

Odporové snímače teploty

1. Princip

Odporové snímače teploty patří mezi dotykové snímače (snímač je v přímém dotyku s měřeným prostředím - médiem) používané k dálkovému měření teploty. Jejich čidlo (měřicí odpor) převádí teplotní změnu prostředí na změnu elektrického odporu. Využívá se přitom toho, že některé (zvláště kovové) materiály mění svůj elektrický odpor v závislosti na změně své teploty.

2. Čidla - měřicí odpory

2.1 Základní parametry

Vlastnosti odporových čidel teploty lze popsat např. následujícími parametry:

$R_0, R_{0,01}$ - základní odpor - hodnota elektrického odporu čidla při teplotě 0 °C, resp. při +0,01 °C (teplota trojného bodu vody),

R_{100} - hodnota elektrického odporu čidla při teplotě 100 °C,

R_t - hodnota elektrického odporu čidla při teplotě t °C,

W_{100}, W_t - poměr odporů při 100 °C, resp. t °C a 0 °C.

$$W_{100} = \frac{R_{100}}{R_0}, \quad \text{resp.} \quad W_t = \frac{R_t}{R_0}$$

2.2 Kovové měřicí odpory

Odporová čidla k měření teploty v průmyslových podmínkách lze v zásadě rozdělit na čidla vinutá z platinového, niklového, respektive měděného drátu a čidla vrstvosvá, kde odporová vrstva je nejčastěji z Pt, nebo Ni. Základní parametry obvykle užívaných materiálů jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1

Materiál čidla	Základní odpor R_0 [Ω]	Poměr odporů W_{100}	Měřicí rozsah [°C]
Pt	100	1,3850	-200 až +850
Ni	100	1,6180	-60 až +180 (+250)
Cu	100	1,4260	-200 až +200

Závislost odporu na teplotě (základní hodnoty) a dovolené odchylky (tolerance) platinových čidel pro průmyslové (provozní) odporové snímače teploty jsou dány normou IEC 751, respektive ČSN IEC 751, která je se svými změnami (změna 1 a změna A2) identická s normou EN 60751. Základní hodnoty odporu uvedené ve změně A2 odpovídají Mezinárodní teplotní stupnici 1990 (ITS90).

Norma IEC 751 zahrnuje pouze čidla se základním odporem $R_0 = 100 \Omega$ a poměrem odporů $W_{100} = 1,3850$ (odpovídá teplotní součinitel odporu $\alpha = 0,00385 \text{ K}^{-1}$). U platinových čidel s $W_{100} = 1,3850$ a většími hodnotami základního odporu, např. Pt 200, Pt 500, Pt 1000 apod., dostaneme jejich základní hodnoty odporu tak, že základní hodnoty z IEC 751 vynásobíme koeficientem $R_0 \cdot 10^{-2}$.

Dovolené odchylky (tolerance) v °C, Pt čidel dle IEC 751 pro provozní snímače:

- pro třídu přesnosti A: $\pm(0,15 + 0,002 \cdot |t|)$,

(mají se používat do +650 °C),

- pro třídu přesnosti B: $\pm(0,30 + 0,005 \cdot |t|)$,

(jsou určeny do +850 °C),

kde $|t|$ = absolutní hodnota teploty ve stupních Celsia (bez ohledu na znaménko).

Hodnoty dovolených odchylek v °C platí i pro další hodnoty základního odporu, ale dovolené odchylky v Ω jen pro $R_0 = 100 \Omega$. Dovolené odchylky v °C i v Ω viz tabulka 2.

Mimo tato platinová odporová čidla se ve světě (Velká Británie, Japonsko, USA, Rusko) používají i čidla s jinými hodnotami poměru W_{100} , jako např. $W_{100} = 1,3910$ a tedy i jinou strmostí charakteristiky. Tomu je třeba věnovat pozornost zvláště při dovozu odporových snímačů teploty ze zahraničí ať už samostatně nebo v rámci kompletních zařízení.

Niklová odporová čidla se používají s $W_{100} = 1,6170$, ale pravděpodobně nejužívanější jsou čidla s $W_{100} = 1,6180$ a $R_0 = 100 \Omega$, dle normy DIN 43760.

Tabulka 2

Měřená teplota [°C]	Dovolené odchylky			
	Třída přesnosti A		Třída přesnosti B	
	[Ω]	[°C]	[Ω]	[°C]
-200	$\pm 0,24$	$\pm 0,55$	$\pm 0,56$	$\pm 1,3$
-100	$\pm 0,14$	$\pm 0,35$	$\pm 0,32$	$\pm 0,8$
0	$\pm 0,06$	$\pm 0,15$	$\pm 0,12$	$\pm 0,3$
100	$\pm 0,13$	$\pm 0,35$	$\pm 0,30$	$\pm 0,8$
200	$\pm 0,20$	$\pm 0,55$	$\pm 0,48$	$\pm 1,3$
300	$\pm 0,27$	$\pm 0,75$	$\pm 0,64$	$\pm 1,8$
400	$\pm 0,33$	$\pm 0,95$	$\pm 0,79$	$\pm 2,3$
500	$\pm 0,38$	$\pm 1,15$	$\pm 0,93$	$\pm 2,8$
600	$\pm 0,43$	$\pm 1,35$	$\pm 1,06$	$\pm 3,3$
650	$\pm 0,46$	$\pm 1,45$	$\pm 1,13$	$\pm 3,6$
700	---	---	$\pm 1,17$	$\pm 3,8$
800	---	---	$\pm 1,28$	$\pm 4,3$
850	---	---	$\pm 1,34$	$\pm 4,6$

Odporové snímače teploty

Měděná odporová čidla, která jsou rozšířena např. na Ukrajině a v Rusku, se používají s $W_{100} = 1,4260$ a jmenovitou hodnotou 50 Ω nebo 100 Ω . Patří k tzv. vinutým čidlům.

2.3 Čidla vinutá

U čidel vinutých je obvykle odporové vinutí uloženo buď v kapilárách válcových keramických nosných tělísek, kde je i určitým způsobem fixováno, nebo je navinuto na vnějším povrchu těchto tělísek, kde je pro zajištění fixace a ochrany přeskleno keramickým smaltem, nebo skelnou pájkou.

Někdy, u tzv. skleněných odporů, je odporové vinutí navinuto na trnu z tvrdého skla a z důvodu fixace a ochrany přeskleno vrstvou měkčího skla.

Konstrukce s vnějším vinutím obvykle zajišťuje větší odolnost proti působení vibrací, otřesů, atd., avšak jejich metrologické vlastnosti bývají s ohledem na působení tenzometrického jevu při změnách teploty poněkud horší, než při uložení vinutí v kapilárách.

Konstrukce s vinutím uloženým v kapilárách má z výše uvedených důvodů obvykle lepší metrologické vlastnosti.

Vinutá čidla se obvykle nabízejí s hodnotou jmenovitého odporu R_0 rovnou 100 Ω , nebo 500 Ω .

Vývody těchto čidel jsou drátové s průměrem drátu obvykle 0,3 nebo 0,35 mm. Délka vývodů bývá od cca 10 do 30 mm.

U vinutých i vrstevných čidel je do hodnoty odporu čidla zahrnut i odpor těchto vývodů, a to až po tzv. kalibrační bod, a proto nelze délku vývodů libovolně zkracovat.

2.4 Čidla vrstevná

U čidel vrstevných je odporové vinutí nahrazeno odporovou vrstvou (z Pt, Ni...) obvykle nanášenou na nosné destičce (substrátu) z korundové keramiky. K nanášení této vrstvy byla vyvinuta tzv. tlustovrstvá a tenkovrstvá technologie.

Starší tlustovrstvá technologie spočívala např. v nanášení platinové vrstvy ve formě pasty na korundový substrát síťotiskem, tepelné stabilizaci vrstvy, laserovým nastavením požadované hodnoty základního odporu, rozřezáním na jednotlivá čidla, připevněním vývodů...

U novějších tenkovrstvých technologií se platinová vrstva nanáší naprašováním, nebo napařováním ve vakuu. Předností vrstevných čidel je vzhledem k použité technologii jejich relativně nízká cena a poměrně vysoká otřesuvzdornost ve srovnání s čidly vinutými.

Tato čidla se nabízejí v poměrně velkém sortimentu hodnot jmenovitých odporů (základních odporů R_0), např. 100 Ω , 200 Ω , 500 Ω , 1000 Ω , 2000 Ω , ale i 10000 Ω nebo 20000 Ω .

Vrstevná čidla se používají jednak ve formě malých obdélníkových destiček, s rozměry obvykle cca 2x10 / 2x5, ale i 2,3x2 mm s tloušťkou cca 1,3 mm, jednak v zapouzdřené podobě, kdy se již zmíněné destičky ukládají do válcových keramických pouzder o průměru cca 2 / 3 / 4 mm a délce cca 7 / 12 mm.

Destičková čidla mohou být opatřena drátovými vývody, ale i speciálními vývody např. Comatel, nebo kontaktovacími ploškami. Zapouzdřená válcová čidla mají obvykle jen drátové vývody. U drátových vývodů je třeba dát pozor na to, že jsou vzhledem ke svému průměru jen cca 0,2 nebo 0,25 mm poměrně choulostivé. Délka těchto vývodů bývá cca 15 mm.

Vrstevná destičková čidla se aplikují např. nalepením, nebo natmelením, čidla s kontaktovacími ploškami se aplikují na plošných spojích.

Vrstevná čidla umožňují často měření teploty i tam, kde to dříve nebylo možné a v mnoha aplikacích nahrazují dosud používaná vinutá odporová čidla.

2.5 Další odporová čidla

Mezi další odporová čidla teploty patří např. termistory a křemíková čidla teploty a výrobci je charakterizují např. hodnotou odporu při 25 °C označovanou jako R_{25} .

Termistory jsou nelineární polovodičové snímače s velkým teplotním součinitelem odporu α . NTC - termistory (Negative Temperature Coefficient) mají α negativní a jejich odpor s teplotou klesá. PTC - termistory (Positive Temperature Coefficient) mají α pozitivní a jejich odpor s teplotou roste. PTC - termistory mají ve srovnání s NTC - termistory až desetinásobnou citlivost v úzkém rozsahu teplot. Používají se proto pro měření teploty, průtoku, ale i analýzu teplotního pole apod.

U křemíkových čidel se využívá toho, že pohyblivost volných nosičů elektrických nábojů v krystalové mřížce křemíku je závislá na teplotě. Se změnou rychlosti jejich pohybu se nepřímo mění i měrný odpor krystalu, který kromě toho závisí nepřímo na počtu příměsí na jednotku objemu. Tato čidla s $R_{25} = 1000 \Omega$ a $\alpha = 0,077 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ mají měřicí rozsah např. (-50 až +100) °C a v řadě aplikací mohou nahradit i platinová čidla. Jejich největší předností je velmi nízká cena.

Výzkum a vývoj dalších odporových čidel neustále pokračuje a bylo by chybou myslet si, že zde už nelze čekat nic nového.

3. Měřicí vložky odporových snímačů teploty

Odporové snímače teploty s hlavicí typu B dle DIN 43729 jsou vybaveny výměnnými měřicími vložkami (s jedním, dvěma, výjimečně i třemi čidly) s přírubkou a keramickou svorkovnicí o průměru 42 mm a s roztečí upevňovacích šroubů 33 mm. V posledních letech se rozšiřuje i provedení, kdy je svorkovnice nahrazena dvouvodičovým převodníkem do hlavice snímače teploty.

Tyto výměnné měřicí vložky, které bývají opatřeny odpruženými upevňovacími šrouby se obvykle vyrábějí v následujících variantách:

- měřicí vložka klasické konstrukce s pevným (neohebným) stonkem a relativně malou mechanickou odolností, kdy vnitřní vedení zasunuté v keramické čtyřkapiláře a s navařeným čidlem je volně uloženo v kovové stonkové trubce s navařenou přírubkou,
- měřicí vložka se zvýšenou mechanickou odolností, které je dosaženo mimo jiné i tím, že kromě použití odolnějšího čidla je veškerý volný prostor uvnitř stonkových trubek vložek ad a) vyplněn keramickým práškem,

c) - měřicí vložka s vysokou mechanickou odolností, které je dosaženo použitím odolného čidla a ohebným stonkem, který je zhotoven z plášťového kabelu v němž je vnitřní vedení uloženo ve zhuštěné izolaci z oxidu MgO. Čidlo je uloženo v pouzdru navařeném na konci plášťového kabelu.

Vnitřní vedení odporových měřicích vložek, ale i odporových snímačů teploty obecně, bývá z Cu, Ag nebo speciálních slitin. Uspořádání vnitřního vedení (zapojení čidla) a jeho označení může být podle ČSN IEC 751 následující:

- dvou vodičové - 2
- tří vodičové - 3
- čtyř vodičové - 4
- s pomocnou smyčkou - 4C

Výsledná přesnost měření odporovými snímači teploty může být ovlivněna i volbou uspořádání vnitřního vedení měřicí vložky (snímače). Při dvou vodičovém zapojení měříme odpor čidla včetně odporu vedení, který může být navíc ovlivněn závislostí odporu vedení na změnách okolní teploty. Z uvedených důvodů poskytuje toto zapojení nejmenší výslednou přesnost měření.

Hodnota odporu dvou vodičového vnitřního vedení má být u snímače uváděna aby bylo možné odhadnout velikost takto způsobené chyby a případně provést její korekci. Obvykle se tato hodnota uvádí pokud přesahuje 0,1 % jmenovitého odporu čidla.

U dalších uspořádání vnitřního vedení lze můstkovými, nebo kompenzačními metodami měření dosáhnout podstatně vyšší přesnosti měření teploty. Nejpřesněji lze měřit s využitím čtyř vodičového zapojení čidla, kompenzační metodou, kdy výsledek měření není ovlivněn odporem vnitřního vedení - měříme odpor samotného čidla.

4. Odporové snímače teploty s výměnnými měřicími vložkami

Tyto snímače teploty s hlavicí typu B dle DIN 43729 patří k běžným průmyslovým (provozním) snímačům. Patří k nim:

- snímače do jímky ,
(E = thermometers with drilled protective tubes)
(D = Einschveiss -Thermometer)
- snímače s jímkou,
(E = screw-in thermometers, thermometers with welded protective tubes),
(D = Einschraub-Thermometer),
- snímače bez jímky,
- snímače tyčové
(E = push-in thermometers, straight thermocouples),
(D = Einsteck-Thermometer),

4.1 Odporové snímače teploty do jímky

Snímače jsou určeny k dálkovému měření teploty plyných i kapalných médií v energetice, v chemickém a petrochemickém průmyslu, v zařízeních pro rozvod zemního plynu, tepla atd.

Tyto snímače jsou kompletovány s jímkami jednak k zašroubování do návarků navařených na potrubí, nebo na technologickém zařízení, jednak k zavaření do vývrtu ve stěně potrubí, nebo technologického zařízení. Jímky k zašroubování se po namontování obvykle zajišťují pojistným svarem.

V závislosti na použité jímce lze tyto snímače použít v rozsahu provozních teplot cca (-200 až +600) °C a v rozsahu provozních tlaků od vakua až do cca 25 (50) MPa. Kuželové jímky pro vysoké parametry pak umožňují použití těchto snímačů pro přehřátou páru s rychlostí proudění cca (80 až 100) m/s.

Při zvolení vhodného materiálu jímky lze snímače použít i pro různá agresivní (korozivní) média.

4.2 Odporové snímače teploty s jímkou

Snímače jsou určeny k dálkovému měření teploty plyných i kapalných médií v energetice, v chemickém a petrochemickém průmyslu, v zařízeních pro rozvod zemního plynu, tepla atd.

Tyto snímače, jejichž jímka je opatřena upevňovacím šroubením jsou určeny k zašroubování do návarků navařených na potrubí, nebo na technologickém zařízení. Návarky mohou být přímé nebo šikmé, v přímém návarku je snímač namontován kolmo na směr proudění (osu potrubí) a v šikmém návarku šikmo k ose potrubí. Doporučuje se montáž šikmo proti směru proudění.

Pro dotažení jímky do návarku je obvykle předepsán utahovací moment (v Nm), pro který byly většinou stanoveny např. parametry přípustné rychlosti proudění apod.

V závislosti na použité jímce lze tyto snímače použít v rozsahu provozních teplot cca (-200 až +600) °C a v rozsahu provozních tlaků od vakua až do cca 10 MPa.

Při zvolení vhodného materiálu jímky lze snímače použít i pro různá agresivní (korozivní) média.

4.3 Odporové snímače teploty bez jímky

Snímače jsou určeny k dálkovému měření teploty plyných i kapalných médií při nižších parametrech než snímače do jímky, nebo s jímkou.

Tyto snímače, jejichž stonk je opatřen upevňovacím šroubením jsou určeny k zašroubování do návarků navařených na potrubí nebo na technologickém zařízení.

V závislosti na materiálu stonku lze tyto snímače použít v rozsahu provozních teplot cca (-200 až +600) °C a v rozsahu

Odporové snímače teploty

provozních tlaků od vakua až do cca 1,6 MPa.

Předností těchto snímačů je především rychlá reakce na změny teploty.

4.4 Odporové snímače teploty tyčové

Snímače jsou určeny k dálkovému měření teploty plyných i kapalných médií při přetlaku do 100 kPa.

Tyto snímače, jejichž ochranná trubka je opatřena přesuvnou upevňovací přírubou nebo přesuvným upevňovacím šroubením, jsou určeny k montáži na stěnu peci a dalších technologických zařízení.

V závislosti na materiálu ochranné trubky lze tyto snímače použít v rozsahu provozních teplot cca (-200 až +800) °C.

5. Odporové snímače teploty speciální

5.1 Odporové snímače teploty pro prostředí s nebezpečím výbuchu

Aplikace odporových snímačů teploty v takovémto prostředí může být řešena několika způsoby. Patří k nim zejména provedení snímačů v pevném závěru EExd dle ČSN EN 50018 a v jiskrově bezpečném provedení EExi dle ČSN EN 50020. Všeobecné požadavky jsou shrnuty v ČSN EN 50014. Snímače teploty v pevném závěru EExd a komponenty měřicího okruhu v jiskrově bezpečném provedení EExi musí mít schválení FTZÚ (Fyzikálně technický zkušební ústav, Ostrava-Radvanice, Státní zkušebna č. 210).

5.2 Odporové snímače teploty s dvou vodičovým převodníkem v hlavici

V posledních letech došlo v souvislosti se zaváděním řídicích systémů ke značnému rozšíření aplikací odporových snímačů teploty s převodníkem v hlavici snímače.

Nejčastěji se používají dvou vodičové převodníky s unifikovaným proudovým výstupním signálem (4 až 20) mA.

Převodníky jsou analogové, nebo digitální a dále v provedení bez galvanického oddělení, nebo s galvanickým oddělením, případně bez digitální komunikace a s komunikací.

Starší analogové převodníky s pevně nastaveným rozsahem, jedno provedení pro odporové snímače teploty a další pro termoelektrické snímače, ustupují digitálním programovatelným převodníkům. Ty díky své univerzálnosti umožňují použití jednoho typu převodníku pro odporové i termoelektrické snímače teploty. Takový převodník je možné konfigurovat přímo v provozu bez nutnosti jeho odpojování a linearizovat výstupní charakteristiku nejen pro Pt 100, nebo jiná odporová čidla, ale i pro termočlánky.

Převodníky do hlavice snímače teploty se používají v několika konstrukčních provedeních jako např. z hlediska velikosti a umístění:

- o průměru cca 42 mm a výšce cca 25 mm, do hlavice typu B dle DIN. Převodník ve formě tzv. "puku" se používá jednak místo dřívější keramické svorkovnice, jednak do víčka hlavice, kdy původní svorkovnice zůstává a její svorky jsou propojeny v hlavici se svorkami převodníku dalším spojovacím vedením,

- o průměru cca 60 mm a výšce cca 25 mm, do hlavice např. typu A dle DIN, kdy se převodník užívá obdobně jako v předcházejícím případě,

- o průměru cca 25 mm a výšce cca 23 mm, do malé hlavice např. typu J, kdy převodník ve formě "puku" nahrazuje keramickou svorkovnici,

- převodník konstrukce firmy JSP o průměru cca 50 mm, zalitý zalévací hmotou do víčka hlavice typu B dle DIN, kdy původní keramická svorkovnice snímače zůstává. Tato koncepce umožňuje instalovat převodník i v terénu na snímač teploty bez jeho demontáže a dodatečné kalibrace. Stačí tedy vyměnit víčko hlavice, propojit kablíčky, které jsou součástí převodníku a pomocí nastavovací jednotky NJ-12 (NJ-13) nastavit analogový výstupní rozsah. Na displeji nastavovací jednotky je přitom možné odečítat teplotu, kterou měří snímač,

- další méně obvyklé konstrukce např. jen na plošných spojích.

Mimo již uvedené se používají i převodníky vybavené vlastním displejem nebo např. převodníky v jiskrově bezpečném provedení EExi.

V poslední době se začínají i u snímačů teploty uplatňovat dvou vodičové programovatelné převodníky s protokolem HART. Protokol HART zachovává standardní signál (4 až 20) mA a navíc umožňuje digitální přenos údajů o přístrojích a procesech. Digitální komunikace probíhá přes stejnou analogovou smyčku, aniž by se zasahovalo do výstupního signálu. To umožňuje použít pro řízení analogový signál, který se rychleji aktualizuje a pro monitorování procesu nebo výpočty přesnější digitální signál. Protokol současně užívatelům zpřístupňuje jak další údaje o měření, tak různé digitální údaje pro diagnostiku a údržbu. Analogový signál nese informace pouze směrem z procesu, přičemž digitální komunikace umožňuje obousměrný provoz. Ve směru ke snímači se jedná hlavně o změnu rozsahu a dalších nastavení převodníku, a to i za provozu.

Snímače teploty vybavené převodníky s protokolem HART jsou zatím finančně podstatně náročnější než stávající a jejich hlavní užití je ve spojení s řídicími systémy.

U snímačů teploty s dvou vodičovým převodníkem, zvláště ve spojení s řídicími systémy, je nutné upozornit na to, že řadě problémů vznikajících např. z důvodu malého izolačního odporu lze předejít použitím převodníků s galvanickým oddělením.

5.3 Odporové snímače teploty s napojeným kabelem

K těmto snímačům patří např. snímače chladírenské, ložiskové, pro plastikářské stroje, vpichovací (pro potravinářský průmysl), příložné atd.

5.4 Další odporové snímače teploty

Mezi ně lze počítat např. snímače prostorové, s volnými vývody, s konektorem atd.

6. Odporové snímače teploty - stanovená měřidla

Tyto snímače určené k fakturačnímu (obchodnímu) měření např. předávaného nebo odebíraného tepla, zemního plynu, technických kapalin a dalších kapalných i plyných médií musí mít typovou zkoušku ČMI a musí být vyhlášeny ve věstníku ÚNMZ jako stanovená měřidla.

V tomto věstníku je pro ně uvedena i doba platnosti jejich ověření, tj. doba po které je nutné je předložit k následnému (opakovanému) ověření na pracoviště ČMI nebo na k této činnosti akreditovaná státní střediska metrologické služby (SMS).

6.1 Párované odporové snímače teploty pro měření průtoku tepla předávaného vodou

Tyto snímače se užívají v párovaném ověřeném provedení a musí po technické stránce vyhovovat požadavkům technického předpisu metrologického TPM 3721-93 a musí být ověřeny podle TPM 3722-93. Nejčastěji se používají snímače s R_0 o hodnotě 100 Ω nebo 500 Ω .

Mohou se používat jen snímače ve třídě přesnosti A nebo B dle IEC 751 a shoda charakteristik obou snímačů v páru musí v celém jejich teplotním rozsahu použití vyhovovat třídě přesnosti 4, nebo 5 dle TPM 3721-93. Doba platnosti jejich ověření je obvykle stanovena na 4 roky.

6.2 Odporové snímače teploty pro měření průtoku tepla předávaného parou

Tyto snímače se užívají v nepárovaném ověřeném provedení. Po technické stránce musí vyhovovat požadavkům IEC 751 a ověřují se dle TPM 3342-95. Používají se snímače pro vstupní páru a parní kondenzát.

6.3 Odporové snímače teploty pro obchodní měření plynu

Tyto snímače se užívají v nepárovaném ověřeném provedení. Po technické stránce musí vyhovovat požadavkům IEC 751 a ověřují se dle TPM 3342-95.

6.4 Odporové snímače teploty pro obchodní měření technických kapalin

Rovněž při obchodním měření odběru technických kapalin (benzin, motorová nafta, topné oleje...) hraje měření teploty, vzhledem k poměrně značným objemovým změnám těchto produktů s teplotou, významnou roli. Snímače teploty se zde užívají v nepárovaném ověřeném provedení. Po technické stránce musí vyhovovat požadavkům IEC 751 a ověřují se dle TPM 3342-95.

7. Kalibrace a ověřování odporových snímačů teploty

Odporové snímače teploty - stanovená měřidla je nutné před jejich prvním uvedením do provozu a po úředně stanovené době platnosti jejich ověření znovu (následně, opakovaně) ověřit.

U většiny ostatních již používaných, nebo nových odporových snímačů teploty, lze přesnost měření zvýšit jejich kalibrací.

7.1 Ověřování odporových snímačů teploty

Odporové snímače teploty - stanovená měřidla se obvykle ověřují srovnávací (komparační) metodou. Ověřuje se na schválených pracovištích s ověřenými odporovými etalonovými teploměry v příslušných olejových, fluidních, nebo vzdušných lázních, které jsou k tomuto účelu schváleny ČMI. Vlastní vyhodnocování se provádí obvykle buď digitálními multimetry, nebo střídavými odporovými můstky, které musí být rovněž ověřeny.

Pokud odporové snímače vyhoví podmínkám ověření jsou opatřeny ověřovací značkou, na které je rok ověření a kterým je přidělená značka ověřovacího pracoviště.

7.2 Kalibrace odporových snímačů teploty

Odporové snímače teploty - nestanovená měřidla se obvykle dají zkalibrovat metodami obdobnými s ověřovacími postupy. Je však nutné upozornit na to, že ne všechny odporové snímače teploty jsou ke kalibraci vhodné. Zejména kalibrace snímačů s krátkým stonkem, dvou vodičovým vnitřním vedením (zvláště u dvojitého snímačů) apod. je problematická. Naopak výměnné měřicí vložky s přírubkou a svorkovnicí a čtyřvodičovým vnitřním vedením jsou ke kalibraci velmi vhodné.

8. Nejčastější zdroje chyb při měření teploty odporovými teploměrovými zařízeními

Odporové teploměrové zařízení se skládá nejen ze snímače teploty, ale i indikačního zařízení, spojovacích členů a pomocného zařízení.

Při měření teploty odporovými teploměrovými zařízeními je nutno brát v úvahu následující vlivy:

- odchylky od jmenovitých hodnot čidla - měřicího odporu,
 - odchylka od jmenovité hodnoty základního odporu,
 - odchylka od normované závislosti odporu na teplotě,
- nestabilitu čidla (stárnutí, hystereze a fluktuace),
- chybu vznikající vlivem oteplení čidla průchodem měřicího proudu,

- chybu vyvolanou odporem vnitřního vedení snímače (závisí na materiálu, rozměrech a teplotě),
- chybu spojovacího vedení mezi snímačem a přístrojem vzniklou nesprávným nastavením vyrovnávacího odporu a vlivem změny okolní teploty,
- chybu vlivem kolísání napětí zdroje,
- chybu vlastního vyhodnocovacího přístroje (ukazovací, registrační...),
- chybu vlivem parazitního termoelektrického napětí v obvodu (při stejnosměrném měření),
- chybu vlivem elektrické kapacity obvodu u střídavých měření,
- chybu vlivem nevhodného stínění,
- chybu vznikající v přepínačích měřících míst při sběru údajů z většího počtu odporových snímačů teploty např.,
 - proměnlivým přechodovým odporem,
 - parazitním termoelektrickým napětím,
 - izolačním odporem,
 - kapacitou a indukčností přepínače (u střídavých měřících metod).

V každém případě je nutné brát v úvahu to, že o výsledné přesnosti měření teploty odporovým teploměrovým zařízením, a na to se někdy zapomíná, nerozhoduje jen samotný odporový snímač teploty, ale celý měřicí řetězec včetně všech svých členů (tj. např. snímače teploty, spojovacího vedení, napájecího zdroje a vyhodnocovacího přístroje).

9. Normy a další literatura pro odporové snímače teploty

9.1 Normy

ČSN 25 8005 (1989)

Názvosloví z oboru měření teploty.

ČSN 25 8010 (1989)

Směrnice pro měření teplot v průmyslu.

ČSN IEC 751 (1994)

Průmyslové platinové odporové snímače teploty.

ČSN IEC 751, Změna 1 (1997)

Průmyslové platinové odporové snímače teploty.

ČSN IEC 751, Změna A2 (1997)

Průmyslové platinové odporové snímače teploty.

ČSN EN 50014 (1995)

Nevýbušná elektrická zařízení. Všeobecné požadavky.

ČSN EN 50018 (1996)

Nevýbušná elektrická zařízení. Pevný závěr "d".

ČSN EN 50020 (1996)

Nevýbušná elektrická zařízení. Jiskrová bezpečnost "i".

DIN 43760 (1987)

Elektrische Temperaturlaufnehmer. Grundwerte der Nickel-Messwiderstände für Widerstansthermometer.

9.2 Technické předpisy metrologické

TPM 3040-95

Schéma návaznosti měřidel teploty.

TPM 3342-95

Platinové odporové snímače teploty. Metody zkoušení při ověřování - kalibraci.

TPM 3721-93

Elektrické merače tepla. Technické požadavky.

TPM 3722-93

Elektrické merače tepla. Metódy skúšania pri overovaní.

9.3 Další literatura

D. Weber, M. Nau: Electrical Temperature Measurement with Thermocouples and Resistance Thermometers. M. K. Juchheim, 36035 Fulda, Germany

Poznámka:

Čas od času se vyskytují problémy s převody mezi různými teplotními stupnicemi, proto dále uvádíme potřebné převodní vztahy:

a) ze stupňů Fahrenheita na stupně Celsia $^{\circ}\text{C} = 5/9 \cdot (^{\circ}\text{F} - 32)$,

b) ze stupňů Celsia na stupně Fahrenheita $^{\circ}\text{F} = (9/5 \cdot ^{\circ}\text{C}) + 32$,

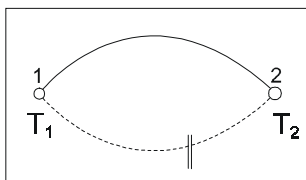
c) ze stupňů Celsia na kelviny $\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$.

Termoelektrické snímače teploty

1. Princip

Termoelektrické snímače teploty patří mezi kontaktní snímače používané k dálkovému měření teploty a jejich čidlo (termoelektrický článek) převádí teplotní změnu prostředí na změnu elektrického napětí. Využívá se přitom toho, že jestliže jsou v jednoduchém elektrickém obvodu, tvořeném dvěma vodiči z různých kovů, viz Obr. 1, oba jejich spoje 1 a 2 umístěny v prostředí se dvěma různými teplotami T_1 a T_2 , začne obvodem procházet elektrický proud. Pokud obvod v naznačeném místě přerušíme a zařadíme do něj vhodný měřicí přístroj, naměříme malý rozdíl elektrických potenciálů, který je funkcí rozdílu teplot $T_2 - T_1$. Tento rozdíl potenciálů se nazývá termoelektrické napětí. Takto je zjednodušeně popsán takzvaný Seebeckův jev, na kterém je založeno měření teploty termoelektrickými články (termočlánky).

Obr. 1



K Seebeckovu jevu existuje jev opačný, který se nazývá Peltierův jev. Ten se projevuje tak, že při průchodu elektrického proudu zmíněným elektrickým obvodem se jeden z jeho spojů zahřívá a druhý naopak ochlazuje. Také s tímto jevem se můžeme setkat při měření teploty vzhledem k tomu, že jej někteří výrobci využívají k chlazení např. v zařízeních pro realizaci bodu tání ledu, tj. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Uvedli jsme, že termoelektrické napětí vzniká, jestliže navzájem spojíme vodiče ze dvou různých kovů. Z hlediska měření je však potřebné, aby generované termoelektrické napětí bylo co největší a aby oba kovy byly co nejodolnější proti vlivům okolního prostředí, tak aby se jejich vlastnosti co nejméně měnily v průběhu času.

Tomu vyhovuje jen několik dvojic materiálů a jejich složení je proto normováno, takže vlastnosti stejně označených termočlánků vyrobených různými výrobci jsou shodné.

V současné době se doporučuje používat termočlánky dle normy IEC 584-1 nebo ČSN EN 60584-1. Tato norma obsahuje tabulky základních hodnot termoelektrického napětí jednotlivých termočlánků a polynomy pro výpočet jejich charakteristik. Méně se používají termočlánky podle normy DIN 43710. Je nutné dát pozor na to, že v normách jsou uvedeny základní hodnoty termoelektrického napětí pro vztahnou (referenční) teplotu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. V praxi se ale obvykle používají jiné srovnávací teploty (v termostatech srovnávacích spojů), jako např. $+20$ / $+50$, ale i třeba $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ a na tyto srovnávací teploty je nutné naměřené hodnoty termoelektrického napětí korigovat.

Korekce termoelektrického napětí - příklad:

Termočlánek "K" (NiCr-Ni)

- měřená teplota $+800\text{ }^{\circ}\text{C}$

- srovnávací teplota $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (teplota studeného konce termočlánku)

- termoelektrické napětí při $+800\text{ }^{\circ}\text{C}$ $33,277\text{ mV}$

- termoelektrické napětí při $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $-0,798\text{ mV}$

- výsledné termoelektrické napětí $32,479\text{ mV}$

Základní informace o termočláncích dle zmíněných norem IEC 584-1 a DIN 43710 viz Tab. 1.

Tabulka 1

Označení termočlánku dle IEC 584	Složení	Měřicí rozsah [$^{\circ}\text{C}$]	Původní označení
T	Cu-CuNi	-200 až +350	Cu-ko
J	Fe-CuNi	-200 až +750	Fe-ko
E	NiCr-CuNi	-100 až +900	ch-ko
K	NiCr-NiAl	-200 až +1200	ch-a
N	NiCrSi-NiSi	-200 až +1200	---
S	PtRh10-Pt	0 až +1600	PtRh10
R	PtRh13-Pt	0 až +1600	PtRh13
B	PtRh30-PtRh6	+300 až +1700	PtRh18
Označení termočlánku dle DIN 43710	Složení	Měřicí rozsah [$^{\circ}\text{C}$]	Původní označení
L	Fe-CuNi	-200 až +900	Fe-ko
U	Cu-CuNi	-200 až +600	Cu-ko

Termoelektrické snímače teploty

Dovolené odchylky (tolerance) termočlánků uvádí norma IEC 584-2, respektive ČSN IEC 584-2. Tolerance dle IEC 584-2 a DIN 43710 viz. Tab. 2.

Tabulka 2

Označení termočlánku	Třída přesnosti	Dovolené odchylky (tolerance) [°C]
J	1	$\pm 0,004 \cdot t $ nebo $\pm 1,5$ °C v rozsahu (-40 až +750) °C
	2	$\pm 0,0075 \cdot t $ nebo $\pm 2,5$ °C v rozsahu (-40 až +750) °C
K a N	1	$\pm 0,004 \cdot t $ nebo $\pm 1,5$ °C v rozsahu (-40 až +1000) °C
	2	$\pm 0,0075 \cdot t $ nebo $\pm 2,5$ °C v rozsahu (-40 až +1200) °C
	3	$\pm 0,015 \cdot t $ nebo $\pm 2,5$ °C v rozsahu (-200 až +40) °C
S, R	1	$\pm [1+(t-1000) \cdot 0,003]$ nebo $\pm 1,0$ °C v rozsahu (0 až +1600) °C
	2	$\pm 0,0025 \cdot t $ nebo $\pm 1,5$ °C v rozsahu (-40 až +1600) °C
B	2	$\pm 0,0025 \cdot t $ nebo $\pm 1,5$ °C v rozsahu (+600 až +1700) °C
	3	$\pm 0,005 \cdot t $ nebo ± 4 °C v rozsahu (+600 až +1700) °C
L		± 3 °C v rozsahu (+100 až +400) °C
		$\pm 0,75$ °C v rozsahu (+400 až +900) °C

Z určených hodnot tolerancí platí vždy ta větší!

$|t|$ = absolutní hodnota teploty ve stupních Celsia (bez ohledu na znaménko)

V České republice se nejčastěji používají termočlánky z obecných kovů "J" a "K" a z drahých kovů "S" a "B", čímž je pokryt rozsah teplot cca (-200 až +1700) °C, avšak s dalšími termočlánky je možné tento rozsah ještě rozšířit, např. s termočlánky na bázi wolframu a rhenia (WRh5-WRh20, W-WRh26, WRh5-WRh26, WRh3-WRh25) lze měřit až do cca +2300 °C.

U termočlánků "J" (Fe-CuNi) a "L" (Fe-CuNi, Fe-ko) je nutné upozornit na nebezpečí jejich záměny, neboť jejich charakteristiky jsou poměrně blízké. Porovnání obou charakteristik (při vztažené teplotě 0 °C) viz. Tab. 3.

Tabulka 3

Teplota [°C]	J (Fe-CuNi) [mV]	L (Fe-CuNi) [mV]	Rozdíl charakteristik [L-J] ~ [°C]
0	0,000	0,00	0,00
200	10,777	10,95	+3,09
400	21,846	22,16	+5,60
600	33,096	33,67	+9,72
700	39,130	39,72	+9,36

Termočlánek "L" se před lety používal i u nás a nyní je stále ještě velmi rozšířený v Německu, kde je normován v DIN 43710. U nás se po přechodu na normu IEC 584 prakticky nepoužívá.

Další nebezpečí je v možnosti záměny termočlánku "L" (Fe-CuNi) dle DIN 43710 s "L" (chromel-kopel) dle ruské normy GOST.

1.1 Měřicí obvody s termočlánky

Měřicí obvody s termočlánky obvykle netvoří jen termočlánek a vyhodnocovací (měřicí) přístroj, ale tyto obvody jsou poněkud komplikovanější. Příklady takových obvodů proto uvádíme dále:

- obvod složený z termočlánku a vyhodnocovacího přístroje, viz Obr. 2.

- vzhledem k výše uvedenému musíme respektovat to, že srovnávací konec termočlánku musí být na srovnávací teplotě, nebo musí být jeho teplota určitým způsobem kompenzována. Proto v tomto případě musí být použit vyhodnocovací přístroj s vnitřní kompenzací a studené konce termočlánku jsou zavedeny přímo na svorky přístroje. Obvod se obvykle používá v případech kdy může být vyhodnocovací přístroj velmi blízko měřicího místa.

- obvod složený z termočlánku, kompenzačního (prodlužovacího) vedení a vyhodnocovacího přístroje, viz Obr. 3.

- obdoba předešlého případu, kdy je vyhodnocovací přístroj ve větší vzdálenosti. Z cenových důvodů se termočlánek nastavuje prodlužovacím vedením, které má obvykle v rozsahu (-25 až +200) °C stejné termoelektrické vlastnosti jako samotný termočlánek.

- obvod složený z termočlánku, kompenzačního (prodlužovacího) vedení, kompenzační krabice, nebo termostatu srovnávacích spojů a spojovacího Cu vedení a vyhodnocovacího přístroje, viz Obr. 4.

- v případech, kdy je nutné signál termočlánku přenést na ještě větší vzdálenost než v předcházejícím případě.

Termoelektrické snímače teploty

- obvod složený z termočlánku, dvou vodičového převodníku na unifikovaný výstupní signál (převodník v hlavici snímače teploty), spojovacího Cu vedení a vyhodnocovacího přístroje, viz Obr. 5.

Pozor na překročení maximální teploty převodníku v hlavici.

- obvod složený z termočlánku, kompenzačního (prodlužovacího) vedení, dvou vodičového převodníku na unifikovaný výstupní signál (převodník umístěn mimo snímač teploty na liště, na stěně), spojovacího Cu vedení a vyhodnocovacího přístroje, viz Obr. 6.

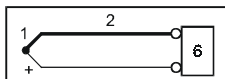
- obdoba předcházejícího případu, kdy je teplota hlavice vyšší než maximální přípustná pracovní teplota převodníku, nebo kdy snímač nemá hlavici.

- obvod složený z termočlánku, svorkovnice s měřením teploty (čidlo připojeno k převodníku), dvou vodičového převodníku na unifikovaný výstupní signál, spojovacího Cu vedení a vyhodnocovacího přístroje, viz Obr. 7.

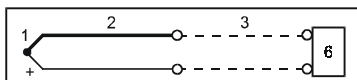
- případ kdy lze ušetřit náklady na kompenzační (prodlužovací) vedení.

V každém případě je nutné se v těchto obvodech vyvarovat toho (mimo termočlánek "B"), že je termočlánek nastaven přímo

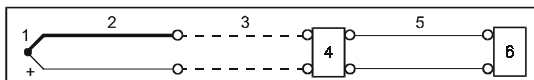
Obr. 2



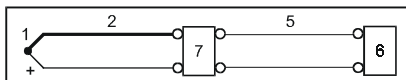
Obr. 3



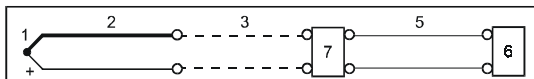
Obr. 4



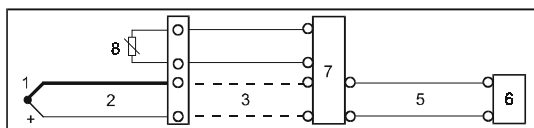
Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7



Popis obrázků 2, 3, 4, 5, 6, 7:

1 - měřicí spoj termočlánku

2 - termočlánek

3 - kompenzační (prodlužovací) vedení

4 - kompenzační krabice (termostat)

5 - spojovací vedení

6 - vyhodnocovací přístroj

7 - dvou vodičový převodník

8 - svorkovnice s měřením teploty

měděnými vodiči bez použití kompenzační krabice, termostatu srovnávacích spojů (termočlánku), nebo dvou vodičového převodníku.

Pouze u termočlánku "B" se vzhledem k jeho velmi malému výstupnímu signálu při teplotách do cca 300 °C provádí přímé prodloužení termočlánku spojovacím Cu vedením.

2. Čidla - termoelektrické články

2.1 Termoelektrické články drátové

Drátový termoelektrický článek je tvořen dvěma kovovými větvemi (vodiči) uloženými v izolačních trubičkách, které slouží nejen k jejich ochraně proti vlivům vnějšího prostředí, ale především k elektrické izolaci obou větví. Materiálem těchto izolačních trubiček může být podle rozsahu provozních teplot plast, sklo, keramika atd.

U termoelektrických článků pro měření v průmyslu se obvykle používají keramické trubičky, dvoukapiláry, nebo čtyřkapiláry. Ochrana proti okolnímu prostředí může být ještě zvýšena uložením termočlánku v keramické izolaci do jedné, až dvou (vnější a vnitřní) keramických, nebo vnější kovové a vnitřní keramické jednostranně uzavřené ochranné trubky.

Jako drátové se obvykle používají termočlánky z drahých kovů "S" a "B" o průměru větví 0,5 nebo 0,35 mm a termočlánky z obecných kovů "J", ("L") a "K" s velkým průměrem větví, např. 3,2 mm. Pro některé speciální případy se užívají drátové termočlánky, např. "K", o průměru větví jen několik desetin, nebo dokonce setin mm.

2.2 Termoelektrické články z pláštěvého kabelu

(E = mineral-insulated thermocouples)

(D = Mantelthermoelemente)

Již několik desítek let se používají také termoelektrické články z pláštěvého kabelu s minerální izolací, jinak nazývané pláštěvé termočlánky (PT), nebo také pláštěvané termočlánky.

Větve (vodiče) těchto termočláneků jsou uloženy ve ztuhlé minerální izolaci obvykle z oxidu MgO, nebo Al₂O₃. Obojí je uzavřeno v kovovém plášti ve tvaru trubky. Vnější průměr tohoto pláště (trubky) je v rozsahu cca (0,25 až 12) mm. Obvykle vyráběné průměry jsou přibližně v řadě (0,25 / 0,5 / 1,0 / 1,5 / 2,0 / 3,0 / 4,5 / 6,0 / 8,0 / ...) mm.

Pláštěvý kabel obsahuje obvykle dva, čtyři, nebo šest termočlánekových větví na výrobu jednoduchého, dvojitého, nebo trojitého pláštěvého termočlánku. Méně obvyklé provedení pláštěvého kabelu, např. s termočlánekem "T" (Cu-ko) obsahuje jen jeden drátový vodič a druhým vodičem je plášť.

Termoelektrické snímače teploty

Pro plášťový kabel s minerální izolací a jednoduché plášťové termočlánky byla vypracována norma EN 61515, která byla převzata jako ČSN EN 61515.

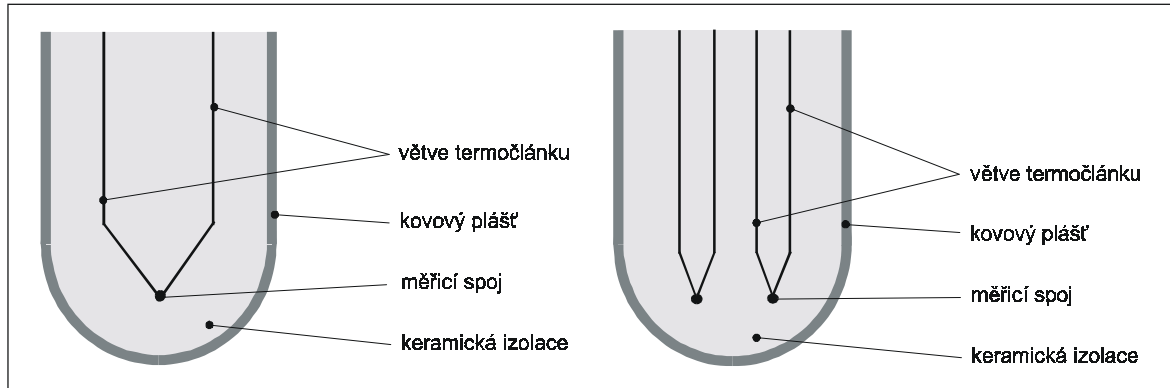
Plášťový kabel jako polotovar na výrobu plášťových termočlánků se vyrábí v délkách řádově desítky až stovky metrů v závislosti na vnějším průměru pláště. Vyrábí se protahováním průvlaky technologií obdobnou jako se tahnou dráty.

Vlastní plášťové termočlánky se z tohoto kabelu vyrábí tak, že se kabel nařeže, nebo nastříhá na kusy potřebných délek a na koncích těchto kusů se potom speciální technologií zhotoví měřicí a srovnávací konce termočlánku.

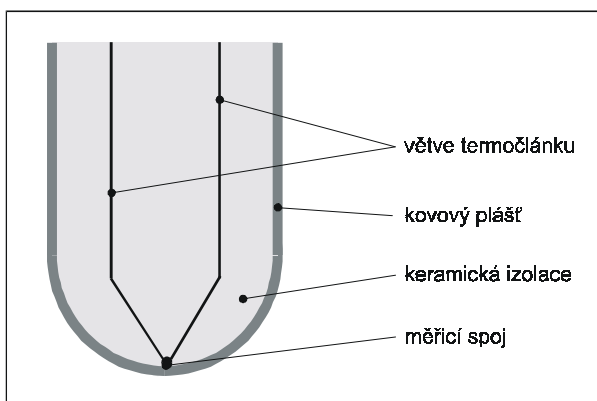
Provedení měřicího konce plášťových termočlánků mohou být následující, viz Obr. 8:

Obr. 8

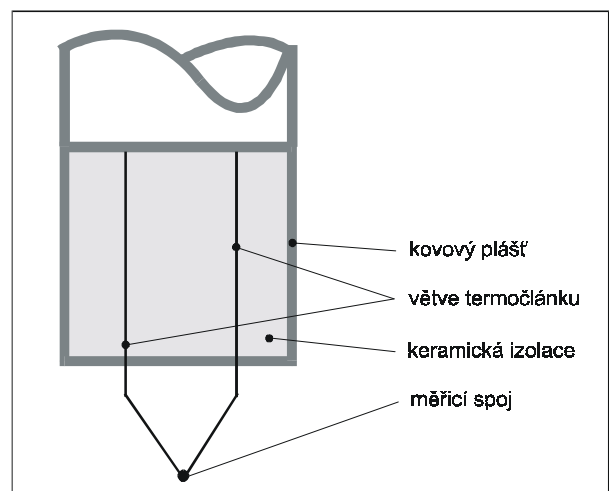
Izolované provedení



Uzemněné provedení



Otevřené provedení



- izolované - kdy měřicí spoj(e) termočlánků jsou chráněny pláštěm jednak proti chemickému a mechanickému působení měřeného prostředí, jednak proti elektromagnetickému rušení, které lze při vhodném uzemnění pláště odstínit. Proto je toto provedení vhodné pro spolupráci s počítačovými systémy a měřicími ústředními. U vícenásobných termočlánků mohou být měřicí spoje jednotlivých termočlánků buď svařeny do jednoho spoje a izolovány od pláště, nebo svařeny samostatně a izolovány navzájem i od pláště.

- uzemněné - kdy měřicí spoj(e) termočlánků jsou přímo zavařeny do dna plášťového termočlánku, takže přímé chemické ani mechanické působení na spoj zde není vyloučeno. Vzhledem ke svaru měřicího spoje s pláštěm je zde možné i působení elektromagnetického rušení, a proto toto provedení nelze doporučit pro spolupráci s počítačovými systémy. Předností tohoto provedení je však proti izolovanému provedení rychlejší reakce na změny teploty.

- otevřené - kdy měřicí spoj termočlánekových větví je svařen vně pláště a plášť plášťového termočlánku není na měřicím konci uzavřen. Toto provedení je určeno pro klidná, nebo proudící plynná neagresivní média a má ze zmíněných měřicích konců nejrychlejší reakci na změnu teploty.

Ve formě plášťových termočlánků se vyrábí nejen termočlánky z obecných kovů např. "J", ("L"), "K", ale i z drahých kovů "S" a "B". Mimo již uvedené termočlánky se rozšiřuje i používání nového termočlánku "N" (NiCrSi-NiSi), původně Nicrosil - Nisil, jehož předností proti podobnému termočlátku "K" je lepší stabilita při vysokých teplotách.

U plášťových termočlánků z obecných kovů může být jejich plášť vyroben z různých druhů korozivzdorných, nebo žáruvzdorných ocelí, případně z chromniklových slitin jako např. Inconel 600. Plášťové termočlánky z drahých kovů mají plášť obvykle ze slitiny PtRh10.

Příklady používaných materiálů pláště plášťových termočlánků a některé jejich vlastnosti viz Tab. 4.

Termoelektrické snímače teploty

Tabulka 4

Maximální provozní teplota [°C]	Materiál pláště	Vlastnosti materiálu a oblasti použití
800	DIN 1.4541 AISI 321 ČSN 17248	dobrá odolnost proti mezikrystalové korozi - i po sváření, dobrá odolnost proti produktům z těžkých olejů, páře a výfukovým plynům, dobrá odolnost proti oxidaci, použitelná trvale do 800 °C stavba jaderných elektráren a stavba reaktorů, chemická zařízení, žhací pece, výměníky tepla, papírenský a textilní průmysl, petrochemie, ropný průmysl, tukový průmysl a výroba mýdla, potravinářský průmysl
800	DIN 1.4541 AISI 316Ti ČSN 17348	zvýšená odolnost proti určitým kyselinám díky přísadě molybdenu, odolnost proti důlkové korozi, solance a agresivním průmyslovým vlivům, trvale použitelná do cca 800 °C, dobrá tažnost stavba jaderných elektráren a stavba reaktorů, chemická zařízení, stavba pecí, chemický a farmaceutický průmysl
1150	DIN 1.4749 AISI 446 ČSN 17153	zvlášť dobrá odolnost proti redukční sirmé atmosféře, velmi dobrá odolnost proti oxidaci a vzduchu, dobrá odolnost proti korozi popelovinami, taveninami mědi, olova a cínu petrochemie, metalurgie, energetika, rekuperátory, pece na tepelné zpracování, zařízení pro vířivá topeniště, zařízení na spalování odpadků
1150	DIN 1.4841 AISI 314 ČSN 17265	výborná odolnost proti korozi také při vysokých teplotách, vhodná i pro nauhličující a sirmé atmosféry, na vzduchu odolnost proti oxidaci do 1000 °C (přerušovaný provoz), případně 1150 °C (trvalý provoz), dobře použitelná při vysokém teplotním střídavém zatížení, trvalé dlouhodobé použití v teplotním rozsahu (425 až 850) °C se nedoporučuje, po delším použití je třeba počítat se zkrěhnutím na stavbu parních kotlů a velkých pecí, cementářských a cihlářských pecí, pro výrobu skla, zpracování ropy a petrochemie, stavbu pecí, elektrárny
1100	DIN 1.4845 AISI 310S ČSN 17255	dobrá odolnost proti oxidaci a sulfidizaci, díky vysokému obsahu chromu odolná proti oxidačním vodným roztokům jakož i dobrá odolnost proti chlorem indukované korozi pod napětím, dobrá odolnost v taveninách kyanidů a neutrálních taveninách solí při vysokých teplotách, na "zelený mor" není citlivá použití jako DIN 1.4841
1100 ve vzduchu	DIN 1.4876 Incolloy 800*	díky přísadám titanu a hliníku má tento materiál zvlášť dobré hodnoty pevnosti za tepla, hodí se pro použití tam, kde vedle odolnosti proti opalu bude požadována vysoká možnost zatížení, výborně odolává nauhličení a nitraci elektrárny, zpracování ropy a petrochemie, stavba pecí
1100	DIN 2.4816 Inconel 600*	dobrá všeobecná odolnost proti korozi, odolnost proti korozi pod napětím, výborná odolnost proti oxidaci, nedoporučuje se pro CO ₂ a sirmé plyny nad 550 °C a sodík nad 750 °C, odolnost na vzduchu do 1100 °C, výborná tvárnost také po dlouhém použití tlakovodní reaktory, jaderná energetika, stavba pecí, průmysl plastických hmot, tepelné zušlechťování, papírenský a potravinářský průmysl, parní kotle, letecké motory
1300	PtRh10	odolnost proti vysokým teplotám do 1300 °C v oxidačních podmínkách, bez přítomnosti kyslíku, síry a křemíku vysoká žarupevnost do 1200 °C, obzvláštní odolnost v halogenech, kyselině octové, roztocích NaOCl atd., křehne přijímáním křemíku z vyztužující keramiky, nad 1000 °C jsou možná sirmá eutektika, citlivý na fosfor výroba skla, elektrochemická a katalitická technika, chemický průmysl, laboratorní provozy, tavící, žhací a vypalovací pece, úložiště produktů jaderné energetiky

* ... značka fy Inco Alloys

Charakteristiky materiálů uvedené v této tabulce mohou být vodítkem i pro výběr materiálů ochranných trubek.

U nás je velmi rozšířené použití plášťového termočlásku "J" s pláštěm z materiálů DIN 1.4541, nebo DIN 2.4816 (Inconel 600) a plášťového termočlásku "K" s pláštěm z materiálů DIN 1.4841, nebo DIN 2.4816.

Plášťový termočlánek lze použít jednak bez další ochrany přímo do měřeného prostředí (média), jednak je doplnit ještě dalšími ochrannými trubkami nebo jímkami.

Při použití plášťových termočlásků je třeba si uvědomit to, že při stejné provozní teplotě, stejném materiálu pláště a při různých vnějších průměrech pláště a tomu odpovídajících různých tloušťkách pláště (např. u plášťového termočlásku o průměru 6 mm je tloušťka pláště cca 0,6 mm a u plášťového termočlásku o průměru 3 mm jen cca 0,3 mm) ubývá tloušťka pláště opalem ve všech případech stejně rychle. A s ohledem na to je nutné volit nejen vnější průměr pláště plášťového termočlásku, ale i jeho maximální pracovní teplotu a tomu bude odpovídat i životnost plášťového termočlásku.

Mezi specifické vlastnosti plášťových termočlásků patří např.:

- velká mechanická odolnost (proti tlaku, rázům, vibracím),
- ohebnost stonku plášťového termočlásku (minimální poloměr ohybu je 5 x D, kde D je vnější průměr pláště plášťového termočlásku),
- výborná ohebnost a malé rozměry,
- možnost měření při vysokých tlacích i ve vakuu,
- odolnost proti vlhkosti, různým plynům a chemikáliím,
- v závislosti na použitém materiálu pláště velká odolnost proti chemickým vlivům měřeného prostředí,

Termoelektrické snímače teploty

- rychlá reakce na změny teploty měřeného prostředí,
- vysoký izolační odpor při normální i vysoké teplotě,
- větší stabilita výstupního signálu proti drátovým termočládkům,
- odstínění elektromagnetických rušivých polí u provedení s izolovaným provedením měřicího konce,
- odolnost proti rychlým změnám teploty,
- takřka bodové měření s plášťovými termočládky malých průměrů,
- malá tepelná kapacita,
- atd.

2.3 Speciální provedení termoelektrických článků

V některých velmi speciálních případech, kdy nelze použít ani drátové, ani plášťové termočládky, se používají např. termočládky fóliové, kdy jsou větve termočládku tvořeny tenkou kovovou fólií, nebo jiné kdy jsou větve termočládku (vodivé stopy) vytvořeny vodivým nátěrem.

I u termočládků, stejně jako u odporových čidel pro snímače teploty, výzkum a vývoj nových čidel neustále pokračuje.

3. Měřicí vložky termoelektrických snímačů teploty

Termoelektrické snímače teploty s hlavici typu B dle DIN 43729 jsou vybaveny výměnnými měřicími vložkami s přírubkou a keramickou svorkovnicí o průměru 42 mm a s roztečí upevňovacích šroubů 33 mm. V posledních letech se rozšiřuje i provedení, kdy je svorkovnice nahrazena dvou vodičovým převodníkem do hlavičky snímače teploty.

Tyto výměnné měřicí vložky, které bývají opatřeny odpruženými upevňovacími šrouby se obvykle vyrábějí v následujících variantách:

- a) - měřicí vložka již méně užívané klasické konstrukce s pevným (neohebným) stonkem a relativně malou mechanickou odolností, kdy drátový termočládek (průměr větvi cca 1 mm) zasunutý v keramické čtyřkapiláře je volně uložen v kovové stonkové trubce,
- b) - měřicí vložka na bázi plášťového termočládku, s vysokou mechanickou odolností a ohebným stonkem, který je zhotoven z plášťového kabelu v němž jsou větve termočládků uloženy ve zhuštěné izolaci obvykle z oxidu MgO.

4. Termoelektrické snímače teploty s výměnnými měřicími vložkami

Tyto snímače teploty s hlavici typu B dle DIN 43729 patří k běžným průmyslovým (provozním) snímačům.

4.1 Termoelektrické snímače teploty do jímky

Snímače jsou určeny k dálkovému měření teploty plyných i kapalných médií v energetice, v chemickém a petrochemickém průmyslu atd.

Používají se zde obvykle výměnné měřicí vložky na bázi plášťových termočládků "J", nebo "K".

Tyto snímače jsou kompletovány s jímkami jednak k zašroubování do návarků navařených na potrubí, nebo na technologickém zařízení, jednak k zavaření do vývrtu ve stěně potrubí, nebo technologického zařízení. Jímky k zašroubování se po namontování obvykle zajišťují pojistným svarem.

V závislosti na použité jímce lze tyto snímače použít v rozsahu provozních teplot cca (-200 až +600) °C a v rozsahu provozních tlaků od vakua až do cca 25 (50) MPa. Kuželové jímky pro vysoké parametry pak umožňují použití těchto snímačů pro přehřátou páru s rychlostí proudění cca (80 až 100) m/s.

Při zvolení vhodného materiálu jímky lze snímače použít i pro různá agresivní (korozivní) média.

4.2 Termoelektrické snímače teploty s jímkou

Snímače jsou určeny k dálkovému měření teploty plyných i kapalných médií v energetice, v chemickém a petrochemickém průmyslu atd.

Používají se zde obvykle výměnné měřicí vložky na bázi plášťových termočládků "J", nebo "K".

Tyto snímače, jejichž jímka je opatřena upevňovacím šroubením jsou určeny k zašroubování do návarků navařených na potrubí, nebo na technologickém zařízení. Návarky mohou být přímé nebo šikmé, v přímém návarku je snímač namontován kolmo na směr proudění (osu potrubí) a v šikmém návarku šikmo k ose potrubí. Doporučuje se montáž šikmo proti směru proudění.

Pro dotažení jímky do návarku je obvykle předepsán utahovací moment (v Nm), pro který byly většinou stanoveny např. parametry přípustné rychlosti proudění apod.

V závislosti na použité jímce lze tyto snímače použít v rozsahu provozních teplot cca (-200 až +600) °C a v rozsahu provozních tlaků od vakua až do cca 10 MPa.

Při zvolení vhodného materiálu jímky lze snímače použít i pro různá agresivní (korozivní) média.

4.3 Termoelektrické snímače teploty bez jímky

Snímače jsou určeny k dálkovému měření teploty plyných i kapalných médií při nižších parametrech než snímače do jímky, nebo s jímkou.

Používají se zde měřicí vložky z plášťových termočládků "J" a "K" a jejich měřicí konec je v přímém styku s měřeným prostředím.

Tyto snímače, jejichž stoněk je opatřen upevňovacím šroubením jsou určeny k zašroubování do návarků navařených na potrubí, nebo na technologickém zařízení.

Termoelektrické snímače teploty

V závislosti na materiálu pláště použitého plášťového termočlánku a provedení utěsnění jeho výstupu z upevňovacího šroubení snímače lze tyto snímače použít v rozsahu provozních teplot cca (-200 až +500, respektive +800, nebo +1200 °C) a v rozsahu provozních tlaků od vakua až do cca 6 MPa.

Předností těchto snímačů je především rychlá reakce na změny teploty.

Utěsnění výstupu plášťového termočlánku z upevňovacího šroubení nastavku snímače může být provedeno např. stažením kovového těsnicího kroužku převlečnou maticí, nebo pájením natvrdo.

Výměna měřicích vložek u těchto snímačů je problematická a většinou je nutné vyměnit celý snímač.

4.4 Termoelektrické snímače teploty tyčové

Snímače jsou určeny k dálkovému měření teploty plyných i kapalných médií při přetlaku do 100 kPa.

Používají se zde jednak výměnné měřicí vložky, na bázi plášťových termočlánků "J", nebo "K", s malou hlavicí typu B, jednak drátové termočlánky "J", "K", "S", "B" v kombinaci s malou hlavicí typu B, nebo velkou hlavicí typu A dle DIN 43729.

U drátových termočlánků z obecných kovů průměr větvi cca (1 až 3,2) mm, u termočlánků z drahých kovů průměr větvi obvykle 0,5 nebo 0,35 mm.

Tyto snímače, jejichž ochranná trubka je opatřena přesuvnou upevňovací přírubou jsou určeny k montáži na stěnu pecí a dalších technologických zařízení.

V závislosti na zvoleném termočlánku a na materiálu ochranné trubky lze tyto snímače použít v rozsahu provozních teplot cca (-200 až +1200) °C s kovovými ochrannými trubkami a cca do 1800 °C s keramickými ochrannými trubkami.

4.4.1 Kovové ochranné trubky

Ukazatele pro výběr a aplikaci materiálu kovových ochranných trubek termoelektrických snímačů teploty uvádí např.: ČSN EN 50112, viz. Tab. 5, 6, 7, 8 (viz str. 15).

Tabulka 5

Odolnost materiálů kovových ochranných trubek proti plynům					
Materiál ochranné trubky	Použitelnost ve vzduchu do [°C]	Odolnost proti			
		plynům obsahujícím síru		plynům obsahujícím N a s malým obsahem O ₂	usazování uhlíku
		oxidačním	redukčním		
1.0340	550	nízká	nízká	střední	nízká pod 550 °C
1.4742	1050	velmi vysoká	střední	nízká	střední
1.4762	1200	velmi vysoká	vysoká	nízká	střední
1.4749	1050	velmi vysoká	střední	střední	střední
	1200	velmi vysoká	dost vysoká	střední	střední
1.4541	800	nízká	nízká	střední	střední
1.4841	1200	nízká	nízká	dost vysoká	nízká
2.4867	1200	nízká	nízká	vysoká	nízká
1.4861	1200	nízká	nízká	vysoká	nízká

Tabulka 6

Aplikace kovových ochranných trubek v plynech	
Aplikační prostor	Číslo materiálu
temperovací pece	1.0305
popouštěcí, nebo kalící pece s plyny obsahujícími síru anebo uhlík	1.4742
	1.4762
	1.4749
chemicky agresivní výpary s výjimkou kombinovaných výparů kyseliny HCl s oxidem SO ₂	1.4541
pece s plyny obsahujícími dusík, ale s nízkým obsahem kyslíku	1.4861
nitridační pece s amoniakem	---

Tabulka 7

Aplikace kovových ochranných trubek v roztavených solích	
Aplikační prostor	Číslo materiálu
dusičnan draselný do 500 °C	1.0305
	1.0340
kyanid do 950 °C	1.0305
	1.0340
	1.4841
taveniny obsahující chlor *	1.4742
	1.4749
	1.4762

* ... Životnost všech kovových ochranných trubek v roztavených solích obsahujících bariumchlorid je jen krátká. Doporučuje se proto měřit teplotu v těchto roztavených solích radiačními teploměry (pyrometry).

Životnost ochranných trubek je možno prodloužit povlakem smaltu atd. V roztaveném kovu je obvykle nejvíce napadeno místo styku kov - vzduch. Trubky mohou být chráněny opakovanou změnou hloubky ponoru nebo objímkou, ochranným nátěrem nebo také odolným obalem.

4.42 Keramické ochranné trubky

Pro teploty zhruba nad 1100 °C se k ochraně termočlánků "S" a "B" používají izolační tyče (dvoukapiláry, čtyřkapiláry) a ochranné trubky z keramiky (zejména oxidové).

Oxidová keramika se dělí na:

- korundovou keramiku s hmotnostním zlomkem Al_2O_3 nad 0,99,
- mullitokorundovou keramiku s hmotnostním zlomkem Al_2O_3 nad 0,65,
- korundový porcelán s hmotnostním zlomkem Al_2O_3 od 0,50 do 0,65.

Mullitokorundová keramika se užívá do cca (+1500 až +1600) °C a korundová keramika do cca (+1800 až +1850) °C. Pokud se používá vnější a vnitřní keramická ochranná trubka, je obvykle vnitřní trubka plynotěsná a vnější porézní, čímž je zajištěna větší odolnost snímače proti rychlým změnám teploty.

Pro některé speciální aplikace (taveniny barevných kovů) se používají trubky z dalších keramických materiálů jako např. karbidu křemíku - SiC, nitridu křemíku - Si_3N_4 atd.

Tabulka 8

Aplikace kovových ochranných trubek v roztavených kovech		
Tavenina	Pracovní teplota [°C]	Materiál ochranné trubky
hliník	do 700	1.4861 ¹⁾
hliník s obsahem hořčíku	do 700	1.0340
ložiskový kov	do 600	1.0305 ¹⁾
olovo	do 600	1.0305 ¹⁾ ²⁾
	do 700	1.0305 ¹⁾ ²⁾ ³⁾
		1.4861 2.4867
zinek	do 480	1.0305
		1.4749
		1.4762
cín	do 600	1.0340
	do 650	1.0305
měď	do 1250	1.4762 ⁴⁾
		1.4862 ⁴⁾
slitiny mědi a zinku	do 900	1.4762 ⁴⁾
		1.4862 ⁴⁾

¹⁾ Mohou se používat také ochranné trubky kromě litinových s lamelovým grafitem (šedá litina) s číslem materiálu 0.6020 (GG20).

²⁾ Je třeba zabránit tvoření oxidu olova na povrchu taveniny.

³⁾ Jen s vnější vrstvou tvrdého chromu.

⁴⁾ Všechny kovové ochranné trubky jsou více nebo méně napadány roztavenou mědí. V případě vysoce kvalitních měděných slitin je proto možné, že se do taveniny dostanou tímto způsobem nežádoucí nečistoty.

5. Termoelektrické snímače teploty speciální

5.1 Termoelektrické snímače teploty pro prostředí s nebezpečím výbuchu

Rovněž termočlánky lze použít k měření teploty v prostředí s nebezpečím výbuchu např. v pevném závěru EExd dle ČSN EN 50018.

5.2 Termoelektrické snímače teploty s dvou vodičovým převodníkem v hlavici

Většinu toho co bylo napsáno v čl. 5.2 předcházející části této publikace o aplikacích dvou vodičových převodníků u odporových snímačů teploty lze přenést i na jejich aplikace u termoelektrických snímačů teploty. Zde je však navíc nutné počítat s kompenzací srovnávacích konců termoelektrického článku.

5.3 Termoelektrické snímače s pevně napojeným kabelem

K těmto snímačům s pevně napojeným kompenzačním (prodlužovacím) vedením patří např. snímače pro naftové motory, pro plastikářské stroje atd.

5.4 Termoelektrické snímače s volnými vývody

Jde většinou o snímače teploty na bázi pláštových termočlánků, kdy jsou jejich volné vývody určeny buď k dodatečné montáži konektorů, nebo např. k montáži přímo na svorky vyhodnocovacího přístroje.

5.5 Termoelektrické snímače s konektorem

K napojení kompenzačního (prodlužovacího) vedení na termoelektrické snímače teploty, většinou na bázi pláštových termočlánků, lze s výhodou použít kruhových, nebo plochých konektorů. Tyto konektory mohou být dvoukolíkové, nebo vícekolíkové. Parametry plochých dvou, nebo tříkolíkových konektorů s kruhovými nebo plochými kolíky popisuje norma EN 50212.

6. Kompenzace srovnávacích spojů termočlánků

6.1 Kompenzační krabice

Tento přístroj se v měřicím obvodu termočlánku používá ke kompenzaci vlivu kolísání teploty okolí srovnávacích konců termočlánku, nebo kompenzačního (prodlužovacího) vedení. Význam kompenzační krabice v poslední době klesá.

6.2 Termostat srovnávacích spojů

Tento přístroj slouží ke stejnému účelu jako kompenzační krabice, ale slouží pro více termočlánků najednou a navíc galvanicky odděleně.

6.3 Kompenzace na dvou vodičovém převodníku

Kompenzaci teploty srovnávacích konců termočlánku je možné provést přímo v převodníku měřením teploty jeho svorkovnice např. odporem Ni100. U převodníků fy JSP lze kompenzaci srovnávacích konců provést i mimo převodník na svorkovnici, jejíž teplota se měří převodníkem. Takto lze ušetřit náklady na kompenzační (prodlužovací) vedení. Rozsah teploty kompenzace je např. (-30 až +150) °C. Pokud teplota v hlavici snímače teploty nepřekročí +80 °C lze převodník umístit přímo do hlavičky snímače.

6.4 Kompenzační (prodlužovací) vedení

Kompenzační (prodlužovací) vedení se užívají k elektrickému propojení otevřených větví termočlánků a srovnávacích spojů v těch případech, kdy větve termočlánků nejsou přímo spojeny se srovnávacími spoji. Bližší vysvětlení pojmů viz dále:

Prodlužovací vedení (extension cables) - vyrábějí se z vodičů obdobného složení jako má příslušný termočlánek, takže v odpovídajícím teplotním rozsahu vůči sobě vykazují stejné termoelektrické napětí jako větve prodlužovaného termočlánku. Označují se písmenem "X" za označením termočlánku, např. "JX".

Kompenzační vedení (compensating cables) - vyrábějí se z vodičů jiného složení (z náhradních kovů), než má odpovídající termočlánek. Označují se písmenem "C" za označením termočlánku, např. "KC", pro jeden typ termočlánku mohou být různé slitiny, které se pak odlišují přídatnými písmeny, např. "KCA", "KCB" atd.

Kompenzační (prodlužovací) vedení může být lankové, nebo drátové, jednoduché, nebo dvojité. Izolace jeho vodičů, ale i vnější izolace může být buď ze skelných, nebo minerálních vláken, nebo z různých druhů plastu (PVC, silikonový kaučuk, PTFE atd.). Pro zvýšení mechanické odolnosti může mít i opletení ocelovým drátem. Pro napojení na počítače se používají jednoduchá i vícenásobná vedení s kovovou stínicí fólií.

Vodiče (jádra) vedení bývají např.:

- lanka o průřezu 0,22 / 0,75 / 1,0 / 1,5 mm²,
- dráty o průměru 0,8 / 1,38 mm.

Poněkud méně obvyklé je kompenzační (prodlužovací) vedení ve formě plášťového kabelu s minerální izolací.

Základní informace o dovozených odchylkách (tolerancích) a způsobu značení kompenzačního (prodlužovacího) vedení uvádí nová norma ČSN 25 8331-3.

6.41 Dovolené odchylky (tolerance) kompenzačního (prodlužovacího) vedení

Kompenzační (prodlužovací) vedení se dodává dle ČSN 25 8331-3 ve dvou třídách přesnosti. Tyto třídy přesnosti, příslušný teplotní rozsah použití vedení i odpovídající teplota měřicího spoje termočlánku viz Tab. 9.

Tabulka 9

Druh vedení	Toleranční třída [°C]		Teplotní rozsah vedení [°C]	Teplota měřicího spoje
	1	2		
JX	± 1,5	± 2,5	-25 až +200	+500
KX	± 1,5	± 2,5	-25 až +200	+900
NX	± 1,5	± 2,5	-25 až +200	+900
KCA	---	± 2,5	0 až +150	+900
KCB	---	± 2,5	0 až +150	+900
NC	---	± 2,5	0 až +150	+900
SCA	---	± 2,5	0 až +100	+1000
SCB	---	± 2,5	0 až +200	+1000

Standardním provedením je kompenzační (prodlužovací) vedení ve třídě přesnosti 2. Jedním z možných kroků pro zvýšení přesnosti měření je tedy použití vedení ve třídě přesnosti 1.

6.42 Značení kompenzačního (prodlužovacího) vedení

V současné době se používá kompenzační (prodlužovací) vedení vyrobené jednak podle starších norem, jednak podle zmíněné ČSN 25.8331-3.

Barevné značení dle této nové normy viz Tab. 10.

Tabulka 10

Druh termočlánku	Barva izolace kladné větve a obalu
T	hnědá
E	fialová
J	černá
K	zelená
N	růžová
R	oranžová
S	oranžová
B	šedá

Barva izolace záporné větve je **bílá** u všech typů termočlánků.

Vnější obal, pokud se vyskytuje, má barvu dle tabulky - s výjimkou jiskrově bezpečných obvodů, kde musí být **modrý** pro všechny typy termočlánků.

Konektory pokud jsou užívány ve spojení s termočlánky a kompenzačním (prodlužovacím) vedením, mají mít barvu dle stejné tabulky. Tato barva může být buď přímo ve hmotě materiálu konektoru, nebo může být nanесena barevná značka na povrch konektoru.

Norma připouští i přídatné značení kompenzačního (prodlužovacího) vedení pomocí alfanumerického kódu.

7. Kalibrované termoelektrické snímače teploty

Přesnost měření teploty termoelektrickými články je možné zvýšit jejich kalibrací, tj. zjištěním jejich skutečné charakteristiky a jejím porovnáním s normovanými hodnotami. Tak lze získat termočlánky ve třídě přesnosti 2, nebo 1 dle příslušné normy, nebo i termočlánky s přesností lepší. Kalibrovat lze nejen termočlánky nové, ale i termočlánky po určité době provozu.

V současné době, v souvislosti se zaváděním řízení jakosti výroby podle norem řady ISO 9000, význam použití kalibrovaných termočlánků neustále roste. Avšak kalibrace je cenově poměrně náročná, její cena může být i srovnatelná s cenou samotného snímače. Proto je nutné vždy dobře zvážit, která měřicí místa je nutné z technologických, nebo bezpečnostních důvodů osadit kalibrovanými snímači a která ne.

8. Kalibrace termoelektrických snímačů teploty

Termoelektrické snímače teploty se obvykle kalibrují srovnávací (komparační) metodou. Kalibrují se jednak laboratorně, na schválených pracovištích SMS a SKS, jednak přímo v průmyslových provozech pomocí přenosného kalibračního zařízení. Přesnost kalibrace v provozech sice není tak vysoká jako v laboratorních podmínkách, ale zřejmě jí patří budoucnost. Kalibruje se pomocí odporových a termoelektrických teploměrů navázaných na etalonové teploměry v příslušných olejových, fluidních, nebo vzdušných lázních. Vlastní vyhodnocování se provádí obvykle digitálními multimetry. Kalibrované termočlánky jsou opatřeny kalibrační značkou. Doba do následné (opakované) kalibrace je závislá na provozních podmínkách termočlánku a jen velmi těžko ji lze stanovit bez jejich znalosti.

9. Nejčastější zdroje chyb při měření teploty termoelektrickými teploměrovými zařízeními

Termoelektrické teploměrové zařízení se skládá nejen ze snímače teploty, ale i indikačního zařízení, spojovacích členů a pomocného zařízení.

Při měření teploty termoelektrickými teploměrovými zařízeními je nutno brát v úvahu následující vlivy:

- odchylku napětí termočlánku od normovaných hodnot, viz IEC 584-1, IEC 584-2,
- nehomogenitu termočlánku, nebo prodlužovacího (kompenzačního) vedení v oblasti teplotního gradientu,
- vliv třetího (resp. dalšího) kovu v obvodu termoelektrického teploměrového zařízení, který se uplatňuje, když srovnávací spoje nemají stejnou teplotu,
- odchylku napětí termočlánku vzniklou vlivem používání, která na něj působí, např.:
 - hodnota odporu celého obvodu termoelektrického teploměrového zařízení a jeho změny,
 - škodlivé působení střídavých elektrických a magnetických polí,
 - vliv okolní teploty na přesnost elektrického vyhodnocovacího zařízení,
- chyba vznikající v přepínačích měřicích míst při sběru údajů z většího počtu termoelektrických snímačů teploty např.,
 - proměnlivým přechodovým odporem,
 - parazitním termoelektrickým napětím,
 - izolačním odporem.

V každém případě je nutné brát v úvahu to, že o výsledné přesnosti měření teploty termoelektrickým teploměrovým zařízením, a na to se někdy zapomíná, nerozhoduje jen samotný termoelektrický snímač teploty, ale celý měřicí řetězec včetně všech svých členů (tj. např. snímače teploty, prodlužovacího vedení, kompenzační krabice, spojovacího vedení a vyhodnocovacího přístroje).

10. Normy a další literatura pro termoelektrické snímače teploty

10.1 Normy

ČSN 25 8005 (1989)

Názvosloví z oboru měření teploty,

ČSN 25 8010 (1989)

Směrnice pro měření teplot v průmyslu,

ČSN EN 60584-1 (1997)

Termoelektrické články. Část 1: Referenční tabulky,

ČSN IEC 584-2 (1994)

Termoelektrické články. Část 2: Tolerance,

ČSN 25 8331-3 (1997)

Termoelektrické články. část 3: Prodlužovací a kompenzační vedení - Systém tolerancí a značení,

ČSN EN 50014 (1995)

Nevýbušná elektrická zařízení. Všeobecné požadavky,

ČSN EN 50018 (1996)

Nevýbušná elektrická zařízení. Pevný závěr "d",

ČSN EN 50112 (1997)

Měření, řízení, regulace - Elektrická teplotní čidla. Kovové ochranné trubky pro montáž termoelektrických článků,

ČSN EN 61515 (1997)

Kabely s minerální izolací pro termoelektrické články a plášťové termoelektrické články

EN 50212 (1996)

Connectors for thermoelectric sensors

DIN 43710 (1985)

10.2 Technické předpisy metrologické

TPM 3040-95

Schéma návaznosti měřidel teploty.

TPM 3322-94

Termoelektrické snímače teploty pracovní. Metody kalibrace.

10.3 Další literatura

D. Weber, M. Nau: Electrical Temperature Measurement with Thermocouples and Resistance Thermometers,

M. K. Juchheim, 36035 Fulda, Germany.

Poznámka:

Čas od času se vyskytují problémy s převody mezi různými teplotními stupnicemi, proto dále uvádíme potřebné převodní vztahy:

a) ze stupňů Fahrenheita na stupně Celsia

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 \cdot (^{\circ}\text{F} - 32),$$

b) ze stupňů Celsia na stupně Fahrenheita

$$^{\circ}\text{F} = (9/5 \text{ } ^{\circ}\text{C}) + 32,$$

c) ze stupňů Celsia na kelviny

$$\text{K} = \text{ } ^{\circ}\text{C} + 273,15.$$