

Teplota

Teplota je základní fyzikální veličinou (označujeme T, jednotky K - kelvin). Vztah mezi °C a K je : $TK = T - 273,15$, kde TK je teplota v kelvinech a T je teplota ve °C. Za 0K (kelvinů) se považuje absolutní nula, což je teplota, při které ustává veškerý pohyb všech částic (atomů) v látkách.

Teplotu měříme teploměry. Teploměry rozdělujeme na skleněné (zdravotní teploměr), odporové (Pt 100), termoelektrické (Fe - Cu) a pyrometry (bezdotykové měření teploty). Pro Měření a regulaci jsou zajímavé pouze odporové, termoelektrické teploměry a pyrometry. Skleněné nemají pro regulaci žádný význam.

Odporové snímače teploty :

Odporové snímače teploty využívají vlastnosti kovů a polovodičů, u kterých se elektrický odpor mění s teplotou. U průmyslových snímačů teploty se používají zejména měděné, niklové a platinové vodiče. Platinové vodiče vykazují nejvyšší stabilitu a přesnost, proto jsou dnes nejvíce používány.

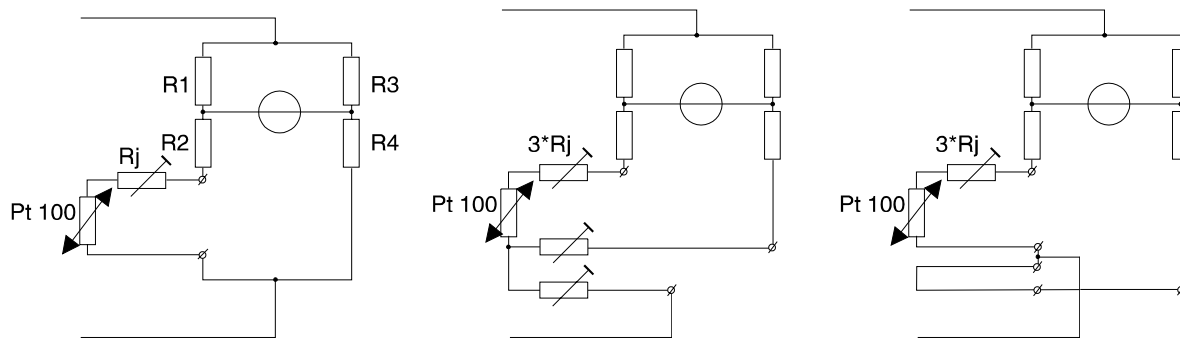
Poměr hodnoty odporu při 100°C a při 0°C se nazývá **ODPOROVÝ POMĚR**. Tento poměr současně vyjadřuje jakost odporu odporového čidla (platina 1,385).

STABILITA MĚŘÍČÍHO ODPORU vyjadřuje dovolené kolísání hodnoty základního odporu při změně teploty. Udává, o kolik se změní odpor, když jej vystavíme maximální teplotě, pro kterou má být použit, a pak změříme, o kolik se změnil základní odpor při 0°C. Odchylku pak označujeme jako **NESTABILITA** měřícího odporu. Základní odpor je hodnota odporu při 0°C.

Důležitým parametrem odporových snímačů teplot je **OTŘESUVZDORNOST**. Je to odolnost snímače vůči mechanickému chvění, které by mohlo mít za následek mechanické poškození měřícího odporu a tím by vneslo do měření nepřesnost. Otřesuvzdornost se zkouší přímočarým kmitavým pohybem se sinusovým průběhem. Specifikuje se buď amplitudou a rozsahem frekvencí anebo násobkem ($g=9,81m/s^2$) a rozsahem frekvencí. Vztah mezi zrychlením a, frekvencí f a amplitudou A je dán vzorcem :

$$a = \frac{A \cdot f^2}{25,3} \text{ (m/s}^2\text{, mm, Hz)}$$

U měřících odporů se dále udává maximální měřící proud, aby nedocházelo k vlastnímu ohřátí měřícího odporu v závislosti na tomto měřícím proudu. Toto ohřátí by mělo za následek zanesení chyby do měření.



Obr. 2.1. Příklad zapojení měřicího odporu

a) Dvouvodičové zapojení

b) Třívodičové zapojení

c) Čtyřvodičové zapojení

Dosud nejrozšířenějším způsobem měření teploty odporovými snímači je měření změn hodnot měřicího odporu jeho zapojením do odporového (Wheatsonova) můstku. Měřicí odpor je zapojen do jedné větve můstku, změna teploty způsobí změnu měřicího odporu, tím dojde k rozvážení můstku. To je indikováno měřicím přístrojem (M) zapojeným v úhlopříčce. Hodnoty odporů jsou voleny tak, aby při minimální hodnotě rozsahu byl můstek vyvážen - ručička měřicího přístroje má nulovou výchylku, při maximálním rozsahu je proud do můstku nastaven tak, aby ručka ukazovala maximální hodnotu. Pro rovnováhu Wheatsonova můstku platí:

$$\frac{R_1}{R_p} = \frac{R_4}{R_3}, \quad \text{kde} \quad R_p = R_j + Pt100 + R_2 \quad (\text{viz. obr.2.1a})$$

Odpor vedení mezi přístrojem a odporovým snímačem se vlivem změny teploty okolí mění a způsobuje chybu měření, neboť je zapojen spolu s měřicím odporem ve stejné větvi můstku. Proto se tohoto zapojení využívá pro kratší vzdálenosti mezi měřicím místem a vyhodnocovacím přístrojem a pro větší rozsahy teplot, aby relativní chyba byla v poměru k velikosti rozsahu menší.

Vliv změn odporu vedení na přesnost měření je prakticky odstraněn třívodičovým zapojením odporového snímače (viz.obr.2.1b). U tohoto zapojení je snímač teploty a jeden vodič s vyrovnávacím odporem R_j zapojen do jedné větve odporového můstku a druhý vodič s vyrovnávacím odporem R_j do druhé větve. Třetí vodič je v napájecí větvi a napájecí bod je posunut až ke snímači teploty. Vliv okolní teploty na vedení je eliminován, protože přírůstky odporu působí v sousedních větvích a tím se navzájem ruší.

Tab. 2.2. Přehled měřicích odporů plochých

Typ ohmů	Měřicí rozsah (°C)	Jmenovitý odpor při 0°C	1 * 100
PtpC	- 100 + 110	Max. měřicí proud	10 mA
PrpD	- 100 + 110	Přesnost	1%
ptpE	- 100 + 110		
ptpF	- 100 + 110		
ptpH	- 100 + 110		
ptpS	- 200 + 350		

Přesnost měření teploty odporovými snímači :

Na přesnost měření teploty snímačem má obecně vliv více činitelů a chyby jimi způsobené můžeme zařadit do tří hlavních skupin :

- a) Chyby způsobené umístěním snímače a tepelnými vlastnostmi prostředí, jímky, armatury, apod.
- b) Chyby způsobené dynamickými vlastnostmi samotného snímače.
- c) Chyby jednotlivých členů elektrického obvodu, které mají vliv na výslednou chybu měření teploty.

Hlavním předpokladem správného měření teploty je vhodné umístění snímačů teploty, aby byl zajištěn správný přestup tepla a dokonalý styk s měřeným prostředím. Přesto se mohou vyskytnout chyby způsobené:

1. změnou odporu vedení vlivem teploty
2. základní chyba vyhodnocovacího přístroje
3. nesprávným vyrovnáním vedení
4. měřicím odporem jako odchylkou od cejchovní řady
5. odchylkou kompenzačního vedení od cejchovní řady
6. termočlánkem jako odchylkou od normalizované cejchovní řady
7. odchylkou korekčního napětí
8. dalšími ovlivňovacími veličinami, např. okolní teplotou, napájecím napětím, apod. a jejich vlivem na přístroje.

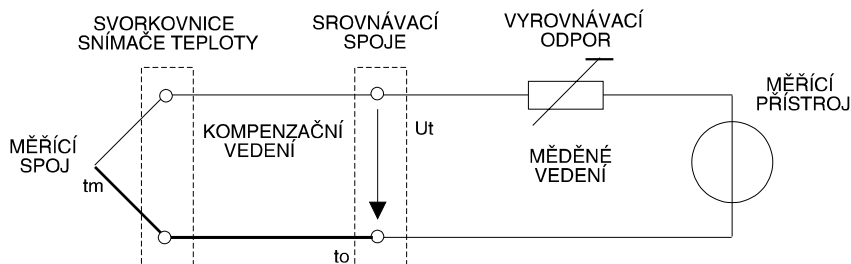
Změna odporu vedení, např. vlivem teploty se projevuje jako chyba náhodná. Vliv chyby lze odhadnout podle uvedeného vzorce, který uvádí velikost chyby v %, jak se projeví na stupnici přístroje. Jde o poměrnou chybu vztahnou k rozsahu.

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta R}{R_{ic}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta R}{R_{ic}}} \cdot 100 \quad (\%, \Omega, \Omega)$$

kde : $\Delta\alpha$ přídavná chyba (%)
 ΔR změna (či odchylka odporu vedení)
 R_{ic} celkový vnitřní odpor (t.j. odpor vedení a vnitřní odpor měřícího přístroje)

Termoelektrické snímače teploty

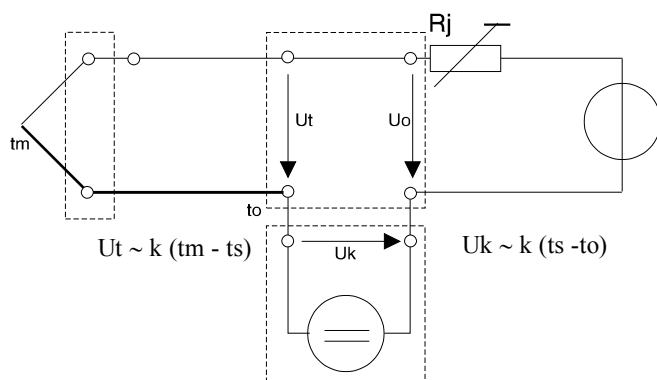
Měření teploty termočlánky je založeno na jevu, že v obvodu složeném ze dvou na konci spojených kovů z různých materiálů vzniká elektromotorická síla. Jestliže spojené konce, které se vkládají do měřené teploty, nazýváme měřící spoj, volné konce, na kterých měříme termoelektrické napětí, se nazývají srovnávací spoje. Tyto snímače teploty jsou určeny k měření vysokých teplot -600... +2 800°C.



Obr. 2.3. Schéma obvodu termoelektrického článku

Na obr. 2.3. jsou vyznačena jednotlivá funkční místa obvodu. Termoelektrické napětí U_t , jehož hodnota je úměrná rozdílu teploty T_m v místě měřicího spoje (teplý konec) a teploty T_o v místě srovnávacích spojů (studený konec) se přivádí kompenzačním vedením a měděným vedením na měřicí přístroj. Aby bylo možno každé hodnotě termoelektrického napětí přiřadit určitou teplotu, je třeba udržovat srovnávací spoje na známé a konstantní teplotě, tzv. teplotě vztažné.

Teplota hlavice může dosahovat značně vysokých teplot, teplota svorkovnice dosahuje někdy až 200°C . Srovnávací spoje se proto posouvají kompenzačním vedením do míst s příznivou teplotou okolí, kde se srovnávací spoje udržují v konstantní teplotě, anebo se provádí kompenzace vlivu teploty okolí na srovnávacích spojích obvodem.



Obr. 2.4. Schéma obvodu termoelektrického článku s elektrickou korekcí

kde je t_s teplota v místě srovnávacích spojů
 t_o vztažná teplota
 t_m ... teplota v místě měřicího spoje

Materiály termoelektrických snímačů

Při výběru materiálu pro termoelektrický snímač se snažíme splnit některé základní požadavky. Především, aby se závislost termoelektrického napětí na teplotě blížila lineárnímu průběhu. Materiál má být odolný proti chemickým, mechanickým a korozním vlivům. Výstupní termoelektrické napětí má být co největší. Čím je hodnota napětí menší, tím je menší přesnost, měřicí přístroj musí být citlivější, a tím je

choulostivější. U snímačů z křehkých kovů (vizmut, antimon apod.) je nutno tyto na sebe ve vakuu nastříkat nebo spékat.

Materiál volíme z hlediska požadovaného rozsahu teplot a požadované přesnosti měření. Důležitá je též časová stálost, popř. Střední doba životnosti snímače. Stálost charakteristiky má být s časem neproměnná. Tato podmínka se dá obzvláště za vyšších podmínek těžko dodržet. Dochází k rekrystalizaci v místě spoje, popř. Ke stárnutí. Snímače se pak musí obnovovat a občas přecejchovat. Byly sestaveny dvojice materiálů, které se ke konstrukci termoelektrických snímačů používají. Jejich parametry jsou uvedeny v normách. V české státní normě jsou cejchovní řady termoelektrických článků Fe-ko, ch-a, ch-k (chromal-kopel) a PtRh-Pt. Jsou v ní udány hodnoty napětí odstupňované po 10°C po vztažnou teplotu srovnávacího spoje 20°C. Pokud je teplota srovnávacího spoje jiná (např. 0 nebo 50°C) pak musíme hodnoty napětí přepočítat. U termoelektrických snímačů je třeba počítat s tím, že i snímače téhož druhu mohou mít různý původ a tedy i různé cejchovní řady, takže jejich charakteristiky jsou poněkud rozdílné. Rozdíl je dán složením použitých materiálů.

Termoelektrické snímače pro nízké teploty

Pro měření nízkých teplot -250 až +500°C se používá běžně termoelektrický snímač Cu-ko. Při přechodu přes 0°C se mění znaménko termoelektrického napětí snímače. Pro vyšší teploty je vhodná dvojice Fe-ko. Konstantan (ko) má podle normy 45%Ni, 55%Cu a nepatrný obsah jiných přísad (Mn, Si, Co, Mg), jehož zvětšení může nepříznivě ovlivnit termoelektrické vlastnosti snímače. Tyto přísady jsou vhodné zejména pro zvětšení odolnosti proti korozi. Velmi choulostivá je konstantanová větev v siričném prostředí. Někdy bývají též jako konstantan označovány slitiny s poněkud odlišným složením, které se pro realizaci snímačů tohoto typu nehodí.

Měď používaná na termoelektrické články má být elektrolyticky čistá. Na čistotě mědi velmi záleží, protože jakékoliv příměsi ovlivňují velmi podstatně její termoelektrické vlastnosti. Poměrně úzký teplotní rozsah je omezen malou odolností mědi, která se snadno okysličuje, dále pak korozní náchylností konstantanu a železa. Znečištění železa (S, Si, Mn a zvláště C) smí být pouze několik setin procenta. Železo je náchylné ke korozi zvláště v prostředí plyných spalin. Intenzita koroze závisí jednak na kvalitním složení spalin, jednak na jejich teplotě. Pro různé prostředí, při určitých teplotách a stanovíme-li si přístupnou toleranci termoelektrického napětí, můžeme určit dobu životnosti snímače.

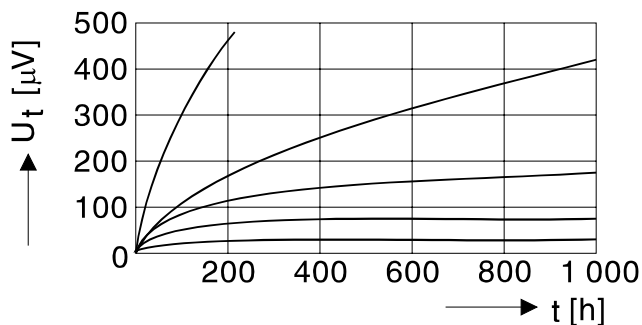
Pro vyšší teploty používáme termoelektrického článku NiCr-Ni. Pro měření teploty se používá tato dvojice déle než 50 let (Hoskins). Niklová větev má 95% Ni zbytek tvoří dezoxidační a jiné přísady. Větev niklochromová má mít 85% Ni, 10% Cr a zbytek tvoří opět dezoxidační a jiné přísady. Zachování předem stanoveného složení, zvláště obsahu chromu je velmi obtížné. Odchytky ve složení přirozeně vedou k odchylkám termoelektrických vlastností snímačů, vyrobených z různých materiálů, různých taveb nebo různými výrobci. Ve snaze po sjednocení byla proto stanovena mezinárodní srovnávací stupnice termoelektrických napětí pro různé teploty pro snímač NiCr-Ni. Složení této dvojice je následující :

Větev NiCr - 89% Ni, 9,8% Cr, 1% Fe, 0,2%Mn

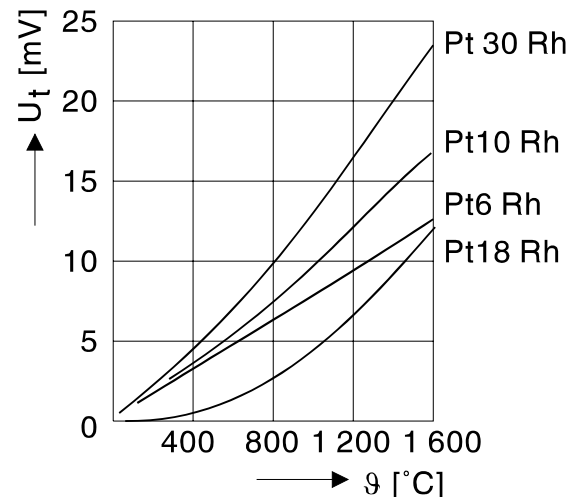
Větev Ni - 94% Ni, 2% Al, 1% Si, 2,5% Mn

Optimální množství chrómu, pokud jde o termoelektrické napětí je 0,8%. Při tomto obsahu chrómu je však doba života chrómniklové větve kratší než větve niklové. Volí se proto větší přísada chrómu, aby se doba životnosti obou větví přibližně vyrovnala.

Při teplotě 600°C se pokrývá povrch termoelektrického článku vrstvou okují, která sice na povrchu pevně drží, nechrání však vnitřní jádro drátu před další oxidací. Větší je toto působení u niklové větve při oxidaci vzduchu. Niklochromová větev je napadena podstatně méně, neboť souvislá vrstva oxidů, vytvořená na povrchu drátu, zabraňuje dalšímu okysličování. Také v prostředí sirnatých plynů je větev NiCr odolnější než větev Ni. Odolnost niklové větve může být sice zlepšena přidáním manganu, avšak přesto se škodlivý vliv síry při vyšších teplotách projeví zkrěhnutím materiálu. V neutrální a redukční atmosféře, zvláště je-li zároveň zvětšena vlhkost prostředí, podléhá větev NiCr zvláštnímu druhu koroze, který se projevuje tím, že dochází k ochuzení této větve o chróm, a tím k nevratné změně termoelektrického napětí.



Obr. 2.5. Závislost termoelektrického napětí na čase pro termoelektrický článek NiCr-Ni



Obr.2.6. Vliv přísady rhodia na charakteristiku termoelektrického článku PtRh-Pt

Na obr.2.5. je uvedena závislost termoelektrického napětí snímače NiCr-Ni na čase pro různé hodnoty měřené teploty. Z grafu je patrné, že odchylky se nemění ani při dlouhodobém provozu, nepřestoupí-li teplota snímače 900°C.

Pro prodloužení životnosti a zvýšení odolnosti je výhodná plynotěsná armatura s keramickou trubkou, popř. chránění obou větví termoelektrického článku silikátovou nebo fosfátovou vrstvou. Pro stejný rozsah jako snímač NiCr-Ni je určen termoelektrický článek ch-a (chromel - alumel).

Zajímavé z provozního hlediska jsou snímače s dvojicí NiCu 6 - NiCu 30 nebo termoelektrický článek NiCo-Ni. Jde o tzv. termoelektrické články s potlačenou nulou. Závislost termoelektrického napětí na teplotě má takový průběh, že téměř do 200°C je napětí nulové, teprve pak stoupá, přičemž v rozsahu 400 až 900°C je téměř

lineární. Význam této skupiny termoelektrických článků spočívá v tom, že parazitní vliv srovnávacího spoje je minimální a nepotřebuje zvláštní řešení.

Termoelektrické snímače pro vyšší teploty

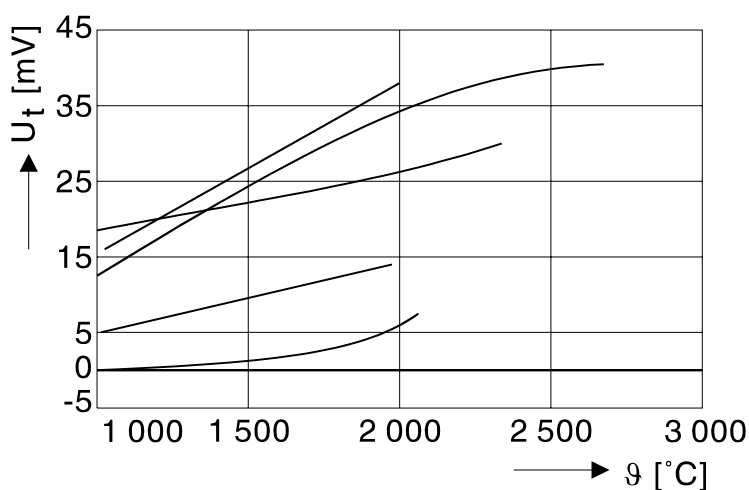
Pro vyšší teploty do 1 500°C, krátkodobě do 1 600°C, se používají termoelektrické články řady PtRh-Pt. Patří mezi nejstarší (dvojice PtRh 10-Pt, Le Chatelier - 1877). Tento termoelektrický článek dosáhl největšího rozšíření. Pro správnou funkci je důležitá stálost složení slitin větví a především čistota platinové větve. Při trvalém používání při teplotě 1 200°C se však obě větve termoelektrického článku rozprašují. Snímač se musí pečlivě chránit před redukčním prostředím, před parami kovů a zvláště před křemíkem, který lehce difunduje do materiálu termoelektrického článku a mění jeho složení, a tím i jeho charakteristiku, na což nesmíme zapomenout při volbě materiálu izolace pro měřící spoj termoelektrického článku. Na obr. 2.6. je graficky naznačen vliv přísady rhodia na termoelektrické napětí článku PtRh-Pt. Z grafu je též patrný průběh charakteristiky snímače PtRh 18, z něhož vyplývá, že pro většinu měření je parazitní vliv srovnávacího spoje potlačen.

Tabulka 2.7. Termoelektrická napětí některých termoelektrických dvojic platinové řady :

Teplota [°C]	Termoelektrické napětí mV				
	h10/Pt	PtRh30 PtRh6	PtRh13/Pt	PtRh20/ PtRh5	PtRh40/ PtRh20
0	0	0	0	0	0
100	0,643	0,055	0,645	0,09	0,040
200	0,436	0,161	1,465	0,27	0,090
300	2,316	0,418	2,395	0,57	0,155
400	3,251	0,790	3,399	0,95	0,240
500	4,221	1,245	4,455	1,42	0,352
600	5,224	1,796	5,563	1,97	0,492
700	6,260	2,441	6,720	2,59	0,664
800	7,329	3,163	7,924	3,29	0,866
900	8,432	3,964	9,475	4,05	1,104
1 000	9,570	4,840	10,471	4,87	1,378
1 100	10,741	5,792	11,817	5,75	1,680
1 200	11,935	6,811	13,192	6,68	2,015
1 300	13,138	7,890	14,582	7,64	2,380
1 400	14,337	9,000	15,969	8,62	2,780
1 500	15,531	10,130	17,356	9,91	3,190
1 600	16,716	11,260	18,728	10,60	3,625
1 700	-	12,391	20,090	-	4,070
1 800	-	13,520	-	-	4,525

Při vyšších teplotách a delší době používání se též stává, že rhodium ze slitinové větve (např. PtRh 10) difunduje v místě spoje do čisté platiny, čímž se podstatně a nenávratně změní charakteristika snímače. Aby se potlačil uvedený jev a aby se zvětšila stabilita snímače, byl vyvinut termoelektrický článek s oběma větvemi slitinovými s různým procentem druhé složky. Tím se zmenší možnost přecházení rhodiové složky z jedné větve do druhé. V tab. 2.7. jsou uvedena termoelektrická napětí některých termoelektrických dvojic platinové řady. Závislost termoelektrických napětí pro některé další vysokoteplotní dvojice je na obr. 2.8. Hodnota napětí je podstatně nižší než termoelektrických článků z neušlechtilých kovů. Např. Dvojice IrRh 40-Ir se dá použít do 2 000°C, krátkodobě pro 2 100°C. Má dobrou stabilitu termoelektrického napětí v oxidačním a neutrálním prostředí. Jako ochranné trubky se používá slinutého korundu s kysličníkem thoria nebo hořčíku.

Pro měření v oxidačním prostředí jsou většinou vhodné slitiny platiny, rhenia a iridia. Termoelektrické články k měření v redukčním prostředí jsou většinou tvořeny z prvků nebo slitin molybdenu, wolframu, rhenia a tantalu. Termoelektrický článek wolfram-rhenium (do 2 200°C) se vyznačuje velkou hodnotou termoelektrického napětí. Určitou nevýhodou je křehkost jeho materiálu. Pro měření v interním plynu nebo ve vakuu je nejvhodnější termoelektrický článek W-Ir, který má velkou citlivost. Používá se do teplot 2 500°C. V redukční atmosféře se jím smí měřit pouze krátkodobě. Výhodou je, že v oblasti přes 1 000°C je jeho charakteristika téměř lineární. Termoelektrický článek W-W Re se používá pro nepřetržité měření do 2 500°C a krátkodobě do 2 800°C v redukční nebo interní atmosféře.

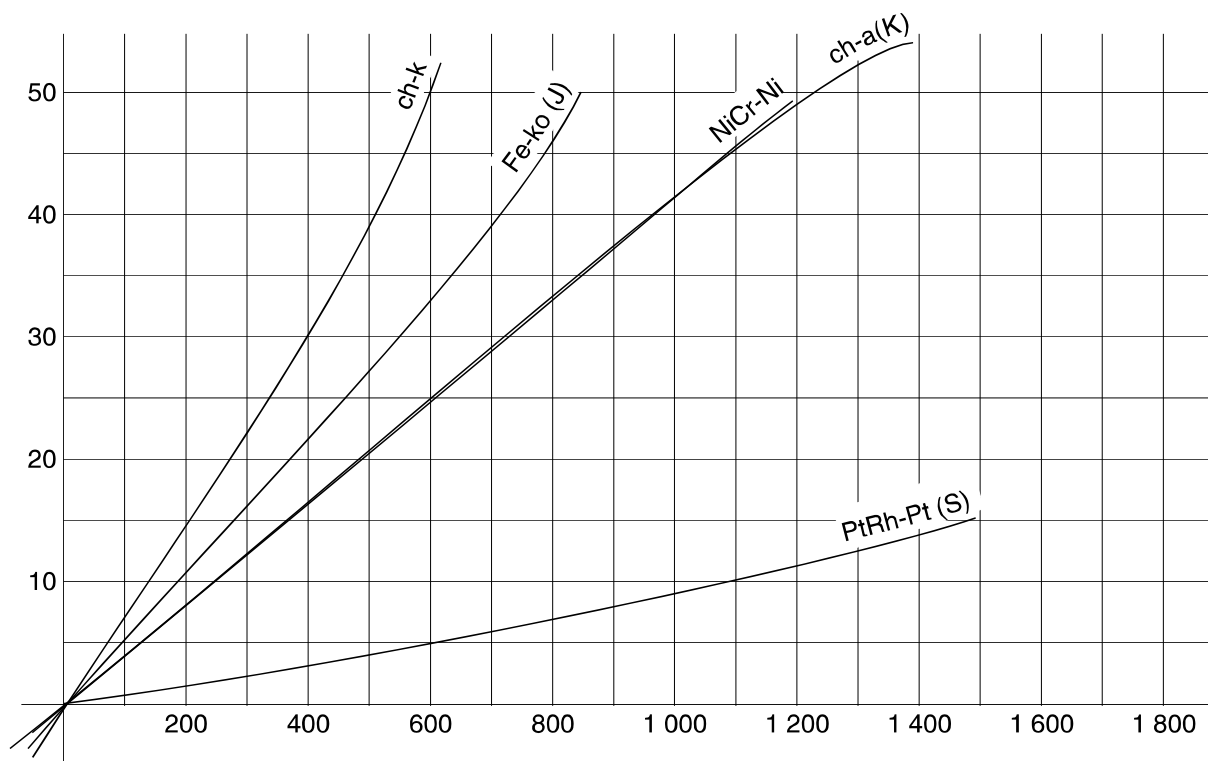


Obr. 2.8. Charakteristiky některých vysokoteplotních termoelektrických článků

Použitelnost termoelektrických článků W-Mo, Ir-IrRh, Ir-Re, Re-W a dalších bývá v mnoha případech v provozních podmínkách nad 1 800°C z různých příčin omezena, např. Pro nevyhovující stálost, nezbytnost použití ochranného plynu apod.

Tabulka 2.9. Fyzikální vlastnosti materiálů pro termoelektrické snímače

Materiál	Cu	Ko	Fe	NiCr
měrná hmotnost při 20°C [g cm ⁻³]	8,9	8,8 až 8,9	7,8 až 7,9	8,5 až 8,6
Chemické složení	E Cu 99,9%	45% Ni 55% Cu malé dezoxidační a jiné přísady	Fe techn. Čisté	10% Cr 45% Ni zbytek dezoxid. a jiné přísady
Elektrický měrný odpor při 20°C [μΩm]	0,017	0,49 až 0,51	1,50 až 0,120	0,70 až 0,80
Teplotní součinitel odporu [1/°C]	0,0043	20 - 600°C		20 - 1 000°C 0,00035
		0,00002	0,001	
teplotní součinitel roztažnosti [ml/°C]	mezi 20 až 600°C			
	0,018	0,0168	0,0146	0,0157



Obr. 2.10. Závislost termoelektrického napětí na rozdílu teplot měřícího a srovnávacího spoje

Termoelektrický článek PtRh6)	T (Cu-ko)	J	K (Fe-ko)	S (ch-a)	(PtRh-Pt)	B (PtRh30-
Rozsah použití (°C) - krátkodobě	-200 až +400 +600	-200 až +600 +900	-50 až +1000 +1300	0 až +1300 +1600		+1000 +1600 +1800
Termoel. napětí (mV/100°C)	4,25	5,37	4,8	1,64		
Odolnost v oxi- dačním prostředí	malá	malá, nutno chránit	velká	velká, nad 1200°C nutno chránit		velká

Tab. 2.11. Vlastnosti termočládků

Pyrometry

Pyrometry jsou bezdotykové teploměry, které určují teplotu měřeného tělesa z teplotního záření. Využíváme-li pro určení teploty tělesa širokého rozsahu vlnových délek, přístroj se nazývá radiální pyrometr (dříve totálně radiální pyrometr). Využíváme-li pyrometr úzkého rozsahu vlnových délek, říkáme mu spektrální pyrometr (dříve parciálně radiální pyrometr). Pokud teplotu spektrálního pyrometru určujeme ze záře zářícího tělesa, nazývá se (ne zcela správně) jasový pyrometr. Veličina teplotního záření je „zář“ odpovídá veličině světelného záření „jas“. Optický pyrometr je druh jasového (i spektrálního) pyrometru, kde čidlem pro zjišťování rozdílu záře je lidské oko. Pyrometry se používají nejčastěji pro měření vysokých teplot nad 600°C.

Dokonale černé těleso maximálně pohlcuje i vyzařuje záření. Vyzařování je závislé na termodynamické teplotě. Intenzita vyzařování a pohltivost jsou si úměrné. Je-li teplota tělesa větší než teplota okolí, převažuje intenzita vyzařování nad pohltivostí. Podle Stefan-Boltzmannova zákona intenzita vyzařování H_0 / Wm^{-2} je úměrná čtvrté mocnině teploty T / K :

$$H_0 = \sigma T^4,$$

kde $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$. Indexem σ označíme, že se jedná o dokonale černé těleso. Intenzita vyzařování má integrální charakter, skládá se z příspěvků vyzařování při jednotlivých vlnových délkách, podle vztahu :

$$H_0 = \int_0^{\infty} H_{0\lambda} d\lambda,$$

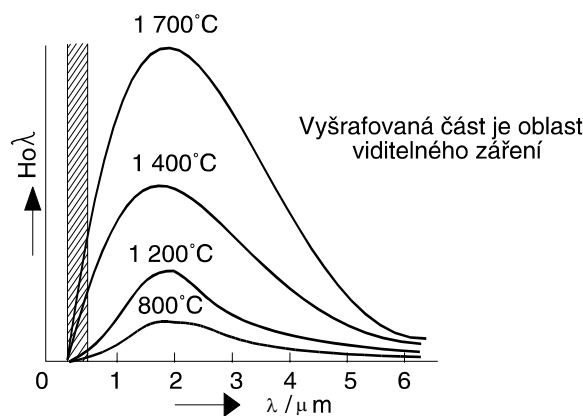
kde příspěvek $H_{0\lambda} / \text{Wm}^{-3}$ se nazývá spektrální hustota vyzařování a λ / m je vlnová délka záření.

Závislost spektrální hustoty intenzity vyzařování na vlnové délce a teplotě je dána Planckovým zákonem :

$$H_{0\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 (\exp(C_2/(\lambda T)) - 1)}$$

s konstantami $C_1 = 3,7413 \cdot 10^{-16} \text{Wm}^2$ a $C_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2} \text{mK}$.

Závislost je graficky znázorněna na obr. 2.12.



Obr.2.12. Záření dokonale černého tělesa

Plocha pod křivkou pro danou teplotu je rovna intenzitě vyzařování H_0 při této teplotě. Maximum vyzařování se posouvá se vzrůstající teplotou ke kratším vlnovým délkám podle Wienerova zákona posuvu. Skutečné těleso vyzařuje (i pohlcuje) méně než černé těleso. Jeho spektrální hustota intenzity vyzařování H_λ je dána vztahem :

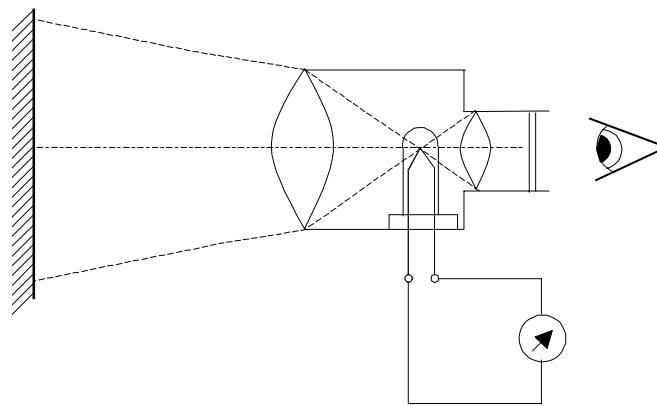
$$H_\lambda = A_\lambda H_{0\lambda} ,$$

kde A_λ /1/ je emisivita pro vlnovou délku λ . Závisí-li A_λ na vlnové délce, skutečné těleso je selektivní zářič, je-li konstantní v určitém rozsahu vlnových délek, skutečné těleso považujeme za šedé těleso.

Radiační pyrometr :

Je schematicky znázorněn na obr. 2.13. Využívá výchylkové měřicí metody. Spojná čočka (nebo duté zrcadlo) zachycuje záření z určité oblasti žhavého tělesa a soustřeďuje je na začerněný terčík s termočlánkem (nebo jiným teplotním čidlem), umístěným v ohnisku. Dopadající záření se mění na teplo a zvyšuje teplotu terčíku až se dosáhne ustálený stav, charakterizovaný určitou teplotou terčíku. Termoelektrické napětí E /mV/ článku je pak úměrné čtvrté mocnině teploty žhavého tělesa T/K . Statická charakteristika radiačního pyrometru bude přímka v logaritmických souřadnicích.

$$\log E = A + B \log T$$



Obr. 2.13. Radiační pyrometr

Za ideálních podmínek by směrnice B měla hodnotu 4. Spojná čočka i skleněné okénko část zářivé energie pohlcují, zejména v infračervené oblasti a pak $B > 4$,

Údaj radiačního pyrometru nezávisí na vzdálenosti od zdroje, pokud zdroj zaujímá celé zorné pole. Intenzity záření sice ubývá se čtvercem vzdálenosti, avšak plocha v zorném poli stejně narůstá. Za tímto účelem je pyrometr opatřen okulárem, pro jeho zaměření na žhavý předmět a pro kontrolu, zda předmět zaujímá celé zorné pole. Zorné pole je vymezeno clonou, kterou lze nastavit rozsah pyrometru.

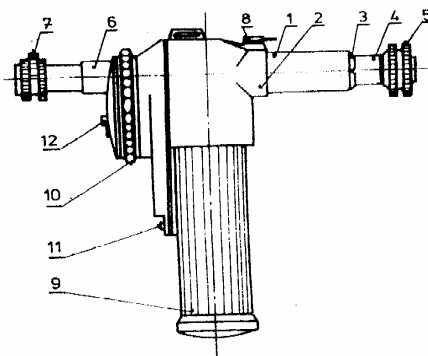
Označíme-li si plochy vstupních otvorů F_1 a F_2 je vztah mezi teplotami T_1 a T_2 , odpovídajícími stejné výchylce měřícího přístroje,

$$F_1 T_1^4 = F_2 T_2^4, \quad \text{takže} \quad T_1 = \sqrt[4]{F_2/F_1} T_2$$

Údaj radičního pyrometru je objektivní (není zatížen chybou pozorování) a lze jej využít pro dálkový přenos.

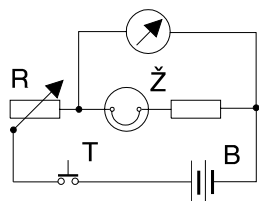
Optický pyrometr :

„Pyrometr 1“ n.p.Metra provádí měření teploty při vlnové délce $0,65\mu\text{m}$. Je založen na nulové měřící metodě tím, že v optickém systému se srovnává zář měřeného tělesa se zář vlákná pyrometrické žárovky.



Obr. 2.14. Optický pyrometr

Optický pyrometr (Obr. 2.14.) je dalekohled s výsuvným objektivem 4, jímž se vytváří obraz měřeného tělesa v rovině vlákná žárovky, a s výsuvným okulárem, zaostřujícím vlákná žárovky. Okulár obsahuje červený filtr 7, který vymezuje vlnovou délku zářen. Zařazuje se při teplotách nad 900°C . Pro zvýšení měřícího rozsahu se vřadí mezi objektiv a žárovku šedý filtr páčkou 8.



Obr. 2.15. Elektrické schéma optického pyrometru



Obr. 2.16. Seřízení pyrometru

Elektrická část (Obr. 2.15.) se skládá z pyrometrické žárovky \check{Z} , žhavené proudem 3V baterie přes otočný reostat R a tlačítko T . Paralelně k žárovce je připojen magnetoelektrický měřící přístroj s teplotní stupnicí. Účelem manipulace s přístrojem je nastavit odpor R tak, aby se konec smyčky vlákná žárovky svou zář ztrácel v zář měřeného tělesa (Obr. 2.16.). Vlevo má vlákná žárovky nižší teplotu, vpravo vyšší a uprostřed správnou teplotu. Pyrometr I má rozsahy 700°C až $1\ 500^\circ\text{C}$ s chybou $\pm 22^\circ\text{C}$ a $1\ 200^\circ\text{C}$ až $2\ 300^\circ\text{C}$ s chybou $\pm 35^\circ\text{C}$. Při měření do 900°C bez

záření červeného filtru vzniká doplňková chyba na nemonochromaticnost, která může být maximálně $\pm 20^{\circ}\text{C}$.

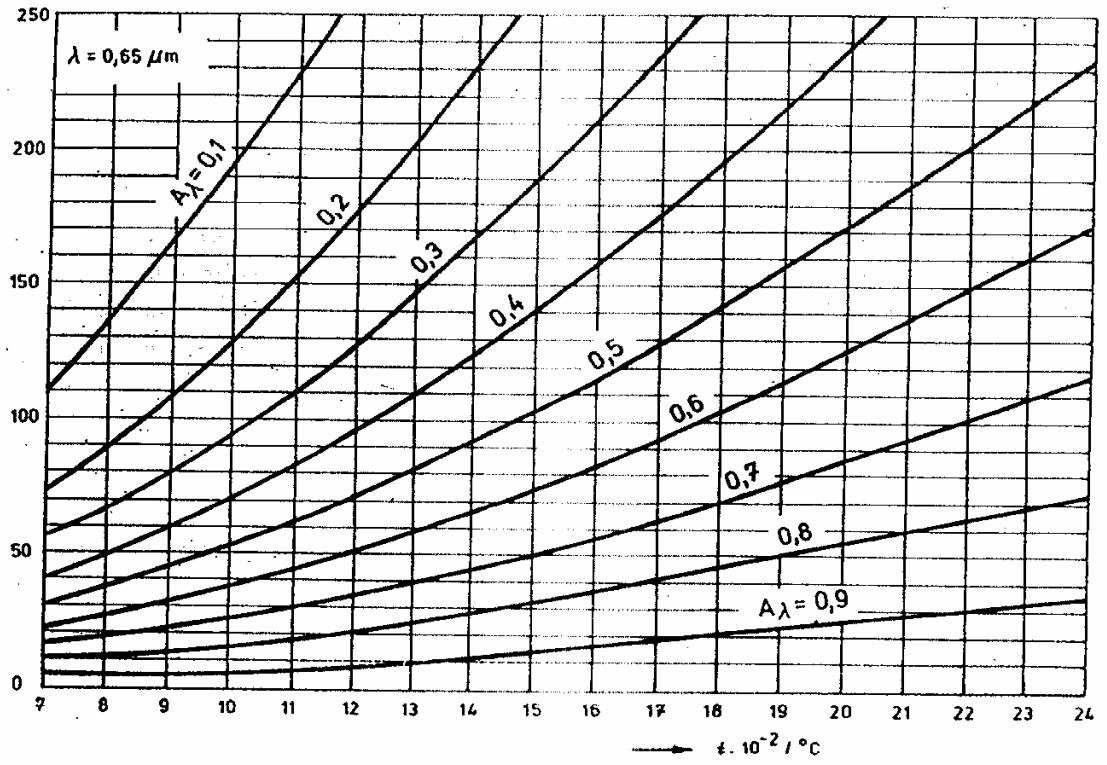
Štupnice pyrometru je pro záření dokonale černého tělesa, které má emisivitu $A_{\lambda} = 1$. Reálná tělesa vyzařují méně energie, a proto bude jejich naměřená teplota vždy nižší než skutečná. Proto je nutno použít korekční tabulky a grafu pro výpočet korekce. V tabulce 2.17. jsou uvedeny emisivity A_{λ} pro některé látky.

Pro danou emisivitu A_{λ} a pro naměřenou hodnotu se z grafu na obr. 2.17. nalezne korekce. Korekce se připočte k naměřené teplotě (hrubému výsledku měření) a získaná hodnota je upravený výsledek měření.

I přes korekce může docházet u pyrometrů k chybám, způsobeným absorpcí záření v prostředí. Sklo, dým a kouř, ale také CO_2 a páry H_2O absorbují tepelné záření. Naměřený údaj bude proto nižší.

tabulka 2.17.
Hodnoty emisivity A_{λ} pro $\lambda = 0,65\mu\text{m}$

Materiál	neoxidovaný		Kysličník na hladkém povrchu
	tuhý	tekutý	
hliník	-	-	0,22 - 0,4
uhlík	0,93	-	-
železo	0,35	0,37	0,63 - 0,98
ocel	0,35	0,37	0,8
litina	0,37	0,4	0,7
90 Ni, 10 Cr	0,35	-	0,87
porcelán	-	-	0,25 - 0,5
šamot	0,6	-	-
struska	-	0,6	-



Obr. 2.18. Korekční graf optického pyrometru