



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

VÝROBA A KALIBRACE TERMOČLÁNKŮ

FABRICATION AND CALIBRATION OF THERMOCOUPLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Balák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Štěpán Foral

BRNO 2016



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**
Ústav elektroenergetiky

Student: Martin Balák

ID: 164239

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Výroba a kalibrace termočlánků

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Princip funkce, výroby a možné způsoby kalibrace termočlánků.
2. Návrh a výroba laboratorního přípravku pro výrobu termočlánků.
3. Kalibrace termočlánků vyrobených pomocí přípravku.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 24.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Štěpán Foral

Konzultant bakalářské práce: Ing. Michal Krbal, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

BALÁK, M. Výroba a kalibrace termočlánků. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 44 stran. Vedoucí bakalářské práce Ing. Štěpán Foral.

Jako autor uvedené diplomové (bakalářské) práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové (bakalářské) práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.....

Poděkování

Ja dolu podpísaný Martin Balák ďakujem vedúcemu práce Ing. Štěpánovi Foralovi za účinnú metodiku, pedagogickú a odpornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce

V Brně dňa

Podpis autora.....

ABSTRAKT

Táto práca je zameraná na vytvorenie laboratórnej úlohy. V prvej časti je popísaný princíp funkcie termočlánku a podľa akých fyzikálnych zákonov funguje. Ďalej je uvedené do ktorých hlavných kategórií sa termočlánok delí. V ďalšej kapitole je vysvetlené z čoho sa skladá termočlánková zväračka. Aké sú jej hlavne komponenty a ako prebieha proces zvarovania termočlánkového drôtu. Posledná kapitola teoretickej časti je zameraná na kalibráciu termočlánkov. V tejto kapitole je vysvetlené čo to kalibrácie je a uvedené príklady kalibrácie na reálnych zariadeniach.

Prvá časť praktická časť začína popisom konštrukcie laboratórneho prípravku. Je popísané z akých materiálov bola daná konštrukcia zostavená. Nasledovná časť je zameraná na elektrické vnútro termočlánkovej zväračky. Je popísaná elektrická schéma a ako sa sieťové napätie usmerní zreguluje a dostane sa až na svorky kondenzátoru ktorého nabíjanie je sledované meracím prístrojom (voltmetrom). Následne je popísaný správny postup zvarovania, čomu sa vyvarovať, a ako správne postupovať, aby bol zvar v dostatočnej kvalite a prešiel kalibráciou. V práci je tiež uvedené ako zvary vyzerajú a čo robiť pre to, aby tak nevyzerali.

Druhá časť praktickej časti je najskôr venovaná porovnaniu zvarovaných termočlánkov na vyrobenom prípravku a na SR80 UWO. Na každej z nich boli zvarované tri kusy termočlánkov. Ich následné porovnanie je dôkazom kvality zvaracieho prípravku. V poslednej časti druhej praktickej časti je prevedená kalibrácie je prevedená kalibrácia termočlánku pripravených.

KLÍČOVÁ SLOVA: Zväračka termočlánkov, termočlánok, kalibrácia

ABSTRACT

This thesis is focused on the creation of laboratory task. The first part describes the operating principle of the thermocouple and according to which the physical laws are working. The thesis also shows the main categories of the division of thermocouple. Next chapter explains the composition of thermocouple welder, its main components and how the process of welding thermocouple wire is under way. The last chapter of the theoretical part is focused on the calibration of thermocouples. This chapter explains what the calibration is and it also shows the examples of calibration on real devices.

The first part of the practical section describes the construction of the laboratory product and what materials were used for the given construction. The following part deals with the electrical interior of the thermocouple welder. Electrical diagram is described and there is also the description of how to direct and regulate the supply voltage and how it reaches the clamps of the capacitor. Its charging is observed by measuring instrument (voltmeter). The thesis works with the proper welding procedure, its potential problems, and the correct method of welding because the weld must be in sufficient quality in order to pass the calibration. This work also shows how the welds should not look and what to do in case they do not look well.

The second part of the practical section deals with the comparison of welded thermocouples tested on produced product and on SR80 UWO. The three pieces of thermocouples were welded on each of them. Their following comparison is the proof of the quality of the welding preparation. The last part of the second practical part is focused on the calibration of the thermocouple prepared thanks to the product.

KEY WORDS: thermocouple welder, thermocouple, calibration

Obsah

1 ÚVOD	11
2 TERMOČLÁNKY	12
2.1 SEEBECKOV JAV	12
2.2 TYPY TERMOČLÁNKOV	13
2.3 TYPY CHRÁNENIA TERMOČLÁNKOV	15
2.3.1 UZEMNENÉ KONCE TERMOČLÁNKU	15
2.3.2 NEUZEMNENÉ KONCE TERMOČLÁNKU.....	15
2.3.3 NECHRÁNENÉ KONCE TERMOČLÁNKU	15
2.4 DOBA ODOZVY U TERMOČLÁNKU	16
2.5 DRUHY TERMOČLÁNKOV	16
2.5.1 DRÔTOVÉ TERMOČLÁNKY	16
2.5.2 TERMOČLÁNKOVÉ SONDY	16
3 ZVÁRANIE TERMOČLÁNKOV	17
3.1 ZVÁRAČKA TERMOČLÁNKU MODEL 300 TIG WELDER	17
3.2 POSTUP ZVÁRANIA	17
3.3 BLOKOVÁ SCHÉMA ZVÁRAČKY TERMOČLÁNKU	18
3.3.1 POPIS BLOKOVEJ SCHÉMY	18
4 KALIBRÁCIA TERMOČLÁNKU	19
4.1 KALIBRAČNÁ PIECKA	19
4.1.1 POPIS KALIBRÁTORU CL 1000	19
4.2 KALIBRÁTOR FREEZE POINT CELL (KOMORA S FIXNOU TEPLOTU)	20
5 KONŠTRUKCIA ZVÁRACIEHO ZARIADENIA NA TERMOČLÁNKY	22
5.1 KRABIČKA PRE PRÍPRAVOK	22
5.2 ELEKTRICKÁ ČASŤ ZARIADENIA	23
5.2.1 SCHÉMA ZAPOJENIA	23
5.3 POPIS PREDNÉHO A ZADNÉHO PANELA	24
6 POUŽITIE TERMOČLÁNKOVEJ ZVÁRAČKY	26
6.1 PRÍPRAVA K MERANIU	26
6.2 ZVÁRANIE TERMOČLÁNKOVÝCH DRÔTOV	27
6.3 ODPORUČENIE K ZVÁRANIU	30
7 KVALITA ZVARENÝCH TERMOČLÁNKOVÝCH DRÔTOV	31
7.1 PRIEBEH ZVÁRANIA	31
7.2 POROVNANIE TERMOČLÁNKOV	31
7.3 VYHODNOTENIE MERANIA	32
7.4 VÝPOČET CHYBY TERMOČLÁNKU	36
ZÁVER	40
LITERATURA	41
PRÍLOHY	42

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázok 1: Charakteristika jednotlivých typov termočlánkov[3].....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázok 2: Znázornenie Seebeckoveho javu vo využití zdroju el. energie.[4]</i>	<i>13</i>
<i>Obrázok 3: Znázornenie Seebeckoveho javu vo využití merania teploty.[4]</i>	<i>13</i>
<i>Obrázok 4: Meracie konce termočlánkov[1]</i>	<i>16</i>
<i>Obrázok 5: Model 300 Tig Welder[6].....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázok 6: Bloková schéma zvaracieho zariadenia</i>	<i>18</i>
<i>Obrázok 7: Kalibračná piecka OMEGA CL100 [11]</i>	<i>20</i>
<i>Obrázok 8: Rez KFT a popis jednotlivých častí [9]</i>	<i>21</i>
<i>Obrázok 9 konštrukcia termočlánkovej zvaračky.....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázok 10: Pohľad na od krytované zariadenie z hora</i>	<i>23</i>
<i>Obrázok 11 Rozloženie komponentov na prednom paneli zariadenia.....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázok 12 Rozloženie komponentov na zadnom paneli zariadenia</i>	<i>24</i>
<i>Obrázok 13: Popis častí pečánu (anódy)</i>	<i>25</i>
<i>Obrázok 14: Kalíšok s uhlíkom (katóda) a ochranným prstencom s detailom na kovovú skrutku bez hlavičky</i>	<i>26</i>
<i>Obrázok 15: Detail zubu na pečáne (anóde) po zacviknutí a pred zacviknutím.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázok 16: Nezvarený termočlánok</i>	<i>28</i>
<i>Obrázok 17 Termočlánok zvarený malým výbojom vznik mostíku.....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázok 18: Zvarený termočlánok veľkým výbojom vznik elipsoid.....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázok 19: Nezvarený termočlánok z dôvodu veľkého výboja, zatavenie</i>	<i>29</i>
<i>Obrázok 20: Správne zvarený termočlánok</i>	<i>30</i>
<i>Obrázok 21: Zvarené termočlánky na profesionálnej zvaračke a na prípravku.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázok 22: Kalibračná piecka so zväzkom termočlánkových drôtov</i>	<i>32</i>
<i>Obrázok 23: Graf časového priebehu napätí termočlánkov pri meraní pri 50°C</i>	<i>33</i>
<i>Obrázok 24: Hodnoty pri 50°C s chybou úsečky</i>	<i>34</i>
<i>Obrázok 25: Hodnoty pri 100°C s chybou úsečky</i>	<i>34</i>
<i>Obrázok 26: Hodnoty pri 150°C s chybou úsečky</i>	<i>35</i>
<i>Obrázok 27: Hodnoty pri 200°C s chybou úsečky</i>	<i>35</i>
<i>Obrázok 28: Závislosť napätia na teplote pre prvý termočlánok.....</i>	<i>36</i>
<i>Obrázok 29: Závislosť napätia na teplote pre druhý termočlánok</i>	<i>37</i>
<i>Obrázok 30: Závislosť napätia na teplote pre tretí termočlánok.....</i>	<i>37</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabuľka 1: Zliatiny termočlánkov, ich zloženie a stručný popis.[2, 3].....</i>	<i>14</i>
<i>Tabuľka 2: Farebné značenie termočlánkov.[5].....</i>	<i>15</i>
<i>Tabuľka 3: Špecifikácia kovov[9]</i>	<i>20</i>
<i>Tabuľka 4: Tabuľka s priemernými hodnotami zvarených termočlánkov.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabuľka 5: Vypočítané rozšírené neistoty pre termočlánky zvarené na prípravku.....</i>	<i>39</i>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

tzv. – Takzvané

°C – Stupeň Celzia

T1, T2 – teplota jedna, teplota dva

V – Volt

A – Ampér

s – Sekunda

mm – Milimeter

In – Indium

Sn – Cín

Al – Hliník

Ag – Striebro

Cu – Meď

Ω - Ohm

mF – Mili-farad

k Ω - Kilo-ohm

T_{k1}, T_{k2}, T_{k3} - Označenie zvarených termočlánkových drôtov na komerčnej zväračke

T_{p1} T_{p2} T_{p3} - Označenie zvarených termočlánkových drôtov na zostavenom prípravku

T_x – Rozšírený neisota,

ϑ - Theta (teplota)

k – Koeficient rozšírenia

min – Minúta

s – Sekunda

t. j. – To je

AlMgSi – Hliniková zliatina

u_A – Neistota typu A

u_B – Neistota typu B

u_x – Kombinovaná neistota

T_x – Rozšírená neistota

KFT – komora s fixnou teplotou

$\bar{\vartheta}$ - Priemerná teplota

1 ÚVOD

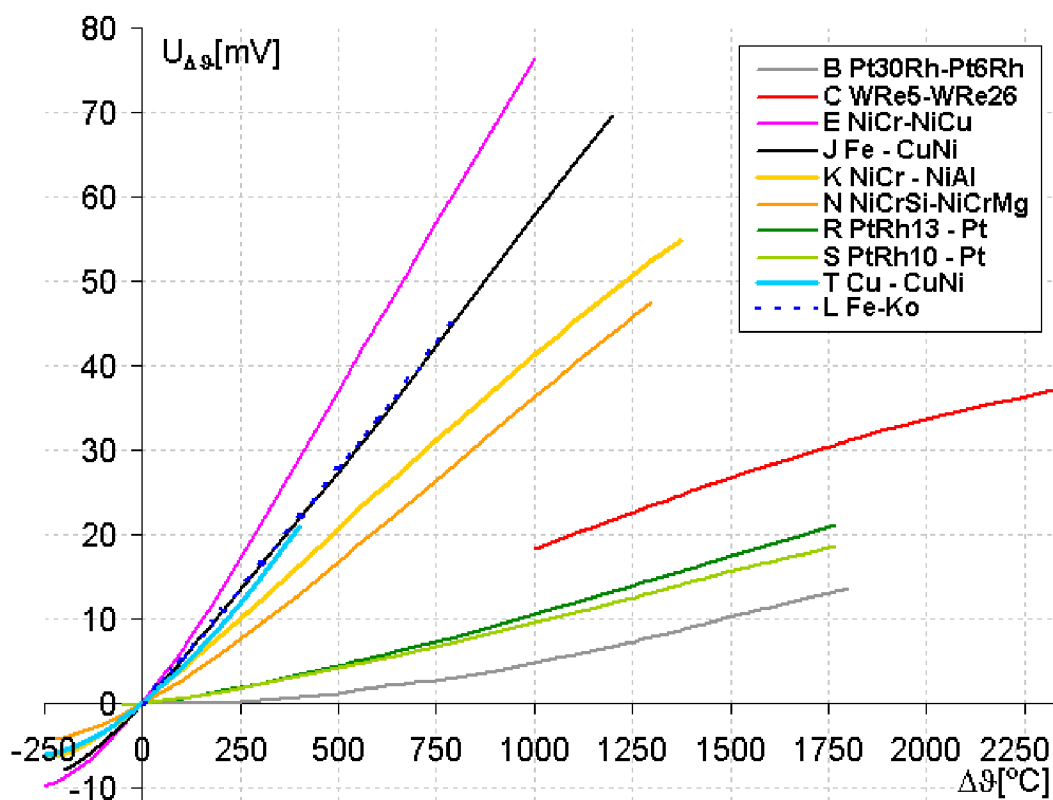
Meranie teplôt má v súčasnom priemysle veľmi dôležitú rolu. Z tohto dôvodu je potrebné zaistiť aby meranie teploty bolo jednoduché a spoľahlivé. Tieto nároky veľmi dobre splňujú termočlánky. Ich výroba je veľmi jednoduchá, cenovo nenáročná a sú použiteľné v širokom pásme meraných teplôt. Z tohto dôvodu došlo k ich širokému rozšíreniu.

Jak už bolo spomenuté, využitie termočlánkov je v tejto dobe veľmi časté, preto by tu mala byť možnosť naučiť sa robiť s týmto zariadením. Preto je voľba postaviť zvaracie zariadenie ako laboratórny prípravok v súlade so vzdelávacími potrebami na vysokých školách. Z tohto dôvodu sa táto práca zoberá zostrojením laboratórneho prípravku a to konkrétne zvaračky termočlánkových drôtov. Cieľom je vytvoriť laboratórny prípravok na zváranie termočlánkov a zvarené termočlánky následne kalibrovať. Zariadenie bude využívané pre zváranie termočlánkov na laboratórne účely. Obsluha zariadenia je jednoduchá a je dopodrobna popísaná v návode.

Nasledovne je možné sa stretnúť pri meraní a práci na tomto zariadení s teóriou o termočlánoch a získať podvedomie o tom, na akom princípe termočlánky fungujú, ako sa delia a aké typy poznáme.

2 TERMOČLÁNKY

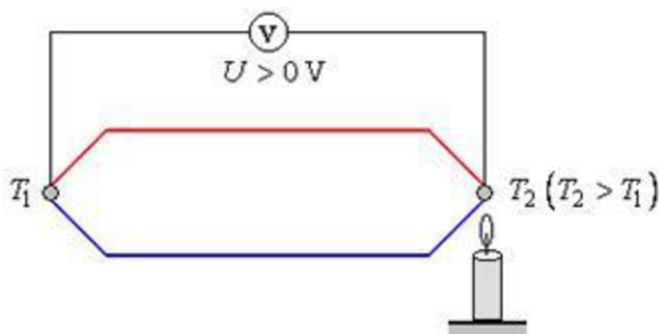
Termočlánok je snímač pre meranie teploty, ktorý využíva termoelektrický jav (tzv. Seebeckov jav), ktorý pozostáva z dvoch rôznorodých kovov spojených do jedného bodu. Každé spojenie dvoch vodičov z rôznych materiálov vytvára termočlánok. Po zahriatí alebo chladení tohto spoju dvoch kovov vzniká napätie súvzťažné k teplote. Ide teplotu, ktorá je priamo úmerná na elektrickom napätí rádo vo sa pohybujúceho v jednotkách μV na $^{\circ}\text{C}$ (viď Obrázok 1). Výsledné napätie je priamo úmerné rozdielu teplôt. [1, 2]



Obrázok 1: Charakteristika jednotlivých typov termočlánkov[3]

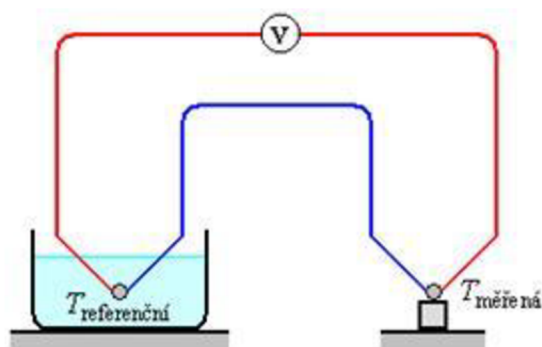
2.1 Seebeckov jav

Ak majú dva spoje dvoch kovov, ktoré tvoria termočlánok, rozdielnu teplotu, sú aj kontaktné napätia obidvoch rozhraní rôzne. Výsledné napätie medzi týmito rozhraniami je preto nulové a termočlánok je možné využiť ako zdroj elektrického napätia. Obvodom prechádza prúd a nastáva tzv. Seebeckov jav. Na obrázku (viď Obrázok 2) je vidieť dva kovy (modrý a červený), ktoré sú na koncoch spojené. Pre predstavu je teplota na začiatku experimentu $T_1 = T_2$. Koniec ktorý je označený ako T_2 je zahrievaný do tej doby, kým nastane stav $T_1 < T_2$. Týmto je dosiahnutý rozdiel teplôt na koncoch. Z teoretického predpokladu je uvažované, že ak je teplota rozdielna, tak je aj napätie rozdielne. Z toho je vyvedený záver, že napätie merané medzi dvomi koncami je $\Delta U = 0\text{V}$. Tu je vidieť holý príklad termočlánku. [4]



Obrázok 2: Znárodnenie Seebeckoveho javu vo využití zdroju el. energie.[4]

Pre našu prácu sa predovšetkým budeme sústreďovať princípom merania teploty pomocou termočlánku, a to z toho dôvodu, že sa tu využíva Seebeckov jav, ktorí si dokážeme na obrázku (viď Obrázok 3). Jeden koniec termočlánku je ponorený vo referenčnej kvapaline o teplote $T_1 = 0^\circ\text{C}$, ktorá je udržiavaná tak, že sa do vody dá ľad a pri jeho topení vzniká požadovaná teplota pričom druhý koniec je vystavovaný mernej teplote. Merná teplota termočlánku sa dá získať tak, že na oba konce sa pripojí voltmeter, ktorý bude merať termoelektrické napätie, na základe ktorého sa dá stanoviť rozdiel teplôt obidvoch spojov termočlánku.[4]



Obrázok 3: Znárodnenie Seebeckoveho javu vo využití merania teploty.[4]

2.2 Typy termočlánkov

Termočlánok je k dispozícii v rôznych kombináciách kovov (viď Tabuľka 1), a v rôznych presnostiach. V praxi sa používa niekoľko osvedčených kombinácií, tie sa značia písmenami. Najpoužívanejšie typy sú J, K, T a E. Pre vysoké teploty sú to potom kombinácie s označením R, S, C, a GB. Každý typ má rôzny teplotný rozsah a pracovne podmienky. Maximálna teplota sa mení podľa priemeru drôtu použitého na termočlánok. Pokiaľ typ termočlánku určuje rozsah teploty, je maximum rozsahu obmedzené prierezom termočlánkového drôtu. Tým je možné demonštrovať, že čím je vodič hrubší, tým väčší bude maximálny tepelný rozsah. Vychádzame z terminológie kde hrubší vodič dokáže viesť väčší prúd vďaka väčšej vodivej ceste. Každý typ termočlánku má presne stanovenú farbu kladnej a zápornej elektródy (viď Tabuľka 2).[1]

Tabuľka 1: Zliatiny termočlánkov, ich zloženie a stručný popis. [2, 3]

Typ	Zkratka	Složení	Použití (prostředí)	Rozsah [°C]
B	Pt30Rh - Pt6Rh	platina30rhodium70 - platina6rhodium94	oxidační nebo inertní; nevkládat do kovových trubek; pozor na kontaminaci; vhodné pro vysoké teploty; běžně používán ve sklářství	0 až 1700
C	WRe5 - WRe26	wolframrhenium5 - wolframrhenium26	vakuum, vodík nebo inertní prostředí; pozor na křehnutí; nepraktické pro nízké teploty; nevhodné pro oxidující prostředí	0 až 2320
E	NiCr - CuNi	niklchrom - měďnikl	pro oxidující nebo inertní, omezené použití v redukční atmosféře ve vakuu; poskytuje největší termoelektrická napětí	-200 až 900
J	Fe - CuNi	železo - měďnikl	redukční nebo inertní prostředí a vakuum, omezeně oxidační prostředí za vyšších teplot; nevhodné pro nízké teploty	0 až 750
K	NiCr - NiAl	niklchrom - niklhlíník	čisté oxidující nebo inertní; omezené použití v redukčním prostředí a ve vakuu; široký teplotní rozsah; nejoblíbenější kalibrace (?)	-200 až 1250
N	NiCr14Si1 - NiSi4Mg	nikrosil - nisol	alternativa k typu K; stabilnější při vyšších teplotách Odolává radioaktivitě - použití v jaderných zařízeních	-270 až 1300
R	PtRh13 - Pt	platinarhodium13 - platina	oxidující nebo inertní; nevkládat do ocelových trubek; pozor na znečištění; pro vysoké teploty	0 až 1450
S	PtRh10 - Pt	platinarhodium10 - platina	oxidující nebo inertní; nevkládat do ocelových trubek; pozor na znečištění; pro vysoké teploty	0 až 1450
T	Cu-CuNi	měď - měďnikl	středně oxidační, redukční vakuum, nebo inertní; vhodný, když je přítomna vlhkost; nízkoteplotní a kryogenické aplikace	-200 až 350

Tabuľka 2: Farebné značenie termočlánkov.[5]

Termočlánky podľa DIN EN 60 584			
Článok		Kladný pól	Záporný pól
Typ	Zloženie		
J	Fe-CuNi	čierna	biela
T	Cu-CuNi	hnedá	biela
K	NiCr-Ni	zelena	biela
E	NiCr-CuNi	fialova	biela
N	NiCrSi-NiSi	lila	biela
S	Pt10Rh-Pt	oranžová	biela
R	Pt13Rh-Pt	oranžová	biela
B	Pt30Rh-Pt6Rh	bez údajů	biela
Termočlánky podľa DIN EN 43 710			
Článok		Kladný pól	Záporný pól
Typ	Zloženie		
L	Fe-CuNi	červená	modrá
U	Cu-CuNi	červená	hnedá

Termočlánok môže pracovať v širokom rozsahu teplôt (viz Tabuľka 1), preto je vhodný pre použitie v priemysle. Pre výber termočlánku sa využívajú nasledujúce kritériá:

- Teplotný rozsah
- Chemická odolnosť termočlánku alebo materiálu plášťa
- Odolnosť proti abrázii a vibráciám
- Požiadavky inštalácie (potreba kompatibility s existujúcim prístrojom, existujúce otvory môžu určovať priemer sondy).[1]

2.3 Typy chránenia termočlánkov

Plášťové termočlánkové sondy sú dodané v troch typoch meracieho konca (vid' Obrázok 4).

2.3.1 Uzemnené konce termočlánku

U uzemneného meracieho konca sondy sú termočlánkové drôty fyzicky spojené s vnútornou stenou plášťa termočlánku, čo má za následok dobrý prenos tepla z vonku cez stenu plášťa sondy k termočlánkovému spoju.[1]

2.3.2 Neuzemnené konce termočlánku

V neuzemnenej (izolovanej) sonde je termočlánkový spoj oddelený od steny plášťa sondy. Odozva u tohto termočlánku je pomalšia než u typu uzemneného, ale poskytuje sa tu elektrická izolácia.[1]

2.3.3 Nechránené konce termočlánku

Termočlánok s nechráneným spojom má spoj vystrčený vonku z konca plášťa, a je vystavený okolitej atmosfére. Tento typ ponúka najlepšiu odozvu, avšak použitie je obmedzené na suché nehrdzavejúce a beztlakové aplikácie.[1]



Obrázok 4: Meracie konce termočlánkov[1]

2.4 Doba odozvy u termočlánku

Časová konštanta je definovaná ako čas potrebný pre snímač, aby dosiahol 63,2% zo skokovej zmeny teploty za definovaných podmienok. Aby snímač dosiahol 100% skokovej zmeny teploty, je potreba päť časových konštánt. Nechránený termočlánkový spoj má najrýchlejšiu odozvu. Tiež menší priemer plášťa sondy má rýchlejšiu odozvu, ale maximálna teplota môže byť nižšia. Časom sa stáva, že plášť sondy nevydrží celý teplotný rozsah daného typu termočlánku. [1]

2.5 Druhy termočlánkov

V tejto podkapitole budú termočlánky delené podľa konštrukcie.

2.5.1 Drôtové termočlánky

Drôtové termočlánky sú najjednoduchšia forma termočlánkov. Termočlánok pozostáva z dvoch termočlánkových drôtov spojených k sebe zvarom do guľičky. Pretože je tento spoj termočlánku nechránený, sú tu isté aplikačné obmedzenia. Zvarené termočlánkové drôty by sa nemali používať s kvapalinami, pretože by mohli korodovať, alebo oxidovať. Kovové povrchy môžu byť tiež problematické. Často sa kovové povrchy, predovšetkým trubky, používajú k uzemneniu elektrických systémov, pretože priame spojenie s elektrickým systémom by mohlo ohroziť meranie termočlánkom. Obvykle sú tieto zvarené drôtové termočlánky dobrou voľbou pre meranie teploty plynu, a to z toho dôvodu, že môžu byť vyrobené veľmi malé, a majú tiež veľmi rýchlu odozvu.[1]

2.5.2 Termočlánkové sondy

Termočlánková sonda pozostáva z termočlánkového drôtu umiestneného v kovovej trubke. Stena trubky sa nazýva plášť sondy. K obvyklým materiálom plášťa patrí nerezová oceľ a Inconel. Inconel vydrží väčšie teplotné rozsahy ako nerezová oceľ, avšak často sa dáva prednosť nerezovej oceli pre jej značne širokú chemickú odolnosť. Pre veľmi vysoké teploty sú k dispozícii iné zvláštne materiály plášte. Merací koniec termočlánkovej sondy má tri rôzne prevedenia, a to uzemnené, neuzemnené a nechránené (termočlánok). Sondy pre meranie teploty povrchu [1]

3 ZVÁRANIE TERMOČLÁNKOV

Je to postup, pri ktorom sa z dvoch drôtových vodičov rôzneho typu a za priaznivo vytvorených podmienok zvarí dané vodičky do seba. Týmto procesom sa vytvorí termočlánok. Postup zvárania si vysvetlíme na modely zväračky „Model 300 Tig Welder“ (viď Obrázok 5).

3.1 Zväračka termočlánku Model 300 Tig Welder

Je to volfrámový-nehýbný a plynový zvärač, ktorý funguje v spojení s nádobou argónového plynu a tlaku, ktorý znižuje ventil. Energia z elektrického oblúku, ktorý prúdi cez dva termočlánkové drôty, zvyšuje ich teplotu až k bodu topenia. Po ukončení zväracieho oblúku, sa roztavené drôty ochladia aby sformovali pevne zvarený termočlánok. Od tejto doby to už nie je plynový zvärač, pretože tu nie je žiadna kontaminácia z tretieho kovu, ani to neobsahuje žiadne vzduchovo zanesené častice alebo plyny, ktoré by mohli kontaminovať zváranie. V ideálnom prípade dve rôzne zloženia drôtu sú kompletne zliate a vykazujú odchýlku menej ako 0,01°C. [6]

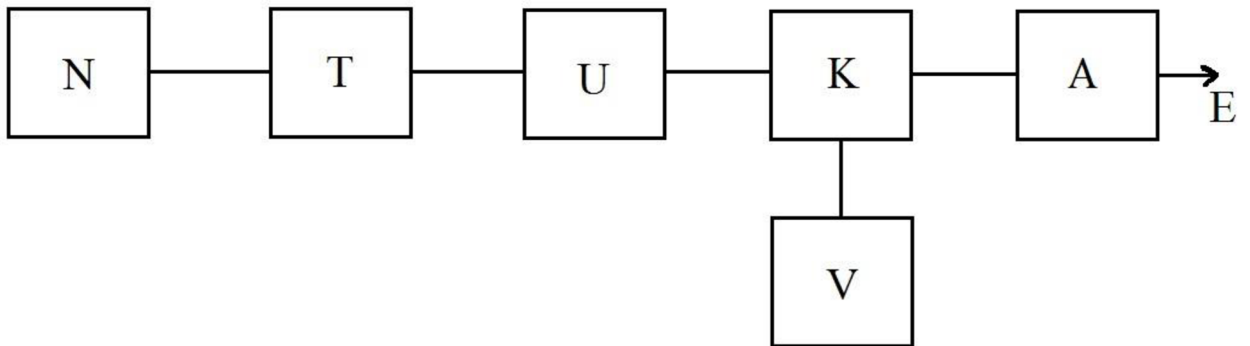


Obrázok 5: Model 300 Tig Welder[6]

3.2 Postup zvárania

Drôty ktoré sa budú zvärať sú holé (odizolované) a umiestnené v držiaku tak, aby odizolované časti boli navzájom v kontakte. Medené čeluste držiaku dovoľujú holým drôtom vyčnievať zhruba dva priemery. Čeluste sú vytvorené z medi z dôvodu vysokej tepelnej vodivosti. Veľkosť drôtu, ktoré vyčnieva, bude určovať konečnú veľkosť zavareného spoju. Pokračuje sa umiestnením držiaku do zväracej dutinky a je nutné sa uistiť, že medené čeluste sú v kontakte s výčnelkom vo vnútri dutinky. V dutinke sa nachádza argón, ktorý čistí priestor pred zváraním. Môže do komory prúdiť automaticky, alebo byť pripúšťaný počas procesu. V dutinke vzniká vysokofrekvenčné pole, ktoré ionizuje argón. Stlačením zväracieho tlačidla začína silné prúdenie (okolo 12 amps), ktoré prúdi z volfrámového hrotu do termočlánkových drôtov a začína zvärací proces. Začiatok prúdu končí na vysokofrekvenčnom poly. Argón ostáva ionizovaný kvôli toku prúdu. Prúd o hodnote 12A pokračuje rýchlosťou 0,1s a je ukončený časovým obvodom ktorý je spustený na začiatku prúdenia. Časovane by malo byť nastavené na minimum zväracieho času, ktoré produkuje usporiadané zváranie. [6]

3.3 Bloková schéma zväračky termočlánku



N-Napájanie; T-Transformátor; U-USmerňovač; K-Kondenzátor; A-Nádoba s argónom; V-Meracie zariadenie; E-Elektroda

Obrázok 6: Bloková schéma zväracieho zariadenia

3.3.1 Popis blokovej schémy

Napájacie striedavé napätie obvodu (230V) je privedené na znižujúci transformátor(T), ktorý zníži napätie na určitú hodnotu. Stransformované napätie je vedené na diódový usmerňovací mostík (U) ktorý usmerní napätie na jednosmerné. Obvod pokračuje ku kondenzátorom (K), ktoré sú pripojené v obvode a slúžia k tomu, aby sa v nich akumuloval náboj, ktorý sa pri zváraní rázovo vybije. Veľkosť napätia na kondenzátore sa sleduje meracím zariadením, konkrétne voltmetrom. Na vývode je elektróda ktorá je uložená v argónovej banke.

4 KALIBRÁCIA TERMOČLÁNKU

Je to súbor úkonov ktorými sa overia údaje o správnosti výrobku. Ten je porovnaný s kusom s lepšími vlastnosťami (etanol). Je to kontrola výrobku podľa kalibra. Táto činnosť sa vykonáva z dôvodu zlepšenia presnosti merania . Je mnoho spôsobov ako sa dá termočlánok kalibrovať. Niektoré spôsoby budú opísané.[7]

4.1 Kalibračná piecka

Je to prístroj poskytujúci priestor s plynulo nastaviteľnou a stabilnou teplotou. Jedná sa zväčša o kovový blok s otvormi pre umiestnenie tepelných snímačov prípadne etanolu (kus s väčšou presnosťou). Medzi základné vlastnosti každej kalibračnej piecky patrí jej teplotný rozsah, teplotná stabilita, homogenita, teplotné pole, presnosť, rýchlosť dosiahnutia požadovanej teploty a kapacita – priemer bloku. Rozsah niektorých kalibračných piecok sa pohybuje od -90 až do 1200 °C, pri normálne izbovej teplote 24 °C. Tepelnou stabilitou sa rozumie kolísanie teploty v piecke v určitom časovom intervale. Pováčšine sa pohybuje od $\pm 0,01$ do 0,1 °C. Ako sa mení teplota po dĺžke dierky nám hovorí homogenita tepelného poľa. Piecku sú regulovateľné vďaka tepelnému snímaču. [8]

4.1.1 Popis kalibrátoru CL 1000

Kalibrátor je rýchly, presný, úsporný, bezpečný zdroj s konštantnou teplotou. Tento typ kalibrácie je presný, preto môže byť použitý v rôznych prevozoch alebo v laboratóriách. Teplotný rozsah kalibrátoru je od 11°C do 260°C a je vybavený samostatnou teplotnou poistkou. Izolácia v prístroji má takú účinnosť, že umožňuje ho udržiavať v ruke pri rýchlom zahrievaní prístroja alebo pri jeho maximálnych prevádzkových teplotách. Obvod pre reguláciu teploty je umiestnený vo vnútri prístroja. Kalibrátor umožňuje vloženie sondy v šiestich rôznych formátoch. Má oddelený prepínač zapnuté/vypnuté pre rýchle chladenie bez zmeny nastavenej teploty a kontroly pre prekročenie teploty aj napájania prístroja. [11]



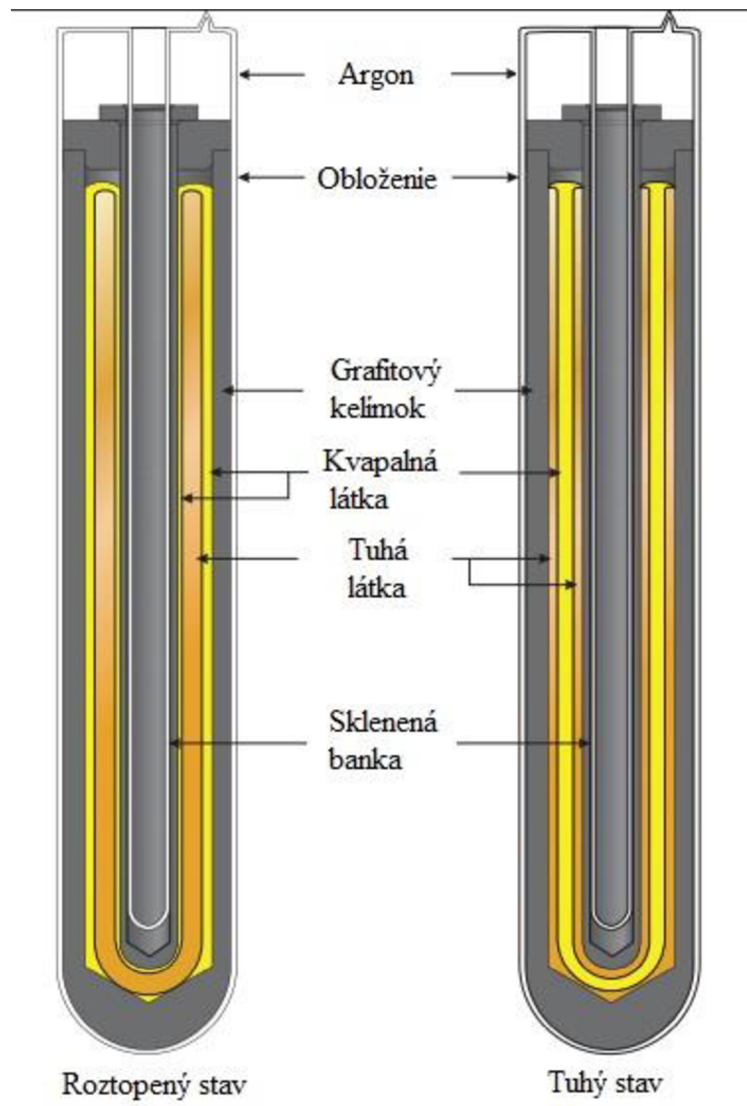
Obrázok 7: Kalibračná piecka OMEGA CL100 [11]

4.2 Kalibrátor Freeze Point Cell (Komora s fixnou teplotu)

Je to zariadenie zložené z niekoľkých častí povkladaných do seba. Jedná sa o extrémne jemný prístroj. Zariadenie funguje na princípe porovnávania teplôt. Pri premene látok z tuhých na kvapalné a naspäť sa zaručuje konštantná teplota ktorá je potrebná pre kalibráciu. Zariadenie pozostáva zo sklenenej banky ktorá je umiestnená v grafitovom kelímku, ktorý sa nachádza v puzdre zložené z chemicky čistej látky. Toto celé je vsunuté v grafitovom kelímku a nakoniec vložené do obloženia. Chemicky čistou látkou sa rozumie prvok ktorý má čistotu 99,9999% ďalšie informácie sú uvedené (viz Tabuľka 3). Princíp činnosti: zahrievacie elementy ktoré sú umiestnené na vonkajšej strane komory začnú ohrievať sklenenú nádobu. Vďaka teplu ktoré je prenášané cez grafitové boky sa začne kov vo vnútri topiť pričom teplota topenia je presne definovaná vďaka vysokej chemickej čistote kovu. Vďaka tomu, že je komora vyššia ako jej priemer, je zaistené teplotne homogénne pole na jej dne, ku ktorému sa zasúvajú termočlánky. [9]

Tabuľka 3: Špecifikácia kovov[9]

Číslo modelu	5904	5905	5906	5907	5908	5909
Fixná látka	FP In	FP Sn	FP Zn	FP Al	FP Ag	FP Cu
Reprodukovateľnosť	0,15 - 0,3 mK	0,2 - 0,4 mK	0,2 - 0,4 mK	0,6 - 1,0 mK	1,0 - 2,0 mK	0,2 - 0,4 mK
Rozšírená Neistota, k=2	0,7mK	0,5mK	0,9mK	1,3mK	2,4mK	10,1mK
Kovová čistota	99,99995%	99,99995%	99,99995%	99,99995%	99,99995%	99,99995%
Množstvo kovu	0,97kg	0,96kg	0,9 kg	0,35kg	1,35kg	1,13kg
Vonkajší priemer komory	48mm	48mm	48mm	48mm	48mm	48mm
Celková výška komory	282mm	282mm	282mm	282mm	282mm	282mm
Vnútorý priemer	8mm	8mm	8mm	8mm	8mm	8mm
Celková hĺbka	195mm	195mm	195mm	195mm	195mm	195mm
Bod topenia	156,5985°C	231,928°C	419,527°C	660,323°C	961,78°C	1084,62°C



Obrázok 8: Rez KFT a popis jednotlivých častí [9]

5 KONŠTRUKCIA ZVÁRACIEHO ZARIADENIA NA TERMOČLÁNKY

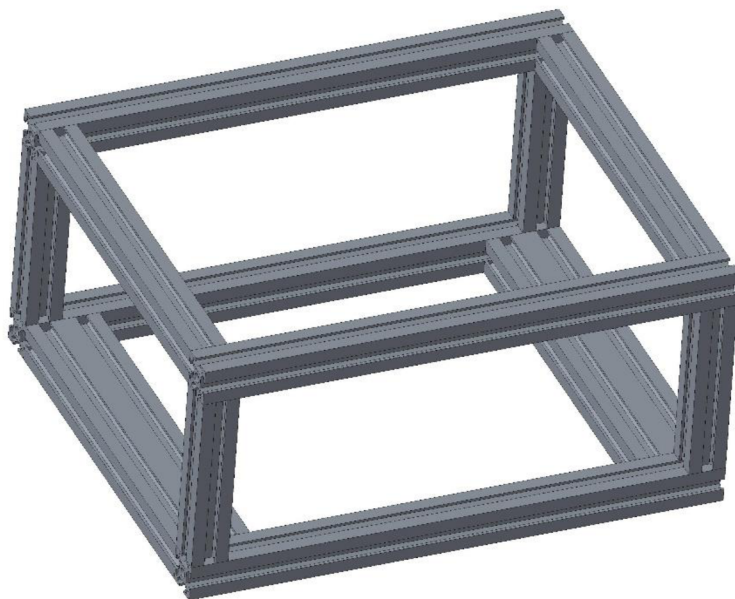
V tejto kapitole bude vysvetlené z čoho sa termočlánková zväračka skladá. Bude popísaná krabička v ktorej je zariadené uloženie a zloženie jednotlivých prvkov. Ďalej bude predstavené schéma zapojenia, jednotlivé komponenty a opis funkcie. Schéma zapojenia a okótované výkresy sú umiestnené v prílohe.

5.1 Krabička pre prípravok

Krabička bola navrhnutá v programe CREO 3 a je skonštruovaná z profilov 20X20mm a 40X20mm AlMgSi 0,5 F25. Tieto profily boli narezané na potrebné dĺžky následne vyvítané a na záver spojené do hromady pomocou matic do T - drážky (norma DIN 508) a škrabov. Tento materiál bol použitý pretože, práca s ním je jednoduchá a výsledný efekt robí dobrý dojem (viď Obrázok 9).

Ako krytie bolo použité plexisklo „Arla polykarbonát (PC)“. Tento materiál bol vybraný z dôvodu, že sme chceli ukázať vnútro zariadenia, jednotlivé komponenty a časti. Plexisklo bolo umiestnené na spodnú, hornú, prednú a zadnú stranu. Na ľavú a pravú stranu sa použil „Multipanel kompozitní hliníkové dosky“. Dôvod použitia tohto materiálu je čisto vizuálna.

Časti krytia sú na konštrukcii umiestnené rôznym spôsobom. Predná a zadná plexisklová časť je vsunutá priamo do profilov a zaistená tesniacou gumou od firmy BOSH. Plexisklo ktoré slúži ako spodná podstava je priskrutkované na spodných dvojitych profiloch (40x20mm) a vrchne je taktiež priskrutkované a nachádza sa na hornej časti zariadenia. Dôvod prečo je spodné a vrchne plexisklo umiestnené na skrutkách a nie vložené do profilov je kvôli manipulácii, prípadne oprave. Bočnice zariadenia z hliníkového sendviču sú priskrutkované. Dôvod prečo neboli vložené priamo do profilov je ten, že je problém pre jeho hrúbku upevniť ho pevne v profile a tiež to uľahčovalo stavbu elektrickej časti.



Obrázok 9: konštrukcia termočlánkovej zväračky

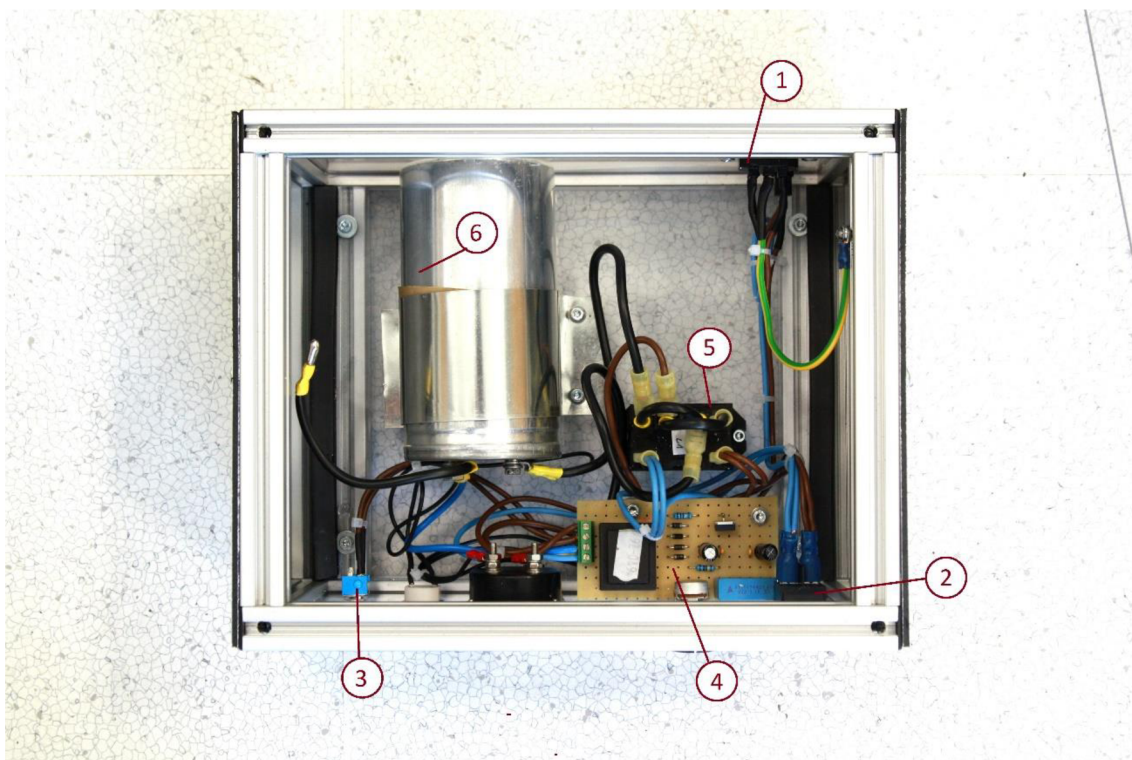
5.2 Elektrická časť zariadenia

Celá elektronika použitá vo zväračke je jednoduchá ale účinná. Ide o to zvariť termočlánok pomocou odporového tepla. Teplo je reprezentované výbojom z elektrolytického kondenzátora, ktorý sa nabil jednosmerným napätím do nami určenej hodnoty.

5.2.1 Schéma zapojenia

Na vstupné svorky je privedené striedavé napätie (230V) z elektrickej siete. Toto napätie ide na transformátor ktorý ho znižuje na 24V striedavých. Znížená hodnota striedavého napätia sa usmerní cez Graetzov mostík a ide na stabilizátor napätia. Tento prvok bol použitý preto, aby bolo možné nastavovať veľkosť napätia, ktorá bude dobíjať kondenzátor. Zároveň obmedzí hodnotu množstva napätia, ktoré potečie do kondenzátora. Veľkosť napätia je regulovaná potenciometrom (10k Ω). Výkonový kondenzátor o hodnote 39mF/45V je cez sériovo zaradený odpor (10 Ω) dobíjaný jednosmerným napätím. Predradený je stýkač, ktorý je ovládaný tlačidlom (páčkovým) spúšťa proces dobíjania. Tento stýkač je napájaný zo siete striedavého napätia. Z kondenzátora ktorý je paralelne zapojený sú vyvedené dve elektródy katóda, anóda. Ako anóda je použitý rybársky peán s pogumovanou rukoväťou. Ako katóda je použitá uhľiková elektróda. (viď. Obrázok 14)

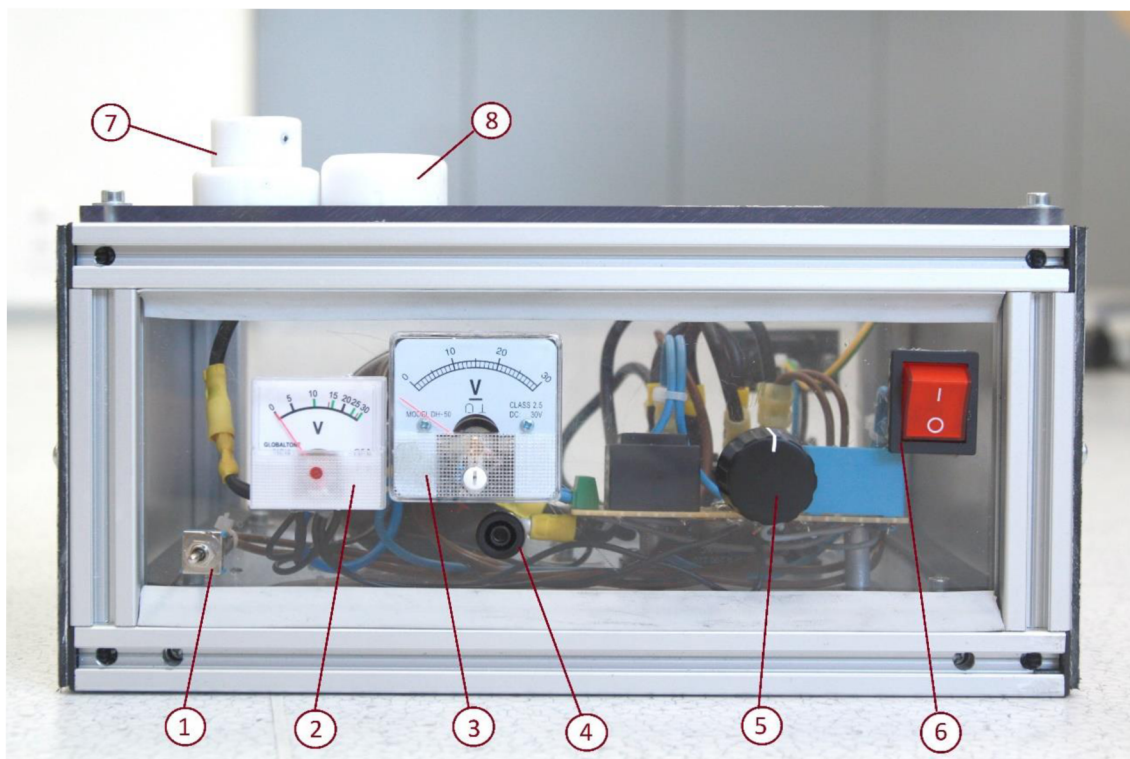
1. Sieťové napätie
2. Spínač I/O
3. Páčkové tlačidlo
4. Plošný spoj s usmernením a stabilizátorom napätia
5. Stýkač
6. Výkonový kondenzátor



Obrázok 10: Pohľad na od krytované zariadenie zhora

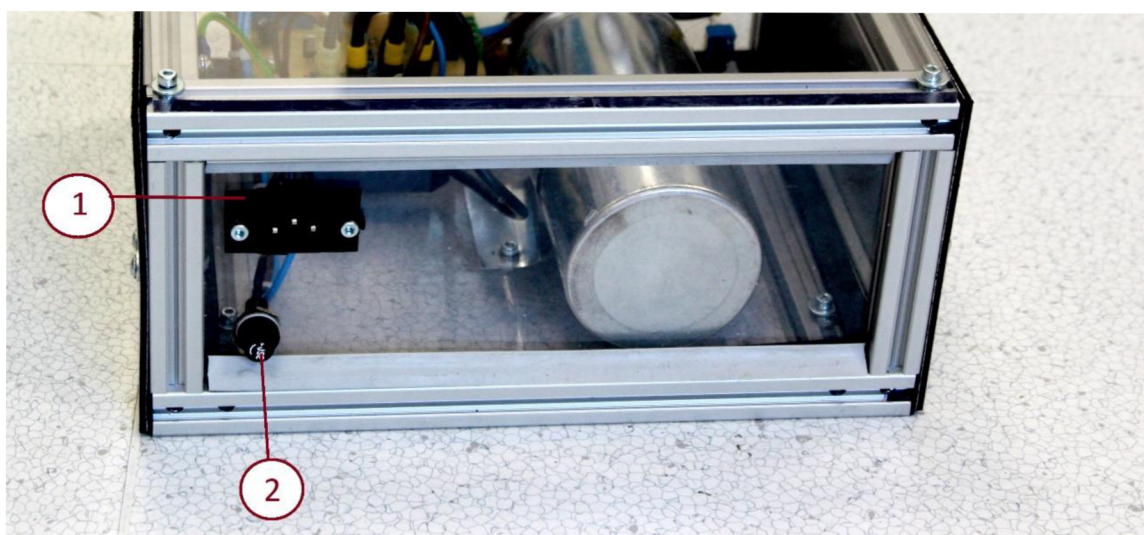
5.3 Popis predného a zadného panela

V tejto kapitole je opísaný predný panel (vid' Obrázok 11), zadný panel (vid' Obrázok 12) a anódové kliešte zväracieho zariadenia.



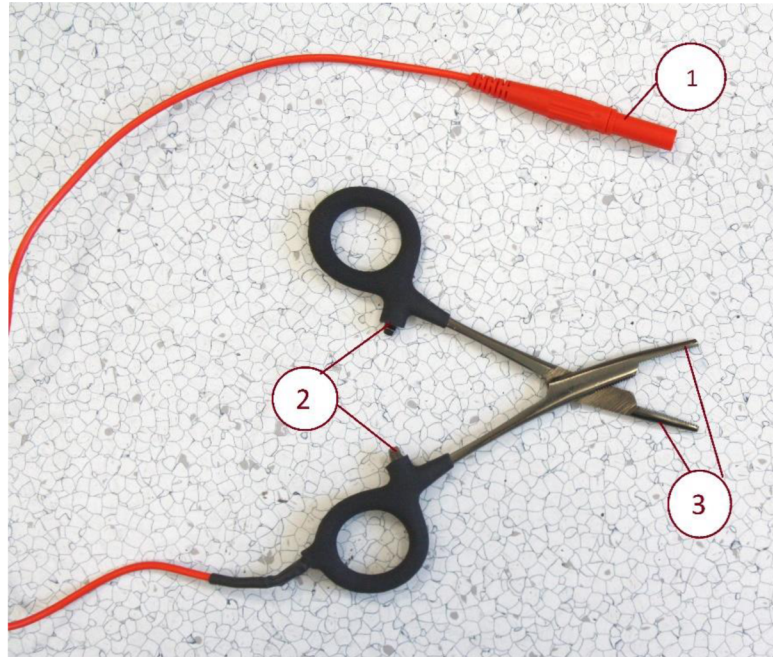
Obrázok 11: Rozloženie komponentov na prednom paneli zariadenia

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. Páčkové tlačidlo | 6. Hlavný vypínač |
| 2. Nabíjaci voltmeter | 7. Kalíšok s uhlíkovou elektródou (katóda) |
| 3. Nastavovací voltmeter | 8. Ochranný silikónový prstene |
| 4. Zdierka pre peán (anóda) | |
| 5. Potenciometer | |



Obrázok 12: Rozloženie komponentov na zadnom paneli zariadenia

1. Sieťové napätie
2. Poistkové puzdro



Obrázok 13: Popis časti peámu (anódy)

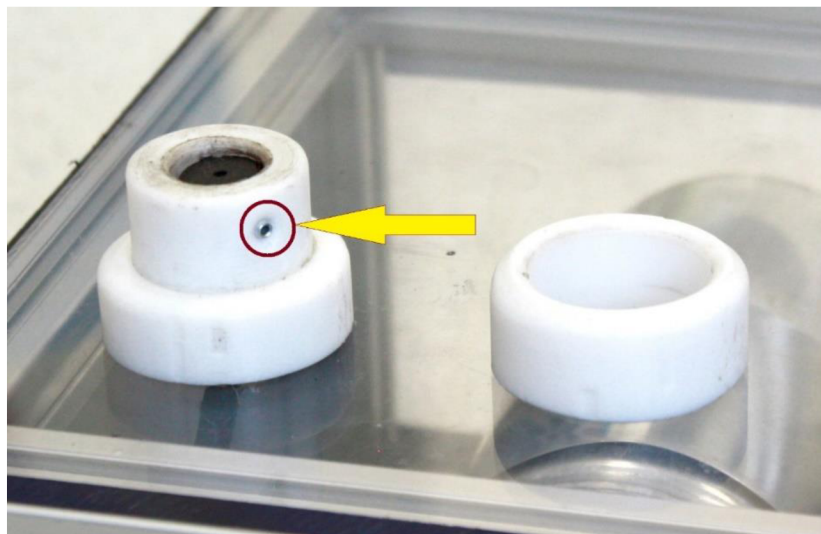
1. Kolík
2. Zacvičovanie zúbky
3. Čeluste

6 POUŽITIE TERMOČLÁNKOVEJ ZVÁRAČKY

V tejto kapitole je rozvedené ako zariadenie pracuje. Taktiež sú tu uvedené praktické rady pre efektívnu a správnu manipuláciu so zväračkou. Časť tejto kapitoly je tiež zároveň venovaná popisu kvalitného zvaru.

6.1 Príprava k meraniu

Pripojí sa peán (anóda) do otvoru, ktorý je umiestnený pod pravým voltmetrom (viď komponentu 4, Obrázok 11). Na viku termočlánkovej zväračky sa nachádza kalíšok v ktorom je umiestnený uhlík (katóda) (viď komponent 7, Obrázok 11). Z neho sa dá dole ochranný silikónový prstenec (viď Obrázok 14). Po odstránení ochranného krúžku sú vidieť skrutky bez hlavy ktoré zvierajú uhol 120°. Na obrázku sú znázornené žltou šípkou (viď. Obrázok 14). Tieto skrutky bez hlavy povolíme imbusovým kľúčom a to z toho dôvodu aby bolo možné pritlačiť uhlík čo najviac na vodivú plošku umiestnenú pod ním. Po dobu ako pôsobíme na uhlík vertikálnou silou, skrutky bez hlavy zaskrutkujeme naspäť. Tento krok je dôležitý z dôvodu zníženia prechodového odporu medzi uhlíkom a vodivou ploškou. Nakoniec sa vloží ochranný silikónový prstenec späť na miesto. Do kalíšku s uhlíkom (katóda) sa naleje glycerín. Výška hladiny glycerínu má byť taká, aby bol celý uhlík pod hladinou. Dôvod prítomnosti glycerínu je ten, aby sa zamedzilo oxidácií a vytvoril sa vhodné prostredie pre zvar.



Obrázok 14: Kalíšok s uhlíkom (katóda) a ochranným prstencom s detailom na kovovú skrutku bez hlavičky

6.2 Zváranie termočlánkových drôtov

Po pripojení zariadenia do siete a splnením vyššie uvedených nastavení, sú prípravy na zváranie dokončené. Pred zapnutím zariadenia je nutné sa uistiť o tom, či je koliesko potenciometru vytočené na minimum smerom doprava. Po tejto kontrole sa zariadenie zapne hlavným vypínačom, ktorý je umiestnený vpravo hore a je červenej farby. Po tejto akcii obidva voltmetre, ako voltmeter nabíjaci tak voltmeter nastavovací, ukazujú hodnotu 0V.

Je nutné pripraviť si termočlánkový drôt nasledovným spôsobom. Odizoluje sa pomocou odizolovacích klieští vrchnú bužírku a následne aj ostanú izoláciu ktorá chráni termočlánok. Dĺžka holých vodičov by mala byť okolo 10mm, alebo podľa potreby. Zastrihnú sa konce termočlánku aby boli rovnako dlhé. V ďalšom kroku sa odistí peán (anóda) a vloží sa odizolovaná časť termočlánkového drôtu do čeľustí. Je nutné ho umiestniť tak, aby za peánom boli vysunuté aspoň 2/3 odizolovanej časti. Musí byť zaistené to, že konce po zacvaknutí peánu na prvý zub (viď Obrázok 15), budú rovnako vysoké a budú sa dotýkať iba v jednom bode a to na hrote.



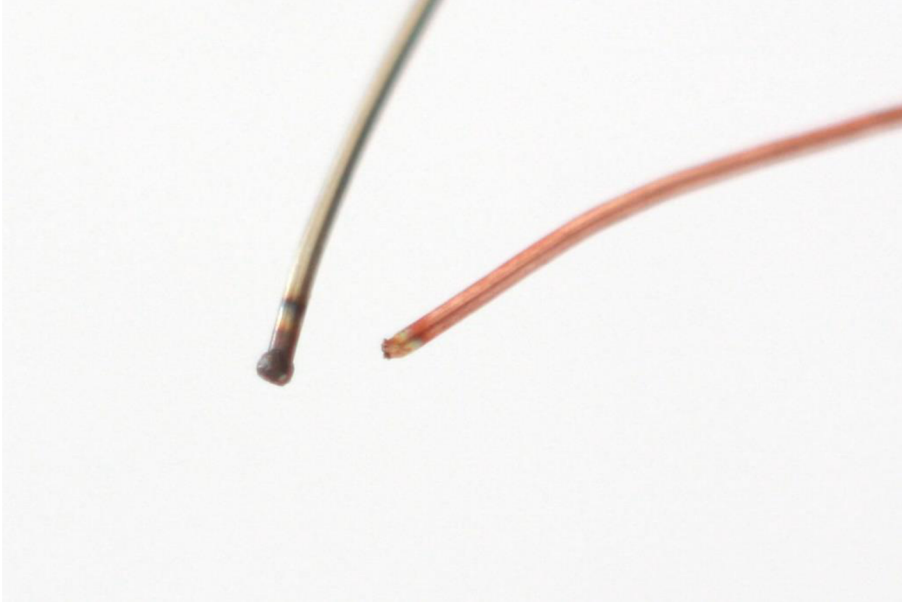
Obrázok 15: Detail zubu na peáne (anóde) po zacviknutí a pred zacviknutím

Po týchto prípravách sa kolieskom potenciometru nastaví veľkosť napätia ktorá zodpovedá prierezu drôtu prípadne jeho zloženiu. Táto hodnota sa zobrazí na nastavovacom voltmetri (viď komponent 3; Obrázok 11). Nastavovanie veľkosti napätia je veľmi citlivé, treba byť preto jemný a precízny. Po nastavení sa stlačí páčkové tlačidlo (viď komponent 1; Obrázok 11). Tým sa uvedie do činnosti stýkač (viď komponent 5; Obrázok 10) ktorí začne nabíjať výkonový kondenzátor (viď komponent 6; Obrázok 10). Hodnotu a ako rýchlo sa kondenzátor nabíja je vidieť na nabíjacom voltmetri (viď komponent 2; Obrázok 11). Čím je potrebná vyššia hodnota napätia tým trvá dlhšie kým sa kondenzátor nabíja. Keď sa hodnota napätia na nabíjacom a nastavovacom voltmetri rovnajú pustí sa nabíjacia páčka. To je aj znamenie, že je kondenzátor nabitý na požadovanú hodnotu.

Chytíme si peán s upnutým termočlánkom a kolmo sa s ním pomaly priblížime k uhlíku (katóde). Keď je anóda dostatočne blízko pri katóde vznikne výboj ktorý zvarí termočlánok. Po výboji a teda zvarení termočlánku môže nastať päť prípadov a to sú:

1. Termočlánok sa nezvaril

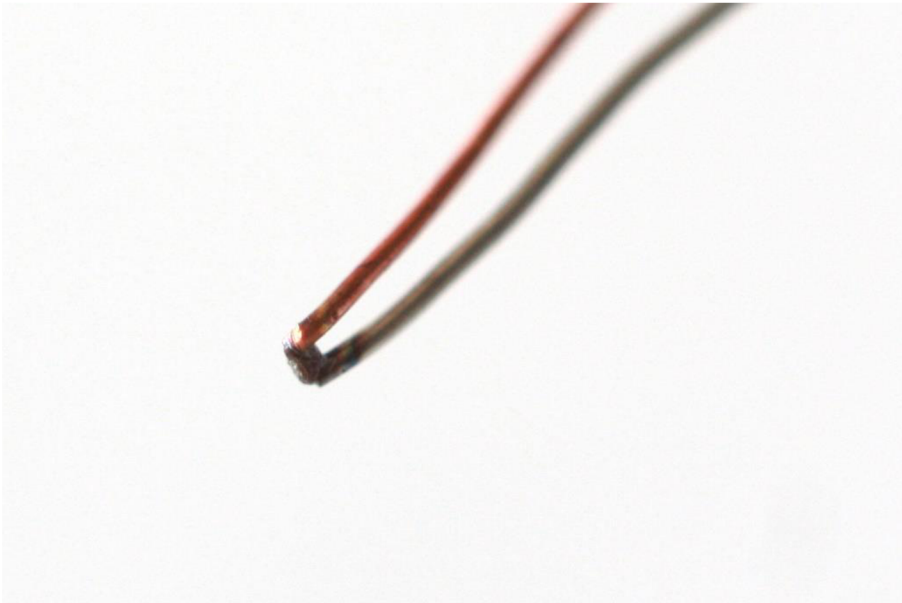
- Keď po výboji ostanú drôty nezvarené (t. j. sú od seba vzdialené) znamená to, že bolo nastavené moc malé napätie a nevzniklo dostatočne veľké odporové teplo pre zvarenie termočlánku (vid' Obrázok 16). Tiež sa môže stať, že sa termočlánky k sebe len slabo prilepia a pri slabšom namáhaní hneď oddelia.



Obrázok 16: Nezvarený termočlánok

2. Vznikne mostík

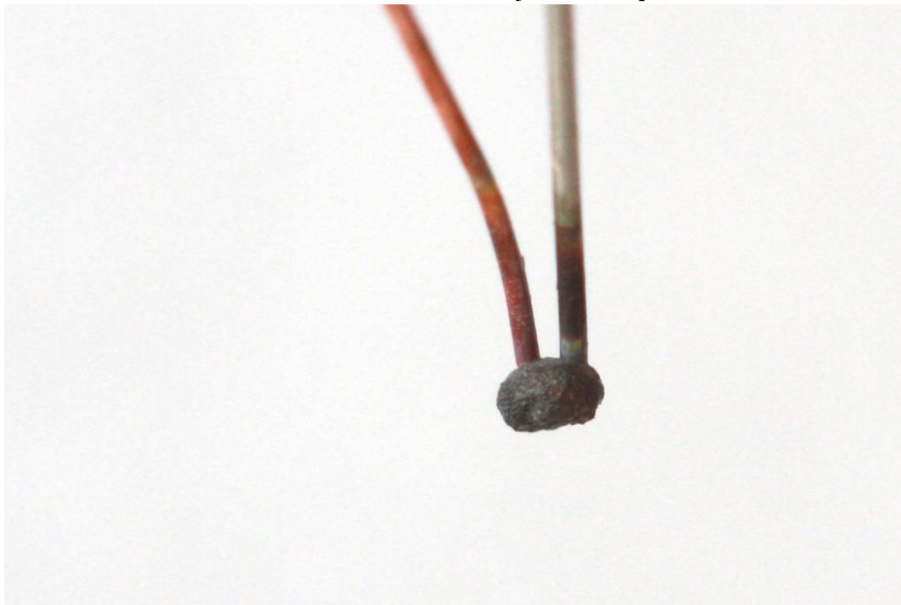
- keď po výboji je videné pod lupou, že oba konce sú akoby prepojené malým vodičom (mostíkom)(vid' Obrázok 17) znamená to, že teplo bolo dostatočné na zvarenie termočlánku, ale nie dostatočné na vytvorenie guľôčky. Preto treba zvýšiť napätie.



Obrázok 17: Termočlánok zvarený malým výbojom vznik mostíku

3. Vznikne elipsoid

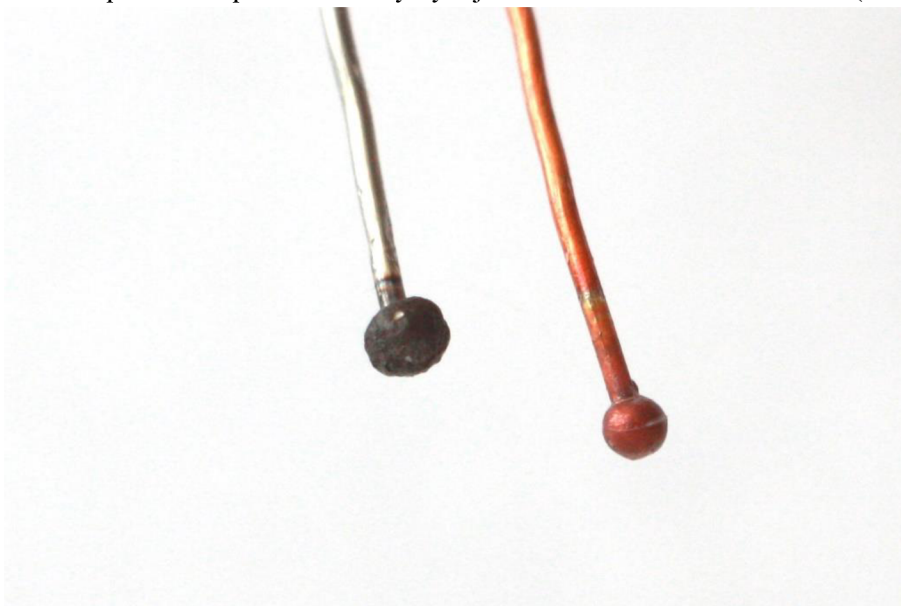
- pod oddialení elektród vznikne sploštená guľička (elipsoid)(vid' Obrázok 18). Tento stav môže znamenať dve veci. Po prvé, pri priblížení sa ku katóde sa ťuklo o uhlík a to zdeformovalo guľôčku. Po druhé, napätie bolo nastavené moc veľké a pretavilo sa moc drôtu a to spôsobilo deformáciu. Preto treba znížiť hodnotu nabijacieho napätia.



Obrázok 18: Zvarený termočlánok veľkým výbojom vznik elipsoid

4. Termočlánok sa nezvaril a každý vodič so svojou guľičkou

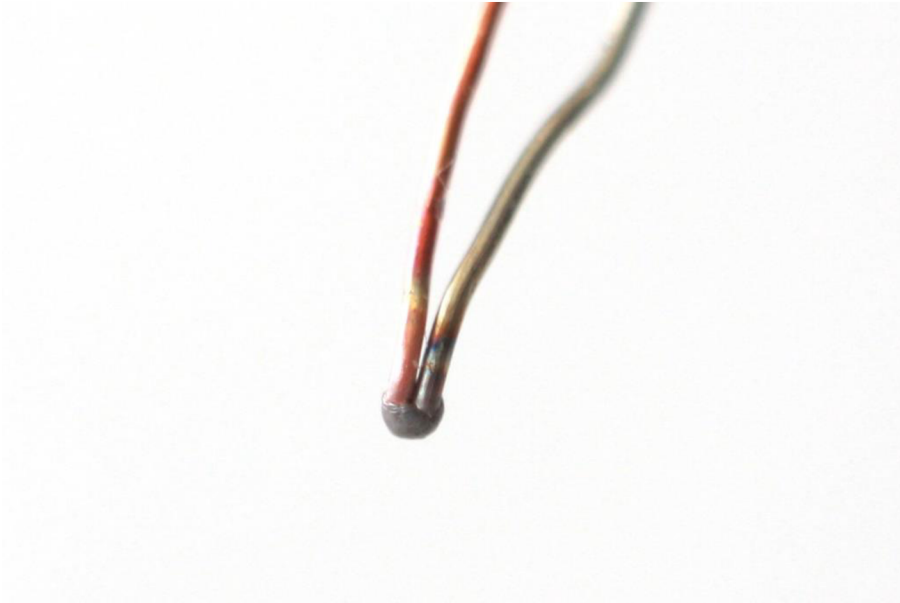
- Toto mohli spôsobiť dve veci. Prvá možnosť je tá, že drôtky boli ďaleko od seba. Z toho plynie, že ich nezvarilo dohromady ale každý zatavilo samostatne. Druhá je tá, že bolo nastavené moc veľké napätie a to spôsobilo veľký výboj a následné roztavenie vodičov (vid' Obrázok 19)..



Obrázok 19: Nezvarený termočlánok z dôvodu veľkého výboja, zatavenie

5. Vznikne gulôčka

- napätie bolo nastavené na správnu hodnotu pri ktorej sa gulôčka dokázala sformovať do správneho tvaru (viď Obrázok 20).



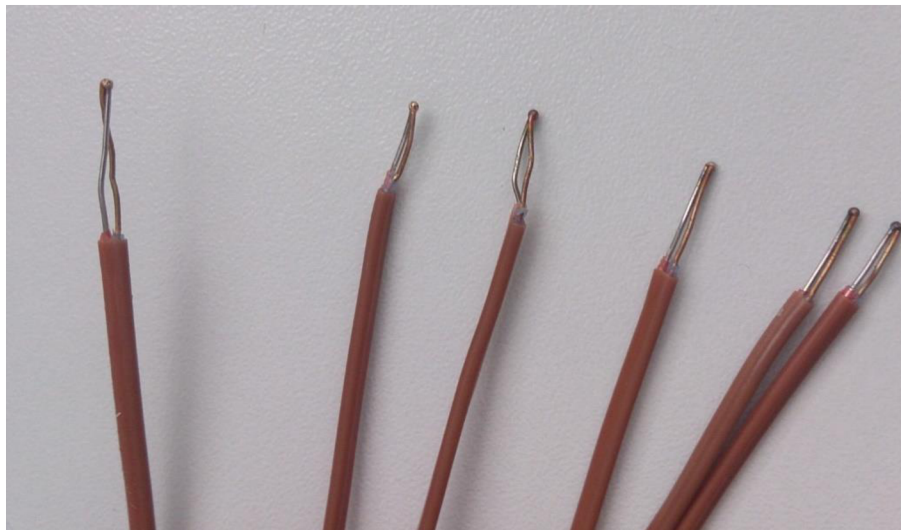
Obrázok 20: Správne zvarený termočlánok

6.3 Odporúčenie k zväraníu

Pri zväraní je nutné dávať si pozor na tieto veci. V prvom rade ide o to aby bol uhlík dostatočne pritlačený a nevznikal zbytočný prechodový odpor. Ďalej pokiaľ prevádzame tretí až štvrtý zvar je nutné kontrolovať hladinu glycerínu v kalíšku. Robí sa to preto, aby zvar bol vždy v čistom prostredí to zvýši presnosť termočlánku a aj zlepši tvar guličky. Pri opätovnom zväraní sa začne uhlík jemne oprašovať. To spôsobuje zašpinenie glycerínu a aj zanesenie nečistôt do zväraného termočlánku. Preto je nutné raz za čas očistiť tekutinu od sadze. Pred tým ako vložíme odizolované vodiče do peánu, odmastíme ich pomocou liehu. Ďalej je veľmi potrebné aby po vložení odizolovaných častí termočlánku do peánu boli drôtičky dokonalo zarovnané (rovnako dlhé) a dotýkali sa iba hrotmi. Treba si dávať pozor na oči, pretože záblesk pri zväraní je veľmi ostrý. Pri dotyku elektród sa môže stať, že glycerín vystriekne, preto je nutné používať ochranné pomôcky. Z tohto dôvodu je zariadenie opatrené plexisklovým štítom na čelnej strane. Pri nastavovaní napätia je potrebné byť precízny a počkať kým sa ustáli hodnota na nastavovacom voltmetri (viď komponent 3, Obrázok 11). Pri dlhom držaní páčkového tlačidla (viď komponent 1, Obrázok 11) nenastane prebitie kondenzátoru pretože je to kontrolované stabilizátorom napätia. Pri zväraní je nutné pustiť páčkové tlačidlo.

7 KVALITA ZVARENÝCH TERMOČLÁNKOVÝCH DRÔTOV

V tejto kapitole je prevedené porovnanie zavarených termočlánkov. Sú porovnávané termočlánky zvarené na vyrobenom prípravku so zvarenými termočlánkami s komerčnou zväračkou „SR80 UWO“. Na oboch zväračkách sa použil termočlánok s typovým označením TT-T-24 (viď. Obrázok 21). Pri zváraní na oboch zariadeniach boli dodržané rovnaké podmienky ako napríklad očistenie termočlánkového drôtu liehom alebo zaistenie toho aby nevznikla oxidácia na zväracích komponentoch.



Obrázok 21: Zvarené termočlánky na profesionálnej zväračke a na prípravku

7.1 Priebeh zvárania

Ako prvé prebehlo zváranie na zväračke SR80 UWO. Zvárali sa vždy tri termočlánky pre možnosť porovnania. Termočlánky boli dôkladne odizolované tak aby sa nenarušila kovová časť článku. Pred zváraním boli ošetrené liehom a to z toho dôvodu aby na nich nebola mastnota ktorá by mohla spôsobiť nedokonalosť zvaru. Bol použitý argón kvôli tomu, aby sa vytvorilo prostredie vhodné pre zváranie.

Ako druhé prebehlo zváranie na vyrobenom prípravku. Aj tu sa ošetrili odizolované konce liehom za účelom odstránenia mastnoty. Tu, pre vytvorenie vhodného prostredia pre zváranie, bol použitý glycerín a taktiež sa zvárali tri termočlánky typu T.

7.2 Porovnanie termočlánkov

Kalibrácia bola vykonaná v kalibračnej pecku „OMEGA CL 1000“ pre štyri rôzne teploty a to: 50 °C; 100 °C; 150 °C; 200 °C. Pre zber dát boli termočlánky merané až do maximálnej teploty. Táto maximálna teplota bola zistená pre termočlánok typu TT-T-24 z datasheet-u. Použitý bol program WaveScan s prídavným zariadením (meracou kartou) Advantech USB 7418. Výhodou zariadenia bolo že sa mohlo pripojiť zároveň všetkých 7 termočlánkov naraz a zároveň ich merať. Týmto program mohol vykresliť 7 grafov súčasne a bolo možné pozorovať ako sa termočlánky od seba líšia s ohľadom na ich výstupné napätie.

K zvareným termočlánkom sa pridal ešte referenčný termočlánok typu K za účelom kontroly nastavenej teploty v kalibračnej pecku. Následne boli všetky termočlánky zarovnané do jedného zväzku. Medzi časom sa dala nahrievať kalibračná pecka na prvú zvolenú hodnotu čiže 50°C

(viď Obrázok 22). Po vložení termočlánkového zväzku do kalibračnej piecky sa čakalo približne 12minút (720 sekúnd) kým sa ustáli teplota na termočlánkoch a rovnomerne sa prehrejú. Po ustálení (12min) sa čakalo 5 minút kým sa uložili získané dáta z termočlánkov.

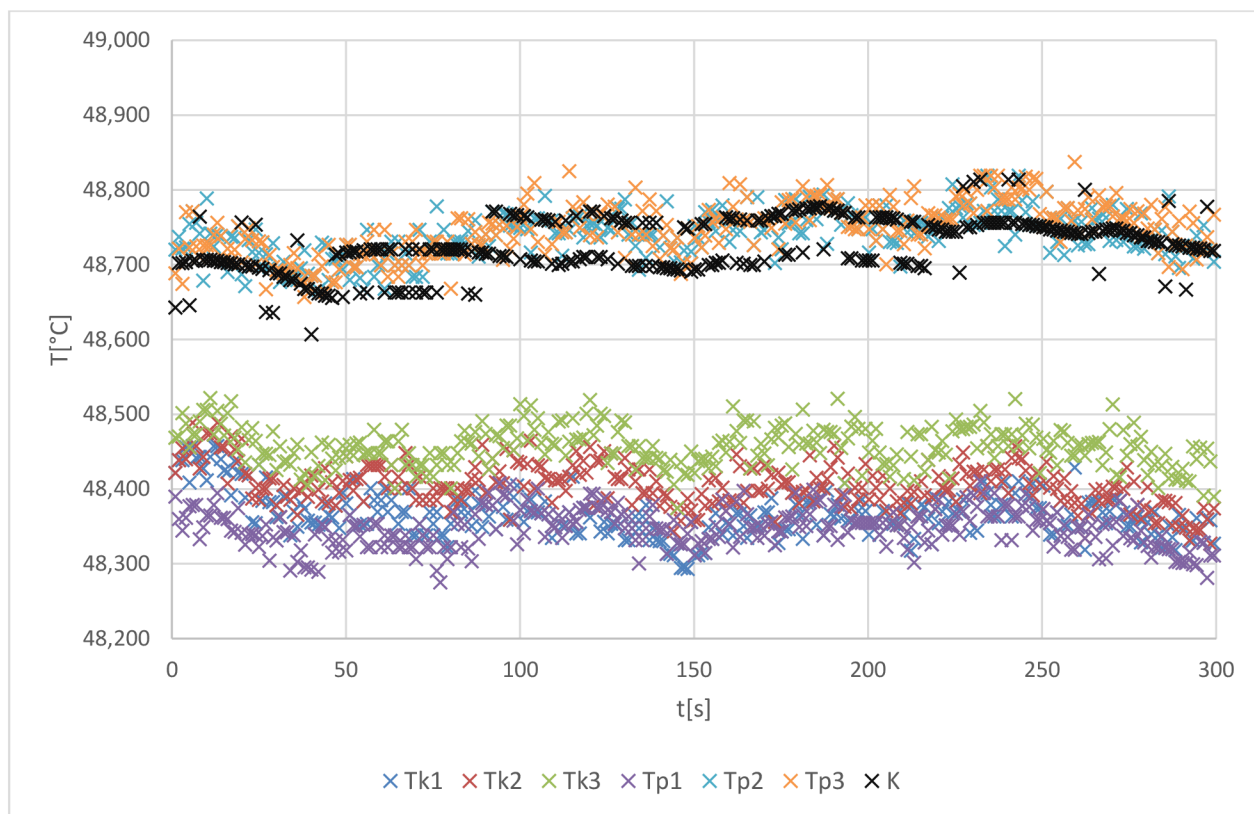


Obrázok 22: Kalibračná piecka so zväzkom termočlánkových drôtov

Po nameraní hodnôt sa termočlánky z piecky nevyťahovali, ale sa nechávali v piecke len sa zvýšila teplota a čakalo sa kým sa piecka nenahreje na nami nastavovanú hodnotu. Takto sa postupovalo ešte pre 150°C a 200°C tepelnú hodnotu 200°C. Vždy po tom, ako sa piecka nahriala sa čakalo 12min na ustálenie a potom sa meralo 5 minút kým sa uložili dáta z programu WaveScan.

7.3 Vyhodnotenie merania

Meraním bolo zistené, že zvarené termočlánky na profesionálnej zvaračke vykazujú zrovnateľné hodnoty ako termočlánky zvarené na skonštruovanej zvaračke. V tabuľke sú uvedené (viz Tabuľka 4) priemerné hodnoty zmeranej teploty pre jednotlivé termočlánky včetně smerodajnej odchýlky. Keď sú porovnané hodnoty zvarovaných termočlánkov na prípravku a na zvaračke SR80 UWO, je vidieť že odchýlky od seba nie sú veľké a spadajú do tolerance.



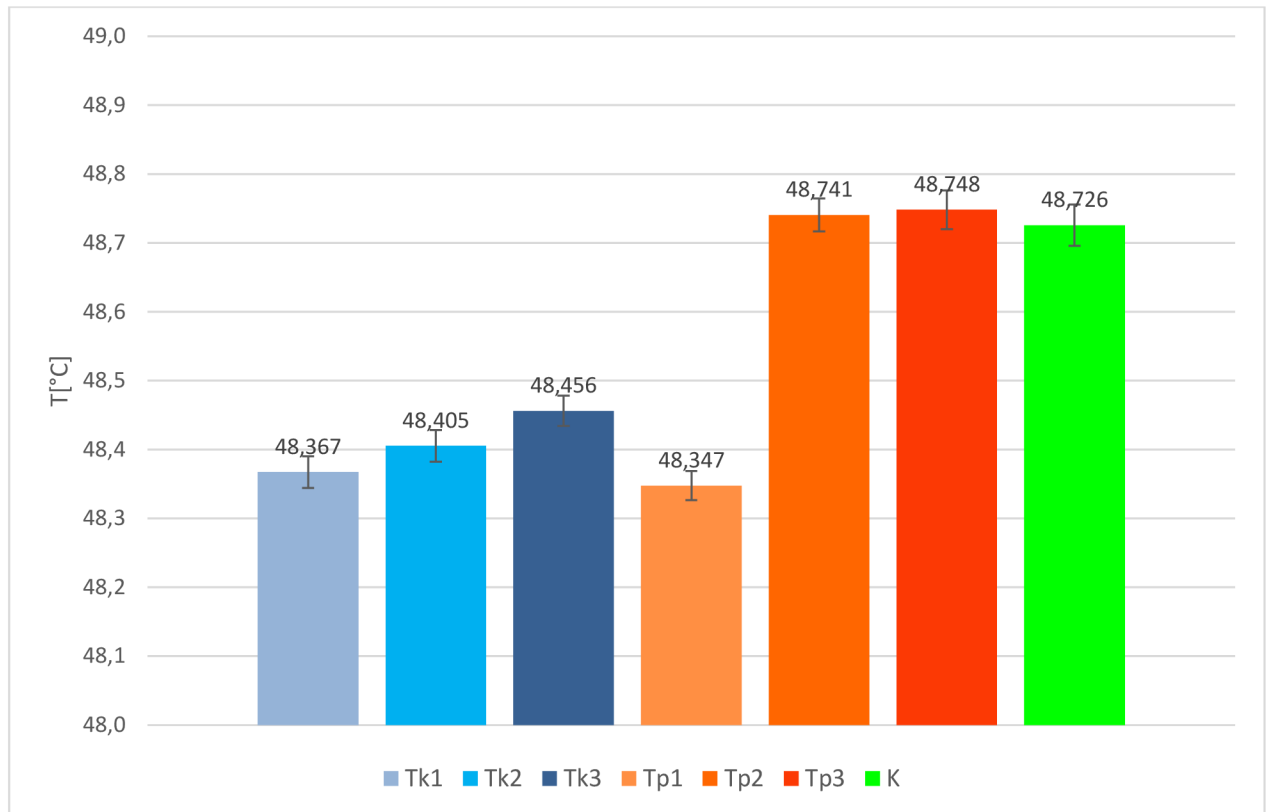
Obrázok 23: Graf časového priebehu napätí termočlánkov pri meraní pri 50°C

Tabuľka 4: Tabuľka s priemernými hodnotami zváraných termočlánkov

Nastavená	T_{k1}	T_{k2}	T_{k3}	T_{p1}	T_{p2}	T_{p3}	K
50°C	48,36±0,022	48,40±0,023	48,45±0,021	48,34±0,020	48,74±0,024	48,74±0,028	48,72±0,029
100°C	98,00±0,047	98,04±0,033	98,10±0,025	97,83±0,025	98,32±0,022	98,26±0,022	98,42±0,031
150°C	147,5±0,038	147,6±0,035	147,7±0,036	147,2±0,034	147,7±0,032	147,5±0,032	148,1±0,041
200°C	197,8±0,047	197,8±0,059	198,0±0,059	197,3±0,060	198,0±0,060	197,8±0,062	197,8±0,068

Vysvetlivky: T_{k1} , T_{k2} , T_{k3} označenie zváraných termočlánkových drôtov na komerčnej zväračke; T_{p1} T_{p2} T_{p3} označenie zváraných termočlánkových drôtov na zostavenom prípravku; K- označenie profesionálne zváraného termočlánku.

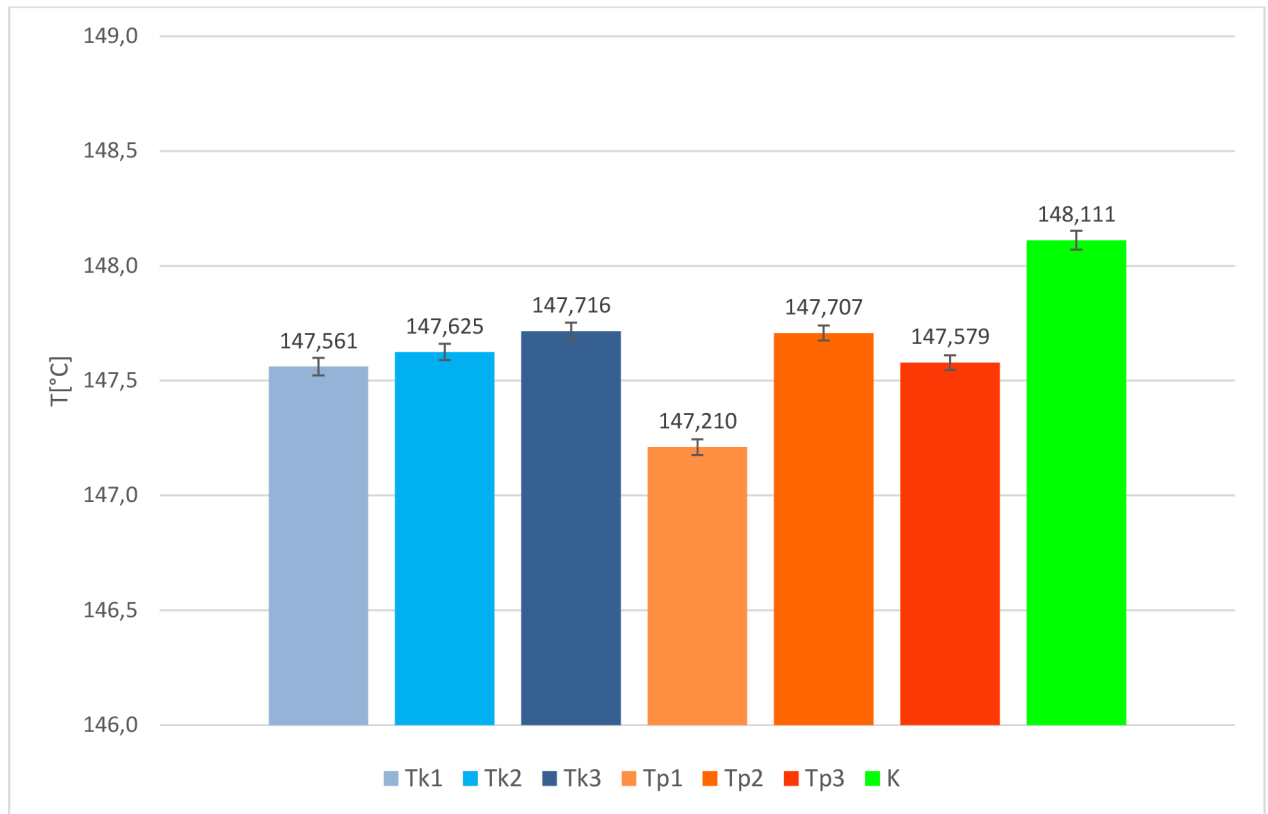
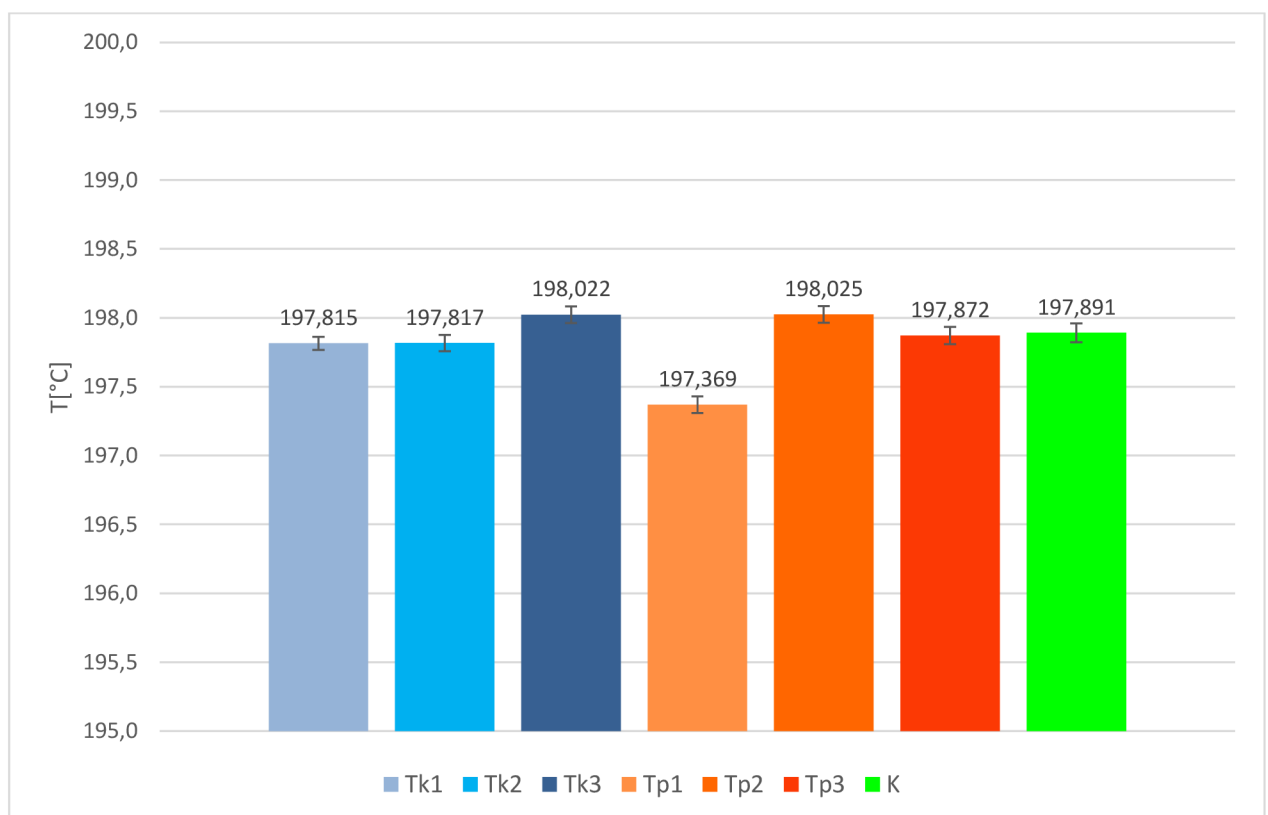
Poznámka: Trieda presnosti termočlánku typu TT-T-24 je 1°C. Presnosť meracej karty Advantech USB 7418 je ±0,02% pre 200°C. [10]



Obrázok 24: Hodnoty pri 50°C s chybou úsečky



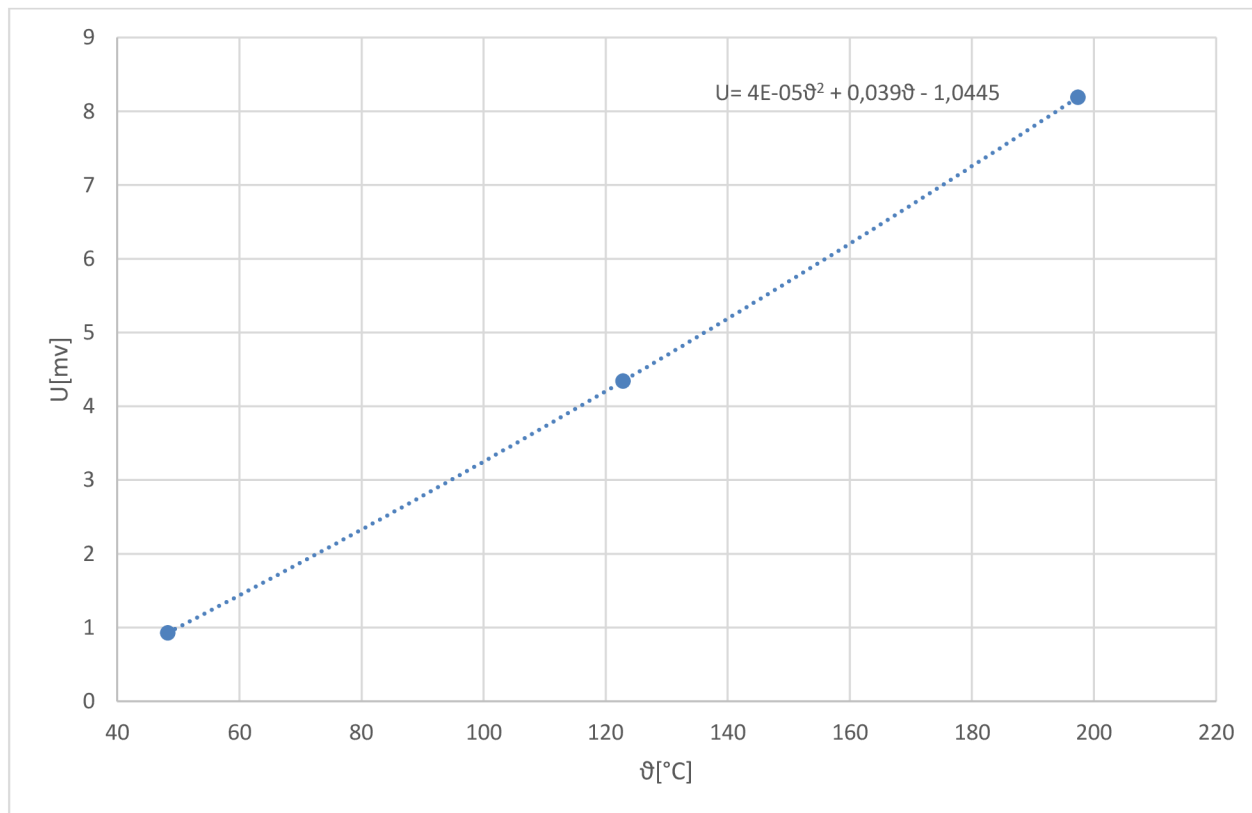
Obrázok 25: Hodnoty pri 100°C s chybou úsečky

*Obrázok 26: Hodnoty pri 150°C s chybou úsečky**Obrázok 27: Hodnoty pri 200°C s chybou úsečky*

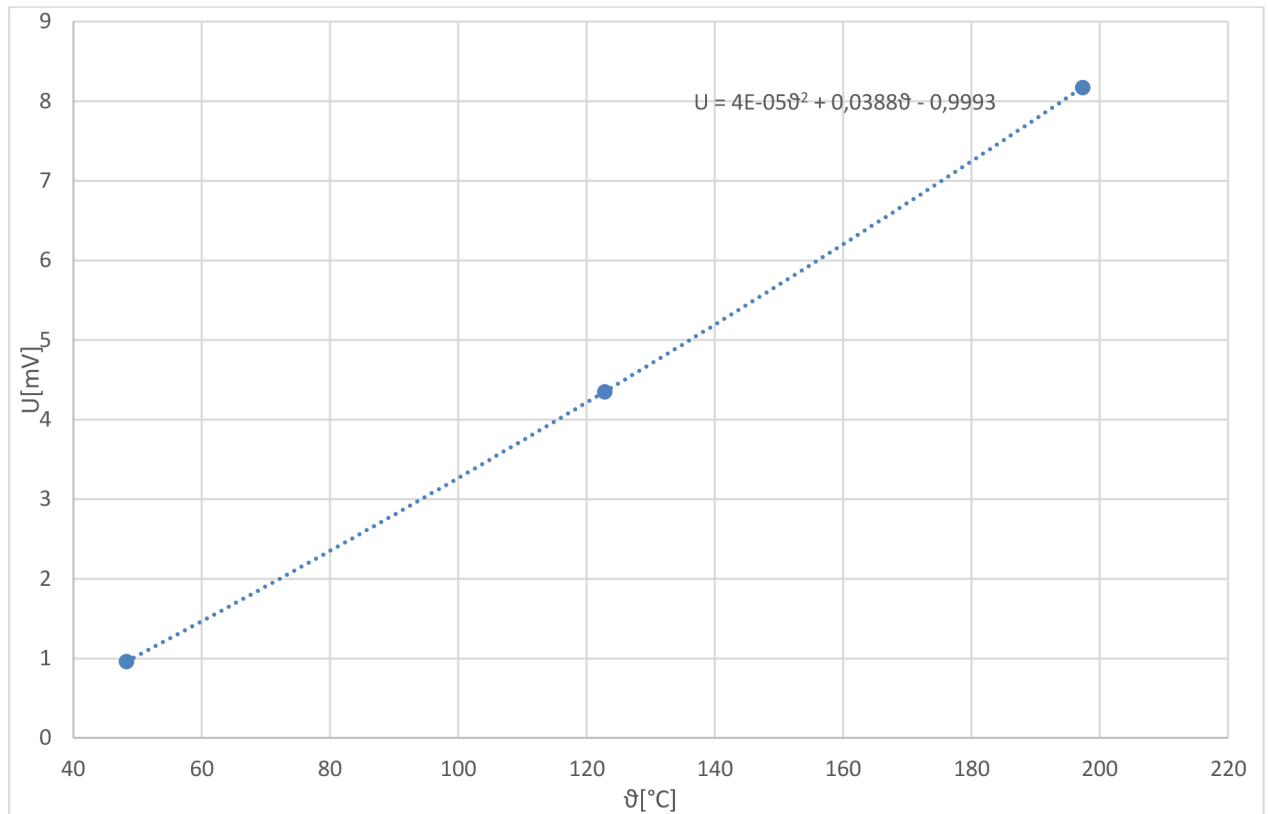
Z grafov je vidieť, že merané teploty sa blížila k teplote ktorú zmeral termočlánok typu K. Najväčšiu výchytku vykazuje termočlánok (T_{p1}) ktorý bol zvarovaný na zostrojenom prípravku. Preto sa predpokladá, že bol zvarovaný zle. Tento predpoklad vznikol z toho dôvodu, pretože zvyšné dva termočlánky (T_{p2} ; T_{p1}) sa svojou kvalitou rovnajú termočlánkovému (referenčnému) drôtu typu K. (viď Obrázok 25) Tiež bolo zistené, že pri nižších teplotách nie je chyba taká markantná (viď Obrázok 24) ako je tomu pri hraničnej tepelnej hodnote termočlánku (viď Obrázok 27)

7.4 Výpočet chyby termočlánku

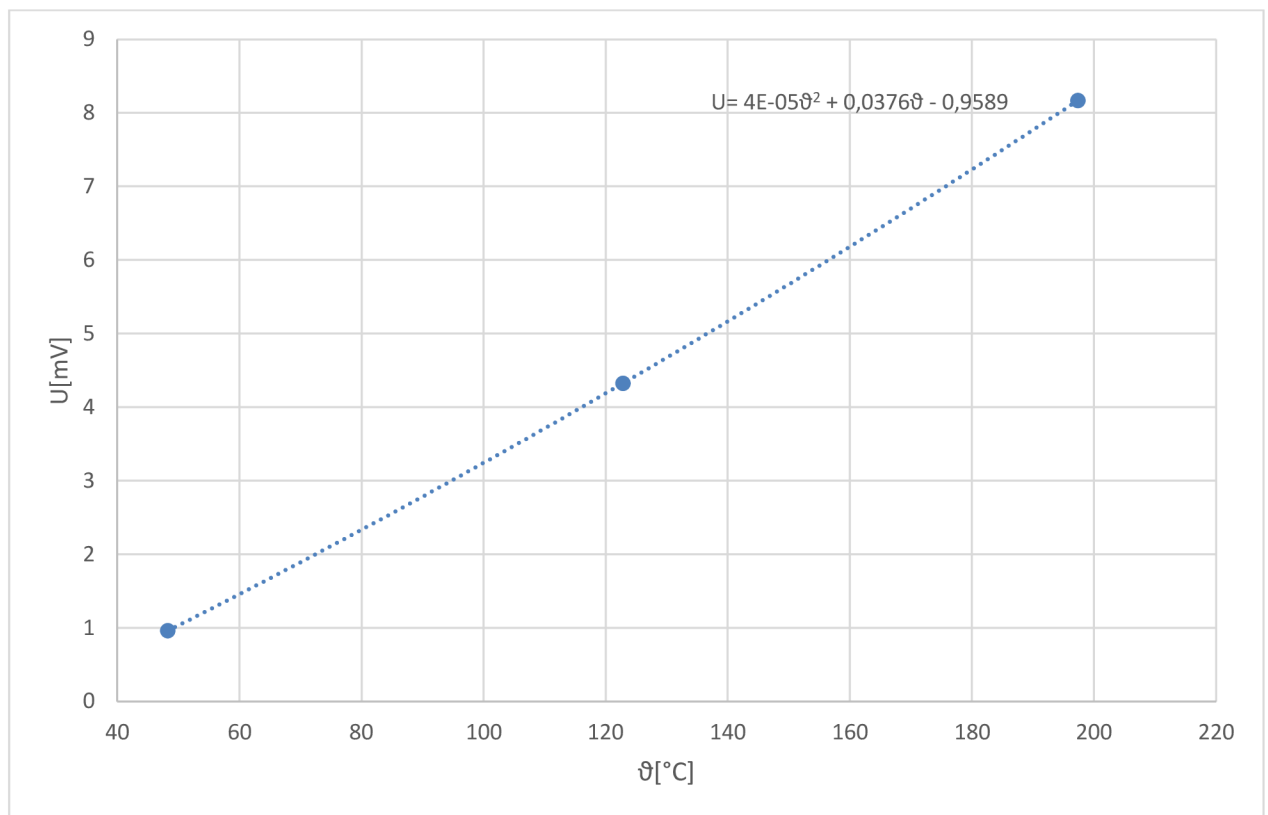
V tejto kapitole je spočítaná rozšírená neistota pre zvarované termočlánky na zostrojenom prípravku. Vypočítané hodnoty sú zaznačené v tabuľke (viď Tabuľka 5). Pri výpočte sa vyšlo z predpokladu uvedeného vyššie, že trieda presnosti termočlánku je 1°C . Použila sa rozšírená neistota z dôvodu presnejšieho určenia chyby. Meranie chýb prebiehalo tak, že sa pri každej teplote (50°C ; 125°C ; 200°C) urobilo 10 meraní. Vždy sa vložil zväzok termočlánkov (spolu referenčným termočlánkom typu K) do kalibračnej piecky a tam sa zahrievali po takú dobu, kým sa neustálila hodnota napätia na meracích prístrojoch. Po domeraní sa vyniesli grafické závislosti teploty na napätí a z nich sa získali rovnice priamky. Z týchto rovníc sa dopočítali teploty, ktoré boli následne dosadené do vzťahov pre výpočet neistoty merania typu A. Po vypočítaní neistoty typu A sa dosadilo do vzorčeku a dostala sa kombinovaná stredná neistota. Táto neistota bola rozšírená o koeficientom rozšírenia $k=2$, čo pre normálne rozdelenie odpovedá pravdepodobnostnému pokrytiu približne 95% (zaručuje interval spoľahlivosti) [12]



Obrázok 28: Závislosť napätia na teplote pre prvý termočlánok



Obrázok 29: Závislosť napätia na teplote pre druhý termočlánok



Obrázok 30: Závislosť napätia na teplote pre tretí termočlánok

Výpočet priemernej hodnoty teploty ktorá bola zmeraná na termočlánku typu K pre nastavenú hodnotu 50 °C

$$\vartheta = \frac{\sum_{i=1}^n \vartheta_i}{n} = \frac{47,9 + 47,6 + 48,5 + 48,2 + 48,3 + 48,7 + 48,4 + 48,4 + 48,3 + 48,5}{10} = 48,256 \text{ °C} \quad (7.1)$$

Prepočet napätia na teplou cez rovnicu priamky pre nastavenú hodnotu 50 °C

$$\vartheta = -0,3436 * U^2 + 23,666 * U + 26,566 = 0,3436 * 0,9^2 + 23,666 * 0,9 + 26,566 = 47,583 \text{ °C} \quad (7.2)$$

Výpočet neistoty typu A pre nastavenú hodnotu 50 °C. [12]

$$u_A = s(\bar{s}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\vartheta - \bar{\vartheta})^2}{n * (n - 1)}} = \sqrt{\frac{0,803}{90}} = 0,0945 \text{ °C} \quad (7.3)$$

Výpočet kombinovanej neistoty u_x za predpokladu že neistota typu B je $u_B = 1 \text{ °C}$ pre nastavenú hodnotu 50 °C [12]

$$u_x = \sqrt{u_{Ax}^2 + u_{Bx}^2} = \sqrt{0,0945^2 + 1^2} = 1,00445 \text{ °C} \quad (7.4)$$

Výpočet rozšírenej neistoty pre nastavenú hodnotu 50 °C . Zvolený bol koeficient rozšírenia $k=2$, čo pre normálne rozdelenie odpovedá pravdepodobnosti pokrytia cca 95% [12]

$$T_x = u_x * k = 1,00445 * 2 = 2,0089 \text{ °C} \quad (7.5)$$

Tieto výpočty sú prevedené aj pre teplotu 125 °C (rov. 7.6) a teplotu 200 °C (rov. 7.7). Postupované je rovnakými krokmi. Pre každú teplotu je vyčíslená iná rovnica polynomu..

$$\vartheta = -0,3469 * U^2 + 23,847 * U + 25,636 \quad (7.6)$$

$$\vartheta = -0,3875 * U^2 + 24,22 * U + 25,35 \quad (7.7)$$

Tabuľka 5: Vypočítané rozšírené neistoty pre termočlánky zvarené na prípravku

Termočlánok	Teplota [°C]	T_x [°C]	ϑ [°C]
Tp1	50	48,25±2,008	48,256
Tp2		49,02±2,004	
Tp3		48,95±2,005	
Tp1	125	122,9±2,002	122,825
Tp2		123,1±2,007	
Tp3		122,5±2,019	
Tp1	200	197,8±2,006	197,360
Tp2		197,4±2,003	
Tp3		197,3±2,014	

ZÁVER

V tejto práci je napísané teoretické zhrnutie o termočlánoch. Tie sú popísané z hľadiska fyzikálnych javov ktoré v nich prebiehajú (Seebeckov jav). Je tu rozobraté delenie termočlánkov do základných skupín a popísané prevedenia článkov aké sa používajú. Ďalej sa tu rozoberá, ako vyzerá zväračka termočlánkov. Sú tu popísané komponenty a základné časti zväračky. Popísané sú aj postupy zvárania. V poslednej rade teoretickej časti sa spracovala kalibrácia termočlánkov. Je popísané čo to kalibrácia je a aké druhy kalibrácií poznáme. Uvedené sú niektoré z mnohých spôsobov kalibrovania termočlánkov ako je kalibračná piecka CL1000 alebo Komora s Fixnou Teplotou. Popísané sú postupy ako kalibrátory fungujú a uvedené sú rozsahy v ktorých pracujú.

V praktickej časti bakalárskej práce sa popisala konštrukcia zariadenia. To hlavne z akých materiálov sa skladá a čo bolo použité na oplášťovanie kostry zariadenia. Je popísaná aj elektrická časť, čo sa v zariadení nachádza a ako zariadenie pracuje. Je vysvetlené na čo slúžia ktoré časti elektrického zariadenia a ako spolu súvisia. Ďalej je uvedený použitie termočlánkovej zväračky. Krok po kroku sú vysvetlené časti ktoré sa musia vykonať pred začatím zvárania. Sú vložené obrázky s popismi na ktorých je vidieť kde sa ktorá časť nachádza. V práci je uvedené na čo si dávať pri zváraní pozor a čo sa môže stať ak tak tomu nebude.

V poslednej praktickej časti sa porovnávala kvalita zvarných termočlánkových drôtov na zostavenom prípravku so zvarnými termočlánkovými drôtmi zvarnými na komerčnej zväračke SR80 UWO. Vyhodnotenie merania je nasledovné. Termočlánky zvarené na prípravku vykazovali len malé odchýlky od termočlánkov zvarných na zväračke SR80 UWO. Rozdiely sú zakreslené v stĺpcových grafoch. Tento experiment odhalil, že nie všetky termočlánky boli zvarené správne. Na jednom termočlánku sa ukázala odchýlka ktorá sa s rastúcou teplotou, ktorá išla až do maximálne povolenej hodnote teploty pre nami vybraný termočlánok, zväčšovala a bola viac viditeľná.

Na koniec boli vyčíslené chyby a neistoty merania. Tieto hodnoty sú zaznačené do tabuľky. Z nich je vidieť, že termočlánky spadajú do tolerancie odchýlky. Z toho plynie že sa prípravok ako zväračka termočlánkov osvedčil a je plne funkčný pre používanie na meranie laboratórnych úloh.

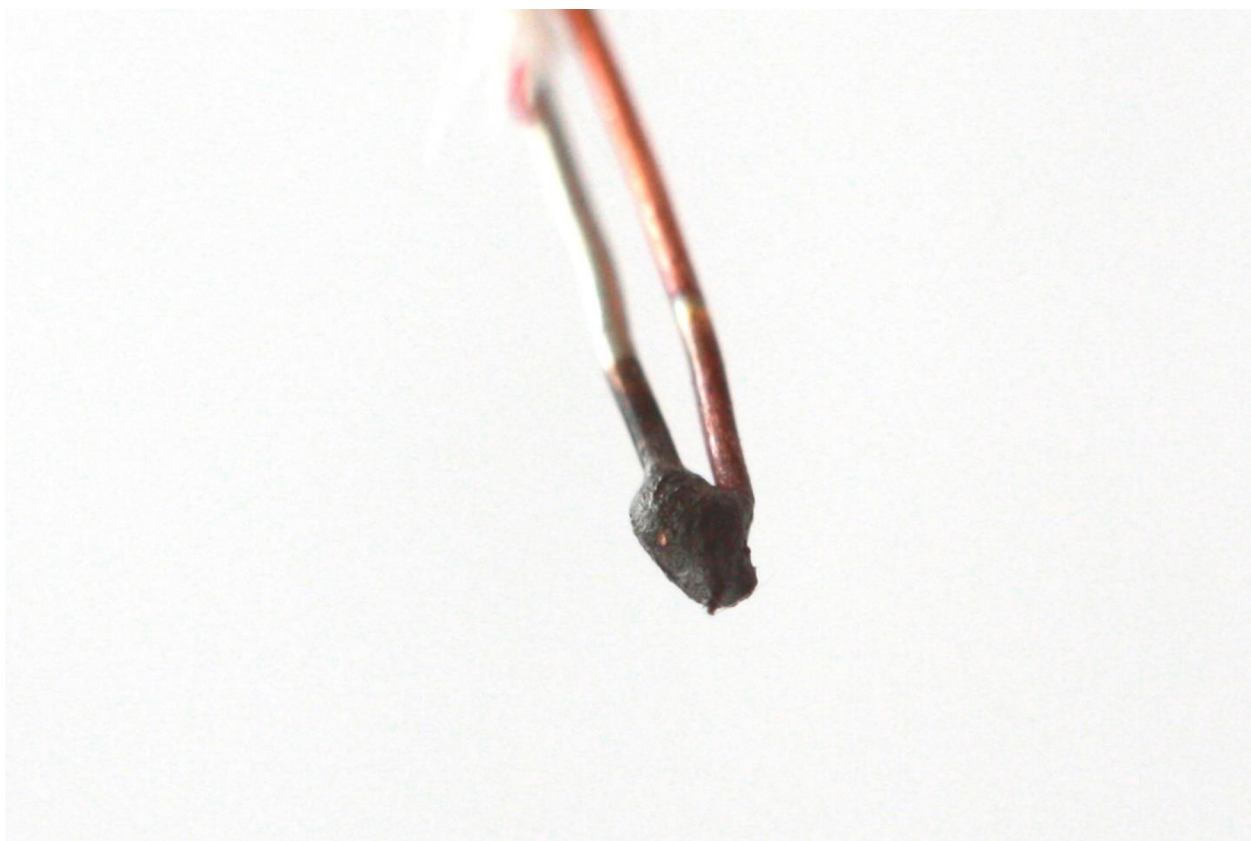
LITERATURA

- [1] Úvod do termočlánků. *OMEGA Engineering: Termočlánky - snímače pro měření teploty* [online]. 2012 [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: <http://www.omegaeng.cz/prodinfo/thermocouples.html>
- [2] *Snímače pro měření teploty: Termočlánky* [online]. Neuveden [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: http://www.kst.tul.cz/podklady/experimentalnimetody/prednasky/p%2010_snimace_teploty.pdf
- [3] *Technické měření* [online]. 2009 [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: <http://www1.fs.cvut.cz/cz/U12110/TEM/senzory/grafy.htm>
- [4] *Encyklopedie fyziky: Seebeckův jev* [online]. 2016 [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/910-seebeckuv-jev>
- [5] Barevné značení termočlánků. *JUMO Měření a regulace s.r.o.* [online]. neuveden [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: http://www.jumo.cz/cs_CZ/support/faq-weiterbildung/faq/temperaturmessung/T1/Q5.html
- [6] Thermocouple Welder: Model 300 Tig Welder. *THERM-X* [online]. 2013 [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: http://www.therm-x.com/pdf/Therm-x_Model_300_Thermocouple_Welder.pdf
- [7] Wire Calibration. *OMEGA Engineering- technicke reference* [online]. 2012 [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: <http://www.omega.com/temperature/z/pdf/z021-032.pdf>
- [8] KALIBRACE SNÍMAČŮ TEPLIT: Kalibrátory teplotních snímačů – kalibrační píčky. *KALIBRACE SNÍMAČŮ TEPLIT* [online]. BRNO, 2009 [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17283
- [9] 5904/5905/5906/5907 5908/5909: Metal Freeze Point Cell. *FLUKE calibration* [online]. 2004 [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: http://www.megacal.com/sistemas-calibracion-potencia-energia-doc/productos/celulas_punto_fijo_ITS90_manual_5904_5909.pdf
- [10] TEOFIL, D. *NÁVRH A KONSTRUKCE VÝMĚNÍKU TEPLA*. BRNO, 2016. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VUT BRNO. Vedoucí práce Ing Štěpán Foral.
- [11] CL1000 Servis: Mini hot point Dry Block Ptobe Calibrator. *OMEGA.com* [online]. U.S.A, 2005 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <https://www.omega.com/manuals/manualpdf/M3529.pdf>
- [12] *Technická měření v bezpečnostním inženýrství: Kalibrace měřidel* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/030/.content/sys-cs/resource/PDF/TechnickaMereni/Uloha7Metrologie04032014.pdf>

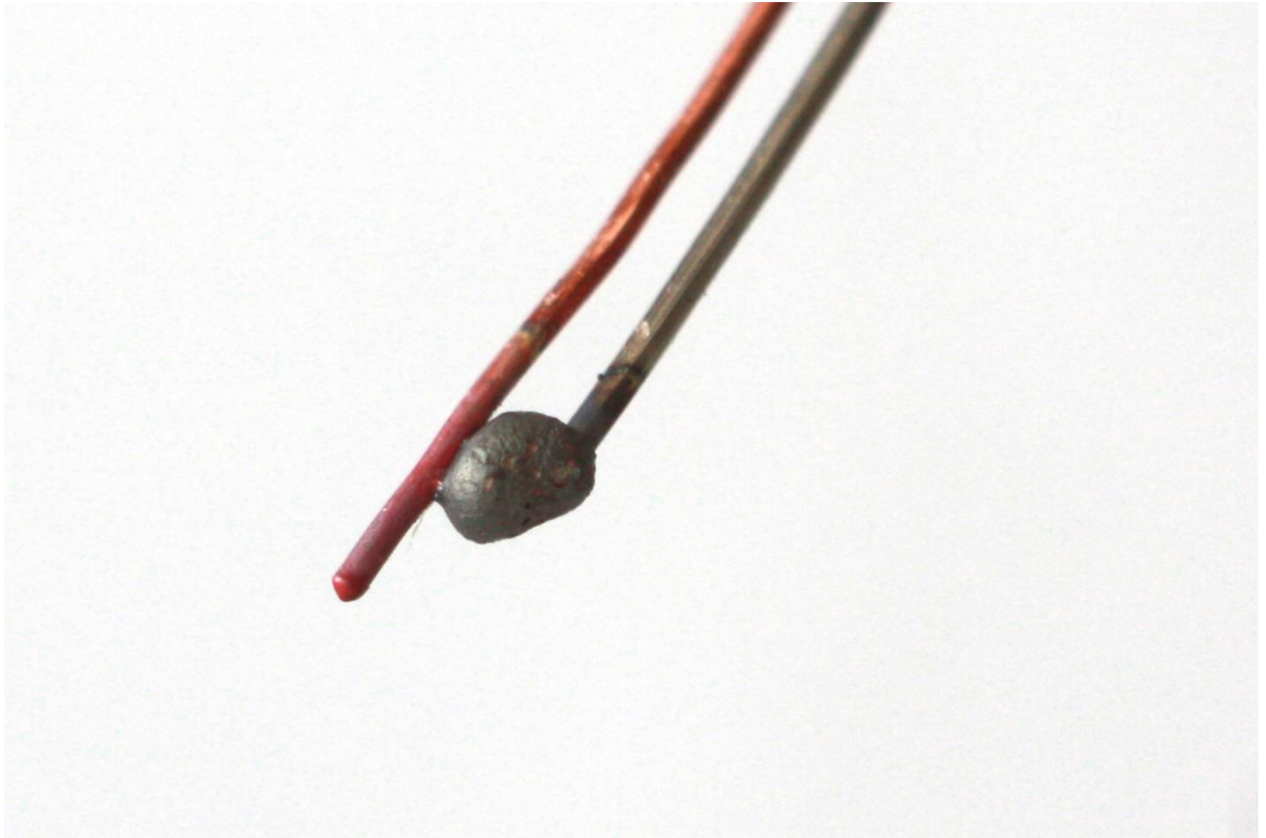
PRÍLOHY



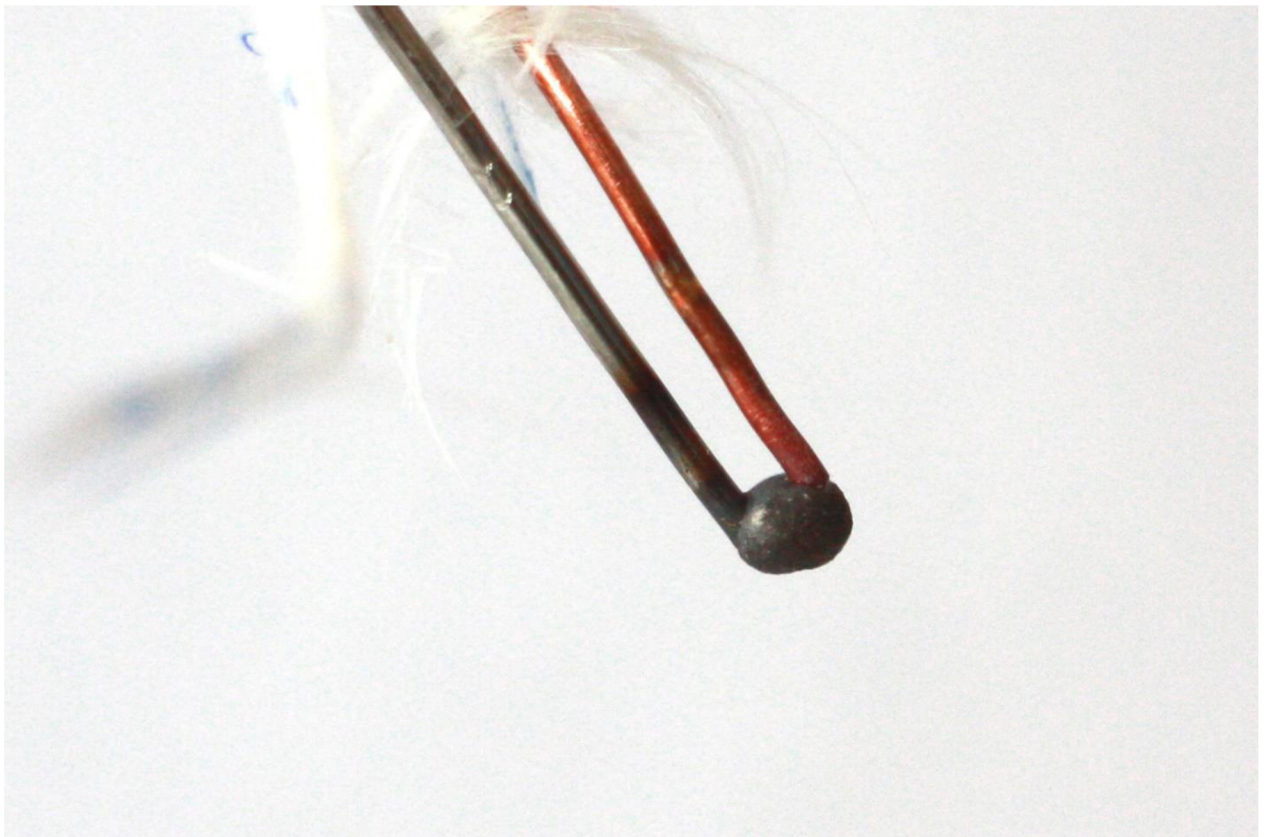
Obrázok zvareného termočlánku s vysokým výbojom



Obrázok zvareného termočlánku keď bola jedna nožička dlhšia ako druhá



Obrázok keď bol termočlánok priložený na uhlík krivo a zatavilo iba jednu časť



Obrázok správne zvarného termočlánkového drôtu



Nádoba na glycerín ktorý slúži na vytvorenie neoxidujúceho prostredia pre zvar



Pohľad na zariadenie zhora

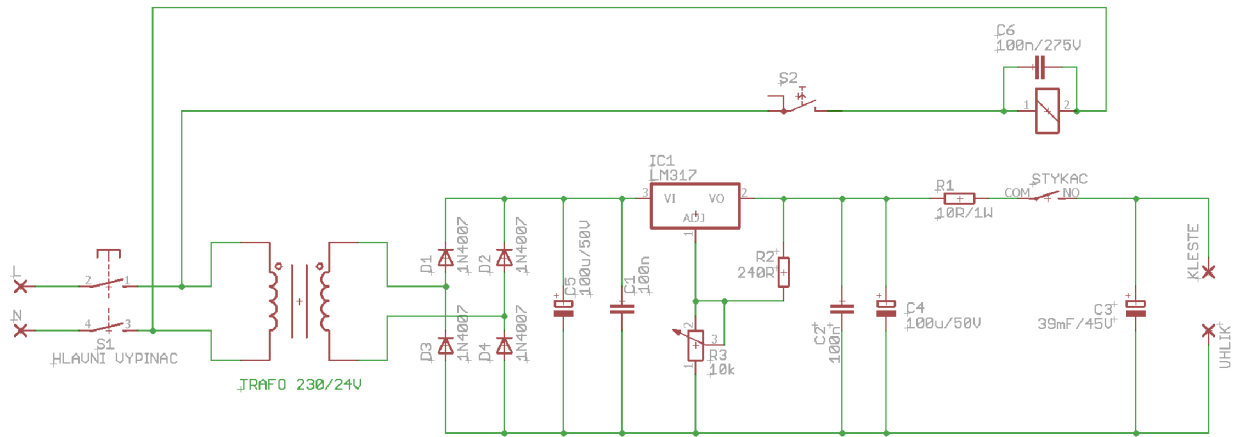
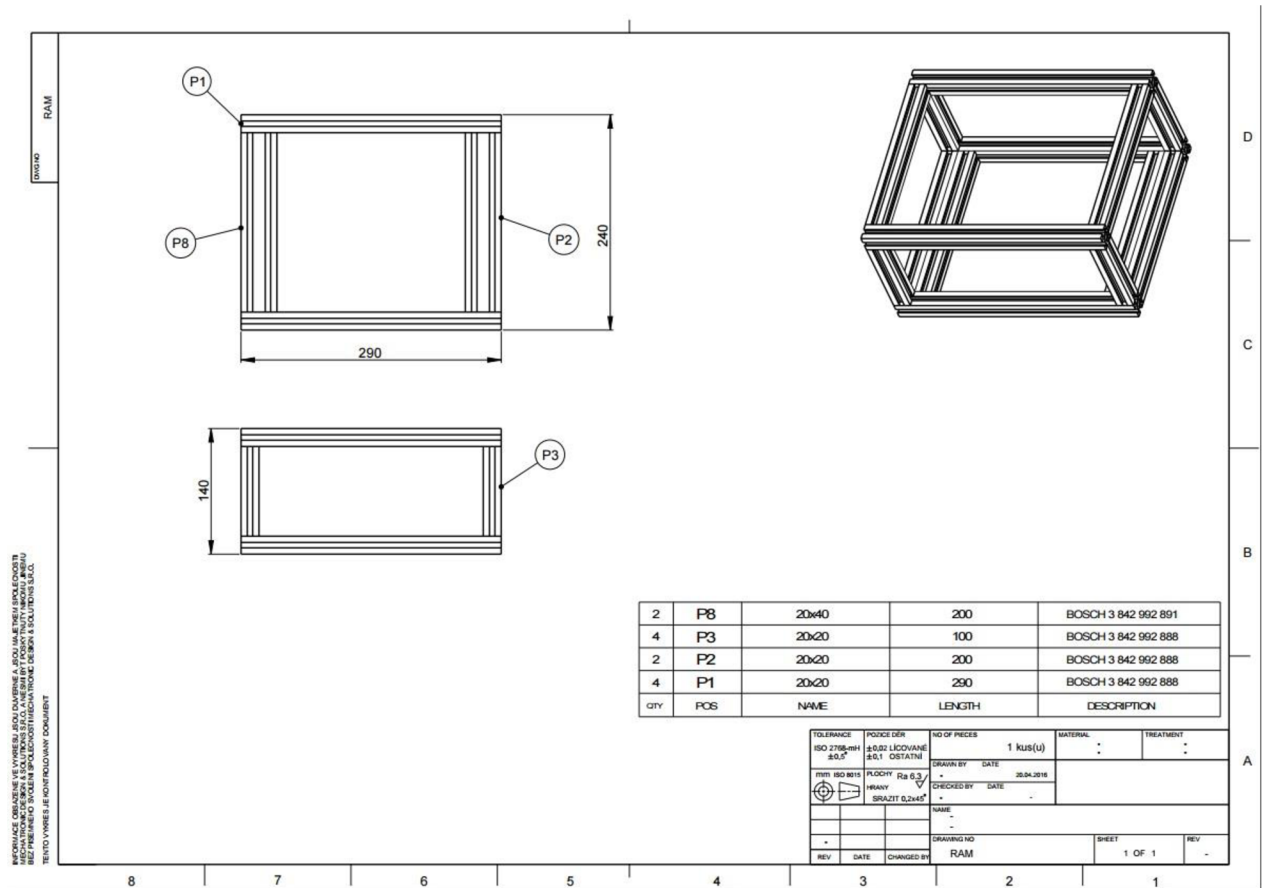


Schéma zapojenia elektrickej časti zariadenia



Technický výkres so zakótovanými dĺžkami profilov