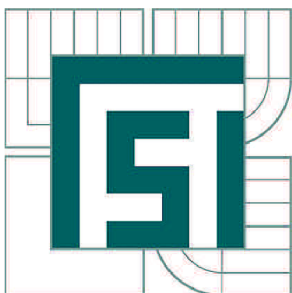


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

MĚŘENÍ TEPLoty TERMOČLÁNKY

TEMPERATURE MEASUREMENTS WITH THERMOCOUPLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN HYRŠ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Hyrš

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Měření teploty termočlánky

v anglickém jazyce:

Temperature measurements with thermocouples

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o zpracování aktuální literární studie měření teploty termočlánky. Součástí práce bude rozbor jejich významu, jejich přehled a příklady použití ve strojírenské praxi.

Cíle bakalářské práce:

Aktuální literární studie se zaměřením na měření teplot pomocí termočlánků se zhodnocením jejich výhod a nevýhod.

Seznam odborné literatury:

1. ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. Strojírenská metrologie. Skriptum FSI VUT v Brně, 4. přeprac. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2005. 176 s. ISBN 80-214-3070-2.
2. KŘÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. Strojírenská příručka - 2. Sv. D: Měřicí technika a bezdemontážní diagnostika. 1. vyd. Praha: SCIENTIA, spol. s.r.o., 1993. 224 s. ISBN 80-85827-00-X.
3. ZEHNULA, Karel. Snímače neelektrických veličin. 2. vyd. Praha: SNTL, 1983. 371 s.
4. JENČÍK, Josef a Jaromír VOLF. Technická měření. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2000. 212 s. ISBN 80-01-02138-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 15.11.2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

HYRŠ Jan: Měření teploty termočlánky

Práce je zaměřena na měření teploty pomocí termočlánků. Stručně je proveden úvod do problematiky měření a její základní rozdělení. Je vysvětlen princip funkce termočlánku a jsou uvedeny i jeho základní vlastnosti. V práci jsou dále popsány způsoby jejich zapojení do obvodu. Proveden je přehled použití termočlánků v praxi s uvedením názorných příkladů. V závěru je zpracován a zhodnocen provedený experiment měření teploty ploténkového vaříče.

Klíčová slova: Termočlánek, Seebeckův jev, termoelektrické napětí, měřicí spoj, kompenzační vedení, kalibrace

ABSTRACT

HYRŠ Jan: Temperature measurements with thermocouples

The work is aimed at measuring temperature with thermocouples. Brief is made introduction to its basic measurement and distribution. The principle function of the thermocouple is explained, and also describes its basic properties. The paper also described how they integrated into a circuit. Performed an overview of the use of thermocouples in practice, indicating illustrative examples. In conclusion, it is processed and evaluated executed experiment temperature of hotplate's stove.

Keywords: Thermocouple, Seebeck effect, thermoelectric voltage, Junctions, compensation management, calibration

Bibliografická citace

HYRŠ, Jan: *Měření teploty termočlánky*. Brno, 2012. 32 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D. Dostupný z WWW: <ust.fme.vutbr.cz/tvareni/publikace>.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 25.5.2012

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Úvod	1
1 Princip	2
2 Základní vlastnosti	5
3 Výběr typu termočlásku	7
4 Zapojení termočlásku	8
5 Použití v praxi	10
6 Experiment	12
7 Závěr	15

Seznam použitých zdrojů

Seznam symbolů, veličin a zkratk

Seznam příloh

Úvod [1, 10, 28, 33]

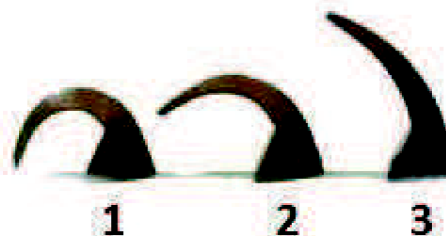
Teplota je v energetice a v průmyslu nejčastěji měřenou fyzikální veličinou. Regulace teploty je mnohdy rozhodující pro kvalitu výsledného produktu nebo procesu a velmi často také pro bezpečnost provozu. Přesnost měření teploty má velký vliv na životnost a spolehlivost technologií, na spotřebu energie a tím i na náklady, údržbu a opravy provozních či výrobních zařízení.

Snímače teploty mohou být přímé (ukazují aktuální hodnotu teploty, například termokamera – obr. 1), nebo nepřímé (bude-li dosaženo určité teploty, změní barvu, nebo se zdeformují, například žároměrky - obr. 2). Snímače teploty se dělí na dotykové (termočlánky - obr. 3) a bezdotykové (pyrometry - obr. 4).

Termočlánky jsou v průmyslu velmi rozšířené, to je způsobeno jejich širokou použitelností, tepelnou odolností, přesností, cenou, ale především díky jejich jednoduchému principu a životnosti.



Obr. 1 – Termokamera [27]



Obr. 2 – Žároměrky [32]



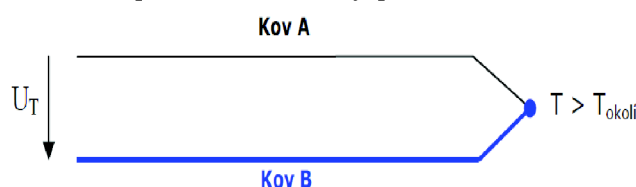
Obr. 3 – Termočlánek [23]



Obr. 4 – Pyrometr [20]

1 Princip [2, 17, 24, 26, 33]

Termočlánky využívají termoelektrického jevu, jenž byl uveden již roku 1758 ruským vědcem Epinusem. V jiných zdrojích se uvádí, že termoelektrický jev byl objeven roku 1821 německým fyzikem Seebeckem, podle něhož se nazývá Seebeckův jev (obr. 5). K tomuto jevu dochází, jestliže jsou spojeny dva vodiče (dnes jsou používány i polovodiče) z různorodých kovů v uzavřený obvod a spoje těchto dvou vodičů mají rozdílnou teplotu. Obvodem protéká elektrický proud. Pro měření termočlánky je ovšem pozorovanou veličinou



termoelektrické napětí, které vzniká v obvodu.

A, B-vodiče (různé kovy)

U_T -termoelektrické napětí

Obr. 5 Seebeckův jev - termoelektrický článek [15]

Vztah (1.1) pro elektromotorické napětí E_{AB} a absolutní teploty spojů je experimentálně zjištěný:

$$E_{AB} = (a_A - a_B) (T_2 - T_1) + 0,5 (b_A - b_B) (T_2 - T_1)^2 \quad (1.1) [2]$$

kde: E_{AB} - elektromotorické napětí

a, b - Seebeckovy koeficienty

T - teplota

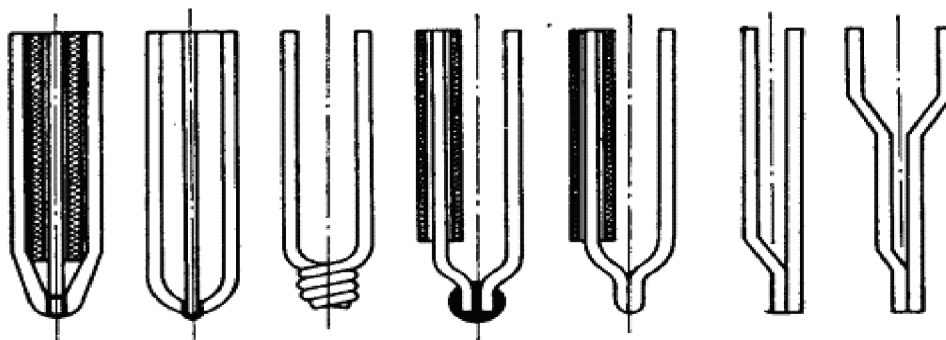
Seebeckovy koeficienty se udávají vzhledem k olovu (tab. 1).

Tab. 1 Seebeckovy koeficienty pro různé kovy [2]:

Kov	$a[\mu V/K]$	$b[\mu V/K^2]$
Antimon	35,6	0,145
Bismut	-74,4	0,032
Konstantan	-38,1	-0.0888
Měď	2,71	0,0079
Nikl	-19,1	-3.02
Platina	-3,03	-3,25
Železo	16,7	-0,0297

Koeficienty a, b jsou závislé na struktuře materiálu a jeho přeném složení. Z tohoto důvodu je třeba brát hodnoty uvedené v této tabulce s rezervou.

V tabulce 1 jsou některé kovy, z kterých jsou vyráběny vodiče. Jejich konce je třeba spojit. Měřicí spoj bývá tvořen mechanickým spojením, pájením nebo svařením drátů stejného průměru (obr. 6).



Obr. 6 – Příklady řešení spoje termočlánky [14]

Dále mohou být konce chráněné, nebo nechráněné (drátové termočlánky).

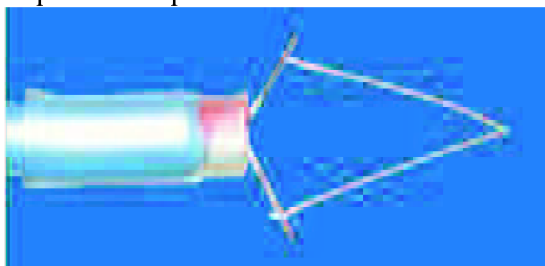
Nechráněné termočlánky jsou nejjednodušší formou. Jak již bylo řečeno, měřící konec je tvořen mechanickým spojením dvou drátů o stejném průměru, buď svařením, nebo pájením. Koncový spoj je velmi důležitou částí termočlánku, proto musí být oba dráty dokonale očištěny a pevně spojeny.

Spoj je nechráněný, proto jsou zde jistá omezení použití. Velice nevhodné je použití pro měření teploty kapalin, dráty by mohly korodovat, nebo oxidovat. Dále je třeba se vyhnout měření povrchů kovových částí, které jsou použity k uzemnění elektrických systémů.

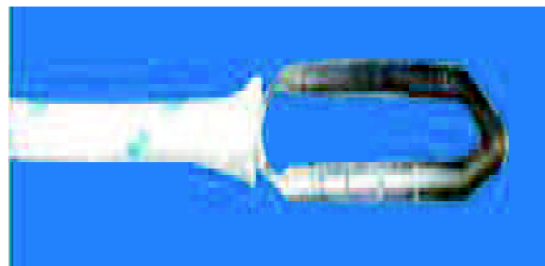
Nejčastěji se tyto termočlánky používají pro měření teploty plynu. Jsou velmi malé a mají rychlou odezvu.

Bodový termočlánek (obr. 7) o průměru kontaktního hrotu $25\mu\text{m}$ je vhodný pro přesné zjištění teploty prvků o malých rozměrech. Používá se pro měření teploty proudu vzduchu. Termočlánek se vyznačuje velmi krátkou časovou konstantou a vysokou přesností. Pro upevnění čidla je vhodná kaptonová lepicí páska nebo stříbrná pasta.

Ideální termočlánek pro měření teploty menších ploch je plošný (obr. 8). Hrot je dlouhý asi 10 mm a jeho průměr je $40\mu\text{m}$. Vyznačují se vynikající časovou konstantou, vyšší odolností a mechanickou stabilitou. Pro upevnění a možnost vícenásobného použití je vhodná kaptonová lepicí fólie.



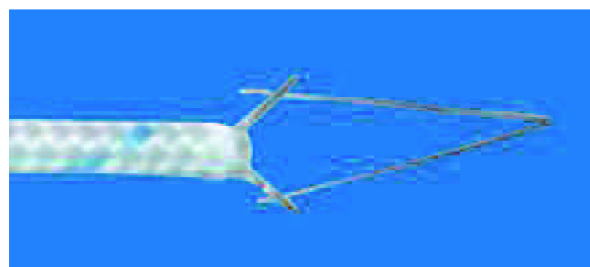
Obr. 7 – Bodový termočlánek [24]



Obr. 8 – Plošný termočlánek [24]

Kombinací bodového (špičatého) a plošného termočlánku vznikne spoj, který je vysoce citlivý (obr. 9). Průměr měřícího hrotu $25\mu\text{m}$ a délkou přibližně 7 mm. Vyznačuje se velmi krátkou časovou konstantou.

Víceúčelový termočlánek (obr. 10) se používá se zejména v případě extrémně rychlých změn teploty. Určený pro měření teplot menších ploch.



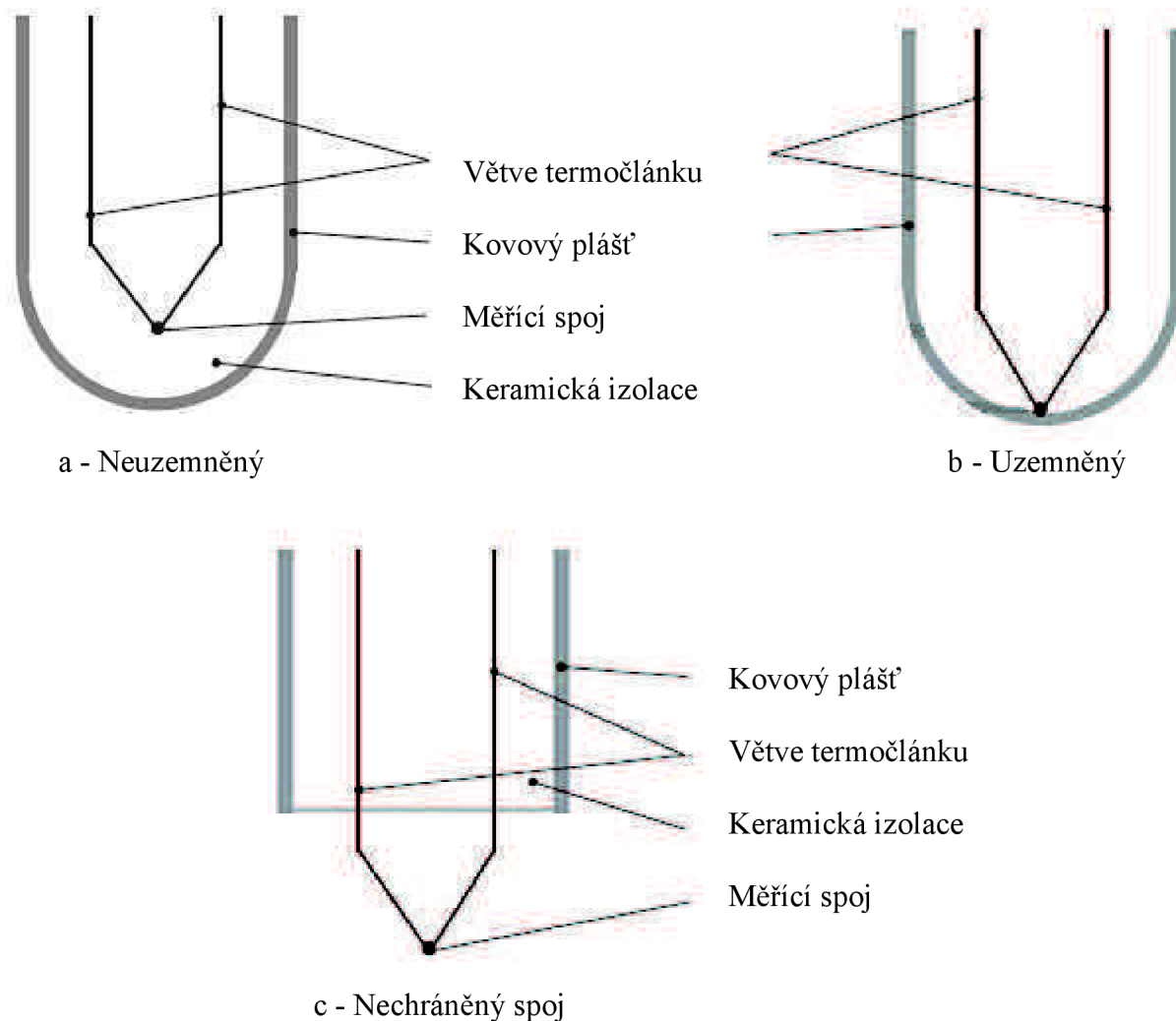
Obr. 9 – Kombinovaný termočlánek [24]



Obr. 10 – Víceúčelový termočlánek [24]

Chráněné termočlánky se skládají z termočlánekového drátu, který je umístěn v kovové trubce, ta se nazývá pláštěm termočlánku. Nejčastěji používaným materiálem pláště jsou Nerezová ocel (značně široká chemická odolnost) a Inconel (větší teplotní rozsah). Větve termočlánku a kovový plášť jsou od sebe izolovány keramikou. Chráněné termočlánky mají tři různá provedení měřícího konce. Uzemněný, neuzemněný a nechráněný (Obr. 11).

U uzemněného typu je svařen plášť s koncem termočlánku. Spoj má rychlou časovou odezvu, je ovšem velmi citlivý na uzemněné měřicí elektrické smyčky. Neuzemněný spoj má oddělený termočlánek od stěny pláště pomocí izolace. Nechráněný spoj je vysunut z pláště. Tyto termočlánky jsou nejlepší při měření teploty plynu- velmi rychlá časová odezva.



Obr. 11 – Provedení měřícího konce termočlánku [18]

Nechráněné konce termočlánku by měli mít kratší časovou konstantu (dobu odezvy), než termočlánky chráněné pláštěm, z důvodu prostupu tepla pláštěm.

2 Základní vlastnosti [5, 15, 17, 19, 25]

Mezi základní vlastnosti termočlánků patří teplotní rozsah použitelnosti, hodnota termoelektrického napětí (udává se v mV/100°C) a odolnost v redukčním a oxidačním prostředí. Všechny tyto vlastnosti se mění podle toho, z jaké dvojice kovů je termočlánek vyroben. V následující tabulce (tab. 2) jsou uvedeny základní vlastnosti vybraných termočlánků.

Tab. 2 – Základní vlastnosti termočlánků [4]

Termočlánek	složení	Cu-CuNi	Fe-CuNi	NiCr-NiAl	PtRh-Pt
	označení	T	J	X	S
Použití	trvale (°C)	-200 až 400	-200 až 750	-200 až 1 250	0 až 1 300
	krátkodobě (°C)	600	900	1 300	1 800
Střední termoelektrické napětí (mV/100 °C)		4,25	5,37	4,8	0,64
Odolnost v oxidačním prostředí		malá	malá	velká	velká
Odolnost v redukčním prostředí		-	velká	malá	malá

Dalšími vlastnostmi termočlánku jsou přesnost a spolehlivost. Vyrábí se ve třech tolerančních třídách.

Toleranční třídy:

1. třída - pro teploty od 0 do 1100 °C +/- 1 °C
 - pro teploty od 1100 do 1600 °C +/- [1+0.003*(t-100)] °C
2. třída - pro teploty od 0 do 600 °C +/- 1,5 °C
 - pro teploty od 600 do 1600 °C +/- 0,0025t °C
3. třída - pro teploty od 600 do 800 °C +/- 4 °C
 - pro teploty od 800 do 1700 °C +/- 0,005t °C

Vzorově jsou uvedeny přesnosti jednotlivých tříd pro naměřenou hodnotu 1000°C:

1. třída - +/-1°C
2. třída - +/- 2,5°C
3. třída - +/- 5°C

Pro průmyslové měření teploty je přesnost termočlánků dostačující. Například při měření horkého větru ve vysoké peci, který dosahuje právě teploty okolo 1000°C je nepřesnost termočlánku zanedbatelná.

V příloze 2 jsou uvedeny přesnosti pro jednotlivé typy termočlánků vyráběných firmou Omega.

V několika místech měřicího řetězce vznikají určité nejistoty, tím je ovlivněna spolehlivost měřicího procesu:

- Termočlánek – nepřesnost může vzniknout nečistotou, nehomogenitou materiálu, případně při nedodržení složení materiálu, nebo dekalibrací (odchylka od původní závislosti napětí na teplotě) vzniklou stárnutím termočlánku během provozu.
- Přenos tepla – termočlánek ovlivňuje měřený objekt (odvádí teplo), skutečná teplota se může lišit od teploty naměřené (řádově jednotky, až desítky stupňů).
- Přívod – při použití nevhodného kompenzačního vedení (kapitola 4), nebo v případě kdy není dodržen teplotní rozsah, ve kterém se může vedení nacházet. Pro přesné měření se připojuje termočlánek přímo do měřicího přístroje.
- Měřicí přístroj (obr. 12 a) – v případě řádné teplotní kompenzace vstupních svorek, je v porovnání s vlastním termočlánkem chyba výrazně menší.

Při měření teploty termočlánkem mohou nastat poruchy:

- Dekalibrace termočlánku – dochází ke změnám v jeho složení vlivem stárnutí, případně je-li vodič použit v nevhodném prostředí.
- Porucha měřicího přístroje
- Přerušení obvodu
- Zkrat – vznikne při dotyku vodičů ve vedení, přístroj ukazuje teplotu v bodě zkratu

Tyto poruchy jsou v praxi běžné. Některé lze snadno detekovat (přerušení obvodu, zkrat). Nastane-li zkrat, tak se naměřená hodnota teploty výrazně liší od hodnoty, která je očekávána. Dekalibrace termočlánku se detekuje nejhůře, naměřená hodnota se od skutečné může lišit jen o několik stupňů, ale také až o stovky stupňů. Je nutné provádět pravidelnou kontrolu kalibraci.

- Lze kalibrovat pomocí jiných měřicích přístrojů (obr. 12 b,c) – simuluje se chování skutečného termočlánku pomocí výstupu přístroje. Výsledkem je kalibrační křivka přístroje.
- Kalibrace vlastních termočlánků – kalibrovaný termočlánek se nachází v suché, nebo kapalné lázni o nastavitelné teplotě. Napětí termočlánku se měří přesným milivoltmetrem. Výsledkem měření je opět kalibrační křivka měřeného termočlánku.



a- měřicí přístroj



b - Kalibrační přístroj Fluke714



c - Kalibrační přístroj Omega CL526

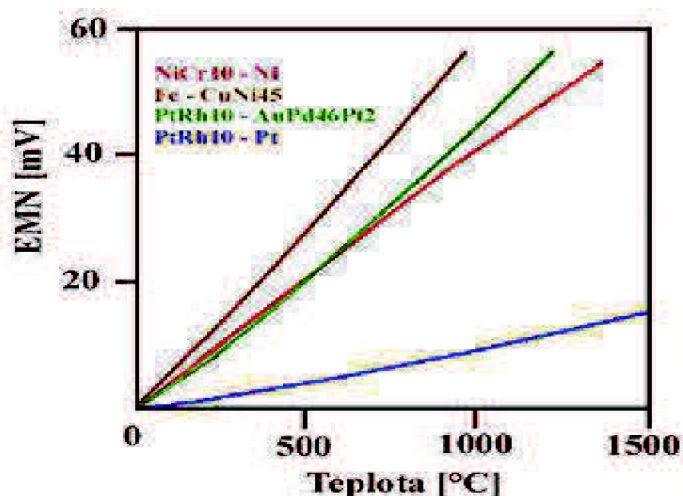
Obr. 12 – Měřicí a kalibrační přístroje [3, 17, 21]

3 Výběr typu termočládku [11, 17, 22, 26]

Vyrábí se velké množství termočládků, které jsou schopny měřit teplotu v rozmezí od -200°C do $+2500^{\circ}\text{C}$. Pro výběr nejvhodnějšího z nich se používají následující kritéria:

- Teplotní rozsah
- Chemická odolnost termočládku nebo materiálu pláště
- Odolnost proti abrazi a vibracím
- Požadavky instalace (kompatibilita s existujícím přístrojem, již dříve existující otvory mohou určovat průměr pláště termočládku)

Dle předpokládaného rozsahu teploty se stanovuje vhodná dvojice kovů a to podle závislosti termoelektrického napětí na teplotě. Je třeba vybrat takové dva kovy, aby změna napětí byla co nejvyšší. Na obrázku (obr. 13) je graf závislosti termoelektrického napětí na teplotě pro čtyři termočládky.



Z grafu například vyplývá, že nejlineárnějším průběhem se vyznačuje termočládek NiCr10-Ni, nejvyšší termoelektrické napětí poskytuje termočládek Fe-CuNi45, ovšem lze ho použít jen při nízkých teplotách. Termočládek PtRh10-Pt poskytuje sice nízké termoelektrické napětí (k měření je nutno použít citlivější milivoltmetry), je však chemicky stabilní (neoxiduje se) a je použitelný i při vysokých teplotách.

Obr. 13 – Přehled vybraných termočládků, závislost napětí na teplotě [22]

Dle prostředí ve kterém se termočládek nachází je nutno vybrat dvojici kovů, která je co neodolnější proti jeho vlivům, tak aby se jejich vlastnosti co nejméně měnili v průběhu času. Další možností je využití ochranných plášťů termočládku.

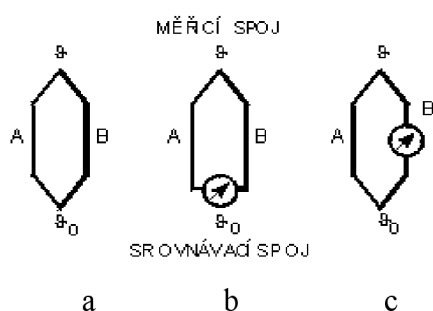
Typy termočládků se původně označovali použitou dvojicí kovů (chemickým složením), dnes se dle normy označují velkými písmeny (tab. 3). Normou je zaručeno, že vlastnosti stejně označených termočládků vyrobených různými výrobci jsou shodné. V České republice jsou nejčastěji používány termočládky J, K, S, B, čímž je pokryt rozsah teplot od -200°C do 1700°C . Použitím termočládku na bázi wolframu a rhodia lze měřit až do 2300°C . V příloze 1 je barevné značení termočládků.

Tab. 3 Označení a rozsah termočládků [26]

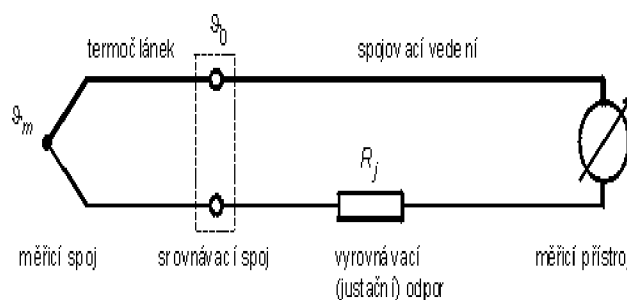
Označení termočládku dle IEC 584	Původní označení	Měřicí rozsah [°C]
T	Cu-CuNi, Cu-ko	- 200 až 350
J	Fe-CuNi	- 200 až 750
E	NiCr-CuNi, ch-ko	- 100 až 900
K	Ni-Cr-Ni, ch-a	- 200 až 1200
N	NiCrSi-NiSi	- 200 až 1200
S	PtRh10-Pt	0 až 1600
R	PtRh13-Pt	0 až 1600
B	PtRh30-PtRh6	300 až 1700

4 Zapojení termočlánku [5, 12, 13]

Nejjednodušší uspořádání obvodu je naznačeno na obr. 14 a. Obvod se skládá ze dvou kovových vodičů A a B navzájem spolu spojených. Jeden z bodů spojení je označován jako měřicí spoj, druhý jako spoj srovnávací. Pro správnou funkci je nezbytné, aby teplota srovnávacího spoje t_0 byla konstantní, nebo aby vliv termoelektrického napětí tohoto spoje byl kompenzován. Pro měření velikosti termoelektrického napětí se musí zapojit do obvodu snímače měřicí přístroj tak, že se rozpojí srovnávací spoj (obr. 14 b) nebo tak, že se zapojí měřidlo do jedné přerušené větve termočlánku (obr. 14 c). Obě připojovací svorky měřidla musí mít stejnou teplotu, aby při zapojení měřidla do obvodu nedošlo ke změně termoelektrického napětí.



Obr. 14 – obvod termočlánku [13]



Obr. 15 – Zapojení termočlánku [13]

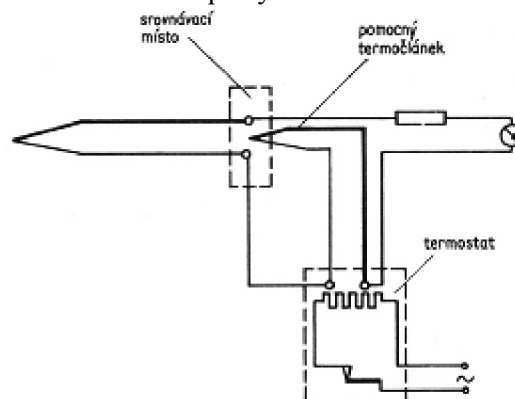
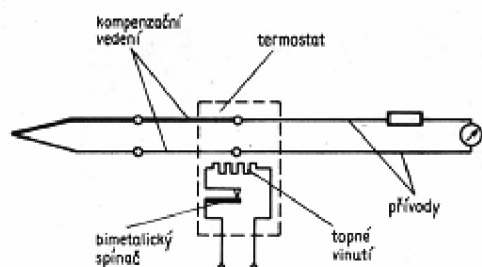
Při praktické realizaci termočlánku se mezi měřicí přístroj a vlastní termočlánek zařazuje ještě spojovací vedení, u kterého se velikost odporu upravuje vyrovnávacím (justačním) odporem na stanovenou hodnotu, obvykle 20Ω (obr. 15).

Rozhodující pro měření je udržet teplotu srovnávacího konce na konstantní hodnotě. Používají se různé způsoby:

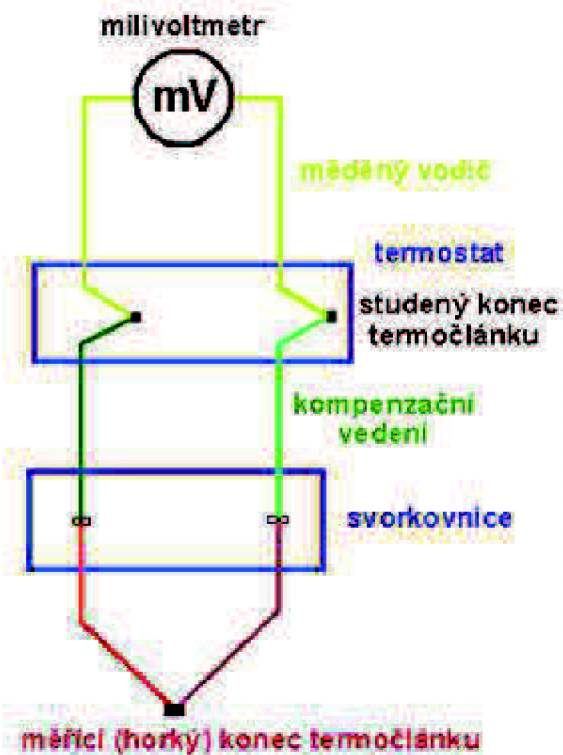
- Použitím Dewarových nádob naplněných směsí vody a ledu (pro laboratorní účely), srovnávací konec je v této směsi držen na teplotě $0 \text{ } ^\circ\text{C}$. Provozně je tento způsob nepoužitelný.
- Termostat srovnávacích konců, který má uvnitř odporové vinutí a bimetalický ovládaný kontakt (obr. 16). Odporově vyhřívaný termostat obvykle slouží jako srovnávací místo pro více termočlánků a bimetalický kontakt je nastaven tak, aby se udržovala konstantní teplota, obvykle $50 \text{ } ^\circ\text{C}$.
- Pomocný termočlánek – měří kolísající teplotu srovnávacích konců. Změny srovnávací teploty jsou kompenzovány díky sériového zapojení pomocného termočlánku, který je ze stejného materiálu (obr. 17),
- Kompenzační krabice - srovnávací konce jsou vyvedeny do robustní litinové skříně, v níž je umístěn teplotně závislý odpor. Ten je zapojen do můstku. Zvýšená teplota vyvolá snížení termočlánekového napětí, ale i zvýšení odporu R_i a na diagonále se zvýší napětí. Tak se vykompenzuje pokles termočlánekového napětí. Obvykle se udržuje při teplotě $20 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Prodlužovací a kompenzační vedení Používá, jestliže je potřeba z praktických důvodů prodloužit termočlánek. Prodlužovací vedení sestává z vodiče z téhož materiálu jako termočlánek, zatímco kompenzační vedení (na obr. 19) je vytvořeno z jiné dvojice slitin, která má menší ohmický odpor a je levnější než dvojice kovů termočlánku. Vedení jsou vyrobena tak, aby souhlasila s charakteristikami (se závislostí U_T na teplotě) příslušného termočlánku, ovšem pouze v omezené teplotní oblasti, ne větší než $-40 \text{ } ^\circ\text{C}$ až $+200 \text{ } ^\circ\text{C}$. Toto vedení se nesmí nacházet v jiné teplotní oblasti. Tato vedení jsou chráněna proti vnějším vlivům pomocí

izolace. Různé izolace viz příloha 3. Spojení s dráty termočlánků bývá často provedeno pomocí speciálních vidlic a zásuvek vyrobených rovněž z kompenzačních slitin (obr. 18). Je důležité, aby tyto spoje nebyly umístěny v oblasti s teplotním gradientem. Měly by být stíněny nebo izolovány od průvanu, záření a rychlých změn okolní teploty.



Obr. 16 - Zapojení s termostatem [12] Obr. 17 - Kompenzace pomocným termočlánekem [12]



Obr. 18 – Termočlánekový konektor [17] Obr. 19 - Zapojení s kompenzačním vedením [22]

5 Použití v praxi [6, 16]

Jak již bylo řečeno, termočláanky jsou velmi rozšířeny. Používají se mnoha odvětvích, jako je chemický, farmaceutický, potravinářský, důlní průmysl, dále v hutnictví, strojírenství, energetice, ve sklářství a keramice. Dále jsou uvedeny příklady použití termočláanky, přípustná provozní teplota, použitý typ, použitý materiál ochranné jímky.

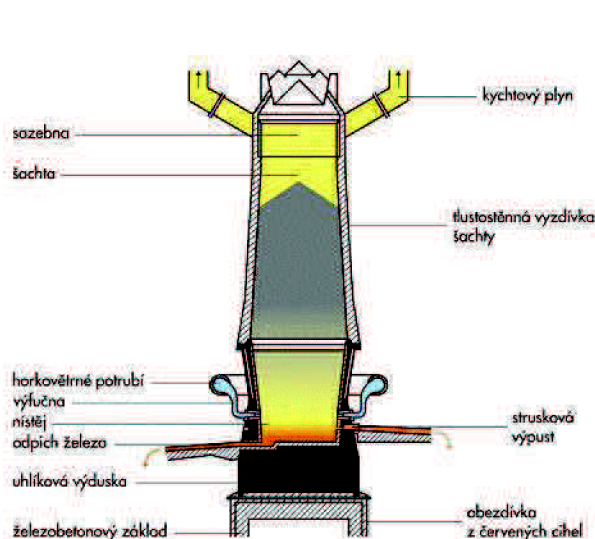
V železárnách a ocelárnách se používají pro měření ve:

Vysoké peci (obr. 20)

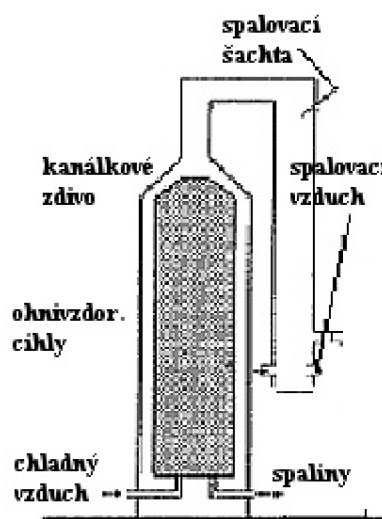
- Horký vítr - provozní teplota není vyšší než 1000°C , měří se termočláankem typu K (Ni Cr/Ni). Používá se otevřená ochranná jímka z nerezové oceli 1.4762, měřící konec je cementován
- Surový plyn – nevyšší předpokládaná měřená teplota je 300°C , je zde opět použit termočlánek typu K, který se nachází ve vypouklé ochranné jímce z materiálu 1.4762 (X 10 CrAl24).

Předehříváči vzduchu (obr. 21)

- Kupole – provozní teplota do 1200°C , termočlánek typu S je chráněn ochrannou jímkou z nerezové oceli 1.4841, ve které se nachází keramická izolace.
- Odpadní plyn – teplota plynu do 300°C se měří termočláankem typu K, který se nachází v bežešvé smaltované ochranné jímce z oceli 1.0305.



Obr. 20 – Vysoká pec [31]



Obr. 21 – Předehříváč vzduchu [30]

Zařízení pro tepelné zpracování

- Žihání v oxidujících plynech obsahujících síru a uhlík – teplota plynu do 1200°C , měří se termočláankem typu S ukrytým ve vypouklé ochranné jímce z nerezové oceli, ve které se nachází keramická izolace.
- Olověné lázně (obr. 22) – teplota lázně do 1200°C , která je měřena termočláankem typu S. zde je použita ochranná jímka ze slitiny chrómu a niklu (materiál 2.4867) vrtaná z plného materiálu. Uvnitř opět keramická izolace.

Zařízení pro pokovení zinkem

- Zinková lázeň – teplota do 500°C pro kterou stačí termočlánek typu J. Bežešvá ochranná jímka z oceli 1.0305



Obr. 22 – Olověná lázeň [9]



Obr. 23 – Vypalovací pec [7]

V keramickém průmyslu se jimi měří například teplota v kruhové vypalovací peci (obr. 23), kde je vypalovací teplota do 1300°C měřena zabudovaným termočlánkem typu S v keramické ochranné jímce.

Ve sklářském průmyslu jsou použity v hrnkové peci – v této peci dosahuje teplota 1500°C, pro níž je zde použit termočlánek typu B uvnitř keramické jímky

V pece na spalování síry, kyzové peci (obr. 24) dosahuje teplota až 1500°C, měřena je termočlánkem typu B. Ochrannou jímku tvoří karbid křemíku, uvnitř se nachází keramika KER 710.



Obr. 24 – Kyzová pec [8]



Obr. 25 - Lití do kokil [29]

V hutním průmyslu se používá při:

- Lití do kokil (obr. 25) – teplota taveniny je do 700°C, měří se termočlánkem typu K. Perlitická litina tvoří ochrannou jímku vrтанou z plného materiálu.
- Slévání olova – teploty se pohybují do 700°C, používá se termočlánek typu J (Fe/Cu Ni). Ochranná jímka ze slitiny chromu a niklu (2.4867) je vrтанá z plného materiálu.

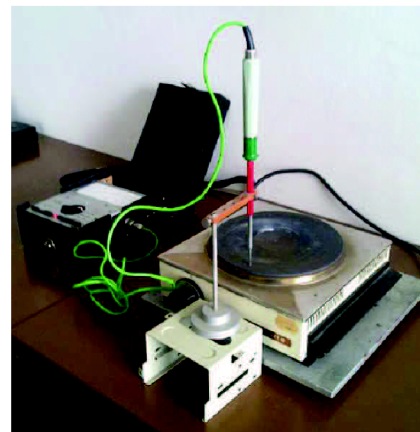
6 Experiment

Bylo provedeno praktické měření průběhu teploty během spínání plotýnky jedno-plotnového elektrického vaříče bimetalem, pomocí tří termočlánků a tří zařízení pro vyhodnocení:

- termočlánek Fe-ko, laboratorní teploměr TERM
- termočlánek SU 10, multimetru UNI-T
- termočlánek Fe-ko, multimetru HC-3500T

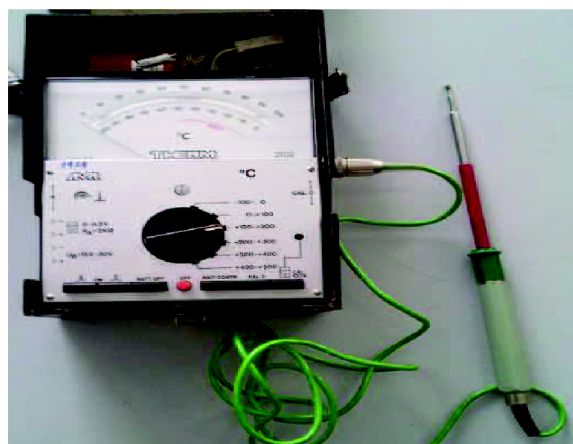
Vaříč je opatřen šesti stupni regulace teploty, v rámci měření byl použit druhý stupeň regulace.

Měření bylo provedeno v laboratoři, teplota okolí $t_0=22,5^\circ\text{C}$. Jak je patrné z obrázku, termočlánek je uchycen v držáku, čímž je zamezeno změně přítlačné síly (obr. 26).

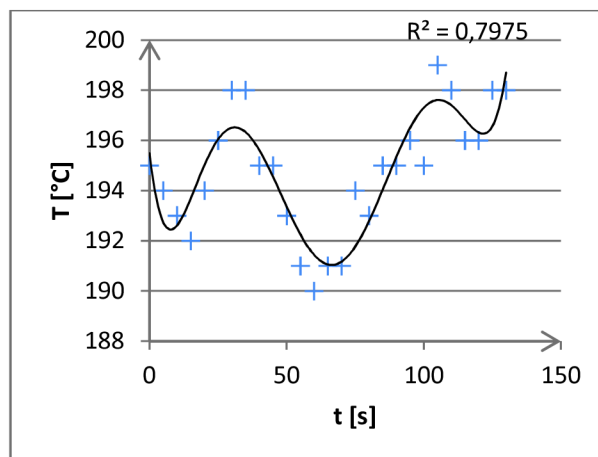


Obr. 26 - Praktické měření

Měření pomocí laboratorního teploměru TERM (obr. 27) bylo provedeno jako první. Hodnoty byly získány a zapsány do tabulky (tab. 4) po zahřátí plotýnky na jejím okraji (viz obr. 26). Příklad byl před začátkem měření kalibrován (byla zkontrolována nulová poloha), poté se nastavil měřicí rozsah přístroje pro dané měření. Odečítání teploty probíhalo ve stejných časových intervalech, v tomto případě každých 5 sekund. Byl použit termočlánek Fe-ko. Měřicí přístroj má rozsah od -100 do 500°C .



Obr. 27 – Laboratorní přístroj



Obr. 28 – Změna teploty na čase pro první měření

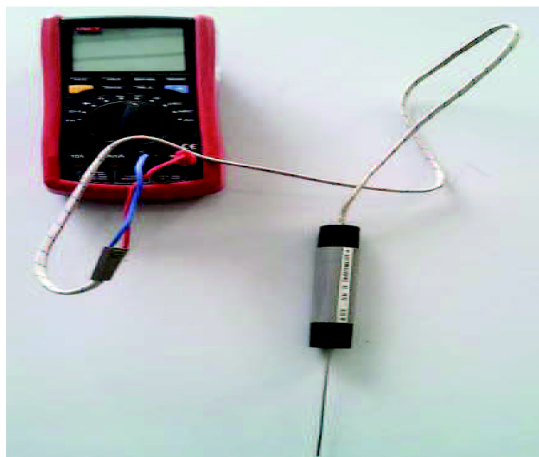
Tab. 4 – Naměřené hodnoty přístrojem TERM

t[s]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
T[°C]	195	194	193	192	194	196	198	198	195	195	193	191	190	191
t[s]	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	
T[°C]	191	194	193	195	195	196	195	199	198	196	196	198	198	

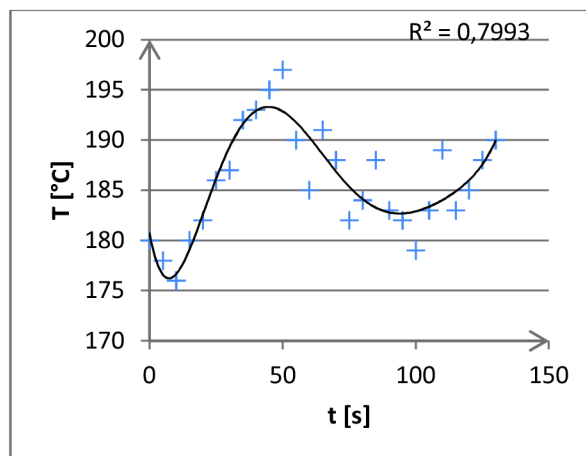
Hodnoty z tabulky 4 byly vyneseny do grafu (obr. 28). Ten byl zhotoven v programu Microsoft Excel (Dále jen ME), pomocí něhož byla body proložena spojnice bodů. Tato spojnice byla stanovena experimentálně, dle hodnoty spolehlivosti R. Nejvyšší koeficient spolehlivosti R nastal u polynomu 6. stupně.

Druhé měření pomocí multimetru UNI-T (obr. 29) bylo provedeno v přibližně stejném místě plotýnky. Termočlánek SU 10 byl umístěn v držáku jako při prvním měření.

Hodnoty byly odečítány opět po 5 sekundách a zaznamenány do tabulky (tab. 5).



Obr. 29 – Multimetr UNI-T



Obr. 30 – Změna teploty na čase pro druhé měření

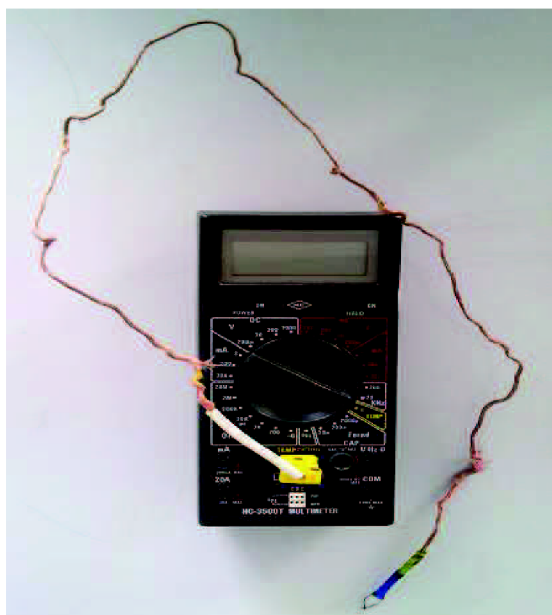
Tab. 5 – Naměřené hodnoty pomocí multimetru UNI-T

t[s]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
T[°C]	180	178	176	180	182	186	187	192	193	195	197	190	185	191
t[s]	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	
T[°C]	188	182	184	188	183	181	179	183	189	189	185	188	190	

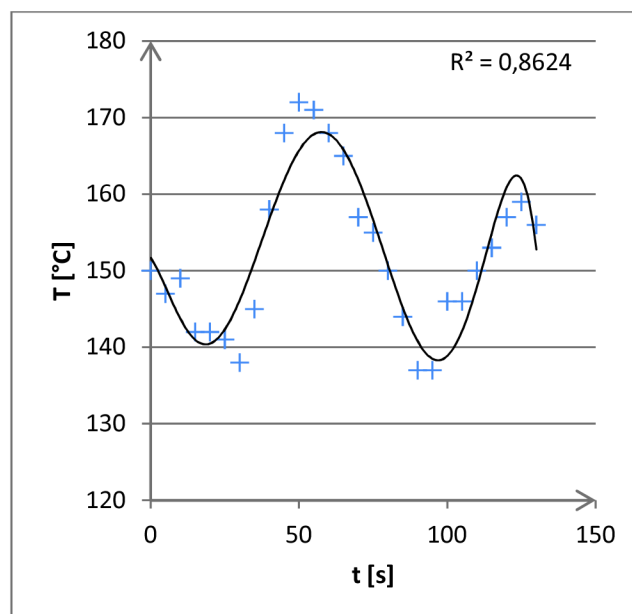
Hodnoty z tabulky 5 byly vyneseny do grafu (obr. 30). Graf vznikl v programu ME jako při prvním měření, podobně vznikla i křivka proložená vnesenými body. Křivka je polynomem 6. stupně.

Poslední měření pomocí multimetru HC-3500T (obr. 31) probíhalo shodně s předchozími. Pouze v tomto případě je použit drátový termočlánek, v předchozích dvou měřeních byl použit chráněný termočlánek Fe-ko.

Naměřené hodnoty pomocí drátového termočlánu byly zapsány do tabulky (tab. 6). Z této tabulky byl sestaven graf (obr. 32) pomocí ME. Dle koeficientu spolehlivost R byla body proložena křivka polynomu 6. stupně.



Obr. 31 - Multimetr HC-3500T



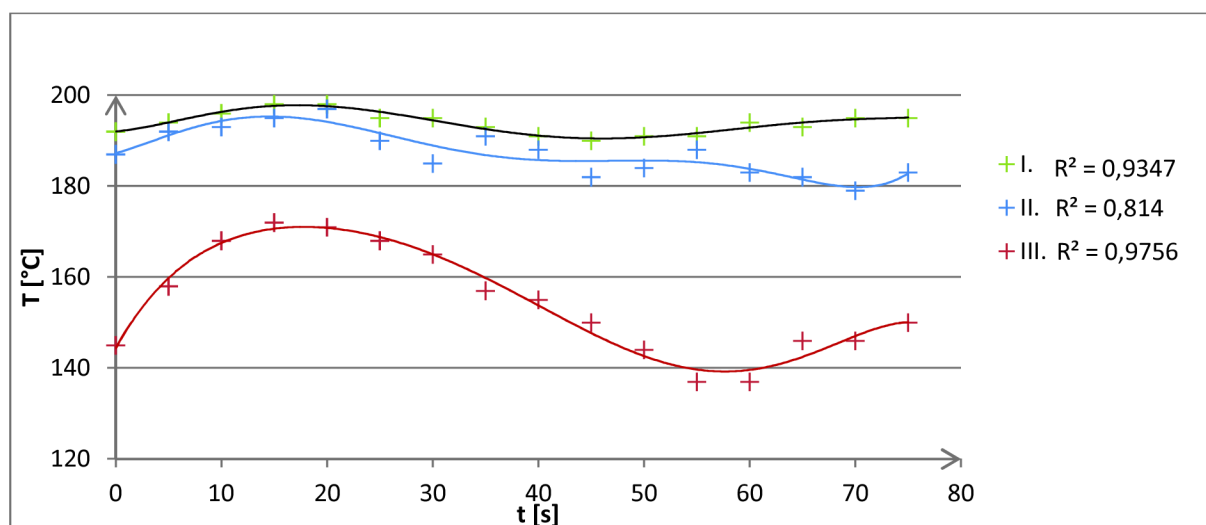
Obr. 32 – Změna teploty na čase pro třetí měření

Tab. 6 – Naměřené hodnoty pomocí multimetru HC-3500T

t[s]	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
T[°C]	150	147	149	142	142	141	138	145	158	168	172	171	168	165
t[s]	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	
T[°C]	157	155	150	144	137	137	146	146	150	153	157	159	156	

Sesouhlasením počátků byl vybrán úsek hodnot pro srovnání předcházejících měření a vytvořen graf (Obr. 33).

Dle koeficientu spolehlivosti dopadlo nejlépe měření pomocí multimetru HC-3500T s drátkovým termočlánkem, zde se ověřila jeho krátká časová konstanta. Ovšem naměřené hodnoty teploty jsou mnohem nižší než u ostatních dvou měření. S tím nejspíše souvisí přítlačná síla, která je u jednotlivých měření různá (vlastní vahou termočlánku).



Obr. 33 - Porovnání předchozích měření

Druhý nevyšší koeficient spolehlivosti má měření pomocí laboratorního přístroje TERM, s termočlánekovou sondou. Její časová konstanta je zřejmě o něco delší než u drátkového termočlánku. Vyšší naměřené hodnoty jsou způsobeny vyšší přítlačnou silou a větší ploškou termočlánku.

Nejhůře dopadlo měření pomocí multimetru UNI-T s termočlánkem SU10, má nejnižší koeficient spolehlivosti, křivka proložená hodnotami není v porovnání s ostatními podobná funkci sinus.

V technické praxi se pro zaznamenávání hodnot využívá počítačů, které jsou schopny teplotu odečítat v mnohem kratších časových intervalech. Tím vzniká i vyšší přesnost měření a bylo by možné tímto způsobem lépe zobrazit průběh tohoto měření plotýnkou.

7 Závěr

V práci je provedena studie měření teploty termočláanky s jejich výhodami a nevýhodami. Měření a sledování teploty ve strojních procesech je velmi důležitým hlediskem pro správnou funkci součástí. Jednou z Metod měření jsou termočláanky, které pracují na principu Seebeckova jevu, což je vznik termoelektrického napětí v obvodu tvořeném dvěma různými vodiči, přičemž se jejich spoje nachází v prostředí o jiné teplotě. Mezi základní vlastnosti termočláanky patří rychlost měření a poměrně vysoká spolehlivost, která je závislá na správné kalibraci.

Spoj měřícího konce termočláanky je tvořen mechanicky, nebo svařením a pájením. Velmi často tento spoj chrání pláštěm, aby nedošlo k jeho poškození.

Vhodný typ termočláanky se volí s ohledem na prostředí, zejména dle předpokládané teploty. Další vlivy určují materiál použitého pláště.

Zapojení termočláanky může být přímo do měřícího přístroje, ovšem často se měří na velké vzdálenosti, kde se používá kompenzační vedení. Teplota srovnávacího spoje se udržuje pomocí Dewarových nádob, nebo termostatem. Existují také způsoby kompenzace jeho teploty pomocí dalšího termočláanky, nebo kompenzační krabice.

Termočláanky jsou v praxi velmi rozšířeny, zejména ve strojírenském, chemickém a hutním průmyslu.

Je zpracován experiment, který proběhl ve školní laboratoři, v němž byla měřena teplota plotýnky. Výsledkem bylo hodnocení použitých termočláanky s měřícími přístroji. Nejlépe hodnocen byl laboratorní teploměr TERM s termočláankem Fe-ko.

Mezi hlavní výhody patří dlouhá životnost, jednoduchost, nízká cena, velký teplotní rozsah a vcelku rychlá odezva. Nevýhodou je dotykový způsob měření, nutnost kalibrace, náchylnost ke korozi a nutnost kompenzace teploty srovnávacího konce.

Seznam použitých zdrojů

- [1] BENEŠ, P. *Vliv tepelných vlastností tenkých vrstev na třískové obrábění tvrdých těžkoobrobitelných ocelí*. Plzeň, 2009. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/download/Benes_technologie09.pdf
- [2] BUREŠ. *Seebeckův jev* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/seebeck.htm>
- [3] Electrical_Test_Tools. *Fluke* [online]. 2004 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.fluke.com/images/Products/Industrial/Electrical_Test_Tools/714_02_200p.jpg
- [4] HŘEBENOVÁ, Lenka. *Optimalizace tepelných vlastností struktur modulů fotovoltaických článků* [online]. Brno, 2010, Zmeškal [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=25601. Diplomová práce. VUT. Vedoucí práce Zmeškal Oldřich.
- [5] *Kalibrace termočlánků*. Praha, 1999. Dostupné z: www.cai.cz/files/01_08-P023%20EA%2010_08_20061023.doc
- [6] *Katalog termočlánky*. Praha, 2011. Dostupné z: http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data_files/procesni_instrumentace/mereni_teploty/katalog_termo_clanky_2011_cz.pdf
- [7] Kruhová pec. *Sklarsky-prumysl* [online]. 2010 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://sklarsky-prumysl.gds.cz/public/default/userfiles/image/Pec_M_M.jpg
- [8] Kyzová pec. *Porzellanikon* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.porzellanikon.org/typo3temp/pics/bc2bb0f033.jpg>
- [9] Lázeň olověná. *Stroje Svoboda* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://strojesvoboda.cz/foto/Lazen%20olovena-2/kalirna%20olovena%20lazen%2026.2.2009%2016-07-18.2009%2016-07-18.JPG>
- [10] Měření teploty v energetice a průmyslu. SVOBODA, Miroslav. *Allforpower* [online]. 2009 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.allforpower.cz/clanek/mereni-teploty-v-energetice-a-prumyslu/>
- [11] *Měření teploty*. Jesenice, 2011. Dostupné z: http://www.med.muni.cz/biofyz/doc/pc-mgr-cs/1_MereniTeploty_Konduktometrie.pdf
- [12] Měření teploty. *Maryshfmmi* [online]. 2010 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.maryshfmmi.webzdarma.cz/mttd.htm>
- [13] Měření teploty. *Vscht* [online]. 2001 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mrt/F4/F4k43-tepl.htm>
- [14] *Měřicí konce*. Brno, 2001. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/Ka03-00-103.gif>
- [15] NERMUT, Martin. *Termočlánkový simulátor* [online]. Brno, 2009 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18220. Bakalářská práce. VUT. Vedoucí práce Klusáček Stanislav

- [16] *Odporové teploměry a sestavy termočlánku*. Praha, 2001. Dostupné z: <http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Documents/00809-0317-2654.pdf>
- [17] *Omega Engineering Česká republika* [online]. 1995, 22. května 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.omegaeng.cz/>
- [18] Plášťové odporové a termoelektrické. *jsp* [online]. 2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.jsp.cz/files/c0831kpcz.pdf>
- [19] *Programovatelný regulátor teploty*. Brno, 2004. Dostupné z: <http://www.smartbrno.cz/navod/T100-n.pdf>
- [20] Pyrometr. *E-pristroje* [online]. 2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.e-pristroje.cz/pictures/teplomery/t026-01.jpg>
- [21] Term2201. *Aterm* [online]. 2006 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.aterm.cz/Images/Term2201.jpg>
- [22] Termická analýza. *Vscht* [online]. 2009 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_termicka_analyza/teorie.htm
- [23] Termočlánek. In: *Media.digikay* [online]. 2010 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://media.digikay.com/photos/TPI%20Photos/FK14M.jpg>
- [24] Termočlánky. *Telemeter* [online]. 2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.telemeter.info/documents/termoclanky.pdf>
- [25] *Termoelektrické články*. Jesenice, 2011. Dostupné z: <http://safina.cz/uploaded/soubory/katalog-termoclanky-Cj.pdf>
- [26] *Termoelektrické jevy* [online]. 2000 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://moon.felk.cvut.cz/~pju/Jak/_phys/f577/start.htm
- [27] Termokamera. *Generali* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.generali.cz/obrazky/892D3P/termokamera.JPG>
- [28] VDOLEČEK, František. *Technická měření*. Brno, 2002. Dostupné z: <http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/a1-731a/ETC.pdf>
- [29] Výroba kokilových odlitků. *Slevarnahliniku* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.slevarnahliniku.cz/ladmin/soubory/slevarna/Image/v-obsahu-stranek/velke/21013105811-02-shnb-006-800x600-.jpgmp/pics/bc2bb0f033.jpg>
- [30] Vysoká pec. *Hornictvi* [online]. 2005 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://www.hornictvi.info/prirucka/zprac/vyspec/2.jpg>
- [31] Vysoká pec. *Leccos* [online]. 2012 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: http://leccos.com/pics/pic/pec_vysoka.jpg
- [32] Zaromerky. *Humany* [online]. 2011 [cit. 2012-05-22]. Dostupné z: <http://humany.cz/userfiles/zaromerky.jpg>

- [33] ZEHNULA, Karel. *Snímače neelektrických veličin*. 2. vyd.upr. a dopln. Praha: SNTL, 1983, 371 s.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

U_T - termoelektrické napětí

a, b - Seebeckovy koeficienty

T – teplota

t - čas

E_{AB} - elektromotorické napětí

ϑ_o - teplota srovnávacího spoje

ϑ_m - teplota měřícího spoje

R_j – vyrovnávací odpor




































SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Barevné označení a složení termočlánků

Příloha 2 - Přesnosti jednotlivých typů termočlánku vyráběných firmou Omega.

Příloha 3 - Značení izolace vodiče a návod k aplikaci

Príloha 1 - Barevné označení a složení termočlánků [17]

Connectors				Connectors						
ANSI Code	ANSI MC 96.1 Color Coding		Alloy Combination		Comments Environment Bare Wire	Maximum T/C Grade Temp. Range	EMF (mV) Over Max. Temp. Range	IEC 584-3 Color Coding		IEC Code
	Thermocouple Grade	Extension Grade	+ Lead	- Lead				Thermocouple Grade	Reference Jade	
J			IRON Fe (magnetic)	CONSTANTAN COPPER- NICKEL Cu-Ni	Reducing, Vacuum, Inert. Limited Use in Oxidizing at High Temperatures. Not Recommended for Low Temperatures.	-210 to 1310°C -348 to 2392°F	-8.095 to 56.503			J
K			CHROMEGA® NICKEL- CHROMIUM Ni-Cr	ALOMEGA® NICKEL- ALUMINUM Ni-Al (magnetic)	Oxidizing and Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Wide Temperature Range. Most Popular Colorless.	-270 to 1372°C -454 to 2501°F	-4.463 to 54.885			K
T			COPPER Cu	CONSTANTAN COPPER- NICKEL Cu-Ni	Mild Oxidizing. Reducing Vacuum or Inert. Good Where Moisture is Present. Low Temperature & Cryogenic Applications.	-270 to 400°C -454 to 752°F	-4.264 to 26.872			T
E			CHROMEGA® NICKEL- CHROMIUM Ni-Cr	CONSTANTAN COPPER- NICKEL Cu-Ni	Oxidizing or Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Highest EMF Change Per Degree.	-270 to 1000°C -454 to 1822°F	-9.835 to 75.373			E
N			OMEGA® NICKEL- CHROMIUM Ni-Cr	OMEGA® NICKEL- ALUMINUM Ni-Al	Alternative Type K. More Stable at High Temp.	-270 to 1300°C -454 to 2372°F	-4.310 to 47.610			N
R	NONE ESTABLISHED		PLATINUM- 13% RHODIUM Pt-13% Rh	PLATINUM Pt	Oxidizing or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature.	-60 to 1762°C -68 to 3214°F	-0.296 to 21.161			R
S	NONE ESTABLISHED		PLATINUM- 10% RHODIUM Pt-10% Rh	PLATINUM Pt	Oxidizing or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature.	-60 to 1762°C -68 to 3214°F	-0.296 to 18.693			S
U	NONE ESTABLISHED		COPPER Cu	COPPER-LOW NICKEL Cu-Ni	Extension Grade. Connecting Wire for J & S Thermocouples. Also Known as JX & SX Extension Wire.					U
B	NONE ESTABLISHED		PLATINUM- 30% RHODIUM Pt-30% Rh	PLATINUM- 6% RHODIUM Pt-6% Rh	Oxidizing or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temp. Common Use in Glass Industry.	0 to 1820°C 32 to 3308°F	0 to 13.820			B
G* (W)	NONE ESTABLISHED		TUNGSTEN W	TUNGSTEN- 25% RHENIUM W-25% Re	Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 350°C (700°F). Not for Oxidizing Atmosphere.	0 to 2320°C 32 to 4208°F	0 to 38.964	NO STANDARD USE ANSI COLOR CODE		G (W)
C* (W5)	NONE ESTABLISHED		TUNGSTEN- 5% RHENIUM W-5% Re	TUNGSTEN- 26% RHENIUM W-26% Re	Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 380°C (700°F). Not for Oxidizing Atmosphere.	0 to 2320°C 32 to 4208°F	0 to 37.060	NO STANDARD USE ANSI COLOR CODE		C (W5)
D* (W3)	NONE ESTABLISHED		TUNGSTEN- 3% RHENIUM W-3% Re	TUNGSTEN- 26% RHENIUM W-26% Re	Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 380°C (700°F). Not for Oxidizing Atmosphere.	0 to 2320°C 32 to 4208°F	0 to 39.900	NO STANDARD USE ANSI COLOR CODE		D (W3)

* Not official symbol or standard designation

* JIS color code also available.

Příloha 2 - Přesnosti jednotlivých typů termočlánku vyráběných firmou Omega [17]

Thermocouple Tolerances

(Reference Junction at 0°C)

American Limits of Error ASTM E230-ANSI MC 96.1

ANSI Code		Standard Limits [†]		Special Limits [†]	
J	Temp Range Tolerance Value	>0 to 750°C 2.2°C or 0.75%	>32 to 1382°F 4.0°F or 0.75%	0 to 750°C 1.1°C or 0.4%	32 to 1382°F 2.0°F or 0.4%
K	Temp Range Tolerance Value Temp. Range* Tolerance Value	>0 to 1250°C 2.2°C or 0.75% -200 to 0°C 2.2°C or 2.0%	>32 to 2282°F 4.0°F or 0.75% -328 to 32°F 4.0°F or 2.0%	0 to 1250°C 1.1°C or 0.4%	32 to 2282°F 2.0°F or 0.4%
T	Temp Range Tolerance Value Temp. Range* Tolerance Value	>0 to 350°C 1.0°C or 0.75% -200 to 0°C 1.0°C or 1.5%	>32 to 662°F 1.8°F or 0.75% -328 to 32°F 1.8°F or 1.5%	0 to 350°C 0.5°C or 0.4%	32 to 662°F 1°F or 0.4%
E	Temp Range Tolerance Value Temp. Range* Tolerance Value	>0 to 900°C 1.7°C or 0.5% -200 to 0°C 1.7°C or 1.0%	>32 to 1652 3°F or 0.5% -328 to 32°F 3°F or 1.0%	0 to 900°C 1.0°C or 0.4%	32 to 1652°F 1.8°F or 0.4%
N	Temp Range Tolerance Value Temp. Range* Tolerance Value	>0 to 1300°C 2.2°C or 0.75% -273 to 0°C 2.2°C or 2.0%	>32 to 2372°F 4.0°F or 0.75% -454 to 32°F 4.0°F or 2.0%	0 to 1300°C 1.1°C or 0.4%	32 to 2372°F 2.0°F or 0.4%
R S	Temp Range Tolerance Value	0 to 1450°C 1.5°C or 0.25%	32 to 2642°F 2.7°F or 0.25%	0 to 1450°C 0.6°C or 0.1%	32 to 2642°F 1°F or 0.1%
B	Temp Range Tolerance Value	800 to 1700°C 0.5%	1472 to 3082°F 0.5%	Not Established	
G*C*D*	Temp Range Tolerance Value	0 to 2320°C 4.5°C or 1.0%	32 to 4208°F 9°F or 1.0%	Not Established	

* Not official symbol or standard designation † Whichever value is greater.

Note: Material is normally selected to meet tolerances above 0°C. If thermocouples are needed to meet tolerances below 0°C, the purchaser shall state this as selection of material is usually required.

IEC Tolerance Class EN 60584-2; JIS C 1602

IEC Code		Class 1	Class 2	Class 3 ^{##}
J	Temp Range Tolerance Value Temp. Range Tolerance Value	-40 to 375°C ±1.5°C 375 to 750°C ±0.4% Reading	-40 to 333°C ±2.5°C 333 to 750°C ±0.75% Reading	Not Established
K N	Temp Range Tolerance Value Temp. Range Tolerance Value	-40 to 375°C ±1.5°C 375 to 1000°C ±0.4%	-40 to 333°C ±2.5°C 333 to 1200°C ±0.75% Reading	-167 to 40°C ±2.5°C -200 to -167°C ±1.5% Reading
T	Temp Range Tolerance Value Temp. Range Tolerance Value	-40 to 125°C ±0.5°C 125 to 350°C ±0.4% Reading	-40 to 133°C ±1°C 133 to 350°C ±0.75% Reading	-67 to 40°C ±1°C -200 to -67°C ±1.5% Reading
E	Temp Range Tolerance Value Temp. Range Tolerance Value	-40 to 375°C ±1.5°C 375 to 800°C ±0.4% Reading	-40 to 333°C ±2.5°C 333 to 900°C ±0.75% Reading	-167 to 40°C ±2.5°C -200 to -167°C ±1.5% Reading
R S	Temp Range Tolerance Value Temp. Range Tolerance Value	0 to 1100°C ±1°C 1100 to 1600°C ±(1 + 0.3% x (Rdg-1100))°C	0 to 600°C ±1.5°C 600 to 1600°C ±0.25% Reading	Not Established
B	Temp Range Tolerance Value Temp. Range Tolerance Value	Not Established	600 to 1700°C ±0.25% Reading	600 to 800°C ±4°C 800 to 1700°C ±0.5% Reading

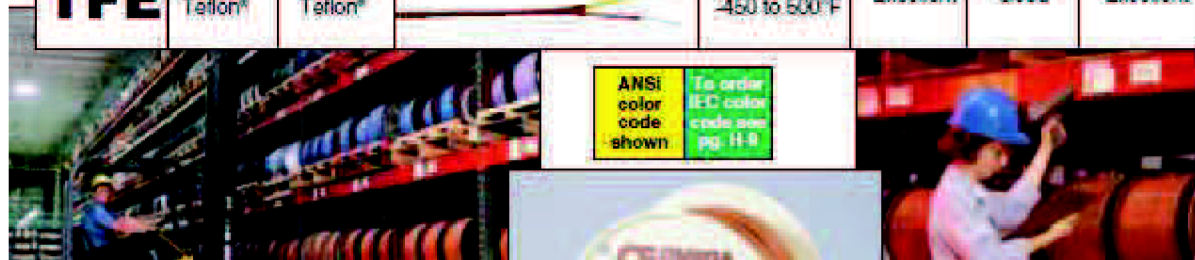
Material is normally selected to meet tolerances above -40°C. If thermocouples are needed to meet limits of Class 3, as well as those of Class 1 or 2, the purchaser shall state this, as selection of material is usually required.

Příloha 3 – Značení izolace vodiče a návod k aplikaci[17]

Část 1.

Wire Insulation Identification

Insulation Code	Insulation		Appearance of Thermocouple Grade Wire	Temperature Range, Insulation	Abrasion Resistance	Flexibility	Water Submersion
	Overall	Conductors					
PP <small>(Extension Grade-EXPP)</small>	Polyvinyl Chloride (PVC)	Polyvinyl Chloride (PVC)		-40 to 105°C -40 to 221°F	Good	Excellent	Good
FF <small>(Extension Grade-EXFF)</small>	FEP Teflon® or Neoflon	FEP Teflon® or Neoflon		-200 to 200°C -328 to 392°F	Excellent	Good	Excellent
TT <small>(Extension Grade-EXTT)</small>	PFA Teflon® or Neoflon	PFA Teflon® or Neoflon		-267 to 260°C -450 to 500°F	Excellent	Good	Excellent
KK	Kapton	Kapton		-267 to 316°C -450 to 600°F	Excellent	Good	Good
TG	Glass Braid	PFA Teflon® or Neoflon		-73 to 260°C -100 to 500°F	Good	Good	Excellent
GG <small>(Extension Grade-EXGG)</small>	Glass Braid	Glass Braid		-73 to 482°C -100 to 900°F	Poor	Good	Poor
HH	High Temp Glass Braid	High Temp Glass Braid		-73 to 704°C -100 to 1300°F	Poor	Good	Poor
XR	Refrasil Braid	Refrasil Braid		-73 to 871°C -100 to 1600°F	Poor	Good to 315°C (600°F)	Poor to 315°C (600°F)
XC <small>Standard Braid XL-Loose Braid XT-Tight Braid</small>	Nextel Braid	Nextel Braid		-73 to 1204°C -100 to 2200°F	Poor	Good	Poor
XS	Silica	Silica		-73 to 1038°C -100 to 1900°F	Poor	Good	Poor
TFE	TPE Teflon®	TPE Teflon®		-267 to 260°C -450 to 500°F	Excellent	Good	Excellent



Příloha 3 – Značení izolace vodiče a návod k aplikaci [17]

Část 2.

and Application Guide

Resistance To:					Comments
Solvent	Acid	Base	Flame	Humidity	
Fair	Good	Good	Good	Good	Color Coded PVC Extruded Over Each Bare Wire. PVC Applied Over Insulated Primaries. Affected by Ketones, Esters
Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Color Coded PVC Extruded Over Each Bare Wire. PVC Applied Over Insulated Primaries. Affected by Ketones, Esters
Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Color Coded PFA Extruded Over Each Bare Wire. PFA Jacket Extruded Over Insulated Primaries. Superior Abrasion and Moisture Resistance. Same Basic Characteristics as PEP but Higher Temperature Rating
Good	Good	Good	Good	Excellent	Fused Kapton Tape Approx. 0.15 mm Applied to Conductors. A 0.10 mm Jacket is Then Applied to Both. Excellent Moisture and Abrasion Resistance. High Dielectric Strength (7 KV/mil) Retains Much Physical Integrity After Gamma Radiation. PEP is Used as Adhesive Binding Agent (Melts at approx. 260°C (500°F))
Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	PFA Extruded Over Each Bare Wire and a Glass Braid on the Jacket. May Be Used for Single Measurement to 343°C (650°F)
Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Fair	0.12 mm Glass Braid Over Each Conductor, and Binder Impregnated. Overall Glass Braid Applied and Binded. Binder Improves Moisture and Abrasion Resistance but is Destroyed Above 204°C (400°F)
Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Fair	High Temp. Glass Braid Over Each Conductor, and Binder Impregnated. Overall High Temp Glass Braid Applied and Binded. Binder Improves Moisture and Abrasion Resistance but is Destroyed Above 400°F
Excellent	Good to 315°C (600°F)	Good to 315°C (600°F)	Excellent	Poor	Braid of Vitreous Silica Fiber Applied to Each Bare Wire. Then Over Both. Suitable to 962°C (1600°F) if Not Subjected to Flexure or Abrasion
Excellent	Good	Good	Excellent	Fair	High Temp. Alumina-Boria-Silica Ceramic Fiber Braided Over Each Conductor Then Over Both. Not Recommended for Platinum Thermocouples or Exposure to Molten Tin and Copper, Hydrofluoric or Phosphoric Acids, or Strong Alkalies
Excellent	Good	Poor	Excellent	Fair	Silica is a Very High Purity, Chemically Stable Yarn. (SiO ₂ Content 99%)
Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Color Coded TFE Tape Applied to Conductors and Jacket. Superior Abrasion, Moisture, and Chemical Resistance

ANSI To order