

# Inkubator za proizvodnju pčelinjih matica

---

**Korač, Kristijan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:095979>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-02**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





# Sveučilište Sjever

**Završni rad br. 453/EL/2020**

## **Inkubator za proizvodnju pčelinjih matica**

**Kristijan Korač, 0862/336**

Varaždin, veljača 2020. godine





# Sveučilište Sjever

**Odjel za Elektrotehniku**

**Završni rad br. 453/EL/2020**

## **Inkubator za proizvodnju pčelinjih matica**

### **Student**

Kristijan Korač, 0862/336

### **Mentor**

mr.sc. Ivan Šumiga, dipl. ing.

Varaždin, veljača 2020. godine



## **Predgovor**

Zahvaljujem se svom mentoru mr.sc. Ivanu Šumigi na strpljenju i pomoći tijekom izrade završnog rada. Zahvaljujem se svim profesorima Sveučilišta Sjever na predanom znanju i iskustvu. Zahvaljujem se svojoj obitelji, kolegama i prijateljima koji su bili uz mene i bili velika pomoć i podrška tijekom studiranja.

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za elektrotehniku		
STUDIJ	preddiplomski stručni studij Elektrotehnika		
PRISTUPNIK	Kristijan Korač	MATIČNI BROJ	0862/336
DATUM	14.01.2020	KOLEGIJ	Procesna instrumentacija
NASLOV RADA	Inkubator za proizvodnju pčelinjih matica		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Incubator for production of queen bee		
MENTOR	mr. sc. Ivan Šumiga, dipl.ing.el.	ZVANJE	viši predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc. dr. sc. Dunja Srpak, dipl.ing.el. 2. Miroslav Horvatić, dipl.ing.el., predavač 3. mr. sc. Ivan Šumiga, dipl.ing.el., viši predavač 4. doc. dr. sc. Ladislav Havaš, dipl.ing.el., - rezervni član 5. _____		

## Zadatak završnog rada

BROJ	453/EL/2020
OPIS	Produktivnost proizvodnje pčelinjih matica se može značajno povećati uzgojem u kontroliranim uvjetima. Za to se koriste inkubatori u kojima se temperatura održava u strogo definiranim granicama.  U radu je potrebno: <ul style="list-style-type: none"><li>• opisati problematiku uzgoja pčelinjih matica</li><li>• opisati inkubator za uzgoj pčelinjih matica baziran na Arduino platformi</li><li>• realizirati inkubator</li><li>• testirati inkubator u realnim uvjetima</li></ul>

ZADATAK URUČEN	20.1.2020.	OPIS MENTORA	Šumiga
----------------	------------	--------------	--------



## **Sažetak**

Cilj ovog završnog rada je napraviti inkubator za proizvodnju pčelinjih matica. Pčelinji matičnjaci se stave u plastične kaveze koji su postavljeni unutar dobro izolirane komore. Komora se zagrijava pomoću tri 21W žarulje kojima upravlja arduino Uno. Arduino Uno pomoću K-tipa sonde koja je spojena preko MAX6675 modula očitava stvarnu temperaturu komore. Informacija o stvarnoj temperaturi se sprema na arduino gdje se vrši PID regulacija. Arduino zatim šalje PWM signale na MOSFET koji tada upravlja radom žarulja.

Informacije o zadanoj i trenutnoj temperaturi se mogu očitati na 16x2 LCD ekranu. U komori se još nalazi jedan ventilator koji miješa zrak.

**KLJUČNE RIJEČI:** Arduino UNO, PID, K-tip sonda, MAX6675 modul, LCD ekran.

## **Abstract**

The goal of this final paper is to create an incubator for the production of bee queens. Bee larvae are placed in plastic cages that are stored inside a well insulated chamber. The chamber is heated by three 21W bulbs operated by an arduino UNO. The Arduino uses a K-type thermocouple connected via MAX6675 module to read the real chamber temperature. Real temperature information is stored to the arduino where PID control is performed. The Arduino sends PWM signal onto the MOSFET which then controls the bulb operation.

Set and real temperature information can be read on a 16x2 LCD display. There is also a fan inside the chamber mixing the air.

**KEY WORDS:** Arduino UNO, PID, K-type thermocouple, MAX6675 module, LCD display.



## Popis korištenih kratica

<b>PID</b>	Proportional integral derivative
<b>LCD</b>	Liquid crystal display
<b>MOSFET</b>	Metal oxide semiconductor field effect transistor
<b>PWM</b>	Pulse-width modulation
<b>DC</b>	Direct current
<b>SRAM</b>	Static random access memory
<b>EEPROM</b>	Electrically erasable programmable read only memory

# Sadržaj

1.	Uvod.....	6
2.	Uzgoj pčelinjih matica .....	7
2.1.	Razvoj pčele matice i radilice .....	7
2.2.	Matična mliječ.....	7
2.3.	Funkcija matice u pčelinjoj zajednici.....	8
2.4.	Uzgoj matice iz matičnjaka .....	8
2.5.	Presadivanje .....	9
2.6.	Ciklus proizvodnje matice.....	9
2.7.	Označavanje matica.....	10
3.	Arduino Uno .....	11
3.1.	Opis Arduina Uno .....	12
3.2.	Tehničke specifikacije Arduino Uno.....	13
3.3.	Desktop aplikacija (Arduino IDE) .....	14
4.	Izrada inkubatora.....	15
4.1.	Konstrukcija inkubatora .....	15
4.1.1.	Izolacija .....	16
4.1.2.	Grijači.....	16
4.1.3.	MOSFET .....	17
4.1.4.	Svrha MOSFET-a.....	18
4.1.5.	MOSFET karakteristike IRFZ44N.....	19
4.1.6.	Shema sustava.....	20
4.2.	Arduino program.....	21
4.2.1.	Definiranje .....	22
4.2.2.	PID .....	24
4.2.3.	Realizacija PID-a .....	25
4.2.4.	LCD display .....	26
4.2.5.	K-tip sonda i MAX6675 modul .....	27
5.	Analiza rezultata .....	29
5.1.	Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s tri žarulje.....	29
5.2.	Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s dvije žarulje .....	30
5.3.	Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s jednom žaruljom.....	31
5.4.	Usporedba karakteristika.....	32
5.5.	Mjerenje temperature komore u podrumu (5 °C) s tri žarulje .....	33
6.	Zaključak.....	34
7.	Literatura.....	35
8.	Popis slika .....	36
9.	Popis tablica .....	38
10.	Prilozi .....	39

## 1. Uvod

Uzgoj matica pripada specijaliziranoj proizvodnji u području pčelarstva. Postoji više metoda za uzgoj matica, ali pri svakoj od njih, inkubator je značajna pripomoć u tom poslu. Da bi mogli uzgojiti pčelinje matice potrebno je razumjeti biologiju, odnosno proces izlijevanja pčelinje matice. Sezona uzgoja matica traje tri do četiri mjeseca i u tom vremenskom periodu je potrebno obaviti cjelogodišnju proizvodnju. Ciklus proizvodnje matice traje mjesec dana. Prvih šesnaest dana traje postupak izgradnje matičnjaka, inkubacije i na kraju izlijevanja mladih matica. U sljedećih tri do pet dana se oplođuju, a nakon desetak dana počinju nositi jajašca. Uzgoj matica počinje s proizvodnjom matičnjaka. Pčelinje matice polažu jaja u ćelije saća. Iz tog saća se izliježu pčele radilice, a iz posebno izgrađenih ćelija (matičnjaci) se izliježu matice.

Pčelar posebnom iglom prenosi ličinke stare četiri dana u umjetno pripremljene osnove matičnjaka te ih dodaje u pčelinje zajednice koje su obezmatičene tj. oduzeta im je njihova matica s razlogom da imaju potrebu za uzgojem nove mlade matice. Te zajednice će uglavnom prihvatiti i hraniti presađene ličinke odnosno larvice s matičnom mlijечи. U ciklusu proizvodnje to je od četvrtog do devetog dana proizvodnje. Deveti dan pčele zatvaraju matičnjak i održavaju konstantnu temperaturu od 34.5 stupnjeva Celzija. To znači da petnaesti dan matica se izliježe i spremna je za oplodnju. U prirodi, ta matica će eliminirati sve ostale matičnjake jer u košnici može biti samo jedna matica, kraljica. U našem slučaju mi uzimamo te matičnjake od devetog dana i grijemo u kontroliranoj komori šest dana. Prednosti ove metode su veći postotak izlijevanja (98 %), matičnjaci su pristupačniji (vremenske neprilike ne otežavaju pčelaru posao), te veći broj matičnjaka od ostalih metoda, a pogotovo prirodnog puta, jer se izlegu svi matičnjaci bez gubitaka.

Cilj završnog rada je napraviti inkubator za te matičnjake koji pouzdano drži konstantnu temperaturu od 34.5 stupnjeva (+-1 stupanj) šest dana. Kućište inkubatora je iskorišteno od stare mikrovalne koja je dodatno izolirana stirodurom i spužvom. Uzgajanje je predviđeno na pčelinjaku koji nema dostupnost mreže tako da je napajanje zamišljeno preko 12V akumulatora. Komora se grije pomoću tri 21W, 12 V žarulje. Rad žarulja je upravljan PID regulatorom koji se nalazi na arduino UNO. Stvarna temperatura se očitava K-tipom sonde preko MAX6675 modula. Arduino šalje PWM signale na gate MOSFETA IRFZ44N koji tada upravlja radom žarulja. U komori se još nalazi jedan ventilator koji miješa zrak.

## 2. Uzgoj pčelinjih matica

### 2.1. Razvoj pčele matice i radilice

Kad matica snese jaje, ono stoji gotovo okomito na dnu stanice. Drugog dana stoji nešto koso, a trećeg dana polegne na dno stanice. Na pogodnoj temperaturi od 34.5 °C, koju pčele stalno podržavaju u gnijezdu, počinje razvoj u jajetu, i to bez obzira na to je li oplođeno ili nije. Potpuni razvoj embrija u jajetu traje nešto duže od tri dana. Tada se opna jajeta raspuste i iz njega izađe ličinka.

Matice i radilice nastaju iz oplođenog jajeta. Hoće li se iz njega razviti matica ili radilica, zavisi o njezi i hrani ličinke. Hrani li se i poslije trećeg dana samo matičnom mliječ, iz nje će se razviti matica, a hrani li se od trećeg dana dalje i peludom i medom, tad će se razviti radilica.

Matica se od radilice razlikuje ne samo veličinom već i građom tijela, iako su obje nastale iz jednake osnove [15].

### 2.2. Matična mliječ

Mliječ se stvara u mliječnoj žlijezdi pčela radilica, a proizvode je samo mlade pčele radilice prvih 14 dana poslije leženja. Po izgledu je mliječ koja se daje ličinkama prvog i drugog dana sivkasto bijele boje. Kasnije, kad joj pčele počnu dodavati pomalo peluda, nešto požuti. Gusta je poput vrhnja, okusa kiselkastog i pomalo trpkog [15].



*Slika 2.1. Matična mliječ [19]*

### **2.3. Funkcija matice u pčelinjoj zajednici**

Funkcija dobre matice je da nese velik broj jaja na dan, jer će jedino tako pčelar dobiti veliku zajednicu. Bez jake odnosno snažne zajednice nema potrebne produktivnosti pčelinje zajednice. Veliki dnevni učinak matice u nesenju jaja, naravno uz neke druge uvjete, omogućit će uzgoj velikog broja radilica, a posljedica će biti veća proizvodnja meda [16].

### **2.4. Uzgoj matice iz matičnjaka**

U prirodnim uvjetima pčele uzgajaju matice u tri slučaja:

Kada pčelinja zajednica izgubi maticu na bilo koji način

Za vrijeme rojidbenog nagona

Za vrijeme tihe izmjene matice.

Iako sve ove tri matice uzgajaju u prirodnim uvjetima same pčele, nisu jednako vrijedne i ne mogu se uspoređivati s maticama koje su uzgojene kod uzgajivača, koji obavljaju selekciju matica i koje se objektivno testiraju [16].

## 2.5. Presađivanje

Kvaliteta uzgojenih matice ovisi o starosti ličinki koje presađujemo. Za uzgoj visokokvalitetnih matice potrebno je uzimati najmlađe ličinke. Još je 1925. Otkriveno da se dobre matice uzgajaju od ličinki starih do tri dana. Ličinke se presađuju pomoću posebne igle prikazane na slici 2.2. [16].



Slika 2.2. Iгла za presađivanje matice [18]

## 2.6. Ciklus proizvodnje matice

Uzgoj matice počinje s proizvodnjom matičnjaka. Pčelar posebnom iglom prenosi ličinke u umjetno pripremljene osnove matičnjaka te ih dodaje u pčelinje zajednice koje su obezmatičene tj. oduzeta im je njihova matica. Te zajednice će prihvatiti i hraniti presađene ličinke odnosno larvice s matičnom mliječi. Nakon određenog vremena pčele radilice zatvaraju matičnjak i održavaju konstantnu temperaturu od 34.5 °C. Nakon inkubacije matica se izliježe i spremna je za oplodnju. U prirodi, ta matica će eliminirati sve ostale matičnjake jer u košnici može biti samo jedna matica, kraljica. U našem slučaju mi uzimamo te matičnjake i grijemo ih umjesto pčela u kontroliranoj komori.

Tablica 2.1. Razvojni ciklus pčelinje matice

Razvojni ciklus pčelinje matice															
Sazrijevanje			Presadivanje	Pčele hrane presađene larvice i zatvaraju matičnjak					Inkubacija						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

## 2.7. Označavanje matica

Obilježavanje matice se vrši radi lakšeg snalaženja pčelara tijekom pregleda. Zbog lakšeg određivanja njihovog godišta, međunarodno je prihvaćen sustav obilježavanja bojama.

Matice se označavaju: bijelom, žutom, crvenom, zelenom i plavom bojom te svaka boja je specifična za određenu godinu kao što se može vidjeti u tablici 2.2. Na primjer u 2020. godini se matice označavaju sa plavom bojom.

*Tablica 2.2. Označavanje matica*

Godina		Boja
1	6	Bijela
2	7	Žuta
3	8	Crvena
4	9	Zelena
5	0	Plava

U svrhu obilježavanja matica može poslužiti bilo koji uljni flomaster (marker) na bazi vode [17].

### 3. Arduino Uno

Arduino je otvorena računalna i softverska platforma. Možemo kontrolirati što arduino radi tako da šaljemo skup instrukcija mikrokontroleru. Da bismo to učinili koristimo programski jezik Arduino i Arduino softver (IDE). Na slici 3.1 je prikazana Arduino Uno pločica [5].



*Slika 3.1. Arduino Uno [2]*

Kroz godine Arduino je bio mozak tisuća projekata, od svakodnevnih predmeta do složenih znanstvenih instrumenata. Svjetska zajednica proizvođača, studenata, hobista, umjetnika i programera okupila se oko ove platforme otvorenog koda, njihovi doprinosi dodali su nevjerojatnu količinu dostupnih znanja koja mogu biti od velike pomoći i početnicima i stručnjacima.

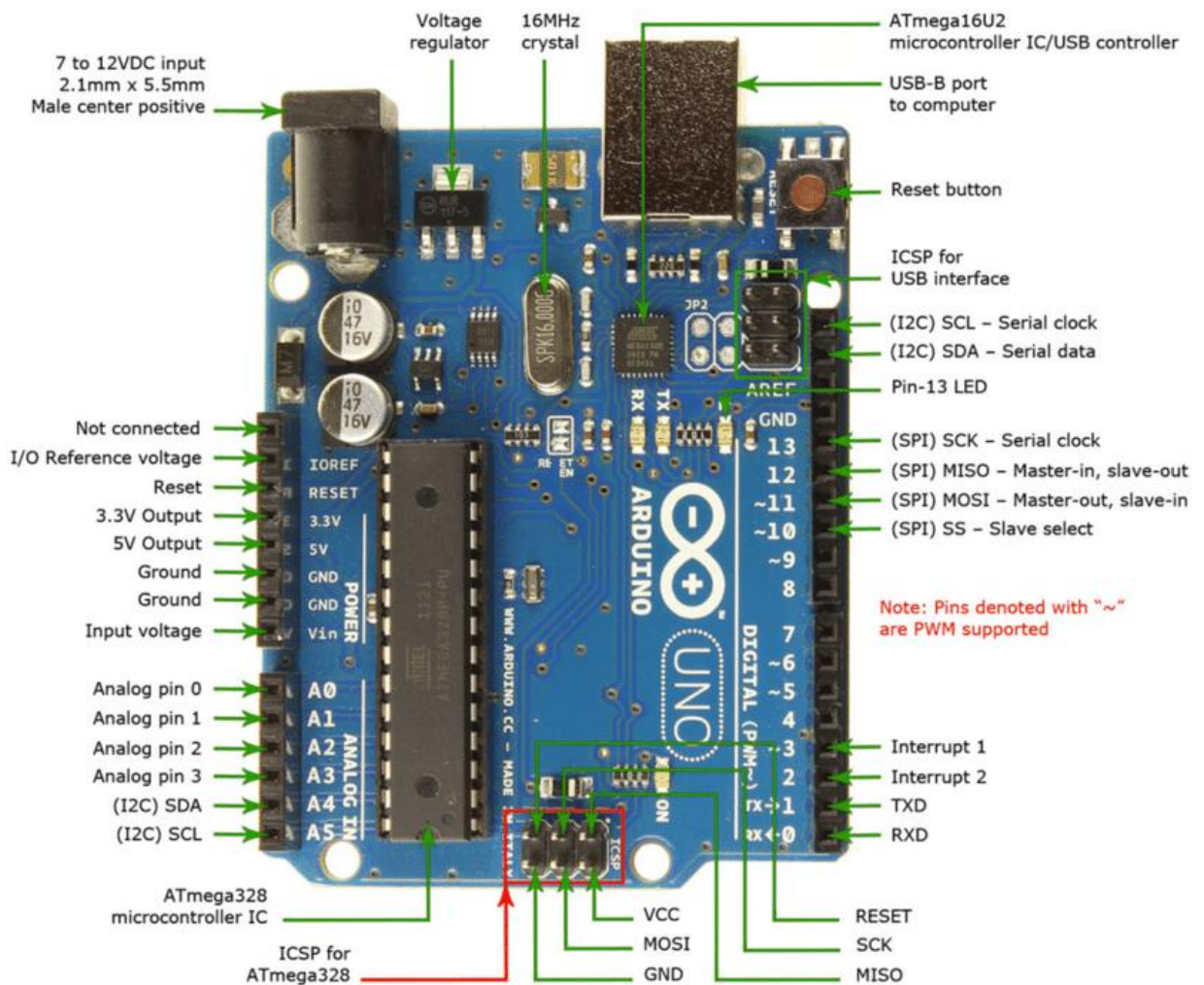
Arduino je stvoren na Ivrea Interaction Design Institute kao jednostavan alat za brzo prototipiranje, namijenjen studentima bez predznanja iz elektronike i programiranja. Čim je stigao do šire zajednice, Arduino pločica se počela mijenjati kako bi se prilagodila novim potrebama i izazovima. Sve Arduino pločice u potpunosti su otvorenog koda, omogućavajući korisnicima da ih samostalno grade i na kraju ih prilagođavaju njihovim posebnim potrebama. Softver je otvorenog koda i raste kroz doprinose korisnika širom svijeta [2].



### 3.1. Opis Arduina Uno

Arduino Uno je baziran na Atmega328P. Ima 14 digitalna izlaza/ulaza (od kojih se 6 koriste za PWM izlaze), 6 analognih ulaza, 16 MHz quartz kristal, USB port, priključak za napajanje, ICSP i gumb za resetiranje. Sadrži sve što je potrebno za podršku mikrokontrolera, jednostavno se poveže sa računalom pomoću USB kabela ili baterijom.

„Uno“ znači jedan na talijanskom jeziku i izabran je da označi izdanje Arduino softvera (IDE) 1.0. pločica Uno i verzija 1.0 Arduino softvera (IDE) bile su Arduino referentne verzije, koje su sada evoluirale do novijih izdanja. Uno pločica prva je u nizu USB Arduino pločica. Na slici 3.2. se vidi arhitektura arduino pločice [2].



Slika 3.2. Arduino Uno opis [2]

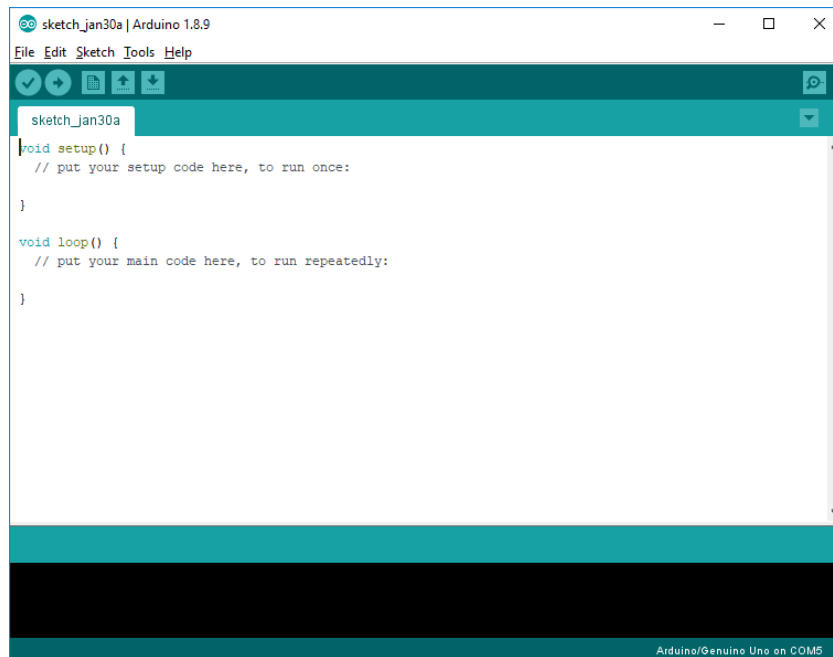
## 3.2. Tehničke specifikacije Arduino Uno

Tablica 3.1. Tehničke specifikacije Arduino Uno [2]

<b>Microcontroller</b>	Atmega328P
<b>Operating Voltage</b>	5V
<b>Input Voltage (recommended)</b>	7 – 12 V
<b>Input Voltage (limit)</b>	6 – 20 V
<b>Digital I/O Pins</b>	14 (of which 6 provide PWM output)
<b>PWM Digital I/O Pins</b>	6
<b>Analog Input Pins</b>	6
<b>DC Current per I/O Pin</b>	20 mA
<b>DC Current for 3.3V Pin</b>	50 mA
<b>Flash Memory</b>	32 KB (Atmega328P) of which 0.5KB used by bootloader
<b>SRAM</b>	2 KB (Atmega328P)
<b>EEPROM</b>	1 KB (Atmega328P)
<b>Clock Speed</b>	16 MHz
<b>LED_BUILTIN</b>	13
<b>Length</b>	68.6 mm
<b>Width</b>	53.4 mm
<b>Weight</b>	25 g

### 3.3. Desktop aplikacija (Arduino IDE)

Softver otvorenog koda Arduino (IDE) olakšava pisanje koda i učitavanje na pločicu. Skup procesa i programskih alata je izrađen u Javi i temelji se na Processing i ostalim softverima otvorenog koda. Ovaj softver se može koristiti s bilo kojom Arduino pločicom. Na slici 3.3. se vidi sučelje Arduino IDE (desktop aplikacije) [2].



*Slika 3.3. Arduino desktop IDE*

## 4. Izrada Inkubatora

Na slici 4.1. je prikazan prednji dio inkubatora.



*Slika 4.1. Inkubator*

### 4.1. Konstrukcija inkubatora

Za kućište inkubatora sam iskoristio staru mikrovalnu pećnicu. Komora mikrovalne nema dovoljnu izolaciju pa ju je bilo potrebno dodatno termički izolirati. Grijanje se vrši pomoću tri 21W žarulje koje sam montirao na dnu komore. Zrak se miješa pomoću malog ventilatora namjenjenog za PC kućišta.

### 4.1.1. Izolacija

Izolacija se sastoji od dva materijala stirodur i izolacijska spužva. Komora je prvo izolirana stirodurom, a zatim obložena spužvom. Na slikama 4.2. i 4.3. su prikazani navedeni materijali.



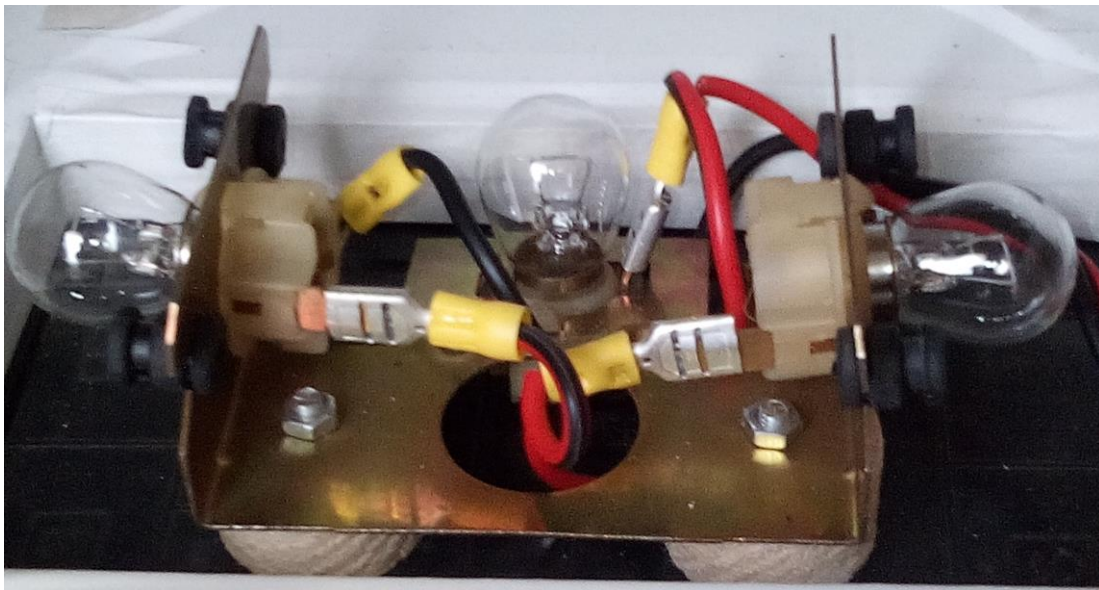
*Slika 4.2. Izolacijska spužva[8]*



*Slika 4.3. Stirodur[9]*

### 4.1.2. Grijači

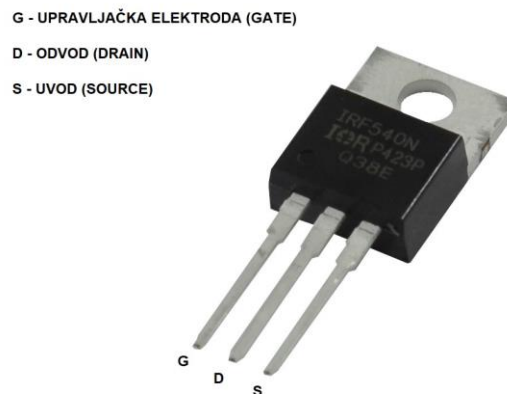
Za grijanje sam iskoristio tri 21W žarulje. Moguće je grijati sustav sa samo jednom žaruljom no stavio sam svih tri da bi povećao pouzdanost pošto je grijač kritička komponenta sustava. Na slici 4.4. su prikazane navedene žarulje.



*Slika 4.4. Žarulje*

### 4.1.3. MOSFET

MOSFET je naziv za posebnu vrstu unipolarnih FET tranzistora. MOSFET ima na sebi tri nožice poznatije kao Uvod (Source), Odvod (Drain) i Upravljačka elektroda (Gate). Uvod i odvod su elektrode izvedene iz slojeva poluvodiča koje se povezuju u kanal. Upravljačkom elektrodom upravljamo protokom struje na kanalu. MOSFET je naponski upravljiv. To znači da je protok struje (između uvedne i odvodne elektrode) kontroliran pomoću određene količine napona koji je doveden na upravljačku elektrodu MOSFET-a. To je omogućeno dodavanjem posebnog tankog sloja oksidnog materijala, najčešće silicijevog dioksida ( $\text{SiO}_2$  – primarni materijal za izradu stakla) oko upravljačke elektrode kojim je ona električki izolirana od kanala. Na slici 4.5. je prikazan raspored nožica MOSFET-a [11].



Slika 4.5. Mosfet [11]

Rad MOSFET-a može se promatrati i kao promjenjivi otpornik gdje razlikom napona između uvedne i upravljačke elektrode možemo kontrolirati otpor između uvedne i odvodne elektrode. Kada nema napona između uvedne i upravljačke elektrode, otpor između uvedne i odvodne nožice jako je visok, a to se zapravo može gledati kao da je strujni krug otvoren tj. da struja ne protječe strujnim krugom. No dovođenjem određenog napona između upravljačke i uvedne elektrode, smanjuje se navedeni otpor i time se omogućuje protok struje tj. možemo reći da je strujni krug zatvoren.

Pojava statičkih naboja može lako oštetiti izolirajući oksidni sloj. Budući da oksidni sloj djeluje kao vrlo tanki dielektrik kondenzatora, mali statički naboj može stvoriti dovoljno veliki naboj koji probija sloj i oštećuje tranzistor. Uporaba zahtjeva pažljivo rukovanje radi sprječavanja uništenja tranzistora statičkim elektricitetom [11].

#### 4.1.4. Svrha MOSFET-a

MOSFET se uglavnom koristi kao elektronički prekidač ili pojačalo gdje se pomoću određenog napona propušta i kontrolira protok struje različitog napona. Razni integrirani krugovi kao što su mikroprocesori i memorijski uređaji sadrže tisuće do milijun integriranih MOSFET tranzistora na svakom uređaju, pružajući osnovne funkcije sklopke potrebne za implementaciju logičkih operacija i pohrane podataka. Razni elektronički sklopovi koji sadrže MOSFET tranzistore naširoko se koriste u primjenama kao što su izvori napajanja, promjenjivi frekvencijski pogoni i ostale aplikacije za napajanje električnom energijom gdje svaki uređaj može kontrolirati električnu energiju snage čak i do 1000W. Radiofrekvencijska pojačala koja rade sve do vrlo visokih frekvencija (UHF spektar) koriste MOSFET tranzistore kao pojačala snage. Radio sustavi također koriste MOSFET tranzistore kao oscilatore. Na slici 4.6. je prikazan MOSFET u inkubatoru [11].



*Slika 4.6. MOSFET u inkubatoru*

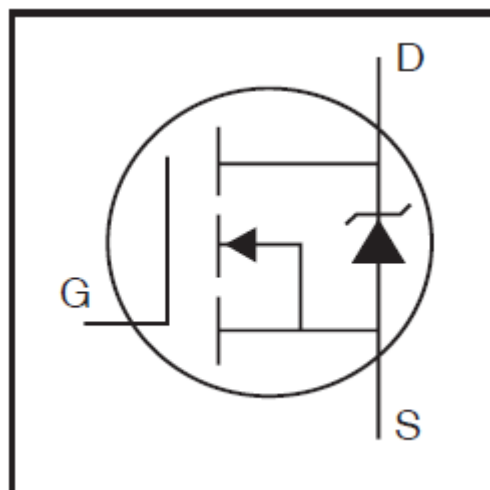
#### 4.1.5. MOSFET karakteristike IRFZ44N

Bilo je potrebno odabrati MOSFET koji može provoditi struju od 5.5 ampera i biti upravljan pomoću arduinovih PWM signala (5V). U tablici 4.1. su prikazane maksimalne vrijednosti MOSFET-a, a na slici 4.7. je prikazan simbol MOSFET-a.

Tablica 4.1. Mosfet maksimalne vrijednosti [12]

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	49	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	35	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	160	
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	94	W
	Linear Derating Factor	0.63	W/ $^\circ\text{C}$
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$I_{AR}$	Avalanche Current ①	25	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche Energy ①	9.4	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.0	V/ns
$T_J$ $T_{STG}$	Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +175	$^\circ\text{C}$
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case )	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.5	$^\circ\text{C/W}$
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

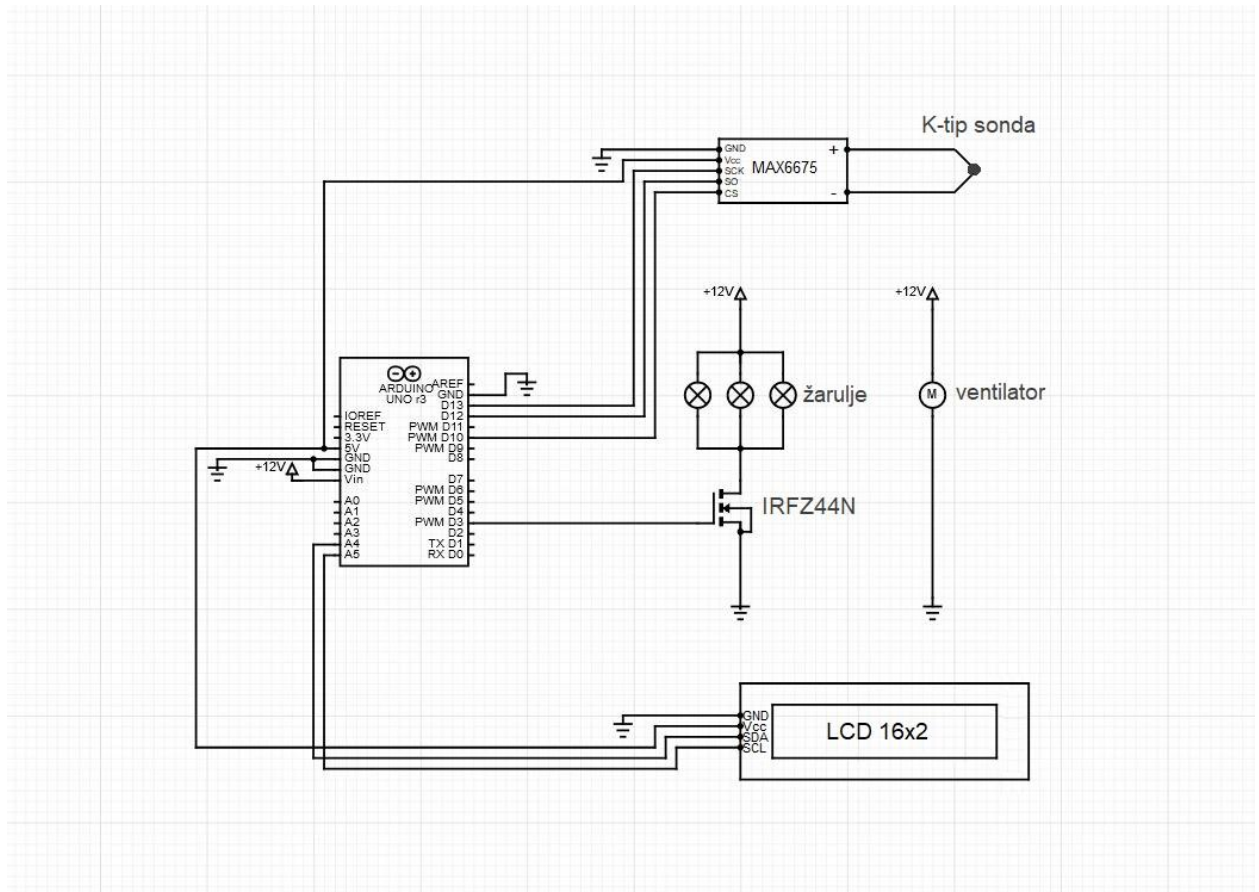


Slika 4.7. Simbol MOSFET-a[12]



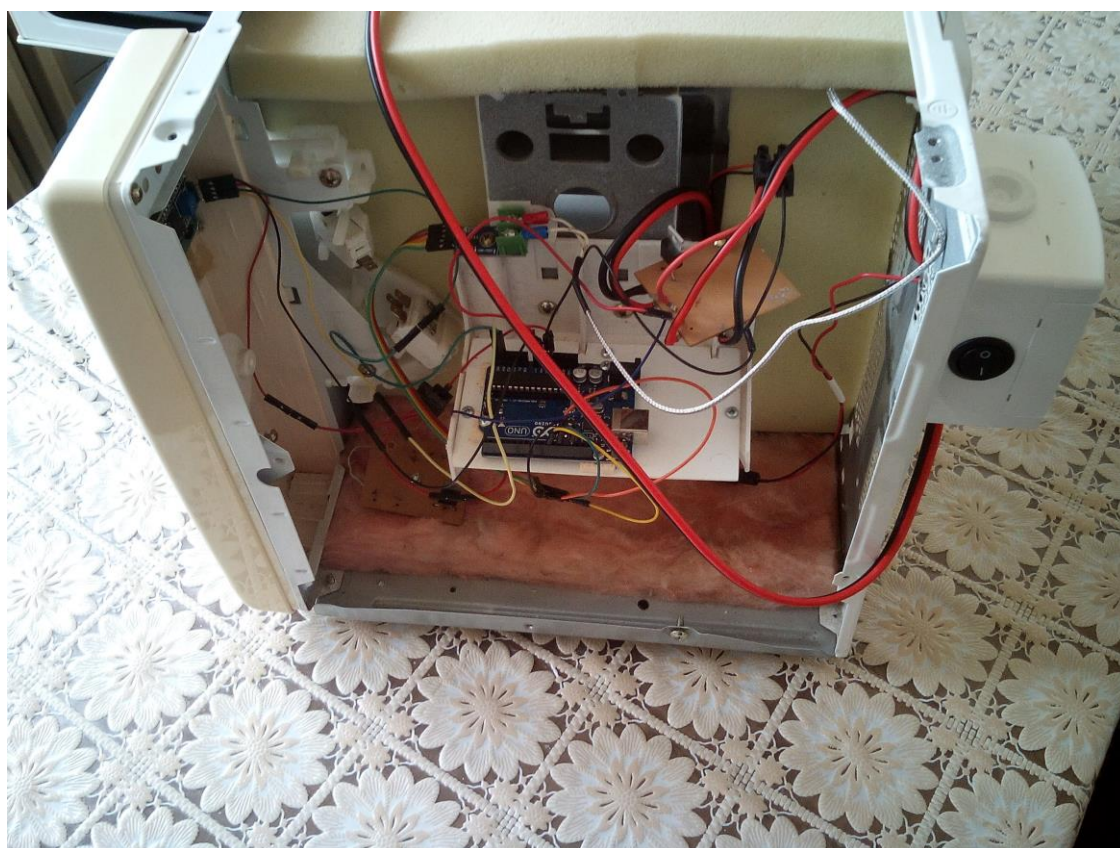
#### 4.1.6. Shema sustava

Shema je nacrtana u Circuit Diagram Web editoru. Zamišljeno je da se sustav napaja pomoću 12V akumulatora. Akumulator napaja žarulje, ventilator i arduino koji onda kroz 5V izlaz napaja LCD display i MAX6675 modul. Na slici 4.8. je prikazana električna shema inkubatora.



Slika 4.8. Električna shema inkubatora.

Na slici 4.9. je prikazana slika sustava.



*Slika 4.9. Slika sustava*

## 4.2. Arduino Program

### 4.2.1. Definiranje

U radu je potrebno održavati temperaturu u strogo definiranim granicama. Temperatura koju inkubator u komori mora održavati je 34.5 °C s +/- 1 stupanj.

Prvo je potrebno mjeriti stvarnu temperaturu. Stvarna temperatura se mjeri pomoću sonde K tipa koja je spojena na arduino preko MAX6675 modula. Modul sam spojio prema tablici 4.2.

*Tablica 4.2. Spajanje MAX6675*

CS	D10
SO	D12
SCK	D13
Vcc	Vcc (5v)
Gnd	Gnd

Da bi prikazali stvarnu temperaturu na LCD ekranu potrebno je prvo preuzeti te dodati knjižnicu (library) LiquidCrystal\_I2C. Zatim je potrebno spojiti LCD display na arduino. Display sam spojio na sljedeći način.

*Tablica 4.3. Spajanje Display-a*

SCL	Vcc
SDA	A4
Vcc	Vcc (5v)
Gnd	Gnd

U programu knjižnica se dodaje pomoću komandne linije:

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h> ,
```

a adresa se definira:

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3f,20,4) .
```

U mojem slučaju je adresa 0x3f.

Pinove sam definirao kao što je prikazano na slici 4.10.

```
#include <SPI.h>
#define MAX6675_CS 10
#define MAX6675_SO 12
#define MAX6675_SCK 13
```

*Slika 4.10. Definiranje pinova*

Varijable u programu sam definirao prema slici 4.11.

```
float temp_read = 0.0;           /// temperatura koju čita
float set_temp = 34.5;          /// zadana temperatura
float PID_error = 0;            /// razlika između temperatura
float prev_error = 0;           /// vrijednost greške iz prijašnjeg ciklusa
float elapTime, Time, timePrev; /// vrijeme ciklusa, vrijeme
int PID_value = 0;              /// vrijednost PID-a
```

*Slika 4.11. Definiranje varijabli*

Postavljene PID konstante su prikazane na slici 4.12.

```
int kp = 9.7;   int ki = 0.2;   int kd = 1.5;
int PID_P = 0;   int PID_I = 0;   int PID_D = 0;
```

*Slika 4.12. PID konstante sustava*

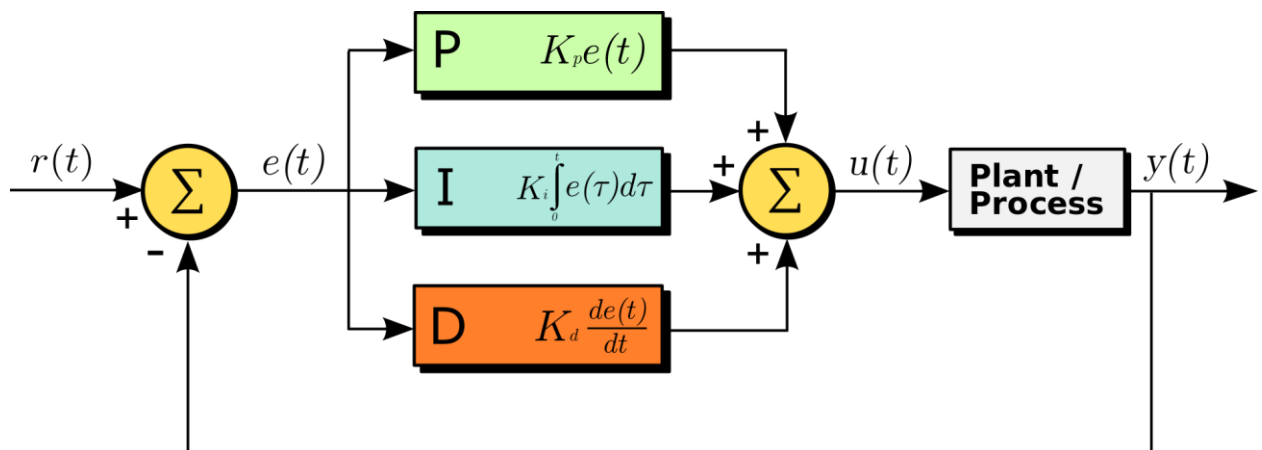
PID konstante je potrebno postaviti ovisno o modelu sustava, u mojem slučaju su postavljane eksperimentalnom metodom.

## 4.2.2. PID

Proporcionalno integralno derivacijski regulator (PID regulator) je mehanizam upravljačke petlje koji koristi povratne informacije koje se široko koriste u industrijskim upravljačkim sustavima i raznim drugim aplikacijama koje zahtijevaju kontinuirano modulirano upravljanje. PID regulator kontinuirano izračunava vrijednost pogreške kao razliku između željene zadane vrijednosti i izmjerene procesne varijable i primjenjuje korekciju na temelju proporcionalnih, integralnih i derivativnih uvjeta.

U praktičnom smislu automatski primjenjuje točnu i osjetljivu korekciju na upravljačkoj funkciji. Svakodnevni primjer je tempomat na automobilu, pri kojem bi se uzbrdo smanjivala na brzina kada bi se koristila samo konstantna snaga motora. PID algoritam regulatora vraća izmjerenu brzinu do željene brzine uz minimalno kašnjenje i pregrijavanje povećavajući izlaznu snagu motora.

Prva teorijska analiza i praktična primjena bila je u području automatskih upravljačkih sustava za brodove, razvijenih od početka 1920-ih pa nadalje. Zatim je korištena za automatsko upravljanje procesima u prerađivačkoj industriji, gdje se široko primjenjivala u pneumatskim, a potom i elektroničkim regulatorima. Danas se PID koncept univerzalno koristi u aplikacijama koje zahtijevaju precizno i optimizirano automatsko upravljanje. Na slici 4.13. je prikazan PID model [10].



Slika 4.13. PID model [10]

### 4.2.3. Realizacija PID-a

Početak programa je prikazan slikom 4.14.

```
void setup() {
  pinMode(PWM_pin,OUTPUT);
  TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | 0x03;    /// pin 3 i 11 sa PWM
  Time = millis();                        frekvencijom od 980.39 Hz ///
  lcd.init();                             ///vrijeme je u milisekundama
  lcd.backlight();                         ///inicijalizacija lcd ekrana
}
```

*Slika 4.14. Početak programa*

PID dio programa je prikazan na slici 4.15.

```
void loop() {
  temp_read = readThermocouple();        /// prvo čita stvarnu vrijednost
  PID_error = set_temp - temp_read;
  PID_P = kp * PID_error;                 /// računa P vrijednost
  if(-0.5 < PID_error <0.5)
  {
    PID_I = PID_I + (ki * PID_error);     ///računa I vrijednost u razmaku +/- 0.5
  }
  /// za D nam je potrebno stvarno vrijeme da bi izračunali brzinu promjene
  timePrev = Time;                       /// prijašnje vrijeme se posprema prije stvarnog
  Time = millis();                        // pravo vrijeme
  elapTime = (Time - timePrev) / 1000;
  PID_D = kd*((PID_error - prev_error)/elapsedTime); /// računa D vrijednost
  PID_value = PID_P + PID_I + PID_D;      ///zbraja P+I+D da dobi PID vrijednost
  if(PID_value < 0)
  ///PWM je definiran između 0 i 255
  {   PID_value = 0;   }
  if(PID_value > 255)
  {   PID_value = 255; }
  analogWrite(PWM_pin,PID_value); /// šalje PWM signal na gate mosfeta preko D3 pina
  prev_error = PID_error;               /// posprema grešku za sljedeći ciklus

  delay(300);
}
```

*Slika 4.15. PID u programu*

#### 4.2.4. LCD display

Inicijalizacija display-a je prikazana na slici 4.16.

```
//lcd.clear();  
  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("S:");  
lcd.setCursor(2,1);  
lcd.print(set_temp,1);  
lcd.setCursor(9,1);  
lcd.print("R:");  
lcd.setCursor(11,1);  
lcd.print(temp_read,1);  
}
```

*Slika 4.16. Inicijalizacija display-a*

Na slikama 4.17. i 4.18. je prikazan izgled display-a u inkubatoru.



*Slika 4.17. Display s prednje strane*



*Slika 4.18 Display s zadnje strane*

## 4.2.5. K-tip sonda i MAX6675 modul

Na slici 4.18. je prikazana inicijalizacija sonde [14].

```
double readThermocouple() {

    uint16_t v;
    pinMode(MAX6675_CS, OUTPUT);
    pinMode(MAX6675_SO, INPUT);
    pinMode(MAX6675_SCK, OUTPUT);

    digitalWrite(MAX6675_CS, LOW);
    delay(1);

    /// čita 16 bita
    /// 15 je uvijek nula
    /// 1   ako je otvoreni strujni krug
    /// 2 ako je otpojena sonda
    /// 2-14 0.25 stupnjeva broji MSBFIRST
    v = shiftIn(MAX6675_SO, MAX6675_SCK, MSBFIRST);
    v <<= 8;
    v |= shiftIn(MAX6675_SO, MAX6675_SCK, MSBFIRST);

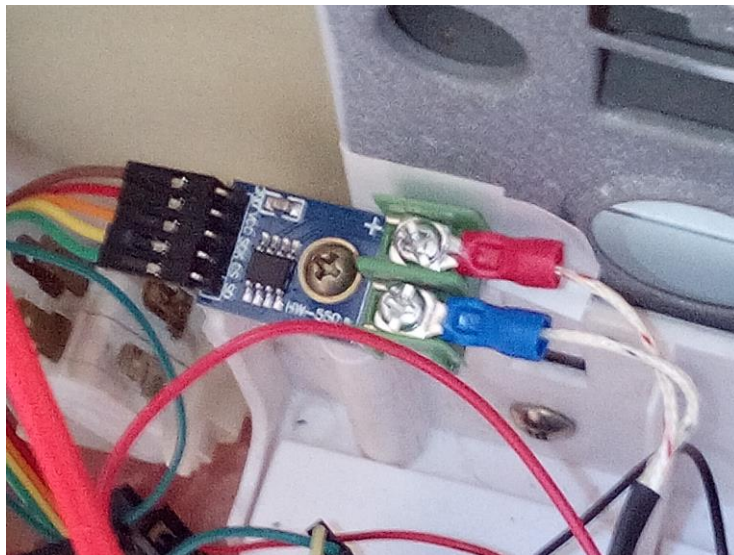
    digitalWrite(MAX6675_CS, HIGH);
    if (v & 0x4)
    {
        return NAN;    /// bit 2 nam govori ako je otvoreni strujni krug
    }

    v >>= 3;    /// bitovi 0, 1 i 2 su odbačeni
                /// ostali bitovi su broj od 0.25 stupnjeva koji se broje
    return v*0.25;
}
```

*Slika 4.19. Inicijalizacija sonde*



Sonda je dizajnirana sa 6 mm navojem za precizno mjerenje. Ima široki raspon mjerenja od 0-400 °C. Promjer cijevi je 4 milimetara. Duljina cijevi 30 milimetra, kopča za navoj ima nacionalni standard M6. Točnost mjerenja je  $\pm 0.1$  °C. Na slici 4.20. je prikazan MAX6675 modul, a na slici 4.21. Sonda tip K.



*Slika 4.20. MAX6675 modul*

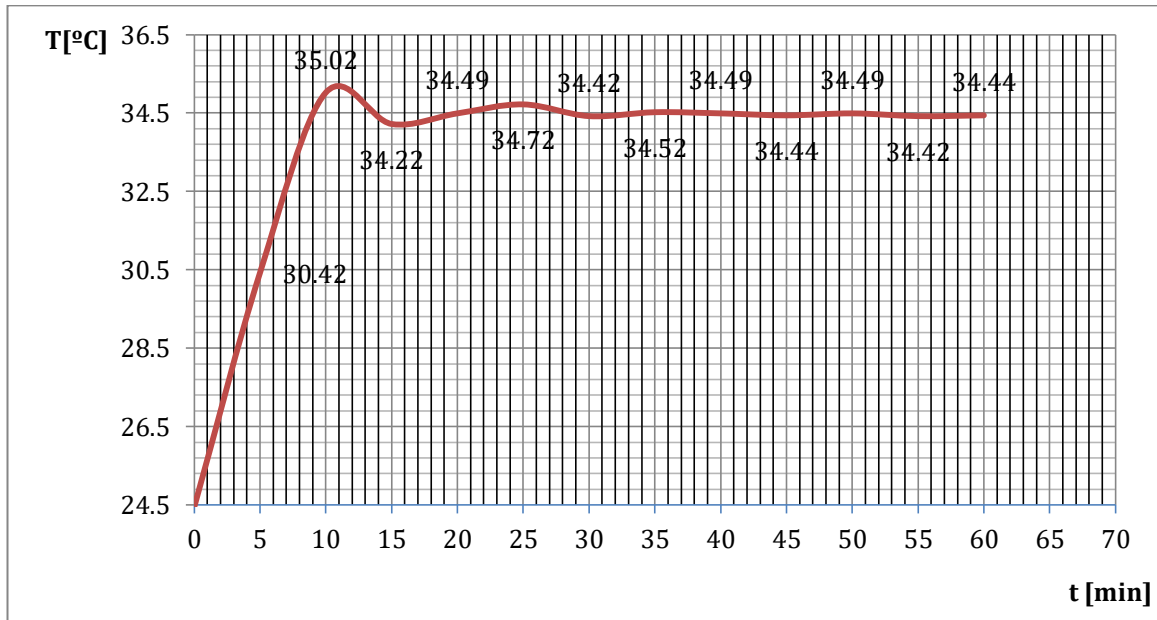


*Slika 4.21. Sonda tip K [13]*

## 5. Analiza rezultata u realnim uvjetima

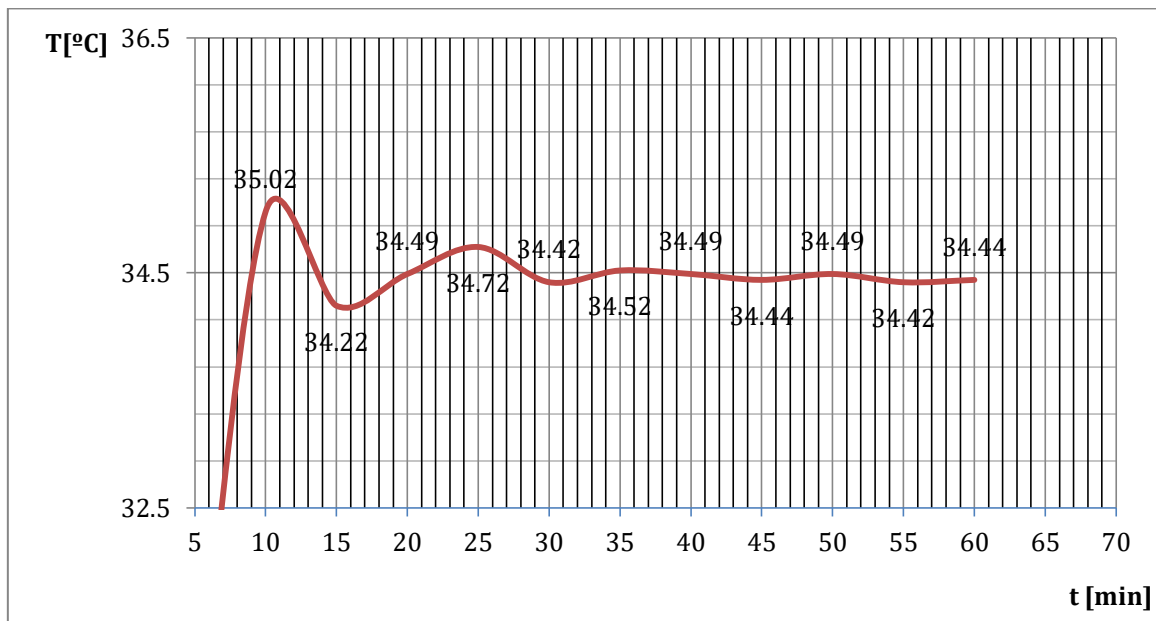
### 5.1. Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s tri žarulje

Na Slikama 5.1. i 5.2. je prikazan graf za mjerenje temperature komore u dnevnom boravku s tri žarulje pri temperaturi 25 °C.



Slika 5.3. Graf Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s tri žarulje

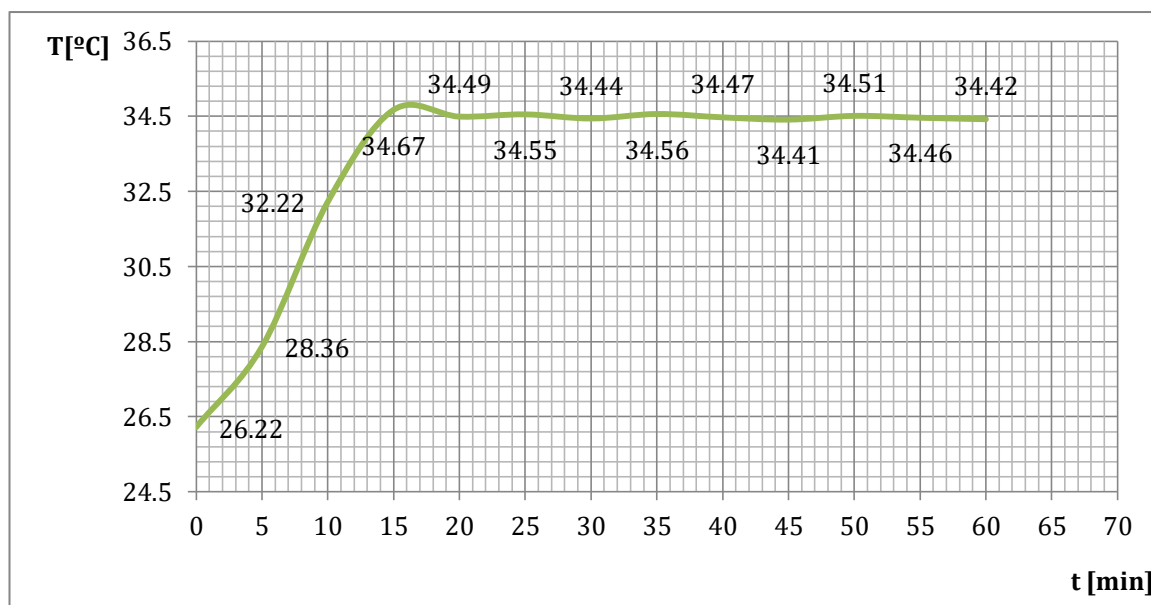
Potrebno je 10-ak minuta da se komora zagrije na zadanu temperaturu pomoću tri 21W žarulje.



Slika 5.2. Graf Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s tri žarulje

## 5.2. Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s dvije žarulje

Na Slikama 5.3. i 5.4. je prikazan graf za mjerenje temperature komore u dnevnom boravku s dvije žarulje pri temperaturi 25 °C.



Slika 5.3. Graf Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s dvije žarulje

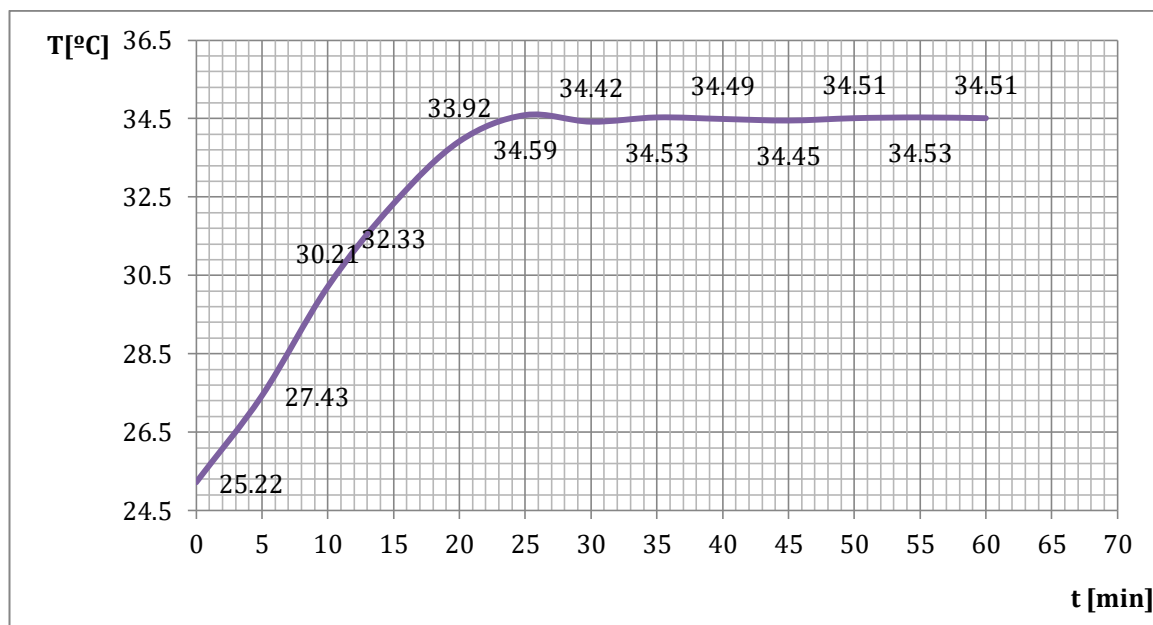
Potrebno je 15-ak minuta da se komora zagrije na zadanu temperaturu pomoću dvije 21W žarulje.



Slika 5.4. Graf Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s dvije žarulje

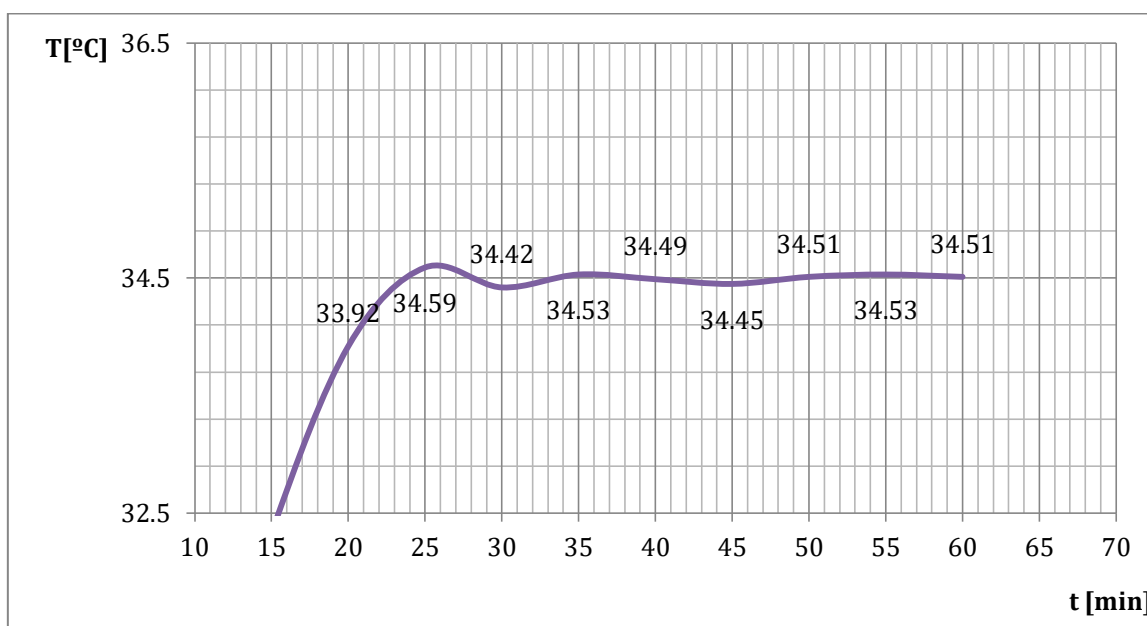
### 5.3. Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s jednom žaruljom

Na Slikama 5.5. i 5.5. je prikazan graf za mjerenje temperature komore u dnevnom boravku s jednom žaruljom pri temperaturi 25 °C.



Slika 5.5. Graf Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s jednom žaruljom

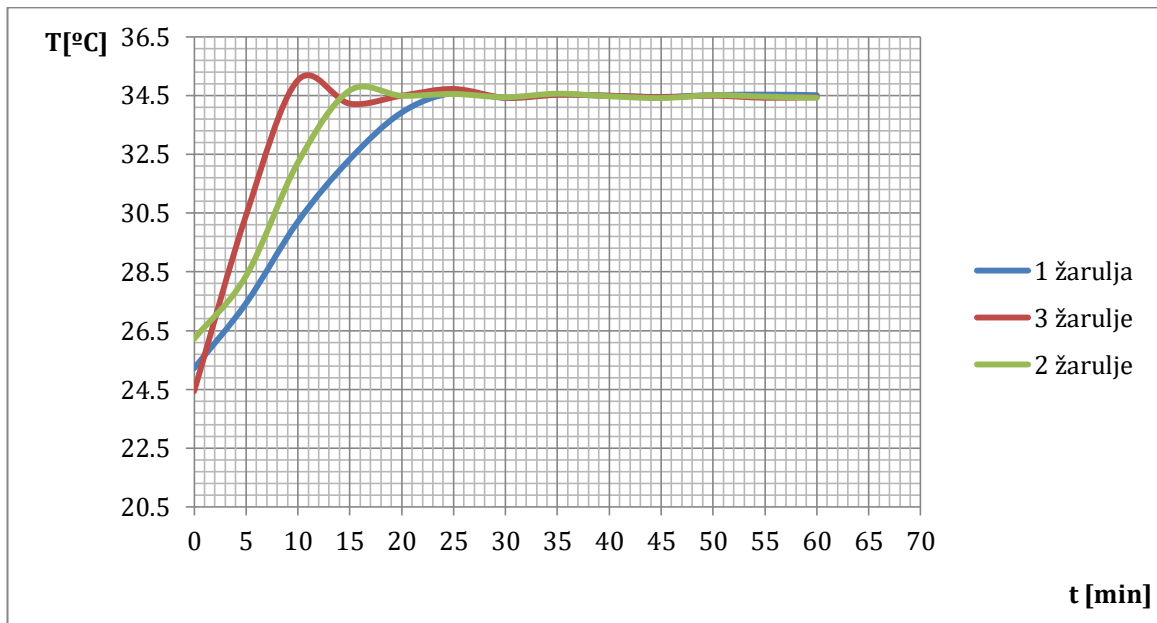
Potrebno je oko 25 minuta da se komora zagrije na zadanu temperaturu pomoću jedne 21W žarulje.



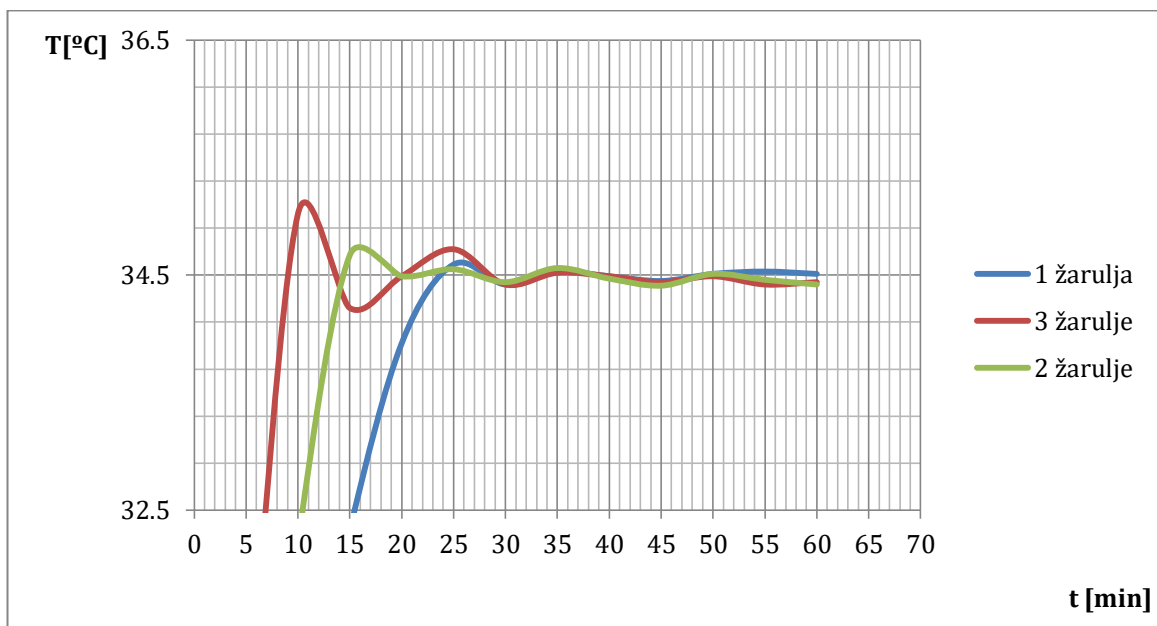
Slika 5.6. Graf Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s jednom žaruljom

#### 5.4. Usporedba karakteristika

Na slikama 5.7. i 5.8 je prikazana usporedba temperatura komora između prijašnje tri situacije.



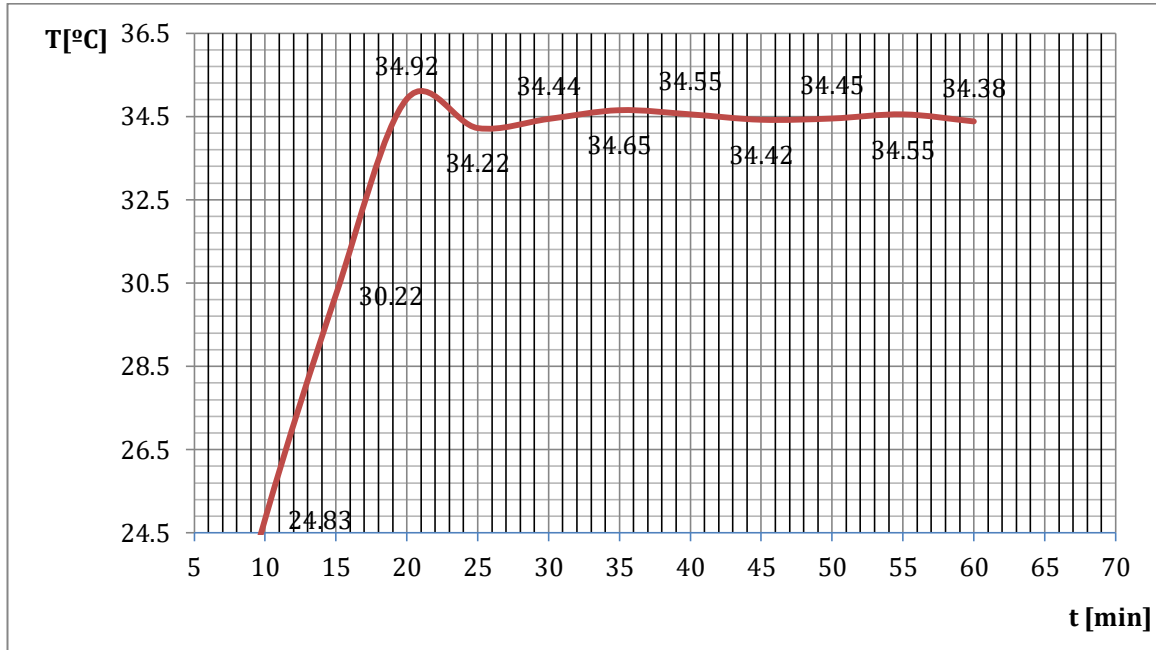
Slika 5.7. Usporedba temperatura komora između tri situacije



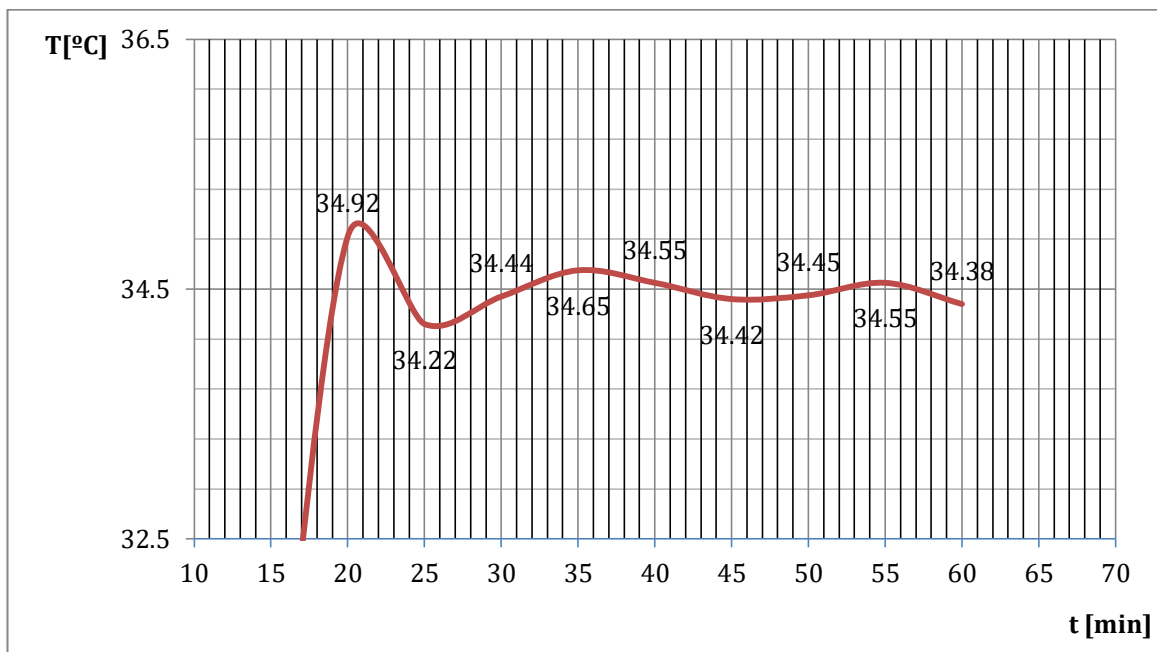
Slika 5.8. Usporedba temperatura komora između tri situacije

## 5.5. Mjerenje temperature komore u podrumu (5 °C) s tri žarulje

Na Slikama 5.9. i 5.10. je prikazan graf za mjerenje temperature komore u podrumu s tri žarulje pri temperaturi 5 °C.



Slika 5.9. Graf Mjerenje temperature komore u podrumu (5 °C) s tri žarulje



Slika 5.10. Graf Mjerenje temperature komore u podrumu (5 °C) s tri žarulje

## 6. Zaključak

Cilj ovog završnog rada je bio napraviti inkubator koji bi povećao produktivnost proizvodnje pčelinjih matice koristeći Arduino UNO za realizaciju PID regulatora. Arduino je korišten u tisućama različitih projekata i aplikacija zahvaljujući tome što je lako dostupan. Ovaj završni rad je jedno od mnogih rješenja za realizaciju kontroliranih uvjeta komore. Inkubator je napravljen od starih dijelova tako da sam efektivno trebao kupiti samo Arduino uno i par dodatnih modula. Cijene inkubatora na našem tržištu se kreću po nekoliko tisuća kuna pa uspoređujući to sa mojim troškom smatram da se je izrada definitivno isplatila. Napravio sam niz pokusa gdje sam testirao rad inkubatora i zadovoljan sam rezultatima. Kroz pet dana što je predviđeni ciklus inkubacije bez problema održava konstantnu temperaturu od 34.5 °C sa minimalnim odstupanjima od  $\pm 0.5$  °C.

*Kristijan Korač*

28.1.2020.

Kristijan Korač

## 7. Literatura

- [1] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Arduino>, dostupno 11.1.2020.
- [2] <https://www.arduino.cc/en/Main/FAQ>, dostupno 11.1.2020.
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino\\_IDE](https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino_IDE), dostupno 12.1.2020.
- [4] <https://processing.org/>, dostupno 13.1.2020.
- [5] <http://wiring.org.co/>, dostupno 14.1.2020.
- [6] [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf), dostupno 14.1.2020.
- [7] <http://9.cell.golf-trike.de/arduino-uno-chart.html>, dostupno 15.1.2020.
- [8] <https://www.e-sfera.hr/dodatni-digitalni-sadrzaji/32dce88e-31bb-4579-b1d3-0b3fc97b78d8/>, dostupno 15.1.2020.
- [9] <https://www.era-commerce.hr/stirodur-xps-5cm/>, dostupno 15.1.2020.
- [10] [https://en.wikipedia.org/wiki/PID\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller), dostupno 15.1.2020.
- [11] <https://e-radionica.com/hr/blog/2017/12/10/sto-je-to-mosfet/>, dostupno 27.1.2020.
- [12] [https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Irfz44n&gclid=EAIAIQobChMI74KNmJGu5wIVDJSyCh3cLQBGEAAYASAAEgKgY\\_D\\_BwE](https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Irfz44n&gclid=EAIAIQobChMI74KNmJGu5wIVDJSyCh3cLQBGEAAYASAAEgKgY_D_BwE), dostupno 28.1.2020.
- [13] <https://www.njuskalo.hr/elektronski-uredaji/sonda-tip-k-matica-m8-termostat-rex-c-100-500-c-duzine-2m-oglas-25905676>, dostupno 28.1.2020.
- [14] <https://www.somaelectronics.com/2019/05/temperature-pid-controller-arduino.html>, dostupno 4.2.2020.
- [15] Josip Belčić, Josip Katalinić, Dragutin Loc, Stevo Lončarević, Lovro Peradin, Filip Šimić, Ivo Tomašec, PČELARSTVO, 1982.
- [16] Zdravko Laktić, Damir Šekulja, SUVREMENO PČELARSTVO, 2008.
- [17] <https://bhpcelar.com/zanimljivosti/medunarodne-boje-obiljezavanja-matice-zasto-i-kako-se-obiljezavaju-matice/>, dostupno 12.2.2020.
- [18] [https://www.belokranjski-hram.si/default.asp?mid=hr&pid=modul\\_it&wid=4063](https://www.belokranjski-hram.si/default.asp?mid=hr&pid=modul_it&wid=4063), dostupno 12.2.2020.
- [19] <http://delmerion.hr/novosti/2/maticna-mlijec--dar-iz-prirode>, dostupno 12.2.2020.



## 8. Popis Slika

Slika 2.1. Matična mliječ [19]

Slika 2.2. Igla za presađivanje matica [18]

Slika 3.1. Arduino Uno [2]

Slika 3.2. Arduino Uno opis [2]

Slika 3.3. Arduino desktop IDE

Slika 4.1. Inkubator

Slika 4.2. Izolacijska spužva[8]

Slika 4.3. Stirodur[9]

Slika 4.5. Mosfet [11]

Slika 4.6. MOSFET u inkubatoru

Slika 4.7. Simbol MOSFET-a[12]

Slika 4.8. Električna shema inkubatora.

Slika 4.9. Slika sustava

Slika 4.10. Definiranje pinova

Slika 4.11. Definiranje varijabli

Slika 4.12. PID konstante sustava

Slika 4.13. PID model [10]

Slika 4.14. Početak programa

Slika 4.15. PID u programu

Slika 4.16. Inicijalizacija display-a

Slika 4.17. Display s prednje strane

Slika 4.18 Display s zadnje strane

Slika 4.19. Inicijalizacija sonde

Slika 4.20. MAX6675 modul

Slika 4.21. Sonda tip K [13]

Slika 5.1. Graf Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s tri žarulje

Slika 5.2. Graf Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s tri žarulje

Slika 5.3. Graf Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s dvije žarulje

Slika 5.4. Graf Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s dvije žarulje

Slika 5.5. Graf Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s jednom žaruljom

Slika 5.6. Graf Mjerenje temperature komore u dnevnom boravku (25 °C) s jednom žaruljom

Slika 5.7. Usporedba temperatura komora između tri situacije

Slika 5.8. Usporedba temperatura komora između tri situacije

Slika 5.9. Graf Mjerenje temperature komore u podrumu (5 °C) s tri žarulje

Slika 5.10. Graf Mjerenje temperature komore u podrumu (5 °C) s tri žarulje

## 9. Popis Tablica

Tablica 2.1. Razvojni ciklus pčelinje matice

Tablica 2.2. Označavanje matica

Tablica 3.1. Tehničke specifikacije Arduino Uno [2]

Tablica 4.1. Mosfet maksimalne vrijednosti [12]

Tablica 4.2. Spajanje MAX6675

Tablica 4.3. Spajanje Display-a

## 10. Prilozi

### Prilog 1: Programski kod

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3f,20,4);
#include <SPI.h>
#define MAX6675_CS 10
#define MAX6675_SO 12
#define MAX6675_SCK 13
int PWM_pin = 3;
float temp_read = 0.0;
float set_temp = 34.5;
float PID_error = 0;
float prev_error = 0;
float elapTime, Time, timePrev;
int PID_value = 0;
int kp = 9.7; int ki = 0.2; int kd = 1.5;
int PID_P = 0; int PID_I = 0; int PID_D = 0;
void setup() {
    pinMode(PWM_pin,OUTPUT);
    TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | 0x03;
    Time = millis();
    lcd.init();
    lcd.backlight();
}
void loop() {
    temp_read = readThermocouple();
    value
    PID_error = set_temp - temp_read;
    PID_P = kp * PID_error;
    if(-0.5 < PID_error < 0.5)
    {
        PID_I = PID_I + (ki * PID_error);
    }

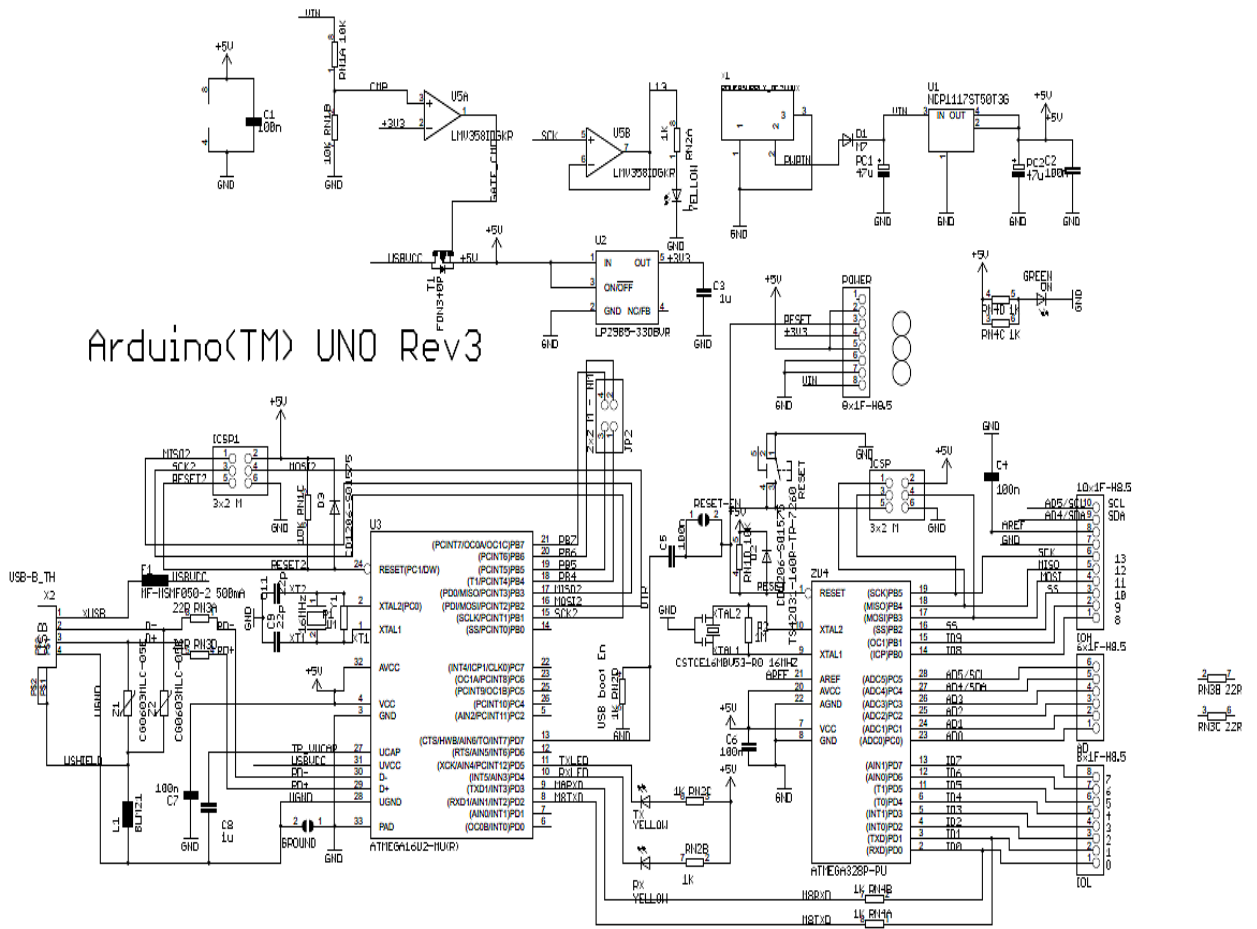
    timePrev = Time;
    Time = millis();
    elapTime = (Time - timePrev) / 1000;
    PID_D = kd*((PID_error - prev_error)/elapTime);
    PID_value = PID_P + PID_I + PID_D;
```

```

if(PID_value < 0)
  {   PID_value = 0;   }
if(PID_value > 255)
  {   PID_value = 255; }
analogWrite(PWM_pin,255-PID_value);
prev_error = PID_error;
delay(300);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("S:");
lcd.setCursor(2,1);
lcd.print(set_temp,1);
lcd.setCursor(9,1);
lcd.print("R:");
lcd.setCursor(11,1);
lcd.print(temp_read,1);
}
double readThermocouple() {
  uint16_t v;
  pinMode(MAX6675_CS, OUTPUT);
  pinMode(MAX6675_SO, INPUT);
  pinMode(MAX6675_SCK, OUTPUT);
  digitalWrite(MAX6675_CS, LOW);
  delay(1);
  v = shiftIn(MAX6675_SO, MAX6675_SCK, MSBFIRST);
  v <<= 8;
  v |= shiftIn(MAX6675_SO, MAX6675_SCK, MSBFIRST);
  digitalWrite(MAX6675_CS, HIGH);
  if (v & 0x4)
  {
    return NAN;
  }
  v >>= 3;
  return v*0.25;
}

```

## Prilog 2: Shema sklopa





**IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Kristijan Korač (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Inkubator za proizvodnju pčelinjih matica (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Kristijan Korač  
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Kristijan Korač (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Inkubator za proizvodnju pčelinjih matica (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Kristijan Korač  
(vlastoručni potpis)