

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Termoelektrický zdroj energie

Diplomová práce

Vedúci diplomovej práce: prof. Ing. Martin Libra, CSc

Autor: Bc. Monika Vinarčíková

PRAHA 2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Monika Vinarčíková

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Termoelektrický zdroj energie

Název anglicky

Thermoelectrical energy source

Cíle práce

- Konstrukce termoelektrického zdroje energie.
- systematické studium parametrů zdroje.
- Aplikace tohoto zdroje energie v technické praxi.

Metodika

Konstrukce termoelektrického zdroje energie a systematické studium jeho parametrů. Aplikace tohoto zdroje energie v technické praxi (např. svítlna a nabíječka baterií).

Doporučený rozsah práce

45 stran

Klíčová slova

Termoelektrická přeměna energie, Peltierův článek, LED

Doporučené zdroje informací

Aniket Singha, 2018. Optimized Peltier cooling via an array of quantum dots with stair-like ground-state energy configuration. *Physics Letters A*, 382, 41, 3026-3030.

Hallyday, D. a kol. 2003, *Fyzika*. VUTIUM, Brno, 2003

Jun Wang, Peiguo Cao, Xingjun Li, Xiangxiang Song, Chuang Zhao, Lei Zhu, 2019, Experimental study on the influence of Peltier effect on the output performance of thermoelectric generator and deviation of maximum power point. *Energy Conversion and Management*, 200, No.112074

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Martin Libra, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra fyziky

Elektronicky schváleno dne 10. 1. 2020

prof. Ing. Martin Libra, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 14. 05. 2021

Čestné prehlásenie

Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu som vypracovala samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú citované v práci a uvedené v zozname použitých zdrojov na konci práce.

V Prahe dňa 14.5.2021

Podpis:

Pod'akovanie

Rada by som sa touto cestou poďakovala vedúcemu diplomovej práce, pánovi prof. Ing. Martinovi Librovi, CSc, za vedenie, cenné poznámky, odborné pripomienky a podnety pri tvorbe diplomovej práce.

Abstrakt

Diplomová práca sa zaoberá možnosťou produkovania elektrickej energie na základe termoelektrického javu. Teoretická časť uvádza stav problematiky termoelektrického javu, popisuje podstatu jeho vzniku, materiály určené pre výrobu peltierových článkov, ich účinnosť spolu s výhodami a nevýhodami použitia. V praktickej časti boli zmerané a analyzované parametre skonštruovaného termoelektrického zdroja. Podľa zistených parametrov bol vytvorený konkrétny návrh núdzového zdroja energie, slúžiaceho v extrémnych podmienkach na osvetlenie alebo nabíjanie mobilného telefónu. Funkcia tohoto návrhu bola následne overená napojením LED diódy na zdroj.

Kľúčové slová

Termoelektrická premena energie, Seebeckov jav, Peltierov článok , LED dióda

Abstract

The diploma thesis deals with the production of electricity based on the thermoelectric phenomenon. The theoretical part presents the state of the problem of thermoelectric effect, describes the essence of its origin, materials intended for production of Peltier modules, their efficiency together with advantages and disadvantages of its use. In the following practical part, the parameters of the constructed thermoelectric power supply were measured and analyzed. Subsequently, according to these parameters a specific thermoelectric emergency power source was designed. The design should serve in extreme conditions for lighting or charging a mobile phone. The function of the design was verified by connecting the LED to the energy source.

Keywords

Thermoelectric energy conversion, Seebeck effect, peltier module, LED

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Ciele práce	2
3	Stav problematiky	3
3.1	Polovodiče	3
3.1.1	Vlastná vodivosť	3
3.1.2	Nevlastná vodivosť	4
3.1.3	Vodivosť typu N – negatívna.....	4
3.1.4	Vodivosť typu P – pozitívna	4
3.1.5	Priechod PN	5
3.1.6	Priechod PN bez zdroja napätia	5
3.1.7	Priechod PN zapojený v závernom smere	6
3.1.8	Priechod PN zapojený v priepustnom smere	6
3.2	Termoelektrické javy	6
3.2.1	Seebeckov jav	7
3.2.2	Peltierov jav	9
3.2.3	Thomsonov jav	9
3.3	Termočlánky	10
3.3.1	Peltierov článok	10
3.3.2	Porovnanie peltierových článkov TEC a TEG	13
3.3.3	Účinnosť Peltierovho článku	14
3.3.4	Materiály pre termočlánky	15
3.3.5	Parametre	17
3.4	Výhody a nevýhody	17
3.4.1	Využitie.....	19
4	Vlastné výsledky	24
4.1	Meranie charakteristiky Peltierovho článku	24

4.1.1	Experiment č.1	24
4.1.2	Experiment č. 2	26
4.1.3	Meranie výkonu	28
4.1.4	Meranie napätia.....	30
4.1.5	Vyhodnotenie charakteristiky peltierovho článku	32
4.2	Návrh núdzového zdroja energie.....	32
4.2.1	Konštrukcia	33
4.2.2	Elektronika zariadenia	34
5	Diskusia.....	39
6	Záver	40
7	Citovaná literatúra.....	41
8	Zoznam obrázkov.....	45
9	Zoznam tabuliek.....	47

1 Úvod

Nutnosť ochrany životného prostredia a s tým súvisiaci trvalý nárast cien palív a energie, a predovšetkým obmedzenosť svetových zásob energie – to všetko vedie k premýšľaniu o alternatívnych zdrojoch energie. Jednou z možností je výroba elektrickej energie na základe termoelektrického javu.

Termoelektrické javy umožňujú priamu premenu tepla na elektrickú energiu alebo naopak, elektrickej energie na tepelnú, a tak poskytujú veľmi zaujímavý spôsob premeny odpadového tepla na užitočnú energiu. Zariadenia fungujúce na základe tohto princípu sú typické jednoduchosťou, spoľahlivosťou, dlhou životnosťou a prevádzkou bez chemických látok alebo pohyblivých častí. Táto možnosť bola široko skúmaná od 50. rokov 20. storočia, ale v praxi boli dlho termoelektrické zariadenia obmedzené na malú skupinu vedeckých, lekárskych alebo vojenských využití. Hlavný dôvod v zásade spočíva v relatívne nízkej účinnosti existujúcich termoelektrických zariadení. Po dlhom období pomalého pokroku bol výskum v posledných dvoch desaťročiach obnovený vďaka nástupu nanovied a nanotechnológií, ktoré zohrali v tomto novom smere výskumu dôležitú úlohu a boli rozhodujúce pri vymýšľaní rôznych stratégií navrhovaných na zlepšenie účinnosti.

Táto práca v úvode oboznamuje čitateľa s princípom vzniku termoelektrickej energie a popisuje tri základné termoelektrické javy. Ďalej sa zaoberá peltierovými článkami ako prostriedkami na vznik energie, popisuje ich účinnosť, materiály vhodné na ich výrobu, výhody a nevýhody využívania a uvádza príklady využitia, ktoré sú dnes vo svete známe. Na teoretický základ nadväzuje praktický návrh termoelektrického zdroja energie. Tento zdroj je myslený ako núdzový generátor energie, slúžiaci na osvetlenie alebo nabíjanie telefónu. Ako základ bol zvolený vhodný termočlánok, na ktorom sa pomocou ohrievania na jednej strane a chladenia na druhej strane vytváral teplotný rozdiel. Boli merané napätie a prúd, ktoré termočlánok dosahoval pri rôznych teplotných rozdieloch a s ohľadom na namerané dáta bola finálne navrhnutá konštrukcia núdzového termoelektrického zdroja.

2 Ciele práce

Hlavným cieľom práce je skonštruovať zdroj energie pracujúci na princípe termoelektrického javu. Ďalším cieľom je na skonštruovanom zdroji namerať, spočítať a vyhodnotiť parametre dôležité pre jeho fungovanie. Po systematickom štúdiu parametrov bude navrhnutá aplikácia zdroja v praxi v podobe núdzového osvetlenia alebo nabíjačky telefónu. Nakoniec bude funkcia zdroja overená napojením LED diódy.

3 Stav problematiky

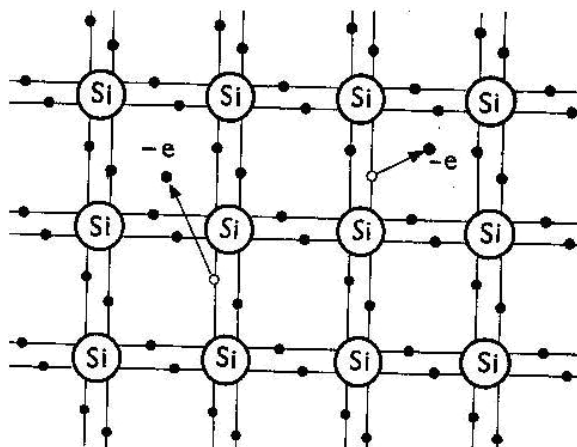
3.1 Polovodiče

Polovodiče sú látky, ktoré sa za určitých podmienok chovajú ako izolanty, ale pri zmene týchto podmienok sa môžu chovať ako vodiče. Vodivosť polovodičov silne závisí na teplote, na osvetlení a na čistote kryštálovej mriežky. Medzi polovodiče patrí rada pevných látok - kremík, germánium, selén, telúr, uhlík (grafit), sulfid olovnatý, sulfid kademnatý a iné. [1]

3.1.1 Vlastná vodivosť

Elektrické vlastnosti polovodičov môžeme vysvetliť na základe vlastností ich kryštálovej mriežky. Napríklad kremík je štvormocný (má 4 valenčné elektróny) a jeho atómy sú usporiadané v kryštálovej mriežke. Pri nízkych teplotách sú valenčné elektróny silne pútané v mriežke, kremík prúd nevedie. Pri poruche elektrónovej väzby (napr. zahriatie) sa ióny v kryštálovej mriežke rozkmitajú a dochádza k uvoľňovaniu valenčných elektrónov. Elektrón sa ihneď začne pohybovať v kryštálovej mriežke a pri priložení elektrického poľa sa účastní vedenia prúdu. Keď opustí elektrón svoje miesto v mriežke, objaví sa miesto, kde chýba záporný náboj. Toto prázdne miesto sa nazýva „diera“ a chýbajúci záporný náboj sa navonok prejaví ako náboj kladný. Do „diery“ môže preskočiť iný elektrón z kryštálovej mriežky a doplniť chýbajúci záporný náboj. Dôjde k rekombinácii. Kladná „diera“ sa však objaví na mieste, odkiaľ elektrón preskočil, vypadá to teda, ako by sa „diery“ sťahovali v kryštálovej mriežke z miesta na miesto. Elektrónová alebo dierová vodivosť čistých polovodičov je označovaná ako vlastná vodivosť. [1] [2]

Obr. 1 - Vlastná polovodivosť



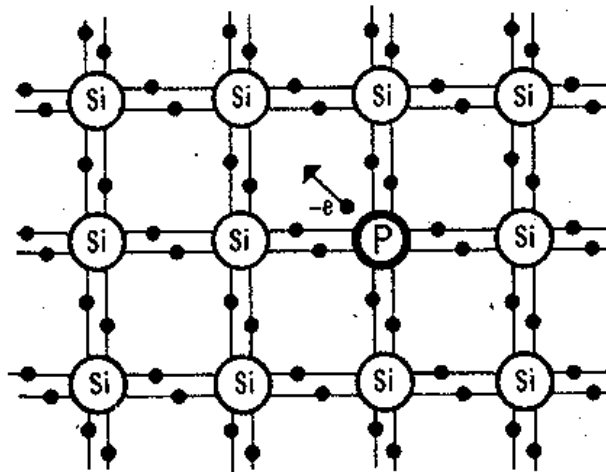
3.1.2 Nevlastná vodivosť

V technickej praxi majú najväčšie využitie tzv. nevlastné polovodiče, ktorých kryštalová mriežka bola „znečistená“ nepatrným množstvom prímiesí. Na zmenu elektrických vlastností stačí, keď znečistíme kremík tak, že na sto miliónov jeho atómov pridáme jeden atóm prímiesi. [2] [3]

3.1.3 Vodivosť typu N – negatívna

V kryštáli kremíku sú niektoré atómy nahradené päťmocnými atómami, napr. fosforu. Ich štyri valenčné elektróny sa účastia väzieb, ale piate sa už v chemických väzbách nemôžu uplatniť. Sú veľmi slabo viazané a už pri nízkych teplotách se stanú voľnými elektrónmi. – V kremíku s prímiesou päťmocného prvku (hovorí sa mu donor) je nadbytok voľných elektrónov, ktoré po pripojení ku zdroju spôsobujú jeho elektrónovú vodivosť typu N. [3]

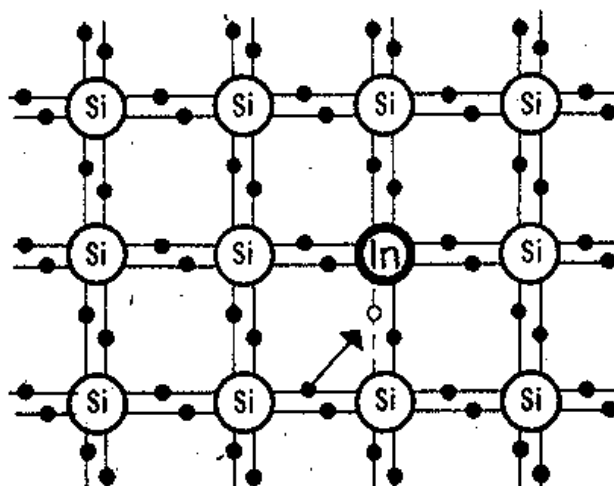
Obr. 2 - Vodivosť typu N



3.1.4 Vodivosť typu P – pozitívna

Keď sa zabudujú do kryštalovej mriežky atómy trojmocného prvku s tromi valenčnými elektrónmi, napr. indíu, chýbajú pre obsadenie všetkých chemických väzieb elektróny. V mieste nenasýtenej väzby vznikne „diera“ s kladným nábojom. Túto „dieru“ môže zaplniť elektrón z niektorej inej väzby a „diera“ sa v kryštáli presunie na jeho miesto. - Prímes trojmocného prvku (hovorí sa mu akceptor) vytvára v kryštáli kremíku nadbytok kladných „dier“, ktoré po pripojení ku zdroju spôsobujú jeho dierovú vodivosť typu P. [3]

Obr. 3 - Vodivosť typu P



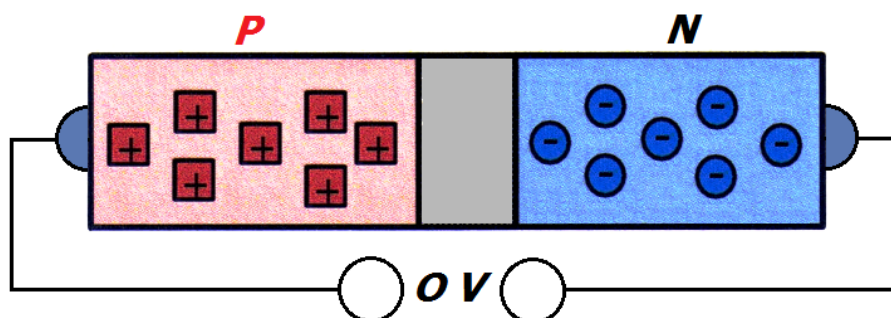
3.1.5 Priechod PN

Pre potreby diplomovej práce sa dá zjednodušene priechod PN vysvetliť nasledovne. PN priechod je oblasť na rozhraní polovodičov typu N a P. Tento priechod (oblasť dotyku) medzi týmito oblasťami vykazuje rôzne vlastnosti v závislosti na polarite priloženého napätia. Výsledkom je, že prepúšťa elektrický prúd iba jedným smerom, ide o tzv. diodový jav. Vlastnosti PN priechodu sú ďalej ovplyvnené napr. dopadajúcim žiarením (svetlom), alebo teplotou. [4] [1]

3.1.6 Priechod PN bez zdroja napätia

V oblasti styku oboch polovodičov sa časť elektrónov z oblasti N dostane do oblasti P a časť "dier" z oblasti P prejde do oblasti N. Voľné elektróny rekombinujú s "dierami", takže okolo prechodu PN sa vytvorí nevodivá oblasť bez voľných nábojov. [4] [5]

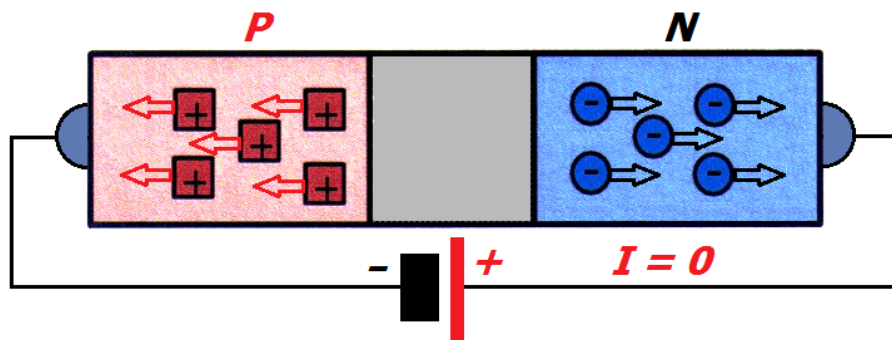
Obr. 4 - priechod PN bez zdroja napätia [5]



3.1.7 Priechod PN zapojený v závernom smere

Ak pripojíme k polovodiču P záporný pól a k polovodiču N kladný pól zdroja, vzdľajú sa pôsobením elektrických síl voľné náboje od prechodu PN. Oblasť bez voľných nábojov sa rozšíri, jej odpor vzrastie a elektrický prúd prechodom PN nemôže prechádzať. Nevodivej oblasti bez voľných nábojov hovoríme hradlová vrstva. [4] [5]

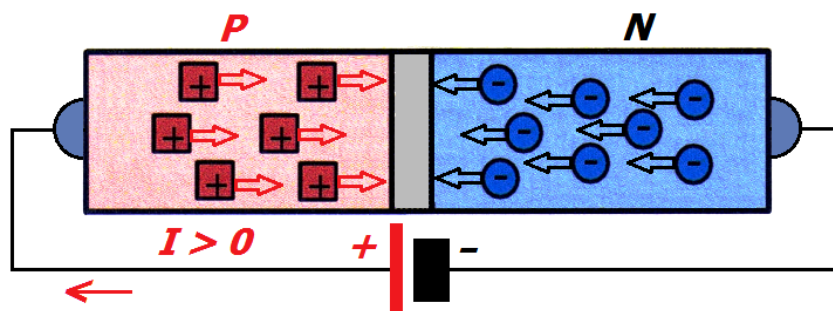
Obr. 5 - Priechod PN zapojený v závernom smere [5]



3.1.8 Priechod PN zapojený v priepustnom smere

Ak zmeníme polaritu pripojeného zdroja tak, že k polovodiču P pripojíme kladný pól a k polovodiču N záporný pól, prechádzajú pôsobením elektrických síl voľné elektróny cez prechod PN ku kladnému pólu a "diery" sú priťahované k zápornému pólu. Výsledkom je zúženie hradlovej vrstvy a zmenšenie jej odporu. Takto zapojeným prechodom PN prúd prechádza. [4] [5]

Obr. 6 - Priechod PN zapojený v priepustnom smere [5]



3.2 Termoelektrické javy

Termoelektrický jav je schopnosť daného materiálu generácie elektrického napätia za prítomnosti teplotného gradientu, a tým zaisťovať premenu tepelnej energie na energiu elektrickú. Táto schopnosť je založená na troch základných javoch: Seebeckov, Peltierov a Thomsonov. Ich podstata spočíva buď vo vzniku elektromotorického napätia, vyvolaného

rozdielom teplôt v obvode (Seebeckov), alebo v uvoľňovaní či pohlcovaní tepla pri priechode jednosmerného prúdu obvodom (Peltierov a Thomsonov). [6] [7]

3.2.1 Seebeckov jav

Keď majú dva spoje dvoch kovov, ktoré tvoria termočlánok rozdielnu teplotu, sú i kontaktné napätia oboch rozhraní rôzne. Preto výsledné napätie merané medzi týmito rozhraniami je nenulové a termočlánok sa dá využiť ako zdroj elektrického napätia. Obvodom prechádza elektrický prúd a nastáva tzv. Seebeckov jav. Pri Seebeckovom jave je termoelektrické napätie tvorené dvomi zložkami

- zložkou vznikajúcou v kontaktoch [6]

Tá je tvorená v dôsledku kontaktného potenciálového rozdielu v mieste dotyku týchto dvoch vodičov. Elektróny nemôžu samovoľne vystupovať z kovového vodiča. Pri povrchu a tesne nad ním vzniká priťažlivá coulombovská sila, ktorou kladné nabité ióny vťahujú záporne nabité elektróny späť do kryštálovej mriežky. Pri povrchu tak vzniká potenciálová bariéra. Aby elektróny pri výstupe mohli prekonať túto potenciálovú bariéru, je potrebná určitá energia, a preto elektróny musia vykonať výstupnú prácu. Ak označíme náboj elektrónu q_e a rozdiel potenciálov U_v , potom môžeme výstupnú prácu A vyjadriť ako:

$$A = q_e \cdot U_v \quad (\text{J;C,V})$$

Elektróny v kovoch dosahujú často veľmi vysokých rýchlostí, a to vďaka svojmu neusporiadanému tepelnému pohybu. Ak by sa takýto elektrón pohyboval kolmo ku povrchu kovu, mohol by potenciálovú bariéru prekonať a tým pádom aj kov opustiť. Avšak pri izbovej teplote je výstup elektrónov z kovu vďaka vysokej hodnote U_v prakticky nemožný. Ak sú navzájom spojené dva kovy z rôznych materiálov, čiže s rôznymi hodnotami U_v , môže byť rozdiel týchto hodnôt tak priaznivý, že sa elektróny začnú premiestňovať z kovu A do kovu B ľahšie ako opačným smerom. Kov B sa začne oproti kovu A nabíjať záporne. Na stykových plochách vznikne kontaktné napätie:

$$U_{AB} = U_{vA} - U_{vB} \quad (\text{V;V,V})$$

Intenzita takto vzniknutého elektrického poľa, ktorá má smer kolmo k rozhraniu obidvoch kovov, začne zabraňovať priechodu ďalších elektrónov cez rozhranie až kým nastane dynamická rovnováha, kedy začne oboma smermi prechádzať rovnaký počet elektrónov.

Veľkosť potenciálovej bariéry U_v a kontaktného napätia je rôzna pre rôzne kovy a závisí hlavne na teplote. [6] [8] [9]

Koncom 18. storočia Alessandro Volta (1745 – 1827) experimentálne zostavil radu kovov. Usporiadanie prvkov v nej je také, že pokiaľ sa prvok spojí s prvkom stojacím vpravo od neho, nabije sa kladne. + Al, Zn, Sn, Pb, Sb, Bi, Hg, Fe, Cu, Ag, Au, Pt, Pd –

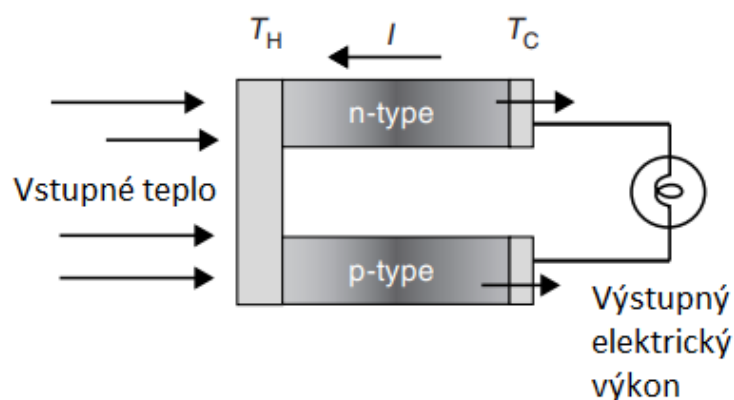
- zložkou vznikajúcou v objeme materiálu

Vzniká v dôsledku difúzie nositeľov náboja a je hlavným zdrojom termoelektrického napätia. V teplejšej oblasti sa vytvára vyššia koncentrácia voľných nositeľov náboja, ktoré sa potom presúvajú z teplejšieho miesta na chladnejšie. Ak sú nositeľmi náboja elektróny, chladnejší kontakt sa nabije záporne a teplejší kontakt sa nabije kladne. [3] Polarita termoelektrického napätia môže preto slúžiť k určeniu typu elektrickej vodivosti polovodiča. Termoelektrické napätie pripadajúce na rozdiel teplôt sa nazýva Seebeckov koeficient α :

$$\alpha = \Delta U / (T_r - T_s) \quad (\text{V} \cdot \text{K}^{-1}; \text{V}, \text{K})$$

Seebeckov koeficient závisí vždy na danej dvojici kovov. Termoelektrické napätie závisí len na rozdieli teplôt a na daných materiáloch - nezávisí na spôsobe vedenia tepla daným materiálom, ani na rýchlosti ohrevu materiálu. Hodnota Seebeckovho koeficientu pre kovy je rádovo $(10^{-6}; 10^{-5}) \text{ V} \cdot \text{K}^{-1}$, hodnota Seebeckovho koeficientu pre polovodiče je rádovo $(10^{-5}; 10^{-3}) \text{ V} \cdot \text{K}^{-1}$. [7] [8] [10]

Obr. 7 - Seebeckov jav [10]



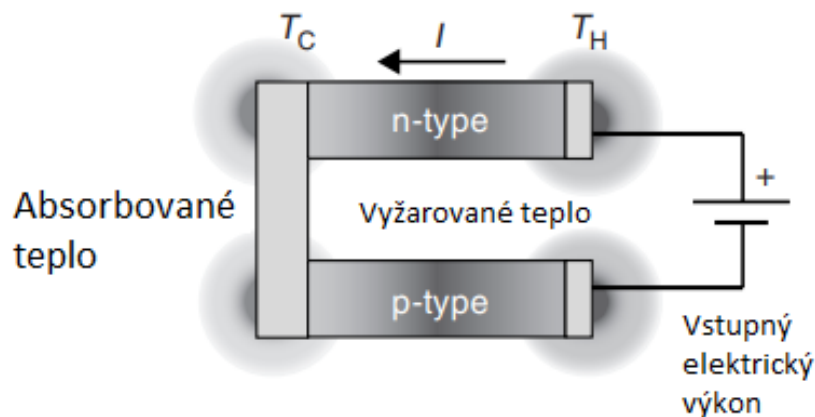
3.2.2 Peltierov jav

V roku 1834 francúzsky hodinár Jean-Charles-Athanase Peltier (1785 – 1845) objavil, že ak prechádza jednosmerný prúd miestom, kde sa stýkajú dva rôzne vodiče, začne sa uvoľňovať alebo pohlcovať teplo. Peltierov jav je inverzným javom k Seebeckovmu javu. Či je v mieste styku teplo pohlcované alebo uvoľňované, určuje smer prechádzajúceho prúdu. Množstvo tepla, ktoré sa označuje aj ako Peltierovo teplo, je úmerné prechádzajúcemu prúdu.

$$Q_P = \pi \cdot I \cdot t \quad (\text{W}; \text{V}, \text{A}, \text{s})$$

Peltierov súčiniteľ π je definovaný ako konštanta úmernosti tepla vytvoreného (spotrebovaného) pri priechode elektrického náboja kontaktom. [11] [6] [9]

Obr. 8 - Peltierov jav [10]



3.2.3 Thomsonov jav

Thomsonov jav spočíva v tom, že ak je kovová tyč dĺžky l na jednom konci zahrievaná, vytvorí sa v nej tepelný gradient a medzi koncami vodiča vznikne termoelektrické napätie U . Od Seebeckovho javu sa líši tým, že vzniká iba pri ohriatí jedného vodiča a preto je aj hodnota tohto vytvoreného termoelektrického napätia veľmi malá. [6] [12]

Ak by elektrický prúd prechádzal homogénnym vodičom s nerovnomerne rozloženou teplotou, začne sa do okolia uvoľňovať teplo

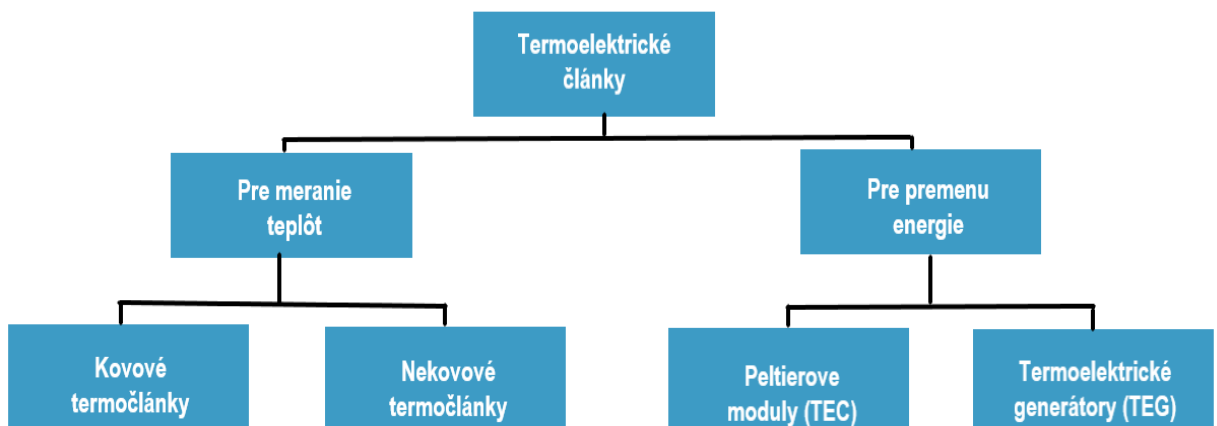
$$Q = R \cdot I^2 - \mu \cdot I \cdot \Delta T / \Delta l \quad (\text{W}; \Omega, \text{A}, \Omega \cdot \text{m} \cdot \text{K}^{-1}, \text{A}, \text{K}, \text{m}^{-1})$$

kde μ je Thomsonov koeficient. Prvý člen rovnice $R.I^2$ je Jouleovo teplo, ktoré sa uvoľňuje pri prechode elektrického prúdu vodičom. Druhý člen rovnice $\mu.I.\Delta T/\Delta l$ je Thomsonovo teplo, ktoré vzniká kvôli rozdielu teplôt vo vodiči. Znamienko sa mení podľa smeru elektrického prúdu. V častiach obvodu, kde je smer prúdu a tepla súhlasný, je množstvo uvoľňovaného tepla väčšie než v častiach, v ktorých tepelný tok má opačný smer ako elektrický prúd. Veľkosť efektu je závislá na materiálu vodiča a je úmerná rozdielu teplôt. [12]

3.3 Termočlánky

Termoelektrické články môžeme z hľadiska využitia rozdeliť do dvoch hlavných častí, tak ako vyplýva z Obr. 9. Termoelektrické články pre meranie teplôt sú vyrobené najmä z kovov, zatiaľ čo termoelektrické články pre premenu energie sú vyrábané výhradne z polovodičov. [13]

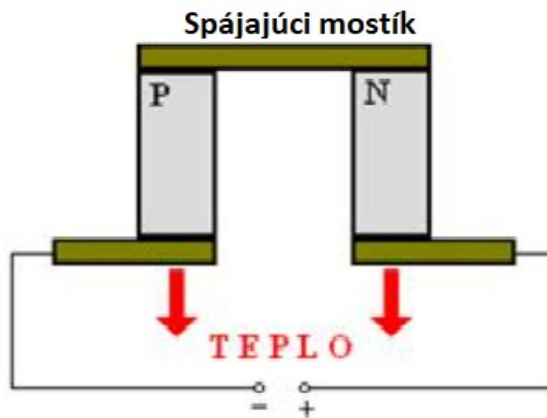
Obr. 9 - Rozdelenie termočlánkov



3.3.1 Peltierov článok

Peltierov článok (viď Obr. 10) sa skladá z dvoch teliesok vyrobených z polovodičov (jedno z polovodiča typu N, druhé z polovodiča typu P) a spojovacieho mostíka. Spojovacím mostíkom sa privádza do článku elektrická energia a absorbuje (resp. odvádza) sa ním teplo z Peltierovho článku. [7] [13]

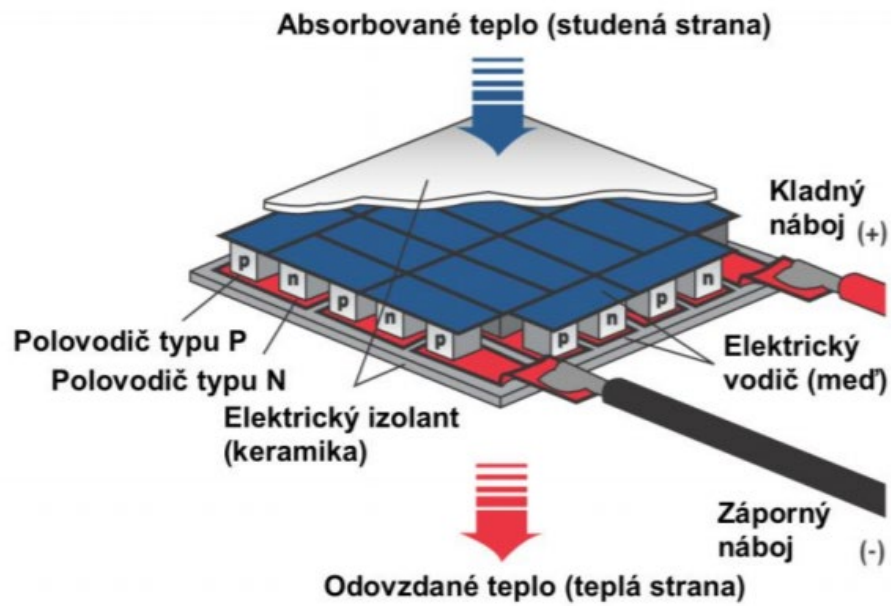
Obr. 10 - Peltierov článok



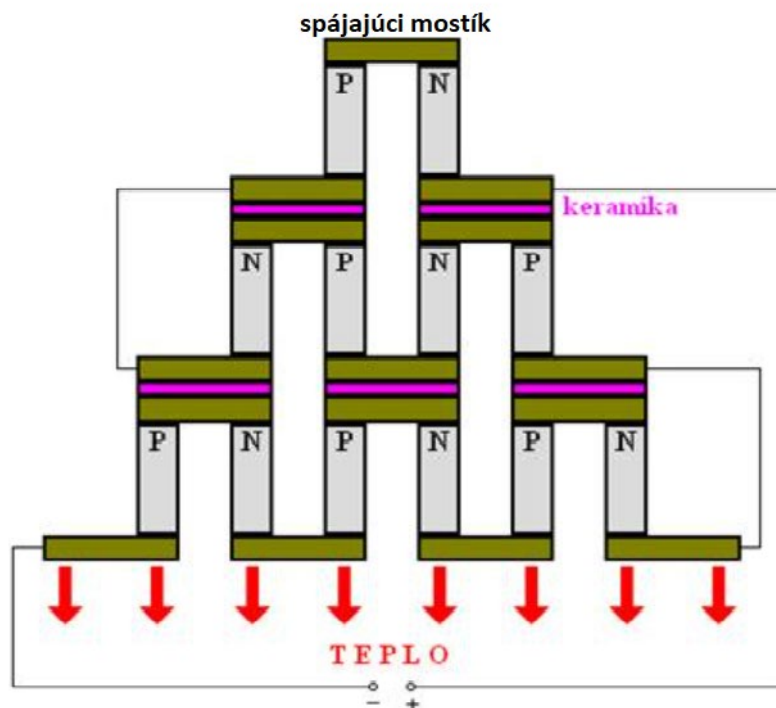
Pri tomto zapojení článku sú z polovodiča typu N, v ktorom sú majoritnými nosičmi náboja elektróny, tieto elektróny odvádzané smerom ku zdroju napätia. Analogicky sú ku zdroju napätia z polovodiča typu P odvádzané jeho majoritné nosiče náboja: diery. V spojovacom mostíku teda klesá počet voľných nosičov náboja a teda klesá kontaktné napätie medzi spojovacím mostíkom a polovodičmi. Spojovací mostík sa teda ochladzuje, zatiaľ čo druhý spoj sa ohrieva. [13]

Jednotlivé Peltierove články sa obvykle zapojujú do série do väčších celkov - do tzv. chladiacej termobatérie (viď Obr. 11). K dosiahnutiu vyšších teplotných rozdielov pri zachovaní určitého chladiaceho výkonu sa spájajú jednotlivé termoelementy do kaskádových batérií (viď Obr. 12) alebo termobatérie do kaskády. V tomto prípade sa musí zaistiť elektrická izolácia medzi termobatériami. Ako izolácia sa používajú keramiky s dobrou tepelnou vodivosťou. Je vhodné keramické doštičky potrieť silikónovým tukom alebo batérie zlepiť vhodným lepidlom, ktoré má malý súčiniteľ tepelnej vodivosti. Týmito úpravami sa zníži tepelný odpor medzi batériami. [13] [9]

Obr. 11 - Termobatéria z Peltierových článkov [10]



Obr. 12 - Kaskáda z termočlánkov [13]



Peltierove články sa dajú využiť v praxi ako:

- zariadenie pre prenos tepelnej energie - Peltierov článok bude jednu časť priestoru ochladzovať a druhú ohrievať.

- zdroj elektrického napätia - takto bude Peltierov článok fungovať, ak bude jedna jeho časť ochladzovaná a druhá ohrievaná. Ide vlastne o priamu aplikáciu Seebeckovho javu. [10]

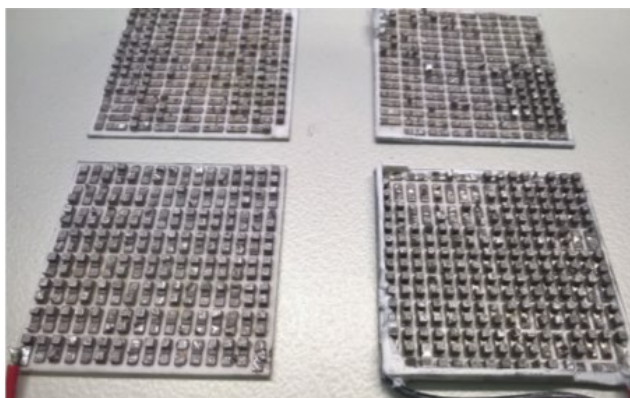
3.3.2 Porovnanie peltierových článkov TEC a TEG

Hoci je peltierov článok bežne známy kvôli využitiu v chladiacich zariadeniach alebo tepelných čerpadlách, dá sa použiť aj ako generátor. Účinnosť termoelektrických materiálov v skutočnosti nie je príliš vysoká a náklady na TEG sú. Keďže TEG a TEC sa vyrábajú z rovnakých materiálov, otázkou je, v ktorom tepelnom rozsahu a za akých podmienok sa dajú drahé TEG nahradit' lacnejšími TEC. [14] [9]

Zatiaľ čo na prvý pohľad sú si články veľmi podobné, je päť bodov, v ktorých sa odlišujú:

- 1) Keramické platne: Keramické platne článkov TEG sú vystavené vyšším teplotám a teda aj vyššiemu tlaku. Najmä termálne cyklovanie spôsobuje vysoký tlak pre keramický materiál. To je dôvod, prečo sú články TEG na stranách otvorené (vid' Obr. 14).
- 2) Spájkovanie: Pretože TEC sú konštruované pre využitie v izbovej teplote, používa sa štandardná pájka, ktorej teplota tavenia je 138 °C. V prípade TEGu spájkovanie musí odolávať teplotám nad 200 °C.
- 3) Drôty: vodiče TEG sú pripojené na chladnú stranu zariadenia, aby boli chránené pred teplom. Ako izolačný materiál sa používa často teflón, ktorý znáša vyššie teploty a tak sa ťažšie ohýbajú. Drôty sú tenšie, pretože TEG prenášajú menej prúdu než TEC; TEG medzi 1 a 2 A a TEC medzi 4 a 6 A. Drôty TEC sú preto silnejšie a preto sa pri nižšej teplote ako izolačný materiál používa PVC
- 4) Rozmery termoelektrických prvkov: Na Obr. 13 je vnútro obidvoch termoelektrických zariadení a je vidieť, že termoelektrické prvky majú rôzne rozmery. TEG má väčšie prvky, zatiaľ čo TEC má menšie, ale vyššie prvky. Veľkosť väčších prvkov v TEGu znamená väčší tepelný tok zariadením a tým aj vyšší výkon.
- 5) Hrúbka: Ďalším rozdielom je presnosť hrúbky. V článkoch TEC hrúbka nie je príliš presná, zatiaľ čo u prvkov TEG je hrúbka rôznych zariadení veľmi jednotná. Normálne býva mnoho TEG zapojených do série za účelom generovania vyššieho výkonu a preto je veľmi dôležité, aby bol zaistený jednotný kontakt všetkých TEG. [14]

Obr. 13 - Vnútro termočlánkov, vľavo TEG a vpravo TEC [14]



Obr. 14 - Pohľad na termočlánky z boku, hore TEC a dole TEG [14]



V experimente profesora Freya [Thermoelectric Power Generation: Peltier Element versus Thermoelectric Generator] boli obidve termoelektrické zariadenia testované a simulované za rovnakých podmienok a nakoniec porovnané. Bolo zistené, že pre generovanie v teplotnom rozsahu medzi 0 a 100 °C sa dá TEC použiť rovnako dobre ako TEG. Pri nízkych teplotách medzi 20 a 40 °C je TEC dokonca trochu lepší. Tento výsledok je veľmi rozhodujúci pre vývoj ekonomicky užitočného získavania termoelektrickej energie. Skutočnosť, že TEC je 15 alebo viackrát lacnejší než TEG znamená, že buď sa dajú znížiť náklady alebo za rovnakú investíciu nainštalovať viac TECov a vyrobiť viac elektrickej energie. [14]

3.3.3 Účinnosť Peltierovho článku

Oblasti efektívneho využitia Peltierovho článku sú v súčasnej dobe obmedzené nízkou účinnosťou. Hranice účinnosti premeny energie termoelektrickými zariadeniami je daná Carnotovou účinnosťou, pre jej určenie sa používa bezrozmerná materiálová veličina (ZT):

$$ZT = T(S^2 \cdot \sigma) / \lambda$$

kde S je termoelektrická sila (alebo tiež Seebeckov koeficient), σ je elektrická vodivosť, λ je tepelná vodivosť a T je absolútna teplota. Pre zvýšenie parametru ZT a teda zvýšenie efektivity termoelektrickej premeny energie je nutné, aby termoelektrické materiály mali nasledujúce tri fyzikálne vlastnosti:

- nízku tepelnú vodivosť λ , ktorá je nevyhnutná pre veľký teplotný rozdiel oboch koncov materiálu,
- vysokú elektrickú vodivosť σ , ktorá je potrebná pre zníženie vnútorného odporu materiálu,
- veľkú termoelektrickú silu (S), ktorá je potrebná k získaniu vysokého napätia. [15]

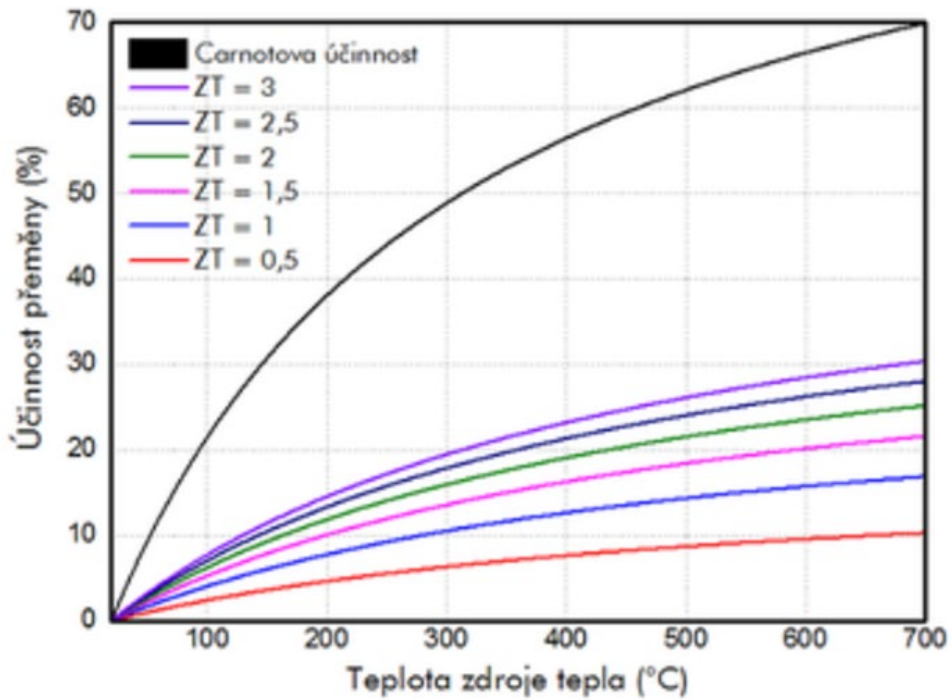
3.3.4 Materiály pre termočlánky

Z fyzikálneho hľadiska sú vyššie uvedené požiadavky ťažko splniteľné, pretože materiály, ktoré dobre vedú prúd, sú väčšinou tiež dobrými vodičmi tepla. Elektrická a tepelná vodivosť sú spolu do istej miery zviazané a nedá sa ich nezávisle na sebe optimalizovať. Preto museli odborníci vhodné materiály modifikovať tak, aby mohla byť pri zachovaní veľkej elektrickej vodivosti umelo znížená ich schopnosť viesť teplo a pritom bola ponechaná možnosť používať ich aj pri vysokých teplotách. Veľké možnosti v tomto smere priniesla na prelome 20. a 21. storočia nanotechnológia a používanie nanokompozitných polovodičových materiálov. V súčasnosti najrozšírenejší výrobný postup spočíva v tom, že sa nanometricky tenké vrstvy z termoelektricky rôzne aktívneho materiálu kladú na seba. Styčné plochy, ktoré tým v materiáli vznikajú, bránia prenosu tepla, ale na prenos prúdu vplyv nemajú, čo je pre dosiahnutie veľkej hodnoty ZT veľmi priaznivé. [10] [16]

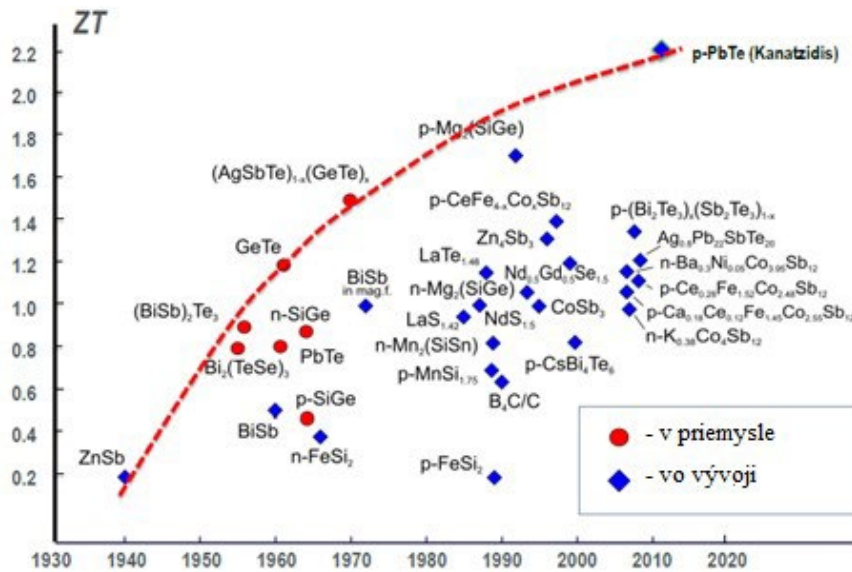
Polovodičový materiál najčastejšie používaný v dnešných termoelektrických chladičoch je zliatina telurid bizmutitý. Okrem teluridu bizmutitého (Bi_2Te_3) existujú aj iné termoelektrické materiály vrátane teluridu olovnatého (PbTe), germanidu kremičitého (SiGe) a zliatin bizmutu a antimónu (Bi-Sb), ktoré sa môžu používať v špecifických situáciách. [15]

Na Obr. 15 je znázornený priebeh účinnosti materiálov s daným ZT a účinnosti ideálneho tepelného stroja. Bežne dostupné termoelektrické materiály majú približne parameter $ZT \leq 1$ a teda i malú účinnosť. V nízkotepelných aplikáciách typicky okolo 5 %. Zložitejšie segmentované moduly môžu dosahovať 10 %. Laboratórne pripravované materiály majú vyššie koeficienty ZT a môžu dosahovať vyššie účinnosti (Obr. 16). [17]

Obr. 15 - Porovnanie termoelektrickej účinnosti a teoretickej maximálnej účinnosti [17]



Obr. 16 - Účinnosť priemyselovo používaných a laboratórne vyvíjaných termoelektrických materiálov [17]



Nízka účinnosť nediskvalifikuje termoelektrinu v nízkovýkonových aplikáciách. Je nevýhodou pri hromadnej výrobe elektrickej energie. Termoelektrické aplikácie využívajúce teplo s vyšším potenciálom sú prijateľné iba v prípadoch, kedy neexistujú vhodnejšie spôsoby premien. Naopak, využívanie odpadného tepla o teplotách nižších než 140 °C konkurencioschopnosť termoelektrickej premeny značne zvyšuje. [18]

3.3.5 Parametre

Tab. 1- Parametre termočlánku

Označenie	Parameter	Jednotka
I	Prevádzkový prúd termočlánku	A
I_{max}	Prevádzkový prúd, ktorý vytvára maximálny teplotný rozdiel ΔT_{max}	A
Q_c	Množstvo tepla, ktoré môže byť absorbované na studenej strane TEC	W
Q_{max}	Maximálne množstvo tepla, ktoré je možné absorbovať na studenej strane pri $I=I_{max}$ a $\Delta T=0$	W
T_{hot}	Teplota horúcej strany pri prevádzke termočlánku	°C
T_{cold}	Teplota studenej strany pri prevádzke termočlánku	°C
ΔT	Rozdiel teploty medzi T_{hot} a T_{cold}	°C
ΔT_{max}	Maximálny teplotný rozdiel medzi T_{hot} a T_{cold}	°C
U_{max}	Napájacie napätie pri I_{max}	V
ε	Účinnosť chladenia	%
α	Seebeckov koeficient termoelektrického materiálu	V/°C
σ	Elektrický koeficient termoelektrického materiálu	1/cm.ohm
κ	Tepelná vodivosť termoelektrického materiálu	W/cm.°C

3.4 Výhody a nevýhody

Medzi najvýznamnejšie výhody Peltierových článkov patria:

- Žiadne pohyblivé časti: Modul TEC pracuje bez pohyblivých častí, takže sú prakticky bezúdržbové.
- Malé rozmery a hmotnosť: Celkový termoelektrický chladiaci systém je omnoho menší a ľahší ako porovnateľný mechanický systém.

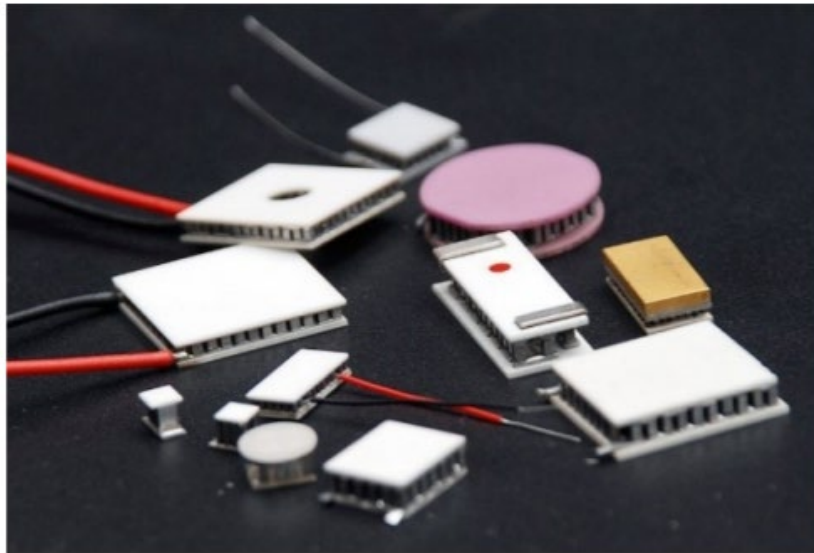
- Schopnosť ochladzovať pod okolitú teplotu: Na rozdiel od konvenčného chladiča, ktorého teplota musí nevyhnutne stúpnuť nad okolitú teplotu, chladič TEC pripojený k tomuto istému chladiču má schopnosť znížiť teplotu pod okolitú hodnotu.
- Schopnosť ohrievať a ochladzovať pomocou rovnakého modulu: Termoelektrické chladiče budú ohrievať alebo ochladzovať v závislosti od polarít použitého jednosmerného prúdu.
- Presná regulácia teploty: Chladiče TE môžu regulovať teploty na lepšie ako $\pm 0,1^\circ \text{C}$.
- Vysoká spoľahlivosť: Termoelektrické chladiče vykazujú veľmi vysokú spoľahlivosť vďaka svojej pevnej konštrukcii. Hoci spoľahlivosť je závislá od využitia, životnosť typických chladičov TE je viac ako 200 000 hodín.
- Elektricky „tichý“ chod: Na rozdiel od mechanického chladiaceho systému TEC moduly nevytvárajú prakticky žiadny elektrický šum a môžu byť použité v spojení s citlivými elektronickými senzormi.
- Prevádzka v každom prostredí: Môžu byť použité v prostredí s nulovou hmotnosťou. Sú teda populárne v mnohých kozmických využitíach.
- Pohodlné napájanie: Termočlánky pracujú priamo zo zdroja jednosmerného prúdu. K dispozícii sú moduly so širokým rozsahom vstupných napätí a prúdov.
- Schopnosť generovať elektrickú energiu: Ak sa používa „v obrátenom režime“ použitím teplotného rozdielu na plochách termočlánku, je možné generovať malé množstvo jednosmerného prúdu.
- Šetrné k životnému prostrediu: Konvenčné chladiace systémy nie je možné vyrábať bez použitia chlór-fluórovaných uhlíkovodíkov alebo iných chemikálií, ktoré môžu byť škodlivé pre životné prostredie. Termoelektrické zariadenia nepoužívajú ani nevytvárajú plyny žiadneho druhu. [15] [9]

Významnou nevýhodou použitia termoelektrických systémov bola neuspokojivá úroveň účinnosti. Najlepšie termoelektrické systémy môžu poskytovať účinnosť približne 35%. Nevýhodou je tiež cena v prípade potreby vyššieho výkonu. [15]

3.4.1 Využitie

Aplikácie pre peltierove články pokrývajú široké spektrum oblastí. Patria sem zariadenia používané vojenskými, lekáarskými, priemyselnými, spotrebiteľskými, vedeckými, laboratórnymi a telekomunikačnými organizáciami. Použitia sa pohybujú od jednoduchých chladičov potravín a nápojov na popoludňajší piknik až po veľmi sofistikované systémy riadenia teploty v raketách a kozmických vozidlách. Na rozdiel od jednoduchého chladiča, termoelektrický chladič umožňuje znížiť teplotu objektu pod okolitú teplotu a stabilizovať teplotu objektov, ktoré podliehajú rôznym okolitým podmienkam. Na zvýšenie celkového výkonu tepelného čerpadla možno použiť viac termočlánkov namontovaných tepelne paralelne. [15]

Obr. 17 - Rôzne modifikácie Peltierových článkov [15]



Chladienie elektronických komponentov

Súčasný trend miniaturizácie a neustáleho zvyšovania výpočtového výkonu stavia konštruktérov pred nové výzvy. Jednou z možností je zvýšenie chladiaceho výkonu chladiča zvýšením jeho pracovnej teploty pomocou Peltierových článkov. Ich využitie pri chladení výkonných elektronických komponentov je však problematické, pretože pre dosiahnutie dostatočného prenosu tepla je potrebné Peltierov článok napájať značným prúdom generujúcim dodatočné teplo, ktoré je potrebné chladičom odvieť. [19]

Na Computexu 2018 Cooler Master ukázal prototyp, ktorý využíva fungovanie Peltierovho článku ako prostriedku k podchladeniu kvapaliny vo vodnom chladiči. Princíp je rela-

tívne jednoduchý: uzavretý vodný okruh má okrem jedného radiátora dva. Prvý klasicky ochladzuje ohriate médium pomocou ventilátora. Prirodzene tak nemôže ochladiť vodu na nižšiu teplotu, než na okolitý vzduch.

Ako druhý v poradí je v okruhu druhý radiátor (podstatne väčší), ktorý má v sebe termoelektrický článok. Lepšie povedané, zrejme ide o vodný blok, ktorý miesto aby absorboval teplo, má nasadený Peltierov článok a na ňom veľký pasívny chladič. Na rozdiel od klasického pasívu alebo radiátora termoelektrický článok dokáže presúvať teplo aj z chladnejšieho objektu do teplejšieho. Tým pádom tento sekundárny radiátor dokáže znížiť teplotu chladiacej kvapaliny ďalej než prvý konvenčný radiátor, aj pod teplotu okolitého vzduchu. Toto podchladzovanie síce stojí elektrinu navyše a vyžaduje ďalšie ventilátory ochladzujúce druhý radiátor, ale pridáva vodnému okruhu na chladiacej kapacite. [19] [20]

Obr. 18 - Chladiaci okruh počítača s Peltierovým článkom [20]



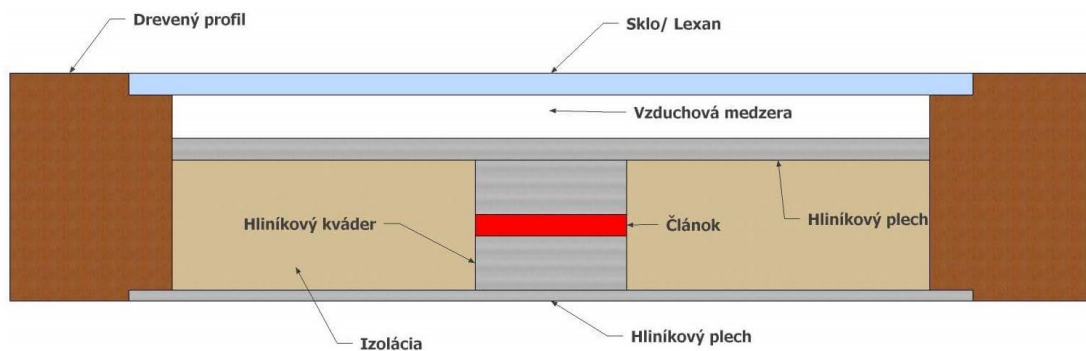
Termoelektrický solárny generátor

Do slovenskej súťaže Strojár inovátor sa zapojil projekt, ktorý sa zameria na zdroj tepla, ktorý je ľahko dostupný a to je slnko. Pre zhotovenie panela bol použitý rám z OSB dosky (vhodná aj kvôli svojej tvrdosti a hustote), ošetrený proti vonkajším vplyvom prostredia. Čierny hliníkový plech s rozmermi vnútornej konštrukcie zariadenia sa stal „zachytávačom“ tepla. Teplo bolo potrebné ohraničiť a taktiež nasmerovať k Peltierovmu článku. Na to slúži tepelná izolácia nazývaná tvrdená minerálna vlna, ktorá sa používa na zatepl'ovanie striech/fasád domov. Je nehorľavá a tepelne sa nedá poškodiť. Smerovanie tepla bolo zabezpečené hliníkovým kvádom umiestneným pod plechom. Hranol s rozmermi Peltieroveho článku

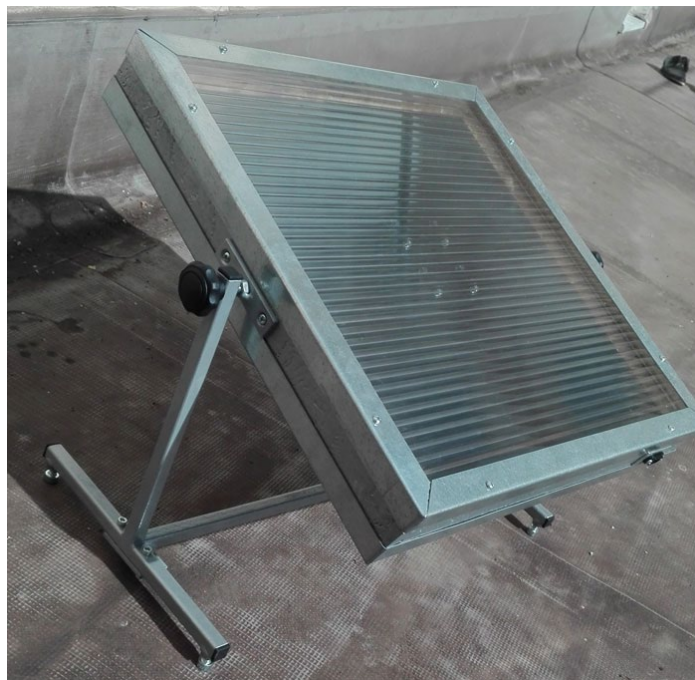
smeruje teplo presne na článok. Na úschovu tepla slúži vzduchová medzera nad plechom, ktorá je uzatvorená polykarbonátom, ktorý sa nachádza v drážke konštrukcie. [21]

Testovacie meranie presvedčilo o tom, že je možné vytvoriť taký solárny panel, ktorý na základe prijímania tepla zo slnka, dokáže skutočne vyrábať elektrickú energiu. Generátor dosiahol maximum približne po hodine a maximálnymi hodnotami bolo napätie 1,45 V a prúd približne 350 mA. Udivuje to zvlášť preto, že meranie prebehlo v zimnom období. Panel prejaví svoju účinnosť ešte viac v teplých mesiacoch roka. [21]

Obr. 19 - Prierez termoelektrického solárneho panela [21]



Obr. 20 - Termoelektrický solárny panel [21]



Rádioizotopové termoelektrické generátory

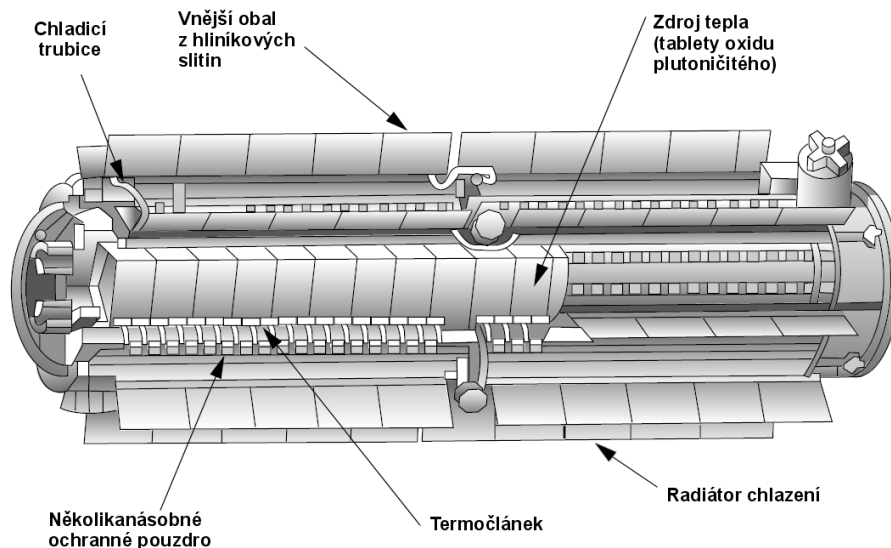
Rádioizotopový termoelektrický generátor je zdroj jednosmerného elektrického prúdu, využívajúci k získaniu tepelnej energie rozpad rádioaktívnych prvkov pri spojení tepla z jadrovej reakcie a termočlánku – teda zdroja elektrického prúdu pracujúceho na princípe

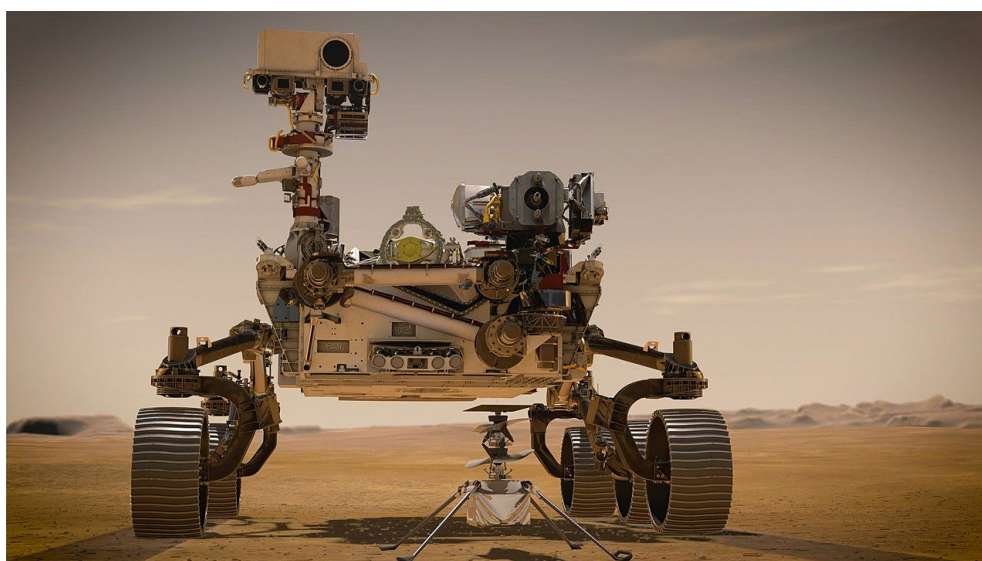
termoelektrického javu. Hlavné využitie RTG je spojené s vesmírom, respektíve misiami mimo planéty Zem. Ich hlavnými prednosťami sú spoľahlivosť, dodávka konštantného napätia a jednoduchosť. Negatívnou slabinou je nízka účinnosť premeny tepelnej energie na elektrickú a nedostatok plutónia, ktoré slúži ako palivo. [22] [23]

RTG využíva aj planetárna misia Mars 2020 americkej agentúry NASA, ktorej sonda nesie sofistikovaný rover pomenovaný Perseverance (Vytrvalosť) a malý vrtuľový dron Ingenuity (Vynaliezavosť). K pristátiu na Marse došlo 18. februára 2021 a cieľom misie je hľadať na planéte známky možného minulého života a tiež vyskúšať nové technológie pre prípadné budúce ľudské prieskumné výpravy na túto planétu. [24]

U Perseverance je palivom izotop plutonia-238. Tento materiál je upravený do blokov uložených v bezpečnom obale z kovu a laminátu a zostavených do trubice, obvykle z nerezovej ocele. Táto trubica je uložená uprostred generátora s vonkajším púzdom chladeným kvapalinou cirkulujúcou pod vplyvom kapilárnych síl a opatreným lopatkovými radiátormi, odvádzajúcimi odpadové teplo do okolitého priestoru. Termočlánky sa nachádzajú vo vnútri medzi trubicou s jadrovým palivom a týmto vonkajším obalom. Ich teplé konce sú pritisnuté k trubici a studené konce k chladenému púzdu generátora. [24]

Obr. 21 - Rádioizotopový termoelektrický generátor [23]





Veda a výskum

Termoelektrický jav sa využíva aj na ústave fyzikálnej chémie J. Heyrovského v Prahe na meranie špecifickej plochy povrchu a porozity pevných látok pomocou adsorpcie plynu. Pri adsorpcii plynu do pevného povrchu zohráva teplota významnú úlohu v množstve adsorbovaného plynu. Dôležitou požiadavkou je spoľahlivo udržať vzorky pri konštantnej teplote veľmi dlhý čas (až do 60 hodín). Pri bežnom použití kvapalného dusíka nastáva problém so zmenou hladiny dusíka v termoske v dôsledku jeho odparovania. Perspektívnym riešením je termoelektrický termostat s Peltierovými prvkami, ktorý je lacný, spoľahlivý a vždy pripravený. Hlavnou vlastnosťou termoelektrického termostatu je veľká variabilita a presnosť. Na druhej strane jeho obmedzujúcou nevýhodou je nízky chladiaci výkon.

Model IsoTherm 0-80°C bol navrhnutý pre použitie na ASAP2020 - analyzátor fyzio-sorpcie. Kovový blok vyrobený zo zliatiny hliníka má otvor priemeru 20 mm pre skúmavky. Blok je chladený/ohrievaný šiestimi termočlánkami s maximálnym výkonom 30 W, každý dosahuje tepelný odpor 1,2°C/W. Minimálna teplota, ktorú je možné dosiahnuť je 30°C pod teplotou okolia (-10°C). Teplotná stabilita je zabezpečená regulátorom s teplomerom. Požadovanú hodnotu je možné ľahko nastaviť pomocou zapnutých tlačidiel na paneli regulátora. Teplota môže byť monitorovaná aj počítačom. Tento typ zariadenia je vhodný pre statické použitie, kde je dostatok času na stabilizáciu požadovanej teploty. [25]



4 Vlastné výsledky

V praktickej časti bolo cieľom použiť peltierov článok ako núdzový zdroj energie na nabíjanie telefónu alebo svietenie v situáciách, kedy nie je dostupná elektrická energia. Rozdiel medzi peltierovými článkami TEC a TEG je vysvetlený v kapitole 3.3.2. Aj keď na generovanie energie je vo všeobecnosti vhodnejší článok TEG, bol zvolený TEC kvôli jednoduchšej dostupnosti a nižšej cene.

4.1 Meranie charakteristiky peltierovho článku

Pre správne použitie peltierovho článku je nutné poznať charakteristiku výkonu a napätia.

4.1.1 Experiment č.1

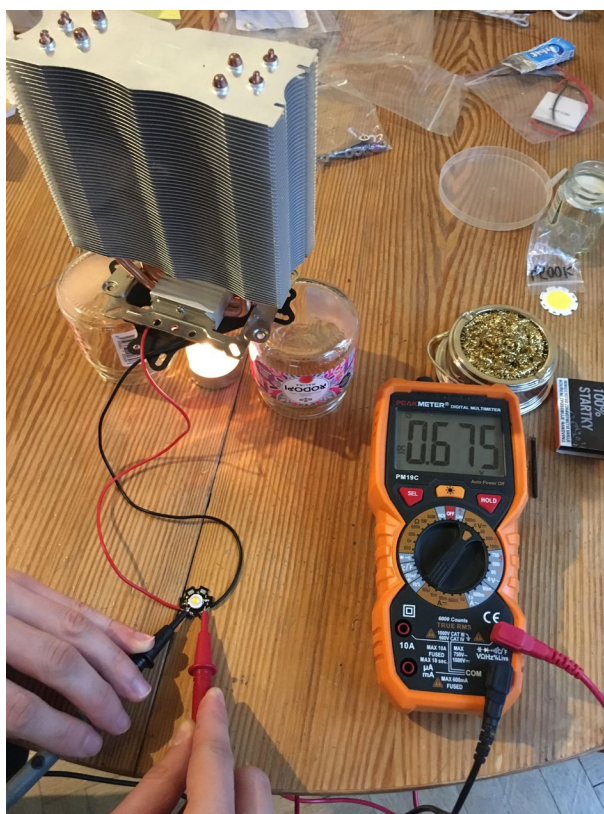
Pre prvé meranie bol použitý článok TEC1-12705, ktorého parametre sú uvedené v tab. 2. Meranie slúžilo k overeniu zdroja tepla. Ako zdroj tepla bola použitá sviečka a odvod tepla bol zabezpečený pasívnym chladičom určeným na chladenie počítačových procesorov. Chladič

má hliníkovú základňu a hliníkové rebrovanie, ktoré je so základňou prepojené pomocou heatpipe trubíc. Chladič by mal byť schopný odvieť 120 W tepelného výkonu. Na prichytenie termočlánku k chladiču bol využitý držiak k základnej doske počítača. Medzi článok a základňu chladiča bola nanosená tenká vrstva teplovodivej pasty pre zvýšenie účinnosti prenosu tepla. Meranie prebiehalo na otvorenom obvode a podarilo sa dosiahnuť maximálnu hodnotu napätia 1,65 V. Keďže dosiahnuté napätie bolo malé, bola sviečka vymenená za pevný lieh, aby bola dosiahnutá vyššia teplota ohrievanej strany. Pokus s pevným liehom skončil deštrukciou článku. Napriek tomu dosiahnuté napätie bolo výrazne vyššie. Pred spálením článku bola hodnota napätia vyššia než 4 V. Navyše pri tomto spôsobe merania nebolo možné zisťovať teploty na studenej a teplej strane článku, preto bolo nutné meranie upraviť.

Tab. 2 – Parametre TEC 1-12705 [26]

Rozmery [mm]	I_{max} [A]	U_{max} [V]	$Q_{max}(\Delta T=0)$ [W]	ΔT_{max} [°C]	T_{max} [°C]
40x40x4	5,3	15,4	57	68	138

Obr. 24 - Experiment č.1



4.1.2 Experiment č. 2

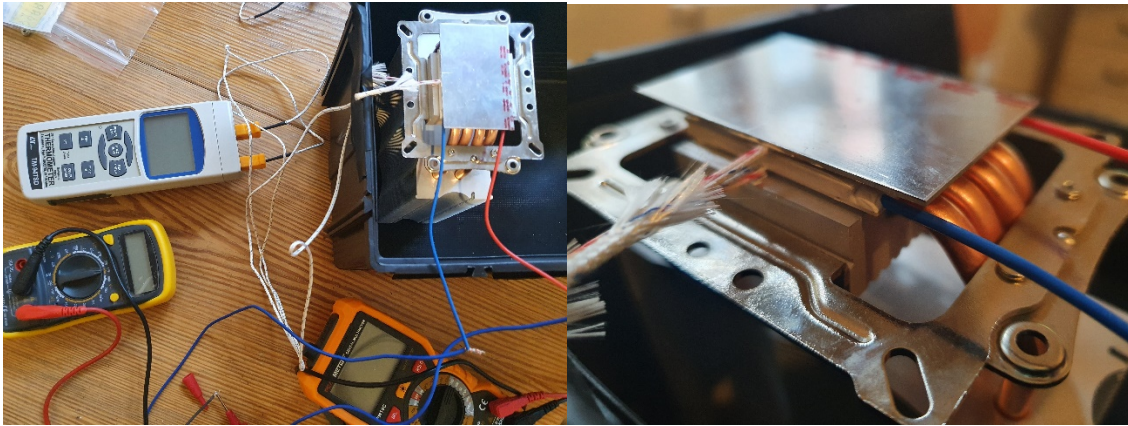
Ďalšie meranie prebiehalo po úprave celej zostavy experimentu. Pôvodný peltierov článok bol nahradený článkom TEC 1-127100HTS, ktorý umožňuje ohriatie teplej strany na vyššiu teplotu. Jeho parametre sú uvedené v tab. 3.

Tab. 3 - Parametre TEC 1-127100HTS [27]

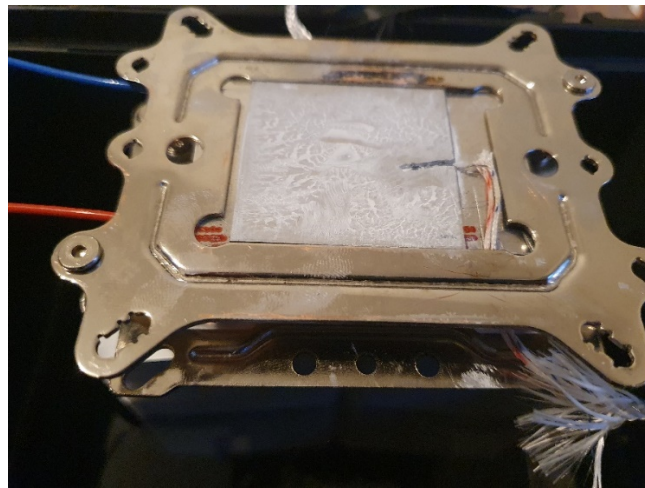
Rozmery [mm]	I_{max} [A]	U_{max} [V]	$Q_{max}(\Delta T=0)$ [W]	ΔT_{max} [°C]	T_{max} [°C]
40x44x4	10	16,4	90	70	200

Chladič bol umiestnený do nádoby so studenou vodou, ktorá bola priebežne chladená ľadom aby si udržala stálu teplotu v priebehu experimentu. Ako zdroj tepla bola využitá stará žehlička. V experimente bolo nutné merať niekoľko rôznych teplôt. To bolo zaistené štvorkanálovým teplomerom TM-947SD od výrobcu Lutron s termočlánkami typu K. Jeden termoelektrický snímač teploty bol umiestnený v nádobe s chladiacou kvapalinou. Pre meranie teploty na studenej strane bol medzi článok a základňu chladiča umiestnený pliešok z hliníkovej zliatiny, do ktorého bol implementovaný termoelektrický snímač. Použitie pliešku síce znižuje účinnosť chladenia, ale umožňuje presnejšie zisťovať teplotu na povrchu termočlánku. Pri prvých pokusoch tejto zostavy experimentu bola teplota na teplej strane meraná rovnakým spôsobom (viď Obr. 26), ale ukázalo sa, že po priložení zdroja tepla nie je možné zaistiť polohu jednotlivých komponentov na správnej pozícii. Pre zaistenie ich polohy bol použitý rámik slúžiaci na uchytenie chladiča. Rámik nebol pre toto uchytenie vhodný, pretože odvádzal teplo z povrchu teplej strany peltierovho článku a prispieval k zahrievaniu jeho studenej strany. Z toho dôvodu nebolo možné dosiahnuť dostatočný rozdiel teplôt (viď Obr. 27). Preto bola vykonaná posledná úprava tejto zostavy experimentu. Snímač teploty bol pružne umiestnený vedľa peltierovho článku a pri priložení žehličky k nej bol automaticky pritlačovaný. Tento spôsob merania teploty je zaťažený určitou chybou merania, pretože peltierov článok odoberá teplo žehličke a táto zmena teploty nie je podchytená. Táto chyba merania bola zanedbaná.

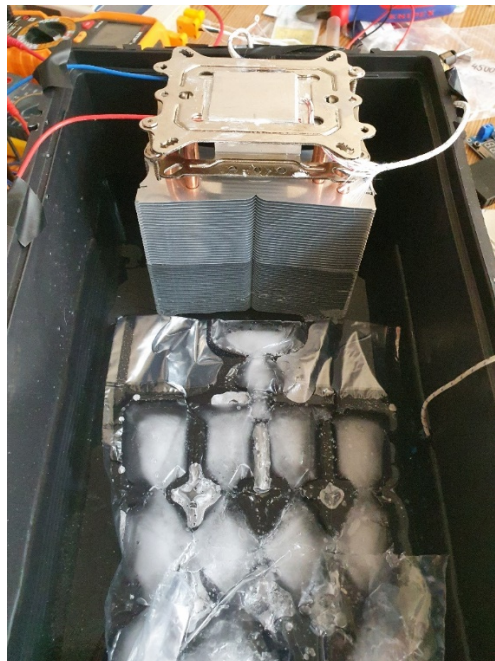
Obr. 25 – Prvé meranie teploty oboch strán termočlánku



Obr. 26 – Druhé meranie teploty oboch strán termočlánku



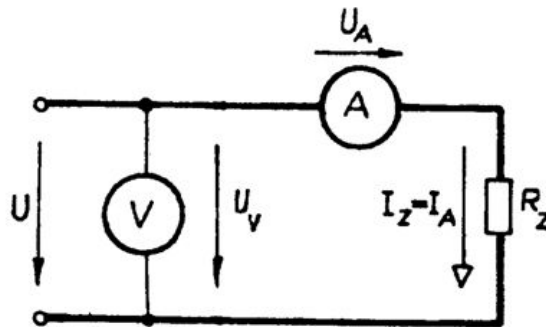
Obr. 27 – Chladiaca sústava termočlánku



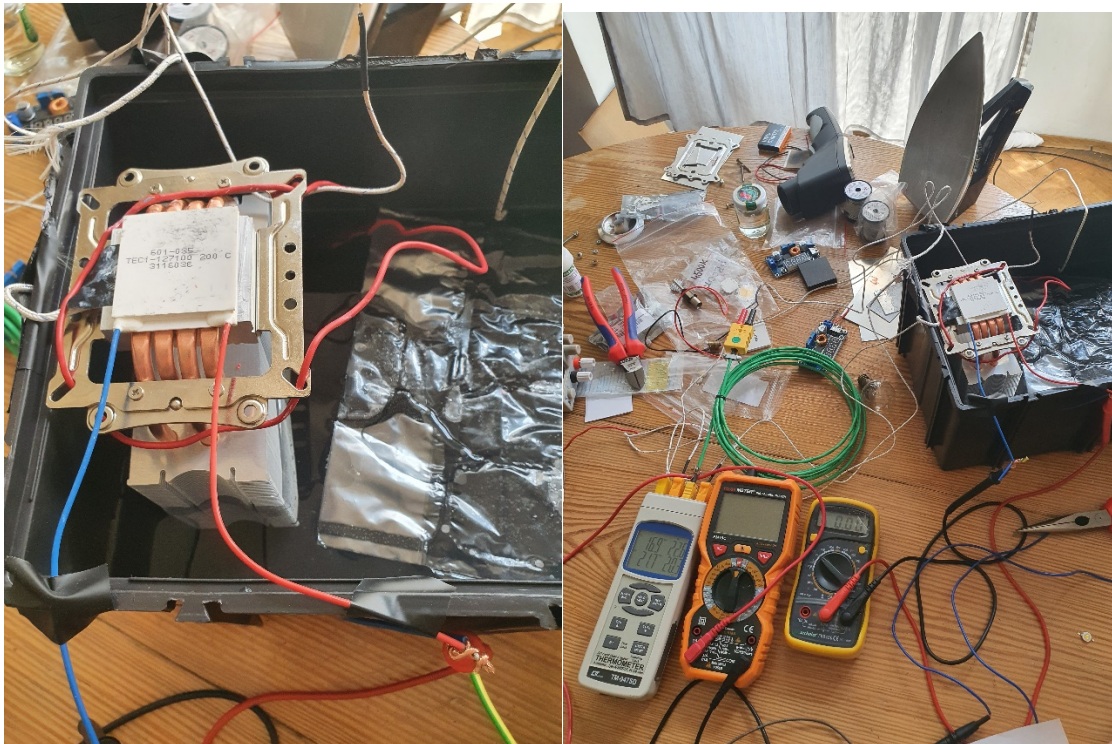
4.1.3 Meranie výkonu

Meranie výkonu prebiehalo podľa schémy na Obr. 28. Ako ampérmeter bol použitý multimeter PM19C od firmy Peakmeter a ako voltmeter multimeter FK9450 od firmy FKtechnics. Ako záťaž bol použitý rezistor s odporom $4\ \Omega$ použiteľný pre maximálny výkon 10 W.

Obr. 28 - Schéma merania výkonu



Obr. 29 - Obvod pre meranie výkonu



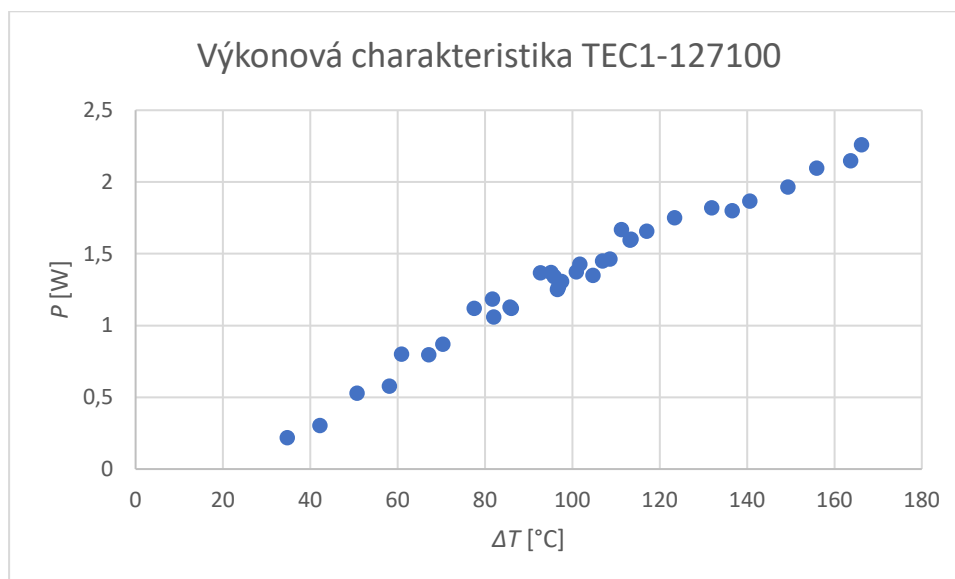
Meranie prebiehalo predhriatím žehličky na stanovenú teplotu a priložením na teplú stranu termočlánku. Po stabilizácii teploty na termočlánku boli zaznamenané všetky merané hodnoty. Meranie sa opakovalo pre minimalizáciu chyby merania. V priebehu merania sa

ukázalo, že jednotlivé hodnoty pri opakovanom meraní sa výrazne nelíšili. Z hodnôt napätia a prúdu bol vypočítaný výkon a ten bol vynesný do grafu v závislosti na rozdiel teplot. Z merania boli vybrané hodnoty, kde teplota studenej strany peltierovho článku je konštantná ($\pm 2^\circ \text{C}$).

Tab. 4 – Zaznamenané hodnoty pri meraní výkonu

$T_{\text{vody}} [^\circ\text{C}]$	$T_c [^\circ\text{C}]$	$T_h [^\circ\text{C}]$	$U [\text{V}]$	$I [\text{mA}]$	$\Delta T [^\circ\text{C}]$	$P [\text{W}]$
15.8	27.5	140.7	3.43	464.6	113.2	1.59
15.8	28.2	136.8	3.21	455.7	108.6	1.46
15.8	29.5	161.4	3.63	501.1	131.9	1.82
15.8	28.6	192.3	3.96	542.6	163.7	2.15
15.9	27.9	194.1	4.08	553.6	166.2	2.26
15.9	28.7	184.6	3.89	539.2	155.9	2.10
15.9	27.5	176.8	3.77	521.4	149.3	1.97
15.9	27.7	168.3	3.66	510	140.6	1.87
15.9	28.1	164.7	3.61	498.8	136.6	1.80
15.9	28.5	139.7	3.46	482.3	111.2	1.67
16	24.3	82.4	1.91	302.6	58.1	0.58
16	27.2	123	3.11	430.9	95.8	1.34
16	27.9	125.4	3.06	427.2	97.5	1.31
16	28	132.7	3.12	432.6	104.7	1.35
16	28.1	129	3.16	434.8	100.9	1.37
16	28.2	125	3.04	416.7	96.8	1.27
16	28.4	141.8	3.41	469.9	113.4	1.60
16	29.1	125.7	3	417.2	96.6	1.25
16.2	27	128.7	3.23	442.2	101.7	1.43
16.2	27.7	134.6	3.24	447.4	106.9	1.45
16.2	28.2	98.5	2.52	345.5	70.3	0.87
16.2	28.4	121.1	3.11	439.6	92.7	1.37
16.2	26.4	68.6	1.48	205.4	42.2	0.30
16.2	28.7	123.8	3.18	430.8	95.1	1.37
16.3	26.4	87.3	2.41	332	60.9	0.80
16.2	24.5	91.6	2.39	333.2	67.1	0.80
16.2	23.9	74.6	1.83	288.4	50.7	0.53
16.2	24.7	102.2	2.86	391.4	77.5	1.12
16.2	27.5	109.2	2.93	404.5	81.7	1.19
16.2	26.4	112.1	2.85	395.6	85.7	1.13
16.1	26.7	112.7	2.84	394.4	86	1.12
16.1	27.5	109.5	2.76	383.8	82	1.06
16.1	27.6	62.3	1.25	175	34.7	0.22
16.1	28.3	145.3	3.46	479.2	117	1.66
16.1	28.9	152.3	3.56	491.6	123.4	1.75

Obr. 30 - Výkonová charakteristika peltierovho článku

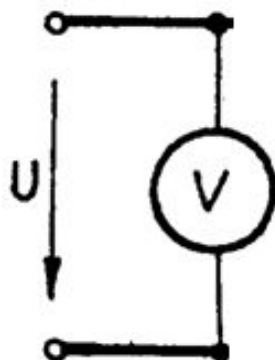


Z grafu je zjavná výkonová charakteristika peltierovho článku až po $\Delta T = 150^\circ$ C. Najmenšia možná teplota na žehličke dávala rozdiel ΔT až 70° C. Preto zistenie prúdu a napätia pri nižšom rozdiel teplôt sa merala teplota termočlánku pri postupnom ochladzovaní po zložení žehličky. Žehlička dosiahne maximálnu teplotu cca 200° C.. Chladiaca kvapalina mala v priebehu experimentu teplotu cca 15° C (teplota na studenej strane termočlánku sa pri meraní pohybovala okolo 28° C) a tak pre vyšší rozdiel teplôt by bolo nutné znížiť teplotu chladiacej kvapaliny alebo zmeniť zdroj tepla.

4.1.4 Meranie napätia

Meranie napätia prebiehalo na otvorenom obvode, vid' schéma na Obr. 31. Ako voltmeter bol použitý rovnaký multimeter ako pri meraní výkonu. Meranie prebiehalo obdobne ako pri stanovení charakteristiky výkonu.

Obr. 31 - Schéma merania napätia

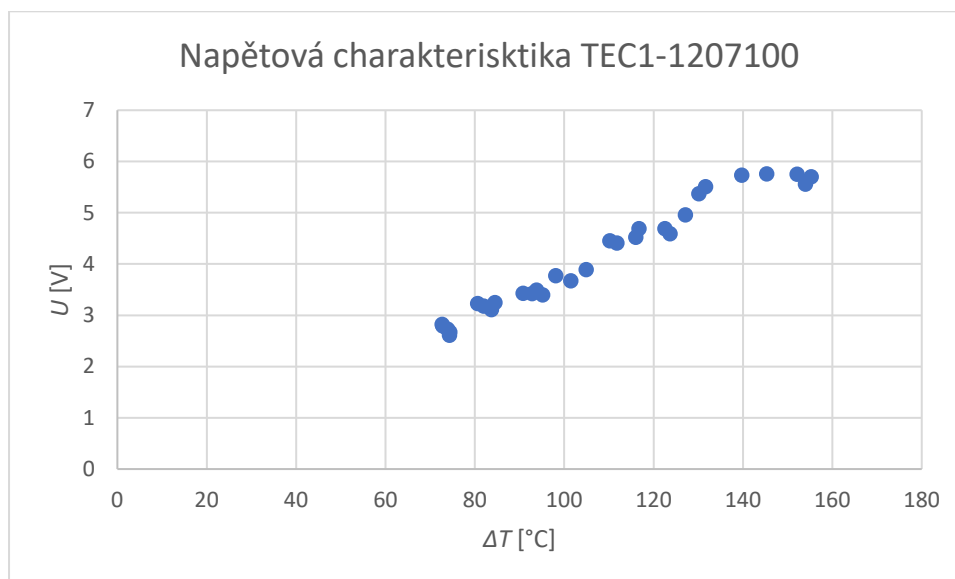


Tab. 5 - Zaznamenané hodnoty pri meraní napätia

<i>T</i> _{vody} [°C]	<i>T</i> _c [°C]	<i>T</i> _h [°C]	<i>U</i> [V]	ΔT [°C]
17	25.2	97.9	2.82	72.7
17	25.2	98	2.79	72.8
17	25.3	99.2	2.73	73.9
17.1	25.8	100.1	2.61	74.3
17.2	25.9	100.3	2.67	74.4
17.2	26.4	107	3.23	80.6
17.2	26.7	111.2	3.25	84.5
17.3	26.3	108.3	3.18	82
17.3	25.9	109.6	3.11	83.7
17.3	27.6	132.5	3.89	104.9
17.3	26.5	128	3.67	101.5
17.3	27.6	120.4	3.42	92.8
17.3	28.1	118.9	3.43	90.8
17.3	27.8	121.6	3.49	93.8
17.4	28.1	123.3	3.4	95.2
17.4	24.2	134.4	4.45	110.2
17.5	24.9	141.6	4.69	116.7
17.5	27.3	149.8	4.69	122.5
17.5	28.3	152	4.59	123.7
17.5	28.7	144.7	4.52	116
17.5	29.5	141.3	4.41	111.8
17.4	26	124.1	3.77	98.1
17.4	29.1	160.7	5.51	131.6
17.4	29.6	169.3	5.73	139.7
17.4	29.1	174.4	5.76	145.3
17.4	28.9	181	5.75	152.1
17.4	28.7	184	5.7	155.3
17.5	28.6	182.6	5.56	154
17.5	29.2	159.3	5.37	130.1
17.5	28.6	155.7	4.96	127.1

Napät'ová charakteristika bola vytvorená závislosťou napätia na rozdiel teplot. Keďže sa na žehličke nepodarilo dosiahnuť nižšie hodnoty, charakteristika sa začína až od teplotného rozdielu cca 70° C. Pri meraní sa podarilo dosiahnuť napätie prevyšujúce 5 V.

Obr. 32 - Napäťová charakteristika peltierovho článku



4.1.5 Vyhodnotenie charakteristiky peltierovho článku

Z výkonovej charakteristiky vyplýva, že dosiahnutý výkon (2,5 W) je dostačujúci pre napájanie LED diód, ale pre napájanie nabíjačky telefónu nestačí. Pre dosiahnutie vyššieho výkonu pre zvolený termočlánok je nutné docieľiť vyšší rozdiel teplôt. Charakteristika výkonu je približne lineárna a pokiaľ bude uvažované, že sa aj ďalej bude vyvíjať lineárne, nebude možné dosiahnuť výkon vyšší než 3 W. Maximálna teplota teplej strany článku je totiž 200° C (viď tab. 3) a na studenej strane nie je jednoducho dosiahnuteľná teplota nižšia než 0° C. Preto je možné zvýšenie výkonu vykonať sériovým zapojením viacerých peltierových článkov.

Pre obidve zariadenia (nabíjačka, svetlo) je nutné aby napätie aj prúd dosahovali určitých hodnôt. Preto je potrebné výstup z peltierovho článku regulovať. Pre reguláciu by bol vhodný DC/DC menič, ktorý umožňuje nastavenie napätia aj maximálneho prúdu. Nevýhodou bežne dostupných DC/DC meničov je ich vstupné napätie, ktoré musí vo väčšine prípadov dosahovať minimálne 5 V. Pri pohľade na napäťovú charakteristiku je vidieť, že pre dosiahnutie 5 V, musí byť rozdiel teplôt vyšší než 120° C. Z toho dôvodu by pre napájanie DC/DC meniča bolo vhodné použiť viac peltierových článkov alebo využiť násobič napätia.

4.2 Návrh núdzového zdroja energie

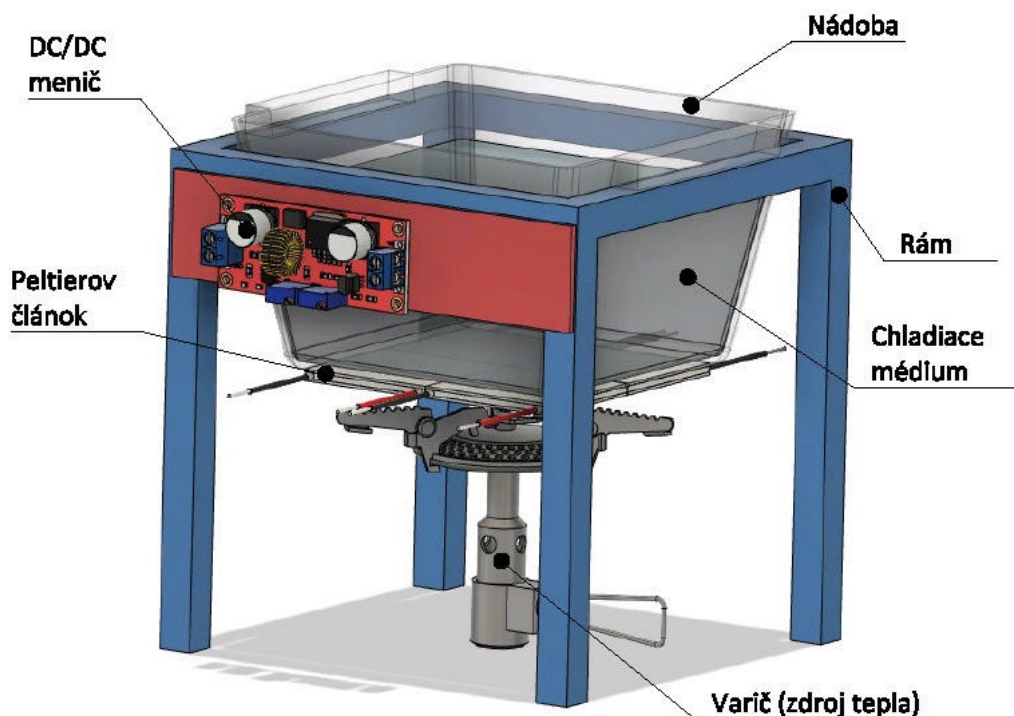
Termočlánky prinášajú zaujímavú variantu výroby elektrickej energie tam, kde nie je možná zásoba elektrickou energiou iným spôsobom. Nasledujúci návrh núdzového zdroja energie je vmyslený najmä pre použitie vysoko v horách alebo na iných miestach mimo

civilizácie. Výhodou oproti solárnym núdzovým zdrojom energie je jeho nezávislosť na slnečnom svetle. Ako sa ukázalo v predchádzajúcej kapitole, jeden peltierov článok neposkytuje dostatočný výkon. Preto bude tento zdroj pozostávať zo 4 termočlánkov zapojených do série. Zariadenie bude ochladzované studenou vodou alebo snehom a ako zdroj tepla bude možné použiť tuhý alebo kvapalný lieh, prípadne turistický varič.

4.2.1 Konštrukcia

Základom konštrukcie zariadenia je nádoba z hliníkovej zliatiny so základňou 80 x 80 mm, na ktorú sú prilepené termočlánky pomocou lepidla s dobrou tepelnou vodivosťou. Nádoba je usadená v ráme, ktorý je zostavený z hliníkových stavebnicových profilov a na ktorom je uchytený DC/DC menič. Nohy rámu umožňujú umiestniť zdroj tepla pod termočlánky. Pre znázornenie konštrukcie bol vytvorený model zariadenia v CAD modelári Fusion 360. Model s popiskami je na Obr. 33.

Obr. 33 - Model núdzového termoelektrického zdroja



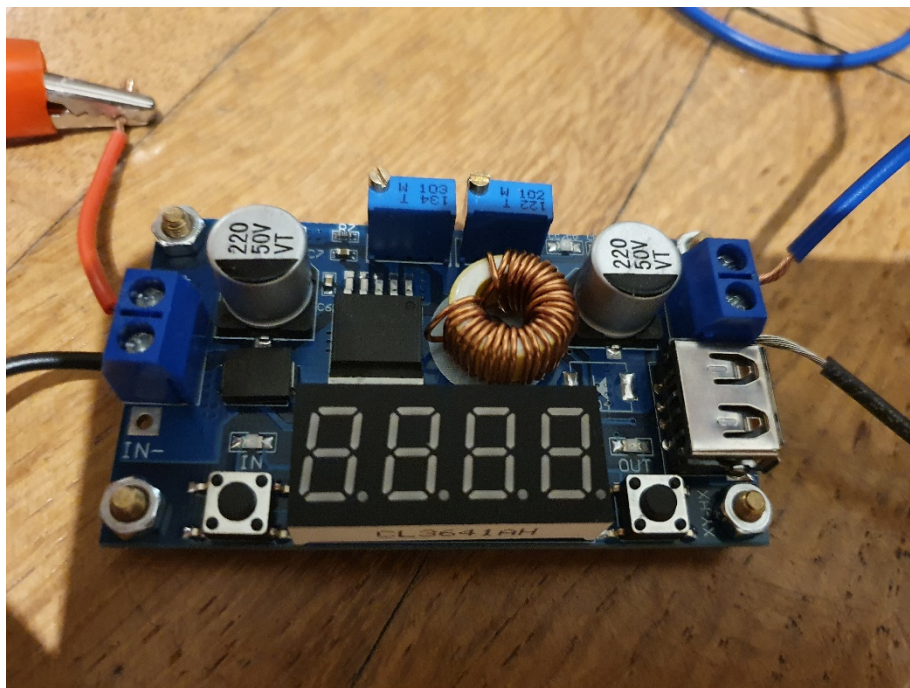
4.2.2 Elektronika zariadenia

Peltierove články budú zapojené do série a pripojené k DC/DC meniču, ktorý upraví výstupné napätie a obmedzí maximálny prúd, tak aby nepoškodil spotrebič. Bol zvolený modulový DC/DC menič, ktorý má výstup ako na svorkách, tak aj na USB porte. Navyše má displej, ktorý dokáže zobrazit' základné informácie o vstupných a výstupných hodnotách. Jeho parametre sú uvedené v tabuľke č. 6. Pri tomto zapojení by mal výstupný výkon dosahovať aj s ohľadom na účinnosť DC/DC meniča bezpečne 5 W.

Tab. 6 - Parametre DC/DC meniča [28]

Napájacie napätie [V]	Výstupné napätie [V]	Výstupný výkon [W]	Efektivita [%]
5-36	1,25-32	75	96

Obr. 34 - DC/DC menič



Nabíjačka

Pri použití termoelektrického núdzového zdroja ako nabíjačky telefónu stačí na DC/DC meniči nastaviť výstupné napätie a obmedziť maximálny prúd. Test využitia termočlánku ako nabíjačky prebehol len pre overenie zapojenia meniča. S využitím jedného termočlánku nabíjanie prebiehalo, nebolo však efektívne. Preto prebehlo overenie zapojenia obvodu s využitím laboratórneho jednosmerného zdroja energie.

Svetlo

V experimente pre overenie zdroja pozostávajúceho z jedného termočlánku bola zvolená LED dióda s parametrami uvedenými v tabuľke č. 7. Najprv prebehlo overenie obvodu s využitím laboratórneho zdroja napätia. Bolo nutné nastaviť výstupné hodnoty DC/DC meniča, aby nedošlo k poškodeniu LED diódy. Funkčné zapojenie je vidieť na Obr. 36.

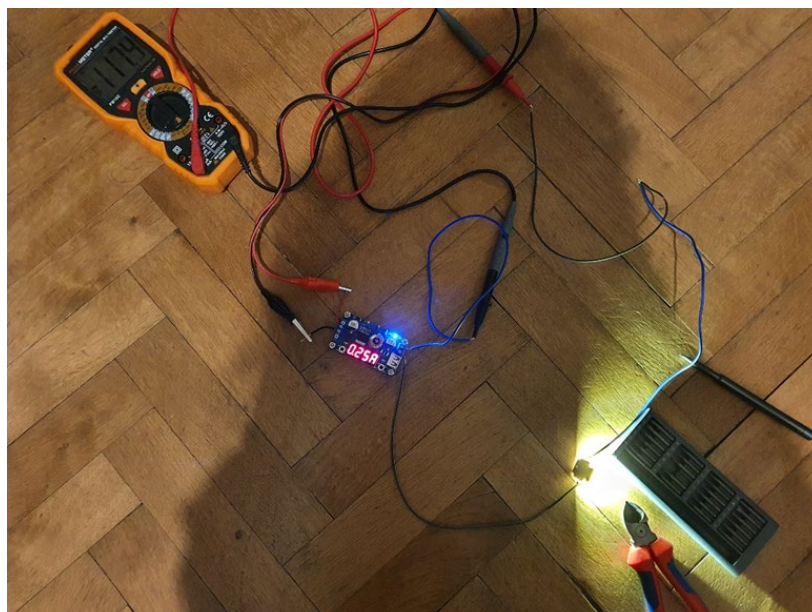
Obr. 35 - LED dióda 1 W [29]



Tab. 7 Parametre LED diódy 1 W [29]

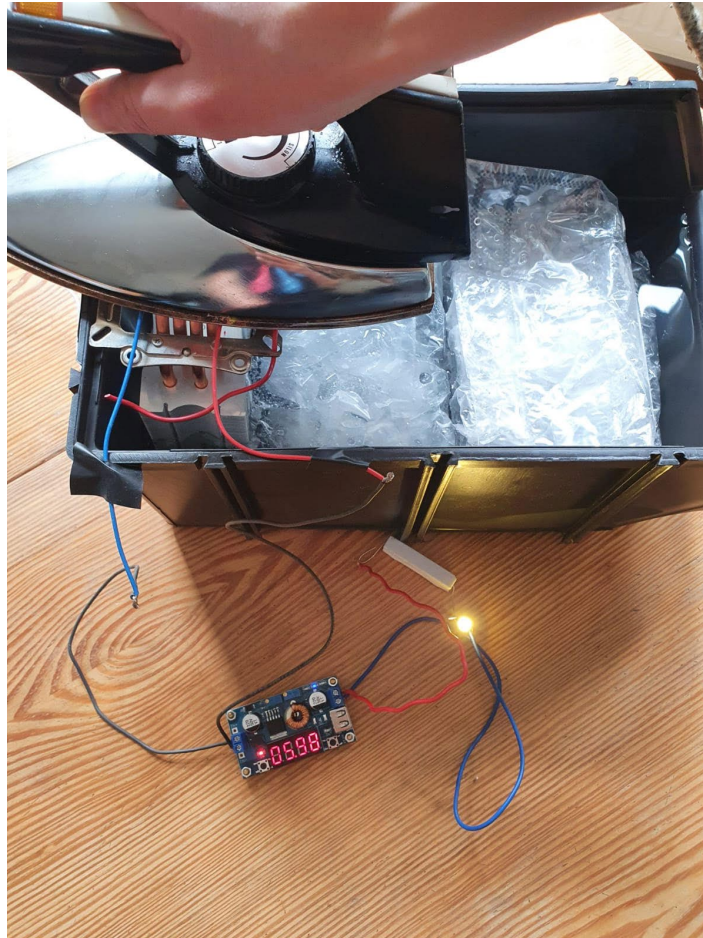
SMD LED dióda 1W			
Výkon P [W]	Menovitý prúd I [mA]	Napätie [V]	Svetelný tok [lm]
1	350	3,2-3,4	90-110

Obr. 36 - Testovanie LED diódy

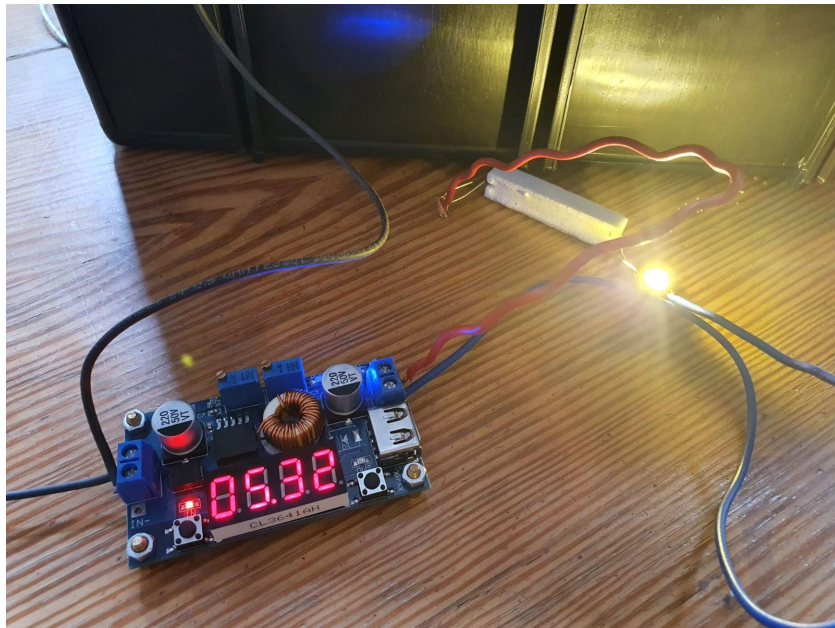


Pri testovaní s využitím termočlánku bol do obvodu zapojený rezistor, ktorý tiež zamedzuje poškodenie LED diódy vysokým prúdom. Pri tomto experimente bolo vynechané snímanie teplôt termočlánku z dôvodu zvýšenia jeho účinnosti. Napätie stabilne presahovalo 5 V, čo stačilo na napájanie DC/DC meniča a rozsvietenie diódy. Dosiahnuté napätie bolo merané priamo DC/DC meničom, ktorý zobrazuje vstupné hodnoty. Experiment je zachytený na Obr. 37.

Obr. 37 - Napojenie LED diódy termoelektrickým zdrojom



Obr. 38 - Zobrazenie vstupného napätia na DC/DC meniči



Pri využití 4 peltierových článkov v navrhnutom núdzovom zdroji by bola zvolená LED dióda s výkonom 5 W. Tá by bola umiestnená vedľa DC/DC meniča na rám, ktorý by z nej zároveň odvádzal teplo.

Obr. 39 - LED dióda 5 W [30]



Tab. 8 - Parametre LED diódy 5 W [30]

SMD LED dióda 5 W			
Výkon P [W]	Menovitý prúd I [mA]	Napätie [V]	Svetelný tok [lm]
5	300	15-17	480

Obr. 40 - Model termoelektrického zdroja 2



5 Diskusia

V predchádzajúcej kapitole bol skonštruovaný termoelektrický zdroj energie a následne boli merané jeho parametre. Bola dokázaná funkčnosť tohoto zdroja a navrhnutá jeho aplikácia v praxi. Navrhnutý núdzový termoelektrický zdroj môže nájsť široké uplatnenie na miestach s extrémnymi podmienkami, kde nie je možný iný zdroj elektrickej energie. Vzhľadom na jeho veľkosť a konštrukciu sa nejedná o prenosné zariadenie, ale o statické svietidlo alebo nabíjačku mobilného telefónu.

V iných bakalárskych a diplomových prácach zaoberajúcich sa termočlánkom ako generátorom energie je generátor uplatnený v aplikáciách, ktoré by boli efektívnejšie pri využití iného zdroja energie. V navrhnutom núdzovom zdroji, ktorý vznikol v tejto práci nie je malá účinnosť peltierovho článku tak veľkou prekážkou, vzhľadom na to, že neexistuje veľa iných, jednoduchších možností vytvoriť elektrickú energiu v podmienkach, pre ktoré je určený.

Alternatívnym riešením by mohol byť solárny zdroje energie alebo batéria, napr. powerbanka. Nevýhodou powerbanky je, že jej kapacita je obmedzená a pri nízkych teplotách sa znižuje. Solárny zdroj energie je závislý na slnečnom žiarení a preto je navrhnutý termoelektrický zdroj unikátnou možnosťou.

6 Záver

V diplomovej práci bol zostrojený termoelektrický zdroj a následne merané a študované jeho parametre. Ďalej bol vykonaný experiment, v ktorom bol zdroj uvedený do praxe napojením LED diódy. Nakoniec bol vytvorený návrh konštrukcie núdzového zdroja určeného pre generovanie energie v extrémnych podmienkach, čím boli splnené ciele práce.

Z poznatkov získaných pri experimente je zjavné, že termoelektrický zdroj je za dosiahnutia určitého teplotného rozdielu schopný generovať energiu. Pri teplotných rozdieloch začínajúcich sa od 130 °C generuje článok napätie vyššie než 5 V, čo odpovedá výkonu okolo 1,8 W. Za týchto podmienok stačí jeden peltierov článok na to, aby bolo možné napojiť LED diódu s výkonom 1 W. Pre lepšiu účinnosť je možné zapojiť viac termočlánkov do série a napojiť tak LED diódu s vyšším výkonom alebo nabíjačku mobilného telefónu.

Ďalším krokom nadväzujúcim na túto prácu by mohla byť realizácia návrhu a jeho testovanie. Návrh by vyžadoval výrobu rámu a nádoby pre chladiace médium, zakúpenie 3 ďalších termočlánkov, LED diódy s výkonom 5 W a káblu na nabíjanie telefónu. Zdroj tepla pri prevádzkovaní tohoto zariadenia môže byť zapálený pevný lieh alebo plynový varič.

7 Citovaná literatura

- HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1868-0.
- 1]
- FRANK, Helmar a Václav ŠNEJDAR. Principy a vlastnosti polovodičových součástek: Určeno [také] studentům odb. škol. Praha: SNTL, 1976. Řada elektrotechnické literatury.
- 2]
- Príměsové polovodiče. In: Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/263-primesove-polovodice>
- 3]
- Fyzikální podstata přechodu PN. In: Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/265-fyzikalni-podstata-prechodu-pn>
- 4]
- Prechod PN (PN prechod, priechod PN, PN priechod), hradlová vrstva, diódový jav :). In: Encyklopédia poznania [online]. 2013 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: https://encyklopediapoznania.sk/clanok/7339/prechod-pn-pn-prechod-priechod-pn-pn-priechod-hradlova-vrstva-diodovy-jav?fbclid=IwAR0DJMeBEEa61YLaOeR1rscAmHQWoJ7OkPMF0-tzJH6E_ZtJp__8EmTCPCQ
- 5]
- GOLAB, František a František KAMENČÁK. Termoelektrické jevy a jejich užití. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1975. Pomocné knihy pro žáky (Státní pedagogické nakladatelství).
- 6]
- MIKYŠKA, Ladislav. Termoelektrické články. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964. Malá elektrotechnická knihovna.
- 7]
- Seebeckův jev. In: Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/910-seebeckuv-jev>
- 8]

- NOLAS, G., J. SHARP a H. GOLDSMID. Thermoelectrics: basic principles and new materials developments. Berlin: Springer, 2001. Springer series in materials science. ISBN 35-404-1245-X.
- 9]
- ROWE, David Michael. Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano. 1. Boca Raton: CRC Press, 2006. ISBN 978-0-8493-2264-8.
- 10]
- Peltierův jev. In: Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/911-peltieruv-jev>
- 11]
- Thomsonův jev. In: Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/912-homsonuv-jev?fbclid=IwAR28YWTbvWo6vE0AUhW-getDiue7bh5arV6Gk_nKDakLB-XNihp7p7stvzA
- 12]
- Termoelektrické články. In: Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/909-termoelektricke-clanky>
- 13]
- NESARAJAH, Marco a Georg FREY. Thermoelectric power generation: Peltier element versus thermoelectric generator. IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IEEE, 2016, , 4252-4257. ISBN 978-1-5090-3474-1. Dostupné z: doi:10.1109/IECON.2016.7793029
- 14]
- VINARČÍKOVÁ, Monika. Termoelektrický jev a jeho využití. Praha, 2019. Bakalářská práce. ČZU v Praze. Vedoucí práce Vladimír Ryženko, Ph.D.
- 15]
- SUBRAMANIAN, V. a D. VARADE. Thermoelectric Properties of Biopolymer Composites. Biopolymer Composites in Electronics. Elsevier, 2017, 2017, 155-183. ISBN 9780128092613. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-809261-3.00005-X
- 16]
- BRÁZDIL, Marian. Možnosti využití termoelektrických jevů pro výrobu elektrické energie z odpadního tepla. In: TZB-info [online]. Topinfo s.r.o., 2001 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/10220-moznosti-vyuziti-termoelektrickyh-jevu-pro-vyrobu-elektricke-energie-z-odpadniho-tepla?fbclid=IwAR3LLzrKXcxeFy7ROtYrW9SnX7Z9Mkjjuu3QFPQElckeCZod3e6Sh8kacZ1I>
- 17]

ROSSELLA, Francesco, Giovanni PENNELLI a Stefano RODDARO.
18] Measurement of the Thermoelectric *Properties of Individual Nanostructures. Nanowires for Energy Applications*. Elsevier, 2018, , 409-444. Semiconductors and Semimetals. ISBN 9780128151396. Dostupné z: doi:10.1016/bs.semsem.2018.02.001

CABÚK, Pavol. Použitie Peltierovho článku při chlazení elektronických
19] komponentov. In: DPS [online]. 2016 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/vyvoj/id:27796/z-aktualniho-vydani-casopisu-pouzitie-peltierovho-clanku-pri-chlazení-elektronických-komponentov>

OLŠAN, Jan. Vodní okruh s Peltierem: médium umí chladit pod pokojovou
20] teplotu. In: *HWCooling* [online]. [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.hwcooling.net/vodni-okruh-s-peltierem-medium-umi-chladit-pod-pokojovou-teplotu/>

Projekt 28 - Termoelektrický generátor. Strojár-inovátor [online]. [cit. 2021-05-
21] 11]. Dostupné z: <http://www.strojar-inovator.sk/projekty-2016/61-projekt-28-termoelektricky-generator>

KUBALA, Petr. NASA dochází radioaktivní štáva pro sondy, musí vyrobit
22] novou. In: *VTM* [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/nasa-dochazi-radioaktivni-stava-pro-sondy-musi-vyrobit-novou/sc-870-a-189927/default.aspx?fbclid=IwAR3iW1nJH5dh0fVag3mpQUQnwmmHQS1c5EvW WbI0BWuT4EpuG8iTQGrjQd0>

SVOBODA, Josef. RADIOISOTOPE THERMOELECTRIC GENERATORS.
23] In: Student EEICT. BRNO: VUT, 2013.

Perseverance na cestě k Marsu: radioizotopový termoelektrický generátor bude
24] pohánět výzkumné vozidlo na *rudé planetě*, nese i první helikoptéru pro jinou planetu. In: *Pro elektrotechniky: elektronika pro odborníky* [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/elektronika/62.php?fbclid=IwAR3nMVDSDU2rGd7VltJjiNCKr4oX4bdqZ3w-RFWmsIBA7sEOnWK7HkYYIHE>

ZUKAL, Arnošt. Thermostating on demand with Peltier thermoelectric elements. Prague: Heyrovsky *Institute of Physical Chemistry*, 2014.

25] PELTIERŮV ČLÁNEK TEC1-12705. In: DEXHAL [online]. [cit. 2021-05-26] 11]. Dostupné z: https://www.dexhal.cz/peltieruv-clanek-tec1-12705_z2848/

Peltierův článek 90W 40x44mm HP-127100HTS. In: GME [online]. [cit. 2021-27] 05-11]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/peltieruv-clanek-tec1-12710-200-c-vigan>

Modul DC/DC měnič step-down 1,25 - 32V/5A, USB, LED displej. In: GME [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/modul-dc-dc-step-down-1-25-32v-5a-usb-led-displej>

LED 1W, bílá, 170lm, 120°, kulatá GT-P02W54101160. In: GME [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/led-1w-white-170lm-120-round-gt-p02w54101160>

5W LED COB DIODA 400-450LM. In: DEXHAL [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: https://www.dexhal.cz/5w-led-cob-dioda-400-450lm_z854/?gclid=CjwKCAjw1uiEBhBzEiwAO9B_Hb8cYVBjQmObD8nctrcRIqzDRRIf8Z4WGPP8cUAUh14DuXj0nfWJQhoCrugQAvD_BwE#1940

8 Zoznam obrázkov

Obr. 1 - Vlastná polovodivosť	3
Obr. 2 - Vodivosť typu N	4
Obr. 3 - Vodivosť typu P	5
Obr. 4 - priechod PN bez zdroja napätia [5].....	5
Obr. 5 - Priechod PN zapojený v závernom smere [5].....	6
Obr. 6 - Priechod PN zapojený v priepustnom smere [5].....	6
Obr. 7 - Seebeckov jav [10].....	8
Obr. 8 - Peltierov jav [10].....	9
Obr. 9 - Rozdelenie termočlánkov.....	10
Obr. 10 - Peltierov článok	11
Obr. 11 - Termobatéria z Peltierových článkov [10].....	12
Obr. 12 - Kaskáda z termočlánkov [13]	12
Obr. 13 - Vnútro termočlánkov, vľavo TEG a vpravo TEC [14].....	14
Obr. 14 - Pohľad na termočlánky z boku, hore TEC a dole TEG [14].....	14
Obr. 15 - Porovnanie termoelektrickej účinnosti a teoretickej maximálnej účinnosti [17]	16
Obr. 16 - Účinnosť priemyslovo používaných a laboratórne vyvíjaných termoelektrických materiálov [17]	16
Obr. 17 - Rôzne modifikácie Peltierových článkov [15].....	19
Obr. 18 - Chladiaci okruh počítača s Peltierovým článkom [20].....	20
Obr. 19 - Prierez termoelektrického solárneho panela [21].....	21
Obr. 20 - Termoelektrický solárny panel [21].....	21
Obr. 21 - Rádioizotopový termoelektrický generátor [23].....	22
Obr. 22 - Rover Preservance planetárnej misie Mars 2020 [24]	23
Obr. 23 - Isotherm s Peltierovými článkami [25].....	24
Obr. 24 - Experiment č.1	25
Obr. 25 – Prvé meranie teploty oboch strán termočlánku	27
Obr. 26 – Druhé meranie teploty oboch strán termočlánku	27
Obr. 27 – Chladiaca sústava termočlánku	27
Obr. 28 - Schéma merania výkonu	28
Obr. 29 - Obvod pre meranie výkonu.....	28
Obr. 30 - Výkonová charakteristika peltierovho článku	30

Obr. 31 - Schéma merania napätia	30
Obr. 32 - Napät'ová charakteristika peltierovho článku	32
Obr. 33 - Model núdzového termoelektrického zdroja	33
Obr. 34 - DC/DC menič.....	34
Obr. 35 - LED dióda 1 W [29]	35
Obr. 36 - Testovanie LED diódy	35
Obr. 37 - Napojenie LED diódy termoelektrickým zdrojom	36
Obr. 38 - Zobrazenie vstupného napätia na DC/DC meniči.....	37
Obr. 39 - LED dióda 5 W [30]	37
Obr. 40 - Model termoelektrického zdroja 2	38

9 Zoznam tabuliek

Tab. 1- Parametre termočlánku	17
Tab. 2 – Parametre TEC 1-12705 [26]	25
Tab. 3 - Parametre TEC 1-127100HTS [27]	26
Tab. 4 – Zaznamenané hodnoty pri meraní výkonu	29
Tab. 5 - Zaznamenané hodnoty pri meraní napätia	31
Tab. 6 - Parametre DC/DC meniča [28]	34
Tab. 7 Parametre LED diódy 1 W [29]	35
Tab. 8 - Parametre LED diódy 5 W [30]	37