

MMA model2

Projektna dokumentacija

Tema: Pametna kaciga za bicikliste

Ime tima: Voltmates MMA

Članovi tima: Marko Srpak, Antonia Turković, Matej Perković

SADRŽAJ

1. UVOD	2
2. OPIS RJEŠENJA	3
2.1. PREGLED SUSTAVA	3
2.2. INOVATIVNOST	4
3. OPIS RADA RJEŠENJA	5
3.1. MIKROKONTROLER	6
3.1.1. ESP32-S3	6
3.2. SENZORI	7
3.2.1. IMU	7
3.2.2. Okolišni senzor	8
3.2.3. GPS modul	8
3.2.4. Mikrofon	9
3.2.5. Senzor za znoj	10
3.3. IZLAZNI ELEMENTI	11
3.3.1. MicroSD kartica	11
3.3.2. LED svjetla	11
3.3.3. Buzzer	11
3.4. DODACI	12
3.4.1. Dijagram toka programa	12
3.4.2. Izvedba kućišta	12
3.4.3. Napajanje i potrošnja	13
3.4.4. Upute za korištenje	14
4. TROŠKOVNIK	15
5. ZAKLJUČAK	17
6. LITERATURA	18
7. PRILOG	19
7.1. Električna shema osnovnog sustava	19
7.2. Električna shema integriranog sustava – Top shema	20
7.7. Layer mask	25
7.8. Položajni nacrt komponenata	26
7.9. Plan bušenja	27
7.10. Cijeli PCB dizajn	28
7.11. 3D model PCB-a	29
7.12. Slika konačnog PCB-a	30
7.13. Slike aplikacije generirane iz mjerenih podataka	31

1. UVOD

Bicikl je jedno od najpopularnijih prijevoznih sredstava i oblika rekreacije u svijetu, s više od milijardu bicikala u upotrebi, a taj broj bi mogao doseći pet milijardi do 2050. godine. Kina prednjači s više od 450 milijuna bicikala, dok Sjedinjene Američke Države imaju oko 100 milijuna, a Japan preko 75 milijuna [3]. S porastom broja biciklista, raste i svijest o važnosti sigurnosti na cestama. Biciklističke kacige počele su se koristiti sredinom 20. stoljeća, prvenstveno među profesionalnim biciklistima. Prve kacige bile su izrađene od kože i pružale su minimalnu zaštitu, no s razvojem tehnologije i povećanjem sigurnosnih standarda postale su neizostavan dio biciklističke opreme.

Razvoj pametnih IoT rješenja dodatno je unaprijedio sigurnost i mobilnost u svakodnevnom životu. Automobili danas dolaze opremljeni naprednim senzorima i autonomnim sustavima, dok se u području fitnessa sve više ljudi oslanja na aplikacije poput Strava i Google Fit za praćenje aktivnosti. Pametni satovi vodećih brendova, poput Apple, Samsung i Garmin, nude napredne senzore za analizu treninga, čime podižu razinu svijesti o zdravlju i performansama korisnika. Ovaj tehnološki napredak prirodno je doveo do razvoja pametnih biciklističkih kaciga, koje kombiniraju sigurnosne značajke s modernim tehnologijama.

Prva pametna biciklistička kaciga predstavljena 2015. godine bila je Livall BH60 prikazana na *Slici 1*. Imala je implementirane Bluetooth zvučnike i mikrofون, funkciju Walkie-Talkie za lakšu komunikaciju među biciklistima tijekom grupne vožnje, LED svjetla za bolju vidljivost i signalizaciju skretanja te detekciju udara.



Slika 1. Prva pametna kaciga Lival BH60

Globalno tržište pametnih kaciga u 2022. godini vrijedilo je 666,9 milijuna USD, a očekuje se rast po godišnjoj stopi od 17,0% do 2030. godine [1]. Ovaj rast potaknut je razvojem novih tehnologija te strožim propisima o sigurnosti na cestama koji zahtijevaju da svi nose kacigu tokom bicikliranja. S obzirom na sve veću potražnju i tehnološki napredak, očekuje se da će pametne kacige u budućnosti postati standardna oprema među biciklistima.

2. OPIS RJEŠENJA

Ideja projekta je spojiti sigurnost i inovaciju kroz razvoj rješenja pametne kacige za bicikliste što direktno proizlazi iz teme natjecanja. Ovo pametno rješenje realizirano je kao uređaj koji se nadograđuje na bilo koju biciklističku kacigu kao pametna nadogradnja. Glavna zadaća ovog rješenja je pružanje **sigurnosti** u prometu te istovremeno služi kao napredni **fitness uređaj**. Uređaj je namijenjen svim skupinama biciklista, od svakodnevnih putnika koji žele povećanu sigurnost, do rekreativnim i profesionalnim sportašima koji žele podići telemetriju svog treninga na novu razinu.

Glavne sigurnosne značajke ovog rješenja je signalizacija kočenja, signalizacija skretanja (žmigavci) i detekcija rizičnijih fizioloških stanja. Ove signalizacije omogućuje ostalim sudionicima u prometu da bolje vide vozača i njegove akcije, a također upozoravaju samog vozača na rizična fiziološka stanja (poput pretjeranog znojenja). Kao fitnes uređaj, rješenje omogućuje detaljno praćenje biciklističkih treninga. Rješenje koristi integrirane senzore za praćenje GPS lokacije, brzine i ubrzanja, smjera kretanja, okoliša, zagađenosti zraka, zvučnog zagađenja te količine znojenja vozača.

Podaci prikupljeni ovim sustavom omogućuju korisnicima analizu rute, preporuke za sigurniju vožnju i bolje razumijevanje utjecaja okoliša na performanse. Na primjer, može se identificirati koje dijelove grada treba izbjegavati zbog zagađenja ili koliko dugo je preporučljivo voziti pri određenim vremenskim uvjetima. Tijekom vožnje moguće je koristiti Bluetooth™ povezanost s mobitelom za slanje komandi samoj kacigi. Komande poput „Započni trening“ i „Završi trening“. Ta funkcionalnost bitno olakšava korištenje pametne kacige i omogućuje korisniku da ne mora konstantno skidati kacigu i otvarati kućište kako bi pokrenuo ili zaustavio uređaj. Svi podaci su spremljeni na SD karticu na uređaju koju je kasnije moguće spojiti na osobno računalo. Uz proizvod je napravljena i Python skripta koja obrađuje te podatke i interaktivno ih prikazuje.

2.1. PREGLED SUSTAVA

Ovaj projekt podijeljen je u razvoj dva sustava, osnovni sustav i integrirani sustav. **Osnovni sustav** temelji se na korištenju modula za svaku od komponenata, zalemljenih i ugrađenih na pločici za prototipiranje. Osnovna verzija je nužna jer daje mogućnost razvoja softvera te uvid u performanse svake pojedine komponente sustava.

Integrirani sustav je rješenje temeljeno na osnovnom sustavu, ali realizirano na vlastito izrađenoj tiskanoj pločici (PCB-u), sa integriranim svim komponentama sustava. Razvoj PCB-a je dugotrajan proces podložan izmjenama i stvaranju više verzija sustava prije potpuno funkcionalne pločice. Budući da je ovaj projekt vremenski ograničen trajanjem natjecanja, nužno je potreban razvoj osnovnog sustava paralelno integriranom sustavu, kako bi se pravodobno razvila softverska podrška za funkcionalan proizvod. Integrirani sustav smatra se nadogradnjom osnovnog sustava. Oba sustava sadrže identične komponente, s drugačijom razinom integracije.

2.2. INOVATIVNOST

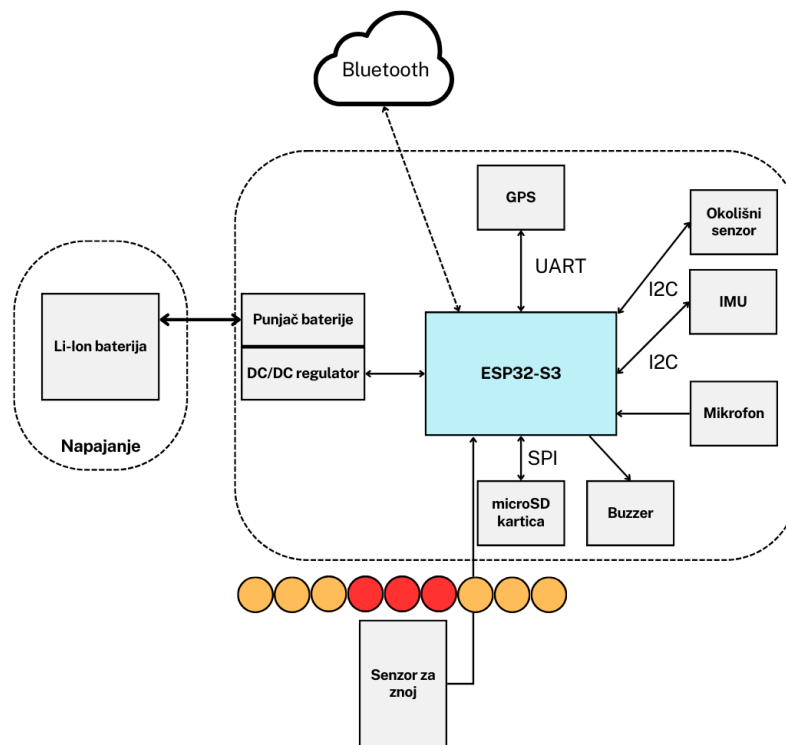
Većina postojećih rješenja na tržištu temelji se na pametnim kacigama s unaprijed ugrađenim senzorima i tehnologijom, što korisnike ograničava na određene modele kaciga. Ovaj projekt uključuje razvoj univerzalnog fitness uređaja koji se može postaviti na bilo koju biciklističku kacigu, pretvarajući je u pametnu kacigu. Samostalna jedinica za pametne funkcije može se lako zamijeniti ili nadograditi novim verzijama, bez potrebe za promjenom kacige. Osim toga, uz postojeće pametne satove, prstenove, senzore na pedalama i slično, ovaj sustav ugrađen u kacigu predstavlja novi korak u fitness uređajima, sa **jedinstvenom** kombinacijom senzora i sigurnosnih značajki.

Kacigu nad drugim uređajima izdvaja senzor znoja, za koji se koristi senzor mokrine, kao što je rađeno u [4]. Dodatan znanstveni doprinos ovog rada je prepoznavanje terena temeljem frekvencijske analize signala akcelerometra. Analiza terena je posebno korisna za brdski biciklizam u kojem atletičar vozi po zemlji, šljunku, betonu, pijesku i analiza treninga po dionicama različitih terena, može dati koristan uvid u zahtjevnost treninga tijekom pojedine dionice.

Ovo rješenje predstavlja novu generaciju pametnih kaciga, gdje sigurnost i analiza podataka idu ruku pod ruku s modernim tehnologijama. Budućnost uređaja leži u integraciji još nekolicine senzora poput senzora otkucaja srca, te daljeg razvoja mobilnih aplikacija i analize podataka za još korisnije rezultate.

3. OPIS RADA RJEŠENJA

Specifični dijelovi sustava prikazani su na *Slici 2*. Neovisno radi li se o osnovnom ili integriranom sustavu, sustav sadrži isti skup funkcionalnosti. Glavni dio sustava sastoji se od mikrokontrolera, senzora i izlaznih uređaja. Senzori su GPS, okolišni senzor, IMU, mikrofoni i senzor znoja. Izlazni uređaji su LED svjetla, buzzer i microSD kartica. Za svaki opisan senzor (ako nije drugačije navedeno) podrazumijeva se korištenje razvojnog modula za izradu osnovnog sustava te korištenje samih komponenti za realizaciju integriranog sustava. Uređaj se napaja baterijski što je opisano u kasnijem poglavlju. Tijekom rada, uređaj će uvijek imati uključene sigurnosne usluge svjetla kočenja i žmigavaca. Posebno, ako se uključi trening, aktiviraju se svi senzori, te se kontinuirano prati lokacija, okolišni uvjeti i znojenje te se spremaju na microSD karticu. Tijekom vožnje javljat će se dodatna upozorenja poput pretjeranog znojenja, previsoke temperature, zagađenja zraka i slično. Kasnije je moguć pregled i obrada treninga preko Python skripta na računalu.



Slika 2. Blok shema sustava

3.1. MIKROKONTROLER

3.1.1. ESP32-S3

Za mikrokontroler koristit će se 32-bitni ESP32-S3 mikroprocesor. Prvenstveni razlog korištenja ovog specifičnog mikrokontrolera je to da je vrlo jednostavan za ugradnju na PCB dok pruža i više nego dovoljno procesorske snage za obradu svih potrebnih podataka u stvarnome vremenu. Konkretno je korišten ESP32-S3-WROOM1-N8 koji je moderan čip s ugrađenom akceleracijom za AI. Ovo otvara mogućnosti poput prepoznavanja glasovnih komandi i složena analiza svih senzorskih podataka na *edgu* (*Edge AI*). Drugi razlog zašto je odabran ovaj specifični mikrokontroler je jer već ima ugrađeni Bluetooth Low-Energy™ modul koji omogućuje bežičnu komunikaciju s vanjskim uređajima kao što su korisnikov mobitel uz što manju potrošnju. To je potrebno kako bi se preko Bluetootha™ moglo upravljati uređajem.

Za razvoj softvera predviđeno je korištenje ESP-IDF platforme kao osnovne platforme za razvoj Espressif mikrokontrolera. Ova platforma omogućuje korištenje FreeRTOS-a kao osnovnog operacijskog sustava za rad u stvarnom vremenu i podržava dvojezgreni ESP32-S3.

Maksimalni napon GPIO pinova ESP32 čipa je 3.3V, dok je maksimalna struja koju može dati 20mA. Ti uvjeti su dovoljni za npr. Buzzer, ali komponente koje vuku više struje (npr. LED svjetla) potrebno je povezati na napon napajanja kako bi se osigurali stabilni radni uvjeti.



Slika 3. *ESP32-S3-WROOM-1-N8*

3.2. SENZORI

3.2.1. IMU

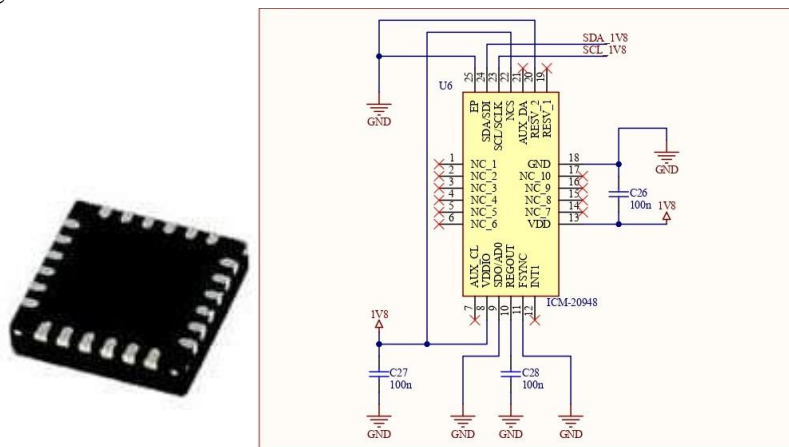
IMU (engl. Inertial measurment unit) je glavni senzor unutar ove pametne kacige koji mjeri svoju akceleraciju, kutnu akceleraciju te rotaciju u prostoru. ICM-20948 je napredni IMU senzor tvrtke TDK Invensense koji integrira akcelerometar, žiroskop i magnetometar u jednom kompaktnom uređaju. Senzor je izuzetno precizan, a njegova mala potrošnja energije omogućuje integraciju unutar pametnih uređaja poput ove kacige.

Akcelerometar se koristi za mjerenje ubrzanja i kočenja vozača. Žiroskop mjeri kutnu akceleraciju i koristi se, uz akcelerometar, za paljenje žmigavaca ako vozač nagne glavu lijevo ili desno. Magnetometar služi za mjerenje orijentacije (strane svijeta) prema kojoj se vozi.

Dodatno, akcelerometar će biti korišten za mjerenje vibracija u svrhu mapiranje terena te će se FFT-om računati frekvencijski odziv. Ovo je znanstveni doprinos rada koji će istražiti koliko se dobro može prepoznati vrsta terena iz karakteristike vibriranja.

Ovaj čip je jedina komponenta u dizajnu koja radi na naponu napajanja od 1.8V. To nije problem u osnovno sustavu jer IMU modul ima već ugrađene pretvarače 3.3V-na-1.8V. U integriranoj verziji je ipak potrebno tome posvetiti pažnju i u dizajn dodati LDO koji spušta napon na pouzdanih 1.8V.

Komunikacija s ovom komponentom je odrađena preko I²C protokola s razinama 1.8V i 0V. Mikrokontroler koji je korišten u ovome dizajnu radi na 3.3V i time je potrebno spojiti i 1.8V-na-3.3V dvosmjerni I²C level translator koji će omogućiti da mikrokontroler ispravno čita dobiveni signal s IMU senzora.



Slika 3. Čip ICM-20948 i njegovo spajanje

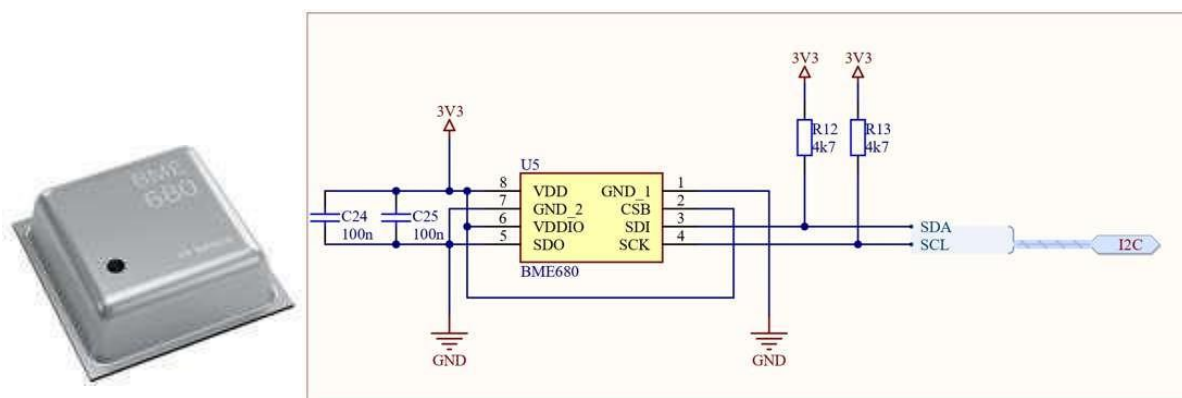
3.2.2. Okolišni senzor

Za okolišni senzor odabran je BME680. Višenamjenski senzor tvrtke Bosch Sensortec koji omogućuje precizno mjerenje temperature, vlažnosti zraka, atmosferskog tlaka i kvalitete zraka (VOC - hlapljivi organski spojevi). Senzor se odlikuje niskom potrošnjom energije i kompaktnim dizajnom, što ga čini idealnim za primjenu u IoT uređajima i nosivim tehnologijama.

BME680 će se koristiti za praćenje okolišnih uvjeta tijekom vožnje. Podaci koje senzor prikuplja omogućit će:

- **Analizu kvalitete zraka** – upozoravanje korisnika na prisutnost zagađenja u zraku putem VOC indikatora.
- **Praćenje vremenskih uvjeta** – bilježenje temperature i vlažnosti zraka radi boljeg planiranja vožnje. Upozorenje na predugu izloženost vrućini, sparini ili hladnoći.
- **Mjerenje nadmorske visine** – korištenjem atmosferskog tlaka za procjenu visine rute.

Senzor komunicira preko I²C komunikacijskog protokola što omogućuje laganu ugradnju u sustav s ESP32 mikrokontrolerom. Također, za napajanje koristi napon od 1.8V do 3.6V što ga čini kompatibilnim s ESP32 napajanjem mikrokontrolera koji radi na 3.3V.



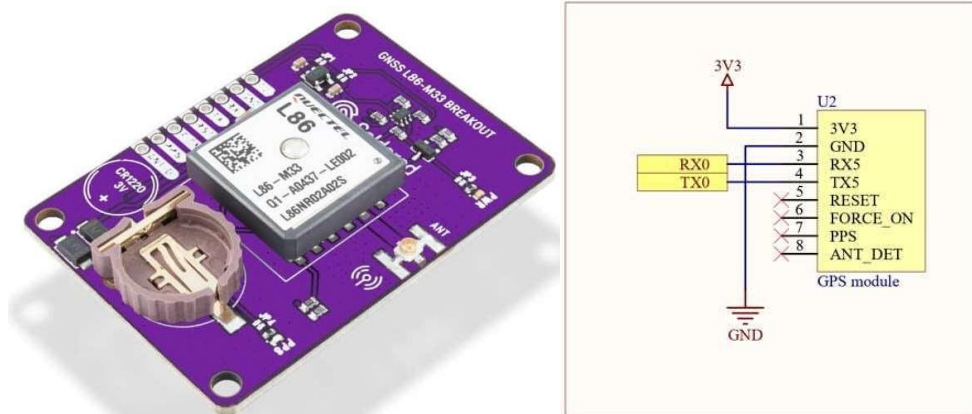
Slika 4. Čip BME680 i njegovo spajanje

3.2.3. GPS modul

Za određivanje precizne lokacije nije dovoljan samo IMU (Inertial Measurement Unit), nego je dodatno potreban i način komunikacije s GPS-om. U obje implementacije (osnovna i integrirana) to će biti implementirano pomoću gotovog GPS modula koji će omogućiti točno praćenje rute biciklista.

Modul će biti direktno povezan na mikrokontroler putem UART komunikacijskog protokola, osiguravajući stabilan prijenos podataka i jednostavno određivanje globalnog položaja.

Podatak o lokaciji vozača, zajedno s vremenom, jedni su od najvažnijih podataka zabilježenih tijekom vožnje. Tokom analize poslije treninga biti će moguće nacrtati na interaktivnoj karti putanju koju je biciklist odvezio i kojim je putem išao.



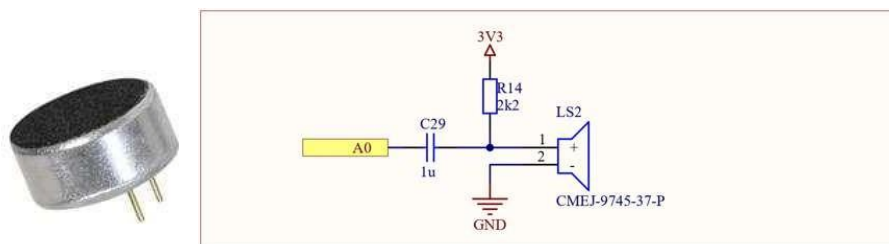
Slika 5. GPS modul i njegovo spajanje

3.2.4. Mikrofon

Mikrofon integriran u pametnu biciklističku kacigu biti će kapacitivnog tipa i može se koristiti za dvije glavne funkcionalnosti:

- **Mjerenje zvučnog zagađenja** – slično kao okolišni senzor, u slučaju preduge izloženosti buci (poput prometa) aktivira se upozorenje koje upozorava vozača. Također može služiti za kasniju analizu dionice kako bi znali koje bučne dijelove puta ubuduće izbjegavati, ako želimo mirnu i tihu vožnju.
- **Prepoznavanje glasovnih komandi (opcionalno)** – omogućavanje korisniku da izdaje jednostavne glasovne naredbe za upravljanje funkcijama kacige (npr. uključivanje svjetala, aktiviranje/deaktiviranje alarma). Ova funkcionalnost nije ugrađena ali se proizvod može nadograditi uz pripadajuću biblioteku.

Primarna mjera je zvučno zagađenje, dok su druge dvije mjere napredne, ali hardverski pripremljene s mikrokontrolerom koji je dovoljno moćan za ovakvu upotrebu (kao što je ESP32 u ovome uređaju).

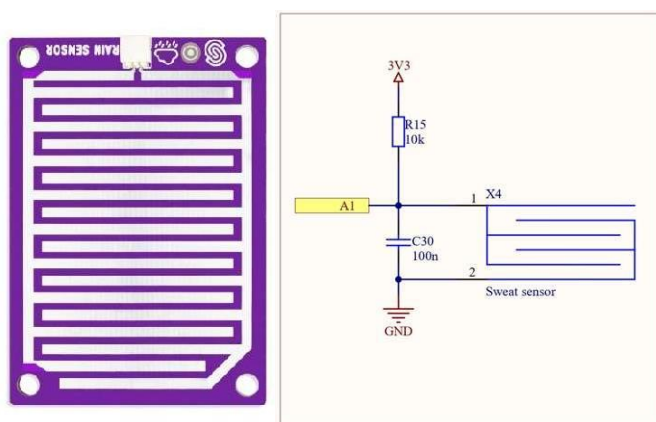


Slika 6. Kapacitivni mikrofon CMEJ-9745-37-P i njegovo spajanje

3.2.5. Senzor za znoj

Posljednji u listi senzora je senzor znoja. On se ističe kao inovativan senzor koji nije uobičajen kod klasičnih nosivih fitness uređaja poput pametnih satova. Za ovaj se senzor koristi senzor mokrine (bitno različito od senzora vlažnosti zraka), koji se sastoji od dvije elektrode, isprepletene u rešetku [4]. Ideja ovakvog senzora je da čim je više površina vlažna, to će biti veća vodljivost između rešetki. Ova promjena otpora može se detektirati i dati informaciju o tome koliko je osoba oznojena. Ovaj senzor integriran nije na glavnoj pločici već je dodatak koji će biti prislonjen na potiljak vozača i pričvršćen medicinskim ljepljivom trakom. Mjera znojenja vrlo je važna metrika za profesionalni biciklizam, a uređaj će također implementirati alarm za prekomjerno znojenje kako bi podsjetio korisnika da popije vode.

Na *Slici 7* je prikazan jedan ovakav senzorski element od Soldereda koji će se koristiti u osnovnoj verziji i u integriranoj verziji.



Slika 7. Senzor za znoj

3.3. IZLAZNI ELEMENTI

3.3.1. MicroSD kartica

Svi podaci će biti spremljeni na lokalnu SD karticu. Na nju će biti spremljeni obrađeni podaci sa svih senzora, uključujući zvučne uzorke, okolišne podatke i trenutno vrijeme i lokaciju. Korisnik će tada imati opciju prenijeti te sirove podatke na računalo te u Python skriptu koja će ih dodatno obraditi te prikazati grafički u obliku interaktivnih dijagrama i analizirati za bolje razumijevanje uvjeta vožnje. Ovaj sustav omogućuje dodatnu sigurnost podataka i kasniju detaljnu obradu bez potrebe za trenutnom bežičnom vezom. Ova analiza podataka je srž rada uređaja kao fitnes uređaj, budući da je Android aplikacija van opsega ovog projekta, jednostavno preuzimanje i pregledavanje podataka vožnje na računalu je trenutno rješenje, ali svakako opcija za budućnost rada.

3.3.2. LED svjetla

LED svjetla su postavljena sa stražnje strane u liniji. One se koriste kao žmigavci i kao crveno svjetlo tokom kočenja. Pomoću akcelerometra će se odrediti kada vozač usporava to jest koči, te se paliti crveno svjetlo. Pomoću žiroskopa i akcelerometra će se detektirati kada vozač kimne glavom lijevo/desno i paliti žuti žmigavci za lijevo/desno. Odabrane su svjetleće diode koje se spajaju u seriju kako bi se uštedjelo na količini priključaka mikrokontrolera, te svjetla koja su dovoljno jaka da se vide na dovoljno velikoj udaljenosti. Odabrane diode su također RGB kako bi se boja i svjetlina mogli dodatno kostimirati po želji.

3.3.3. Buzzer

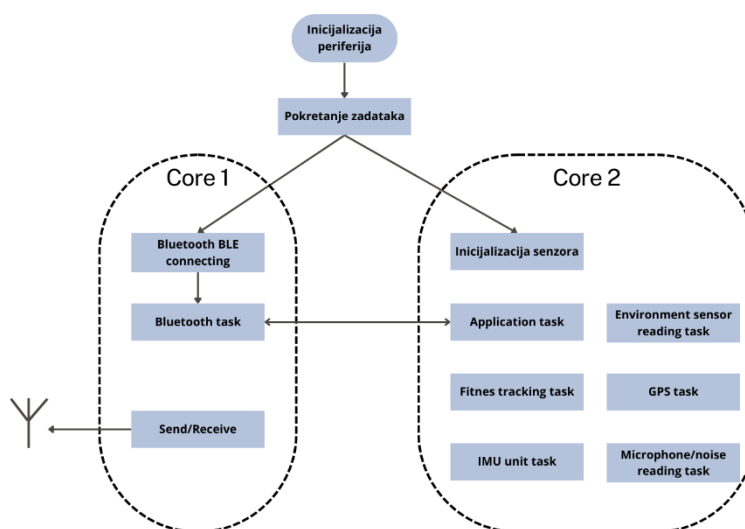
Slično poput LED svjetala, Buzzer se koristi u svrhu davanja dodatnih informacija vozaču. Jednako kao i kod LED svjetala, senzori će biti ti koji okidaju njegovu uporabu. Razlika se dobiva u tome što je sada povratna informacija zvučna i time vozač može brže reagirati bez potrebe za interpretiranje LED svjetala.

3.4. DODACI

3.4.1. Dijagram toka programa

Budući da ESP32-S3 ima dvojezgreni procesor i vrti FreeRTOS, tok programa podijeljen je u zadatke koji se izvršavaju simultano i uz potrebne komunikacije između zadataka. Glavni zadaci koji će se izvršavati su:

- Bluetooth task – zaduženi za svu komunikaciju, primanje i slanje poruka i naredbi
- Application task – ovaj task zadužen je osnovni rad uređaja i povezuje ostale taskove
- Fitness tracking task – ovaj task aktivan je tijekom snimanja aktivnosti vožnje. Zadužen je za bilježenje podataka na microSD karticu
- Environment sensor reading task – služi za čitanje temperature, tlaka, vlažnosti i kvalitete zraka
- GPS task – služi za čitanje GPS lokacije i trenutnog vremena
- IMU unit task – služi za čitanje IMU jedinice te reagira na kočenje i žmigavce
- Microphone task – služi za periodično mjerenje mikrofona i računanje razine buke



Slika 8. Dijagram toka programa – podjela na zadatke

Programski kod dostupan je na poveznici <https://github.com/MarkoSrpak/MMA-model2>

3.4.2. Izvedba kućišta

Ideja ovog proizvoda temelji se na modularnosti, pri čemu elektronika nije integrirana unutar same kacige, već se nalazi u zasebnom, odvojivom kućištu. Ovo kućište, izrađeno od plastike (3D printano) i bit će dizajnirano tako da pruža dovoljno zaštite elektroničkim komponentama, dok istovremeno omogućava lako postavljanje i uklanjanje s kacige pomoću stežljivog pojasa. Kućište ima integrirane otvore za ventilaciju koji će omogućiti prikupljanje podataka o okolišnim uvjetima, dok će istovremeno zadržati određeni stupanj vodootpornosti. Iako će dizajn smanjiti mogućnost prodora vode, preporučuje se izbjegavanje korištenja uređaja u nepogodnim vremenskim uvjetima, poput kiše.

Dodatno, kućište ima pristupni otvor za punjenje baterije, kao i poseban prolaz kroz koji će se moći spojiti senzor znoja, postavljen na potiljak biciklista. Na taj način, osigurana je jednostavna upotreba i održavanje sustava, dok istovremeno pruža maksimalna funkcionalnost i trajnost proizvoda.

Ovdje je bitno ponovo napomenuti da će osnovni sustav biti napravljen od gotovih modula spojenih na pločicu za prototipiranje, a za integrirani sustav će biti izrađen samostalni PCB. Dizajn PCB-a je napravljen potpuno samostalno, dok su za samu izradu korištene usluge JLCPCB.

3.4.3. Napajanje i potrošnja

Kako bi se omogućilo korištenje uređaja potrebno je napajanje. Za napajanje je odabrana *Li-ion* baterija nominalnog napona 3.7V. Odabrana je *Li-ion* baterija iz razloga što je punjiva, bitno za uporabu kacige kroz dugi niz godina, i zato što ima jedan od najvećih kapaciteta za svoju kilažu. Drugim riječima, korištenjem *Li-ion* baterije dobije se najduže vrijeme uporabe jednog ciklusa punjenja dok cijeli sustav ostaje što je lakši moguć.

Litij kao element je poznat po tome da je vrlo reaktivan. Time su i baterije napravljene od litija vrlo osjetljive na faktore kao što su temperatura, prenapon, prevelika struja punjenja itd. Zato je korištenje *Li-ion* baterija potrebno ugraditi adekvatnu elektroniku za punjenje baterije. U slučaju osnovne verzije koristi se modul punjača i jednostavni LM1086 za 3,3V napajanja koji je potreban za rad mikrokontrolera. Punjač ima USB-C priključak. U slučaju integrirane verzije, realizirana je vlastita podrška za punjenje koristeći čip MCP73831T-2ACI_OT, te LDO regulatori na 3,3V i 1,8V ADPL40502AUJZ. Ovi čipovi odabrani su jer odlikuju niskom potrošnjom i dobrim performansama, a punjač je realiziran Mikro-USB-om priključkom umjesto USB-C priključka radi jednostavnosti ručnog lemljena na ploču. Na slikama električne sheme vidljivo je kako realizirano napajanje, punjenje i naponska regulacija.



Slika 9: *Li-Ion* baterija

Očekivanja potrošnja sustava je relativno niska. Najveći potrošač energije su LED svjetla s maksimalnom strujom od 60 mA, GPS od 30 mA te mikrokontroler od prosječnih 50 mA. Ostale komponente imaju zanemarivu potrošnju u usporedbi s ovima. Također je bitno uzeti u obzir učestalost rada. Na primjer, LED svjetla se koriste samo u posebnim slučajevima, ne uvijek, jednako kao i GPS. Mikrokontroler pri RF radu troši i do 300 mA vršne struje, ali to nije učestalo. Također, tijekom rada predviđen je aktivan rad od nekoliko sekundi unutar svake minute, dok je ostatak vremena mikrokontroler u *sleep* načinu rada za uštedu baterije. S ovim informacijama, predviđa se prosječna upotreba struje od 100 mA. Odabran je nominalni kapacitet baterije od 1200 mAh koji bi po ovoj procjeni trebao davati vrijeme korištenja od 12h što je i više nego dovoljno za biciklistički trening. Ukoliko je potreban veći kapacitet, može se odabrati i veća baterija, a ukoliko želimo smanjiti težinu moguć je odabir i manje baterije.

3.4.4. Upute za korištenje

Pametna biciklistička kaciga omogućuje jednostavno upravljanje nad vožnjom putem mobilnog uređaja. Povezivanjem s mobilnim uređajem putem Bluetooth-a korisnik može pokrenuti i zaustaviti trening jednostavnim naredbama (*Start Workout*, *Stop Workout*). Tijekom vožnje kaciga automatski aktivira svjetlo za kočenje prilikom usporavanja, dok nagnjanje glave služi za uključivanje žmigavaca u željenom smjeru skretanja (lijevo ili desno).

Osim osnovnih funkcija signalizacije, kaciga pruža zvučna upozorenja u situacijama koje mogu utjecati na sigurnost vozača. Korisnik će biti obaviješten o prekomjernom znojenju, povišenoj temperaturi tijela ili visokoj razini zagađenja zraka, omogućujući mu pravovremenu reakciju na promjene u uvjetima vožnje.

Nakon završetka treninga, svi podaci mogu se jednostavno prenijeti na računalo putem SD kartice. Na računalo se može pokrenuti Python program koji analizira podatke i prikazuje grafički prikaz parametara treninga, pružajući korisniku detaljan uvid u njegovu izvedbu.

Kako bi se osigurala pouzdanost tijekom korištenja, kaciga se prije svake vožnje mora potpuno napuniti. Baterija je optimizirana za dugotrajnu upotrebu i traje dovoljno dugo za prosječan trening.

UPOZORENJE: UREĐAJ NIJE POGODAN ZA KORIŠTENJE PO KIŠI ILI U NEPOVOLJNIM VREMENSKIM UVJETIMA. U SLUČAJU JAKOG UDARCA POTREBNO JE PROVJERITI JESU LI KACIGA I UREĐAJ NEOŠTEĆENI KAKO BI SE OSIGURALA SIGURNOST I ISPRAVAN RAD.

4. TROŠKOVNIK

Redni broj	Naziv	Mjesto nabave	Ukupna cijena	Cijena po komadu	Količina
1	GPS breakout	Soldered	49,90 €	24,95 €	2
2	GPS antena	Soldered	9,90 €	4,95 €	2
3	BME680 breakout	Soldered	16,95 €	16,95 €	1
5	Battery 1200mAh	Soldered	15,00 €	7,50 €	2
6	Simple Rain Sensor	Soldered	7,90 €	3,95 €	2
7	Buzzer	Soldered	1,50 €	0,75 €	2
8	LED RGB	Soldered	13,50 €	0,75 €	18
9	MicroSDCard Breakout	Soldered	4,50 €	4,50 €	1
10	Li-Ion Charger	Soldered	4,50 €	4,50 €	1
11	Generic 3V3 regulator	Soldered	0,95 €	0,95 €	1
12	Izrada PCB i dostava	JLCPCB	70,86 €	70,86 €	1
13	TL3305BF100QG	Mouser	0,81 €	0,16 €	5
14	AC0805KRX7R7BB104	Mouser	5,60 €	0,06 €	100
15	0805YC105KAT2A	Mouser	1,40 €	0,07 €	20
16	EMK212AB7475KGHT	Mouser	0,96 €	0,10 €	10
17	CL21B106KOQNFNE	Mouser	1,12 €	0,11 €	10
18	SZMM5Z4V7ST5G	Mouser	1,06 €	0,35 €	3
19	PMEG4010EH,115	Mouser	1,05 €	0,21 €	5
20	150060VS75003	Mouser	1,67 €	0,33 €	5
21	47642-1001	Mouser	2,89 €	0,72 €	4
22	CMEJ-9745-37-P	Mouser	2,88 €	0,96 €	3
23	BC818-16	Mouser	0,63 €	0,06 €	10
24	RT0805FRE071KL	Mouser	0,22 €	0,02 €	10
25	RT0805FRE0722K1L	Mouser	0,27 €	0,03 €	10
26	RT0805FRE1010KL	Mouser	2,50 €	0,03 €	100
27	RT0805FRE13680RL	Mouser	0,27 €	0,03 €	10
28	RT0805FRE072K7L	Mouser	0,18 €	0,02 €	10
29	RT0805FRE0747K5L	Mouser	0,23 €	0,02 €	10
30	RT0805FRE07200KL	Mouser	0,22 €	0,02 €	10
31	RT0805FRE104K7L	Mouser	0,25 €	0,03 €	10
32	RT0805FRE132K2L	Mouser	0,25 €	0,03 €	10
33	OS102011MA1QN1C	Mouser	0,68 €	0,34 €	2
34	MCP73831T-2ACI/OT	Mouser	1,41 €	0,70 €	2
35	ADPL40502AUJZ-3.3-R7	Mouser	2,82 €	0,94 €	3
36	ESP32-S3-WROOM-1-N8	Mouser	9,12 €	3,04 €	3
37	BME680	Mouser	16,44 €	8,22 €	2
38	ICM-20948	Mouser	13,50 €	6,75 €	2
39	CP2102N-A02-GQFN28	Mouser	6,70 €	3,35 €	2

40	ADPL40502AUJZ-1.8-R7	Mouser	2,82 €	0,94 €	3
41	PCA9306DCTR	Mouser	1,05 €	0,52 €	2
42	B2B-PH-SM4-TB(LF)(SN)	Mouser	0,91 €	0,46 €	2
43	104031-0811	Mouser	3,70 €	1,85 €	2
44	ESP-PROG	Mouser	12,35 €	12,35 €	1
45	ESP32-S3-DevKitC-1U-N8R2	Mouser	14,25 €	14,25 €	1
46	VAT total	Mouser	27,55 €	27,55 €	1
47	SD card 32GB	Muller	5,49 €	5,49 €	1
48	Modul Akcel žiro	AD Electronic	4,90 €	4,90 €	1
	UKUPNO		343,60 €		

5. ZAKLJUČAK

Razvoj pametne biciklističke kacige predstavlja inovativan korak u unapređenju sigurnosti i praćenju performansi biciklista. Kombinacija naprednih senzora, integracije IoT tehnologije i mogućnosti prilagodbe postojećim kacigama čini ovo rješenje praktičnim, dostupnim i korisnim za širok spektar korisnika – od rekreativnih biciklista do profesionalnih sportaša.

Osim povećanja sigurnosti putem, signalizacije kočenja i skretanja te praćenja fizioloških parametara vozača, sustav nudi i mogućnost analize vožnje kroz prikupljanje podataka o okolišnim uvjetima, GPS lokaciji i razini zagađenja. Sustav prati metrike u stvarnom vremenu, dok dodatna pohrana na microSD kartici osigurava kasniju analizu i optimizaciju biciklističkih ruta.

Jedinstvenost ovog rješenja jest korištenje senzora znoja kao i analiza terena iz frekvencijskog sadržaja akcelerometra.

Ovo rješenje ističe se svojom univerzalnošću, budući da omogućava nadogradnju bilo koju kacigu, čime se uklanja potreba za kupnjom specijaliziranih pametnih kaciga. Daljnji razvoj mogao bi uključivati još preciznije senzore, poboljšane algoritme analize podataka te napredne funkcionalnosti poput glasovnih komandi, AI obrade podataka, te spajanje na mobilni uređaj preko mobilne aplikacije.

Zaključno, pametna biciklistička kaciga ne samo da povećava sigurnost biciklista, već otvara put novim mogućnostima u digitalizaciji i analizi sportskih aktivnosti. S obzirom na rastuću potražnju za ovakvim tehnologijama, možemo očekivati da će slična rješenja postati neizostavan dio biciklizma u budućnosti.

6. LITERATURA

[1] <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/smart-helmet-market>

(pristup 20.2.2025.)

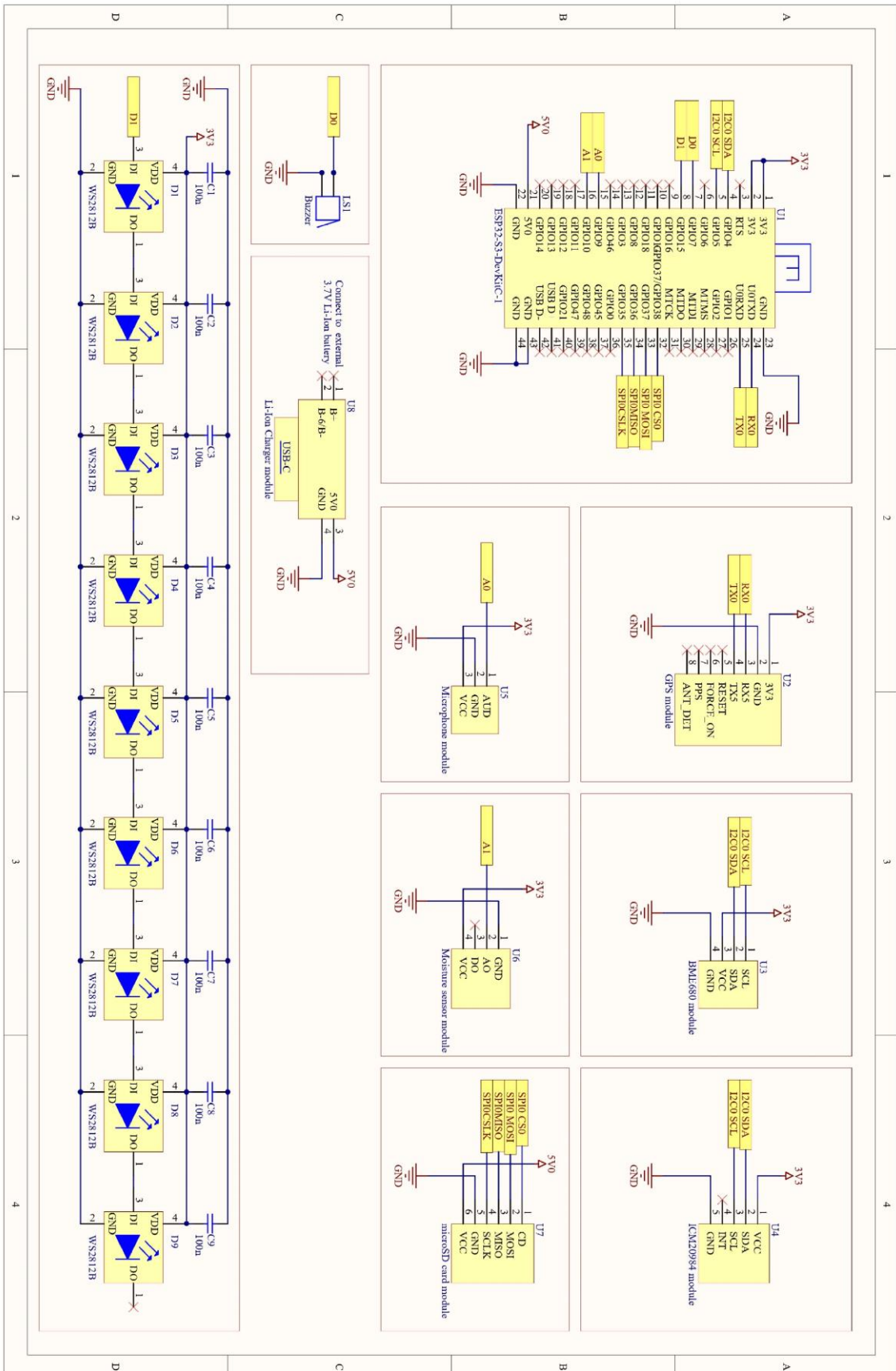
[2] https://en.prnasia.com/releases/global/LIVALL_is_the_first_smart_and_safe_cycling_helmet-128112.shtml (pristup 20.2.2025.)

[3] <https://www.welovecycling.com/wide/2021/09/23/cycling-in-numbers-facts-you-probably-didnt-know/> (pristup 20.2.2025.)

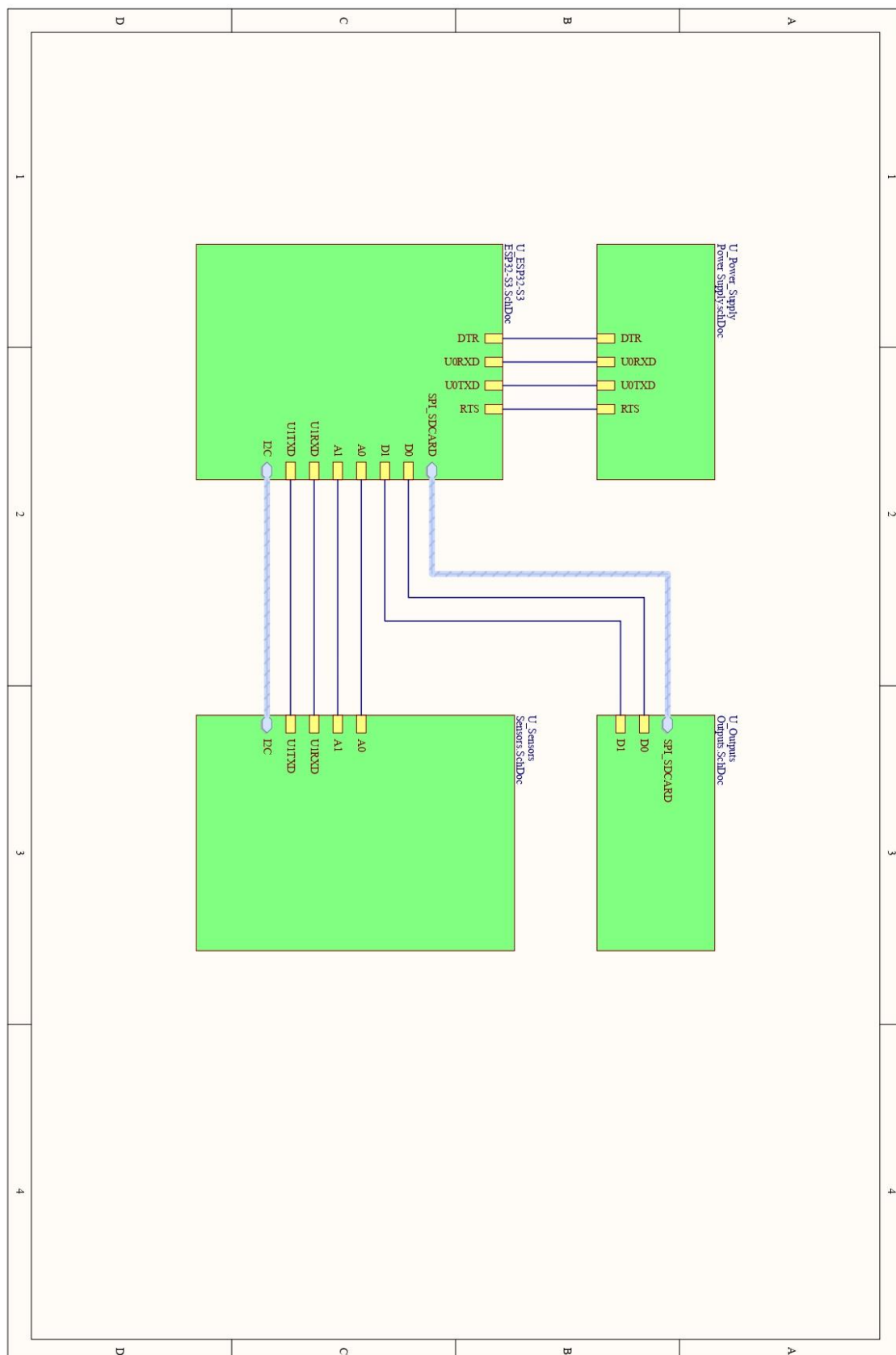
[4] Dhivya, Josephin & Akshaya, S. & Rithikka, U. & Mahsooma, Fathima & Chandrasekaran, R. & Rj, Hemalatha. (2019). Stress Meter using Pulse and Sweat Sensor. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE). 8. 12386-12390. 10.35940/ijrte.D5415.118419.

7. PRILOG

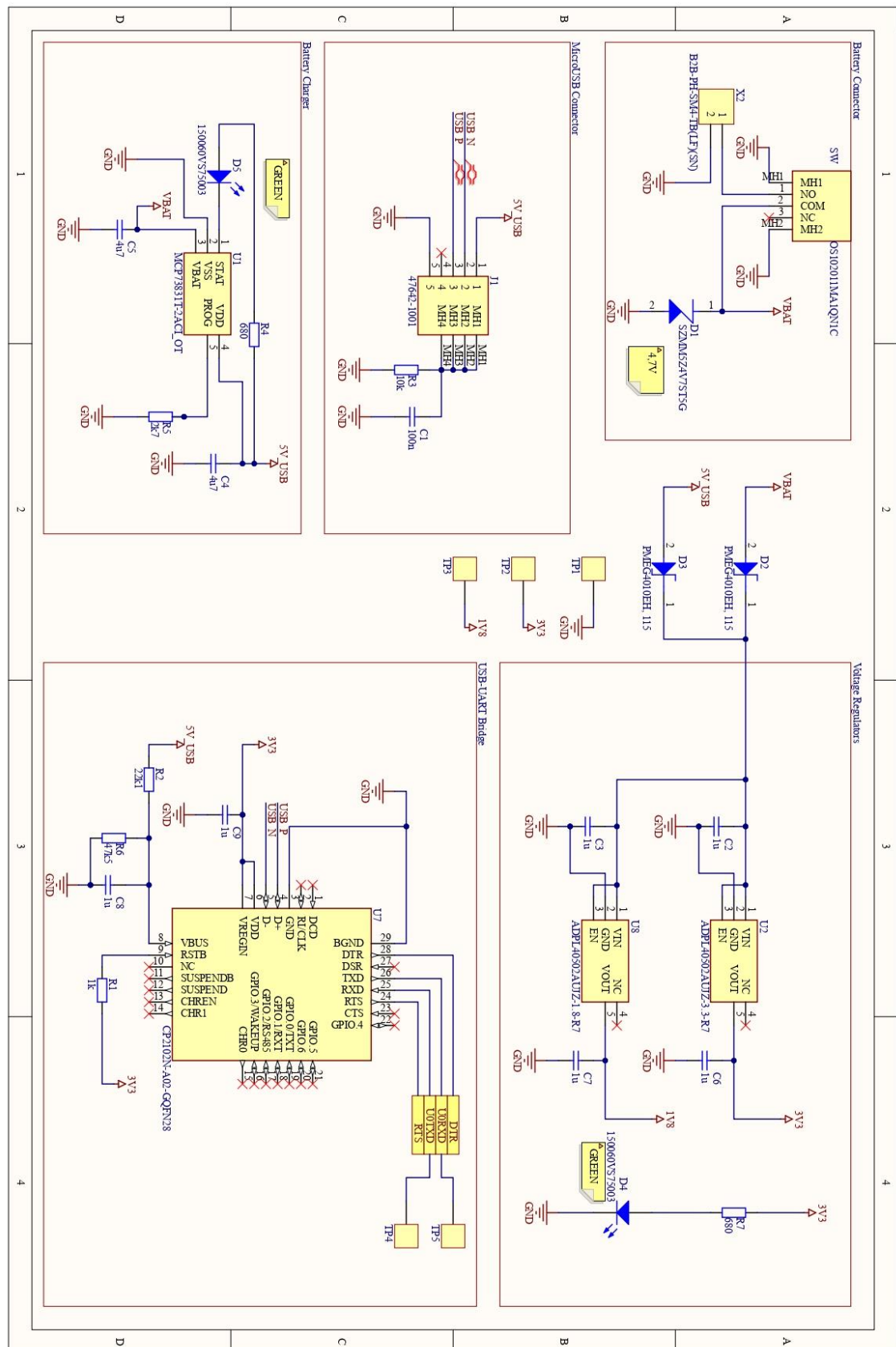
7.1. Električna shema osnovnog sustava



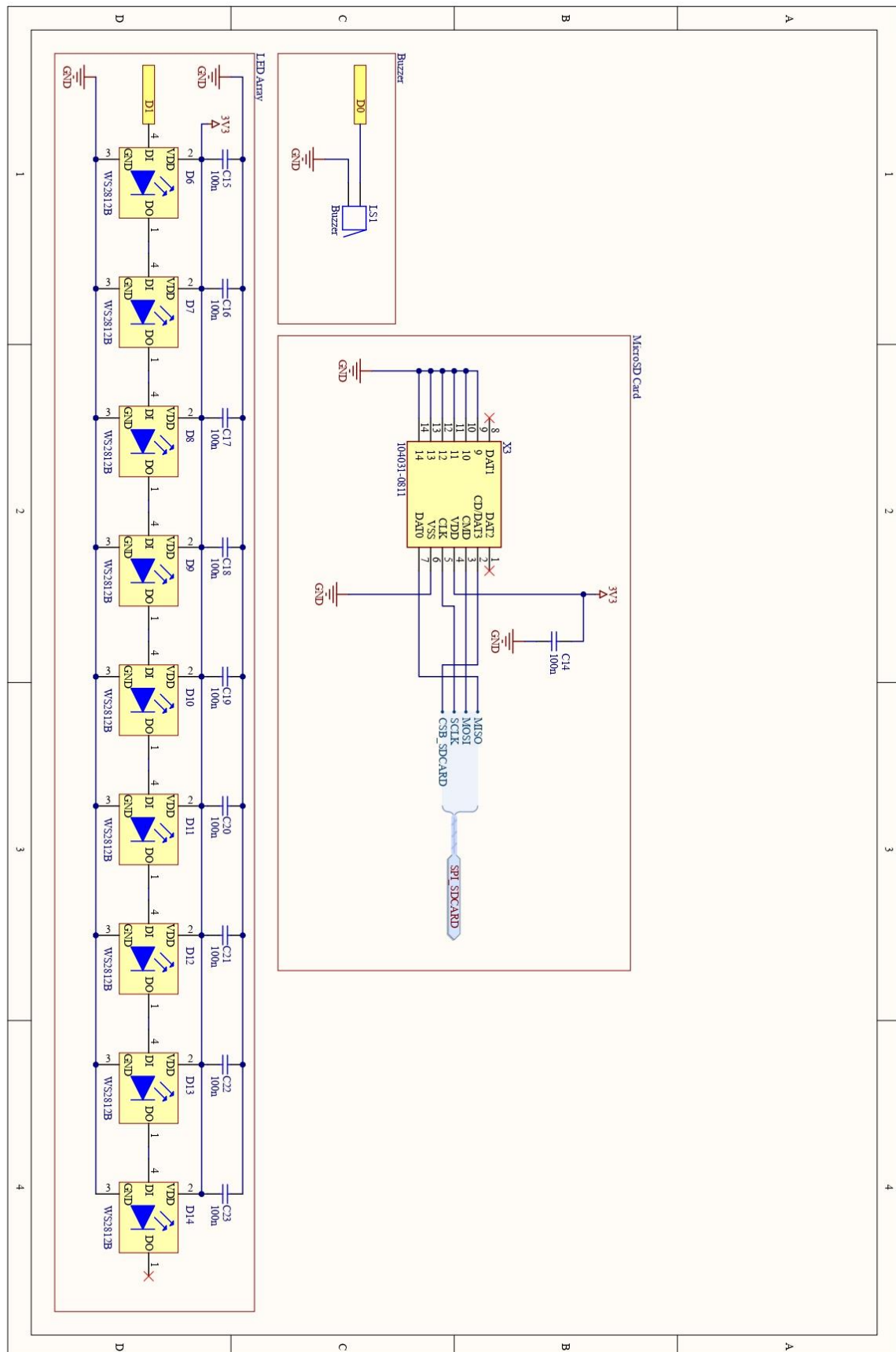
7.2. Električna shema integriranog sustava – Top shema



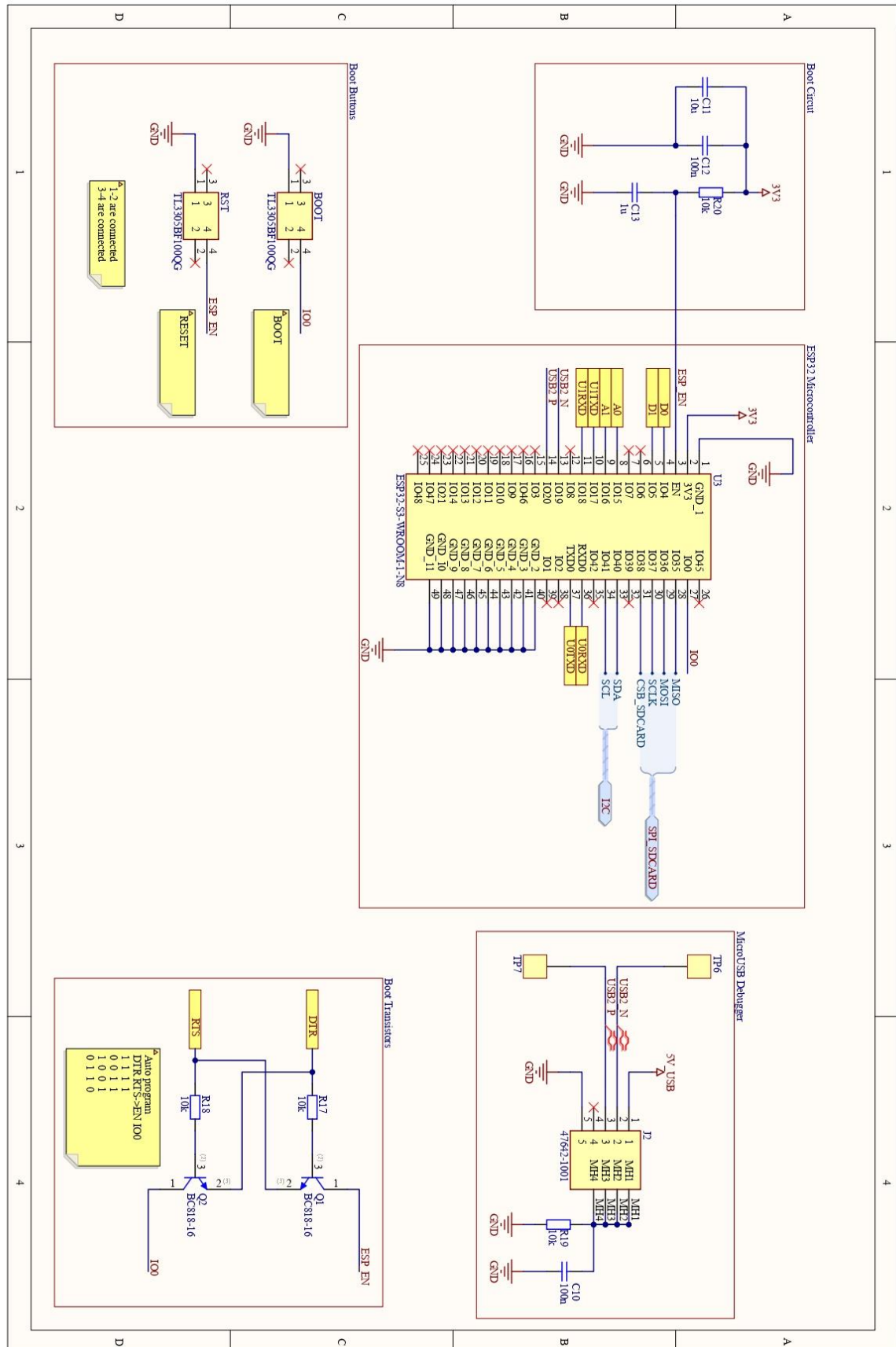
7.3. Električna shema integriranog sustava – Shema napajanja



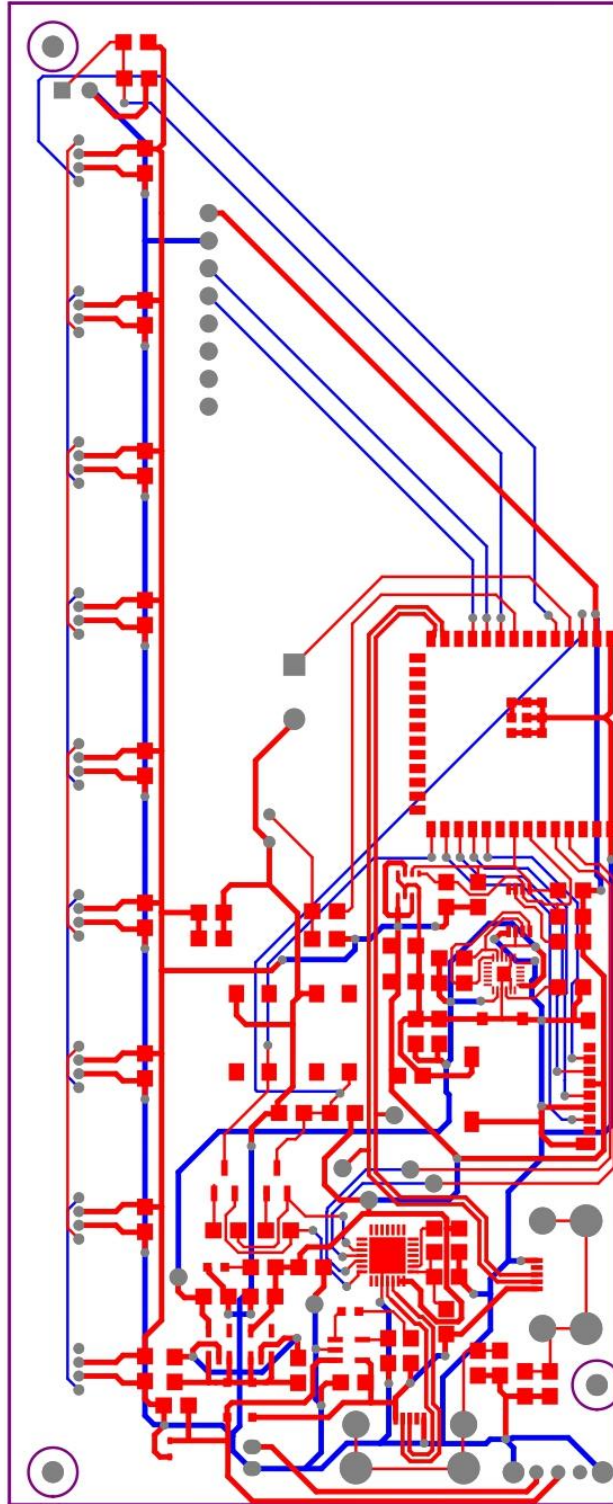
7.5. Električna shema integriranog sustava – Shema izlaznih elemenata



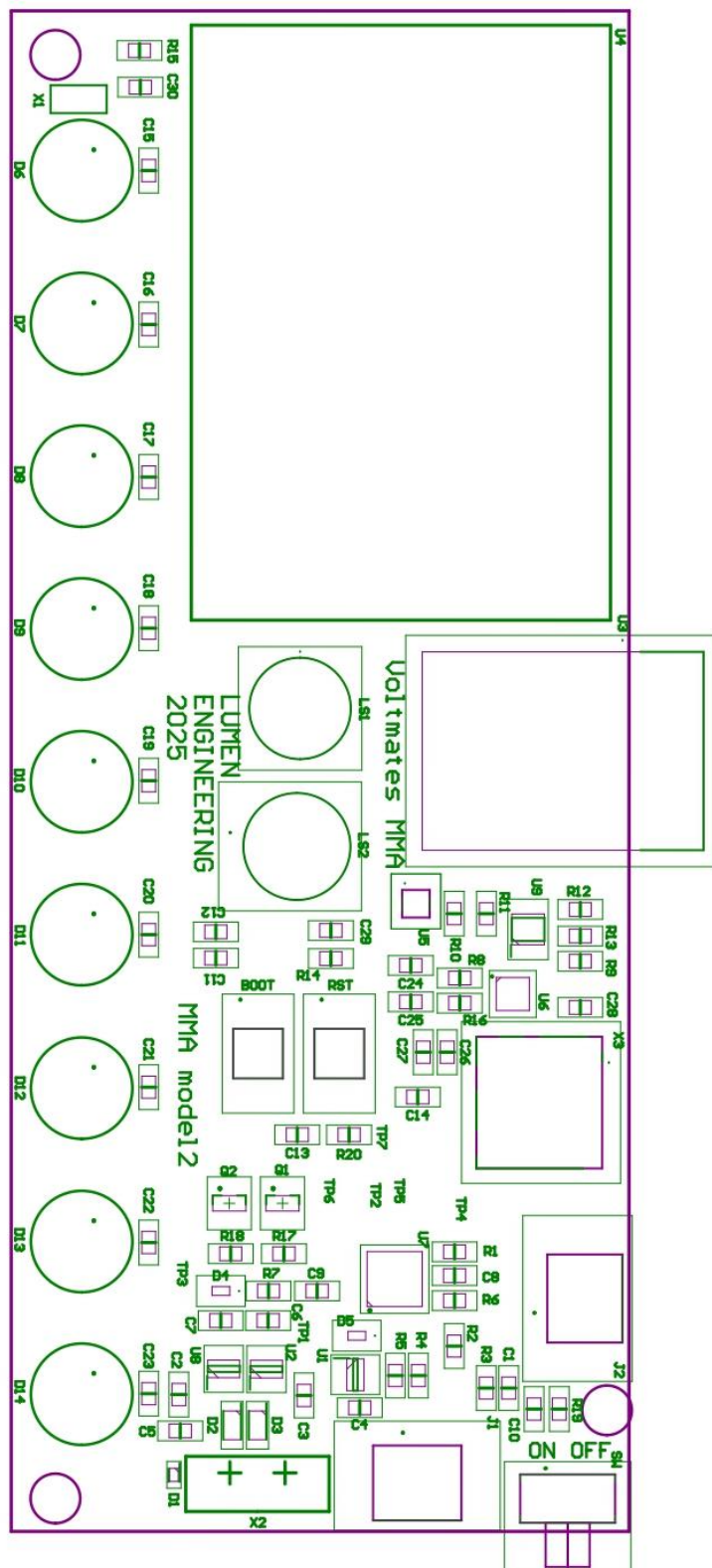
7.6. Električna shema integriranog sustava – Shema mikrokontrolera



7.7. Layer mask

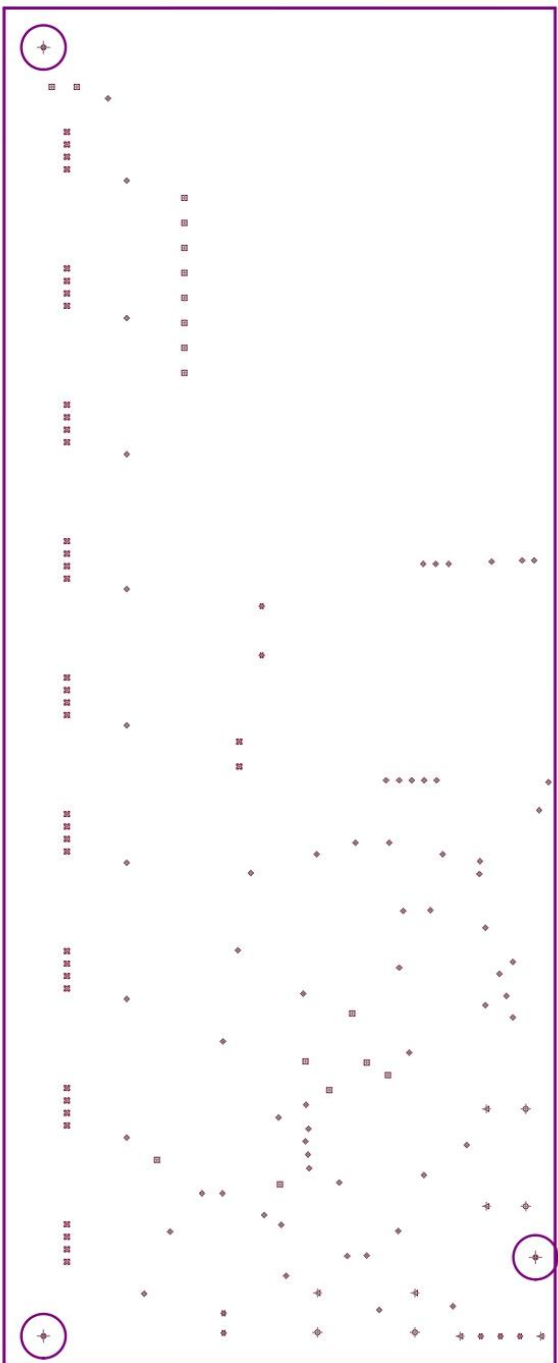


7.8. Položajni nacrt komponenata

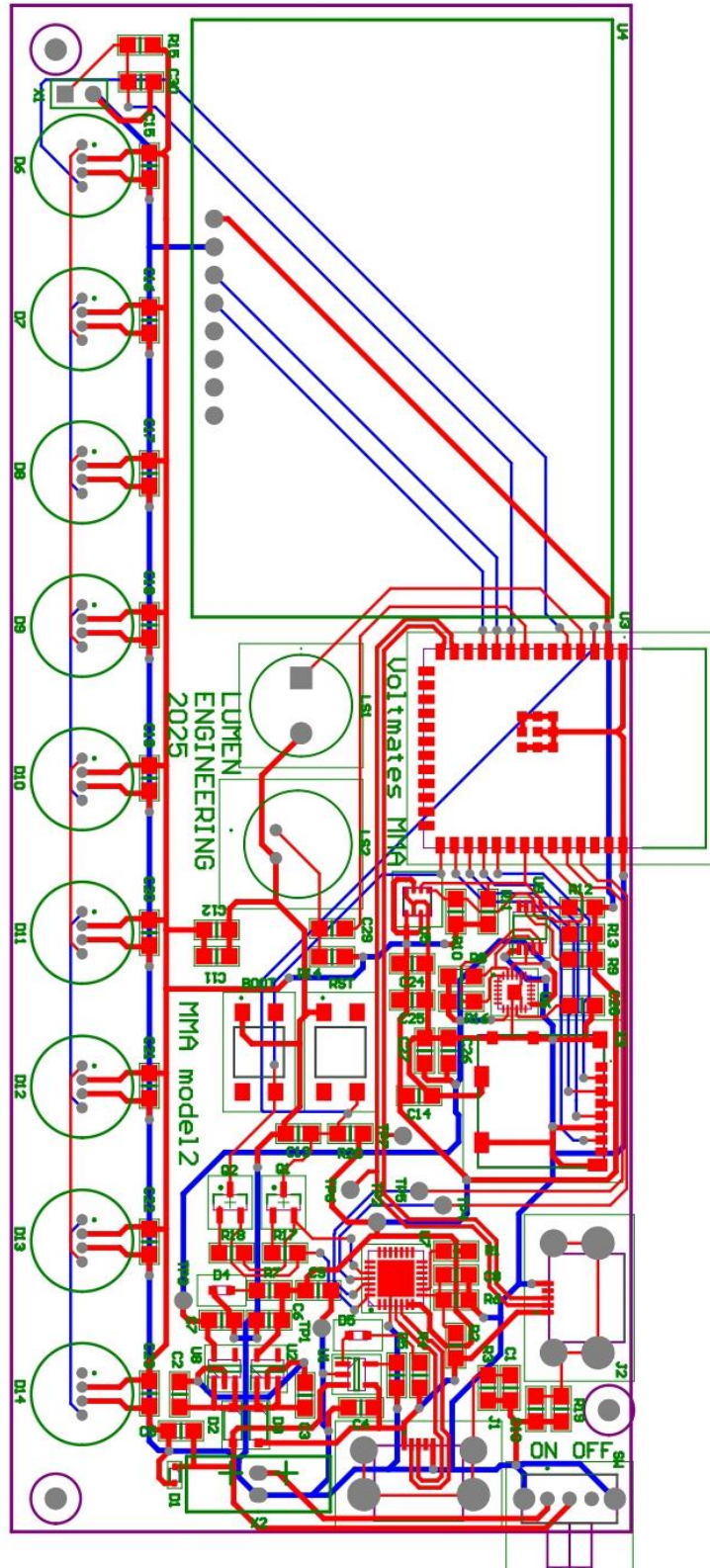


7.9. Plan bušenja

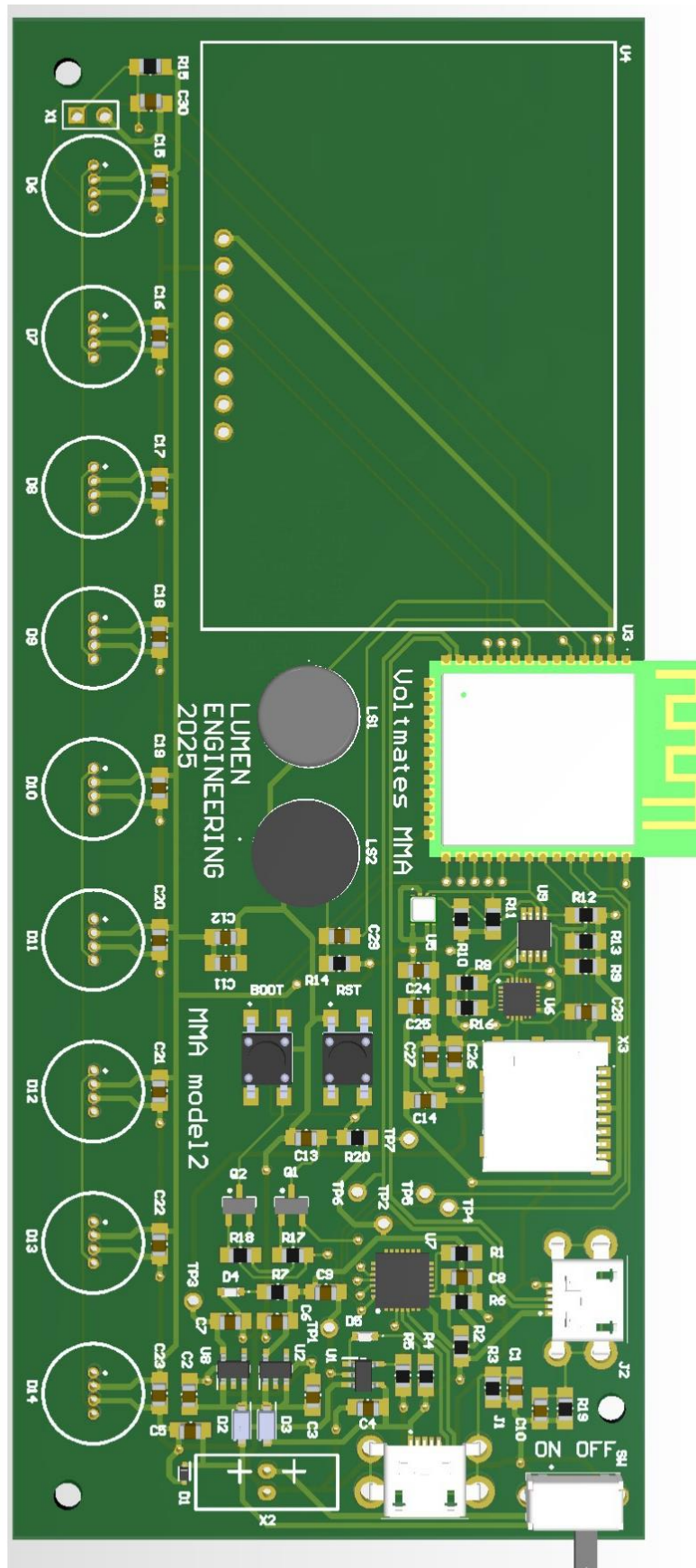
Symbol	Count	Hole Size	Plated	Hole Type	Drill Layer Pair	Via/Pad	Pad Shape	Template
⊙	3	98,43mil <2,500mm>	NPTH	Round	Top Layer - Bottom Layer	Pad	Rounded	<Mixed>
○	4	74,80mil <1,900mm>	PTH	Round	Top Layer - Bottom Layer	Pad	Rounded	c300h190
▽	6	62,99mil <1,600mm>	PTH	Round	Top Layer - Bottom Layer	Pad	Rounded	<Mixed>
☆	7	31,50mil <0,800mm>	PTH	Round	Top Layer - Bottom Layer	Pad	<Mixed>	<Mixed>
□	17	43,31mil <1,100mm>	PTH	Round	Top Layer - Bottom Layer	Pad	<Mixed>	<Mixed>
⊠	38	27,56mil <0,700mm>	PTH	Round	Top Layer - Bottom Layer	Pad	Rounded	<Mixed>
◇	63	19,69mil <0,500mm>	PTH	Round	Top Layer - Bottom Layer	Via	Rounded	<Mixed>
	138 Total							



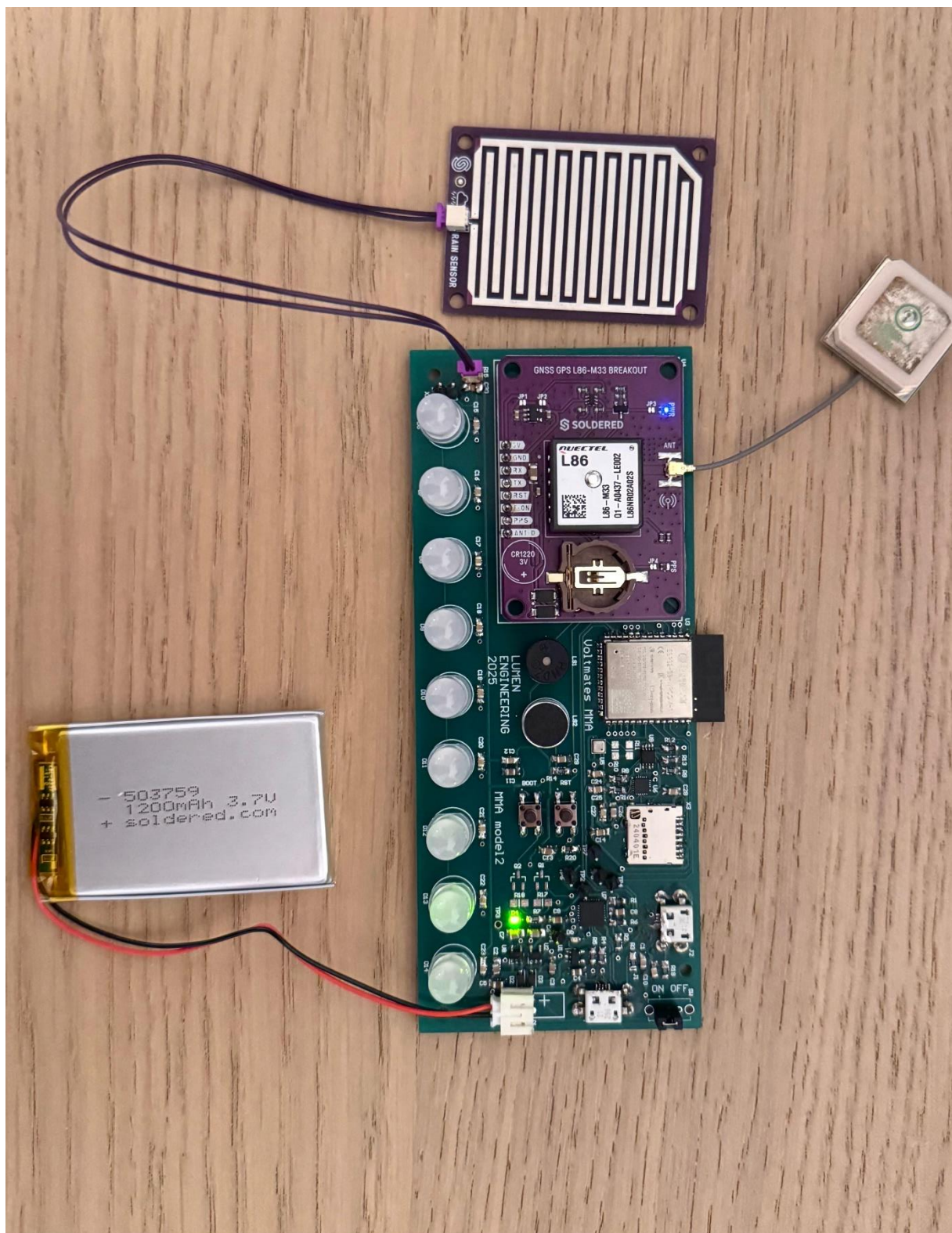
7.10. Cijeli PCB dizajn



7.11. 3D model PCB-a



7.12. Slika konačnog PCB-a



7.13. Slike aplikacije generirane iz mjerenih podataka

