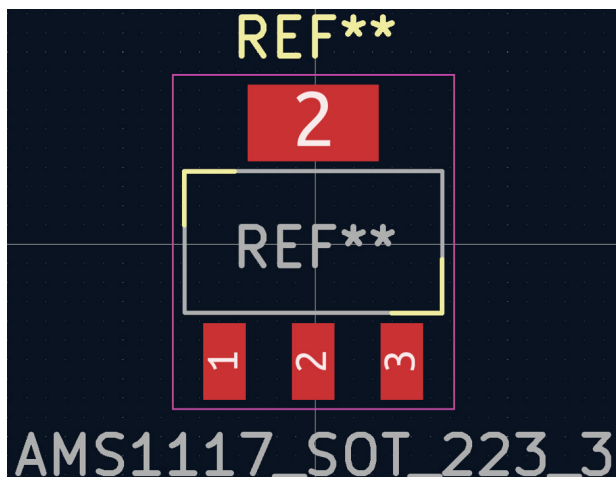
Ponoviti postupak za ostala tri pad-a uz izmjenu lokacije i broja pada. Središte pad-a 2 nacrtati pomaknut za 2,3 mm od središta pad-a 1, a središte pad-a 3 nacrtati za 2,3 mm pomaknut od središta pad-a 2. Gornji pad (oznaka 2) postaviti 3,35 mm od lijevog ruba te 0,2 mm od gornjeg ruba kućišta. Za gornji pad potrebno je promijeniti i dimenzije. Izgled otiska s postavljenim padovima prikazan je na slici 7.76.

Slijedi definiranje „ograda“ oko komponente u čijem prostoru ne smije biti smještena niti jedna druga komponenta. Veličina ograde može ovisiti o mogućnostima proizvođača PCB-a kao i o samoj tehnici lemljenja. Neke preporuke prilikom definiranja dimenzije ograde možete pronaći na <https://klc.kicad.org/footprint/f5/f5.3/>. Prema uputama s prethodne poveznice crtamo „ogradu“ s razmakom od dijelova otiska (eng. *clearance*) od 0,25 mm. Potrebno je odabrati *F.Courtyard* sloj te pomoću grafičkog alata za crtanje linija (ili alata za crtanje pravokutnika) nacrtati „ogradu“ okolo otiska sa željenim razmakom (koristiti statusnu traku i mogućnost mjerenja duljine na njoj).

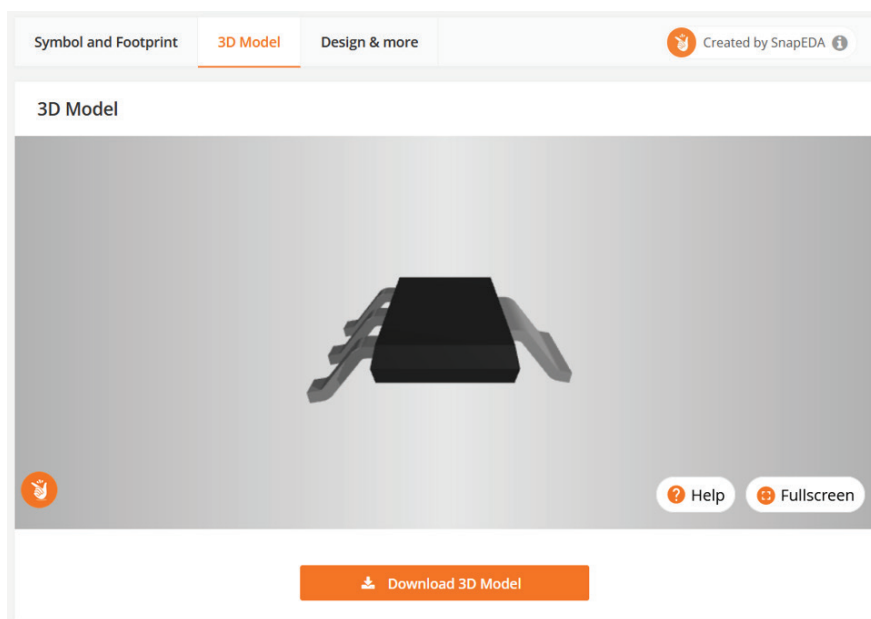
Zadnji korak je crtanje oznaka u *F.Silkscreen* sloju. Potrebno je nacrtati rubove kućišta (eventualno označiti nožicu jedan) i pozicionirati *REF* oznaku. Ta-

kođer, potrebno je pozicionirati same tekstualne oznake otiska u *F.Silkscreen* i *F.Fab* sloju. Konačni izgled otiska prikazan je na slici 7.79. * Charformat.

KiCAD također ima mogućnost pridruživanja 3D modela komponente izrađenom otisku. KiCAD podržava različite formate 3D modela kao što su *STEP*, *X3D*, *WRL* i sl. Da bi pridružili model otisku prvo je potrebno model ili samostalno izraditi ili ga pronaći gotovog na servisima kao što je www.snapeda.com.



Slika 7.79. Konačni otisak AMS1117 komponente u SOT-223 pakiranju.

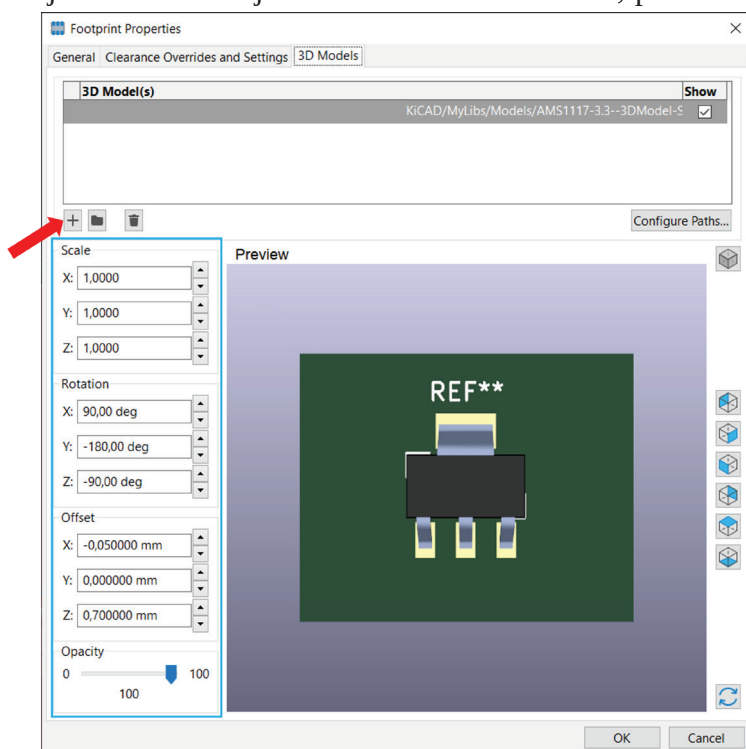


Slika 7.80. Preuzimanje 3D modela sa *snapEDA* servisa.

U našem slučaju 3D model AMS1117 pronaći ćemo na navedenoj stranici. U tražilicu *snapEDA* servisa potrebno je upisati AMS1117 te odabrati i preuzeti 3D model, kako je prikazano na slici 7.80. U trenutku pisanja ovog priručnika potrebna je samo registracija na snapEDA servis i dopušteno je preuzeti model. Preuzeti model u STEP formatu spremiti u *MyLibs* → *Models* mapu.

Sljedeći korak je otvoriti svojstva otiska klikom na ikonu  u gornjoj alatnoj traci ili tipka *E* na tipkovnici. Otvara se novi prozor u kojem je potrebno odabrati karticu 3D Models i dodati preuzeti STEP model s ikonom  (crvena strelica na slici 7.22.). Model je potrebno pozicionirati tako da odgovara nacrtanom otisku pomoću alata s lijeve strane prozora (plavi pravokutnik na slici 7.22.). Model u prozoru *Preview* moguće je rotirati, povećavati i sl. s mišem radi lakšeg pregleda pozicioniranja na otisak. Sada će se prilikom 3D pregleda PCB-a koji sadrži ovaj naš otisak prikazivati i 3D model koji smo ovdje odabrali.

Ako bi htjeli koristiti ovaj samostalno izrađeni otisak, potrebno je u shemi



Slika 7.81. Postavljanje i pozicioniranje 3D modela na otisak.

sklopa promijeniti otisak za AMS1117 simbol. Nakon toga bi bilo potrebno ažurirati otiske u PCB Editoru s alatom za ažuriranje otisaka (ikonu  na gornjoj alatnoj traci) te urediti pojedine slojeve i vodiče da odgovaraju novom otisku.

7.6. IZRADA PROIZVODNIH DATOTEKA

Nakon što je gotov dizajn PCB i postupak recenzije, isti je potrebno izraditi te sastaviti. Sama izrada PCB-a može biti ručna ili automatizirana, može biti odrađena nekom od hobističkih postupaka temeljenih na kemijskom jetkanju kao što je foto-postupak ili s profesionalnim alatima za CNC obradu i sl. Za izradu PCB-a potrebne su upute (naredbe) strojevima na koji način obraditi materijal za konačni izgled PCB-a. Također, ako se PCB izrađuje foto-postupkom, potrebna je slika bakrenog sloja PCB-a kojeg želite ukloniti da bi dobili konačni PCB.

Alati za dizajn PCB-a, uključujući i KiCAD, imaju mogućnost izrade tzv. proizvodnih datoteka. Same proizvodne datoteke za slojeve dizajniranog PCB-a su najčešće pisane u tzv. *Gerber* formatu, dok su provrti (rupe, via-e i sl.) zapisane u *Excellon* formatu. Oba formata su tekstualne datoteke koje sadrže naredbe za rad CNC stroja.

Tvrtke koje izrađuju PCB-ove, kao što je PCBWay (www.pcbway.com) ili JLCPCB (jlcpcb.com), najčešće imaju detaljne upute kako izraditi proizvodne datoteke u najčešće korištenim alatima za dizajn PCB-a. Upute za izradu proizvodnih datoteka u KiCAD-u za JLCPCB i PCBWay nalaze se na idućim poveznicama:

- <https://support.jlcpcb.com/article/194-how-to-generate-gerber-and-drill-files-in-kicad-6>
- [https://www.pcbway.com/blog/help_center/Generate Gerber file from Kicad.html](https://www.pcbway.com/blog/help_center/Generate_Gerber_file_from_Kicad.html).

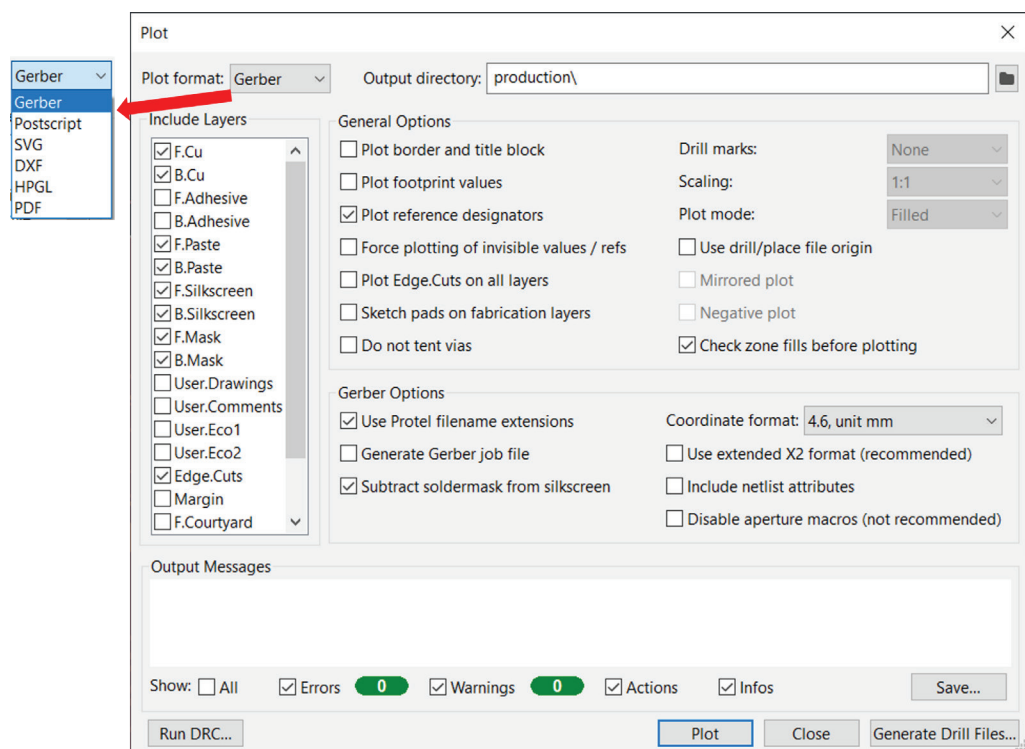
U ovom potpoglavlju prikazat ćemo primjer izrade proizvodnih datoteka za JLCPCB. Za gotov PCB, koji je uspješno prošao DRC postupak prema zahtjevima proizvođača, proizvodne datoteke izrađuju se na sljedeći način.

U prozoru *PCB Editor*a potrebno je kliknuti na ikonu  u gornjoj alatnoj traci (ili u padajućem izborniku *File* → *Fabrication Outputs* → *Gerbers*). Otvara se prozor kao na slici 7.82. u kojem je potrebno definirati format proizvodnih datoteka, odabrati slojeve PCB-a, izlazni direktorij i druge opcije. Kako je prikazano na slici 7.82., postoji nekoliko formata proizvodnih datoteka kao što su *Gerber*, *DXF*, *PDF* i sl. PDF format koristi se za foto ili transfer postupak dok su kod automatizirane proizvodnje najčešći *Gerber* i *DXF* format. Potrebno je odabrati lokaciju kamo spremiti proizvodne datoteke. Preporuka je u direktoriju Vašeg projekta napraviti direktorij *production* te u njega spremiti datoteke. Slje-

deći korak je odabrati slojeve PCB-a za izradu. Na slici 7.82. već su odabrani standardni slojevi koji se koriste za izradu PCB-a. Sljedeće što je potrebno je odabrati različite opcije za izradu proizvodnih datoteka koje ovise o samom proizvođaču. Na slici 7.82. prikazan je primjer odabira opcija za JLCPCB. Klikom na *Plot* generiraju se proizvodne datoteke za pojedine slojeve u *Gerber* formatu te su iste spremljene u *production* mapi.

Pored *gerber* datoteka potrebne su i datoteke za provrte (*eng. Drill Files*). U *Plot* prozoru kliknuti na gumb *Generate Drill Files*. Otvara se novi prozor, kao na slici 7.83., u kojem je potrebno odrediti postavke datoteka za provrte prema zahtjevima proizvođača. Na slici 7.83. odabrane su postavke prema zahtjevima JCLPCB te je za generiranje datoteka potrebno kliknuti na gumb *Generate Drill File*. Iako za samu izradu PCB-a nisu potrebne *Map* datoteke, preporuka ih je izraditi jer služe čovjeku za vizualizaciju i provjeru generiranih datoteka za provrte. Za generiranje *map* datoteka potrebno je odabrati format *map* datoteka (u našem slučaju *Gerber* format) te kliknuti na gumb *Generate Map File*.

Sada se u *production* direktoriju nalazi ukupno 13 datoteka. *Gerber* datoteke za odabrane slojeve (koriste se pri izradi PCB-a):



Slika 7.82. Prozor za izradu proizvodnih datoteka u KiCAD 6.0.

- Voltage_regulator_5V_3.3V-F_Mask.gts
- Voltage_regulator_5V_3.3V-F_Paste.gtp
- Voltage_regulator_5V_3.3V-F_Silkscreen.gto
- Voltage_regulator_5V_3.3V-B_Cu.gbl
- Voltage_regulator_5V_3.3V-B_Mask.gbs
- Voltage_regulator_5V_3.3V-B_Paste.gbp
- Voltage_regulator_5V_3.3V-B_Silkscreen.gbo
- Voltage_regulator_5V_3.3V-Edge_Cuts.gm1
- Voltage_regulator_5V_3.3V-F_Cu.gtl.

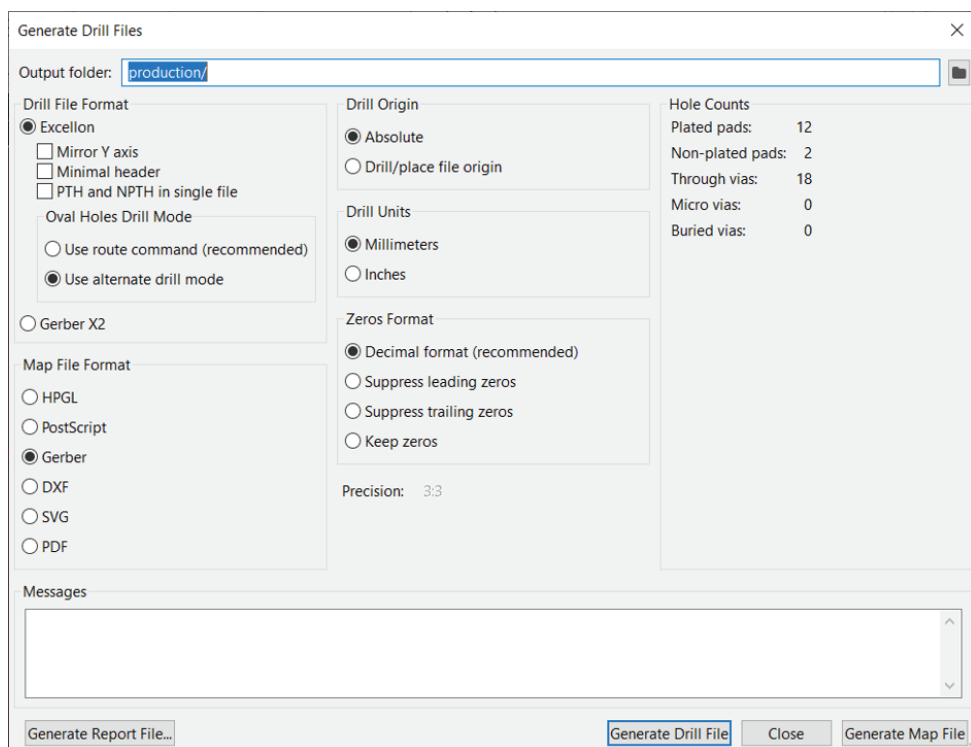
Excellon datoteke za provrte (koriste se pri izradi PCB-a):

- Voltage_regulator_5V_3.3V-NPTH.drl
- Voltage_regulator_5V_3.3V-PTH.drl.

Gerber map datoteke za provrte (ne koriste se za izradu PCB-a):

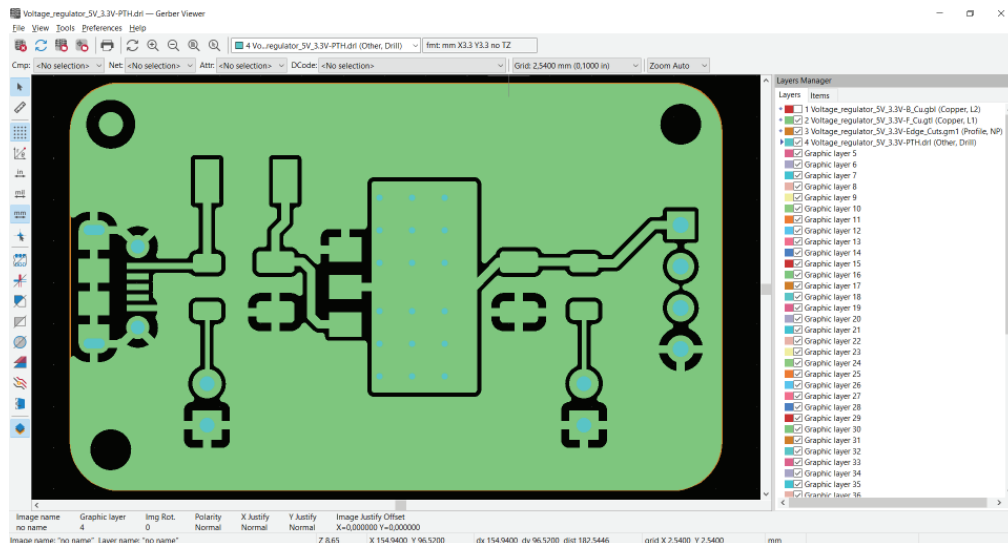
- Voltage_regulator_5V_3.3V-NPTH-drl_map.gbr
- Voltage_regulator_5V_3.3V-PTH-drl_map.gbr.

Preporuka je provjera izrađenih datoteka pomoću preglednika *Gerber* da-

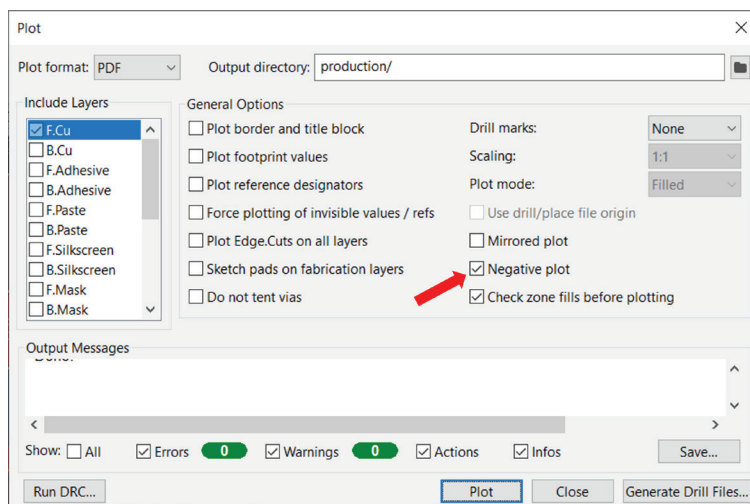


Slika 7.83. Prozor za izradu proizvodnih datoteka za provrte u KiCAD 6.0.

toteka. KiCAD 6.0 sadrži preglednik *Gerber* datoteka koji je moguće otvoriti iz glavnog prozora prikazanog na slici 6.1. klikom na ikonu *Gerber Viewer*. Program je vizualno sličan PCB Editoru, sa sličnim rasporedom i ikonama alata. U *File* padajućem izborniku otvaraju se željene proizvodne datoteke (jedna ili više njih) te se u desnom prozoru (*eng. Layers Manager*) odabire koji će sloj biti prikazan. Preporuka je vizualno provjeriti je li rub PCB-a kontinuiran, odgova-



Slika 7.84. Prozor *Gerber Viewer*a s prikazom *F.Cu*, *Edge.Cuts* i *Drill* sloja.

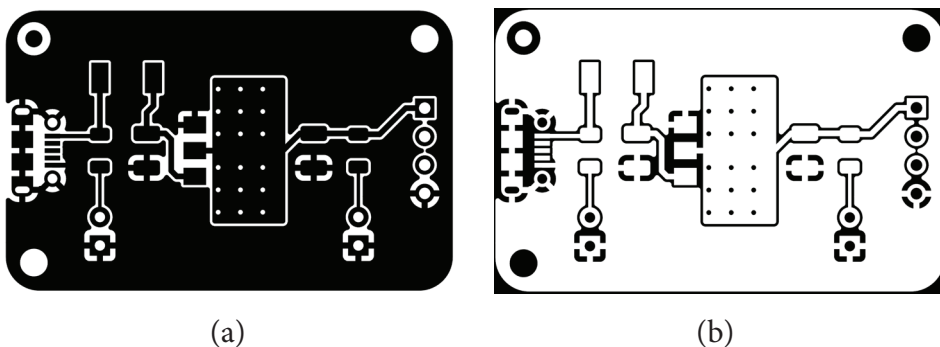


Slika 7.85. Prozor za izradu slike negativna *F.Cu* sloja u PDF formatu.

raju li provrti pozicijama i sl. Primjer prikaza gornjeg sloja PCB-a, PTH (*eng. Plated Through Hole*) provrta i ruba PCB-a je na slici 7.84. Za više informacija o Gerber pregledniku posjetite stranicu <https://docs.kicad.org/master/en/gerbview/gerbview.html>.

Proizvođači PCB-a najčešće zahtijevaju proizvodne datoteke u .zip formatu. Upotrebom nekih od besplatnih alata za sažimanje podataka, kao što je 7zip, potrebno je 11 datoteka (Gerber datoteke za odabrane slojeve i Excellon datoteke za provrte) spremiti u .zip arhivsku datoteku te dostaviti proizvođaču PCB-a (najčešće upotrebom web-stranice proizvođača).

Ako želite izraditi PCB u kućnoj radinosti foto-postupkom ili transfer postupkom, potreban Vam je pozitiv ili negativ bakrenog sloja koji ćete ispisati na prozirnu foliju (prozirnica) ili neki drugi materijal. Pomoću prozirnice prenosite dizajn (nacrtane vodiče) PCB-a na bakrenu ploču koju obrađujete (jetkate) da postane PCB. Više o ovom postupku možete pronaći u poglavlju 8. Za izradu prozirnice potreban je pozitiv ili negativ bakrenog sloja koji se jednostavno dobije u prozoru za izradu proizvodnih datoteka. U prozoru sa slike 7.82., pod *Plot Format*, odabrati *PDF*. Budući da je za sklop naponskog regulatora sva potrebna električna povezanost ostvarena u gornjem sloju, potrebno je samo ispisati *F.Cu* sloj. Ovo ide u prilog i činjenici da je dvoslojne PCB-ove komplicirano izraditi hobističkim tehnikama. Na slici 7.85. prikazan je primjer postavki za ispis nega-



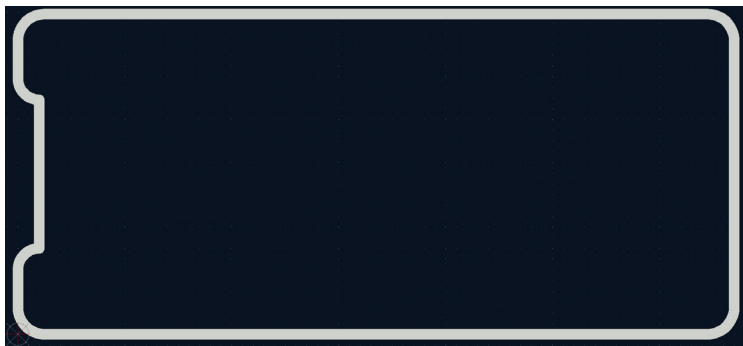
Slika 7.86. Slika pozitiva (a) i negativa (b) F.Cu sloja PCB-a.

tiva *F.Cu* sloja u PDF formatu. Za pozitiv je potrebno kliknuti na opciju označenu crvenom strelicom na slici 7.85. Ispisani pozitiv i negativ prednjeg sloja bakra (*F.Cu*) prikazan je na slici 7.86. Ostale upute za izradu PCB-a foto-postupkom možete pronaći u poglavlju 8.

7.7. DIZAJN PRODIGY SKLOPA

Kroz jednostavni primjer naponskog regulatora naučili ste dizajnirati PCB s KiCAD alatom, od koncepta do izrade proizvodnih datoteka. Iste naučene tehnike se primjenjuju i kod složenijih sklopova kao što je proDIgY.

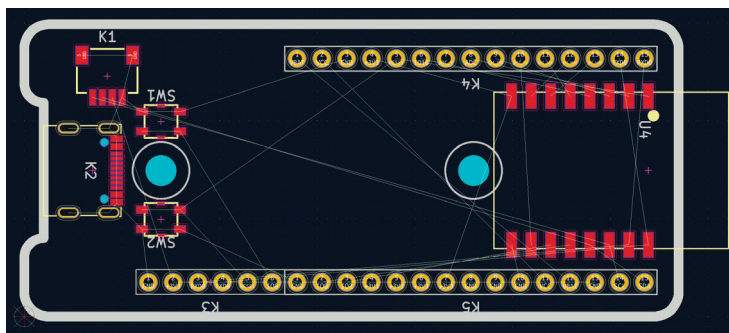
Ograničenja u dizajnu (*eng. Constraints*) jednaka su kao i za dizajn naponskog regulatora, a razlika je u definiranju *net* klasa. Ovu ploču ćemo dizajnirati bez korištenje *net* klasa, isključivo koristeći *track width* opciju za svaki od vodova. To nije nepravilno jer je rezultat na kraju gotovo pa isti te dizajner ima više slobode. Ploča za ProDIgY će biti dvoslojna.



Slika 7.87. Rubovi proDIgY pločice.

7.7.1. RASPORED KOMPONENTI

Dimenzije PCB-a su već određene tijekom specifikacija (poglavlje 3) te postavljene na 68 mm×30 mm. S obzirom da imamo veoma precizno određene dimenzije, s njima se započinje dizajn ploče - definira se izgled vanjskog ruba



Slika 7.88. Postavljanje pozicija najznačajnijih komponenti proDIgY-a na PCB.

ploče (eng. outline) u KiCAD-u. Time se definira prostor u koji možemo postavljati komponente i provlačiti vodove između tih komponenti. Izgled definiranog ruba ploče može se vidjeti na slici 7.88. Nakon toga, potrebno je postaviti provrte na željena mjesta, s obzirom da na tim mjestima neće moći biti ni komponente ni vodovi.

Nadalje, s obzirom da postoje komponente s kojima znamo da će korisnik morati imati neku vrstu interakcije, najbolje je prvo postaviti takve komponente.

- USB-C konektor: korisnik će u njega priključiti USB kabel pa ga postavljamo s lijeve strane ploče, na sredinu.
- Izvodi za povezivanje vanjskih elemenata, nazvani *Headers* na shemi, postaviti će se uz rubove ploče na način da budu dostupni korisniku i da se mogu postaviti u eksperimentalnu pločicu. Razmak po visini između dva reda tih izvoda treba biti 22,85 mm kako bi ploča stala u eksperimentalnu ploču. Ako to nije uvjet, razmak po visini između ta dva reda izvoda može biti i bilo koji drugi.
- *easyC* konektor: s obzirom da korisnik treba u njega priključiti kabel, mora biti na rubu ploče. Odlučeno je postaviti ga u gornji lijevi rub ploče.
- Tipkala korisniku također trebaju biti dostupna i zato se postavljaju odmah u blizini USB-C konektora, gdje korisnik svakako ima interakciju s USB-C konektorom.

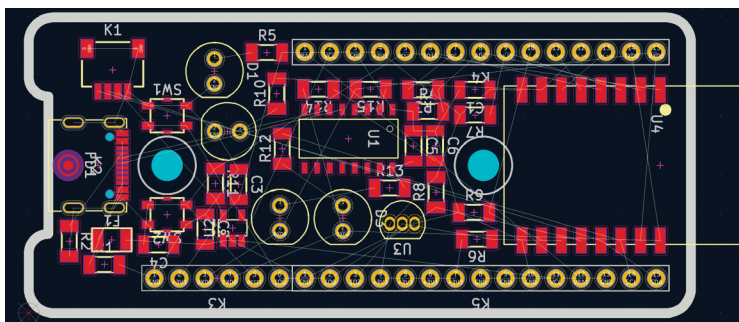
Osim toga, posebno osjetljiv element je Wi-Fi antena na mikorupravljaju ESP8266. Prema uputi proizvođača, antena treba biti što dalje od drugih vodova na ploči te ne smije imati *ground* u svojoj okolini. Zbog toga se ESP8266 modul postavlja na desni rub ploče, na način da antena “viri” s ruba ploče tako da dio s antenom ispod sebe ni iznad sebe nema nikakve vodove. Na taj način se maksimalno smanjuju smetnje na anteni. Kada su te komponente postavljene, zajedno s provrtima, ploča izgleda kao na slici 7.89.

Nakon postavljanja komponenti za koje nam je pozicija zaista važna, nastavlja se s postavljanjem svih ostalih komponenti sa sheme. Nekoliko je stvari za koje nije na odmet obratiti pažnju prilikom razmještanja komponenti za ProDIGY ploči.

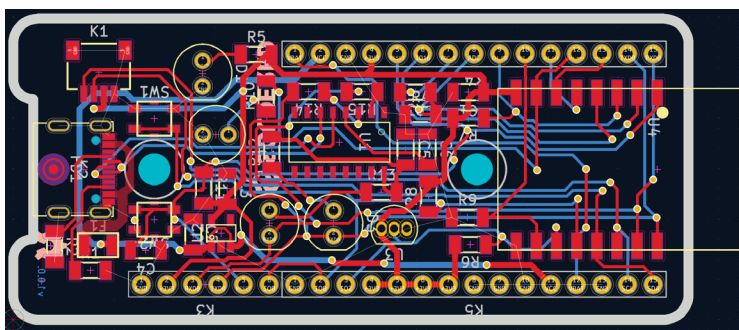
- LE diode se mogu postaviti proizvoljno, no ima smisla obratiti pažnju da LE diode za RXD i TXD linije budu jedna pored druge.
- Decoupling kondenzatori se uvijek postavljaju u neposrednu blizinu izvoda za napajanje (VCC i gnd) integriranog kruga zbog kojega su na ploči. Potrebno ih je staviti što bliže tim izvodima i paziti da vodovi između tih kondezatora i izvoda na koje ih se treba spojiti budu što kraći.
- Osigurač F1 treba postaviti u blizinu USB-C konektora kako bi se mogao postaviti širok i kratak vod od konektora do njega i kako bi se osigurao mini-

- USB-C konektoru. Otpornike za ESP8266 postaviti što bliže ESP8266, i slično.

izgledati otprilike kao na slici 7.90.



Slika 7.89. Postavljanje pozicija svih komponenti proDIgY-a na PCB.



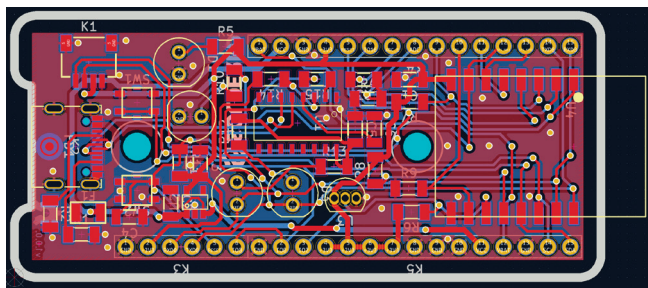
Slika 7.90. Postavljanje pozicija svih komponenti proDIGY-a na PCB.

7.7.2. POSTAVLJANJE VODOVA I *COPPER FILL*

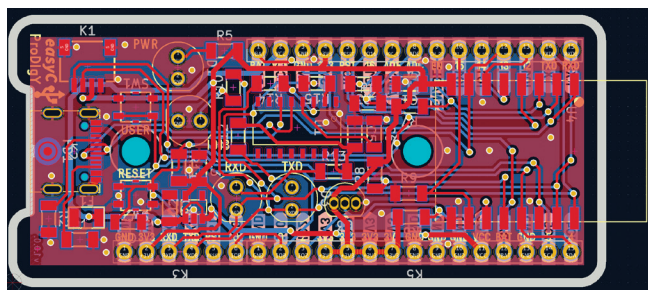
Kada su sve komponente raspoređene, mogu se početi crtati vodovi koji će ostvariti veze za sheme i na ploči. S obzirom da je ploča dvoslojna, imamo mogućnost crtanja vodova na prednjoj i stražnjoj strani ploče koji mogu biti povezani via-ma. Naravno, ovaj korak je apsolutno proizvoljan i svaka ploča će biti drukčija u nekim detaljima. Čak i da ista osoba radi istu ploču dva puta, nikada neće ispasti ista. Dakle, ne postoji samo jedan način na koji je moguće ispravno napraviti ploču, nego beskonačno njih. Jedino što je važno je uvijek držati se dobrih praksi za dizajn ploča te primjenjivati stečena znanja i iskustva (iz ovog priručnika, s interneta, stečena znanja s prethodnim dizajnima, itd.) kako bi inženjerski ploča bila što ispravnija i što upotrebljivija za njezinog korisnika.

Budući da će se za ground konekcije koristiti Copper zone opcija unutar KiCAD-a, opisana ranije u priručniku, za sada se sve ground konekcije mogu ignorirati.

Postavljanje vodova započinje se s onim vodovima za koje se želi da budu najkraći. To su uvijek vrlo kratki i maksimalno široki vodovi od decoupling kondenzatora do izvoda na integriranom krugu. Uvijek se koriste što širi vodovi kako bi se maksimalno smanjio otpor tih vodova. Nakon toga, sve druge komponente čiji izvodi imaju kratke duljine vodova će se povezati sa što kraćim i širim vodo-



Slika 7.91. proDIGY PCB s dodanim poligonom za *copper fill*.



Slika 7.92: Gotov proDIGY PCB s dodanim oznakama.

vima. Dodatno, u slučaju ploče proDIgY-a, vodovi TXD i RXD između CH340C i ESP8266 mikorupravljača te D+ i D- linije između CH340C i USB konektora trebaju biti što kraće i sa što manje via jer se njima provodi osjetljiva komunikacija.

Napajanje je još jedan slučaj gdje treba posvetiti dodatnu pažnju. Ground će biti riješen s Copper fillom, a pozitivan napon (VCC) treba povezati između svih komponenti što širim vodom. Razlog tomu je smanjivanje otpora, a samim time smanjivanje grijanja tog voda kada njime teče velika struja, kako je i objašnjeno u potpoglavlju 7.5.4.

Nakon što su povezani osjetljiviji dijelovi sheme, može se pristupiti povezivanju ostatka komponenti i izvoda na ploči. Koriste se oba sloja te via-e za povezivanje vodova između različitih slojeva. Kada je taj proces gotov, ploča izgleda otprilike kao na slici 7.91.

Sada je red za postavljanje električkih konekcija na ploči - Copper fill. Ostao je jedan signal, koji je namjerno preskočen, nepovezan. To je ground. S obzirom da ga svaka komponenta ima i da želimo na njemu maksimalno moguće smanjiti impendanciju, za njegovo povezivanje koristi se veliki komad bakra na ploči. Nakon implementacije opcije Copper zone u KiCAD-u za taj signal, ostaju još neki izvodi, nekih komponenti, nepovezani. Koristeći via-e povezane na ground i njihovim postavljenjem na ispravna mjesta, povezujemo sve ground izvode s ground copper fillom. Nakon što je taj proces gotov, ploča izgleda otprilike kao na slici 7.92.

7.7.3. DODAVANJE VIZUALNIH OZNAKA I DOVRŠAVANJE PLOČE

Ovisno o tehnici izrade ploče, moguće je dodati razne oznake na ploču kao silkscreen kako bi se olakšao rad s pločom i postigao ljepši vizualni izgled.

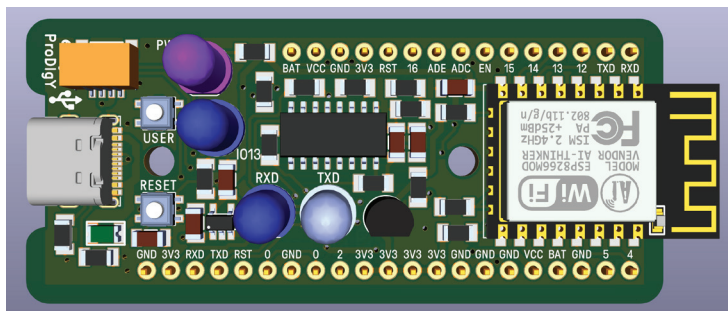
Na sve izvode na rubu ploče, s gornje i donje strane, mogu se dodati oznake tih pinova, kako bi korisnik znao, bez dodatne dokumentacije, što je povezano na tim izvodima. Pored svake LE diode, može se dodati oznaka što ta LE dioda signalizira (npr. *RXD*, *TXD*, *IO13* i slično). Slično se može napraviti i s tipkalima, može se dodati oznaka za što služi (npr. *RESET*).

Na kraj *easyC* konektora može se postaviti oznaka *easyC* da bi korisnik znao o kojem standardu se radi. U blizini USB-C konektora može se dodati oznaka USB porta, kako bi se dodatno naznačilo da se radi o USB standardu. U gornji lijevi kut se može postaviti naziv ploče - *proDIgY*. Na zadnju stranu se može postaviti oznaka verzije ploče (npr. *v1.0.0.*), kako bi se znale razlikovati u slučaju iteracija. Tu oznaku moguće je, za promjenu, postaviti na donji sloj bakra.

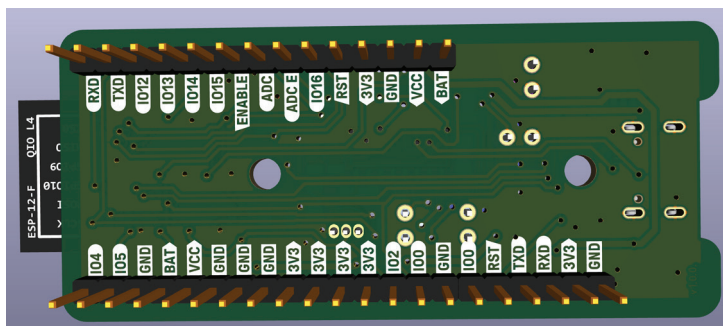
Svaka druga oznaka se može također dodati na ploču, po navođenju i ideji

njezina autora. Nakon postavljanja oznaka ploča izgleda kao na slikama 7.93., 7.94. i 7.95. (prikaz iz KiCAD-a i iz 3D preglednika).

Nakon što smo zadovoljni s izgledom ploče i odrađenim poslom, može se nastaviti s izradom proizvodnih datoteka, pripremama za proizvodnju i samom proizvodnjom, o čemu je riječ u idućem odlomku.



Slika 7.93. 3D prikaz gotovog gornjeg dijela proDIgY PCB-a.



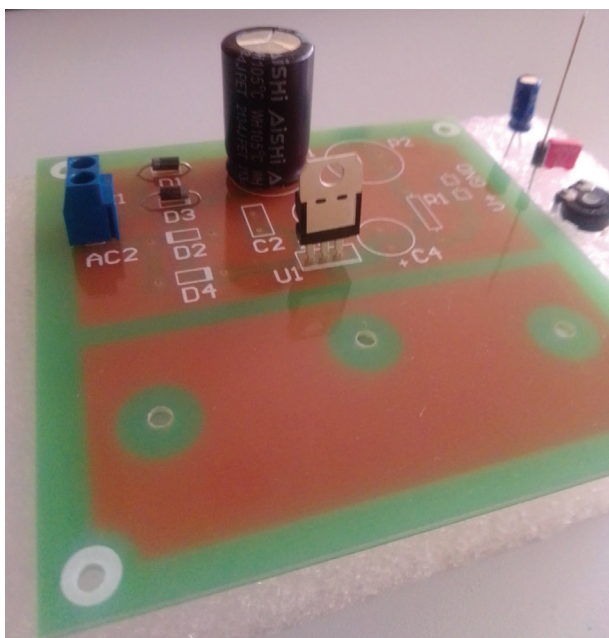
Slika 7.94. 3D prikaz gotovog donjeg dijela proDIgY PCB-a.

8. IZRADA TISKANIH PLOČICA

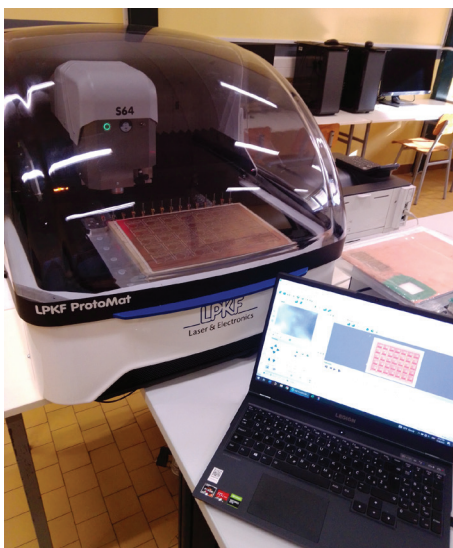
U svakodnevnoj praksi, pa i među stručnjacima iz elektroničke industrije, pojam *tiskana pločica* često se rabi u smislu gotovog proizvoda. Kažemo kako projektiramo ili izrađujemo tiskanu pločicu, a ne elektronički sklop. Iako je svakome tko se bavi elektronikom, profesionalno ili iz hobija, jasno o čemu je riječ (pa u naslovu ovog poglavlja i dalje stoji *Izrada tiskanih pločica*), treba napomenuti kako tiskana pločica nije ništa drugo nego materijal koji tek obradom nekim tehnološkim postupkom postaje ono što želimo - podloga za ugradnju elektroničkih komponenti (slika 8.1.).

Postoje različiti načini obrade tiskane pločice specifični po vrsti primijenjene tehnologije, postupcima obrade, korištenim alatima i materijalima kao i tehničkim osobinama gotovog proizvoda. Obzirom na tu veliku raznolikost i našu želju da napišemo uputu za praktičan rad, u ovom dijelu priručnika detaljnije ćemo opisati jedan postupak tipičan za elektroničare-hobiste s kojim ne bi bilo loše početi ako se želite baviti elektronikom. Riječ je o tzv. foto postupku.

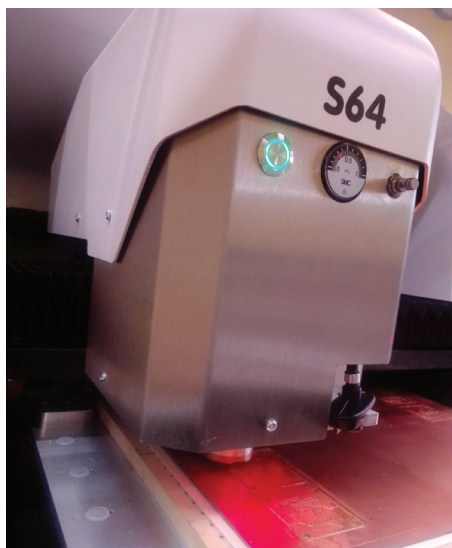
Također, upoznat ćemo Vas i s postupkom automatizirane obrade tiskane pločice na primjeru upotrebe dostupne nam opreme (smt linija tvrtke LPKF), koja je sve više zastupljena i u našem strukovnom obrazovanju (slika 8.2.).



Slika 8.1. Jednostavni primjer jednoslojne tiskane pločice s djelomično postavljenim diskretnim komponentama.



(a)



(b)

Slika 8.2. Primjer uređaja za izradu PCB-a baziran na CNC tehnologiji (a), uvećani dio uređaja (b).

8.1. FOTO POSTUPAK OBRADE TISKANE PLOČICE

Foto postupak je jedan od najčešće korištenih postupaka obrade tiskane pločice u svijetu amaterske elektronike. Ne zahtijeva velika materijalna ulaganja i jednostavan je za primjenu. Njime je moguće za relativno kratko vrijeme obraditi veći broj pločica koje tehničkim karakteristikama zadovoljavaju zahtjeve jednostavnijih, mahom jednoslojnih strujnih krugova. Osnovni nedostatak tog postupka se ogleda u korištenju štetnih kemikalija po zdravlje i okoliš pa je tijekom njegova izvođenja potrebno posvetiti posebnu pozornost mjerama i postupcima zaštite od štetnih i opasnih tvari. U tom smislu je neophodno koristiti masku za zaštitu dišnih putova, rukavice za rad s kemikalijama te raditi u dobro prozračenim prostorijama. Također, kemikalije je potrebno skladištiti i odlagati nakon upotrebe prema uputama proizvođača.

U tehničkom smislu foto postupkom je prilično zahtjevno izraditi dvoslojnu pločicu tako da se dobije prihvatljivo odstupanje u poravnanju gornjeg i donjeg sloja. Također, izraditi realan strujni krug ovim postupkom uz širine tiskanih vodiča i razmaka između vodiča manje od 30-ak mils-a (oko 0,75 mm) prilično je veliki izazov, pogotovo kada uz zadovoljavajući rezultat trebate izraditi veći broj uradaka. O ovim ograničenjima foto postupka trebate voditi računa prije nego se upustite u izradu elektroničkog sklopa. Naravno, sve navedeno je okvirno, posebno brojčane vrijednosti, i sigurno ima i drugačijih iskustava.

Što se samog postupka tiče, postupak se svodi na osvjetljavanje pločice presvučene foto-osjetljivim lakom ultraljubičastim zračenjem. Obzirom da svi izvori svjetla, prirodni i umjetni, sadrže određenu količinu ultraljubičastog zračenja, pločica je za ovaj postupak zaštićena posebnom folijom koju treba odvojiti neposredno prije obrade pločice. Po toj foliji ćete je razlikovati od standardne pločice (slika 8.3.).

Svojedobno su se ovakve pločice radile ručnim nanošenjem laka na bakar, najčešće sprejem, što nerijetko nije davalo odgovarajuće rezultate. Neophodno je lakom ravnomjerno pokriti cijelu pločicu, tj. postići jednaku debljinu laka po cijeloj površini, što je prethodno spomenutim načinom vrlo teško postići. Danas za to nema potrebe jer se foto pločice rade strojno uz minimalnu razliku u cijeni u odnosu na standardne pločice istih dimenzija i sastava.

Osim pločice, za provedbu ovog postupka potreban je izvor ultraljubičastog svjetla, transparentni medij s otisnutim nacrtom tiskanih veza (u daljnjem tekstu prozirnica), kemikalije i aparatura za razvijanje i nagrizanje pločice te alat za njezino bušenje.

Etape postupka su sljedeće:

1. Na podlogu uređaja za osvjetljavanje postavljamo pločicu i prozirnicu s otisnutim nacrtom tiskanih veza (slika 8.4.). Iako postoje različite tehnike izrade tog nacrtu, najbolje rezultate ćete dobiti ako ga izradite na računalu u nekom od softvera za tu namjenu i otisnete ga na laserskom pisaču veće rezolucije (npr. 1200x1200 dpi). Redoslijed postavljanja pločice i prozirnice ovisi o tome nalazi li se izvor ultraljubičastog svjetla u poklopcu ili dnu uređaja.

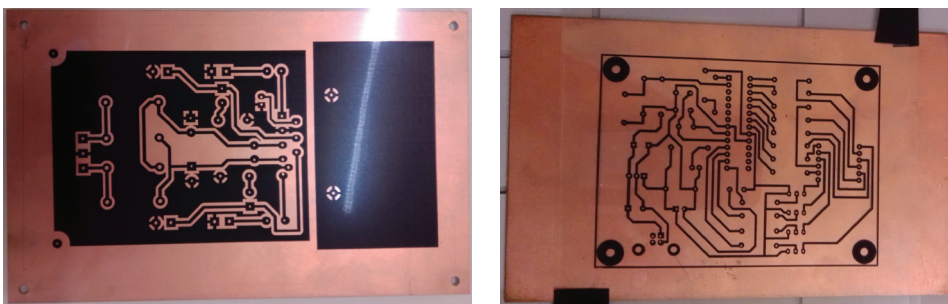
Prikazani model (slika 8.5.) ima izvor svjetla u poklopcu pa se prvo postavlja pločica, a potom prozirnica. Kako je vidljivo na slici, uređaj je



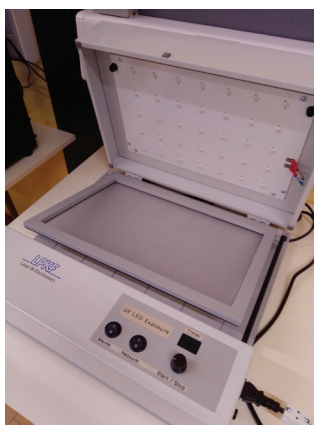
Slika 8.3. Tiskana pločica presvučena foto-osjetljivim lakom i zaštićena folijom.

opremljen mjeracem vremena (*eng. Timer*) i vakuumom što omogućuje precizno namještanje vremena osvjetljenja i potpuno prijanjanje prozirnice na pločicu (bez zračnih mjehura). Vrijeme osvjetljavanja ovakvim uređajima ovisi o korištenom modelu, no najčešće je kraće od 2 minute. Napominjemo kako je osvjetljavanje moguće raditi i nekim priručnim sredstvom, npr. običnom žaruljom, no tada to traje bitno dulje (25-30 minuta, ovisno o jačini žarulje). Jedna takva aparatura je prikazana slikom 8.6.

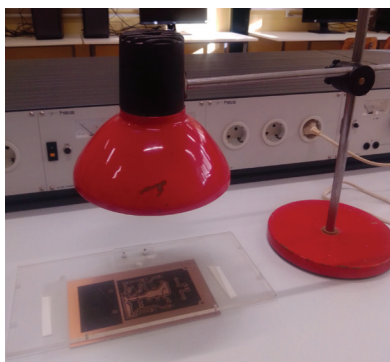
2. Nakon osvjetljavanja pločica se uranja u posudu s kemikalijom za razvijanje vodljivih likova. Cijenom povoljno sredstvo za razvijanje je natrijev hidroksid (slika 8.7.) koji se miješa s vodom: jedna litra vode – jedna jušna žlica hidroksida (oko 10 g). Razvijanje se može pospješiti mehanički (upotrebom četkice) i zagrijavanjem otopine na 40 - 50 °C (slika 8.8.). Osim natrijevog hidroksida, pločicu možete razviti i natrijevim silikatом, sredstvom



Slika 8.4. Primjeri pločice s foto-osjetljivim lakom s postavljenom prozirnicom s otisnutim tiskanim vezama.



Slika 8.5. Primjer uređaja za osvjetljavanje.



Slika 8.6. Primjer osvjetljavanja foto-osjetljive pločice standardnom lampom.



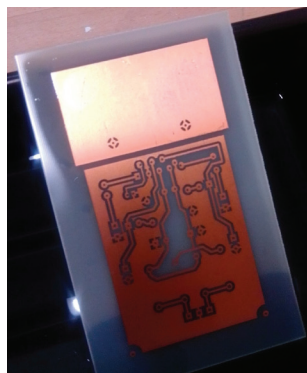
Slika 8.7. Natrijev hidroksid.



Slika 8.8. Mehanički pospješeno razvijanje foto postupkom.



(a)



(b)

Slika 8.9. Jetkanje u foto-postupku (a) djelomično uklonjen nefunkcionalni bakar, (b) potpuno uklonjen nefunkcionalni bakar.

koje se kod naših dobavljača može naći pod nazivom natrij-silicij i obično u manjim pakiranjima za jedan ili nekoliko procesa razvijanja (10 -50 g).

3. Nakon razvijanja (**i ispiranja!**) pločica se uranja u otopinu za tzv. jetkanje, proces kojim se uklanja nefunkcionalni bakar (slika 8.9.). Za jetkanje preporučamo otopinu 30% kloridne (solne) kiseline, 30 % vodikovog peroksida (hidrogena) i vode (slika 8.10.), posebno ako ste u mogućnosti nabaviti cijenom povoljnu tehničku kiselinu (u vrijeme pisanja priručnika, dvadesetak kuna litra). Okvirni udjeli navedenih komponenti u jednoj litri iznose: 200 ml kiseline, 770 ml vode i 30 ml hidrogena. Postoje i druge manje agresivne kemikalije za jetkanje koje cijenom nisu toliko povoljne, poput feriklorida i natrij-persulfata.

Važna napomena: ako otopinu za jetkanje radite solnom kiselinom, u posudu prvo trebate uliti vodu, a potom kiselinu (slika 8.11.). Nikako ne raditi otopinu tako da u posudu prvo ulijete kiselinu, pa potom vodu! Ovoga se trebate strogo držati inače ćete dobiti burnu i opasnu reakciju nalik onoj koju dobijete kada na vrelo ulje izlijete vodu. Također je prilikom jetkanja obavezno koristiti zaštitnu opremu (rukavice, zaštitne naočale i zaštitnu masku). Preporuka je da se postupak provodi u dobro prozračnoj prostoriji.

Sve ove kemikalije, i za razvijanje i za jetkanje, mogu se nabaviti u trgovinama specijaliziranim za elektroniku, a neke čak i u trgovinama robe široke potrošnje. Dodajemo kako su za potrebe jetkanja i razvijanja dos-



Slika 8.10. Solna kiselina, hidrogen i menzura.



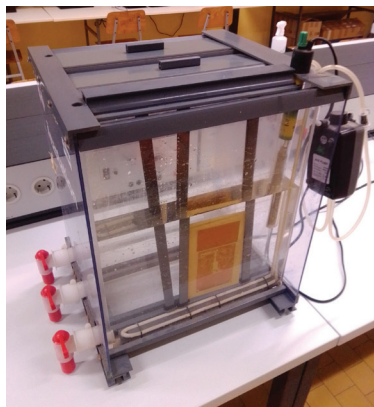
Slika 8.11. Izrada otopine za jetkanje, prvo voda zatim kiselina.

tupni i posebni uređaji koji omogućuju polu-automatsku kemijsku obradu većih količina pločica u kraćem vremenu. Jedan takav uređaj prikazan je na slici 8.12. Kako je vidljivo na slici, podijeljen je u tri komore: za razvijanje, ispiranje i jetkanje pločice. Pridodani kompresor i grijač omogućuju cirkulaciju i zagrijavanje otopine čime se ubrzava kemijska reakcija i skraćuje vrijeme obrade. Samo postavljanje pločice izvodi korisnik.

4. Po završetku jetkanja pločica se ispiru i buši. Za bušenje pločice koristimo posebne bušilice za tiskane pločice kojima je osnovna odlika velika brzina rada. Koliko je to bitna karakteristika svjedoči činjenica da alati za automatiziranu obradu pločica postižu brzine i do 100 tisuća okretaja u minuti. Kod osnovnih modela ručnih bušilica to je bitno manje, 10 – 15 tisuća. Kod ručnog bušenja je poželjno, radi što točnijeg bušenja, istočkati buduće provrte. Napominjemo da se veličine provrta trebaju prilagoditi promjeru nožica komponenti pa je prije te operacije potrebno utvrditi o kojim je promjerima nožica riječ. Tijekom samog bušenja važno je osigurati ulazak svrdla pod kutom što bližim 90° u odnosu na pločicu (slika 8.13.).

Bušenje radimo tako da svrdlo postavimo u utor napravljen točkanjem, uključimo bušilicu i probušimo provrt. Bušilicu je potrebo isključiti i ponovno je uključiti nakon postavljanja svrdla u utor sljedećeg provrta. Bušenjem provrta izrada pločice završava. Potrebno ju je pregledati vizualno i uz pomoć mjernog instrumenta, posebno na mjestima potencijalnog kratkog spoja. Ako pločica ne zadovoljava u bilo kojem pogledu (vodiči su nedovoljne širine ili u prekidu, lemne točke su oštećene netočnim bušenjem i slično), trebate izraditi novu. Dapače, poželjno je da za svaki projekt izradite nekoliko pločica i onda koristite najbolji uradak. Važno je napomenuti kako pločicu prije bilo kakve daljnje upotrebe treba pažljivo očistiti. Prije (i nakon) lemljenja svakako. Standardna sredstva za čišćenje pločica jesu aceton (slika 8.14.) i izopropilni alkohol (slika 8.15.). Karakteristični su po tome što brzo isparavaju i temeljito uklanjaju ostatke lemljenja, poput fluksa ili paste, pa biste ih svakako trebali imati u svojoj radionici.

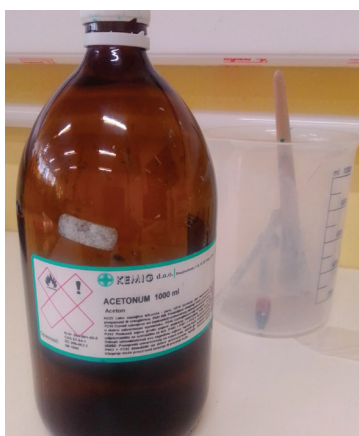
Na kraju dodajemo kako se pločice mogu izraditi i nekim drugim *hobby* postupcima, npr. transfer postupkom ili tehnikom tzv. sitotiska. Za razliku od sitotiska, koji je tehnički složeniji i zahtijeva posebnu aparaturu, transfer postupkom možete vrlo brzo ovladati. On se svodi na fizički prijenos tonera na pločicu uz pomoć topline. Iz tog razloga za njegovu izvedbu Vam osim pločice (**obične, bez sloja foto laka**) i otisnutog nacrt tiskanih veza na prozirnici ili nekoj drugoj podlozi treba još samo izvor topline, npr. glačalo (slika 8.16.).



Slika 8.12. Primjer polu-automatskog uređaja za jetkanje.



Slika 8.13. Bušilica za izradu provrta PCB-a.



Slika 8.14. Aceton za čišćenje.



Slika 8.15. Izopropilni alkohol za čišćenje.



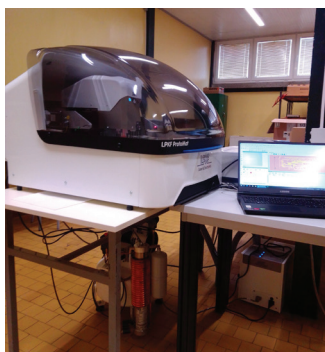
Slika 8.16. Transfer postupak topline s glačalom.

Obzirom da je riječ o direktnom prijenosu (transferu) nacрта na pločicu, ovdje nema potrebe za razvijanjem vodljivih likova. Pločica nakon „glačanja“ ide direktno u otopinu za jetkanje. Ako prijenos nije uspio ili dobivenim rezultatom niste zadovoljni, pločicu možete očistiti i ponoviti postupak, Teoretski, neograničeni broj puta. To kod foto postupka nije moguće. Pločica se ne može ponovo koristiti ako prijenos foto postupkom ne uspije. U nekim slučajevima, no to su zaista najjednostavniji strujni krugovi, nacrt tiskanih veza možete dobiti direktnim crtanjem na pločicu za što se mogu koristiti vodootporni flomasteri (markeri). Izrada složenijih strujnih krugova na taj način je mukotrpan posao koji obično ne daje dobre rezultate niti u estetskom smislu te upotrebu markera preporučamo samo za eventualnu doradu nedovoljno kvalitetnih otisaka dobivenih transfer postupkom.

8.2. AUTOMATIZIRANA OBRADA TISKANE PLOČICE

Za razliku od foto postupka za koji je upotreba računala s instaliranim softverom za projektiranje u elektronici tek jedna od (preporučanih) opcija, za automatiziranu obradu isto je neophodno. Ako želite pločicu obraditi na taj način, morate sjesti za računalo i dizajnirati njezin budući izgled (*eng. layout*). Kako je objašnjeno u prethodnim poglavljima, dizajniranje sklopa završava generiranjem proizvodnih datoteka, najčešće u *Gerber* i *Excellon* formatu, temeljem kojih se u upravljačkom softveru stroja za obradu pločice generiraju putanje alata. Na slici 8.17. prikazan je CNC, numerički upravljani stroj (u daljnjem tekstu ploter), povezan s računalom, kompresorom i usisivačem.

Ostali dijelovi ovog sustava su *reflow* pećnica za lemljenje i površinsku obradu pločice (slika 8.18.), oprema za nanošenje maske za lemljenje i izradu oznaka komponenti te oprema za izradu tzv. prospojnih rupa kojima se kod dvo-



Slika 8.17. CNC stroj (ploter) za obradu PCB-a sa svim vidljivim komponentama



Slika 8.18. Reflow pećnica.

slojnih pločica vodljivo vežu donji i gornji sloj (slika 8.19.). O njima nešto više u drugom dijelu uputa.

Ploter obrađuje pločicu mehanički, uklanjanjem dijelova bakrene folije. Njime bušimo provrte i izrezujemo pločicu po zadanoj konturi. Koristimo ga također za izradu tzv. *stencila* (šablona), za nanošenje paste za lemljenje, istiskivanje lemne paste na pločicu i izradu 2,5D elemenata (dijelova kućišta).

Navedene operacije obavlja procesni dio plotera, tzv. *processing head* (slika 8.20.), s dograđenom kamerom koja prati izmjenu alata i osigurava točnost obrade pločice.



Slika 8.19. Materijal za površinsku obradu PCB-a.



Slika 8.20. Procesni dio plotera (eng. *processing head*).

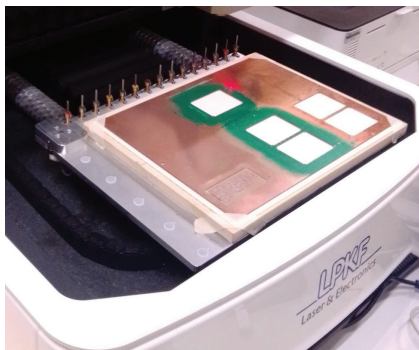
Radna površina služi za postavljanje i učvršćenje materijala. Riječ je o tzv. vakuumskoj ploči povezanoj na usisavač (slika 8.21.) koji, osim što učvršćuje pločicu, usisava strugotinu koja nastaje njezinom obradom. Uz radnu površinu nalazi se postolje s nosačima alata (15 pozicija s mogućnosti dogradnje), kako je i vidljivo na slici.

Za obradu pločice koriste se alati prikazani na slici 8.22.:

- alati za izradu izolacije (eng. *milling tool*), 0,2 - 0,5 mm (eng. *universal cutter*) i 0,10 - 0,15 mm (eng. *micro cutter*)
- alati za dodatnu obradu odabranih površina na pločici (eng. *rub-out*), 0,8 - 3,0 mm (eng. *end mill tool*)
- alati za izrezivanje konture (eng. *contour router*), 0,5 - 2 mm
- svrdla za bušenje provrta (eng. *drill tool*), 0,4 - 3 mm.

Alati su opremljeni tzv. stop prstenima u različitim bojama kako bi se smanjila mogućnost pogreške prilikom posluživanja plotera.

Etape procesa obrade su detaljno objašnjene u narednim potpoglavljima.



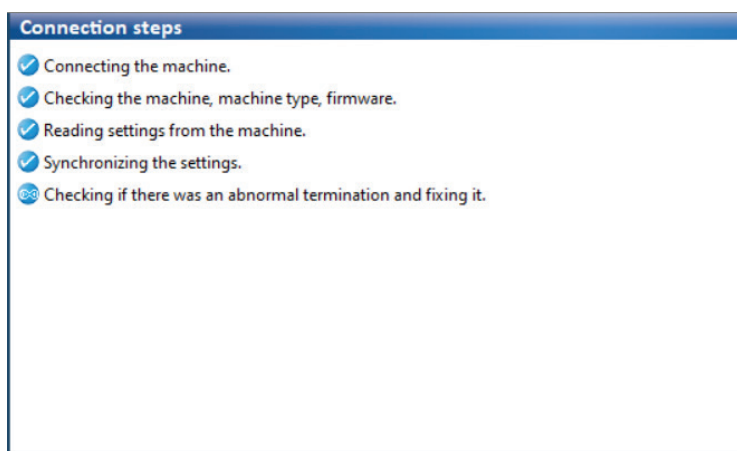
Slika 8.21. Vakuumska ploča plotera.



Slika 8.22. Alati za obradu PCB-a.

8.2.1. PLANIRANJE PROCESA IZRADE

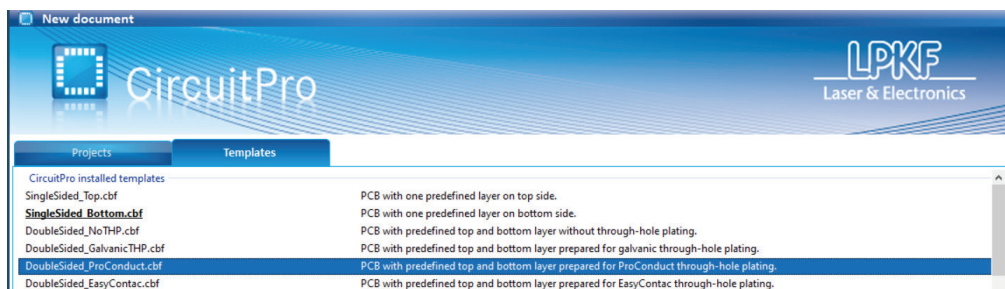
Prilikom uključivanja plotera pokreće se procedura njegova spajanja s upravljačkim računalom (slika 8.23.), koja završava postavljanjem procesnog dijela stroja u jedan od referentnih položaja i uključivanjem nadzornog sustava (kamere).



Slika 8.23. Spajanje programske podrške s ploterom.

Slijedi otvaranje nekog već odrađenog projekta ili gotovog predloška za novi projekt. Kako je vidljivo na slici 8.24., ploterom je moguće odraditi jednoslojne i dvoslojne *tht* i *smt* projekte s različitim opcijama obrade provrta.

U sljedećem koraku definiraju se različiti parametri poput vrste materijala koji će se obrađivati, tehnologije izrade vodljivih provrta i površinske obrade pločice (v. sliku 8.25.).



Slika 8.24. Odabir vrste projekta plotera.

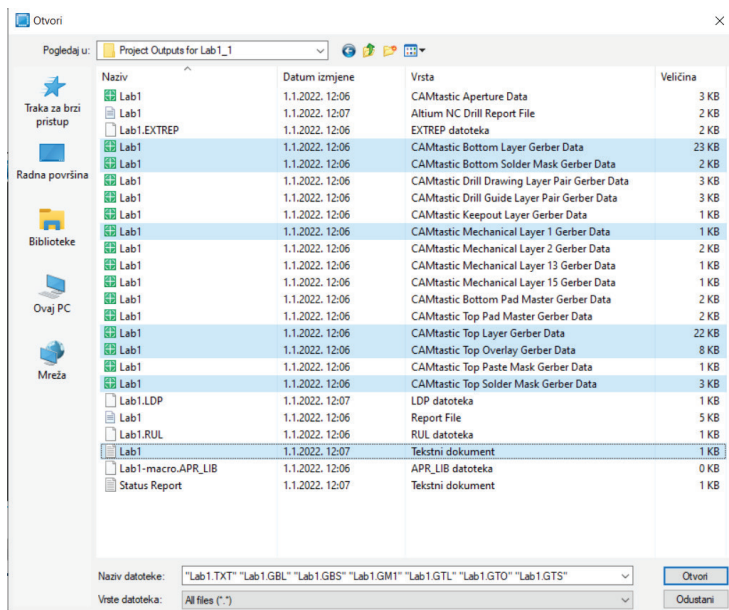


Slika 8.25. Odabir parametara projekta plotera.

8.2.2. PRIPREMA PROCESNE FAZE

Faza započinje uvozom proizvodnih datoteka. Količina i vrsta podataka koji će se uvesti ovise o složenosti projekta i željenom stupnju površinske obrade pločice i provrta. Primjer prikazan slikom 8.26. pokazuje sljedeće:

- želimo obraditi donju i gornju stranu pločice (*CAMtastic Bottom* i *CAMtastic Top Layer Gerber Data*)
- želimo izraditi masku za lemljenje na donjoj i gornjoj strani (*CAMtastic Bottom* i *CAMtastic Top Solder Mask*)
- želimo izraditi oznake komponenata na gornjoj strani (*CAMtastic Top Overlay Gerber Data*)
- želimo izrezati konturu (okvir) pločice (*CAMtastic Mechanical Layer1 Gerber Data*)
- želimo probušiti provrte (Tekstni dokument u *Excellon* formatu).



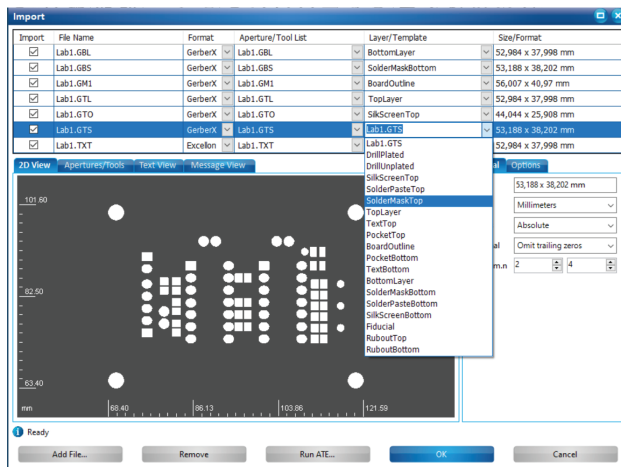
Slika 8.26. Odabir proizvodnih datoteka za izradu PCB-a.

U sljedećem koraku uvezenim datotekama dodjeljujemo odgovarajuće predloške. Na taj način određujemo za koju radnu operaciju će se koristiti pojedina datoteka. Primjera radi, datoteka *Lab1.GTS* sadrži podatke potrebne za izradu maske za lemljenje na gornjoj strani pločice pa joj dodjeljujemo predložak *SolderMaskTop* (v. sliku 8.27.).

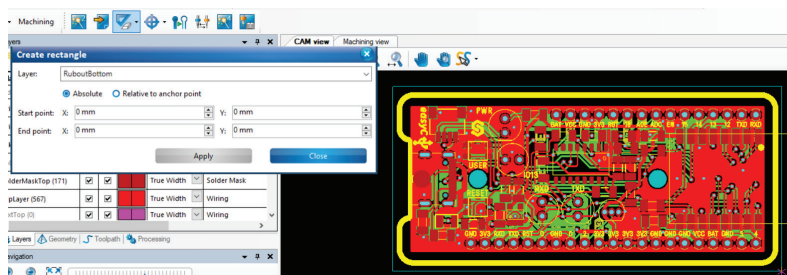
Klikom na tipku OK prelazimo u tzv. CAM prikaz projekta u kojemu po potrebi zadajemo dodatnu obradu pločice unutar zadane površine, tzv. *Rubout Bottom/Top* (v. sliku 8.28.) te izradu tzv. fiducija, provrta kojima se postiže poravnanje gornjeg i donjeg sloja prilikom izrade dvoslojnih pločica (v. sliku 8.29.

Priprema procesne faze završava odabirom postavki generiranja putanja u panelu *Technology dialog* po kojima će različiti alati obrađivati pločicu (v. sliku 8.30.).

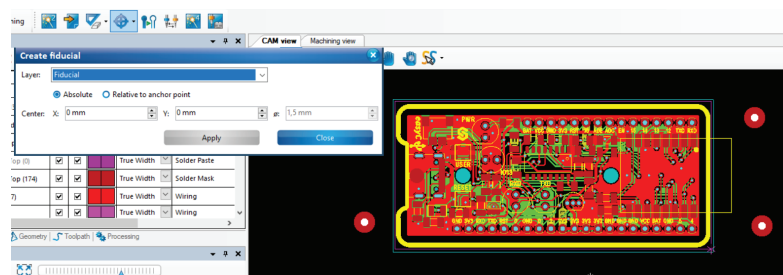
Rezultati generiranja prikazuju se u panelu *Computation Results* (v. sliku 8.31.). Kako je vidljivo na slici, riječ je o popisu alata potrebnih za obradu s izračunatim duljinama njihovih putanja, odnosno brojem provrta kojeg treba napraviti pojedino svrdlo. Ovime završava faza pripreme procesa obrade.



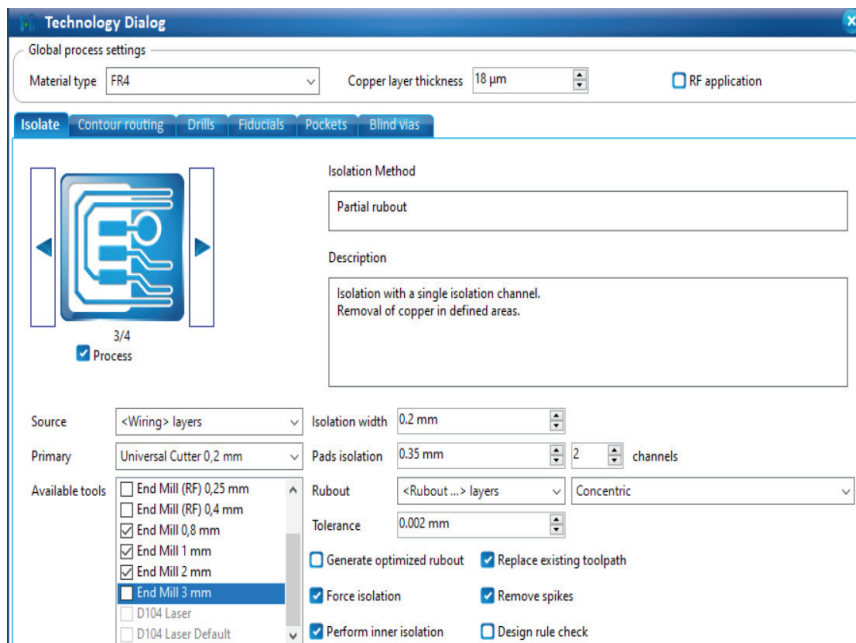
Slika 8.27. Pridruživanje pojedinih datoteka slojevima/radnim operacijama plotera.



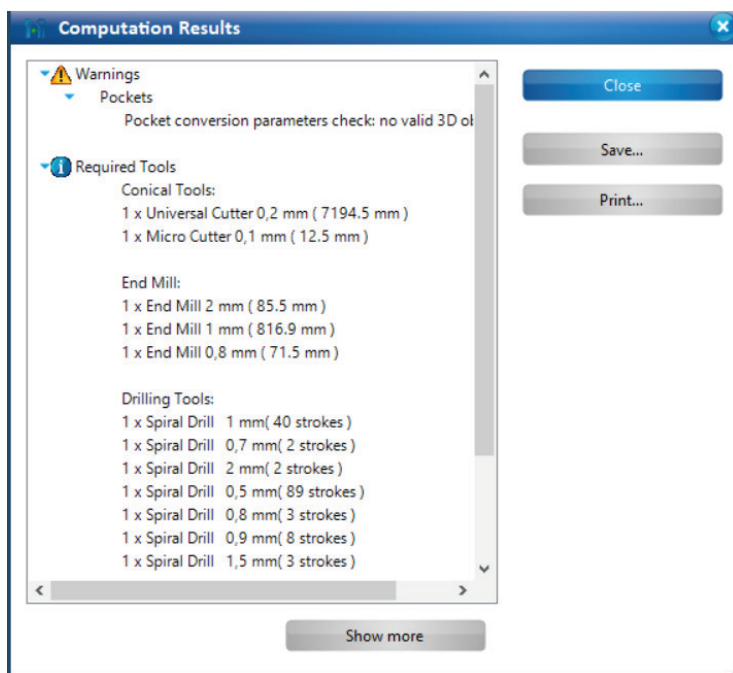
Slika 8.28. CAM prikaz za dodatnu obradu PCB-a.



Slika 8.29. CAM prikaz za izradu fiducija.



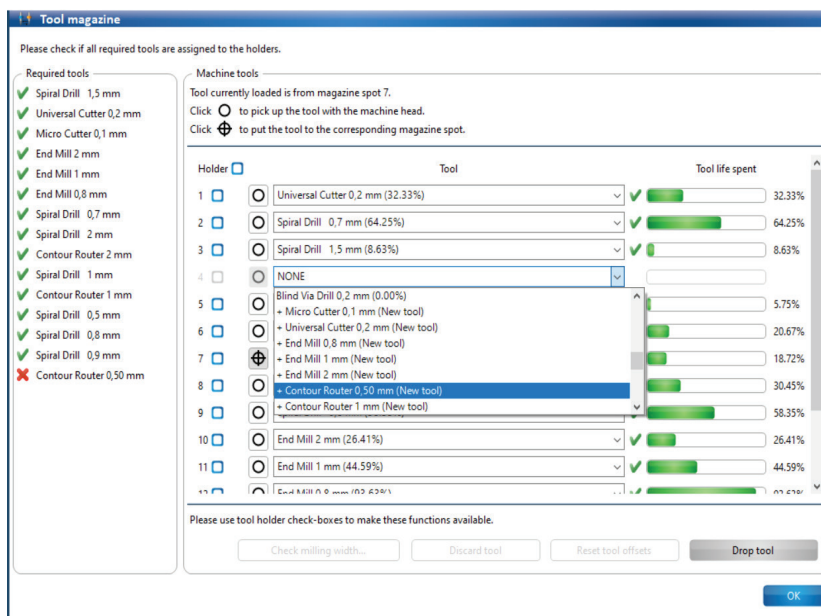
Slika 8.30. Technology panel za odabir postavki alata.



Slika 8.31. Prikaz izračuna upotrebe pojedinih alata za obradu PCB-a.

8.2.3. PROCESNA FAZA

Ova faza kreće detektiranjem raspoloživosti alata potrebnih za obradu pločice u postolju s alatima. Pojašnjenja radi, informacija u panelu *Tool magazine*, prikazana slikom 8.32., ukazuje kako u postolju trenutno nedostaje alat za obrezivanje pločice, *Contour Router 0,5 mm* (crveni križić u stupcu *Required tools*).



Slika 8.32. Pridruživanje alata za obradu odgovarajućem mjestu u postolju za alate.

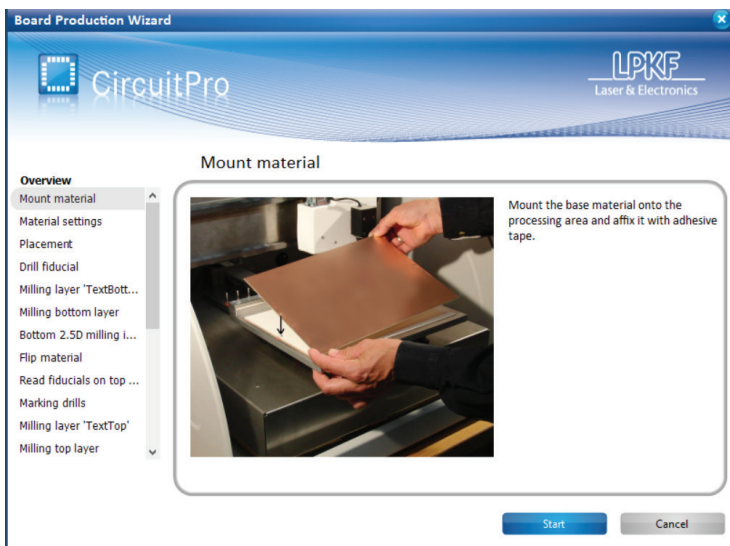
Nedostatak rješavamo postavljanjem potrebnog alata u jedan od raspoloživih nosača nakon čega mu je potrebno dodijeliti istu poziciju u panelu *Tool magazine* (izborom iz padajućeg popisa u stupcu *Tool*). Softver prati potrošnju alata (stupac *Tool life spent*), kao što je i vidljivo na slici, a isto je korisno i za pripremu zamjene alata tijekom obrade, ali i za planiranje njihove pravovremene nabave.

Klikom na tipku OK zatvaramo taj panel i krećemo s obradom kroz koju nas vodi *Board Production Wizard* (v. sliku 8.33.).

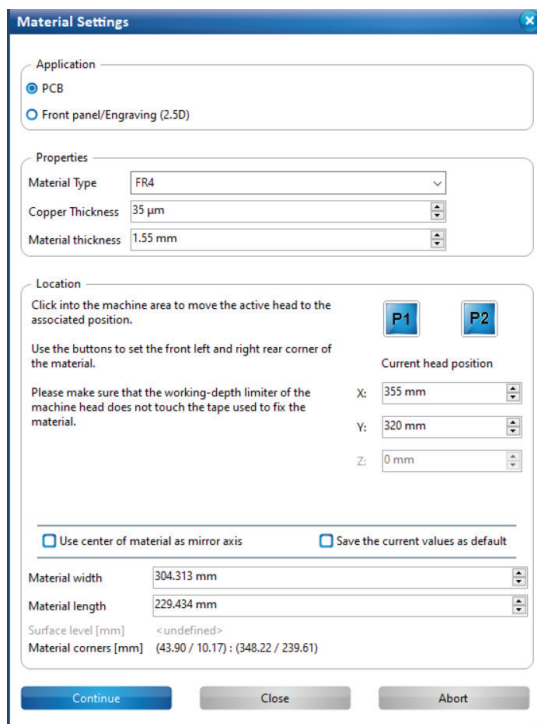
Nakon postavljanja materijala (*Mount material*), u panelu *Material settings* definira se njegova geometrija (v. sliku 8.34.). Upisuju se podaci o vrsti (FR4) i debljini izolacije (1,55 mm), debljini folije (35 μm što odgovara 1 oz/ft² bakra) i definiraju se dimenzije pločice (duljina $\times$ širina) i njezina pozicija na vakumskoj ploči.

U sljedećem koraku sliku pločice pozicionirate na željeni dio materijala uz pomoć panela *Placement* (v. sliku 8.35.).

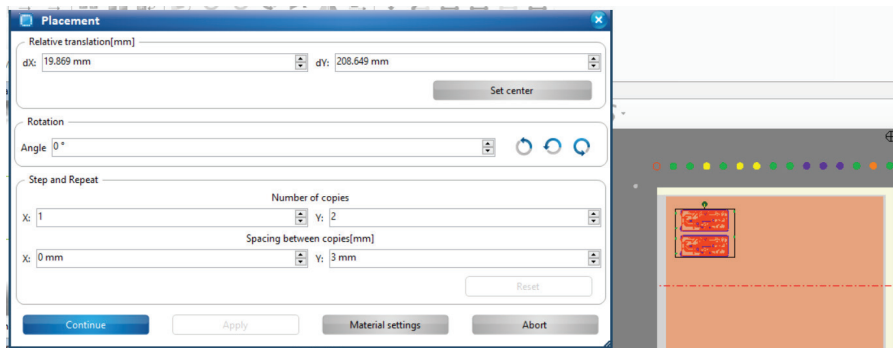
Po potrebi je možete rotirati (*Rotation/Angle*) i umnožiti je upisom željenih



Slika 8.33. Početak obrade s čarobnjakom za izradu PCB-a.



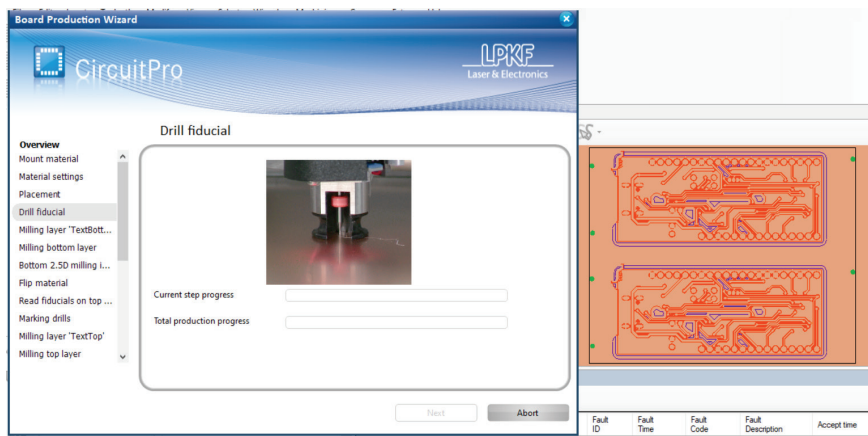
Slika 8.34. Definiranje postavki korištenog materijala za izradu PCB-a.



Slika 8.35. Prozor *Placement* za pozicioniranje PCB-a na ploči.

vrijednosti na kartici *Step and Repeat* tako da se tijekom jednog procesa obrade izradi više njezinih kopija.

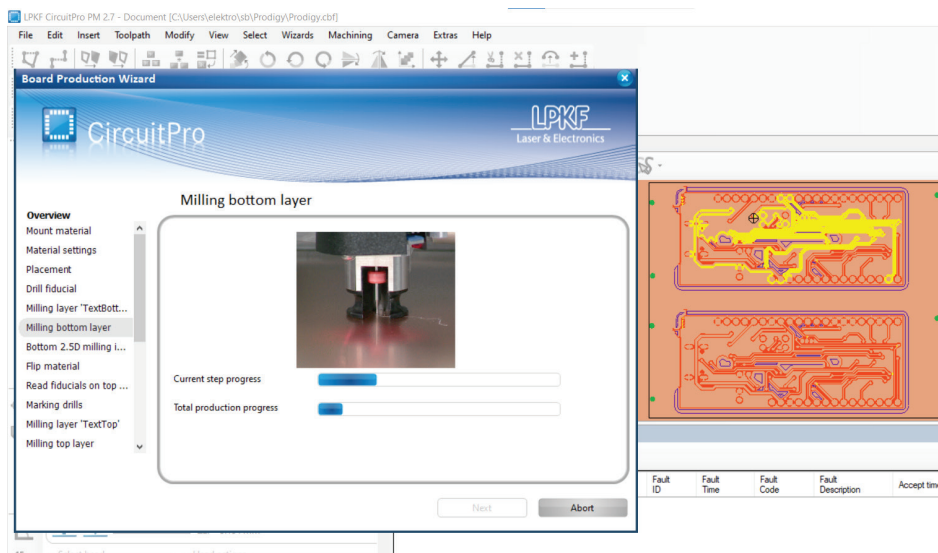
Ako radite dvoslojnu pločicu u fazi pripreme izrade postavili ste oznake za izradu fiducija. Njihovo bušenje (*eng. Drill fiducial*) prva je operacija koju će procesni dio izvršiti na postavljenom materijalu (v. sliku 8.36.). Fiducije se po standardu buše svrdlom 1,5 mm.



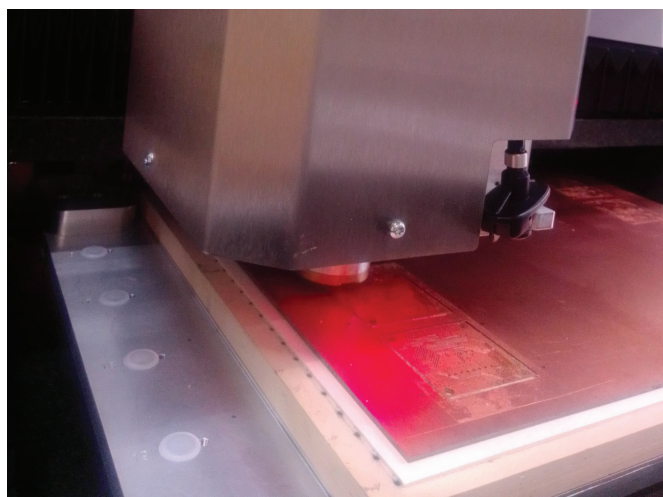
Slika 8.36. Bušenje fiducija, označeno zelenim krugovima.

Sav preostali proces obrade je potpuno automatiziran uz minimalne intervencije operatera. Nakon bušenja fiducija kreće obrada bakrene folije. Ako je riječ o dvoslojnom projektu, prvo se obrađuje donja strana (*eng. bottom layer*, v. slike 8.37.a i 8.37.b).

Po završetku obrade donje strane operater okreće pločicu kako bi se obradila gornja strana. Prethodno se kamerom očitaju pozicije fiducijalnih rupa kako bi se postiglo potrebno poravnanje gornjeg i donjeg sloja pločice (v. sliku 8.38.).



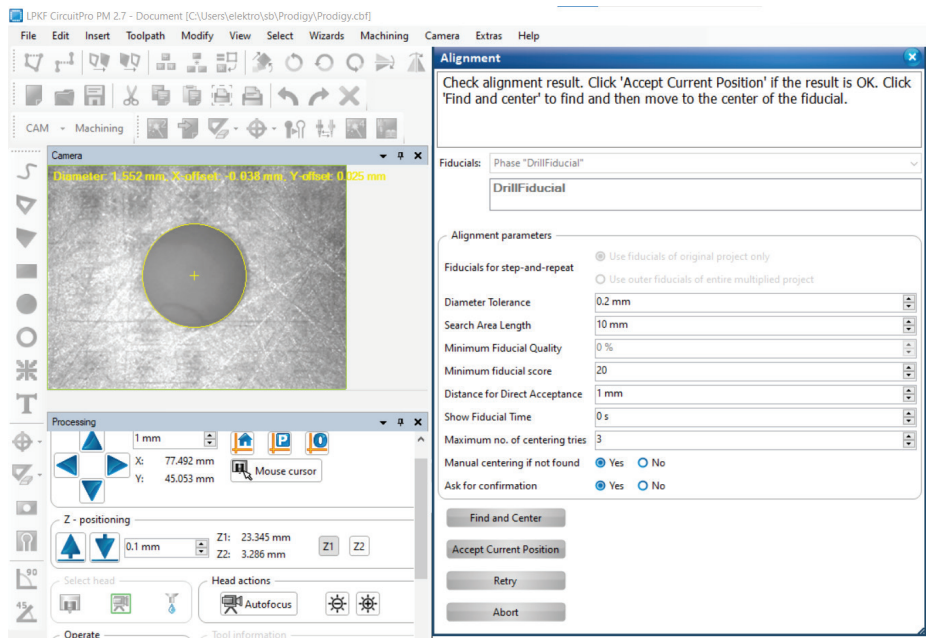
(a)



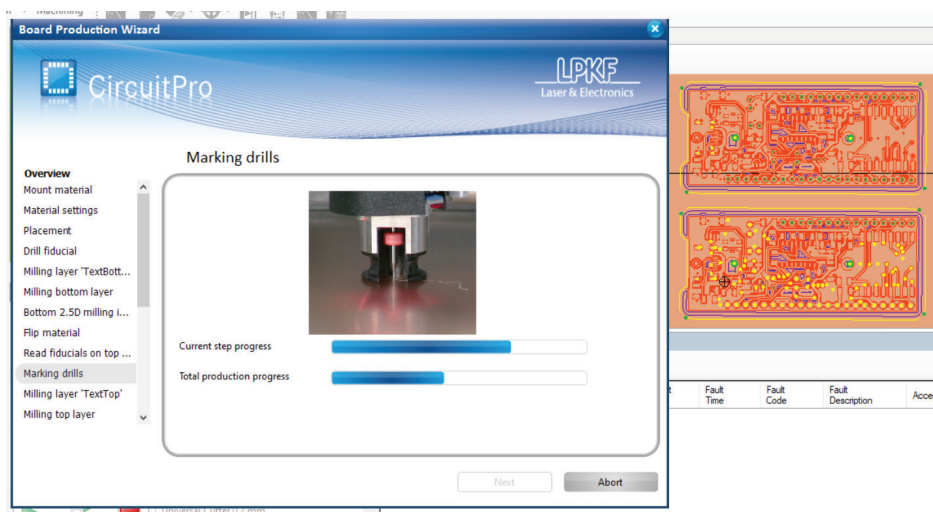
(b)

Slika 8.37. Uklanjanje bakra za donji sloj .

Očitavanjem zadnje fiducije kreće obrada gornjeg sloja. Najprije se markiraju pozicije provrta na pločici (*eng. Marking drills*, v. sliku 8.39.), a zatim uklanja bakar s gornje strane (*eng. top layer*, v. sliku 8.40.). Procesni dio potom izrezuje pločicu po zadanoj konturi (v. sliku 8.41.) čime nakratko prekidamo njezinu obradu na ploteru. Takav redoslijed radnih operacija po kojemu se izrezivanje pločice radi prije njezina bušenja određen je postupkom izrade vodljivih rupa kojeg opisujemo u nastavku.



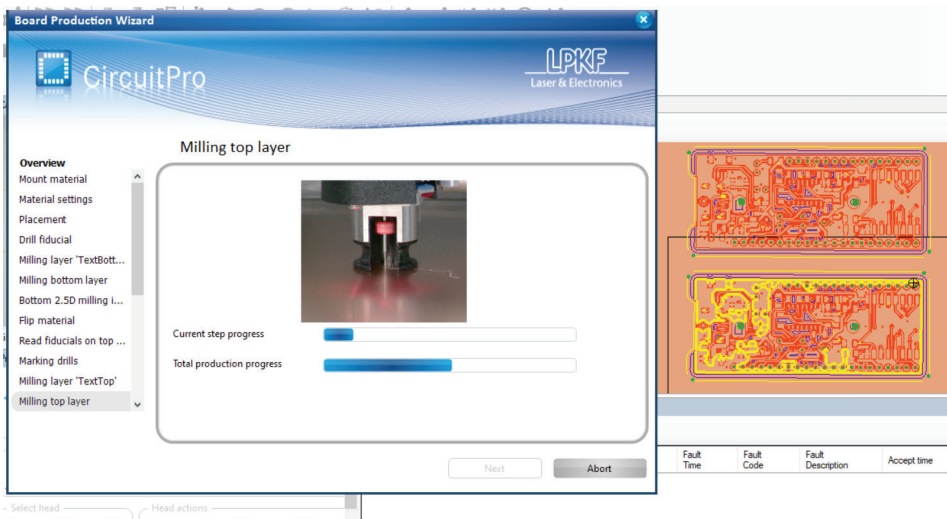
Slika 8.38. Detekcija fiducija s kamerom za rad na gornjem sloju.



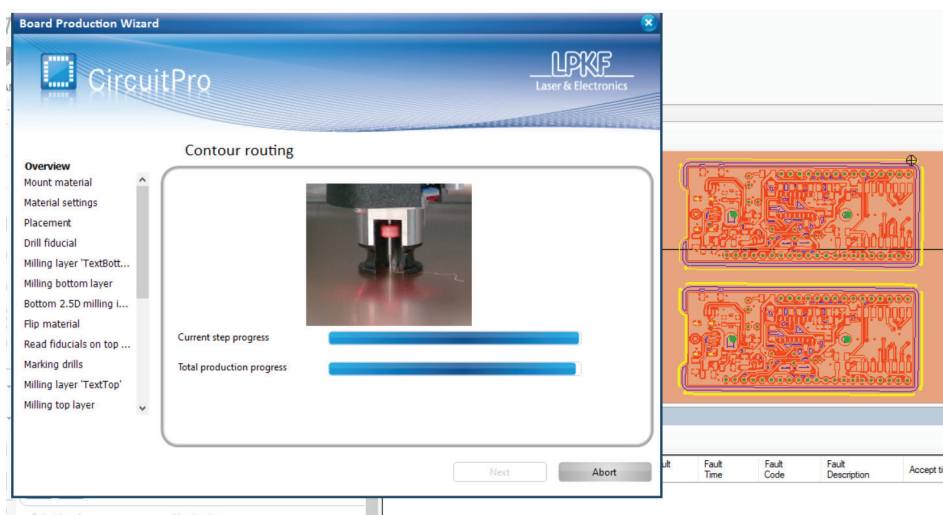
Slika 8.39. Označavanje pozicija provrta (rupa).

Vodljive rupe se izrađuju nanošenjem vodljive paste na njihove stijenke tako da se prije bušenja pločica prekriva posebnom folijom (v. sliku 8.42.a i 8.42.b). Nakon što se pločica vrati na ploter i izbuši, na nju se posebno dizajniranom alatkom nanosi vodljiva pasta (v. slike 8.43.a i 8.43.b).

Pasta dolazi u pakiranjima od 2,9 g što je dovoljno za jedan proces izrade

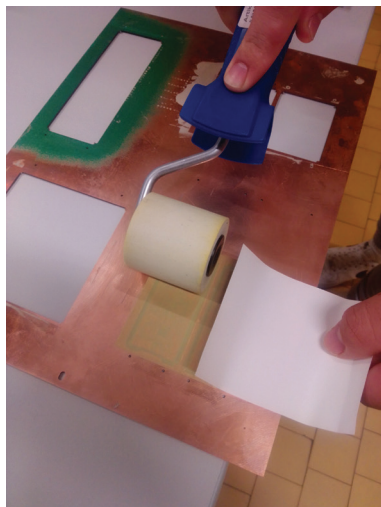


Slika 8.40. Uklanjanje bakra za gornji sloj.

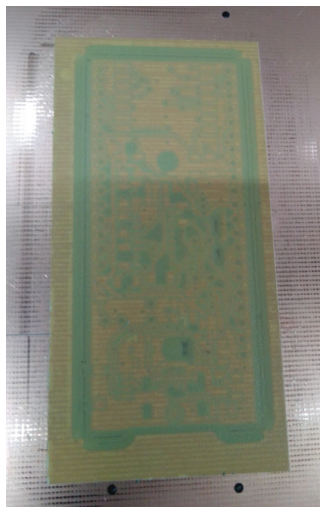


Slika 8.41. Izrezivanje PCB-a.

vodljivih rupa (v. sliku 8.44.). Pločica se potom vraća na vakuumsku ploču pločica, uključuje se usisavač koji povlači pastu u unutrašnjost provrta i tako oblaže stijenke (v. sliku 8.45.). Nakon toga se pasta nanosi s druge strane i ponavlja postupak usisavačem. Kako bi vodljivi sloj očvrsnuo pločica se peče u pećnici 30 min na temperaturi 160 °C (v. sliku 8.46.). Postupak izrade vodljivih rupa završava čišćenjem pločice za što također možemo koristiti aceton ili izopropilni alkohol. Cjelokupan proces obrade pločice završava površinskom obradom koja podrazumijeva nanošenje dva sloja - maske za lemljenje i oznaka komponenti.

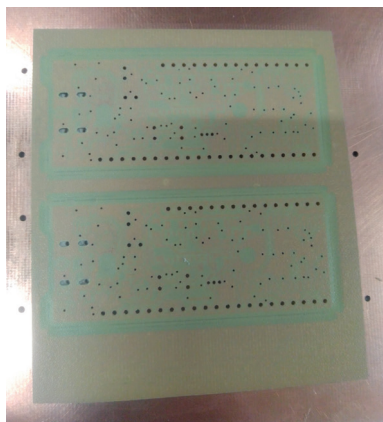


(a)

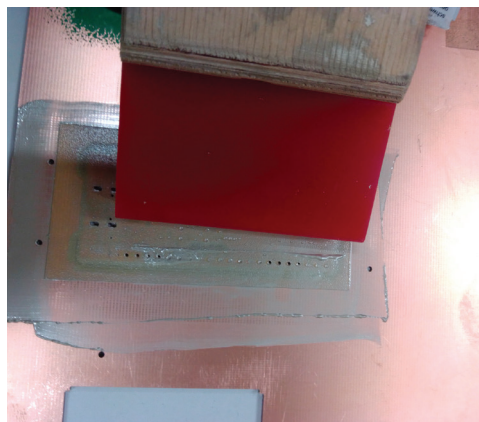


(b)

Slika 8.42. Izrada via-a: (a) stavljanje folije, (b) PCB s folijom.



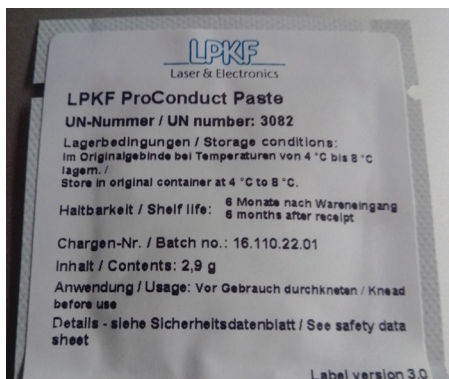
(a)



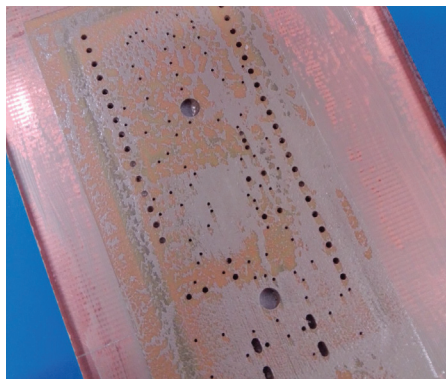
(b)

Slika 8.43. Izrada via-a: (a) izbušene via-e, (b) nanošenje vodljive paste na PCB.

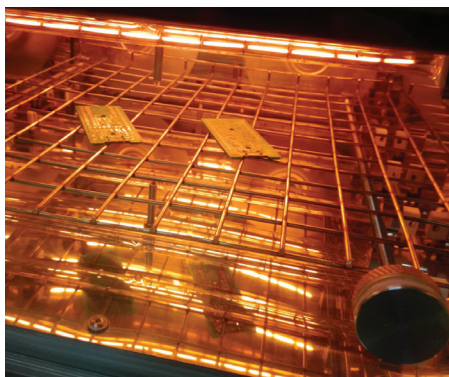
Maska za lemljenje predstavlja sloj laka koji sprječava nastanak neželjenih spojeva na pločici tijekom lemljenja tako što zaustavlja prijelaz lema s jedne na drugu lemnu točku. Zbog toga ga često nazivamo i stop-lakom. U nastavku ćete vidjeti kako ga izrađujemo foto-postupkom 😊. Na očišćenu pločicu valjkom nanosimo foto osjetljivi lak (v. sliku 8.47.). Nakon kraćeg sušenja u pećnici (10 min) pločicu stavljamo u uređaj za osvjetljivanje, prekrivamo je maskom za lemljenje otisnutom na prozirnici i osvjetljavamo ultraljubičastim svjetlom (v. sliku 8.48.).



Slika 8.44. Vodljiva pasta za izradu via-a.



Slika 8.45. Pločica nakon primjene vodljive paste i usisavanja.



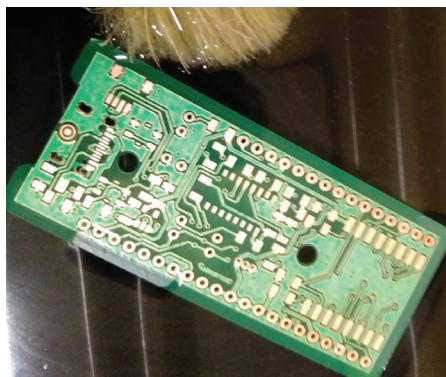
Slika 8.46. Pečenje vodljive paste u pećnici.



Slika 8.47. Nanošenje foto-osjetljivog laka.



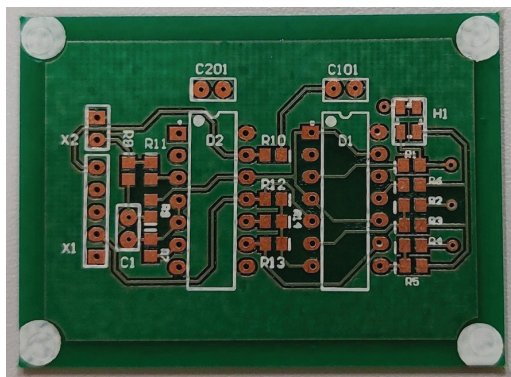
Slika 8.48. Prozirnica s otisnutom maskom za lemljenje.



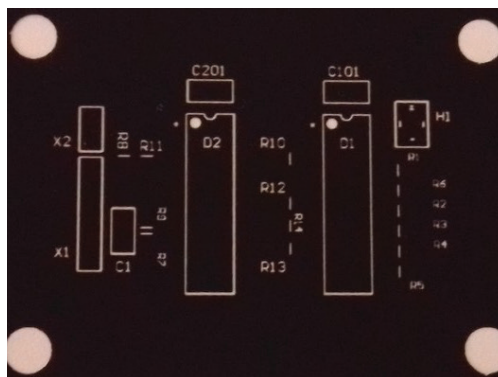
Slika 8.49. PCB s osvijetljenom maskom u otopini za razvijanje.

Kao i kod klasičnog foto postupka, pločicu uranjamo u otopinu za razvijanje (v. sliku 8.49.). Lak se, nakon ispiranja i sušenja, očvrstne pečenjem u pećnici 30 min na 180 °C. Oznake komponenti (legenda) se nanose kako bi se olakšala ugradnja komponenti. U najjednostavnijem slučaju riječ je o simboličkom prikazu kućišta uz koji stoje slovno-broјčane oznake komponenti (v. sliku 8.50.).

Postupak njihove izrade je vrlo sličan postupku izrade maske za lemljenje. Razlikuje se po tome što za izradu oznaka komponenti koristimo tehniku foto-pozitiva (v. sliku 8.51.). Redoslijed radnih operacija identičan je redoslijedu operacija izrade stop laka: čišćenje pločice, nanošenje laka, sušenje, osvjetljavanje, razvijanje i očvršćivanje laka u pećnici.



Slika 8.50. PCB s oznakama.



Slika 8.51. Foto-pozitiv oznaka PCB-a.

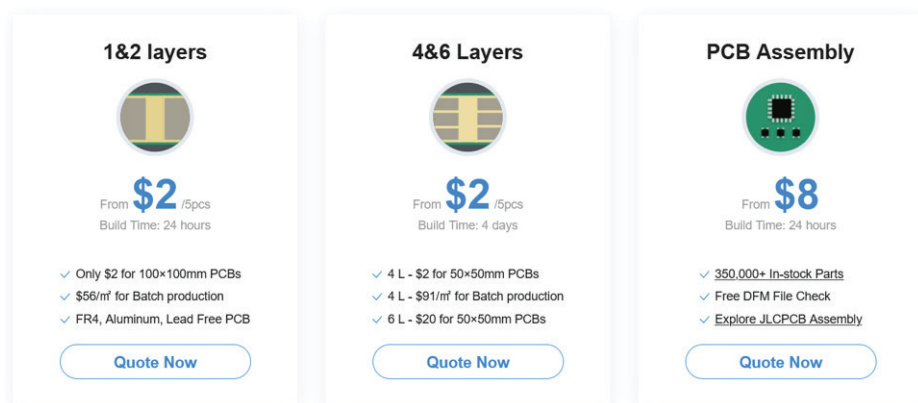
Proces automatizirane obrade pločice završava nanošenjem oznaka komponenti. Pločicu je potrebno očistiti i pregledati zbog mogućih defekata u izradi prije njezinog daljnjeg korištenja. Za projekte manje složenosti bit će dovoljan vizualni pregled uz upotrebu mjernog instrumenta radi detekcije mogućih kratkih spojeva ili otvorenih krugova iako su i za pregled pločice razvijeni automatizirani alati i postupci.

8.3. IZRADA PCB-A S VANJSKIM USLUGAMA

Zadnjih godina razvile su se različite tvrtke koje nude uslugu izrade i montaže PCB-a. Jedna od njih je i JLCPCB koja za pristupačnu cijenu nudi kvalitetnu uslugu izrade višeslojnih PCB-ova. Pored navedene postoje i druge tvrtke čije usluge možete koristiti, JLCPCB je uzet kao jedan od primjera.

Nakon što ste završili svoj dizajn PCB-a i generirali proizvodne datoteke, najčešće, u Gerber formatu, kako je pokazano u potpoglavlju 7.6., otvarate *jlcpcb.com*. Na slici 8.52. prikazan je dio navedene web-stranice gdje odabirete

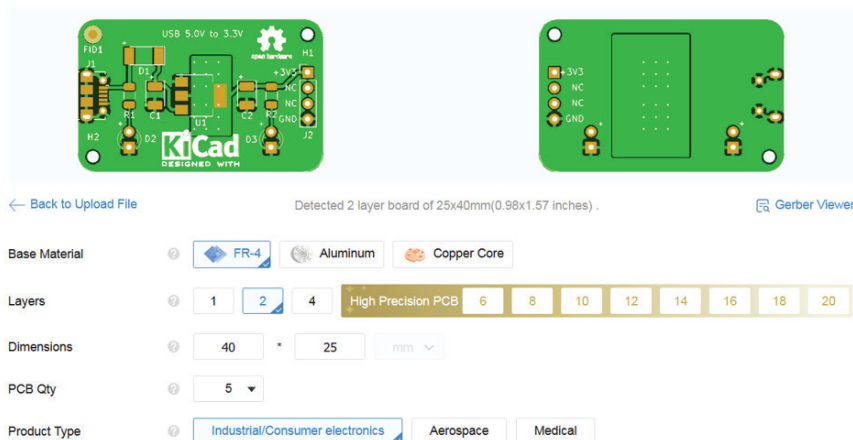
odgovarajuću vrstu PCB-a. Moguće je izabrati između izrade PCB-a s jednim ili dva sloja, četiri ili šest slojeva, montažu PCB-a i neke druge usluge. Potrebno je odabrati jedan ili dva sloja te kliknuti na *Quote Now* budući da je proDIGY i primjer naponskog regulatora dvoslojni PCB. Otvara se nova stranica gdje je potrebno detaljnije specificirati svojstva traženog PCB-a (dio *web*-stranice je prikazan na slici 8.53.). Pored svake opcije nalazi se upitnik na koji je moguće pokazati mišem te će iskočiti prozor s detaljnijim informacijama o navedenoj opciji. Također, detaljne upute o naručivanju, zahtjevima, ograničenjima i preporukama za izradu PCB-a možete pronaći na <https://jlcpcb.com/help/article/14-Instructions-for-ordering>. S desne strane nalazi se troškovnik koji se mijenja kako mijenjate odabrane opcije izrade PCB-a. Većina opcija je sama po sebi jasna ili je objašnjena u poglavlju 7.



Slika 8.52. JLCPCB početni odabir vrste PCB-a.

Bitno je napomenut da JLCPCB za svaki PCB navede broj narudžbe i potrebno je dodatno platiti ako ne želite prikaz broja narudžbe na *Silkscreen* sloju. Pod *Remove Order Number* potrebno je odabrati *Yes* za uklanjanje broja narudžbe uz dodatan trošak izrade. Postoji i opcija *Specify a location* gdje je moguće besplatno odrediti lokaciju broja narudžbe da ne narušava izgled PCB-a. Lokacija se izabire na način da se na željenoj lokaciji u *Silkscreen* sloju doda tekst *JLCJLCJLCJLC* (npr. na donji sloj PCB-a).

Nakon odabira željenih opcija izrade PCB-a potrebno je dodati proizvodne datoteke po uputama iz potpoglavlja 7.6. Nakon dodavanja proizvodnih datoteka (na slici 8.53. * *Charformat* dovući .zip datoteku do *Add gerber file*) prikaže se model PCB-a te je proizvodne datoteke moguće pregledati u njihovom *gerber* pregledniku. Na slici 8.54. prikazan je primjer dodavanja proizvodnih datoteka za *naponski regulator s 5 V na 3,3 V*. Zadnji korak je odabrati zemlju i način dostave nakon čega se dobije konačna cijena PCB-a (v. sliku 8.55.) gdje je vidljiva



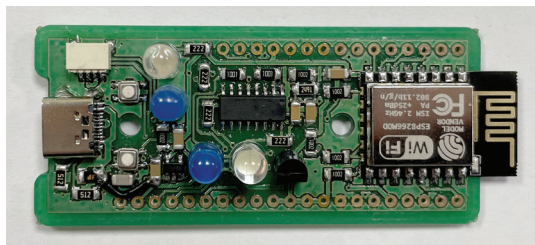
Slika 8.54. JLCPCB dodane proizvodne datoteke.

Charge Details	
Special Offer	\$2.00
Via Covering	\$0.00
Surface Finish	\$0.00
Build Time	
PCB: 1-2 days	\$0.00
Calculated Price	\$4.00- \$2.00
Additional charges may apply for special cases	
SAVE TO CART	
Shipping Estimate	
Global Standard Direct Line	12-20 business days
Weight	0.13kg

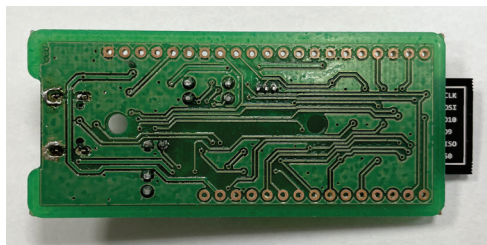
Slika 8.55. JLCPCB konačna cijena izrade primjera sa slike 8.54.

dači provode električko testiranje PCB-a i za sumnjive spojeve provesti samostalno električko ispitivanje multimetrom. Nakon provjere samog PCB-a slijedi lemljenje (sastavljanje – *eng. Assembly*) komponenti nekom od tehnika opisanih u poglavlju 5., čišćenje te testiranje rada elektroničkog sklopa. Za funkcionalno ispravan elektronički sklop sljedeći korak (ako se sklop sastoji od procesne jedinice kao što je mikroupravljač) je izrada programske podrške, programiranje sklopa i testiranje.

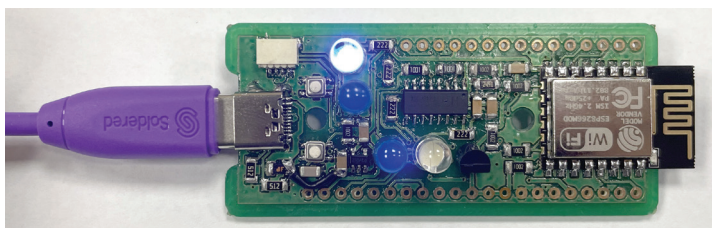
Na slici 8.56. prikazan je primjer gotove proDIGY ploče sa svim zalemljenim komponentama. Ploča je izrađena upotrebom CNC stroja prikazanog na slici 8.17. i zalemljena ručnom lemilicom.



(a)



(b)



(c)

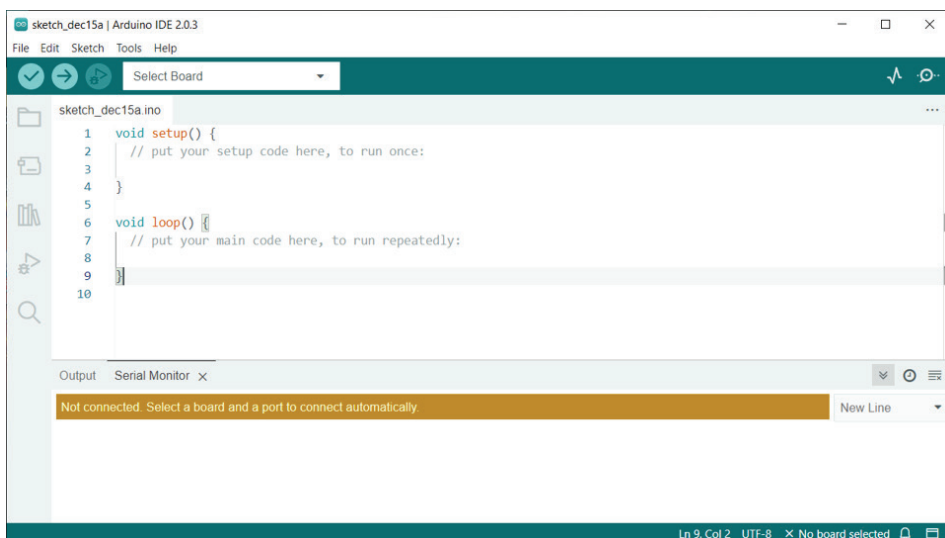
Slika 8.56. Gotova proDIGY ploča: prikaz (a) gornje, (b) donje strane i (c) spoj s USB-C kabelom.

9. PROGRAMSKA PODRŠKA

Sklop proDIGY dizajniran u prethodnim poglavljima je Arduino kompatibilan sustav. To znači da se za programiranje mikroupravljača koji se nalazi na ploči (ESP8266) može koristiti Arduino kompajler i Arduino IDE (*eng. Integrated Development Enviroment*). Arduino koristi C, C++ programski jezik te se sam kompilirani binarni kôd prenosi (*eng. Upload*) na Arduino kompatibilne razvojne sustave pomoću USB protokola. Kako smo već naveli, Arduino je temeljen na OSH konceptu te je sva dokumentacija dostupna svima na upotrebu preko *github* platforme.

9.1. ARDUINO IDE

Za početak rada potrebno je preuzeti odgovarajuću verziju Arduino IDE za Vaš operacijski sustav na stranici <https://www.arduino.cc/en/software>. Preporuka je preuzeti najnoviju verziju koja je u trenutku pisanja ovog priručnika *Arduino IDE 2.0.3*. Za Windows operacijski sustav preporuka je preuzeti *MSI Installer* te instalirati Arduino IDE. Nakon instalacije pokrenite program. Otvara se početni prozor kao na slici 9.1. gdje su vidljivi osnovni dijelovi programa. Sastoji se od tekstualnog *editora* za pisanje programskog kôda (Arduino skica – *eng. Sketch*), alatne trake s osnovnim naredbama (provjera sintakse, kompiliranje, prijenos programa na odabranu ploču i sl.), standardnih padajućih izbornika (*File, Edit*, itd.), prozora za ispis poruka o trenutnim akcijama te prozora za serijsku komu-

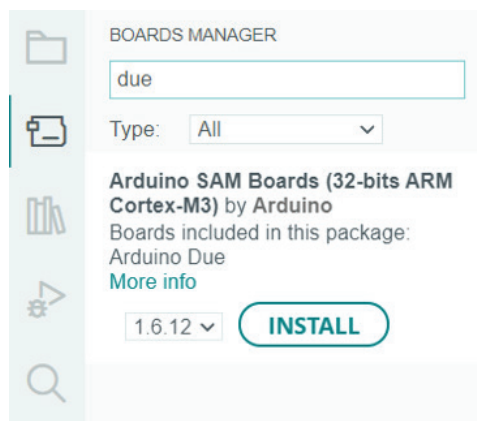


Slika 9.1. Arduino IDE početni prozor.

nikaciju s pločom.

Programski kôd u Arduino IDE se naziva *skica*. Skice su obične tekstualne datoteke te ih je moguće otvoriti s bilo kojim programom za uređivanje teksta. Ekstenzija skice je *.ino* te Arduino IDE skice sprema automatski u mapu jednakog naziva. Arduino kompajler podržava C/C++ programski jezik, ali ako je potrebno može se koristiti i assembler. Tekstualni *editor* automatski označava ključne riječi, standardne funkcije i komentare te omogućava dovršetak nekih jednostavnih programskih izraza. Verifikacija sintakse napisanog programskog kôda izvodi se pritiskom na ikonu  te se sve sintakse greške ispisuju u. *Output* prozoru. Padajući izbornik *Edit* sadrži standardne naredbe za manipulaciju teksta kao što su pronađi tekst, uvuci/izvuci tekst, komentiraj i sl. Napredne naredbe za dovršetak programskog kôda (*eng. code completion, intellisens*), pretraživanje ključnih riječi i biblioteka samo su djelomično dostupne u Arduino IDE.

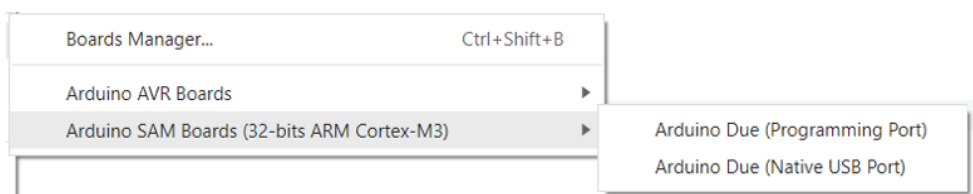
Za kompiliranje i prebacivanje programskog kôda na razvojni sustav potrebno je kliknuti na ikonu . Prije nego se može kompilirati i prebaciti programski kôd potrebno je odabrati i spojiti putem USB sučelja razvojnu ploču kompatibilnu s Arduino okruženjem. To znači da mikroupravljač na razvojnom sustavu mora imati Arduino kompatibilan *bootloader*. Ploča se odabire iz padajućeg izbornika *Tools* → *Board* te se sa ponuđene liste razvojnih sustava odabire željeni. Klikom na ikonu  prebacuje se programski kôd na odabrani razvojni sustav te je zatim moguće testirati funkcionalnost sklopa. Ako traženi razvojni sustav ne postoji, isti je moguće dodati pomoću *Boards Manager* koji se nalazi u istom padajućem izborniku. Prilikom instalacije Arduino IDE standardno nije uključen razvojni sustav Arduino DUE. Prvo moramo instalirati Arduino DUE ploču ako je želimo koristiti. Za instalaciju je potrebno kliknuti na *Boards Manager* te u polje za pretraživanje upisati *DUE*, kao na slici 9.2. Nakon pronalaska odgovarajuće ploče kliknuti na *Install*. Sada se pored standardnih razvojnih sustava u



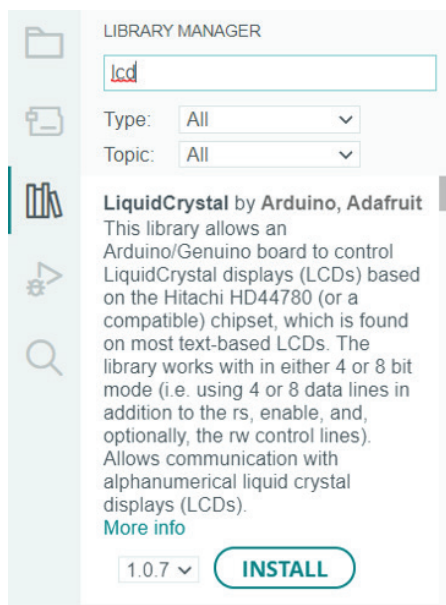
Slika 9.2. Instalacija novog razvojnog sustava s *Boards Managerom*.

padajućem izborniku *Tools* → *Board* nalazi i lista naziva *Arduino SAM Boards*, kao na slici 9.3

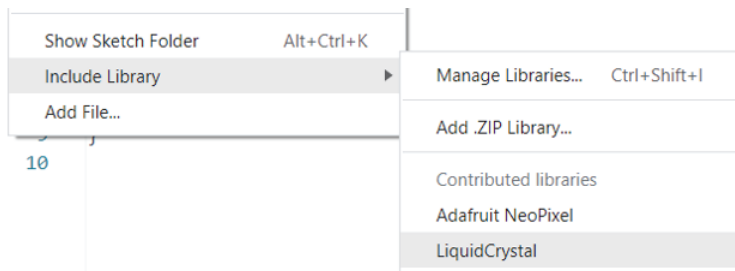
Još jedna bitna stavka prilikom rada s Arduino sustavima je instalacija biblioteka. Postoji velika zajednica koja konstantno razvija novi hardver i softver budući da Arduino podržava OSH koncept. Razvijeni softver može se koristiti u obliku gotovih biblioteka koje drastično ubrzavaju razvoj programa. Često se prilikom razvoja mikroupravljačkih sustava koristi 16x2 LCD s I2C komunikacijom zbog svoje cijene i jednostavne komunikacije. Za Arduino već postoji gotova biblioteka za rad s navedenim LCD-om. Da bi se ista dodala potrebno je kliknuti na *Sketch* → *Include Libraries* → *Manage Libraries*. U polje za pretraživanje upisati *LCD*. Prikaže se niz biblioteka i potrebno je odabrati službenu Arduino biblioteku kao na slici 9.4. te kliknuti na *Install*. Nakon uspješne instalacije moguće je odabrati novu biblioteku u padajućem izborniku *Sketch* → *Include Libraries* kako je prikazano na slici 9.5.



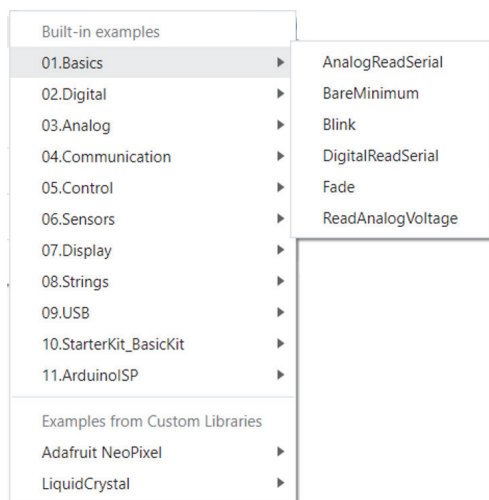
Slika 9.3: Prikaz Instalirane Arduino SAM ploče u padajućem izborniku Board.



Slika 9.4: Instalacija nove biblioteke s Library Manager-om.



Slika 9.5. Prikaz Instalirane *LiquidCrystal* biblioteke u izborniku *Include Library*.



Slika 9.6. Padajući izbornik instaliranih primjer programskih kôdova.

Još jedna bitna stavka kod Arduino IDE su ugrađeni primjeri programskog kôda. Nakon instalacije biblioteke ili ploče primjeri u Arduino IDE se nadopunjavaju. Primjere programskih kôdova otvarate u padajućem izborniku *File* → *Examples* gdje se nalaze sve kategorije dostupnih primjera kao na slici 9.6. Kategorije su organizirane po temama kao što su digitalni ulazi/izlazi, senzori, komunikacija i sl. te su definirane posebne kategorije za novoinstalirane biblioteke ili ploče kao što je *Adafruit NeoPixel* i *Liquid Crystal*, primjer sa slike 9.6. Za svaku kategoriju dostupan je jedan ili više primjera programskih kôdova kao što je i vidljivo sa slike 9.6. za kategoriju osnove (*eng. Basics*). Klikom na željeni primjer programskog kôda otvara se novi Arduino IDE prozor s prikazanim, najčešće detaljno komentiranim, programskim kôdom (v. sliku 9.7.). Ako želite izmijeniti kôd primjera isti ćete morati spremiti na novu lokaciju budući da je primjere kôda moguće samo čitati. Preporuka je pregledati kategorije primjera jer će Vam često trebati dijelovi kôdova iz primjera za realizaciju Vašeg sklopa.

Nažalost, programski kôdovi često sadržavaju greške u funkcionalnosti, tzv. *bugove*. Arduino *bootloader* ne podržava hardverski *debugger* za otkrivanje *bugova* u programskom kôdu, već se za *debuggiranje* koristi serijska (UART) komunikacija putem USB protokola. Komunikacija se najčešće izvodi pomoću ASCII (eng. *American Standard Code for Information Interchange*) znakova čitljivih čovjeku (slova engleske abecede, znamenke i ostali znakovi). Unutar programskog kôda ubacuju se tekstualne (ASCII kodirane) poruke sa *Serial.print()* funkcijom koje pomažu prilikom testiranja rada i otkrivanja *bugova* u kôdu. Preporuka je nakon testiranja kôda izbrisati nepotrebne poruke ili koristi predprocesorske (*#define*) naredbe za onemogućavanje poruka. Zbog česte upotrebe prozor za prikaz serijske komunikacije otvara se klikom na ikonu  u desnom dijelu alatne trake. Prozor *Serial Monitor* otvara se u donjem dijelu Arduino IDE (v. slicu 9.1.) te se u istom prikazuju primljene poruke s ploče ili šalju poruke na ploču (poruka se upisuje u narančasto označeno polje i šalje pritiskom na tipku *Enter*).

Ovim su objašnjeni glavni dijelovi Arduino IDE potrebni za početak rada sa standardnim Arduino baziranim razvojnim sustavima kao što je Arduino UNO, Arduino NANO itd. Budući da je Arduino platforma temeljena na OSH konceptu, dostupne su razne besplatne upute i tečajevi na internetu koji će Vam pomoći u svladavanju koncepta programiranja i rada s različitim razvojnim sustavima. Glavna tema ovog priručnika je razvoj prototipa elektroničkih sklopova te prikazuje samo neke jednostavne primjere programiranja proDIGY sklopa koji Vas trebaju potaknuti na samostalno istraživanje i razvoj novih ideja i primjena.



```

1  /*
2  3  Blink
4  5  Turns an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.
6  7
7  8  Most Arduinos have an on-board LED you can control. On the UNO, MEGA and ZERO
9  10 It is attached to digital pin 13, on M0 and M0.1 it is attached to pin 6. LED_BUILTIN is set to
10 11 the correct LED pin independent of which board is used.
11 12 If you want to know what pin the on-board LED is connected to on your Arduino
12 13 model, check the Technical Specs of your board at:
13 14 https://www.arduino.cc/en/Main/Products
14 15
15 16 modified 8 May 2014
16 17 by Scott Fitzgerald
17 18 modified 2 Sep 2016
18 19 by Arturo Guadalupi
19 20 modified 8 Sep 2016
20 21 by Colby Newman
21 22
22 23 This example code is in the public domain.
23 24
24 25 https://www.arduino.cc/en/tutorial/builtinexamples/blink
25 26 */
26 27
27 28 // the setup function runs once when you press reset or power the board
28 29 void setup() {
29 30   // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
30 31   pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
31 32 }
32 33
33 34 // the loop function runs over and over again forever
34 35 void loop() {
35 36   digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
36 37   delay(1000); // wait for a second
37 38   digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
38 39   delay(1000); // wait for a second
39 40 }

```

Slika 9.7. Arduino IDE *Blink* primjer programskog kôda.

9.2. INSTALACIJA ESP8266 BAZIRANIH RAZVOJNIH SUSTAVA

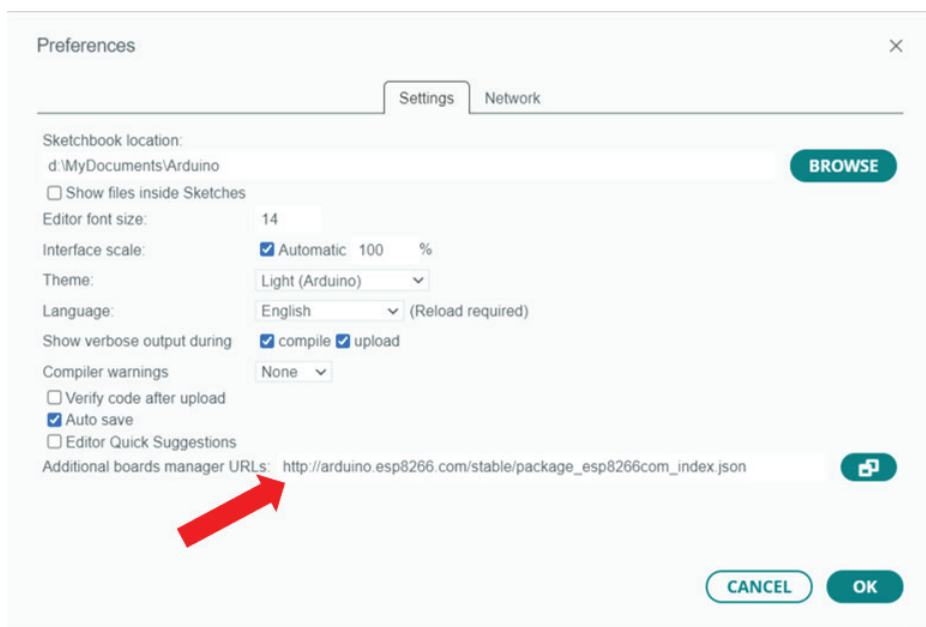
Prilikom instalacije Arduino IDE podržava samo standardne Arduino AVR ploče što je vidljivo iz liste ploča u izborniku *Tools* → *Boards*. U prethodnom poglavlju pokazano je da je moguće dodati nove razvojne sustave upotrebom *Boards Managera*, ali nekada u *Boards Manageru* nema dostupnih traženih razvojnih sustava jer se ne nalaze u standardnom Arduino repozitoriju. Ovo je slučaj i za Arduino kompatibilne ploče temeljene na ESP8266 integriranom sklopu koji koristimo na razvijenom proDIGY sklopu.

Da bi riješili ovaj problem u Arduino IDE moguće je dodati nove repozitorije za pretraživanje ploča. Potrebno je napraviti sljedeće korake:

1. otvoriti *Preferences* prozor u padajućem izborniku *File*
2. u *Settings* kartici pronaći polje *Additional Boards Manager URLs*
3. u polje zalijepiti poveznicu http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json kako je ii prikazano na slici 9.8.
4. otvoriti *Boards Manager* te u polje za pretraživanje upisati *esp8266*

sada se na listi nalazi i *esp8266 by ESP8266 Community* te je potrebno kliknuti na *Install*

5. u izborniku *Tools* → *Boards* sada je dostupna i kategorija *esp8266*.

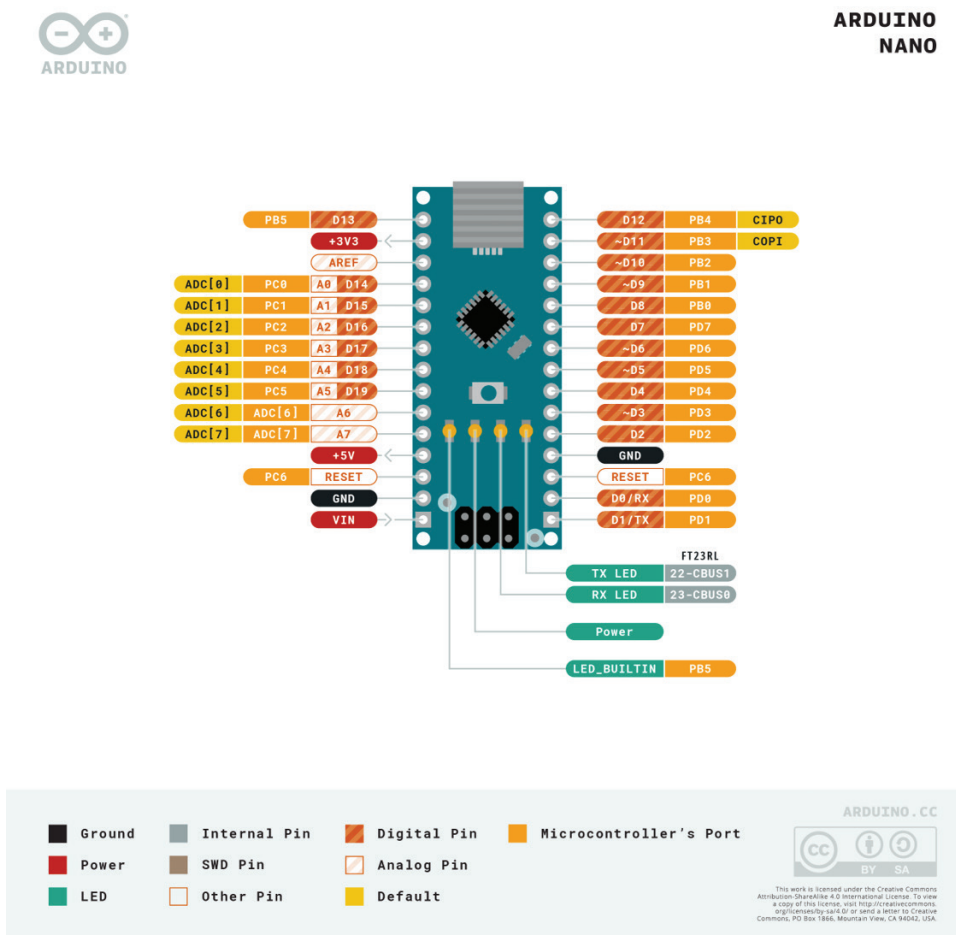


Slika 9.8. Arduino IDE *Preferences* prozor (crvena strelica označava polje za dodavanje poveznica na repozitorije za pretraživanje ploča).

Nakon ovih koraka za programiranje proDIGY ploče potrebno je odabrati *Generic ESP8266 Module* u *Tools* → *Boards* padajućem izborniku.

Prilikom instalacije ploče instaliraju se i sve potrebne biblioteke te primjeri programskih kôdova. Da bi primjeri bili vidljivi potrebno je odabrati *Generic ESP8266 Module* ploču te u padajućem izborniku *File* → *Examples* odabrati željenu kategoriju i primjer (v. sliku 9.6.).

Ako je potrebno dodati i neki drugi repozitorij (npr. za ESP32 bazirane ploče), u polje *Additional Boards Manager URLs* potrebno je dodati zarez i zalijepiti novu poveznicu. Za ESP32 bazirane ploče poveznica je https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json.

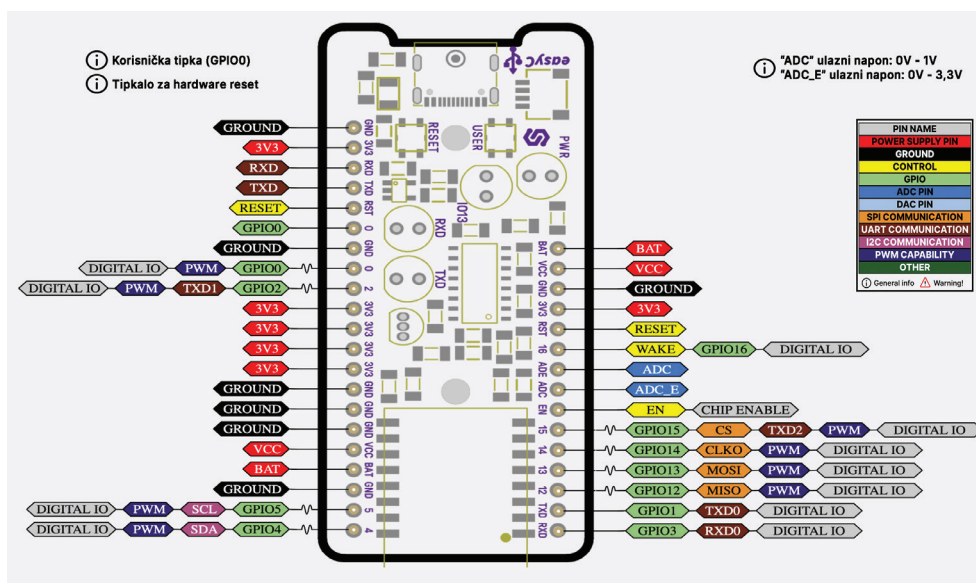


Slika 9.9. Arduino NANO pinout dostupan na <https://docs.arduino.cc/hardware/nano>.

9.3. PRODIGY PINOUT

Jedna od karakteristika svakog razvojnog sustava su njegovi ulazi i izlazi, tj. nožice razvojnog sustava. Pojedine nožice imaju samo jednu funkcionalnost (digitalni izlaz) dok neke mogu imati više funkcionalnosti (digitalni ulaz, digitalni izlaz, analogni ulaz, komunikacijska nožica i sl.). Kada nabavite razvojni sustav za isti je definiran njegov *Pinout*, tj. opis funkcionalnosti i oznake pojedinih nožica, najčešće u nekom grafičkom ili tabličnom obliku. Na slici 9.9. prikazan je primjer Arduino NANO *pinouta* dostupnog na <https://docs.arduino.cc/hardware/nano>. Vidljivo je da je na Arduino NANO razvojnem sustavu dostupno 30 nožica označenih s *D1, D2,...* ili *A0, A1,...* te neke od nožica imaju više funkcionalnosti.

Na slici 9.10. prikazan je *pinout* proDIGY razvojnog sustava. Potrebno je istaknuti da je ugrađena LED-ica razvojnog sustava spojena na pin (nožicu) 13, a podatkovni pin termometar na nožicu 2. Kao što smo prije spomenuli, tipkalo označeno tekстом *USER* nalazi se na nožici 0. Bez obzira što ima posebnu funkciju u trenutku uključanja (postavlja ploču u *bootloader* način rada), tijekom normalnog rada se može koristiti kao bilo koji drugi GPIO (*eng. General Purpose Input-Output*). Svi ostali izvodi, primarno dostupni putem niza izvoda (*HEADER* na shemi), dostupni su uz rub ploče. Imaju standardne Arduino GPIO funkcionalnosti, dakle mogu se koristiti kao ulaz ili kao izlaz, a neki imaju i dostupne komunikacijske standarde. Sve je to vidljivo na slici 9.10.



Slika 9.10. proDIGY *pinout*.

9.4. PRIMJER TREPERENJA LED-ICE

Za prvi primjer programa proDIgY ploče iskoristit ćemo osnovni primjer treperenja ugrađene LED-ice na razvojnom sustavu. Sam program se nalazi u padajućem izborniku *File → Examples → Basics → Blink*. Program beskonačno uključuje i isključuje LED-icu ugrađenu na razvojnom sustavu. Prikaz originalnog programa bez početnih komentara vidljiv je na izlistanju kôda 9.1.

Da bi ostvarili treperenje ugrađene LED-ice prvo je potrebno nožicu (pin) na koju je spojena LED-ica proglasiti izlazom. Definicija `LED_BUILTIN` ne odgovara pinu ugrađene LED-ice za proDIgY ploču te je pin potrebno promijeniti na 13, kako je navedeno u proDIgY pinout na slici 9.10. Također, dodat ćemo ispis stanja LED-ice na serijski monitor. Sam kôd prikazan na izlistanju 9.2. je djelomično izmijenjen. Dodane su linije kôda 4, 11 i 14 za ispis teksta na serijski monitor te je `LED_BUILTIN` zamijenjena s pinom 13.

Sljedeći korak je kliknuti na ikonu  uz odabranu ploču *Generic ESP8266 Module*. Izvest će se provjera sintakse te kompiliranje kôda. Ako ste pogriješili u sintaksi, dobit ćete odgovarajuće poruke u donjem prozoru. Potrebno je spojiti proDIgY ploču s računalom kako je prikazano na slici 9.11. i odabrati odgovarajući COM port za serijsku komunikaciju u *Tools → Port* padajućem izborniku. Ako niste zaleмили USB-C konektor, moguće je programirati proDIgY i s USB-UART adapterom kao na slici 3.1. koristeći dupont žice, kao na slici 5.4.

Ako se nakon spajanja proDIgY ploče putem USB-a ne pojavi odgovarajući COM port u *Tools → Port* padajućem izborniku, potrebno je instalirati odgovarajuće pogonske programe (eng. *Drivers*) za CH340 integrirani sklop za Vaš operacijski sustav.

Sa spojenom proDIgY pločom potrebno je kliknuti na ikonu  za uključivanje serijskog monitora. Zatim je potrebno napraviti sljedeći postupak:

1. pritisnuti i držati pritisnutom tipku *Reset* na proDIgY ploči
2. pritisnuti i držati pritisnutom tipku *User* na proDIgY ploči
3. otpustiti tipku *Reset* na proDIgY ploči
4. otpustiti tipku *User* na proDIgY ploči
5. kliknuti na ikonu  u Arduino IDE za prebacivanje kompiliranog programa
6. pokrenut će se postupak kompiliranja i prebacivanja (eng. *upload*) napisanog programa
7. nakon uspješnog prebacivanja programa potrebno je pritisnuti i pustiti tipku *Reset*.

Sada ste isprogramirali proDIgY sa svojim prvim programom. Testirajte rad svojeg programa i pratite ispis na *serial* monitoru i rad LED-ice. Za isprava-

nu komunikaciju s pločom preko UART protokola potrebno je uskladiti brzine prijenosa podataka u *serial* monitoru (slika 9.12. označeno crvenom strelicom) i programskom kôdu 9.2 linija 6. Za ovaj primjer to je 9600 *braud*. Također, preporuka je da testirani program samostalno probate izmijeniti ili dodati nove funkcionalnosti.

```
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); //turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);                      // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);   // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);                      // wait for a second
}
```

Kôd 9.1. Izlistanje *Blink* primjera programskog koda.

```
1. // the setup function runs once when you press reset or power the board
2. void setup() {
3.   // initialize digital pin 13 as an output.
4.   pinMode(13, OUTPUT);
5.   // init serial
6.   Serial.begin(9600);
7. }

8. // the loop function runs over and over again forever
9. void loop() {
10.  digitalWrite(13, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
11.  Serial.println("LED: ON"); // print on serial monitor
12.  delay(1000);              // wait for a second
13.  digitalWrite(13, LOW);   // turn the LED off by making the voltage LOW
14.  Serial.println("LED: OFF"); // print on serial monitor
15.  delay(1000);            // wait for a second
16. }
```

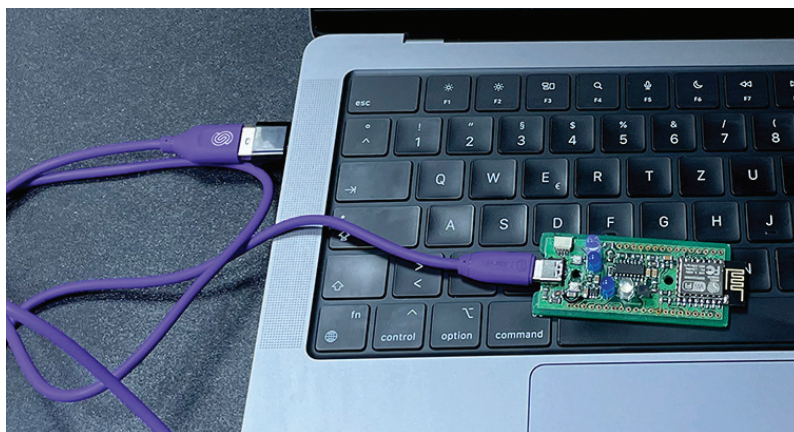
Kôd 9.2. Izlistanje *Blink* primjera programskog koda prilagođeno za proDIgY.

9.5. PRIMJER JEDNOSTAVNE WEB-STRANICE ZA LED ON/OFF

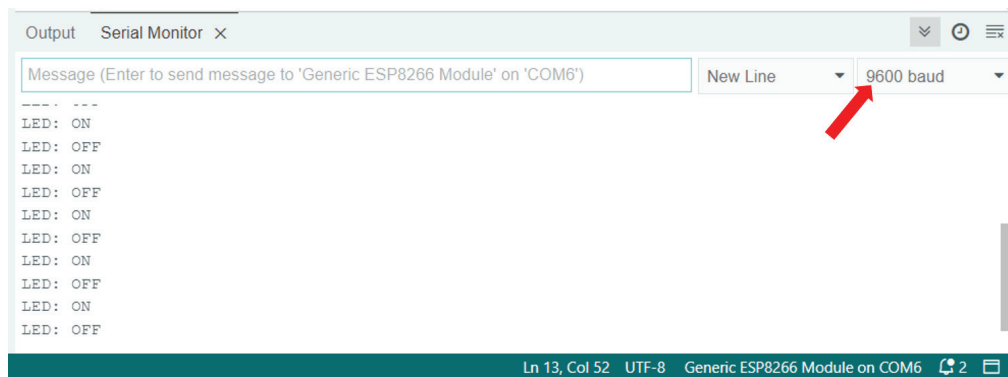
proDIgY sadrži ESP8266 mikroupravljač. Na internetu ćete često naći i izraz *SoC* (*eng. System on Chip*) jer u sebi sadrži jedinicu za obradu podataka, memoriju, jednostavne ulazno/izlazne komunikacijske uređaje te Wi-Fi modul. Wi-Fi modul, tj. kartica, omogućava ESP8266 spajanje na Vašu kućnu bežičnu mrežu i dalje na Internet. Wi-Fi modul podržava samo 2,4 GHz Wi-Fi standard pa ako imate router koji podržava samo 5 GHz Wi-Fi morat ćete dodati još jedan router na 2,4 GHz.

Wi-Fi modul proširuje mogućnosti ESP8266 u usporedbi sa standardnim mikroupravljačima koji se nalaze na Arduino NANO, Arduino UNO i sl. ESP8266 omogućava jednostavno spajanje Vašeg razvojnog sustava na lokalnu mrežu te također omogućava i izradu jednostavnog *web*-servera. Iako pojam *web*-server najčešće označava računalo većih dimenzija i performansi s nekoliko procesnih jedinica i memorijom mjerenom u GB za RAM, tj. TB za podatkovni prostor, takvi *web*-serveri se koriste za kompleksne *web*-stranice s velikim brojem klijenata, tj. upita.

ESP8266 omogućava izradu jednostavnih *web*-stranica najčešće do 1 MB veličine pisanih HTML kôdom. Moguće su i veće stranice, ali je onda potrebna i veća količina instalirane *flash* memorije (maksimalna moguća *flash* memorija



Slika 9.11. proDIGY razvojni sustav spojen USB kabelom s osobnim računalom.



Slika 9.12. Prikaz komunikacije sa *serial* monitorom za primjer kôda 9.2.

koju podržava ESP8266 je 16 MB). Također, zbog male obradbene snage broj klijenata koji mogu pristupiti *web*-serveru je ograničen (najčešće manje od 10 korisnika, ali broj ovisi o kompleksnosti *web*-stranice).

U samom Arduino IDE moguće je pronaći nekoliko primjera izrade *web*-servera s različitim mogućnostima. Primjere izrade *web*-servera možete pronaći u kategorijama ESP8266mDNS, ESP8266WebServer te ESP8266WiFi. Za ovaj priručnik implementirat ćemo primjer *WiFiManualWebServer* iz kategorije ESP8266WiFi. Izlistanje kôda prikazano je na 9.3 i 9.4. Iz izlistanja su izbačeni neki komentari te su *Serial.println()* zamijenjeni s `\n` uz zadržavanje jednake funkcionalnosti programa. Kao i za primjer treperenja LED-ice, oznaku pina `LED_BUILTIN` zamijenili smo s pinom 13. Također, u samom ispisu *web*-stranice izveli smo korekcije u odnosu na originalni kôd. Proanalizirajte izmijenjeni kôd i usporedite ga s originalnim kôdom. Napomena za kôd 9.3 i 9.4, *F()* predstavlja makro naredbu za spremanje podatak u zagradi (najčešće tekst) u *flash* memoriju.

```
#include <ESP8266WiFi.h>

const char* ssid = "NazivMreze";
const char* password = "Lozinka";

// Create an instance of the server on
// port
WiFiServer server(80);

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    pinMode(13, OUTPUT);
    digitalWrite(13, 0);

    // Connect to WiFi network
    Serial.print(F("\nConnecting to "));
    Serial.println(ssid);

    WiFi.mode(WIFI_STA);
    WiFi.begin(ssid, password);

    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { -1) {
        delay(500);
        Serial.print(F("."));
    }
    Serial.println(F("\nWiFi connected"));

    // Start the server
    server.begin();
    Serial.println(F("Server started"));

    // Print the IP address
    Serial.println(WiFi.localIP());
}
```

(a)

```
void loop() {
    // Check if a client has connected
    WiFiClient client = server.available();
    if (!client) {
        return;
    }
    Serial.println(F("new client"));

    client.setTimeout(5000); // default is
    1000

    // Read the first line of the request
    String req =
    client.readStringUntil('\r');
    Serial.println(F("request: "));
    Serial.println(req);

    // Match the request
    int val;
    if (req.indexOf(F("/gpio/0")) != -1) {
        val = 0;
    } else if (req.indexOf(F("/gpio/1")) !=
    -1) {
        val = 1;
    } else {
        Serial.println(F("invalid request"));
        val = digitalRead(13);
    }

    // Set LED according to the request
    digitalWrite(13, val);

    // read/ignore the rest of the request
    while (client.available()) {
        client.read();
    }
}
```

(b)

Kôd 9.3. Izlistanje *WiFiManualWebServer* primjera programskog koda prilagođeno za proDIGY: (a) *setup* dio, (b) *loop* dio do ispisa *web*-stranice.

```
// Send the response to the client
client.print(F("HTTP/1.1 200 OK\r\nContent-Type: text/html\r\n\r\n<!DOCTYPE
HTML>\r\n<html>\r\n"));
client.print(F("<h1>proDIGY</h1>LED is now "));
client.print((val) ? F("ON") : F("OFF"));
client.print(F("<br><br>Click <a href='http://'>"));
client.print(WiFi.localIP());
client.print(F("/gpio/1'>here</a> to switch LED on, or <a href='http://'>"));
client.print(WiFi.localIP());
client.print(F("/gpio/0'>here</a> to switch LED off.</html>"));

Serial.println(F("Disconnecting from client"));
}
}
```

Kôd 9.4: Izlistanje *WiFiManualWebServer* primjera zadnji dio *loop* funkcije zadužen za izradu *web*- stranice.

Iako sam program sadrži više linija kôda u odnosu na primjer treperenja LED-ice, program sadrži nekoliko jednostavnih funkcionalnih dijelova. U početku ESP8266 pokušava se spojiti s odabranom Wi-Fi mrežom, nakon uspješnog spajanja inicijalizira se *web*-server i ispisuje IP adresa razvojnog sustava na serijskom monitoru. Zatim *web*-server beskonačno puta provjerava je li klijent probao pristupiti serveru te ako je otvorena poveznica <http://IP/gpio/0> ili <http://IP/gpio/1> isključi, tj. uključi, ugrađenu LED-icu. Prilikom pristupa *web*-serveru klijentu se prikazuje *web*-stranica opisana kôdom 9.4.

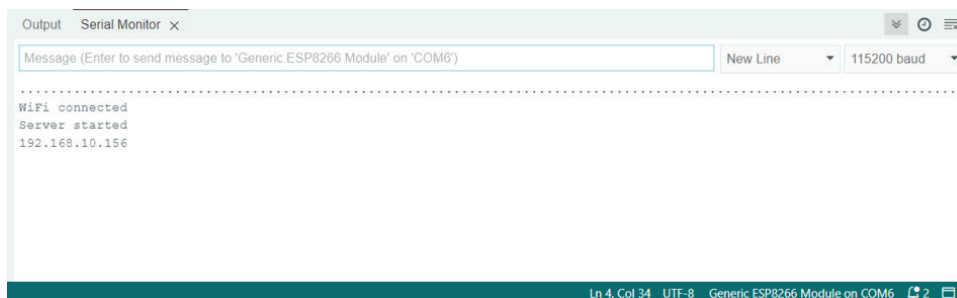
Kao i kod primjer treperenja LED-ice, sljedeći korak je kliknuti na ikonu  uz odabranu ploču *Generic ESP8266 Module*. Ako nema detektiranih grešaka u kôdu, sljedeći korak je isprogramirati ploču s postupkom:

1. pritisnuti i držati pritisnutom tipku *Reset* na proDIGY ploči
2. pritisnuti i držati pritisnutom tipku *User* na proDIGY ploči
3. otpustiti tipku *Reset* na proDIGY ploči
4. otpustiti tipku *User* na proDIGY ploči
5. kliknuti na ikonu  u Arduino IDE za prebacivanje kompiliranog programa
6. pokrenut će se postupak kompiliranja i prebacivanja (*eng. upload*) napisanog programa
7. nakon uspješnog prebacivanja programa potrebno je pritisnuti i pustiti tipku *Reset*.

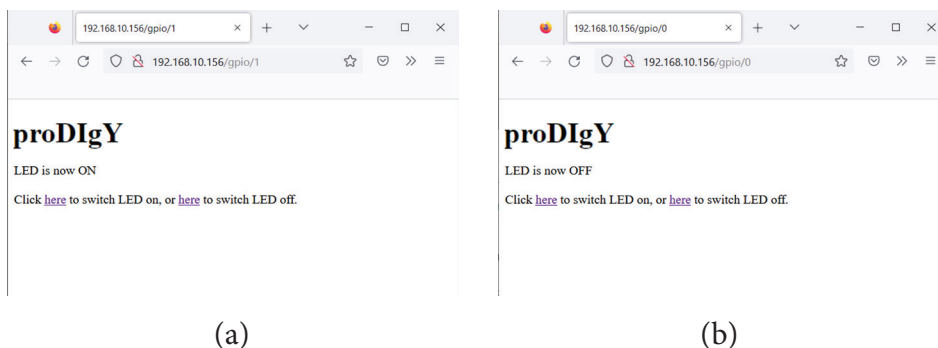
Na slici 9.13. prikazan je primjer ispisa serijskog monitora nakon pokretanja programa na proDIGY ploči. Vidljivo je da je IP adresa proDIGY-a 192.168.10.156. Otvaranjem internet preglednika s uređajem (npr. osobno računalo ili mobilni telefon) koji se nalazi u istoj mreži kao i proDIGY te unosom njegove IP adrese otvara se *web*-stranica kao na slici 9.14. Klikom na odgovarajuće poveznice *Click here* uključujete i isključujete LED-icu razvojnog sustava 9.14.a i 9.14.b. Prilikom uključanja *serial* monitora obavezno postaviti odgovarajuću brzinu pri-

jenosa podataka. Za ovaj primjer određena je brzina prijenosa od 115200 *braud*.

Preporuka je detaljno proanalizirati napisani kôd te dodati nove funkcionalnosti u program, npr. prikazivati trenutno stanje tipkala.



Slika 9.13: Ispis sa serial monitora nakon pokretanja *web*-servera na proDlGy-u.



Slika 9.14: Prikaz *web*-stranice za upravljanje stanjem LED-ice proDlGy-a: (a) uključena LED-ica, (b) isključena LED-ica.

Ovim primjerom završavamo ovaj priručnik, ali to nikako nije kraj projektiranja elektroničkih sklopova. Područje projektiranja elektroničkih sklopova se konstantno razvija. Izlaze nove tehnologije, razvijaju se novi sklopovi, izrađuju se novi programi i alati itd. Mi se nadamo da Vas je ovaj priručnik dovoljno zainteresirao za temu projektiranja elektroničkih sklopova te da ćete se i dalje nastavite baviti i razvijati u ovom području.

10. POJMOVNIK

Pojam	Objašnjenje
Arduino IDE	Razvojno okruženje Arduino kompatibilnih mikroupravljača
Arduino UNO, Arduino UNO WiFi Rev2, Arduino NANO, Arduino Nano RP2040 Connect	Arduino kompatibilni razvojni sustavi (ploče) temeljene na raznim mikroupravljačima
ASCII - eng. American Standard Code for Information Interchange	Standardni 7-bitni znakovni kôd
Asemblerski jezik	Najniži programski jezik za određenu procesnu jedinicu, naredbe u assembleru se nazivaju instrukcije
Baza (podloga) PCB-a	Baza je tanka izolacijska ploča (različite vrste dielektrika - kompozitni materijali) čiji je zadatak izolacija i osiguravanje mehaničke čvrstoće sklopa sa svim komponentama
Eng. Blind via	Via koja povezuje jedan od vanjskih slojeva s jednim ili više unutarnjih vodljivih slojeva PCB-a.
BNC konektora	Vrsta konektora za spajanje koaksijalnog kabela
BOM - eng. Bill Of Materials	Dokument s listom komponenti i materijala koji se koriste za izradu uređaja
Bootloader	Pogonski program mikroupravljača
Bug	pogreška u programskom kôdu
Eng. Burried via	Zakopana via, spaja dva ili više vodljivih unutarnjih slojeva PCB-a (nije vidljiva na vanjskim slojevima)
C, ANSI C, Ada, MicroPython, C++	Programski jezici
CAD - eng. Computer Aided Design	Zajednički naziv za sve alate koji se koriste za dizajn s računalom
eng. Chip, Integrated Circuit	Predstavlja više spojenih diskretnih elektroničkih komponenti izrađen u jednom komadu na tankom sloju materijala kao što je silicij
Eng. Clearance	Predstavlja zračnu udaljenost između vodiča (najčešće se definira minimalni clearance)
CNC - eng. Computer Numerical Control	Uređaji upravljani računalom definiranim kôdom
Eng. Code completion, intellisens	Programski alati za automatizirano dovršenje programskog kôda
Eng. Copper pour, Copper fill, Copper zone	Veći dio bakra na vodljivom sloju PCB-a, definiran poligonom

Eng. Creepage	Predstavlja udaljenost između vodiča uz površinu PCB-a (najčešće se koristi kod sklopova s visokim naponima iznad 30 V AC i 60 V DC)
Datasheet	Tehnička dokumentacije neke komponente
Debugger	Uređaj koji može direktno pristupiti memoriji programiranog uređaja te pomoći pri otkrivanju bug-ova
Eng. Default	Standardne opcije ili vrijednosti
Eng. Design Rules	Pravila koja se moraju slijediti prilikom crtanja PCB-a
DIP - eng. Dual In-Line Package (PDIP)	TH pakiranje komponente
Diskretna elektronička komponenta	Komponente koje imaju najčešće samo jednu funkcionalnost te u njih spadaju otpornici, kondenzatori, tranzistori i sl
DIY - eng. Do-It-Yourself	Uradi sam
DPAK, D2PAK	SMD kućišta za tranzistore, regulatore i sl. većih snaga
Dupont vodiči	Vodiči s ugrađenim spojnicima za standardne header konektore
EIA	Udruženje eng. Electronic Industries Alliance
ESD - eng. Electrostatic Discharge	Elektrostatičko pražnjenje
ESP8266	Arduino kompatibilni mikroupravljač koji sadrži i WiFi modul
Excellon datoteke	Excellon datoteke su tekstualni dokumenti koji sadrže upute (naredbe) o izradi provrta za strojeve koji izrađuju PCB
fiducija - eng. fiducial	Oznaka/e na gornjem ili donjem sloju PCB-a koja se koristi za poravnavanje slojeva i orijentaciju PCB-a prilikom izrade
Eng. flexible PCB	Elektronička tiskana pločica izrađena od savitljive baze
Flux, eng. no-clean flux	Tekućina ili pasta koja čisti površine metala i sprečava oksidaciju tijekom lemljenja, za no-clean opciju nije potrebno čišćenje
Footprint	Slikoviti prikaz fizičke komponente sa svim nožicama i dimenzijama istovjetno stvarnim nožicama i dimenzijama komponente
FR3 - eng. Fire Resistant 3	Materijal za izradu baze PCB-a, celulozna vlakna (papir) koji su impregnirani fenolnom smolom (tzv. „pertinaks“)
FR4 - eng. Fire Resistant 4	Materijal za izradu baze PCB-a, staklena vlakna koja su impregnirana epoksidnom smolom (tzv. „vitroplast“)
Gerber datoteke	Gerber datoteke su tekstualni dokumenti koji sadrže upute (naredbe) za strojeve koji izrađuju PCB
Git	Naziv za skupa alata koji omogućavaju praćenje verzija (verzioniranje) datoteka na računalu

Headers pins	Nožice u jednom redu najčešće razmaknute 2,54 mm jedna od druge
IEEE - eng. Institute of Electrical and Electronics Engineers	Svjetska udruga inženjera elektrotehnike i elektronike
IoT - eng. Internet of Things	Internet objekata
IPC, ISO, IEC	Organizacije za standardiziranje proizvodnje PCB-a
IPC-2221A	Standard IPC (eng. Generic Standard on Printed Board Design) opći zahtjevi za dizajn i montažu komponenti za jednoslojne i višeslojne PCB-a
IPC-2226	Standard IPC (eng. Section Design Standard for High Density Interconnect (HDI) Printed Boards) zahtjevi za dizajn i montažu komponenti PCB-a visoke gustoće
IPC-D-325A	Standard IPC (eng. Documentation Requirements for Printed Boards) opći zahtjevi i specifikacije za potpunu dokumentaciju PCB-a.
IPC-M-105	Standard IPC (eng. Rigid Printed Board Manual) specificira dimenzije, tolerancije, performanse čvrstih tiskanih pločica, testiranje lema i sl.
IPC-M-106	Standard IPC (eng. Technology Reference for Design Manual) PCB tehnologija velike gustoće, fleksibilni PCB i sl.
IPC-S-100	Standard IPC (eng. Standards and Specifications Manual) priručnik koji sadrži potpuni pregled specifikacija svih aspekata tehnologije povezivanja elektroničkih sklopova
IPC-T-50F	Standard IPC (eng. Terms and Definitions for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits) sadrži opće opise, ilustracije i definicije vezane za PCB
Eng. Islands	Otoci, izraz za dijelove bakra na PCB-u koji nisu povezani niti ja jedan net
Jetkanje	Kemijski postupak uklanjanje dijela bakra tijekom izrade PCB-a
KiCAD, Fritzing, EasyEDA, Altium, Orcad	Alati za dizajn PCB-a
LDO – eng. Low Dropout Voltage	Naponski regulator s niskim padom naponu (ulaz/izlaz)
Lemna maska ili stop-lak	Premaz na vanjskim slojevima PCB-a koji sprečava lemljenje
Eng. Microvia	Sve via-e čiji je promjer manji od 0,15 mm (6 mils)
mil, mils	Mjera za tisućiti dio inch-a
Mouser, DigiKey, TME, Farnell	Poznati distributeri elektroničkih komponenti u Europi

Eng. Net	Prilikom crtanja sheme ili PCB-a net predstavlja naziv vodiča koji spaja dvije ili više nožica (pad-ova)
ngspice	Simulator otvorenog kôda temeljen na SPICE simulatoru
NodeMCU	Arduino kompatibilna ploča s ESP8266 mikroupravljačem
NPTH - eng. Non-Plated Through Hole	Nemetalizirani provrt kroz PCB
OSH - eng. Open Source Hardware	Koncept gdje se razvija sklopovlje čija je dokumentacija dostupna svima na korištenje
eng. Package	Izraz za kućište diskretne ili integrirane elektroničke komponente
Eng. Pad	Pin komponente u obliku metalizirane podloge
PCB - eng. Printed Circuit Board	Elektronička tiskana pločica
PET samoljepljiva traka	Samoljepljiva traka otporna na visoke temperature koja je koristi pri zaštiti već zalemljenih komponenti
Eng. Pinout	Tekstualni ili grafički opis funkcionalnosti pojedinih nožica razvojnog sustava
Eng. Pitch	Razmak između središta susjednih nožica (pad-ova) na kućištu komponente
Prepreg	Materijal za lijepljenje više PCB-ova što rezultira višeslojnim PCB-om
Programator	Uređaj za prebacivanje programa na mikroupravljač
Prozirnica	Transparentni medij s otisnutim nacrtom tiskanih veza
Eng. PTH - Plated Through Hole	Metalizirani provrt kroz PCB
QFN	SMD pakiranja integriranih sklopova s pad-ovima raspoređeni s četiri strane kućišta
QFP, TQFP	SMD pakiranja integriranih sklopova s nožicama raspoređene s četiri strane kućišta
Eng. Ratsnest, air wires	Imaginarne linije koje predstavljaju vezu između još uvijek nepovezanih nožica otisaka s vodičima u dizajnu (crtanju) PCB-a
eng. Reference	Oznaka komponente najčešće veliko slovo plus znamenka
Eng. reflow soldering	Postupak lemljenja u pećnici
eng. rigid PCB	Elektronička tiskana pločica izrađena od čvrste baze
Eng. Routing	Postupak crtanja vodiča prilikom dizajna PCB-a
Eng. sample rate	Brzina uzorkovanja signala, pretvaranje analogne vrijednosti signala u digitalnu vrijednost
Serial Monitor	Programski alat u Arduino IDE za serijsku (UART) komunikaciju

SIL- eng. Single In-Line	TH pakiranje komponente, najčešće se koristi za otporničke mreže
Eng. Silkscreen	Sitotisak - tehnika nanošenja boje (ispisa)
SMD - eng. Surface Mounted Device	Komponente koje se montiraju na površinu PCB-a
SMT - eng. Surface Mount Technology	Predstavlja tehnologiju izrade PCB-a s površinskim (SMD) komponentama
SO (SOIC), SSO, TSSO	SMD pakiranja integriranih sklopova do 80 nožica raspoređene s dvije strane kućišta
SoC - eng. System on Chip	Integrirani sklop koji pored mikroupravljača sadrži i dodatne složenije module ako što su WiFi modul, grafička kartica i sl.
SOT-23, SOT-223, SOT-89	SMD kućišta za tranzistore, regulatore i sl.
SPICE - eng. Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis	Simulator analognih i digitalnih sklopova otvorenog kôda
Eng. stencil	Tanki metalni list (šablona) s rupama na mjestima (lokacije pad-ova komponenti) gdje je potrebno postaviti tinol pastu na PCB
Tantal kondenzator	Vrsta elektrolitskog kondenzatora
TH komponente - eng. Through Hole	Komponente namijenjen montaži kroz provrte u PCB-u
Eng. Thermal vias	Toplinske via-e čija je zadaća odvođenje topline s komponente kroz svoje otvore
Eng. Thermals, Thermal reliefs	Postupak spajanja nožice s okolnim bakrom (copper pour, copper zone), ne spaja bakar zone u potpunosti s nožicom (pad) nego spaja do četiri vodiča zadane širine u plus uzorku s nožicom
THT - eng. Through Hole Technology	Predstavlja tehnologiju izrade PCB-a s TH komponentama
Tinol - eng. solder	Materijal za spajanje dva metalna dijela (npr. metalna nožica komponente i kositrenom nožicom/pad-om PCB-a) zagrijavanjem s lemilicom.
Tinol pasta - eng. solder pastes, solder creams	Pasta lemljenje lemilicom koja se sastoji od usitnjenog tinola (u obliku praha), flux-a te aditiva
TO-5, TO-18 i TO-39	TH pakiranje komponente, za metalna kućišta tranzistora, tiristora, triac-a
TO-92, TO220	TH pakiranje komponente, za plastična kućišta tranzistora, tiristora, triac-a
Eng. track	Vodič na PCB-u izrađen najčešće od bakra visoke čvrstoće

TTL - eng. Transistor Transistor Logic	Izraz za obitelj integriranih digitalnih sklopova izrađenih od bipolarnih tranzistora.
UART - eng. Universal Asynchronous Receiver-Transmitter	Digitalni komunikacijski protokol – univerzalni asinkroni primopredajnik
uC - eng. Microcontroller	Mikroupravljač, obradbeni digitalna jedinica koja pored CPU-a sadrži i RAM, ROM, komunikacijske uređaje i sl.
USB - eng. Universal Serial Bus	Univerzalna sabirnica za serijski prijenos podataka
Via	Metalizirani provrt za spajanje dva ili više vodljivih slojeva PCB-a

**Regionalni centar kompetentnosti
Elektrotehničke i prometne škole Osijek**

Istarska 3, 31000 Osijek
031/289-829; 031/289-830
ured@ss-elektrotehnicka-prometna-os.skole.hr
www.elpros.net
www.rck.elpros.net

Više informacija o EU fondovima na
www.strukturnifondovi.hr.