

# Jednostavan detektor laži

---

Jurić, Jakov

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:797459>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-03**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**JEDNOSTAVAN DETEKTOR LAŽI**

**Završni rad**

**Jakov Jurić**

**Osijek, 2018.**

# SADRŽAJ

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | UVOD .....   | 1  |
| 1.1   | Zadatak završnog rada .....                            | 1  |
| 2     | DETEKTOR LAŽI (POLIGRAF) .....                         | 2  |
| 2.1   | Elektrodermalna aktivnost i puls .....                 | 2  |
| 2.2   | Procedura ispitivanja .....                            | 3  |
| 2.3   | Efikasnost .....                                       | 3  |
| 3     | JEDNOSTAVAN DETEKTOR LAŽI NA ARDUINO SUSTAVU .....     | 4  |
| 3.1   | Sklopovlje .....                                       | 4  |
| 3.1.1 | Arduino UNO .....                                      | 5  |
| 3.1.2 | Modul za mjerenje otkucaja srca .....                  | 6  |
| 3.2   | Programska podrška .....                               | 8  |
| 3.2.1 | Programski kod .....                                   | 9  |
| 3.3   | Testiranje .....                                       | 12 |
| 4     | EKSPERIMENTALNA MJERENJA TOČNOSTI DETEKTORA LAŽI ..... | 18 |
| 5     | ZAKLJUČAK .....  | 21 |
|       | LITERATURA .....                                       | 22 |
|       | SAŽETAK .....  | 23 |
|       | ABSTRACT .....   | 24 |
|       | ŽIVOTOPIS .....  | 25 |
|       | PRILOZI .....  | 26 |

# 1 UVOD

Tema završnog rada je izrada jednostavnog detektora laži uporabom Arduino tehnologije. Rezultati detektora laži temelje se na mjerenju pulsa i elektrodermalne aktivnosti osobe na kojoj se vrši testiranje. Mjerenje pulsa odvija se putem modula za mjerenje otkucaja srca koji je prislonjen na prst ili ušnu resicu, dok se elektrodermalna aktivnost mjeri elektrodama prislonjenim na kažiprst i srednji prst. Na temelju izmjerenih rezultata pozadinski kod određuje govori li osoba istinu ili laž paljenjem zelene ili crvene svjetleće diode. U drugom poglavlju opisan je osnovni rad detektora laži, varijable koje se najčešće mjere i efikasnost uporabe detektora laži. U trećem poglavlju opisano je sklopovlje i njegovi glavni dijelovi, programska podrška, programski kod i testiranja koja utvrđuju ispravnost rada cijelog sklopa. Nakon opisa i testiranja sklopovlja, u četvrtom poglavlju izvršena su eksperimentalna mjerenja točnosti samog detektora laži. U zadnjem poglavlju cjelokupni rad je zaključen.

## 1.1 Zadatak završnog rada

Korištenjem Arduino tehnologije potrebno je napraviti jednostavni detektor laži putem mjerenja otkucaja srca. Izmjerene podatke je potrebno u stvarnom vremenu prikazivati na računalu, te izvršiti eksperimentalno mjerenje točnosti detektora laži.

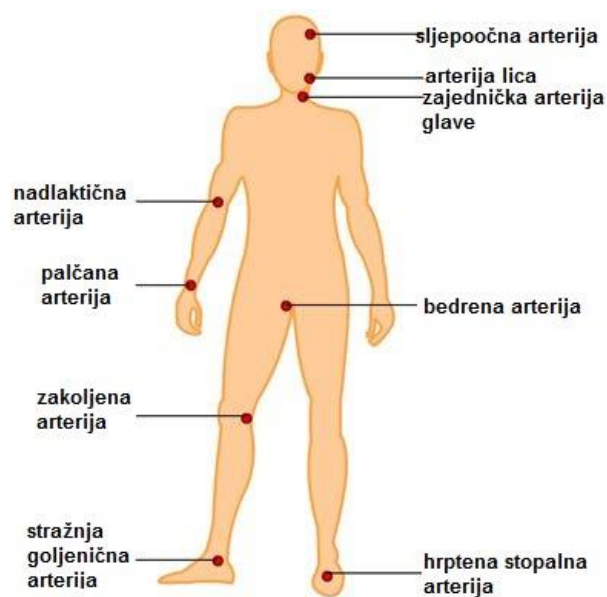
## 2 DETEKTOR LAŽI (POLIGRAF)

Detektor laži, odnosno poligraf, predstavlja uređaj koji mjeri i zapisuje fiziološke promjene poput pulsa, elektrodermalne aktivnosti, krvnog tlaka i disanja. Sama upotreba detektora laži temelji se na fiziološkim reakcijama koje se pojavljuju i asociraju uz govorenje neistine, tj. laži [1].

### 2.1 Elektrodermalna aktivnost i puls

Elektrodermalna aktivnost (EDA) predstavlja sposobnost promjene električnih svojstava kože putem znojnih žlijezda, dok pod pojmom puls ili bilo podrazumijevamo ritmično širenje arterija, koje se pojavljuje pri svakom otkucaju srca [2][3].

Elektrodermalna aktivnost i puls predstavljaju dvije najčešće fiziološke reakcije pomoću kojih se određuje govori li osoba istinu ili laž. Obje reakcije dio su simpatičkog živčanog sustava koji pri reakcijama tjeskobe, straha i uzrujanosti, koje su često asocirane uz laganje, uzrokuje povećanu elektrodermalnu aktivnost (znojenje) i/ili ubrzan puls [4][5]. Elektrodermalna aktivnost najčešće se mjeri na vrhovima prstiju, dok se frekvencija pulsa može mjeriti na raznim dijelovima tijela koji su prikazani na slici 2.1.



Sl.2.1. Mjesta očitavanja pulsa na tijelu [6]

## 2.2 Procedura ispitivanja

Prilikom uporabe detektora laži bitan je i način ispitivanja subjekta te postoje različite metode ispitivanja. Procedura ispitivanja najčešće se zasniva na tehnici kontrolnog pitanja, metoda poznatija kao CQT (eng. *Control Question Technique*). Procedura se odvija kroz nekoliko koraka:

1. Ispitivač postavlja nekoliko početnih pitanja, koja će kasnije tokom ispitivanja služiti kao dijagnostička pitanja. Prilikom ispitivanja bilježe se rezultati detektora laži.
2. Ispitivač subjektu govori da namjerno izgovori laž i potvrđuje očitavanje laži na rezultatima detektora laži, kako bi dodatno uzrujao i podsjetio subjekt na „ispravnost“ detektora laži.
3. Ispitivač započinje pravi test u kojem subjektu postavlja naizmjenično dijagnostička, irelevantna i relevantna (bitna) pitanja. Test je položen, tj. subjekt govori istinu ukoliko su fiziološke reakcije subjekta na dijagnostička pitanja veće od fizioloških reakcija zabilježenih na bitnim pitanjima [1].

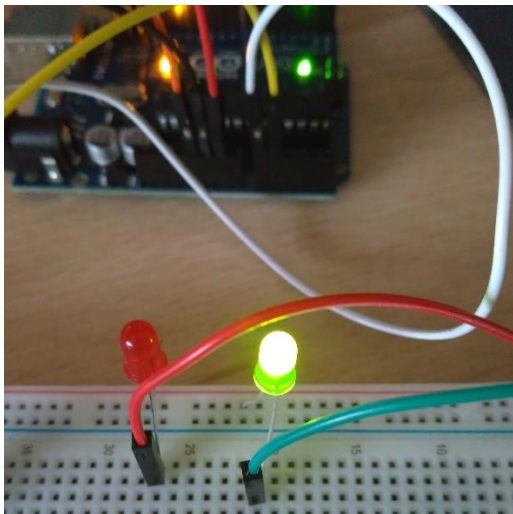
## 2.3 Efikasnost

O učinkovitosti i uporabi rezultata detektora laži kao važećih dokaza raspravlja se već duže vrijeme, no zaključak većine je da detektori laži nisu efikasan i pouzdan način određivanja istine i laži, zbog različitosti i nepredvidljivosti ljudske psihologije. Također, sama interpretacija rezultata detektora laži subjektivna je i podložna ljudskim pogreškama ispitivača. Najpoznatija i prethodno spomenuta metoda kontrolnog pitanja (CQT) može se u potpunosti odbaciti kada se u obzir uzme mogućnost pojavljivanja tjeskobe, uzrokovane strahom subjekta prema samom procesu ispitivanja.

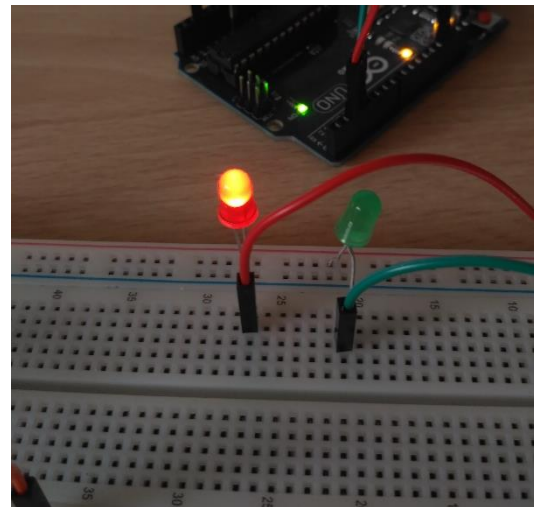
Detektori laži ne mogu razlikovati tjeskobu uzrokovanu laganjem i tjeskobu uzrokovanu nečim drugim [7]. Razlog tome je što detektori laži mjere samo „uzbuđenje“ pojedinca koje može biti uzrokovano tjeskobom pri laganju, ali također općom tjeskobom pojedinca, raznim tjeskobnim poremećajima poput PTSP-a, strahom, psihološkim stanjem, raznim substancama i mnogim drugim varijablama.

### 3 JEDNOSTAVAN DETEKTOR LAŽI NA ARDUINO SUSTAVU

Jednostavni detektor laži osmišljen je kao pojednostavljeni način otkrivanja istine ili laži pomoću Arduino razvojnog sustava. Varijable koje su potrebne za rad detektora laži su: puls izmjeren uporabom modula za mjerenje otkucaja srca, te elektrodermalna aktivnost izmjerena putem dvaju elektroda. Ispitivač sam prilagođava granice pulsa i elektrodermalne aktivnosti za koje smatra da osoba (subjekt) laže. Nakon što su prethodno spomenute granice definirane, sustav automatski i kontinuirano određuje govori li osoba istinu ili laž paljenjem zelene ili crvene svjetleće diode (Sl. 3.1., Sl. 3.2.).



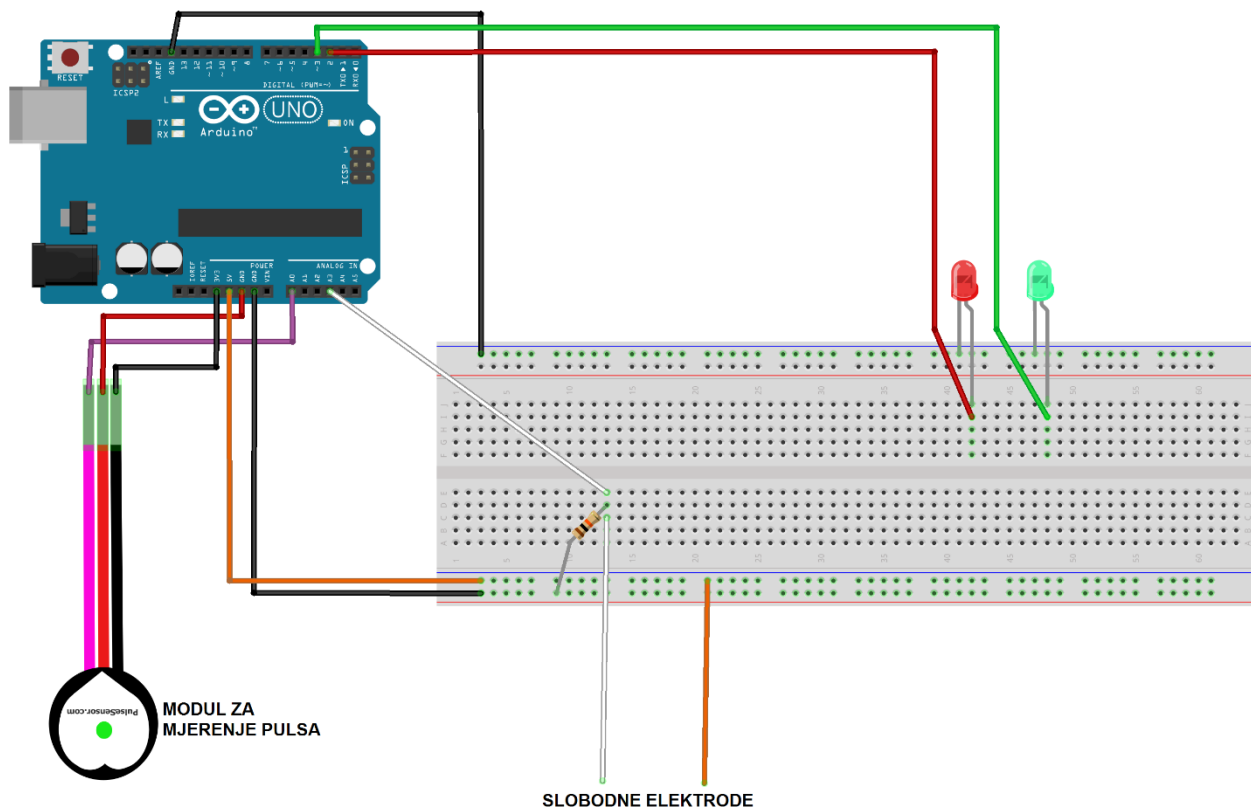
Sl. 3.1. Osoba govori istinu



Sl. 3.2. Osoba govori laž

#### 3.1 Sklopovlje

Kompletni sklop jednostavnog detektora laži sastoji se od Arduino UNO mikroupravljača, modula za mjerenje otkucaja srca, svjetlećih dioda, otpornika jačine 10 k $\Omega$ , te dupont kablíća koji povezuju sve komponente i module. Konačna shema jednostavnog detektora laži prikazana je na slici 3.3., dok su u sljedećim potpoglavljima detaljnije opisani glavni dijelovi sustava, njihove uloge i specifikacije.



Sl. 3.3. Shema sklopovlja jednostavnog detektora laži

### 3.1.1 Arduino UNO

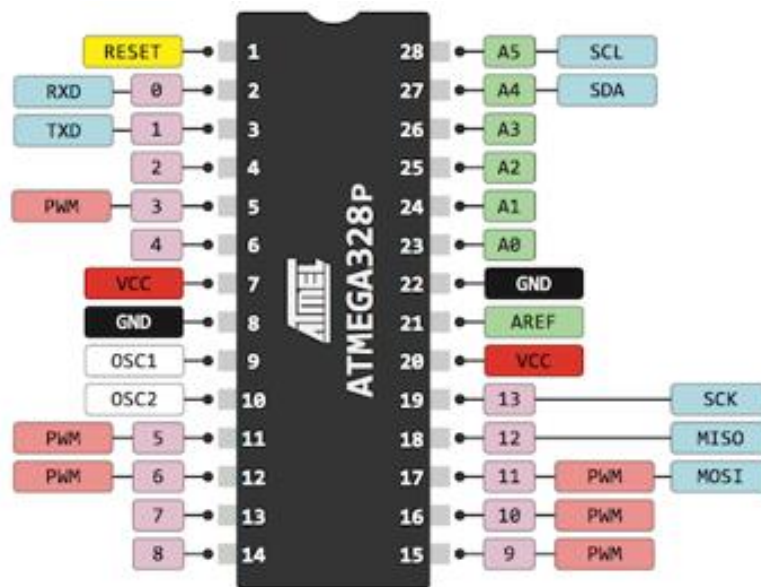
Arduino UNO predstavlja programibilni mikroupravljač otvorenog koda, koji omogućava povezivanje svih dijelova jednostavnog detektora laži u funkcionalnu cjelinu. Arduino UNO baziran je na ATmega328P mikroupravljaču s 8-bitnom jezgrom te predstavlja jedan od prvih USB napajanih Arduino mikroupravljača, iako se može napajati i putem baterije ili pretvarača napona. UNO se smatra najpoznatijom Arduino pločicom jer je korisnički prilagođena i lako razumljiva čak i početnicima [8].

Arduino UNO radi uz napon od 5 do 20 V, a kako bi se izbjegla pregrijavanja i nestabilnosti mikroupravljača, preporučeno područje rada iznosi od 7 do 12 V. Arduino UNO razvojna pločica sastoji se od 14 digitalnih (od čega 6 podržava pulsno-širinsku modulaciju signala, PWM) i 6 analognih ulazno/izlaznih priključnica kroz koje smije prolaziti maksimalna struja od 40 mA, dok je preporučena vrijednost 20 mA. Osim ulazno/izlaznih priključnica, bitno je spomenuti da razvojna pločica sadrži i priključnice za ulazno napajanje, izlazno napajanje (3.3 V i 5 V), uzemljenje, ponovno postavljanje (*RESET*) te specijalne priključnice za prilagodbu napona (*IOREF*, *AREF*) [9].



Kako se u radu često ispisuju podaci s modula, važno je navesti da Arduino UNO ima mogućnost komuniciranja s računalom putem UART TTL serijske komunikacije, koja omogućuje slanje i primanje podataka. Slanje serijskih podataka obavlja se preko digitalne priključnice s brojem 0 (RX), dok se primanje serijskih podataka obavlja preko digitalne priključnice broj 1 (TX).

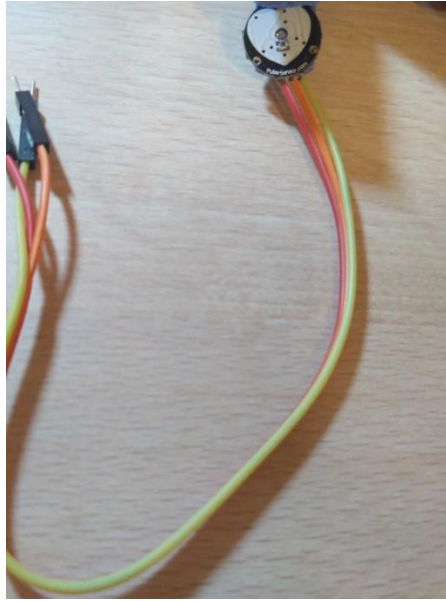
Detaljni raspored svih priključnica i njihovih funkcija na Arduino UNO razvojnoj pločici, odnosno ATmega328P mikroupravljaču, prikazan je na slici 3.4.



Sl.3.4. Raspored priključnica na Atmega328P mikroupravljaču [10]

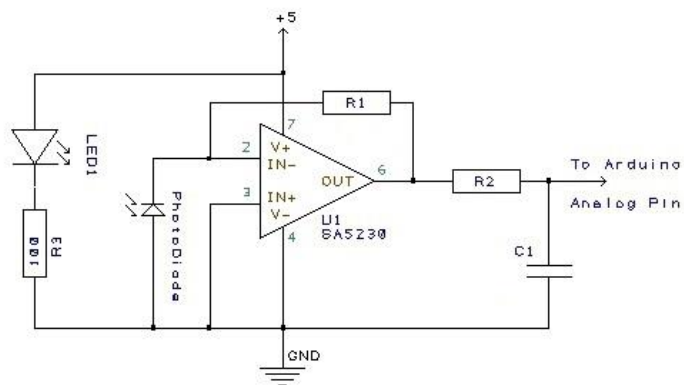
### 3.1.2 Modul za mjerenje otkucaja srca

Modul za mjerenje otkucaja srca (Sl. 3.5.) predstavlja temeljni dio sklopovlja pomoću kojeg se mjeri puls (bilo) promatranog subjekta. Puls je vrlo teško precizno i digitalno izmjeriti bez profesionalne medicinske opreme, stoga ovaj modul otvorenog koda tvrtke *World Famous Electronics llc*, predstavlja jednostavno rješenje za praćenje i mjerenje pulsa koje je dostupno široj javnosti za rekreativne svrhe.



**Sl. 3.5.** Modul za mjerenje otkucaja srca

Modul predstavlja kombinaciju nekoliko komponenti od kojih su najvažnije: fotodioda, svjetleća dioda, pojačala i filtri za šumove koji osiguravaju slanje pouzdanog pulsa Arduino mikrokontroleru [11][12]. Pojednostavljena shema modula, odnosno njegovih unutarnjih komponenti, prikazana je na slici 3.6.



$R1=1M$   
 $R2=100$   $C1=4.7\mu F$

**Sl. 3.6.** Pojednostavljena shema modula za mjerenje otkucaja srca [12]

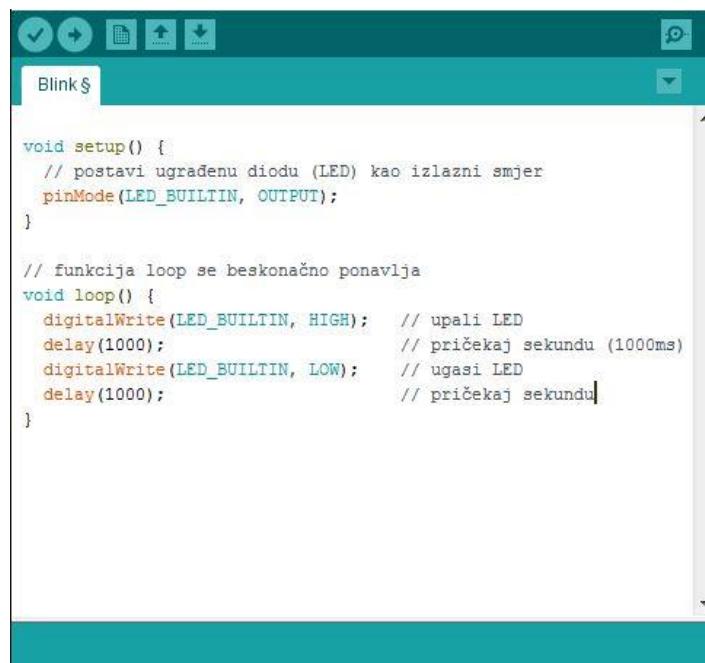
Modul se svrstava u optičke senzore pulsa, slično kao i većina senzora pulsa koji se mogu pronaći u pametnim mobitelima ili *fitness* narukvicama. Način na koji takva vrsta senzora

funkcionira svodi se na odašiljanje svjetla putem svjetleće diode, to svjetlo se odbija od krv koja prolazi kroz arterije svakim otkucajem srca, zatim se odbijeno svjetlo procesira odgovarajućim senzorom, najčešće fotodiodom. Takva vrsta praćenja otkucaja srca stručno se naziva fotopletizmografija i to je jedna od najčešćih metoda za rekreativno praćenje pulsa u današnjim pametnim uređajima [13][14].

### 3.2 Programska podrška

Arduino UNO mikroupravljač povezuje sve komponente sklopa u jednu cjelinu, no kako bi komponente obavljale sve zadatke potrebne za ispravno funkcioniranje detektora laži, potrebno je napisati i učitati program na mikroupravljač. Arduino integrirano razvojno okruženje (IDE – *integrated development environment*) omogućava jednostavno rješenje spomenutog problema.

Arduino IDE predstavlja više-platfomski program otvorenog koda, napisan je u Java programskom jeziku te omogućava pisanje i učitavanje vlastitih programa na sve Arduino mikroupravljače. Osim mogućnosti pisanja vlastitih programa, Arduino razvojno okruženje pruža mogućnost učitavanja gotovih primjera programa koji korisnicima olakšavaju učenje i izradu vlastitih projekata. Arduino IDE podržava programske jezike C i C++, a svaki korisnički program sadržava dvije neizostavne funkcije: *setup()* i *loop()*. Funkcija *setup()* je dio programa koji se izvodi samo jednom pri paljenju Arduino mikroupravljača ili ponovnom pokretanju, dok se funkcija *loop()* izvodi beskonačno i predstavlja glavni dio programa.



```
void setup() {
  // postavi ugrađenu diodu (LED) kao izlazni smjer
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

// funkcija loop se beskonačno ponavlja
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // upali LED
  delay(1000); // pričekaj sekundu (1000ms)
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // ugasi LED
  delay(1000); // pričekaj sekundu
}
```

Sl.3.7. Primjer gotovog Arduino programa

### 3.2.1 Programski kod

Pozadinski kod detektora laži je vrlo jednostavan, ali radi lakšeg shvaćanja podijeljen je u nekoliko glavnih dijelova koji su detaljno objašnjeni.

Prvi dio programskog koda sastoji se od globalnih varijabli koje su prikazane na slici 3.8. Varijabla *Puls* predstavlja priključnicu Arduino mikroupravljača na koju je spojen senzor, odnosno modul za mjerenje otkucaja srca te je u ovom primjeru ona postavljena na analognu priključnicu nula (A0). *TrenutniPuls* je varijabla u koju se sprema trenutna vrijednost očitane analognog signala s prethodno definirane priključnice (A0). Vrijednost varijable *PulsGranica* određuje se samostalno, a predstavlja granicu koja može obuhvatiti signal svakog otkucaja srca (pulsa), uz što manje među segmenata i smetnji (vizualni prikaz granice u potpoglavlju *Testiranje* – slika 3.14.). *UnutarPulsa* predstavlja logičku varijablu koja omogućava olakšano praćenje svakog otkucaja, ali također služi kao „okidač“ za izvođenje određenih funkcija. *VrijemePulsa* 1-dimenzionalno je polje od 4 broja, koje služi za spremanje vremena 4 uzastopna otkucaja izraženog u milisekundama. Varijable *BPM* i *EDA* služe za privremeno spremanje vrijednosti izračunatih otkucaja srca u minuti i očitane elektrodermalne aktivnosti.

```
int Puls = A0;
int TrenutniPuls;
int PulsGranica = 400;
bool UnutarPulsa = false;
unsigned long VrijemePulsa[4] = {0,0,0,0};
int BPM;
int EDA;
```

#### SI.3.8. Globalne varijable

Slijedi funkcija *setup()* unutar koje je definirana brzina serijskog prijenosa podataka (tj. komunikacije) od 9600 Bd (bauda) te je također definirano izlazno ponašanje digitalnih priključnica 2 i 3 jer će na njih biti priključene svjetleće diode. (slika 3.9.)

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
}
```

#### SI.3.9. Funkcija *setup()*

Nakon funkcije *setup()* definirana je funkcija *loop()* koja je raščlanjena na tri dijela radi lakšeg razumijevanja: očitavanje signala pulsa i računanje broja otkucaja u minuti, očitavanje elektrodermalne aktivnosti i postavljanje uvjeta koji određuju istinu ili laž.

Dio funkcije *loop()* koji služi za očitavanje i računanje pulsa prikazan je na slici 3.10. Unutar spomenutog dijela funkcije *loop()* prvo se vrši očitavanje trenutne vrijednosti analognog signala sa senzora spojenog na analognu priključnicu, definiranu unutar varijable *Puls*. Očitavanje se vrši funkcijom *analogRead()*, a vrijednost se sprema unutar varijable *TrenutniPuls*. Očitana vrijednost šalje se na serijski izlaz naredbom *Serial.print()*, nakon čega se istom naredbom unosi razmak koji označava „odvajanje“ očitano signal od budućih signala koji će se unositi u isti serijski izlaz. Nakon očitavanja i slanja signala putem serijske komunikacije, provjerava se uvjet da je očitani signal (*TrenutniPuls*) veći ili jednak od prethodno određene vrijednosti granice (*PulsGranica*) i da trenutni signal nije unutar pulsa, odnosno da je logička varijabla *UnutarPulsa* postavljena kao neistinita (*false*). Ukoliko je prethodni uvjet ostvaren, varijabla *UnutarPulsa* mijenja vrijednost u istinitu (*true*), kako bi se onemogućilo nepotrebno ponavljanje algoritma unutar jednog istog otkucaja. Zatim se vrijeme svakog novog otkucaja sprema na početak polja (*VrijemePulsa[0]*), dok se stara vremena pomiču prema kraju polja (*VrijemePulsa[1]* – *VrijemePulsa[3]*). Vrijeme svakog otkucaja sprema se pomoću funkcije *milis()*, koja bilježi vrijeme proteklo od početka programa u milisekundama. Nakon četiri zabilježena vremena, računa se broj otkucaja u minuti postupkom prikazanim na slici 3.11. i rezultat se sprema u varijablu *BPM* za daljnje provjere. Nakon prvog uvjeta, vrši se provjera drugog uvjeta kad *TrenutniPuls* iznosi manje nego definirana *PulsGranica*, ali uz uvjet da je signal trenutno unutar pulsa, odnosno da je vrijednost *UnutarPulsa* istinita. Ukoliko je uvjet istinit, znači da signal opada i „kreće“ se prema sljedećem otkucaju, a vrijednost varijable *UnutarPulsa* se privremeno postavlja na neistinito, sve do pojave novog otkucaja.

```

void loop() {
  //Puls

  TrenutniPuls = analogRead(Puls);
  Serial.print(TrenutniPuls);
  Serial.print(" ");

  if(TrenutniPuls >= PulsGranica && !UnutarPulsa){
    UnutarPulsa = true;

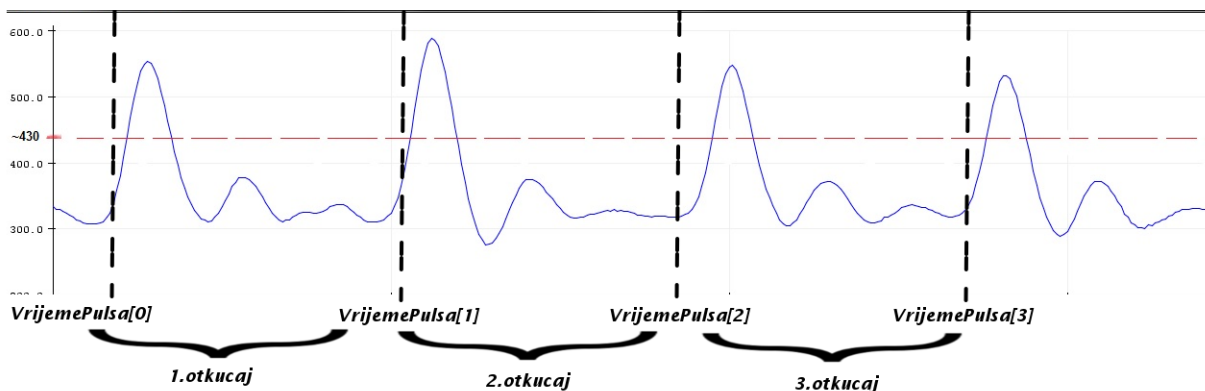
    VrijemePulsa[3] = VrijemePulsa[2];
    VrijemePulsa[2] = VrijemePulsa[1];
    VrijemePulsa[1] = VrijemePulsa[0];
    VrijemePulsa[0] = millis();

    BPM = round(3*60000.0/(VrijemePulsa[0] - VrijemePulsa[3]));

  }
  if(TrenutniPuls < PulsGranica && UnutarPulsa){
    UnutarPulsa = false;
  }
}

```

### Sl.3.10. Očitavanje pulsa i izračun BPM



$$BPM = \frac{n}{t} = \frac{3}{\frac{VrijemePulsa[0] - VrijemePulsa[3](ms)}{1000(s) * 60(min)}} = \frac{3 * 60000}{VrijemePulsa[0] - VrijemePulsa[3]}$$

### Sl.3.11. Postupak izračuna BPM

Nakon pulsa se očitava, sprema i ispisuje vrijednost elektrodermalne aktivnosti kože, što se opet postiže funkcijama *analogRead()* i *Serial.print()*, dok je vrijednost spremljena u varijablu *EDA* (slika 3.12.).

```
EDA = analogRead(A3);  
Serial.println(EDA);
```

### Sl.3.12. Očitavanje elektrodermalne aktivnosti

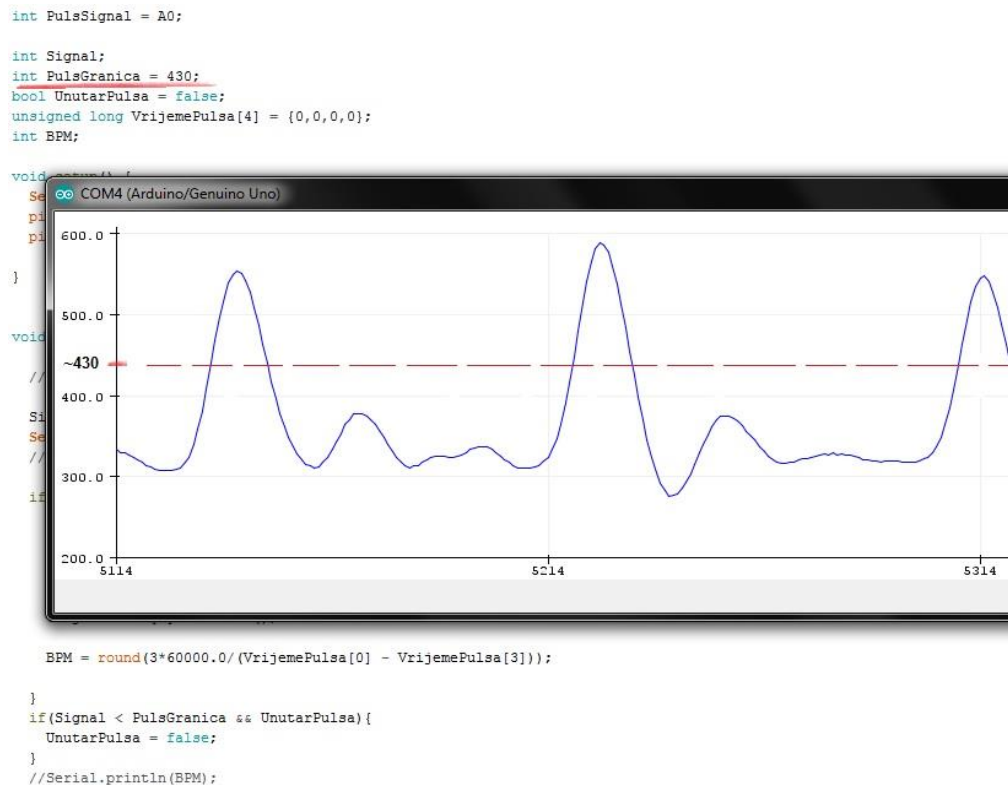
Na kraju preostaje postaviti uvjete koji kontroliraju izlazne uređaje, odnosno svjetleće diode, koje ukazuju na istinu ili laž. Za primjer prikazan slikom 3.13. definirana je granica od 90 za puls i 45 za elektrodermalnu aktivnost, čijim se prekoračenjem pali crvena svjetleća dioda, dok u suprotnom svijetli zelena svjetleća dioda.

```
if( BPM > 90 && EDA > 45){  
  digitalWrite(2, HIGH);  
  digitalWrite(3, LOW);  
}else{  
  digitalWrite(2, LOW);  
  digitalWrite(3, HIGH);  
}  
  
delay(10);  
}
```

### Sl.3.13. Provjera vrijednosti BPM i EDA kako bi se utvrdila istina/laž

## 3.3 Testiranje

Kako bi se utvrdila funkcionalnost pojedinih elemenata, programskih funkcija i cjelokupnog sklopa, izvršeno je nekoliko testiranja. Prvo je testiran modul za mjerenje pulsa, a time ujedno i funkcija za izračunavanje broja otkucaja u minuti (BPM), ponašanje analognog signala (pulsa) i određena je granica za koju se smatra da može obuhvatiti svaki otkucaj srca uz što manji broj šumova (smetnji) i među segmenata. Određivanje prethodno spomenute granice vizualno je prikazano na slici 3.14.



### Sl.3.14. Određivanje granice uz što manje šumova i među segmenata

Ispravnost i preciznost programske funkcije za izračunavanje broja otkucaja u minuti, utvrđena je ispisivanjem programski izračunatog broja otkucaja u minuti putem serijske komunikacije te uspoređivanjem s brojem otkucaja u minuti dobivenim uporabom medicinskog tlakomjera. Testiranje je obavljeno dva puta. Prvi puta mjereno je normalan puls, a drugi puta nakon tjelesnog opterećenja, kako bi se izazvao ubrzan rad srca (nakon 30 sklekova). Na slikama 3.15. i 3.17. prikazano je ispisivanje programski izračunatog broja otkucaja za normalni i opterećeni rad srca, dok je na slikama 3.16. i 3.18. prikazan rezultat dobiven medicinskim tlakomjerom za oba slučaja.



```

int Puls = A0;
int TrenutniPuls;
int PulsGranica = 430;
bool UnutarPulsa = false;
unsigned long VrijemePulsa[4] = {0,0,0,0};
int BPM;
int EDA;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
}

void loop() {
  //Puls

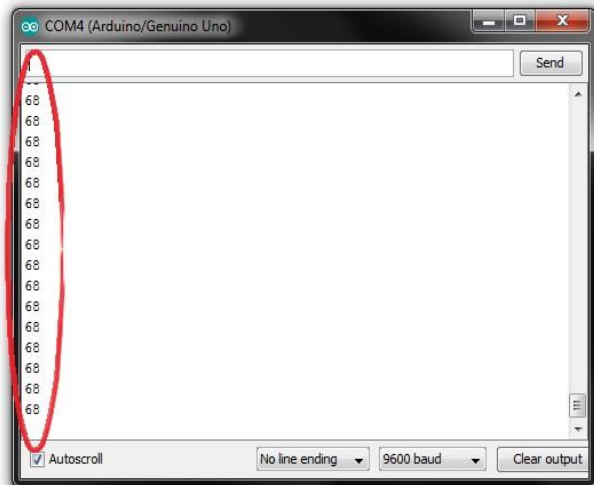
  TrenutniPuls = analogRead(Puls);
  //Serial.println(TrenutniPuls);
  //Serial.print(" ");

  if(TrenutniPuls > PulsGranica && !UnutarPulsa){
    UnutarPulsa = true;

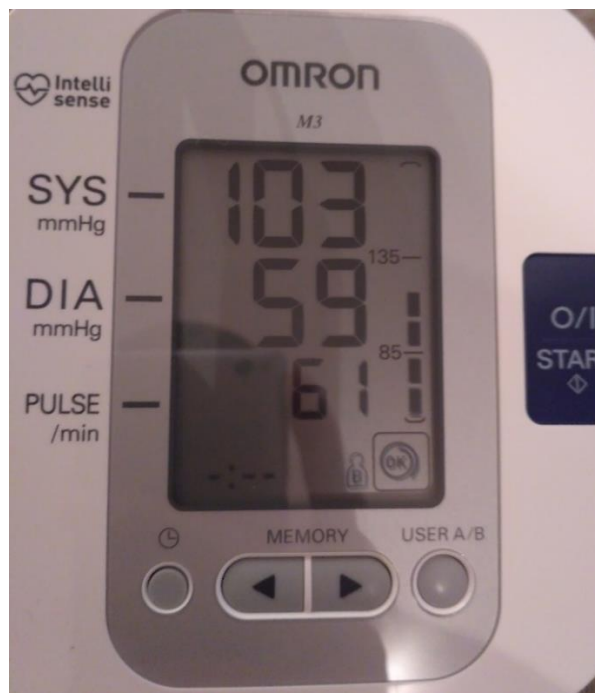
    VrijemePulsa[3] = VrijemePulsa[2];
    VrijemePulsa[2] = VrijemePulsa[1];
    VrijemePulsa[1] = VrijemePulsa[0];
    VrijemePulsa[0] = millis();

    BPM = round(3*60000.0/(VrijemePulsa[0] - VrijemePulsa[3]));
  }
  if(TrenutniPuls < PulsGranica && UnutarPulsa){
    UnutarPulsa = false;
  }
  Serial.println(BPM);
  //Provjera vrijednosti pulsa i EDA kože

```



**Sl.3.15.** Broj otkucaja srca u minuti dobiven programskim kodom za normalan rad srca (vrijednost: 68)



**Sl.3.16.** Broj otkucaja u minuti dobiven medicinskim tlakomjerom za normalan rad srca (vrijednost: 61)

```

int Puls = A0;
int TrenutniPuls;
int PulsGranica = 400;
bool UnutarPulsa = false;
unsigned long VrijemePulsa[4] = {0,0,0,0};
int BPM;
int EDA;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
}

void loop() {
  //Puls

  TrenutniPuls = analogRead(Puls);
  //Serial.println(TrenutniPuls);
  //Serial.print(" ");

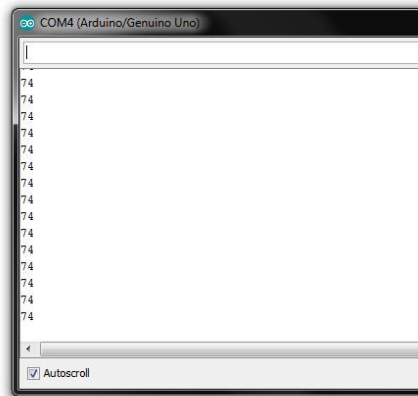
  if((TrenutniPuls > PulsGranica && !UnutarPulsa){
    UnutarPulsa = true;

    VrijemePulsa[3] = VrijemePulsa[2];
    VrijemePulsa[2] = VrijemePulsa[1];
    VrijemePulsa[1] = VrijemePulsa[0];
    VrijemePulsa[0] = millis();

    BPM = round(3*60000.0/(VrijemePulsa[0] - VrijemePulsa[3]));
  }
  if((TrenutniPuls < PulsGranica && UnutarPulsa){
    UnutarPulsa = false;
  }
  Serial.println(BPM);
  //Provjera vrijednosti pulsa i EDA kože

  EDA = analogRead(A3);
  //Serial.println(EDA);

```



**Sl.3.17.** Broj otkucaja srca u minuti dobiven programskim kodom za ubrzani rad srca (vrijednost: 74)



**Sl.3.18.** Broj otkucaja u minuti dobiven medicinskim tlakomjerom za ubrzani rad srca (vrijednost: 76)

Važno je naglasiti da broj otkucaja u minuti (BPM) dobiven programskim kodom konstantno varira zbog osjetljivosti i nepreciznosti senzora pa se tako vrijednost BPM očitava tek nakon

stabiliziranja signala pulsa. Zbog toga se u prethodno prikazanim testiranjima vrijednost BPM u stvarnosti nalazi u rasponu od 60 do 72 otkucaja u minuti (za normalan rad srca) te od 72 do 90 otkucaja u minuti (za povišen rad srca). Vidljivo je da nakon stabilizacije očitavanog signala (pulsa) i dalje postoji pogreška od približno 18% u broju otkucaja u minuti, izračunatog programskim kodom i broja otkucaja dobivenog medicinskim tlakomjerom. Spomenutu pogrešku mora se uzeti u obzir pri određivanju istine ili laži u kasnijem testiranju.

Sljedeće je testirana ispravnost i vrijednost mjerenja elektrodermalne aktivnosti kože (EDA) putem dvije slobodne elektrode. Prvo je testirana vrijednost EDA bez dodirivanja slobodnih elektroda kako bi se utvrdilo da nema smetnji, zatim vrijednost EDA prilikom dodirivanja slobodnih elektroda suhim prstima i na kraju dodirivanjem mokrim prstima, kako bi simulirali znojenje. Rezultati navedenih testiranja redom su prikazani na slikama 3.19., 3.20. i 3.21.

```
void loop() {
  //Puls

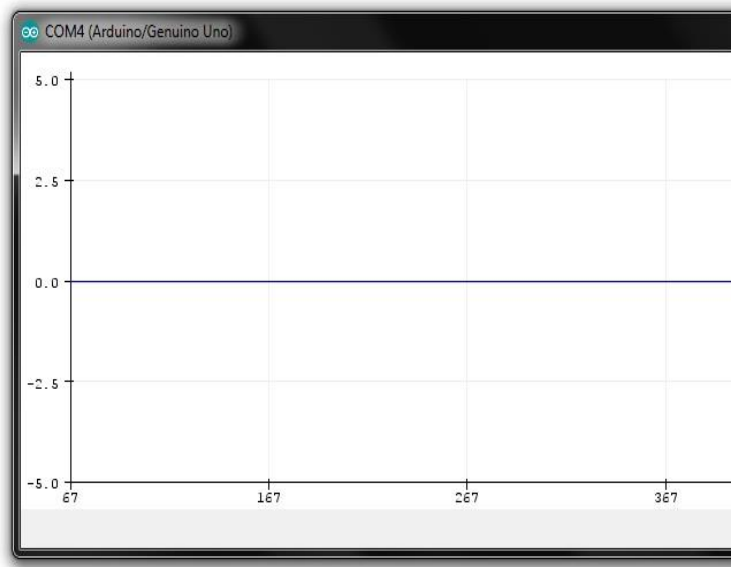
  TrenutniPuls = analogRead(Puls);
  //Serial.println(TrenutniPuls);
  //Serial.print(" ");

  if(TrenutniPuls > PulsGranica && !UnutarPulsa){
    UnutarPulsa = true;

    VrijemePulsa[3] = VrijemePulsa[2];
    VrijemePulsa[2] = VrijemePulsa[1];
    VrijemePulsa[1] = VrijemePulsa[0];
    VrijemePulsa[0] = millis();

    BPM = round(3*60000.0/(VrijemePulsa[0] - VrijemePulsa[3]));
  }
  if(TrenutniPuls < PulsGranica && UnutarPulsa){
    UnutarPulsa = false;
  }
  //Serial.println(BPM);
  //Provjera vrijednosti pulsa i EDA kože

  EDA = analogRead(A3);
  Serial.println(EDA);
}
```



**Sl.3.19.** Vrijednost elektrodermalne aktivnosti (EDA) prilikom odspojenih elektroda

```

TrenutniPuls = analogRead(Puls);
//Serial.println(TrenutniPuls);
//Serial.print(" ");

if(TrenutniPuls > PulsGranica && !UnutarPulsa){
  UnutarPulsa = true;

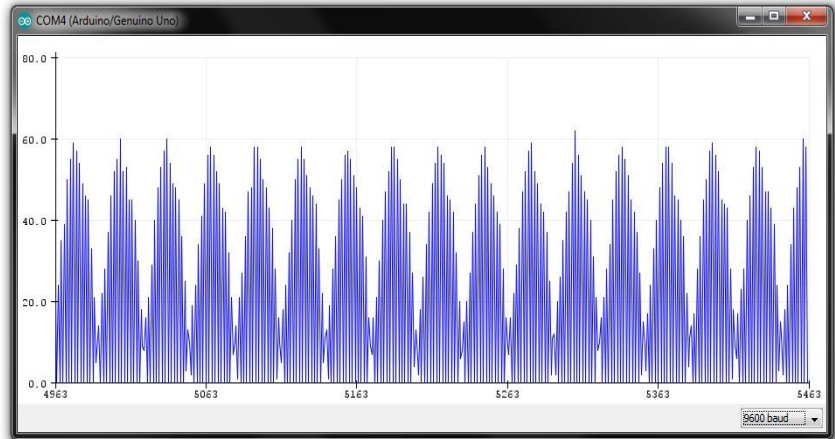
  VrijemePulsa[3] = VrijemePulsa[2];
  VrijemePulsa[2] = VrijemePulsa[1];
  VrijemePulsa[1] = VrijemePulsa[0];
  VrijemePulsa[0] = millis();

  BPM = round(3*60000.0/(VrijemePulsa[0] - VrijemePulsa[3]));
}

if(TrenutniPuls < PulsGranica && UnutarPulsa){
  UnutarPulsa = false;
}
//Serial.println(BPM);
//Provjera vrijednosti pulsa i EDA kože
EDA = analogRead(A3);
Serial.println(EDA);

if( BPM > 90 && EDA > 45){
  digitalWrite(2, HIGH);
  digitalWrite(3, LOW);
}else{
  digitalWrite(2, LOW);
}

```



**Sl.3.20.** Vrijednost elektrodermalne aktivnosti (EDA) na suhim prstima (vrijednost: ~ 60)

```

TrenutniPuls = analogRead(Puls);
//Serial.println(TrenutniPuls);
//Serial.print(" ");

if(TrenutniPuls > PulsGranica && !UnutarPulsa){
  UnutarPulsa = true;

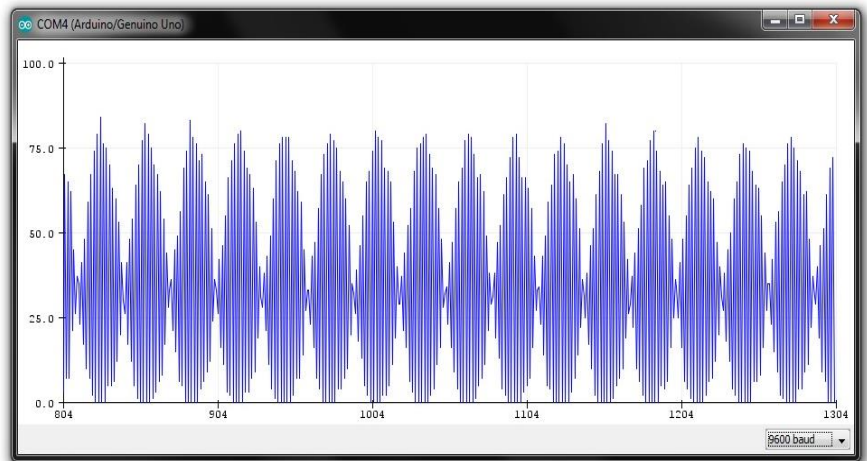
  VrijemePulsa[3] = VrijemePulsa[2];
  VrijemePulsa[2] = VrijemePulsa[1];
  VrijemePulsa[1] = VrijemePulsa[0];
  VrijemePulsa[0] = millis();

  BPM = round(3*60000.0/(VrijemePulsa[0] - VrijemePulsa[3]));
}

if(TrenutniPuls < PulsGranica && UnutarPulsa){
  UnutarPulsa = false;
}
//Serial.println(BPM);
//Provjera vrijednosti pulsa i EDA kože
EDA = analogRead(A3);
Serial.println(EDA);

if( BPM > 90 && EDA > 45){
  digitalWrite(2, HIGH);
  digitalWrite(3, LOW);
}

```

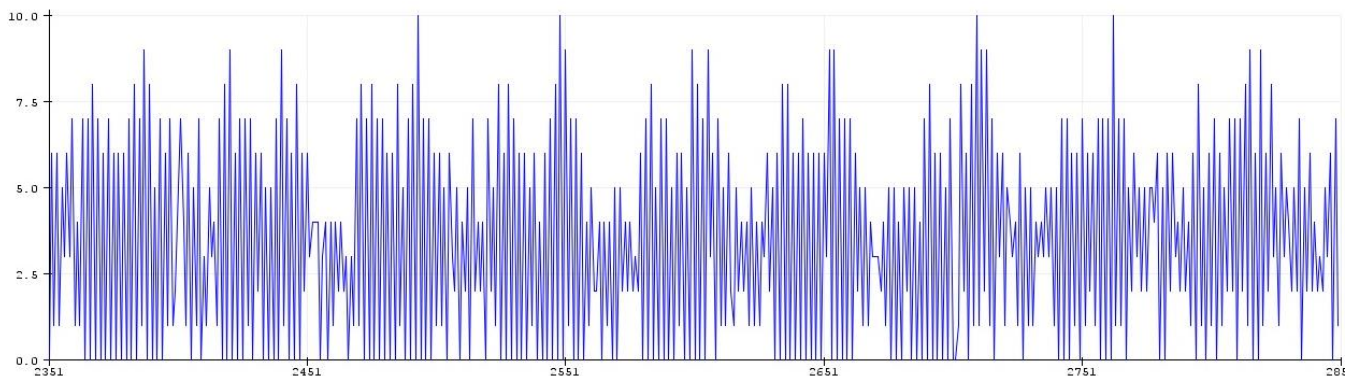


**Sl.3.21.** Vrijednost elektrodermalne aktivnosti (EDA) na mokrim prstima (vrijednost: ~80)

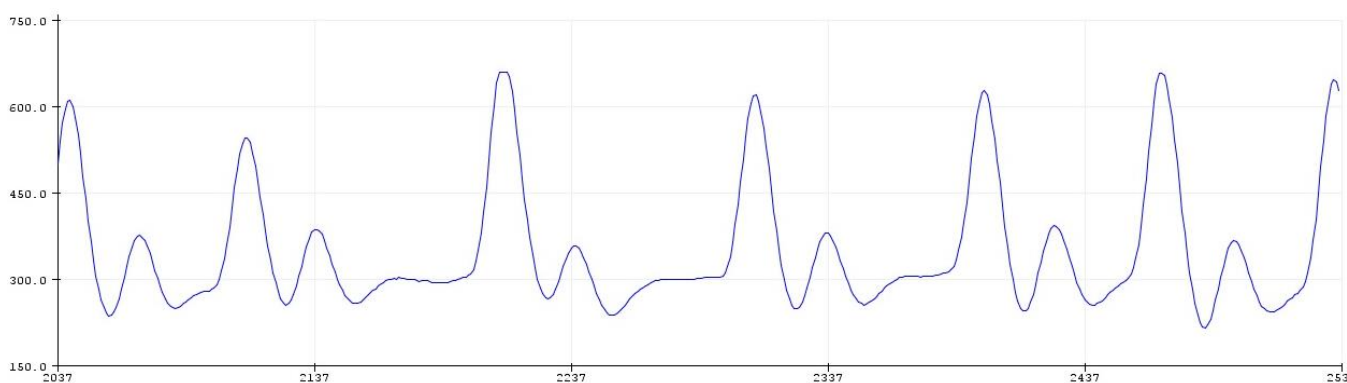
Na prethodnim slikama vidljivo je da vrijednost EDA na suhim prstima iznosi oko 60, dok se na mokrim prstima vrijednost EDA povisila na 80. Mjerenje elektrodermalne aktivnosti na mokrim prstima važna je zbog lakšeg razumijevanja raspona promjene vrijednosti EDA, prilikom lučenja znoja u procesu laganja.

## 4 EKSPERIMENTALNA MJERENJA TOČNOSTI DETEKTORA LAŽI

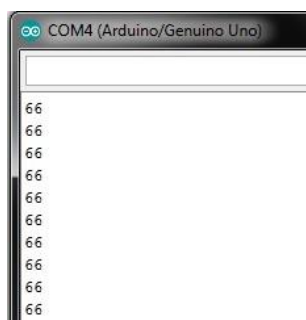
Točnost jednostavnog detektora laži provjerena je eksperimentalnim testiranjem 3 osobe, jednakim postupkom ispitivanja. Svakoj je osobi prije ispitivanja prvo izmjerena elektrodermalna aktivnost kože (EDA), zatim je određena varijabla *PulsGranica* i na kraju je izmjeren broj otkucaja u minuti (BPM). Primjeri rezultata mjerenja izvršenih prije ispitivanja za prvi subjekt, prikazani su na slikama 3.22., 3.23. i 3.24., dok su rezultati za sve ostale subjekte, uključujući i prvi subjekt navedeni u prilogu P.3.3.



SI.3.22. Rezultati mjerenja EDA kože 1. subjekta (vrijednost: ~22)



SI.3.23. Određivanje varijable „PulsGranica“ 1.subjekta (iznos varijable: 450)



SI.3.24. Rezultati mjerenja otkucaja u minuti (BPM) 1.subjekta (vrijednost: 66)

Na temelju rezultata prethodnih mjerenja, određuju se granice pulsa i EDA za koje se smatra da subjekt (osoba) laže, pa je tako za prvi subjekt određena gornja granica od 78 za otkucaje srca u minuti i 13 za EDA kože (Sl.3.25.). Granica za otkucaje srca u minuti iznosi 78 zbog uračunate greške od približno 18% prilikom programskog izračuna BPM, koja se navodi u potpoglavlju 3.3. *Testiranje.*

```
if(BPM >= 78 || EDA > 13){
    digitalWrite(2, HIGH);
    digitalWrite(3, LOW);
}else{
    digitalWrite(2, LOW);
    digitalWrite(3, HIGH);
}
```

**Sl.3.25.** *Određivanje granice BPM i EDA za 1. subjekt*

Proces ispitivanja sastoji se od 12 (DA/NE) pitanja, a subjekt sam određuje hoće li odgovoriti s istinom ili laži. Prilikom ispitivanja jednostavni detektor laži paljenjem zelene ili crvene svjetleće diode određuje govori li subjekt istinu ili laž, dok se istovremeno bilježe rezultati detektora i odgovori subjekta. Subjekt nakon ispitivanja zaokružuje odgovore na koje je odgovorio s laži te se rezultati uspoređuju s rezultatima detektora. Rezultati jednostavnog detektora laži tokom svih ispitivanja, prikazani su u tablicama Tab.3.1. i Tab.3.2.

| Subjekt (osoba) | Broj prepoznatih laži | Broj neprepoznatih laži | Ukupno laži |
|-----------------|-----------------------|-------------------------|-------------|
| 1. subjekt      | 4                     | 2                       | 6           |
| 2. subjekt      | 2                     | 2                       | 4           |
| 3. subjekt      | 2                     | 1                       | 3           |

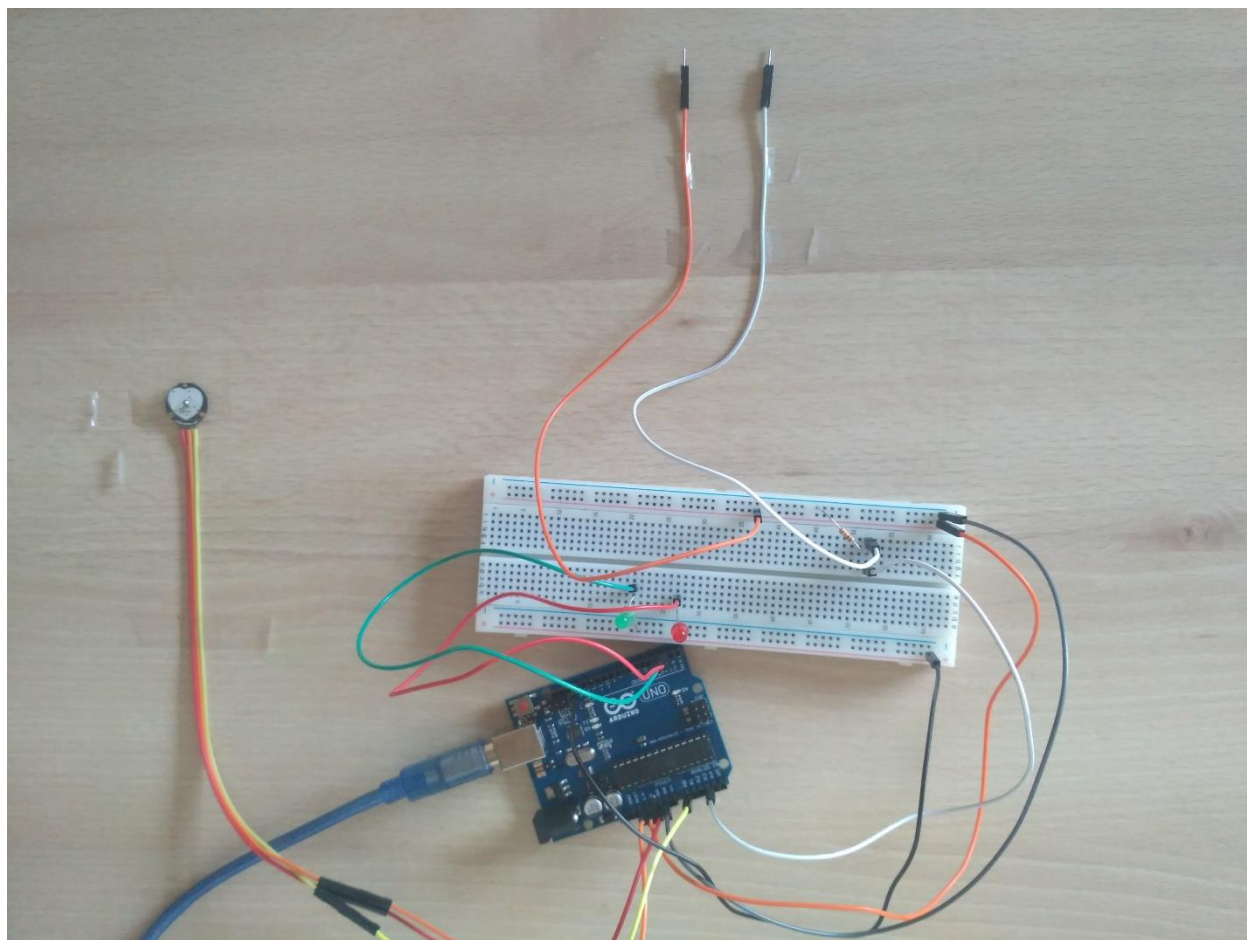
**Tab.3.1.** *Rezultati detektora za neistinite odgovore*

| Subjekt (osoba) | Broj prepoznatih istina | Broj neprepoznatih istina | Ukupno istina |
|-----------------|-------------------------|---------------------------|---------------|
| 1. subjekt      | 4                       | 2                         | 6             |
| 2. subjekt      | 7                       | 1                         | 8             |
| 3. subjekt      | 7                       | 2                         | 9             |

**Tab.3.2.** *Rezultati detektora za istinite odgovore*

Prethodni rezultati ukazuju na prosječnu točnost jednostavnog detektora laži od 61% za neistinite tvrdnje i 77% za istinite tvrdnje. Postotak točnosti jednostavnog detektora laži ograničen je zbog

osjetljivosti modula za mjerenje otkucaja srca, odnosno nedostatka profesionalne (medicinske) opreme.



**Sl.3.26.** *Jednostavan detektor laži*

## 5 ZAKLJUČAK

U završnom radu izrađen je i ispitan jednostavan detektor laži uporabom Arduino tehnologije i odgovarajućeg sklopovlja. Opisani su glavni dijelovi sklopa, programski kod te su pojašnjeni bitni pojmovi vezani uz detektore laži. Prikazan je jednostavan i lak način za rekreativno testiranje istine ili laži, ali uz oprez prilikom usvajanja rezultata.

Testiranjem detektora i uspoređivanjem rezultata ispitivanja utvrđena su odstupanja uslijed nepreciznosti i osjetljivosti foto modula za mjerenje otkucaja srca na razne šumove (smetnje).

Zbog osjetljivosti pri korištenju modula, potrebno je čekati stabiliziranje analognog signala pulsa, kako bi mjerenja otkucaja srca u minuti bila što preciznija. Nakon stabilizacije signala može se pristupiti mjerenju.

Nakon više mjerenja i obrade rezultata pokazala se moguća maksimalna pogreška od 18% između broja otkucaja srca u minuti izračunatog programski i broja otkucaja izračunatog medicinskom opremom.

Kako bi se utvrdila točnost jednostavnog detektora laži, provedeno je eksperimentalno testiranje sklopa na tri subjekta. Testiranje je pokazalo prosječnu točnost detektora laži od 61% za neistinite tvrdnje i 77% za istinite tvrdnje.

Rezultati ispitivanja ukazuju na nemogućnost preciznog i točnog određivanja istine ili laži.

Ograničena preciznost i točnost detektora uglavnom je posljedica nesavršenosti opreme dostupne za rekreativne svrhe, osjetljivosti senzora, ali što je najvažnije, nepredvidljivosti ljudske psihologije koja se ne može u potpunosti utvrditi niti najsofisticiranijom opremom.



## LITERATURA

- [1] Polygraph, wikipedia <https://en.wikipedia.org/wiki/Polygraph>
- [2] Electrodermal Activity, wikipedia [https://en.wikipedia.org/wiki/Electrodermal\\_activity](https://en.wikipedia.org/wiki/Electrodermal_activity)
- [3] Puls, wikipedia <https://hr.wikipedia.org/wiki/Puls>
- [4] Simpatikus, wikipedia <https://hr.wikipedia.org/wiki/Simpatikus>
- [5] S. Ströfer, M. L. Noordzij, E. G. Ufkes i E. Giebels, Deceptive Intentions, National Center for Biotechnology Information <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4446301/>
- [6] Heart and circulation, Association of the British Pharmaceutical Industry <https://www.abpischools.org.uk/topic/heartandcirculation/1/1>
- [7] Brendan I. Koerner, Lie Detector Roulette <https://www.motherjones.com/politics/2002/11/lie-detector-roulette/>
- [8] What is an Arduino?, SparkFun Electronics <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino>
- [9] Arduino UNO Rev3, Arduino <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- [10] Program bare ATmega 8/168/328 microcontrollers from the Arduino IDE <https://github.com/carlosefr/atmega>
- [11] Modul za mjerenje otkucaja srca – foto, e-radionica <https://e-radionica.com/hr/modul-za-mjerenje-otkucaja-srca-foto.html>
- [12] Y. Gitman, Anatomy of The DIY Heart Rate Monitor <https://pulsesensor.com/blogs/news/6326816-anatomy-of-the-diy-heart-rate-monitor>
- [13] V. Palladino, How wearable heart-rate monitors work, and which is best for you <https://arstechnica.com/gadgets/2017/04/how-wearable-heart-rate-monitors-work-and-which-is-best-for-you/>
- [14] A. Sinicki, How Do Optical Heart Rate Monitors Work? <https://www.healthguidance.org/entry/17713/1/how-do-optical-heart-rate-monitors-work.html>

## SAŽETAK

### Jednostavan detektor laži

Cilj završnog rada je izrada i ispitivanje jednostavnog detektora laži putem Arduino tehnologije. Detektor laži ostvaren je na Arduino UNO mikroupravljačkoj platformi i kombinacijom modula za mjerenje otkucaja srca, dvije svjetleće diode za vizualno prikazivanje rezultata i otpornika od 10 k $\Omega$  pomoću kojeg se ograničava struja. Detektor laži određuje govori li osoba istinu ili laž na temelju dvije fiziološke reakcije: elektrodermalne aktivnosti i pulsa. Puls se mjeri pomoću foto modula za mjerenje otkucaja srca, dok se elektrodermalna aktivnost mjeri pomoću dvije slobodne elektrode, spojene na Arduino mikroupravljač preko otpornika (od 10 k $\Omega$ ). Programskim kodom u Arduino razvojnom okruženju omogućava se prikaz mjerenih fizioloških reakcija u Arduino *serial plotteru*. Ispitivač prvo mjeri puls i elektrodermalnu aktivnost promatranog subjekta, određuje gornju granicu za koju smatra da subjekt laže, a zatim provodi ispitivanje. Kako bi se utvrdila laž, subjektu se mora povisiti elektrodermalna aktivnost ili ubrzati puls iznad prethodno određenih granica. Ukoliko niti jedna fiziološka reakcija subjekta ne prijeđe definiranu granicu, svijetlit će zelena dioda. No, prijeđe li barem jedna fiziološka reakcija granicu, svijetlit će crvena dioda. Detektor laži testiran je i utvrđena je njegova funkcionalnost te je eksperimentalnim testiranjem određena njegova točnost.

Ključne riječi: Arduino, detektor laži, puls, elektrodermalna aktivnost, modul za mjerenje otkucaja srca, granica, istina, laž

## **ABSTRACT**

### Simple Lie Detector

The goal of this bachelor thesis is to build a simple lie detector with the help of Arduino technology. The lie detector was achieved on an Arduino UNO microcontroller platform and a combination of a module for measuring heartbeat, two light-emitting diodes to visually show the results and a 10 k $\Omega$  resistor to help regulate electric current. The lie detector determines if the person is telling the truth or if he is lying, based on two physiological reactions: electrodermal activity and pulse. The pulse is measured with the help of the photo module for measuring heartbeat, while the electrodermal activity is measured with the help of two free electrodes, connected to the Arduino microcontroller via the (10 k $\Omega$ ) resistor. A program code in the Arduino integrated development environment allows a visual display of the measured physiological reactions in the Arduino serial plotter. The interrogator first measures the pulse and the electrodermal activity of the subject that is being tested, then he determines the upper limit for which he thinks the subject is lying and finally he conducts the interrogation. To determine a lie, the subject's electrodermal activity or pulse needs to accelerate over the previously determined limits. If none of the subjects physiological reactions crosses the defined limit, a green diode will light up. However, if at least one of the physiological reactions crosses the limit, a red diode will light up. The lie detector has been tested and its functionality has been established and its accuracy has been determined with experimental testing.

Key words: Arduino, lie detector, pulse, electrodermal activity, pulse measuring module, limit, truth, lie

## **ŽIVOTOPIS**

Jakov Jurić rođen je 12. svibnja 1996. godine u Osijeku, gdje trenutno živi. U Osijeku završava osnovnu školu „Mladost“, te 2011. godine upisuje Prirodoslovno-matematičku gimnaziju. 2015. godine na temelju odličnog uspjeha u srednjoj školi ostvaruje direktan upis na Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, smjer računarstvo. Zahvaljujući uspjehu tokom školovanja i dosadašnjeg studiranja dobitnik je sveučilišne stipendije za akademsku godinu 2015/2016, te stipendije za STEM područja za akademsku godinu 2017/2018.

## **PRILOZI**

P.3.1. Shema sklopovlja jednostavnog detektora laži

P.3.2. Programski kod korišten u Arduino razvojnom okruženju

P.3.3. Rezultati mjerenja elektrodermalne aktivnosti i broja otkucaja srca u minuti prilikom eksperimentalnog testiranja