

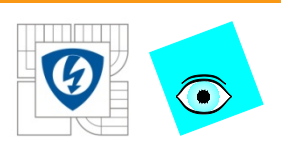
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Metrologie teploty

Ing. Jan Otych (ČMI Brno)

18. června 2012

Tato prezentace je spolufinancována Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



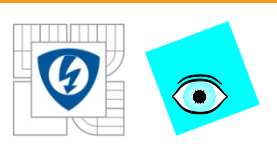
Historie teploměru a stupnice

- 1610 Galileo Galilei - termoskop
- 1641 první zatavený teploměr se stupnicí
- 1664 Robert Boyle- stupnice s nulovým bodem
- 1665 Christian Huygens - stupnice se dvěma kalibračními body (led, bod varu vody)
- 1724 G. Fahrenheit- první rtuťový teploměr
- 1745 A. Celsius- 100 dílková stupnice
- 1780 J. Charles- základ pro plynový teploměr
- 1880 přijata praktická stupnice pro mezinárodní metrologii
- 1927 VII. CIMP dohodnuta 1. mezinárodní jednotná teplotní stupnice ITS 1927
- 1948 stupnice revidována – dohodnuta IPTS 1948
- 1960 XI. CIPM další korekce a úpravy
- 1968 dohodnuta IPTS 68 (v ČSSR přijata od 1.7.1969)
- 1990 dohodnuta ITS 90

18.6.2012

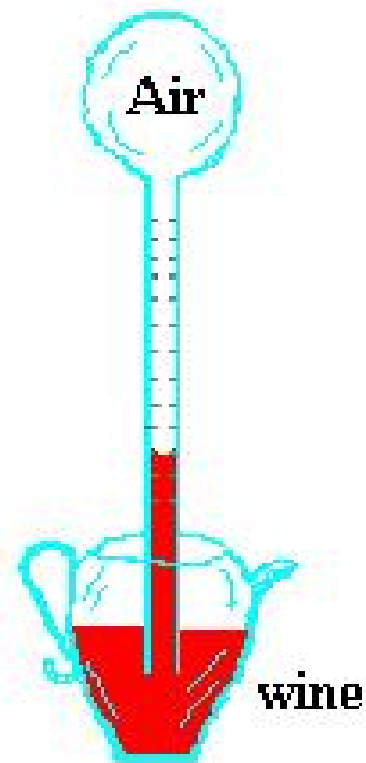
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



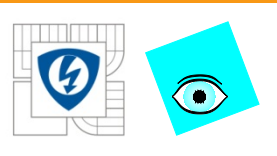


Pojmy

- Teplota - termodynamická, C_e
- Jednotky - K, $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$
- Stupnice – souhrn číselných h přesně stanoveným způsobem

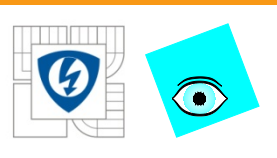


Florentine thermoscope



Principy měření teploty

- Roztažnost látek
- Závislost elektrických veličin na teplotě
- Elektromagnetické záření



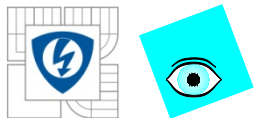
Druhy teploměrů

Dotykové

- Mechanické
 - dilatační
 - Tlakové, parní
 - Speciální
- Elektrické
 - Odporové
 - Termoelektrické
 - Speciální

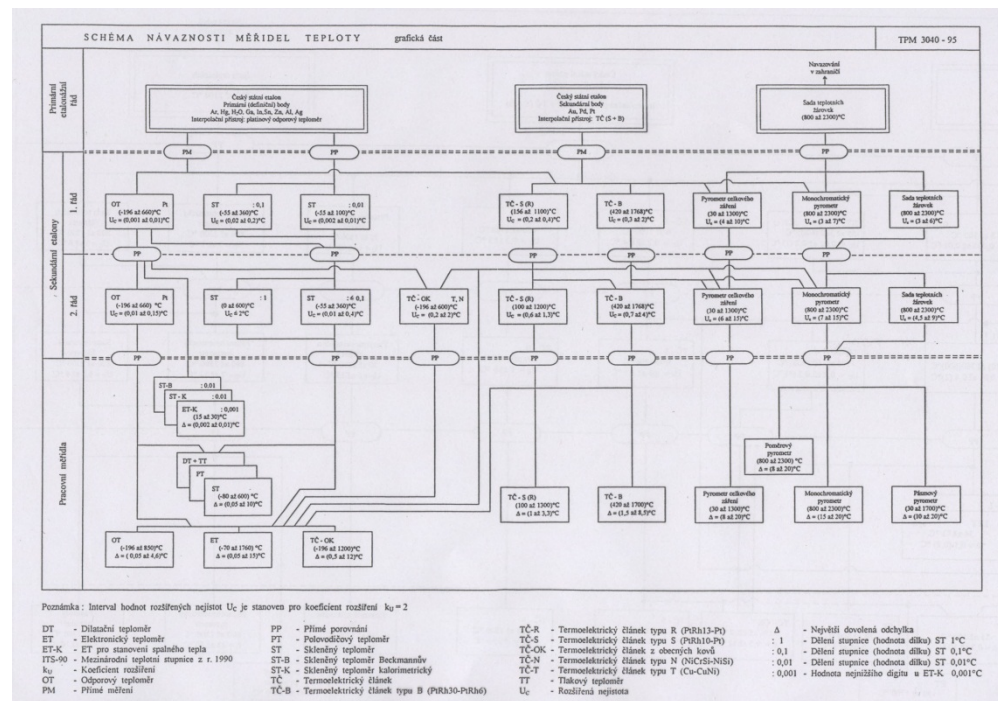


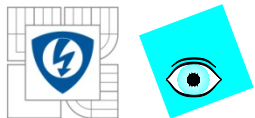
Bezdotykové
pyrometry
fotografické
termovize



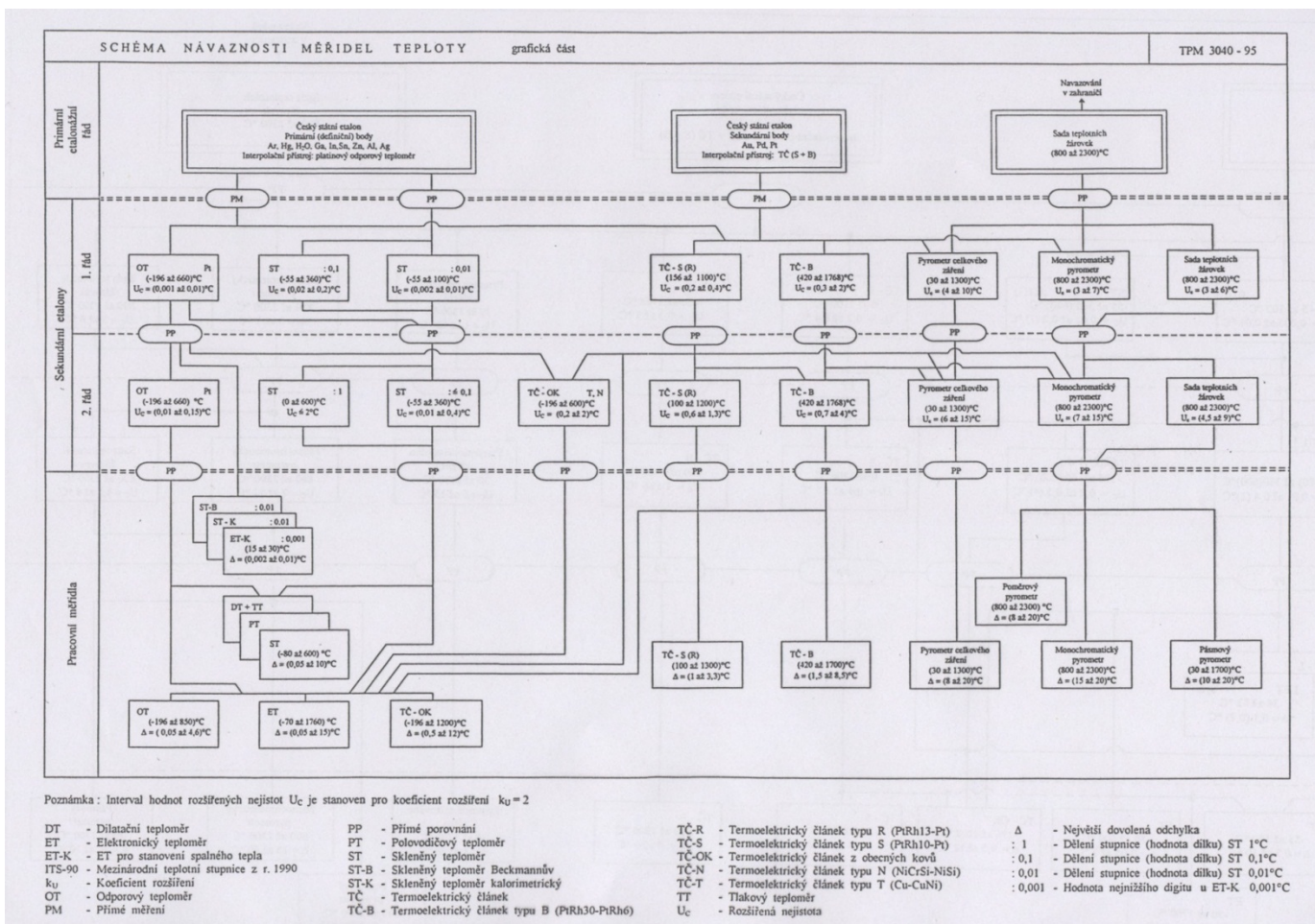
Návaznost teploty

- TPM 3040-95
- primární etalonáž
 - kalibrace v pevných bodech
- sekundární etalonáž
 - 1. a 2. řád
 - přímé porovnání

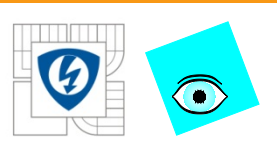




Návaznost teploty



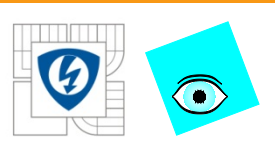
18.6.2012



Přesnost měření

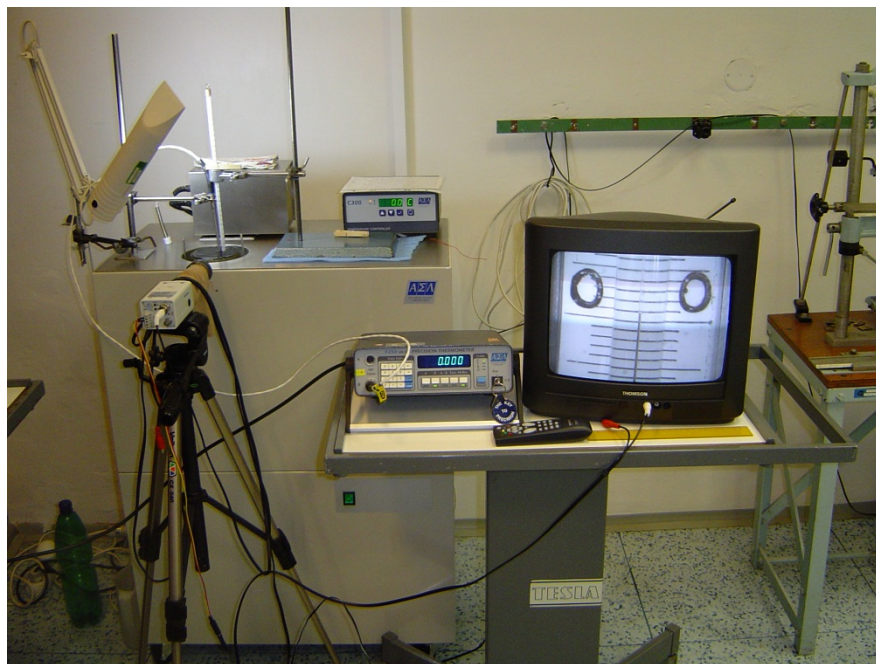
Vyjadřuje se nejistotou měření (EA4/02)

- majoritní zdroje nejistot
- nepřesnost odečtu etalonového a měřeného teploměru
- stabilita a homogenita teplotního pole
- početní operace
- lidský faktor (paralaxa



Skleněný teploměr

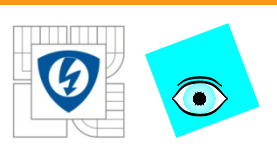
- Konstrukce - obalový, tyčinkový, plný a částečný ponor
- Teploměrná kapalina - rtuť, organické látky
- Druhy podle použití - etalony, laboratorní, průmyslové



18.6.2012

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





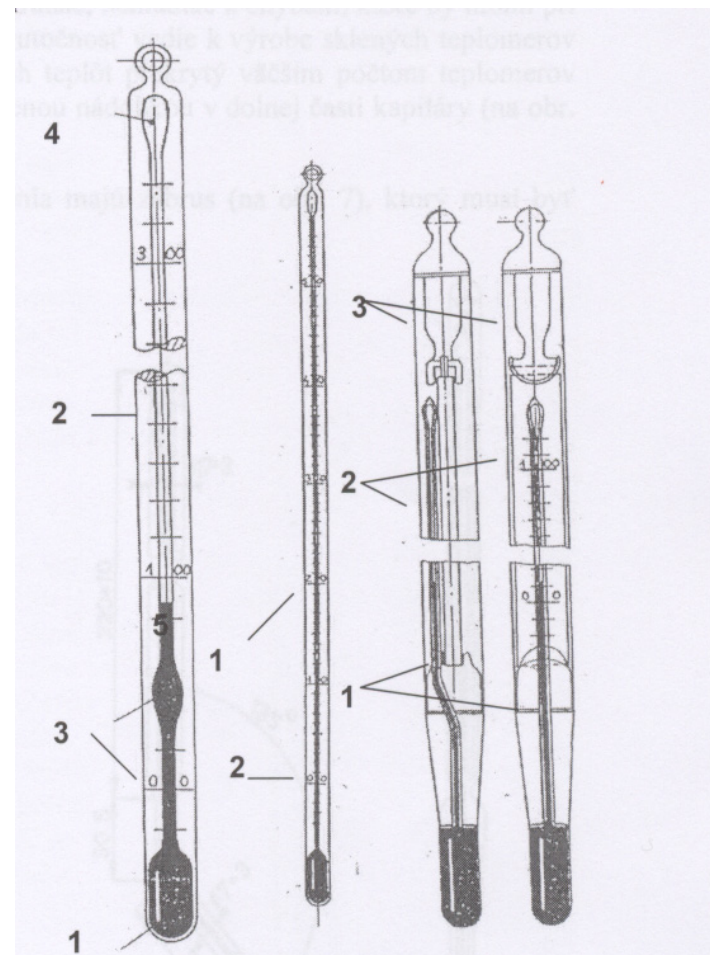
Skleněný teploměr - popis

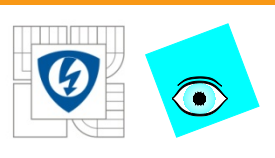
Obalový

- 1- baňka s teploměrnou náplní
- 2- obal
- 3- kapilára
- 4- expanzní nádobka
- 5- pomocná nádobka k potlačení rozsahu stupnice

Tyčinkový:

- 1- tlustostěnná kapilára
- 2- teploměrná náplň

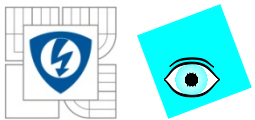




Skleněný teploměr

- Výhody:
- Levný, nepotřebuje zdroj
- Nevýhody:
- Křehký, toxická náplň, nelze použít v regulačním řetězci

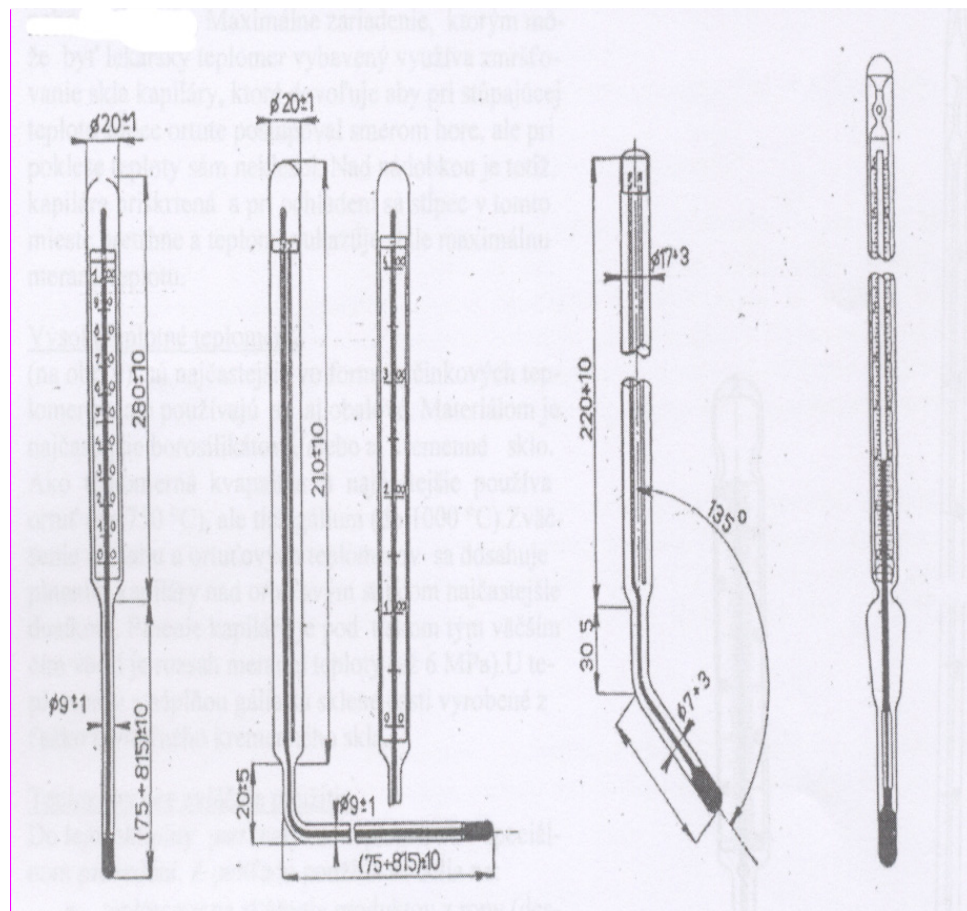


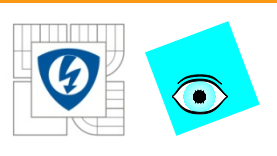


Skleněný teploměr

Provedení teploměrů:

- stonkový
- zahnutý
- :
- se zábrusem



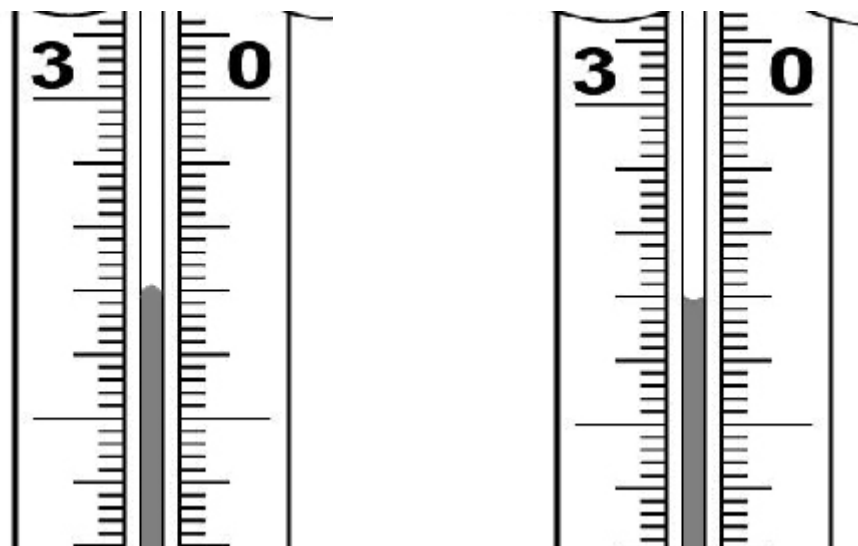


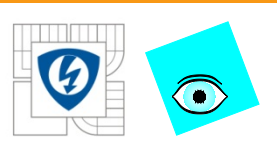
Skleněný teploměr - čtení

Údaje teploměru se čtou, je-li náplní

- nesmáčivá kapalina – v nejvyšším místě vypuklého menisku
- smáčivá kapalina – v nejnižším místě vydutého menisku

Nutno zamezit vzniku paralaxy.





Skleněný teploměr

Rozsah použití:

- $(-80 \text{ až } 600)^\circ$ - podle náplně

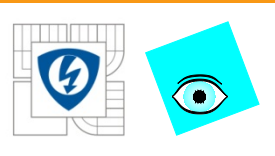
Přesnost:

- daná normami ČSN 25 81 XX podle rozsahu, náplně a dělení stupnice $(0,01 \text{ až } 2)^\circ\text{C}$

Nejistoty:

- Podle rozsahu a dělení $(0,015 \text{ až } 0,60)^\circ\text{C}$



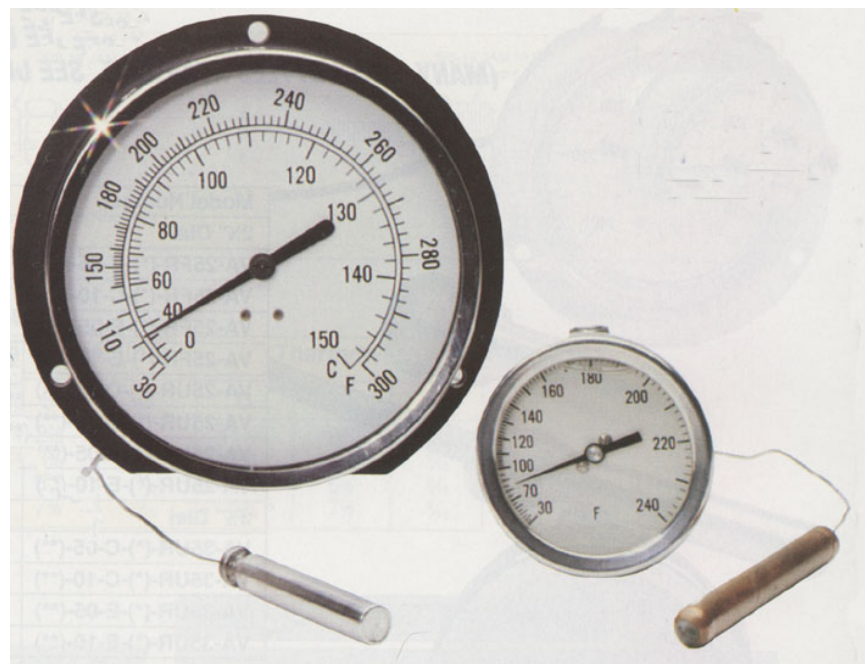


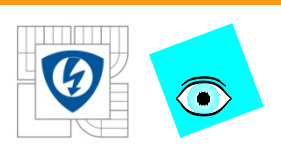
Tlakový, parní, kovový teploměr

Hlavní použití v průmyslu

Výhody - robustní, levné

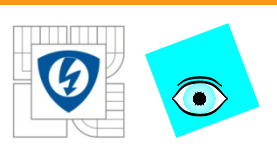
Nevýhody - nutnost korekce
údaje na okolní teplotu,
nelineární stupnice,
malý rozsah





Normy a předpisy

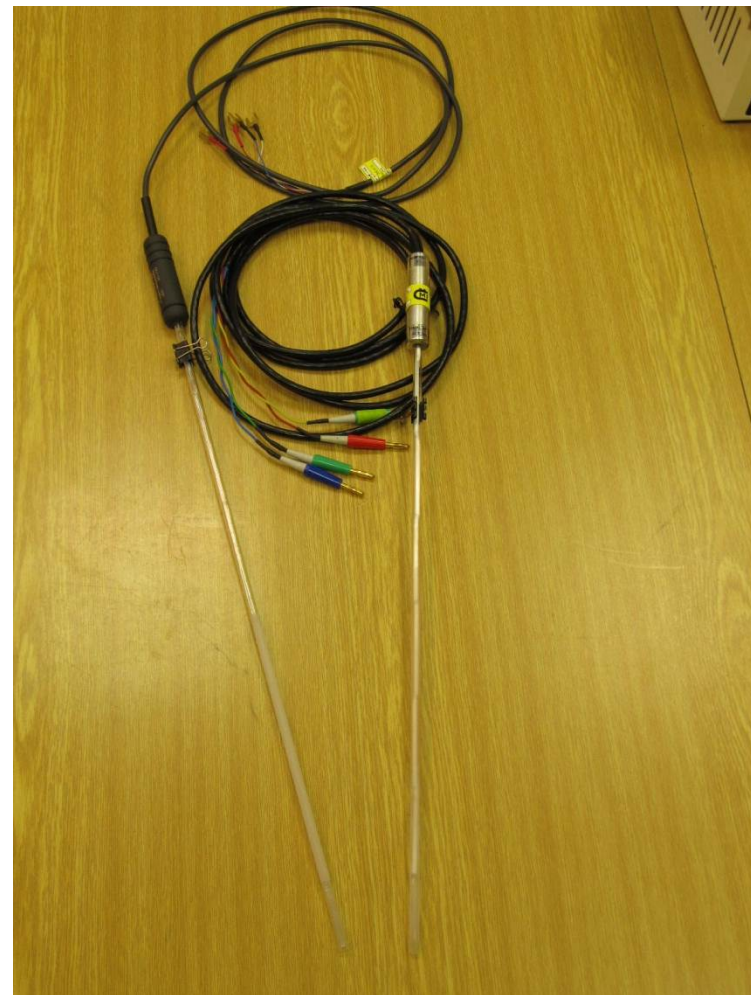
- Skleněné teploměry - I 3216
- Odporové snímače teploty - ČSN – EN 60751
- Termoelektrické články
ČSN EN 584 - 2, TPM 3321 - 94

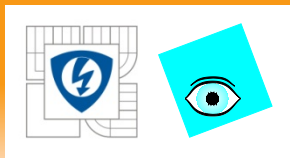


Odporový snímač teploty

Odporový snímač teploty se používá v širokém spektru měření od průmyslových snímačů při provozních měřeních až po hlavní podnikové a státní etalony v maximálním rozsahu teplot (-200 až 850) °C.

Nejpoužívanější rozsah je (-196 až 660) °C.





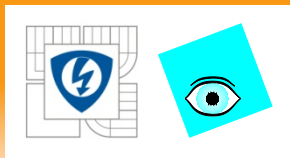
Princip odporového snímače a základní rozdělení

- závislost změny odporu odporového čidla na teplotě

Základní rozdělení:

1. Kovové
 2. Nekovové (polovodičové)
1. Kovové
 - Platinové Pt25, 100, 500, 1000
 - alfa = 1,385 průmyslové použití a etalony
 - alfa = 1,391 průmyslové použití a etalony
 - alfa = 1,392 hlavně etalony
 - vyšší alfa = větší čistota platiny=charakteristika blíží se více ideální křivce, předpoklad pro kvalitnější etalon.

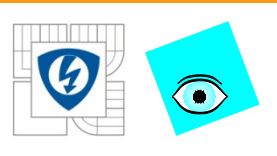




Další používané typy:

Niklové - většinou nyní vyráběné podle DIN normy
teplotní rozsah -60°C až 200°C (výjimečně do 300°C)
Výhody, nevýhody, použití.

Měděné - používají se méně, teplotní rozsah -200°C až 200°C
Výhody, nevýhody, použití.



Základní rovnice:

Polynomy:

podnulové teploty

$$R_t = R_0 (1 + At_{90} + Bt_{90}^2 + C(t_{90} - 100)t_{90}^3)$$

nadnulové teploty

$$R_t = R_0 (1 + At_{90} + Bt_{90}^2)$$

$$W_{t_{90}} - W_{rt} = a(W_{t_{90}} - 1) + b(W_{t_{90}} - 1) \ln W_{t_{90}}$$

podnulové i nadnulové teploty

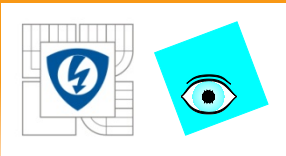
$$R_t = R_0 (1 + At_{90} + Bt_{90}^2 + Ct_{90}^3)$$

Odchylková funkce: podnulové teploty

$$W_{t_{90}} - W_{rt} = a(W_{t_{90}} - 1) + b(W_{t_{90}} - 1)^2 + c(W_{t_{90}} - 1)^3$$

nadnulové teploty

Výhody, nevýhody, použití.

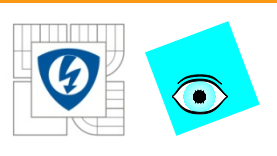


Nekovové (polovodičové)

- 1. Polykrystalické – termistorové – NTC
PTC
- 2. Monokrystalické - s PN přechodem

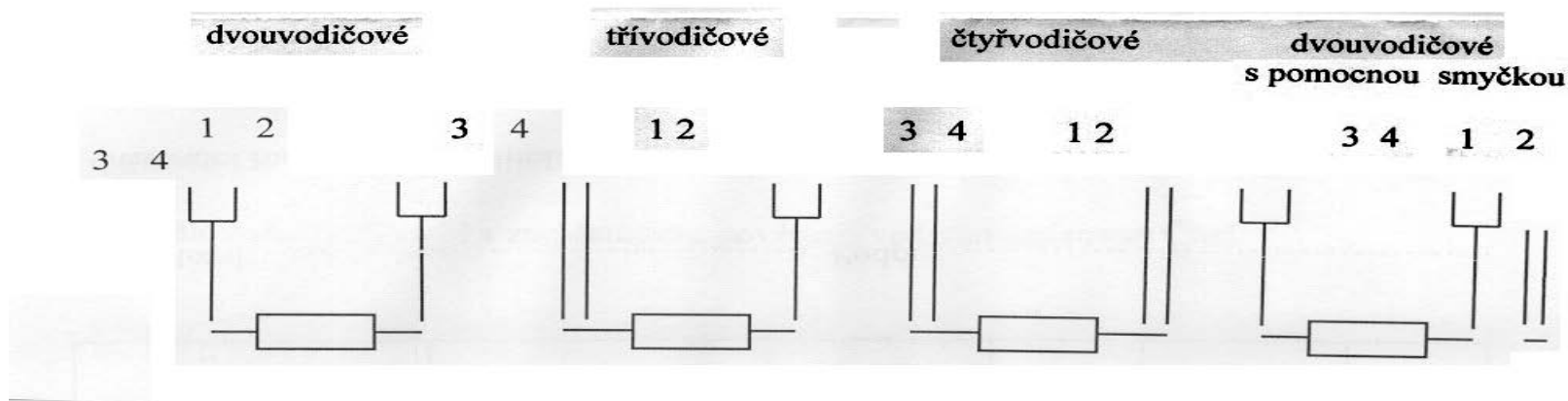
Velký teplotní součinitel od 0,1 Ohmu až jednotky MOhmů.

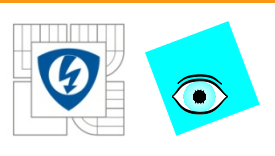
Výhody, nevýhody, použití.



Typy zapojení:

- dvouvodičové
- třívodičové
- čtyřvodičové
- dvouvodičové s pomocnou smyčkou
- Vyhody, nevýhody, použití.





Značení snímačů

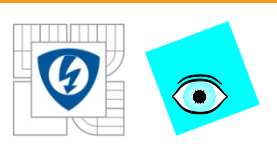
Podle normy ČSN EN 60751

- odpor (např.Pt100)
- třída
- konfigurace vodičů
- teplotní rozsah

např. Pt 100/A/3/ -50/ +300

- ☐ u stanovených měřidel výrobní číslo
- ☐ při kalibraci jednoznačná identifikace





Nová norma pro platinové ost

ČSN EN 60751:2008

❑ NĚKTERÉ DŮLEŽITÉ ZMĚNY

Rozšíření a změny v tolerančních třídách:

- AA - vinutá čidla v rozsahu $(-100 \text{ až } 250)^{\circ}\text{C} \pm (0,1+0,0017 |t|)$
tenkovrstvá čidla v rozsahu $(0 \text{ až } 150)^{\circ}\text{C} \pm (0,1+0,0017 |t|)$
- A - vinutá čidla v rozsahu $(-100 \text{ až } 450)^{\circ}\text{C} \pm (0,15+0,002 |t|)$
tenkovrstvá čidla v rozsahu $(-30 \text{ až } 300)^{\circ}\text{C} \pm (0,1+0,0017 |t|)$
- B - vinutá čidla v rozsahu $(-196 \text{ až } 660)^{\circ}\text{C} \pm (0,30+0,005 |t|)$
tenkovrstvá čidla v rozsahu $(-50 \text{ až } 500)^{\circ}\text{C} \pm (0,30+0,005 |t|)$
- C - vinutá čidla v rozsahu $(-196 \text{ až } 660)^{\circ}\text{C} \pm (0,60+0,01 |t|)$
tenkovrstvá čidla v rozsahu $(-50 \text{ až } 500)^{\circ}\text{C} \pm (0,60+0,01 |t|)$

Měření izolačního stavu teploměru

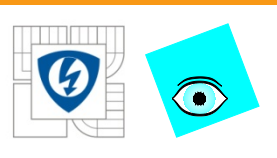


Při teplotě okolí min. hodnota nesmí být menší než $100 \text{ M}\Omega$ a zkušební napětí musí být min. 100 V .

Další hodnoty: (zkušební napětí musí být minimálně 10 V)

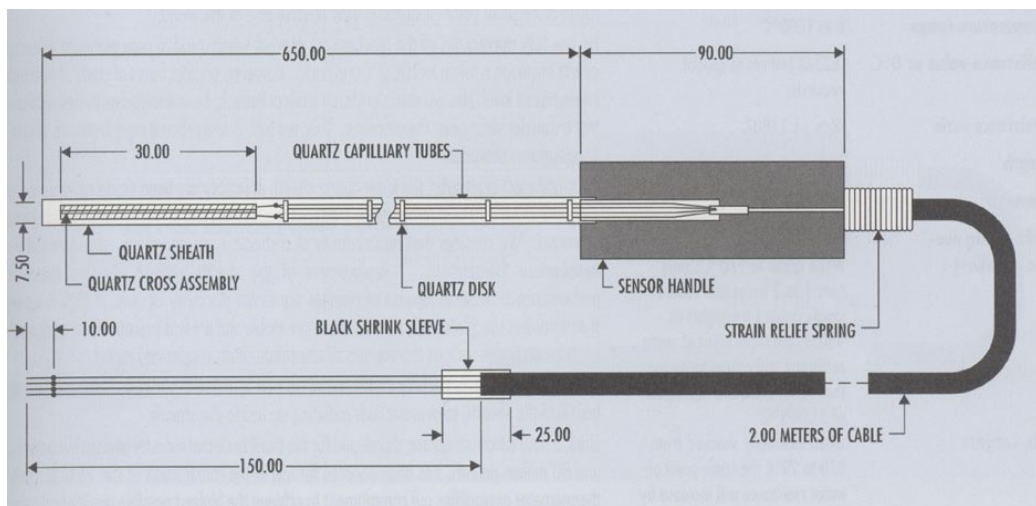
Jmenovitá max. teplota ($^{\circ}\text{C}$)	Minimální izolační odpor ($\text{M}\Omega$)
do 250	20
251 – 450	2
451 – 650	0,5
651 – 850	0,2

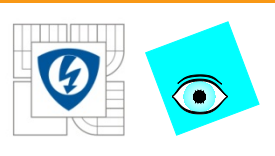




Složení teplotního snímače

- Stonková trubice – chrání měřící odpor (čidlo) a vnitřní vedení
(křemenné sklo, keramika, niklové slitiny, legovaná ocel, měď, slitiny mědi)
- teplotní čidlo – měřící část - tenký drátek nebo napařovaná vrstvička
- vnitřní vedení – zakončené hlavicí se svorkovnicí, připojení kabelové
– spojovací vedení k měřidlu





Odporový snímač teploty

Rozsah použití:

- $(-200 \text{ až } 660) ^\circ$

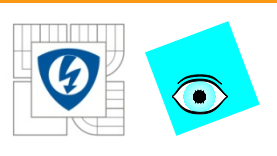
Přesnost:

- daná normou ČSN EN 60751

Nejistoty:

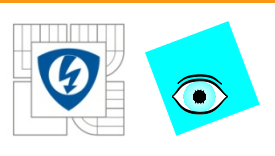
- Podle rozsahu a zařazení
(0,002 až 0,09) $^\circ\text{C}$





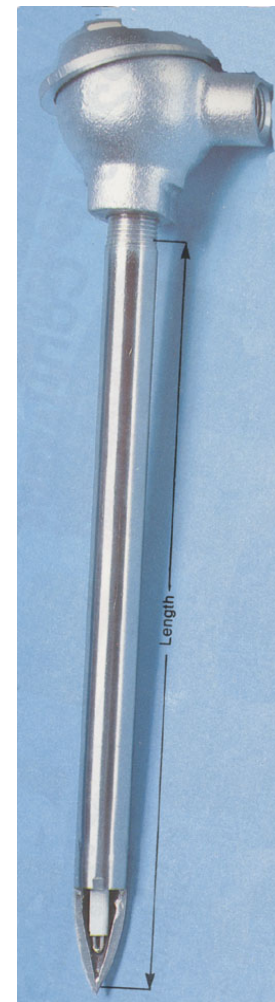
Normy a předpisy:

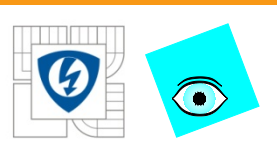
- TPM 3040 – 90 Schéma návaznosti měřidel teploty
- TPM 3340 – 94 Platinové odporové teploměry, sek. etalony (technické požadavky)
- TPM 3341 – 94 Platinové odporové teploměry, sek. etalony (metody zkoušení při kalibraci)
- TPM 3342 – 94 Platinové odporové snímače teploty (metody zkoušení při ověřování kalibraci)
- ČSN EN 60751:2008 Průmyslové platinové odporové teploměry a platinové snímače teploty
- EA 4-02 Vyjadřování nejistot měření při kalibracích



Termoelektrický článek

Termoelektrický článek jako součást teploměru patří k nejrozšířenějším přístrojům pro měření teploty v rozsahu od $(-200 \text{ do } 2000) ^\circ\text{C}$, ve zvláštních případech od $(-270 \text{ do } 3500) ^\circ\text{C}$

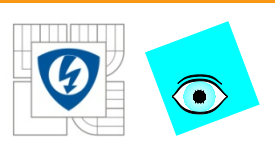




Princip termoelektrického jevu

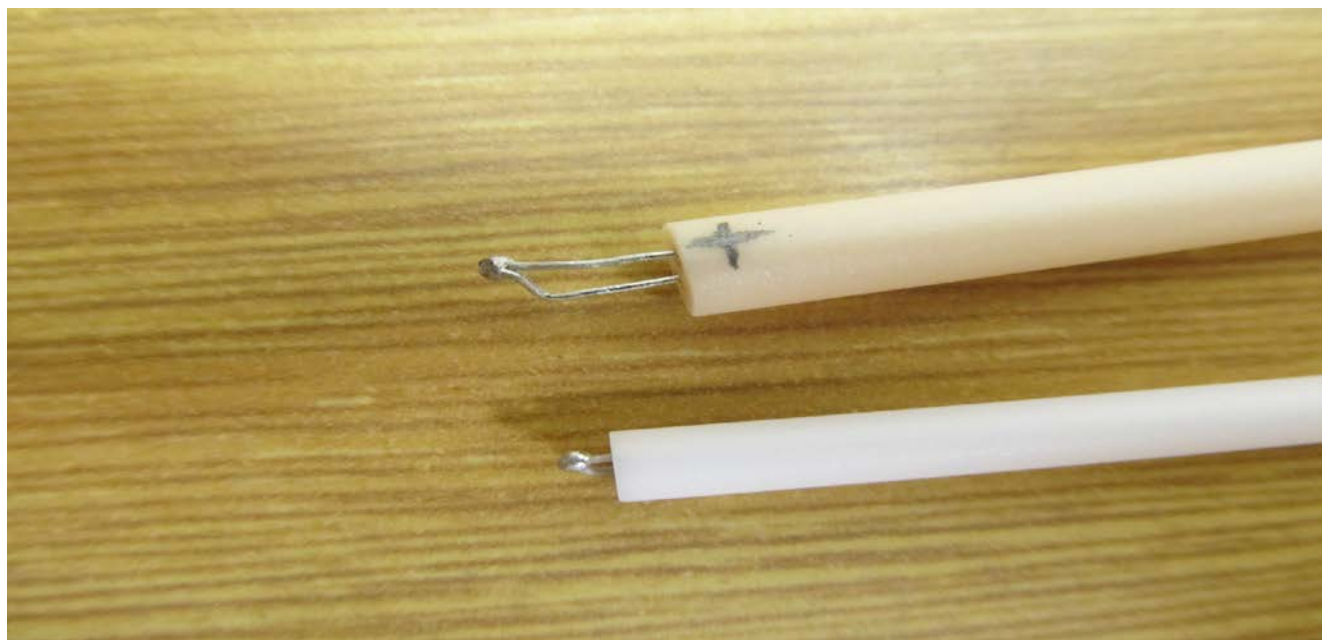
- přímá přeměna tepelné energie na elektrickou a naopak
- v obvodu složeném ze dvou různých vodičů, které jsou na koncích spojeny, způsobí teplotní rozdíl těchto spojů termoelektrické napětí v obvodu (Seebeckův jev)

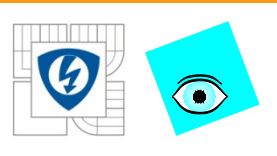




Termoelektrický článek

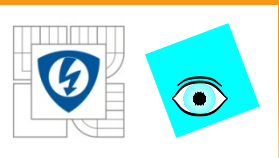
- Provedení - klasické, plášťové, ušlechtilé kovy, obecné kovy
- Druhy - S, R, B, K, J, N
- Teplotní rozsah -200 až 1600 °C





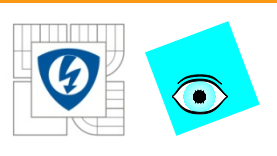
Základní pravidla

- výsledné napětí je funkcí materiálů větví
- výsledné napětí je funkcí teplot spojů
- termoelektrické napětí nezávisí na případném třetím materiálu v obvodu, pokud oba jeho spoje, kterými je včleněn do obvodu mají stejnou teplotu
- vodiče musí být homogenní (nehomogenní vodič představuje řadu přídatných TC článků vřazených do obvodu)



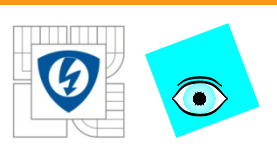
Rozdělení

- **klasické** - termoel. článek je volně vložený do izolační keramiky a s ní do kovové nebo keramické trubice (snadno rozebíratelné)
- **plášťové** - termoel. článek je pevně spojen s izolací a pláštěm lisováním (nerozebíratelný celek)



Označování TC

- 1. písmeny velké abecedy:
S, B, K, N, J, E, T, R, L, U, C
- 2. chemickým složením:
PtRh10-Pt, PtRh30-PtRh6, NiCr-NiAl
(při označování se jako první uvádí kladná větev)



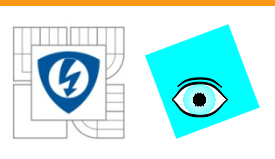
Rozsah použití

Označení dle ČSN EN 60584-1	Původní označení	Měřicí rozsah
S	PtRh10-Pt	0 až 1200
B	PtRh30-PtRh6	300 až 1700
K	NiCr-NiAl	-200 až 1250
N	NiCrSi-NiSi	-200 až 1200
J	Fe-CuNi	-200 až 750
E	NiCr-CuNi	-100 až 900
R	PtRh13-Pt	0 až 1500
T	Cu-CuNi	-200 až 350

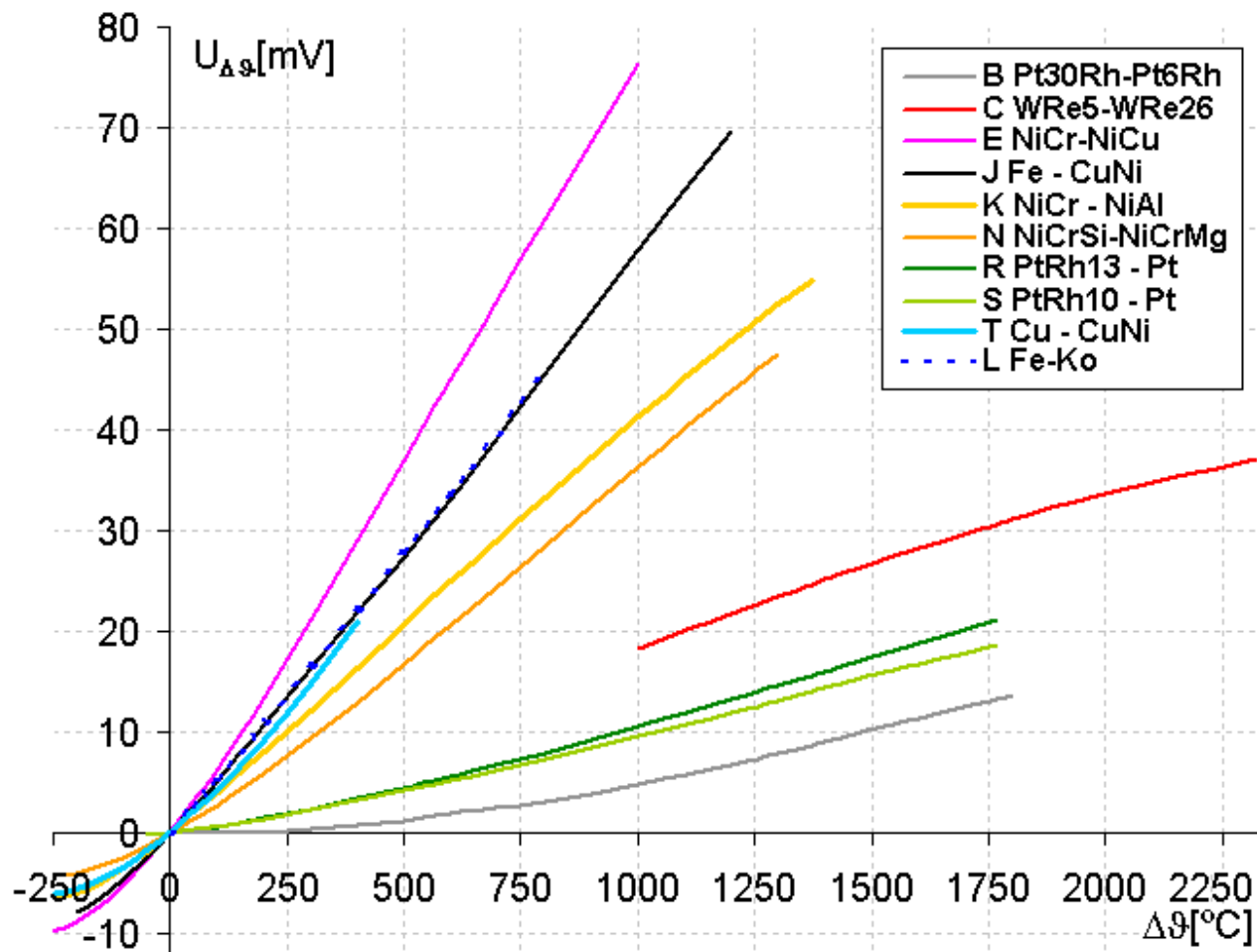
18.6.2012

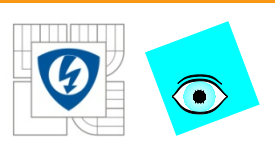
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ





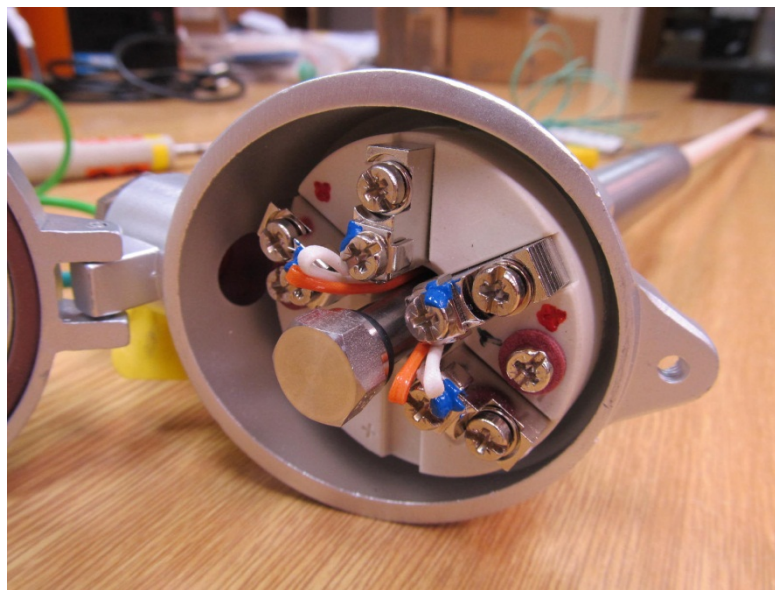
Porovnání charakteristik TC

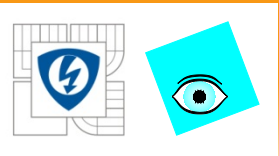




Prodlužovací a kompenzační vedení

- Prodlužovací vedení – je zhotoveno ze stejných materiálů jako termoel. článek
- Kompenzační vedení – je zhotoveno z jiných (levnějších) materiálů





Značení prodlužovacího vedení

Polarita vodičů:

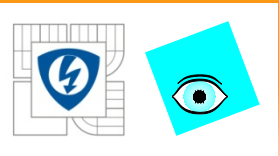
negativní - bílý

pozitivní - černý nebo v barvě TC

Písmenný kód za označením typu TC:

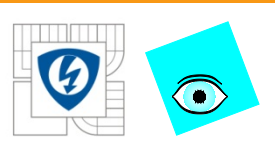
X – prodlužovací vedení

C – kompenzační vedení



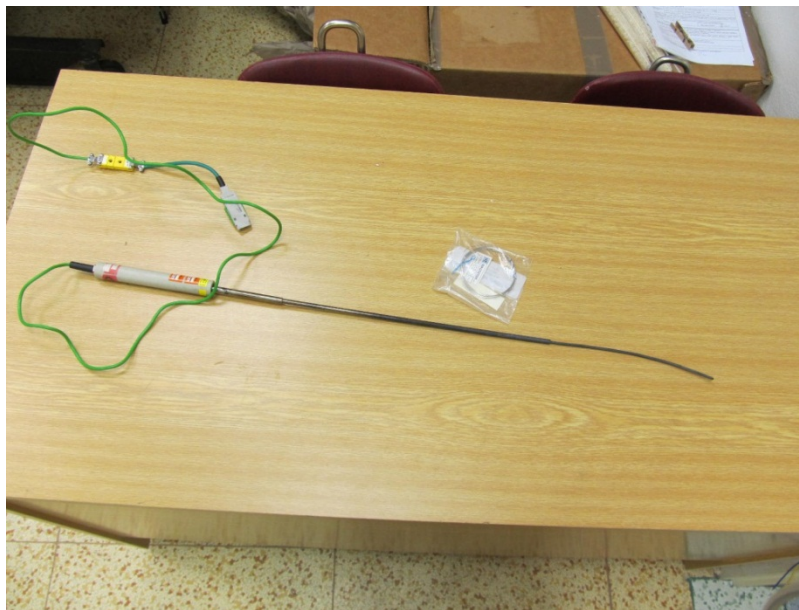
Výhody TC

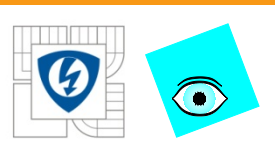
- Jsou aktivními zdroji signálu
- Rychlá odezva
- Miniaturní provedení
- Použití v širokém rozsahu teplot
- Odolnost proti náhlým změnám teploty
- U plášťových TC mechanická odolnost, odolnost proti tlaku, různým plynům a chemikáliím, vibracím, vlhkosti, možnost ohýbání, délky i desítky metrů
- Značná životnost



Nevýhody TC

- u TC typu K nestabilita od 200 do 600 °C (tzv. K stavy), kdy termoel. napětí vykazuje hysterezi při zahřívání a chladnutí
- Nižší přesnost v porovnání s odporovými snímači teploty



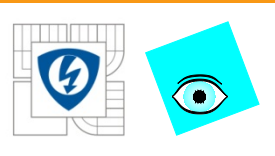


Pyrometry

Rozdělení

- Optické
- Radiační

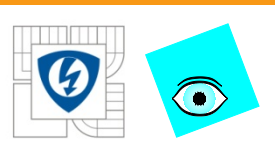




Optické pyrometry

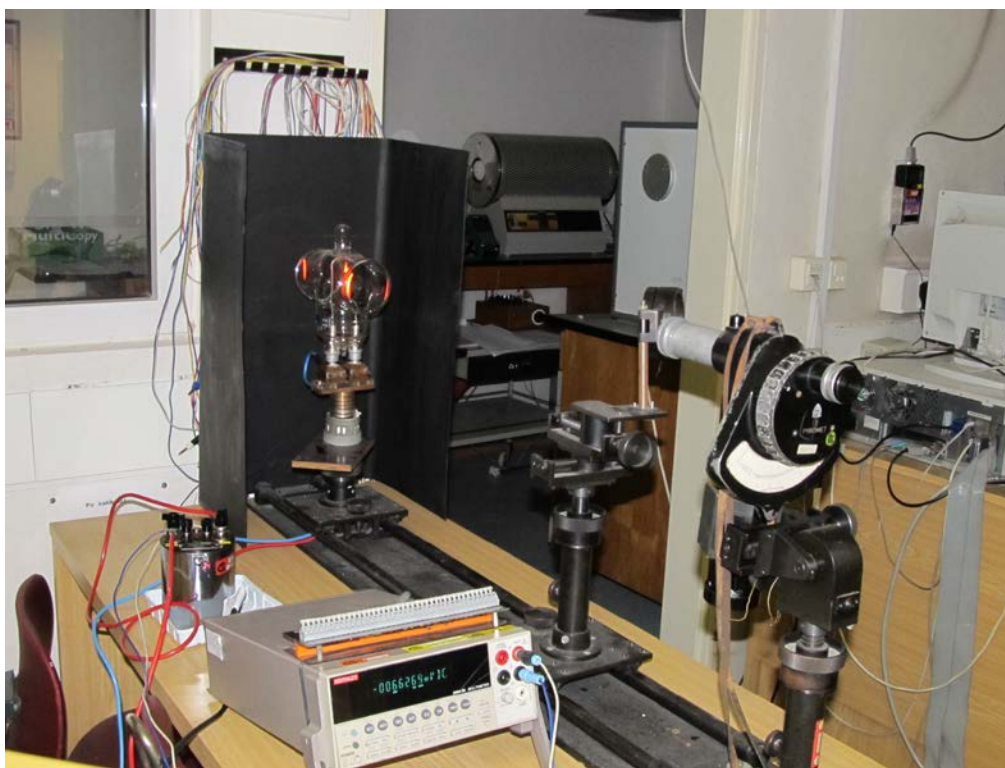
Optické pracují na principu porovnání známého jasu nebo barvy s barvou nebo jasnem kalibrovaného pyrometru. Rozsah použití (800 až 2300) °C. Zdrojem teploty jsou teplotní žárovky.





Optické pyrometry

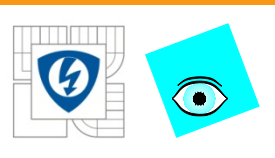
Přesnost cca (5 až 10) °C, závisí na kvalitě vybavení (proudový zdroj, etalonový odpor) a kondici obsluhy. Nejistota měření cca 1 % z měřené hodnoty.



18.6.2012

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

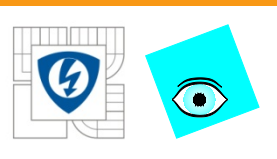




Radiační pyrometry

Pracují na principu ohřevu bolometru umístěného v ohnisku parabolického zrcátka energií, kterou vyzařuje každé těleso které má vyšší teplotu jak absolutní nula. Rozsah použití (-30 až 1500) °C. Zdrojem teploty jsou černá tělesa.

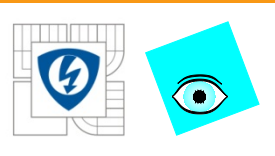




Radiační pyrometry

Přesnost cca (0,5 až 3) °C, závisí na kvalitě vybavení (černé těleso) a znalosti a nastavení emisivity pyrometru a provedení měření. Nejistota měření (0,8 až 6,3) °C.





Termokamery

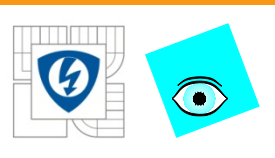
Přesnost cca (2 až 5) °C nebo 2 % z rozsahu, co je vyšší, závisí na typu kamery. Rozsah měření (-20 až 600) °C. Nejistota měření (0,8 až 6,3) °C.



18.6.2012

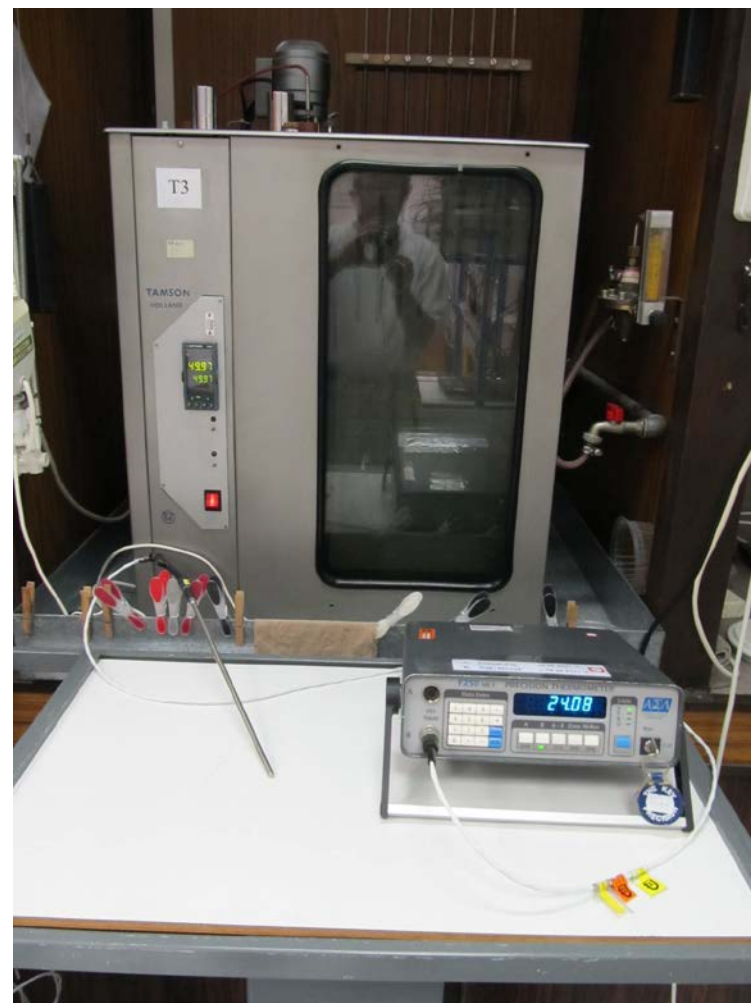
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

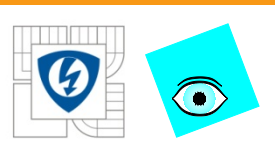




Kapalinová lázeň

Slouží ke generování teplot.
Náplní je dán rozsah lázně. VODA
– (20 až 90) °C
OLEJ – (100 až 250) °C
SŮL – (200 až 550) °C
Stabilita (0,005 až 0,02) °C
Homogenita (0,005 až 0,02) °C
Závisí na kvalitě regulátoru a
jeho naladění.





Kryostat

Slouží ke generování teplot.

Náplní je metanol

Rozsah (-80 až 40) °C

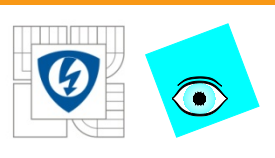
Stabilita cca 0,02 °C

Homogenita cca 0,02 °C



18.6.2012

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

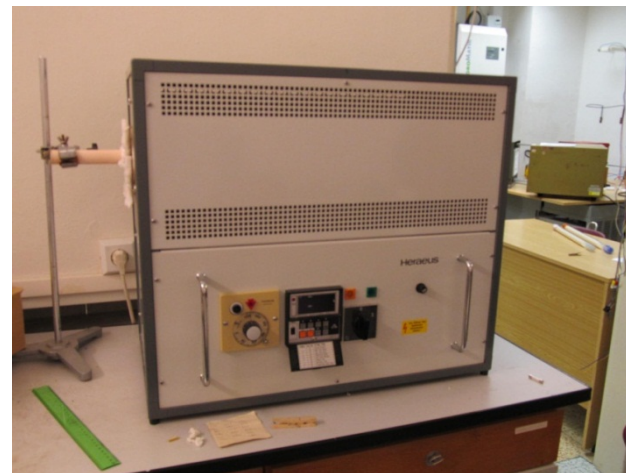
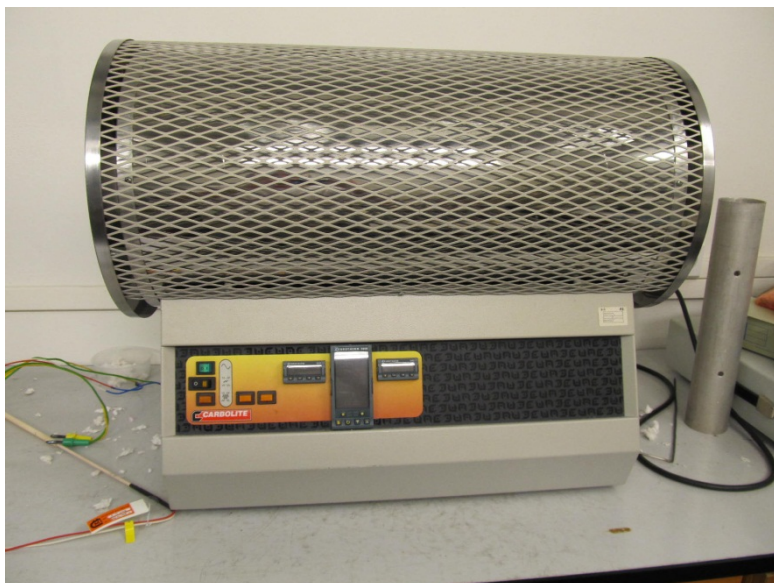


Horizontální vzduchová pec

Rozsah (400 až 1600) °C

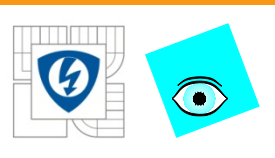
Stabilita cca 0,2 °C

Homogenita cca 0,2 °C



18.6.2012

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Kalibrační bloková pírka

Rozsah je dán konstrukcí pírky a materiálem bloku.

(-90 až 1200) °C

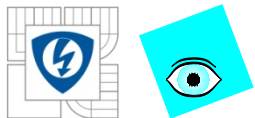
Stabilita (0,005 až 0,05) °C

Homogenita (0,01 až 0,05) °C



18.6.2012

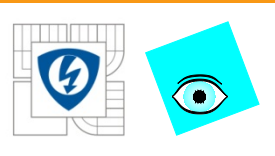
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Prostředky pro měření teploty

Nejsou to měřidla, svým stavem určují teplotu. Např. žároměrky, teplotní pastelky.
Rozsah od desítek po tisíc °C.
Přesnost jednotky °C.

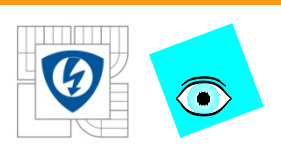




Vlastní návrh teplotní stupnice

- 18 obyvatelé Havaje si berou na noc dvě přikrývky
- 10 obyvatelé helsinských činžáků vypínají topení, Rusové pěstují kytičky
- 2 italská auta nejdou nastartovat
- 0 destilovaná voda zamrzá
- 1 dech se stává viditelným - Rusové jedí zmrzlinu a popíjejí studené pivo
- 4 pes se ti snaží nacpat do postele
- 10 francouzská auta přestávají startovat
- 12 politikové začínají mluvit o bezdomovcích
- 15 americká auta přestávají startovat
- 18 helsinští nájemníci zapínají topení - obyvatelé Havaje už zmrzli
- 20 dech se stává slyšitelným
- 24 německá auta nejdou nastartovat
- 29 japonské automobily přestávají startovat, pes zkouší vlézt ti pod pyžamo
- 30 ž á d n é normální, ani ruské auto nejde nastartovat
- 39 vroucí atmosféra v kongresu zamrzne - Rusové si zapínají vrchní knoflíky u košile
- 50 auto se ti snaží nacpat do postele
- 60 obyvatelé Helsinek zmrzli - tuleni opouštějí Grónsko a stěhují se na jih
- 70 zamrzlo peklo - univerzita v Kuzněcku organizuje přespolní běh pro zahřátí
- 72 advokáti strkají ruce do vlastních kapes
- 75 Santa Klaus opouští polární kruh
- 120 alkohol zmrzl, Rus je pořádně nasranej
- 268 hélium zkapalnělo
- 273,15 absolutní nula, ustává pohyb elementárních částic, Rus žužlaje vodku, připouští, že je pořádná kosa

18.6.2012



Děkuji za pozornost

Kontakt

Ing. Jan Otych

ČMI Ol Brno

Okružní 31

638 00 Brno

mob. 724 121 127

E-mail jotych@cmi.cz