

# Umjetna inteligencija u nosivim uređajima za praćenje zdravlja ispitanika

---

Akmačić, Lovro

Undergraduate thesis / Završni 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:168:947674>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-21**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 1545

**UMJETNA INTELIGENCIJA U NOSIVIM UREĐAJIMA ZA  
PRAĆENJE ZDRAVLJA ISPITANIKA**

Lovro Akmačić

Zagreb, lipanj 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

ZAVRŠNI RAD br. 1545

**UMJETNA INTELIGENCIJA U NOSIVIM UREĐAJIMA ZA  
PRAĆENJE ZDRAVLJA ISPITANIKA**

Lovro Akmačić

Zagreb, lipanj 2024.

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 1545

Pristupnik: **Lovro Akmačić (0036537589)**  
Studij: Elektrotehnika i informacijska tehnologija i Računarstvo  
Modul: Računarstvo  
Mentor: prof. dr. sc. Ratko Magjarević

Zadatak: **Umjetna inteligencija u nosivim uređajima za praćenje zdravlja ispitanika**

### Opis zadatka:

Pretražiti literaturu o primjenama umjetne inteligencije u nosivim uređajima poput Fitbita koji mogu pratiti zdravlje i životni stil ljudi. Napraviti pregled senzora koji se koriste u uređajima, biomarkera koji se koriste za određivanje stanja zdravlja i boljitka, načine prikazivanja podataka na nosivom uređaju, te načine prikaza, prijenosa i pohranjivanja podataka na mobilnom telefonu ili računalu. Napraviti statističku analizu podataka dobivenih snimanjem podataka u periodu od najmanje dva tjedna.

Rok za predaju rada: 14. lipnja 2024.



## Sadržaj

Uvod .....	1
1. Senzori u nosivim uređajima .....	2
1.1. Akcelerometar .....	2
1.2. Altimetar .....	3
1.3. Fotopletizmografski senzor .....	3
1.4. Žiroskop .....	4
2. Biološki markeri .....	6
2.1. Broj otkucaja srca i varijabilnost otkucaja srca .....	6
2.2. Disanje .....	7
2.3. Varijacija temperature kože .....	7
2.4. Estimacija varijacije kisikom tijekom spavanja .....	7
2.5. San .....	8
2.6. Krvni tlak .....	8
3. Način prikazivanja podataka na nosivom uređaju .....	9
4. Načini prikaza, prijenosa i pohranjivanja podataka na mobilnom telefonu .....	11
4.1. Prikaz podataka .....	11
4.2. Prijenos i pohranjivanje podataka .....	14
5. Statistička analiza podataka .....	15
5.1. Broj otkucaja srca .....	15
5.2. Altituda .....	16
5.3. Korelacija promjene broja otkucaja srca i promjene altitude .....	17
5.3.1. Korelacijski koeficijent .....	18
5.3.2. Kros-korelacija .....	20
5.3.3. Linearna regresija .....	21
5.4. Korelacija promjene altitude kroz dvije aktivnosti hoda .....	24

5.5. Faze sna tijekom spavanja .....	25
Zaključak .....	26
Literatura .....	27
Sažetak.....	31
Summary.....	32
Privitak .....	33

# Uvod

Razvoj tehnologije omogućio je stvaranje nosivih uređaja kao što su pametni satovi i pametne narukvice koji mogu pratiti zdravlje i fizičke aktivnosti pojedinca. Takvi uređaji dostupni su javnosti i kroz kontinuiran period mogu snimati i bilježiti biološke markere i fizičke aktivnosti korisnika. Jedan primjer spomenutih uređaja su Fitbit uređaji te će se model Charge 4 proizvođača Fitbit koristiti za snimanje i statističku analizu podataka za ovaj rad.

Zadaća ovog rada analiziranje je senzora nosivih uređaja koji prikupljaju, obrađuju i zapisuju podatke, proučiti način na koji rade i kako se snimljeni podatci prikazuju na nosivom uređaju, istražiti načine prijenosa i pohranjivanja podataka na mobilnom telefonu i računalu i proučiti kako određeni biološki markeri koji se mjere mogu dati informaciju o zdravlju i boljitku korisnika.

Također, cilj ovog rada je statistička obrada snimljenih podataka u periodu od najmanje 2 tjedna. Bit će ostvarena modeliranjem grafova promjene određenih parametara (bioloških markera, altitude, fizičke aktivnosti i sl.) i korelacijom promjena više parametara (npr. promjene broja otkucaja srca i promjene altitude) kroz neki period. Također, kroz pokuse i kroz analizu promjene snimljenih parametara na nosivim uređajima kroz vrijeme i uspoređivanjem s provjerenim vrijednostima tih parametara, dat će se predodžba o točnosti senzora spomenutih nosivih uređaja.

Nosivi uređaji koji se analiziraju ovim radom nisu namijenjeni da daju medicinske i znanstvene podatke, no mogu pružati generalan uvid u zdravlje, tjelesnu aktivnost, prehrambene navike, razinu stresa, kvalitetu sna i sl.

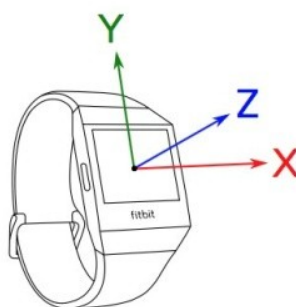


# 1. Senzori u nosivim uređajima

Senzori u nosivim uređajima prikupljaju, obrađuju i filtriraju podatke korisnika. Najčešći senzori u nosivim uređajima kao što su Fitbit uređaji su: akcelerometar, altimetar, senzor broja otkucaja srca i žiroskop [1]. Većina senzora u nosivim uređajima bazira se na MEMS (mikro-elektro-mehanički sustavi) tehnologiji. MEMS je minijaturni stroj koji ima mehaničke i elektroničke komponente koje su izrađene od silikona, polimera i metala ili keramike [2], [3].

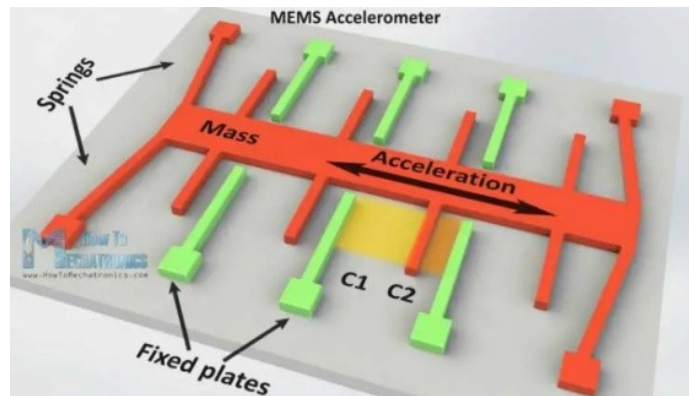
## 1.1. Akcelerometar

Akcelerometar mjeri akceleraciju na 3 osi: x, y i z. x-os paralelna je s ekranom uređaja, poravnata je s gornjim i donjim rubom i ide u smjeru lijevo-desno. y-os paralelna je s ekranom uređaja, poravnata je s lijevom i desnom rubom i ide u smjeru gore-dolje. z-os okomita je s ekranom uređaja i gleda prema gore [4]. Osi u odnosu na uređaj vidljive su na slici (Slika 1.1).



Slika 1.1 Prikaz osi x, y i z u odnosu na Fitbit nosivi uređaj [4]

Akcelerometar u Fitbit uređajima temelji se na MEMS tehnologiji i koristi se za mjerenje parametara kretanja, koji uključuju broj koraka i prijeđenu udaljenost. Sastoji se od pričvršćenih ploča i mase koja je ograničena na kretanje u jednom smjeru. Kada se primijeni ubrzanje u nekom smjeru, masa se pomiče, što mijenja kapacitet između ploča i mase. Ova promjena u kapacitetu se mjeri i obrađuje i dat će neku vrijednost ubrzanja. Prikaz strukture MEMS akcelerometra vidljiv je na slici (Slika 1.2) [3], [5].



Slika 1.2 Struktura MEMS akcelerometra [3]

Proizvođači nosivih uređaja koriste izmjerene vrijednosti ubrzanja s informacijama o spolu i visini korisnika kako bi se izračunala opća duljina koraka za korisnika koja se koristi pri računanju broja prijeđenih koraka i prijeđene udaljenosti [6].

## 1.2. Altimetar

Altimetar se koristi u meteorologiji za mjerenje atmosferskog tlaka i predviđanje kratkoročnog promjena vremena [7].

Altimetar u nosivim uređajima bazira se na MEMS tehnologiji. Sadrži tanku membranu koja se reakcijom na atmosferski tlak širi ili skuplja i tako mijenja električni otpor senzora. Tu promjenu električnog otpora mjeri kondenzator i koristi dobivene rezultate za računanje promjene tlaka zraka. Kako se tlak zraka smanjuje povećanjem nadmorske visine, očitavanja altimetra mogu se koristiti za određivanje altitute trenutnog položaja nosivog uređaja [8].

Nužno je napomenuti da se altimetar koristi za bilježenje prijeđenih katova i bilježenje altitute svaku minutu do svakih nekoliko sati, no kako bi se u određenoj fizičkoj aktivnosti vidjela promjena altitute svaku sekundu kroz neki period, potrebno je ručno uključiti praćenje te aktivnosti i tada se za mjerenje altitute koristi GPS, a ne altimetar.

## 1.3. Fotopletizmografski senzor

Mjerenje broja otkucaja srca i estimacija varijacije kisikom zasnivaju se na tehnici fotopletizmografije. Fotopletizmografija (poznata kao PPG) jednostavna je optička tehnika koja detektira promjene volumena krvi u cirkulaciji krvnih žila [9].

Fotopletizmografski senzor nosivog uređaja sadrži fotodetektor i jednu ili više dioda koje emitiraju crvenu, infracrvenu ili zelenu svjetlost. Emitirano svjetlo prodire u kožu i djelomično ga apsorbira krv koja teče kroz krvne žile ispod kože. Fotodetektor tada mjeri intenzitet odbijene svjetlosti i generira signal koji predstavlja taj intenzitet. Ovaj signal sadrži varijacije uzrokovane promjenama volumena krvi uslijed otkucaja srca [10], [11].

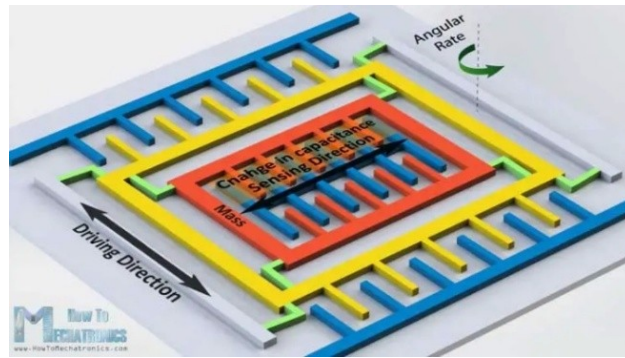
Kako bi se izmjerio broj otkucaja srca, koristi se zelena svjetlost jer ju krv bolje upija. Varijacije u signalu uzrokovane promjenom volumena krvi u krvnim žilama analiziraju se kako bi se izdvojio broj otkucaja srca korisnika. Ovaj proces obično uključuje otkrivanje vrhova u signalu koji odgovaraju svakom otkucaju srca i izračunavanje vremena između vrhova. Količina svjetlosti koju apsorbira krv proporcionalna je volumenu krvi u krvnim žilama koji se mijenja kako srce pumpa krv [12].

Kako bi se izmjerila estimacija varijacije kisikom tijekom spavanja, koriste se crvena i infracrvena svjetlost. Mjeri se količina i tip reflektirane svjetlosti kako bi se procijenila razina kisika u krvi. Krv bogata kisikom je crvena i reflektira više crvene svjetlosti nego infracrvene, dok krv siromašna kisikom ima plavkasto-crvenu boju i reflektira više infracrvene svjetlosti nego crvene [13].

Jedan nedostatak fotopletizmografskog senzora jest sklonost utjecaju šuma. Kako bi se šum filtrirao, postoje opcije optimizacije senzora i razvoja tehnike obrade signala [14].

## **1.4. Žiroskop**

Žiroskop je uređaj koji se koristi za mjerenje rotacije ili za održavanje orijentacije. Specifično, u Fitbit uređajima koristi se za bolje praćenje fizičke aktivnosti, no model Charge 4 čiji su podatci korišteni za ovaj rad ne sadrži žiroskop. Žiroskop u Fitbit uređajima koji ga sadrže temelji se na MEMS tehnologiji i sastoji se od pričvršćenih ploča i vibrirajuće mase. Mjerenje kutne brzine koristi Coriolisov efekt, pri čemu vanjska kutna brzina uzrokuje okomito pomicanje mase koja se kreće određenom brzinom. Kao kod akcelerometra, ovaj pomak mijenja kapacitet koji se mjeri i obrađuje da bi se dobila odgovarajuća kutna brzina. Struktura MEMS žiroskopa vidljiva je na slici (Slika 1.3) [3], [15].



Slika 1.3 Struktura MEMS žiroskopa [3]

## **2. Biološki markeri**

Kako bi pojedinac mogao pratiti svoje zdravlje, nosiva tehnologija daje podatke o svakodnevnoj fizičkoj aktivnosti, njegovom zdravlju i biološkim markerima. Biološki markeri koje većina nosivih tehnologija danas prati su broj otkucaja srca, varijabilnost otkucaja srca, disanje, varijacija temperature kože, estimacija varijacije kisika, san i krvni tlak [16].

### **2.1. Broj otkucaja srca i varijabilnost otkucaja srca**

Ljudsko tijelo prilagođava broj otkucaja srca energetskim potrebama i emocionalnom stanju osobe, mijenjajući ga kroz vrijeme. Stoga, ako je osoba smirena i opuštena, broj otkucaja srca će biti manji, dok će se pod stresom ili tijekom kretanja povećati [17].

Varijabilnost otkucaja srca, koja predstavlja razlike u vremenu između otkucaja srca, pruža informacije o fizičkom i mentalnom zdravlju pojedinca. Ovu varijabilnost kontrolira autonomni živčani sustav, koji automatski regulira broj otkucaja srca, krvni tlak, disanje i probavu. Kod zdravih osoba, tipična varijabilnost otkucaja srca iznosi između 19 i 75 milisekundi [17], [18].

Autonomni živčani sustav sastoji se od simpatičkog i parasimpatičkog dijela. Simpatički sustav djeluje u stanju straha ili iznenađenja i povećava broj otkucaja srca i krvni tlak. Parasimpatički sustav djeluje tijekom odmora te smanjuje broj otkucaja srca i snižava krvni tlak [17].

Varijabilnost otkucaja srca može dati informaciju o neuravnoteženom autonomnom živčanom sustavu. Veća varijabilnost otkucaja srca obično znači da je osoba više u stanju mirovanja nego pod stresom. Dalje, može dati informacije kako fizička aktivnost djeluje na zdravlje pojedinca jer će se pri svakodnevnoj fizičkoj aktivnosti prosječna varijabilnost otkucaja srca smanjiti. Također, niža varijabilnost srca može ukazivati na razne bolesti kao što su zatajivanje srca, visok krvni tlak, dijabetes itd. [17].

## **2.2. Disanje**

Brzina disanja izražava se brojem udisaja po minuti, pri čemu je uobičajeni raspon 12-20 udisaja u minuti. Disanje utječe na broj otkucaja srca, gdje se vrijeme između otkucaja srca smanjuje prilikom udisanja i povećava prilikom izdisanja. Fotopletizmografski senzor prati ove razlike tijekom spavanja kako bi odredio prosječnu brzinu disanja tijekom noći. Brzina i dubina disanja ukazuju na učinkovitost tijela u isporuci kisika vitalnim organima i tkivima. Na brzinu disanja mogu utjecati razni čimbenici kao što su dob, spol, tjelesna težina, konzumacija alkohola, apneja, infekcije ili srčane bolesti [19], [20].

## **2.3. Varijacija temperature kože**

Temperatura kože igra ključnu ulogu u regulaciji tjelesne temperature. Kod zdravih odraslih osoba obično se kreće između 33 °C i 37 °C. Budući da je zagrijavanje ili hlađenje kože jedan od načina održavanja stabilne tjelesne temperature, ona obično varira više od unutarnje tjelesne temperature. Nosivi uređaji koriste senzore za procjenu osobne osnovne temperature kože na temelju podataka prikupljenih tijekom 30 dana. Svako jutro korisnik može vidjeti koliko se temperatura kože tijekom posljednjeg spavanja razlikovala od svoje osnovne temperature. Ova informacija vidi se kao varijacija temperature kože. Promjene temperature kože mogu biti uzrokovane različitim čimbenicima kao što su promjene u sobnoj temperaturi, posteljini, cirkadijalni ritam ili početak bolesti [21], [22]. Danas većina nosivih uređaja ne mjeri tjelesnu temperaturu, nego samo varijaciju temperature kože.

## **2.4. Estimacija varijacije kisikom tijekom spavanja**

Estimacija varijacije kisika je procjena promjena u razini zasićenosti krvi kisikom, odnosno postotku krvi koja nosi kisik. Tipično, razina zasićenosti kisikom u krvi je između 95 % i 100 %, što znači da krv nosi onoliko kisika koliko može. Razine kisika u krvi obično ostaju relativno konstantne, čak i tijekom vježbanja i spavanja. Međutim, osobe s bolesnim plućima mogu imati nižu razinu zasićenosti kisikom jer manje kisika ulazi u tijelo [13].

## 2.5. San

Nosivi uređaji procjenjuju faze spavanja kombiniranjem podataka o pokretu i obrascima otkucaja srca. Kada je korisnik u mirovanju oko sat vremena, nosivi uređaj pretpostavlja da je korisnik zaspao. Također, uređaj koristi podatke o trajanju pokreta, koji ukazuju na aktivnosti tipične za spavanje (poput prevrtanja), kako bi potvrdio da korisnik spava. Tijekom sna, uređaj prati varijabilnost otkucaja srca, koja se mijenja kroz različite faze sna (lagani san, duboki san i REM faza). Kada se korisnik probudi i sinkronizira podatke na mobilnom uređaju s podacima na nosivom uređaju, koriste se uzorci pokreta i broja otkucaja srca kako bi se odredile faze sna [23]. San ukazuje na metaboličko zdravlje korisnika.

## 2.6. Krvni tlak

Krvni tlak predstavlja silu koju krv primjenjuje na stijenke arterija dok krv teče kroz njih. Visoki krvni tlak može dovesti do ozbiljnih zdravstvenih problema poput srčanog udara, moždanog udara ili zatajenja srca [24].

Klasični senzori za mjerenje krvnog tlaka koriste pritisak na arterije i stegnuti pojas oko ruke kako bi izravno procijenili tlak. Međutim, nosivi uređaji ne mogu izmjeriti krvni tlak direktno, nego koriste druge biološke markere kako bi ga procijenili. To može uključivati korištenje fotopletizmografskih senzora koji detektiraju pokrete krvi u tijelu. Jedan od načina na koji se može procijeniti krvni tlak je mjerenje vremena prolaza pulsa, odnosno mjerenje vremena potrebnog valu tlaka koji stvara otkucaj srca da putuje između dvije točke duž arterije [25].

Međutim, ova tehnologija ima ograničenja. Može se mjeriti samo relativna promjena krvnog tlaka, a ne apsolutne vrijednosti. Da bi se dobilo očitavanje promjene krvnog tlaka s nosivih uređaja, prvo se mora uspostaviti osnovna vrijednost pomoću standardnog mjerenja krvnog tlaka s pojasom i unosom podataka u uređaj. To kalibrira uređaj prema tijelu pojedinca i omogućuje pružanje očitavanja krvnog tlaka izraženog u omjeru sistoličkog i dijastoličkog krvnog tlaka izmjenjenog u milimetrima živinog stupca (npr. 120/80 mmHg). Također, nosivi uređaji koji koriste ovaj način mjerenja krvnog tlaka se trebaju povremeno ponovno kalibrirati [25].

### 3. Način prikazivanja podataka na nosivom uređaju

Nosivi uređaji kao što su Fitbit nosivi uređaji prikazuju podatke o aktivnosti i zdravlju kroz jednostavno i lako razumljivo korisničko sučelje kojim se upravlja dodirnom i ugrađenim gumbom na lijevoj strani uređaja. Uređaj kao sredstvo notifikacije koristi vibraciju. Kada se dogodi nešto što je vrijedno korisnikove pažnje (npr. ostvarenje dnevnog cilja prijeđene udaljenosti ili poziv na mobilnom uređaju s kojim je nosivi uređaj sinkroniziran), uređaj će vibrirati i pokazati notifikaciju. Fotografija Charge 4 nosivog uređaja s prikazom glavnog zaslona vidljiva je na slici (Slika 3.1).



Slika 3.1 Charge 4 nosivi uređaj s prikazom glavnog zaslona [26]

Ako se na glavnom zaslonu prstom prijeđe dolje, otvaraju se obavijesti koje su vezane uz mobilni uređaj s kojim je nosivi uređaj sinkroniziran, kao što su poruke, pozivi i sl.

Povlačenjem ulijevo na glavnom zaslonu može se pristupiti aplikacijama na uređaju, uključujući aplikaciju za praćenje vježbanja, Spotify (aplikacija za slušanje glazbe), kalendar, aplikaciju za vježbe disanja, štopericu, alarm, vrijeme i postavke.

Ako se na glavnom zaslonu prstom prijeđe prema gore, moguće je vidjeti broj koraka napravljenih u danu do trenutka njegove provjere, broj koraka napravljenih po satu, broj aktivnih minuta (minute provedene tijekom umjerene, teške ili maksimalne zone brzine otkucaja srca, gdje se 1 minuta provedena u teškoj ili maksimalnoj zoni računa kao 2 aktivne minute), trenutni broj otkucaja srca, prosječan broj otkucaja srca mirovanja (dobiven računanjem podataka koji se mjere kad osoba spava ili miruje), prijeđenu



udaljenost u kilometrima, broj potrošenih kalorija, broj katova uz koje se korisnik popeo (1 kat se registrira prilikom uspona u altitudi od 10 stopa ili 3 metra), podatke o spavanju (uključuje trajanje spavanja u satima i kvalitetu sna koja je prikazana brojem na skali od 1 do 100 dobivenu kombinacijom vrijednosti kao što su vrijeme provedeno u snu, vrijeme budnosti, koliko REM sna je korisnik dobio, prosječan broj otkucaja srca itd.), tjelesnu težinu u kilogramima, unos vode u uncama i unos kalorija. Tjelesnu težinu i unos vode i kalorija ne evidentira uređaj, nego korisnik unosi te podatke ručno kroz sučelje mobilne aplikacije [27], [28], [29].

Prikaz sučelja na nosivom uređaju Charge 4 vidljiv je na slici (Slika 3.2).



Slika 3.2 Prikaz sučelja nosivog uređaja Charge 4 [26]

## 4. Načini prikaza, prijenosa i pohranjivanja podataka na mobilnom telefonu

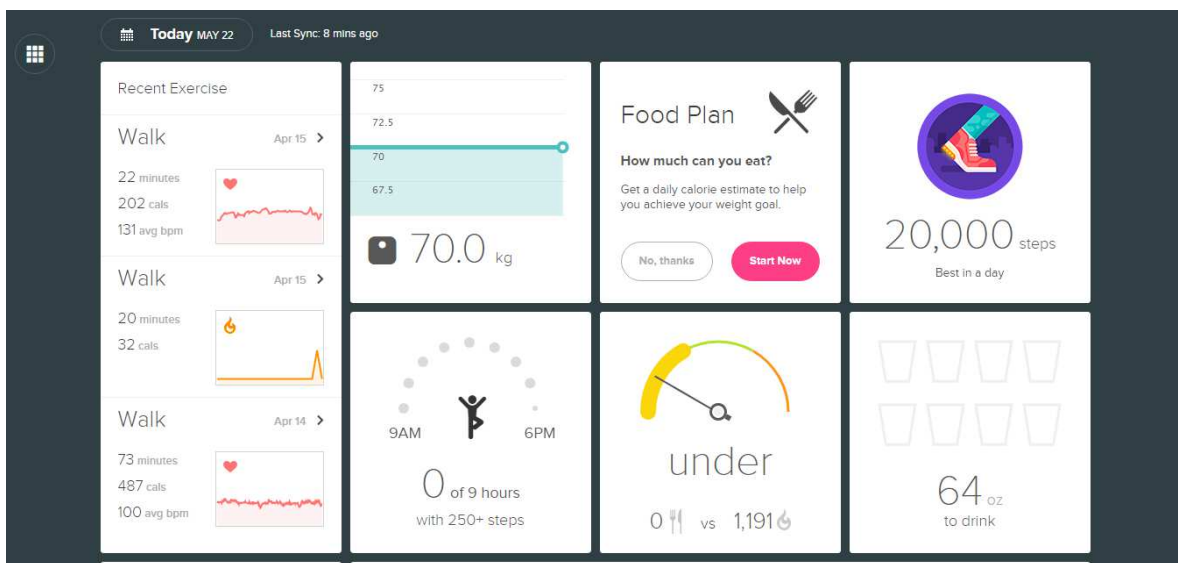
### 4.1. Prikaz podataka

Podatke koji su zabilježeni na nosivom Fitbit uređaju moguće je prikazati na mobilnom uređaju putem službene Fitbit aplikacije koja je dostupna u Google Play trgovini na Android uređajima. Podatke je moguće i prikazati putem web sučelja na službenoj Fitbit stranici preko računala ili mobilnog uređaja. U aplikaciji i na web stranici moguće je vidjeti podatke od trenutka povezivanja mobilnog i nosivog uređaja do trenutka zadnje sinkronizacije. Za svaku od kategorija podataka (broj otkucaja srca, prijeđena udaljenost itd.) moguće je vidjeti promjenu podataka kroz vrijeme na sadašnji dan, zadnjih tjedan dana, zadnjih mjesec dana ili zadnjih godinu dana. Kao primjer može se promatrati prijeđena udaljenost za navedene periode koja je vidljiva na slici (Slika 4.1). Snimke zaslona napravljene su u Fitbit aplikaciji na mobilnom uređaju.

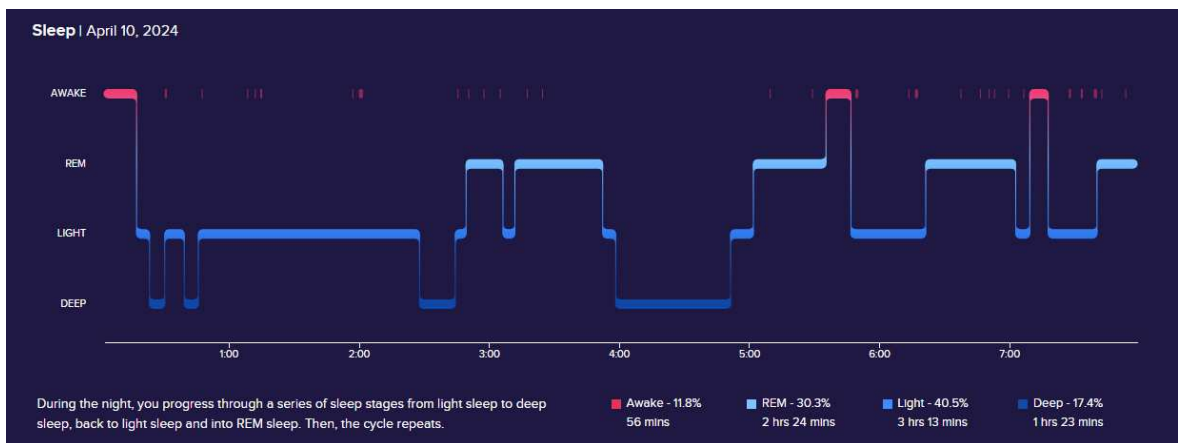


Slika 4.1 Prijehena udaljenost kroz jedan dan, zadnjih tjedan dana, zadnjih mjesec dana i zadnjih godinu dana

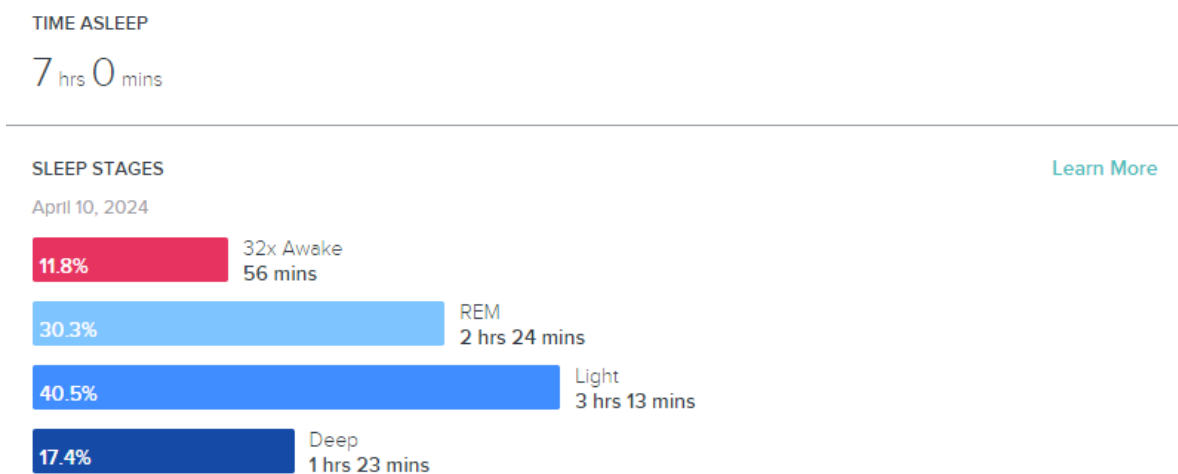
U nastavku vidljiv je izgled web sučelja (Slika 4.2), grafički prikaz faza sna tijekom noći (Slika 4.3), trajanje pojedine faze sna (Slika 4.4), pregled fizičkih aktivnosti (Slika 4.5) i pregled pojedinosti određene fizičke aktivnosti (Slika 4.6).



Slika 4.2 Web sučelje



Slika 4.3 Stadiji sna kroz noć

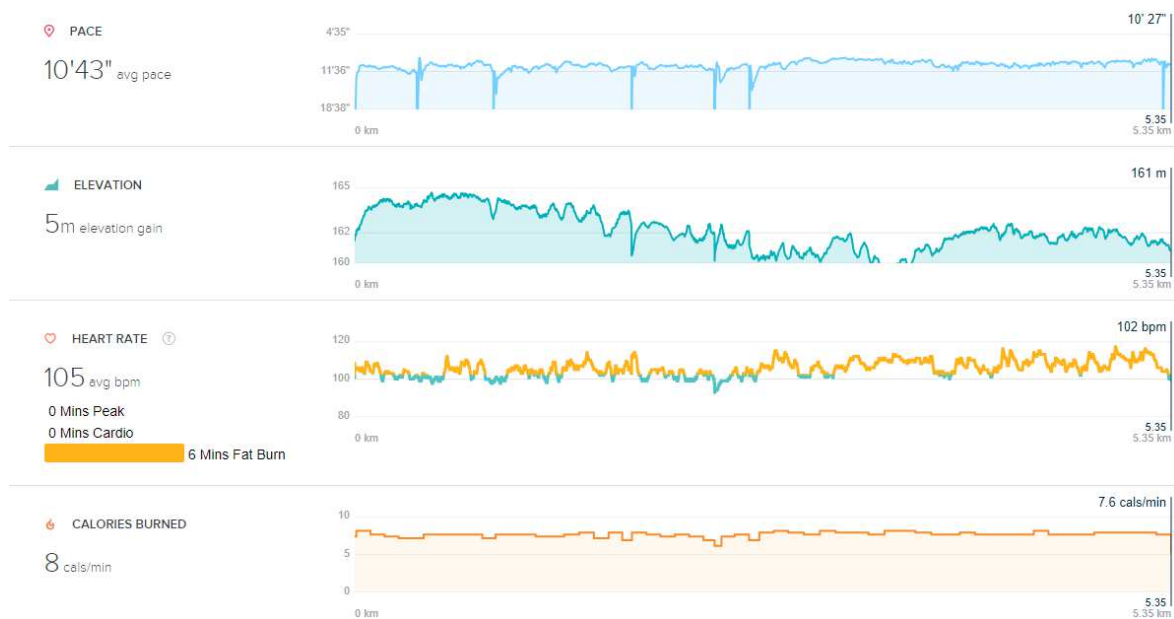


Slika 4.4 Trajanje pojedinih stadija sna kroz noć

## Activity History

Date	Activity	Steps	Distance	Duration	Calories	
Apr 15, 12:57PM	Walk	1,699	N/A	22:12	202 cal	<a href="#">View Details</a>
Apr 15, 11:08AM	Walk	93	N/A	20:29	32 cal	<a href="#">View Details</a>
Apr 14, 8:20PM	Walk	5,953	N/A	1:13:24	487 cal	<a href="#">View Details</a>
Apr 12, 4:41PM	Outdoor Bike	N/A	N/A	19:38	167 cal	<a href="#">View Details</a>
Apr 12, 2:15PM	Walk	99	0.07 kilometers	1:26	6 cal	<a href="#">View Details</a>
Apr 12, 1:45PM	Walk	12	0 kilometers	1:28	4 cal	<a href="#">View Details</a>
Apr 12, 1:31PM	Walk	37	0.01 kilometers	5:05	20 cal	<a href="#">View Details</a>
Apr 12, 12:40PM	Walk	1,511	1.19 kilometers	19:03	156 cal	<a href="#">View Details</a>
Apr 12, 12:30PM	Walk	266	0.21 kilometers	2:27	14 cal	<a href="#">View Details</a>
Apr 12, 12:23PM	Walk	214	0.17 kilometers	2:08	23 cal	<a href="#">View Details</a>
Apr 12, 12:19PM	Walk	252	0.19 kilometers	2:31	11 cal	<a href="#">View Details</a>
Apr 12, 11:52AM	Walk	1,273	N/A	17:05	128 cal	<a href="#">View Details</a>

Slika 4.5 Pregled fizičkih aktivnosti



Slika 4.6 Pregled pojedinosti jedne fizičke aktivnosti

## 4.2. Prijenos i pohranjivanje podataka

Kako bi prijenos podataka s nosivog uređaja na mobilni uređaj bio moguć, potrebno je instalirati službenu Fitbit aplikaciju na mobilnom uređaju i povezati mobilni i nosivi uređaj.

Podatci se originalno skupljaju i pohranjuju na nosivom uređaju. No, kada je mobilni uređaj u blizini, pomoću tehnologije Bluetooth, podatci u nosivom i mobilnom uređaju automatski se sinkroniziraju kroz dan i automatski se šalju na bazu podataka davatelja usluge (Fitbita).

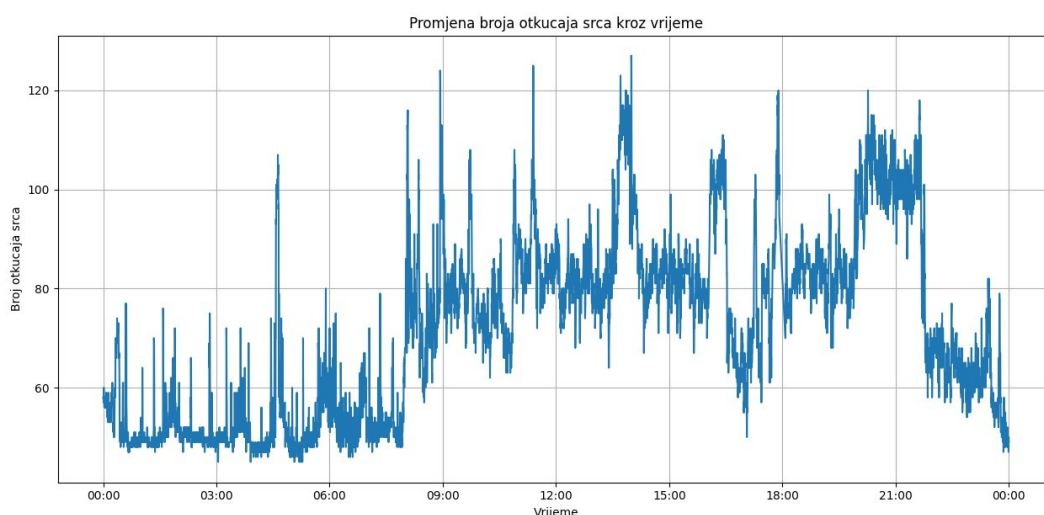
Snimljeni podatci se putem mobilnog uređaja mogu direktno poslati korisniku putem e-pošte ili korištenjem servisa Disk, Dropbox, Onedrive i Box. Takvi podatci organizirani su u datotekama i pogodni su za statističku analizu. Spremaju se u datoteke formata json (altituda, potrošene kalorije, prijeđena udaljenost, broj koraka, broj otkucaja srca, podatci o snu itd.), tcx (podatci o zabilježenim fizičkim aktivnostima) i csv (estimacija varijacije kisika i varijabilnost otkucaja srca). Ovisno o tipu podataka koji se bilježi, ovisno mijenjaju li se podatci ili zadržavaju isti broj neko vrijeme i ovisno o algoritmu nosivog uređaja, frekvencija bilježenja podataka varira. Broj otkucaja srca tijekom mirovanja u prosjeku se bilježi svakih 5-15 sekundi, a tijekom fizičke aktivnosti svaku sekundu. Altituda se bilježi svaku minutu do svakih nekoliko sati. Estimacija varijacije kisika tijekom spavanja, broj koraka, prijeđena udaljenost i broj potrošenih kalorija bilježe se svaku minutu. Podatci o snu i kvaliteti spavanja bilježe se kad se korisnik probudi.

## 5. Statistička analiza podataka

Statistička analiza podataka i modeliranje grafova rađeno je pomoću programskog jezika Python verzije 3.12.0, korištenjem dodatnih vanjskih biblioteka numpy, scipy i matplotlib i korištenjem ugrađenih biblioteka.

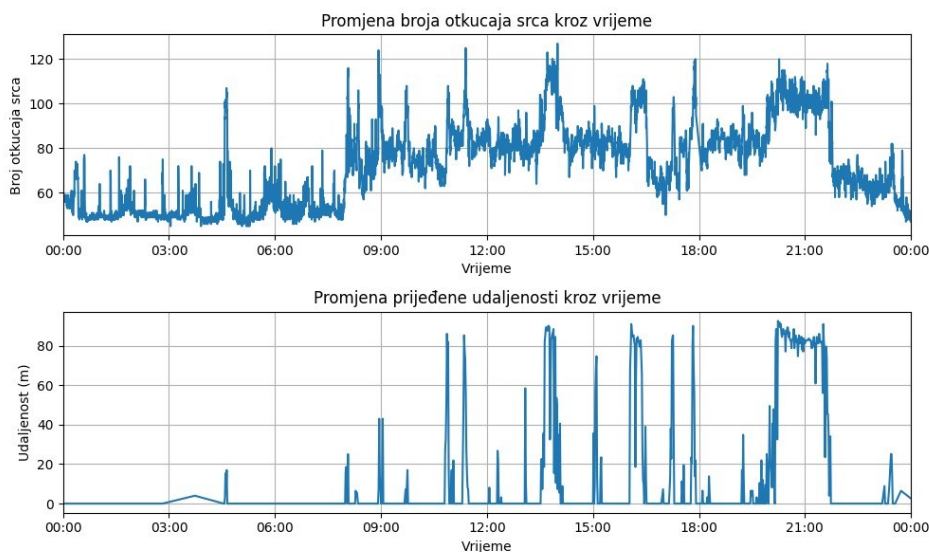
### 5.1. Broj otkucaja srca

Moguće je grafički prikazati promjenu broja otkucaja srca kroz cijeli dan (Slika 5.1). x-os predstavlja vrijeme, a y-os broj otkucaja srca po minuti. Vidljivo je da je tijekom spavanja broj otkucaja srca značajno niži nego tijekom mirovanja u stanju budnosti.



Slika 5.1 Grafički prikaz promjene broja otkucaja srca kroz jedan dan

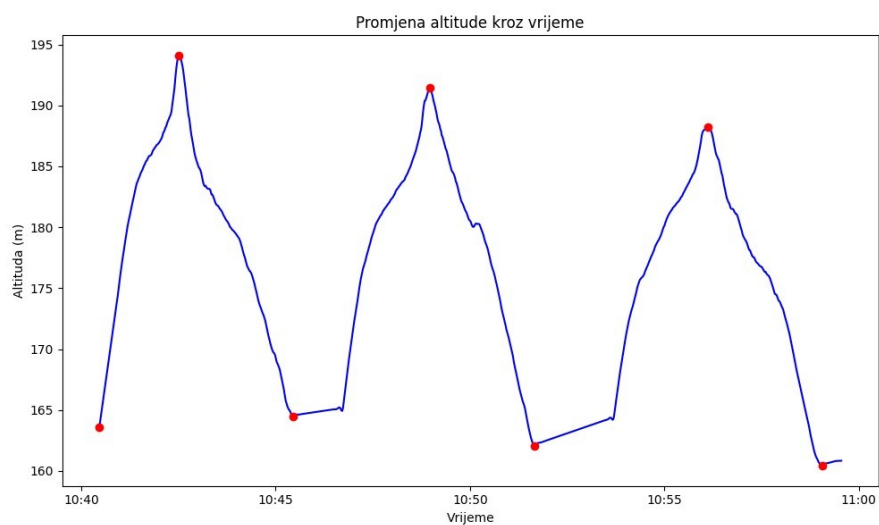
Da bi se vidjela promjena broja otkucaja srca u nekoj aktivnosti, može se prikazati zajedno s grafom promjene prijeđene udaljenosti (Slika 5.2). Nužno je primijetiti da broj otkucaja srca znatno raste prilikom kretanja. Vrijednosti x-osi na grafu prijeđene udaljenosti predstavljaju vrijeme, dok vrijednosti na y-osi predstavljaju prijeđenu udaljenost u metrima.



Slika 5.2 Grafički prikaz promjene broja otkucaja srca i promjene prijedene udaljenosti kroz jedan dan

## 5.2. Altituda

Moguće je grafički prikazati promjenu altituda u metrima tijekom aktivnosti hoda uz i niz stepenice (Slika 5.3). Proveden je pokus na Zakmardijevim stubama u Zagrebu u Republici Hrvatskoj gdje je korisnik nosivog uređaja hodao uz i niz stepenice s kratkim odmorom od dvije minute između odlazaka uz stepenice. Nužno je napomenuti da su podatci promjene altituda kroz vrijeme u ovoj aktivnosti dobiveni korištenjem GPS-a, a ne altimetra.



Slika 5.3 Grafički prikaz promjene altituda u pokusu

Kako bi se provela analiza točnosti altimetra u nošenom Fitbit uređaju, nađeni su lokalni minimumi koji predstavljaju altitudu početka (niži dio) i lokalni maksimumi koji predstavljaju kraj stepenica (viši dio). U tablicama u nastavku, lokalni minimumi i vrijeme njihovog detektiranja vidljivi su u gornjoj tablici (Tablica 5.1), a lokalni maksimumi i njihovo vrijeme detektiranja vidljivi su u donjoj tablici (Tablica 5.2).

Vrijeme	Uzvišenje (m)
12:40:28	163.61
12:45:27	164.47
12:51:40	162.05
12:59:03	160.45

Tablica 5.1 Lokalni minimumi i vrijeme njihovog detektiranja

Vrijeme	Uzvišenje (m)
12:42:31	194.07
12:48:58	191.44
12:56:07	188.20

Tablica 5.2 Lokalni maksimumi i vrijeme njihovog detektiranja

Vrijeme je zaokruženo na najbližu sekundu, a altituda je zaokružena na 2. decimalu. Prilikom analize i grafičkog modeliranja ovog grafa korištena je linearna interpolacija proširenjem skupa podataka na 1000 uzoraka kako bi se dobili precizniji rezultati. Kandidati za lokalne maksimume i lokalne minimume nađeni su jednostavnom usporedbom susjednih vrijednosti. Koristila se informacija da sveukupno trebaju biti 4 lokalna minimuma i 3 lokalna maksimuma tako da su se za lokalne maksimume uzela najveća 3 kandidata, a za lokalne minimume najmanja 4 kandidata.

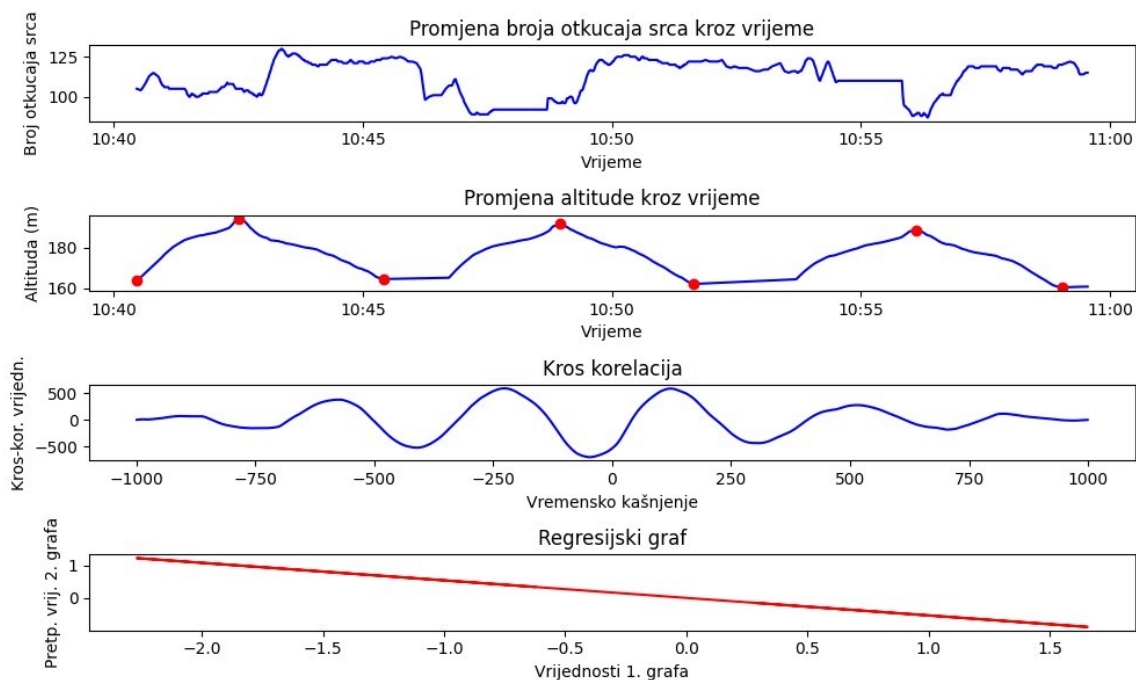
Stvarne vrijednosti altitute početne i završne točke stepenica dobivene su korištenjem javno dostupnog alata Google Earth. Stvarna vrijednost altitute početne točke iznosi 128 metara, a završne točke 152 metra. Dakle, izmjerene altitute nosivog uređaja razlikuju se od stvarnih vrijednosti altitute za nekoliko desetaka metara.

### **5.3. Korelacija promjene broja otkucaja srca i promjene altitute**

Kako bi se odredio stupanj povezanosti različitih skupova podataka koriste se različite metode korelacije. Korelacija promjene broja otkucaja srca i promjene altitute provedena je nad skupovima podataka snimljenim u pokusu koji je spomenut u poglavlju 5.2. Prikaz



grafova koji su vezani uz korelaciju promjene broja otkucaja srca i promjene altitute vidljiv je na slici (Slika 5.4).



Slika 5.4 Prikaz grafa promjene broja otkucaja srca kroz vrijeme, grafa promjene altitute kroz vrijeme, grafa kros korelacijskih vrijednosti i regresijskog grafa

### 5.3.1. Korelacijski koeficijent

Za određivanje linearne veze između vrijednosti različitih grafova koristi se korelacijski koeficijent, čija vrijednost varira između -1 i 1. Kada iznosi 1, postoji savršena pozitivna korelacija između vrijednosti grafova koji se uspoređuju, gdje vrijednosti drugog grafa rastu kada rastu i vrijednosti prvog grafa i vrijednosti drugog grafa padaju kada padaju i vrijednosti prvog grafa. Vrijednost -1 predstavlja savršenu negativnu korelaciju, gdje vrijednosti drugog grafa rastu kada vrijednosti prvog grafa padaju i obrnuto. Ako iznosi 0, ne postoji nikakva linearna veza između vrijednosti grafova koji se koreliraju [30].

Najčešće korišten korelacijski koeficijent je Pearsonov koeficijent koji je korišten u ovom završnom radu. Koristi se za mjerenje snage i smjera linearnog odnosa između dvaju varijabli. Računa se prema izrazu (5.1, gdje je  $Cov(x,y)$  kovarijanca varijabli,  $\sigma_x$  standardna devijacija podataka broja otkucaja srca i  $\sigma_y$  standardna devijacija podataka altitute [30].

$$\rho_{xy} = \frac{Cov(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (5.1)$$

Kovarijanca označuje sklonost kretanja varijabli u istom smjeru (sklonost da jedna varijabla raste kad raste i druga varijabla i da jedna varijabla pada kad pada i druga varijabla), a standardna devijacija kretanje varijabli oko srednjih vrijednosti [30].

Kovarijanca se računa prema izrazu (5.2), gdje su  $x_i$  vrijednosti broja otkucaja srca,  $y_i$  vrijednosti altitute,  $\bar{x}$  je srednja vrijednost broja otkucaja srca,  $\bar{y}$  je srednja vrijednost altitute i  $n$  je broj uzoraka.

$$\text{cov}_{x,y} = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n} \quad (5.2)$$

Srednje vrijednosti računaju se prema izrazima (5.3) i (5.4).  $x_i$  su vrijednosti broja otkucaja srca,  $y_i$  su vrijednosti altitute i  $n$  je broj uzoraka.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_1^n x_i \quad (5.3)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_1^n y_i \quad (5.4)$$

Standardne devijacije računaju se prema izrazima (5.5) i (5.6), gdje su  $x_i$  vrijednosti broja otkucaja srca,  $y_i$  vrijednosti altitute,  $\bar{x}$  je srednja vrijednost broja otkucaja srca,  $\bar{y}$  je srednja vrijednost altitute i  $n$  je broj uzoraka.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (5.5)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_1^n (y_i - \bar{y})^2}{n}} \quad (5.6)$$

Nad skupovima podataka provedena je linearna interpolacija, gdje su oba skupa podataka proširena na 1000 vrijednosti. Također, pošto se radi o vrijednostima koje imaju različite mjerne jedinice, u interesu je učiniti vrijednosti bolje usporedivima. Stoga, napravljena je statistička normalizacija podataka za oba skupa podataka. Točke svakog skupa podataka

računaju se prema izrazu (5.7), gdje je  $x$  pripadajuća vrijednost uzorka,  $\mu$  srednja vrijednost uzoraka,  $\sigma$  standardna devijacija uzoraka i  $z$  normalizirana vrijednost koja predstavlja udaljenost između pojedine vrijednosti uzorka i srednje vrijednosti uzoraka u jedinici standardne devijacije. Vrijednosti  $z$  varijable variraju od -1 do 1 [31].

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (5.7)$$

Korelacijski koeficijent navedenih skupova podataka zaokružen na tri decimale je -0.536, što ukazuje na umjerenu negativnu povezanost između skupova. Negativna korelacija je očekivana jer prilikom početka uspona uz stepenice, broj otkucaja srca neće odmah krenuti rasti, već je potrebno određeno vrijeme da rast počne. Također, kada korisnik stane na dnu stepenica, potrebno je određeno vrijeme da se broj otkucaja srca smanji.

Moguće je izračunati korelacijski koeficijent s različitim pomacima od određenog broja uzoraka. Pritom, ukoliko za drugi skup podataka razmatramo pomak od 123 uzoraka, korelacijski koeficijent iznosi 0.657. U tom slučaju primjetna je umjereno-snažna pozitivna korelacija između broja otkucaja srca i altitude.

### 5.3.2. Kros-korelacija

Kros-korelacija mjerenje je koje uspoređuje dva skupa podataka u različitim vremenskim odmacima i određuje koliko dobro se skupovi podataka međusobno podudaraju i u kojoj točki dolazi do najboljeg podudaranja, odnosno najbolje korelacije [32]. Kros korelacijska vrijednost je suma produkata odgovarajućih vrijednosti oba signala za svaki vremenski odmak. Računa se prema izrazu (5.8), gdje je  $\Phi_{pg}(\tau)$  kros-korelacijska vrijednost,  $p(k)$  je vrijednost prvog skupa podataka,  $g(k + \tau)$  je vrijednost drugog skupa podataka s odgovarajućim vremenskim pomakom,  $k$  je broj koji redom ide od 0 do  $n$ , gdje je  $n$  broj uzoraka i  $\tau$  je odgovarajući vremenski pomak.  $g(k + \tau)$  iznosi 0 kada  $k + \tau$  nije u intervalu  $[0, n]$  [33].

$$\Phi_{pg}(\tau) = \sum_{k=0}^n p(k)g(k + \tau) \quad (5.8)$$

Moguće je napraviti graf svih korelacijskih vrijednosti (treći graf na slici Slika 5.4). Lokalni maksimumi na tom grafu odgovaraju najvećim pozitivnim korelacijskim vrijednostima, a minimumi najmanjim negativnim korelacijskim vrijednostima. Također,

na kros-korelacijskom grafu vidljivo je da najveća pozitivna korelacijska vrijednost odgovara pomaku drugog grafa za 123 uzorka.

### 5.3.3. Linearna regresija

Linearna regresija metoda je korelacije koja proučava linearan odnos između dva skupa varijabli. Promatraju se dva skupa podataka, gdje jedan skup predstavlja nezavisnu varijablu, a drugi skup zavisnu varijablu. U ovom slučaju, nezavisnu varijablu predstavlja broj otkucaja srca, a zavisnu varijablu altituda. Nezavisna varijabla ostaje nepromijenjena, dok se zavisna varijabla mijenja s promjenom nezavisne varijable. Dakle, pokušavaju se predvidjeti vrijednosti zavisne varijable na temelju vrijednosti nezavisne varijable [34]. Formula linearne regresije definirana je izrazom (5.9), gdje  $Y$  predstavlja zavisnu varijablu,  $X$  nezavisnu varijablu, a nagib pravca  $a$  i  $b$  odsječak na osi  $y$ .

$$Y = a * X + b \quad (5.9)$$

Moguće je izračunati nekoliko vrijednosti koristeći metodu linearne regresije koje ukazuju na kvalitetu napravljene korelacije. Takve vrijednosti ispisuju se pokretanjem odgovarajućeg programa (Slika 5.5).

```
Korelacijski koeficijent: -0.536
Pomak pri kojem je pozitivan korelacijski koeficijent najveći: 123
Korelacijski koeficijent pri pomaku od 123 uzoraka: 0.657

Nagib pravca (a): -0.536
Odsječak na y osi (b): -0.000
R-kvadrat: 0.287
P-vrijednost: 0.000
Standardna greška: 0.027
```

Slika 5.5 Ispis programa koji računa korelacijski koeficijent i vrijednosti linearne regresije

Nagib pravca računa se prema formuli (5.10), a odsječak pravca na  $y$ -osi prema formuli (5.11), gdje su  $x_i$  vrijednosti broja otkucaja srca,  $y_i$  vrijednosti altituda,  $\bar{x}$  je srednja vrijednost broja otkucaja,  $\bar{y}$  je srednja vrijednost altituda,  $n$  je broj uzoraka, a  $a$  je nagib pravca linearne regresije i  $b$  je odsječak tog pravca na  $y$ -osi [35], [36].

$$a = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.10)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (5.11)$$

$R^2$  računa se po formuli (5.12) i predstavlja koliko dobro je varijanca (mjera koliko su pojedinačne vrijednosti različite od prosječne vrijednosti) zavisne varijable objašnjena nezavisnom varijablom [37]. Vrijednosti korištene u izrazu (5.12) definirane su izrazima (5.13) i (5.14).  $y_i$  se odnosi na stvarnu vrijednost altitute,  $\hat{y}_i$  se odnosi na pretpostavljenu vrijednost altitute i  $\bar{y}$  se odnosi na prosječnu vrijednost altitute.

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{\text{res}}}{SS_{\text{tot}}} \quad (5.12)$$

$$SS_{\text{res}} = \sum_1^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (5.13)$$

$$SS_{\text{tot}} = \sum_1^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (5.14)$$

P-vrijednost označuje statističku značajnost veze između zavisne i nezavisne varijable, odnosno vjerojatnost da je sličnost zavisne i nezavisne varijable slučajna. Mala p vrijednost ukazuje na statistički značajnu korelaciju, odnosno ukazuje na malu vjerojatnost da je sličnost zavisne i nezavisne varijable slučajna [38]. Računa se koristeći t-distribuciju s  $n - 2$  stupnjeva slobode.

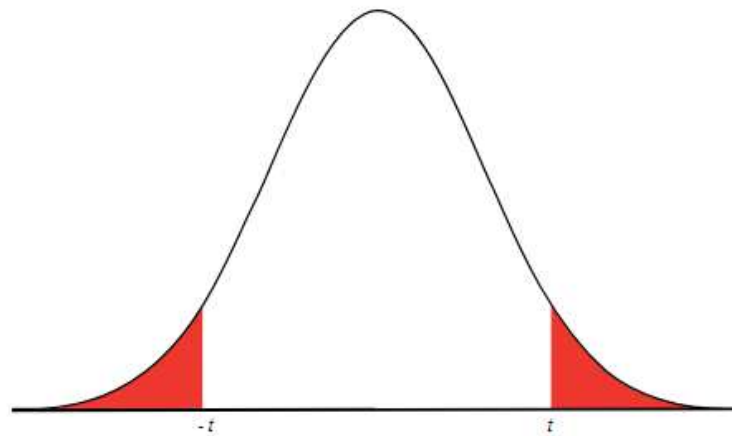
Distribucija vjerojatnosti statistička je funkcija koja opisuje sve moguće vrijednosti i vjerojatnosti koje slučajna varijabla može poprimiti unutar zadanog raspona, a t-distribucija je vrsta distribucije vjerojatnosti [39].

Stupanj slobode predstavlja najveći broj neovisnih vrijednosti koje mogu varirati u uzorku podataka. Računa se oduzimanjem broja parametara koje treba estimirati od broja uzoraka [40], [41].

P-vrijednost je dupla površina poslije  $|t|$  varijable ispod krivulje  $t_{n-2}$ .  $|t|$  varijabla nađena je korištenjem formule (5.15., gdje je  $b$  nagib pravca, a  $s_a$  standardna greška koje je objašnjena u nastavku [42].

$$t = \frac{b}{s_a} \quad (5.15)$$

Regije P-vrijednosti vidljive su na slici (Slika 5.6), gdje su označene crvenom bojom [42].



Slika 5.6 Regije p-vrijednosti [42]

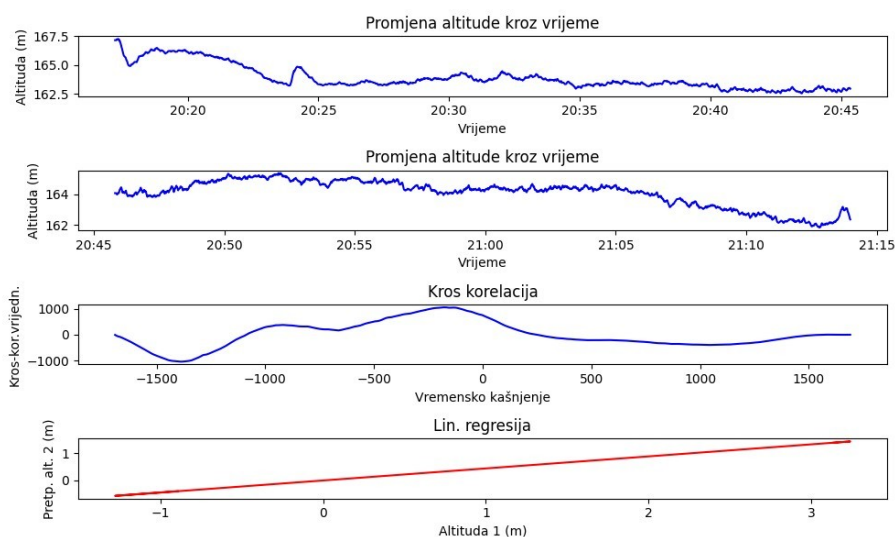
Standardna greška može se izračunati izrazom (5.16). Ona procjenjuje koliko zavisna varijabla varira oko pretpostavljene vrijednosti. Niža standardna pogreška sugerira precizniju procjenu.  $y_i$  odnosi se na stvarnu vrijednost altituda,  $\hat{y}_i$  odnosi se na pretpostavljenu vrijednost altituda,  $x_i$  odnosi se na vrijednost broja otkucaja srca,  $\bar{x}$  se odnosi na prosječnu vrijednost broja otkucaja srca i  $n$  se odnosi na broj uzoraka [43].

$$s_a = \sqrt{\frac{\sum_1^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n - 2) \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}} \quad (5.16)$$

U navedenom primjeru, nagib pravca od  $-0.536$  označava negativan umjeren odnos između zavisne i nezavisne varijable, odsječak na y osi koji je 0 nema posebno značenje jer samo označava odsječak regresijskog pravca na y-osi,  $R^2$  iznosa  $0.287$  sugerira da značajan dio varijabilnosti zavisne varijable nije objašnjen nezavisnom varijablom, niska P-vrijednost koja iznosi 0 ukazuje na statistički značajan odnos zavisne i nezavisne varijable i relativno mala standardna greška iznosa  $0.027$  ukazuje da je zavisna varijabla često blizu pretpostavljene vrijednosti. Dakle, postoji umjeren negativan linearan odnos između broja otkucaja srca i altitude.

## 5.4. Korelacija promjene altitude kroz dvije aktivnosti hoda

Radi dodatne provjere točnosti altimetra, proveden je pokus gdje je nositelj uređaja išao do određenog mjesta i natrag laganim hodom sa zasebnim snimanjem aktivnosti. Zatim, skup podataka koji predstavlja put natrag je obrnut. Poslije toga, napravljene su metode korelacije nad podacima altitude. Podatci u oba grafa normalizirani su prije provedbe metoda korelacije kako bi uspoređivanje bilo točnije. Korelacijski koeficijent iznosi  $0.443$ , što pokazuje umjerenu pozitivnu korelaciju. No, pošto se radi o istoj ruti aktivnosti, za očekivati je da bi korelacijski koeficijent bio puno viši. U nastavku su vidljivi modelirani grafovi (Slika 5.7) i vrijednosti linearne regresije (Slika 5.8).



Slika 5.7 Prikaz grafa promjene altitude kroz vrijeme prve aktivnosti, grafa promjene altitude kroz vrijeme druge aktivnosti, grafa kros korelacijskih vrijednosti i regresijskog grafa

```
Korelacijski koeficijent: 0.443

Pomak pri kojem je pozitivan korelacijski koeficijent najveći: -127
Korelacijski koeficijent pri pomaku od -127 uzoraka: 0.619

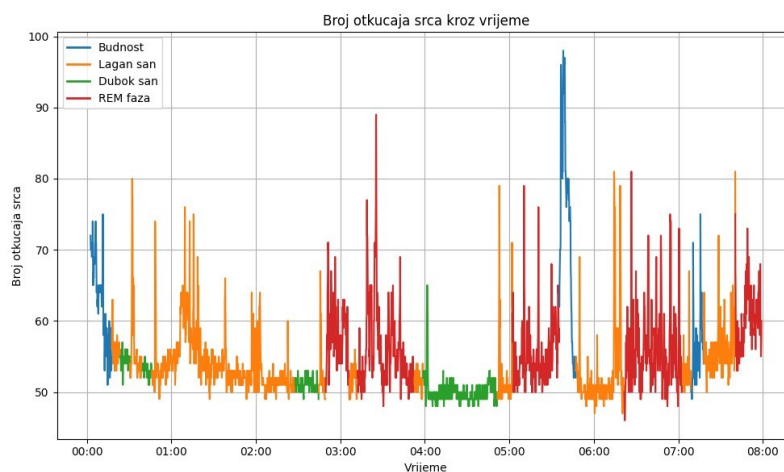
Nagib pravca (a): 0.443
Odsječak na y osi (b): -0.000
R-kvadrat: 0.197
P-vrijednost: 0.000
Standardna greška: 0.022
```

Slika 5.8 Ispis vrijednosti linearne regresije

Nagib pravca iznosa 0.443 ukazuje na pozitivan odnos zavisne i nezavisne varijable, no nije taj odnos nije posebno jak,  $R^2$  iznosa 0.197 sugerira da značajan dio varijabilnosti zavisne varijable nije objašnjen nezavisnom varijablom, P-vrijednost koja iznosi 0 označava da je veza između zavisne i nezavisne varijable statistički značajna i standardna greška iznosa 0.022 ukazuje da zavisna varijabla često varira blizu pretpostavljene vrijednosti. Dakle, postoji slabo-umjeren pozitivan linearan odnos između promatranih vrijednosti altituda.

## 5.5. Faze sna tijekom spavanja

Moguće je grafički prikazati promjenu broja otkucaja srca kroz vrijeme tijekom spavanja gdje je broj otkucaja srca označen drugačijom bojom, ovisno u kojoj fazi sna je korisnik u određenom trenutku. Takav grafički prikaz vidljiv je na slici (Slika 5.9).



Slika 5.9 Prikaz broja otkucaja srca kroz vrijeme s obzirom na različite faze sna



## Zaključak

Cilj ovog rada bio je proučiti senzore nosivih uređaja, analizirati biološke markere koje senzori mjere, istražiti način prikaza snimljenih podataka na nosivom uređaju, objasniti način prikaza, prijenosa i pohrane podataka na mobilnom uređaju ili računalu i napraviti statističku analizu podataka u periodu od najmanje 2 tjedna.

Većina senzora koje nosivi uređaji sadrže baziraju se na MEMS tehnologiji. Za računanje parametara akcelerometar i žiroskop koriste masu i promjenu kapaciteta, altimetar koristi deformaciju membrane i promjenu otpora i fotopletizmografski senzor koristi svjetlosne diode i fotodetektor koji mjeri odbijenu svjetlost.

Biološki markeri daju generalan uvid u fizičke aktivnosti i zdravlje korisnika. Broj otkucaja srca, disanje i krvni tlak mogu ukazati na srčane ili druge bolesti, varijacija temperature kože može otkriti promjenu cirkadijalnog ritma i početak bolesti te san može dati informaciju o metaboličkom zdravlju.

Preko nosivog uređaja moguće je vidjeti snimljene parametre za današnji dan (kao što je prijeđena udaljenost, trenutni broj otkucaja srca i sl.). Kada se poveže s mobilnim uređajem, preko mobilnog uređaja i računala može se vidjeti pregled snimljenih podataka od trenutka kada su uređaji povezani do trenutka zadnje sinkronizacije podataka. Također, moguće je poslati snimljene podatke putem e-pošte ili nekim drugim ponuđenim servisom. Takvi podatci organizirani su po datotekama i pogodni su za statističku obradu.

Utvrđeno je da se broj otkucaja srca povećava s prijeđenom udaljenosti. Zaključeno je da se altituda koja se snima nosivim uređajem razlikuje od stvarnih podataka altituda za nekoliko desetaka metara. Primijećena je umjerena negativna korelacija između promjene altituda i promjene broja otkucaja srca prilikom penjanja uz stepenice i spuštanja niz stepenice. Na dvije aktivnosti hoda gdje je ruta ista vidljiva je umjerena pozitivna korelacija, što dodatno ukazuje na blagu netočnost izmjerenih podataka altituda. Prikazom promjene broja otkucaja srca tijekom jedne noći vidljivo je da se broj otkucaja srca mijenja s obzirom na različite faze sna.

## Literatura

- [1] Sensor Guides. Poveznica: <https://dev.fitbit.com/build/guides/sensors>; pristupljeno 5. lipnja 2024.
- [2] Alexander S. Gillis, MEMS (micro-electromechanical systems), TechTarget, (2019, svibanj). Poveznica: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/micro-electromechanical-systems-MEMS>; pristupljeno 7. svibnja 2024.
- [3] What is MEMS? Accelerometer, Gyroscope & Magnetometer with Arduino. Poveznica: <https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/mems-accelerometer-gyroscope-magnetometer-arduino/>; pristupljeno 7. svibnja 2024.
- [4] Sensor Guides. Poveznica: <https://dev.fitbit.com/build/guides/sensors/accelerometer/>; pristupljeno 20. svibnja 2024.
- [5] E. Sazonov and M. Neuman, *Wearable sensors: Fundamentals, Implementation and Applications*. Burlington : Elsevier Science, 2014, pp. 86-87
- [6] Z. Schneider, J. Shahbazian and S. M. Krishnan, "Assessment of Distance Measurement with Selected Wearable Devices in Telemonitoring," *2016 32nd Southern Biomedical Engineering Conference (SBEC)*, Shreveport, LA, USA, 2016, pp. 5-6, doi: 10.1109/SBEC.2016.84.
- [7] Sensor Guides. Poveznica: <https://dev.fitbit.com/build/guides/sensors/barometer/>; pristupljeno 20. svibnja 2024.
- [8] Garmin. Poveznica: <https://www.garmin.com.sg/minisite/garmin-technology/wearable-science/multi-sensor/#tab-4>; pristupljeno 20. svibnja 2024.
- [9] Susha Cheriyaedath, Photoplethysmography (PPG), News-Medical, (2019, Veljača). Poveznica: [https://www.news-medical.net/health/Photoplethysmography-\(PPG\).aspx#:~:text=Photoplethysmography%20\(PPG\)%20is%20a%20simple,related%20to%20our%20cardiovascular%20system](https://www.news-medical.net/health/Photoplethysmography-(PPG).aspx#:~:text=Photoplethysmography%20(PPG)%20is%20a%20simple,related%20to%20our%20cardiovascular%20system); pristupljeno 7. svibnja 2024.
- [10] T. Tamura et al., "Wearable photoplethysmographic sensors-past and present," *Electronics*, vol. 3, no. 2, pp. 282–302, 2014.
- [11] D. Castaneda et al., "A review on wearable photoplethysmography sensors and their potential future applications in health care," *Int. J. Biosensors Bioelectron.*, vol. 4, no. 4, pp. 195–202, 2018.
- [12] Z. Zhang, Z. Pi, and B. Liu, "TROIKA: A general framework for heart rate monitoring using wrist-type photoplethysmographic signals during intensive physical exercise," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 62, no. 2, pp. 522–531, Feb. 2015.
- [13] How do I track my estimated oxygen variation in the Fitbit app? Poveznica: <https://support.google.com/fitbit/answer/14237927?hl=en#zippy=%2Cwhats-estimated-oxygen-variation>; pristupljeno 15. svibnja 2024.
- [14] P. H. Charlton and P. A. Kyriacou, "Wearable Photoplethysmography: Current Status and Future Challenges," *2023 Computing in Cardiology (CinC)*, Atlanta, GA, USA, 2023, pp. 1-4, doi: 10.22489/CinC.2023.076.

- [15] Wearable devices to measure motion. Poveznica: <https://us.humankinetics.com/blogs/excerpt/wearable-devices-to-measure-motion>; pristupljeno 20. svibnja 2024.
- [16] Lu, Y., 2019. Artificial intelligence: a survey on evolution, models, applications and future trends. Journal of Management Analytics, 6(1), pp.1-29.
- [17] Lori M. King, What Is Heart Rate Variability?, (Veljača, 2024.). Poveznica: <https://www.webmd.com/heart/what-is-heart-rate-variability>; pristupljeno 14. svibnja 2024.
- [18] Heart rate variability: How it might indicate well-being, Poveznica: <https://www.health.harvard.edu/blog/heart-rate-variability-new-way-track-well-2017112212789> ; pristupljeno 14. svibnja 2024.
- [19] How do I track breathing rate in the Fitbit app? Poveznica: <https://support.google.com/fitbit/answer/14237113?hl=en#zippy=%2Chow-does-my-fitbit-device-track-breathing-rate%2Cwhats-breathing-rate-in-the-fitbit-app%2Cwhat-factors-can-affect-breathing-rate>; pristupljeno 14. svibnja 2024.
- [20] Eleesha Lockett, Kirsten Nunez, What Is a Normal Respiratory Rate for Adults and Children?, (Veljača, 2022). Poveznica: <https://www.healthline.com/health/normal-respiratory-rate>; pristupljeno 14. svibnja 2024.
- [21] How can Fitbit help me track my temperature? Poveznica: <https://support.google.com/fitbit/answer/14237207?hl=en#zippy=%2Cwhich-fitbit-devices-log-skin-temperature-variation%2Chow-does-fitbit-calculate-my-baseline-temperature%2Cwhat-is-skin-temperature>; pristupljeno 15. svibnja 2024.
- [22] What is skin temperature and why should you monitor it? Poveznica: <https://www.whoop.com/us/en/thelocker/what-is-skin-temperature-and-why-should-you-monitor-it/>; pristupljeno 15. svibnja 2024.
- [23] What should I know about Fitbit sleep stages? Poveznica: <https://support.google.com/fitbit/answer/14236712?hl=en#zippy=%2Chow-does-my-fitbit-device-automatically-detect-my-sleep-stages%2Cwhat-are-sleep-stages%2Chow-do-i-see-my-sleep-stages>; pristupljeno 15. svibnja 2024.
- [24] Blood Pressure. Poveznica: <https://my.clevelandclinic.org/health/diagnostics/17649-blood-pressure>; pristupljeno 18. svibnja 2024.
- [25] Measuring blood pressure with a wearable device is not a good idea – yet. Poveznica: <https://www.consumerreports.org/health/blood-pressure-monitors/measuring-blood-pressure-with-a-wearable-device-a9251907587/>; pristupljeno 18. svibnja 2024.
- [26] Fitbit Charge 4 User Manual Version 1.2
- [27] Angela Moscaritolo, Fitbit Charge 4 Review, (Srpanj, 2020.). Poveznica: <https://www.pcmag.com/reviews/fitbit-charge-4#:~:text=The%20interface%20is%20basic%20and,%2C%20water%20intake%2C%20and%20more>; pristupljeno 18. svibnja 2024.
- [28] What are Active Zone Minutes or active minutes on my Fitbit device? Poveznica: <https://support.google.com/fitbit/answer/14236509?hl=en#zippy=%2Chow-do-i-earn-active-zone-minutes>; pristupljeno 25. svibnja 2024.
- [29] How Fitbit devices monitor heart rate. Poveznica: <https://enterprise.fitbit.com/blog/how-do-fitbit-trackers-monitor-heart->

- [rate/#:~:text=Resting%20heart%20rate%20is%20the,to%20100%20beats%20per%20minute](#); pristupljeno 25. svibnja 2024.
- [30] Jason Fernando, The Correlation Coefficient: What It Is and What It Tells Investors, Investopedia (2024, veljača). Poveznica: <https://www.investopedia.com/terms/c/correlationcoefficient.asp>; pristupljeno 9. svibnja 2024.
- [31] Standard score. Poveznica: [https://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_score](https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_score); pristupljeno 9. svibnja 2024.
- [32] Adam Hayes, What Is Cross-Correlation? Definition, How It's Used, and Example, Investopedia (2023, prosinac). Poveznica: <https://www.investopedia.com/terms/c/crosscorrelation.asp>; pristupljeno 9. svibnja 2024.
- [33] Flavio Poletto, Francesco Miranda, Preprocessing of SWD dana (2022), Poveznica: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/cross-correlation#:~:text=Cross%2Dcorrelation%20is%20widely%20used,function%20of%20their%20relative%20delay>; pristupljeno 9. svibnja 2024.
- [34] Vijay Kanade, What Is Linear Regression? Types, Equation, Examples, and Best Practices for 2022 (Travanj, 2023), Poveznica: <https://www.spiceworks.com/tech/artificial-intelligence/articles/what-is-linear-regression/>; pristupljeno 9. svibnja 2024.
- [35] Simple linear regression. Poveznica: [https://en.wikipedia.org/wiki/Simple\\_linear\\_regression](https://en.wikipedia.org/wiki/Simple_linear_regression); pristupljeno 9. svibnja 2024.
- [36] Simple linear regression. Poveznica: <https://online.stat.psu.edu/stat200/book/export/html/244>; pristupljeno 10. svibnja 2024.
- [37] Coefficient of Determination, R squared, Poveznica: <https://www.ncl.ac.uk/webtemplate/ask-assets/external/maths-resources/statistics/regression-and-correlation/coefficient-of-determination-r-squared.html> ; pristupljeno 10. svibnja 2024.
- [38] Poveznica: <https://online.stat.psu.edu/stat501/lesson/2/2.12>
- [39] Adam Heyes, Probability Distribution Explained: Types and Uses in Investing (Lipanj, 2023.), Poveznica: <https://www.investopedia.com/terms/p/probabilitydistribution.asp>; pristupljeno 13. svibnja 2024.
- [40] Akhilesh Ganti, Degrees of Freedom in Statistics Explained: Formula and Example (Veljača, 2024.), Poveznica: <https://www.investopedia.com/terms/d/degrees-of-freedom.asp>; pristupljeno 13. svibnja 2024.
- [41] Jim Frost, Degrees of Freedom in Statistics, Poveznica: <https://statisticsbyjim.com/hypothesis-testing/degrees-freedom-statistics/#:~:text=To%20calculate%20degrees%20of%20freedom,c%20%3D%20the%20number%20of%20columns>; pristupljeno 13. svibnja 2024.
- [42] Regression methods. Poveznica: <https://online.stat.psu.edu/stat501/lesson/2/2.12>; pristupljeno 13. svibnja 2024.

[43] Jim Frost, Standard Error of the Regression vs. R-squared, Poveznica: <https://statisticsbyjim.com/regression/standard-error-regression-vs-r-squared/>; pristupljeno 13. svibnja 2024.

# Sažetak

## Umjetna inteligencija u nosivim uređajima za praćenje zdravlja ispitanika

Najčešći korišteni senzori u nosivim uređajima su akcelerometri (za praćenje koraka i prijeđene udaljenosti), fotopletizmografski senzori (za praćenje broja otkucaja srca), altimetri (za praćenje altitude) i žiroskopi (za praćenje koraka i prijeđene udaljenosti).

Biološki markeri koji se mogu mjeriti ovise o tipu i modelu nosivog uređaja. Najčešće se procjenjuje broj otkucaja srca, krvni tlak, varijacija temperature kože, estimacija varijacije kisika i disanje.

Podatci se snimaju i pohranjuju na nosivom uređaju, no moguće je na aplikaciji ili na webu vidjeti pregled snimljenih podataka, unijeti podatke koje uređaj ne mjeri (tjelesna težina i sl.) i poslati snimljene podatke putem e-pošte ili korištenjem drugih ponuđenih servisa.

Statističkom analizom podataka zaključeno je da model Charge 4 mjeri altitudu uz manju grešku, da promjena broja otkucaja srca ima negativnu korelaciju s promjenom altitude i da je moguće vidjeti mijenjanje broja otkucaja srca tijekom sna s obzirom na različite faze sna.

Ključne riječi: umjetna inteligencija; biometrika; Fitbit; Charge 4; zdravlje; praćenje zdravlja; nosivi uređaji za praćenje zdravlja; biomarkeri; statistička analiza podataka

# Summary

## **Artificial intelligence in portable health monitoring**

The most commonly used sensors in wearable devices are accelerometers (for monitoring steps and distance traveled), photoplethysmographic sensors (for monitoring heart rate), altimeters (for monitoring altitude) and gyroscopes (for monitoring steps and distance traveled).

The biological markers that can be measured depend on the type and model of the wearable device. Heart rate, blood pressure, skin temperature variation, oxygen variation estimation and respiration are most often estimated.

The data is recorded and stored on the wearable device, but it is possible to see an overview of the recorded data on the application or on the web, enter data that the device does not measure (body weight, etc.) and send the recorded data via e-mail or using other offered services.

The statistical analysis of the data concluded that the Charge 4 model measures altitude with a smaller error, that the change in heart rate has a negative correlation with the change in altitude, and that it is possible to see the change in heart rate during sleep with regard to different stages of sleep.

Keywords: artificial intelligence; biometrics; Fitbit; Charge 4; health; health monitoring; portable health monitoring; biomarkers; statistical data analysis

# Privitak

## Organizacija datoteka u prilogu

Datoteke rada u prilogu organizirane su u dvije mape. Mapa „zavrad“ sadrži kod rada i mapu „datoteke“ koja sadrži podatke koji su korišteni u kodu. Podatci snimljeni u nosivom uređaju dostupni su u mapi „Global Export Data“ koja je sadržana u mapi „Fitbit“.

## Instalacija programske podrške

Kako bi se programi mogli pokrenuti, potrebno je instalirati Python sa službene stranice <https://www.python.org/>. Zatim, potrebno je pokrenuti naredbeni redak i instalirati potrebne vanjske biblioteke. To je moguće napraviti jednostavnom komandom „pip install numpy scipy matplotlib“.

## Upute za korištenje programske podrške

Potrebno je pozicionirati se u mapu „zavrad“ korištenjem komande „cd *putanja/do/koda*“, gdje „*putanja/do/koda*“ predstavlja put do direktorija u kojemu se nalazi kod i mapa „datoteke“. Kako bi se pojedini program pokrenuo, potrebno je upisati komandu „python *ime\_programa.py*“, gdje „*ime\_programa*“ predstavlja naziv programa.