

Sustav za udaljeno prikupljanje i praćenje tjelesnih parametara osobe

Lubina, Niko

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:294114>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 1446

**SUSTAV ZA UDALJENO PRIKUPLJANJE I PRAĆENJE
TJELESNIH PARAMETARA OSOBE**

Niko Lubina

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

DIPLOMSKI RAD br. 1446

**SUSTAV ZA UDALJENO PRIKUPLJANJE I PRAĆENJE
TJELESNIH PARAMETARA OSOBE**

Niko Lubina

Zagreb, lipanj 2024.

DIPLOMSKI ZADATAK br. 1446

Pristupnik: **Niko Lubina (0036484601)**
Studij: Informacijska i komunikacijska tehnologija
Profil: Obradba informacija
Mentorica: prof. dr. sc. Sonja Grgić

Zadatak: **Sustav za udaljeno prikupljanje i praćenje tjelesnih parametara osobe**

Opis zadatka:

Razvojem tehnologije senzora i mikroelektronike moguće je izraditi lagane i male uređaje koji se mogu svakodnevno nositi, a koriste se za prikupljanje i praćenje tjelesnih parametara osobe. Cilj rada je izraditi funkcionalni sustav za praćenje tjelesnih parametara osobe koji će biti jednostavan za upotrebu i pružiti korisne informacije o stanju zdravlja osobe. Središnji dio sustava je mikrokontroler na koji će biti spojeni senzori i koji će upravljati svim ostalim funkcijama sustava. Senzori koji mogu biti korišteni su senzori za očitavanje tjelesne temperature, srčanog ritma, krvnog tlaka i razine kisika u krvi. Potrebno je provesti odabir senzora za praćenje odgovarajućih tjelesnih funkcija i programiranje mikrokontrolera radi omogućavanja prikupljanja podataka sa senzora i njihove obrade. Izraditi bazu prikupljenih podataka, realizirati bežičnu komunikaciju s drugim uređajima i prikupljene podatke spremiti u oblaku. Oblikovati grafičko sučelje za prikaz prikupljenih podataka i dati primjere rezultata mjerenja. Implementirati model strojnog učenja koji će tražiti trendove u prikupljenim podacima i otkrivati anomalije.

Rok za predaju rada: 28. lipnja 2024.

Zahvaljujem svim profesorima, prijateljima i obitelji koji su svojim prisustvom i podrškom oblikovali moj osobni i akademski razvoj tijekom godina. Posebno bih se zahvalio svojoj mentorici, prof. dr. sc. Sonji Grgić, na stručnoj podršci i vodstvu prilikom izrade ovog rada. Na kraju, posebnu zahvalnost dugujem svojoj obitelji - stricu Željku, sestri Matiji, a posebno roditeljima Mirku i Nadi, koji su uvijek bili uz mene i dijelili svaki moj uspjeh.

Sadržaj

Uvod.....	4
1. Tehnologije praćenja tjelesnih funkcija i izazovi	5
2. Odabir mikroprocesorske platforme i senzora.....	7
2.1 Odabir mikroprocesorske platforme	7
2.1.1 Ključni zahtjevi za mikroprocesorsku platformu	7
2.1.2 Analiza potencijalnih platformi.....	9
2.2 Odabir senzora	11
2.2.1 Pregled uređaja i najčešćih senzora	12
2.2.2 Pregled resursa i referentnih dizajna	13
2.3. Odabir čipova.....	15
2.4. Pulsna oksimetrija	19
3. Arhitektura i projektiranje sustava	22
3.1. Objašnjenje arhitekture	22
3.2. I2C Protokol	24
3.3. Projektiranje sustava.....	28
3.3.1. Kreiranje i korištenje biblioteka u Altium Designeru.....	28
3.3.2. Izrada shematskog prikaza.....	29
3.3.3. Projektiranje PCB-a	32
3.4. Izrada pločice.....	35
4. Proces sastavljanja PCB-a i 3D kućišta	36
4.1. Dodavanje komponenata na pločicu	36
4.2. Izrada i sastavljanje 3D kućišta	40
5. Razvoj programske podrške i web-komunikacija	43
5.1. Programska podrška	43
5.2. Inicijalizacija i postavljanje uređaja.....	44
5.3. Web-komunikacija.....	45
5.4. Upravljački programi	47
5.5. Upravljački program za EKG - AD8232	49
5.6. Grafičko sučelje	50
6. Skladištenje i prikazivanje podataka	51
6.1. Uvod u komunikaciju između komponenti	51
6.2. Postavljanje serverske infrastrukture.....	52
6.3. Skladištenje podataka u MongoDB bazi.....	53

6.4. Dohvaćanje podataka za prikaz na korisničkom sučelju	54
6.5. Postavljanje serverske aplikacije na cloud platformu.....	55
7. Idući koraci – implementacija strojnog učenja.....	56
Zaključak	58
Literatura	59
Naslov, sažetak i ključne riječi	66
Title, summary and keywords	67

Uvod

U današnjem svijetu digitalizacije i brzog napretka nosivih tehnologija, uređaji za praćenje fizičkih parametara, poput otkucaja srca, tjelesne temperature, zasićenosti kisikom i aktivnosti, postali su široko rasprostranjeni. Ovi uređaji korisnicima omogućuju uvid u njihovo zdravstveno stanje te igraju važnu ulogu u prevenciji zdravstvenih problema i unaprjeđenju osobnog zdravlja. Iako su uređaji poput pametnih satova i fitness narukvica iznimno popularni, oni ne pružaju sveobuhvatan sustav za mjerenje svih ključnih biometrijskih parametara koje naš uređaj omogućuje, kao što su elektrokardiografski signali i precizno mjerenje tjelesne temperature, posebno tijekom fizičkih aktivnosti.

Cilj ovog rada je razvoj sustava koji objedinjuje više važnih biometrijskih senzora u jedinstveni uređaj, prilagođen za praćenje različitih parametara korisnika u stvarnom vremenu. Korištenjem mikrokontrolerske platforme i integracijom senzora zasićenosti kisikom, mjerenja pulsa i infracrvenog mjerenja tjelesne temperature, uz mogućnost buduće implementacije modula za elektrokardiogram, razvijen je modularni uređaj koji se može nositi na zapešću i bicepsu korisnika.

Ovaj rad detaljno prikazuje sve korake u izradi uređaja, uključujući odabir komponenata, razvoj programske podrške, te dizajn tiskane ploče i prilagođenog kućišta. Prototip uređaja ostavlja prostora za daljnji razvoj, a podaci prikupljeni putem uređaja mogu se prikazivati u stvarnom vremenu na lokalnom ekranu ili slati na udaljeni poslužitelj za analizu i pohranu.

1. Tehnologije praćenja tjelesnih funkcija i izazovi

Tehnologija nosivih uređaja za praćenje tjelesnih funkcija u posljednjih nekoliko godina doživjela je značajan napredak. Pametni satovi i fitness narukvice postali su neizostavni dio svakodnevnog života velikog broja ljudi, pružajući informacije o otkucajima srca, broju koraka, potrošenim kalorijama i kvaliteti sna. Međutim, unatoč velikoj popularnosti i širokom spektru funkcija, postojeći uređaji i dalje imaju određena ograničenja.

Primjerice, pametni satovi poput Apple Watcha i Garmina omogućuju korisnicima praćenje brojnih parametara, ali nemaju mogućnost preciznog mjerenja EKG-a. Iako neki modeli mogu ponuditi osnovna očitavanja otkucaja srca putem optičkih senzora, točnost tih podataka opada tijekom intenzivnih fizičkih aktivnosti, kada je posebno važno imati točne podatke [1]. Osim toga, optički senzori za mjerenje pulsa često gube preciznost zbog lošeg položaja uređaja na zapešću [2].

S druge strane, pametne trake (*eng. chest bands*) nude pouzdanija očitavanja EKG-a, jer koriste elektrode koje dolaze u izravan kontakt s kožom na prsima. Međutim, ove trake imaju svoje nedostatke - ograničene su funkcionalnosti i ne nude praćenje drugih bitnih parametara, poput koraka ili kvalitete sna, što ih čini nepraktičnim za svakodnevno korištenje izvan specifičnih sportskih aktivnosti [3].

Jedan od izazova nosivih uređaja je i nepreciznost u mjerenju temperature. Mjerenje temperature na zapešću ne odražava točno tjelesnu temperaturu, jer je zapešće udaljeno od središta tijela i stoga hladnije [4]. Ovaj nedostatak smanjuje korisnost ovih uređaja kada se radi o praćenju važnih parametara poput groznice ili temperaturnih fluktuacija tijekom fizičke aktivnosti.

U novije vrijeme, pametni prsteni (*eng. smart rings*) počinju se pojavljivati na tržištu, nudeći novi pristup praćenju vitalnih funkcija. Zbog svoje pozicije na prstu, gdje su vene bliže površini kože, pametni prsteni mogu omogućiti preciznija očitavanja otkucaja srca i zasićenosti krvi kisikom. Iako je ova tehnologija još uvijek u razvoju, pametni prsteni predstavljaju zanimljiv smjer u razvoju nosivih uređaja, a njihovo usavršavanje u nadolazećim godinama moglo bi dovesti do daljnjih inovacija u praćenju tjelesnih funkcija [5].

S obzirom na ograničenja postojećih tehnologija, ovaj rad se bavi razvojem uređaja koji će ponuditi sveobuhvatniji pristup praćenju fizičkih parametara korisnika. Kombinacijom različitih senzora i preciznim dizajnom, cilj je razviti sustav koji će omogućiti točno i pouzdano praćenje EKG-a, temperature tijela, zasićenosti krvi kisikom i ostalih ključnih parametara, što će unaprijediti postojeće uređaje i riješiti njihove nedostatke.

2. Odabir mikroprocesorske platforme i senzora

2.1 Odabir mikroprocesorske platforme

Odabir odgovarajuće mikroprocesorske platforme bio je ključan za osiguravanje funkcionalnosti, energetske učinkovitosti i pouzdane komunikacije unutar sustava za praćenje tjelesnih funkcija. Platforma je morala zadovoljiti specifične tehničke zahtjeve, poput podrške za komunikaciju sa sensorima, bežične povezivosti te rada na niskoj naponskoj razini prikladnoj za baterijsko napajanje.

2.1.1 Ključni zahtjevi za mikroprocesorsku platformu

Za razvoj ovog sustava definirani su sljedeći zahtjevi: komunikacija sa sensorima, bežična povezanost, modularnost, te sučelje za ekran.

Sustav zahtijeva najmanje dva I2C sučelja ili kombinaciju I2C i SPI sučelja kako bi omogućio neovisnu komunikaciju s različitim sensorima. Korištenje dva sučelja omogućuje istovremenu razmjenu podataka sa sensorima bez preopterećenja jednog kanala, čime se osigurava brza i stabilna komunikacija.

Bežična povezanost mora uključivati Wi-Fi komunikaciju za prijenos podataka na vanjske uređaje ili poslužitelje, dok je Bluetooth opcionalan, ali poželjan za lokalnu komunikaciju s mobilnim uređajima ili računalima. Ovakva bežična povezanost omogućuje prikupljanje i slanje podataka u stvarnom vremenu, eliminirajući potrebu za kablskom vezom.

Platforma mora biti dostupna kao gotov modul s integriranom antenom ili konektorom za vanjsku antenu, jer implementacija RF antene i perifernih sustava nadilazi opseg ovog rada. Ova modularnost olakšava integraciju u sustav, budući da su ključni elementi kao što su bežična povezanost i sučelje za senzore već integrirani, što skraćuje razvojni ciklus i smanjuje mogućnost grešaka.

Također, platforma mora podržavati prikaz podataka na ekranu kako bi korisnik mogao pratiti rezultate mjerenja u stvarnom vremenu, uključujući parametre poput otkucaja srca i tjelesne temperature.

Na kraju, sustav radi na naponskoj razini od 3.3 V, što je prilagođeno korištenim čipovima i omogućuje stabilan rad unutar raspona napona standardnih litij-polimer baterija.

2.1.2 Analiza potencijalnih platformi

Razmatrane su četiri platforme koje su uspoređene na temelju svojih tehničkih karakteristika i mogućnosti.

Raspberry Pi Zero je snažna platforma, ali neprikladna za ovaj projekt zbog visoke potrošnje energije i većih dimenzija [6]. Visoka potrošnja čini ga neprikladnim za nosive uređaje koji rade na baterijsko napajanje, dok veće dimenzije otežavaju integraciju u kompaktne dizajne. Iako nudi izvrsne performanse, njegova energetska neučinkovitost i veće dimenzije čine ga nepraktičnim za ovu primjenu.

STM32 je industrijski standard, jednostavan za korištenje i dobro dokumentiran. Međutim, nedostatak za ovu namjenu je to što STM32 ne podržava nikakav bežični protokol bez vanjskih modula [7]. Za bežičnu komunikaciju bilo bi potrebno dodati vanjske module za Wi-Fi ili Bluetooth. Postoje nekoliko modela STM32 mikrokontrolera s ugrađenom komunikacijom, ali su relativno skupi, što ih čini manje prikladnim za ovaj projekt.

Nordic NRF serija mikrokontrolera je solidan odabir za sve naše zahtjeve. Nudi podršku za Bluetooth i Wi-Fi komunikaciju putem modula, te ima nisku potrošnju energije, što je važno za nosive uređaje [8]. Moduli proizvedeni od trećih strana dodatno proširuju mogućnosti platforme i omogućuju lakšu integraciju u projekte. NRF serija je vrlo fleksibilna, a postoje i moduli s integriranim RF komunikacijskim opcijama koji zadovoljavaju sve naše zahtjeve.

ESP32-S3 se pokazao kao optimalan izbor za ovaj projekt. To je prva platforma koja je ponudila integrirani Wi-Fi, čime je postala vrlo popularna među hobbistima i profesionalcima. Osim mogućnosti Wi-Fi povezivanja, ESP32-S3 nudi i Bluetooth podršku, dva I2C sučelja za neovisnu komunikaciju sa sensorima te radi na 3.3V, što ga čini idealnim za sustave napajane baterijom [9]. Njena modularnost, ugrađena antena i mogućnost korištenja vanjske antene pojednostavljuju integraciju te pružaju fleksibilnost u različitim scenarijima korištenja.

Za ovaj projekt odabran je T-Display-S3 modul proizvođača LILYGO (slika 1.) koji nudi sljedeće funkcionalnosti:

- 2.4 GHz Wi-Fi (IEEE 802.11b/g/n),
- Bluetooth 5 (LE),
- ugrađenu antenu s opcionalnim konektorom za vanjsku antenu,
- 16 MB flash memorije,
- 2 I2C sučelja,
- ugrađeni ekran dijagonale 1.9 inča s rezolucijom 320x170,
- DCDC pretvornik za 3.3V liniju,
- sklop za punjenje litij-polimer baterije,
- dva programibilna tipkala.



Slika 1. Prikaz LILYGO T-Display ESP32-S3 modula [10]

ESP32-S3 zadovoljava sve tehničke zahtjeve projekta, a njena niska cijena, popularnost u industriji i široka podrška zajednice čine ju idealnom platformom za razvoj ovog sustava.

2.2 Odabir senzora

U prijašnjim poglavljima definirani su ključni parametri koje naš sustav mora mjeriti, kao što su otkucaji srca, zasićenost kisikom, temperatura tijela i tjelesna aktivnost. U ovoj fazi potrebno je odabrati senzore koji pouzdano pokrivaju sve te mjerne vrijednosti, uzimajući u obzir ograničenja nosivih uređaja, poput potrošnje energije i dimenzija.

Da bi se napravila selekcija senzora, moguće je koristiti nekoliko metoda [11]. Prva metoda je kontaktiranje proizvođača čipova putem zahtjeva za informacijama (RFI – *eng. request for information*), što uključuje direktno traženje tehničkih informacija od proizvođača.

Druga metoda je analiza konkurentnih uređaja, gdje se uspoređuju trenutni nosivi uređaji kako bi se razumjelo koje senzore oni koriste.

Treća metoda podrazumijeva pregled ponude distributera čipova. Analizom ponude distributera poput Sparkfuna i Adafruita, mogu se odabrati senzori koji dolaze s gotovim "breakout" modulima, što olakšava testiranje i integraciju u prototip. Ovi moduli često dolaze s odgovarajućom tehničkom dokumentacijom što ubrzava razvoj.

Četvrta metoda je pregled tzv. referentnih dizajna. Referentni dizajni, koje obično nude proizvođači čipova, predstavljaju unaprijed provjerene primjere korištenja senzora u specifičnim aplikacijama. Oni obuhvaćaju tehničke sheme, preporuke za integraciju i optimizaciju, te omogućuju sigurniji razvoj i bržu integraciju senzora u sustav.

U ovom radu korištene su posljednje tri metode, koje su omogućile bržu evaluaciju i implementaciju senzora u projekt.

2.2.1 Pregled uređaja i najčešćih senzora

Kako bi se odabrali odgovarajući senzori za mjerenje tjelesnih funkcija u sustavu, napravljena je analiza postojećih nosivih uređaja. Pregledom pametnih satova, pametnih traka i pametnih prstenova identificirani su najčešći senzori koji se koriste u komercijalnim rješenjima. Ovaj pregled daje uvid u trenutne industrijske standarde i omogućuje bolje razumijevanje koje bi senzore trebalo uključiti u dizajn našeg uređaja.

Pametni satovi najčešće koriste sljedeće senzore:

- Infracrveni senzor pulsa/kisika: Ovaj senzor je najčešći za mjerenje otkucaja srca i zasićenosti kisikom. Iako daje dovoljno precizne rezultate u mirovanju, pokazuje određene nedostatke tijekom intenzivnih aktivnosti, posebno zbog izraženih pokreta ruku.
- EKG: Neki moderniji pametni satovi nude mogućnost mjerenja EKG signala, no to je moguće samo kada korisnik drži određenu elektrodu suprotnom rukom od one na kojoj nosi sat. Ovo rješenje nije praktično za kontinuirano praćenje tijekom fizičkih aktivnosti.
- Barometar: Senzor koji omogućuje praćenje nadmorske visine, koristan za aktivnosti poput planinarenja.
- Akcelerometar: Ovaj senzor prati intenzitet aktivnosti i mjeri prijedene korake.
- Senzor temperature: Iako može dati indikacije o tjelesnoj temperaturi, mjerenje na zapešću nije dovoljno precizno te često ne odražava stvarnu tjelesnu temperaturu.

Pametne trake najčešće koriste sljedeće senzore:

- EKG: Pametne trake obično imaju elektrode postavljene preko prsnog koša, što omogućuje preciznije i kontinuirano mjerenje EKG signala tijekom aktivnosti. Ovo rješenje je stabilnije u odnosu na pametne satove [2].
- Akcelerometar: Koristi se za praćenje aktivnosti i kretanja korisnika.

Pametni prsteni:

- Infracrveni senzor pulsa: Pametni prsteni su relativno nova tehnologija koja tek počinje dobivati na popularnosti. Oni koriste različite senzore, no infracrveni senzor pulsa predstavlja najveći iskorak. Iako je ovaj senzor bio prisutan i ranije, podaci očitani s prsta su sada vjerodostojniji u odnosu na one očitane sa zapešća, kao što je bio slučaj kod pametnih satova. Stabilnija pozicija prstiju u odnosu na zapešće, koje je izloženije pokretima tijekom aktivnosti, omogućuje preciznije i pouzdanije mjerenje pulsa [5].

2.2.2 Pregled resursa i referentnih dizajna

Kako bi se olakšao odabir senzora za sustav, analizirani su dostupni resursi koji uključuju razvojne pločice (*eng. breakout boards*) i referentne dizajne. Iako razvojne pločice mogu biti korisne za inicijalno testiranje, u ovom projektu primarno su korišteni referentni dizajni koje pružaju proizvođači čipova. Ovi dizajni omogućuju bržu integraciju senzora u sustav i pružaju već testirana rješenja za primjenu u specifičnim uređajima, poput nosivih tehnologija.

Razvojne pločice su tiskane pločice s minimalnim elektroničkim komponentama potrebnim za rad određenog čipa [12]. Proizvođači poput Sparkfun-a i Adafruit-a nude velik broj takvih modula. Korištenje ovih pločica olakšava testiranje i omogućuje brzu evaluaciju senzora prije dizajna vlastitih PCB-ova. Iako razvojne pločice nisu korištene u ovom projektu, one su česta prva faza u razvoju kompleksnijih sustava.

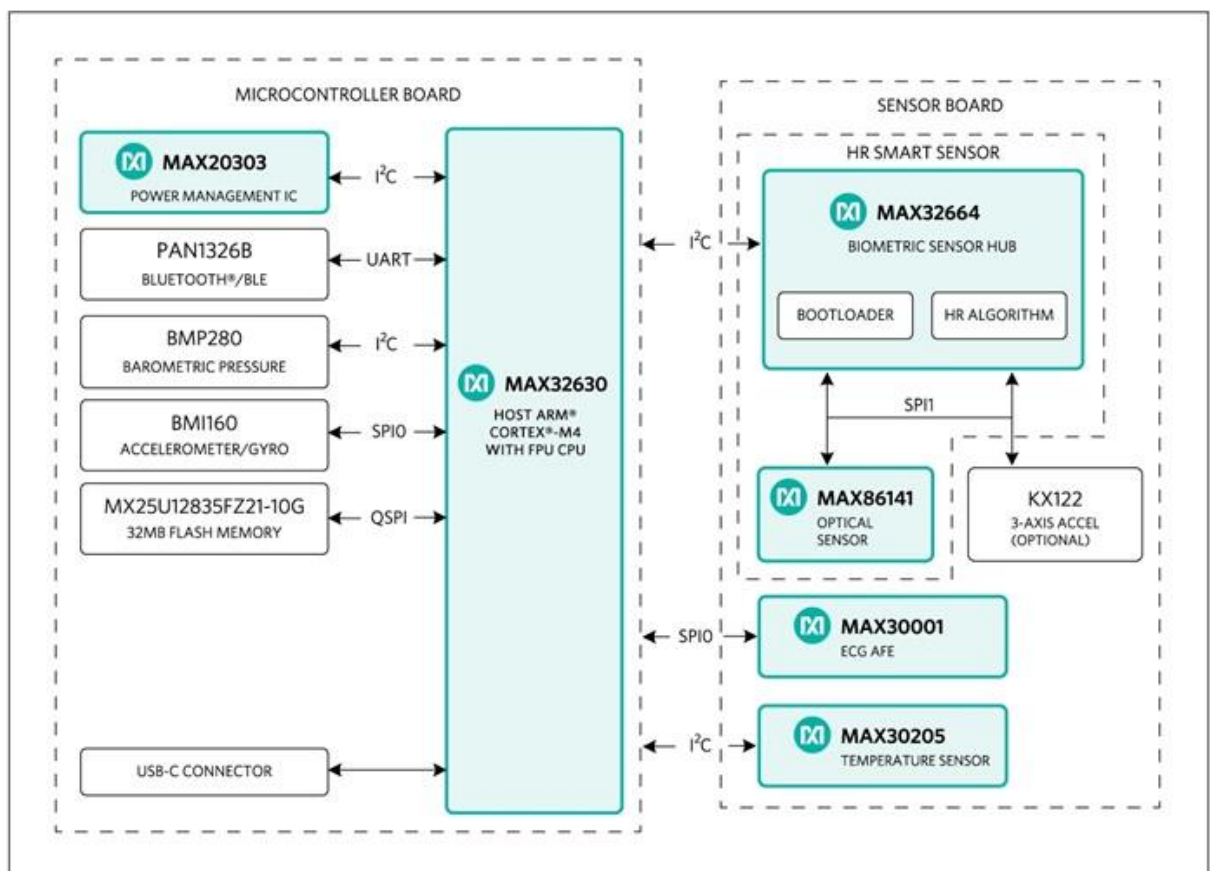
Referentni dizajni su gotova rješenja koje proizvođači čipova pružaju za bržu integraciju senzora u određene aplikacije [13]. Ovi dizajni sadrže tehničku dokumentaciju, sheme povezivanja i optimizirane algoritme za prikupljanje podataka sa senzora. Korištenjem referentnih dizajna uvelike se smanjuje vrijeme razvoja te se minimiziraju rizici od pogrešaka prilikom implementacije.

Dva ključna referentna dizajna korištena u ovom projektu su:

- MAXREFDES100: Ovaj referentni dizajn [14] integrira više senzora, uključujući EKG, akcelerometar, i ostale biometrijske senzore. Pruža detaljnu tehničku dokumentaciju i sheme povezivanja, koje su poslužile kao inspiracija za izradu našeg sustava. Tehnička rješenja iz ovog dizajna omogućila su nam da

oblikujemo naš pristup integraciji senzora u nosive uređaje za praćenje vitalnih parametara.

- MAXREFDES101: Ovaj dizajn specifično je kreiran za nosive uređaje, kao što su pametni satovi, i nudi integraciju infracrvenog senzora za mjerenje kisika u krvi, kontaktnog temperaturnog senzora, EKG senzora i akcelerometra (slika 2). Dizajn [15] nudi kompletnu tehničku podršku, uključujući sheme povezivanja, algoritme za obradu podataka sa senzora, kao i primjere kodova i vodiče za integraciju.



Slika 2. Dizajn MAXREFDES101 s integriranim sensorima

Korištenjem ovih referentnih dizajna, senzori su brzo integrirani u sustav, omogućujući precizno mjerenje vitalnih parametara korisnika, poput otkucaja srca, EKG-a i zasićenosti kisikom, bez potrebe za razvojem vlastitih elektroničkih sklopova.

2.3. Odabir čipova

Na temelju analize referentnih dizajna i zahtjeva postavljenih za sustav, odabrani su specifični čipovi koji omogućuju precizno mjerenje svih potrebnih parametara: zasićenost kisikom, otkucaji srca, tjelesna temperatura, EKG i kretanje. Odabrani su čipovi zbog svoje kompatibilnosti s nosivim uređajima, male potrošnje energije i jednostavne integracije u sustav.

Za mjerenje kretanja korišten je ADXL345 akcelerometar (slika 3.). Ovaj čip omogućuje praćenje ubrzanja u tri osi (x, y, z), a putem tih podataka moguće je izračunati parametre poput koraka i potrošnje energije. ADXL345 radi na principu mjerenja promjena u kapacitivnosti između mikroskopskih struktura unutar senzora, koje se pomiču kada dolazi do ubrzanja [16]. Ove promjene kapacitivnosti pretvaraju se u digitalni signal, koji mikrokontroler koristi za izračun ubrzanja u različitim smjerovima.



Slika 3. ADXL345 akcelerometar [17]

Za mjerenje EKG signala korišten je AD8232 čip, slika 4. Ovaj čip koristi operacijske pojačivače za pojačanje i filtriranje bioelektričnih signala srca, omogućujući precizna mjerenja EKG signala [18]. Njegova primjena omogućava jednostavnu integraciju EKG funkcionalnosti u nosive uređaje, osiguravajući pouzdano praćenje otkucaja srca korisnika tijekom fizičkih aktivnosti.



Slika 4. AD8232 EKG AFE čip [19]

Za mjerenje ambijentalne temperature korišten je BME280 environment senzor, slika 5. Ovaj senzor ima sposobnost mjerenja tri parametra: ambijentalne temperature, vlažnosti zraka i tlaka zraka. U okviru ovog projekta korištena je samo funkcionalnost mjerenja temperature, dok vlažnost i tlak nisu bili potrebni. BME280 koristi MEMS tehnologiju (mikroelektromehanički sustav) [20] koja omogućuje pretvaranje fizičkih promjena u električne signale. U budućim nadogradnjama ovog rada, ovaj senzor bi se mogao koristiti i za mjerenje tlaka zraka kako bi se omogućilo izračunavanje nadmorske visine, što bi bilo korisno za korisnike tijekom aktivnosti poput planinarenja.



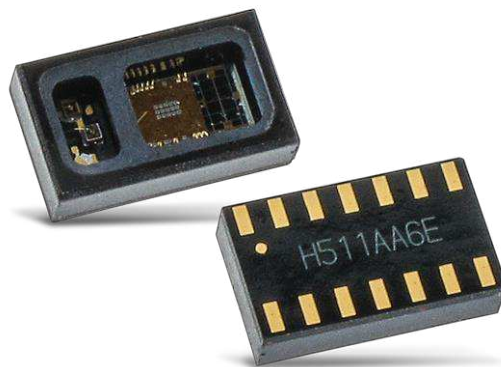
Slika 5. BME280 environment senzor [20]

Za mjerenje tjelesne temperature korišten je infracrveni senzor MLX90614, slika 6. Ovaj senzor radi na principu detekcije infracrvenog zračenja koje tijelo emitira te podatke pretvara u temperaturnu vrijednost [21]. Ovakav tip senzora ne mora biti u kontaktu s kožom (obično je udaljen oko 15 cm od tijela, primjerice čela), no radi jednostavnosti naše implementacije, biti će postavljen blizu kože, što će za potrebe ovog rada dati dovoljno dobru aproksimaciju.



Slika 6. MLX90614 infracrveni senzor

Za mjerenje otkucaja srca i zasićenosti kisikom korišten je MAX30102 LED + Photodiode senzor, slika 7. Čip kombinira infracrvenu i crvenu LED diodu s fotodiodom koja detektira reflektiranu svjetlost. Promjene u apsorpciji svjetlosti kroz krvne žile omogućuju izračun zasićenosti kisikom te otkucaje srca. Ovaj proces radi na principu da svjetlost različitih valnih duljina prodire kroz kožu i reflektira se ovisno o protoku krvi, čime se mogu precizno detektirati vitalni parametri [22].



Slika 7. MAX30102 LED + Photodiode senzor [23]

Za obradu podataka prikupljenih s MAX30102 senzora korišten je MAX32664 Biometric Sensor Hub, slika 8. Ovaj čip preuzima podatke sa senzora, obrađuje ih koristeći napredne algoritme za izračun otkucaja srca i zasićenosti kisikom, te ih zatim šalje mikrokontroleru u obliku gotovih vrijednosti [24]. Korištenjem ovog čipa smanjuje se opterećenje glavnog procesora, a brzina obrade podataka se povećava, čime se osigurava precizno i pravovremeno praćenje vitalnih funkcija korisnika.



Slika 8. MAX32664 Biometric Sensor Hub [25]

2.4. Pulsna oksimetrija

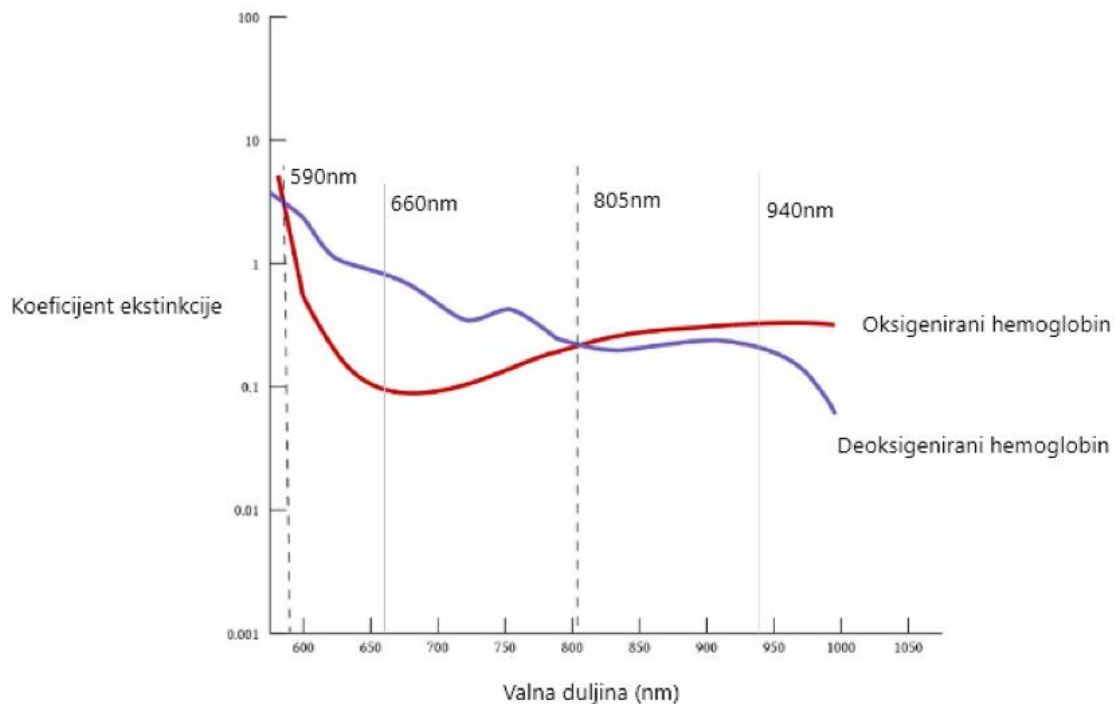
Pulsna oksimetrija se temelji na korištenju dviju LED dioda koje emitiraju svjetlost različitih valnih duljina - crvena (~660 nm) i infracrvena (~940 nm) [26].

Hemoglobin u krvi različito apsorbira te valne duljine ovisno o tome je li obogaćen kisikom (oxyHb) ili nije (deoxyHb). Hemoglobin obogaćen kisikom (oxyHb) jače apsorbira infracrvenu svjetlost, dok neoksigenirani hemoglobin (deoxyHb) apsorbira više crvene svjetlosti. Korištenjem fotodiode koja mjeri reflektiranu svjetlost moguće je analizirati odnos između apsorpcije svjetlosti na tim dvjema valnim duljinama, slika 9. Omjer apsorpcije dviju valnih duljina može se izraziti formulom:

$$R = \frac{\frac{AC_{660}}{DC_{660}}}{\frac{AC_{940}}{DC_{940}}}$$

gdje su AC_{660} i AC_{940} promjene u apsorpciji svjetlosti na crvenoj (660 nm) i infracrvenoj (940 nm) valnoj duljini uzrokovane promjenama u protoku krvi tijekom otkucaja srca (pulsa).

DC_{660} i DC_{940} su konstantni dijelovi signala koji odgovaraju osnovnom protoku krvi.



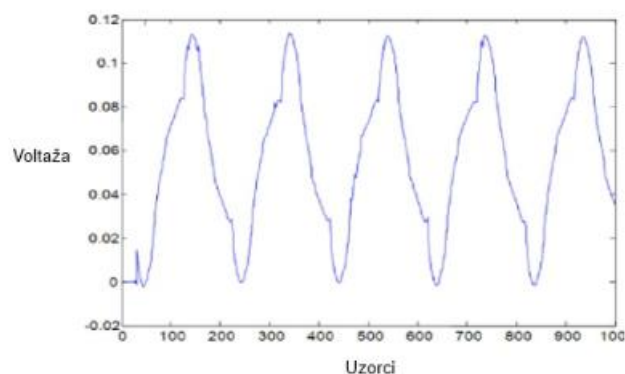
Slika 9. Graf apsorpcije deoksigeniranog i oksigeniranog hemoglobina u pulsnoj oksimetriji [26]

Iz omjera R i korištenjem kalibracijskih podataka koje daje proizvođač senzora (ili iz referentnih tablica iz publikacija i znanstvenih radova), može se izračunati zasićenost krvi kisikom (SpO_2). Taj omjer služi za dobivanje točne vrijednosti zasićenosti kisikom jer varijacije u apsorpciji svjetlosti omogućuju prepoznavanje razlika između $oxyHb$ i $deoxyHb$ [26].

U teoriji, sve ove izračune bi trebalo provoditi ručno. Međutim, u našem sustavu korišten je MAX32664 Biometric Sensor Hub, koji automatski prikuplja i obrađuje podatke s MAX30102 senzora te izvodi sve potrebne izračune. Hub koristi unaprijed definirane algoritme za precizno izračunavanje zasićenosti kisikom i broja otkucaja srca, te šalje gotove rezultate mikrokontroleru ESP32 S3, čime se smanjuje opterećenje glavnog sustava za obradu podataka [24].

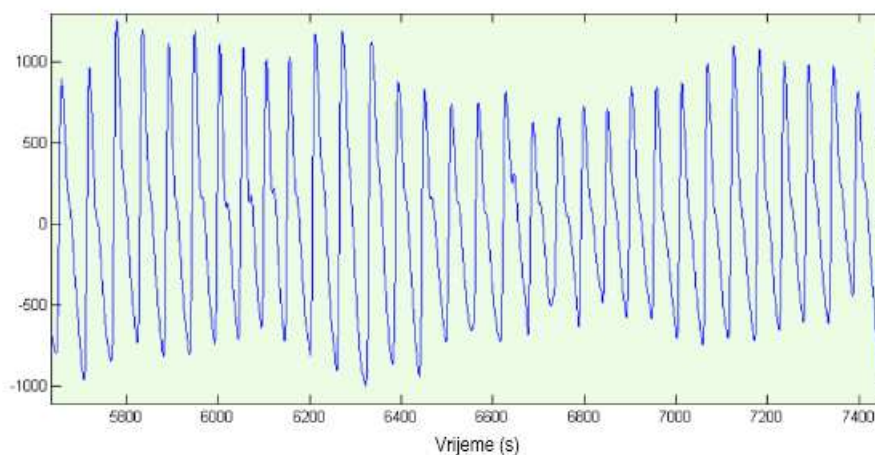
Osim toga, Biometric Sensor Hub koristi napredne algoritme za eliminaciju netočnih mjerenja uzrokovanih pokretima. Budući da se svjetlost iz crvene i infracrvene LED diode emitira sukcesivno, u slučaju vibracija ili pokreta korisnika (što uzrokuje pomicanje senzora na satu/narukvici ili odvajanje od kože), mjerenje bi bilo nevažće i davalo bi netočne podatke. Hub ima ugrađeni akcelerometar koji prikuplja podatke o kretanju te pomoću pametnih algoritama može prepoznati takve anomalije u podacima i isključiti ih iz analize [24].

Na grafu koji prikazuje zasićenost krvi kisikom (slika 10.), mogu se uočiti pravilne oscilacije koje odgovaraju otkucajima srca. Svaki nagli porast (*eng. spike*) neposredno prije najvišeg vrha (*eng. peak*) označava trenutak otkucaja srca, odnosno pumpanje krvi bogate kisikom u periferne žile, što uzrokuje promjenu refleksije svjetlosti. Na osnovi ovih oscilacija može se izračunati broj otkucaja srca. Biometric Sensor Hub automatski izračunava broj otkucaja srca na temelju tih oscilacija i vraća gotove vrijednosti mikrokontroleru.



Slika 10. Prikaz outputa s oksimetra, vidljivo je 5 otkucaja srca [27]

Ako bi se kontinuirano prikupljali podaci u uvjetima bez pokreta (npr. dok je korisnik miran), moguće je uočiti grupne oscilacije grafa zasićenosti kisikom (podigne se i spušta), što odgovara disanju. Svakim udahom u pluća srce dobiva krv bogatiju kisikom, na temelju čega se može izračunati frekvencija disanja (*eng. Respiratory rate*). Ove oscilacije disanja prikazane su na sljedećem grafu (slika 11.).



Slika 11. Fotopletizmografski 1 prikaz oscilacija disanja, vidljiva su 3 udaha [28]

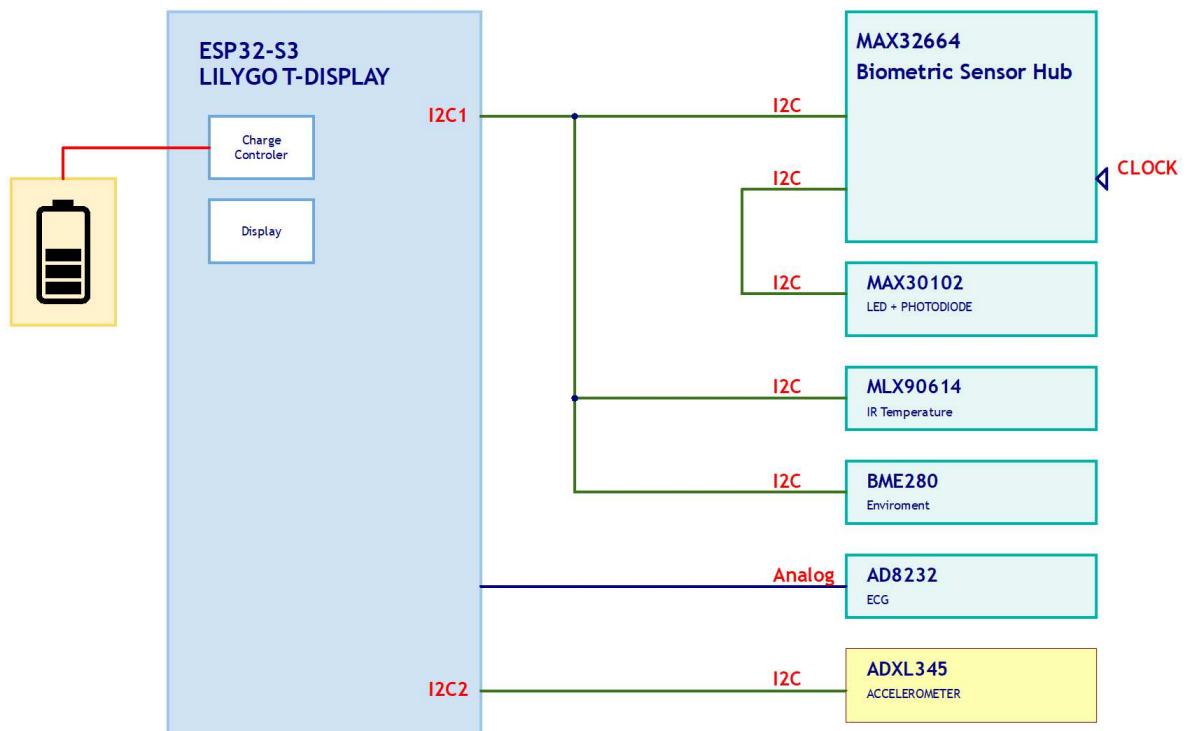
Iako ovaj podatak nije korišten u našem projektu, bilo bi zanimljivo dodati ga u budućim iteracijama sustava.

¹ Fotopletizmografija (PPG) je naziv za neinvazivnu tehniku mjerenje promjena u volumenu krvi u perifernim žilama pomoću svjetlosnih senzora

3. Arhitektura i projektiranje sustava

3.1. Objašnjenje arhitekture

Arhitektura sustava prikazana je na slici 12. i sastoji se od mikrokontrolerske platforme ESP32-S3 te nekoliko vanjskih senzora i upravljačkih komponenti. ESP32-S3 platforma odabrana je zbog svoje sposobnosti upravljanja raznim perifernim uređajima putem I2C sabirnica, kao i zbog podrške za analogne ulaze.



Slika 12. Shema arhitekture sustava

ESP32-S3 je povezan s vanjskim ekranom putem ugrađenog kontrolera zaslona, što omogućuje direktno prikazivanje podataka prikupljenih sa senzora. Također, mikrokontroler uključuje charger kontroler, koji upravlja punjenjem vanjske litij-polimer baterije. To osigurava dugotrajno napajanje sustava i eliminira potrebu za čestim punjenjem.

Na slici možemo vidjeti tri glavne vrste veza koje ESP32-S3 koristi za povezivanje s vanjskim sensorima: dva I2C sučelja i analogni ulaz.

Prvi I2C kanal koristi se za spajanje nekoliko senzora koji šalju relativno manje količine podataka. Na ovaj kanal spojeni su:

1. MAX32664 Biometric Sensor Hub koji dalje upravlja povezivanjem sa MAX30102 (LED + fotodioda za mjerenje otkucaja srca i zasićenosti kisikom),
2. MLX90614 infracrveni senzor za mjerenje tjelesne temperature,
3. BME280 senzor za mjerenje ambijentalne temperature.

Svaki od ovih senzora prenosi podatke putem I2C protokola direktno na ESP32-S3. Svi oni imaju relativno male količine podataka (jedan do dva bajta), koji se prenose u intervalima od jedne sekunde.

Drugi I2C kanal koristi se isključivo za ADXL345 akcelerometar, koji generira znatno veći volumen podataka jer mjeri ubrzanje u tri osi (x, y, z), pri čemu je svaka vrijednost veličine 2 bajta, s frekvencijom od nekoliko stotina Hz (npr. 500 Hz) [16]. Zbog velikih količina podataka koje akcelerometar šalje, odlučeno je da će biti odvojen na poseban I2C kanal kako bi se izbjeglo zagušenje podataka i osigurao nesmetan prijenos s ostalih senzora.

Treća vrsta veze je analogni ulaz, koji koristi AD8232 EKG senzor. Ovaj senzor šalje analogne signale koji se pretvaraju u digitalne pomoću ugrađenog analogno-digitalnog pretvornika (ADC) unutar ESP32-S3 [18]. Ovi očitani digitalni signali omogućuju praćenje EKG-a korisnika u stvarnom vremenu.

Ovakva raspodjela komunikacijskih kanala omogućava stabilan prijenos podataka i optimalnu raspodjelu senzora, čime se osigurava točnost i preciznost mjerenja bez preopterećenja jednog kanala.

3.2. I2C Protokol

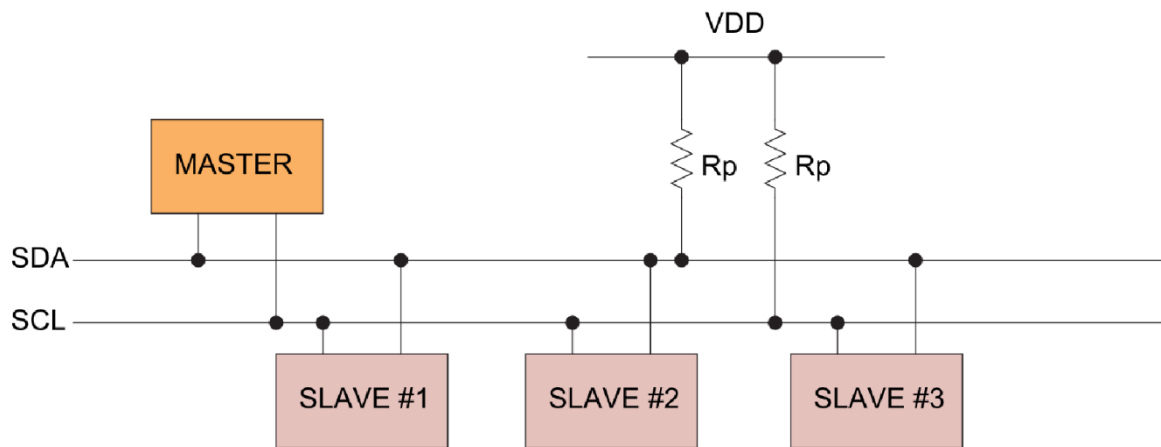
I2C (*eng. Inter-Integrated Circuit*) je komunikacijski standard koji je razvila tvrtka Philips 1982. godine kako bi se pojednostavila komunikacija između mikrokontrolera i perifernih uređaja, poput senzora. Ovaj protokol koristi samo dvije žice za komunikaciju: podatkovnu liniju (SDA, *eng. serial data line*), koja prenosi podatke između uređaja, i liniju takta (SCL, *eng. serial clock line*), koja sinkronizira prijenos podataka između mastera i slave uređaja. Prednosti I2C protokola uključuju jednostavnost, robustnost, i mogućnost povezivanja više uređaja na istu sabirnicu [29].

Jedna od ključnih prednosti I2C sabirnice je mogućnost povezivanja više senzora preko samo dvije linije. U našem projektu spojena su tri senzora na jedan I2C kanal: MAX32664 Biometric Sensor Hub, MLX90614 infracrveni senzor za tjelesnu temperaturu i BME280 environment senzor za ambijentalnu temperaturu. Akcelerometar ADXL345 spojen je na drugi I2C kanal kako bi se osigurala optimalna propusnost zbog velike količine podataka koju generira.

Sabirnica radi u master-slave arhitekturi, što znači da samo jedan uređaj (u našem slučaju ESP32-S3) djeluje kao "master", dok svi ostali uređaji, poput senzora, djeluju kao "slave" uređaji. Master uređaj inicira komunikaciju tako da šalje upit slave uređaju, a slave uređaj može odgovoriti tek kada dobije upit. Dok master uređaj ne inicira komunikaciju, linije SDA i SCL su u stanju mirovanja. Ovo osigurava da nema sukoba na sabirnici, čak i kada je više uređaja spojeno.

Linije SDA i SCL su povezane s napajanjem putem otpornika za povlačenje prema gore (pull-up otpornici), što znači da se u stanju mirovanja drže na visokom naponu (logička razina 1). Otpornici osiguravaju da se linije ne spuste na nisku razinu kada nijedan uređaj ne šalje podatke. Kada se pokrene komunikacija, master uređaj privremeno "vuče" linije na niži napon kako bi poslao podatke, a nakon završetka prijenosa, linije se automatski vraćaju u stanje mirovanja zahvaljujući pull-up otpornicima [30].

Na slici 13. dan je osnovni prikaz I2C sabirnice gdje je *master* uređaj povezan sa *slave* uređajima putem SDA i SCL linija.



Slika 13. Osnovna arhitektura I2C sabirnice [30]

U našem sustavu, ESP32-S3 inicira komunikaciju sa sensorima pomoću njihovih jedinstvenih adresa. I2C protokol omogućuje do 128 uređaja na jednoj sabirnici, pod uvjetom da svaki uređaj ima jedinstvenu adresu. Uređaji na istoj sabirnici mogu imati različite adrese definirane hardverski ili softverski [29]. U našem slučaju, adrese uređaja su postavljene kako bi se izbjegli sukobi.

U tablici 1. navedene su konačne adrese senzora.

Tablica 1. Adrese senzora

0x55 - MAX32664 Biometric Sensor Hub

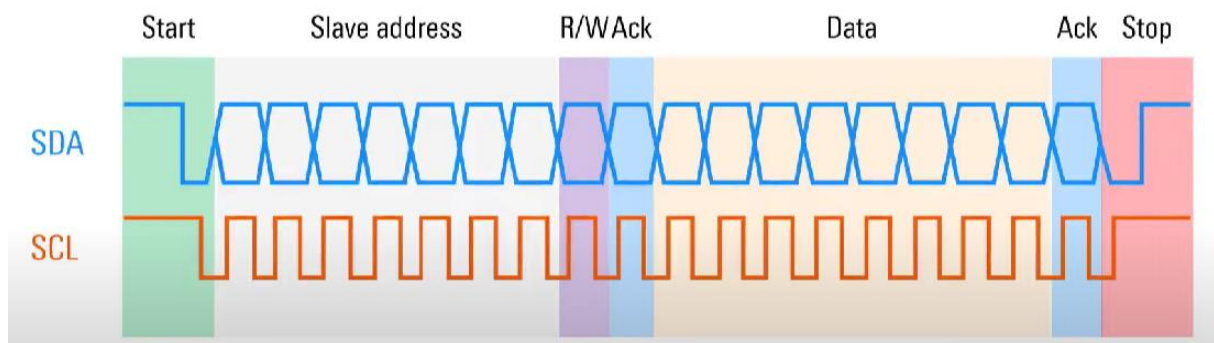
0x5A - MLX90614 infracrveni senzor

0x76 - BME280 environment senzor

0x1D - ADXL345 akcelerometar

Slanje podataka preko I2C protokola slijedi jasno definirani okvir. Svaki prijenos počinje start bitom koji signalizira početak komunikacije, zatim se šalje adresa uređaja s kojim master želi komunicirati. Nakon što uređaj odgovori (*acknowledge signal*), šalju se podaci, a komunikacija se završava stop bitom [29].

Na slici 14. možemo vidjeti kako izgleda tipični I2C okvir s komponentama poput adrese uređaja, podataka i potvrda (ack).



Slika 14. Prikaz okvira I2C komunikacije [31]

Primjer kako ovaj proces funkcionira u našem projektu je sljedeći: ESP32-S3 kao master šalje zahtjev za očitavanje temperature na MLX90614 senzor, nakon čega senzor odgovara sa očitanom vrijednošću. Zatim ESP32 može zatražiti od MAX32664 Biometric Sensor Huba podatke o zasićenosti kisikom i otkucajima srca, koje ovaj prikuplja s MAX30102 LED + Photodiode senzora.

Neki uređaji, poput MAX32664 Biometric Sensor Huba, koriste pinove za konfiguraciju adrese na sabirnici [24]. To omogućuje fleksibilnost u postavljanju adresa i izbjegavanje sukoba kada se koristi više identičnih uređaja na istoj sabirnici.

Pored I2C, postoji i drugi komunikacijski protokol nazvan SPI (*eng. Serial Peripheral Interface*). Iako je SPI brži i koristi četiri linije (uključujući liniju za selekciju uređaja), nije bio prikladan za naš projekt jer je teže povezati više uređaja na isti SPI kanal. Svaki uređaj na SPI sabirnici zahtijeva dodatnu liniju za selekciju (*eng. Chip Select*), što može povećati složenost dizajna [32]. U našem slučaju, to bi značilo da bismo koristili tri linije za prijenos podataka te dodatnu liniju za svaki senzor, što bi u konačnici zahtijevalo šest linija, čime se nepotrebno povećava broj potrebnih pinova na mikrokontroleru. Također, za razliku od I2C-a, SPI ne podržava višestruke master uređaje na istoj sabirnici, što smanjuje fleksibilnost kod projekata koji koriste više različitih uređaja za komunikaciju.

Upravo zbog jednostavnosti, manje potrebnih pinova i lakše integracije više senzora, I2C se pokazao kao optimalan izbor za naš sustav.

3.3. Projektiranje sustava

Za projektiranje sustava korišten je alat Altium Designer, jedan od najpopularnijih softverskih rješenja za dizajn tiskanih pločica (PCB, *eng. Printed Circuit Board*). Ovaj alat omogućuje jednostavno crtanje elektroničkih shema te generiranje svih potrebnih datoteka za proizvodnju.

3.3.1. Kreiranje i korištenje biblioteka u Altium Designeru

U Altium Designeru, za svaki čip i svaku korištenu komponentu (kondenzator, otpornik, audio jack, konektor za LILYGO modul, pa čak i vije²) bilo je potrebno kreirati Schematic Library i PCB Library datoteke.

Schematic Library opisuje električne karakteristike komponente, odnosno definira njezine pinove (nožice) i njihov raspored. Ova biblioteka služi za izradu shematskog prikaza komponente unutar elektroničke sheme. S druge strane, PCB Library obuhvaća footprint komponente, što je fizički opis elementa. Footprint uključuje dimenzije same komponente, poziciju nožica (pinova), kao i uzorak lemljivih površina (*eng. land pattern*), koji definira raspored i veličinu lemljivih površina (*eng. land pads*) koje omogućuju spajanje komponenti na tiskanoj pločici (PCB) [33].

U postavkama Schematic Library datoteke svakoj komponenti potrebno je dodijeliti odgovarajući footprint, koji se bira iz padajućeg izbornika. Time se osigurava ispravan prikaz na shemi (*eng. schematic*) i pravilno fizičko pozicioniranje na tiskanoj pločici.

Kada su sve komponente definirane, mogu se koristiti za projektiranje funkcionalne sheme (datoteka *Schematic*). Nakon toga se svi shematski listovi međusobno povezuju (pojedini portovi su povezani između različitih listova, dok su neki lokalni). Tako povezane sheme koriste se kao temelj za izradu tiskane pločice (PCB).

² Vije (*lat. vias*) su provodni putevi između slojeva na višeslojnim PCB pločicama i služe za povezivanje vodova s jednog sloja na drugi

3.3.2. Izrada shematskog prikaza

Pri projektiranju koristili smo za svaki čip njegova dva dokumenata kao referencu: tehnički list čipa (*eng. Datasheet*) kao glavni izvor te korisnički vodič (*eng. User Guide*) kao dodatan izvor.

Tehnički list (*eng. Datasheet*) je dokument dostupan od proizvođača na internetu, koji detaljno opisuje tehničke specifikacije čipa, uključujući konfiguraciju pinova (*eng. pin configuration and function descriptions*), performanse čipa (*eng. typical performance characteristics*), maksimalne dopuštene specifikacije (*eng. absolute maximum ratings*), teoriju rada čipa (*eng. theory of operation*), primjere primjene (*eng. application circuits*), informacije o pakiranju (*eng. packaging and ordering information*) te dimenzije čipa (*eng. outline dimensions*) [34]. Pri izradi Schematic Librarya svake komponente koristili smo se informacijama iz Datasheeta te komponente.

S druge strane, korisnički vodič (*eng. User Guide*) sadrži praktične upute za upotrebu čipa, uključujući konfiguraciju evaluacijske pločice (*eng. evaluation board configuration*), raspored komponenata (*eng. evaluation board layout*), te kompletne sheme s preporukama za odabir komponenti (*eng. evaluation board schematic and component selection*) [34].

Na slici 15. vidljivo je kako datasheet za EKG čip AD8232 daje upute za konfiguriranje pinova.

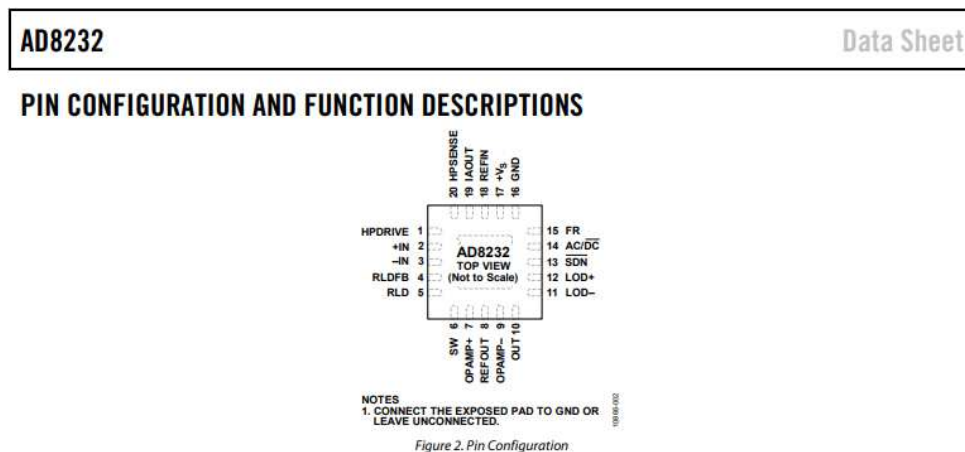


Table 3. Pin Function Descriptions

Pin No.	Mnemonic	Description
1	HPDRIVE	High-Pass Driver Output. Connect HPDRIVE to the capacitor in the first high-pass filter. The AD8232 drives this pin to keep HPSENSE at the same level as the reference voltage.
2	+IN	Instrumentation Amplifier Positive Input. +IN is typically connected to the left arm (LA) electrode.
3	-IN	Instrumentation Amplifier Negative Input. -IN is typically connected to the right arm (RA) electrode.
4	RLDFB	Right Leg Drive Feedback Input. RLDFB is the feedback terminal for the right leg drive circuit.
5	RLD	Right Leg Drive Output. Connect the driven electrode (typically, right leg) to the RLD pin.
6	SW	Fast Restore Switch Terminal. Connect this terminal to the output of the second high-pass filter.
7	OPAMP+	Operational Amplifier Noninverting Input.
8	REFOUT	Reference Buffer Output. The instrumentation amplifier output is referenced to this potential. Use REFOUT as a virtual ground for any point in the circuit that needs a signal reference.
9	OPAMP-	Operational Amplifier Inverting Input.
10	OUT	Operational Amplifier Output. The fully conditioned heart rate signal is present at this output. OUT can be connected to the input of an ADC.
11	LOD-	Leads Off Comparator Output. In dc leads off detection mode, LOD- is high when the electrode to -IN is disconnected, and it is low when connected. In ac leads off detection mode, LOD- is always low.
12	LOD+	Leads Off Comparator Output. In dc leads off detection mode, LOD+ is high when the +IN electrode is disconnected, and it is low when connected. In ac leads off detection mode, LOD+ is high when either the -IN or +IN electrode is disconnected, and it is low when both electrodes are connected.

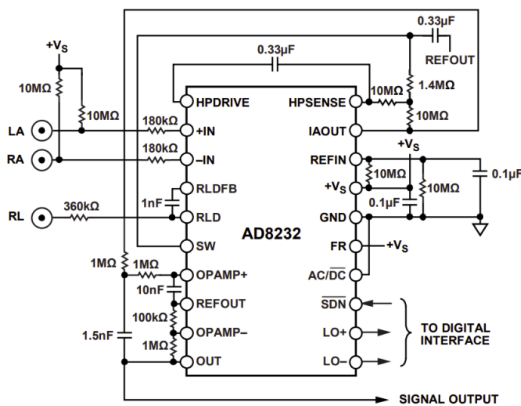
Slika 15. Pin konfiguracija AD8232 čipa (prema Datasheetu) [18]

Budući da se čipovi poput AD8232 mogu koristiti za različite primjene, okolne komponente koje ih podržavaju variraju ovisno o specifičnoj namjeni. Na primjer, konfiguracija komponenti ovisi o tome koristi li se čip za:

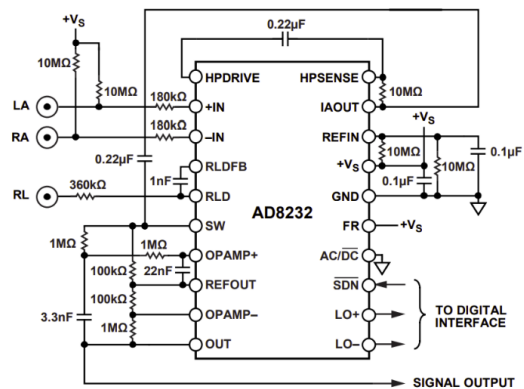
- mjerenje srčanog ritma u blizini srca,
- mjerenje srčanog ritma tijekom fizičke aktivnosti (na rukama),
- konfiguraciju za nadzor srčanih funkcija (EKG monitor).

Na slici 16. prikazane su razlike u dizajnu okolnih komponenti ovisno o specifičnoj primjeni čipa. Lijeva slika prikazuje komponentni raspored za mjerenje otkucaja srca

tijekom fizičke aktivnosti, dok desna slika prikazuje raspored za konfiguraciju standardnog EKG monitora.



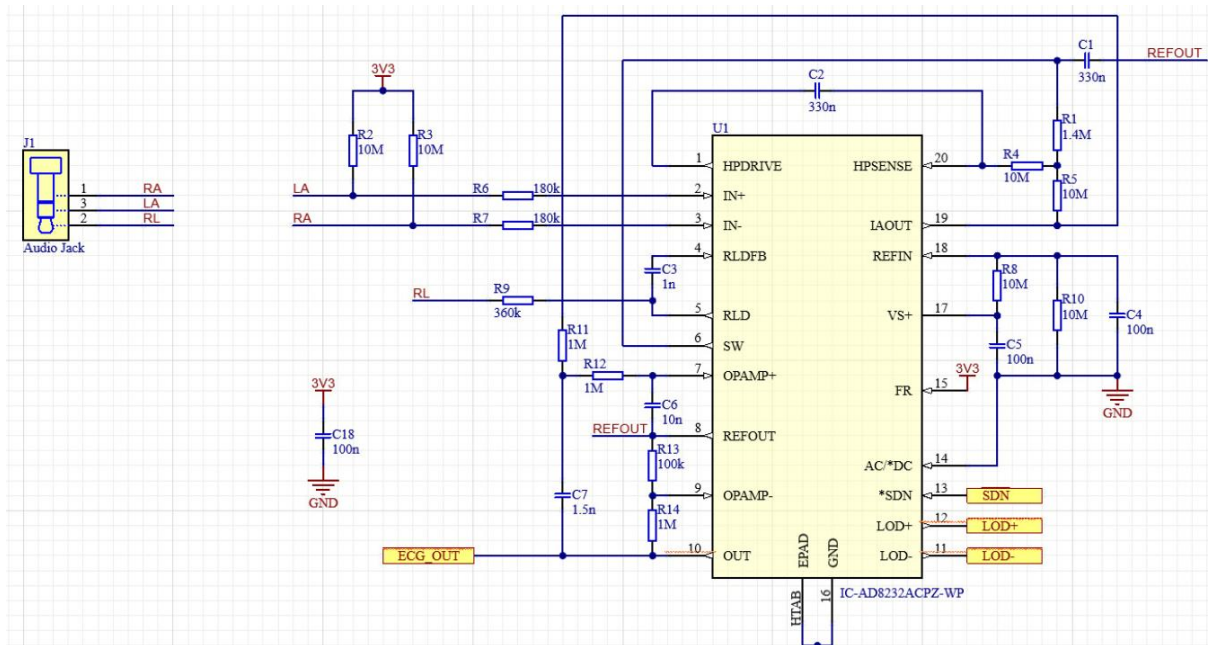
Konfiguracija čipa za praćenje srčanog ritma tijekom mirovanja



Konfiguracija čipa za praćenje srčanog ritma na rukama tokom vježbanja

Slika 16. Usporedba dviju konfiguracija čipa AD8232 (mirovanje vs. vježbanje) [18]

U ovom projektu korištena je lijeva konfiguracija, prilagođenu za mjerenje EKG signala u stanju mirovanja. Konačna verzija Schematic datoteke kreirane u Altium Designeru prikazana je na slici 17.

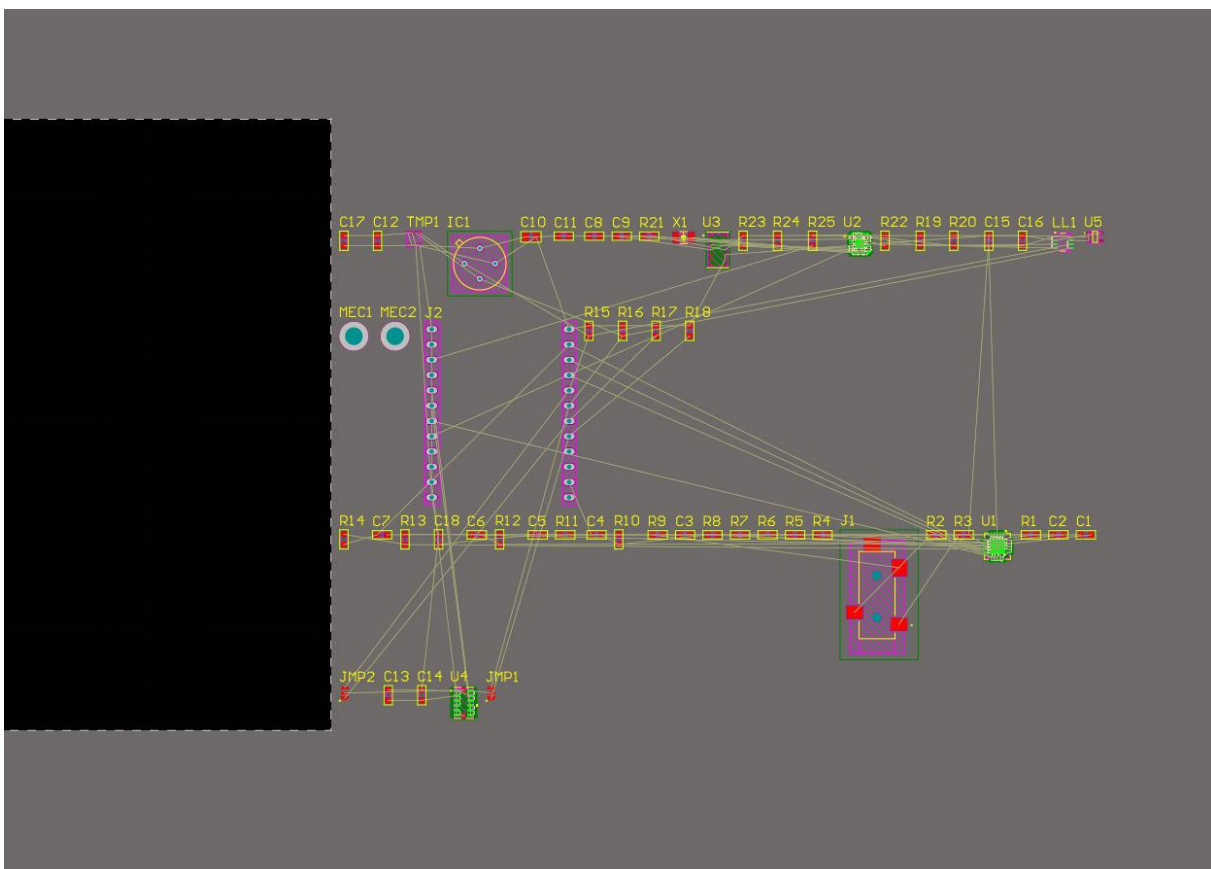


Slika 17. Schematic Library AD8232 čipa izrađena u Altium Designeru

Na isti način napravljene su i Schematic datoteke za ostale čipove.

3.3.3. Projektiranje PCB-a

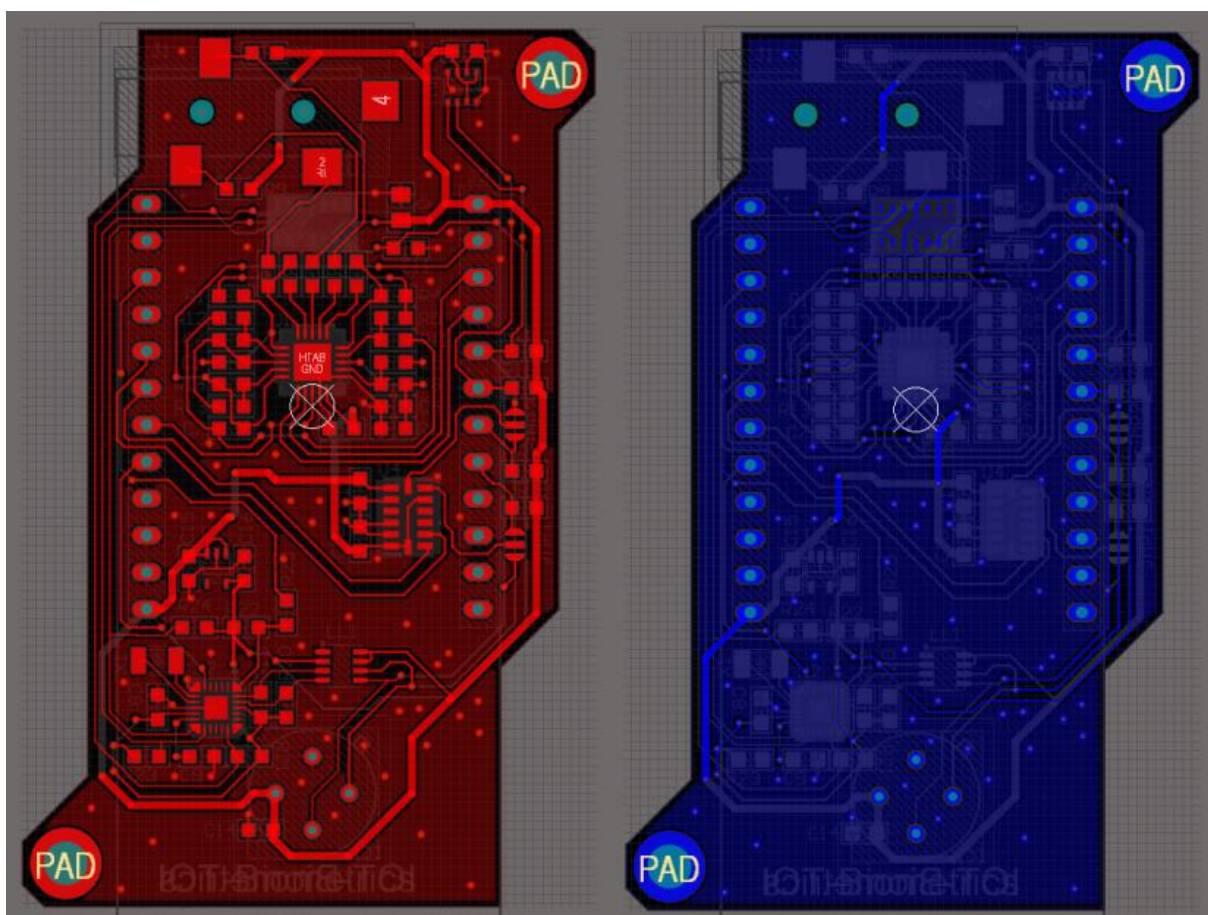
Nakon izrade shematskog prikaza u Altium Designeru i definiranja potrebnih komponenti, slijedi kreiranje PCB-a. Ovaj korak započinje kreiranjem nove PCB datoteke te uvozom/importom svih promjena iz shematskog dijela projekta pomoću funkcije *Import Design Changes*. Pri tom koraku, sve komponente iz shematskog prikaza automatski se postavljaju na radnu površinu PCB-a, ali još uvijek nisu raspoređene na optimalan način. U početnoj fazi, komponente su nasumično raspoređene i međusobno povezane linijama koje simboliziraju električne veze (poznate kao *rats nest*), što je prikazano na slici 18.



Slika 18. Početni prikaz rasporeda i veza komponenata u "rats nest" obliku nakon uvoza iz shematika

Naziv *rats nest* odnosi se na mrežu tankih linija koje vizualno prikazuju sve električne veze između komponenti na PCB-u. Te linije ne predstavljaju stvarne vodljive staze, već služe kao vodič za razumijevanje međusobne povezanosti elemenata prema shematskom prikazu. Zbog početnog nasumičnog rasporeda komponenti, linije se često preklapaju, stvarajući neurednu i zamršenu strukturu koja podsjeća na zapetljane niti (otuda i naziv *rats nest*).

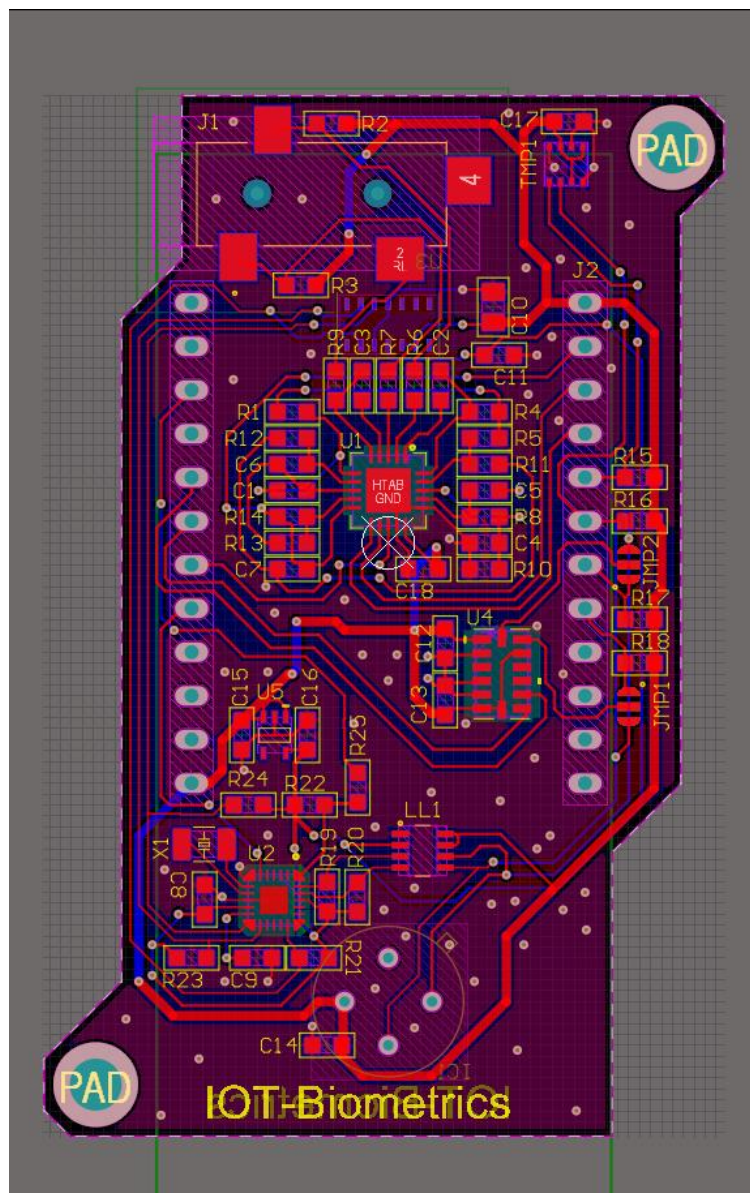
Sljedeći korak je optimizacija rasporeda komponenti na tiskanoj pločici (PCB) kako bismo smanjili duljinu vodova i omogućili što bolju organizaciju prostora. Komponente pažljivo raspoređujemo kako bi se smanjile duljine električnih veza, a nakon toga pristupamo usmjeravanju vodova (*eng. routing*), čime definiramo stvarne električne puteve [35]. U ovom koraku koristimo crvenu boju za vodove na gornjem sloju bakra (*eng. top layer*) i plavu boju za vodove na donjem sloju bakra (*eng. bottom layer*). Također, u slučaju potrebe za međusobnim povezivanjem različitih slojeva koristimo provodna mjesta (vije). Na slici 19. prikazan je paralelni pogled na gornji i donji sloj PCB-a s ucrtanim vodovima.



Slika 19. Paralelni prikaz vodova na gornjem i donjem sloju bakrene pločice

Nakon toga, definira se oblik same tiskane pločice (*PCB outline*), odnosno vanjske granice pločice, kako bi se postigao konačni oblik i dimenzije. Prije nego što završimo dizajn, potrebno je provesti automatsku provjeru pravila dizajna (DRC, eng. *Design Rule Check*), koja osigurava da nema pogrešaka poput kratkih spojeva, prebliskih vodova ili elemenata postavljenih preblizu rubu pločice [36]. Ova provjera omogućuje ispravke potencijalnih grešaka prije finalizacije dizajna.

Na slici 20 prikazan je završni izgled PCB-a, uključujući sve slojeve, vodove i postavljene komponente nakon provjere i ispravaka.



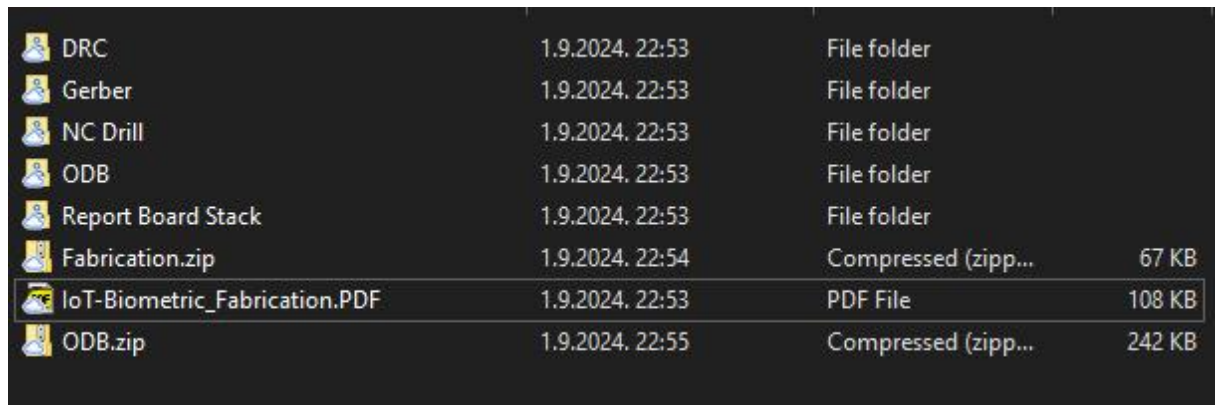
Slika 20. Završni prikaz PCB dizajna nakon provjere pravila dizajna (DRC)

3.4. Izrada pločice

Nakon što je PCB dizajn dovršen i provjeren, sljedeći korak je generiranje proizvodnih datoteka. Najvažnije datoteke koje se generiraju su *Gerber* datoteke, koje sadrže informacije o slojevima tiskane pločice, te *NC Drill* datoteke, koje sadrže pozicije svih rupa i provodnih mjesta (vija). Ove datoteke koriste proizvođači PCB-a za izradu same pločice.

Nakon generiranja Gerber i NC Drill datoteka, dizajn se šalje proizvođaču, u ovom slučaju tvrtki Eurocircuits [37], koja vrši pregled i pripremu pločica za proizvodnju. Prije same proizvodnje, Eurocircuits provodi dodatnu provjeru kako bi osigurao točnost svih poslanih datoteka. Paralelno s ovim procesom, pripremamo i *Bill of Materials* (BOM), koji sadrži sve potrebne komponente za montažu na pločicu. Ovaj popis komponenata šalje se dobavljaču, poput Mouser Electronics-a [38], kako bi se naručile sve komponente potrebne za sklapanje PCB-a.

Na slici 21. prikazane su sve izvozne datoteke potrebne za proizvodnju.



DRC	1.9.2024. 22:53	File folder	
Gerber	1.9.2024. 22:53	File folder	
NC Drill	1.9.2024. 22:53	File folder	
ODB	1.9.2024. 22:53	File folder	
Report Board Stack	1.9.2024. 22:53	File folder	
Fabrication.zip	1.9.2024. 22:54	Compressed (zipp...	67 KB
IoT-Biometric_Fabrication.PDF	1.9.2024. 22:53	PDF File	108 KB
ODB.zip	1.9.2024. 22:55	Compressed (zipp...	242 KB

Slika 21. Prikaz svih izvoznih datoteka za proizvodnju

4. Proces sastavljanja PCB-a i 3D kućišta

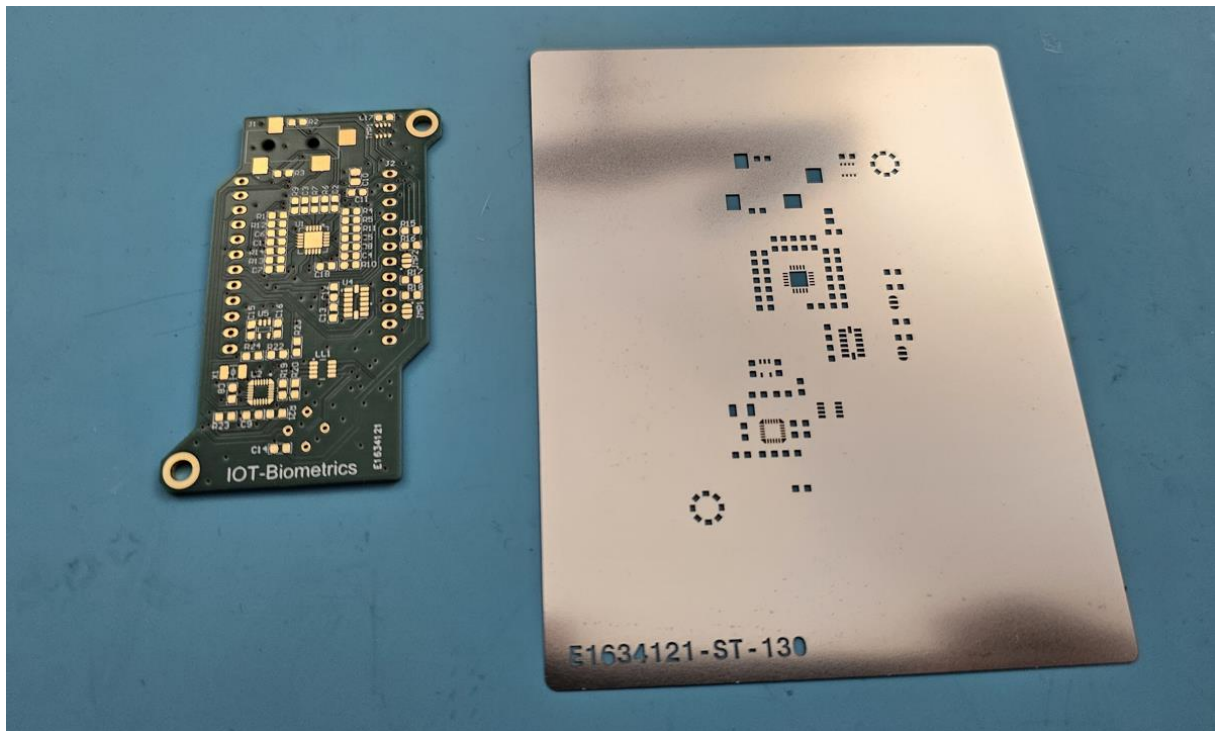
4.1. Dodavanje komponenata na pločicu

Nakon što je PCB pločica dizajnirana u Altium Designeru i naručena, dobili smo gotovu pločicu spremnu za proces sastavljanja. Sljedeći korak bio je nanošenje lemne paste na pločicu kako bi se pripremila za postavljanje elektroničkih komponenti. Lemna pasta omogućuje stvaranje električnih spojeva između nožica komponenti i bakrenih vodova na pločici, a sastoji se od sitnih čestica legure (najčešće kositar i olovo) te fluxa, kemijskog sredstva koje uklanja okside s metalnih površina i poboljšava prijanjanje komponenti tijekom procesa lemljenja zagrijavanjem [38].

Postoje dvije glavne vrste lemne paste: olovna i bezolovna. U ovom projektu koristili smo olovnu pastu zbog njezine niže temperature taljenja (otprilike 220°C), čime se smanjuje rizik od oštećenja osjetljivih komponenti tijekom lemljenja. Olovna pasta često se koristi u aplikacijama gdje je potrebna dugotrajnost i pouzdanost spojeva, kao što su medicinski uređaji, budući da osigurava stabilne i dugotrajne spojeve. Suprotno tome, bezolovna pasta zahtijeva višu temperaturu taljenja, oko 250°C, što povećava mogućnost oštećenja komponenti, ali se koristi u industrijskim primjenama kako bi se zadovoljile ekološke regulative, kao što je RoHS (*Restriction of Hazardous Substances*).

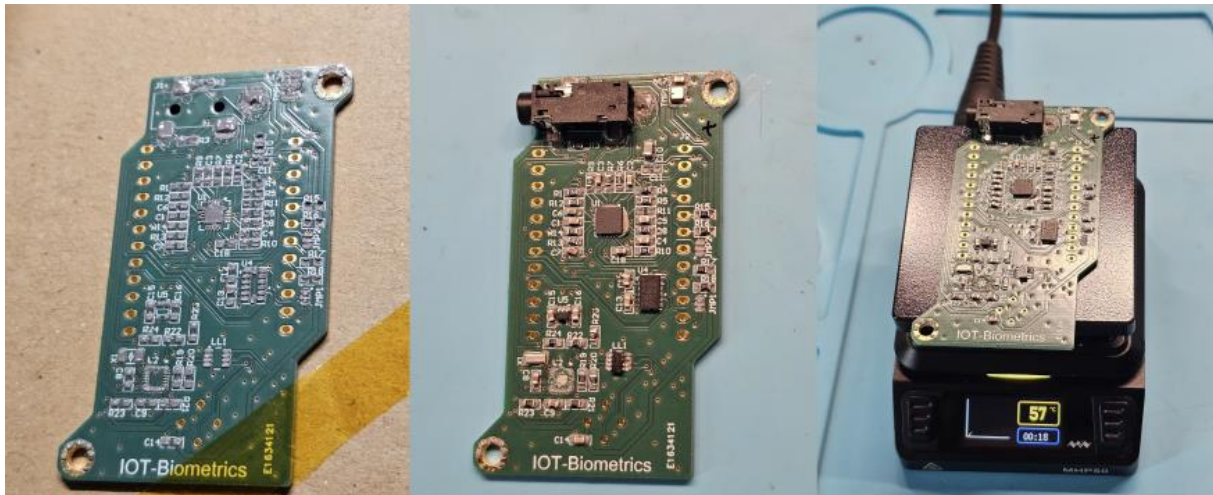
Za precizno nanošenje lemne paste koristili smo *stencil* (šablonu) - tanku ploču od nehrđajućeg čelika s laserski izrezanim otvorima koji odgovaraju lokacijama na PCB-u gdje se nanosi pasta. Stencil je dizajniran kao dio našeg PCB projekta u Altium Designeru i naručen zajedno s pločicom. Njegova funkcija je osigurati da se lemna pasta nanese isključivo na predviđena mjesta, osiguravajući preciznost i čistoću spojeva [40].

Ključno je da se otvori na stencilu savršeno podudaraju s odgovarajućim točkama na pločici, a kako bi se spriječilo pomicanje stencila tijekom nanošenja paste te kako bi se osiguralo da pasta bude nanosena isključivo na površine predviđene za spajanje komponenti, kao pomoć korištena je ljepljiva traka za njegovo učvršćivanje. Na slici 22 prikazana je pločica te stencil gdje se vide otvori prilagođeni za pločicu.



Slika 22. PCB pločica i stencil prije nanošenja lemne paste

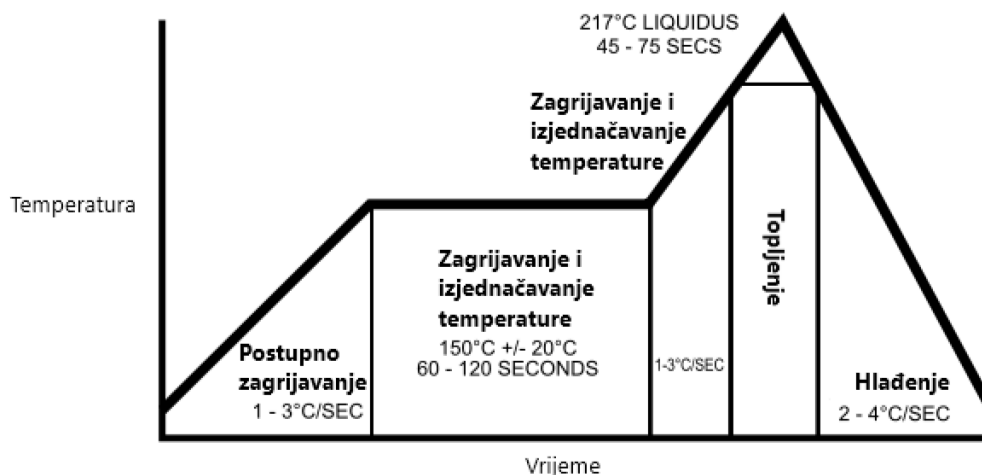
Nakon nanošenja lemne paste, sljedeći korak je postavljanje elektroničkih komponenti na pločicu. Otpornici, kondenzatori, čipovi i druge komponente pažljivo se postavljaju pincetom na predviđena mjesta. Lemna pasta koja je prethodno nanosena na kontaktne točke omogućuje da se komponente privremeno drže na mjestu prije samog procesa lemljenja. Nakon što su sve komponente postavljene, pločica se priprema za proces pečenja, čija je svrha zagrijavanje lemne paste i formiranje čvrstih električnih spojeva između bakrenih vodova na pločici i nožica komponenata [40] (slika 23.).



Slika 23. PCB Pločica u 3 faze: nanescna lemna pasta (lijevo), pozicionirane komponente (centar) te pločica na peći za lemljenje (desno)

Nakon pozicioniranja svih komponenti, pločica se stavlja na peć za lemljenje (Miniware MHP50) [41] kako bi se lemna pasta rastopila i osigurala trajne spojeve. Iako bi proces mogao biti izveden na konstantnoj temperaturi, u industrijskoj praksi koristi se specifični temperaturni profil pečenja. Ovaj profil osigurava bolju kontrolu kvalitete spojeva i zaštitu osjetljivih komponenti od pregrijavanja.

Kao što je prikazano na slici 24., proces pečenja prolazi kroz nekoliko faza (eng. *Reflow soldering graph*). U početnoj fazi temperatura se postepeno povećava (eng. *Ramp to Soak*) kako bi se svi dijelovi pločice ravnomjerno zagrijali. Ovaj korak sprječava nagle temperaturne promjene, koje bi mogle uzrokovati naprezanja u komponentama i potencijalna oštećenja [42].



Slika 24. Graf preporučenog temperaturnog profila koji prikazuje faze zagrijavanja i hlađenja tokom procesa lemljenja [42]

Nakon toga, temperatura dostiže vrhunac (*eng. Ramp to Peak*), obično oko 220°C, što je dovoljno za topljenje lemne paste i formiranje stabilnih spojeva. Važno je da se temperatura ne podiže iznad ove točke kako bi se izbjegla oštećenja osjetljivih komponenti.

Faza hlađenja (*eng. Cooling*) također se odvija postepeno kako bi se izbjegao termalni šok, koji bi mogao izazvati pucanje spojeva ili naprezanja u PCB pločici. Kao što je prikazano na slici 24., temperatura se postupno spušta kako bi se spojevi stabilizirali i izbjegli potencijalni problemi s kvalitetom zalemljenih dijelova [42].

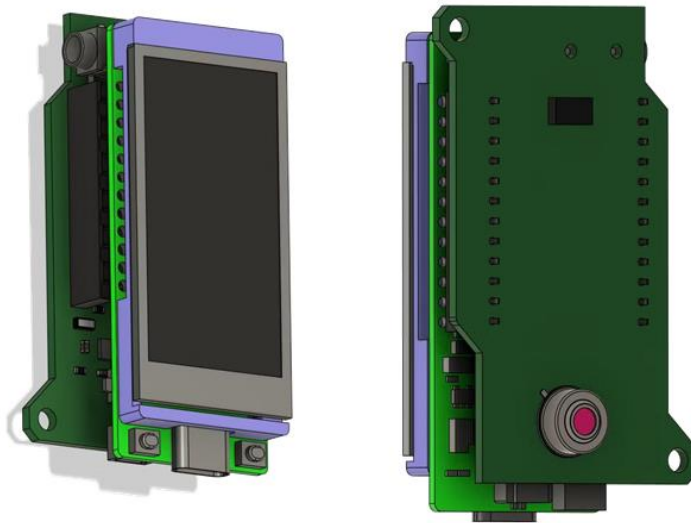
Nakon nekoliko minuta u peći, proces je završen i svi dijelovi su čvrsto zalemljeni na pločicu. Slika 25. prikazuje gotovu pločicu nakon pečenja, s postavljenim i zalemljenim komponentama, spremnu za daljnje korake montaže i testiranja.



Slika 25. Ispočena pločica s postavljenim i zalemljenim komponentama, spremna za daljnju montažu i testiranje

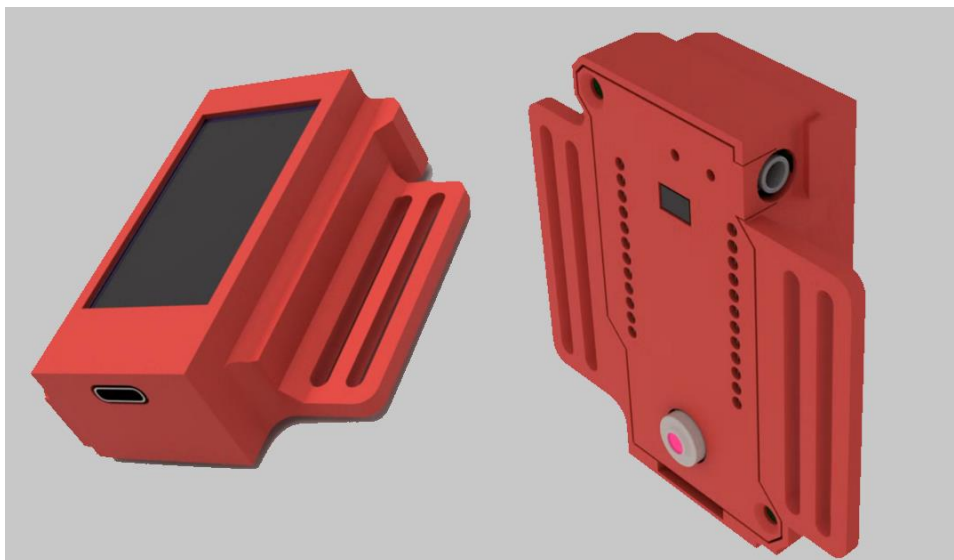
4.2. Izrada i sastavljanje 3D kućišta

Nakon što je elektronički dio sustava završen, pristupilo se dizajnu i izradi 3D kućišta. Cilj dizajna kućišta bio je osigurati da sve komponente imaju adekvatne otvore i pristupe kako bi uređaj bio funkcionalan, kompaktan i prikladan za nošenje. Kućište je dizajnirano pomoću alata Tinkercad, a proces izrade je obavljen pomoću kućnog 3D printera [43]. Kako bi se osiguralo da kućište savršeno odgovara dimenzijama tiskane pločice (PCB) i elektroničkim komponentama, u Tinkercad je učitana datoteka iz Altium Designer-a (slika 26) s točnim dimenzijama PCB-a i ESP32 modula.



Slika 26. 3D model uređaja iz Altium Designera

Projektirani model u Tinkercadu, prikazan je na slici 27.



Slika 27. Dizajnirani model 3D kućišta u alatu Tinkercad

Posebna pažnja posvećena je otvorima na kućištu, koji su morali biti precizno postavljeni za smještaj svih ključnih komponenata:

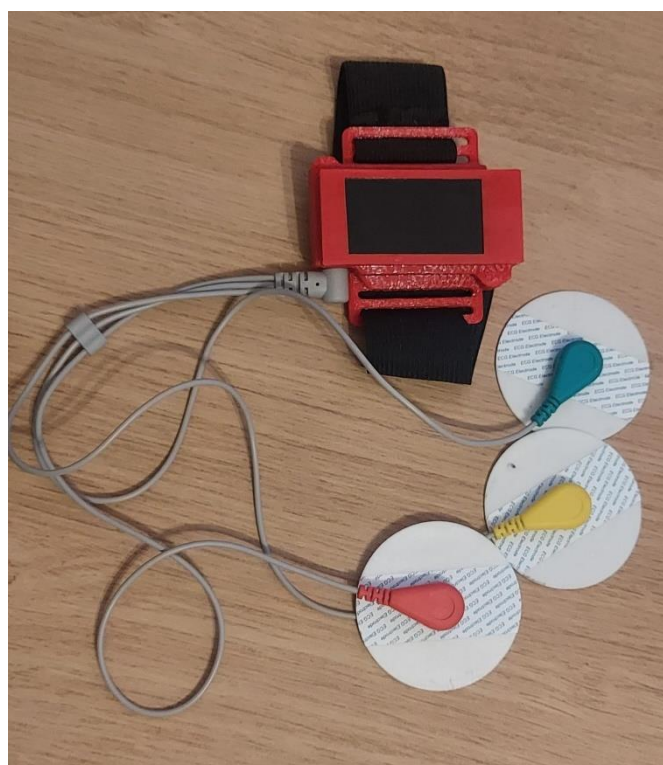
1. **Otvor za microphone jack konektor** – Ovaj konektor služi za povezivanje elektroda za EKG, stoga je bilo ključno da otvor bude dovoljno velik i pozicioniran tako da omogućuje jednostavno spajanje i odspajanje kabela. Pozicija otvora pažljivo je prilagođena kako bi korisnik imao nesmetan pristup, a konektor bio čvrsto postavljen bez dodatnih pomicanja unutar kućišta.
2. **Otvor za senzor temperature** – Budući da je senzor temperature dizajniran tako da mjeri temperaturu korisnikove kože, bilo je važno ostaviti otvor koji će omogućiti senzorima direktan kontakt s kožom. Ovaj otvor morao je biti precizno postavljen kako bi se spriječila svaka prepreka između senzora i kože korisnika, osiguravajući točne mjere temperature.
3. **Otvor za diodu za mjerenje zasićenosti kisikom i otkucaja srca** – Dioda koja mjeri razinu kisika i puls mora biti izložena koži korisnika kako bi precizno obavljala svoju funkciju. Dizajn otvora za ovu komponentu osigurava izravan kontakt dioda s kožom, ali i zaštitu od oštećenja tijekom korištenja uređaja.
4. **Prostor za ekran** – Na prednjoj strani kućišta osiguran je prostor za ekran, koji prikazuje podatke koje uređaj prikuplja. Ovaj dio kućišta morao je biti precizno dimenzioniran kako bi se ekran pravilno uklopio i bio jasno vidljiv korisniku, bez gubitka funkcionalnosti ili oštećenja tijekom uporabe.
5. **Bočni nosači za elastične trake** – Na bočnim stranama kućišta ostavljeni su posebni nosači kroz koje se provlače elastične trake. Ove trake omogućuju korisniku da može nositi uređaj oko bicepsa. Ovaj dio dizajna bio je posebno važan kako bi se osigurala stabilnost i udobnost tijekom nošenja, ali i omogućilo jednostavno podešavanje dužine traka prema potrebama korisnika.

Svaki od ovih elemenata zahtijevao je pažljivo planiranje i prilagodbu kako bi osigurao funkcionalnost i praktičnost uređaja. Nakon što su svi elementi dizajna potvrđeni, kućište je isprintano pomoću 3D printera, čime je dovršen proces izrade kućišta.

Na slikama ispod (slika 28. i slika 29.) prikazano je isprintano 3D kućište s ugrađenim komponentama, spremno za daljnje testiranje i uporabu.



Slika 28. Isprintano 3D kućište s prostorom za ekran i otvore



Slika 29. Spajanje elektroda za EKG putem Audio Jack utora

5. Razvoj programske podrške i web-komunikacija

5.1. Programska podrška

Za razvoj programske podrške (*eng. firmware*) za ESP32-S3 korišten je *Arduino framework*, koji pruža sloj apstrakcije nad složenijim operacijama mikrokontrolera. Korištenje *Arduino frameworka* omogućava jednostavniju i bržu implementaciju funkcionalnosti jer eliminira potrebu za ručnom konfiguracijom hardverskih komponenti (izbjegava direktno upravljanje registarskim postavkama i ručnu konfiguraciju hardverskih modula). Time je omogućeno da se programiranje usmjeri na funkcionalni dio koda koji upravlja senzorima, komunikacijom i prikazom podataka, što je bilo ključno za brži razvoj cijelog sustava te olakšava rješavanje potencijalnih problema.

Za razvoj aplikacije korišteno je *PlatformIO* razvojno okruženje, proširenje za *Visual Studio Code* (VSC), koje nudi napredne funkcionalnosti u odnosu na klasično *Arduino* okruženje. Ove funkcionalnosti uključuju automatsko preuzimanje potrebnih biblioteka i bolju integraciju projekata, čime se olakšava upravljanje složenijim projektima te brža integracija vanjskih modula [44]. Ključna prednost *PlatformIO* je jednostavna integracija *Open Source C++* biblioteka, što omogućuje korištenje naprednih alata tijekom razvoja i lakše upravljanje kompleksnim komponentama [45].

ESP32-S3 je konfiguriran unutar *PlatformIO*, koje pruža sveobuhvatnu podršku za projekte mikrokontrolera, uključujući automatsku instalaciju potrebnih biblioteka i alata. U sklopu tog procesa korišteno je više ključnih biblioteka, uključujući one za WiFi povezivanje, HTTPS komunikaciju, obradu JSON zahtjeva te specifične biblioteke za svaki čip (x4) i za zaslon (x2). Jedna biblioteka upravlja komunikacijom između ESP32 i zaslona, dok *LVGL* (*eng. Light and Versatile Graphics Library*) omogućava kreiranje grafičkog korisničkog sučelja (GUI) na ekranu.

5.2. Inicijalizacija i postavljanje uređaja

ESP32-S3 mikrokontroler zahtijeva početnu konfiguraciju kako bi mogao ispravno upravljati senzorima, memorijom i ekranom. Proizvođač T-Display modula, LILYGO, koji je korišten u ovom projektu, pruža primjere koda koji olakšavaju postavljanje ključnih komponenti i ubrzavaju razvoj [46].

Konfiguracija uključuje sljedeće korake:

- Postavljanje procesorske frekvencije: određuje radnu frekvenciju procesora kako bi se optimizirale performanse i potrošnja energije.
- Inicijalizacija vanjske flash memorije (16 MB) i particioniranje: osigurava spremište za pohranu podataka i firmwarea, pri čemu se memorija dijeli na logičke dijelove (particije).
- Konfiguracija upravljačkog čipa za ekran: postavlja komunikaciju između mikrokontrolera i zaslona, omogućujući prikaz podataka.
- Inicijalizacija *bootloadera*³ za jednostavno programiranje: omogućuje učitavanje firmwarea na mikrokontroler bez potrebe za posebnim programatorom.
- Raspored i konfiguracija pinova za senzore i periferije: definira povezivanje vanjskih senzora i uređaja s mikrokontrolerom putem odgovarajućih pinova.
- Postavljanje postavki za *debugging* procesa: omogućuje praćenje rada programa i rješavanje grešaka tijekom razvoja.

Ovi koraci omogućili su da se ESP32-S3 pravilno postavi za komunikaciju s vanjskim senzorima i ekranom.

³ *Bootloader* (program za učitavanje pri pokretanju) je softverski program koji omogućuje učitavanje i ažuriranje firmwarea na mikrokontroler bez potrebe za vanjskim programatorom

5.3. Web-komunikacija

Za uspostavu komunikacije s internetom na ESP32-S3 mikrokontroleru, korišten je WiFi modul integriran u čip. Proces komunikacije putem WiFi sučelja sastoji se od nekoliko koraka. Prvo, potrebno je uspostaviti vezu s lokalnom mrežom spajanjem na bežični ruter. ESP32 podržava moderne enkripcijske protokole, uključujući WPA i PSK, čime se omogućava sigurno povezivanje na mrežu [47].

Nakon što se uspješno poveže s ruterom i završi razmjena pristupnih podataka, slijedi komunikacija sa serverom. Za ovaj projekt korištene su WiFi i WiFiClientSecure biblioteke [48], koje pružaju funkcionalnost za upravljanje bežičnom mrežnom komunikacijom te podržavaju HTTPS protokol za sigurnu razmjenu podataka.

Nakon što je komunikacija s serverom uspostavljena, ključna odluka u razvoju sustava bila je odabir formata prijenosa podataka. Razmatrani su binarni i tekstualni prijenos, svaki sa svojim prednostima i izazovima. Binarni prijenos je izuzetno učinkovit u pogledu veličine podataka. Na primjer, za slanje cjelobrojne vrijednosti otkucaja srca (npr. 150 otkucaja u minuti), binarni zapis koristi samo 1 bajt, dok tekstualni zapis ('1', '5', '0') zahtijeva tri bajta. Binarni format je ekonomičniji u smislu memorijske potrošnje i brzine prijenosa, ali zahtijeva preciznu koordinaciju između pošiljatelja i primatelja kako bi se podaci ispravno interpretirali.

Međutim, zbog prirode projekta, odlučeno je da se koristi tekstualni prijenos podataka, jer omogućava veću čitljivost i jednostavniju obradu podataka. U ovom slučaju, podaci se prenose putem HTTP/HTTPS protokola, koji je standardiziran za komunikaciju s web serverima. Za serijalizaciju podataka odabran je JSON format (JavaScript Object Notation) [49], koji je široko prihvaćen zbog svoje fleksibilnosti, čitljivosti i kompatibilnosti s različitim alatima i platformama. U ovom radu korištena je i ArduinoJson biblioteka [50], koja je optimizirana za uređaje s ograničenom količinom RAM memorije. Ova biblioteka omogućava jednostavno oblikovanje podataka u JSON formatu prije slanja na server, tablica 2.

Tablica 2. Primjer JSON zahtjeva

```
{  
  "heart_rate": 75,  
  "oxygen_saturation": 98,  
  "temperature": 36.7  
}
```

Za osiguranje sigurnosti komunikacije prema serveru korištena je WiFiClientSecure biblioteka, koja enkriptira podatke tijekom prijenosa putem HTTPS protokola [48]. Ova biblioteka omogućuje siguran prijenos podataka između uređaja i servera korištenjem SSL/TLS enkripcije, čime se sprječava neovlašteni pristup i osigurava povjerljivost osjetljivih podataka. Na taj način, svi podaci koji se prenose, poput otkucaja srca i zasićenosti kisikom, zaštićeni su tijekom cijelog komunikacijskog procesa.

5.4. Upravljački programi

Za pravilno funkcioniranje senzora spojenih putem I2C sabirnice, bilo je potrebno implementirati odgovarajuće upravljačke programe (drivere) koji omogućuju inicijalizaciju, konfiguraciju i čitanje podataka s tih uređaja. Upravljačke programe je bilo potrebno napisati za svaki pojedinačni uređaj kako bi se osiguralo pravilno postavljanje radnih postavki te nesmetan prijenos mjernih podataka prema mikrokontroleru ESP32-S3.

U ovom projektu, I2C komunikacija je realizirana korištenjem Wire biblioteke unutar Arduino okruženja. Wire biblioteka pruža sloj apstrakcije koji omogućuje programerima da koriste standardizirane funkcije za slanje i primanje podataka između mikrokontrolera i vanjskih senzora, bez potrebe za direktnim upravljanjem niskonaponskim signalima sabirnice [51]. Sama implementacija komunikacije na niskoj razini ostavljena je na *Board Support Package* sloj, koji je specifičan za ESP32 platformu.

Wire biblioteka olakšava slanje i primanje podataka putem I2C protokola. Primjer jednostavne operacije pisanja podataka prikazan je u tablici 3.

Tablica 3. Operacija pisanja putem I2C protokola [29]

START bit	Master uređaj generira startni signal kojim započinje komunikaciju.
Slanje adrese uređaja	Master šalje adresu uređaja s kojim želi komunicirati. Ako uređaj prepozna adresu, šalje ACK (<i>acknowledge</i>) signal kao potvrdu.
Slanje podataka	Master šalje podatke u nekoliko bajtova, a nakon svakog bajta slave uređaj šalje ACK signal kao potvrdu.
STOP bit	Kada je prijenos podataka završen, master uređaj generira stop signal kojim završava komunikaciju.

Operacija čitanja podataka nešto je složenija jer zahtijeva inicijalno slanje komande za čitanje, a tek nakon toga slijedi povrat podataka od strane slave uređaja. Primjer operacije čitanja podataka iz memorije uređaja koja koristi dva bajta za adresiranje prikazana je tablicom 4.

Tablica 4. Operacija čitanja putem I2C protokola [29]

START bit	
Slanje adrese uređaja	
Slanje komande za čitanje	Master šalje komandu kojom specificira da želi čitati podatke s određenog dijela memorije.
Slanje adrese memorije	Master šalje dva bajta, jedan za gornji i jedan za donji dio adrese.
STOP bit	Prekid početne komunikacije.
START bit	Ponovno pokretanje komunikacije
Slanje adrese uređaja	Master ponovno šalje adresu uređaja, ovaj put s ciljem čitanja podataka
Čitanje podataka	Slave uređaj počinje vraćati podatke u bajtovima, a nakon svakog bajta master uređaj šalje ACK signal
STOP bit	Završetak komunikacije

Upravljačke programe je bilo potrebno prilagoditi svakom pojedinom uređaju spojenom putem I2C sabirnice. Svaki senzor ima različite radne postavke, npr. brzinu prijenosa podataka, adresu na sabirnici i način na koji vraća mjerne podatke. Korištenje Wire biblioteke i pravilno implementiranih drivera omogućilo je nesmetanu komunikaciju između ESP32-S3 i senzora, bez potrebe za ručnim upravljanjem registarskim vrijednostima [51].

Driveri su imali ključnu ulogu u postavljanju radnih parametara uređaja, kao što su:

- inicijalizacija I2C komunikacije s odgovarajućom adresom uređaja,
- postavljanje registracija uređaja kako bi se prilagodili potrebni radni uvjeti,
- čitanje mjernih podataka s uređaja u periodičnim intervalima,

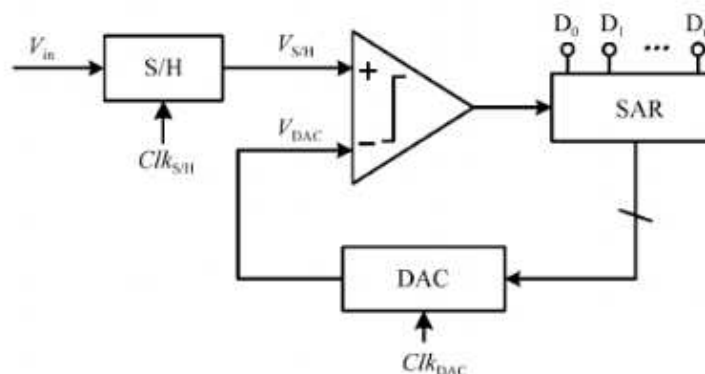
- upravljanje prekidima ili pogreškama koje mogu nastati prilikom prijenosa podataka.

Ukratko, korištenje Wire biblioteke unutar Arduino okruženja značajno je pojednostavilo razvoj drivera za I2C uređaje. Standardizirane funkcije omogućile su lako programiranje I2C komunikacije, dok je niskonaponska implementacija ostala skrivena u *Board Support Package* sloju. Na taj način bilo je moguće brzo i učinkovito razviti sustav koji može pouzdano prikupljati podatke s više senzora putem jedinstvene sabirnice.

5.5. Upravljački program za EKG - AD8232

Svi korišteni uređaji, osim AD8232, koji je analogno sučelje za EKG, koriste I2C protokol. AD8232 daje analogni izlaz unutar raspona napajanja čipa, što je u našem slučaju raspon od 0-3.3V. Taj signal je spojen na pin ESP32-S3 mikrokontrolera, koji se interno može konfigurirati kao analogno-digitalni pretvornik (eng. ADC).

ESP32-S3 ima dvije ADC jedinice koje mogu nezavisno očitavati razne eksterne (preko pinova) ili interne (npr. temperatura, napon) vrijednosti. Rezolucija tih jedinica je 12 bita, a koriste SAR (eng. *Successive-approximation*) arhitekturu [52]. SAR arhitektura (prikazana na slici 30.) temelji se na uspoređivanju vanjske vrijednosti s vrijednošću dobivenom putem internog digitalno-analognog pretvornika. Repetitivnim uspoređivanjem vrijednosti, koristeći algoritam sličan binarnoj pretrazi, moguće je ostvariti brz i precizan ADC.



Slika 30. Tipična SAR ADC arhitektura [52]

ADC jedinice podržavaju i dodatne funkcionalnosti, poput korištenja precizne unutarnje naponske reference (što nije relevantno za kvantitativnu analizu EKG signala), mogućnosti filtriranja signala i direktnog prijenosa podataka u memoriju korištenjem DMA (eng. *Direct Memory Access*) sučelja.

DMA donosi značajne prednosti. Bez njega, morali bismo svakog vremenskog perioda koristiti prekide kako bismo zaustavili procesiranje, zatražili očitavanje ADC-a, pričekali očitavanje i potom ga spremili u memoriju. Korištenje DMA omogućava da unaprijed postavimo vremenski period i memorijsku adresu, nakon čega ADC automatski očitava i svaki sljedeći podatak sprema na sljedeću memorijsku adresu počevši od zadane. Moguće je postaviti kružni međuspremnik (eng. *circular buffer*), koji omogućava First-In-First-Out pristup podacima. Kada se međuspremnik napuni, podaci se mogu obraditi u blokovima, što poboljšava efikasnost [18].

Prateći preporuke iz struke [53], frekvencija uzorkovanja postavljena je na 1000 Hz.

Za sve ostale implementirane funkcionalnosti korišteni su samo ulazi i izlazi opće namjene (GPIO). To su:

- SDN - *Shutdown* pin, čije povlačenje u stanje visoke logičke razine postavlja čip u režim niske potrošnje,
- LOD+ i LOD- - *Lead off detection* - korištenjem treće elektrode, uređaj može detektirati ako se jedna od elektroda odvojila od korisnika.

5.6. Grafičko sučelje

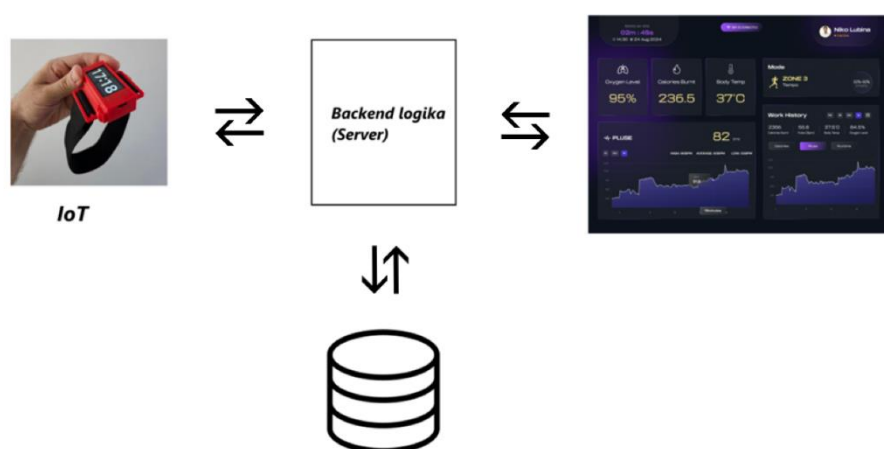
Za realizaciju grafičkog sučelja korištene su dvije grafičke biblioteke. Prva biblioteka bila je zadužena za upravljanje komunikacijom između ESP32-S3 mikroprocesora i prikaznog ekrana, čime je pojednostavljen inicijalni setup i omogućena lakša integracija zaslona s ostalim komponentama sustava [46]. Time je izbjegnuta potreba za ručnim postavljanjem komunikacijskih parametara između mikroprocesora i ekrana, što je značajno ubrzalo razvojni proces.

Druga korištena biblioteka bila je LVGL (*Light and Versatile Graphics Library*), popularna open-source biblioteka posebno pogodna za nekomercijalne projekte [54]. LVGL nudi sloj apstrakcije i kolekciju naprednih metoda za izradu intuitivnih grafičkih sučelja. Ova biblioteka omogućila je lako implementiranje raznih grafičkih elemenata poput jednostavnih geometrijskih oblika, grafova i indikatora, što značajno ubrzava razvojni proces. Također, LVGL podržava kompleksne animacije, čime se osigurava visoka funkcionalnost sučelja te poboljšava korisničko iskustvo (UX).

6. Skladištenje i prikazivanje podataka

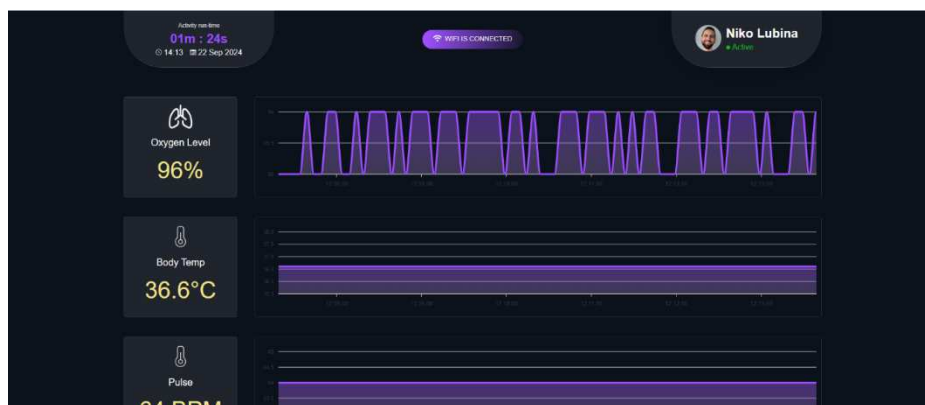
6.1. Uvod u komunikaciju između komponenti

Sustav za praćenje fizičkih parametara korisnika sastoji se od tri glavna dijela: IoT uređaja, serverske logike (*backend*), i korisničkog sučelja (*frontend*). IoT uređaj prikuplja podatke o vitalnim parametrima korisnika (razine kisika u krvi, puls i tjelesnu temperaturu), te ih šalje na *Node.js* backend server, gdje se podaci obrađuju i pohranjuju u *MongoDB* bazu podataka. Slika 31. prikazuje kompletnu strukturu sustava.



Slika 31. Struktura sustava za praćenje fizičkih parametara i komunikacija između uređaja, servera i baze

Frontend aplikacija izrađena u Angularu koristi te podatke i prikazuje ih u stvarnom vremenu na korisničkom sučelju. Trenutni prikaz korisničkog sučelja (Slika 32.) sadrži podatke o razini kisika, tjelesnoj temperaturi i puls, koji su vizualizirani putem grafova.



Slika 32. Prikaz korisničkog sučelja s trenutnim real-time podacima o razini kisika, tjelesnoj temperaturi i puls

6.2. Postavljanje serverske infrastrukture

Serverski dio sustava razvijen je pomoću Node.js-a [55]. Korištenje asinkronog modela Node.js-a omogućuje sustavu da kontinuirano prima i obrađuje podatke od IoT uređaja. Kreirana su dva ključna endpointa: jedan za primanje podataka od IoT uređaja i drugi za dohvaćanje podataka za frontend aplikaciju.

Prvi endpoint, koji prima podatke od IoT uređaja, prikazan je na slici 33.

```
46 app.post('/api/data', (req, res) => {
47   const { deviceId, temperature, oxygenLevel, pulse } = req.body;
48   const timestamp = new Date();
49   const data = { deviceId, temperature, oxygenLevel, pulse, timestamp };
50
51   // Pohranjivanje podataka u MongoDB bazu
52   db.collection('iotData').insertOne(data, (err, result) => {
53     if (err) {
54       return res.status(500).json({ error: 'Error saving data' });
55     }
56     res.status(200).json({ message: 'Data saved successfully' });
57   });
58 });
59
60
```

Slika 33. Endpoint za prikupljanje podataka i pohranu u MongoDB

Ovaj *endpoint* omogućuje prikupljanje podataka o fizičkim parametrima korisnika s IoT uređaja (temperatura, razina kisika, puls) i njihovo pohranjivanje u MongoDB bazu podataka za daljnju analizu i prikaz.

6.3. Skladištenje podataka u MongoDB bazi

Podaci koje IoT uređaj prikuplja pohranjuju se u *MongoDB* bazu podataka. Korištenje ne-relacijske baze podataka poput *MongoDB* omogućuje fleksibilno i skalabilno skladištenje podataka u formatu koji je lako pretraživati. Svaki zapis u bazi sadrži identifikator uređaja (iako mi imamo samo jedan uređaj pa se identifikator mogao i izbaciti), izmjerene vrijednosti (temperatura, razina kisika, puls), te vremensku oznaku (*timestamp*), tablica 5.

Ovaj sustav omogućava jednostavno pretraživanje i dohvaćanje podataka prema vremenskim oznakama, što je ključno za prikaz povijesnih podataka i analizu.

Tablica 5. JSON zapis podatka pohranjenog u MongoDB [56]

```
{
  "deviceId": "sensor_01",
  "temperature": 36.7,
  "oxygenLevel": 96,
  "pulse": 72,
  "timestamp": "2024-09-22T14:13:00Z"
}
```

6.4. Dohvaćanje podataka za prikaz na korisničkom sučelju

Frontend aplikacija koristi *HTTP* zahtjeve za dohvaćanje podataka iz MongoDB baze putem drugog *endpointa*. Ovaj *endpoint* omogućuje dohvaćanje podataka prema vremenskom rasponu, što je ključno za vizualizaciju podataka na korisničkom sučelju u realnom vremenu.

Primjer koda za dohvaćanje podataka prikazan je na slici 34.

```
24 app.get('/api/data', (req, res) => {
25   const { startTime, endTime } = req.query;
26
27   db.collection('iotData').find({
28     timestamp: {
29       $gte: new Date(startTime),
30       $lt: new Date(endTime)
31     }
32   }).toArray((err, data) => {
33     if (err) {
34       return res.status(500).json({ error: 'Error fetching data' });
35     }
36     res.json(data);
37   });
38 });
```

Slika 34. Kod za dohvaćanje podataka iz MongoDB baze

Podaci prikupljeni s IoT uređaja šalju se na backend, gdje se obrađuju i pohranjuju u MongoDB bazu podataka. Angular aplikacija periodički šalje HTTP zahtjeve prema Node.js serveru kako bi dohvatila najnovije podatke i prikazala ih na frontend sučelju, bez potrebe za ručnim osvježavanjem stranice [57].

Na sučelju se podaci prikazuju u realnom vremenu putem dinamičkih grafova, omogućujući korisnicima vizualni uvid u trenutne vrijednosti parametara poput pulsa, tjelesne temperature i razine kisika u krvi. Grafovi se automatski ažuriraju u redovitim intervalima, omogućujući kontinuirano praćenje trendova.

Angular aplikacija osigurava brz i učinkovit prikaz podataka, s intuitivnim korisničkim sučeljem koje omogućuje jednostavan pristup ključnim informacijama o korisničkom stanju.

6.5. Postavljanje serverske aplikacije na cloud platformu

Za potrebe ovog projekta, serverska aplikacija postavljena je na cloud platformu Render [58]. Odluka o korištenju Render platforme donesena je zbog nekoliko ključnih faktora: prvenstveno zbog besplatnog servisa za studente, što je omogućilo razvoj i postavljanje aplikacije bez dodatnih troškova, te zbog jednostavnosti integracije s GitHubom i brzine postavljanja.

Render platforma nudi intuitivan proces postavljanja (deploying), što je omogućilo jednostavan i lagan početak rada bez potrebe za složenim konfiguracijama. Ovo je bilo važno s obzirom na vremenska ograničenja za razvojem funkcionalnog sustava..

Aplikacija je integrirana s GitHub repozitorijem, što omogućuje automatski deploy svaki put kada se novi kod gurne (*eng. push-a*) u glavni repozitorij. Ovaj proces osigurava da su sve izmjene u kodu odmah prenesene na produkcijsko okruženje (*eng. production environment*). To znači da su svi korisnici sustava, uključujući IoT uređaje i frontend aplikaciju, uvijek povezani s najnovijom verzijom serverske aplikacije.

Ovaj način postavljanja omogućava kontinuiranu dostupnost sustava i smanjuje mogućnost ljudske pogreške tijekom ručnog postavljanja aplikacije. Uz to, Render automatski upravlja resursima potrebnim za rad servera, čime se dodatno smanjuje potreba za tehničkom intervencijom.

7. Idući koraci – implementacija strojnog učenja

Strojno učenje (*eng. Machine Learning*) je metoda umjetne inteligencije koja omogućava računalnim sustavima da se automatski poboljšavaju kroz iskustvo bez eksplicitnog programiranja [59]. Ono koristi algoritme za analizu podataka, identificiranje obrazaca i donošenje odluka s minimalnom ljudskom intervencijom. U kontekstu sustava za udaljeno prikupljanje i praćenje tjelesnih parametara, strojno učenje može pružiti dodatnu vrijednost analizom prikupljenih podataka kako bi se prepoznale anomalije i obrasci koji ukazuju na potencijalne zdravstvene rizike.

U trenutnoj implementaciji sustava, prikupljamo podatke o temperaturi, zasićenosti kisikom i puls, no ograničeni skup podataka ne omogućuje učinkovitu primjenu modela strojnog učenja koji bi donio značajnu korist. Ove varijable same po sebi ne daju dovoljno detaljne informacije za precizno prepoznavanje anomalija u zdravlju korisnika. Modeli strojnog učenja zahtijevaju veći broj ulaznih varijabli i kompleksnije podatke kako bi bili u mogućnosti otkriti obrasce i anomalije.

Međutim, buduće iteracije sustava, koje će uključivati i podatke prikupljene pomoću EKG modula, predstavljaju značajnu priliku za implementaciju strojnog učenja. Elektrokardiogram (EKG) daje detaljniji uvid u rad srca korisnika te omogućuje analizu srčanih signala. Integracija EKG-a s već postojećim podacima (temperatura, puls, zasićenost kisikom) stvorit će bogatiji i raznolikiji skup podataka. Uz to, kombinacija ovih parametara omogućit će razvoj modela za prepoznavanje srčanih aritmija, promjena u srčanoj aktivnosti te ostalih fizioloških anomalija.

Implementacija algoritama za prepoznavanje anomalija može biti konfigurirana da pokrene određenu akciju (npr. slanje obavijesti korisniku ili medicinskom stručnjaku) u slučaju otkrivanja neobičnih obrazaca u podacima. To bi sustavu omogućilo da djeluje preventivno, pružajući korisnicima rani uvid u moguće zdravstvene probleme. Time bi sustav postao aktivni sudionik u unapređenju zdravstvene skrbi, a ne samo pasivni uređaj za prikupljanje podataka.

Zaključno, iako trenutna arhitektura sustava ne podržava naprednu analitiku putem strojnog učenja, buduće nadogradnje poput EKG-a otvaraju put za implementaciju

sofisticiranih modela koji će pružiti korisne i pravovremene informacije o zdravstvenom stanju korisnika.

Zaključak

Razvojem sustava za praćenje biometrijskih podataka postavljen je temelj za buduće nosive uređaje koji mogu pratiti zdravstvene parametre korisnika s visokom preciznošću. Ovaj rad opisuje proces dizajna, implementacije i testiranja uređaja koji može prikupljati podatke o otkucajima srca, zasićenosti kisikom i tjelesnoj temperaturi, uz mogućnost daljnjeg proširenja funkcionalnosti za EKG mjerenja i dodatne senzore. Tijekom izrade projekta, korištene su moderne tehnologije poput ESP32-S3 mikrokontrolera, napredne biometrijske senzorske komponente, te prilagođeni PCB i 3D printano kućište koje omogućuje dugotrajan rad uređaja u stvarnim uvjetima. Razvoj programske podrške za rad uređaja obuhvatio je korištenje više biblioteka za upravljanje sensorima, dok je prijenos podataka na udaljeni poslužitelj osiguran putem Wi-Fi veze i JSON formata. Kao što je navedeno u radu, sustav je koncipiran tako da je otvoren za daljnji razvoj i nadogradnju, čime pruža platformu za istraživanje i primjenu u realnim scenarijima praćenja zdravstvenih parametara. Ovaj projekt ima potencijal za širu primjenu u medicinskim uređajima, osobito u okruženjima gdje je kontinuirano praćenje vitalnih znakova ključno. Dodatne nadogradnje mogu uključivati poboljšanu točnost senzora, implementaciju dodatnih funkcija poput analize pokreta i bežičnog punjenja, te integraciju s aplikacijama za pametne uređaje kako bi se korisnicima omogućio još bolji uvid u njihove zdravstvene podatke.

Literatura

[1] R. J. Shei, I. G. Holder, A. S. Oumsang, B. A. Paris i H. L. Paris, "Wearable activity trackers: advanced technology or advanced marketing?," *Eur. J. Appl. Physiol.* , vol. 122, br. 9, str. 1975–1990, travanj 2022. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9022022/> Pristupljeno: 10. siječnja 2024.

[2] B. Bent, B. A. Goldstein, W. A. Kibbe i J. P. Dunn, "Investigating sources of inaccuracy in wearable optical heart rate sensors," *NPJ Digit Med.* , vol. 3, br. 18, veljača 2020. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7010823/> Pristupljeno: 10. siječnja 2024.

[3] C. M. Vidhya, Y. Maithani i J. P. Singh, "Recent Advances and Challenges in Textile Electrodes for Wearable Biopotential Signal Monitoring: A Comprehensive Review," *Biosensors* , vol. 13, br. 7, str. 679, lipanj 2023. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10377545/> Pristupljeno: 15. siječnja 2024.

[4] M. E. Mata-Romero, O. A. Simental-Martínez, H. A. Guerrero-Osuna, L. F. Luque-Vega, E. Lopez-Neri, G. Ornelas-Vargas, R. Castañeda-Miranda, M. del R. Martínez-Blanco, J. A. Nava-Pintor i F. García-Vázquez, "A Low-Cost Wearable Device to Estimate Body Temperature Based on Wrist Temperature," *Sensors* , vol. 24, br. 6, str. 1944, ožujak 2024. Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10975497/> Pristupljeno: 10. travnja 2024.

[5] IoT Marketing, "Smart Rings: The Chic Successor to Smartwatches," IoT Marketing Blog, objavljeno: 23. travnja 2024., dostupno na: <https://iotmktg.com/smart-rings-the-chic-successor-to-smartwatches/> ,pristupljeno: 26. srpnja 2024.

[6] Les Pounder, "Raspberry Pi Zero Guide: Projects, Specs, GPIO, Getting Started," Tom's Hardware, ažurirano: 17. rujna 2022., dostupno na: <https://www.tomshardware.com/features/raspberry-pi-zero> , pristupljeno: 15. veljače 2024.

- [7] Wikipedia, "STM32," Wikipedia, The Free Encyclopedia, dostupno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/STM32>, pristupljeno: 10. veljače 2024.
- [8] Nordic Semiconductor, "nRF52840 Product Specification," dostupno na: https://docs.nordicsemi.com/bundle/ps_nrf52840/page/keyfeatures_html5.html, pristupljeno: 12. veljače 2024..
- [9] Espressif Systems, "ESP32-S3 Series Datasheet, Version 1.9," dostupno na: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3_datasheet_en.pdf, pristupljeno: 12. veljače 2024.
- [10] LilyGo, "T-Display-S3 ESP32-S3 1.9 inch ST7789 LCD Display Touch Screen Development Board," LilyGo Online Store, dostupno na: <https://www.lilygo.cc/products/t-display-s3>, pristupljeno: 12. veljače 2024..
- [11] Vincent Riccio, "10 Important Factors to Consider When Selecting a New Sensor or IoT Device," ParkourSC, dostupno na: <https://www.parkoursc.com/10-important-factors-to-consider-when-selecting-a-new-sensor-or-iot-device/>, pristupljeno: 12. veljače 2024.
- [12] Adam Drewery, "Top IoT Boards for Development & Prototyping: 2023 Update," Very Technology, objavljeno: 2023., dostupno na: <https://www.verytechnology.com/iot-insights/top-iot-boards-for-development-prototyping>, pristupljeno: 12. veljače 2024.
- [13] Don Tuite, "Who Actually Designs Reference Designs?" *Electronic Design*, objavljeno: 7. listopada 2008., dostupno na: <https://www.electronicdesign.com/technologies/industrial/boards/article/21778286/who-actually-designs-reference-designs>, pristupljeno: 12. veljače 2024.
- [14] Analog Devices, "MAXREFDES100 Health Sensor Platform," Analog Devices, dostupno na: <https://www.analog.com/en/resources/reference-designs/maxrefdes100.html#rd-overview>, pristupljeno: 13. veljače 2024.
- [15] Analog Devices, "MAXREFDES101 Health Sensor Platform 2.0," Analog Devices, dostupno na: <https://www.analog.com/en/resources/reference-designs/maxrefdes101.html#rd-overview>, pristupljeno: 13. veljače 2024.

[16] Analog Devices, "ADXL345 Digital Accelerometer Datasheet," dostupno na: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/adxl345.pdf>, pristupljeno: 13. veljače 2024.

[17] QIMIWON Official Store, "1 stücke ADXL345BCCZ ADXL345 345B LGA-14 Digitale Beschleunigung Sensor Chip," Aliexpress, dostupno na: <https://de.aliexpress.com/item/1005004587970052.html>, pristupljeno: 13. veljače 2024.

[18] Analog Devices, "AD8232 Single-Lead, Low-Power Heart Rate Monitor Front End," dostupno na: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad8232.pdf>, pristupljeno: 13. veljače 2024.

[19] Analog Devices, "AD8232 Single-Lead, Low-Power Heart Rate Monitor Front End," Mouser Electronics, dostupno na: <https://hr.mouser.com/new/analog-devices/adi-ad8232-amplifier/>, pristupljeno: 13. veljače 2024.

[20] Bosch, "BME280 Environmental Sensor," Mouser Electronics, dostupno na: <https://hr.mouser.com/new/bosch/bosch-bme280/>, pristupljeno: 13. veljače 2024.

[21] SparkFun Electronics, "Triple Axis Accelerometer Breakout - ADXL345," dostupno na: <https://www.sparkfun.com/products/9570>, pristupljeno: 13. veljače 2024.

[22] Analog Devices, "MAX30102 High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health," dostupno na: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/MAX30102.pdf>, pristupljeno: 13. veljače 2024.

[23] Analog Devices, "MAX30102 High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health," Mouser Electronics, dostupno na: <https://hr.mouser.com/new/analog-devices/maxim-max30102efd-sensor/>, pristupljeno: 13. veljače 2024.

[24] Analog Devices, "MAX32664 Ultra-Low Power Biometric Sensor Hub," dostupno na: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/MAX32664.pdf>, pristupljeno: 13. veljače 2024.

[25] Analog Devices, "MAX32664 Ultra-Low Power Biometric Sensor Hub," Mouser Electronics, dostupno na: <https://hr.mouser.com/new/analog-devices/maxim-max32664-sensor-hub/>, pristupljeno: 13. veljače 2024.

[26] Alex Yartsev, "Principles of Pulse Oximetry," Deranged Physiology, objavljeno: 26. siječnja 2020., ažurirano: 23. prosinca 2023., dostupno na: <https://derangedphysiology.com/main/cicm-primary-exam/required-reading/respiratory-system/Chapter%20410/principles-pulse-oximetry>, pristupljeno: 22. srpnja 2024.

[27] Mona Nasser i Seyedeh Fatemeh Khatami Firoozabadi, "E-health Project Examination: Introduction of an Applicable Pulse Oximeter," ResearchGate, objavljeno: studeni 2010., dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/47498306_E-health_Project_Examination_Introduction_of_an_Applicable_Pulse_Oximeter, pristupljeno: 22. srpnja 2024.

[28] University of Iowa, "Pulse Oximetry Basic Principles and Interpretation," Iowa Head and Neck Protocols, ažurirano: 8. veljače 2024., dostupno na: <https://medicine.uiowa.edu/iowaprotocols/pulse-oximetry-basic-principles-and-interpretation>, pristupljeno: 22. srpnja 2024.

[29] Wikipedia, "I²C," Wikipedia, The Free Encyclopedia, dostupno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>, pristupljeno: 10. travnja 2024.

[30] Sal Afzal, "I²C Primer: What is I²C? (Part 1)," Analog Devices, objavljeno: 2. rujna 2016., dostupno na: <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/i2c-primer-what-is-i2c-part-1.html>, pristupljeno: 10. travnja 2024.

[31] Rohde Schwart, "Understanding I2C", YouTube, <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=CAvawEcxoPU>, objavljeno: 18. travnja 2023., pristupljeno: 10. travnja 2024.

[32] Umar Waseem, "I2C vs SPI: A Comprehensive Comparison and Analysis," Wevolver, ažurirano: 29. prosinca 2023., dostupno na: <https://www.wevolver.com/article/i2c-vs-spi-protocols-differences-pros-cons-use-cases>, pristupljeno: 10. travnja 2024.

- [33] Zachariah Peterson, "How to Create a PCB Schematic | Altium Designer," Altium, objavljeno: 23. ožujka 2018., ažurirano: 17. veljače 2023., dostupno na: <https://resources.altium.com/p/schematic-tutorial-altium-designer-journey-thousand-pcbs>, pristupljeno: 3. ožujka 2024.
- [34] Wikipedia, "Datasheet," Wikipedia, The Free Encyclopedia, dostupno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Datasheet>, pristupljeno: 3. ožujka 2024.
- [35] Zachariah Peterson, "How to Create a PCB Layout from a Schematic in Altium Designer," Altium, objavljeno: 22. lipnja 2018., ažurirano: 17. veljače 2023., dostupno na: <https://resources.altium.com/p/how-create-pcb-layout-schematic-altium-designer>, pristupljeno: 22. ožujka 2024.
- [36] Altium, "Setting Up & Running a DRC," Altium Documentation, objavljeno: 7. prosinca 2022., ažurirano: 8. prosinca 2022., dostupno na: <https://www.altium.com/documentation/altium-designer/setting-up-running-pcb-design-rule-check#configuring-violation-display-preferences>, pristupljeno: 22. ožujka 2024.
- [37] Eurocircuits. (n.d.). *PCB Prototypes & Small Series, Manufactured and Assembled in Europe*. Ažurirano 2024. Dohvaćeno 17.travnja 2024. s <https://www.eurocircuits.com>
- [38] Mouser Electronics. (n.d.). *Electronic Components Distributor*. Ažurirano 2024. Dohvaćeno 17.travnja 2024. s <https://hr.mouser.com>(<https://hr.mouser.com>
- [39] Chemtronics, "Choosing The Best Flux for High Quality Electronic Soldering," Chemtronics, dostupno na: <https://www.chemtronics.com/essential-guide-to-flux-for-soldering-electronics>, pristupljeno: 25.travnja 2024.
- [40] Umar Waseem, "Solder Reflow: An In-Depth Guide to the Process and Techniques," Wevolver, objavljeno: 25. travnja 2023., dostupno na: <https://www.wevolver.com/article/reflow-soldering>, pristupljeno: 26. rujna 2024.
- [41] E-Design, "MINIWARE Mini Hot Plate Preheater MHP50," Adafruit, dostupno na: https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/5903/MHP50_Introduction.pdf, pristupljeno: 26. travnja 2024.

- [42] Krishna Keshri, "Reflow Profiling," LinkedIn, objavljeno: 1. srpnja 2021., dostupno na: <https://www.linkedin.com/pulse/reflow-profiling-krishna-keshri/>, pristupljeno: 25. travnja 2024.
- [43] Simone Majocchi, "How to design and 3D print a Case for an electronic board," Open Electronics, objavljeno: 29. listopada 2013., dostupno na: <https://www.open-electronics.org/how-to-design-and-3d-print-a-case-for-an-electronic-board/>, pristupljeno: 30. svibnja 2024.
- [44] Simply Explained, "Why Use PlatformIO Instead of Arduino IDE?" Simply Explained, dostupno na: <https://simplyexplained.com/courses/programming-esp32-with-arduino/platformio-vs-arduino-ide/>, pristupljeno: 22. travnja 2024.
- [45] Rui Santos, "Getting Started with VS Code and PlatformIO IDE for ESP32 and ESP8266," Random Nerd Tutorials, dostupno na: <https://randomnerdtutorials.com/vs-code-platformio-ide-esp32-esp8266-arduino/>, pristupljeno: 5. lipnja 2024.
- [46] Xinyuan-LilyGO, "T-Display-S3," GitHub, dostupno na: <https://github.com/Xinyuan-LilyGO/T-Display-S3>, pristupljeno: 5. lipnja 2024.
- [47] Arduino, "WiFi Library Reference," Arduino.cc, dostupno na: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/wifi/>, pristupljeno: 5. lipnja 2024.
- [48] Rui Santos, "ESP32 Useful Wi-Fi Library Functions (Arduino IDE)," Random Nerd Tutorials, dostupno na: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-useful-wi-fi-functions-arduino/>, pristupljeno: 5. lipnja 2024.
- [49] ArduCAM, "WiFiClientSecure.h - Base class that provides Client SSL to ESP32," GitHub, dostupno na: https://github.com/ArduCAM/ArduCAM_ESP32S_UNO/blob/master/libraries/WiFiClientSecure/src/WiFiClientSecure.h, pristupljeno: 5. lipnja 2024.
- [50] Benoît Blanchon, "How to use ArduinoJson with HTTPClient?" ArduinoJson, dostupno na: <https://arduinojson.org/v7/how-to/use-arduinojson-with-httpclient/>, pristupljeno: 5. lipnja 2024.
- [51] Arduino, "Wire," Arduino.cc, dostupno na: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/wire/>, pristupljeno: 5. lipnja 2024.

- [52] Tong Xingyuan, Chen Jianming, Zhu Zhangming, Yang Yintang, "A high performance 90 nm CMOS SAR ADC with hybrid architecture," Journal of Semiconductors, vol. 31, no. 1, 2010., dostupno na: https://www.researchgate.net/publication/231126079_A_high_performance_90_nm_CMOS_SAR_ADC_with_hybrid_architecture, pristupljeno: 6. lipnja 2024.
- [53] Era Ajdaraga, Marjan Gusev, "Analysis of sampling frequency and resolution in ECG signals," 2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR), Beograd, Srbija, 2017., dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8249438>, pristupljeno: 6. lipnja 2024.
- [54] LVGL, "Light and Versatile Graphics Library," dostupno na: <https://lvgl.io/>, pristupljeno: 5. lipnja 2024.
- [55] Stack Abuse i Timothy Nolan, "How To Create a Web Server in Node.js with the HTTP Module," DigitalOcean, objavljeno: 10. travnja 2020., dostupno na: <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/how-to-create-a-web-server-in-node-js-with-the-http-module>, pristupljeno: 15. srpnja 2024.
- [56] Darrielle Evans, "The Complete Guide to Node.js MongoDB," HubSpot, objavljeno: 17. srpnja 2023., ažurirano: 24. srpnja 2023., dostupno na: <https://blog.hubspot.com/website/node-js-mongodb-examples>, pristupljeno: 15. srpnja 2024.
- [57] Angular, "Understanding communicating with backend services using HTTP," dostupno na: <https://angular.dev/guide/http>, pristupljeno: 8. kolovoza 2024.
- [58] Render, "Deploy a Node Express App on Render," dostupno na: <https://docs.render.com/deploy-node-express-app>, pristupljeno: 15. srpnja 2024.
- [59] Wikipedia, "Machine learning," dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_learning, pristupljeno: 27. srpnja 2024.

Naslov, sažetak i ključne riječi

Sustav za udaljeno prikupljanje i praćenje tjelesnih parametara osobe

Sažetak:

U okviru diplomskog rada osmišljen je i implementiran sustav za udaljeno prikupljanje i praćenje tjelesnih parametara osobe. Sustav se sastoji od mikrokontrolera na koji su spojeni senzori za očitavanje tjelesne temperature, srčanog ritma, krvnog tlaka i razine kisika u krvi. Mikrokontroler prikuplja podatke sa senzora i obrađuje ih, a zatim ih prenosi na drugi uređaj putem bežične komunikacije. Podaci se potom spremaju u oblak i prikazuju na grafičkom sučelju.

Ključne riječi:

senzori za tjelesne parametre; mikrokontroler; bežična komunikacija; oblak za pohranu podataka; zdravstveno praćenje; senzori; personalizirana medicina; mobilni uređaji za zdravstvenu dijagnostiku; sigurnost podataka; grafičko sučelje

Title, summary and keywords

System for remote sensing and monitoring of human body parameters

Abstract:

As part of the master thesis, a system for remote monitoring of physiological parameters of a person was designed and implemented. The system consists of a microcontroller connected to sensors for measuring body temperature, heart rate, blood pressure and blood oxygen level. The microcontroller collects data from the sensors and processes it, then transmits it to another device via wireless communication. The data is then stored in the cloud and displayed on a graphical user interface.

Keywords:

body parameter sensors; microcontroller; wireless communication; data cloud storage; health monitoring; sensors; personalized medicine; mobile health diagnostic devices; data security; graphical interface