

Primjena Peltierovih elemenata

Vinko, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:610374>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-01**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





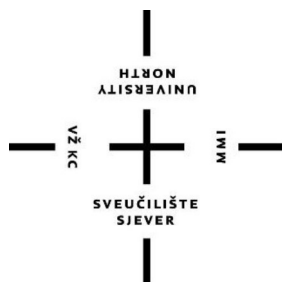
**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 397/EL/2017

Primjena Peltierovih elemenata

Matija Vinko, 4111/601

Varaždin, lipanj 2017. godine



Sveučilište Sjever

Elektrotehnika

Završni rad br. 397/EL/2017

Primjena Peltierovih elemenata

Student

Matija Vinko, 4111/601

Mentor

mr.sc. Ivan Šumiga, dipl.ing.

Varaždin, lipanj 2017. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za elektrotehniku		
PRISTUPNIK	Matija Vinko	MATIČNI BROJ	4111/601
DATUM	10.04.2017.	KOLEGIJ	ELEKTRONIČKI ELEMENTI
NASLOV RADA	Primjena Peltierovih elemenata		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	The application of Peltier elements		
MENTOR	mr.sc. Ivan Šumiga, dipl.ing.	ZVANJE	viši predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	- Dunja Srpak, dipl.ing., predavač - Miroslav Horvatić, dipl.ing., predavač - mr.sc. Ivan Šumiga, viši predavač - mr.sc. Matija Mikac, viši predavač, zamjenski član		

Zadatak završnog rada

BROJ	397/EL/2017
OPIS	Peltierovi elementi omogućuju direktnu pretvorbu između toplinske i električne energije. Ako se priključe na naponski izvor, primijenjuju se za hlađenje i grijanje. Ako se između dvije strane elementa postigne dovoljna razlika u temperaturi, mogu poslužiti za proizvodnju električne energije. Pri pretvorbi energije ne zahtijevaju pokretne dijelove, pa ih odlikuje pouzdan i dugotrajan rad, jednostavno korištenje i održavanje. Osnovni nedostatak im je još uvijek mala efikasnost pretvorbe. U radu je potrebno: • opisati princip rada Peltierovog elementa, • opisati primjene elementa za grijanje i hlađenje, • opisati primjene elementa za dobivanje električne energije-termoelektričnog generatora, • izvršiti mjerenja na nekoliko elemenata za grijanje i hlađenje te generiranje električne energije, • na temelju dobivenih rezultata izvesti zaključke o mogućim primjenama.

ZADATAK URUČEN

14.04.2017



POTPIS MENTORA

Šy

Predgovor

Zahvaljujem mentoru mr. sc. Ivanu Šumigi koji je pratio cijeli proces nastajanja diplomskog rada i svojim savjetima i entuzijazmom usmjeravao me kako da prevladam probleme koji bi se pojavili prilikom izrade završnog rada. Hvala što mi je omogućio korištenje elemenata i uređaja bez kojih ne bi mogao realizirati svoj rad.

Sažetak

U završnom radu opisan je princip rada Peltierovog termoelementa. Objasnjeni su efekti na kojima se zasniva rad Peltierovog termoelementa i navedene su mogućnosti njegove primjene. U praktičnom dijelu rada izvode se pokusi sa Peltierovim termoelementom. Pokusi su rađeni tako da se prikažu sve primjene Peltierovog termoelementa: hlađenje, grijanje i generiranje napona. Kroz nekoliko pokusa je pokazano u kojem području bi se mogli primjenjivati Peltierovi termoelementi.

Ključne riječi

Peltierov termoelement, Peltierov termogenerator, grijanje, hlađenje, generiranje napona

Abstract

This paper describes the work principles of Peltier thermoelement. The effects of functioning Peltier thermoelement are explained, as well as possibilities of its application.

Practical part includes performing experiments with Peltier thermo-element. The experiments demonstrate all applications of Peltier thermo-element: cooling, heating and voltage generating. Several experiments show application area in which Peltier thermo-element could be used.

Key words

Peltier thermoelement, Peltier thermogenerator, heating, cooling, voltage generating

Popis korištenih kratica

[V]	Volt
[A]	Amper
ZT	Faktor izvrsnosti (Thermoelectric figure of merit)
PN	P i N tip poluvodiča
π	Peltierov koeficijent
[V/K]	Volti po Kelvinu
[μV/K]	Mikrovolti po Kelvinu
S,α	Seebeckov koeficijent
ΔT	Razlika temperature na krajevima žice
ΔV	Termoelektrični napon na krajevima žice
τ	Thomsonov koeficijent
I	Struja
Q	Toplinski učinak
[W]	Watt – jedinica snage
σ	Specifična vodljivost materijala
κ	Koeficijent toplinske vodljivosti
[mm]	Milimetar
[cm]	Centimetar
[g]	Gram
[°C]	Stupnjevi u Celzijusima
LCD	Liquid crystal display
BTU	British thermal unit
USB	Universal Serial Bus
[μF]	mikrofarad
LED	Light Emitting Diode (svjetleća dioda)
Ω	Ohm – jedinica električnog otpora

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Termoelektrični generator.....	3
2.1.	Peltierov efekt	5
2.2.	Faktor izvrsnosti	6
2.3.	Izvedba termoelektričnih generatora.....	9
2.4.	Primjena termoelektričnih modula	10
2.5.	Seebeckov efekt.....	11
2.6.	Thomsonova pojava	14
2.7.	Jean Charles Athanese Peltier	15
3.	Praktični dio	16
3.1.	Hlađenje Peltierovim termoelementom.....	19
3.2.	Grijanje Peltierovim termoelementom	22
3.3.	Stvaranje napona grijanjem.....	24
3.4.	Vrijeme hlađenja	35
3.5.	Generiranje napona pomoću automobila.....	40
3.6.	Peltierov punjač za mobitel	45
4.	Zaključak.....	48
5.	Literatura.....	49
	Popis slika.....	51
	Popis tablica	54

1. Uvod

Najviše energije danas dobiva se iz dvije vrste izvora. To su fosilna goriva, te cijepanje atoma.

Fosilna goriva u koja spadaju ugljen, nafta i zemni plin najraširenija su, ali je poznato da štete okolišu. Povećanjem korištenja fosilnih goriva, počela se povećavati i koncentracija stakleničkih plinova. To se najviše očituje u ekstremnim klimatskim promjenama zadnjih godina.

Nuklearni otpad, koji nastaje cijepanjem atoma zrači još tisućama godina, te zahtijeva posebno skladištenje. Ako se ne skladišti odgovorno, nuklearni otpad može ozračiti veliko područje, koje stotinama, čak i tisućama godina postane nenaseljivo ljudima, životinjama čak i biljkama. Još jedna velika opasnost atomske energije leži u mogućim nesrećama. Primjer je nesreća u nuklearnoj elektrani u Černobilu, koja se dogodila prije trideset godina, uzrokovana ljudskom pogreškom. Izravne i neizravne posljedice radijacije osjetilo je nekoliko milijuna ljudi. Radioaktivnost je raznošena vjetrom, te se brzo proširila velikim dijelom istočne Europe, a zdravstvene posljedice se osjećaju još i danas.

Ovi problemi nagnali su znanstvenike da počinju otkrivati nove i sigurnije energetske izvore kako bi se prestalo ili barem smanjilo korištenje energenata koji su opasni za okoliš. Najraširenija od njih svakako je energija vode, koja se koristi kod hidroelektrana. Zadnjih godina počela se razvijati energija dobivena od vjetra i sunca. Najveća njihova mana je ta što se mora uložiti puno više energije nego je moguće dobiti, pa je njihova iskorištenost slaba.

Još jedan način proizvodnje energije su termoelektrični generatori. Rad termoelektričnog generatora naziva se Peltierovom pojavom. Francuz Jean Charles Athanese Peltier (1785.–1845.) otkrio je da se prolaskom električne energije, spojište dvaju metala grije ili hladi, ovisno o smjeru struje. Ovu pojavu Peltier je otkrio 1834. godine. Termoelektrični generatori danas najčešće koriste poluvodičke PN spojeve na bazi bizmut telurida, debljine nekoliko milimetara.

Gotovo svaki uređaj se grije, a njegova toplinska energija neiskorišteno odlazi „u vjetar“. Ta energija postoji djelovanjem svakog uređaja ili stroja, pa zašto je ne bi iskoristili? Na osobnom automobilu postoji puno mjesta na kojima bi se Peltierov generator mogao dobro iskoristiti. Motor automobila proizvodi velike količine toplinske energije koja odlazi kroz ispušni sustav koji je također pogodno mjesto za ugradnju Peltierovog generatora. Iz energije koju svakako bacamo možemo izvući nešto električne energije.

Kočnice automobila također se griju pri kočenju. Izgubljena energija može se preusmjeriti na punjenje baterija kod električnih vozila te se tako može produljiti trajanje baterija. Na njihov rad ne utječe položaj niti okolina te se često koriste u svemirskom prostoru.

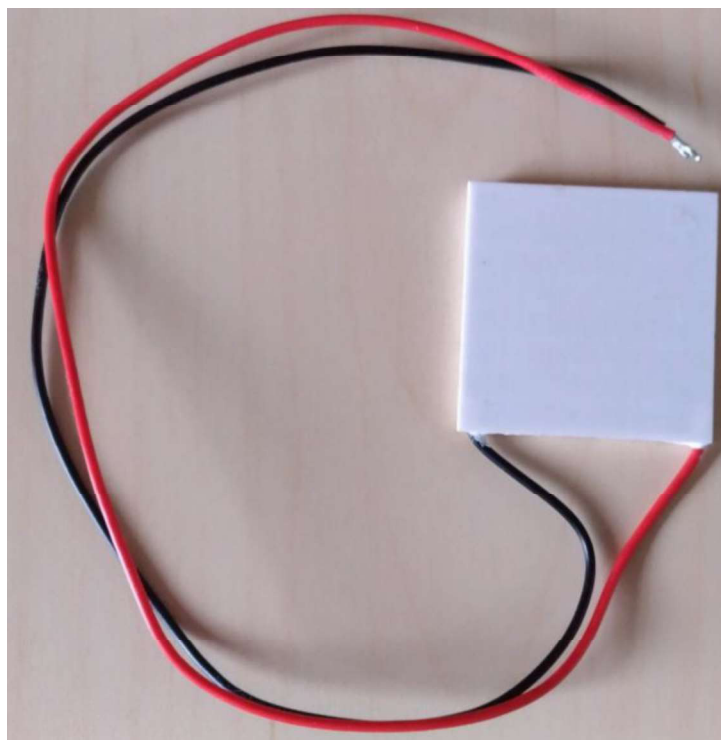
S obzirom da je njihova iskorištenost mala, treba uložiti puno energije da bi se dobilo malo, zbog toga oni još uvijek nisu isplativi. Kako se iscrpljuju izvori fosilnih goriva, alternativni načini prikupljanja energije u zadnje vrijeme dobivaju sve više pažnje. Neki od njih već danas imaju dosta veliku ulogu, a u budućnosti će se razvijati sve više novih načina, dok će se postojeći razvijati. Oni će u budućnosti u većini ili čak potpuno zamijeniti današnje načine dobivanja energije.

2. Termoelektrični generator

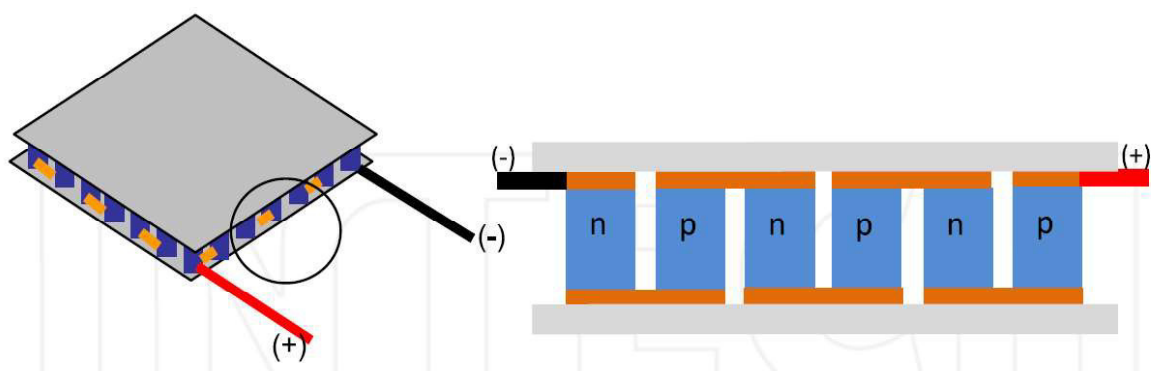
Termoelektrični generator koji se naziva još i termogenerator je uređaj koji konvertira toplinu, odnosno razliku u temperaturi izravno u električnu energiju koristeći fenomen koji se naziva Seebeckov efekt ili termoelektrični efekt. Termoelektrični generatori nemaju pomičnih dijelova zbog čega su veoma pouzdani, tihi su, te imaju veoma dug vijek trajanja gdje često znaju nadmašiti radni vijek pridružene opreme. Ne koriste nikakve kemikalije ni plinove koji mogu biti opasni za okoliš. Zbog rada na električnom principu, te zato što imaju jednostavnu konstrukciju mogu se koristiti na teško dostupnim mjestima, te mjestima bez svjetla. Ne stvaraju šum ili buku, pa se mogu koristiti kod osjetljivih senzora. [1]

Kod velikih strojeva, termogeneratori nisu isplativi jer imaju malu iskoristivost. Što se tiče malih strojeva oni postaju korisni, zato što su jeftini, napravljeni su da rade s malim izvorima topline i malim razlikama topline. Uz odgovarajući regulacijski krug, termomoduli omogućuju regulaciju temperature preciznije od $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, čak i ispod $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$. [2]

Termoelektrični generator (slika 2.1) otkrio je 1834. Jean Charles Athanese Peltier, te se naziva prema njemu, Peltierov generator. Napravljen je od poluvodičkih materijala od kojih najčešće bizmut telurid. Taj materijal ima višu termoelektričnu napetost od metala, zbog toga je potrebno manje spojeva. Sastavljen je od mnogo termoelemenata koji su smješteni između dvije keramičke pločice što je vidljivo na slici 2.2. Termoelementi su električno spojeni u seriju, a termalno su spojeni paralelno. Posljedica protjecanja struje kroz elemente je grijanje jedne strane, a hlađenje druge. Ovisno o tome koja ploča je toplinski uzemljena, druga ploča može hladiti ili grijati.



Slika 2.1 Peltierov termoelement

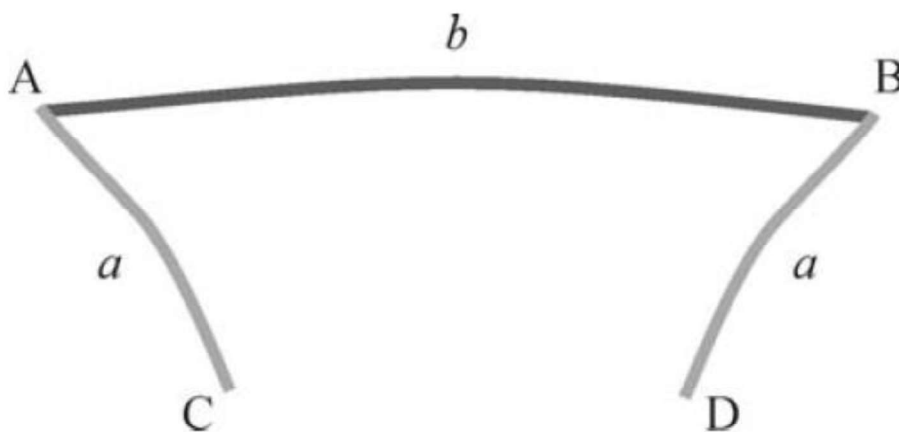


Slika 2.2 Termoelementi smješteni između dvije keramičke pločice [3]

2.1. Peltierov efekt

Termoelektrični efekt 1834. godine otkrio je Francuz Jean Charles Athanese Peltier. On je otkrio da dvije žice čiji krajevi nisu spojeni, te između njih nije spojen vanjski izvor električnog napona grijanjem jednog njezinog kraja dobije se temperaturna razlika. Pritom nastaje narušavanje termodinamičke ravnoteže. Slobodni elektroni koji se nalaze u toplijem dijelu žice imaju veću energiju od onih u hladnijem dijelu. Zbog toga dolazi do difuzije elektrona iz toplijeg u hladniji dio žice te nastaje električno polje s pozitivnim polom na toplijem, a negativnim na hladnijem dijelu žice.

Peltierova pojava može se objasniti slikom, stoga promotrimo sliku 2.3 slova „a“ i „b“ označavaju različite metale, koji su spojeni u točkama A i B. Između točaka C i D spojen je izvor elektromotorne sile. Ovisno o smjeru struje, na spojištu dvaju različitih materijala dolazi do primanja ili oslobađanja topline. [4]



Slika 2.3 Sklop od dva različita metala [4]

2.2. Faktor izvrsnosti

Faktor izvrsnosti omogućuje nam da se odabere najbolji materijal koji će se koristiti za izradu termoelektričnog generatora. Od materijala koji je pogodan za izradu mora se moći dobiti dvije vrste vodljivosti, elektronsku i šupljinsku. Poluvodiči imaju to svojstvo. Kada je taj faktor zadovoljen, materijal mora imati što efikasniju pretvorbu toplinske energije u električnu, te električnu u toplinsku energiju. Svojstvo materijala opisuje se Peltierovim koeficijentom π , odnosno Seebeckovim koeficijentom S , koji mora biti što veći. Materijal ne smije pružati otpor prolasku struje, jer ako postoji otpor čestice se češće sudaraju s atomima koji grade termoelektrik, te se materijal zagrijava. Zagrijavanjem se narušavaju učinci Peltierova hlađenja. Poželjno je da termoelektrik ima što bolju termoelektričnu vodljivost, odnosno što manju električnu otpornost. S obzirom da na jednom kraju kristali poluvodiča moraju biti topli, a na drugom hladni, duž njega nastaje temperaturni gradijent. Da bi se spriječio tok topline s toplog na hladniji kraj termoelektrika, toplinska vodljivost treba im biti što manja.

Parametar kojim se određuje kvaliteta termoelektrika, naziva se faktor izvrsnosti. Oznaka mu je ZT , a definirana je izrazom:

$$ZT = \frac{S^2 \sigma}{\kappa} \quad (1)$$

Gdje je: ZT – faktor izvrsnosti,

S – Seebeckov koeficijent,

σ – Specifična vodljivost materijala,

κ – Koeficijent toplinske vodljivosti,

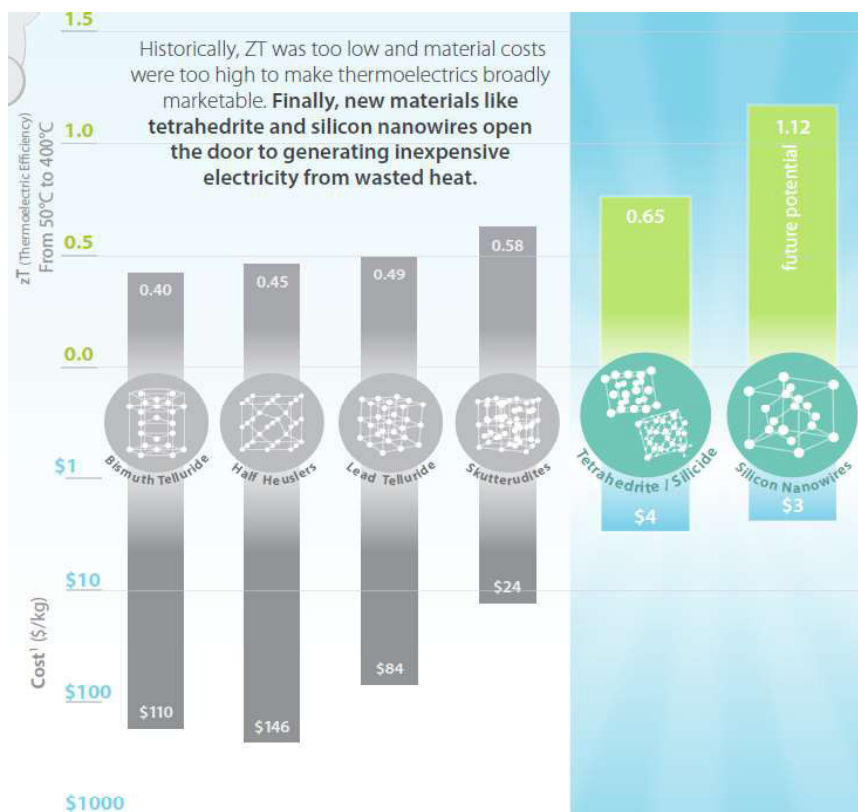
T – Temperatura.

Veoma je teško pronaći materijal koji ima dobar faktor izvrsnosti. Svaki materijal koji dobro provodi električni naboj, dobro vodi i toplinu. To znači da materijal ima veće vrijednosti Seebeckova koeficijenta, električne otpornosti i veći koeficijent toplinske vodljivosti.

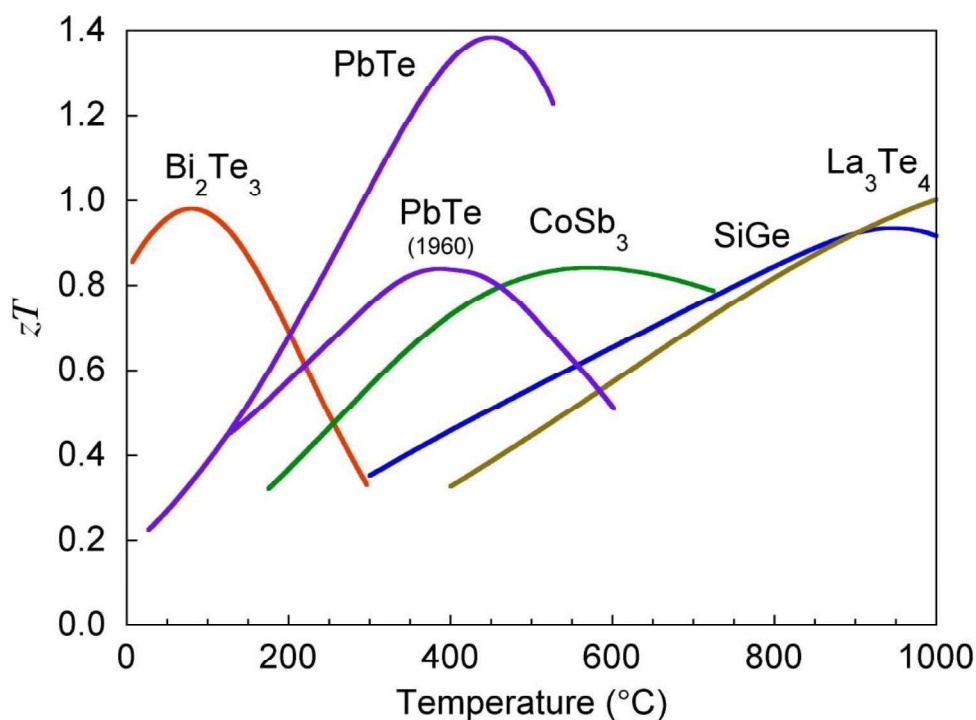
Najboljim materijalima prikazali su se spojevi iz obitelji telurida. Najviše se koristi legura bizmuta i telurida. Nešto manje se koriste olovo-telurid, silicij-germanij i bizmut-antimon legure. Konstantno se pokušava pronaći nove i što bolje termoelektrike, te se najviše spominju takozvani klatrati, skuteroditi i kvazikristali.

Dosadašnji materijali bili su skupi, a imali su mali ZT, te takvi termoelementi nisu bili isplativi. Za cijenu materijala dobio se mali dio vraćene energije. Međutim razvijanjem novih materijala kao što su tetrahedrit, te silikonski nanovodiči kojima je cijena znatno niža, može se dobiti puno više termičke energije.

S novim materijalima dobiva se sve veći faktor izvrsnosti, te termoelektrični elementi postaju sve isplativiji, što je prikazano na slici 2.4. [4]



Slika 2.4 Cijena i iskorištenost elemenata [5]



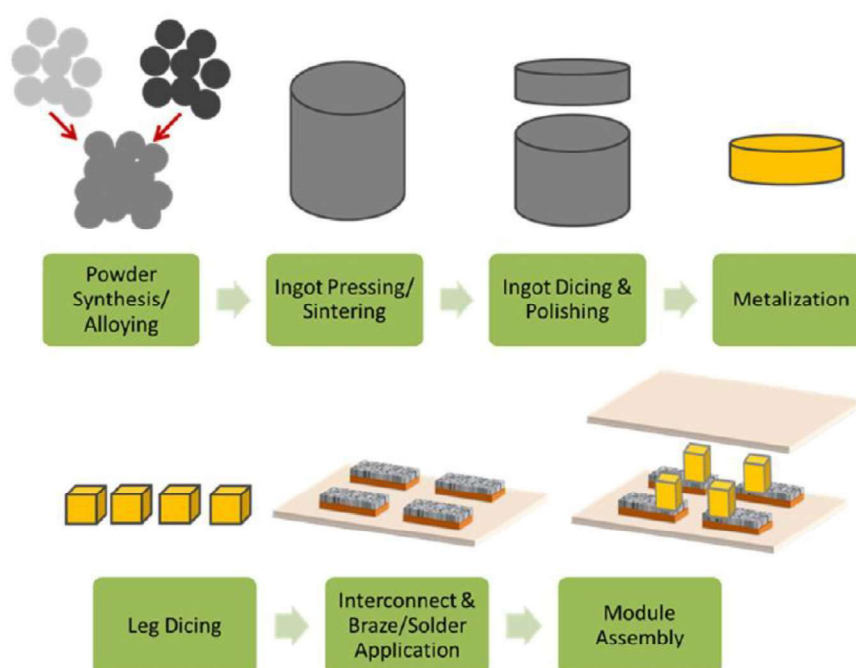
Slika 2.5 ZT faktor elemenata na različitim temperaturama [6]

Svaki element ima različit ZT faktor na različitim temperaturama, prikazano slikom 2.5, gdje su prikazani ZT faktori za elemente koji se najviše koriste za izradu termoelektričnih elemenata.

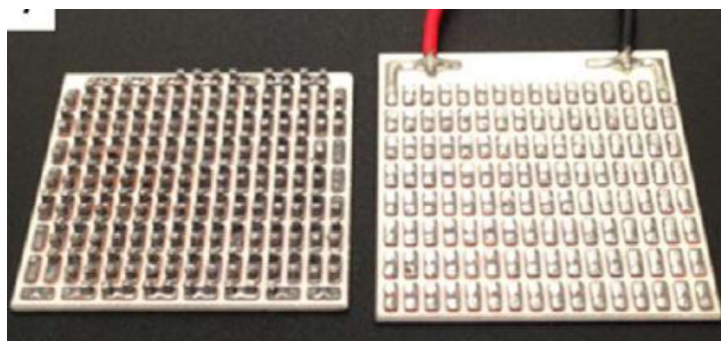
Elementi koji su prikazani slikom su bizmut-telurid koji je prikazan narančastom bojom, olovo-telurid prikazan ljubičastom bojom, te ima najviši faktor ZT, te također ljubičastom bojom prikazan je olovo telurid i koliko je njegov ZT faktor iznosio 1960. godine, gdje se vidi koliko su elementi isplativiji razvojem tehnologije. Zelenom bojom prikazan je kobalt-antimon, plavom bojom prikazan je silicij-germanij, a žutom bojom prikazan je ZT faktor za termoelemente izradene od lantan-telurida. [6]

2.3. Izvedba termoelektričnih generatora

Kao što je već prikazano u prošlom poglavlju, termoelektrični generatori sastavljeni su od poluvodičkih materijala, najčešće je to bizmut telurid. Kako se izrađuje termoelektrični generator, najlakše je opisati slikom 2.6, na kojoj je prikazan tijek izrade. Najprije se prikuplja prah, kojim se pomoću sinteze dobiva legura. Zatim se prešanjem dobiva legura koja je prikazana u obliku valjka. Nakon što se dobije poluga, izreže se, te se očisti. Nakon toga izrezani dijelovi se metaliziraju i izrežu na kockice. Prije sastavljanja modula, na keramičke pločice nanosi se lem, na koji se stavljaju kockice i modul se zatvara. Završeni modul prikazan je već ranije slikom 2.1, a na slici 2.7 nalazi se otvoreni modul u kojem su vidljivi termoelementi. [7]



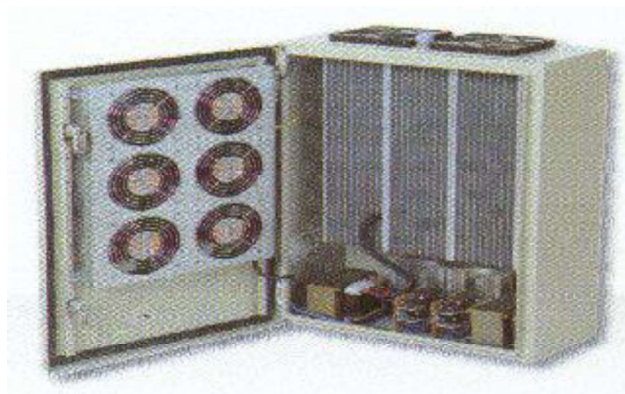
Slika 2.6 Koraci izrade termoelektričnog modula [7]



Slika 2.7 Unutrašnjost termoelektričnog modula [7]

2.4. Primjena termoelektričnih modula

Termoelektrični moduli, s obzirom da mogu hladiti koriste se kao termoelektrična hladila. S obzirom da imaju malu iskoristivost, imaju malu snagu hlađenja. Najčešće se koriste kod hlađenja elektroničkih sklopova, slika 2.8 i malih prijenosnih hladnjaka, slika 2.9.



Slika 2.8 Hlađenje elektroničkih sklopova [8]



Slika 2.9 Prijenosni hladnjak [9]

Termoelektrični generatori primjenjuju se kod svemirskih letjelica. Kao izvor topline koristi se radioaktivni plutonij, koji se zagrijava kod radioaktivnog raspada. To zagrijavanje koristi se za stvaranje temperaturne razlike na termoelektriku.

Također sve veću primjenu dobivaju u auto industriji. Termogeneratori se koriste kod grijanja ili hlađenja sjedala u automobilima i sve više se radi na tome da se iskoristi toplina koja se rasipa kroz ispušni sustav. Na slici 2.10 prikazan je primjer kako proizvođači automobila pokušavaju iskoristiti toplinu ispušnog sustava ugradnjom termogeneratorsa [10].



Slika 2.10 Termogenerator ugrađen na ispušni sustav [10]

2.5. Seebeckov efekt

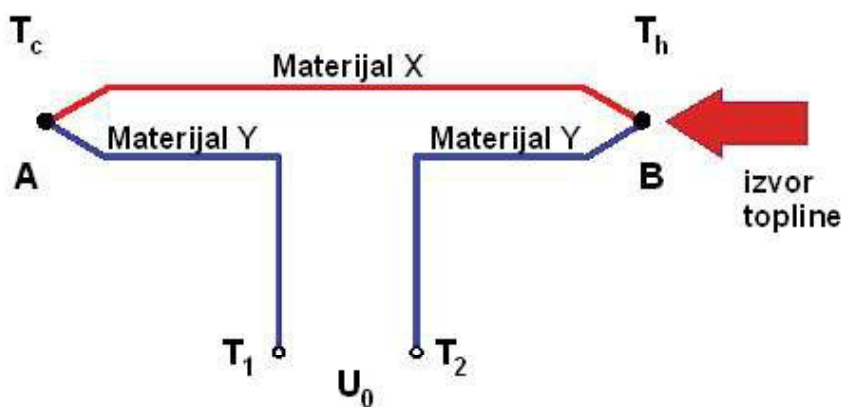
Seebeckov efekt ili termoelektrični efekt je pojava električnog napona u električnom strujnom krugu sastavljenom od dvaju različitih vodiča kada im se spojevi nalaze na različitim temperaturama. Omogućava izravno pretvaranje razlike temperatura u električnu struju.

1821. godine Njemački fizičar Thomas Johann Seebeck (1770.-1831.) otkrio je tu pojavu, kada je primijetio odklon magnetske igle pored dva vodiča različite temperature.

Seebeckov efekt najlakše se može objasniti kao promjenu predznaka razlike temperature spojišta, koja uzrokuje promjenu predznaka električnog napona i to je zapravo obrnuto od Peltierovog efekta.

Instrument za mjerenje koji se temelji na Seebeckovom efektu naziva se termoelement.

Metalna žica koja se grije na jednom kraju, na krajevima ima razliku temperature. Zbog toga dolazi do narušavanja termodinamičke ravnoteže, jer na toplijem dijelu elektroni imaju veću energiju od onih na hladnijem dijelu. Zbog toga elektroni s toplijeg dijela odlaze u hladniji kraj žice, te na toplijem kraju nastaje polje s pozitivnim polom, a na hladnijem kraju nastaje polje s negativnim polom. Stvaranjem toga električnog polja, ponovo se uspostavlja termodinamička ravnoteža. [11]



Slika 2.11 Seebeckov efekt [2]

Seebeckov efekt objašnjen je slikom 2.11. Na slici imamo 2 materijala, materijal X i materijal Y. Ako se njihov spoj u točki B zagrijava, između točaka T_1 i T_2 pojavi se napon U_0 .

Taj napon U_0 naziva se Seebeckova elektromotorna sila.

2.2. Seebeckov koeficijent

Seebeckov koeficijent ili termoelektrična osjetljivost materijala je mjera veličine induciranog termoelektričnog napona koji je izazvan Seebeckovim efektom. [7]

Uzimanje materijala s većim Seebeckovim koeficijentom je jedan od najvažnijih faktora za što bolji termoelektrični generator ili termoelektrični hladnjak.

Oznaka seebeckovog koeficijenta su $[V/K]$ (volti po Kelvinu), iako se češće izražava u $[\mu V/K]$ (mikrovolti po Kelvinu). [11]

Seebeckov koeficijent iznosi:

$$S = -0,001 \div 1,0 \text{ [mV/K]} \quad (2)$$

Gdje napon određuje ukupni koeficijent oba materijala. N-tip materijala ima negativan termoelektrični koeficijent, a P-tip ima pozitivan termoelektrični koeficijent.

Jedan od načina definiranja Seebeckova koeficijenta je podizanje napona kada malo poraste temperatura na žici, te kada je struja u žici jednaka nuli. Ako je temperaturna razlika ΔT između dva kraja žice mala, tada se Seebeckov koeficijent prikazuje kao:

$$S = - \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (3)$$

gdje je ΔV termoelektrični napon na krajevima žice, a ΔT razlika temperature na krajevima žice.

Razlika napona kod Seebeckovog napona računa se prema izrazu:

$$\Delta U = (\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T = \alpha_{12} \Delta T \quad (4)$$

Gdje je: α - Seebeckov koeficijent [VK^{-1}],

ΔT - razlika temperatura [K],

ΔU - razlika napona [V].

Material	Seebeck coefficient relative to platinum ($\mu\text{V/K}$)
Selenium	900
Tellurium	500
Silicon	440
Germanium	330
Antimony	47
Nichrome	25
Molybdenum	10
Cadmium, tungsten	7.5
Gold, silver, copper	6.5
Rhodium	6.0
Tantalum	4.5
Lead	4.0
Aluminium	3.5
Carbon	3.0
Mercury	0.6
Platinum	0 (definition)
Sodium	-2.0
Potassium	-9.0
Nickel	-15
Constantan	-35
Bismuth	-72

Tablica 2.1 Tablica Seebeckovih koeficijenata za različite metale [12]

Svaki metal ili legura ima različit Seebeckov koeficijent, koji su prikazani tablicom 2.1. U tablici su prikazani koeficijenti pri sobnoj temperaturi u odnosu na platinu. Platina se uzima kao definicija, zato se postavlja na nulu, iako u stvarnosti iznosi približno $-5 \mu\text{V/K}$ na sobnoj temperaturi, te se vrijednosti ispod platine moraju promatrati prema tome. [12]

2.6. Thomsonova pojava

1851. godine Englez William Thomson, koji se kasnije nazvao lord Kelvin otkrio je povezanost između Peltierova i Seebeckova efekta. Primijetio je kad vodičem teče struja i temperatura uzduž njega opada ili raste, on će preuzimati ili davati toplinu od okoline ovisno o smjeru struje. Vodič će preuzimati toplinu ako struja teče prema području viših temperatura, a predavat će je okolini kad je smjer struje prema području nižih temperatura. [13]

Ako između dva susjedna vodiča postoji razlika temperature, toplinski učinak koji se izmjenjuje kod vodiča prikazuje se izrazom:

$$dQ = \tau I dT \quad (5)$$

Gdje je: τ – Thomsonov koeficijent [VK^{-1}],

I – struja [A],

Q – Toplinski učinak [W].

Thomsonov efekt pokazuje da homogeni materijal koji je izložen toplini ili struji prikuplja ili otpušta toplinu. Thomsonov efekt razlikuje se od Seebeckovog u tome što je Thomsonov posljedica različitih svojstava materijala, te se pojavljuje u homogenim vodičima.

Utjecaj Thomsonovog efekta na djelovanje termoelektričnog generatora veoma je slab, premda postoji, ne može biti zanemariv kod velikih temperatura. [14]

2.7. Jean Charles Athanese Peltier

Jean Charles Athanese Peltier, slika 2.12, rođen je 22. veljače 1785. godine u mjestu Ham na sjeveru Francuske, a umro je 27. kolovoza 1845. godine u Parizu.

Bio je Francuski fizičar. Bio je autor mnogih studija iz fizike, ali najpoznatiji je po tome što je otkrio da spajanjem dva različita metala koji su protjecani električnom strujom, metali će se grijati ili hladiti ovisno o smjeru struje. Ta pojava dobila je naziv po njemu, te se naziva Peltierov efekt.

Peltier je bio urar, ali se umirovio s 30 godina kako bi se mogao posvetiti fizici, te istraživanju.

Osim termoelektriciteta istraživao je elektromagnetizam, te atmosferski elektricitet. Istraživao je i na području meteorologije djelovanje atmosferskog elektriciteta na oborine. [15]

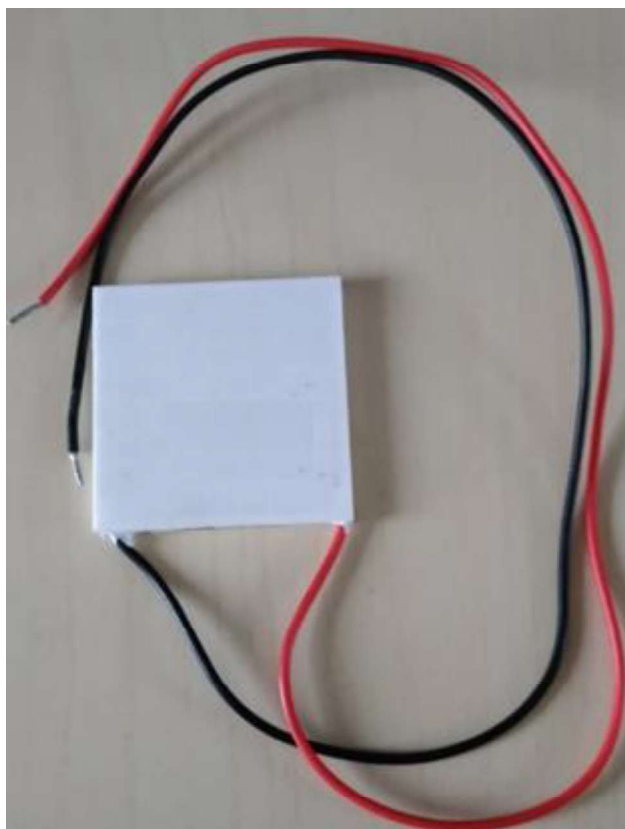


Slika 2.12 Jean Charles Athanese Peltier [15]

3. Praktični dio

U praktičnom dijelu rada ispitivat će se termoelektrični ili Peltierov termoelement. S elementima će se napraviti nekoliko pokusa kojima će se utvrditi koliku temperaturnu razliku mogu doseći, te će se grijanjem ispitivati kolike iznose struja je moguće dobiti iz termoelektričnog generatora.

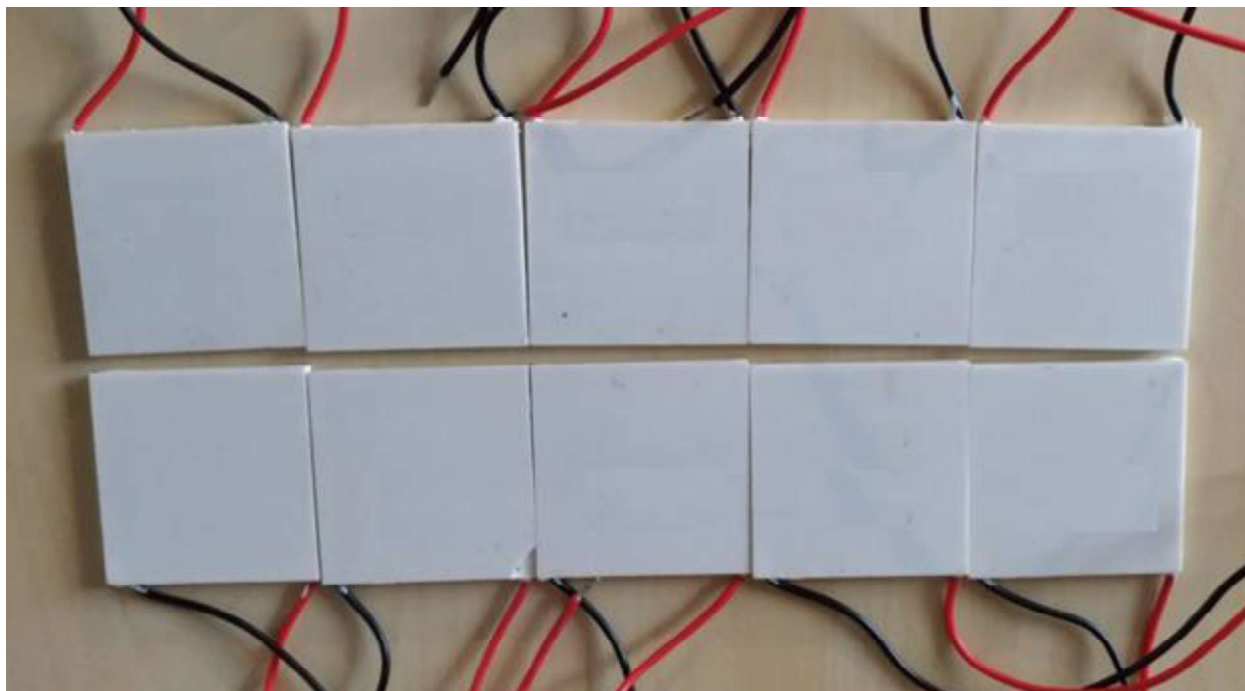
Peltierov element koji će se koristiti u praktičnom dijelu prikazan je na slici 3.1. Izrađen je od bizmut telurida i keramike, dimenzija: 40mm*40mm*3.4mm. Može raditi na najvišoj razlici temperature od 100 [°C].



Slika 3.1 Peltierov termoelement koji će se koristiti za ispitivanja

Na crvenu žicu priključuje se pozitivan napon, a na crnu priključuje se negativan napon. Prazna strana elementa, to jest ona na kojoj nije ispisan broj modela je strana koja se grije, dok je ispisana strana hladna.

Kao što je vidljivo na slici 3.2, na raspolaganju je 10 Peltierovih elemenata koji će se ispitivati.



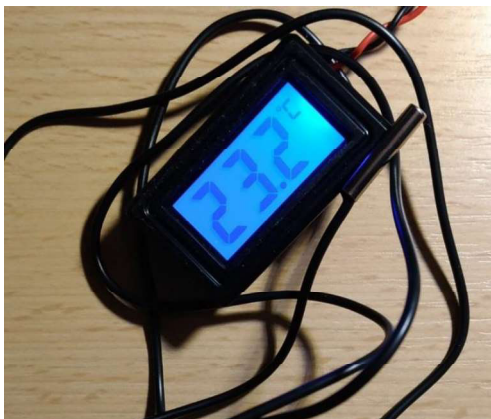
Slika 3.2 Svih 10 elemenata

Elementi imaju propisane vrijednosti napona i struje za određenu razliku temperature, koje su prikazane tablicom 3.1. Vrijednosti iz tablice su vrijednosti u idealnim uvjetima, te može doći do odstupanja zbog gubitaka u žicama i slično. [16]

<i>Razlika temperature [°C]</i>	<i>Napon [V]</i>	<i>Struja [mA]</i>
20	0.97	225
40	1.8	368
60	2.4	469
80	3.6	558
100	4.8	669

Tablica 3.1 Propisane vrijednosti u idealnim uvjetima

Za mjerenje temperatura termoelemenata koristit će se digitalni termometar s LCD zaslonom, prikazan na slici 3.3. Temperaturni opseg termometra je od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $110\text{ }^{\circ}\text{C}$. Za pokuse će se koristiti dva termometra kako bi se mogle izmjeriti temperature s obje strane termoelementa, odnosno hladna i topla strana elementa.



Slika 3.3 Termometar s LCD zaslonom

Zagrijavanjem Peltierova termoelementa generirat će se struja i napon, koji će se mjeriti digitalnim multimetrom prikazanim na slici 3.4.



Slika 3.4 Digitalni multimetar

3.1. Hlađenje Peltierovim termoelementom

Prolaskom struje kroz termoelement jedna strana pločice se grije, dok se druga strana istovremeno hladi. Tako se može koristiti kao termoelektično hladilo.

U ovom pokusu termoelement će se prikazati kao hladnjak, koji se zbog svoje male snage može koristiti kod malih hladnjaka. S obzirom da Peltierov termoelement može postići temperature koje idu ispod 0 [°C], iz vode se može dobiti led.

Slikom 3.5 prikazani su elementi koji će se koristiti u ovom pokusu. Peltierov termoelement nalazi se na hladnjaku procesora. Hladnjak pomaže hladiti donju stranu elementa, kako bi se postigla što niža temperatura na gornjoj strani. Hladnjak je premazan termičkom pastom koja pomaže kod prijenosa topline između hladnjaka i termoelementa.

Termometrom će se izmjeriti početna temperatura, te najniža temperatura koja će se postići.

Voda se na termoelement nanosi pomoću kapaljke.

Kao izvor napona koristi se napajanje računala snage 12[V], 14 [A].



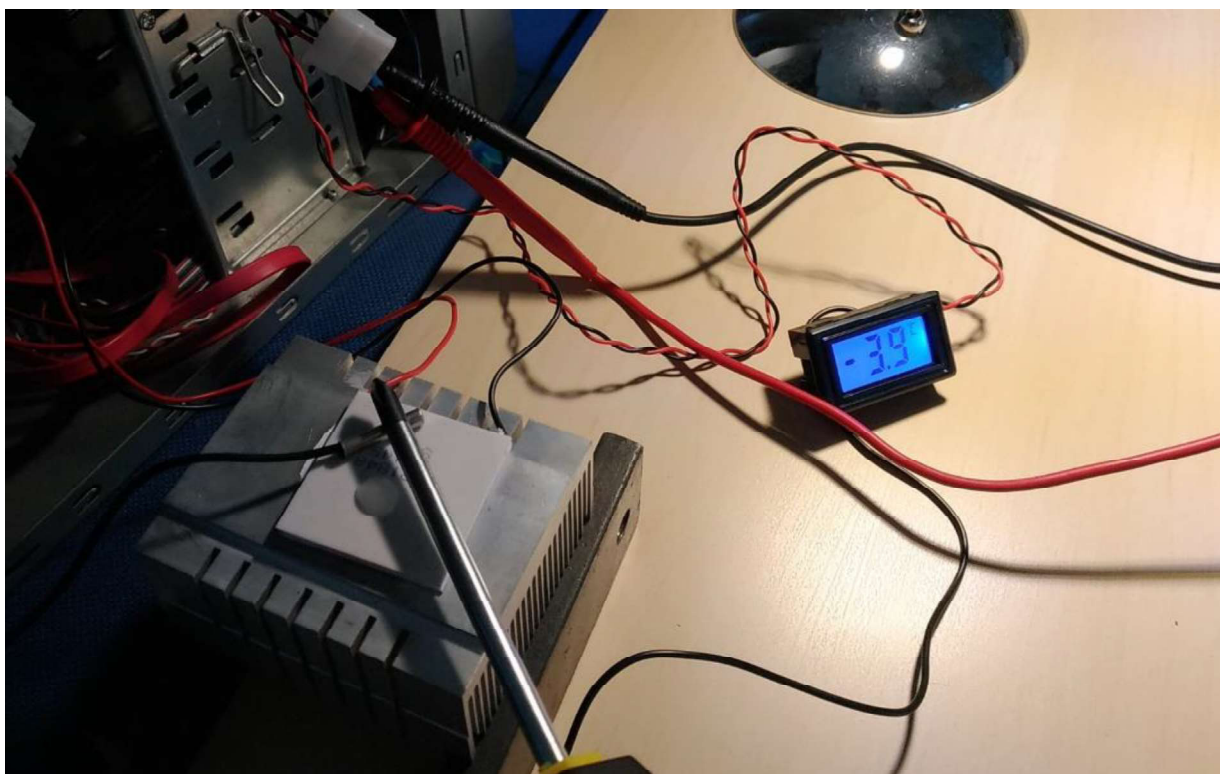
Slika 3.5 Elementi za pokus

Na početku pokusa kada je termoelement priključen na napon iznosa 5.11 [V], temperatura na površini elementa iznosila je sobnih 19.7 [°C]. Kako je hladnjak koji je pričvršćen s donje strane termoelementa odvodio toplinu s elementa, tako se temperatura počela brzo spuštati, i nakon nekog vremena spustila se ispod 0 [°C].

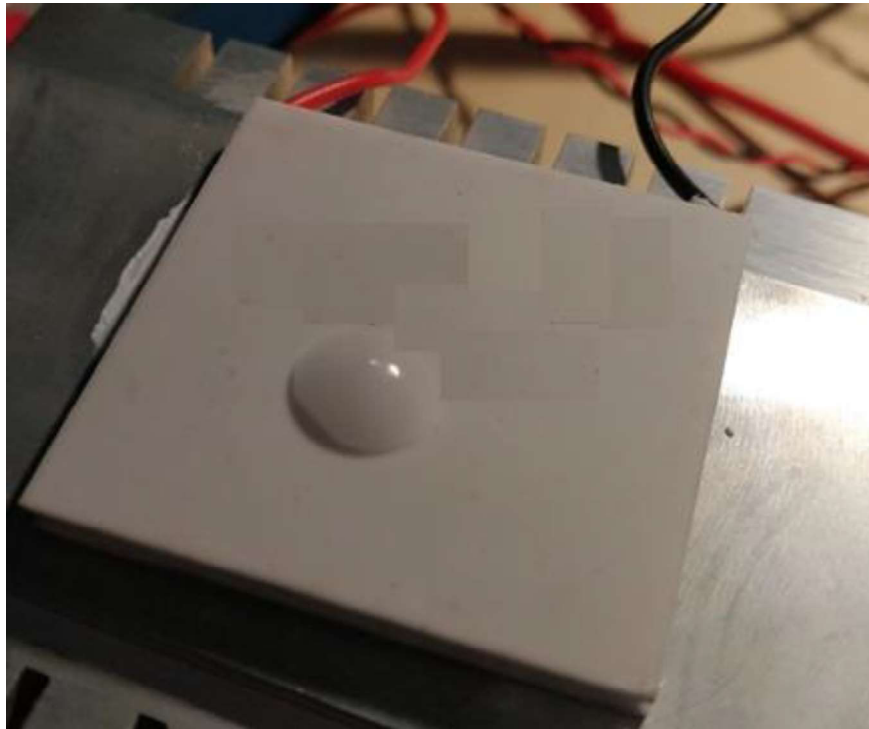
Nakon 100 sekundi, ili 1 minute i 40 sekundi temperatura se spustila na -3.9 [°C], prikazano na slici 3.6, gdje se stvorila razlika temperature od 23.6 [°C]. To je dovoljno niska temperatura za stvaranje leda, kao što je vidljivo na slici 3.7. Led je nastao od kapljice vode 0.3 [ml], koja je nanesa na početku pokusa.

Ovim pokusom prikazano je kako se Peltierov termoelement može koristiti kao hladnjak.

Nakon završetka pokusa, izmjerene veličine unijete su u tablicu 3.2, te je na kraju izračunana efikasnost Peltierovog termoelementa.



Slika 3.6 Tijek pokusa hlađenja



Slika 3.7 Led na elementu

	Napon [V]	Struja [A]	Temperatura [°C]	Vrijeme [s]
Početno	5.11	14	19.7	0
Krajnje			-3.9	100

Tablica 3.2 Rezultati mjerenja

Prema rezultatima mjerenja može se izračunati efikasnost Peltierova elementa:

Ulazna snaga: $5.11 \text{ [V]} * 14 \text{ [A]} = 71.54 \text{ [W]} = 71.54 \text{ [J/s]}$;

Ulazna energija: $71.54 \text{ [J/s]} * 100 \text{ [s]} = 7154 \text{ [J]}$;

Razlika temperature: $19.7 - (-3.9) = 19.7 + 3.9 = 23.6 \text{ [°C]}$;

BTU: $1 \text{ BTU/h} = 1055 \text{ J}$; $100 \text{ [s]} / 3600 \text{ [s]} = 0.0278 \text{ BTU} = 28.49 \text{ [J]}$;

Energija potrošena na hlađenje: $0.3 \text{ [ml]} * 23.6 \text{ [°C]} * 28.49 \text{ J} = 201.7092 \text{ [J]}$;

Efikasnost: $\frac{201.7092}{7154} = 0.0282 * 100 = 2.82\% \text{ [17]}$

Pokusom je vidljivo da je efikasnost Peltierova termoelementa 2.82%, što je prema očekivanjima. Njegova efikasnost iznosi oko 5%, pa je vidljivo da postoje gubici od približno 2%.

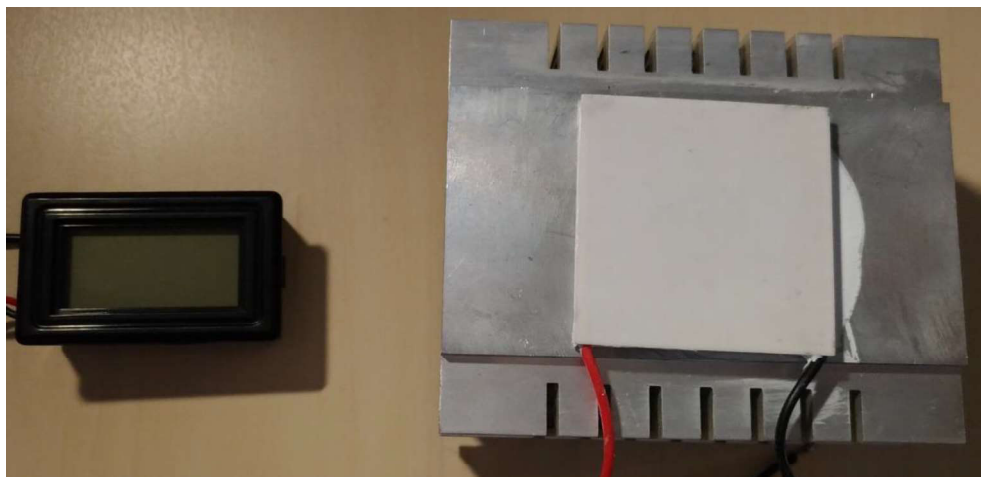
3.2. Grijanje Peltierovim termoelementom

Kao što je već prije opisano Peltierov termoelement kada se na njega dovede napon s jedne strane hladi, dok s druge strane grije. U prošlom pokusu prikazano je kako se može hladiti pomoću Peltiera, a u ovom pokusu bit će prikazano kako se grije.

Postupak grijanja Peltierova termoelementa najveću primjenu ima u autoindustriji, gdje se koristi za grijanje sjedala.

Postupak dobivanja grijača od hladnjaka prilično je jednostavan, samo se termoelement mora okrenuti na drugu stranu. Na hladnoj strani generatora otisnuti su brojevi koji prikazuju model elementa, a strana koja se grije je prazna.

Pokus će biti sličan prijašnjem, te će se koristiti isti elementi prikazani na slici 3.8. Iznosi napona ostaju isti, samo je termoelement okrenut.



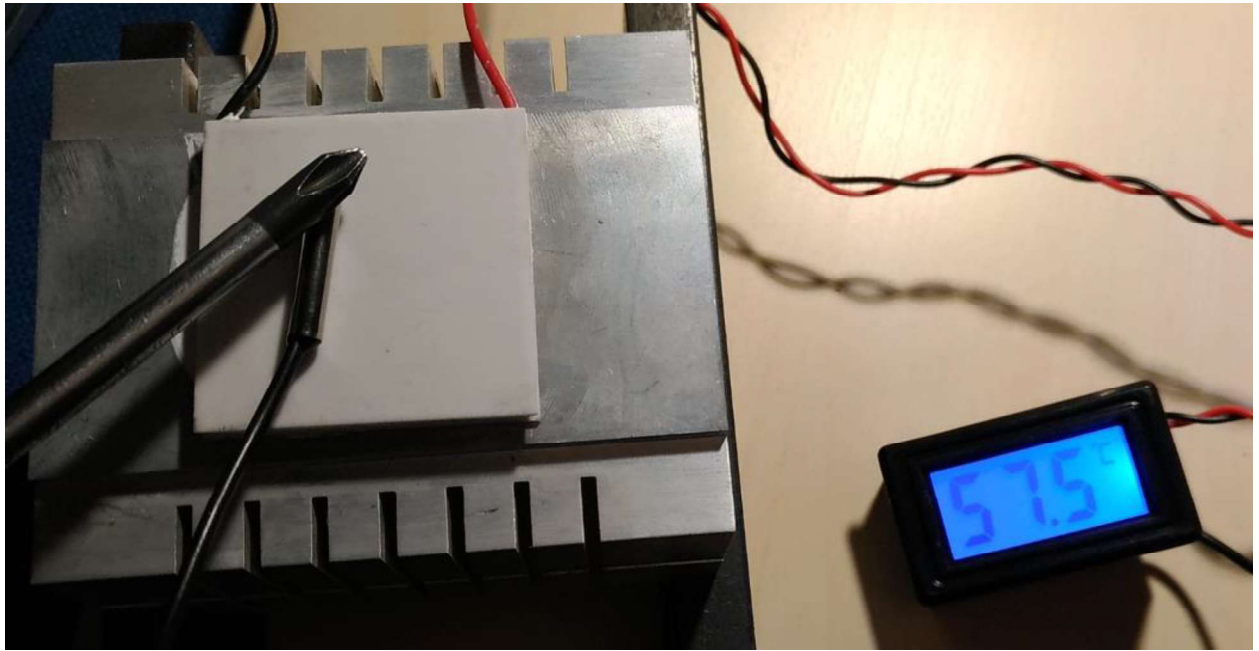
Slika 3.8 Elementi za grijanje

Na početku pokusa temperatura elementa bila je $20.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, što odgovara sobnoj temperaturi. Pokusom grijanja postignuta je temperatura od $57.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, što je prikazano slikom 3.9. Za postizanje temperature potrebno je 188 sekundi, odnosno 3 minute i 8 sekundi, što je dosta više vremena nego kod hlađenja gdje je bilo potrebno 100 sekundi, odnosno 1 minuta i 40 sekundi.

Za razliku od hlađenja gdje je dobivena razlika od $26.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, u ovom pokusu postignuta je veća razlika temperature od $37.3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Iz ovoga pokusa vidljivo je kako se element brže hladi, ali kod hlađenja ne postiže tako veliku temperaturnu razliku. Kod grijanja postiže više temperature, ali za puno više vremena.

Rezultati dobiveni pokusom prikazani su u tablici 3.3.



Slika 3.9 Najviša temperatura postignuta grijanjem

	Napon [V]	Struja [A]	Temperatura [°C]	Vrijeme [s]
Početno	5.11	14	20.2	0
Krajnje			57.5	188

Tablica 3.3 Rezultati mjerenja

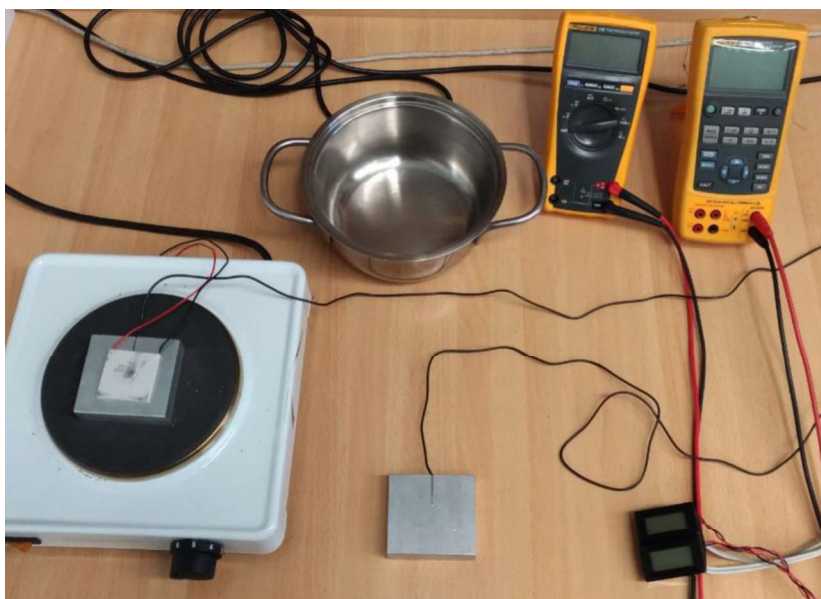
3.3. Stvaranje napona grijanjem

Kao što je prikazano u prošla dva pokusa, Peltierov termoelement može služiti kao hladnjak ili kao grijač. Kada se na njega dovede napon, jedna strana se grije, dok se druga hladi. To je tek jedan od načina primjene Peltierova termoelementa. Drugi način korištenja je način za generiranje električne energije, odnosno termoelektrični generator.

U ovom pokusu cilj je napraviti obrnuti postupak, gdje će se grijanjem jedne strane Peltierova generatora dobiti napon i struja. Što se više jedna strana grije, to se stvara veća razlika temperature, te su napon i struja veći, što je već ranije prikazano tablicom 3.1.

Ovaj način rada termogeneratora koristan je u teškim uvjetima, gdje se drugačije ne može doći do struje. S obzirom da je Peltierov termogenerator malen, te nema nikakvih pomičnih dijelova potrebno mu je vrlo malo prostora. Nije mu potreban izvor napajanja, jedino što mu je za rad potrebno jest toplina koja se dobiva radom većine strojeva. Zbog tih svojstava, veliku primjenu ima u svemirskim letjelicama.

U ovom pokusu koristit će se elementi prikazani slikom 3.10. U ovom pokusu nije potrebno napajanje, već samo izvor topline koji u ovom slučaju predstavlja strujno kuhalo. Na njega se postavlja aluminijska pločica koja se zagrijava. Pločica je premazana termalnom pastom kako bi se temperatura što bolje prenosila na termoelement, te na sebi ima mali utor u koji se postavlja mjerna sonda termometra. Jedna sonda postavlja se u donju aluminijsku pločicu koja se zagrijava, a druga u pločicu koja se hladi. Peltierov termogenerator postavlja se između aluminijskih pločica, a na vrh sklopa postavlja se metalna posuda koja je napunjena s ledom kako bi se Peltierov termogenerator hladio s gornje strane. Za mjerenje dobivenih vrijednosti koriste se voltmetar, te ampermetar.



Slika 3.10 Elementi koji se koriste u pokusu

Pokus se izvodi zagrijavanjem električnog kuhala na određenu temperaturu, a zatim se kuhalo ugasi te se izvode mjerenja kako temperatura tople strane opada. U pokus je dodan promjenjivi otpornik kao potrošač električne energije kako bi se dobili rezultati na različitim otporima. Za mjerenje izlazne snage termogeneratora je dodan vatmetar, te štoperica koja mjeri vrijeme hlađenja elemenata.

Tijek izvođenja pokusa prikazan je slikom 3.11.



Slika 3.11 Tijek pokusa generiranja napona i struje

Otpor je mijenjan pomicanjem klizača na promjenjivom otporniku maksimalnog iznosa otpora 100 [Ω]. Mjerenja su snimana mobitelom, te se iz njih izvuklo mnogo podataka koji su prikazani tablicom 3.4.

T1 [°C]	T2 [°C]	ΔT [°C]	U [V]	I [A]	P [W]	R [Ω]	t [s]
122	21.3	100.7	0.2	1.03	0.2	0	0
121.8	21.5	100.3	1.5	0.59	0.9	6	2
121.6	21.8	99.8	2.5	0.32	0.8	10	4
121.3	22.1	99.2	3	0.19	0.6	18	7
121.3	22	99.3	3	0.18	0.5	25	8
120.9	21.9	99	3.4	0.074	0.3	64	11
120.6	21.9	98.7	3.6	0.036	0.1	100	15
119.7	22.2	97.5	3.5	0.070	0.2	50	25
119.4	22.2	97.2	3.4	0.10	0.3	32	28
118.8	22.5	96.3	2.9	0.21	0.6	14	36
118.4	22.8	95.6	2.5	0.33	0.8	5	40
118.1	23.2	94.9	0.2	0.98	0.2	0	44
117.3	23.9	93.4	2.4	0.32	0.8	8	52
116.8	24.1	92.7	2	0.45	0.9	4	59
115.1	24.9	90.2	2.8	0.19	0.5	18	76 (1 min)
114.4	24.8	89.6	3.2	0.062	0.2	75	83
113.5	24.8	88.7	2.8	0.15	0.4	19	93
112.4	25.4	87	1.6	0.35	0.6	5	105
111.9	25.5	86.4	2.2	0.21	0.5	11	111
111.6	25.6	86	2.5	0.51	0.4	17	115
110.3	26.4	83.9	0.1	0.80	0.1	1	132 (2 min)
108.4	26.3	82.1	2.9	0.048	0.1	65	154
108.2	26.2	82	3	0.033	0.1	96	157
107.3	26.1	81.2	2.8	0.078	0.2	45	169
106.8	26.2	80.6	1.7	0.36	0.6	5	177
106.4	26.6	79.8	0.1	0.76	0.1	0	182 (3 min)
104.6	27.1	77.5	2.3	0.16	0.4	16	204
104.1	27	77.1	2.8	0.031	0.1	100	211
102.4	27.3	75.1	1.1	0.52	0.6	2	233
101.6	27.6	74	1.8	0.25	0.4	7	243 (4 min)
100.1	27.5	72.6	2.6	0.036	0.1	85	262
99.8	27.4	72.4	2.6	0.046	0.1	55	267
98.9	27.4	71.5	0.2	0.74	0.1	0	278
98.7	27.7	71	1.8	0.22	0.4	8	282
98.1	27.6	70.5	2.5	0.039	0.1	100	292
97.3	27.3	70	1.8	0.22	0.4	8	303 (5 min)
97	27.4	69.6	0.2	0.70	0.1	0	308
96.6	27.9	68.7	1.3	0.33	0.4	4	315
95.7	27.4	68.3	2.2	0.081	0.2	38	327
95.4	27.4	68	2.3	0.047	0.1	65	329
94.6	27.4	67.2	1.8	0.16	0.3	12	342
92.8	27.5	65.3	2.1	0.073	0.2	45	367 (6 min)
91.9	27.4	64.5	1	0.38	0.4	3	380
90.9	27.3	63.6	2.1	0.049	0.1	50	393
90.3	27.1	63.2	1.2	0.31	0.4	4	405
89.6	27.3	62.3	1.6	0.17	0.3	10	417
88.9	27	61.9	2.2	0.022	0.05	100	427 (7 min)
86.6	24.9	61.7	1.6	0.16	0.2	9	465

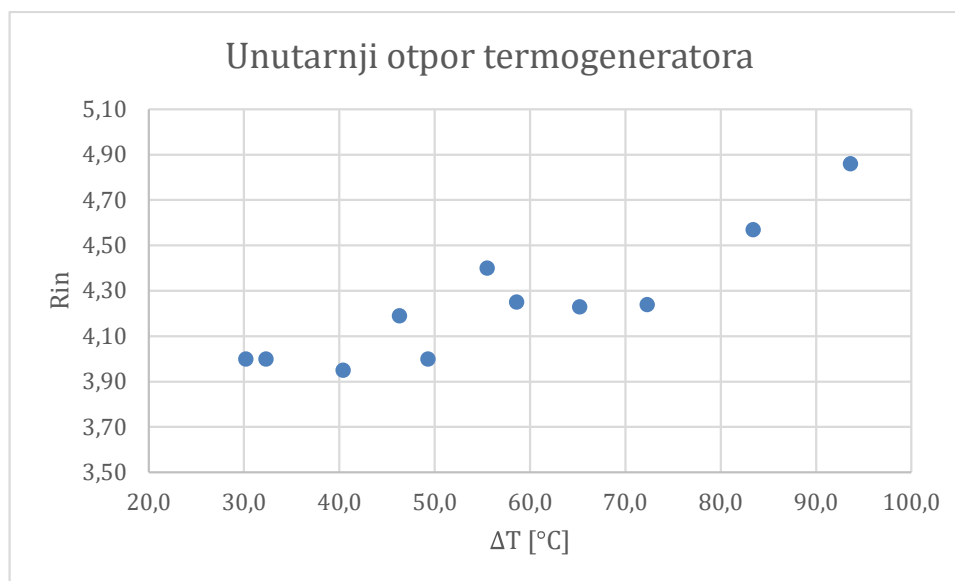
T1 [°C]	T2 [°C]	ΔT [°C]	U [V]	I [A]	P [W]	R [Ω]	t [s]
85.9	24.9	61	1.2	0.27	0.3	6	477
85.6	24.8	60.8	1.6	0.15	0.2	13	482 (8 min)
85.2	24.6	60.6	2.1	0.021	0.05	100	488
84.9	24.4	60.5	2.1	0.032	0.1	70	492
84.6	24	60.6	1.6	0.13	0.2	12	499
84	23.9	59.9	1	0.24	0.3	3	508
83.3	24	59.3	1.8	0.077	0.1	30	520
82.9	23.7	59.2	2	0.035	0.1	60	527
82.6	23.5	59.1	2.1	0.021	0.04	100	532
81.3	23	58.3	2	0.028	0.1	60	555 (9 min)
80.8	22.9	57.9	1.7	0.086	0.1	20	564
80.4	22.8	57.6	1.6	0.12	0.2	13	571
80.1	22.8	57.3	0.6	0.430	0.2	0	579
79.5	22.9	56.6	1.6	0.10	0.2	16	590
79.3	22.8	56.5	2	0.020	0.04	100	594
78.4	22.7	55.7	0.9	0.30	0.3	3	608 (10 min)
77.7	22.7	55	1.7	0.057	0.1	45	621
77.1	22.5	54.6	1	0.26	0.3	4	630
76.5	22.6	53.9	1.4	0.13	0.2	11	640
76.3	22.5	53.8	0.2	0.52	0.1	0	645
76	22.4	53.6	1.8	0.019	0.03	100	649
75.4	22.2	53.2	1.3	0.46	0.2	7	661 (11 min)
75.1	22.1	53	0.9	0.27	0.2	3	667
74.3	22.2	52.1	1.6	0.056	0.1	40	681
73.6	22	51.6	1	0.22	0.2	10	696
73.1	21.9	51.2	1.8	0.019	0.03	100	706
72.6	21.7	50.9	1.2	0.17	0.2	6	717
72.1	21.9	50.2	1	0.22	0.2	4	726 (12 min)
71.6	22	49.6	1.4	0.094	0.1	15	736
71.4	21.9	49.5	1.7	0.017	0.03	100	742
70.7	21.8	48.9	0.9	0.22	0.2	5	755
70.6	21.9	48.7	0.2	0.45	0.1	0	759
69.9	21.8	48.1	1.6	0.026	0.04	65	773
69.5	21.6	47.9	1.1	0.15	0.2	7	782 (13 min)
68.6	21.5	47.1	1.6	0.016	0.03	100	801
67.9	21.3	46.6	0.7	0.28	0.2	2	817
67.8	21.3	46.5	0.1	0.47	0.05	0	820
67.3	21.4	45.9	1.1	0.15	0.2	8	831
66.6	21.3	45.3	1	0.16	0.2	7	846 (14 min)
63.4	20.6	42.8	0.9	0.20	0.1	7	872
63	20.6	42.4	1.4	0.020	0.03	75	883
62.9	20.5	42.4	1	0.14	0.1	7	887
58.9	19.4	39.5	1.3	0.014	0.02	100	912 (15 min)
58.5	19.2	39.3	1	0.10	0.1	10	928
58.3	19.2	39.1	1.3	0.028	0.04	50	935
56.7	18.2	38.5	0.5	0.29	0.1	0	956
56.1	18.2	37.9	1	0.082	0.1	12	969 (16 min)

Tablica 3.4 Rezultati mjerenja

Iz podataka koji su prikazani tablicom napravljeni su grafovi, koji su prikazani u nastavku.

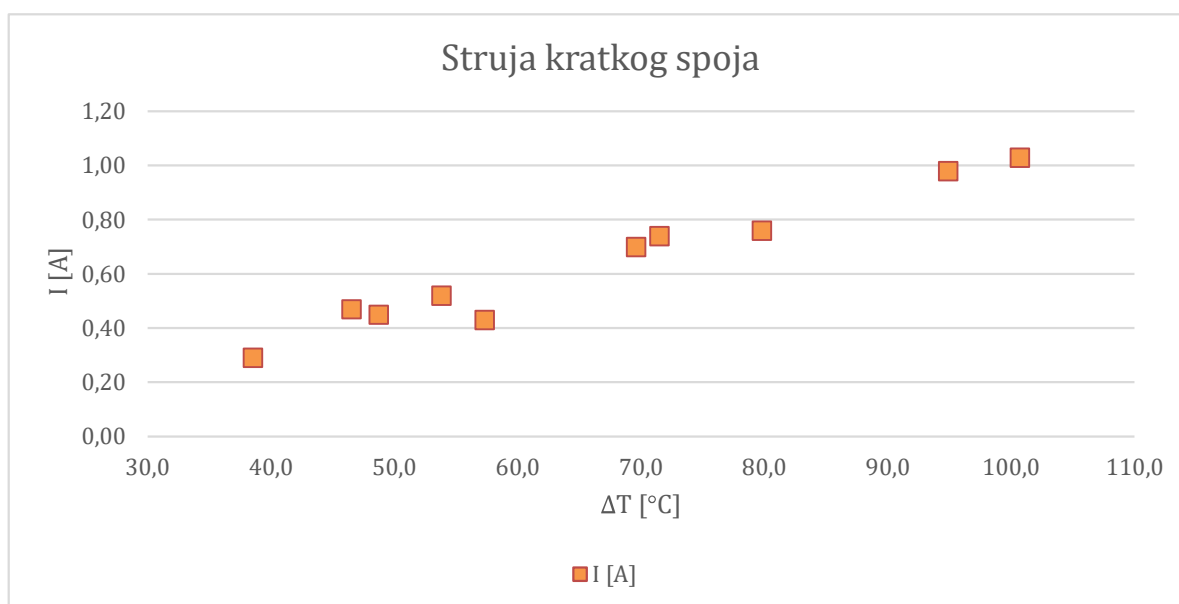
U pokusu je korišten promjenjivi otpornik čiji otpor se mijenjao od 0 do 100 [Ω].

Također je mjerenjem izračunan unutarnji otpor Peltierovog termogeneratora, koji je prikazan slikom 3.12. Prema dobivenim rezultatima dobiveni unutarnji otpor elementa iznosi 4.24 [Ω].



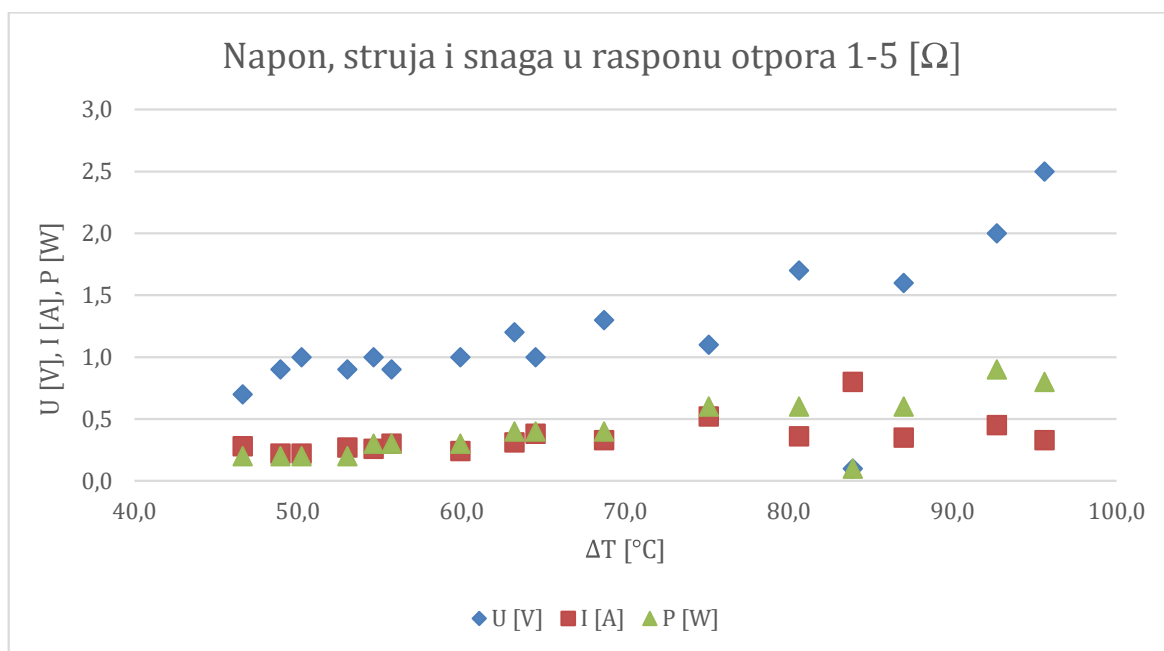
Slika 3.12 Unutarnji otpor termogeneratora

Kako bi se uspjeli dobiti što vjerniji rezultati, tablica je sortirana prema iznosu otpora, tako su na slici 3.13 prikazani napon praznog hoda (otvoreni strujni krug) i struja kratkog spoja (na izlazu).

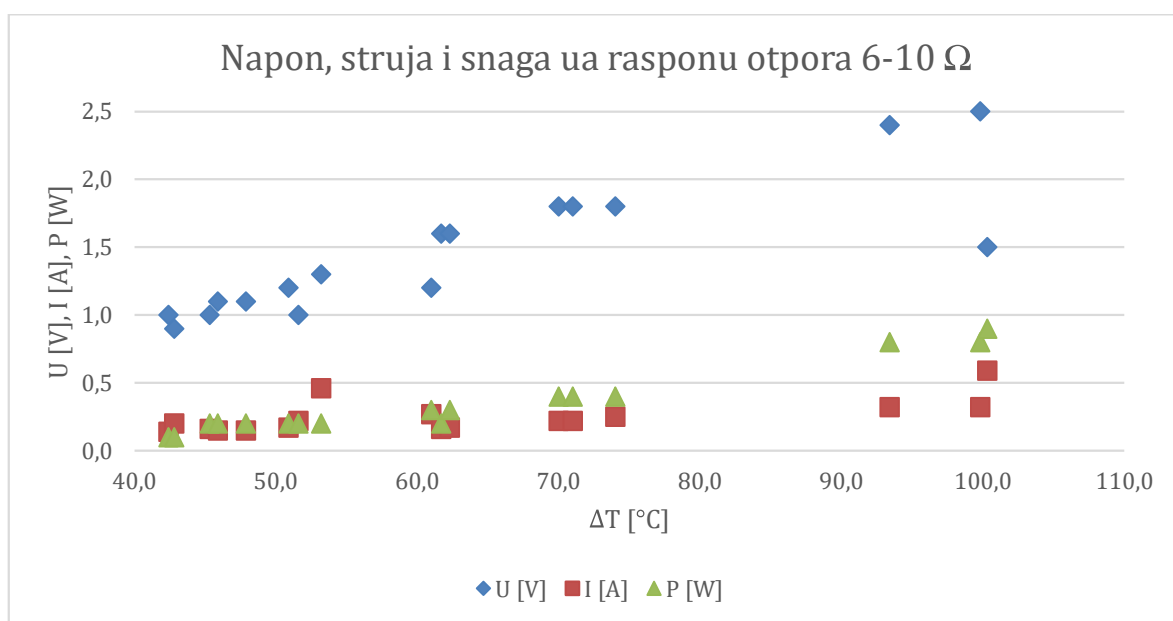


Slika 3.13 Struja kratkog spoja

Na slici 3.14 prikazan je graf napona, struje i snage u rasponu otpora od 1 do 5 [Ω], dok je slikom 3.15 prikazan graf u rasponu otpora od 6 do 10 [Ω].

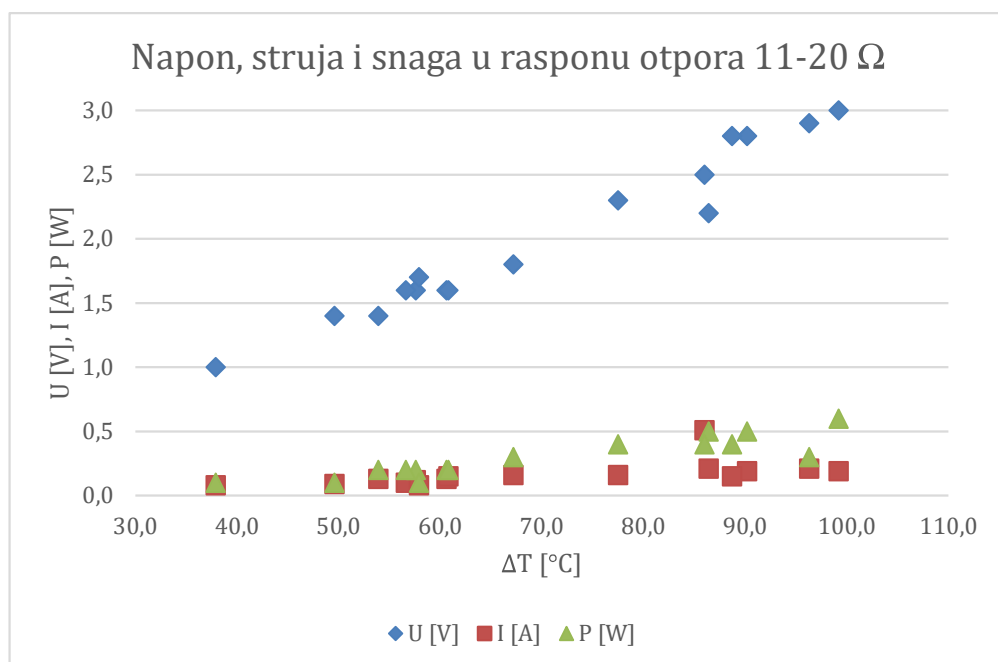


Slika 3.14 Grafraspona otpora od 1 do 5 [Ω]

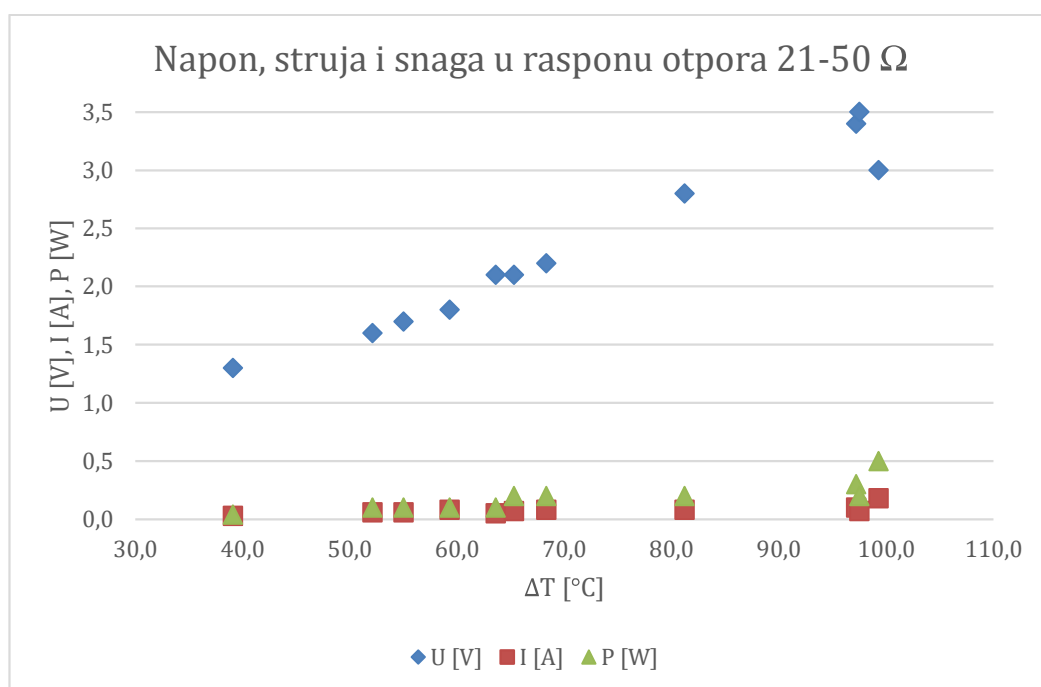


Slika 3.15 Grafraspona otpora od 6-10 [Ω]

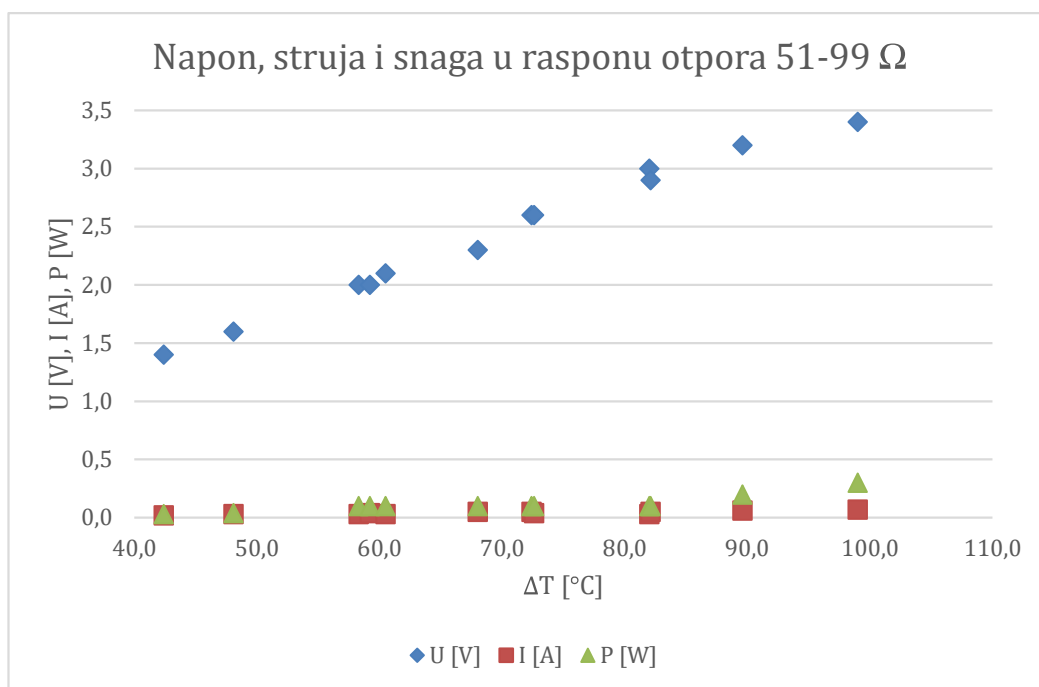
Na preostalim grafovima prikazani su rasponi otpora od 11 do 20 [Ω] na slici 3.16, raspon otpora od 21 do 50 [Ω] prikazan slikom 3.17, zatim raspon otpora od 51 do 99 [Ω] na slici 3.18. Na slici 3.19 prikazani su otpor, struja i snaga gdje je vidljivo kako su struja i snaga mali, gotovo nemjerljivi, a na slici 3.20 prikazan je napon praznog hoda.



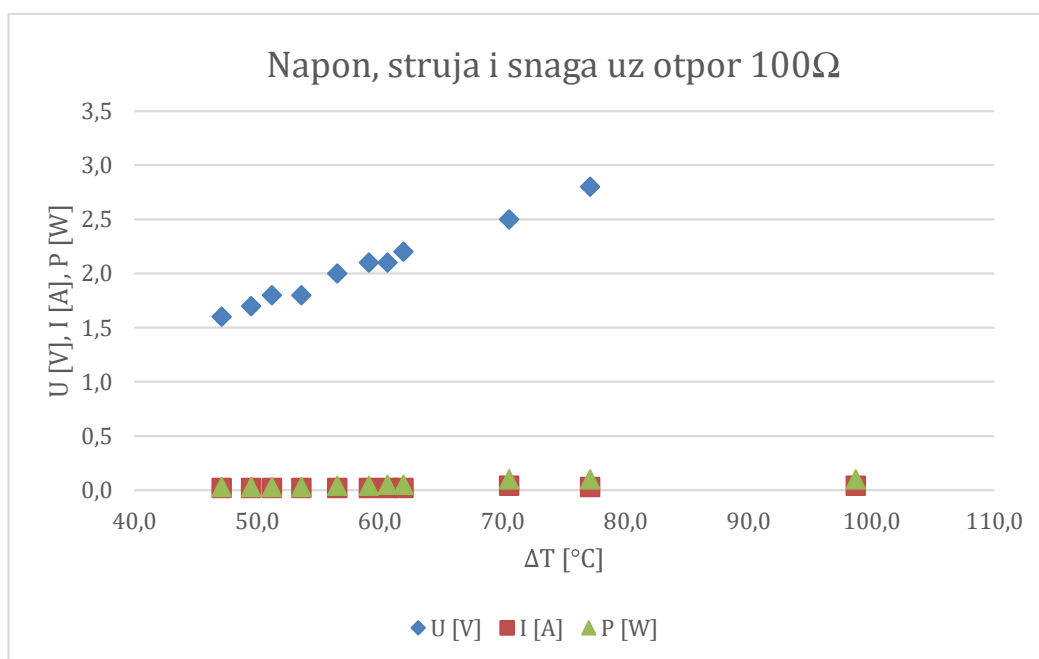
Slika 3.16 Raspon napona od 11 do 20 [Ω]



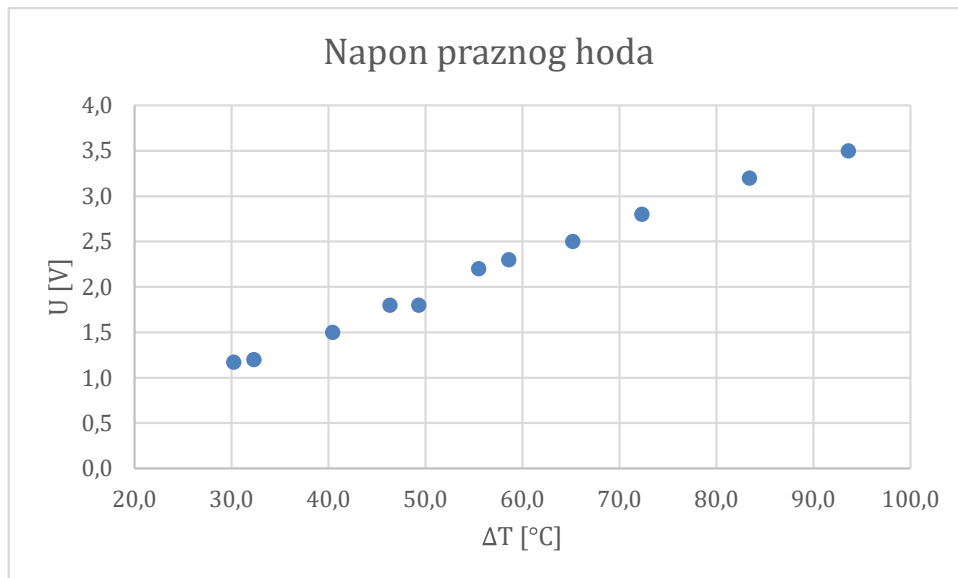
Slika 3.17 Raspon napona od 21 do 50 [Ω]



Slika 3.18 Raspon napona od 51 do 99 [Ω]

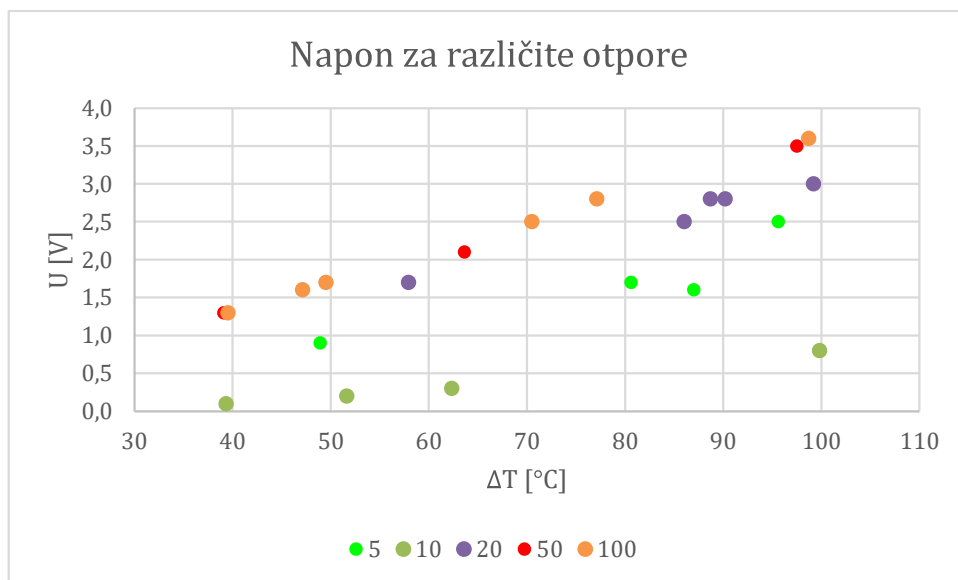


Slika 3.19 Napon, struja i snaga uz otpor od 100 [Ω]



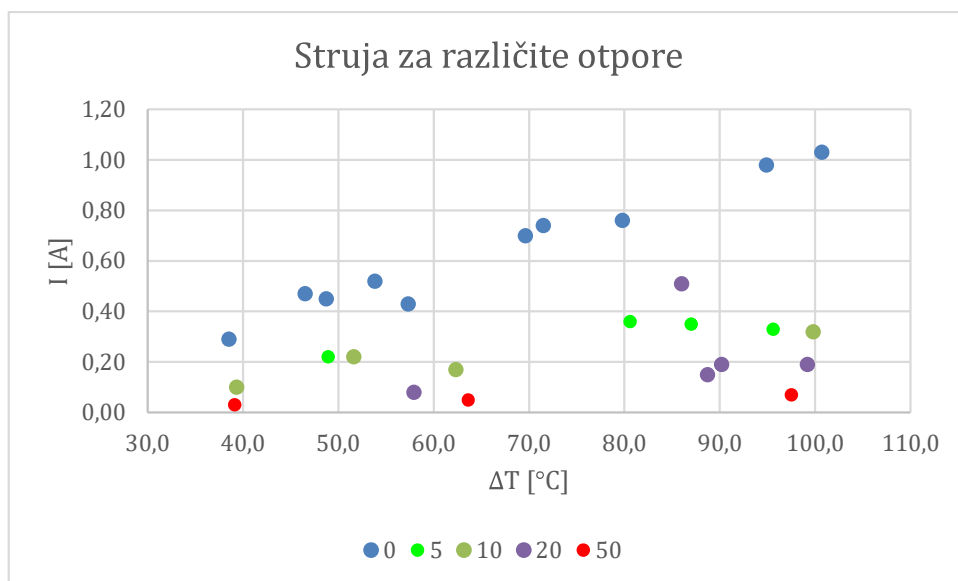
Slika 3.20 Napon praznog hoda

Nakon što su izvršena mjerenja i prikazani rezultati posebno za svaki raspon otpora, na slici 3.21 nalazi se graf na kojem su prikazani iznosi napona za različite otpore. Na slici je vidljivo kako se na višim razlikama temperature dobivaju bolji rezultati, a jednako tako naponi su viši kod većih otpora, dok se najveći napon postigne kod praznog hoda.



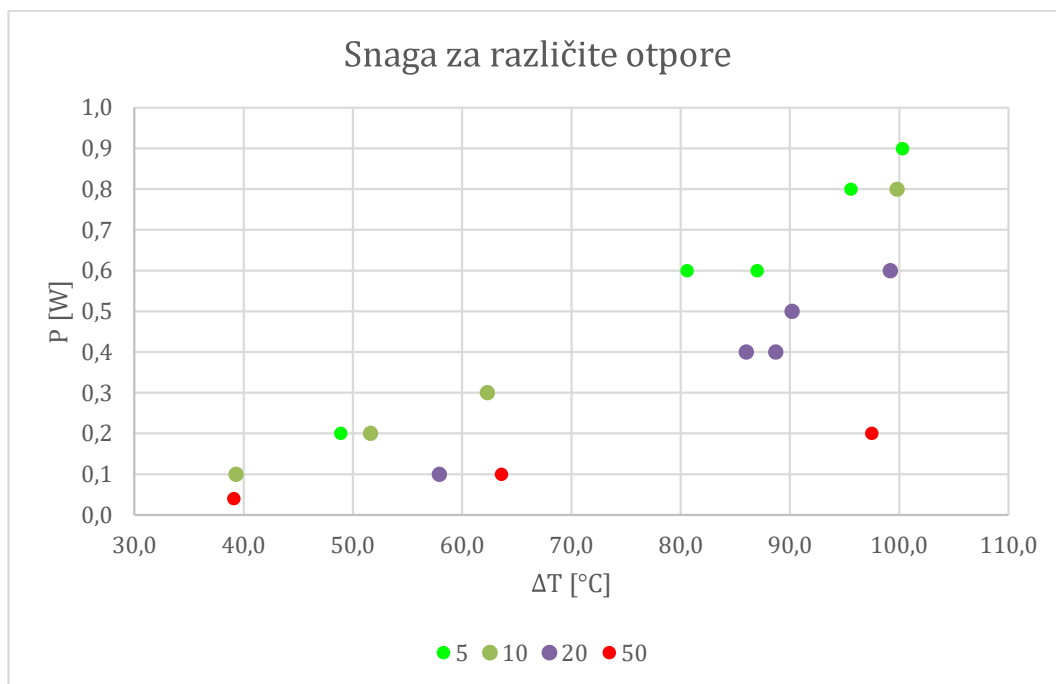
Slika 3.21 Napon kod različitih otpora

Nakon napona, na slici 3.22 nalazi se graf na kojem su prikazane struje kod različitih otpora. S porastom temperaturne razlike, raste i struja. Za razliku od napona, struje su veće kod malih otpora, a najveća struja postiže se kod kratkog spoja.



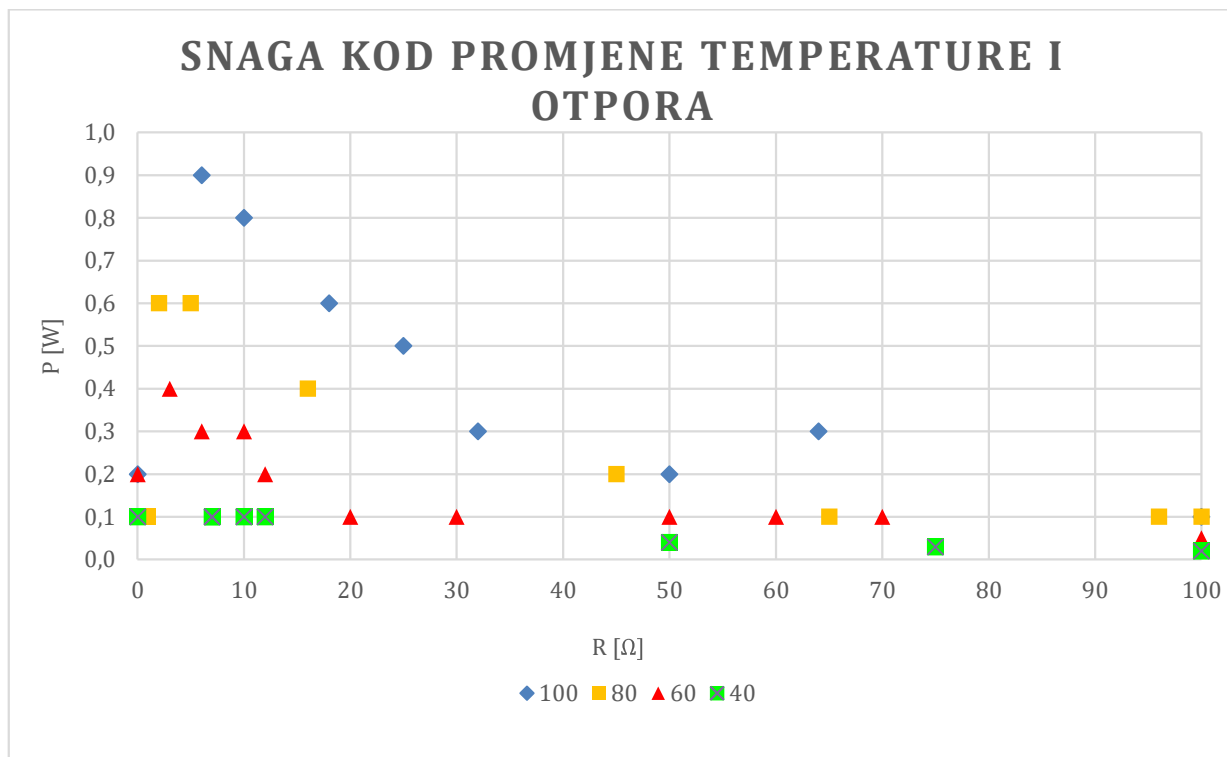
Slika 3.22 Struja za različite otpore

Na slici 3.23 prikazan je graf s iznosom snage kod različitih iznosa otpora. U prethodna dva grafa prikazano je kako rastom razlike temperature rastu napon i struja, a samim time raste i snaga. Najveća snaga postiže se kod otpora od 5 [Ω], gdje je postignuto 0.9 [W], te kod otpora od 10 [Ω] gdje je postignuto 0.8 [W].



Slika 3.23 Snaga za različite otpore

Slikom 3.24 prikazan je graf na kojem su prikazani iznosi snaga na različitim otporima, te razlikama temperature. Iz slike je vidljivo kako snaga pada, dok pada razlika temperature i raste otpor. Najveća dobivena snaga na ovom Peltierovom termogeneratoru iznosi 0.9 [W].



Slika 3.24 Snaga na različitim otporima i razlikama temperature

3.4. Vrijeme hlađenja

Cilj ovog pokusa jest praćenje hlađenja Peltierovog generatora. Peltierov termoelement koji se nalazi između dviju metalnih pločica kao i u prošlom pokusu, zagrijan je do određene temperature pomoću električnog kuhala. Na vrh je postavljena posuda s ledom. U ovome pokusu ne mjere se napon i struja, već se prate temperature hladne i tople strane, te vrijeme koje je potrebno kako bi se termoelement ohladio.

Termogenerator je zagrijan na vrlo visoku temperaturu, te se za mjerenje više temperature koristi termometar VOLTcraft 302K/J koji može mjeriti temperature od $-200\text{ [}^{\circ}\text{C]}$ do $1370\text{ [}^{\circ}\text{C]}$ prikazan slikom 3.24.



Slika 3.25 Termometar korišten u pokusu

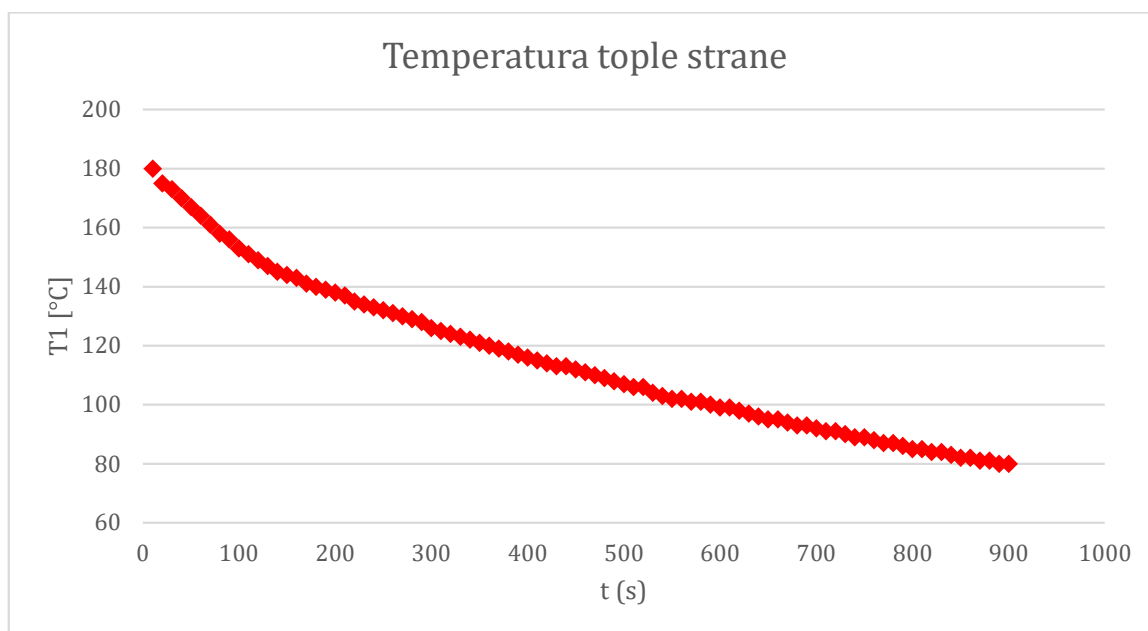
Za pokus su potrebna dva termometra, jednim se mjeri temperatura donje, odnosno vruće strane, a drugi mjeri temperaturu hladne strane. Još je potrebna štoperica koja se koristi za mjerenje vremena. U tablici 3.5 nalaze se rezultati pokusa koji traje 15 minuta, a temperature se bilježe svakih 10 sekundi.

t [s]	T1 [°C]	T2 [°C]	ΔT [°C]
10	180	33	147
20	175	35	140
30	173	38	135
40	170	39	131
50	167	41	126
60 (1 min)	164	42	122
70	161	44	117
80	158	45	113
90	156	45	111
100	153	46	107
110	151	47	104
120 (2 min)	149	47	102
130	147	46	101
140	145	45	100
150	144	45	99
160	143	44	99
170	141	44	97
180 (3 min)	140	44	96
190	139	44	95
200	138	43	95
210	137	43	94
220	135	43	92
230	134	43	91
240 (4 min)	133	43	90
250	132	43	89
260	131	43	88
270	130	43	87
280	129	43	86
290	128	42	86
300 (5 min)	126	42	84
310	125	42	83
320	124	42	82
330	123	42	81
340	122	42	80
350	121	41	80
360 (6 min)	120	41	79
370	119	41	78
380	118	41	77
390	117	41	76
400	116	41	75
410	115	40	75
420 (7 min)	114	40	74
430	113	40	73
440	113	40	73
450	112	40	72
460	111	39	72
470	110	39	71
480 (8 min)	109	39	70
490	108	39	69

t [s]	T1 [°C]	T2 [°C]	ΔT [°C]
500	107	39	68
510	106	38	68
520	106	38	68
530	104	38	66
540 (9 min)	103	38	65
550	102	37	65
560	102	37	65
570	101	37	64
580	101	37	64
590	100	37	63
600 (10 min)	99	36	63
610	99	36	63
620	98	36	62
630	97	36	61
640	96	36	60
650	95	35	60
660 (11 min)	95	35	60
670	94	35	59
680	93	35	58
690	93	35	58
700	92	34	58
710	91	34	57
720 (12 min)	91	34	57
730	90	34	56
740	89	33	56
750	89	33	56
760	88	33	55
770	87	33	54
780 (13 min)	87	33	54
790	86	33	53
800	85	33	52
810	85	32	53
820	84	32	52
830	84	32	52
840 (14 min)	83	32	51
850	82	32	50
860	82	32	50
870	81	31	50
880	81	31	50
890	80	31	49
900 (15 min)	80	31	49

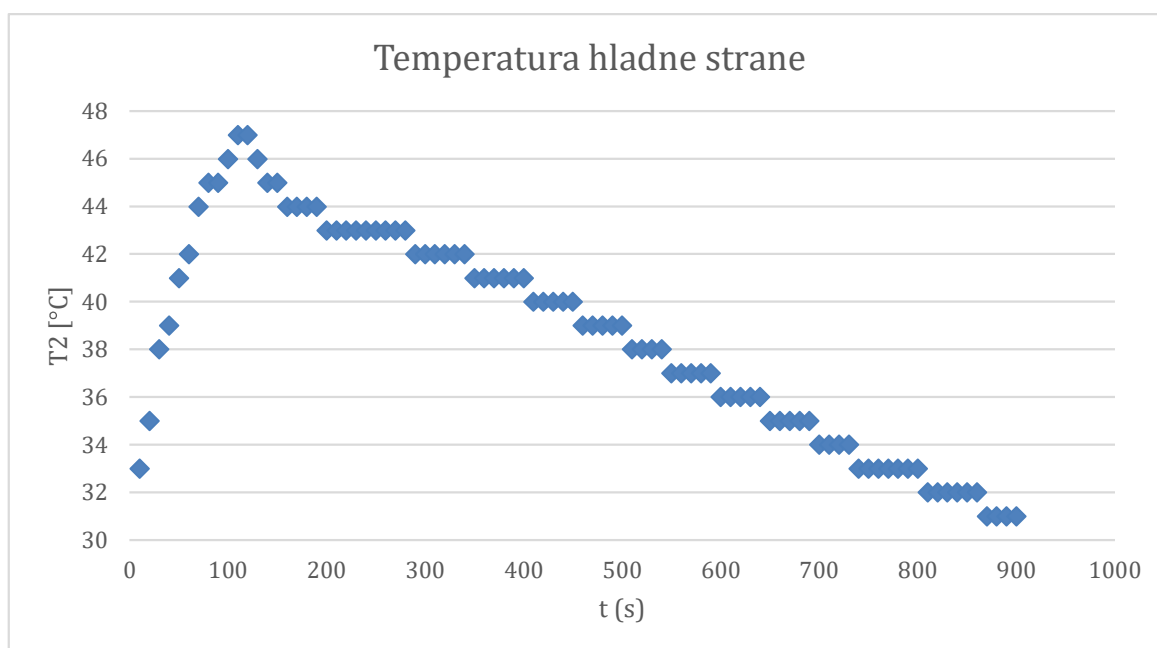
Tablica 3.5 Rezultati pokusa hlađeja

Rezultati iz tablice 3.5 mogu se prikazati grafovima, tako se na slici 3.25 nalazi graf tople strane termoelementa, odnosno njezin pad kroz vrijeme. Na početku pokusa najviša temperatura iznosi 180 [°C], a na kraju se spustila na 80 [°C].



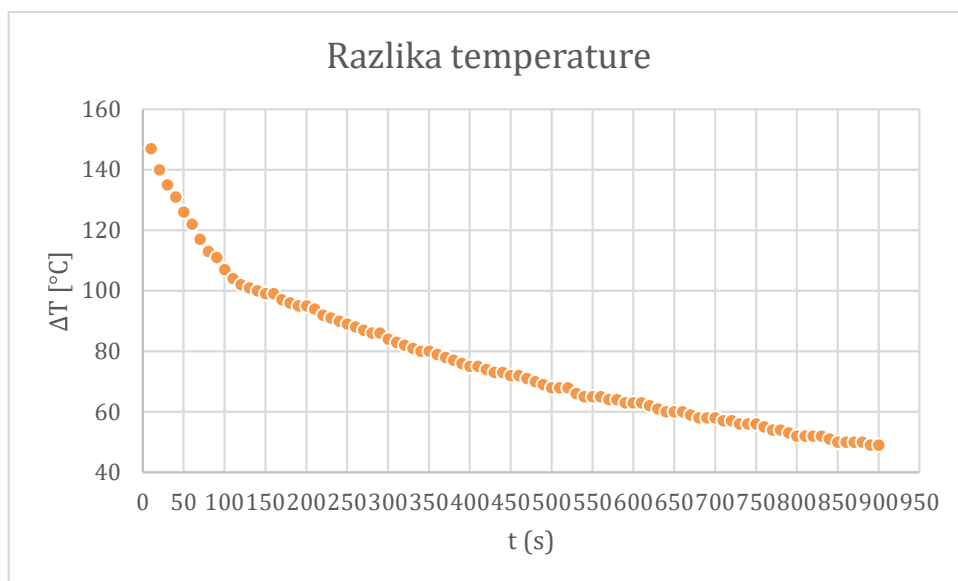
Slika 3.26 Pad temperature tople strane

Na slici 3.26 nalazi temperatura strane hladene ledom, odnosno njezina promjena kroz vrijeme. Na početku pokusa temperatura hladne strane iznosi 33 [$^{\circ}\text{C}$], nakon toga temperatura se počela penjati, a ubrzo zatim opet spuštati te je završila na 31 [$^{\circ}\text{C}$].



Slika 3.27 Promjena temperature hladne strane

Oduzimanjem iznosa niže temperature od iznosa više temperature dobiva se razlika temperature, te je ona prikazana slikom 3.27. Iz grafa, ali i tablice je vidljivo kako je najviša razlika temperature iznosila 147 [°C], dok se na kraju razlika temperature spustila na 49 [°C].



Slika 3.28 Razlika temperature kroz vrijeme

3.5. Generiranje napona pomoću automobila

U današnje vrijeme pojavljuje se sve više automobila koji koriste alternativne vrste dobivanja energije za pokretanje. Tako danas već gotovo svaki proizvođač u svojoj ponudi ima takozvani hibridni model automobila. To je vrsta automobila koja koristi benzinski, odnosno dizelski motor, te električni motor koji mogu raditi zajedno, ili mogu biti potpuno neovisni jedan o drugom. Ovaj način prikazao se vrlo korisnim kod snižavanja potrošnje goriva, te podizanja ekonomičnosti. Stoga ih danas ne nalazimo samo u običnim automobilima, već sve veću primjenu imaju i u takozvanim superautomobilima koji imaju veliku snagu, postižu velike brzine i koštaju nekoliko stotina tisuća, čak i nekoliko milijuna eura.

Drugi način pokretanja automobila je potpuno električni motor, koji zadnjih godina sve više dobiva na značaju, te se pojavljuje sve više automobila s električnim pogonom. Najveći problem kod električnog pogona jest doseg bez punjenja. Taj doseg se još uvijek ne može mjeriti s automobilima s benzinskim ili dizelskim motorima, ali i taj doseg koji je na početku bio nekoliko desetaka kilometara danas je razvijen na nekoliko stotina kilometara. Razvojem tehnologije postoji velika nada kako će se električni motor moći nositi s benzinskim i u tom segmentu.

Sve veći problemi s ekologijom nagnali su znanstvenike na razvijanje još nekih načina za pokretanje automobila. Tako se razvijaju automobili na solarni pogon, te pogon pomoću vodika, ali ti načini još puno zaostaju za nabrojenim načinima, te barem za sada nemaju širu primjenu. U bližoj budućnosti navedeni ili neki drugi načini za pogon automobila mogu sadašnje stanje znatno promijeniti.

Najpoznatija vrsta pogona koja se koristi zadnjih stotinjak godina jest pogon pomoću fosilnih goriva, odnosno prerađeni produkti iz nafte, benzin i dizel. Njih koriste takozvani motori s unutarnjim izgaranjem, gdje se može dobiti velika snaga te pomoću jednog punjenja automobili prelaze nekoliko stotina kilometara, neki čak i preko tisuću. Najveći problem kod njih jest zagađenje koje se eksponencijalnim rastom broja automobila u svijetu svake godine, drastično podiže. Ovakva vrsta pogona koristi se kod velike većine automobila.

Kod svih nabrojanih načina pogona automobila, dolazi do zagrijavanja dijelova, te ta toplina odlazi neiskorištena. Jednostavnim načinom može se odbačena energija pretvoriti u korisnu, to jest može se dobiti električna energija koja može produljiti rad elektromotora, ili se može koristiti za rad nekih električnih pomagala u automobilu, kojih je u suvremenim automobilima sve više.

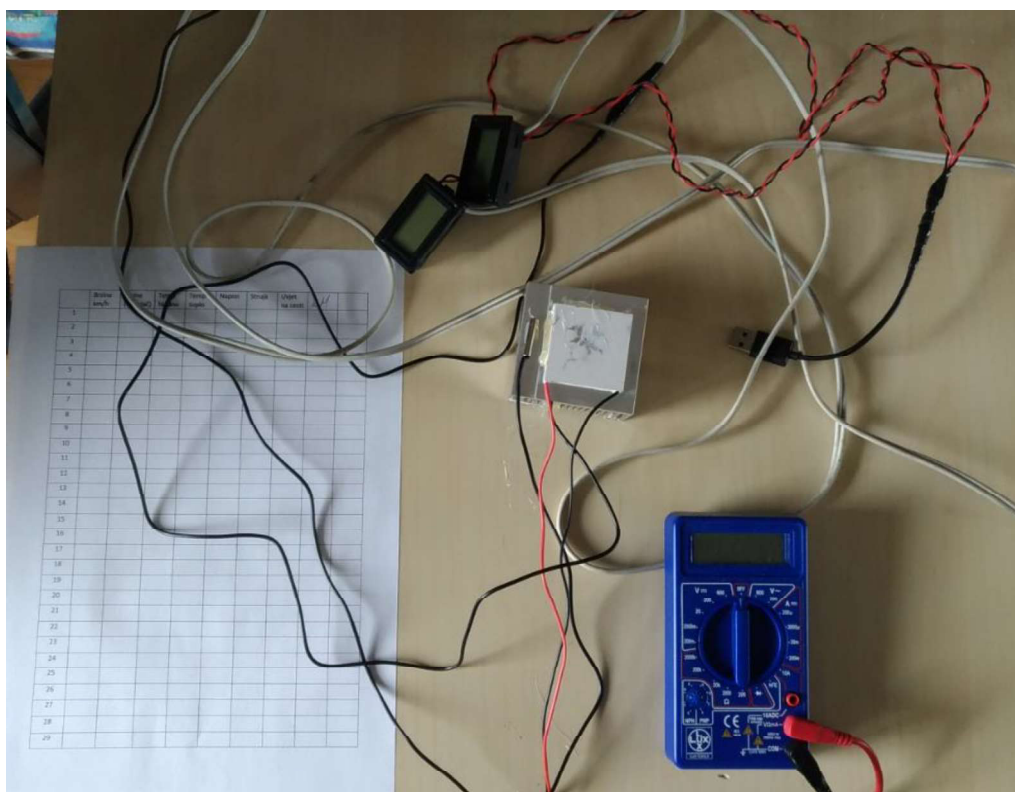
Za ovaj pokus koristit će se motor s unutarnjim izgaranjem kod kojeg postoji puno mjesta koje se zagrijevaju.

Benzin je zapaljiva tekućina, te se princip rada motora s unutarnjim izgaranjem temelji na kontroliranim eksplozijama koje kemijsku energiju goriva pretvara u toplinsku, stoga dolazi do

zagrijavanja motora. Motor se prilikom vožnje zagrijava na stotinjak stupnjeva Celzija. Izgaranjem goriva dolazi do produkta izgaranja, koji se nazivaju ispušni plinovi. Ispušni plinovi iz motora odvođeni se pomoću ispušne cijevi, koja se uslijed vrućih plinova koji njome prolaze zagrijava.

Postoji još mjesta na automobilu koja se zagrijavaju kod vožnje, ali za ovaj pokus bitna je ispušna cijev, na koju će se montirati Peltierov generator, gdje će se pokušati dobiti električna energija iz toplinske koja prolazi ispušnom cijevi.

U pokusu će se promatrati temperature koje se postižu na samoj cijevi pomoću termometara, kojima su za ovaj pokus produžene žice, kako bi mogli mjeriti temperaturu tijekom vožnje. Također je dodan i USB kabel kako bi se termometri napajali u autu. Napon će se mjeriti multimetrom, koji je spojen na Peltierov generator, koji je pričvršćen na ispušni lonac automobila. Također je za pokus potrebna tablica za bilježenje rezultata, a svi dijelovi potrebni za pokus prikazani su slikom 3.29.



Slika 3.29 Elementi korišteni u pokusu

Nakon priprema elemenata, odnosno produživanja žica, Peltierov termoelement koji je montiran na hladnjak, postavljen je na ispušni lonac automobila, što je prikazano slikom 3.30. Kako bi generator ostao na mjestu, te kako ne bi otpao tijekom vožnje, pričvršćen je na dva mjesta pomoću žice.



Slika 3.30 Peltierov generator montiran na ispušni lonac

Kablovi termometara i voltmetra smještaju se u unutrašnjost automobila kroz zadnja vrata i dovode do središnje konzole gdje su smješteni voltmetar i termometri koji se napajaju iz utičnice u automobilu, što je prikazano na slici 3.31.



Slika 3.31 Smještanje termometara u automobil

Nakon što su svi elementi smješteni i upaljeni kreće se s izradom pokusa.

Vremenski uvjeti kod provođenja pokusa:

Vrijeme: 12:00 h

Temperatura zraka: 24 [°C],

Vlažnost zraka: 38 %,

Tlak zraka: 1000 [hPa],

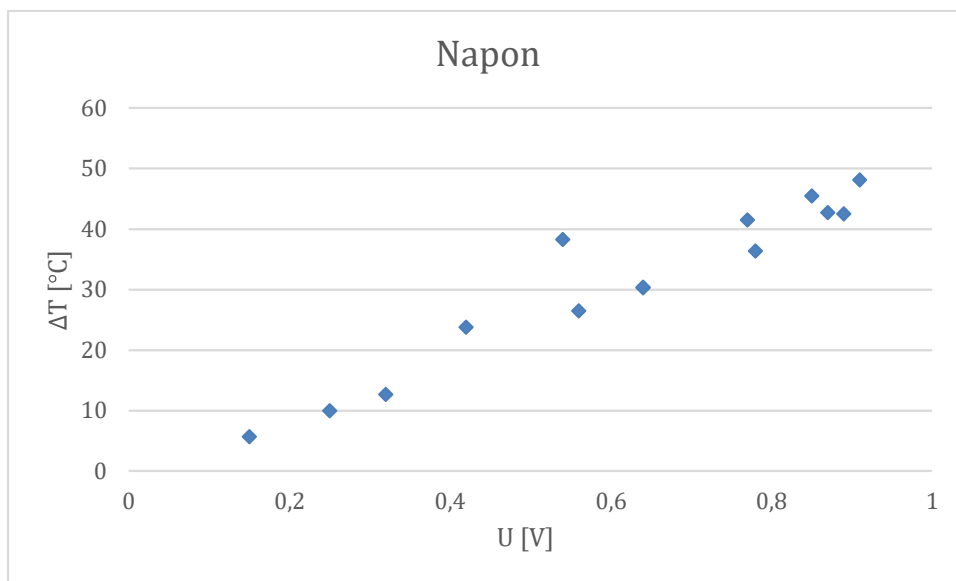
Vjetar: 18 km/h sjever (S).

Pokus se izvršava tako da se u tablicu 3.6 bilježe brzina vožnje automobila, zatim stupanj prijenosa u kojem se automobil nalazi. Očitavaju se temperature sa obje strane Peltierovog generatora, odnosno s toplije i hladnije strane. Očitava se napon na stezaljkama generatora, prijeđeni kilometri, te uvjet na cesti, pod što se razumijeva da li se automobil kreće po ravni, uzbrdici ili nizbrdici.

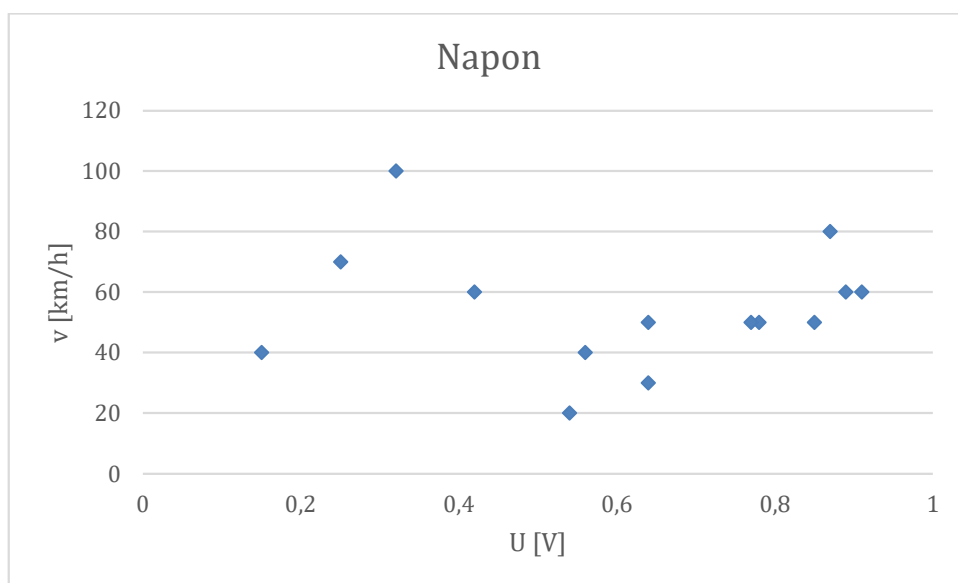
	Brzina [km/h]	Stupanj prijenosa	T1 [°C]	T2 [°C]	ΔT [°C]	Napon [V]	KM	Uvjeti ceste
1	40	3	31.2	25.5	5.7	0.15	0.5	ravno
2	70	4	36	26	10	0.25	1.3	ravno
3	100	5	40.1	27.4	12.7	0.32	2	ravno
4	60	3	52	28.2	23.8	0.42	2.5	ravno
5	40	2	57.3	30.8	26.5	0.56	3.4	uzbrdica
6	30	2	63.1	32.8	30.3	0.64	4	nizbrdica
7	50	3	63.4	33	30.4	0.64	4.5	uzbrdica
8	50	2	70.6	34.2	36.4	0.78	5	Uzbrdica
9	60	4	85.1	37	48.1	0.91	5.5	ravno
10	80	4	83.4	40.7	42.7	0.87	6.5	ravno
11	60	3	83	40.5	42.5	0.89	7	ravno
12	50	2	88.4	42.9	45.5	0.85	7.8	nizbrdica
13	50	3	83.6	42.1	41.5	0.77	8	nizbrdica
14	20	2	81.3	43	38.3	0,54	8.3	nizbrdica

Tablica 3.6 Rezultati pokusa automobilom

Rezultati pokusa prikazani su pomoću grafova, tako slika 3.32 prikazuje napon kod razlike temperature, a slika 3.33 prikazuje graf napona s obzirom na brzinu vožnje.



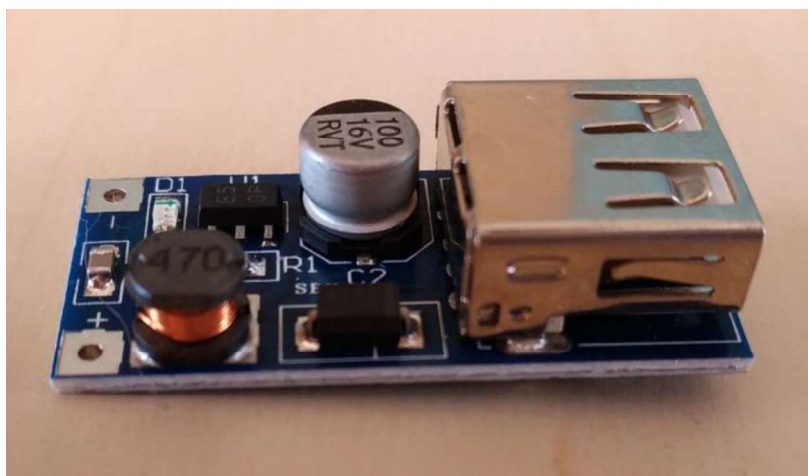
Slika 3.32 Napon kod razlike temperature



Slika 3.33 Napon kod različite brzine vožnje

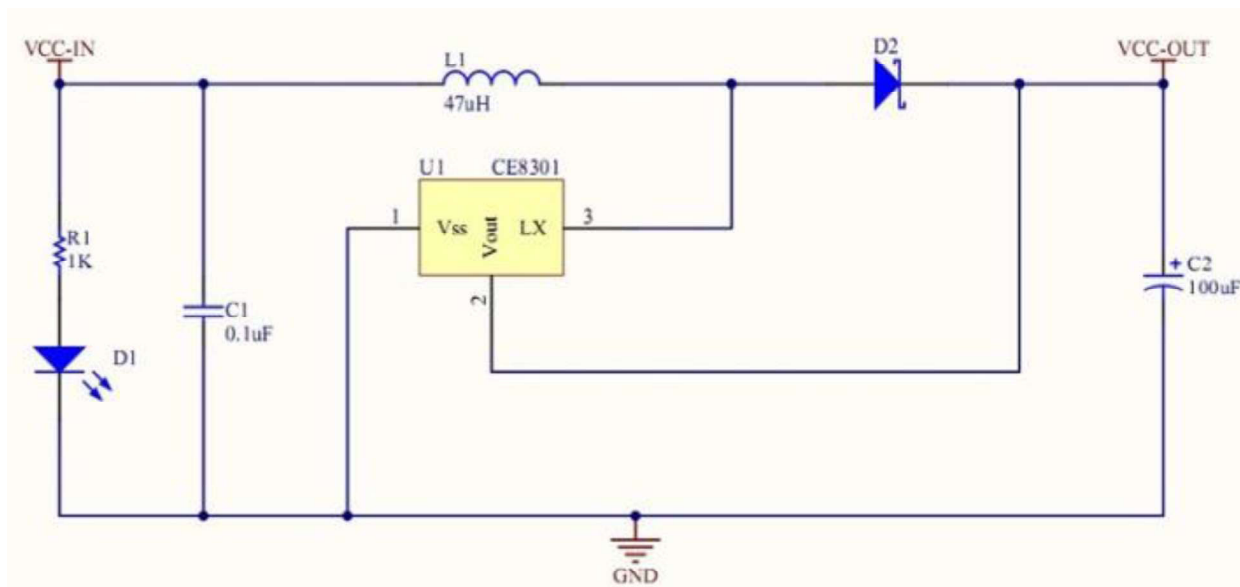
3.6. Peltierov punjač za mobitel

Kao što je već prikazano prijašnjim pokusima Peltierovim generatorom kada se s jedne strane grije, a s druge strane hladi može se dobiti napon. Kako se razlika temperatura hladne i tople strane povećava, tako se i dobiveni napon podiže. Za punjenje mobitela potreban nam je napon iznosa 5 [V]. Prema uputama koje su došle s Peltierovim generatorom, za dobivanje napona od 5 [V] potrebna je razlika temperature veća od 100 [°C], s obzirom da se prema tim podacima na temperaturnoj razlici od 100 [°C] može postići napon od 4.8 [V]. Kako bi se mogao dobiti napon od 5 [V], na mnogo nižim temperaturama, koristi se step-up DC-DC pretvarač prikazan slikom 3.34.



Slika 3.34 Pojačalo napona

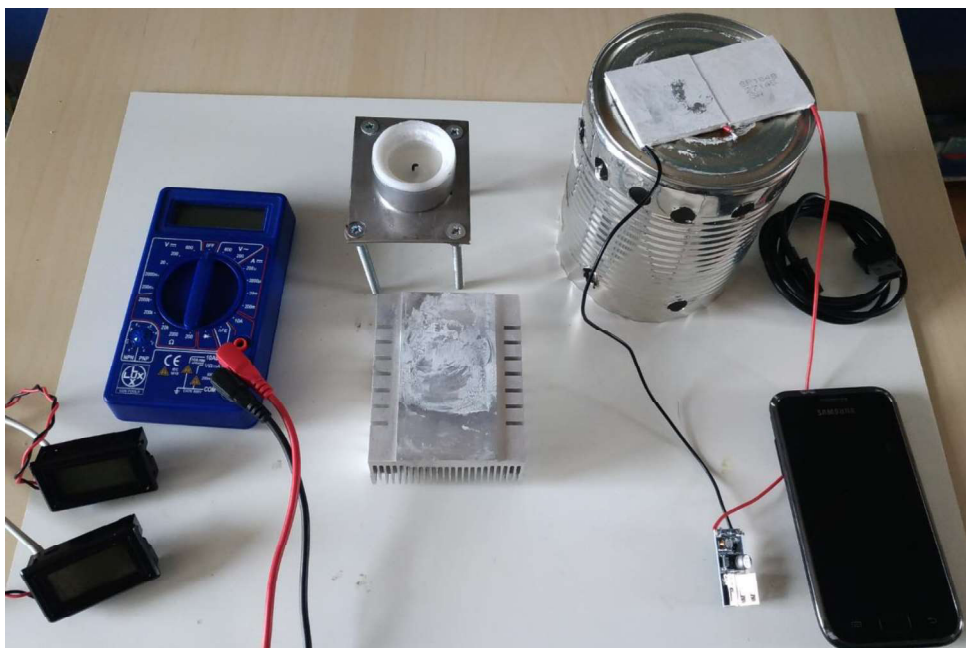
To je sklop koji istosmjerni napon od 0.9 [V] diže na istosmjerni napon od 5 [V], te ga stabilizira na 5 [V]. Također na sebi sadrži USB priključak koji olakšava spajanje punjača. Shema spoja elemenata koji se nalaze u pretvaraču prikazan je slikom 3.35.



Slika 3.35 Shema pojačala [18]

Iz sheme je vidljivo kako se sklop sastoji od kondenzatora snage 0.1 [μF] označen s C1, zatim kondenzator snage 100 [μF] na slici označen s C2, LED dioda označena s D1, zavojnica snage 47 [μF] označena s L1, Schottky dioda oznake D2, te otpornik označen s R1. [18]

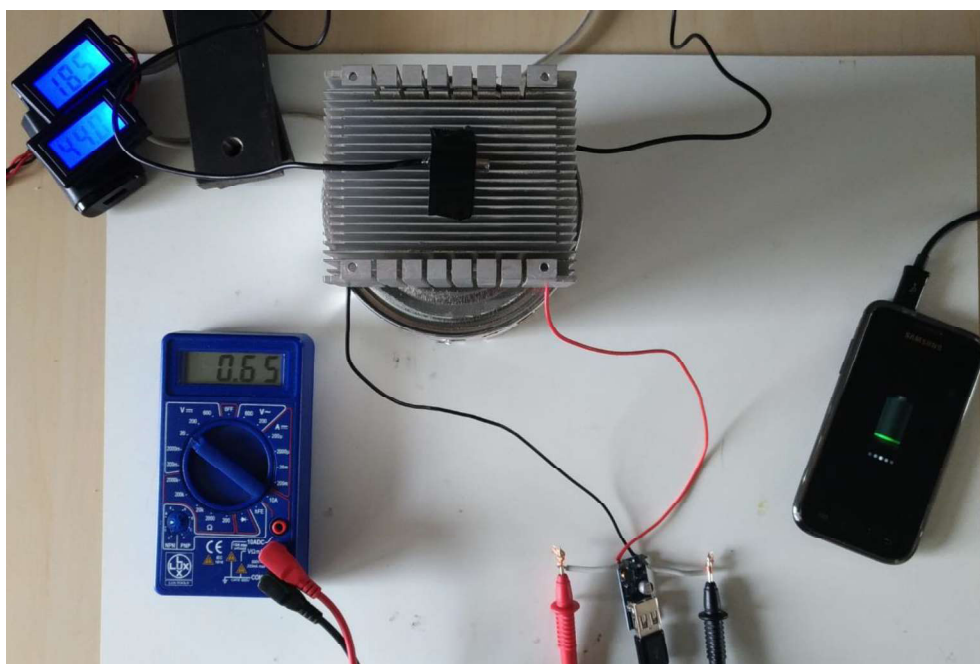
U pokusu će se koristiti dva Peltierova generatora koji se spojeni u seriju. S gornje strane postavlja se hladnjak koji je zadužen za odvajanje topline, to jest hlađenje gornje strane. Za zagrijavanje se koristi svijeća, dok će se temperatura mjeriti pomoću dva termometra. Jedan mjeri hladnu stranu, a drugi toplu stranu. Voltmetrom se mjeri koliki napon treba postići kako bi se mobitel počeo puniti. Mobitel se pomoću punjača spaja na pojačalo koje je spojena na krajeve Peltierovog generatora. Elementi koji će se koristiti u pokusu prikazani su slikom 3.36.



Slika 3.36 Elementi koji će se koristiti u pokusu

S obzirom da je potrebno postići otprilike 0.9 [V], kako bi se mobitel počeo puniti, potrebna je razlika temperature od otprilike 20 [°C].

Nakon što je temperatura s toplije strane porasla na 44 [°C], a hladnija strana ostala na sobnih 18.5 [°C], što je razlika od 25.5 [°C] dobiven je napon od 0.65 [V] po elementu što je bilo dovoljno kako bi mobitel započeo s punjenjem, što je vidljivo na slici 3.37.



Slika 3.37 Mobitel se počinje puniti

4. Zaključak

Cilj ovog praktičnog rada bio je testiranje mogućnosti jeftinog i lako dostupnog Peltierovog termoelementa. Pokusi su pokazali da se testirani element može vrlo jednostavno i efikasno primijeniti za hlađenje ili zagrijavanje temperature od $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. U primjeni kao termoelektrični generator pri razlici temperature od $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ postignuta je snaga od $0,6\text{ W}$. To i nije mnogo, ali uz pretpostavku izvora otpadne topline spajanjem više modula mogu se postići snage za napajanje manjih elektroničkih uređaja. Budući da su moduli malih dimenzija, uz pretpostavku dobivanja $0,5\text{ W}$ po elementu, može se npr. na površinu 1 m^2 smjestiti barem 500 elemenata i dobiti snaga oko 250 W . Ako bi se složilo takvih desetak slojeva uz izvedeno hlađenje i grijanje između slojeva razmaka 2 cm , ukupna visina bi bila 20-tak cm . Tako bi termoelektrični generator ukupnog volumena $0,2\text{ m}^3$ mogao dati snagu $2,5\text{ kW}$ što je dovoljno za jedno prosječno kućanstvo. Testiranje na ispušnom sustavu automobila pokazuje da se i ovdje mogu spajanjem više elemenata dobiti energije iskoristive za napajanje ili pomoćno napajanje elektro-komponenti automobila.

U Varaždinu, 27. 6. 2017. godine

Vinko Matija
Matija Vinko

5. Literatura

- [1] https://hr.wikipedia.org/wiki/Termoelektrični_generator, dostupno 25.01.2017.
- [2] Šumiga, Grđan, Huđek: Termoelektrični moduli – Fizikalne osnove i smjernice za uporabu, Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, 2007.
- [3] Piotr Dziurdzia: Modeling and Simulation of Thermoelectric Energy Harvesting Processes, AGH University of Science and Tecnology in Cracow, Poland, 2011
- [4] A. Bilušić, A. Smontara: „Što su i kako se istražuju termoelektrični materijali?“, Stručni skup „20. ljetna škola mladih fizičara“, Zbornik radova, Zagreb: Hrvatsko fizikalno društvo, 2004.
- [5] <https://www.alphabetenergy.com/media/advances-powerblocks-infographic.jpg>, dostupno 01.02.2017
- [6] <http://thermoelectrics.matsci.northwestern.edu/thermoelectrics/index.html>,dostupno 04.04.2017.
- [7] Saniya LeBlanc: Sustainable Materials and Tecnologies, Washington, 2014
- [8] https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/13_Napredne_pretvorbe_2014.pdf, dostupno 01.02.2017
- [9] http://gadgets.in.com/uploads/2010/08/thanko_usb_can_cooler_1.jpg?x78359, dostupno 01.02.2017
- [10] Jeffrey Snyder: Small Thermoelectric Generators, The Electrochemical Society, Fall 2008., str. 54-56
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Seebeck_coefficient, dostupno 26.01.2017.
- [12] http://www.wikiwand.com/en/Seebeck_coefficient, dostupno 27.01.2017.
- [13] http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/nas/tehnika_hladjenja_07/17_Termoelektricno_hladjenje.pdf, dostupno 30.01.2017.
- [14] Marijan Španer: „Uporaba Peltier-ovega elementa pri laboratorijski termostatskoj napravi“, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru, Maribor.
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/Jean_Charles_Athanase_Peltier, dostupno 30.01.2017.
- [16] <http://www.ebay.com/itm/New-Thermoelectric-Power-Generator-Peltier-Module-TEG-40-40mm-High-Temperature-/181975508417>, dostupno 01.02.2017.

- [17] http://rimstar.org/science_electronics_projects/peltier_effect_module_cooling_efficiency_test.htm, dostupno 01.02.2017.
- [18] http://www.ebay.com/itm/322322000651?_trksid=p2060353.m2749.l2649&ssPageName=STRK%3AMEBIDX%3AIT, dostupno 01.02.2017.

Popis slika

Slika 2.1 Peltierov termoelement.....	4
Slika 2.2 Termoelementi smješteni između dvije keramičke pločice [3], Izvor: Piotr Dziurdzia: Modeling and Simulation of Thermoelectric Energy Harvesting Processes, AGH University of Science and Tecnology in Cracow, Poland, 2011	4
Slika 2.3 Sklop od dva različita metala [4], Izvor: A. Bilušić, A. Smontara: „Što su i kako se istražuju termoelektrični materijali?“, Stručni skup „20. ljetna škola mladih fizičara“, Zbornik radova, Zagreb: Hrvatsko fizikalno društvo, 2004	5
Slika 2.4 Cijena i iskorištenost elemenata [5], Izvor: https://www.alphabetenergy.com/media/advances-powerblocks-infographic.jpg , dostupno 01.02.2017.....	7
Slika 2.5 ZT faktor elemenata na različitim temperaturama[6], Izvor: http://thermoelectrics.matsci.northwestern.edu/graphics/thermoelectrics/n-zT-Big.jpg , dostupno 04.04.2017.....	8
Slika 2.6 Koraci izrade termoelektričnog modula [7], Izvor: Saniya LeBlanc: Sustainable Materials and Tecnologies, Washington, 2014.....	9
Slika 2.7 Unutrašnjost termoelektričnog modula[7], Izvor: Saniya LeBlanc: Sustainable Materials and Tecnologies, Washington, 2014.....	9
Slika 2.8 Hlađenje elektroničkih sklopova[8], Izvor: https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/13_Napredne_pretvorbe_2014.pdf , dostupno 01.02.2017.....	10
Slika 2.9 Prijenosni hladnjak[9], Izvor: http://gadgets.in.com/uploads/2010/08/thanko_usb_can_cooler_1.jpg?x78359 , dostupno 01.02.2017.....	10
Slika 2.10 Termogenerator ugrađen na ispušni sustav [10], Izvor: Jeffrey Snyder: Small Thermoelectric Generators, The Electrochemical Society, Fall 2008., str. 55	11
Slika 2.11 Seebeckov efekt [2], Izvor: Izvor: Šumiga, Grđan, Huđek: Termoelektrični moduli – Fizikalne osnove i smjernice za uporabu, Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, 2007	12
Slika 2.12 Jean Charles Athanese Peltier [15], Izvor: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/24/Jean_Charles_Athanase_Peltier.jpg/220px-Jean_Charles_Athanase_Peltier.jpg , dostupno 30.01.2017	15
Slika 3.1 Peltierov termoelement koji će se koristiti za ispitivanja.....	16
Slika 3.2 Svih 10 elemenata	17

Slika 3.3 Termometar s LCD zaslonom	18
Slika 3.4 Digitalni multimetar	18
Slika 3.5 Elementi za pokus	19
Slika 3.6 Tijek pokusa hlađenja.....	20
Slika 3.7 Led na elementu	21
Slika 3.8 Elementi za grijanje	22
Slika 3.9 Najviša temperatura postignuta grijanjem.....	23
Slika 3.10 Elementi koji se koriste u pokusu.....	24
Slika 3.11 Tijek pokusa generiranja napona i struje.....	25
Slika 3.12 Unutarnji otpor termogeneratora	28
Slika 3.13 Struja kratkog spoja	28
Slika 3.14 Graf raspona otpora od 1 do 5 [Ω]	29
Slika 3.15 Graf raspona otpora od 6-10 [Ω]	29
Slika 3.16 Raspon napona od 11 do 20 [Ω].....	30
Slika 3.17 Raspon napona od 21 do 50 [Ω].....	30
Slika 3.18 Raspon napona od 51 do 99 [Ω].....	31
Slika 3.19 Napon, struja i snaga uz otpor od 100 [Ω]	31
Slika 3.20 Napon praznog hoda.....	32
Slika 3.21 Napon kod različitih otpora.....	32
Slika 3.22 Struja za različite otpore.....	33
Slika 3.23 Snaga za različite otpore.....	33
Slika 3.24 Snaga na različitim otporima i razlikama temperature.....	34
Slika 3.25 Termometar korišten u pokusu.....	35
Slika 3.26 Pad temperature tople strane	38
Slika 3.27 Promjena temperature hladne strane	38
Slika 3.28 Razlika temperature kroz vrijeme	39
Slika 3.29 Elementi korišteni u pokusu	41
Slika 3.30 Peltierov generator montiran na ispušni lonac	42
Slika 3.31 Smještanje termometara u automobil	42
Slika 3.32 Napon kod razlike temperature	44
Slika 3.33 Napon kod različite brzine vožnje.....	44
Slika 3.34 Pojačalo napona.....	45
Slika 3.35 Shema pojačala[18], Izvor: http://www.ebay.com/itm/322322000651?_trksid=p2060353.m2749.l2649&ssPageName=STRK%3AMEBIDX%3AIT , dostupno 01.02.2017	46

Slika 3.36 Elementi koji će se koristiti u pokusu	47
Slika 3.37 Mobitel se počinje puniti	47

Popis tablica

Tablica 2.1 Tablica Seebeckovih koeficijenata za različite metale [12], Izvor:

http://www.wikiwand.com/en/Seebeck_coefficient , dostupno 30.01.2017	13
Tablica 3.1 Propisane vrijednosti u idealnim uvjetima	17
Tablica 3.2 Rezultati mjerenja	21
Tablica 3.3 Rezultati mjerenja	23
Tablica 3.4 Rezultati mjerenja	27
Tablica 3.5 Rezultati pokusa hladeja	37
Tablica 3.6 Rezultati pokusa automobilom	43

Sveučilište
SjeverSVEUČILIŠTE
SJEVERIZJAVA 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, MATIJA VINKO (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PRIMJENA PELTIEROVIH ELEMENATA (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Vinko Matija

(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, MATIJA VINKO (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom PRIMJENA PELTIEROVIH ELEMENATA (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Vinko Matija

(vlastoručni potpis)