



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

TEMPERATURE MEASUREMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUKÁŠ BRZOBOHATÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Brzobohatý

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

v anglickém jazyce:

Temperature measurement

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o zpracování literární studie týkající se možných způsobů zjišťování teploty (kontaktní i bezkontaktní metody) s rozбором jejich významu a použití ve strojírenské praxi.

Cíle bakalářské práce:

Aktuální literární studie se zaměřením na způsoby zjišťování teplot se zhodnocením jejich výhod a nevýhod.

Seznam odborné literatury:

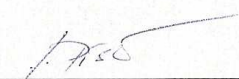
1. ČECH J., PERNIKÁŘ J., PODANÝ K.: Strojírenská metrologie. Skriptum FSI VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno 2005. p 175. ISBN 80-214-3070-2.
2. KŘÍŽ R., VÁVRA P.: Strojírenská příručka - 2. Sv. D: Měřicí technika a bezdemontážní diagnostika. Praha: SCIENTIA 1993
3. ZEHNULA K.: Snímače neelektrických veličin. SNTL Praha 1977

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

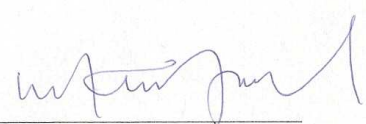
V Brně, dne 16.11.2010

L.S.



prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu





prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Brzobohatý Lukáš: Měření teploty.

Práce předkládá ucelený přehled o měření jedné ze základních stavových veličin určujících stav hmoty - teploty. Zabývá se vývojem teplotních stupnic, jednotek a měřicími přístroji. Měření teploty se dělí na dva základní způsoby – metody kontaktní a metoda bezkontaktní. U přístrojů pro kontaktní snímání teploty je kladen důraz na termočlánky a to z důvodu jejich nepostradatelnosti ve všech odvětvích průmyslu. Nejvíce se rozvíjející metodou měření teploty je metoda bezkontaktní. Tomu odpovídá i vývoj přístrojů, který určuje především rychlý rozvoj výpočetní techniky.

Klíčová slova: absolutní teplotní nula, teploměr, teploměry dotykové, teploměry bezdotykové, termočlánek, termografie, termokamera

ABSTRACT

Brzobohatý Lukáš: Temperature measurement

The work presents a comprehensive overview of measurements of one of the basic state function determining the state of matter - the temperature. It deals with development of temperature scales, units and measuring devices. Temperature measurement is divided into two basic ways - contact and non-contact method. Contact measuring devices emphasis on thermocouples because of their indispensability in all industries. Non-contact temperature measurement is most developing method. This corresponds to the devices development, which is determined by the rapid computer technology development.

Key words: absolute zero, thermometer, non-contacting thermometers, contacting thermometers, thermocouple, thermography, thermographic camera

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BRZOBOHATÝ Lukáš: *Měření teploty*. Brno, 2011. 19s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

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 Mokrém dne 27.5.2011

.....
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

1 ÚVOD	9
2 TEPLoměRY DOTYKOVÉ.....	11
2.1 Teploměry dilatační.....	11
2.1.1 Bimetalický.....	11
2.1.2 Kapalinový.....	11
2.1.3 Tyčový.....	12
2.1.4 Plynový.....	12
2.2 Teploměry odporové	12
2.2.1 Kovové.....	13
2.2.2 Polovodičové.....	13
2.3 Termočlánky.....	14
2.3.1 Druhy termočlánků.....	15
2.4 Použití, přednosti a nedostatky dotykového měření teploty.....	17
3 TEPLoměRY BEZDOTYKOVÉ.....	18
3.1 Pyrometry.....	19
3.1.1 Úhrnné pyrometry (širokopásmové).....	20
3.1.2 Pásmové (úzkopásmové) pyrometry.....	20
3.1.3 Poměrové pyrometry.....	21
3.2 Termokamery, termografie.....	21
3.3 Použití, přednosti a nedostatky bezdotykového měření teploty.....	24
4 ZVLÁŠTNÍ ZPŮSOBY MĚŘENÍ TEPLoty.....	24
4.1 Keramické žároměrky.....	24
4.2 Barevné indikátory.....	25
4.2.1 Termokřídly.....	26
5 ZÁVĚR.....	27
Seznam použité literatury	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam příloh	

1 ÚVOD [18]

Teplota je jednou ze základních stavových veličin určujících stav hmoty. Je mírou kinetické energie pohybujících se částic látky (molekul, atomů, ...) a ovlivňuje téměř všechny děje v přírodě. Za nejnižší teplotu je považován takový stav, kdy ustává veškerý pohyb v hmotě. Tento stav je definován jako **absolutní teplotní nula**.

Teplota je vlastnost předmětů a okolí, kterou je člověk schopen přiřadit pocity studeného, teplého či horkého. V přírodních a technických vědách a jejich aplikacích je to skalární intenzivní veličina, která je vzhledem ke svému pravděpodobnostnímu charakteru vhodná k popisu stavu ustálených makroskopických systémů.

K odečítání teploty se používalo v minulosti řady stupnic, založených na vlastnostech základní teploměrné látky. Pro objektivní měření by však teplotní stupnice měla být nezávislá na teploměrné látce. Tuto podmínku splňuje termodynamická stupnice, která vychází z účinnosti ideálního Carnotova cyklu:

$$\eta = \frac{T - T_0}{T}, \quad T = \frac{T_0}{1 - \eta}, \quad \text{kde} \quad (1.1)$$

T a T_0 jsou teploty pevných teplotních bodů látek
 η je účinnost

Základní jednotkou termodynamické teploty je 1K – Kelvin, definovaný jako 273,16 díl teploty trojného bodu vody. Vedlejší jednotkou je stupeň Celsia ($^{\circ}\text{C}$). Nejnižší možnou teplotou je teplota absolutní nuly (0 K; $-273,15^{\circ}\text{C}$), ke které se lze libovolně přiblížit, avšak nelze jí dosáhnout.

Pro praktickou realizaci termodynamické teploty slouží dnes Mezinárodní teplotní stupnice ITS 90 (International Temperature Scale). Jednotlivé pevné teplotní body ITS 90, které musí splňovat podmínky výše uvedených vztahů uvádí příloha č.1.

Pro praktické účely je dodnes povoleno používat stupnice Celsiovy, která vycházela původně z teplotní objemové roztažnosti rtuti mezi bodem tuhnutí vody a bodem varu vody.

$$\text{Platí vztahy: } 1 \text{ K} = 1^{\circ}\text{C} \quad (1.2)$$

$$T = t + T_0 = t + 273,15 \text{ [K]}, \text{ kde} \quad (1.3)$$

T je absolutní teplota

t je Celsiova teplota

Dále jsou stupně Reamura a Reamurova stupnice. V anglosaských zemích se dosud používá stupnice Fahrenheita Rankinova.

Příloha č.2 uvádí definice historických i současných teplotních stupnic pomocí referenčních bodů teploty. V příloze č.3 je uveden přepočítání číselných hodnot teploty z jedné do druhé teplotní stupnice. Energetické stavy u termodynamické stupnice jsou definovány základní stavovou rovnicí ideálního plynu:

$$p \cdot V = R \cdot T, \quad \text{kde} \quad (1.4)$$

p je tlak [Pa],

V je objem [m^3],

R je universální plynová konstanta [N.m.K⁻¹]

T je absolutní teplota [K]

Teplota se měří tak, že se uvede do vzájemného styku těleso, jehož teplotu měříme, a srovnávací těleso. Po vytvoření tepelné rovnováhy je teplota tělesa rovna teplotě srovnávacího tělesa, které se nazývá teploměrem. K určování teploty se využívá závislosti vhodně zvolených fyzikálních veličin na teplotě. To umožňuje převést měření teploty na měření jiné fyzikální veličiny.

Mezi teplotně závislé veličiny patří např. délkové rozměry a objem pevných a kapalných těles, tlak plynů (teplotní roztažnost a rozpínavost), elektrický odpor vodičů nebo polovodičů, elektrické napětí termoelektrických článků. Měřením teploty se zabývá termometrie.

Snímač teploty je funkční prvek tvořící vstupní blok měřicího řetězce tj. blok, který je v přímém styku s měřeným prostředím. Pojem senzor teploty je ekvivalentní pojmu snímač teploty. V praxi se jednotlivé skupiny přístrojů doplňují a překrývají - viz. příloha č.4. Způsoby rozčlenění jsou uvedeny v příloze č.5. Měřicí rozsahy vybraných teploměrů jsou uvedeny v příloze č.6.



Obr. 1 Teploměr s laserovým zaměřením [4]

Obr. 2 Ruční vysokoteplotní infrateploměr [4]



Obr. 3 PT100 RTD Kapesní teploměr [11]

2 TEPLoměRY DOTYKOVÉ [4]

Při kontaktním měření teploty je teplotní čidlo v přímém kontaktu s měřeným povrchem. Volba a způsob jeho připevnění k měřenému povrchu musí být zvoleny tak, aby teplota měřeného povrchu nebyla ovlivněna a zároveň čidlo mělo s povrchem dobrý kontakt.

2.1 Teploměry dilatační [10]

Jsou založené na teplotní roztažnosti pevných látek, kapalin a plynů. Dle konstrukce se dělí na :

- bimetalické (dvojkovové)
- kapalinové
- tyčové
- plynové
- parní

2.1.1 Teploměr bimetalický [9]

Teploměr bimetalický je teploměr, ve kterém se k měření teploty využívá bimetalový pásek složený ze dvou kovů s různými teplotními součiniteli délkové roztažnosti. Při změně teploty se pásek ohýbá a tento pohyb se přenáší na ručku. Teplotní délková (lineární) roztažnost je jev, při kterém se těleso zahřáté o určitou teplotu roztáhne o určitou délku. Uplatňuje se pouze u pevných těles. U kapalin a plynů se projevuje pouze objemová roztažnost. Pro malé teplotní rozdíly lze vztah mezi změnou délky a změnou teploty zapsat ve tvaru :

$$\Delta l = \alpha l_0 \Delta t, \text{ kde}$$

Δl je velikost délkové změny [mm]

α je součinitel délkové teplotní roztažnosti [K^{-1}]

Δt je velikost změny teploty [$^{\circ}C$]



Obr.4 Bimetalický teploměr [2]

(2.1)

2.1.2 Teploměr kapalinový [2]

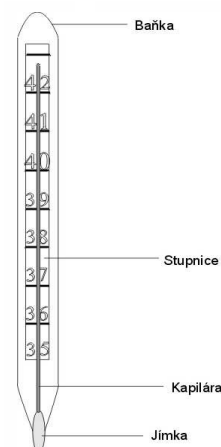
Kapalinový teploměr je teploměr, ve kterém se k měření teploty využívá teplotní roztažnosti teploměrné kapaliny (rtuť, líh apod.). Teplotní objemová roztažnost je jev, při kterém se látka zahřátá o určitou teplotu zvětší o určitý objem. Změna objemu tělesa nastává proto, že při změně teploty se v důsledku délkové roztažnosti mění všechny rozměry tělesa. To způsobuje změny objemu závislé na teplotě, tedy teplotní objemovou roztažnost. Objemová roztažnost se uplatňuje u pevných látek, kapalin i plynů. Pro malé teplotní rozdíly lze vztah mezi změnou objemu a změnou teploty zapsat ve tvaru:

$$\Delta V = \delta V_0 \Delta t, \text{ kde} \quad (2.2)$$

ΔV je velikost objemové změny [m^3]

δ je součinitel objemové teplotní roztažnosti [K^{-1}]

Δt je velikost změny teploty [$^{\circ}C$]



Obr.5 Kapalinový teploměr [9]

U lékařských skleněných lihových teploměrů (35 až 42 $^{\circ}C$) je kapilára nad nádobkou s lihem zúžena, takže se v tomto místě při poklesu teploty lihový sloupec přetrhne a teploměr tak stále ukazuje maximální naměřenou teplotu (před dalším použitím se musí „sklepnout“). Výhody jsou v jednoduchém provedení, nízké ceně, přímém čtení údajů, v téměř rovnoměrné stupnici, přesnosti měření, dlouhodobé stabilitě. Nepotřebují napájení el. energií.

Mezi nevýhody patří nemožnost dálkového měření a registrace teplot, jsou choulostivé na mechanické poškození, nevhodné pro měření povrchových teplot.

2.1.3 Teploměr tyčový [4]

Sestává z pouzdra a tyče. Jejich materiály mají rozdílný součinitel délkové teplotní roztažnosti. Dlouhý digitální tyčový teploměr se používá pro přímé měření a vyhodnocování teplot v jádře měřené látky (např. kapaliny, sena, slámy, kompostu, siláže, drobného sypkého materiálu a pod.). Teploměr není možné složit ani rozebrat. Snímač je vyroben z nerezového materiálu. Principem měření je využití teplotní délkové roztažnosti kovů. Platí vztah (2.1)



Obr. 6 Digitální tyčový teploměr [8]

2.1.4 Teploměr plynový [10]

Teploměr, ve kterém se k měření teploty využívá závislost tlaku plynu na teplotě při stálém objemu plynu, popř. závislost objemu plynu na teplotě při stálém tlaku. Nastává tedy rozpínavost plynů. Teplotní rozpínavost je jev, který se uplatňuje u plynů a projevuje se změnou tlaku plynu při změně teploty při konstantním objemu. Teplotní rozpínavost se tedy projevuje při izochorickém ději. Při konstantním objemu se tlak daného množství plynu mění s teplotou lineárně, což vyjadřuje Charlesův zákon. Pro $V = \text{konst}$ lze tedy psát:

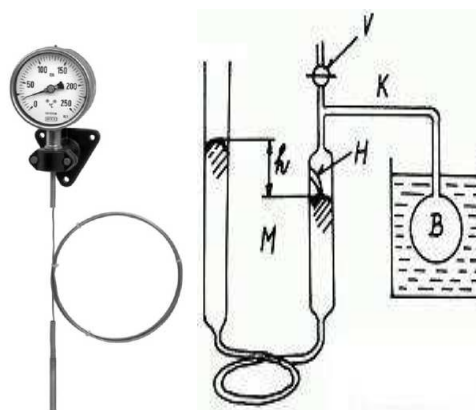
$$p = p_0 (1 + \beta t) , \text{ kde}$$

p je tlak [Pa]

β je součinitel tlakové rozpínivosti [Pa^{-1}]

t je Celsiova teplota [$^{\circ}\text{C}$]

Obr. 7 Plynový teploměr + schéma měření [10]



Plynový teploměr na obr. 7 je skleněná baňka **B**, umístěná v prostoru jehož teplota je měřena, spojená kapilárou **K** s jedním ramenem rtuťového manometru **M**. Plynový teploměr v provedení s dálkovým vedením se v chemickém průmyslu používá pro agresivní měřené látky. Další využití je v zpracovatelských technologiích, stavbě přístrojů a potravinářském průmyslu. Tyto přístroje splňují nejvyšší požadavky na měřicí techniku.

2.2 Teploměry odporové [18]

Teploměr, ve kterém se k měření teploty využívá závislost elektrického odporu vodiče nebo polovodiče na teplotě. Výhodami jsou vysoká přesnost pro nízké a střední teploty, vysoká úroveň výstupního signálu, dálkové měření. Mezi nevýhody patří vyšší pořizovací náklady, nízká odolnost proti vibracím, nutnost externího napájení.

Platí vztah:

$$R_1 = R_0 (1 + \gamma \Delta t) , \text{ kde}$$

R_1 je odpor vodiče [Ω]

γ je teplotní součinitel elektrického odporu [K^{-1}]

Δt je velikost změny teploty [$^{\circ}\text{C}$]

(2.4)

2.2.1 Kovové [4]

Jsou tvořeny tenkým drátkem určité délky, navinutým kolem keramického nebo skleněného tělíska. Samotný element je velmi křehký a proto se obvykle vkládá do ochranné sondy. Odporový element je vyroben z čistého materiálu, jehož odpor byl při různých teplotách zaznamenán - dokumentován. Materiál má tedy určitou změnu odporu při určité změně teploty. Dá se tedy již napřed stanovit odpor snímače při určité teplotě. Kovové teploměry jsou vyráběny z platiny, niklu, mědi, molybdenu. Podle konstrukčního provedení se odporové senzory dělí na keramické (850°C), skleněné(600°C) a pertinaxové (150°C). Označení Pt 100 udává, že se jedná o platinové čidlo s odporem 100 Ohmů při referenční teplotě 0°C.



Obr. 8 Odporový kovový teploměr Pt100 [11]

2.2.2 Polovodičové [18]

Polovodič je pevná látka, jejíž elektrická vodivost závisí na vnějších nebo vnitřních podmínkách, a dá se změnou těchto podmínek snadno ovlivnit. Změna vnějších podmínek znamená dodání některého z druhů energie – nejčastěji tepelné, elektrické nebo světelné, změnu vnitřních podmínek představuje příměs jiného prvku v polovodiči.

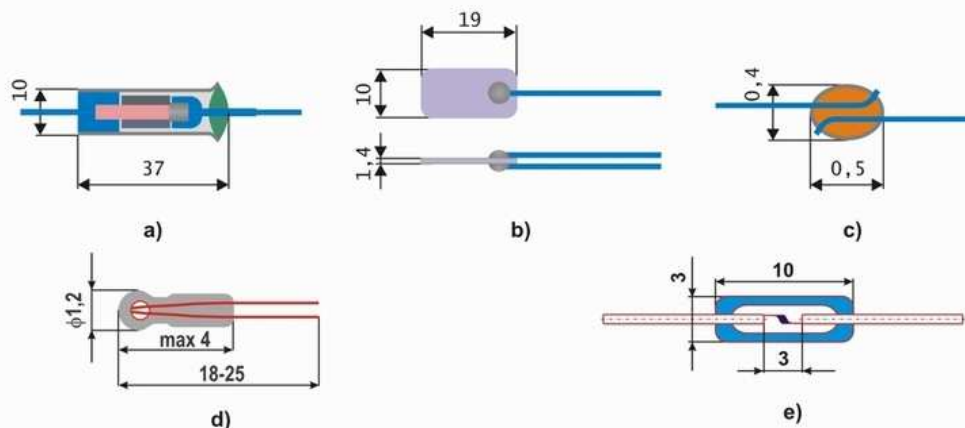
Přidáme-li do čistého křemíku prvek (fosfor, arsen nebo antimon) vznikne nám **polovodič typu N**.

Při dotování čtyřmocného křemíku trojmocným prvkem (bór, hliník, gallium nebo indium) vznikne nám **polovodič typu P**.

Přechod P-N je oblast na rozhraní příměsového polovodiče typu **P** a polovodiče typu **N**. Přechod P-N propouští elektrický proud pouze jedním směrem. Vytváří difuzí materiálu typu P do materiálu typu N za teploty okolo 600 °C. Materiál typu P potom pronikne rovnoměrně do materiálu typu N.

Polovodičové teploměry se dělí na termistory a monokrystalické odporové senzory. Termistory jsou dle vlastností rozděleny na pozistory - PTC, tj., ty u kterých se vzrůstající teplotou roste hodnota odporu a na negistory - NTC, u kterých hodnota odporu se vzrůstající teplotou klesá.

Na obr. 9 jsou uvedeny typy provedení termistorů. Provedení termistoru je většinou ve formě tyčinky (obr. 9 a), destičky (obr. 9 b), perličky (obr. 9 c,d,e).

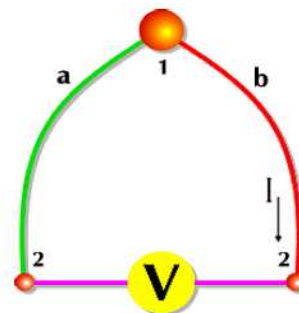


Obr.9 Typy provedení termistorů [18]

2.3 Termočlánky [4]

Termočlánek je zdroj elektrického proudu, používaný především jako čidlo teploty. Využívá principu termoelektrického jevu. Může být případně používán také jako spolehlivý zdroj elektrického proudu, ale jeho energetická účinnost a výkon jsou malé.

Termočlánek je tedy snímač pro měření teploty sestávající ze dvou různorodých kovů (a,b) spojených do jednoho bodu.



Obr.10 Měřící obvod termočlánku [18]

Když je tento spoj dvou kovů zahříván nebo chlazen, vzniká napětí úměrné k teplotě (Seebeckův jev). Termočlánekové slitiny jsou dodávány jako dráty. Pro správnou funkci snímače je nutné aby teplota srovnávacího spoje byla konstantní a $t_1 > t_2$, nebo aby vliv termoelektrického napětí tohoto spoje byl kompenzován.

Seebeckův jev je přeměna teplotních rozdílů přímo na elektrické napětí. Jev je vznik napětí, který nastává při teplotních rozdílech mezi dvěma rozdílnými kovy nebo polovodiči. To způsobuje nepřetržité proudění elektronů, pokud vodiče vytvoří uzavřený obvod. Vzniklé napětí je v řádu několika mikrovoltů na stupeň Celsia.

Platí vzorec:

$$U = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dT \quad , \text{ kde} \quad (2.5)$$

S_A a S_B jsou Seebeckovy koeficienty kovů A a B [-]

T_1 a T_2 jsou teploty spojů [$^{\circ}\text{C}$]

Významné použití termočlánků je u kosmických sond k vnějším planetám. Je součástí radioizotopového termoelektrického generátoru. Zde se využívá především dlouhodobé spolehlivosti termočlánku.

Termočlánek je k dispozici v různých kombinacích kovů nebo kalibrací. Nejpoužívanější kalibrace jsou J, K, T a E viz. tabulka č.1. Každý typ kalibrace má různý teplotní rozsah a pracovní podmínky, ačkoliv se maximální teplota mění dle průměru drátu použitého na termočlánek. I když typ kalibrace termočlánku určuje rozsah teploty, je maximum rozsahu také omezeno průměrem termočlánekového drátu.

Tabulka č.1 Rozsahy teploty a přesnosti pro J, K, E a T termočlánky [3]

Teplotní rozsahy běžných termočlánků			
Kalibrace	Teplotní rozsah	Standardní přesn.	Výběrová přesn.
J	0 $^{\circ}\text{C}$ až 750 $^{\circ}\text{C}$ (32 $^{\circ}\text{F}$ až 1382 $^{\circ}\text{F}$)	Více než 2.2 $^{\circ}\text{C}$ nebo 0.75%	Více než 1.1 $^{\circ}\text{C}$ nebo 0.4%
K	-200 $^{\circ}\text{C}$ až 1250 $^{\circ}\text{C}$ (-328 $^{\circ}\text{F}$ až 2282 $^{\circ}\text{F}$)	Více než 2.2 $^{\circ}\text{C}$ nebo 0.75%	Více než 1.1 $^{\circ}\text{C}$ nebo 0.4%
E	-200 $^{\circ}\text{C}$ až 900 $^{\circ}\text{C}$ (-328 $^{\circ}\text{F}$ až 1652 $^{\circ}\text{F}$)	Více než 1.7 $^{\circ}\text{C}$ nebo 0.5%	Více než 1.0 $^{\circ}\text{C}$ nebo 0.4%
T	-250 $^{\circ}\text{C}$ až 350 $^{\circ}\text{C}$ (-328 $^{\circ}\text{F}$ až 662 $^{\circ}\text{F}$)	Více než 1.0 $^{\circ}\text{C}$ nebo 0.75%	Více než 0.5 $^{\circ}\text{C}$ nebo 0.4%

Veškeré termočlánekové typy jsou uvedeny v příloze č.7.

Protože termočlánek měří v širokém rozsahu teplot a může být relativně robustní, jsou termočláanky používány velmi často v průmyslu. Pro výběr termočláanky se používají následující kritéria:

- teplotní rozsah
- chemická odolnost termočláanky nebo materiálu pláště
- odolnost proti abrazi a vibracím
- požadavky instalace

Plášťované termočláankové sondy jsou k dodání ve třech typech měřícího konce: uzemněný, neuzemněný nebo odhalený. U uzemněného měřícího konce sondy jsou termočláankové dráty fyzicky spojeny s vnitřní stěnou pláště termočláanky. To má za následek dobrý přenos tepla z vnějšku přes stěnu pláště sondy k termočláankovému spoji. V neuzemněné (izolované) sondě je termočláankový spoj oddělen od stěny pláště sondy. Odezva u tohoto termočláanky je pomalejší než u typu uzemněného, ale vyskytuje se zde elektrická izolace.



Obr.11 Provedení měřícího konce [4]

Termočlánek s nechráněným spojem má spoj vystrčený vně z konce pláště a je tak vystaven okolní atmosféře. Tento typ nabízí nejlepší odezvu, avšak použití je omezeno na suché nekorozivní a beztlakové aplikace.

2.3.1 Druhy termočláanků [18]

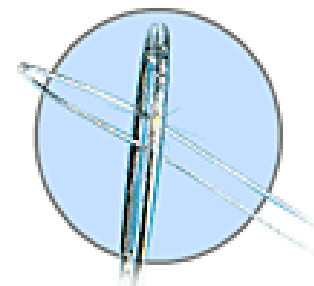
- *Drátové termočláanky svařované do kuličky*

Tyto termočláanky jsou nejjednodušší formou termočláanky. Termočlánek se sestává ze dvou termočláankových drátů spojených k sobě svařením do kuličky. Protože je tento spoj termočláanky nechráněný, jsou zde aplikační omezení. Svařené termočláankové dráty by se neměly používat s kapalinami, mohly by korodovat nebo oxidovat. Kovové povrchy mohou být také problematické. Často se kovové povrchy, zejména trubky, používají k uzemnění elektrických systémů. Přímé spojení s elektrickým systémem by mohlo ohrozit měření termočláankem. Obvykle jsou tyto svařované drátové termočláanky dobrou volbou pro měření teploty plynu.

Protože mohou být vyrobeny velmi malé, mají také velmi rychlou odezvu.

- *Termočláankové sondy*

Termočláanková sonda sestává z termočláankového drátu umístěného v kovové trubce. Stěna trubky se nazývá pláštěm sondy. K obvyklým materiálům pláště patří nerezová ocel. Vydrží větší teplotní rozsahy než nerez, avšak často se dává přednost nerezové oceli pro její značně širokou chemickou odolnost. Pro velmi vysoké teploty jsou k dispozici i jiné zvláštní materiály pláště. Termočláankové sondy pro vysoké teploty jsou uvedeny v příloze č.8.



Obr.12 Termočláankový spoj svařovaný do kuličky [4]

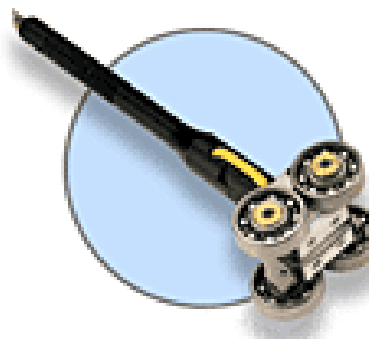


Obr.13 Termočláanková sonda Super OMEGACLAD[®] XL s rukojetí [4]

Vlastnosti: vynikající přesnost, vynikající stabilita, použitelné do 1335°C (2440°F), vynikající dlouhodobá stálost při vysokých teplotách, výborná odolnost vůči oxidaci, vyrobeno z vysoce kvalitních materiálů, nízká teplotní odchylka.

- *Sondy pro měření teploty povrchů*

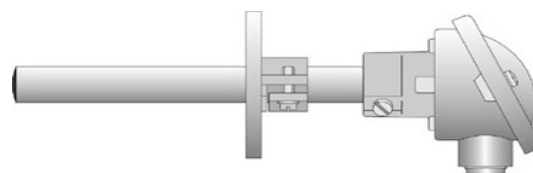
Měření teploty kovových povrchů je obtížné pro většinu snímačů teploty. Aby se zajistilo přesné měření, musí být vstupní část snímače v kontaktu s měřeným povrchem. Toto je obtížné zajistit, pokud je neohebný snímač i povrch. Protože jsou termočlánky provedeny z pružných kovů, může být měřící spoj proveden jako plochý a tenký element, aby se dosáhlo co nejlepšího kontaktu s pevným povrchem. Tyto termočlánky jsou pro povrchová měření tou nejlepší volbou. Termočlánek může být umístěn i na rotujících mechanismech.



Obr.14 Sonda pro měření teploty povrchu [4]

- *Tyčové termočlánky*

Používají se pro teploty – 200°C až +1600°C. Ochranné trubice jsou z různých materiálů, vyrábí se v provedení jednoduché nebo dvojitě. Tyčové termočlánky jsou využívány pro měření teploty kapalin a plynů. Důležitou oblastí použití jsou pece a zařízení pro průmyslová odvětví strojírenství.



Obr.15 Tyčový termočlánek s připojovací hlavicí formy A [12]

- *Plášťové termočlánky*

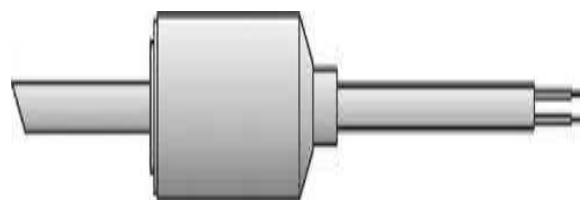
Mají ohebné otřesuvzdorné plášťové vedení s minerální izolací, krátkou dobu odezvy. Průměr ochranné trubice bývá od 0,5 mm. Vestavné délky se vyrábějí podle specifikace uživatele. Díky své speciální vlastnosti – minerální izolace - se používají v chemických továrnách, elektrárnách, v konstrukcích motorů atd. Používají se pro teploty od – 200 do + 150°C.



Obr.16 Plášťový termočlánek [12]

- *Vpichové termočlánky*

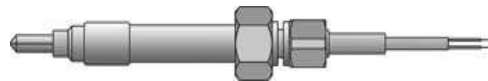
Vzhledem ke své zvláštní konstrukci (robustní, parotěsné) jsou zvláště vhodné pro uzení, vaření, pečení tzn. ve všech procesech zpracování potravin. Všechny verze mají vibračním odolnou konstrukci. Rukojeť je odolná vůči mastným kyselinám. Používají se pro teploty od – 100 do + 260°C. Jsou parotěsné a tlakotěsné. Mají vysokou mechanickou odolnost, používají se v potravinářském průmyslu.



Obr.17 Vpichový termočlánek [12]

- *Závitové termočlánky*

Používají se pro teploty -40 až $+600^{\circ}\text{C}$. Jsou dodávány s různými typy termopárů. Ochranná armatura a měřicí špička bývá z nerez. Využívá se v plastikářském průmyslu. Podle požadavků je možné provedení konce teploměru se špičkou nebo ve tvaru meče.



Obr.18 Termočlánek masy taveniny [12]

2.4 Použití, přednosti a nedostatky dotykového měření teploty [2]

Přes rostoucí význam bezkontaktního měření teploty na bázi infračerveného záření se teplota měří v průmyslu nejčastěji kontaktními metodami. Teplotní čidlo je zde v přímém kontaktu s měřeným povrchem.

Pomineme-li klasické rtuťové a kovové teploměry, uplatňují se obvykle měřicí řetězce sestavené ze snímače, převodníku a vyhodnocovací jednotky.

Přednosti:

- menší náklady na měřicí přístroje než u bezdotykových metod
- jednoduché přístroje

Použití:

- pro měření teplot ve všech odvětvích průmyslu
- zemědělství
- zdravotnictví
- laboratorní měření
- domácnost
- astronautika (kosmické sondy – termočlánky)

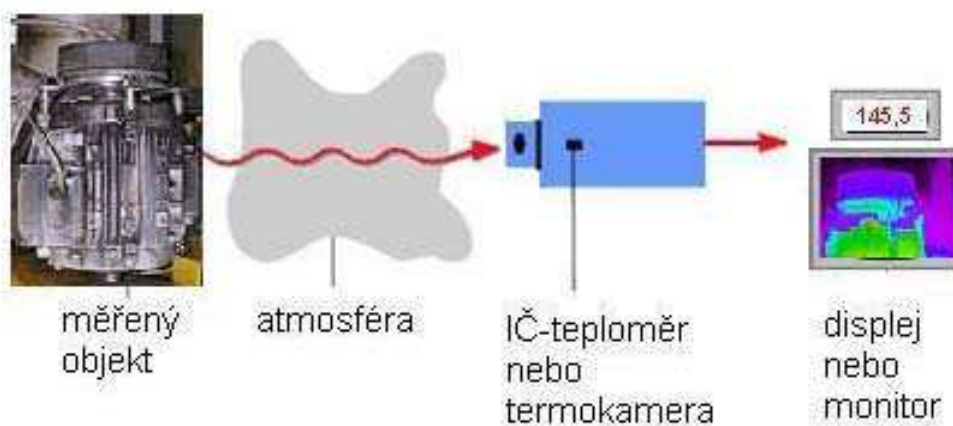
Nedostatky:

- chyba měření způsobená špatným kontaktem mezi teplotním čidlem a měřeným povrchem
- chyba měření způsobená ovlivněním teploty měřeného povrchu přímo teplotním čidlem
- nelze měřit teplotu rotujících a pohybujících se těles
- měření teploty jen v určitém místě (bodě) tělesa
- nelze měřit rychlé změny teplot

3 TEPLoměRY BEZDOTYKOVÉ [13]

Přístroje pro bezdotykové měření teploty nacházely původně uplatnění v takových provozech a aplikacích, kde bylo třeba měřit vysoké teploty (obvykle nad 500 °C) a nebylo možno použít dotykový teploměr. Jednalo se zejména o aplikace v metalurgii, chemickém a zejména silikátovém průmyslu (sklářství, cementárny, vápenky, keramický průmysl). V průběhu posledních let se aplikace bezdotykových teploměrů posunula k výrazně nižším teplotám, včetně měření teplot nižších než 0 °C. Nyní se s bezdotykovými teploměry setkáváme v potravinářství, elektronice, průmyslu papírenském, farmaceutickém, při zpracování plastických hmot apod.

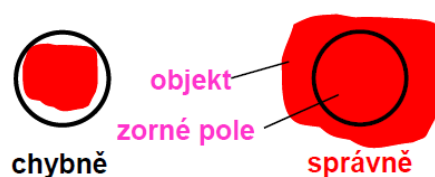
Přenosné bezdotykové teploměry nacházejí široké uplatnění při detekci tepelných ztrát a poruch, při kontrole potrubičních systémů, nádrží apod. K měření rozložení teploty na povrchu objektů a k diagnostickým účelům se stále častěji využívají termokamery (termovizní kamery), které patří k nejmodernější termodiagnostické technice. Při bezdotykovém měření teploty se využívá zejména vyzařování infračerveného záření z měřeného objektu. Toto záření je optickým systémem soustředěno na vhodný detektor, jehož elektrický signál je dále zpracován v elektronických obvodech a výstupem je pak údaj na displeji nebo termogram na monitoru vyhodnocovacího zařízení .



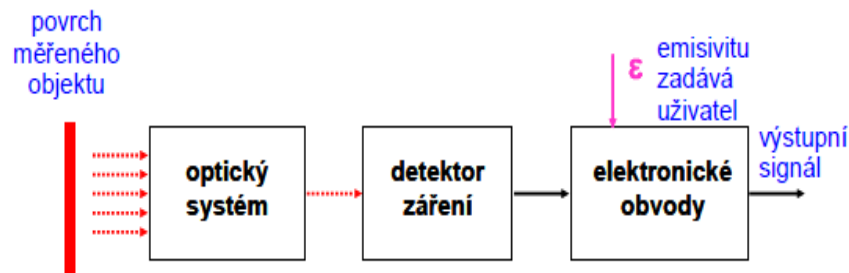
Obr. 19 Bezdotykové měření teploty [2]

Pro bezdotykové měření teploty se využívá elektromagnetické záření o vlnových délkách 0,4 až 25 μm . Uvedené rozsahy vlnových délek pokrývají měření teplot v rozmezí od -40 °C do +10000 °C . Přístroje založené na měření teplotního záření umožňují měření v celém rozsahu teplot.

Emisivita je schopnost tělesa vyzařovat teplo. Definuje se jako poměr energie vyzařované objektem při dané teplotě k energii ideálně černého tělesa při stejné teplotě. Emisivita černého tělesa je rovna 1,0. Emisivita je velmi důležitým faktorem IČ-termometrie a její vliv není možno zanedbávat. Emisivita závisí na materiálu, úpravě povrchu a oxidaci povrchu.



Obr.20 Správnost zaměření pyrometru [13]



Obr.21 Blokové schéma bezdotykového teploměru [13]

Bezdotykový teploměr se označuje jako pyrometr. Toto označení pochází z doby, kdy se bezdotykové teploměry používaly pro měření vysokých teplot (Pyros – z řečtiny oheň). Existuje mnoho různých typů pyrometrů.. Jsou to jednak infračervené teploměry, využívané pro měření teploty na omezené ploše povrchu objektu a jednak termokamery, které slouží pro měření a vyhodnocování teplotních polí na povrchu měřeného objektu.

Teoretickým základem, na kterém pyrometry fungují, je Stefanův-Boltzmannův zákon, pomocí kterého se vyjadřuje celková vyzářená energie za jednotku času z jednotkové plochy absolutně černého tělesa. Platí vztah:

$$E_0 = \sigma_0 \cdot T^4, \text{ kde}$$

E_0 je zářivost černého tělesa [W/m^2]

σ_0 je Stefan-Boltzmanova konstanta [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$]

T je absolutní teplota [K]

K bezdotykovému měření teploty je tedy nutné znát emisivitu objektu, to jest schopnost objektu odrážet tepelný paprsek. Emisivita ε je rovna poměru intenzit záření reálného povrchu a absolutně černého tělesa. Ta může nabývat hodnot od 0 (lesklé zrcadlo) do 1,0 (černé těleso). Většina organických, nabarvených nebo zoxidovaných povrchů má emisivitu blízkou hodnotě 0,95.

3.1 Pyrometry [13]

Podle způsobu detekce záření se pyrometry dělí na:

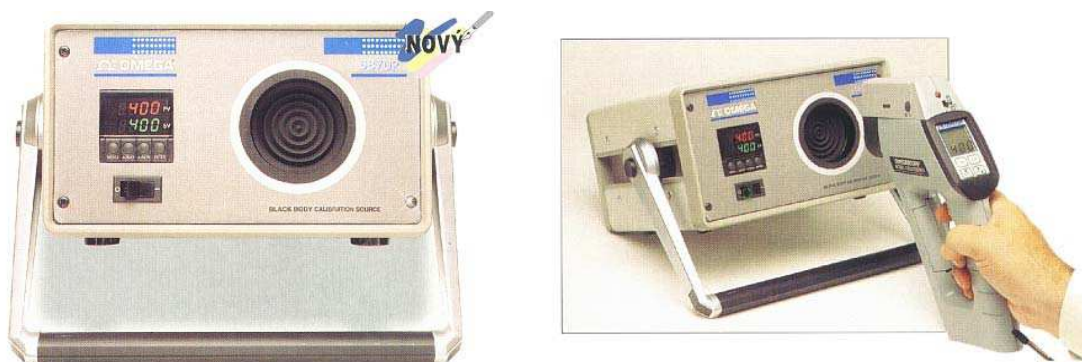
- *Subjektivní* - detektorem záření je lidské oko
- *Objektivní* - záření je detekováno selektivními nebo neselektivními detektory záření

Podle oblasti spektra, která se využívá k měření, pyrometry dělíme na:

- úhrnné (širokopásmové, radiační)
- pásmové (úzkopásmové)
- poměrové

Kalibrace bezdotykových teploměrů

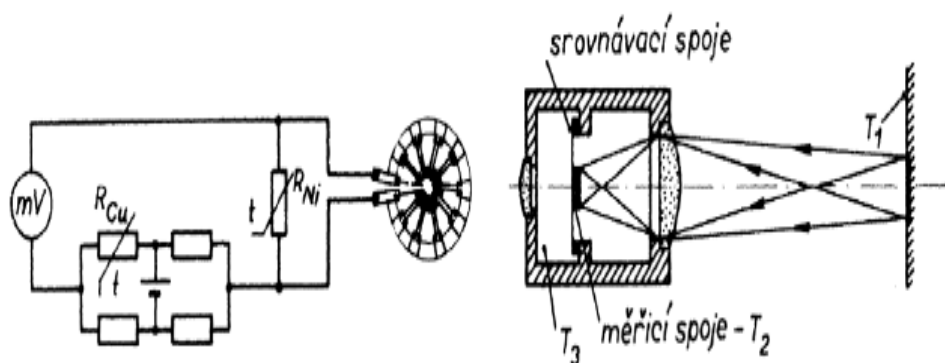
Bezdotykové teploměry je nutno pravidelně kalibrovat a k tomu se velmi často používá černého tělesa. Základem kalibrátorů s černým tělesem je obvykle válcová dutina vyrobená z kovového materiálu, povrchově upravena černou barvou. Emisivita povrchu dna dutiny je známa a pohybuje se v rozmezí 0,98 až 0,99. Teplota dna válcové dutiny je udržována na požadované hodnotě pomocí vhodného regulátoru teploty. Při kalibraci se bezdotykový teploměr zaměří na plochu dna již zmiňované válcové dutiny a nastane kalibrace.



Obr. 22 Kalibrace bezdotykového teploměru [14]

3.1.1 Úhrnné pyrometry (širokopásmové)[17]

Pracují s vlnovými délkami od (0,4 až 2,5) μm až do 20 μm . Horní a dolní mez širokopásmového přístroje závisí na použitém optickém systému. Konstrukčně jsou tyto přístroje nejjednodušší a nejlevnější. Radiační pyrometry se označují se jako pyrometry úhrnné, celkové a integrační. Využívají tepelného záření ve velké oblasti vlnových délek (teoreticky v celém rozsahu), který je omezen pouze absorpční schopností detektoru a propustností optiky pyrometru. Emisivita nečerných zářičů je silně závislá na jakosti povrchu tělesa, materiálu a teplotě. Protože korekce údaje pyrometru je velmi obtížná, používají radiační pyrometry k měření teploty pouze černé zářiče, popř. zářiče jim blízké. Tepelné záření se soustřeďuje na čidlo (termočlánek, termistory) optickou soustavou.



Obr. 23 Termoelektrický radiační pyrometr [17]

3.1.2 Pásmové (úzkopásmové) pyrometry [13]

Pracují v relativně úzkém rozmezí vlnových délek, přičemž volba tohoto rozmezí souvisí s požadovaným účelem měření. K detekci infračerveného záření se využívají kvantové senzory záření. Mezi takové senzory patří fotonky, fotočlánek, fotodiody, fototranzistory a fotoodpory. Jejich výhodou je velmi rychlá reakce na změny teploty a možnost měření teploty i malých objektů. Přístroj je vybaven digitálním LCD-displejem, který zobrazuje aktuální měřenou teplotu, dále minimální, maximální nebo střední teplotu, případně rozdíl teplot, nastavenou hodnotu emisivity a další znaky. Přístroj umožňuje: měření teploty povrchu objektu ve vzdálenosti od 132 mm do přibližně 59 m, měření teploty různých povrchů při nastavení emisivity od 0,1 do 1,00 s krokem 0,01



Obr. 24 Ruční infračervený teploměr OS 520 s detailem LCD displeje [13]

3.1.3 Poměrové pyrometry [16]

Měří energii vyzařovanou objektem na dvou úzkých pásmech vlnových délek a vypočítávají poměr těchto energií, který je funkcí teploty objektu. Původně se tyto přístroje označovaly jako „dvoubarevné pyrometry“, protože uvedené dvě vlnové délky odpovídaly dvěma různým barvám ve viditelném spektru (např. červená a zelená). Jedná se však o poměrně složité přístroje, které se využívají jen pro speciální účely.



Obr. 25 Poměrový pyrometr [16]

Při vývoji těchto přístrojů byly zohledněny dlouholeté zkušenosti výrobce i uživatelů a využity nejnovější poznatky z bezkontaktního měření teplot. Mají všechny osvědčené technické parametry a navíc mají rozšířené teplotní rozsahy a dokonalejší optiku. Pyrometry mají robustní nerezové pouzdro a vestavěný ovládací panel s pomocným displejem. Mohou být osazeny CCD kamerou pro průběžné sledování měřeného procesu na PC nebo TV monitoru a snadnější zaměřování. Princip poměrového měření umožňuje měřit teploty s vysokou přesností. Ve speciálním vodou chlazeném termoplášti odolají pyrometry okolním teplotám až do 315 °C.

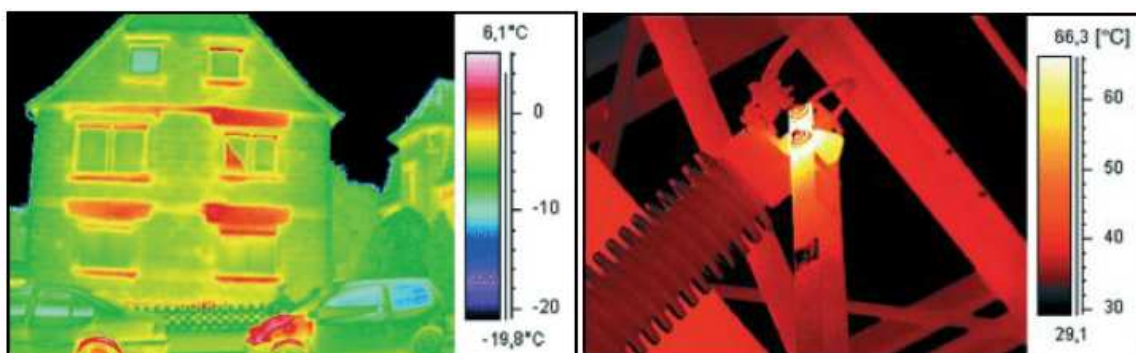
3.2 Termokamery, termografie [7]

Infračervená termografie je obor, který se zabývá analýzou rozložení teplotního pole na povrchu tělesa, když data o teplotě byla získána bezkontaktním měřením. Termografickým měřicím systémem lze zobrazit teplotní pole na povrchu měřeného objektu. Obor termografie se v širším měřítku rozvinul společně s rozšířením termokamer (infračervených kamer), pro které se obecně vžil i termín termovizní kamera, resp. termovize.



Obr. 26 Termokamera FLIR T400 [3]

Informace o zobrazovaném objektu a prostředí, kterým je objekt obklopen (tj. pozadí a okolní atmosféra) je termovizním systémem zobrazena jako tepelný obraz (termovizní snímek) ve formě termogramu. Termogram je možno pozorovat buď přímo na monitoru termokamery nebo po přenosu do PC na monitoru počítače.



Obr. 27 Termogram domu a rozvodny vysokého napětí [3]

Lidské oko nemůže infračervené záření vnímat. Přesto všechny předměty, jejichž teplota se nachází nad bodem absolutní nuly (-273°C), vyzařují infračervené záření.

Termokamera může převést infračervené záření dopadající na její detektor, na elektrický signál a tímto způsobem jej zviditelnit. Díky vynikající kvalitě obrazu, která je dána kvalitou širokouhlého objektivu, a na základě velmi vysokého teplotního rozlišení ($<0,1^{\circ}\text{C}$), je možné vidět i ty nejmenší teplotní rozdíly a to již od cca 10 cm od objektu zájmu. Měřicí rozsah kamery je -20°C až $+350^{\circ}\text{C}$. Výměnné objektivy zajišťují vysokou flexibilitu a podle požadavku možnost vidět vždy ten správný výřez obrazu. Integrovaná digitální kamera s osvětlovacími LED diodami podstatně usnadňuje dokumentaci. Jedinečným prvkem pro termografii ve stavebnictví je zobrazení povrchové vlhkosti pomocí dynamického měření vlhkosti a výpočet parametrů pro rychlou lokalizaci míst ohrožených tvorbou plísní. Mobilní termokamery snímají provozní prostředky a objekty a převádějí infračervené záření do viditelných tepelných schémat zvaných termogramů tak, aby bylo možno provést kvalitativní a kvantitativní analýzu teplot. Přímou na místě měření lze zobrazit např. nejteplejší a nejchladnější bod, izotermu, rozložení povrchové vlhkosti a pod. Použití termokamery nabízí v mnoha oblastech velký potenciál pomoci. Mají velký význam jak při preventivní údržbě, tak také v oblasti kontroly staveb a výroby a rovněž v technické diagnostice. Odhalí odchylky a umožní tak přesné vyhledání závady. Lze tak zavčas provést opatření pro její

odstranění. Naprosto nedestruktivně kontroluje materiály a stavební díly a zviditelní problémy dříve, než dojde k havárii. Zatím co u ostatních metod se musí zastavit výroba nebo např. je nutno rozebrat systém rozvodu a potrubí, stačí s termokamerou jeden jediný pohled

V mnoha případech – ať už v řemeslné nebo průmyslové oblasti – se při využití termografie nabízejí možnosti pro zlepšení kvality, pro zabezpečení výrobních procesů nebo pro poskytování nových služeb. Získané termosnímky lze vyhodnotit v profesionálním software, jehož výstupem pak je termografická zpráva odpovídající příslušným normám.



Obr. 28 Mobilní termokamera Testo 880 [14]

Kamera MobIR M4 představuje novinku v oblasti termografického měření. Díky její nepatrné velikosti, hmotnosti a snadné ovladatelnosti představuje průlom v rychlém a přesném vyhodnocení teploty. Tato kamera se dá využít téměř ve všech odvětvích průmyslu.



Obr. 29 Mobilní termokamera MobIR M4 [15]

Použití termografie v průmyslu:

Automobilový průmysl (vyhřívání skel, sedadel, tepelné zatížení motoru a jeho komponentů, kontrola ložisek a brzd).

Slévárenství a hutnický průmysl (kontrola homogenity odlitku, tuhnutí odlitku, otevřené formy).

Hydraulické a pneumatické systémy (kontrola hydraulických prvků-potrubní systémy, ventily, tanky, detekce úniků, havarijních stavů potrubí)



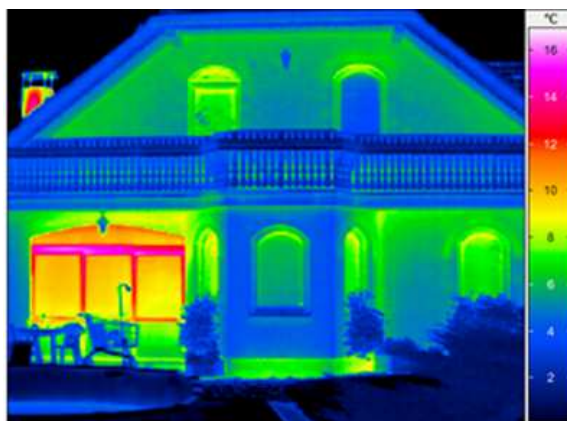
Obr. 30 Fotografie a termogram teplovodního potrubního rozvodu [7]

Příklady použití termografie ve stavebnictví:

Detekce tepelných ztrát způsobených (nedostatečnou tepelnou izolací, tepelnými mosty)

Detekce konstrukčních vad budov (skryté konstrukční prvky -tepelné mosty, vlhkost zdiva, plísně)

Detekce problémů s instalacemi (detekce prasklých vodovodních vedení, problémy v elektroinstalaci, otopné systémy, podlahové topení)



Obr. 31 Fotografie rodinného domku s jeho termogramem [7]

3.3 Použití, přednosti a nedostatky bezdotykového měření teploty [13]

Použití:

- měření rozložení teplot na povrchu objektů (na technologickém zařízení, elektronických obvodech, na povrchu biologických objektů)
- měření teplot pohybujících se objektů (potravinářské výrobky, rotující objekty, běžící pásy apod.)
- měření rychlých změn teploty
- diagnostická a inspekční měření (prevence vzniku poruchových a havarijních stavů (teplotní změny na el. obvodech, na tepelných zařízeních, diagnostika v lékařství apod.)

Přednosti:

- zanedbatelný vliv měřicího zařízení na měřený objekt
- možnost měření rotujících a pohybujících se těles
- možnost měření rychlých teplotních změn
- možnost snímání rozložení teplot na celém povrchu objektu (termovize)

Nedostatky:

- chyba způsobená nejistotou stanovení emisivity měřeného objektu
- chyba způsobená prostupností prostředí (absorpce tepelného záření v prostředí mezi měřeným objektem a pyrometrem – sklo, CO₂, vodní páry, dým)
- chyba způsobená odraženým zářením z okolního prostředí

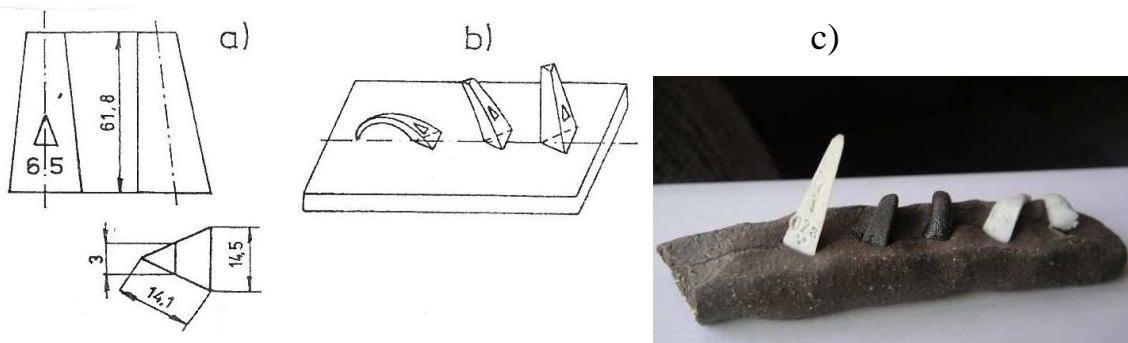
4 ZVLÁŠTNÍ ZPŮSOBY MĚŘENÍ TEPLoty [18]

4.1 Keramické žároměrky [6]

Jsou to nevratné indikátory a vyrábějí se z kysličníků SiO₂, Al₂O₃ s příměsí dalších kysličníků (MgO, CaO, PbO). Nejistota měření teploty je do $\pm 15^{\circ}\text{C}$. Používají se při kontrole teploty v pecích při vypalování keramických výrobků.

Keramické žároměrky jsou trojboké komolé jehly se šikmou tělesnou osou. Žároměrky jsou zhotoveny z keramických hmot, které při předepsaných podmínkách ohřevu měknou a mění svůj tvar – ohýbají se: Charakteristickou vlastností je tzv. žároměrná deformace, při které se vrchol žároměrky dotkne podložky. Tato deformace je časově závislá i na časovém průběhu teploty.

Keramické žároměrky jsou provozní, laboratorní, normálové a zkušební. Teplotní rozsah provozních žároměrek je 600°C až 1540°C , laboratorní 600°C až 1980°C



Obr. 32 Keramické žároměrky [1]

Obr. a) provedení žároměrky, Obr. b) použití při měření, Obr. c) fotografie keramických žároměrek při konkrétním měření teploty daného materiálu.

Každé žároměrce přiřazuje výrobce teplotu. Žároměrky se v peci s vysokou teplotou deformují a když se špička žároměrky dotkne podložky, je dosažena v peci požadovaná teplota. Do pece se nejčastěji vkládají na podložce 4 žároměrky. Dvě jsou signální a mají nižší čísla a slouží k včasnému upozornění, že se blíží očekávaná maximální teplota, jedna je kontrolní a ukazuje zda zboží nebylo přepáleno. I když je složení žároměrky dost přesné, nelze s určitostí tvrdit, že žároměrka ukázala teplotu, kterou byla označena, protože deformace závisí i na rychlosti výpalu a také na pecní atmosféře.

4.2 Barevné indikátory teploty [5]

Podle principu činnosti lze barevné indikátory rozdělit na čtyři základní typy – chemické, tavné, kapalně krystalové, luminiscenční.

Přehledné rozdělení, teplotní rozsahy a další údaje k barevným indikátorům teploty jsou uvedeny v příloze č.9.



Obr. 33 Samolepící teploměrné štítky (termochromní barvy) [18]

4.2.1 Termokřídy [5]

Princip měření spočívá na změně skupenství na rozdíl od běžně používaných termoindikátorů, které teplotu měří změnou barvy. Termokřídy jsou nevratné indikátory z keramického prášku stmelěného pojivem. Vyrábějí se stejně jako teploměrové kapaliny. Termoindikátory ve formě termokříd jsou určeny na praktické a rychlé měření povrchových teplot předmětů. Každá termokřída je opatřena údajem o teplotě, pro kterou je určena. Mezi přednosti termokříd patří rychlost a jednoduchost měření, možnost uskutečnit až 2000 měření jednou křídou. Používají se na měření teploty při svařování a pájení kovů, jako měření teplot přehřevu. Největší využitelnost představuje praktické a rychlé měření povrchových teplot předmětů.



Obr. 34 Termokřídy [5]

5 ZÁVĚR [18]

Bakalářská práce formuluje obecné měření teploty a základní rozdělení přístrojů, kterými se tato fyzikální veličina měří. Hlavními kapitolami projektu je dělení teploměrů na dotykové a bezdotykové. V podkapitolách následuje další dělení již dle jejich konkrétních principů činnosti a způsobu výroby.

Rozvíjejícími se metodami měření teploty jsou v posledním období především metody bezdotykové. Rozvoj těchto metod je dán především stále více pronikáním výpočetní techniky do jednotlivých odvětví průmyslu. Termografie se tak stává nezbytným prvkem v diagnostice, opravách a konstrukčních činnostech jak v průmyslu, tak v privátním využití.

Existuje mnoho druhů teploměrů, které lze pro měření teplot využít. Pro zvolení způsobu měření teploty včetně volby konkrétního přístroje nutné vzít v potaz několik základních hledisek jako jsou: požadovaný rozsah měřené teploty, pohybující se předmět, stacionární předmět, požadovaná přesnost měření, pořizovací náklady, možnost externího napájení teploměru, prostředí umístění teploměru (teplota, chem. vlivy, ...), možnost umístění teploměru na měřený předmět (vzdálenost, teplota, ...), jde o jednorázové měření teploty nebo kontinuální, archivace naměřených hodnot (PC, termogramy, ...).

Práce zahrnuje kompletní přehled metod měření teploty a s tím související rozdělení přístrojů. Jasně vysvětluje volby jednotlivých metod měření a vhodnost či nevhodnost použití konkrétních druhů teploměrů. Příkladem může být měření teploty pláště rotační pece na výrobu slinku. Jedná se o „srdce“ každé cementárny a teplota pláště pece je velice důležitý údaj, který technologa informuje o stavu vyzdívky pece, nálepcích a vlastním technologickém procesu pálení. Teplota se zde měří pomocí stacionární termovize.

V cementárně jsou i další metody a přístroje měření teploty na různých technologických zařízeních jako jsou ložiska, oleje, voda, povrchové teploty technologického zařízení, teploty surovin – materiálů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ČECH, Jaroslav , Jiří, PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ: Strojírenská metrologie. Skriptum FSI VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno 2005. 175 s. ISBN 80-214-3070-2.
2. *Bimetal*. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, , last modified on 11.8.2010 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Bimetal>>.
3. *Ústav fyziky a měřicí techniky* [online]. 2011 [cit. 2011-05-25]. Aktuální informace. Dostupné z WWW: <<http://tresen.vscht.cz/ufmt/>>.
4. *Omegaeng.cz* [online]. 1995-2011 [cit. 2011-05-25]. Omega Engineering Česká republika. Dostupné z WWW: <<http://www.omegaeng.cz/>>.
5. *Stroje a materiály pro svařování* [online]. 2009 [cit. 2011-05-25]. Termokřída. Dostupné z WWW: <<http://www.formicaweld.cz/5000%7C.d.MER020.termokrida-.html>>.
6. *Fyzmatik* [online]. 2011 [cit. 2011-05-25]. Měření teploty pomocí žároměrek. Dostupné z WWW: <<http://fyzmatik.pise.cz/122189-mereni-teploty-pomoci-zaromerek.html>>.
7. *Termografie* [online]. 2010 [cit. 2011-05-25]. Termovizní měření. Dostupné z WWW: <<http://www.vaseenergie.cz/>>.
8. *Unimed* [online]. 1991 [cit. 2011-05-25]. Laboratorní technika. Dostupné z WWW: <<http://www.unimed.cz/5735-232-493-produkt-Dlouhy-digitalni-tycovy-teplomer-pro-zemedelske-ucely,-delka-2000-mm.->>>.
9. *Teplom%C4%9Br*. In *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, , last modified on 8.3.2011 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Teplom%C4%9Br>>.
10. *Měřicí a regulační technika* [online]. 8.3.2011 [cit. 2011-05-25]. ZPA Nová Paka,a.s. Dostupné z WWW: <<http://www.zpanp.cz/>>.
11. *Omegaeng.cz* [online]. 1995-2011 [cit. 2011-05-25]. Průmyslové odporové teploměry. Dostupné z WWW: <<http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=PR-15&nav=temc05>>.
12. *Termočlánky* [online]. 2011 [cit. 2011-05-25]. Termočlánky - JUMO. Dostupné z WWW:<http://www3.jumo.de/pio/JUMO/cs_CZ/cat/f216db140f216db140a090a052d21932ae223815b/termo%c4%8dl%c3%a1nky.html>.
13. *Teoretické základy bezdotykové pyrometrie* [online]. 2011 [cit. 2011-05-25]. Bezdotykové teploměry. Dostupné z WWW: <http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/mrt_fpbt/laboratore/Bezdotykov_e_tplomery.pdf>.
14. *Pro - Pasiv* [online]. 2005 - 2011 [cit. 2011-05-25]. Termokamera. Dostupné z WWW: <<http://www.pro-pasiv.cz/termokamera>>.
15. *Měřicí a optické přístroje* [online]. 2008 [cit. 2011-05-25]. Elty. Dostupné z WWW: <<http://www.merici-opticke-pristroje.cz/Default.aspx>>.
16. *Systémové bezkontaktní teploměry* [online]. 1991 - 2011 [cit. 2011-05-25]. TSI System. Dostupné z WWW: <<http://www.tsisystem.cz/produkty/marathon--216>>.
17. *Technické reference* [online]. 1995 [cit. 2011-05-25]. Omega. Dostupné z WWW: <<http://www.omegaeng.cz/prodinfo/TemperatureLabels.html>>.
18. *Měření teploty pomocí mikrokontroléru* [online]. 2008 [cit. 2011-05-25]. Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z WWW: <http://uai.fme.vutbr.cz/szz/2008/BP_Harcar.pdf>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
T	Absolutní teplota	[K]
t	Celsiova teplota	[°C]
p	Tlak	[Pa]
V	Objem	[m ³]
R	Universální plynová konstanta	[N.m.K ⁻¹]
Δl	Velikost délkové změny	[mm]
α	Součinitel délkové teplotní roztažnosti	[K ⁻¹]
l_0	Původní délka	[mm]
η	účinnost	[-]
Δt	Velikost změny teploty	[°C]
ΔV	Velikost objemové změny	[m ³]
δ	Součinitel objemové teplotní roztažnosti	[K ⁻¹]
β	Součinitel tlakové rozpínivosti	[Pa ⁻¹]
R_1	Odpor vodiče	[Ω]
γ	Teplotní součinitel elektrického odporu	[K ⁻¹]
E_0	Zářivost černého tělesa	[W/m ²]
σ_0	Stefan-Boltzmanova konstanta	[W/m ² .K ⁴]

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č.1** Definiční pevné body ITS 90 [1]
Příloha č.2 Definice historických i současných teplotních stupnic pomocí referenčních bodů teploty.[2]
Příloha č.3 Přepočítání číselné hodnoty teploty z jedné do druhé teplotní stupnice (omezeno na stupnice používané v současnosti) [2]
Příloha č.4 Použití teploměrů – měřicí rozsahy [1]
Příloha č.5 Členění teploměrů [1]
Příloha č.6 Měřicí rozsahy vybraných teploměrů [1]
Příloha č.7 Typy termočlánků [4]
Příloha č.8 Termočlánkové sondy pro vysoké teploty [4]
Příloha č.9 Klasifikace barevných indikátorů teploty [1]

Příloha č.1 Definiční pevné body ITS 90 [1] 1/9

T_{90} [K]	T_{90} [°C]	Látka	Stav
3 až 5	-270,15 až -268,15	He	a
13,8033	-259,3467	e-H ₂	b
17	-256,15	e-H ₂	a
20,3	-252,85	e-H ₂	a
24,5561	-248,5939	Ne	b
54,3584	-218,7916	O ₂	b
83,8058	-189,3442	Ar	b
234,3156	-38,8344	Hg	b
273,16	0,01	H ₂ O	b
302,9146	29,7646	Ga	c
429,7485	156,5985	In	d
505,078	231,928	Sn	d
692,677	419,527	Zn	d
933,473	660,323	Al	d
1234,93	961,78	Ag	d
1337,33	1064,18	Au	d
1357,77	1084,62	Cu	d

Symbole „stav“ vyjadřují: a) tlak syté páry, b) trojný bod, tj. teplota, při které jsou v rovnováze fáze pevná, kapalná i pára, c) bod tání, d) bod tuhnutí

Příloha č.2 Definice historických i současných teplotních stupnic pomocí referenčních bodů teploty.[2] 2/9

Definice teplotních stupnic								
Stupnice	<u>Kelvinova</u> (absolutní, termodynamická)	Celsiova	Fahrenheitova	<u>Rankinova</u>	<u>Delisleova</u>	Newtonova	<u>Réaumur</u> ova	<u>Römer</u> ova
Jednotka	<u>kelvin</u>	stupeň Celsia	stupeň Fahrenheita	stupeň Rankina	stupeň Delisla	stupeň Newtona	stupeň Réaumur	stupeň Römer
značka	K	°C	°F	°Ra, °R	°De, °D	°N	°Ré, °Re, °R	°Rø
dolní referenční teplota	T ₀	T _{tr} (H ₂ O)	T(chlad.)***	T ₀	T _{tr} (H ₂ O)	T _{tr} (H ₂ O)	T _{tr} (H ₂ O)	T _{tr} (sol.)****
hodnota	= 0 K	= 0 °C **	= 0 °F	= 0 °Ra	= 150 °De	= 0 °N	= 0 °Ré	= 0 °Rø
horní referenční teplota	T _{tr} (H ₂ O)	T _{tr} (H ₂ O)	T _{tr} ***	1 °Ra = 1 °F	T _{tr} (H ₂ O)	T _{tr} (H ₂ O)	T _{tr} (H ₂ O)	T _{tr} (H ₂ O)
hodnota	= 273,16 K *	= 100 °C **	= 96 °F		= 0 °De	= 33 °N	= 80 °Ré	= 60 °Rø
navrh	<u>W. Thomson</u> , lord <u>Kelvin</u>	<u>Anders Celsius</u>	Gabriel <u>Fahrenheit</u>	<u>William Rankine</u>	<u>J.-N. Delisle</u>	<u>Isaac Newton</u>	<u>R.-A. Ferchault de Réaumur</u>	<u>Ole Römer</u>
rok vzniku	1848	1742	1714	1859	1732	~ 1700	1730	1701
oblast rozšíření	celý svět	celý svět	USA	USA	Rusko (19. stol.)	-	Záp. Evropa do konce 19. stol.	-

* Původně definována pomocí Celsiovy stupnice (teplotní rozdíl 1 K ≡ 1 °C)

** Referenční body byly v původním návrhu obrácené (podobně jako u Delisleovy stupnice); dnes definována pomocí Kelvinovy stupnice (teplotní rozdíl 1 °C ≡ 1 K)

*** Teplota chladicí směsi ledu, vody a salmiaku nebo mořské soli (-17,8 °C) a „tělesná teplota zdravého člověka“ (35,6 °C)

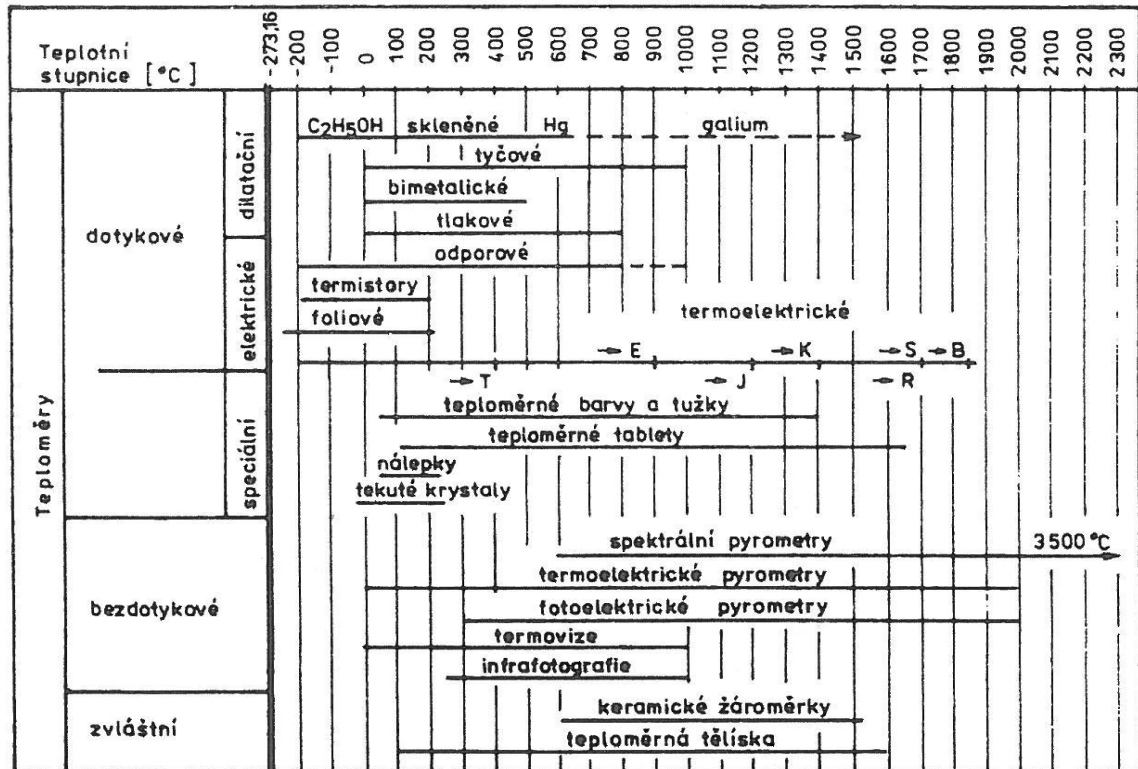
**** Bod tání solanky (nasycený roztok soli ve vodě)(-14,3 °C)

Příloha č.3 Přepočítání číselné hodnoty teploty z jedné do druhé teplotní stupnice (omezeno na stupnice používané v současnosti) [2] 3/9

Přepočítání teploty mezi stupnicemi používanými v současnosti

do \ z	Kelvinova T/K	Celsiova t/°C	Fahrenheitova t/°F	Rankinova T/°Ra
Kelvinova T/K	= T/K	= t/°C + 273,15	= (t/°F + 459,67) · 5/9	= T/°Ra · 5/9
Celsiova t/°C	= T/K - 273,15	= t/°C	= (t/°F - 32) · 5/9	= T/°Ra · 5/9 - 273,15
Fahrenheitova t/°F	= T/K · 1,8 - 459,67	= t/°C · 1,8 + 32	= t/°F	= T/°Ra - 459,67
Rankinova T/°Ra	= T/K · 1,8	= t/°C · 1,8 + 491,67	= t/°F + 459,67	= T/°Ra

Příloha č.4 Použití teploměrů – měřicí rozsahy [1] 4/9



Příloha č.5 Členění teploměrů [1] 5/9

Dotykové	Bezdotykové	Zvláštní
dilatační (skleněné, tlakové, tyčové, dvojkovové) parní	přímoměřicí pyrometry - subjektivní spektrální (jasové, monochromatické) pásmové barvové radiační	keramické žároměrky
elektrické (odporové, polovodičové, termoelektrické)	zobrazovací fotometrie	teploměrná tělíska
speciální (krystalové, tekuté krystaly, teploměrné barvy, tužky, nálepky, tablety)	termovize	

Příloha č.6 Měřicí rozsahy vybraných teploměrů [1] 6/9






Dotykové teploměry:	Měřicí rozsah [°C]
Tyčové	-30 až 1000
Bimetalické	-30 až 350
Skleněné s organickou náplní	-200 až 100
Skleněné s kovovou náplní	-30 až 630 (1000)
Tlakové kapalinové	0 až 850
Tlakové parní	-50 až 200
Tlakové plynové	-260 až 800
Odporové platinové	-270 až 850 (1000)
Odporové niklové	0 až 180
Termoelektrické T (Cu – CuNi)	-200 až 400
Termoelektrické J (Fe – CuNi)	-200 až 760
Termoelektrické E (NiCr – CuNi)	-100 až 700 (900)
Termoelektrické K (NiCr – NiAl)	-200 až 1000 (1300)
Termoelektrické S (PtRh10 – Pt)	0 až 1300 (1600)
Termoelektrické R (PtRh13 – Pt)	0 až 1300 (1600)
Termoelektrické B (PtRh36 – PtRh6)	300 až 1600 (1800)
Termoelektrické A (Wre5 – Wre20)	0 až 2500
Termoelektrické N (nikrosil – nisil)	-270 až 1370
Se světlovody	-11 až 200
S kapalnými krystaly	-20 až 250
Iontové	200 až 720
Krystalové	-80 až 250
Barevné nátěry a tužky	40 až 1400
Tavná tělíska a tablety	100 až 1650
Keramické žároměrky	600 až 2000




Bezdotykové teploměry:	
Pyrometry jasové	650 až 3500
Pyrometry pásmové	300 až 2000
Pyrometry barvové	700 až 2000
Pyrometry radiační	50 až 2300
Fototermometrie	-50 až 650
Termovize	-50 až 1000 (1500)

Příloha č.7 Typy termočlánků [4] 7/9

ANSI Code	Alloy Combination		Color Coding		Maximum Useful Temperature Range ++	Maximum Thermocouple Grade Temperature Range	EMF (mV) Over Max. Temperature Range	Standard Limits of Error** (above 0°C)	Special Limits of Error** (above 0°C)	International IEC 584-3	Comments Environment – Bare Wire	ANSI Code
	+ Lead	- Lead	Thermocouple Grade	Extension Grade								
J	IRON Fe (magnetic)	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni			Thermocouple Grade: 32 to 1382°F 0 to 750°C Extension Grade: 32 to 392°F 0 to 200°C	-346 to 2193°F -210 to 1200°C	-8.095 to 69.553	greater of 2.2°C or 0.75%	greater of 1.1°C or 0.4%		Reducing, Vacuum, Inert. Limited Use in Oxidizing at High Temperatures. Not Recommended for Low Temperatures.	J
K	CHROME-GA® NICKELCHROMIUM Ni-Cr	ALOMEGA® NICKEL-ALUMINUM Ni-Al (magnetic)			Thermocouple Grade: -328 to 2782°F -200 to 1250°C Extension Grade: 32 to 392°F 0 to 200°C	-454 to 2501°F -270 to 1372°C	-6.458 to 54.886	greater of 2.2°C or 0.75%	greater of 1.1°C or 0.4%		Clean Oxidizing and Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Wide Temperature Range, Most Popular Calibration	K
V*	COPPER Cu	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni	NONE ESTABLISHED	NONE ESTABLISHED	Extension Grade: 32°F to 176°F 0 to 80°C						Alternative to KX Type Extension Wire for Low Temperatures. Not Recommended for General Use.	V*
T	COPPER Cu	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni			Thermocouple Grade: -328 to 662°F -250 to 350°C Extension Grade: -76 to 212°F -60 to 100°C	-454 to 752°F -270 to 400°C	-6.258 to 20.872	greater of 1.0°C or 0.75%	greater of 0.5°C or 0.4%		Mild Oxidizing, Reducing Vacuum or Inert. Good Where Moisture Is Present. Low Temperature and Cryogenic Applications	T
E	CHROME-GA® NICKELCHROMIUM Ni-Cr	CONSTANTAN COPPER-NICKEL Cu-Ni			Thermocouple Grade: -328 to 1652°F -200 to 900°C Extension Grade: 32 to 392°F 0 to 200°C	-454 to 1832°F -270 to 1000°C	-9.835 to 76.373	greater of 1.7°C or 0.5%	greater of 1.0°C or 0.4%		Oxidizing or Inert. Limited Use in Vacuum or Reducing. Highest EMF Change Per Degree	E
N	OMEGA-P® NICROSIL Ni-Cr-Si	OMEGA-N® NISIL Ni-Si-Mg			Thermocouple Grade: -450 to 2372°F -270 to 1300°C Extension Grade: 32 to 392°F 0 to 200°C	-450 to 2372°F -270 to 1300°C	-4.345 to 47.513	greater of 2.2°C or 0.75%	greater of 1.1°C or 0.4%		Alternative to Type K. More Stable at High Temps	N
R	PLATINUM-13% RHODIUM Pt-13% Rh	PLATINUM Pt	NONE ESTABLISHED		Thermocouple Grade: 32 to 2642°F 0 to 1450°C Extension Grade: 32 to 300°F 0 to 150°C	-58 to 3214°F -50 to 1768°C	-0.226 to 21.101	greater of 1.5°C or 0.25%	greater of 0.6°C or 0.1%		Oxidizing or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature	R
S	PLATINUM-10% RHODIUM Pt-10% Rh	PLATINUM Pt	NONE ESTABLISHED		Thermocouple Grade: 32 to 2642°F 0 to 1400°C Extension Grade: 32 to 300°F 0 to 150°C	-58 to 3214°F -50 to 1768°C	-0.236 to 18.693	greater of 1.5°C or 0.25%	greater of 0.6°C or 0.1%		Oxidizing or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature	S
U*	COPPER Cu	COPPER-LOW NICKEL Cu-Ni	NONE ESTABLISHED		Extension Grade: 32 to 122°F 0 to 50°C						Extension Grade Connecting Wire for R and S Thermocouples, Also Known as RX and SX Extension Wire.	U*
B	PLATINUM-30% RHODIUM Pt-30% Rh	PLATINUM-6% RHODIUM Pt-6% Rh	NONE ESTABLISHED		Thermocouple Grade: 32 to 3092°F 0 to 1700°C Extension Grade: 32 to 212°F 0 to 100°C	32 to 3308°F 0 to 1820°C	0 to 13.820	0.5% over 800°C	NOT ESTABLISHED		Oxidizing or Inert. Do Not Insert in Metal Tubes. Beware of Contamination. High Temperature. Common Use in Glass Industry	B
G* (W)	TUNGSTEN W	TUNGSTEN-26% RHENIUM W-26% Re	NONE ESTABLISHED		Thermocouple Grade: 32 to 4208°F 0 to 2320°C Extension Grade: 32 to 500°F 0 to 260°C	32 to 4208°F 0 to 2320°C	0 to 38.564	greater of 4.5°C or 1.0%	NOT ESTABLISHED		Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399°C (750°F). Not for Oxidizing Atmosphere	G* (W)
C* (W5)	TUNGSTEN-5% RHENIUM W-5% Re	TUNGSTEN-26% RHENIUM W-26% Re	NONE ESTABLISHED		Thermocouple Grade: 32 to 4208°F 0 to 2320°C Extension Grade: 32 to 1600°F 0 to 870°C	32 to 4208°F 0 to 2320°C	0 to 37.066	greater of 4.5°C or 1.0%	NOT ESTABLISHED		Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399°C (750°F). Not for Oxidizing Atmosphere	C* (W5)
D* (W3)	TUNGSTEN-3% RHENIUM W-3% Re	TUNGSTEN-25% RHENIUM W-25% Re	NONE ESTABLISHED		Thermocouple Grade: 32 to 4208°F 0 to 2320°C Extension Grade: 32 to 500°F 0 to 260°C	32 to 4208°F 0 to 2320°C	0 to 39.506	greater of 4.5°C or 1.0%	NOT ESTABLISHED		Vacuum, Inert, Hydrogen. Beware of Embrittlement. Not Practical Below 399°C (750°F)—Not for Oxidizing Atmosphere	D* (W3)

Příloha č.8 Termočláňkové sondy pro vysoké teploty [4] 8/9

Model	Popis	Obrázek
KHXL a NHXL Série	Super OMEGACLAD® XL měřící sondy - měřící sondy s rukojetí	
KMQXL a NMQXL Série	Super OMEGACLAD® měřící sondy - Rychle rozpojitelné sondy s miniaturním konektorem	
KMTXL a NMTXL Série	Super OMEGACLAD® XL miniaturní sondy s přechodkou	
KQXL a NQXL Série	Super OMEGACLAD® měřící sondy - Rychle rozpojitelné sondy se standardním konektorem	
NB-CAXL a NB-NNXL Série	Super OMEGACLAD®XL průmyslové sondy s hlavicí	
Série (*)SS-NHX	Vysokoteplotní rychle odpojitelné sondy se standardním keramickým konektorem	
Série S(*)SS-SHX	Vysokoteplotní rychle odpojitelné sondy s miniaturním keramickým konektorem	

Série XS	Termočlánky s vysokoteplotní izolací	
Série XTA, XMO, XPA, XIN	Vysokoteplotní exotické termočlánky, typ R, S, B a C	
TJ36CAXL a TJ36NNXL Série	Super OMEGACLAD® XL vysoce odolné sondy s přechodkou	

Příloha č. 9 Klasifikace barevných indikátorů teploty [1] 9/9

	Barevné indikátory teploty			
typ	termochemická	tavné	kapalné krystaly	luminiscenční
a)	prášek tužka pasta barva tableta	prášek tužka (1400) pasta barva (1370) tableta (1650)	prášek barva	prášek tužka pasta barva tableta
b)	vratné nevratné kvazivratné	nevratné	vratné	vratné
c)	-50 až 1400°C	35 až 1650°C	-20 až 120°C	-200 až 300°C
d)	2,5 až 10%	0,5 až 2,5%	0,1 až 2%	0,5 až 2%
e)	jeden nebo několik	jeden		jeden nebo několik
f)	závisí	nezávisí	závisí	závisí

Vysvětlivky:

a – forma indikátoru
b – vratnost změny barvy
c – teplotní rozsah

d – relativní chyba
e – počet barevných přechodů
f – závislost na způsobu ohřevu