

Razvoj elektroničkog dijela uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova

Josić, Vedran

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:144:589043>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**



Repository / Repozitorij:

[Digital Repository of Bjelovar University of Applied Sciences](#)



VELEUČILIŠTE U BJELOVARU
PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ MEHATRONIKA

**Razvoj elektroničkog dijela uređaja za udaljeno praćenje
uzimanja lijekova**

Završni rad br. 12/MEH/2022

Vedran Josić

Bjelovar, listopad 2022.



Veleučilište u Bjelovaru
Trg E. Kvaternika 4, Bjelovar

1. DEFINIRANJE TEME ZAVRŠNOG RADA I POVJERENSTVA

Student: **Vedran Josić**

JMBAG: 0314021025

Naslov rada (tema): **Razvoj elektroničkog dijela uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova**

Područje: **Tehnička znanosti**

Polje: **Elektrotehnika**

Grana: **Automatizacija i robotika**

Mentor: **dr.sc. Zoran Vrhovski**

zvanje: **profesor visoke škole**

Članovi Povjerenstva za ocjenjivanje i obranu završnog rada:

1. **Goran Benkek, struč. spec. ing. el., predsjednik**
2. **dr. sc. Zoran Vrhovski, mentor**
3. **Krunoslav Husak, dipl. ing. rač., član**

2. ZADATAK ZAVRŠNOG RADA BROJ: 12/MEH/2022

U sklopu završnog rada potrebno je:

1. istražiti i opisati postojeće uređaje za kontrolirano uzimanje lijekova
2. izraditi i opisati elektroničku shemu uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova
3. dizajnirati i opisati tiskanu pločicu uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova
4. prikazati i opisati CAD modele uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova
5. provesti i opisati testiranje uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova

Datum: 14.09.2022. godine

Mentor: **dr. sc. Zoran Vrhovski**



Zahvala

Zahvaljujem se svim profesorima i predavačima Veleučilišta u Bjelovaru na nevjerojatnom znanju i podršci koju su pružili meni i ostalim studentima, posebice mom mentoru dr. sc. Zoranu Vrhovskom.

Također se zahvaljujem mr. sc. Krešimiru Đuračiću za podršku tokom svih godina studiranja, održavanje stručne prakse te poticanju na usavršavanje i sudjelovanje na raznim projektima.

Posebno se zahvaljujem mojoj obitelji i prijateljima koji su bili uz mene kroz cijelo moje školovanje.

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Projektiranje uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova	2
2.1 Blok shema uređaja	2
2.2 Električna shema uređaja	3
2.3 Tiskana pločica uređaja	6
2.4 Proizvodnja uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova	9
2.5 Napajanje uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova	10
2.5.1 Li-Ion baterijski paket	10
2.5.2 AP3503 silazni pretvarač	11
2.5.3 LDF33PT LDO stabilizator	14
2.6 DC motor	15
2.6.1 TB6612FNG motor driver	17
2.7 Mikroupravljač ESP32	19
2.7.1 Programiranje razvojnog okruženja	21
2.8 I2C uređaji	24
2.8.1 Proširivač digitalnih ulazno izlaznih jedinica MCP23017	24
2.8.2 Senzor temperature i vlažnosti zraka SHTC3	26
2.8.3 Akcelerometar LIS2DH12	27
2.8.4 1.3“ OLED displej	29
2.9 GPS i LTE modul SIM7000G	30
2.9.1 Zaštitni sklop SMF05CT2G	33
2.10 CAD model uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova	34
3. Testiranje elektroničkog dijela uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova	35
4. Zaključak	37
5. Literatura	38
6. Oznake i kratice	40
7. Sažetak	42
8. Abstract	43

1. Uvod

Cilj završnog rada je razvoj elektroničkog dijela uređaja za pojednostavljivanje uzimanja terapije pacijentima koji trenutno na dnevnoj bazi moraju posjećivati bolnicu kako bi dobili odgovarajuću dozu terapije. U ovom slučaju pacijenti su ovisnici o opojnim sredstvima, te moraju primati tekući metadon na dnevnoj bazi u precizno propisanoj količini. S dosadašnjim rješenjima to nije bilo moguće, jer se nije moglo kontrolirati što će pacijent u udobnosti svoga doma popiti, u koliko sati te hoće li uopće popiti lijek.

Dobar primjer sličnog uređaja je tabletičar koji je razvijen na Veleučilištu u Bjelovaru u sklopu Studentskog inkubatora [1]. Tabletičar služi za organizaciju uzimanja lijekova, ima zvučnu i vizualnu signalizaciju te GSM modul. Sedam dana u tjednu je podijeljeno na četiri razdoblja: jutro, podne, večer i noć. Ukoliko pacijent ne uzme terapiju u predodređenom vremenu, nadležni liječnik biva obaviješten. Nedostatak korištenja tabletičara jest taj da pacijent može lako doći do ostalih doza terapije te tako ozbiljno naštetiti sebi i svome zdravlju.

Navedeni problem riješen je uređajem za udaljeno praćenje uzimanja lijekova koji će biti opisan u ovom radu. Korištenjem uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova, pacijent ne može doći do ostalih doza osim one koju treba popiti. Pacijent mora fizički uništiti uređaj kako bi došao do ostalih doza. Uređaj je opremljen sensorima pokreta, temperature, vlage, otvorenosti pretinaca, GPS i LTE modulom. Korištenjem tih senzora, svako neuobičajeno rukovanje pacijenta s uređajem se trenutno prijavljuje nadležnoj ustanovi. U uređaju se nalazi 14 doza i jedna dodatna doza za hitne slučajeve (engl. *emergency dose*). Doza za hitne slučajeve se u svakom trenutku može uzeti, ali čim se otvori pretinac u kojem se ona nalazi, obavještava se nadležna ustanova o toj aktivnosti.

U ovom radu opisan je razvoj elektroničkog dijela uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova. U drugom poglavlju je opisan postupak projektiranja sklopa, navedene su korištene komponente i njihove najvažnije karakteristike te je prikazan i opisan CAD model uređaja za udaljeno praćenje lijekova. Treće poglavlje opisuje proces testiranja elektroničkog dijela uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova. Na kraju rada je dan kratak zaključak.

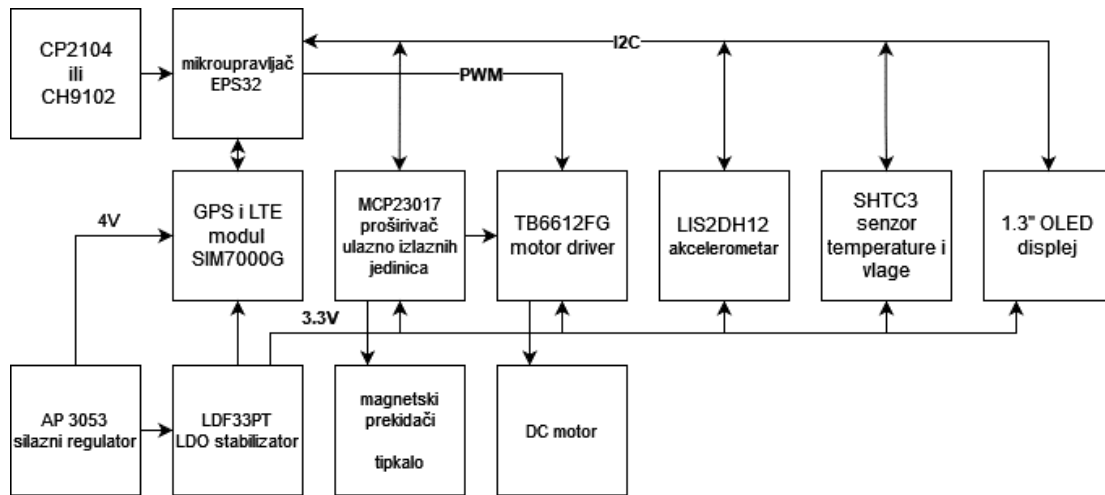
2. Projektiranje uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova

Uređaj za udaljeno praćenje uzimanja lijekova dizajniran je u programskom paketu otvorenog koda (engl. *open source*) KiCad. On sadrži okruženje za crtanje elektroničkih shema, raspored komponenta na pločici, SPICE simulaciju, proračune poput debljine i udaljenosti vodova ovisno o naponima i strujama koje određeni vod mora podnijeti, 3D prikaz komponenata i elektroničke pločice te alat za generiranje i pregled proizvodnih (engl. *Gerber*) datoteka. Uređaj je dizajniran tako da ispuni sljedeće zahtjeve naručitelja:

- pacijent ne može doći do terapije bez da uništi uređaj
- svaki oblik nestručnog i destruktivnog rukovanja se mora prijaviti nadležnoj ustanovi
- pacijent se ne smije moći ozlijediti prilikom rukovanja uređajem
- nadležna ustanova u svakom trenutku mora moći saznati gdje se nalazi uređaj
- uređaj mora raditi do šest dana bez vanjskog napajanja.

2.1 Blok shema uređaja

Slika 2.1 prikazuje blok shemu uređaja i veze između najbitnijih dijelova ovog uređaja. Uređaj se napaja vanjskim izvorom napajanja nazivnog napona 12.6 V i/ili 3S1P baterijskim paketom. AP3503 silazni pretvarač spušta napon iznosa 12.6 V na 4 V. Napon 4 V koristi se za napajanje SIM7000g modula i dva LDF33PT stabilizatora. Jedan stabilizator se koristi za napajanje GPS antene, a drugi za napajanje preostalih elektroničkih komponenti na tiskanoj pločici. Mikroupravljač ESP32 komunikaciju sa SIM7000G modulom izvršava preko serijskog protokola, a komunikaciju sa svim ostalim modulima i sensorima preko I2C sabirnice. Mikroupravljač ESP32 se programira koristeći konektor USB tipa C (engl. *USB type C*) povezan sa CP2104/CH9102 programatorom. Napajanje programatora je odvojeno od napajanja uređaja.

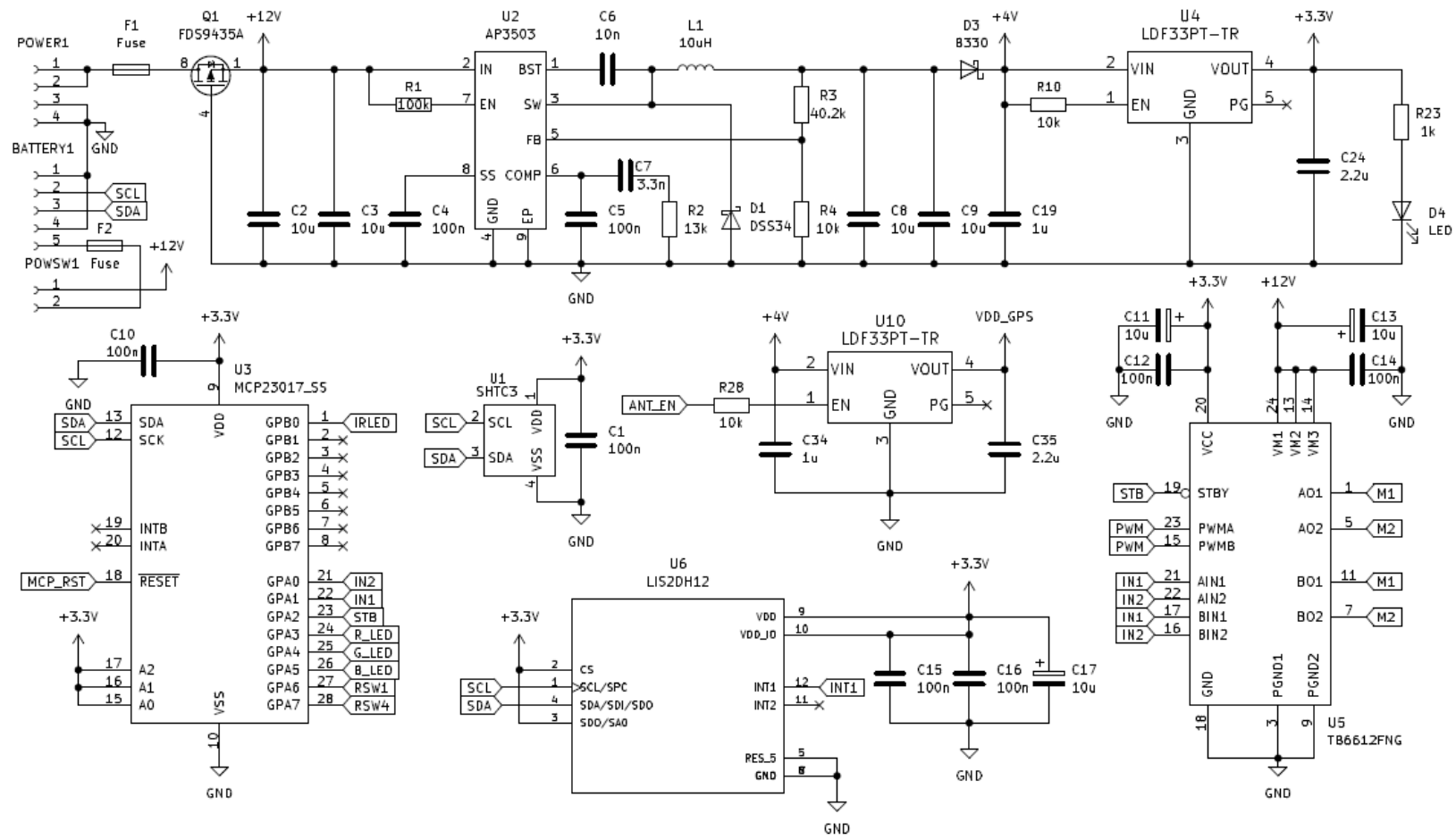


Slika 2.1: Blok shema uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova

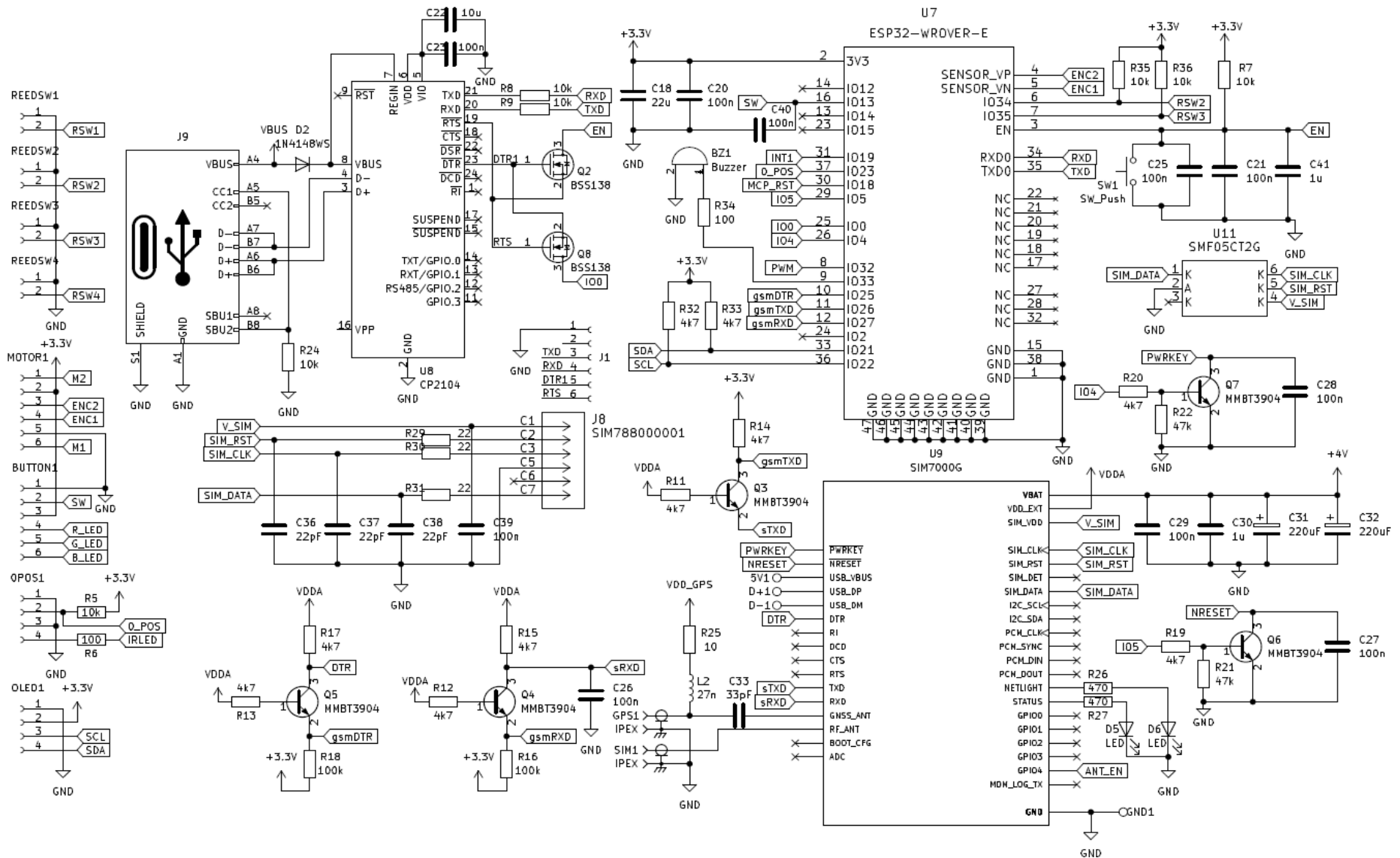
2.2 Električna shema uređaja

Shema uređaja je prikazana na slikama 2.2 i 2.3. Shema je nacrtana u A3 sastavnici. Korištene su globalne oznake za povezivanje svih komponentata (npr. gsmDTR) kako bi shema bila preglednija i kako bi snalaženje bilo lakše.

Za povezivanje vanjskih elemenata displeja, tipkala s ugrađenom RGB LED diodom, napajanja, prekidača za napajanje, motora, magnetnih prekidača i senzora nultog položaja korišteno je više vrsta JST konektora. Za interakciju s pacijentom se koristi RGB LED dioda (na primjer, zelena boja znači da je doza dostupna, crvena boja da doza još nije dostupna). Uređaj napajaju silazni pretvarač i dva LDO (engl. *Low Dropout*) stabilizatora. ESP32 *Wrover* je modul koji upravlja sa svim komponentama i sensorima na tiskanoj pločici. S proširivačem ulazno izlaznih pinova (engl. *IO expander*), senzorom temperature i vlažnosti zraka, displejom i akcelerometrom ESP32 mikroupravljač komunicira pomoću I2C komunikacije, dok sa SIM7000G modulom komunicira pomoću UART komunikacije. Svaki dio elektroničkog uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova je u radu detaljnije objašnjen.



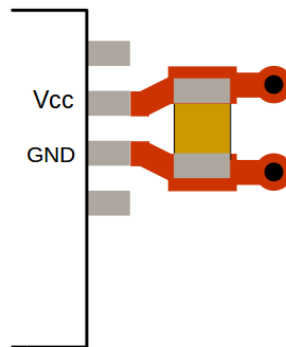
Slika 2.2: Shema spajanja silaznog pretvarača, LDO stabilizatora, I2C uređaja i motor drivera



Slika 2.3: Shema spajanja programatora, ESP32 modula, SIM7000G modula i JST konektora

2.3 Tiskana pločica uređaja

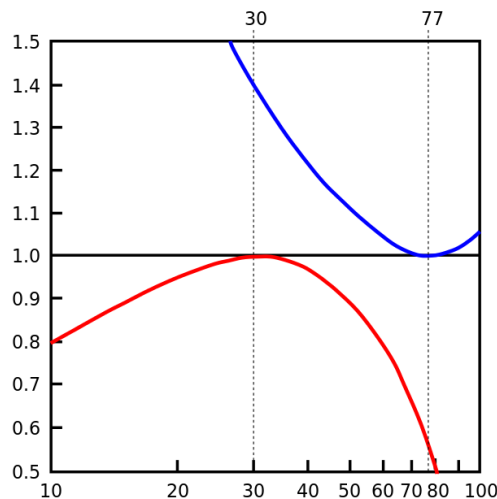
Tiskana pločica je projektirana kao četveroslojna pločica. Cijeli drugi (unutarnji) sloj je GND poligon. Projektirana je na taj način jer se tako smanjuju elektromagnetske interferencije (engl. *electromagnetic interference* – EMI), olakšava se izvedba vodova impedancije iznosa 50Ω koji su nužni za GPS i LTE antene i pospješuje povezivanje integriranih krugova i kondenzatora na potencijal od 0 V. Kako bi kondenzatori napajanja bili efektivni, oni moraju biti što bliže pinovima napajanja integriranog kruga. Kondenzatori izgladuju napon napajanja i prigušavaju visokofrekvencijske smetnje. Primjer dobro pozicioniranog kondenzatora prikazuje slika 2.4. Između kondenzatora i pina napajanja ne smiju biti dodatne veze na napajanje, jer tada kondenzator gubi svoju svrhu.



Slika 2.4: Pozicioniranje kondenzatora napajanja kod integriranih krugova [2]

Korištene su komponente veličine kućišta 0603 (1.55 mm x 0.85 mm) i veće kako bi tiskana pločica bila što manjih dimenzija, a da se istovremeno komponente mogu ručno zalemiti. Za vrijeme dizajniranja tiskane pločice najviše pažnje je posvećeno silaznom pretvaraču, vodovima impedancije od 50Ω i tome da svaki integrirani krug ima kvalitetnu vezu s GND poligonom.

Vodovi impedancije od 50Ω se često koriste u raznim dizajnama tiskanih pločica jer su zlatna sredina između najmanjih gubitaka i najvećeg mogućeg prijenosa energije. Na slici 2.5 se vidi graf na kojem crvena krivulja predstavlja prijenos energije, a plava prigušenje u ovisnosti o impedanciji. Prijenos energije je najveći pri impedanciji iznosa 30Ω , a gubitci su najmanji pri impedanciji iznosa 77Ω . Temeljem navedenog, izabrana je impedancija vodova iznosa 50Ω .



Slika 2.5: Graf prigušenja i prijenosa energije ovisno o impedanciji [3]

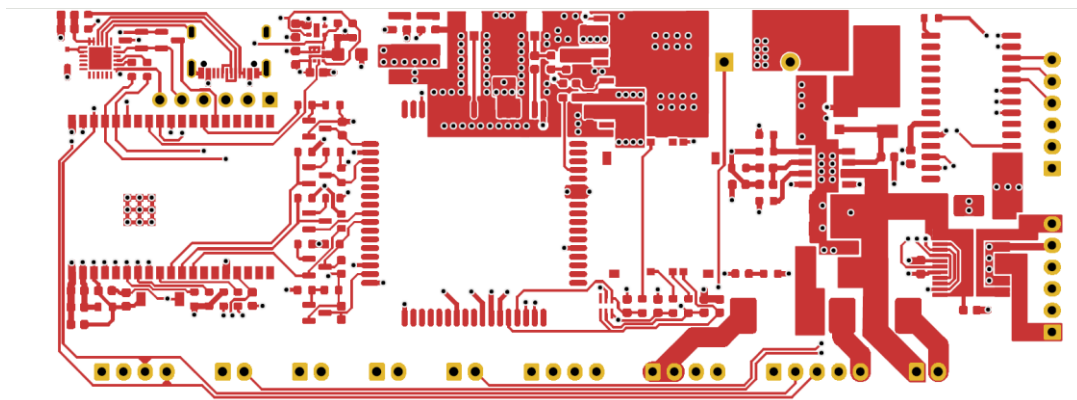
Prvi (vanjski) sloj tiskane pločice je signalni sloj. Na njemu se nalaze podatkovni vodovi za I2C, UART, visoka ili niska stanja senzora i slično. Također, na prvom sloju se nalazi nekoliko GND poligona potencijala 0 V (engl. *Ground plane*) te nekoliko VCC poligona potencijala 3.3 V ili 4 V (engl. *Power plane*). Većina komponenta na tiskanoj pločici su SMD komponente (engl. *Surface Mount Devices*) koje su najčešće povezane na manji GND poligon na prvom sloju tiskane pločice. Manji GND poligoni su s velikim GND poligonom povezani pomoću više vodljivih provrta.

Drugi (unutarnji) sloj tiskane pločice je veliki GND poligon. Veliki GND poligon prigušava elektromagnetske smetnje i olakšava povezivanje komponenta s potencijalom 0 V. LDO stabilizator i silazni pretvarač se griju pod opterećenjem i povezani su s GND poligonom pomoću termalnih vodljivih provrta kako bi se mogli hladiti.

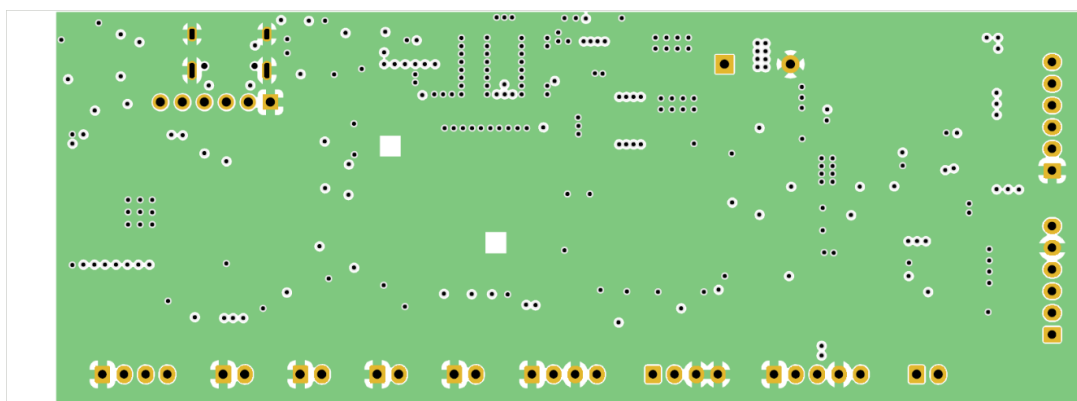
Treći (unutarnji) sloj tiskane pločice je energetska sloj. Veći dio njegove površine je VCC poligon potencijala iznosa 3.3 V. Poligon potencijala iznosa 3.3 V se koristi za napajanje većine elektroničkih komponenti na tiskanoj pločici. Uz njega, na trećem (unutarnjem) sloju, nalazi se manji VCC poligon potencijala iznosa 4.0 V, koji se koristi za napajanje SIM7000G modula.

Četvrti (vanjski) sloj tiskane pločice je signalni sloj. Na njemu se nalaze vodovi za koje nije bilo mjesta na prvom sloju te vodovi koji su prelazili preko drugih vodova. Svaki vodljivi provrt prolazi od prvog do zadnjeg sloja tiskane pločice, a povezan je samo s onim slojevima tiskane pločice s kojima mora biti. Na slikama 2.6 do 2.9 prikazani su svi slojevi tiskane pločice.

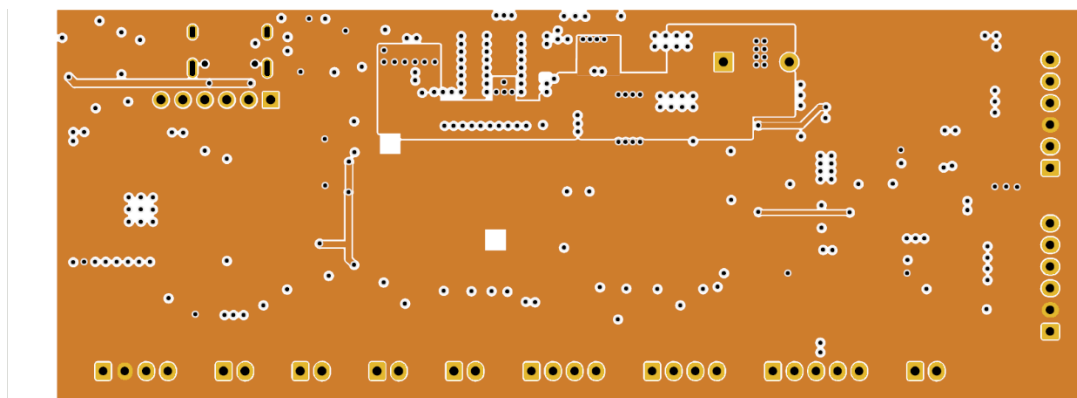
Slika 2.10 prikazuje 3D model tiskane pločice, koji je koristan radi pregleda zauzeća prostora pojedine komponente.



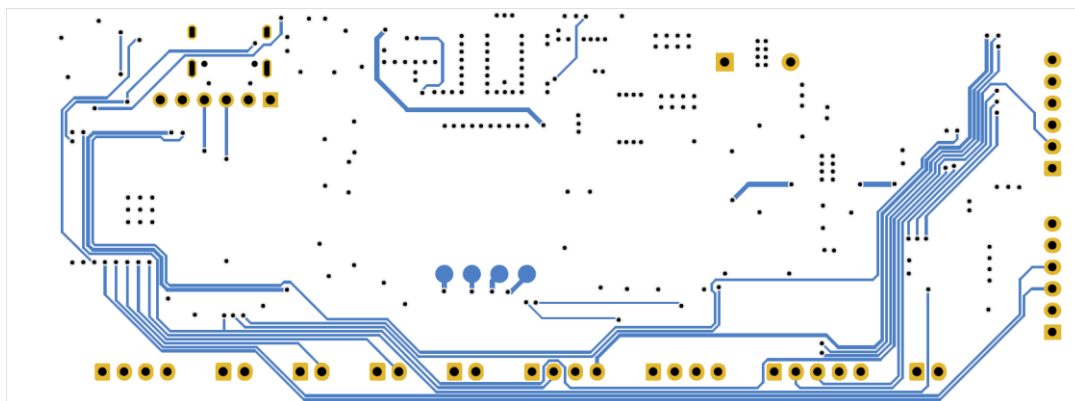
Slika 2.6: Prvi (vanjski) sloj tiskane pločice



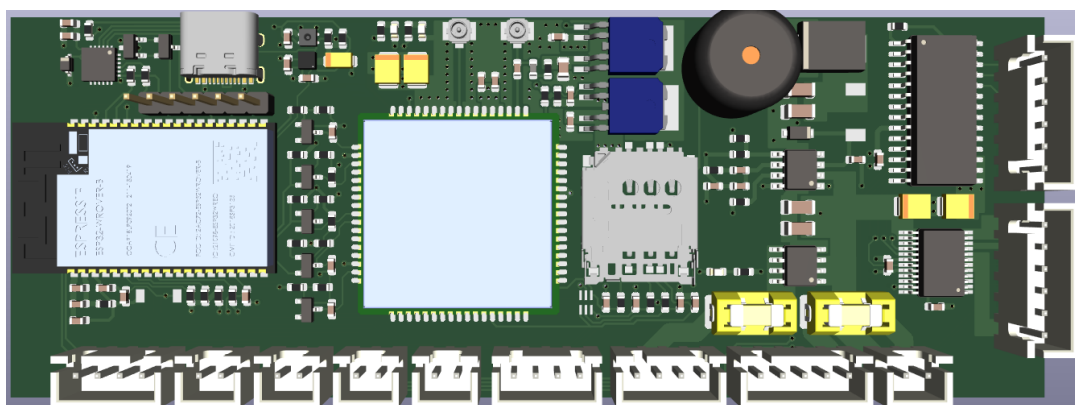
Slika 2.7: Drugi (unutarnji) sloj tiskane pločice



Slika 2.8: Treći (unutarnji) sloj tiskane pločice



Slika 2.9: Četvrti (vanjski) sloj tiskane pločice



Slika 2.10: 3D model tiskane pločice

2.4 Proizvodnja uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova

Tiskane pločice uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova proizvedene su u kompaniji JLCPCB. Za proizvodnju tiskanih pločica generirane su proizvodne datoteke koje sadrže sve potrebne informacije za proizvodnju tiskanih pločica (dimenzije tiskanih pločica, debljine i razmještaj vodova, razmještaj komponenata, sitotisak i slično). Nakon generiranja proizvodnih datoteka, pohranjuju se u .zip datoteku i učitaju na JLCPCB stranicu. Uz tiskane pločice, proizvedeni su i predlošci za nanošenje lemne paste (engl. *stencil*) na tiskanu pločicu.

2.5 Napajanje uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova

Napajanje uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova je izvedeno od više cjelina: Li-Ion baterijskog paketa, vanjskog punjača, silaznog pretvarača i dva LDO stabilizatora. Primarni izvor napajanja je vanjski punjač, iako je uređaj dizajniran tako da može raditi više dana bez vanjskog napajanja korištenjem integriranog Li-Ion baterijskog paketa. U slučaju da pacijent ne priključi uređaj na vanjsko napajanje, cijelo vrijeme će biti alarmiran zvučnim signalom te porukama na displeju. Ako pacijent ne spoji uređaj na vanjsko napajanje, a napunjenost baterije uređaja padne ispod 40%, uređaj će o stanju baterije obavijestiti nadležne ustanove.

2.5.1 *Li-Ion baterijski paket*

Za napajanje uređaja je korišten 3S1P baterijski paket sačinjen od tri 18650 Li-Ion ćelije i zaštitne elektronike koja sadrži sustav za nadziranje baterija (engl. *Battery Management System - BMS*) koji komunikaciju s mikroupravljačem ostvaruje preko I2C sabirnice. Na slici 2.11 je prikazana 18650 Li-ion ćelija čije su dimenzije 18 mm * 65 mm. Nazivni napon 18650 ćelije je 3.7 V. Kapacitet pojedine Li-Ion ćelije jest 3000 mAh. Baterijski paket od tri ćelije ima nazivni napon iznosa 11.1 V i kapacitet 3000 mAh. Energija koju baterija može isporučiti jest 33.3 Wh.



Slika 2.11: 18650 Li-Ion ćelija

BQ40Z50 je BMS koji je zadužen za zaštitu ćelija i I2C komunikaciju. On štiti baterije od prevelike struje, prenaponskog i podnaponskog stanja i previsoke temperature.

Parametri BMS-a poput maksimalno dopuštenog napona i temperature unaprijed su konfigurirani od strane proizvođača baterijskog paketa, ali isto tako se mogu naknadno konfigurirati putem I2C komunikacije. Baterijski paket šalje sve podatke putem I2C komunikacije, kao što su na primjer naponi pojedinih ćelija, struja koja prolazi kroz baterijski paket, postotak napunjenosti, temperatura baterijskog paketa i nalazi li se baterija u stanju punjenja ili stanju pražnjenja. Adresa BMS-a na I2C sabirnici je 0xB. U slučaju greške poput kratkog spoja baterije ili prevelike struje te reagiranja BMS-a potrebno je spojiti bateriju na punjač kako bi se resetirala. Resetiranje baterijskog paketa će biti uspješno ako greška nije trajno oštetila neku od ćelija, ili čak cijeli BMS.

Vanjsko napajanje je ispravljač sa silaznim pretvaračem. Njegove izlazne karakteristike su nazivni napon iznosa 12.6 V i maksimalna nazivna struja iznosa 3 A. Konektor za punjač je standardni 5.5 mm x 2.1 mm DC konektor

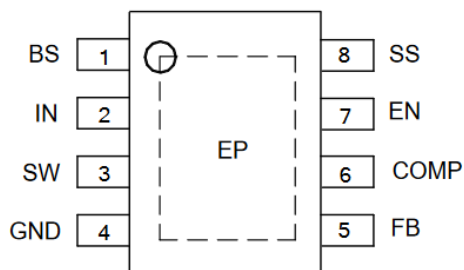
2.5.2 AP3503 silazni pretvarač

AP3503 je silazni pretvarač koji snižava napon baterije i punjača na napon iznosa 4 V koji se koristi za napajanje SIM7000G modula i dva LDO stabilizatora.

Neke od njegovih najbitnijih karakteristika su [4]:

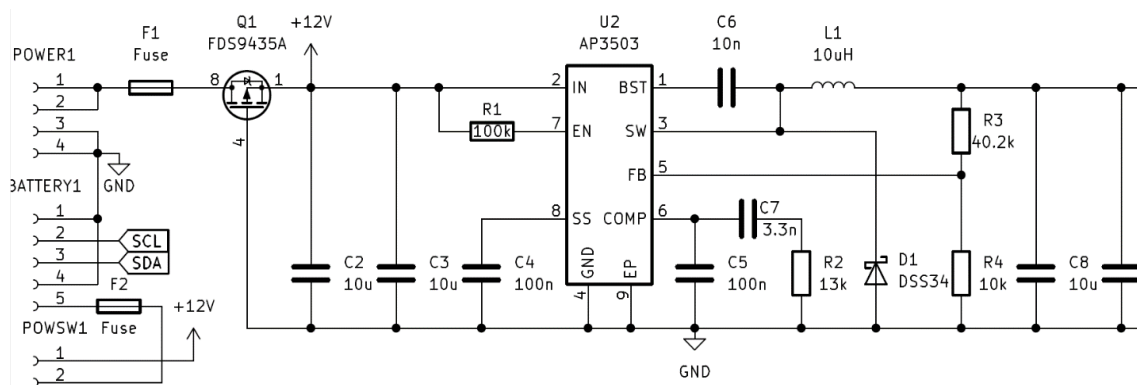
- sinkroni DC-DC silazni pretvarač
- frekvencija rada: 340 kHz
- ugrađeni N MOSFET
- ulazni napon: 4.5 V do 18 V
- maksimalna izlazna struja: 3 A
- visoka efikasnost do 95%
- ugrađena zaštita od prenapona, previsoke struje
- ugrađeno postepeno upuštanje u rad (engl. *Soft start*)
- PSOP8 kućište.

Slika 2.12 prikazuje raspored nožica i izgled kućišta korištenog pretvarača. Svrha EP (engl. *Exposed Pad*) je dobar električni i termalni spoj s pločicom. Spojen je na GND poligon u drugom sloju električne pločice pomoću vodljivih provrta.



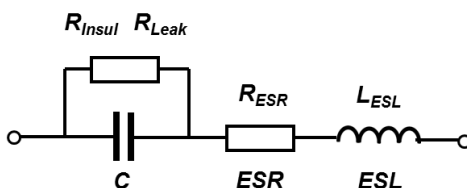
Slika 2.12: Raspored nožica i kućište AP3503 silaznog pretvarača [4]

Na slici 2.13 prikazana je shema pretvarača i prateće komponente. Vanjsko napajanje se spaja na 4 pinski JST konektor. Zatim slijedi osigurač iznosa 5 A te FDS9435A N kanalni MOSFET tranzistor čija je uloga zaštita uređaja od reverznog napona. Ispod konektora za punjač se nalazi 5 pinski konektor za bateriju koja ima zaseban osigurač. Prekidač za odspajanje baterije od elektronike uređaja povezan je dvopinskim JST konektorom. Nakon MOSFET tranzistora slijede dva kondenzatora velikog kapaciteta: C2 i C3 (10 μ F). Kondenzatori su niskog ekvivalentnog serijskog otpora kako bi se ostvarili što bolji uvjeti za rad silaznog pretvarača kroz temperaturni raspon u kojem se uređaj može naći.



Slika 2.13: Shema AP3503 silaznog pretvarača

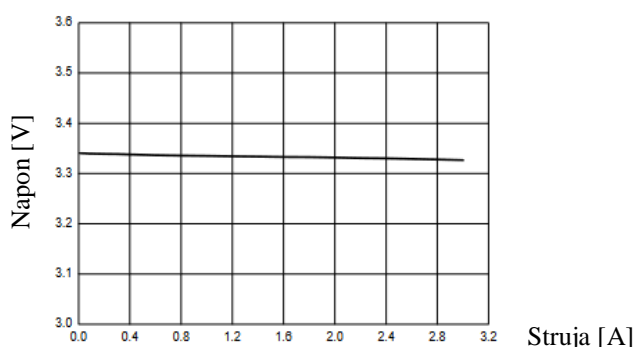
Ekvivalentni serijski otpor postoji zbog nesavršenosti kondenzatora. Realni kondenzator je spoj dva otpornika, zavojnice i idealnog kondenzatora što je prikazano na slici 2.14.



Slika 2.14: Model stvarnog kondenzatora

Ekvivalentni serijski otpor (engl. *Equivalent Series Resistance*) se mijenja obrnuto proporcionalno s temperaturom kondenzatora. Viša temperatura kondenzatora rezultira kraćim životnim vijekom kondenzatora. Prosječno se skraćuje pola životnog vijeka kondenzatora za porast temperature od 10 °C.

Otpornik R1 omogućuje rad pretvarača, a kondenzator C4 (100 nF) osigurava postepeno pokretanje u trajanju od 15 ms. Izlazni dio silaznog pretvarača se sastoji od zavojnice, kondenzatora C6 (10 nF) i povratne veze kojom se određuje izlazni napon. Napon kondenzatora C6 upravlja s unutarnjim N kanalnim MOSFET tranzistorom visoke snage. Zavojnica brzim promjenama magnetskog polja inducira napon koji se stabilizira pomoću C8 i C9 (10 µF) kondenzatora niskog ekvivalentnog serijskog otpora. Izlazni napon pretvarača ovisi o omjeru otpornika povratne veze, R3 (40.2 kΩ) i R4 (10 kΩ) i opterećenju pretvarača (slika 2.15). Dioda D3 osigurava smjer struje od pretvarača prema LDO stabilizatorima i SIM7000G modulu.



Slika 2.15: Promjena izlaznog napona naspram struje [4]

Raspored komponenata silaznog pretvarača bitno utječe na njegove performanse. Kod projektiranja silaznog pretvarača praćene su preporuke proizvođača i općenite smjernice za projektiranje silaznih pretvarača [5]:

- ulazni kondenzatori su fizički blizu pretvarača
- put do zavojnice je kratak, vod je dovoljno širok da može podnijeti maksimalnu struju, širi vod bi negativno utjecao na EMI sustava
- što kraći vodovi između komponenata snage
- razdvojeni mali signali (povratna veza) od zavojnice i njenih vodova
- velik i ispunjen GND poligon ispod i okolo pretvarača.

GND poligon hladi pretvarač te smanjuje smetnje i elektronički šum koji stvara pretvarač. Zbog toga se ispod integriranog kruga nalazi 8 vodljivih provrta koji ostvaruju dobru električnu vezu s poligonom potencijala 0 V i termalno vežu čip s tiskanom pločicom.

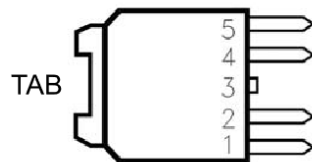
2.5.3 LDF33PT LDO stabilizator

Na tiskanoj pločici se nalaze dva LDO stabilizatora. Jedan osigurava napon iznosa 3.3 V većini komponenata na tiskanoj pločici a drugi napaja GPS antenu naponom iznosa 3.3 V. GPS antena je stvara smetnje prilikom traženja satelita i povezivanja. Kada bi se ona napajala s istog stabilizatora s kojeg se napaja ostatak komponenata, stabilnost rada uređaja bi bila narušena.

Neke od najbitnijih karakteristika izabranog LDO stabilizatora su [6]:

- ulazni napon od 2.6 V do 16 V
- 500 mV pad napona (engl. *Dropout voltage*) pri opterećenju od 1 A
- niska struja mirovanja (200 μ A)
- interna temperaturna i strujna zaštita
- PPAK kućište.

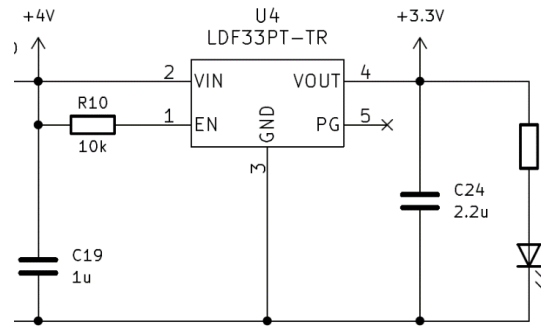
Raspored nožica i izgled kućišta stabilizatora su prikazani na slici 2.16.



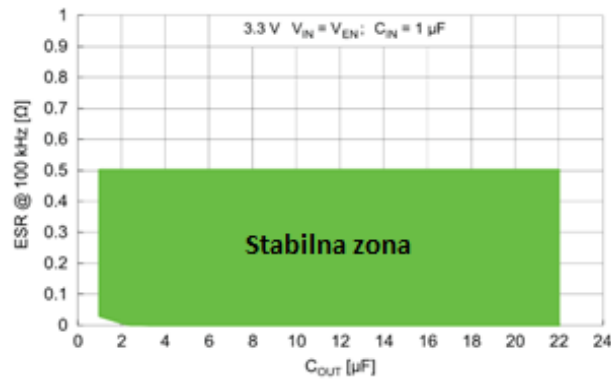
Slika 2.16: LDF33PT LDO stabilizator [6]

GPS antena ne radi cijelo vrijeme, već se povremeno uključuje ANT_EN signalom nakon detektiranja pomaka uređaja što bitno smanjuje potrošnju energije uređaja.

Na slici 2.17 je prikazana shema stabilizatora s pratećim komponentama. Za ispravan rad stabilizatora je potreban ulazni kondenzator C19 (1 μ F), izlazni kondenzator C24 (2.2 μ F) i otpornik R10 (10 k Ω) koji služi za pokretanje stabilizatora. Vrijednosti kondenzatora su izabrane prema preporuci proizvođača. Uz kapacitet kondenzatora, bitan je i ESR kondenzatora. Za ispravan rad stabilizatora ESR kondenzatora mora biti u preporučenom rasponu što je prikazano na slici 2.18. LDF33PT stabilizator dolazi u više vrsta kućišta (DFN6, PPAK, DPAK), a izabrano je PPAK kućište radi najboljih mogućnosti odvođenja topline.



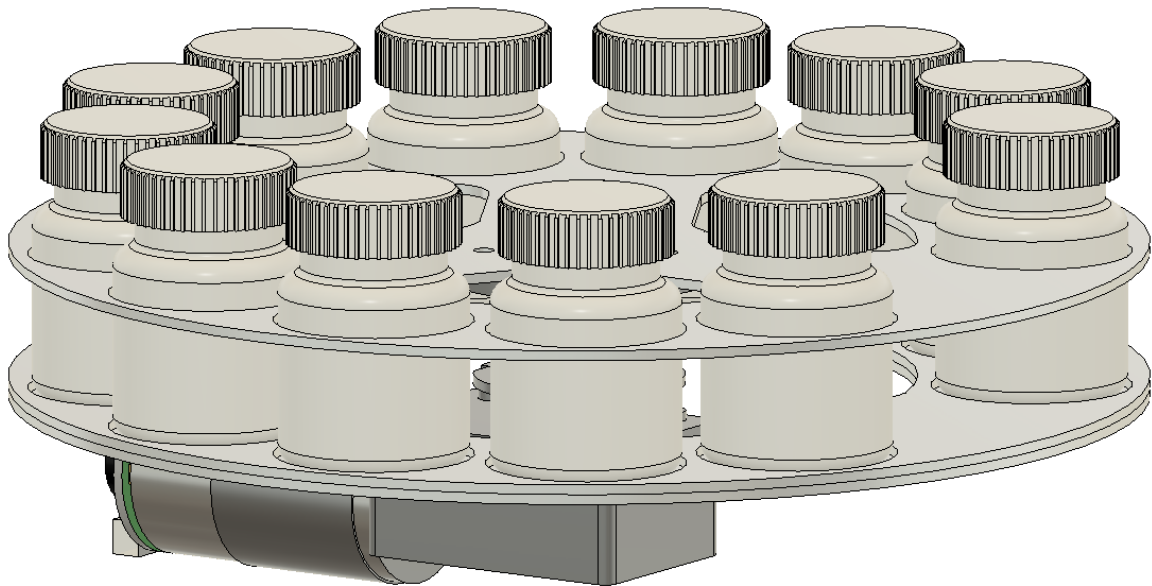
Slika 2.17: Shema LDO stabilizatora



Slika 2.18: Stabilna zona kondenzatora [6]

2.6 DC motor

Motor pokreće karusel koji na sebi nosi bočice s tekućim lijekom. Na slici 2.19 je prikazan 3D model karusela, korištenog motora i bočica koje sadrže tekući metadon. Ako pacijent otvori vrata za glavnu dozu izvan vremena doziranja, njemu će biti vidljivo prazno mjesto i neće moći doći do drugih doza. Karusel se okreće jedino kad su vrata zatvorena iz sigurnosnih razloga. Zbog visokog prijenosnog omjera pužnog prijenosa DC motora potrebno je od 9700 do 9900 okreta osovine motora da karusel napravi jedan puni krug. Kvadrturni rotacijski enkoder omogućuje precizno pozicioniranje sljedeće doze do otvora za glavnu dozu. Uređaj se pri svakom uključanju kalibrira, broji potreban broj impulsa za jedan puni krug te tako računa koliko je impulsa potrebno za pomak do određene doze.

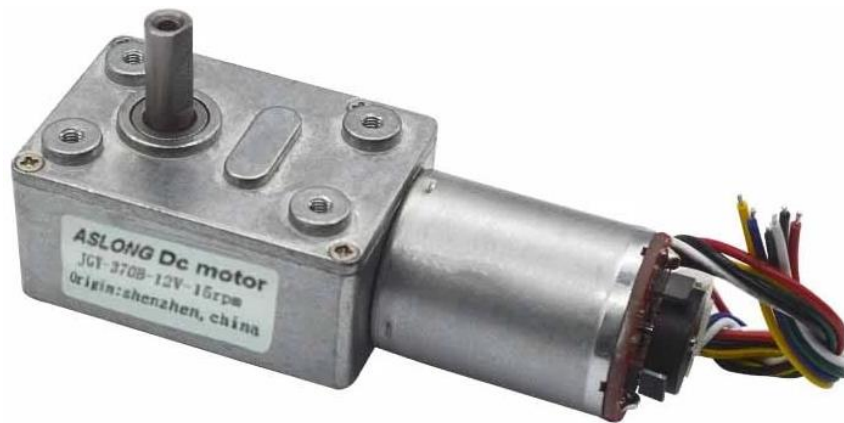


Slika 2.19: 3D prikaz karusela, motora i bočica za doze

Motor je induktivni teret te velik i zahtjevan potrošač. Prilikom pokretanja mu je potrebna visoka struja koja se u kratkom vremenu smanji na nominalnu vrijednost. Šiljci velike struje mogu izazvati oscilacije napona i nestabilnosti u radu uređaja. Efektivan način za suzbijanje smetnji DC motora su kondenzatori, diode te postepeno ubrzavanje i usporavanje motora. Dioda se nalaze u *driveru* motora, a kondenzatori su dodani između potencijala od 0 V i kontakata motora te između kontakata motora i kućišta motora. Postepeno ubrzavanje i usporavanje omogućuje *driver* motora TB6612FNG . Veza tiskane pločice i DC motora je ostvarena sa 6 pinskim JST konektorom.

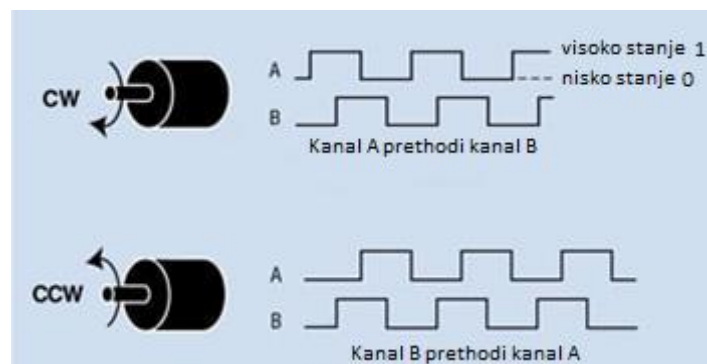
Na slici 2.20 je prikazan korišteni DC motor, njegove najbitnije karakteristike su:

- 12 V ulazni napon
- maksimalna struja 1.5 A
- 15 RPM
- visok okretni moment
- ugrađen magnetski rotacijski enkoder
- samokočni mehanizam (pužni prijenos).



Slika 2.20: DC motor sa pužnim prijenosom [7]

Ugrađeni kvadraturni enkoder ima dva kanala koji su u faznom pomaku za 90 stupnjeva. Smjer vrtnje se detektira ovisno o tome na kojem se kanalu prvo pojavi rastući brid. Primjer rada kvadraturnog enkodera je prikazan na slici 2.21.



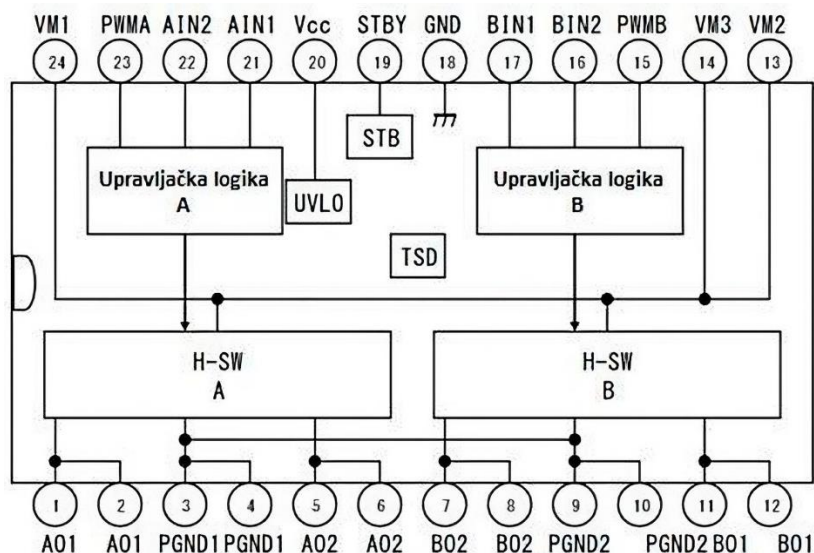
Slika 2.21: Princip rada kvadraturnog rotacijskog enkodera [8]

2.6.1 TB6612FNG motor driver

Karakteristike TB6612FNG motor *drivera* su [9]:

- dva kanala
- maksimalni iznos napona motora iznosi 15 V
- kontinuirana struja po kanalu iznosi 1.2 A (3.2 A vršno)
- način mirovanja (engl. *standby*)
- podržane funkcije: CW (engl. *Clock-Wise*), CCW (engl. *Counter Clock-Wise*), kočenje
- ugrađena termalna zaštita i detekcija preniskog napona
- SSOP24 kućište.

TB6612FNG je dvokanalni *driver* motora koji je upravlján pomoću sedam ulaznih pinova: STBY signal koji uključuje ili isključuje oba kanala i dva digitalna signala i jedan PWM signal po kanalu. Na slici 2.22 je prikazan raspored nožica i blok shema *drivera* motora.

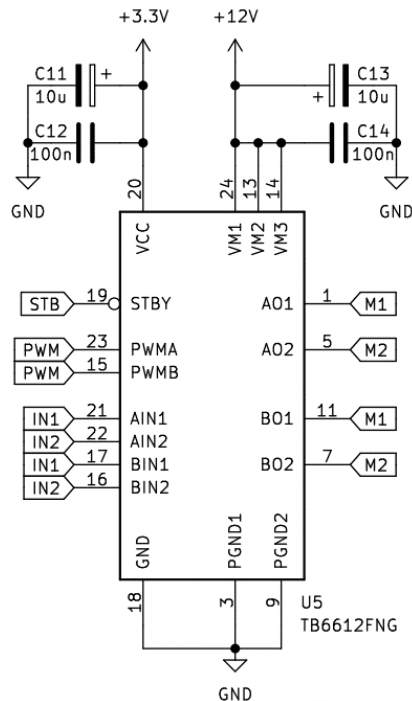


Slika 2.22: Blok shema i raspored nožica TB6612FNG *drivera* motora [9]

Dvokanalni *driver* motora je prenamijenjen u jednokanalni *driver* motora međusobnim spajanjem izlaznih pinova. PWM signal se koristi za upravljanje brzinom vrtnje motora, njegovim moduliranjem se postiže ubrzavanje ili usporavanje motora, što povoljno utječe na elektroničke smetnje i korisničko iskustvo cijelog uređaja.

Poligoni na tiskanoj pločici koji dovode napajanje do *drivera* motora i povezuju JST konektor s *driverom* motora su širi nego što je potrebno kako bi se smanjili gubitci i poboljšalo odvođenje topline s *drivera*. Digitalni dio *drivera* motora se napaja naponom iznosa 3.3 V, a DC motor se napaja direktno s baterije ili punjača (12 V). Na slici 2.23 je prikazana veza *drivera* motora s ostalom elektronikom na tiskanoj pločici.

C11 i C13 (10 μ F) su kondenzatori velikog kapaciteta koji su zaslužni za održavanje stabilnog napona za cijelo vrijeme rada motora, a C12 i C14 (100 nF) su filter kondenzatori koji suzbijaju visokofrekvencijske smetnje. *Driver* motora je prostorno daleko od svih osjetljivih vodova i komponenata kako ne bi utjecao na njihov rad. Konektor za motor je pozicioniran blizu *drivera* motora kako bi vodovi emitirali što manje elektromagnetskih zračenja i ostalih smetnji.



Slika 2.23: Shema TB6612FNG motor drivera

2.7 Mikroupravljač ESP32

Glavni dio ovog uređaja je ESP32-WROVER-IE-N16R8, modul na sebi sadrži dvojezgreni procesor koji podržava WiFi, Bluetooth i BLE. Predviđen je za korištenje u raznim uređajima, od mreža senzora niske potrošnje do dekodiranja glasa, strujanja glazbe i enkodiranja MP3 audio formata.

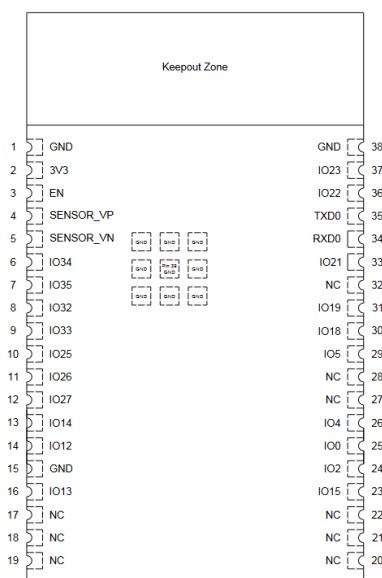
Modul ima ugrađenu antenu koja se koristi za Bluetooth i WiFi. Jezgra modula je mikroprocesor ESP32-D0WDR2-V2. Njegov maksimalni radni takt je 240 MHz te ima dvije jezgre: jednu jaču i jednu slabiju. Slabija jezgra se koristi za manje zahtjevne zadatke, poput očitavanja stanja pinova, izvršavanja jednostavnijih funkcija i slično, dok glavna jezgra obavlja kompleksnije funkcije. Na modulu se još nalazi i 16 MB SPI brze (engl. *Flash*) memorije te 8 MB SPI RAM memorije. Kako bi se modul iskoristio u svojem punom potencijalu, korišten je freeRTOS (engl. *Real Time Operating System*).

Neke od najbitnijih karakteristika ovog modula su [11]:

- WiFi, Bluetooth, BLE
- UART, SPI, I2C, PWM, I2S, brojač impulsa, ADC, DAC
- 40 MHz ugrađeni kvarcni oscilator
- napon napajanja od 2.2 V do 3.6 V
- maksimalna struja iznosi 500 mA.

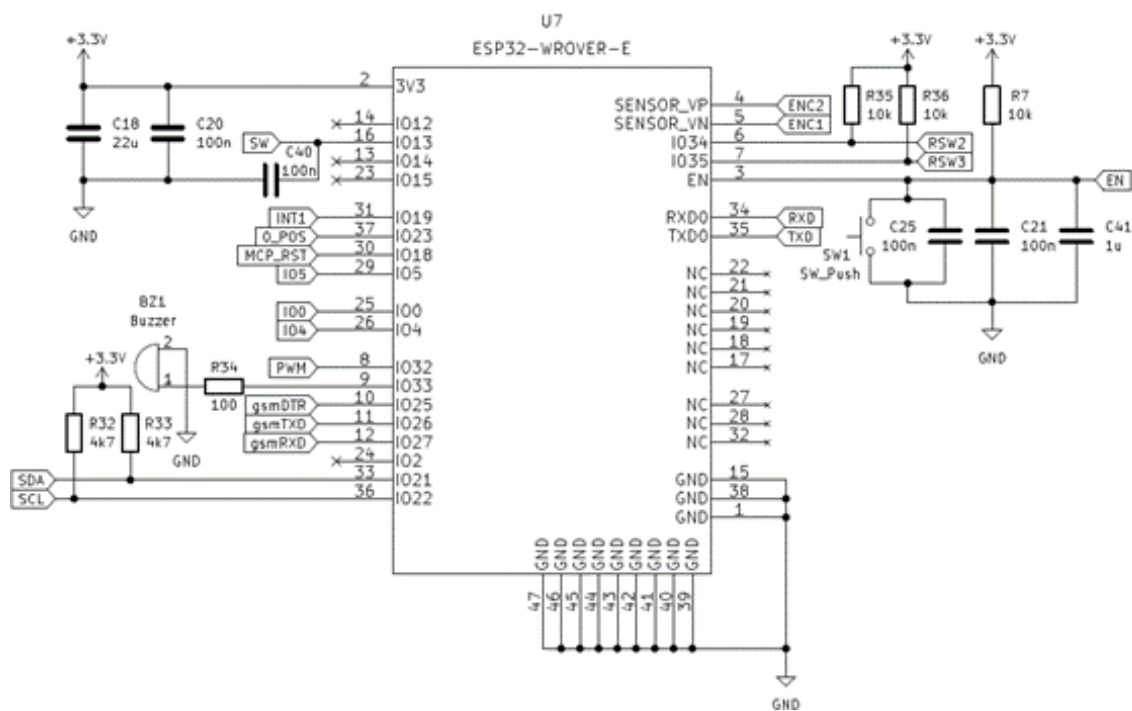
FreeRTOS je operacijski sustav dizajniran da radi na slabijim procesorima. On omogućava izvođenje programa izvođenjem više zadataka odjednom, prebacujući kontekst rada iz jednog u drugi za vrijeme izvršavanja [10]. To daje dojam da su se oba zadatka izvršila istovremeno, ali u stvarnosti je operativni sustav prebacivao kontekst izvršavanja zadataka s jednog na drugi. FreeRTOS je dizajniran tako da pruži predvidljiv slijed izvršavanja naredbi. Svaki zadatak (engl. *task*) ima svoj prioritet, a planer (engl. *scheduler*) bira koji će se zadatak izvršiti.

Na slici 2.24 je prikazan ESP32 modul i raspored njegovih pinova. EN pin pokreće modul. GPIO0, GPIO2, GPIO5 moraju biti u određenom stanju kako bi se modul uspješno pokrenuo i učitao FreeRTOS sustav. Kad se izuzmu pinovi napajanja, pinovi za I2C, UART, programator i ostali nedostupni pinovi, ostaje 15 iskoristivih pinova za ulazno izlazne operacije. Situaciju olakšava I2C proširivač digitalnih ulaza i izlaza MCP23017 koji proširuje 15 dostupnih pinova na 31 ulazno izlazni pin.



Slika 2.24: ESP32-WROVER-E modul i raspored nožica [11]

Slika 2.25 prikazuje shemu ESP32 modula. Za optimalan rad nije potrebno puno komponenata: Najbitnije su kondenzatori napajanja C18 (22 μ F) i C20 (100 nF). Svi kondenzatori kapaciteta 100 nF služe kao filter kondenzatori, osim C25, čija je svrha eliminiranje istitravanja tipkala. R32 i R33 (4.7 k Ω) pritežu I2C sabirnicu na napon iznosa 3.3 V. R35 i R36 (10 k Ω) pritežu ulazne pinove za magnetne prekidače na 3.3 V zato što ne postoje interni otpornici (engl. *Pull-up resistor*) koji bi to radili. SW1 resetira modul. Na pločici se nalaze reset tipkalo i JST konektor za vanjsko reset tipkalo.



Slika 2.25: Shema ESP32 modula

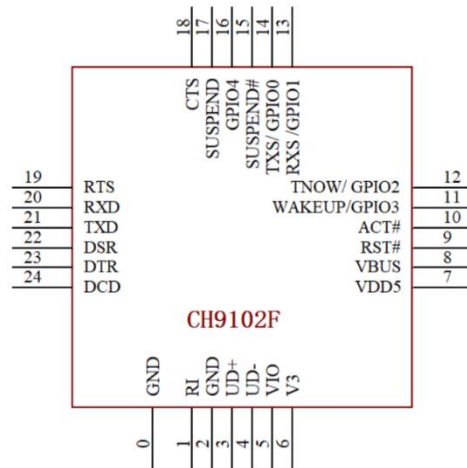
2.7.1 Programiranje razvojnog okruženja

Postoje dva načina programiranja i otklanjanja grešaka ovog uređaja: pomoću ugrađenog USB na TTL pretvarača (CH9102F / CP2104) ili pomoću vanjskog pretvarača koji se može spojiti na 6 izvedenih pinova (GND, VCC, EN, IO0, RXD, TXD). CP2104 i CH9102F su pretvarači različitih proizvođača koji služe istoj svrsi. Imaju isti raspored pinova te zahtijevaju iste komponente za ispravan rad. CP2104 je u vrijeme projektiranja uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova postao teško dobavljiv te se zato na pločici nalazi CH9102. Elektronika uređaja se povezuje s računalom pomoću USB C priključka. USB C priključak je izabran radi svoje pouzdanosti i svestranosti.

Najbitnije karakteristike programatora su [12]:

- USB 2.0, 5 V, 3.3 V
- brzina prijenosa od 50 bps do 4 MBps
- podržava automatsko programiranje
- QFN24 kućište.

Na slici 2.26 je prikazan raspored pinova CH9102 programatora.

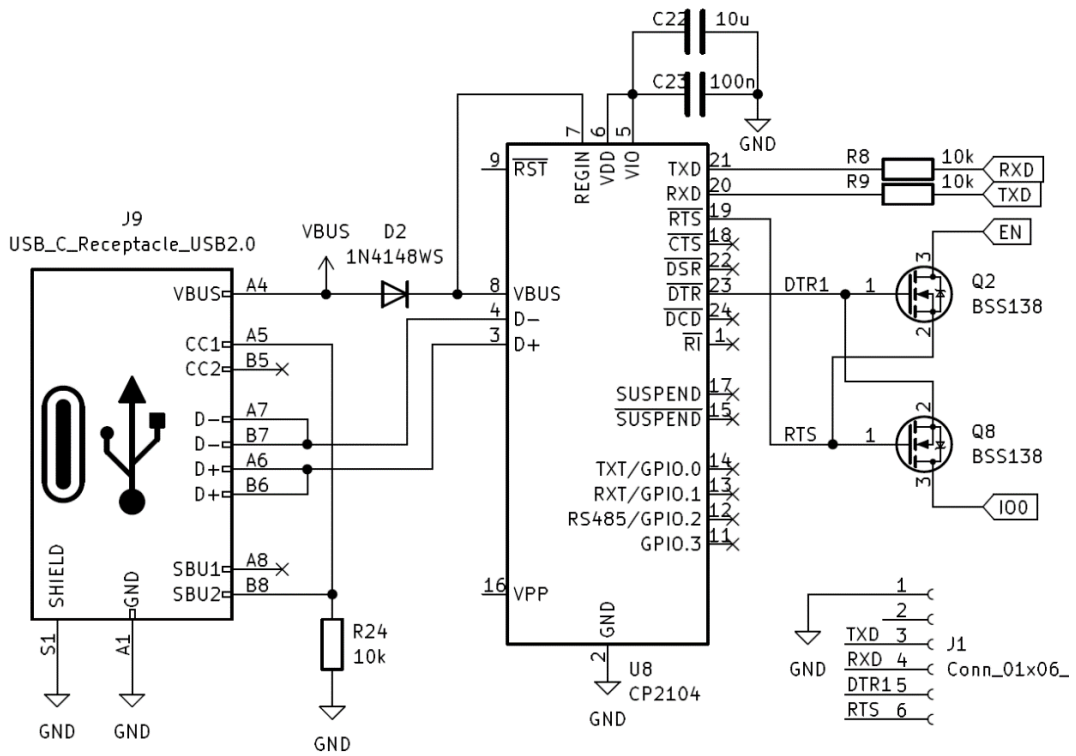


Slika 2.26: Programator CH9102F [12]

Napajanje elektronike (VCC) je razdvojeno od napajanja računala (VBUS) kako bi se smanjila mogućnost oštećenja računala koje se koristi za programiranje uređaja. Zbog ovog pristupa programer mora koristiti uređaj s baterijskog i/ili vanjskog napajanja, tako da se uređaj u svakom trenutku razvoja ponaša jednako kako bi se ponašao i kod pacijenta. Za optimalan rad programatora potrebni su: kondenzator C22 (10 μ F), filter kondenzator C23 (100 nF) te MOSFET-i Q2 i Q8 koji su dio sklopa zaslužnog za automatsko programiranje. Tablica 2.1 prikazuje što je potrebno dovesti na pinove ESP32 mikroupravljača da automatski uđe u način za programiranje. Shema programatora je prikazana na slici 2.27. Otpornik R24 (10 k Ω) služi za signaliziranje USB host uređaju da se radi o USB 2.0 uređaju. Dioda D2 je još jedna vrsta zaštite. Ako slučajno dođe do bilo kakvog povratnog napona, on neće moći oštetiti računalo.

Tablica 2.1: Tablica stanja automatskog programiranja

DTS	RTS	EN	IO0
1	1	1	1
0	0	1	1
1	0	0	1
0	1	1	0

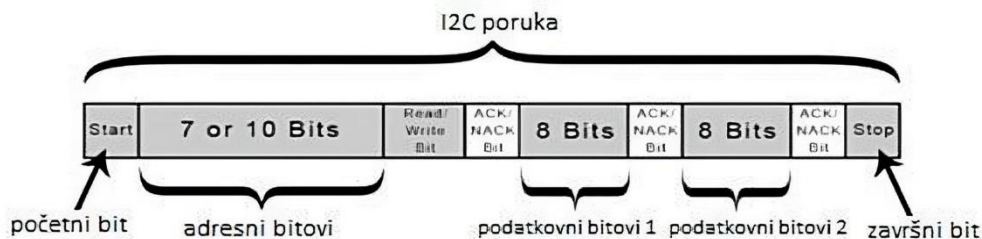


Slika 2.27: Shema CH9102F programatora

2.8 I2C uređaji

Većina integriranih krugova ovog uređaja komunicira putem I2C (engl. *Inter-Integrated Circuit*) sabirnice [13]. I2C sabirnicu je dizajnirao Phillips 1982. godine, a najčešće je korišten za povezivanje perifernih integriranih krugova sa glavnim procesorima i mikroupravljačima. I2C sabirnica je dvosmjerna sabirnica koja zahtijeva pritezanje svojih linija na 3.3 V ili 5 V pomoću pritezni otpornika. SDA (engl. *Serial Data Line*) se koristi za prijenos podataka dok SCL (engl. *Serial Clock Line*) daje takt pri kojem se vrši komunikacija. Brzina I2C sabirnice može biti od 10 kbit/s do 5 mbit/s.

Svaki I2C uređaj ima svoju jedinstvenu adresu. Komunikacija započinje sa startnim bitom, a zatim adresnim bitovima kojima se omogućuje da podatci dođu do onog uređaja kojem su namijenjeni. I2C uređaji mogu biti glavni i podređeni. Glavni (engl. *Master*) uređaj započinje komunikaciju, a podređeni (engl. *Slave*) uređaj odgovara na upit nadređenog uređaja. Na slici 2.28 je prikazana jedna kompletna poruka poslana preko I2C sabirnice.



Slika 2.28: Format poruke I2C sabirnice [13]

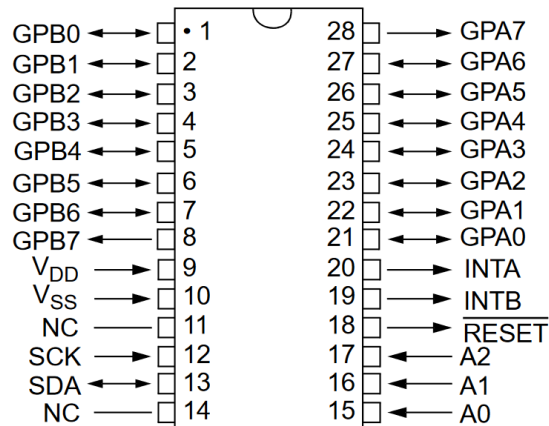
Uređaji na I2C sabirnici su MCP23017, SHTC3, LIS2DH12TR i 1.3" OLED displej.

2.8.1 Proširivač digitalnih ulazno izlaznih jedinica MCP23017

Proširivač digitalnih ulazno izlaznih jedinica MCP23017 je korišten zbog nedostatka dostupnih pinova na ESP32 mikroupravljaču. Neke od najbitnijih karakteristika su [14]:

- 16 bitni proširivač ulazno izlaznih jedinica
- I2C sabirnica, adresa se namješta pomoću tri hardverska pina
- napon napajanja od 1.8 V do 5.5 V
- maksimalna struja po pinu iznosi 25 mA
- struja mirovanja 1 uA
- 28 pin SOIC kućište.

Svaki pin može biti ulazni, izlazni ili mu se može omogućiti interni pritezajući otpornik. Interno pritezanje na 3.3 V je korisno jer većina magnetnih i ostalih prekidača na uređaju zahtijeva pritezanje na 3.3 V kako bi ispravno radilo. 16 pinova je podijeljeno u dva porta po 8 bitova. Svakim pinom se može upravljati pojedinačno, ali moguće je i upravljanje cijelim portom odjednom. Na slici 2.29 je prikazan raspored pinova i izgled kućišta proširivača ulazno izlaznih jedinica.



Slika 2.29: MCP23017, raspored pinova i izgled kućišta [14]

Tablica 2.2 prikazuje sve moguće kombinacije hardverskih pinova. Odabrana adresa proširivača jest 0x27. Kako bi svi I2C uređaji radili ispravno na istoj I2C sabirnici, svaki mora imati jedinstvenu adresu.

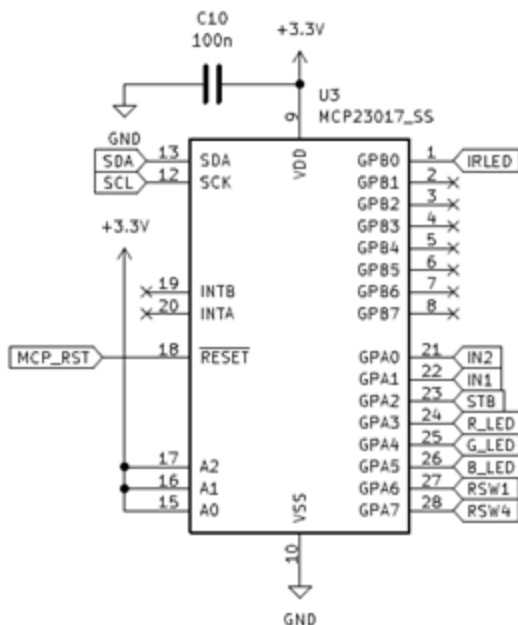
Tablica 2.2: I2C adrese proširivača digitalnih ulazno izlaznih jedinica [14]

Adresa	Hardverska adresa			I2C adresa
	A2	A1	A0	
000	GND	GND	GND	0x20
001	GND	GND	3V3	0x21
010	GND	3V3	GND	0x22
011	GND	3V3	3V3	0x23
100	3V3	GND	GND	0x24
101	3V3	GND	3V3	0x25
110	3V3	3V3	GND	0x26
111	3V3	3V3	3V3	0x27

GPB0 upravlja s infracrvenom LED diodom koja služi za pozicioniranje karusela u početni položaj. GPA0, GPA1, GPA2 upravljaju s *driverom* motora (IN2, IN1, STB). GPA3, GPA4 i GPA5 upravljaju s RGB led diodom u tipkalu koje služi kao glavni način interakcije

pacijenta s uređajem za udaljeno praćenje uzimanja lijekova. GPA6 i GPA7 očitavaju magnetne prekidače koji detektiraju otvorenost pretinaca.

Za ispravan rad proširivača MCP23017 je potreban samo kondenzator napajanja C10 (100 nF) što je prikazano na slici 2.30. ESP32 postavlja MCP_RST na potencijal iznosa 0 V prilikom uključanja uređaja kako bi omogućio i/ili pokrenuo proširivač.



Slika 2.30: Shema proširivača digitalnih ulazno izlaznih jedinica MCP23017

2.8.2 *Senzor temperature i vlažnosti zraka SHTC3*

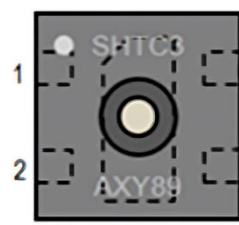
U svakom trenutku je važno znati u kakvim se uvjetima nalazi uređaj za udaljeno praćenje uzimanja lijekova. Senzor temperature i vlažnosti zraka može ukazati na razne vrste pogrešnog rukovanja pa čak i destruktivnog ponašanja pacijenta. Ako dođe do većih odstupanja od referentnih vrijednosti nadređena ustanova će biti obaviještena.

Neke od najbitnijih karakteristika ovog senzora su [15]:

- niska potrošnja energije (prosječno 5 μ A)
- mjerenje temperature od -40°C do $+125^{\circ}\text{C}$ pri točnosti od $\pm 1^{\circ}\text{C}$
- mjerenje vlažnosti zraka od 0 do 100% pri točnosti od $\pm 2\%$
- napon napajanja od 1.62 V do 3.6 V
- I2C sabirnica, 0x70 adresa
- 2x2x0.75mm DFN kućište

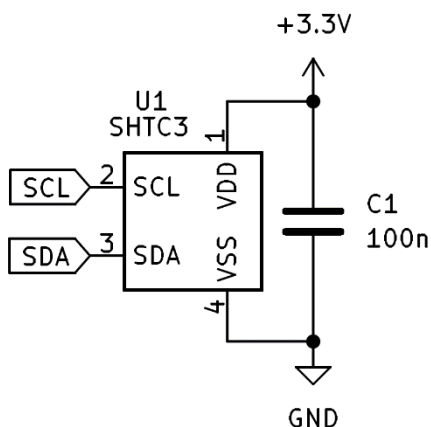
Na slici 2.31 je prikazan izgled kućišta i raspored nožica senzora. Za optimalne performanse senzora, proizvođač preporučuje povezati središnju nožicu na GND poligon jer ona pruža najbolju termalnu vezu sa senzorom temperature.

Pin	Naziv	Opis
1	VDD	Napajanje
2	SCL	Serijski takt
3	SDA	Podatkovni vod
4	VSS	Potencijal 0V



Slika 2.31: Raspored nožica i izgled kućišta SHTC3 senzora [15]

Za ispravan rad senzora je potreban jedan kondenzator C1 (100 nF) što je prikazano na slici 2.32.



Slika 2.32: Shema SHTC3 senzora temperature i vlažnosti zraka

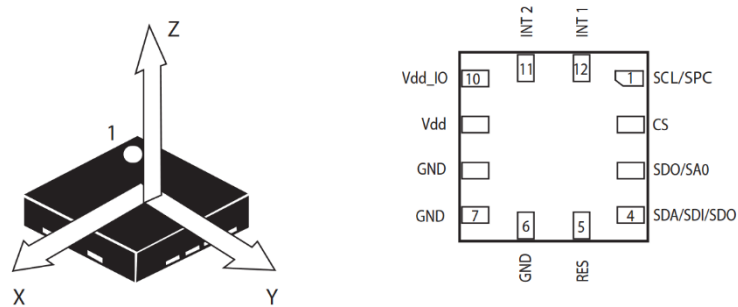
2.8.3 Akcelerometar LIS2DH12

Akcelerometar je vrlo bitan dio ovog uređaja. Koristi se za detekciju pokreta ili udaraca, te sukladno intenzitetu događaja mikroupravljač obavlja neku radnju, uključuje GPS, kontaktira nadležnu ustanovu o događaju, izdaje upozorenje na displeju i slično. Kako bi se svaki pokret registrirao što je brže moguće, koristi se prekidna rutina koja se okida INT1 pinom i u njoj se dohvaćaju podatci o kretanju. Komunikacija se odvija preko I2C sabirnice, a adresa akcelerometra je 0x19.

Neke od najbitnijih karakteristika su [16]:

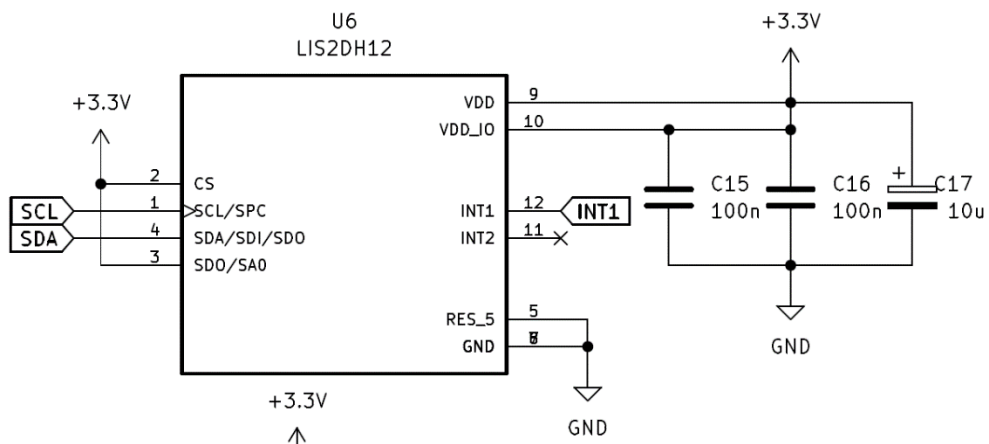
- napon napajanja od 1.71 V do 3.6 V
- niska potrošnja struje od 11 μA pri frekvenciji mjerenja od 50 Hz
- 2 programibilna pina za prekidne rutine, slobodan pad i detekcija pokreta
- 4D/6D detekcija orijentacije
- LGA12 kućište
- ugrađen 10 bitni FIFO spremnik (engl. *First In First Out buffer*), omogućuje pohranu više podataka i slanje svih podataka mikroupravljaču odjednom.

Na slici 2.33 je prikazano LGA12 kućište akcelerometra, raspored nožica te orijentacija prostornih osi.



Slika 2.33: LGA12 kućište, raspored nožica akcelerometra i orijentacija njegovih osi [17]

Shema akcelerometra je prikazana na slici 2.34. Za ispravan rad potrebno je nekoliko kondenzatora. C15 (100 nF) i C16 (100 nF) se koriste kao filter kondenzatori, dok se C17 (10 μF) koristi kao veliki kondenzator napajanja. Svrha kondenzatora C17 je održati napon što stabilnijim kako stabilnost napajanja ne bi utjecala na preciznost mjerenja senzora.



Slika 2.34: Shema LIS2DH12 akcelerometra

2.8.4 1.3“ OLED displej

Za prikaz poruka i informacija pacijentu korišten je 1.3“ (33.02 mm) OLED (engl. *Organic Light-Emitting Diodes*) displej. OLED displeji ne zahtijevaju pozadinsko osvjetljenje zbog svoje unutarnje strukture. Najčešće su napravljeni od niza organskih slojeva između dvije tanke elektrode. Kad se na elektrodama pojavi razlika potencijala, stvara se električno polje i nositelji naboja prelaze s elektroda u organske slojeve. Dio organskog sloja na koji utječe električno polje počne otpuštati energiju u obliku svjetlosti ili topline.

Slika 2.35 prikazuje korišteni OLED displej. Njegov upravljački integrirani krug je SSD1306 i njime se komunicira pomoću I2C sabirnice. Adresa OLED displeja je 0x3C. Ne zahtijeva dodatne komponente. Displej je s tiskanom pločicom povezan pomoću 4 pin JST konektora.



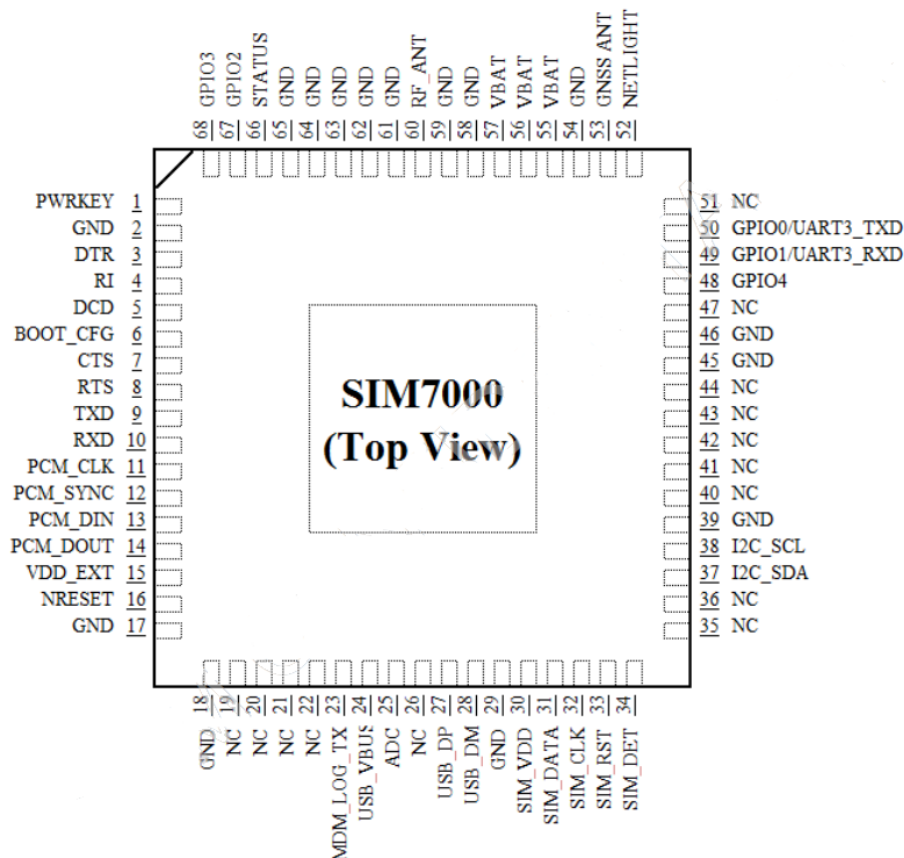
Slika 2.35: 1.3“ OLED displej

2.9 GPS i LTE modul SIM7000G

Uređaj za udaljeno praćenje uzimanja lijekova je zamišljen kao prijenosni uređaj koji bi nadležne ustanove davale na korištenje svojim korisnicima. Zato je važno da su njegova lokacija i trenutno stanje uvijek dostupni. To omogućava SIM7000G, globalni LTE i GPS modul. Proizvođač ga je predvidio za korištenje u raznim M2M (engl. *machine to machine*) uređajima poput POS terminala, javnih e-bicikala, uređajima za udaljeno mjerenje i praćenje te za eZdravstvo. To ga čini idealnim izborom za ovaj konkretan slučaj.

Najistaknutije specifikacije SIM7000g modula su [17]:

- LTE, NB-IoT, EDGE, GPRS, GNSS
- SMS, TCP/IP, UDP, SMS, HTTP, SSL, MQTT, UDP
- USB2.0, UART, SIM, I2C, GPIO, ADC, PCM
- niska potrošnja, 11 mA u stanju mirovanja te 7 μ A u ugašenom stanju
- 3.0 V do 4.3 V napon napajanja, 2 A maksimalna struja.



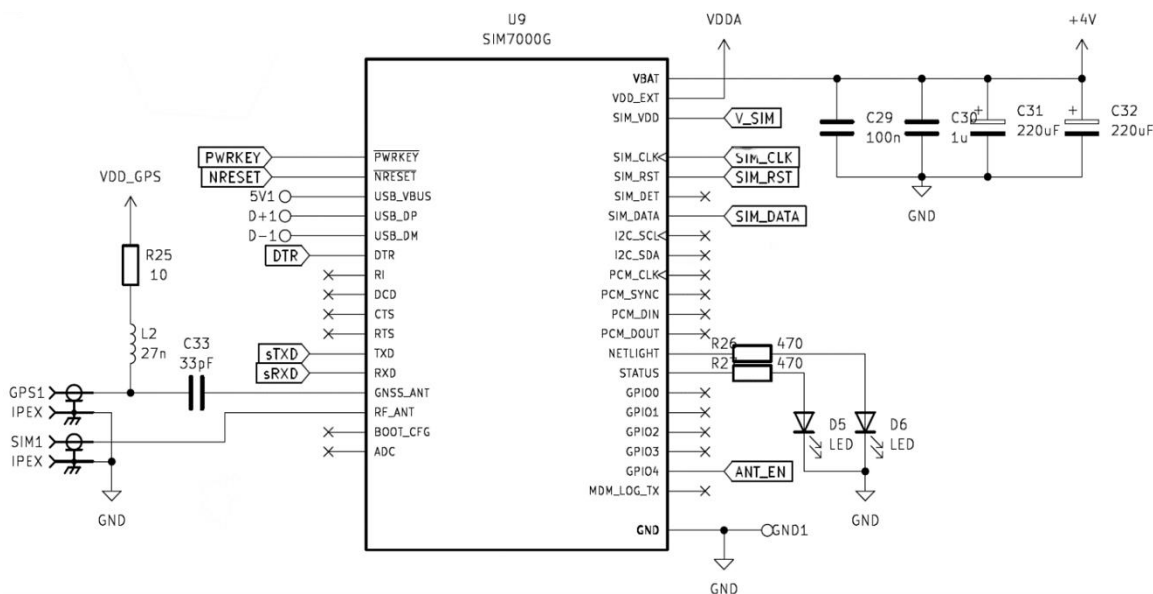
Slika 2.36: Raspored pinova i izgled kućišta SIM7000G LTE i GPS modula [17]

Na slici 2.36 je prikazan raspored pinova LTE i GPS modula. Modul ima puno mogućnosti od kojih se koristi tek nekoliko. LTE komunikacija se koristi za povezivanje

uređaja s nadležnom ustanovom, a GPS komunikacija kako bi se u svakom trenutku mogla utvrditi lokacija uređaja. Dva GPIO pina koriste se za upravljanje signalnim LED diodama. Jedna LED dioda signalizira uključenost modula, a druga aktivnost GPS i LTE prijenosa podataka. Modul za komunikaciju s mikroupravljačem koristi TTL (engl. *Transistor-Transistor Logic*) serijski protokol. Dodatno su izvedeni pinovi za USB komunikaciju s modulom koji se koriste za otklanjanje grešaka i nadogradnju upravljačkog softvera modula.

Na slici 2.37 je prikazan dio sheme modula. Poštivane su preporuke proizvođača kod odabira komponenti kako bi se osigurao stabilan rad. C31 i C32 (220 μ F) su kondenzatori napajanja. Oni su potrebni zbog visokih strujnih vrhova prilikom spajanja na LTE mrežu. Ako se ne osigura dovoljan izvor struje napajanja za SIM7000G modul, to može uzrokovati probleme sa stabilnosti cijelog uređaja. C29 i C30 (100 nF) su filter kondenzatori napajanja. Antene se na elektroničku pločicu povezuju pomoću IPEX konektora. Napajanje GPS antene se uključuje pomoću GPIO4 pina, odnosno pritezanjem „enable“ pina LDO stabilizatora na 3.3 V.

Vodovi koji povezuju IPEX konektore i SIM7000g modul su vodovi kontrolirane impedancije iznosa 50 Ω . Njihova širina iznosi 0.29337 mm. Impedancija vodova ovisi o njihovoj debljini, udaljenosti od GND poligona te izolatoru između voda i GND poligona. Ova tiskana pločica prati JLC7628 standard. U tablici 2.4 se vidi kako se to odnosi na debljine pojedinih slojeva te njihove razmake.



Slika 2.37: Shema SIM7000G, LTE i GPS modula

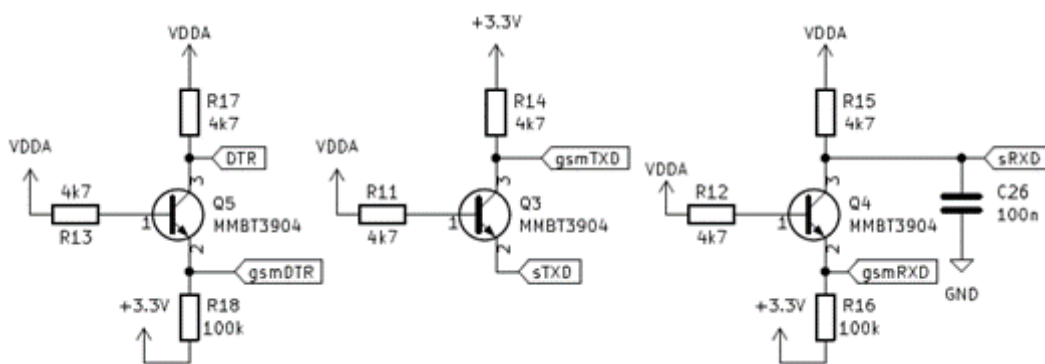
Ovo je jedan od primarnih razloga zašto je izabrana četveroslojna elektronička pločica. Korištenje dvoslojne elektroničke pločice ne bi pružilo dovoljno dobre rezultate jer

dielektrična konstanta sloja između prvog i drugog sloja nije strogo kontrolirana kao kod JLC7628 standarda.

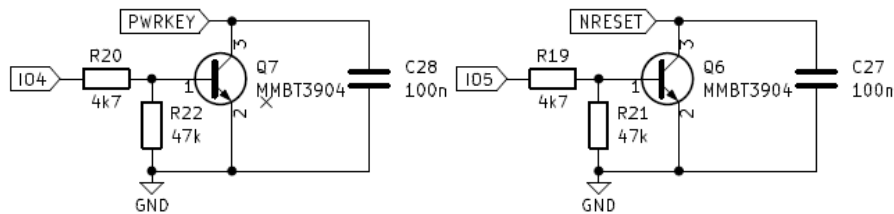
Tablica 2.3: Raspored i detalji slojeva tiskane pločice [18]

Sloj	Vrsta materija	Debljina [mm]
Top Layer 1	Bakar	0.035
Prepreg	7628	0.2104
Inner Layer 2	Bakar	0.0152
Core	Pertinaks	1.065
Inner Layer 3	Bakar	0.0152
Prepreg	7628	0.2104
Bottom Layer 4	Bakar	0.035

Slike 2.38 i 2.39 prikazuju sklopove za promjenu razine napona (engl. *Level Shifter*) napravljene pomoću otpornika i NPN tranzistora. VDDA je napon iznosa 1.8 V koji se dobiva pomoću internog LDO stabilizatora. Maksimalna struja tog pina je 50 mA. PWRKEY uključuje i isključuje cijeli modul, a napon mora biti ispod iznosa 0.8 V kako bi se modul uključio. NRESET resetira cijeli modul, a mora biti pritegnut na potencijal od 0 V za reset. DTR je pin koji se koristi za upravljanje stanja mirovanja modula, a pritezanje na potencijal iznosa 0 V stavlja modul u radno stanje. Pinovi sTXD i sRXD se koriste za serijsku komunikaciju i također zahtijevaju promjenu razine napona iznosa 3.3 V na 1.8 V i obratno kako bi se osigurala stabilna komunikacija s mikroupravljačem.

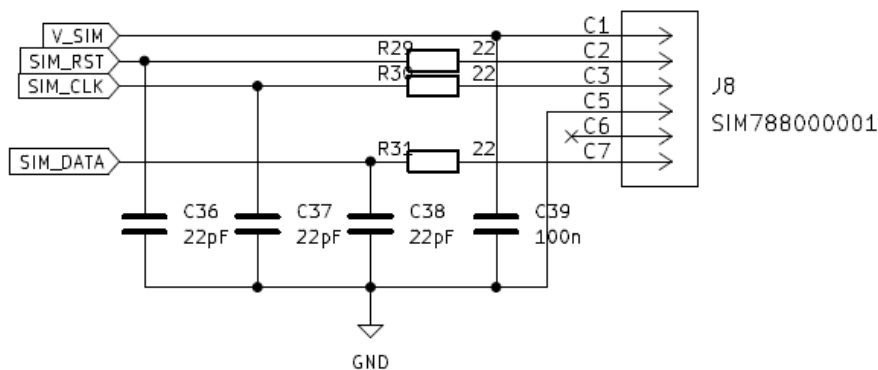


Slika 2.38: Sklopovi za promjenu razine napona DTR, gsmTXD i gsmRXD signala



Slika 2.39: Sklopovi za promjenu razine napona PWRKEY i NRESET signala

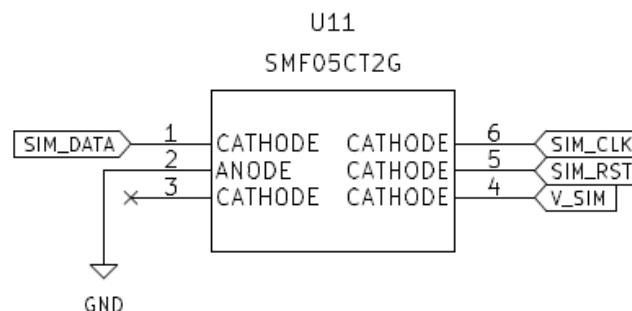
SIM kartica je povezana sa SIM7000g modulom pomoću mini SIM utora. Integrirani krug U11 (SMF05CT2G) služi kao ESD (engl. *Electro Static Discharge*) zaštita što je bitno jer će pinovi SIM utora nerijetko biti dodirnuti prilikom instalacije SIM kartice. Na slici 2.40 je prikazana shema spajanja SIM utora sa SIM modulom.



Slika 2.40: Shema povezivanja SIM utora sa SIM7000G modulom

2.9.1 Zaštitni sklop SMF05CT2G

SMF05CT2G je niz od 5 zaštitnih dioda u jednom kućištu, a koristi se za zaštitu od prenapona i elektrostatskog pražnjenja. Namijenjen je za korištenje u prijenosnim uređajima, komunikacijskim uređajima, serijskim i paralelnim portovima, laptopima, računalima i sličnim uređajima. Shema spajanja je prikazana na slici 2.41.



Slika 2.41: Shema spajanja zaštitnog integriranog kruga SMF05CT2G

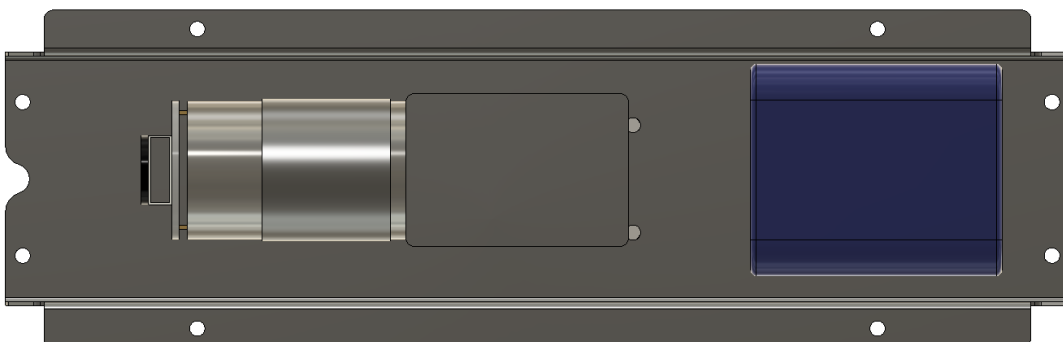
2.10 CAD model uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova

Unutrašnjost uređaja je modelirana u programu Fusion 360. Slika 2.42 prikazuje 3D prikaz prednjeg pogleda na unutrašnjost. Mogu se vidjeti OLED displej (1), RGB tipkalo (2), doza za hitne slučajeve (3), magnetski prekidači koji detektiraju otvorenost glavnih vrata (4) i vrata za dozu (5), karusel (6), bočice (7) i nosač karusela (8).



Slika 2.42: 3D prikaz uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova

Unutarnja struktura uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova se sastoji od dva bočna lima, mosta koji ih povezuje i gornjeg panela od akrilnog stakla koji se pričvršćuje na bočne limove. Slika 2.43 prikazuje most s donje strane s pričvršćenim motorom i baterijskim paketom. Također, ispod mosta prolaze svi vodiči magnetskih prekidača i senzora početnog položaja.



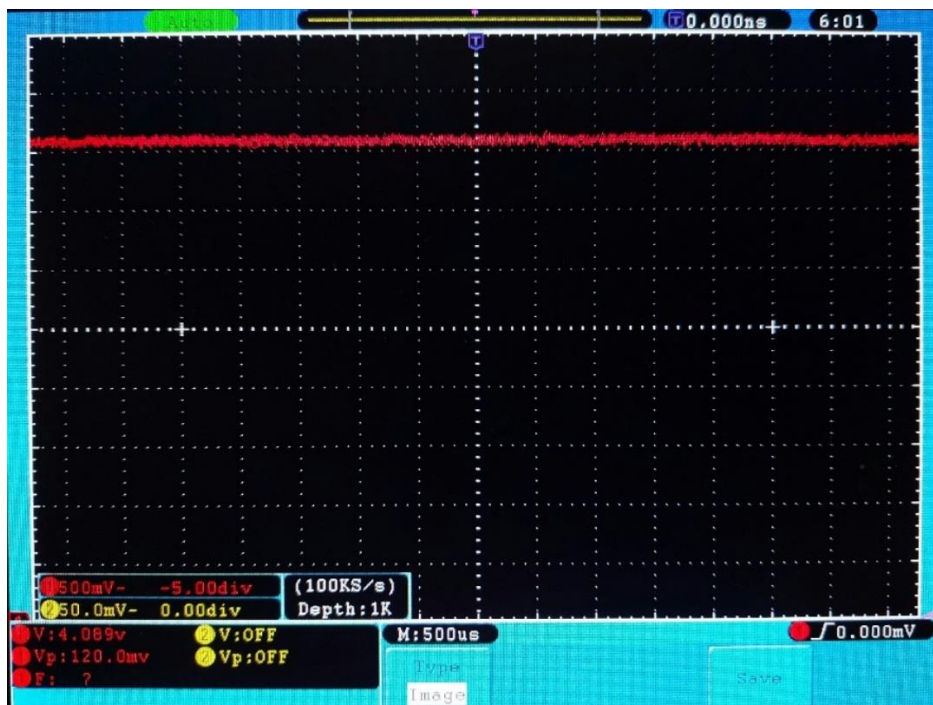
Slika 2.43: Prikaz mosta s donje strane

3. Testiranje elektroničkog dijela uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova

Testiranje elektroničkog dijela uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova se vršilo kroz nekoliko faza.

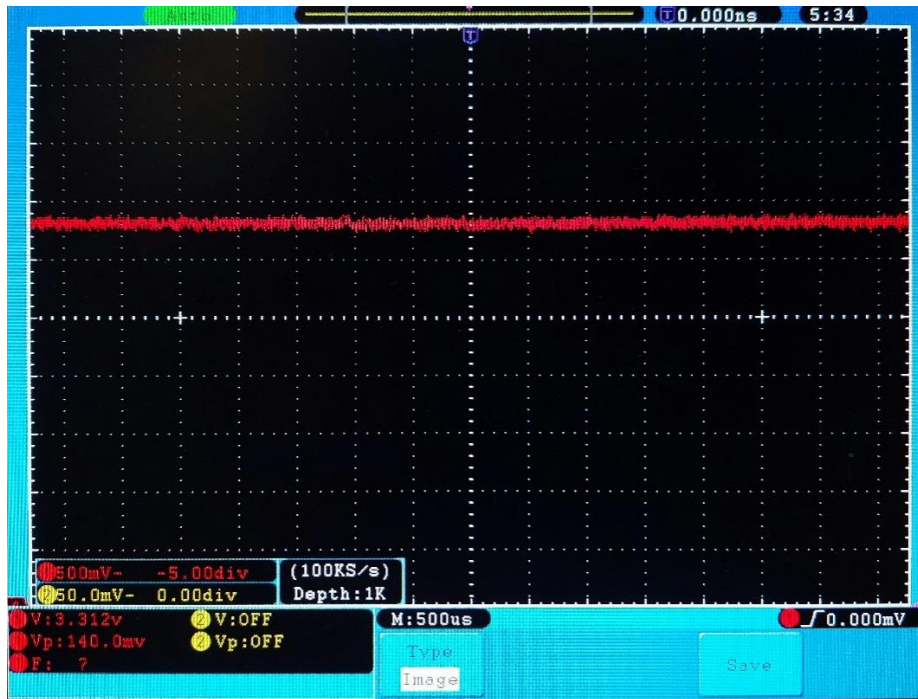
Prva faza testiranja je bila vizualni pregled. Za vizualnu inspekciju je korišten „LINKMICRO LM407“ digitalni mikroskop. Nakon utvrđivanja da je sve u redu te da nema hladnih leмова i kratkih spojeva, tiskana pločica je bila spremna za drugu fazu testiranja.

Druga faza testiranja je priključivanje tiskane pločice na laboratorijski izvor, povezivanje baterije s pločicom te mjerenje napona na tiskanoj pločici. Za sva mjerenja je korišten „multicomp pro MP720012“ digitalni dvokanalni osciloskop koji može mjeriti signale frekvencija do 100 MHz. Mjerenja su provedena pri 500 mV/div i 500 μ S/div. Slika 3.1 prikazuje graf napona iznosa 4.1 V nakon AP3503 silaznog pretvarača. Vpp iznosi 120 mV što znači da napon se iznosa 4.1 V mijenja od 4.04 V do 4.16 V.



Slika 3.1: Prikaz napona iznosa 4.1 V na digitalnom osciloskopu

Slika 3.2 prikazuje graf napona od 3.3 V na izlaznom kondenzatoru LDO stabilizatora. Vpp iznosi 140 mV što znači da se napon mijenja od 3.23 V do 3.37 V. Kako mjerenja nisu provedena u idealnim uvjetima, ne treba isključiti mogućnost utjecanja okoline na njihovu vjerodostojnost.



Slika 3.2: Prikaz napona iznosa 3.3 V na digitalnom osciloskopu

Treća faza testiranja je ispitivanje funkcionalnosti sklopova na tiskanoj pločici. Testni programi su učitavani iz Arduino IDE 2.0.0 programskog razvojnog okruženja. CH9102 uspješno učitava programe na ESP32. *Driver* motora uspješno ubrzava i usporava motor. Slika 3.3 prikazuje rezultate I2C skenera u Arduino razvojnem okruženju. Pronađeni su svi uređaji na I2C sabirnici: 3S1P baterijski paket, LIS2DH12 akcelerometar, MCP23017 proširivač digitalnih ulazno izlaznih jedinica, OLED displej i SHTC3 senzor temperature i vlažnosti zraka.

```
I2C scanner. Scanning ...
Found address: 11 (0xB)
Found address: 25 (0x19)
Found address: 39 (0x27)
Found address: 60 (0x3C)
Found address: 112 (0x70)
Found 5 device(s).
```

Slika 3.3: Rezultat pretrage uređaja na I2C sabirnici

4. Zaključak

Dosadašnji uređaji za udaljeno praćenje lijekova nisu bili dovoljno sigurni da bi se mogli koristiti za visokorizične lijekove i pacijente. Cilj ovog rada bio je omogućiti svim pacijentima liječenje od kuće bez obzira o kojem se lijeku i omogućiti nadležnim ustanovama potpunu kontrolu nad uređajima izvan svojih prostora. Kroz ovaj završni rad razvijen je elektronički dio uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova prema zadanoj specifikaciji. Svi zahtjevi iz korisničke specifikacije uređaja su ispunjeni.

Shema i tiskana pločica su dizajnirane u programskom paketu KiCad. Sve komponente elektroničkog dijela uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova su birane tako da se ispune svi uvjeti naručitelja te da se ostvari što bolja pouzdanost i dugotrajnost uređaja.

ESP32 je mikroupravljač koji povezan sa SIM7000G modulom, akcelerometrom, senzorom temperature, vlažnosti zraka i ostalim senzorima stvara ekosustav uređaja koji ispunjava sve zahtjeve iz zadane korisničke specifikacije. Približava zdravlje udobnosti vlastitog doma te olakšava život mnoštvu pacijenata. LTE omogućuje kontinuiranu komunikaciju uređaja i nadležne ustanove. GPS omogućuje praćenje lokacije uređaja, a baterijski paket rad u trajanju do 6 dana bez vanjskog napajanja. Svako nestručno ili destruktivno rukovanje s uređajem se momentalno prijavljuje nadležnoj ustanovi. Ovaj uređaj je budućnost modernog zdravlja.

Elektronski dio uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova je uspješno testiran s dostupnim instrumentima i uspješno je predan na daljnji razvoj cjelokupnog uređaja.

5. Literatura

- [1] Veleučilište u Bjelovaru, tabletičar; dostupno na:
<https://www.youtube.com/watch?v=xclWjyNpJeM> (26.09.2022)
- [2] morten, Decoupling kondenzatori; dostupno na:
<https://electronics.stackexchange.com/questions/15135/decoupling-caps-pcb-layout?noredirect=1&lq=1> (28.09.2022)
- [3] Altium, Porijeklo 50 omskih vodova; dostupno na:
<https://resources.altium.com/p/mysterious-50-ohm-impedance-where-it-came-and-why-we-use-it> (4.10.2022)
- [4] Diodes Incorporated, AP3053 datasheet; dostupno na:
<https://www.diodes.com/assets/Datasheets/AP3503.pdf> (26.09.2022)
- [5] Smjernice za projektiranje silaznih pretvarača; dostupno na:
https://www.ti.com/lit/an/snva559c/snva559c.pdf?ts=1665578270064&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F (26.09.2022)
- [6] STMicroelectronics, LDF33PT datasheet; dostupno na:
<https://eu.mouser.com/datasheet/2/389/dm00099995-1798111.pdf> (26.09.2022)
- [7] ASLONG, DC motor; dostupno na:
http://www.aslong.net/en/h-pd-121.html#_pp=3_359 (26.09.2022)
- [8] Dynapar, kvadrturni rotacijski enkoder; dostupno na:
https://www.dynapar.com/technology/encoder_basics/quadrature_encoder/ (26.09.2022)
- [9] Toshiba, TB6612FNG datasheet; dostupno na:
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/TB6612FNG.pdf> (26.09.2022)
- [10] Espressif, FreeRTOS opće informacije; dostupno na:
<https://www.freertos.org/about-RTOS.html> (27.09.2022)
- [11] Espressif, ESP32 datasheet; dostupno na:
https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wrover-e_esp32-wrover-ie_datasheet_en.pdf (27.09.2022)
- [12] WCH, CH9102F datasheet; dostupno na:
https://datasheet.lcsc.com/lcsc/2108181630_WCH-Jiangsu-Qin-Heng-CH9102F_C2858418.pdf (30.09.2022)
- [13] Wikipedia, I2C sabirnica; dostupno na:
https://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf?ts=1666322460458&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F (31.09.2022)

- [14] Microchip, MCP23017 IO ekspander datasheet; dostupno na:
<https://www.microchip.com/en-us/product/mcp23017> (31.09.2022)
- [15] Sensirion, SHTC3 datasheet; dostupno na:
<https://sensirion.com/products/catalog/SHTC3/> (31.09.2022)
- [16] STMicroelectronics, LIS2DH12 datasheet; dostupno na:
<https://eu.mouser.com/datasheet/2/389/lis2dh12-1849850.pdf> (31.09.2022)
- [17] SimCOM, SIM7000G datasheet; dostupno na:
https://simcom.ee/documents/SIM7000E/SIM7000%20Hardware%20Design_V1.05.pdf
(3.10.2022)
- [18] JLCPCB, sastav četveroslojne tiskane pločice; dostupno na:
<https://jlcpcb.com/> (6.10.2022)

6. Oznake i kratice

A – Amper, mjerna jedinica za struju

ADC – (*eng. Analog to Digital Converter*) Analogno digitalni pretvarač

BLE – (*Bluetooth Low Energy*) Bluetooth protokol niske potrošnje energije

Bps – (*eng. Bit per second*) Bit po sekundi, brzina prijenosa podataka

C – (*eng. Capacitor*) Kondenzator

CCW – (*eng. Counter Clock-Wise*) Obrnuto od kazaljke na satu

CW – (*eng. Clock-Wise*) U smjeru kazaljke na satu

DAC – (*eng. Digital to Analog Converter*) Digitalno analogni pretvarač

EMI – (*eng. Electro-Magnetic Interference*) Elektromagnetske smetnje

ESR – (*eng. Equivalent Series Resistance*) Ekvivalentni serijski otpor

freeRTOS – (*eng. Free Real Time Operating System*) besplatni operacijski sustav koji radi u stvarnom vremenu

GPIO – (*eng. General Purpose Input Output*) Ulazno izlazni pin generalne namjene

GPS – (*eng. Global Positioning System*) Globalni položajni sustav

GSM – (*eng. Global System for Mobile communications*) Globalni sustav za mobilne komunikacije

IO – (*eng. Input output*) Ulazno izlazni pin

kHz – frekvencija, 1kHz = 1000Hz

L – induktivitet

LDO – (*eng. Low Drop-Out*) Linearni stabilizator čiji je izlazni napon blizu ulaznog napona

LTE – (*eng. Long Term Evolution*) naziv za bežičnu telekomunikacijsku tehnologiju

M2M – (*eng. Machine to Machine*) komunikacija između dva stroja (uređaja)

mAh – miliamper sati, mjerna jedinica za pohranjenu energiju

MBps – (*eng. Megabyte per second*) – megabajta po sekundi, brzina prijenosa podataka

mm - milimetar

MP3 – standard za kompresiju audio podataka

NPN – vrsta tranzistora

OLED – (*eng. Organic Light-Emitting Diodes*) Displej s organskim svjetlosno emitirajućim diodama

PCB – (*eng. Printed Circuit Board*) Tiskana pločica

POS – (*eng. Point of Sale*) Uređaji za plaćanje

PWM – (*eng. Pulse Width Modulation*) impulsno širinska modulacija

R – oznaka za otpornik

RGB – (*eng. Red Green Blue*) kratica za označavanje boja diode

RPM – rotacija po minuti

SIM – (*eng. Subscriber Identification Module*) skrećenica za kartice koje se koriste u mobilnim uređajima

SMD – (*eng. Surface Mount Device*) vrsta elektroničkih komponenata namijenjena za površinsku montažu

SPI – (*eng. Serial Peripheral Interface*) vrsta sučelja za prijenos podataka

UART – (*eng. Universal Asynchronous receiver-transmitter*) vrsta prijenosa podataka

USB – (*eng. Universal Serial Bus*)

V – Volt, oznaka za napon

VCC – (*eng. Common Collector Voltage*) naziv pozitivnog napajanja na elektroničkim shemama

VUB – Veleučilište u Bjelovaru

Wh – Watsat, mjerna jedinica za energiju

7. Sažetak

Naslov: Razvoj elektroničkog dijela uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova

U ovom radu opisan je razvoj elektroničkog dijela uređaja za udaljeno praćenje uzimanja lijekova. Cilj ovog uređaja jest omogućiti pacijentima liječenje kod kuće uz potpunu kontrolu uzimanja lijekova od strane nadležnih ustanova. Izrađena je i opisana električna shema uređaja koja se sastoji od ESP mikroupravljača, GPS i LTE modula, akcelerometra, senzora temperature i vlage, OLED displeja, DC motora i drugih elektroničkih komponenti, uređaja i sklopova. Proveden je i opisan dizajn i proizvodnja četveroslojne tiskane pločica. Uređaj za udaljeno praćenje uzimanja lijekova je montiran u kućište i provedeno je njegovo testiranje.

Ključne riječi: udaljeno praćenje uzimanja lijekova, četveroslojna tiskana pločica, ESP32, SIM700G

8. Abstract

Title: Development of the Electronic Part of the Device for Remote Monitoring of Drug Intake

This paper describes the development of the electronic part of the device for remote monitoring of drug intake. The goal of this device is to enable remote healthcare for all patients with complete control over drug intake by responsible institutions. The electrical schematic of the device, which consists of an ESP microcontroller, GPS and LTE modules, accelerometer, temperature and humidity sensors, OLED display, DC motor and other components, was created and described. The design and production of a 4-layer PCB was conducted and described. Electronic part of the device for remote monitoring of drug intake was mounted in the housing and its testing was conducted.

Keywords: Remote Monitoring of Drug Intake, 4-layer PCB, ESP32, SIM7000G

IZJAVA O AUTORSTVU ZAVRŠNOG RADA

Pod punom odgovornošću izjavljujem da sam ovaj rad izradio/la samostalno, poštujući načela akademske čestitosti, pravila struke te pravila i norme standardnog hrvatskog jezika. Rad je moje autorsko djelo i svi su preuzeti citati i parafraze u njemu primereno označeni.

Mjesto i datum	Ime i prezime studenta/ice	Potpis studenta/ice
U Bjelovani, Listopad 2022	Vedran Jasić	Vedran Jasić

Prema Odluci Veleučilišta u Bjelovaru, a u skladu sa Zakonom o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju, elektroničke inačice završnih radova studenata Veleučilišta u Bjelovaru bit će pohranjene i javno dostupne u internetskoj bazi Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu. Ukoliko ste suglasni da tekst Vašeg završnog rada u cijelosti bude javno objavljen, molimo Vas da to potvrdite potpisom.

Suglasnost za objavljivanje elektroničke inačice završnog rada u javno dostupnom nacionalnom repozitoriju

Vedran Josić

ime i prezime student/ice

Dajem suglasnost da se radi promicanja otvorenog i slobodnog pristupa znanju i informacijama djeloviti tekst mog završnog rada pohrani u repozitorij Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu i tako učini javno dostupnim.

Svojim potpisom potvrđujem istovjetnost tiskane i elektroničke inačice završnog rada.

U Bjelovaru, Listopad 2022

Vedran Josić

potpis student/ice