



**Česká metrologická společnost, z.s.**

**Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1**

**tel/fax: 221 082 254**

**e-mail: cms-zk@csvts.cz**

**www.csvts.cz/cms**

**Kalibrační postup**

**KP 3.1.3/05/18**

**TERMoeLEKTRICKÝ ČLÁNEK**

**Praha**

**Říjen 2018**

**Vzorový kalibrační postup** byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2018

**Číslo úkolu:** VII/2/18

**Zadavatel:** Česká republika – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, organizační složka státu

**Řešitel:** Česká metrologická společnost, z.s.

**Zpracoval:** Ing. Josef Vojtíšek

© ÚNMZ, ČMS

**Neprodejné:** Metodika je volně k dispozici na stránkách ÚNMZ a ČMS. Nesmí však být dále komerčně šířena.

## 1 Předmět kalibrace

Kalibrační postup platí pro termoelektrické články a termoelektrické snímače teploty (dále TST), zařazené do kategorie pracovních měřidel. Pomocí různých typů TST můžeme měřit teplotu v rozmezí (-270 až 2700) °C, běžný rozsah měření TST z obecných kovů pokrývá oblast (0 až 1200) °C. U TST typu T nebo E pracujeme až do kryogenních teplot, běžné typy TST z drahých kovů (typy R, S, B) jsou naopak určeny pro teploty do cca 1700 °C. Standardní přesnost TST je definována v [L3], přehled tolerančních tříd základních typů je uveden v příloze č. 2. Jako etalon je možné použít jak odporový snímač teploty, tak i termoelektrický snímač teploty s odpovídajícími metrologickými parametry.

## 2 Související normy a metrologické předpisy

Vyhláška MPO č. 264/2000 Sb. ve smyslu novely č. 424/2009 Sb.,	Vyhláška o základních měřicích jednotkách, ostatních jed- notkách a o jejich označování	[L1]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalib- račních laboratoří	[L2]
ČSN EN 60584 -1 ed. 2	Termoelektrické články. Část 1: Údaje napětí a tolerance	[L3]
ČSN EN 60584-3	Termoelektrické články - Část 3: Prodlužovací a kompen- zační vedení - Systém tolerancí a značení	[L4]
TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[L5]
ČSN ISO 31-0	Veličiny a jednotky. Část 0: Všeobecné zásady (zrušená)	[L6]
ČSN ISO 80000-5	Veličiny a jednotky - Část 5: Termodynamika	[L7]
ITS 1990	Mezinárodní teplotní stupnice In: METROLOGIE, Tema- tická příloha č. 4/2008	[L8]
ČSN 25 8005	Názvosloví z oboru měření teploty	[L9]
ČSN 25 8010	Směrnice pro měření teplot v průmyslu	[L10]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení	[L11]
EURAMET cg-8	Calibration of Thermocouples (10/2011; ver. 2.1)	[L12]
EA 4/02: M 2013	Vyjadřování nejistot měření při kalibraci	[L13]
DKD-R 5-3	Kalibrierung von Thermoelementen. Ausgabe 1/2010 <a href="https://www.dakks.de/sites/default/files/dakks-dkd-r_5-3_20101221_v1.1.pdf">https://www.dakks.de/sites/default/files/dakks-dkd-r_5-3_20101221_v1.1.pdf</a>	[L14]
NIST Monograph 175	Temperature-Electromotive Force Reference Functions and Tables for the Letter-Designed Thermocouple Types Based on the ITS-90: April 1993.	[L15]
ILAC-G8	Pokyny pro uvádění shody se specifikací; překlad ČIA 9/2009	[L16]
VII/5/17	ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA úkolu: „Podklad pro průběžné sjednocování výpočtu CMC v akreditovaných kalibračních laboratořích v oboru teplota“, dostupné na <a href="http://www.unmz.cz/files/metrologie/vystupy%20z%20PRM/cmc-teplota.pdf">http://www.unmz.cz/files/metrologie/vystupy%20z%20PRM/cmc-teplota.pdf</a>	[L17]

### 3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci termočlánků je dána předpisem organizace. Příslušní pracovníci mají být seznámeni a proškoleni s tímto postupem. Doporučuje se certifikace odborné způsobilosti těchto pracovníků nebo obdobné zajištění způsobilosti.

### 4 Názvosloví, definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v normách uvedených v kapitole 2 postupu, zejména v [L5] a v [L9].

### 5 Měřidla a pomocná zařízení pro kalibraci

Prostředky, použité při kalibraci, se řídí rozsahem teplot, ve kterém se mají TST kalibrovat. Vhodné zařízení lze vybrat z přehledu, uvedeného v příloze č. 1. Pro kalibraci TST by měly být zvoleny vhodná zařízení s adekvátními metrologickými vlastnostmi (teplotní stabilita, časová stabilita, homogenita prostředí, apod.). Příloha č. 1 uvádí jejich ideální vlastnosti, reálný výběr ale závisí na požadované hodnotě nejistoty kalibrace. Pro správné určení kalibrační závislosti TST je nutné znát charakteristiky všech komponent (kalibrace etalonu teploty, voltmetru, apod.; proměření stability a homogenity termostatů atd.). Výstupní elektrické napětí se obvykle měří digitálním multimetrem nebo procesním kalibrátorem, při současné kalibraci více kusů TST použijeme vhodný přepínač termonapětí (při znalosti jeho parazitního termonapětí).

### 6 Obecné podmínky kalibrace – referenční podmínky

Referenční podmínky při kalibraci TST odpovídají standardním podmínkám měřidel elektrických veličin, které měří výstupní napětí TST – teplota okolního vzduchu  $23\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  a relativní vlhkost vzduchu do 90 %. Teplotu a vlhkost prostředí měříme kalibrovaným měřidlem. Ostatní podmínky odpovídají standardní laboratorní praxi – bezprašné prostředí, vyloučení otřesů a chvění, zabránění přímému vlivu slunečních paprsků na měřidla. Teplotní termostaty jsou intenzivními zdroji tepla, které je nutné kompenzovat klimatizací laboratoře. Nízkoúrovňové výstupní napětí TST je velmi citlivé na okolní elektrická a magnetická pole, jejichž vliv musíme vyloučit. Prodlužovací i kompenzační vedení TST je vyráběno ve formě stíněných kabelů, stínění musí tvořit uzavřenou smyčku. Jejich normované vlastnosti jsou uvedeny v [L4] a je nutné provést proměření jejich metrologických vlastností.

### 7 Rozsah kalibrace

Teplotní rozsah kalibrace vyplývá z typu kalibrovaného TST a vybavení laboratoře, kalibrované body si určuje zákazník (je doporučeno použít minimálně tři kalibrační body). Celkový postup kalibrace obvykle zahrnuje:

- zajištění podmínek prostředí,
- vnější prohlídku,
- zkoušku izolačního odporu (v případě kovového pláště),
- žihání (u etalonů),
- zkoušku stability termoelektrického napětí,
- zkoušku homogenity (u etalonů, u pracovních měřidel je-li to vhodné),
- zkoušku závislosti termoelektrického napětí na teplotě,

- vyhodnocení zkoušky a vystavení kalibračního listu.

TST se zkouší bez ochranných armatur nebo jímek, připojovací hlavice či konektorů, pokud je to možné. Měřicí vložky tyčového provedení TST tvoří nerozebíratelný celek, připojujeme se na svorkovnici vložky.

## 8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

### 8.1 Kontrola dodávky – přejímka měřidla

Při přebírání termoelektrického článku ke kalibraci odpovědný pracovník metrologického pracoviště posoudí, zda typ a výrobní číslo TST odpovídá údajům uvedeným na objednávce nebo dodacím listu. Jestliže na objednávce nejsou uvedeny kalibrační teploty nebo nejsou dohodnuty jiným způsobem, vyžádá si od zákazníka rozsah kalibrace s měřenými body a provede přezkoumání dodávky v souladu s možnostmi laboratoře. Současně se provede vnější prohlídka.

### 8.2 Vnější prohlídka, příprava měřidla

Při vnější prohlídce se zjišťuje, zda snímače nemají vady zjistitelné zrakem. Zjišťuje se zejména:

- zda není snímač poškozen mechanicky nebo tepelným namáháním a zda není poškozena hlavice nebo připojení větví na svorky,
- zda je k dispozici příslušná dokumentace (návod k použití, schéma zapojení, ...),
- zda jsou k dispozici podklady o zapojení napájení a nastavení převodníku u snímačů s převodníkem
- zda nejsou znečištěny větve, izolační keramika, ochranná keramika,
- zda větve z drahých kovů a měřicí spoj mají lesklý povrch, jsou čisté nebo mají pouze rovnoměrnou oxidační vrstvu.

Měřidlo, u kterého se zjistí chyba nebo které nesplňuje požadavky určené předpisy, se nepřijme ke kalibraci.

## 9 Postup kalibrace

### 9.1 Zkouška izolačního odporu

Izolační odpor se měří při teplotě okolí, u snímačů s pracovní teplotou nad 300 °C (u typu T nad 200 °C) se měří izolační odpor i při max. pracovní teplotě s tím, že měření provedeme nejdříve po 2 hodinách po tepelném ustálení na této teplotě. Izolační odpor se měří mezi svorkami snímače a elektricky vodivou armaturou nebo pláštěm u plášťových TC, pokud mají izolovaný měřicí spoj, a také mezi jednotlivými termoelektrickými články u násobných snímačů.

Hodnota izolačního odporu se měří při obou polaritách, pro každou z nich se stanoví střední hodnota, a pro velikost izolačního odporu se použije nižší z obou hodnot. Hodnoty izolačního odporu musí splňovat podmínky uvedené v tabulce 1.

Pokud snímače nesplňují požadavky na hodnoty izolačního odporu, vyřadí se z dalšího zkoušení.

**Tabulka č. 1: Hodnoty izolačních odporů**

Jmenovitá zkušební teplota °C	Minimální izolační odpor MΩ	Zkušební napětí V
15 až 25	100	do 100
100 až 300	10	do 10
301 až 500	2	do 10
501 až 850	0,5	do 10
851 až 1000	0,25	do 10

**9.2 Žihání**

Termoelektrický článek by měl být vystaven teplotám (500 až 900) °C co nejkratší možnou dobu, protože při delší expozici dochází k oxidacím jednotlivých větví. Teplota vhodná pro odstranění oxidů je 1300 °C (vystavením TST teplotě 450 °C a výše se začíná uvolňovat mechanické pnutí a dislokace v krystalové mřížce). Při standardním používání je dostatečné žihání po dobu 10 minut, jinak je nutné provést žihání při této teplotě po dobu (1 až 2) h.

Pokud je maximální teplota použití snímače jiná než 1300 °C, provede se žihání min. po dobu 2 hodin při teplotě  $t$ :

$$(t_{\max} - 50) \leq t \leq (t_{\max} + 10), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

kde  $t_{\max}$ , je maximální teplota měřicího rozsahu TST.

Žihání se provádí v horizontální/vertikální peci dostatečné délky s izotermním profilem. Pro etalony z drahých kovů je doporučeno provádět žihání průchodem elektrického proudu a to jak u nových, tak u opakovaně měřených. Při zpětném zasouvání do izolační kapiláry se musí větve zasunout do původních otvorů, nesmí dojít k jejich záměně.

**9.3 Zkouška stability termoelektrického napětí**

Stabilita napětí termoelektrického článku se zkouší, pokud nejsou k dispozici údaje o předchozím zkoušení a u snímačů, u kterých se provádělo žihání průchodem elektrického proudu. U TST, u kterých jsou k dispozici údaje o předchozí kalibraci, se porovnají hodnoty, naměřené při nejvyšší teplotě, s hodnotami předchozího měření. Toto porovnání nahrazuje provedení zkoušky stability.

Při zkoušce stability se změří termoelektrické napětí při největší kalibrační teplotě. Potom se TST dvě hodiny žihá při teplotě  $t$ , která je v rozmezí

$$(t_{\max} - 20) \leq t \leq t_{\max}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

kde teplota  $t_{\max}$  se určuje podle druhu termoelektrického článku takto:

typ S, R má  $t_{\max} = 1000 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,

typ B má  $t_{\max} = 1500 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,

u TST z obecných kovů je  $t_{\max}$  jejich nejvyšší pracovní teplota.

Po vyžihání se znovu změří termoelektrické napětí při nejvyšší kalibrační teplotě. Pak se porovnají hodnoty, naměřené při téže teplotě před žiháním a po něm. Rozdíl hodnot, převedených na teplotu má být menší než 1,0 °C. Toto měření může být součástí měření v rámci kalibrace. Naměřená hodnota je pak zahrnuta do výsledné nejistoty kalibrace.

#### 9.4 Zkouška závislosti termoelektrického napětí na teplotě

Zkouška závislosti termoelektrického napětí na teplotě se provádí porovnáním s etalonem. Při kalibraci etalonů se tímto způsobem provede porovnání minimálně při čtyřech teplotách rovnoměrně rozložených v celém měřicím rozsahu. Při kalibraci pracovních měřidel vychází počet kalibračních bodů z požadavku zákazníka (minimálně však 3 kalibrační body).

Při kalibraci se musí splnit tato pravidla:

- etalon se má chránit před poškozením a znečištěním izolační keramiky, před kontaminací jednotlivých větví,
- při kalibraci a zkoušení TST ze stejných materiálů jako etalon používáme etalon přednostně bez ochranného plynotěsného keramického pouzdra,
- při kalibraci TST z obecných kovů musí být etalon z drahých kovů chráněn pouzdem,
- při měření musí být zajištěna co nejlepší shoda teplot etalonu a zkoušeného TST (měřicí konce bezprostředně u sebe),
- musí se zajistit, aby nemohlo dojít k mechanickému namáhání větví termočlánu,
- hloubka ponoru kalibrovaných TST a etalonu v měřicím prostředí, které zajišťuje zkušební teplotu, má být taková, aby odchylky teplot vlivem odvodu tepla byly co nejmenší,
- srovnávací spoje termoelektrického článku nebo kompenzačního vedení se udržují při dohodnuté teplotě, například při 0 °C (nejčastěji), 20 °C nebo 50 °C (obvykle u měřicích řetězců),
- při použití prodlužovacího/kompenzačního vedení pro připojení měřeného TST musí mít toto vedení provedenu zkoušku dle tohoto postupu a zjištěná odchylka od jmenovitého údaje dle [L3] tohoto vedení musí být menší než polovina dovolené chyby pro 2. toleranční třídu přesnosti v rozsahu teplot 0 °C až 200 °C dle [L6] pro daný typ vedení. Ze vzorku kompenzačního vedení je vyroben zkušební termoelektrický snímač, u kterého se provede kalibrace v rozsahu teplot odpovídajícímu použití vedení.
- měřit se může až po minimálně 20 minutovém temperování kalibrovaných článků a etalonů při určené teplotě,
- zkušební teploty nesmí překročit rozsah hodnot pracovních teplot TST a musí být nastaveny s přesností  $\pm 20$  °C. Po ustálení na zvolené teplotě, se měří údaje etalonu a zkoušených TST.
- počet naměřených hodnot má být sudý (provádí se min. 2 čtveřice odečtů hodnot, přičemž rozdíl mezi minimální a maximální naměřenou teplotou musí být menší než 2/3 nejistoty kalibrace  $U$  pro danou teplotu).

Doporučuje se provést tato opatření:

- vstupní otvor vzduchových pecí je vhodné utěsnit tepelně izolačním materiálem (sibalová vata),
- jestliže nemáme k dispozici elektronicky řízenou pícku studeného konce, umístíme srovnávací spoje TST, které jsou vloženy do zkumavek s kontaktní kapalinou (bezvodým etanolem), do Dewarovy nádoby naplněné směsí ledové tříště s destilovanou vodou. Doporučený ponor je (100 až 150) mm. Srovnávací spoje TST se propojí spojovacím vedením (Cu) buď přes přepínač měřicích míst, nebo přímo s vyhodnocovacím zařízením.
- při kalibraci/ zkoušení TST z drahých kovů je možné kalibrované snímače přivázat přímo na izolační kapiláru etalonu při současném zajištění dotyku měřicích spojů a jejich případného svázání. Pro svazování i pro převázání kapilár se používá platinový drát. Takto připravené snímače se umísťují do uzavřené plynotěsné keramické trubice ze slinutého  $Al_2O_3$ , čistoty nejméně 95 %, která se používá jen pro etalony z drahých kovů. Svazek spolu s ochrannou trubicí se umísťuje do osy pece tak, aby měřicí spoje byly ve středu rov-

noměrného teplotního pole pece. Doporučený ponor je min. 300 mm (závisí na konstrukci pece). Při použití menšího ponoru je tato skutečnost zahrnuta ve výsledné nejistotě.

- TST z obecných kovů je vhodné přivázat k ochranné keramice etalonu a celek umístit do osy pece nebo zasunout do kovového bloku umístěného v zóně rovnoměrného teplotního pole tak, aby měřicí spoje měly stejný ponor.
- v kapalinových termostatech se etalony i zkoušené TST chrání vhodnými jímkami z kovu, skla apod. Musí být zajištěn co nejlepší přestup tepla mezi pracovním médiem termostatu a zkoušeným snímačem. Ponor snímačů musí být takový, aby měření teploty bylo minimálně ovlivněno odvodem tepla snímači teploty.
- Počet současně zkoušených TST je dán především konstrukcí, rozměry a vlastnostmi snímačů, etalonů a termostatů nebo pecí. Chyba vznikající vlivem odvodu tepla má být zanedbatelná.

Při kalibraci se měří:

- elektrické napětí etalonového termoelektrického článku nebo elektrický odpor etalonového odporového snímače teploty,
- elektrická napětí kalibrovaných termoelektrických článků.

### 9.5 Homogenita termoelektrických snímačů

Už při výrobě jednotlivých termočlánekových materiálů nelze dosáhnout absolutně homogenní složení jednotlivých větví, které se částečně odstraňuje např. prvotním žíháním. Provozní nehomogenita TC je způsobena nekonzistencí mezi slitinami kovů vlivem teplotních šoků, mechanického namáhání a velkého počtu provozních hodin. Těmito vlivy mohou vznikat paralelní termoelektrické články, které vytváří další parazitní napětí. Měření homogenity se provádí povytažením TST z izotermního prostředí (pevné body Mezinárodní teplotní stupnice ITS-90, pro nižší teploty kapalinové lázně). Délka povytažení je závislá na ponoru TST a parametrech izotermního prostředí. Pokud se při kalibraci TST toto měření neprovádí nebo nemůže být z nějakého důvodu provedeno, použije se odhad homogenity ve výši 20 % z maximální dovolené chyby pro toleranční třídu 2 dle [L3]. Jestliže se měření homogenity provádí, je nutné vhodně zvolit izotermní prostředí (co nejmenší teplotní gradient) a použít etalon s velmi malou nehomogenitou. V případě, kdy je měření provedeno chybně či v nevhodně zvoleném prostředí, může chyba dosahovat (0,2 – 2) °C, jelikož se počítá chyba senzoru i prostředí. Bližší informace lze nalézt v [L17].

Při volbě prostředí pro zkoušku homogenity je nutno brát v úvahu pracovní rozsah snímače a při použití olejové lázně chránit termoelektrický článek alespoň skleněnou ochrannou trubicí s jen o málo větším vnitřním průměrem, než je průměr izolační kapiláry termoelektrického snímače. Ostatní části je nutno chránit nejen před potřísněním olejem, ale i před výparů. V každém případě je nutno provést dodatečné očištění. Posouvání je nutno provádět po malých úsecích a hodnoty odečítat vždy po novém ustálení teploty. Naměřené hodnoty lze vynést do grafické závislosti. Dovolená odchylka je pro povytažení 100 mm od normálního ponoru (300 až 350) mm definována:

- 5  $\mu\text{V}$  pro snímače z drahých kovů,
- 20  $\mu\text{V}$  pro snímače z obecných kovů.

Protože homogenita TST patří mezi složky výsledné nejistoty měření a např. u TST z obecných kovů ji výrazně ovlivňuje, je nutné přistupovat odpovědně k jejímu stanovení.

## 10 Vyhodnocení kalibrace

Vyhodnocení kalibrace spočívá v porovnání zjištěných a dovolených chyb. Pro vyhodnocení výsledků měření je nejprve třeba:

- vypočítat průměrné hodnoty napětí jednotlivých měření kalibrovaného TST  $U_M$ ; pokud se



měřilo při jiné teplotě srovnávacích spojů než 0 °C, pak se naměřené hodnoty napětí musí přepočítat na jmenovitou teplotu srovnávacích spojů. Přepočet je dán vztahem:

$$U_t = (t_X - t_E) \cdot C \quad (3)$$

Kde je:

$U_t$  hodnota korekce termoelektrického napětí,  
 $t_X$  skutečná teplota srovnávacích spojů,  
 $t_E$  jmenovitá teplota srovnávacích spojů,  
 $C$  průměrná citlivost termoelektrického snímače mezi teplotami  $t_X$  a  $t_E$  dle [L3].

- z naměřených, popřípadě z přepočtených napětí, se určí příslušné teploty  $t_M$ : použijí se buď tabulky nebo vhodné polynomy podle [L3],
- teploty etalonu  $t_{ET}$ , při kterých se kalibrovalo, se určí z hodnot etalonového napětí (odporu); při výpočtech se použijí údaje z kalibračních listů etalonů,
- získané hodnoty rozdílů ( $t_M - t_{ET}$ ) se porovnají s dovolenými odchylkami podle [L3],
- nejistoty měření se určí podle postupu, uvedeného v kapitole 14.
- 

Na základě vyhodnocení zkoušených bodů může laboratoř rozhodnout, zda kalibrovaný TST vyhovuje požadavkům příslušné toleranční třídy nebo požadavkům zákazníka. Vyjádření o shodě s metrologickou specifikací může být uvedeno na kalibračním listě, ale musí být respektovány zásady dokumentu [L20]. Vyjádření k metrologické specifikaci se uvádí pouze na přání zákazníka.

## 11 Kalibrační list

**Výsledky měření by měly být uváděny v souladu s normou ČSN EN ISO 17025/2017 a jejího článku 7.8 – Uvádění výsledků. Jednou z forem je kalibrační list.**

### 11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list by měl obsahovat tyto údaje:

- a) titul (např. „Kalibrační list“)
- b) název a adresu kalibrační laboratoře,
- c) jednoznačnou identifikaci, že všechny části kalibračního listu jsou součástí celkové zprávy a jasnou identifikaci konce kalibračního listu (pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran),
- d) místo provádění laboratorních činností včetně těch, které jsou prováděny v zařízeních zákazníka nebo v místech mimo trvalá zařízení laboratoře nebo v přičleněných dočasných nebo mobilních zařízeních,
- e) jméno a kontaktní údaje zákazníka,
- f) popis, jednoznačnou identifikaci a je-li to nezbytné, stav měřené položky (např. název, typ, výrobce a identifikační číslo termoelektrického článku
- g) datum přijetí termoelektrického článku ke kalibraci (nepovinné), datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,
- h) identifikaci použité metody (označení kalibračního postupu – v tomto případě KP 3.1.3/05/18 – příp. určení specifikace uplatněné při kalibraci),
- i) výsledky a jednotky měření,
- j) výsledky před a po každé úpravě nebo opravě, pokud jsou k dispozici,
- k) doplnění, odchylky nebo vyloučení z metody,
- l) podmínky (např. podmínky prostředí), při nichž byla provedena kalibrace a které mají vliv na výsledky měření,
- m) měřidla použitá při kalibraci,
- n) prohlášení o tom, jak jsou měření metrologicky návazná (etalony použité při kalibraci),

- o) nejistotu měření výsledku měření uvedenou ve stejné jednotce jako měřená veličina nebo ve vyjádření relativním k měřené veličině (např. v procentech),
- p) kde je to relevantní, prohlášení o shodě s požadavky nebo specifikacemi,
- q) jednoznačné označení výsledků od externích dodavatelů,
- r) případně názory a interpretace,
- s) identifikaci osoby (osob) schvalující zprávu.

Akreditovaná kalibrační laboratoř navíc uvede přidělenou kalibrační značku, číslo laboratoře a odkaz na osvědčení o akreditaci. Součástí kalibračního listu je též prohlášení, že uvedené výsledky se týkají pouze kalibrovaného předmětu a kalibrační list nesmí být bez předběžného písemného souhlasu kalibrační laboratoře publikován a rozmnožován jinak než celý.

Pokud provádí kalibrační, resp. metrologická laboratoř, kalibraci pro vlastní organizaci, může být kalibrační list zjednodušen, případně vůbec nevystavován (výsledky kalibrace mohou být uvedeny např. v evidenční kartě měřidla nebo na vhodném nosiči, popř. v elektronické paměti). V tomto případě je vhodné, aby kalibrační laboratoř zpracovala záznam o měření (s uvedenými měřenými hodnotami) a archivovala jej. Po dohodě se zákazníkem, se smí i jeho výsledky uvádět zjednodušeným způsobem. Záznam o měření musí obsahovat všechny údaje a měřené hodnoty tak, aby bylo možné měření kdykoliv opakovat za stejných podmínek.

### 11.2 Protokolování

Originál kalibračního listu se předá zadavateli kalibrace. Kopii kalibračního listu si ponechá kalibrační laboratoř a archivuje ji po dobu nejméně pěti let nebo po dobu stanovenou zadavatelem zároveň se záznamem o kalibraci. Doporučuje se archiovat záznamy a kalibrační listy chronologicky. Výsledky kalibrace se mohou v souladu s případnými podnikovými metrologickými dokumenty zanášet do kalibrační karty měřidla nebo ukládat do vhodné elektronické paměti.

### 11.3 Umístění kalibrační značky

Po provedení kalibrace může kalibrační laboratoř označit kalibrované měřidlo kalibrační značkou, popř. kalibračním štítkem nejčastěji s uvedením čísla kalibračního listu, datem provedení kalibrace, případně s logem laboratoře. Pokud to není výslovně uvedeno v některém interním podnikovém metrologickém předpisu nebo kupní smlouvě se zákazníkem, nesmí kalibrační laboratoř uvádět na svém kalibračním štítku datum příští kalibrace, protože stanovení kalibrační lhůty měřidla je právem a povinností uživatele.

## 12 Péče o kalibrační postup

Originál kalibračního postupu je uložen u jeho zpracovatele, další vyhotovení jsou předána příslušným pracovníkům podle rozdělovníku (viz čl. 13.1 tohoto postupu).

Změny, popř. revize kalibračního postupu provádí jeho zpracovatel. Změny schvaluje vedoucí zpracovatele (vedoucí kalibrační laboratoře nebo metrolog organizace).

## 13 Rozdělovník, úprava a schválení, revize

Uvedený příklad je pouze orientační a subjekt si může tuto dokumentaci upravit podle interních předpisů o řízení dokumentů.

**13.1 Rozdělovník**

Kalibrační postup		Převzal		
Výtisk číslo	Obdrží útvar	Jméno	Podpis	Datum

**13.2 Úprava a schválení**

Kalibrační postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Úpravu schválil			

**13.3 Revize**

Strana	Popis změny	Zpracoval	Schválil	Datum

**14 Stanovení nejistoty měření při kalibraci termoelektrického článku (příklad výpočtu)****14.1 Výpočet nejistoty kalibrace dle [L12]**

Tento postup určení nejistoty vychází z dokumentu [L12], příklad výpočtu z tohoto dokumentu je uveden v [L13] a v německém překladu [L14]. Překlad textu příkladu byl zjednodušen z hlediska přístupnosti příkladu široké veřejnosti.

**Stanovení nejistoty kalibrace termoelektrického článku typu N při teplotě 1000 °C**

Termoelektrický článek typu N je kalibrován porovnáním se dvěma etalonovými termoelektrickými články typu R v horizontální peci při teplotě 1000 °C. Termoelektrické napětí je měřeno digitálním milivoltmetrem a přepínačem s automatickou komutací. Teplota srovnávacích spojů je 0 °C. Je také připojeno kompenzační vedení.

Pro teplotu  $t_x$  v peci, při níž se kalibruje termoelektrický článek, platí:

$$t_x = t_s(V_{IS}) + C_S \delta V_{IS1} + C_S \delta V_{IS2} + C_S \delta V_R - \frac{C_S}{C_{S0}} \delta t_{0S} + \delta t_S + \delta t_D + \delta t_F \quad (4)$$

Napětí  $V_x$  mezi větvemi termoelektrického článku při teplotě srovnávacího spoje 0 °C je dáno vztahem:

$$V_x(t) = V_x(t_x) + \frac{\Delta t}{C_x} - \frac{\delta t_{0X}}{C_{X0}} = V_{ix} + \delta V_{ix1} + \delta V_{ix2} + \delta V_R + \delta V_{LX} + \delta V_{HX} + \frac{\Delta t}{C_x} - \frac{\delta t_{0X}}{C_{X0}} \quad (5)$$

Značky, uvedené v těchto vztazích mají tento význam:

$V_{iS}$ ,  $V_{iX}$  jsou údaje milivoltmetru,

$\delta V_{iS1}$ ,  $\delta V_{iX1}$  jsou chyby napětí, uvedené v kalibračním listu voltmetru.

$\delta V_{iS2}$ ,  $\delta V_{iX2}$  jsou chyby napětí z důvodů omezeného rozlišení voltmetru.

$\delta V_R$  je chyba napětí způsobená kontakty přepínače.

$\delta t_{OS}$ ,  $\delta t_{OX}$  jsou chyby, dané odchylkami teploty vedlejších spojů od 0 °C

$C_S$ ,  $C_X$  jsou napěťové citlivosti termoelektrických článků při teplotě 1000 °C

$C_{S0}$ ,  $C_{X0}$  jsou napěťové citlivosti článků při teplotě srovnávacího spoje 0 °C

$\delta t_D$  je změna napětí etalonového článku od jeho poslední kalibrace vlivem driftu

$\delta t_F$  je chyba teploty vzhledem k nehomogenitě teplotního pole v peci.

$t$  je teplota, při které má být termoelektrický článek kalibrován (kalibrační bod)

$\Delta t = t - t_X$  je odchylka teploty v peci od teploty kalibračního bodu

$\delta V_{LX}$  je korekce napětí, která se vztahuje na kompenzační vedení.

$\delta V_{HX}$  je korekce napětí, která se vztahuje na nehomogenitu vodičů termoelektrického článku

Výsledkem měření je elektrické napětí kalibrovaného termoelektrického článku při teplotě v místě měření. Protože měření má dvě části – určení teploty v peci a určení elektrického napětí kalibrovaného termoelektrického článku – je také stanovení nejistoty rozděleno na dvě části.

**Etalonový termoelektrický článek ( $t_S(V)$ ,  $\delta t_S$ ):** obvykle je dodán s kalibračním listem, v němž je uveden vztah teploty měřicího spoje (při teplotě srovnávacího spoje 0 °C) a napětím mezi větvemi článku. Rozšířená nejistota měření pro 1000 °C je  $U = 0,6$  °C (koeficient rozšíření  $k = 2$ ).

**Drift etalonového termoelektrického článku ( $\delta t_D$ ):** podle zkušeností je drift etalonového článku uvnitř intervalu  $\pm 0,3$  °C.

**Citlivost ( $C_S$ ,  $C_X$ ,  $C_{S0}$ ,  $C_{X0}$ ):** citlivost (Seebeckův součinitel) obou termoelektrických článků (etalonového a kalibrovaného) se získá z tabulek základních hodnot termoelektrických napětí.

**Tabulka č. 2: Citlivosti TST**

	1000 °C	0 °C
Etalonový termoelektrický článek	$C_S = 0,077$ °C/ $\mu$ V	$C_{S0} = 0,189$ °C/ $\mu$ V
Kalibrovaný termoelektrický článek	$C_{aX} = 0,026$ °C/ $\mu$ V	$C_{XS} = 0,039$ °C/ $\mu$ V

**Kalibrace digitálního voltmetru ( $\delta V_{iS1}$ ,  $\delta V_{iX1}$ ):** byl použit 4½ - místný digitální voltmetr, který byl kalibrován. Všechny naměřené hodnoty jsou korigovány. Podle kalibračního listu napětí pod 50 mV má rozšířenou nejistotu měření  $U = 2,0$   $\mu$ V (koef. rozšíření  $k = 2$ ).

**Rozlišení digitálního voltmetru ( $\delta V_{iS2}$ ,  $\delta V_{iX2}$ ):** použitý 4½ - místný digitální voltmetr na rozsahu 10 mV má rozlišení každé měřené hodnoty  $\pm 0,5$   $\mu$ V.

**Chyba napětí způsobená kontakty přepínače ( $\delta V_R$ ):** odhaduje se, že hodnota zbytkového parazitního napětí tvoří chybu asi  $\pm 0,2$   $\mu$ V.

**Referenční teploty ( $\delta t_{OS}$ ,  $\delta t_{OX}$ ):** Teploty referenčních spojů termoelektrických článků jsou 0 °C s odchylkami  $\pm 0,1$  °C.

**Gradient teploty v peci ( $\delta t_F$ )** má být změřen. Při teplotě 1000 °C jsou odchylky teploty v měřicí části v rozmezí  $\pm 1$  °C.

**Kompenzační vedení ( $\delta V_{LX}$ )** bylo zkoušeno v rozmezí teplot 0 °C až 40 °C. Rozdíly napětí mezi jeho vodiči a větvemi termoelektrického článku byly v rozmezí  $\pm 5$   $\mu$ V.

**Nehomogenita ( $\delta V_{HX}$ ):** může ovlivnit výsledek měření hodnotou  $\pm 15$   $\mu$ V.

**Měření napětí  $V_{is}$  a  $V_{ix}$ :** Údaje číslicového milivoltmetru se zapisují do tabulky. Každá teplota se měří čtyřikrát. Z hodnot napětí etalonového článku se vypočítá teplota pomocí vztahu teplota – napětí.

**Tabulka č. 3: Naměřené hodnoty**

Termoelektrický článek	1. etalon	kalibrovaný TST	2. etalon
naměřená napětí, korigovaná	+10 500 $\mu\text{V}$ +10 503 $\mu\text{V}$ +10 505 $\mu\text{V}$ +10 505 $\mu\text{V}$ +10 502 $\mu\text{V}$ -10 503 $\mu\text{V}$ -10 504 $\mu\text{V}$ -10 501 $\mu\text{V}$ -10 503 $\mu\text{V}$ -10 499 $\mu\text{V}$	+36245 $\mu\text{V}$ +36248 $\mu\text{V}$ +36244 $\mu\text{V}$ +36249 $\mu\text{V}$ +36253 $\mu\text{V}$ -36248 $\mu\text{V}$ -36251 $\mu\text{V}$ -36254 $\mu\text{V}$ -36244 $\mu\text{V}$ -36244 $\mu\text{V}$	+10 503 $\mu\text{V}$ +10 503 $\mu\text{V}$ +10 506 $\mu\text{V}$ +10 507 $\mu\text{V}$ +10 502 $\mu\text{V}$ -10 505 $\mu\text{V}$ -10 505 $\mu\text{V}$ -10 504 $\mu\text{V}$ -10 503 $\mu\text{V}$ -10 502 $\mu\text{V}$
průměrné napětí	10 502,5 $\mu\text{V}$	36248 $\mu\text{V}$	10 504 $\mu\text{V}$
Směrodatná odchylka průměrného napětí	0,67 $\mu\text{V}$	1,26 $\mu\text{V}$	0,57 $\mu\text{V}$
teplota v místě měření	1000,473 $^{\circ}\text{C} \pm$ 0,052 $^{\circ}\text{C}$		1000,529 $^{\circ}\text{C} \pm$ 0,044 $^{\circ}\text{C}$
teplota v peci	(1000,505 $\pm$ 0,034) $^{\circ}\text{C}$		

Z deseti odečtů termoelektrických článků jsou vypočteny průměrné hodnoty včetně směrodatných odchylek. Přepočtení etalonů na teplotu je provedeno pomocí vztahu uvedeného na kalibračních listech etalonů. Standardní nejistota teploty pece byla určena jako standardní nejistota váženého průměru určeného z teplot jednotlivých etalonů.

**Tabulka č. 4: Přehled nejistot ( $t_x$  teplota v peci)**

Veličina $X_i$	Odhad $x_i$	Standardní nejistota $u(x_i)$	Rozdělení pravděpodobnosti	Citlivostní koeficient $C_i$	Příspěvek k nejistotě $u_i(y)$
$t_s$	1000,5	0,01 $^{\circ}\text{C}$	normální	1,0	0,034 $^{\circ}\text{C}$
$\delta V_{is1}$	0 $\mu\text{V}$	1 $\mu\text{V}$	normální	0,077 K/ $\mu\text{V}$	0,077 $^{\circ}\text{C}$
$\delta V_{is2}$	0 $\mu\text{V}$	0,29 $\mu\text{V}$	rovnoměrné	0,077 K/ $\mu\text{V}$	0,022 $^{\circ}\text{C}$
$\delta V_R$	0 $\mu\text{V}$	1,15 $\mu\text{V}$	rovnoměrné	0,077 K/ $\mu\text{V}$	0,089 $^{\circ}\text{C}$
$\delta t_{0S}$	0 $^{\circ}\text{C}$	0,058 $^{\circ}\text{C}$	rovnoměrné	- 0,407	- 0,024 $^{\circ}\text{C}$
$\delta t_S$	0 $^{\circ}\text{C}$	0,3 $^{\circ}\text{C}$	normální	1,0	0,3 $^{\circ}\text{C}$
$\delta t_D$	0 $^{\circ}\text{C}$	0,173 $^{\circ}\text{C}$	rovnoměrné	1,0	0,173 $^{\circ}\text{C}$
$\delta t_F$	0 $^{\circ}\text{C}$	0,577 $^{\circ}\text{C}$	rovnoměrné	1,0	0,577 $^{\circ}\text{C}$
$t_x$	1000,5			$u(t_k)$	0,685 $^{\circ}\text{C}$

**Tabulka č. 5: Přehled nejistot (termoelektrické napětí  $V_x$  kalibrovaného článku)**

Veličina $X_i$	Odhad $x_i$	Standardní nejistota $u(x_i)$	Rozdělení pravděpodobnosti	Citlivostní koeficient $C_i$	Příspěvek k nejistotě $u_i(y)$
$V_{ix}$	36248 $\mu\text{V}$	1,26 $\mu\text{V}$	normální	1,0	1,26 $\mu\text{V}$
$\delta V_{ix1}$	0 $\mu\text{V}$	1,00 $\mu\text{V}$	normální	1,0	1,00 $\mu\text{V}$
$\delta V_{ix2}$	0 $\mu\text{V}$	0,29 $\mu\text{V}$	rovnoměrné	1,0	0,29 $\mu\text{V}$
$\delta V_R$	0 $\mu\text{V}$	1,15 $\mu\text{V}$	rovnoměrné	1,0	1,15 $\mu\text{V}$
$\delta V_{LX}$	0 $\mu\text{V}$	2,9 $\mu\text{V}$	rovnoměrné	1,0	2,9 $\mu\text{V}$
$\delta V_{HX}$	0 $\mu\text{V}$	8,67 $\mu\text{V}$	rovnoměrné	1,0	8,67 $\mu\text{V}$
$\Delta t$	-0,5 $^{\circ}\text{C}$	0,685 $^{\circ}\text{C}$	normální	38,5 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	26,37 $\mu\text{V}$
$\delta t_{ox}$	0 K	0,058 $^{\circ}\text{C}$	rovnoměrné	-25,6 $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	-1,48 $\mu\text{V}$
$V_x$	36 229 $\mu\text{V}$	$u(t_k) =$			28,02 $\mu\text{V}$

Rozšířená nejistota měření se vztahuje na měření teploty v peci:

$$U = k \cdot u(t_x) = 2 \cdot 0,685 \text{ } ^{\circ}\text{C} \approx 1,4 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Rozšířená nejistota měření vztahující se k hodnotě termoelektrického napětí kalibrovaného TST je

$$U = k \cdot u(V_x) = 2 \cdot 28,02 \text{ } \mu\text{V} \approx 56 \text{ } \mu\text{V}$$

Výsledek: termoelektrický článek typu N udává pro teplotu 1000  $^{\circ}\text{C}$  ( při teplotě srovnávacího spoje 0  $^{\circ}\text{C}$ ) hodnotu termoelektrického napětí ve výši

$$36\ 230 \text{ } \mu\text{V} \pm 56 \text{ } \mu\text{V}$$

Uvedená rozšířená nejistota měření je vyjádřena jako standardní nejistota měření vynásobená koeficientem rozšíření  $k = 2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%.

#### 14.2 Zjednodušený výpočet nejistoty kalibrace při standardním použití jednoho etalonu

Pro výpočet použijeme stejné zadání jako v předchozím příkladu. Při měření bude použit jediný etalon (TST typu R), použité vybavení laboratoře bude obdobné. Protože homogenita kalibrovaného TST typu N není měřena, vyjdeme z doporučení kapitoly 9.5 a použijeme hodnotu 20 % z dovolené tolerance TST při kalibrované teplotě  $t = 1000 \text{ } ^{\circ}\text{C}$  ( $\Delta_{DOV} = 0,0075 \times t = 7,5 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ ). Předchozí příklad se nezabývá rozdílným odvodem tepla mezi kalibrovaným TST (kovový plášť) a etalonem (keramická trubice). Nejistota měření je stanovena jediným výpočtem, vlastnosti pece jsou zadány na základě změřených hodnot. Postup výpočtu odpovídá dokumentu [L13]. Uvažujeme tyto nejistoty:

##### 14.2.1 Standardní nejistota typu A $u_A$

Její určení je obdobné jako v předchozím příkladu, vychází ze statistické analýzy opakované série měření. Vyplývá z tabulky měřených hodnot příkladu 14.1.

##### 14.2.2 Nejistota typu B $u_B$

Složky nejistoty typu B jsou také obdobné jako v příkladu 14.1, u zdrojů, které jsou zahrnuty jiným způsobem, je tato skutečnost uvedena v popisu dílčího zdroje.

Chyba údaje měřené teploty kalibrovaného snímače  $E_X$  je definována:

$$E_X = V_X - (V_E + \delta V_{EO} + \delta V_{ME} + \delta V_{PE} + \delta V_{SE} + \delta V_{VE}) + C_X \cdot \delta t_H + C_X \cdot \delta t_{STAB} + \delta V_{MX} + \delta V_{PX} + C_X \cdot \delta t_O - C_E \cdot \delta t_S + C_X \cdot \delta t_S + C_X \cdot \delta t_N - C_E \cdot \delta t_K + C_X \cdot \delta t_K \quad (6)$$

$V_X, V_E$  napětí odpovídající měřené teplotě kalibrovaného TST (měřidlo, etalon),  
 $C_X, C_E$  citlivostní koeficient pro přepočtení teploty na napětí (měřidlo, etalon),

$\delta V_{EO}$	korekce na nejistotu kalibrace etalonu – údaj z kalibračního listu,
$\delta V_{ME}, \delta V_{MX}$	korekce na vliv měřicího multimetru (etalon, měřidlo); do hodnoty je zahrnuto rozlišení a přesnost multimetru,
$\delta V_{PE}, \delta V_{PX}$	korekce na vliv přepínače a parazitních termoelektrických napětí (etalon, měřidlo).
$\delta V_{SE}$	korekce na dlouhodobou nestabilitu etalonu (drift),
$\delta V_{VE}$	korekce na nepřesnost výpočtu mezi pevnými body. Tato složka nejistoty nebyla v příkladu 14.1 uvažována a popisuje vliv toho, že teploměr je obecně používán v celém pracovním rozsahu, a ne jenom v bodech, ve kterých byla provedena kalibrace,
$\delta t_H, \delta t_{STAB}$	korekce na homogenitu a stabilitu lázně. Do této složky vstupují korekce na nestabilitu a nehomogenitu (nesourodost) teplotního pole, které vychází ze znalostí vlastností používaných zařízení,
$\delta t_O$	korekce na odvod tepla kalibrovaného měřidla,
$\delta t_S$	korekce na teplotu studeného konce TST (měřidlo, etalon),
$\delta t_N$	korekce na nehomogenitu kalibrovaného snímače dle odstavce 9.5 postupu,
$\delta k$	korekce na vliv kompenzačního vedení

Z tabulky č. 6 je patrné, že dominantní složkou nejistoty je odhad homogenity kalibrovaného TST. Tato složka tvoří cca 79 % celkové standardní nejistoty. Podle příkladu S9 v dokumentu [L13] bude rozdělení pravděpodobnosti výsledné nejistoty odpovídat dominantní složce. Bude tedy rovnoměrné a koeficient rozšíření proto není 2, ale  $k = 1,65$ . Přesto je rozšířená nejistota při odhadu homogenity dle kapitoly 9.5 významně větší, než tomu bylo v předchozím příkladu ( $71 \mu\text{V}$  oproti  $56 \mu\text{V}$  při stejné teplotě). Odkaz na kalibračním listu bude znít:

*Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k = 1,65$ , který byl odvozen za předpokladu rovnoměrného pravděpodobnostního rozdělení pro pravděpodobnost pokrytí 95%.*

## 15 Validace

Kalibrační metody podléhají validaci v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17025 čl. 7.2. Validační zpráva je uložena v archivu sekretariátu ČMS.

### Upozornění

Kalibrační postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky. V případě, že střediskem provádějícím kalibraci je akreditovaná kalibrační laboratoř, měl by být kalibrační postup navíc upraven podle příslušných předpisů (zejména MPA a EA).

Tabulka č. 6: Rozpis nejistot dle příkladu 14.2

Zdroj $u$	$z_{max}$	Rozložení	$\kappa$	$u_x$	$k$		$u_y$ ( $\mu\text{V}$ )
$\delta V_{EO}$	0,6 °C	normální	2,000	0,300 °C	13,000	$\mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	3,900
$\delta V_{SE}$	0,3 °C	bimodální t.	$\sqrt{2}$	0,217 °C	13,000	$\mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	2,756
$\delta V_{VE}$	3 $\mu\text{V}$	rovnoměrné	$\sqrt{3}$	1,732 $\mu\text{V}$	1,000	$\mu\text{V} \cdot \mu\text{V}^{-1}$	1,732
$\delta_{ISTAB}$	0,3 °C	rovnoměrné	$\sqrt{3}$	0,173 °C	38,500	$\mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	6,661
$\delta_{IH}$	1,0 °C	rovnoměrné	$\sqrt{3}$	0,577 °C	38,500	$\mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	22,215
$\delta_{IO}$	0,5 °C	rovnoměrné	$\sqrt{3}$	0,289 °C	38,500	$\mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	11,114
$\delta V_{EO},$ $\delta V_{ME}$	1,04 $\mu\text{V}$	normální	1,000	1,040 $\mu\text{V}$	1,000	$\mu\text{V} \cdot \mu\text{V}^{-1}$	1,040
$\delta V_{EO},$ $\delta V_{MX}$	1,04 $\mu\text{V}$	normální	1,000	1,040 $\mu\text{V}$	1,000	$\mu\text{V} \cdot \mu\text{V}^{-1}$	1,040
$\delta V_{PE}$	1 $\mu\text{V}$	rovnoměrné	$\sqrt{3}$	0,577 $\mu\text{V}$	1,000	$\mu\text{V} \cdot \mu\text{V}^{-1}$	0,577
$\delta V_{PX}$	1 $\mu\text{V}$	rovnoměrné	$\sqrt{3}$	0,577 $\mu\text{V}$	1,000	$\mu\text{V} \cdot \mu\text{V}^{-1}$	0,577
$\delta_{ISE}$	0,1 °C	rovnoměrné	$\sqrt{3}$	0,058 °C	5,300	$\mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	0,307
$\delta_{ISX}$	0,1 °C	rovnoměrné	$\sqrt{3}$	0,058 °C	25,640	$\mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	1,487
$\delta_{IN}$	1,5 °C	rovnoměrné	$\sqrt{3}$	0,866 °C	38,500	$\mu\text{V} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$	33,842
$\delta_{IKE}$	5 $\mu\text{V}$	rovnoměrné	$\sqrt{3}$	2,887 $\mu\text{V}$	1,000	$\mu\text{V} \cdot \mu\text{V}^{-1}$	2,887
$\delta_{IKX}$	5 $\mu\text{V}$	rovnoměrné	$\sqrt{3}$	2,887 $\mu\text{V}$	1,000	$\mu\text{V} \cdot \mu\text{V}^{-1}$	2,887
$u_A$	1,26 $\mu\text{V}$	normální	1	1,260 $\mu\text{V}$	1,000	$\mu\text{V} \cdot \mu\text{V}^{-1}$	1,260
$u$	43,079 $\mu\text{V}$						
$k$	1,65						
$U$	71,080 $\mu\text{V}$						

## 16 Přílohy

### Příloha č. 1

#### Doporučené prostředky pro kalibraci termoelektrických článků:

Přípravek na realizaci bodu tání ledu (0 °C) má umožnit současné zkoušení několika TST a má zajistit jejich ponor do hloubky nejméně 150 mm (Dewarova nádoba s ledovou tříští, bloková pístka určená k realizaci studeného konce apod.)..

Vodní lázeň pro měření v rozsahu teplot 20 °C až 95 °C, s pracovním prostorem o průměru minimálně 80 mm a s výškou minimálně 200 mm; očekávaná nehomogenita teplotního pole při všech pracovních teplotách do  $\pm 0,01$  °C, stabilita teploty v pracovním prostoru do  $\pm 0,01$  °C.

Olejová lázeň pro měření v rozsahu teplot 80 °C až 300 °C s pracovním prostorem o průměru minimálně 80 mm a s výškou minimálně 200 mm; očekávaná nehomogenita teplotního pole při všech pracovních teplotách do  $\pm 0,03$  °C, stabilita teploty v pracovním prostoru do  $\pm 0,03$  °C.



Solná lázeň pro měření v rozsahu teplot 200 °C až 550 °C s pracovním prostorem o průřezu minimálně 40 cm<sup>2</sup> a s výškou minimálně 250 mm; očekávaná nehomogenita teplotního pole při všech pracovních teplotách do ± 0,05 °C, stabilita teploty v pracovním prostoru do ± 0,05 °C. Solná lázeň musí mít jímky pro vkládání snímačů. Vůle snímačů v jímkách musí být malá, ideálně s vůlí na průměru asi 1 mm.

Fluidní lázeň (lázeň se suchými částicemi) v rozsahu teplot 50 °C až 850 °C. Doporučuje se do lázně umístit kovový blok, který vyrovná teplotní pole a kolísání teploty. Shodnost teploty v pracovním prostoru lázně (resp. v otvorech bloku) musí být lepší, jak ± 0,1 °C do 200 °C; ± 0,2 °C do 500 °C a ± 0,3 °C při teplotě do 850 °C. Tato lázeň není vhodná pro krátké snímače.

Kapalinový kryostat s potřebným rozsahem teplot, např. s rozsahem teplot -200 °C až 20 °C má mít pracovní prostor vysoký 250 mm, teplotní gradient má být menší než 0,05 K/cm.

Horizontální trubková elektrická pec se zařízením pro plynulou regulaci teploty, umožňující kalibraci termoelektrických článků s rozsahem teplot 300 °C až 1200 °C resp. až do 1600 °C.

Vertikální kalibrační pícka, ruční digitální multimetr.

Termostat srovnávacích konců termoelektrického článku s měřením jejich teploty.

Zařízení na měření termoelektrického napětí s přepínačem měřicích míst.

Zařízení na měření odporu platinového odporového snímače teploty.

Přístroj na měření izolačního odporu stejnosměrným napětím 10 V max. 100 V s minimálním rozsahem 100 MΩ (pro zkoušky při teplotách nad 200 °C s minimálním rozsahem 20 MΩ).

Výrobník ledu, teploměr/vlhkoměr pro měření teploty okolí.

Souprava ručního nářadí, lupa, posuvné měřítko, metr, stojánky atd.

Vhodný etalonový teploměr:

- etalonové platinové odporové teploměry, měřicí rozsah -196 °C až +156 °C nebo -70 °C až 660 °C,
- etalonové termoelektrické články typ S, měřicí rozsah 0 °C až 1200 °C,
- etalonové termoelektrické články typ B, měřicí rozsah 660 °C až 1772 °C,
- etalonový termoelektrický článek z obecných kovů, měřicí rozsah -196 °C až 1000 °C,

## Příloha č. 2

## Třídy přesnosti termoelektrických článků

## Toleranční třídy pro termoelektrické články (referenční spoj na 0 °C)

Typy	Toleranční třída 1	Toleranční třída 2	Toleranční třída 3
Typ T teplotní rozsah hodnota tolerance teplotní rozsah hodnota tolerance	-40 °C až +125 °C ±0,5 °C 125 °C až 350 °C ±0,004 ·  t	-40 °C až +133 °C ±1 °C 133 °C až 350 °C ±0,0075 ·  t	-67 °C až +40 °C ±1 °C -200 °C až -67 °C ±0,015 ·  t
Typ E teplotní rozsah hodnota tolerance teplotní rozsah hodnota tolerance	-40 °C až +375 °C ±1,5 °C 375 °C až 800 °C ±0,004 ·  t	-40 °C až +333 °C ±2,5 °C 333 °C až 900 °C ±0,0075 ·  t	-167 °C až +40 °C ±2,5 °C -200 °C až -167 °C ±0,015 ·  t
Typ J teplotní rozsah hodnota tolerance teplotní rozsah hodnota tolerance	-40 °C až +375 °C ±1,5 °C 375 °C až 750 °C ±0,004 ·  t	-40 °C až +333 °C ±2,5 °C 333 °C až 750 °C ±0,0075 ·  t	-
Typ K, typ N teplotní rozsah hodnota tolerance teplotní rozsah hodnota tolerance	-40 °C až +375 °C ±1,5 °C 375 °C až 1000 °C ±0,004 ·  t	40 °C až 333 °C ±2,5 °C 333 °C až 1200 °C ±0,0075 ·  t	-167 °C až +40 °C ±2,5 °C -200 °C až -167 °C ±0,015 ·  t
Typ R, typ S teplotní rozsah hodnota tolerance teplotní rozsah hodnota tolerance	(0 až 1100) °C ±1 °C 1100 °C až 1600 °C +[1 + 0,003(t -	(0 až +600) °C ±1,5 °C 600 °C až 1600 °C ±0,0025 ·  t	- - - -
Typ B teplotní rozsah hodnota tolerance teplotní rozsah hodnota tolerance	- . - .	- - 600 °C až 1700 °C ±0,0025 ·  t	600 °C až 800 °C ±4 °C 800 °C až 1700 °C ±0,005 ·  t

Materiály pro termoelektrické články se normálně dodávají tak, aby splňovaly výrobní tolerance, specifikované v tabulce pro teploty nad -40 °C. Tyto materiály však nemohou vyhovět výrobním tolerancím pro nízké teploty, uvedené ve třídě 3 pro typy T, E, K a N. Jestliže mají termoelektrické články vyhovět mezím třídy 3 stejně tak, jako mezím třídy 1 a 2, musí to kupující požadovat, protože je obvykle nutný výběr materiálů.