

TEHNIČKA ŠKOLA RUĐERA BOŠKOVIĆA

GETALDIĆEVA 4, ZAGREB

ZAVRŠNI STRUČNI RAD:  
MJERENJE TEMPERATURE  
TERMOPAROM POMOĆU  
MIKROUPRAVLJAČA

MENTOR: Zoran Kauzlarić, ing.

UČENIK: Maurin Rastovac

RAZRED: 4.M

Zagreb, travanj 2021.

1. Uvod.....	3
2. Popularne metode mjerenja temperature.....	4
2.1. Mehaničke metode mjerenja temperature .....	4
2.1.1. Termometar .....	4
2.1.2. Bimetalni termometar.....	4
2.1.3. Plinski termometar .....	5
2.2. Električne metode mjerenja temperature .....	6
2.2.1. Mjerač temperature pomoću otpora (RTD).....	6
2.2.2. NTC termistori (Negative Temperature Coefficient thermistor) .....	8
3. Termopar .....	9
3.1. Izgled termopara.....	9
3.2. Princip rada termopara .....	9
3.2.1. Seeback efekt .....	10
3.2.2. Primjena Seeback efekta u termoparovima.....	11
3.3. Vrste termopara.....	11
3.3.1. Termoparovi od legure nikla.....	12
3.3.2 Termoparovi za visoko temperaturna mjerenja.....	14
3.4. Usporedba termopara sa drugim senzorima temperature.....	15
4. IC sučelje - Max6675 .....	16
5. Shema i opis komponenata .....	19
5.1. Shema.....	19
5.2. Popis i opis komponenata .....	20
5.2.1. Popis komponenata .....	20
5.3.2. Opis komponenata.....	20
6. Program .....	24
7. Upute za korištenje uređaja.....	28
8. Zaključak.....	29
9. Literatura .....	30
10. Popis slika .....	31

## 1. Uvod

U današnjem vremenu senzori za raznovrsne vrijednosti i primjene se mogu pronaći svugdje oko nas. Čak prije eklektičnih senzora imali smo mehaničke senzore s kojima se može mjeriti više manje sve što se može s eklektičnim. Jedan od glavnih razloga zašto smo uopće napravili električne senzore je da bi računala mogla prepoznavati te vrijednosti. S tim su nam se otvorila vrata s gotovo beskonačnim mogućnostima. Otvorilo je vrata regulaciji u industriji. Poslovi za koje bi inače bili zaduženi ljudi su sada zaduženi senzori koji ne bi bili u opasnosti u slučajima velikih temperatura, velikih visina ili u nekim drugim opasnim uvjetima. Ako maknemo ljude iz slike također ćemo dobiti manje pogrešnih očitavanja. Za razliku od situacije kada imamo ljude koji mogu pročitati vrijednost krivo, zapisati je krivo nakon što su je točno pročitamo ili krivo postupiti misleći da će to popraviti problem.

U ovom radu ćemo proučiti kako otprilike neki senzori rade i kako točno pretvaraju toplinu u neku vrijednost koju računalo može prepoznato. Vidjet ćemo što nam je sve potrebno za mjerenje temperature termoparom pomoću mikroupravljača te kako točno radi sami termopar i kako preko mikroupravljača možemo očitati temperaturu.

## 2. Popularne metode mjerenja temperature

Postoje puno metoda za mjeriti temperaturu, i te metode se dijele na mehaničke i električne metode mjerenja temperature. Neke od mehaničkih metoda mjerenja temperature su termometar, bimetalni termometar, i plinski termometar. Također postoje i električne metode mjerenja temperature kao što su mjerači temperature pomoću otpora ili RTD (Resistance Temperature Detector), NTC termistori (Negative Temperature Coefficient) i termoparovi.

### 2.1. Mehaničke metode mjerenja temperature

Sve tri mehaničke metode mjerenja temperature navedene iznad rade na istom principu. Kada dovedemo toplinu na mjerni instrument, volumen metala, plina, ili tekućine počinje rasti. Termometar se sastoji od 2 glavna dijela. 1. Dio je senzor, to jest element koji će pretvarati toplinu u mehanički pomak. Par primjera su živa, alkohol, kombinacija dva metala i plinovi. 2. Dio je skala sa koje možemo čitati tu vrijednost koji smo dobili.

#### 2.1.1. *Termometar*

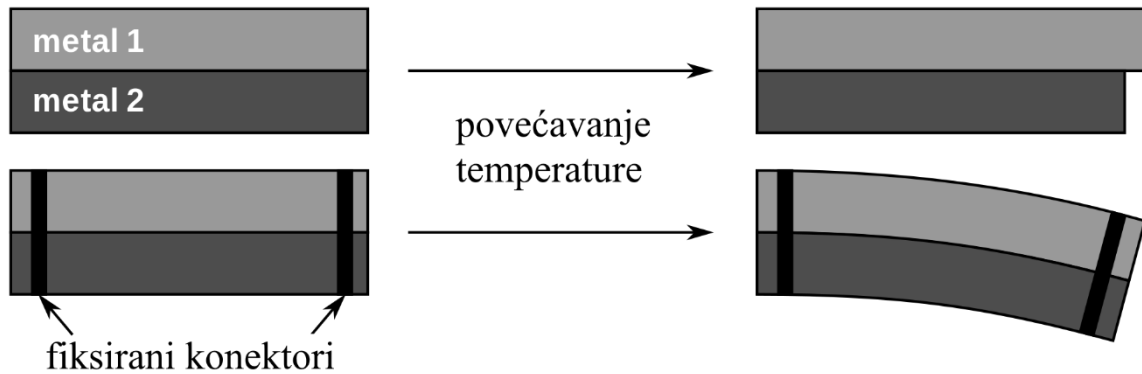
U slučaju običnog termometra, najpopularnija metoda mjerenja je koristeći živu kao senzor to jest kao pretvornik topline u mehanički pomak. U nekim slučajima se koristi alkohol umjesto žive. Dovođenjem topline na živu rezultira u povećanju volumena žive, to jest rezultira u širenju žive.

Živin termometar može mjeriti temperature od  $-37^{\circ}\text{C}$  do  $356^{\circ}\text{C}$ , dok termometar koji koristi alkohol ima mjerni raspon od  $-200^{\circ}\text{C}$  do  $78^{\circ}\text{C}$ .

#### 2.1.2. *Bimetalni termometar*

U slučaju mjerenjem temperature bimetalnim termometrom, koristi se zavojnica napravljena od dva metala različitih koeficijenta termalne ekspanzije. Najčešće su ta dva metala čelik i bakar ali ima i slučajeva gdje su čelik i mjed. Trake metala se spajaju cijelom dužinom zakivanjem, lemljenjem ili zavarivanjem. Različiti koeficijenti termalne ekspanzije znači da će i brzine ekspanzije metala također biti različite. Zbog različitih brzina ekspanzije

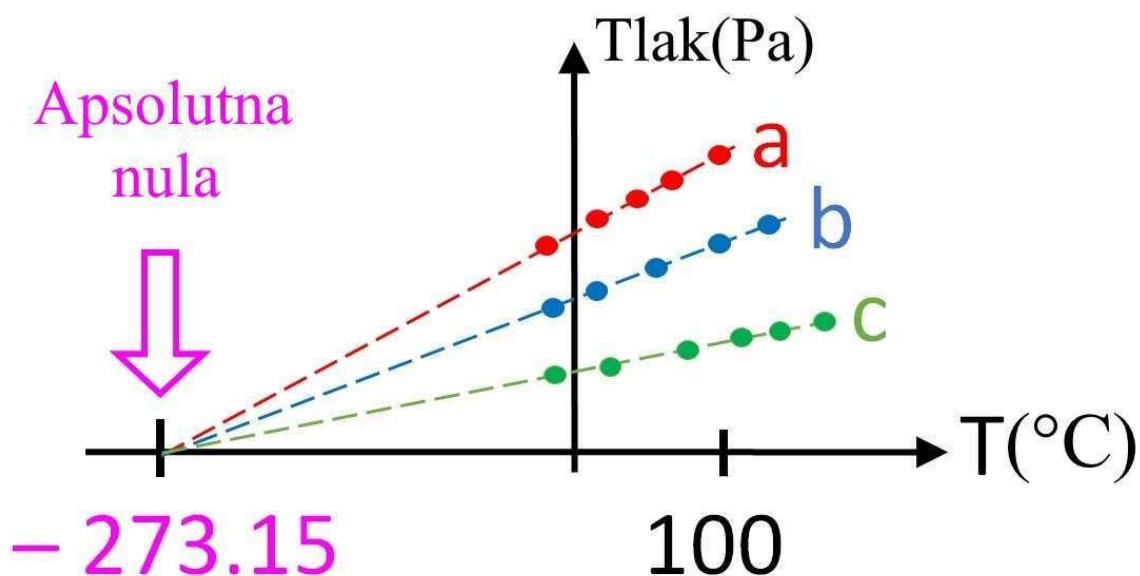
zavojnica je forsirana da se savije u jednu stranu kad se zagrijava i u suprotnu stranu kad se hladi. S tom razlikom u brzini možemo složiti senzor za mjerenje temperature, tako da zavojnica miče kazaljku u konstrukciji koja pokazuje na skali temperatura. Mjerna temperatura bimetalnog termometra je od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $400^{\circ}\text{C}$ .



*Slika 2.1.2. Prikaz zagrijavanja metala*

### **2.1.3. Plinski termometar**

Mjerač temperature pomoću plina ima dvije metode. Prva metoda isto radi po Charlesovom zakonu koji glasi kad se temperatura povećava, povećava se i volumen. Druga metoda radi tako da volumen ostane konstantan dok se tlak mijenja. Pomoću ove metode apsolutna nula se mogla otkriti puno prije kriogenike.



Slika 2.1.3. *P-T graf plinskog termometra*

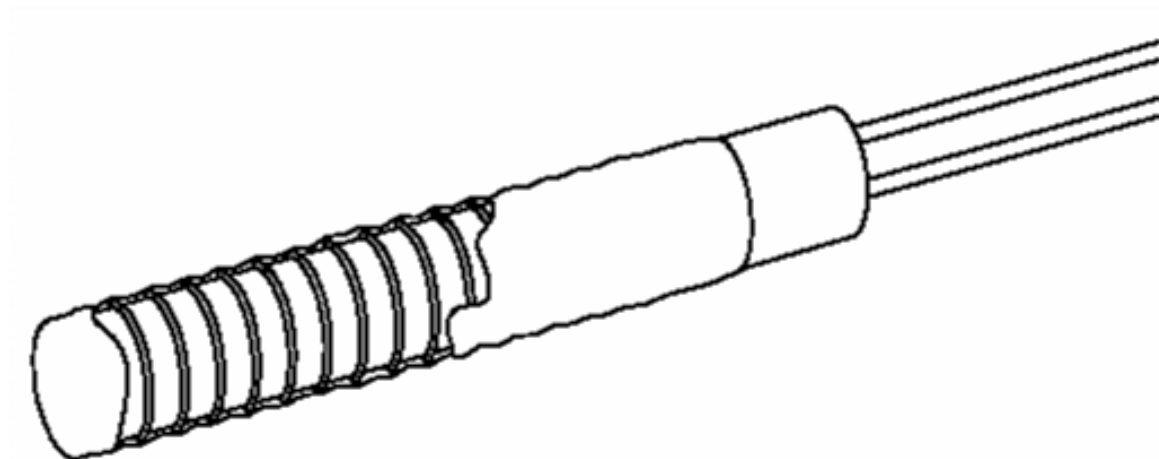
Na ovom grafu (Slika 2.1.3.) možemo vidjeti tri različita mjerenja za tri različita idealna plina. Ako izmjerimo par točaka za svaki plin i tada produžimo pravac dalje, vidjet ćemo da sva tri plina imaju istu zajedničku točku kada je tlak jednak nuli, to jest kada dođemo do apsolutne nule.

Za temperature od  $-150^{\circ}\text{C}$  do  $600^{\circ}\text{C}$  se koristi dušik kao mjerni plin, dok se za temperature iznad  $600^{\circ}\text{C}$  koristi argon.

## 2.2. Električne metode mjerenja temperature

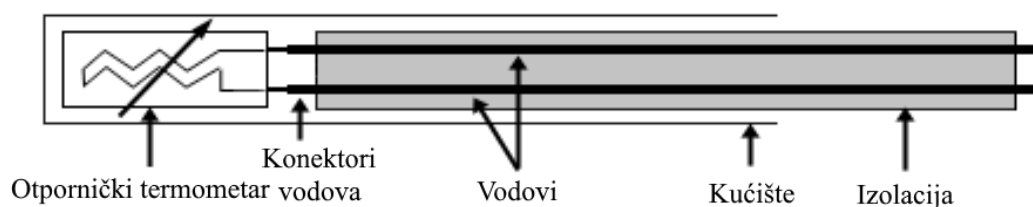
### 2.2.1. Mjerač temperature pomoću otpora (RTD)

Mjerač temperature pomoću otpora, također zvan otpornički termometar, mjeri temperaturu pomoću promjene otpora u metalu kada se temperatura mijenja. Otpornički termometri se rade od fine žice koja je omotana oko staklene ili keramičke jezgre. Žica je napravljena od čistog materijala najčešće od platina ali može biti i od bakra ili nikla.



*Slika 2.2.1a Izgled otporničkog termometra*

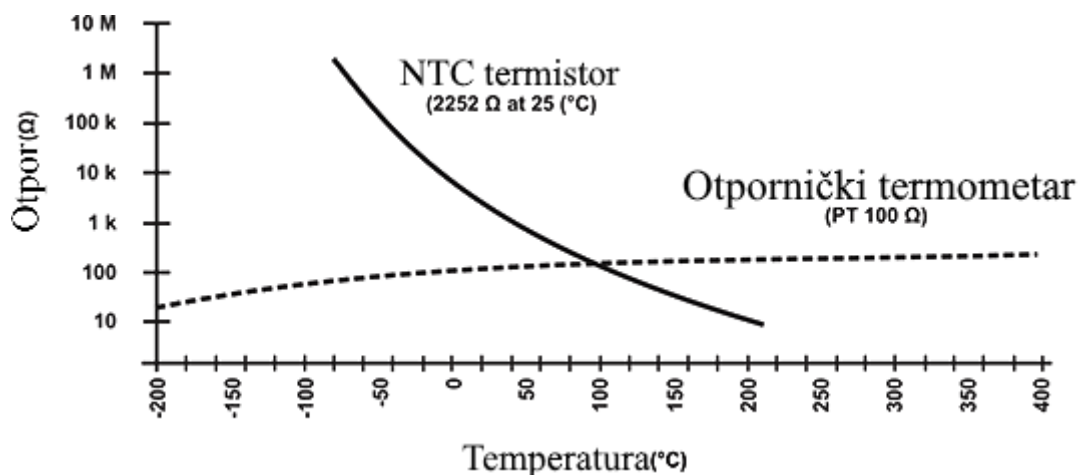
Platinum je skuplji od bakra i nikla ali je zato precizniji, stabilniji i ima veći radni vijek. Platinumski otporni termometri imaju precizan i linearan izlaz u mjernom rasponu od  $-200^{\circ}\text{C}$  do  $600^{\circ}\text{C}$ . Elementi otporničkih termometra su krhki pa se zato stavljaju u zaštitne sonde. U industriji se koriste za temperature ispod  $600^{\circ}\text{C}$  dok se za sve iznad koriste termoparovi. U usporedbi s termoparom, otpornički termometar ima sporije vrijeme (par sekunda) odziva, ali je precizniji. Iako je otpornički termometar veći od termopara, otpornički termometar ima duži vijek trajanja od termopara.



*Slika 2.2.1b Izgled otporničkog termometra iznutra*

### 2.2.2. NTC termistori (*Negative Temperature Coefficient thermistor*)

Termistor za razliku od otporničkih termometra ima jako velik otpor na niskim temperaturama i postepeno se smanjuje kad se temperatura povećava. Zbog velike promjene u otporu sa svakim °C možemo detektirati jako male promjene u temperaturi sa dobrom preciznošću. Zbog tih eksponencijalnih promjena u otporu za svaki °C, izlaz nije linearan pa zahtjeva linearizaciju izlaza. Mjerna temperatura termistora je od 50°C do 250 °C.



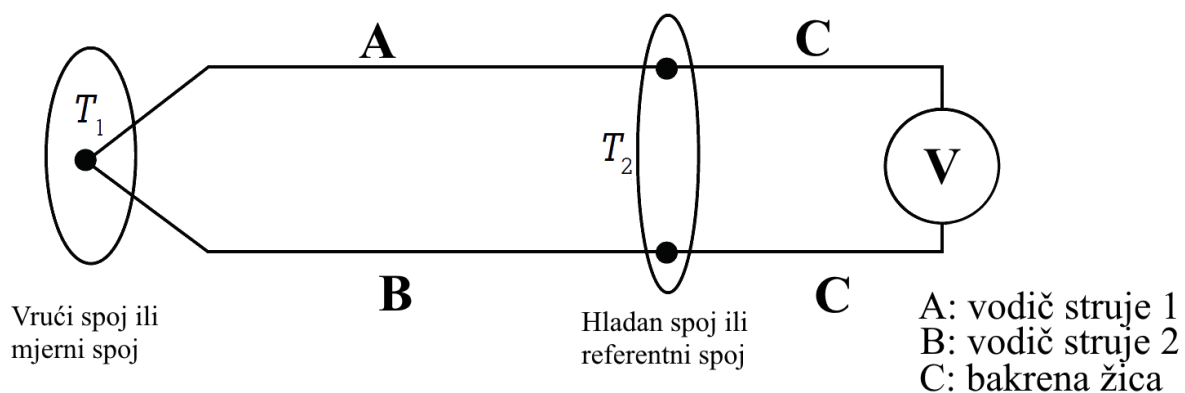
Slika 2.2.2. Usporedba termistora i otporničkog termometra



### 3. Termopar

Termopar je električni senzor za mjerenje temperature. Koriste se za industrijske, komercijalne i kućne potrebe zbog svoje niske cijene, širokog raspona temperature, visoke granice temperature i izdržljivosti. Mogu se pronaći u gotovo svim industrijskim područjima, uključujući proizvodnju električne energije, nafte i plina, zrakoplovnoj industriji, farmaceutskoj industriji, biotehnologiji, prerada hrane, proizvodnju metala, itd.

#### 3.1. Izgled termopara



Slika 3.1. Spoj termopara

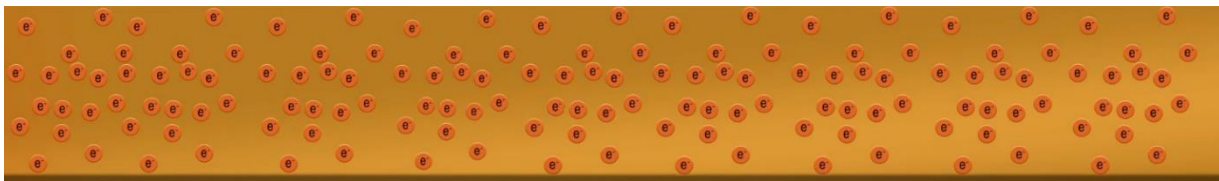
Kao što vidimo iz Slike 3.1. imamo dva spoja, na kojima su temperature  $T_1$  i  $T_2$ , te tri različite vrste žica i jedan voltmetar.  $T_1$  je u ovom slučaju, vrući spoj ili mjerni spoj, gdje će se dovesti toplina, to jest tu ćemo prisloniti predmet čiju temperaturu želimo izmjeriti.  $T_2$  je hladan spoj ili referentni spoj gdje će nam temperatura biti poznata i konstantna. A je jedan vodič struje napravljena od različite legure metala nego B koji je drugi vodič struje. C su bakrene žice na koje ćemo donijeti voltmetar ili neki dodatan sklop kao na primjer pojačalo napona ili neki integrirani krug.

#### 3.2. Princip rada termopara

1821. godine Thomas Johann Seebeck je otkrio kada imamo temperaturnu razliku između dva različita vodiča struje da ćemo dobiti odgovarajuću razliku u naponu. Ovaj fenomen je danas poznat kao Seebeck ili termoelektrični efekt.

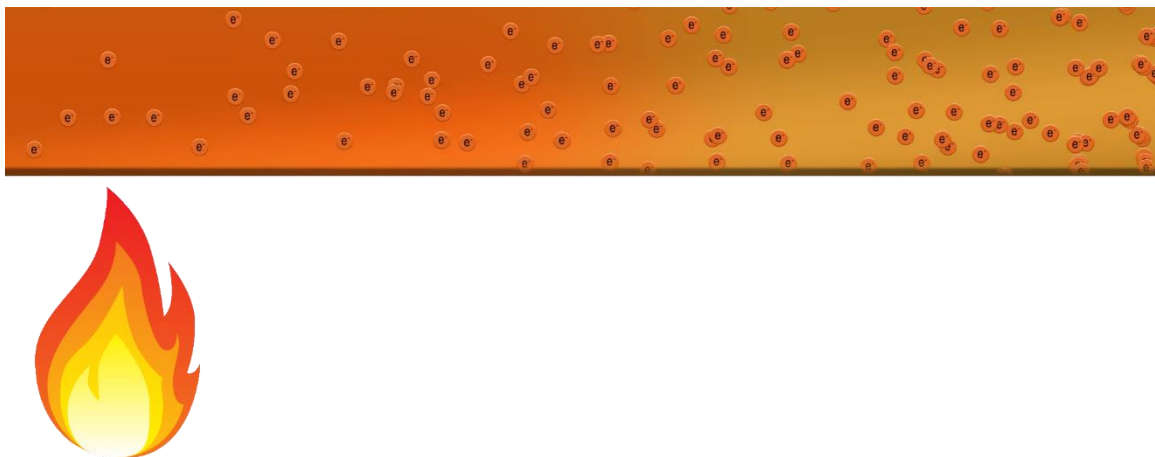
Termopar radi po principu Seebeck efekta. Kada imamo dvije žice, napravljene od dva različita vodiča struje, spojeni na obadva kraja što napravi  $T_1$ -mjerni spoj (ili vruć spoj) na jednom kraju i  $T_2$ - referentni spoj (ili hladan spoj) na drugom kraju koji bi idealno bio držan na temperaturi talište leda što nam daje da je  $T_2$  približno  $0^\circ\text{C}$ . Referentni spoj je održan na poznatoj konstantnoj temperaturi. Na referentnom spoju se također spajaju bakrene žice koje se spajaju na multimeter ili na neki drugi spoj koji ima svoju poznatu konstantnu temperaturu, koja bi idealno bila držana na približno  $0^\circ\text{C}$ .

### 3.2.1. Seebeck efekt



*Slika 3.2.1a Elektroni u metalu*

Sa Slike 3.2.1a možemo vidjeti da su elektroni u metalu jednako raspoređeni kroz metal. To nam govori da je temperatura ovog metala jednaka na obadvije strane. Idemo vidjeti što se dogodi kada na jedan kraj metala dovedemo toplinu.



*Slika 3.2.1b Elektroni u metalu sa dovedenom toplinom*

Sada možemo vidjeti da su temperature u ovom metalu različite, to jest da se temperatura na jednoj strani metala povećala dok se temperatura na drugoj strani metala nije promijenila. Zbog dovedene topline elektroni u metalu su se pomaknuli s toplije strane prema hladnijom strani.

Čestice s toplije strane metala su počele vibrirati više nego čestice na drugom kraju metala. Posljedica toga je guranje elektrona prema strani metala gdje čestice manje vibriraju. Rezultat toga je manjak elektrona na toplijoj strani metala, te višak elektrona na hladnijoj strani metala. To znači da ćemo dobiti malu razliku u naponu između dva kraja metala, topliji kraj će biti pozitivan dok će hladniji kraj biti negativan.

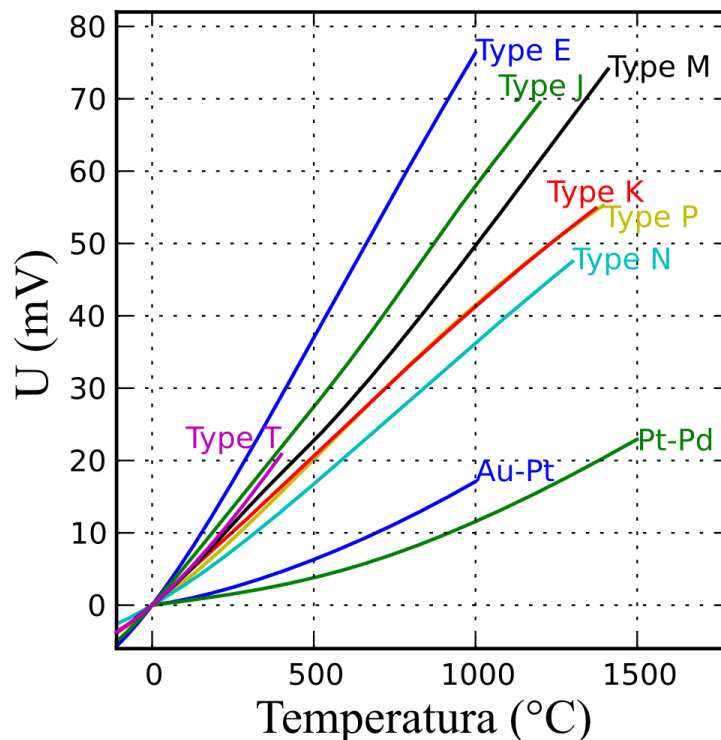
### ***3.2.2. Primjena Seeback efekta u termoparovima***

Ako uzmemo dva različita metala koji su vodiči struje A i B, imat ćemo različitu količinu slobodnih elektrona u svakom metalu. Što znači da ćemo dobiti drugačije vrijednosti kada bismo mjerili razlike u naponu ta dva metala. Spajanjem tih dva metala zajedno na obadva kraja možemo dobiti razliku u elektronima koji su se nakupili na njihovim krajevima. Jedan spoj metala je naš  $T_1$ -mjerni spoj (ili vruć spoj), a drugi spoj je naš  $T_2$ - referentni spoj (ili hladan spoj). Napon koji dobijemo na referentnom spoju je između -10 mV i 77 mV zavisno o trenutnoj temperaturi i o vrsti termopara.

### **3.3. Vrste termopara**

Termoparovi se dijele po materijalu od kojeg su ta dva vodiča struje napravljeni, te se te vrste termopara dijele na još više vrsta. Postoje dvije glavne vrste termopara: 1. Termoparovi od legure nikla i 2. Termoparovi za visoko temperaturna mjerenja.

### 3.3.1. Termoparovi od legure nikla



Slika 3.3.1. Karakteristike drugačijih vrsta termopara od legure nikla

Kao što vidimo sa Slike 3.3.1. imamo par tipova termopara od legure nikla. Tipovi E, J, K, M i N su svi termoparovi napravljeni od legure nikla, dok još imamo tip P koji je napravljen od legure plemenitog metala te kombinacije čistih plemenitih metala zlato-platina i platina-paladij.

Tip E je napravljen od kombinacije kromela (legura nikla napravljen od otprilike 90% nikla i 10% kroma) i konstantna (legura nikla napravljen od 55% bakra i 45% nikla). Ima visok izlaz od  $68 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$  što ga čini jako pogodnim za korištenjem na niskim temperaturama. Također nije magnetičan te nemamo nagle promjene u karakteristikama. Mjerno područje mu je od  $-270^\circ\text{C}$  do  $+740^\circ\text{C}$  i preciznost od  $\pm 1.7^\circ\text{C}$ .

Tip J je napravljen od kombinacije željeza i konstantna (legura nikla napravljen od 55% bakra i 45% nikla). Ima izlaz od  $50 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , mjerno područje od  $-40^\circ\text{C}$  do  $+750^\circ\text{C}$  i preciznost od  $\pm 2.2^\circ\text{C}$ .

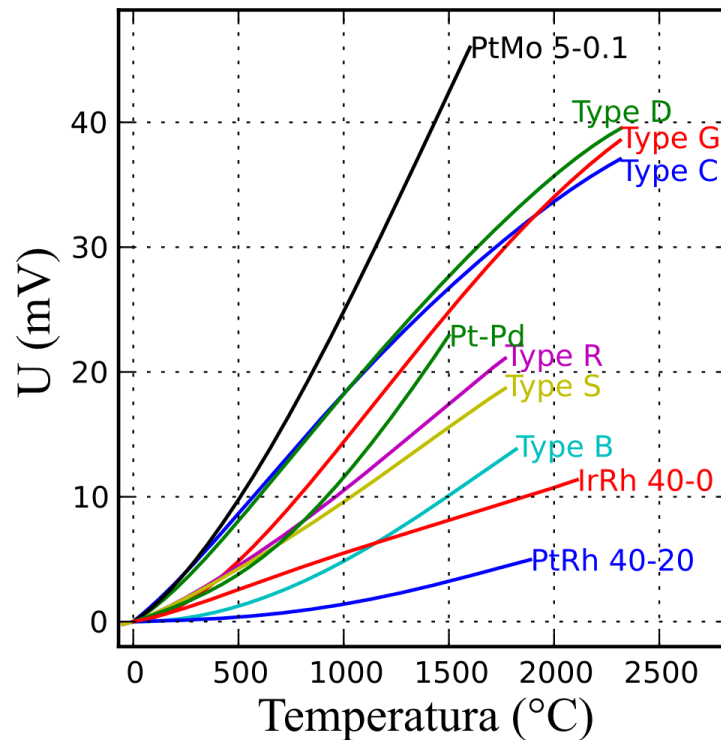
Tip K je napravljen od kombinacije kromela (legura nikla napravljen od otprilike 90% nikla i 10% kroma) i alumela (legura nikla koja se sastoji od otprilike 95% nikla, 2% aluminija, 2% mangana i 1% silicija). K tip je najpoznatiji termopar koji se koristi za opće namjene, te je termopar koji se koristi u ovom završnom radu. Djeluju vrlo dobro u oksidacijskoj atmosferi. Ukoliko imamo reducirajuću atmosferu, poput vodika s malom količinom kisika, ako dođe u kontakt sa žicama, krom u leguri kromel oksidira. Ima izlaz od  $41 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , nisku cijenu i velik izbor sondi. Mjerno područje mu je od  $-200^\circ\text{C}$  do  $+1350^\circ\text{C}$  i preciznost mu je  $\pm 2.2^\circ\text{C}$ .

Tip M termopar se koristi u vakuumskim pećima. Gornja mjerna temperatura mu je  $1400^\circ\text{C}$ . Rjeđe se koristi od ostalih vrsta.

Tip N je napravljen od kombinacije nicrosilija (legura nikla napravljena od 14.4% kroma i 1.4% silicija) i nisilija (legura nikla napravljena od 95.5% nikla i 4.4% silicija). Ovaj tip termopara je stabilniji i otporniji na oksidaciju. U usporedbi sa K tipom termopara N tip ima istu preciznost i mjerno područje ali bolju stabilnost i veću cijenu.

Tip T je napravljen od kombinacije bakra i konstantna (legura nikla napravljen od 55% bakra i 45% nikla). Ima izlaz od otprilike  $43 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , mjerno područje od  $-200^\circ\text{C}$  do  $+350^\circ\text{C}$  i preciznost od  $\pm 1.0^\circ\text{C}$ . Pošto su oba vodiča ne magnetska nemamo nagle promjene karakteristika.

### 3.3.2 Termoparovi za visoko temperaturna mjerenja



Slika 3.3.2. Karakteristike drugačijih visoko temperaturnih tipova termoparova od platine/rodijeve legure i volframove/renijeve legure

Kao što vidimo sa Slike 3.3.2. imamo par tipova termoparova od platine/rodijeve legure te par tipova termoparova od volframove/renijeve legure. Tipovi B, R i S su svi termoparovi napravljeni od platine/rodijeve legure, a tipovi C, D i G su svi termoparovi napravljeni od volframove/renijeve legure. Imamo još tip termopara koji je napravljen od platina-paladij, Pt/Rh, W/Re, Pt/Mo i Ir/Rh legure. To su među najstabilnijim termoparovima, ali imaju nižu osjetljivost od ostalih tipova, približno  $10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ . Termoparovi tipa B, R i S obično se koriste samo za mjerenje visoke temperature zbog svoje visoke cijene i niske osjetljivosti.

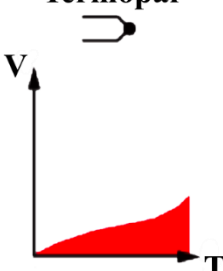
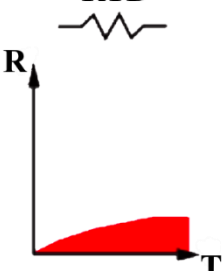
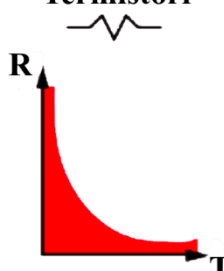
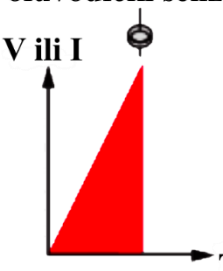
Tip B termoparovi (70%Platinum/30%Rodij-94%Platinum/6%Rodij, po težini) su za upotrebu na temperaturi do  $+1800^\circ\text{C}$ . Proizvode isti napon na  $0^\circ\text{C}$  i  $42^\circ\text{C}$ , što ograničava njihovu upotrebu ispod  $50^\circ\text{C}$ . Emf funkcija ima minimum oko  $21^\circ\text{C}$ , to znači da se kompenzacija hladnog spoja lako izvodi, jer je napon referentnog spoja na sobnoj temperaturi.

Tip R termoparovi (87%Platinum/13%Rodij-Platinum, po težini) se koriste na temperaturama od  $0^\circ\text{C}$  do  $+1600^\circ\text{C}$ .

Tip S termoparovi (90%Platinum/10%Rodij-100%Platinum, po težini) su slični tipu R po tome da se koriste za temperature do  $+1600^{\circ}\text{C}$ . Precizni tip S termoparovi su se prije koristili kao standardni senzori temperature za temperature od  $630^{\circ}\text{C}$  do  $1064^{\circ}\text{C}$ .

Tipovi C, D i G su svi jako slični po tome da im je maksimalna mjerna temperatura oko  $2400^{\circ}\text{C}$ . Jedino se razlikuju malo po kombinaciji volframa i renija. Tip C: 95% Volfram/5%Renij-74% Volfram/26%Renij. Tip D: 97% Volfram/ 3% Renij-75% Volfram/ 25% Renij. Tip G: 100% Volfram-74% Volfram/ 26% Renij.

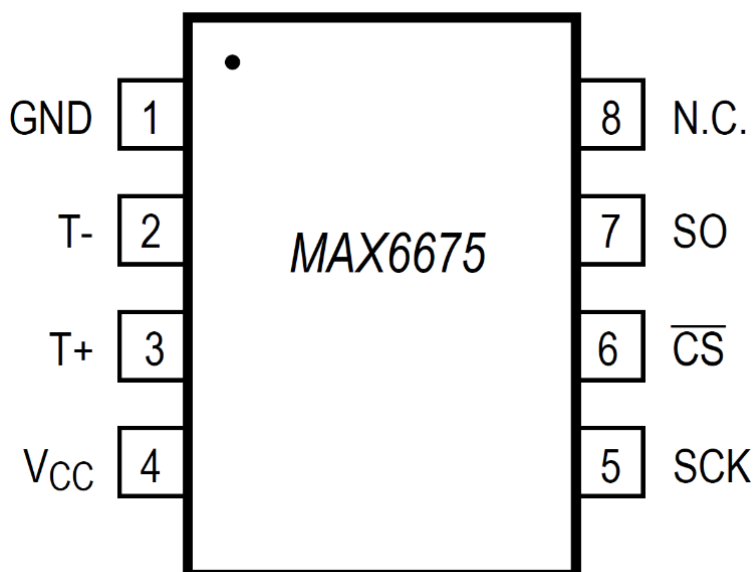
### 3.4. Usporedba termopara sa drugim senzorima temperature

	<b>Termopar</b> 	<b>RTD</b> 	<b>Termistori</b> 	<b>Poluvodički senzori</b> 
Prednosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Samonapajanje</li> <li>-Jednostavan</li> <li>-Čvrst</li> <li>-Jeftin</li> <li>-Puno opcija</li> <li>-Velik raspon mjerne temperature</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Najstabilniji</li> <li>-Najprecizniji</li> <li>-Više linearan nego termopar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Velika vrijednos na izlazu</li> <li>-Brz</li> <li>-Samo dvije žice</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Najviše linearan</li> <li>-Najveća vrijednos na izlazu</li> <li>-Jeftin</li> </ul>
Nedostaci	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Nelinearan</li> <li>-Mali napon</li> <li>-Potrebna referenca</li> <li>-Najmanje stabilan</li> <li>-Najmanje precizan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Skup</li> <li>-Potrebno napajanje</li> <li>-Mala razlika otpora</li> <li>-Mali apsolutni otpor</li> <li>-Samozagrijavanje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Nelinearan</li> <li>-Limitiran raspon mjerenja</li> <li>-Krhk</li> <li>-Potrebno napajanje</li> <li>-Samozagrijavanje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mjerna temperatura manja od <math>200^{\circ}\text{C}</math></li> <li>-Potrebno napajanja</li> <li>-Spor</li> <li>-Samozagrijavanje</li> <li>-Limitirane konfiguracije</li> </ul>

Slika 3.4.1. Usporedba različitih senzora temperature

## 4. IC sučelje - Max6675

Max6675 je sučelje integriranog kruga, koji radi kompenzaciju hladnog spoja i digitalizira signal koji dolazi s termopara tipa K. Digitalni signal ima rezoluciju od 12 bitova. Dopušta nam preciznost od  $0.25^{\circ}\text{C}$  i mjerni raspon od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $1024^{\circ}\text{C}$ . Iako tip K termopar može mjeriti niže i više od toga, Max6675 nas limitira na njegov mjerni raspon. Također nam daje mogućnost detektiranja dali je termopar spojen.



Slika 4.1. Max6676 čip

Pin	Ime	Funkcija
1	GND	Uzemljenje
2	T-	Alumelna žica termopara
3	T+	Kromelarna žica termopara
4	V <sub>CC</sub>	Napajanje
5	SCK	Ulaz serijskog sata
6	CS	Odabir čipa. Postavljanjem CS na niski signal omogućavamo serijsko sučelje.
7	SO	Serijski izlaz podataka
8	N.C.	Nema konekcije



Prije digitaliziranja signala s termopara trebamo kompenzirati za hladni spoj termopara, to jest temperaturu Max6675 čipa, trebamo napraviti virtualnu referentnu točku od 0°C. Znamo da je za K tip termopar ima promjenu u naponu, jedan stupanj celzijus od 41 µV. Što aproksimira karakteristiku termopara sljedećom linearnom jednačicom:

$$V_{OUT} = (41\mu V / ^\circ C) 5 (T_R - T_{AMB})$$

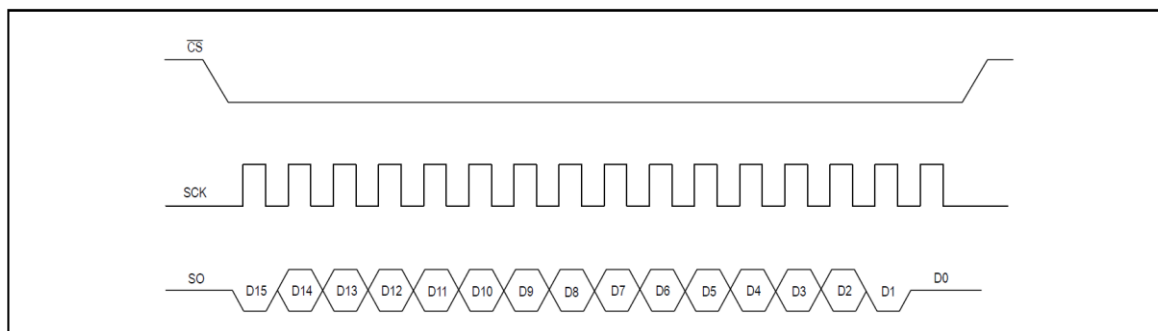
Gdje je:  $V_{OUT}$  – termoparov izlazni napon (µV).

$T_R$  - temperatura vanjskog termoparskog spoja (°C).

$T_{AMB}$  - temperatura okoline (°C).

Max6675 detektira razliku u temperaturi između dva kraja termopara. Dok vruć spoj smije biti od 0°C do +1023.75°C, hladni spoj smije biti samo od -20°C do +85°C. Dok temperatura na stani Max6675-a fluktuirala, još uvijek dobivamo točne razlike u temperaturi između dva kraja. Max6675 detektira i ispravlja za promjene temperature okoline s kompenzacijom hladnog spoja. Pretvaramo temperaturu okoline u napon koristeći diodički senzor temperature. Da bi zapravo izmjerili temperaturu termopara, Max6675 treba izmjeriti napon s termopara i diodičkog senzora. Napon okolne temperature i napon na izlazu termopara i šaljem na konverzijsku funkciju koja je spremljena u ADC-u kako bi izračunali temperaturu na vrućem spoju termopara. Max6675 radi najbolje kada su hladni spoj termopara i Max6675 na istoj temperaturi, stoga ne bi trebalo stavljati uređaje koji mogu proizvesti toplinu.

ADC funkcija zbroji izmjerenu temperaturu hladnog spoja s pojačanim napon s izlaza termopara i očita 12 bitni rezultat na SO pin. Ako su sve nule to znači da imamo 0°C, a ako su sve jedinice znači da imamo 1023.75°C. Trebamo dopustiti minimalno 220 milisekundi da se ovaj proces odradi.



*Slika 4.2. Protokol serijskog sučelja*

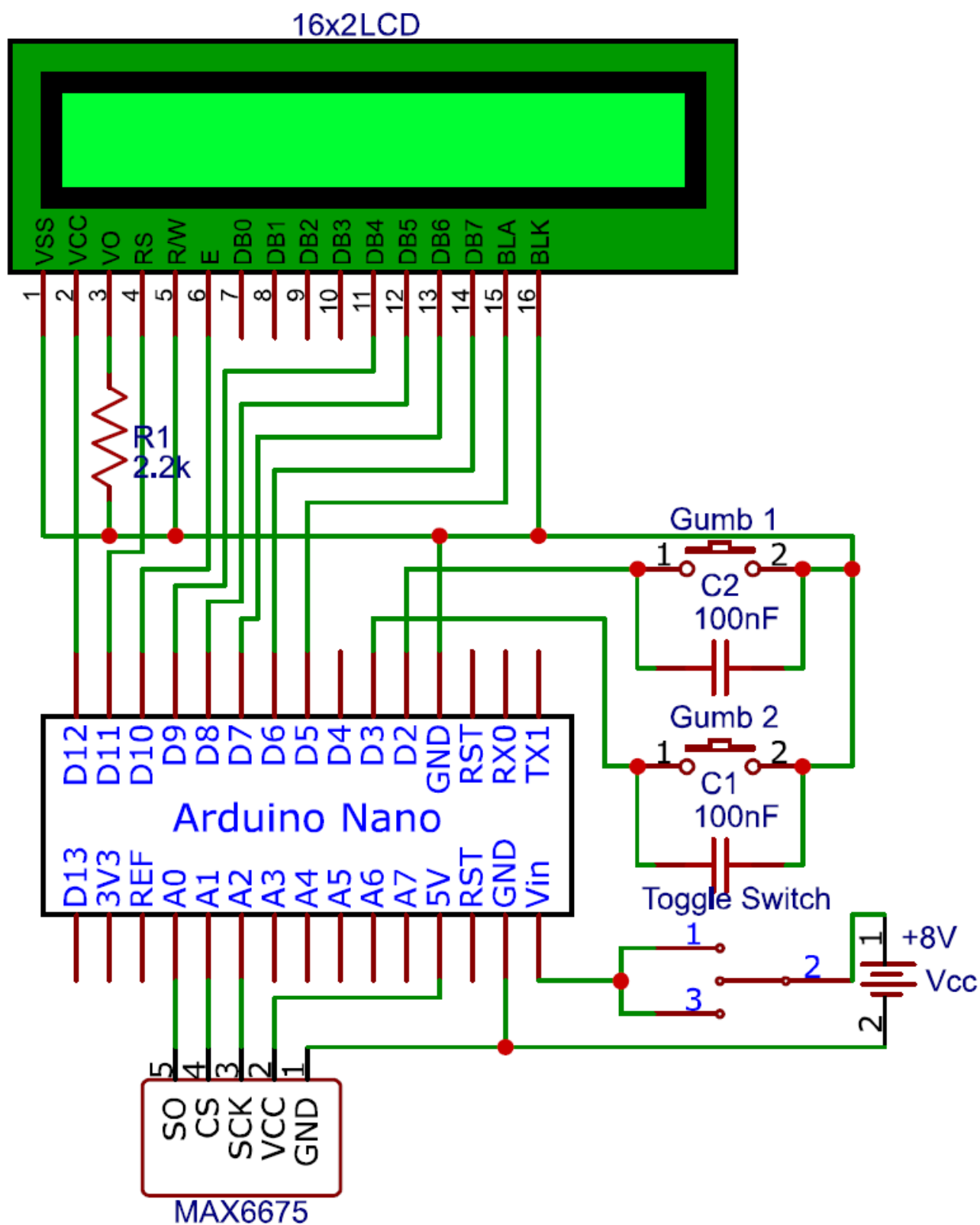
BIT	DUMMY SIGN BIT	12-BIT TEMPERATURE READING												THERMOCOUPLE INPUT	DEVICE ID	STATE
Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	0	MSB											LSB		0	Three- state

*Slika 4.3. Izlaz SO pina*

Da bismo pročitali temperaturu trebamo pročitati bitove na padajući signal serijskog sata. D15 bit je nepotreban i uvijek je u niskom stanju. Bitovi D14-D3 sadrže pretvorenu temperaturu, gdje je D14 sadrži najveću vrijednost bit a D3 najmanju vrijednost. D2 je normalno nisko i ide gore kada nema termopara na ulazu. D1 bit daje ID Max6675-tu, a D0 bit je trodržavni.

## 5. Shema i opis komponenata

### 5.1. Shema



## **5.2. Popis i opis komponenata**

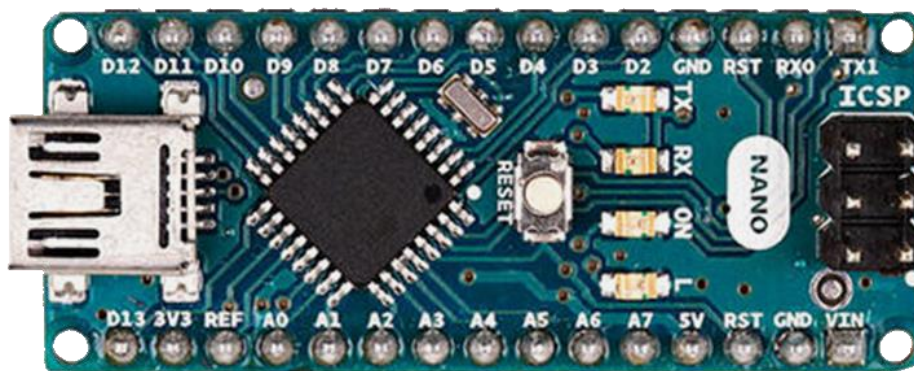
### ***5.2.1. Popis komponenata***

U ovom radu imamo sljedeće komponente koje koristimo:

- 1 Arduino Nano
- 1 IC sučelje - Max6675
- 2 tipkala
- 1 sklopka
- 1 otpornik od 2.2 k $\Omega$
- 1 16x2 LCD (Liquid Crystal Display)
- 2 kondenzatora od 100 nF
- 2 Li-Ion baterije (9900 mAh, TR 18650 3.7 V)
- 2 držača za baterije
- 1 K tip termopar

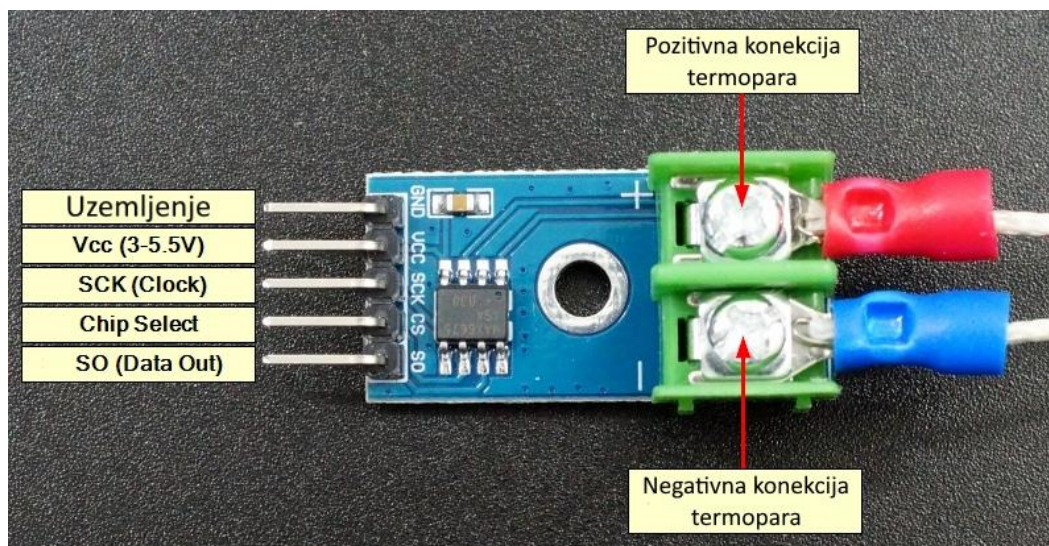
### ***5.3.2. Opis komponenata***

Arduino Nano - mala, cjelovita i ploča zasnovana na ATmega328P, radi sa Mini-B USB kabelom umjesto sa standardnim. Može se koristiti na raznim mjestima sve od paljenje i gašenje lampice do regulacije raznovrsnih strojeva. Na samoj ploči, osim čipa Atmega328P, imamo još regulator, mini-b usb priključnik, gumb za resetiranje programa, 30 priključnih pinova, 4 diode, senzor temperature i kristal od 16 MHz.



*Slika 5.3.2a Arduino Nano*

IC sučelje Max6675 - čip koji nam omogućuje da pretvorimo analogni signal u digitalni te da mjerimo temperaturu pomoću termopara

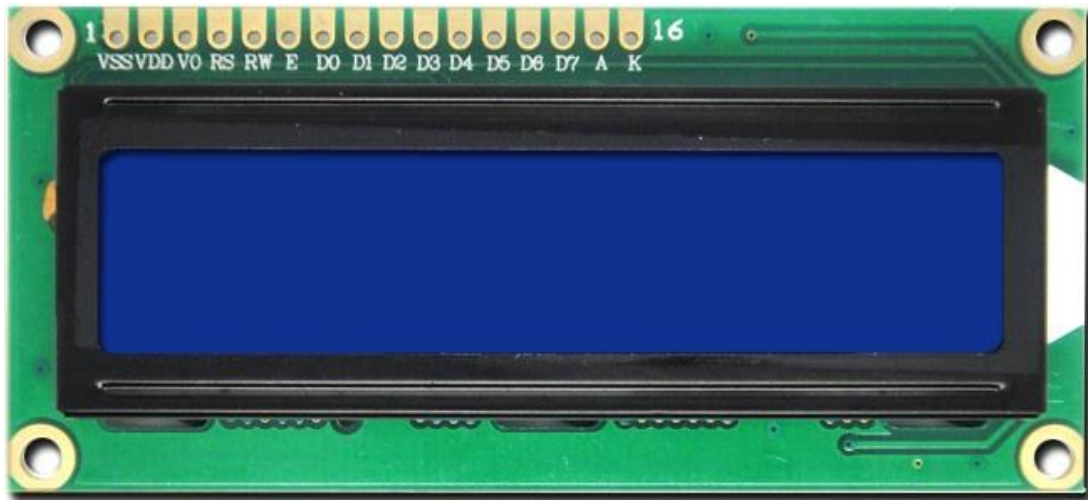


*Slika 5.3.2b Max6675 čip sa spojenim termoparom*

2 tipkala - tipkala koja se vrate u početni položaj nakon što ih otpustimo

1 sklopka - omogućava nam paljenje i gašenje arduina nanoa

16x2 LCD - ekran koji ima 2 reda i 16 polja u svakom redu. Svako polje ima rezoluciju 5x8 koja nam omogućuje da radimo svoje vlastite simbole kao što smo u ovom radu napravili simbol °.



*Slika 5.3.2c 16x2 LCD*

2 Li-Ion baterije - svaka baterija nam daje +4V, te ako spojimo iste te dvije baterije u seriju dobit ćemo +8V na izlazu. S tih 8V možemo otići na Vin pin arduina nanoa koji tada ide u njegov regulator koji smanji napon sa +8V na +5V (sami regulator treba 8V da bi pravilno radio).



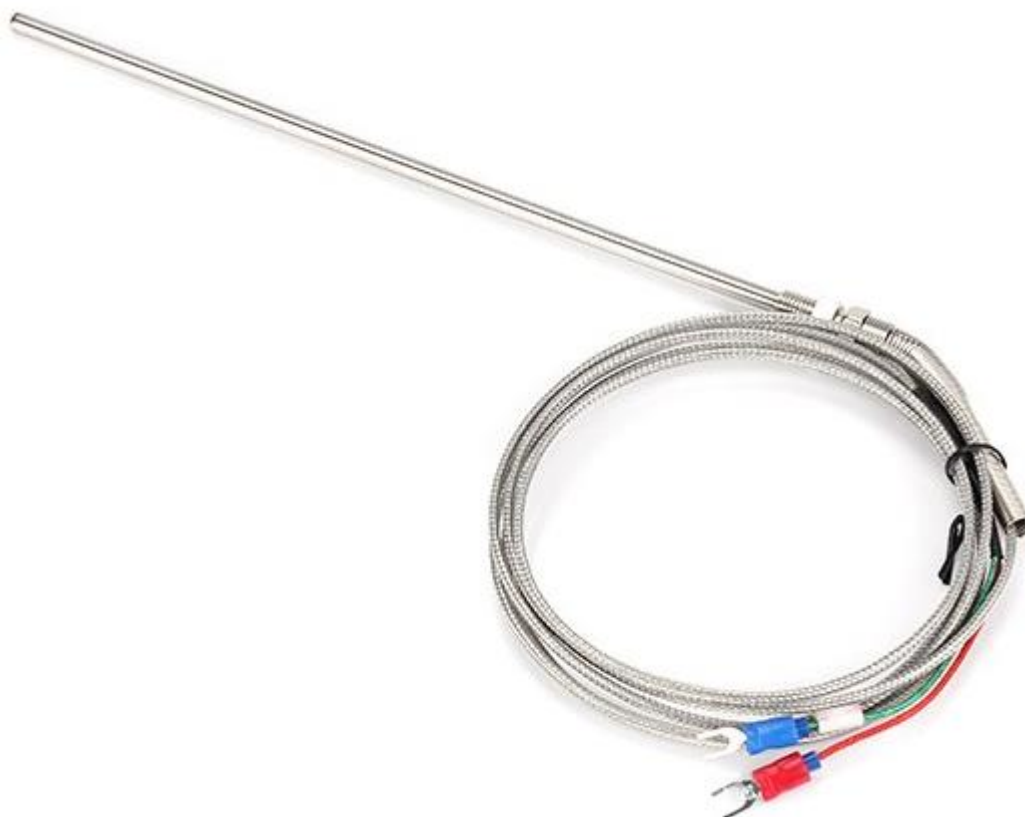
*Slika 5.3.2d Li-Ion baterije*

2 držača za baterije - olakšavaju nam posao spajanja baterija sa arduinom nanom tako da samo stavimo baterija u kućište koje spaja baterije sa žicama koje možemo spojiti na pin Vin



*Slika 5.3.2e Držać za li-ion baterije*

- 1 K tip termopar - glavna komponenta u ovom radu koji nam daje mogućnost da mjerimo temperaturu. Opis termopara te kako on zapravo radi se može pronaći ranije u dokumentaciji u cjelini [3.2. Princip rada termopara](#)



*Slika 5.3.2f K tip termopar*



## 6. Program

/\* Mjerenje temperature termoparom

Autor : Maurin Rastovac \*/

```
#include <max6675.h>           //library za mjerenje temperature termoparom
pomoću MAX6675 čipa
#include <LiquidCrystal.h>     //library za upravljanje sa LCD-om
#include <avr/io.h>             //avr library za input/output registre
#include <avr/interrupt.h>      //avr library za interupte
#include <avr/sleep.h>          //library za postavljenja atmela čipa u sleep mode
```

```
MAX6675 thermocouple(16, 15, 14); //MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS,
thermoSO) //zadajemo na kojem će pinovima biti MAX6675
LiquidCrystal lcd(11, 10, 9, 8, 7, 6); //LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7) //zadajemo
na kojem će pinovima biti LCD
```

```
void init_ports(void);         //postavimo izlaze i ulaze na portovima
void init_interrupt(void);      //postavljamo kakve interupte želim i uključujemo ih
void init_timer(void);          //definiramo tajmer i pokrećemo ga
void init_lcd(void);            //uključujemo LCD
void turn_off(void);            //funkcija za isključenje sistema
```

```
int t,n=0,i=0; //t-varijabla koja gleda jeli gumb 2 bio pritisnut dok smo u hold funkciji , n-
varijabla da kad uđemo u funkciju hold ne postavlja ponovo kod if-a, i-brojač za tajmer
float C,F,K; //varijable za spremanje temperature kad uđemo u hold funkciju
```

```
volatile int gumb_1=0, gumb_2=0; //brojač za gumbove
char degree[8] = {B01100,        //Napravimo ° simbol
                  B10010,
                  B10010,
                  B01100,
                  B00000,
                  B00000,
                  B00000,
                  B00000
};
```

```
ISR (INT0_vect){               //interupt 0 funkcija
    gumb_1++;                  //povećavamo varijablu za 1
}
```

```
ISR (INT1_vect){               //interupt 0 funkcija
    gumb_2++;                  //povećavamo varijablu za 1
    TCNT1=3036;                //resetiramo tajmer da počne brojati ispočetka
    i=0;                       //resetiramo varijablu natrag na 0
}
```

```
ISR(TIMER1_OVF_vect){         // tajmer 1 funkcija koji se aktivira svakih 4 sekunde
    i++;                       //povećavamo varijablu za 1
    TCNT1=3036;                //resetiramo tajmer tako da broji točno 4 sekunde
```



```
}

void setup(){
    init_ports();           //postavimo izlaze i ulaze na portovima
    init_interrupt();       //postavljamo kakve interupte želim i uključujemo ih
    init_timer();           //definiramo tajmer i pokrećemo ga
    init_lcd();             //uključujemo LCD
    ADCSRA=0;              //isključimo ADC da uštedimo struju
    set_sleep_mode (SLEEP_MODE_PWR_DOWN); //postavljamo koji način rada želimo
    za funkciju sleep_mode();
    sleep_enable();         //uključujemo mogućnost sleep funkciju
    delay(500);             //pričekamo malo da se sve stabilizira
}

void loop(){
    lcd.clear();            //izbrišemo sve na LCD-u
    lcd.setCursor(0, 0);    //postavimo pokazivač na početak LCD-a (početak 1. reda)
    lcd.print("Temperatura:"); //ispišemo Temperatura:
    lcd.setCursor(0,1);    //postavimo pokazivač na početak 2. reda na LCD-u
    if(gumb_2>=3)           //funkcija koja resetira brojač gumb_2 kad dođe do 3
        gumb_2=0;          //resetiramo varijablu na 0
    switch(gumb_2){         //switch funkcija koja gleda kolika je vrijednost varijable
        gumb_2 trenutčno
        case 0:lcd.print(thermocouple.readCelsius()); //ako je varijabla 0 pokreće se ovaj dio
        programa i ispisuje koliku temperaturu termopar trenutno očitava u celsiusima
            lcd.write(byte(0)); //napišemo simbol koji smo na početku programa
            napravili a to je °
            lcd.print("C "); //napišemo C na LCD-u
            break;           //break funkcija za svaki slučaj
        case 1:lcd.print(thermocouple.readFahrenheit()); //ako je varijabla 1 pokreće se ovaj
        dio programa i ispisuje koliku temperaturu termopar trenutno očitava u farenhajtu
            lcd.write(byte(0)); //napišemo simbol koji smo na početku
            programa napravili a to je °
            lcd.print("F "); //napišemo F na LCD-u
            break;           //break funkcija za svaki slučaj
        case 2:lcd.print((thermocouple.readCelsius()+273.15)); //ako je varijabla 2 pokreće se
        ovaj dio programa i ispisuje koliku temperaturu termopar trenutno očitava u kelvinima
            lcd.write(byte(0)); //napišemo simbol koji smo na početku
            programa napravili a to je °
            lcd.print("K "); //napisemo K na LCD-u
            break;           //break funkcija za svaki slučaj
    }
    if(thermocouple.readCelsius()==0.00){ //ako termopar očitava 0°C onda se pokreće ova
    funkcija
        lcd.setCursor(13, 1); //idemo na kraj LCD-a
        lcd.print("Min"); //ispisujemo Min na LCD-u kao oznaka da
        termopar očitava najmanju vrijednos koju može (zapravo MAX6675 ne može nize)
    }
    if(thermocouple.readCelsius()==1023.75){ //ako termopar očitava 1023.75°C onda se
    pokreće ova funkcija
```

```
lcd.setCursor(13, 1);           //idemo na kraj LCD-a
lcd.print("Max");               //ispisujemo Max na LCD-u kao oznaka da
termopar očitava najveću vrijednos koju može (zapravo MAX6675 ne može vise)
}
while(gumb_1!=0){ //kad se stisne gumb 1 idemo u hold funkciju, to jest display prestane
ažurirati temperaturu
  if(n==0){ //funkcija koja se samo na početku programa pokreće
    t=gumb_2; //spremimo kolika je varijabla gumba 2 bila kad smo ušli u while funkciju
    C=thermocouple.readCelsius();           //spremimo kolika je temperatura
    bila kad smo ušli u while funkciju (u celsiusima)
    F=thermocouple.readFahrenheit();        //spremimo kolika je temperatura
    bila kad smo ušli u while funkciju (u fahrenheitima)
    K=(thermocouple.readCelsius()+273.15);   //spremimo kolika je temperatura
    bila kad smo ušli u while funkciju (u kelvinima)
    TCNT1=3036; //resetiramo tajmer da počne brojati ispočetka
    i=0;        //resetiramo varijablu natrag na 0
    n++;        //povećamo varijablu za 1 tako da se if funkcija ne pokreće ponovo
  }
  if(t!=gumb_2){
    if(gumb_2>=3)
      gumb_2=0;
    lcd.clear();           //izbrišemo sve na LCD-u
    lcd.setCursor(0, 0);   //postavimo pokazivač na početak LCD-a(početak 1. reda)
    lcd.print("Temperatura:"); //ispišemo Temperatura:
    lcd.setCursor(0,1);    //postavimo pokazivač na početak 2. reda na LCD-u
    switch(gumb_2){
      case 0:lcd.print(C);
        lcd.write(byte(0)); //napišemo simbol koji smo na početku programa
        napravili a to je °
        lcd.print("C");     //napišemo C na LCD-u
        break;              //break funkcija za svaki slučaj
      case 1:lcd.print(F);
        lcd.write(byte(0)); //napišemo simbol koji smo na početku programa
        napravili a to je °
        lcd.print("F");     //napišemo F na LCD-u
        break;              //break funkcija za svaki slučaj
      case 2:lcd.print(K);
        lcd.write(byte(0)); //napišemo simbol koji smo na početku programa
        napravili a to je °
        lcd.print("K");     //napišemo K na LCD-u
        break;              //break funkcija za svaki slučaj
    }
    t=gumb_2;               //ažuriramo vrijednosti varijable
  }
  lcd.setCursor(15, 0); //idemo na kraj 1. reda
  lcd.print("P"); //ispisujemo slovo P kao indikator da trenutačno držimo istu temperaturu
  if(gumb_1>=2){ //kad ponovo stisnemo gumb 1 pokreće se funkcija
    gumb_1=0; //postavljamo vrijednost varijable na 0 i while funkcija se ugasi
    n=0;      //postavljamo vrijednost varijable na 0
  }
}
```

```
if(i==450) //nakon određenog vremena pokreće se funkcija za isključenje (dok smo u
hold-u)
    turn_off();
}
if(i==450) //nakon određenog vremena pokreće se funkcija za isključenje
(najvjerojatnije ću postaviti nakon 30 minuta u slučaju da se zaboravi ugasi uređaj)
    turn_off(); //pozivamo turn_off funkciju
    delay(500); //pričekamo 500ms pa se ponovo ponavlja loop (minimalno 220ms zbog
MAX6675)
}

void init_ports(void){ //postavimo izlaze i ulaze na portovima
    DDRD&=~(1<<DDD3) | (~(1<<DDD2)); //postavimo da su PD3 i PD2 ulazi
    DDRD^=(1<<DDD5); //postavimo da je PD5 izlaz
    DDRB^=(1<<DDB4); //postavimo da je PB4 izlaz
    PORTD|=(1<<PORTD3) | (1<<PORTD2); //uključujemo internal pull up otpornik na
PD3 i PD2
    PORTD|=(1<<PORTD5); //puštamo 5V na PD5 da se LCD uključi
    PORTB|=(1<<PORTB4); //puštamo 5V na PB4 da se svijetlo na LCD-u uključi
}
void init_interrupt(void){ //postavljamo kakve interupte želim i uključujemo ih
sei(); // uključimo interupte
    EICRA|=(1<<ISC01) | (1<<ISC11); //ISC01 i ISC11 postavljamo u 1 tako da se interupt
događa na padajući brid
    EIMSK|=(1<<INT0) | (1<<INT1); //uključujemo interupte INT0 i INT1
}

void init_timer(void){ //definiramo tajmer i pokrećemo ga
    TCCR1A=0;
    TCCR1B=0;
    TCNT1=3036; // tajmer kreće od 3036 brojati
    TCCR1B|=(1<<CS12) | (1<<CS10); //stavljamo CS12 i CS10 u 1 tako da imamo
prescaler od 1024
    TIMSK1|=(1<<TOIE1); //uključujemo tajmer 1
}

void init_lcd(void){ //uključujemo LCD
    lcd.begin(16, 2); //LCD se pokreće
    lcd.createChar(0, degree); //napravimo ° simbol
}

void turn_off(void){ //funkcija za isključenje sistema
    lcd.noDisplay (); //ugasimo LCD
    PORTB^=(1<<PORTB4); //isključimo PB4 to jest LCD
    PORTD^=(1<<PORTD5); //isključimo PD5 to jest svijetlo na LCD-u
    noInterrupts (); //isključujemo interupte
    sleep_mode(); //idemo u sleep
    i=0; //resetiramo varijablu
}
```

## 7. Upute za korištenje uređaja

Da bi smo prvo upalili uređaj trebamo uključiti sklopku na jednu od dvije strane. Nakon toga će se uređaj upaliti i vidjet ćemo očitane temperaturu na ekranu u °C.

Ako bi smo željeli prebaciti očitane temperaturu u farenhajte kliknemo jedanput na gumb 2, a ako bi smo željeli očitane temperaturu prebaciti u kelvine kliknemo još jedanput gumb 2.

U slučaju da trebamo zaustaviti mjerenje tako da vidimo zadnju očitane vrijednost, u bilo kojoj mjernoj jedinici, pritiskom na gumb 1 će se očitavanje pauzirati. Prikazat će se slovo P u gornjem desnom kutu ekrana kao indikator da je očitavanje pauzirano.

Ako netko slučajno ostavi uređaj upaljen, rađe nego da se baterije skroz istroše riskirajući baterije i cijeli uređaj, u slučaju da se nešto neočekivano dogodi, uređaj automatski ode u stanje mirovanja u kojem troši puno manje struje nego da uređaj ostane cijelo vrijeme upaljen.

Da bi smo upalili ponovo uređaj nakon što je otišao u stanje mirovanja trebamo sklopku vratiti u početni položaj te je opet uključimo kao inače.

## 8. Zaključak

U ovom radu smo vidjeli kako termoparovi i ostali senzori temperature rade te smo vidjeli koliko puno vrsta termoparova ima. Vidjeli smo kako mjeriti temperaturu pomoću termopara i što nam sve treba za to. Riješili smo problem malog napona i problem u nekonstantnoj temperaturi hladnog spoja termopara. Proučili smo što i kako točno Max6675 radi i kako ga koristimo za mjerenje temperature termoparom tipa K. U ovom radu se našao problem štednje struje. Ako kojim slučajem netko ostavi uređaj upaljen, baterije bi se skroz istrošile i možda bi se čak oštetile. Ako nemamo nikakav način da preko programa totalno ugasimo uređaj, onda moramo naći alternativu. Jedna alternativa je bila da nekako to mehanički izvedemo, ili se može preko programa mikroupravljač staviti u stanje mirovanja. To nam korištenu struju smanji skoro osam puta. Iako nije uređaj skroz ugašen još uvijek će trajati duže nego da je cijelo vrijeme skroz upaljen. Što nam daje više vremena da netko ugasi uređaj.

Iz ovog rada možemo zaključiti da svaki senzor ima svoje prednosti i nedostatke. Niti jedan senzor neće biti savršen za svaki slučaj koji se pojavi. Trebamo pogledati sve svoje opcije i pažljivo odabrati senzor koji nam najviše odgovara. Glavne stvari koje se trebaju gledati kod biranja ispravnog senzora za posao su:

1. Mjerni raspon senzora
2. Preciznost
3. Vrijeme reakcije
4. Stabilnost
5. Čvrstoću
6. Linearnost

## 9. Literatura

### 2. Popularne metode mjerenja temperature

[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_temperature\\_sensors](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_temperature_sensors)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Thermometer#Precision,\\_accuracy,\\_and\\_reproducibility](https://en.wikipedia.org/wiki/Thermometer#Precision,_accuracy,_and_reproducibility)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Bimetallic\\_strip#Thermostats](https://en.wikipedia.org/wiki/Bimetallic_strip#Thermostats)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Gas\\_thermometer](https://en.wikipedia.org/wiki/Gas_thermometer)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Resistance\\_thermometer](https://en.wikipedia.org/wiki/Resistance_thermometer)

<https://www.ametherm.com/blog/thermistors/temperature-sensor-types>

<https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Rtdconstruction.gif>

<https://eepower.com/resistor-guide/resistor-types/ntc-thermistor/#>

### 3. Termopar

<https://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple>

<https://www.thermocoupleinfo.com/#:~:text=A%20Thermocouple%20is%20a%20sensor,t%20temperature%2C%20a%20voltage%20is%20created>

<https://www.youtube.com/watch?v=PccE4WcfnAw&t>

<https://www.youtube.com/watch?v=v7NUi88Lxi8&t>

<https://www.youtube.com/playlist?app=desktop&list=PL36A224E609F3F7C9>

### 4. IC sučelje – Max6675

MAX6675 datasheet <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX6675.pdf>

### 6. Program

<https://www.arduino.cc/reference/en/>

<https://github.com/adafruit/MAX6675-library/blob/master/max6675.cpp>

<https://www.electroschematics.com/how-to-play-with-thermocouples/>

## 10. Popis slika

Slika 2.1.2. Prikaz zagrijavanja metala (slika preuzeta sa Wikipedije).....	5
Slika 2.1.3. P-T graf plinskog termometra (slika preuzeta sa Wikipedije).....	6
Slika 2.2.1a Izgled otporničkog termometra (slika preuzeta sa Wikipedije).....	7
Slika 2.2.1b Izgled otporničkog termometra iznutra (slika preuzeta sa Wikipedije).....	7
Slika 2.2.2. Usporedba termistora i otporničkog termometra ( <a href="https://eepower.com/resistor-guide/resistor-types/ntc-thermistor/#">https://eepower.com/resistor-guide/resistor-types/ntc-thermistor/#</a> ) .....	8
Slika 3.1. Spoj termopara.....	9
Slika 3.2.1a Elektroni u metalu ( <a href="https://www.youtube.com/watch?v=PccE4WcfnAw">https://www.youtube.com/watch?v=PccE4WcfnAw</a> ) .....	10
Slika 3.2.1b Elektroni u metalu sa dovedenom toplinom ( <a href="https://www.youtube.com/watch?v=PccE4WcfnAw">https://www.youtube.com/watch?v=PccE4WcfnAw</a> ) .....	10
Slika 3.3.1. Karakteristike drugačijih vrsta termoparova od legure nikla (slika preuzeta sa Wikipedije).....	12
Slika 3.3.2. Karakteristike drugačijih visoko temperaturnih tipova termoparova od platine/rodijeve legure i volframove/renijeve legure (slika preuzeta sa Wikipedije).....	14
Slika 3.4.1. Usporedba različitih senzora temperature.....	15
Slika 4.1. Max6676 čip (slika preuzeta iz MAX6675 datasheeta).....	16
Slika 4.2. Protokol serijskog sučelja (slika preuzeta iz MAX6675 datasheeta).....	18
Slika 4.3. Izlaz SO pina (slika preuzeta iz MAX6675 datasheeta).....	18
Slika 5.3.2a Arduino Nano (slika preuzeta sa arduino stranice).....	20
Slika 5.3.2b Max6675 čip sa spojenim termoparom.....	21
Slika 5.3.2c 16x2 LCD.....	22
Slika 5.3.2d Li-Ion baterije.....	22
Slika 5.3.2e Držać za li-ion baterije.....	23
Slika 5.3.2f K tip termopar ( <a href="https://www.aliexpress.com/item/4000097994613.html?spm=a2g0s.12269583.0.0.334d26f0VeltKa">https://www.aliexpress.com/item/4000097994613.html?spm=a2g0s.12269583.0.0.334d26f0VeltKa</a> ) .....	23