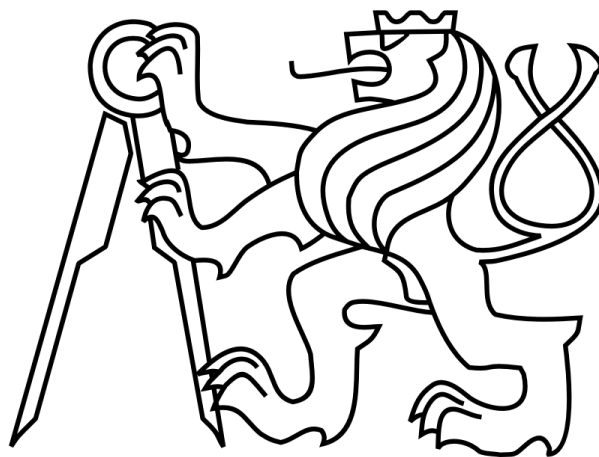


**České vysoké učení technické v Praze**  
**fakulta elektrotechnická**  
**katedra mikroelektroniky**



**Bakalářská práce**

**Porovnání účinností Peltierových článků v jednotlivých  
režimech činnosti**

**Autor:** Matěj Adolf

**Vedoucí práce:** Ing. Lubor Jirásek, CSc.

**2018**



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Adolf** Jméno: **Matěj** Osobní číslo: **434922**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra mikroelektroniky**  
Studijní program: **Komunikace, multimédia a elektronika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektronika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Porovnání účinností Peltierových článků v jednotlivých režimech činnosti**

Název bakalářské práce anglicky:

**Comparison of Peltier Cell Efficiency in Each Mode of Operation**

Pokyny pro vypracování:

1. Prostudujte lit. týkající se vlastností termoelektrických chladicích článků a článků generujících elektrickou energii.
2. Na základě dle 1) navrhnete pracoviště a přípravek pro měření účinnosti Peltierových článků s využitím dostupných laboratorních přístrojů.  
Využijte přípravek vytvořený v průběhu projektů IN1 a IN2.
3. Proveďte podrobné ověřovací měření navržené soustavy v závislosti na výkonu dodávaného do článku resp. odebíraného z článku, zjistěte rozsah teplot v jakém je možné články používat. Určete účinnost článků v jednotlivých režimech práce.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky. Porovnejte s dostupnými výsledky v literatuře. Zhodnoťte možné nedostatky soustavy.
5. Navrhnete možná další řešení.
6. Přípravek zůstane v majetku zadavatele.
7. Publikování výsledků je možné jen se souhlasem zadavatele.

Seznam doporučené literatury:

- [1] ANATYCHUK, L. I. Current status and some prospects of thermoelectricity. Journal of Thermoelectricity. 2007, part 1, s. 7-20. ISSN 1607-8829. Dostupný z WWW: <[ect2007.its.org/system/files/u1/pdf/04.pdf](http://ect2007.its.org/system/files/u1/pdf/04.pdf)>.  
[2] GROMOV, G.: Thermoelectric cooling modules. RMT, [cit. 2016-02-15]. Dostupný z WWW: [http://rmtitd.ru/docs/technology/publications/Thermoelectric\\_Cooling\\_Modules.pdf](http://rmtitd.ru/docs/technology/publications/Thermoelectric_Cooling_Modules.pdf)

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Lubor Jirásek, CSc., katedra mikroelektroniky FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **09.02.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

Ing. Lubor Jirásek, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta



# Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci Porovnání účinností Peltierových článků v jednotlivých režimech činnosti zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a používal jsem pouze literaturu uvedenou na konci práce. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne 15.05.2018.

-----  
Matěj Adolf



## Poděkování

Děkuji Ing. Luborovi Jiráskovi, CSc. za pomoc při vedení bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu při studiu.





## Anotace

Předložená práce se zabývá termoelektrickými články, vysvětluje základní principy jejich funkce a popisuje nezbytnou teorii popisující jevy s nimi spojené. V druhé části dále popisuje reálné články, popisuje rozdíly mezi nimi a jejich reálnou konstrukci. Dále navrhuje sestavu pro měření účinnosti v jednotlivých režimech činnosti těchto článků, popisuje postup při měření těchto účinností a hodnotí naměřené hodnoty. Poslední část je zaměřená na zhodnocení měření, popis problémů, které při měření nastaly a dále jsou v práci navrženy zlepšení této sestavy pro dosažení vyšší přesnosti při dalším využití.

## Abstract

This bachelor thesis focuses on thermoelectric elements, explains the elementary principles of their function and provides the theory of the associated physical phenomena. Furthermore, existing thermoelectric elements, differences between them and their construction are described. A kit for the measurement of efficiency in the individual operating modes of these elements is described, as well as the procedures for measuring these efficiencies and evaluating the measured values. Lastly, this thesis focuses on the evaluation of the measurement, provides the that occurred during the measurements and proposes the possibilities of improving the assembly to achieve higher accuracy in further use.



# Obsah

1. Úvod.....	15
2. Fyzikální jevy spojené s Peltierovými články.....	16
2.1 Seebeckův jev .....	16
2.2 Peltierův jev .....	17
3. Reálné Peltierovy články.....	18
3.1 Konstrukce .....	18
3.2 Princip funkce .....	18
3.3 Rozdělení článků.....	19
3.3.1 TEC .....	19
3.3.2 TEG.....	19
4. Měření účinnosti Peltierových článků.....	20
4.1 Sestava pro měření účinnosti v režimu generování elektrické energie .....	20
4.1.1 Chladič .....	20
4.1.2 Zdroj tepla .....	20
4.1.3 Sondy pro měření teploty .....	20
4.1.4 Izolace .....	20
4.2 Sestava pro měření COP v režimu chlazení/topení .....	21
4.3 Obrázky sestav pro měření účinnosti .....	21
4.4 Použité články .....	22
4.4.1 TEG .....	22
4.4.2 TEC .....	23
4.5 Postup měření.....	24
4.5.1 Měření účinnosti generování elektrické energie.....	24
4.5.2 Měření COP pro chlazení a topení .....	24
4.6 Seznam použitých přístrojů.....	24
4.6.1 Měření účinnosti generování elektrické energie .....	24
4.7 Naměřené hodnoty .....	25
4.7.1 Měření účinnosti generování elektrické energie .....	25

4.7.2	Měření COP pro chlazení.....	26
4.7.3	Měření COP pro topení .....	26
5.	Použité vzorce .....	27
5.1	Účinnost generování elektrické energie .....	27
5.2	COP v režimu chlazení a topení.....	28
6.	Zpracované hodnoty.....	29
6.1	Účinnost generování elektrické energie .....	29
6.1.1	Článek TEC.....	29
6.1.2	Článek TEG.....	29
6.2	COP v režimu chlazení/topení .....	30
6.2.1	COP v režimu chlazení.....	31
6.2.2	COP v režimu topení.....	31
7.	Vyhodnocení naměřených výsledků .....	32
7.1	Účinnost generování elektrické energie .....	32
7.2	Měření COP v režimech chlazení a topení.....	33
8.	Problémy použitých sestav a návrh na jejich zlepšení .....	34
8.1	Sestava určená pro měření účinnosti v režimu generování .....	34
8.2	Sestava určená pro měření COP.....	34
9.	Závěr .....	35
	Reference .....	36

## Seznam použitých zkratek a symbolů

$c$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	Měrná tepelná kapacita
$c_{\text{Cu}}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	Měrná tepelná kapacita mědi
$c_{\text{H}_2\text{O}}$	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	Měrná tepelná kapacita vody
COP	–	Topný faktor (Coefficient of performance)
$I$	A	Proud
$I_{\text{Rin}}$	A	Vstupní proud rezistorů
$I_{\text{Pin}}$	A	Napájecí proud článku
$m$	kg	Hmotnost
$m_{\text{d}}$	kg	Hmotnost dna nádoby
$m_{\text{H}_2\text{O}}$	kg	Hmotnost vody v nádobce
$m_{\text{s}}$	kg	Hmotnost stěn nádoby
$Q$	J	Teplo
$R_{\text{C}}$	$\Omega$	Odpor PT100 při měření teploty studené strany článku
$R_{\text{D}}$	$\Omega$	Odpor PT100 při měření teploty dna nádoby
$R_{\text{H}}$	$\Omega$	Odpor PT100 při měření teploty horké strany článku
$R_{\text{S}}$	$\Omega$	Odpor PT100 při měření teploty stěn nádoby
$t_{\text{C}}$	$^{\circ}\text{C}$	Teplota studené strany článku
$t_{\text{D}}$	$^{\circ}\text{C}$	Teplota dna nádoby
$t_{\text{H}}$	$^{\circ}\text{C}$	Teplota horké strany článku
$t_{\text{S}}$	$^{\circ}\text{C}$	Teplota stěny nádoby
$T$	K	Absolutní teplota
$U$	V	Napětí
$U_{\text{Pin}}$	V	Napájecí napětí článku
$U_{\text{Rin}}$	V	Vstupní napětí rezistoru
$V$	$\text{m}^3$	Objem
TEC		Termoelektrický chladič (Thermoelectric cooler)
TEG		Termoelektrický generátor (Thermoelectric cooler)

ZT	–	Koeficient popisující vlastnosti použitého materiálu
$\alpha$	$V \cdot K^{-1}$	Seebeckův koeficient
$\eta$	–	Účinnost
$\rho$	$kg \cdot m^3$	Hustota
$\rho_{Cu}$	$kg \cdot m^3$	Hustota mědi

## Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: Seebeckův jev (převzato z [5]).....	16
Obrázek 2: Seebeckův koeficient (polovodiče) [6].....	16
Obrázek 3: Seebeckův koeficient (kovy) [6] .....	16
Obrázek 4: Peltierův jev (převzato z [8]).....	17
Obrázek 5: Konstrukce Peltierových článků (převzato z [8]) .....	18
Obrázek 6: Konstrukce Peltierových článků (převzato z [8]) .....	18
Obrázek 7: Účinnost TEG článků (převzato z [10]) .....	19
Obrázek 8: Zapojení čidla PT100 (převzato z [12]).....	20
Obrázek 9: Sestava pro měření účinnosti v režimu generování elektrické energie.....	21
Obrázek 10: Sestava pro měření COP v režimu chlazení/topení .....	21
Obrázek 11: TEG10W (převzato z [11]).....	22
Obrázek 12: TEC1-12706 (převzato z[12]) .....	23
Obrázek 13: Graf účinnosti generování elektrické energie.....	32

## Seznam použitých tabulek

Tabulka 1: Specifikace článku TEG [11].....	22
Tabulka 2: Specifikace modulu TEC1 .....	23
Tabulka 3: Naměřené hodnoty pro TEC s vypnutým ventilátorem .....	25
Tabulka 4: Naměřené hodnoty pro TEC se zapnutým ventilátorem .....	25
Tabulka 5: Naměřené hodnoty pro TEG se zapnutým ventilátorem.....	25
Tabulka 6: Naměřené hodnoty pro výpočet COP v režimu chlazení .....	26
Tabulka 7: Naměřené hodnoty pro výpočet COP v režimu topení .....	26
Tabulka 8: Vypočítané hodnoty pro TEC s vypnutým ventilátorem .....	29
Tabulka 9:Tabulka 8: Vypočítané hodnoty pro TEC se zapnutým ventilátorem.....	29
Tabulka 10: Vypočítané hodnoty pro TEG.....	29
Tabulka 11: Hmotnosti jednotlivých částí sestavy.....	30
Tabulka 12: Měrné tepelné kapacity .....	30
Tabulka 13: Vypočítané hodnoty COP pro chlazení.....	31
Tabulka 14: Vypočítané hodnoty COP pro topení.....	31

## 1. Úvod

I přes neustálý pokrok v elektrotechnice se stále využívají technologie, které byly objeveny před více než stovkou let. Jako příklad takové technologie můžeme uvést právě Peltierův článek. Jean C. Peltier objevil již v roce 1834 jev, který později převzal jeho jméno [1]. Tohoto jevu, společně s jevem Seebeckovým, využívají Peltierovy články.

Tato práce se zabývá právě Peltierovými články a zároveň navrhuje způsob měření jejich účinnosti, která je v práci u různých druhů článku porovnávána. Jedna z variant, kterou se práce zabývá, je varianta článku TEC, které se používají primárně jako chladič. Tyto součástky využívají Peltierova jevu. Druhý typ, článek TEG, je primárně určen pro generování elektrické energie a využívá tedy jev Seebeckův [2].

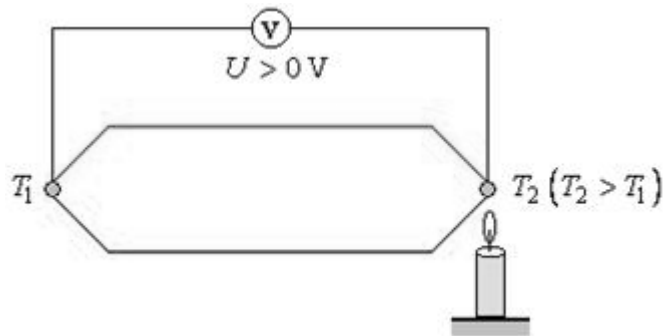
Přestože technologie výše zmíněných součástek není v porovnání s jinými alternativními zdroji elektrické energie tak rozšířená, nabízí ohromné množství využití. Jedním z nich je například radioizotopový termoelektrický generátor, který má využití v kosmických aplikacích [3]. Články typu TEC se využívá například v autochladičkách, nebo také pro chlazení součástek.

## 2. Fyzikální jevy spojené s Peltierovými články

S Peltierovými články se pojí několik fyzikálních principů. V první řadě je to Seebeckův jev, který souvisí s články typu TEG a dále Peltierův jev, na jehož principu fungují články TEC.

### 2.1 Seebeckův jev

Není jisté, zda tento jev poprvé objevil právě Thomas Johann Seebeck, nebo již dříve jeden z jiných fyziků, například Alessandro Volta [4]. Jevo lze pozorovat, pokud je na dvou spojích dvou různých kovů teplotní gradient. Pak je elektrické napětí naměřené mezi těmito spoji nenulové [5].



Obrázek 1: Seebeckův jev (převzato z [5])

Velikost tohoto termoelektrického napětí je závislá na Seebeckově koeficientu  $\alpha$ . Ten se odvíjí podle použité dvojice kovů, či polovodičů [5].

Semiconductors	Seebeck Coefficient
	$\mu\text{V}/\text{K}$
Se	900
Te	500
Si	440
Ge	300
n-type $\text{Bi}_2\text{Te}_3$	-230
p-type $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$	300
p-type $\text{Sb}_2\text{Te}_3$	185
PbTe	-180
$\text{Pb}_{0.3}\text{Ge}_{0.9}\text{Se}_{0.8}$	1670
$\text{Pb}_{0.6}\text{Ge}_{0.36}\text{Se}_{0.8}$	1410
$\text{Pb}_{0.9}\text{Ge}_{0.33}\text{Se}_{0.8}$	-1360
$\text{Pb}_{1.3}\text{Ge}_{0.29}\text{Se}_{0.8}$	-1710
$\text{Pb}_{1.5}\text{Ge}_{0.37}\text{Se}_{0.8}$	-1990
$\text{SnSb}_4\text{Te}_7$	25
$\text{SnBi}_4\text{Te}_7$	120
$\text{SnBi}_3\text{Sb}_1\text{Te}_7$	151
$\text{SnBi}_{2.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_7$	110
$\text{SnBi}_2\text{Sb}_2\text{Te}_7$	90
$\text{PbBi}_4\text{Te}_7$	-53

Obrázek 2: Seebeckův koeficient (polovodiče) [6]

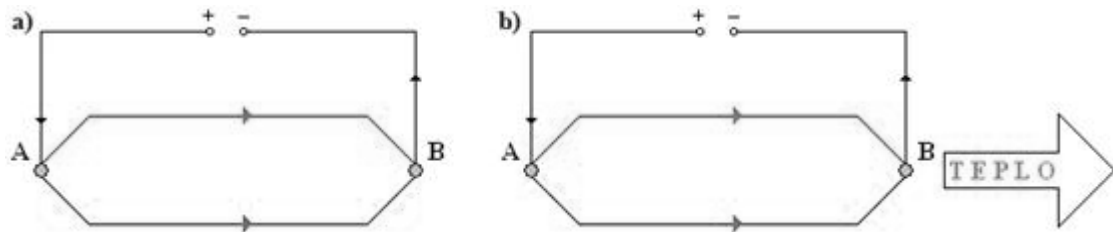
Metals	Seebeck Coefficient
	$\mu\text{V}/\text{K}$
Antimony	47
Nichrome	25
Molybdenum	10
Cadmium	7.5
Tungsten	7.5
Gold	6.5
Silver	6.5
Copper	6.5
Rhodium	6.0
Tantalum	4.5
Lead	4.0
Aluminum	3.5
Carbon	3.0
Mercury	0.6
Platinum	0
Sodium	-2.0
Potassium	-9.0
Nickel	-15
Constantan	-35
Bismuth	-72

Obrázek 3: Seebeckův koeficient (kovy) [6]



## 2.2 Peltierův jev

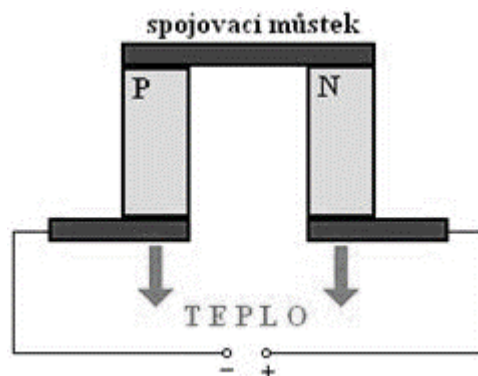
Opačný k jevu Seebeckovu je Peltierův jev. Ten objevil Jean Charles Athanas Peltier a lze jej popsat takto: Pokud protéká stejnosměrný elektrický proud uzavřeným obvodem složeným ze dvou různých spojených kovů, vzniká mezi těmito spoji teplotní gradient [7].



Obrázek 4: Peltierův jev (převzato z [8])

### 3. Reálné Peltierovy články

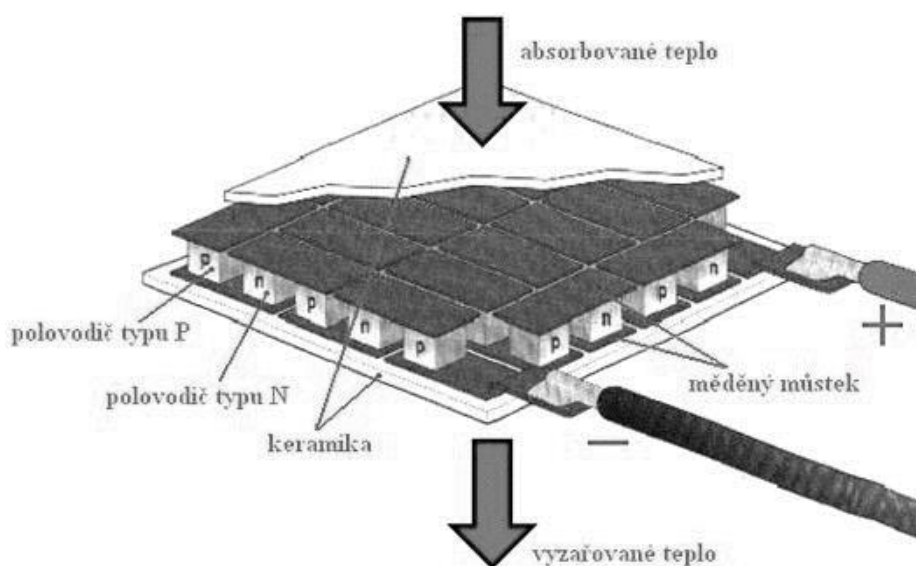
V praxi se Peltierovy články vyrábí pomocí polovodičů a skládají se ze tří částí. Jedna z těchto částí je polovodič typu P, další část je polovodič typu N. Ty jsou propojeny spojovacím můstkem [8].



Obrázek 5: Konstrukce Peltierových článků (převzato z [8])

#### 3.1 Konstrukce

Nejčastěji se pro výrobu Peltierových článků používají bizmut-telluridy. Polovodiče typu N se pro použití v termočláncích, používají z materiálu Bi-Te-Se a pro typ P z Bi-Sb-Te. Hlavní důvod pro použití těchto materiálů je možno spatřovat v jejich elektrických vlastnostech, například malý elektrický odpor a malý součinitel tepelné vodivosti. Spojovací můstek se převážně vyrábí z mědi.



Obrázek 6: Konstrukce Peltierových článků (převzato z [8])

#### 3.2 Princip funkce

Při zapojení článku jako na Obrázku 5, proudí elektrony z polovodiče typu N, ke zdroji napětí. V polovodiči typu P jsou ke zdroji napětí odváděny jeho nosiče náboje, díry. Koncentrace volných nosičů náboje tedy ve spojovacím můstku klesá a s ní klesá také teplota tohoto spoje. Naopak druhý spoj se zahřívá [8]. Generování elektrické energie probíhá opačně proti předešlému principu.

### 3.3 Rozdělení článků

Přestože principiálně lze použít články obousměrně (jak pro generování elektrické energie, tak pro chlazení), výrobci je rozdělují na několik typů.

#### 3.3.1 TEC

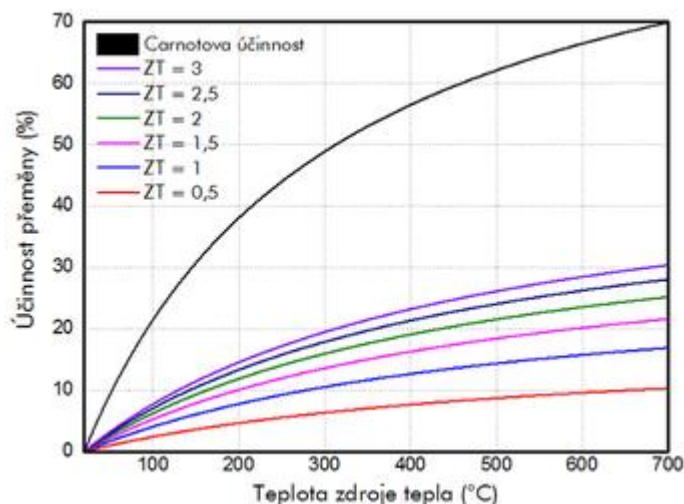
TEC (thermoelectric cooler), se používá primárně jako chladič. Po připojení elektrického proudu na vstupní svorky se jedna strana ohřívá a druhá ochlazuje. Využívá se tedy Peltierova jevu.

Poměr mezi topicím a chladicím výkonem se běžně pohybuje v rozmezí 1,5 až 2,5 při nulovém teplotním rozdílu. S rostoucím rozdílem teplot se zvyšuje tento poměr a snižuje se účinnost [9].

#### 3.3.2 TEG

TEG (thermoelectric generator), funguje na základě Seebeckova jevu, tedy pokud je na obou stranách rozdílná teplota, generuje se na výstupních svorkách elektrická energie.

Měření účinnosti v tomto případě není tak jednoduché jako u článků typu TEC. Účinnost jako taková je nejvíce závislá na rozdílu teplot teplé a studené strany článku, ale také závisí na vlastnostech materiálu a na teplotě zdroje tepla. Pro vyjádření vlastností materiálu se používá bezrozměrný koeficient  $ZT$  [10].



Obrázek 7: Účinnost TEG článků (převzato z [10])

Pozn.: Carnatova účinnost je účinnost Carnotova kruhového děje a je závislá pouze na teplotách ohříváče a chladiče. Je to tedy ideální stav, kterému se snažíme přiblížit. Ale nelze ho dosáhnout [11].

Běžně dostupné články mají koeficient  $ZT < 1$ . Z grafu tedy vyplývá, že účinnost článků při generování elektrické energie by se měla pohybovat, v závislosti na teplotě, kolem 5 % až 10 %.

Reálně se, kvůli nízké účinnosti, tato technologie pro výrobu elektrické energie příliš nepoužívá, protože pro zvýšení množství vyráběné elektrické energie je potřeba nejen zahřívat jednu stranu, ale také aktivně chladit tu druhou. Využívají se tedy především tam, kde není možné vyrábět elektrickou energii jinak (již zmíněné kosmické aplikace), nebo v případě, kde je velké množství odpadního tepla, které nemá jiné využití.

## 4. Měření účinnosti Peltierových článků

Základní úkol této práce byl navrhnout sestavu pro měření účinnosti Peltierových článků, a to jak v režimu výroby elektrické energie, tak COP v režimu chlazení/topení. Z toho důvodu bylo nezbytné vyrobit dvě sestavy.

### 4.1 Sestava pro měření účinnosti v režimu generování elektrické energie

Měřicí sestava pro toto měření musela obsahovat následující součásti: chladič, zdroj tepla, sondy pro měření teploty, voltmetr, ampérmetr, izolace.

#### 4.1.1 Chladič

Původně se počítalo s použitím pouze pasivního chladiče, nicméně chladič nebylo možné umístit tak, aby jeho žebra byla ve vertikální pozici, a bylo tedy nezbytné přidat ventilátor s napájecím napětím 12 V. Ten nahrazoval správné postavení chladiče a umožňoval lepší proudění vzduchu.

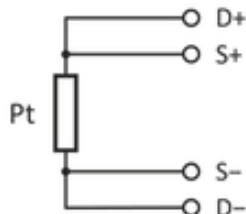
#### 4.1.2 Zdroj tepla

Návrhů na zdroj tepla bylo několik. Mezi hlavní návrhy patřily tranzistory a rezistory. Z důvodu jednoduššího zapojení byly jako zdroj tepla nakonec využity dva výkonové rezistory s parametry  $8,2 \Omega$  a 25 W, a to z následujících důvodů:

- jejich rozměry odpovídaly rozměrům chladiče a destičky použité pro rovnoměrný rozvod tepla na plochu článku,
- zdroj napětí, který jsme měli k dispozici, měl maximální výstupní napětí 60 V a proud 7 A. Pro dané rezistory bylo vypočteno napájecí napětí 29 V.

#### 4.1.3 Sondy pro měření teploty

Základ pro sondy měřící teplotu byla platinová odporová čidla PT100. Na tato čidla byly napojeny 4 vodiče v zapojení viz Obrázek 8.



Obrázek 8: Zapojení čidla PT100 (převzato z [12])

K měření teploty byly dále využity digitální multimetry HP.

#### 4.1.4 Izolace

Tepelný izolant byl potřeba z toho důvodu, aby se minimalizoval únik tepla. Z těchto důvodů nakonec byla zvolena minerální vata:

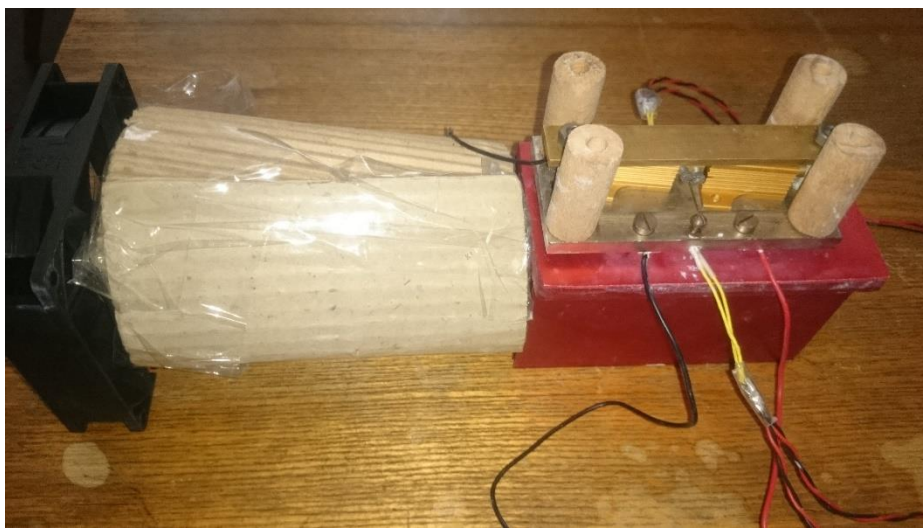
- dostatečná odolnost proti vysokým teplotám,
- poměrně snadná manipulace,
- dobrá dostupnost.

#### 4.2 Sestava pro měření COP v režimu chlazení/topení

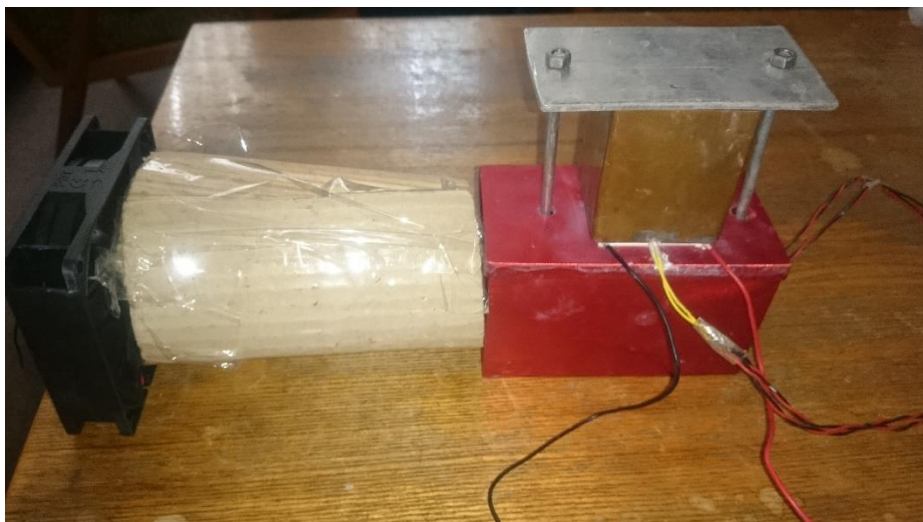
V první řadě je nezbytné zmínit, že pro měření efektivnosti chlazení či topení se nepoužívá účinnost jako taková. Místo účinnosti byl zaveden COP (coefficient of performance), neboli topný faktor. Důvod pro zavedení COP je, že jeho hodnota může být větší než 1, což není pro účinnost vhodné.

Měřicí soustava obsahovala následující prvky z předešlé části: chladič, sondy pro měření teploty, voltmetr, ampérmetr a izolace. Navíc byla potřeba sestava, na které se měřila teplota pro určení odebraného/přijátého množství energie z článku. Pro tento účel byla nakonec zvolena nádobka z mědi naplněná vodou.

#### 4.3 Obrázky sestav pro měření účinnosti



Obrázek 9: Sestava pro měření účinnosti v režimu generování elektrické energie



Obrázek 10: Sestava pro měření COP v režimu chlazení/topení

Pozn.: Pro lepší názornost byly sestavy zdokumentovány bez izolace.

#### 4.4 Použité články

Protože jeden článek je určen pro výrobu elektrické energie a druhý pro chlazení, nebyly dostupné všechny parametry k oběma článkům. U obou případů jsou tedy uvedeny pouze informace dostupné od výrobce.

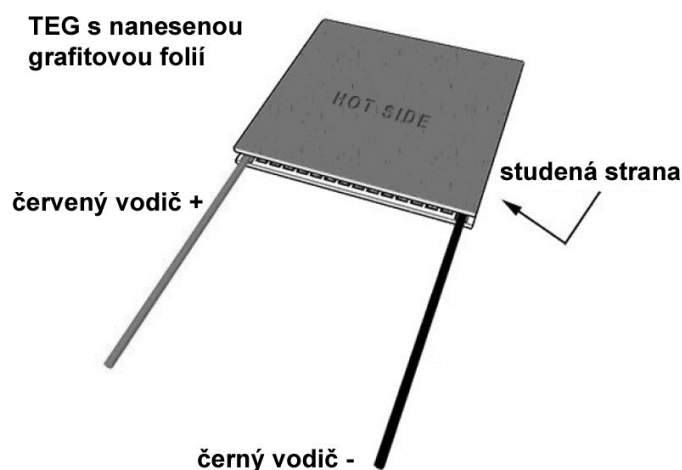
##### 4.4.1 TEG

Jako článek, který je primárně určen pro generování elektrické energie, byl zvolen článek TEG10W<sup>1</sup>.

Tabulka 1: Specifikace článku TEG [11]

Teplota horké strany	300	°C
Teplota studené strany	30	°C
Napětí naprázdno	8	V
Optimální zatěžovací odpor	1,59	$\Omega$
Optimální výstupní napětí	4	V
Optimální výstupní proud	2,4	A
Optimální výstupní výkon	9,6	W
Tepelný tok přes modul	188	W
Hustota tepelného toku	11,8	$W \cdot cm^{-2}$
Rozměry	4 x 4	cm

Tento modul má na obou stranách nalepenou dobře tepelně vodivou grafitovou folii, díky které má nízký kontaktní tepelný odpor [11].



Obrázek 11: TEG10W (převzato z [11])

<sup>1</sup> Pořízeno od společnosti Solfoton.

(<https://www.solfoton.eu/products/termoelektricky-generator-teg10w>)

Úplné informace k tomuto modulu je možné dohledat v datasheetu.

([https://solfoton.eu/\\_files/200003505-9ffd6a1f01/TEG%2010W.pdf](https://solfoton.eu/_files/200003505-9ffd6a1f01/TEG%2010W.pdf))

#### 4.4.2 TEC

Jako TEC článek byl zvolen levný čínský článek, a to z důvodu, že jsme předpokládali, že proti dražšímu článku určenému primárně pro generování, bude velký rozdíl v účinnosti v režimu generování elektrické energie, a bude tedy možné snadno pozorovat rozdíly.

Jako testovaný modul byl nakonec vybrán TEC1-12706<sup>2</sup>, jehož výhodami jsou dobrá cena, dostatek dostupných informací a zároveň má stejné rozměry jako článek TEG10W.

Tabulka 2: Specifikace modulu TEC1<sup>3</sup>

Teplota horké strany	25	50	°C
Maximální rozdíl teplot	66	75	°C
Maximální proud	6,4	6,4	A
Maximální napětí	14,4	16,4	V
Odpor článku	1,98	2,30	Ω
Rozměry	4 x 4		cm



Obrázek 12: TEC1-12706 (převzato z[12])

<sup>2</sup> Pořízeno z webu <https://www.aliexpress.com>

Úplné informace k tomuto modulu je možné dohledat v datasheetu. (<http://peltiermodules.com/peltier.datasheet/TEC1-12706.pdf>)

<sup>3</sup> Informace převzaty z datasheetu.

## 4.5 Postup měření

### 4.5.1 Měření účinnosti generování elektrické energie

Pomocí zdroje se nastavoval příkon rezistorů. Pro jednotlivá nastavení se vždy vyčkalo na ustálení, tedy na stav, kdy jednotlivé strany článku měli stálou teplotu. Tato teplota se zaznamenávala pomocí senzorů PT100 připojených čtyřsvorkově (napěťové a proudové svorky) k multimetrům. Další zaznamenávané hodnoty byly napětí a proud jak napájecí rezistory, tak vystupující z testovaného článku. Měření bylo prováděno pro napětí 5 V až 29 V.

### 4.5.2 Měření COP pro chlazení a topení

Při tomto měření se v patnáctisekundových intervalech zaznamenávaly hodnoty pro teplotu stěny, teplotu dna a vstupní napětí a proud daného Peltierova článku.

Pozn.: Hodnoty byly zaznamenávány na video. Z něj pak byly později zpracovány.

## 4.6 Seznam použitých přístrojů

### 4.6.1 Měření účinnosti generování elektrické energie

2x digitální multimetr HP 34401A

2x platinový odporový senzor pro měření teploty PT100

2x multimetr Tektronix DM501 (zásuvný modul pro Tektronix TM506)

Zdroj Aim-TTi CPX400D



## 4.7 Naměřené hodnoty

### 4.7.1 Měření účinnosti generování elektrické energie

Při tomto měření byl jako zátěž použit předradný odpor ampérmetru. Jeho hodnota se měnila v závislosti na rozsahu. Celkově bylo toto měření prováděno dvakrát. Poprvé bez zapnutého ventilátoru a v druhém měření se zapnutým.

Tabulka 3: Naměřené hodnoty pro TEC s vypnutým ventilátorem

TEC s vypnutým ventilátorem				Napájení rezistorů		Výstup z článku	
$R_C$ ( $\Omega$ )	$t_c$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$R_H$ ( $\Omega$ )	$t_H$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$U_{Rin}$ (V)	$I_{Rin}$ (A)	$U_{out}$ (V)	$I_{out}$ (A)
114,00	36,1	116,62	42,8	10	0,61	9,40E-02	7,53E-02
116,35	42,1	120,25	52,2	12	0,74	1,10E-01	1,05E-01
119,75	50,9	126,00	67,2	15	0,92	2,15E-01	1,73E-01
125,92	67,0	136,41	94,5	20	1,23	1,20E-01	3,49E-01
130,30	78,4	145,28	117,9	24	1,78	1,60E-01	4,64E-01

Tabulka 4: Naměřené hodnoty pro TEC se zapnutým ventilátorem

TEC se zapnutým ventilátorem				Napájení rezistorů		Výstup z článku	
$R_C$ ( $\Omega$ )	$t_c$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$R_H$ ( $\Omega$ )	$t_H$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$U_{Rin}$ (V)	$I_{Rin}$ (A)	$U_{out}$ (V)	$I_{out}$ (A)
110,32	26,5	111,06	28,4	5	0,31	5,68E-02	5,41E-03
110,56	27,1	112,85	33,0	10	0,61	9,18E-02	7,58E-02
110,52	27,0	113,78	35,5	12	0,74	1,22E-01	1,00E-01
111,37	29,2	115,83	40,8	15	0,92	1,88E-01	1,56E-01
112,28	31,6	120,07	51,7	20	1,23	9,84E-02	3,33E-01
113,19	33,9	124,57	63,5	24	1,48	5,68E-02	5,41E-03
114,46	37,2	131,14	80,6	29	1,78	9,18E-02	7,58E-02

Pozn.: K dispozici byly dva články TEC1. Výrobce udává maximální provozní teplota je  $138^{\circ}\text{C}$ . Při prvním měření (bez aktivovaného ventilátoru) došlo k poškození článku přibližně při  $125^{\circ}\text{C}$ . Článek přestal generovat elektrickou energii. Proto bylo toto měření ukončeno již při napájecím napětí rezistorů 24 V. Druhé měření tedy probíhalo s jiným článkem (stejněho typu), než měření první.

Tabulka 5: Naměřené hodnoty pro TEG se zapnutým ventilátorem

TEG se zapnutým ventilátorem				Napájení rezistorů		Výstup z článku	
$R_C$ ( $\Omega$ )	$t_c$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$R_H$ ( $\Omega$ )	$t_H$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$U_{Rin}$ (V)	$I_{Rin}$ (A)	$U_{out}$ (V)	$I_{out}$ (A)
111,20	28,8	111,71	30,1	5	0,31	3,05E-02	2,98E-04
111,54	29,6	113,66	35,1	10	0,61	1,50E-01	1,62E-02
111,95	30,7	114,76	38,0	12	0,74	9,64E-02	8,07E-02
112,23	31,4	116,72	43,1	15	0,92	1,48E-01	1,23E-01
113,24	34,0	120,95	54,0	20	1,23	1,03E-01	3,55E-01
114,31	36,8	125,61	66,2	24	1,48	1,50E-01	5,16E-01
115,91	40,9	132,92	85,3	29	1,78	2,21E-01	7,58E-01

## 4.7.2 Měření COP pro chlazení

Měření probíhalo s chladičem a zapnutým ventilátorem, který chladil teplotu stranu. Snížením teplotního rozdílu mezi jednotlivými stranami článku se docílilo zvýšení hodnoty COP [12].

Tabulka 6: Naměřené hodnoty pro výpočet COP v režimu chlazení

$R_D$ ( $\Omega$ )	$t_D$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$R_S$ ( $\Omega$ )	$t_S$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$U_{\text{Pin}}$ (V)	$I_{\text{Pin}}$ (A)	čas (s)
110,44	26,8	110,64	27,3	12	4,95	0
107,95	20,4	110,53	27,1	12	4,78	15
106,74	17,3	110,32	26,5	12	4,71	30
106,09	15,6	110,11	26,0	12	4,65	45
105,67	14,5	109,94	25,5	12	4,61	60
105,39	13,8	109,79	25,2	12	4,59	75
105,15	13,2	109,66	24,8	12	4,57	90
110,44	12,7	110,64	24,4	12	4,55	105
107,95	12,2	110,53	24,0	12	4,54	120
106,74	11,8	110,32	23,6	12	4,53	135

## 4.7.3 Měření COP pro topení

U tohoto měření byl chladič s ventilátorem připojen na studenou stranu. Tím se opět se snižoval teplotní rozdíl mezi stranami článku, a zvyšovala se tedy hodnota COP.

Tabulka 7: Naměřené hodnoty pro výpočet COP v režimu topení

$R_D$ ( $\Omega$ )	$t_D$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$R_S$ ( $\Omega$ )	$t_S$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$U_{\text{Pin}}$ (V)	$I_{\text{Pin}}$ (A)	čas (s)
109,26	23,8	109,42	24,2	12	4,40	0
116,42	42,3	109,62	24,7	12	3,83	15
118,52	47,7	110,55	27,1	12	3,69	30
119,33	49,8	111,35	29,2	12	3,65	45
119,80	51,1	111,96	30,7	12	3,63	60
120,27	52,3	112,57	32,3	12	3,61	75
120,73	53,5	113,10	33,7	12	3,58	90
121,25	54,8	113,65	35,1	12	3,56	105
121,75	56,1	114,20	36,5	12	3,54	120
122,15	57,2	114,70	37,8	12	3,52	135

## 5. Použité vzorce

Naměřené hodnoty sloužily pro výpočet parametrů v jednotlivých režimech funkce článku. V prvním případě, tedy při měření parametrů při generování byla počítanou hodnotou účinnost. Jak již bylo zmíněno v kapitole 4, pro měření efektivnosti v režimu chlazení a topení byl zaveden COP, tedy topný faktor.

Pro obě měření je důležité zmínit, že probíhala v podmínkách, které byly podobné reálnému využití. Účinnost v režimu generování bývá řádově v jednotkách procent. Pro dosažení těchto hodnot je ovšem potřeba velkých teplotních rozdílů mezi stranami článku. Jak vyplývá z tabulek 3, 4 a 5, nejvyšší dosažený teplotní rozdíl byl 44,4 °C. To lze přirovnat k reálnému využití, kdy je horká strana článku zahřívána (v našem případě rezistory, které dosahovaly teplot až 220 °C) a chladná strana byla pouze pasivně chlazená.

Pro námi měřený článek TEG, u kterého výrobce udává možnost zahřívání horké strany článku až na 300 °C při teplotě studené strany 30 °C, vychází teplotní rozdíl 270 °C. Pro dosažení takto velkého rozdílu by ovšem bylo potřeba topit výkonnějším zdrojem tepla a zároveň druhou stranu aktivně chladit.

### 5.1 Účinnost generování elektrické energie

Účinnost při generování elektrické energie je určena jako poměr získané a dodané energie. Hodnota účinnosti se udává jako bezrozměrné číslo menší než 1, nebo po vynásobení 100 v procentech.

$$\eta = \frac{E_Z}{E_D} (-) = \frac{E_Z}{E_D} \cdot 100 \% \quad (1)$$

V našem případě je získaná energie rovna elektrické energii generované z Peltierova článku a dodaná energie elektrické energii dodávané rezistorům.

$$E_Z = U_{out} \cdot I_{out} \cdot t \quad (2)$$

$$E_D = U_{Rin} \cdot I_{Rin} \cdot t \quad (3)$$

Rovnici (1) lze upravit a výsledný vzorec je tedy možné psát jako poměr výkonu vystupujícího z článku příkonu rezistorů:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{Rin}} = \frac{U_{out} \cdot I_{out}}{U_{Rin} \cdot I_{Rin}} (-) = \frac{U_{out} \cdot I_{out}}{U_{Rin} \cdot I_{Rin}} \cdot 100 \% \quad (4)$$

## 5.2 COP v režimu chlazení a topení

Topný faktor je dán jako poměr mezi absolutní hodnotou změny tepla a dodanou elektrickou energií. Běžně se používá jako bezrozměrná veličina, ale pro lepší porovnání je uveden také v procentech.

$$COP = \frac{|\Delta Q|}{E_D} (-) = \frac{|\Delta Q|}{E_D} \cdot 100 \% \quad (5)$$

Dodaná energie je v tomto případě dána jako příkon Peltierova článku násobený časem.

$$E_D = U_{pin} \cdot I_{pin} \cdot t \quad (6)$$

Pozn.: V průběhu měření se, vlivem změny teploty, měnil odpor měřeného článku, což byla komplikace pro výpočet příkonu. Z toho důvodu byl příkon počítán z průměrné hodnoty proudu v daném časovém intervalu.

Odebrané/vyprodukované teplo je závislé na hmotnosti, tepelné kapacitě a rozdílu teplot systému, který jsme ochlazovali či ohřívali.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (7)$$

Tímto systémem byla nádobka vyrobená z mědi, kterou jsme naplnili vodou. Pro minimalizování nepřesností byl výpočet odevzdaného/přijátého tepla rozdělen to tří částí.

- a) Teplo odevzdané/přijaté dnem.
- b) Teplo odevzdané/přijaté stěnami.
- c) Teplo odevzdané/přijaté vodou.

Vzhledem k tomu, že drážka pro měření teploty, byla do nádobky vyfrézována až dodatečně, bylo nezbytné dopočítat hmotnost jejího dna.

$$m = \rho \cdot V \quad (8)$$

Kde  $\rho$  je hustota mědi a  $V$  je objem dna.

$$V = a_d \cdot b \cdot c_d - a_{dr} \cdot b_{dr} \cdot c_{dr} [m^3] \quad (9)$$

Kde hodnoty s indexem  $d$  jsou rozměry dna a s indexem  $dr$  drážky.

## 6. Zpracované hodnoty

### 6.1 Účinnost generování elektrické energie

Pomocí rovnice (4) byly z tabulek 3, 4 a 5 vypočítány hodnoty účinnosti generování elektrické energie jednotlivých článků.

#### 6.1.1 Článek TEC

Tabulka 8: Vypočítané hodnoty pro TEC s vypnutým ventilátorem

$t_c$ (°C)	$t_H$ (°C)	$\Delta t$	$P_{out}$ (W)	$P_{Rin}$ (W)	$\eta$ (%)
36,1	42,8	6,7	7,08E-03	6,10	0,12
42,1	52,2	10,1	1,16E-02	8,88	0,13
50,9	67,2	16,3	3,71E-02	13,80	0,27
67,0	94,5	27,5	4,20E-02	24,60	0,17
78,4	117,9	39,5	7,43E-02	35,52	0,17

Tabulka 9: Tabulka 8: Vypočítané hodnoty pro TEC se zapnutým ventilátorem

$t_c$ (°C)	$t_H$ (°C)	$\Delta t$	$P_{out}$ (W)	$P_{Rin}$ (W)	$\eta$ (%)
26,5	28,4	1,9	3,07E-04	1,55	0,02
27,1	33,0	5,9	6,95E-03	6,10	0,11
27,0	35,5	8,4	1,22E-02	8,88	0,14
29,2	40,8	11,5	2,92E-02	13,80	0,21
31,6	51,7	20,2	3,28E-02	24,60	0,13
33,9	63,5	29,5	7,00E-02	35,52	0,20
37,2	80,6	43,4	1,41E-01	51,62	0,27

#### 6.1.2 Článek TEG

Tabulka 10: Vypočítané hodnoty pro TEG

$t_c$ (°C)	$t_H$ (°C)	$\Delta t$	$P_{out}$ (W)	$P_{Rin}$ (W)	$\eta$ (%)
28,8	30,1	1,3	9,08E-06	1,55	0,02
29,6	35,1	5,5	2,43E-03	6,10	0,04
30,7	38,0	7,3	7,78E-03	8,88	0,09
31,4	43,1	11,6	1,82E-02	13,80	0,13
34,0	54,0	20,0	3,66E-02	24,60	0,15
36,8	66,2	29,4	7,75E-02	35,52	0,22
40,9	85,3	44,4	1,67E-01	51,62	0,32

## 6.2 COP v režimu chlazení/topení

Abychom byli schopni vypočítat topný faktor, je nezbytné nejdříve určit odebrané/vyprodukované teplo. Z toho důvodu nejdříve určíme hmotnosti jednotlivých částí soustavy.

Hmotnost dna je dána rovnicí (8) a pro její výpočet nejdříve vypočítáme objem. Dosadíme do rovnice (9), abychom získali objem dna. Rozměry dna jsou 4,5x4,5x0,4 cm a rozměry drážky 0,2x0,3x2,6 cm.

$$V = 7,94E-06 \text{ m}^3$$

Hmotnost dna vypočítáme z rovnice (9) dosazením vypočteného objemu  $V$  a hustoty mědi  $\rho = 8960 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$ .

$$m = 7,12E-02 \text{ kg}$$

Tabulka 11: Hmotnosti jednotlivých částí sestavy

$m_d$ (kg)	$m_s$ (kg)	$m_{H_2O}$ (kg)
7,12E-02	4,69E-02	9,50E-02

Dalšími potřebnými údaji jsou tabulkové hodnoty měrných tepelných kapacit vody a mědi.

Tabulka 12: Měrné tepelné kapacity

$c_{H_2O}$ ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )	$c_{Cu}$ ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )
4168	383

Rovnici 7 je potřeba upravit tak, aby se počítalo s jednotlivými částmi sestavy zvlášť. Teplotu vody a stěny jsme považovali za totožnou. To jsme ověřili měřením.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = m_d \cdot c_{Cu} \cdot \Delta t_d + m_s \cdot c_{Cu} \cdot \Delta t_s + m_{H_2O} \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta t_s$$

## 6.2.1 COP v režimu chlazení

Tabulka 13: Vypočítané hodnoty COP pro chlazení

t (s)	$Q_d$ (J)	$Q_s$ (J)	$Q_{H_2O}$ (J)	Q (J)	$E_D$ (J)	COP (-)	COP (%)
15	-174,76	-4,82	-106,52	-286,11	875,7	0,33	32,67
30	-84,66	-9,78	-216,10	-310,54	854,1	0,36	36,36
45	-46,12	-9,55	-210,94	-266,61	842,4	0,32	31,65
60	-29,22	-7,88	-174,05	-211,15	833,4	0,25	25,34
75	-19,75	-6,95	-153,56	-180,26	828	0,22	21,77
90	-16,53	-6,44	-142,28	-165,25	824,4	0,20	20,04
105	-14,00	-6,67	-147,38	-168,06	820,8	0,20	20,47
120	-13,02	-7,61	-168,18	-188,82	818,1	0,23	23,08
135	-12,25	-6,33	-139,83	-158,41	816,3	0,19	19,41

## 6.2.2 COP v režimu topení

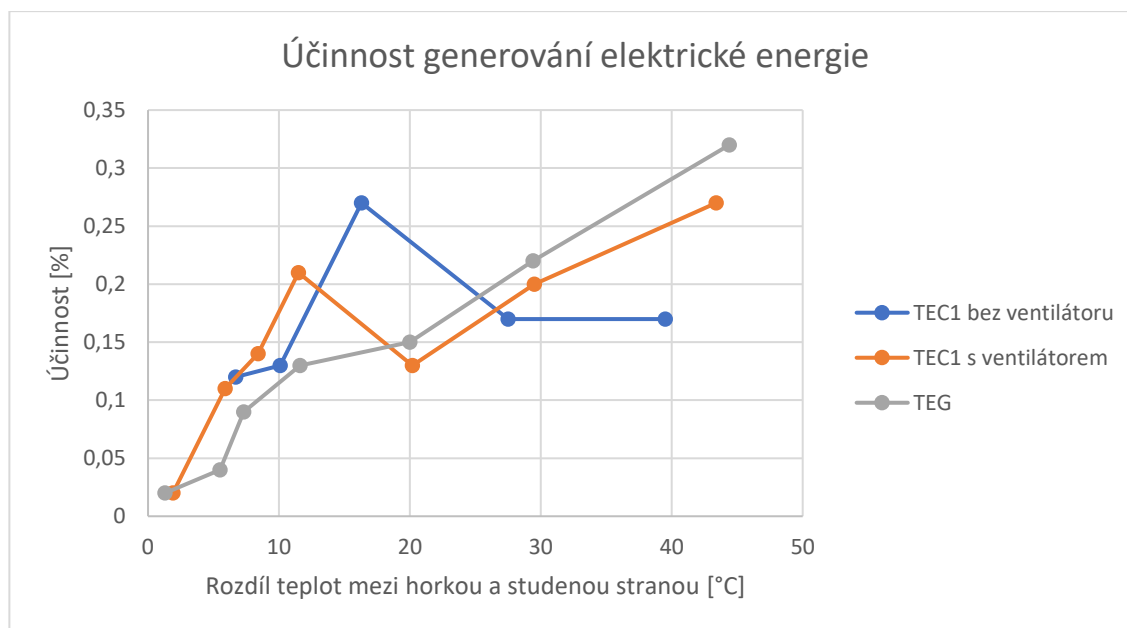
Tabulka 14: Vypočítané hodnoty COP pro topení

t (s)	$Q_d$ (J)	$Q_s$ (J)	$Q_{H_2O}$ (J)	Q (J)	$E_D$ (J)	COP (-)	COP (%)
15	504,49	9,63	212,87	727,00	740,7	0,98	98,15
30	147,82	42,86	947,09	1137,77	676,8	1,68	168,11
45	57,33	36,91	815,55	909,78	660,6	1,38	137,72
60	33,78	28,39	627,37	689,54	655,2	1,05	105,24
75	33,15	28,22	623,56	684,93	651,6	1,05	105,12
90	32,60	24,80	547,91	605,30	647,1	0,94	93,54
105	36,86	25,60	565,59	628,05	642,6	0,98	97,74
120	35,46	25,42	561,72	622,60	639	0,97	97,43
135	28,38	23,48	518,80	570,66	635,4	0,90	89,81

## 7. Vyhodnocení naměřených výsledků

### 7.1 Účinnost generování elektrické energie

Dle předpokladu účinnost roste s rostoucím rozdílem teplot mezi horkou a studenou stranou. U článku TEC1 však při rozdílu teplot přibližně 20 °C nastal pokles v účinnosti, a to při měření se zapnutým i vypnutým ventilátorem. To jsem v prvním případě přisuzoval překročení povolené pracovní teploty. Stejný jev se ovšem opakoval i při měření se zapnutým ventilátorem a jediný společný prvek je právě teplotní rozdíl.



Obrázek 13: Graf účinnosti generování elektrické energie

Z grafu na obrázku 11 vyplývá, že pro měření článku TEC bez ventilátoru došlo pravděpodobně k poškození vlivem vysoké teploty. Toto měření tedy nelze brát jako směrodatné. Průběh TEC1 s ventilátorem vypovídá o faktu v předešlém odstavci, tedy o poklesu účinnosti při teplotním rozdílu přibližně 20 °C. od této teploty dále se ovšem zdá průběh být přibližně lineární, což bylo předpokládáno. Průběh pro článek TEG je, až na malou chybu při rozdílu teplot kolem 7 °C až 12 °C, lineární.

Obecně lze říci, že měření účinnosti odpovídá předpokladu pro rozdíl teplot vyšší než 20 °C. To mohlo být způsobeno tím, že soustava nebyla dokonale ustálena.

Hodnota pro měření účinnosti by, dle předpokladu, měla řádově být v jednotkách procent. Námi naměřená hodnota jsou desetiny procent. Účinnost generování elektrické energie pomocí Peltierových článků je závislá především na rozdílu teplot. Teplo dodávané rezistory bylo, kvůli rovnoměrnému rozložení na ploše článku, rozváděno pomocí měděné destičky. To ovšem způsobilo, že teplo bylo rychleji odváděno skrz článek pomocí chladiče a teplota této destičky, a tedy i samotné horké strany článku, nedosahovala předpokládané hodnoty.

Dalším problémem bylo, že pasivní chladič s ventilátorem nedokázal uchládit studenou stranu článku na výrobcem předpokládaných 30 °C. I s použitím lepšího zdroje tepla by bez aktivního chlazení nebyl rozdíl 270 °C, který udává výrobce článku TEG jako ideální pro dlouhodobé využití, ale nižší, protože by vzrostla teplota studené strany.



## 7.2 Měření COP v režimech chlazení a topení

Obecně se udává, že poměr topicího a chladicího výkonu, při chlazení pomocí Peltierových článků, je přibližně 1,5 až 2,5. Pro minimalizování nepřesností při měření jsem se rozhodl porovnávat průměrné hodnoty COP, tedy  $\overline{COP}_c$  pro chlazení a  $\overline{COP}_t$  pro topení.

$$\overline{COP}_c = 0,26$$

$$\overline{COP}_t = 1,32$$

V našem případě tedy tento poměr vyšel přibližně 5. Předpokládaná hodnota (1,5 až 2,5) je odlišná z toho důvodu, že teplotní rozdíl mezi horkou a studenou stranou nebyl nulový. Měření tedy opět odpovídá spíše reálnému využití. Přestože topný faktor pro chlazení článku je nízký, nabízí Peltierův článek použitý jako chladič i některé výhody. Mezi ty hlavní patří především možnost dosáhnout velmi nízkých teplot (v našem případě až  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ ), snadné ovládání a nastavování teploty pomocí změny vstupního napětí a dlouhá životnost.

Pozn.: Článek TEG nebyl do toho měření zahrnut. K tomuto rozhodnutí jsme došli s vedoucím práce z toho důvodu, že výrobce nedodal všechny potřebné údaje k tomu, abychom mohli měřit bez rizika jeho poškození.

## 8. Problémy použitých sestav a návrh na jejich zlepšení

### 8.1 Sestava určená pro měření účinnosti v režimu generování

Při tomto měření byla zjištěná účinnost řádově nižší, než jsme očekávali. To bylo pravděpodobně způsobeno tím, že teplo dodávané výkonovými rezistory se nešířilo dostatečně rychle skrz destičku, která měla zajistit rovnoměrný ohřev celé plochy horké strany Peltierova článku. Tento problém by se mohl vyřešit použitím zdroje tepla, jehož plocha využitelná k ohřevu je větší než plocha právě měřeného článku. Zároveň by bylo vhodně použít takový tepelný zdroj, který dokáže dosáhnout maximální teploty povolené výrobcem článku. Takovým zdrojem by mohla být například topná spirála.

Další možností, jak zvýšit množství generované elektrické energie, je použití aktivního chladiče na studené straně článku. To by sice zvýšilo množství generované elektrické energie, ale účinnost jako taková by pravděpodobně lepší nebyla. Příkon pro takový aktivní chladič by byl vyšší než energie získaná díky většímu rozdílu teplot. Ideálním řešením pro reálné využití by byl chladič s využitím zdrojů z přírody, tedy například s využitím ledu či sněhu.

Pro přesnější měření by také bylo vhodně lépe vyřešit izolaci. Vrstva minerální vaty mezi destičkou rozvádějící teplo a chladičem byla poměrně slabá. Nejlepší dostupným řešením by byl pravděpodobně aerogel.

### 8.2 Sestava určená pro měření COP

U této sestavy nenastal žádný zásadní problém při měření. Poměr topicího a chladicího výkonu sice neodpovídá předpokladu, nicméně to je pravděpodobně způsobeno měřeným článkem. Topicí faktor dle předpokladu vyšel. Jeho hodnota pro Topení musí být větší než 1. To musí platit, protože teplo nevzniká pouze přeměnou elektrické energie, ale také odevíráním tepla z chladné strany článku.

Možné vylepšení sestavy by spočívalo v použití lepší tepelné izolace, jako v předchozím případě.

## 9. Závěr

Cílem této práce bylo prostudovat dostupnou literaturu týkající se problematiky termoelektrických článků a na základě toho navrhnout sestavu pro měření účinnosti těchto článků. Vytvořeny tedy byly dvě sestavy. První z nich, určená pro měření účinnosti generování elektrické energie, se ukázala jako ne příliš přesná. Důvodem je pravděpodobně špatně zvolený zdroj tepla. Návrh na vylepšení této sestavy je v kapitole 8. Druhou sestavu, určenou pro měření topného faktoru, lze považovat za bezproblémovou. Návrh zmíněný v kapitole 8 by sloužil pro zlepšení přesnosti měření, ale sestava sama o sobě funguje dobře.

Celkově k této problematice není příliš literárních zdrojů. To je pravděpodobně způsobeno tím, že využití článků není příliš rozšířené. Obecně se využívají spíše pro zúžitkovávání odpadního tepla než jako primární způsob generování elektrické energie. Jejich využitelnost tedy spíše závisí na dostupnosti právě odpadního tepla a možnosti chlazení bez dodávání další energie než na účinnosti jako takové.

Porovnáme-li články TEC a TEG v generování, hlavní rozdíl spočívá v možnosti dosáhnout výrazně vyšší teploty u článku TEG. Článek TEC přestal fungovat již při teplotě horké strany přibližně 120 °C. To výrazně omezuje možnosti jeho použití v režimu generování. U článku TEG je garantována správná funkce až do hodnoty maximální teploty horké strany 300 °C. Při měření v rozmezí teplot, kdy nedojde k poškození článku TEC, není rozdíl v účinnosti generování nikterak velký.

Častěji se články využívají jako chladiče, kde se využívá jejich snadné regulace, dlouhé životnosti a schopnosti dosáhnout poměrně nízké teploty.

## Reference

- [1] „Jean Charles Athanase Peltier,“ [Online]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Jean\\_Charles\\_Athanase\\_Peltier#Peltier\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/Jean_Charles_Athanase_Peltier#Peltier_effect).
- [2] „Difference between Thermoelectric Cooler (TEC) and Thermoelectric Generator (TEG),“ [Online]. Dostupné z: <https://thermalbook.wordpress.com/difference-between-tec-and-tem/>.
- [3] „Radioizotopový termoelektrický generátor,“ [Online]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/radioizotopovy-termoelektricky-generator-tajemstvi-energie-v-dalekem-vesmiru/>.
- [4] „Continuum theory and modeling of thermoelectric elements,“ [Online]. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?id=XQemCgAAQBAJ&pg=PA2&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cz/books?id=XQemCgAAQBAJ&pg=PA2&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false).
- [5] „Seebeckův jev,“ [Online]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/910-seebeckuv-jev>.
- [6] „The seebeck coefficient,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.electronics-cooling.com/2006/11/the-seebeck-coefficient/#>.
- [7] „Využití Peltierova jevu,“ [Online]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/?action=2&doc=7972>.
- [8] „Peltierův jev,“ [Online]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/911-peltieruv-jev>.
- [9] M. MEJZLÍK, Návrh a tvorba laboratorní úlohy s Peltierovým článkem, Brno, 2009. Diplomová práce. Vysoké učení technické. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií., 2009.
- [10] „Možnosti využití termoelektrických jevů pro výrobu elektrické energie z odpadního tepla,“ [Online]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/10220-moznosti-vyuziti-termoelektricky-jev-u-pro-vyrobu-elektricke-energie-z-odpadniho-tepla>.
- [11] „Carnotův (ideální) kruhový děj,“ [Online]. Dostupné z: [http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz\\_fyziky\\_pro\\_DS/display.php/molekul/4\\_2](http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/molekul/4_2).
- [12] „Pt100,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.papouch.com/cz/shop/product/pt100-kov-90-250/>.
- [13] „termoelektrický generátor TEG10W,“ [Online]. Dostupné z: <https://www.solfoton.eu/products/termoelektricky-generator-teg10w/>.

- [14] „Thermoelectric Peltier Cooler,“ [Online]. Dostupné z:  
<http://www.electrodragon.com/product/tec1-12706-thermoelectric-peltier-cooler-12v-60w/>.
- [15] „Thermoelectric Technical Reference,“ [Online]. Dostupné z:  
<https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric-reference-guide/thermalref09/>.