

# Kalibrační postup pro digitální teploměry

## 1 Kalibrační postup pro digiPředmět kalibrace

Kalibrační postup se vztahuje na kalibraci digitálních teploměrů, rozsah kalibrace (-40 až +200)°C nebo digitálních teploměrů - měřících řetězců teploty - kalibrovaných v místě měření, rozsah kalibrace (-40 až +180)°C.

## 2 Související předpisy

TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)
ČSN 25 8005	Názvosloví z oboru měření teplot
EA 4/02	Vyjadřování nejistot měření při kalibracích
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří
TPM 0051-93	Stanovenie neistot pri meraniach

## 3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Pracovník provádějící kalibraci musí být zaškolen a musí mít osvědčení pro provádění kalibrace digitálních teploměrů vydané uznávaným orgánem.

## 4 Názvosloví a definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v příslušných dokumentech:

- TNI 01 0115,
- ČSN 25 8005,
- EA 4/02

## 5 Měřidla, přístroje a pomůcky potřebné pro kalibraci

### 5.1 ETALONY

Etalonový teploměr:

- digitální teploměr
- odporový snímač teploty, Pt100

Přístroje musí být navázány na státní etalony a musejí mít platnou kalibraci, nejistota lepší než 0,07 °C.

### 5.2 POMOCNÁ MĚŘIDLA

Měření teploty okolí:

- teploměr - přístroj musí mít platný kalibrační list, nejistota lepší než 0,5 °C

Měření času:

- stopky - Přístroj musí mít platnou kalibraci, nejistota lepší než 1 s.

### 5.3 PŘÍSTROJE A POMŮCKY

Zdroj zkušební teploty:

- kapalínová lázeň, kapalina technický líh pro rozsah teplot (-40 až +40) °C
- kapalínová lázeň, kapalina silikonový olej pro rozsah teplot (30 až 200) °C

- teplotní komora pro rozsah teplot (-40 až +180) °C

Další přístroje a pomůcky:

- homogenní prostředí, např. nádobka s kapalinou
- stojánky a držáky
- čisticí prostředky

## 6 Podmínky kalibrace

Teplota okolí při kalibraci musí být  $(22 \pm 3)$  °C.

## 7 Vlastní postup

### 7.1 VNĚJŠÍ PROHLÍDKA

Při přejímce teploměru ke kalibraci se především prověřuje:

- funkčnost teploměru - zda je naměřená teplota v blízkém okolí měřené teploty, funkčnost ovládacích prvků,
- stav baterie - při jakémkoliv podezření na vybitou baterii je nutné ji vyměnit,
- funkčnost napájecího zdroje (je-li nutný k provozu teploměru),
- stav displeje - zda lze z displeje bezpečně číst všechny potřebné údaje,
- zda pouzdro teplotního čidla a jeho propojovací vedení (teploměr s čidlem mimo pouzdro teploměru), pouzdro teploměru, displej nejsou zjevně mechanicky poškozeny.

U měřicích řetězců teploty se dále zjišťuje:

- vlastnosti pracovního prostředí zkoušeného teploměru mající vliv na kalibraci,
- možnost použití prostředků omezujících nežádoucí vliv pracovního prostředí na kalibraci,
- stav měřicího řetězce a způsob ochrany proti nežádoucím stavům ovlivňujícím měření; měřicí řetězec musí být zajištěn proti nežádoucí manipulaci,
- způsob vyhodnocení naměřených hodnot a jejich zobrazování; ke zkoušenému teplotnímu snímači musí být jednoznačně přiřazena jím naměřená hodnota, zařízení musí umožnit zobrazení okamžité naměřené hodnoty nebo jednoznačně přiřadit naměřené hodnotě čas měření, způsob vyhodnocování naměřené hodnoty musí být zajištěn proti nežádoucí manipulaci.

### 7.2 STANOVENÍ CHYBY

Chyba hodnoty naměřené zkoušeným teploměrem se zjišťuje porovnáním této hodnoty s hodnotou naměřenou etalonem a to při téže teplotě.

#### 7.2.1 Kalibrace v kapalinové lázni

Teploměry se do lázně umístí tak, aby teplotní čidlo zkoušeného teploměru a teplotní čidlo etalonu byly co nejbližší k sobě a v oblasti nejlepší stability. Při vyhodnocení nejistoty měření je nutno vyhodnotit hloubku

ponoru etalonu i rozložení teplotního pole a stability lázně. Není-li z technické dokumentace známa minimální hloubka ponoru teplotního snímače zkoušeného teploměru, volí se hloubka ponoru tak, aby výsledek měření nebyl podstatně ovlivněn odvodem tepla stonkem snímače. Pokud by mohlo dojít k poškození teplotního čidla při ponoření teplotního snímače do kapaliny v lázni, vloží se snímač do ochranného obalu. Při vyhodnocení nejistoty měření je nutno tuto úpravu snímače zohlednit.

V případě, že teplotní snímač není napevno spojena s vyhodnocovací jednotkou (výměnné teplotní snímače), provádí se kalibrace pro celou sestavu "teplotní snímač + vyhodnocovací jednotka". V případě, že má teploměr více vstupních kanálů a zákazník nepožaduje jinak, provádí se kalibrace pro všechny kombinace vstupních kanálů a teplotních snímačů zvlášť.

Pokud zákazník nepožaduje jinak, provádí se měření nejméně ve třech teplotních bodech - na začátku uprostřed a na konci měřicího rozpětí. Obsahuje-li rozpětí 0 °C, provádí se měření také při této teplotě. Pořadí teplotních bodů se volí postupně od nejnižší k nejvyšší teplotě.

Odečet hodnot naměřených zkoušeným teploměrem i etalonem se provádí při konstantní nebo rovnoměrně se zvyšující teplotě lázně. Rychlost změny teploty může být nejvýše 0,2 °C/min.

Při záznamu hodnot v jednom teplotním bodě se provádí nejméně 3 série odečtů z jednotlivých teploměrů podle následujícího schématu:

$$t_e, t_{z1}, t_{z2}, \dots, t_{zm-1}, t_{zm}, t_{zm}, t_{zm-1}, \dots, t_{z2}, t_{z1}, t_e \quad (1)$$

$t_e$	hodnota naměřená etalonem
$t_z$	hodnota naměřená zkoušeným teploměrem
$m$	počet najednou zkoušených teploměrů

## 7.2.2 Kalibrace v teplotní komoře

Teploměry se do komory umístí tak, aby teplotní čidlo zkoušeného teploměru a teplotní čidlo etalonu byly co nejblíže k sobě a v oblasti nejlepší stability.

V případě, že teplotní snímač není napevno spojena s vyhodnocovací jednotkou (výměnné teplotní snímače), provádí se kalibrace pro celou sestavu "teplotní snímač + vyhodnocovací jednotka". V případě, že má teploměr více vstupních kanálů a zákazník nepožaduje jinak, provádí se kalibrace pro všechny kombinace vstupních kanálů a teplotních snímačů zvlášť.

Pokud zákazník nepožaduje jinak, provádí se měření nejméně ve třech teplotních bodech - na začátku uprostřed a na konci měřicího rozpětí. Obsahuje-li rozpětí 0 °C, provádí se měření také při této teplotě. Pořadí teplotních bodů se volí postupně od nejnižší k nejvyšší teplotě.

Odečet hodnot naměřených zkoušeným teploměrem i etalonem se provádí při konstantní teplotě v komoře.

Při záznamu hodnot v každém teplotním bodě se provádí nejméně 3 série odečtů z jednotlivých teploměrů podle stejného schématu jako v teplotní lázni.

## 7.2.3 Kalibrace měřicího řetězce teploty

Porovnání hodnoty naměřené zkoušeným teploměrem s hodnotou naměřenou etalonem se provádí v pracovním prostředí zkoušeného teploměru.

Teplotní snímač etalonu a zkoušeného teploměru se vloží společně do homogenního prostředí - např. nádobka s vhodnou kapalinou, přičemž nádobka musí mít před kalibrací teplotu pracovního prostředí. Nádobka musí být umístěna volně v prostoru, kde nedochází k prudkým změnám teploty.

Nelze-li použít nádobky, pak se teplotní snímač etalonu a zkoušeného teploměru připevní k sobě, a umístí se volně v takovém místě pracovního prostoru, kde nedochází k prudkým změnám teploty. Etalon ani zkoušený snímač se nesmí dotýkat stěn ani jiných konstrukcí nebo vybavení pracovního prostoru.

Pro správné vyhodnocení nejistoty měření je nutné zjistit homogenitu a stabilitu teplotního pole pracovního prostředí, což můžeme zjistit pomocí dvou zkušebních známých snímačů teploty, kdy zjišťujeme rozdíl teplot jimi měřených. Tyto snímače umístíme do prostoru, kde je umístěn zkoušený teploměr. Vzdálenost snímačů se volí podle umístění zkoušeného teploměru v pracovním prostředí, způsobu uspořádání a rozměrů pracovního prostředí. Tedy tak, aby byl podchycen možný rozdíl a kolísání teploty v místě měření zkoušeným teploměrem a etalonem. Při použití nádobky vložíme zkušební snímače do nádobky co nejdále od sebe a nádobku umístíme do prostoru, kde je umístěn zkoušený teploměr. Tato měření provádíme při takovém provozním režimu pracovního prostředí, který bude obdobný, jako při vlastní kalibraci.

Odečet hodnot naměřených zkoušeným teploměrem a etalonem se provádí po řádném ustálení a vyrovnaní teploty zkoušeného snímače a etalonu s teplotou pracovního prostředí.

V zařízeních, která to umožňují a zákazník nepožaduje jinak, se provádí měření nejméně ve třech teplotních bodech - na začátku uprostřed a na konci měřicího rozpětí zkoušeného teploměru. Jinak se provádí měření při jedné teplotě - teplotě pracovního prostředí.

Počet odečtů a délka intervalu mezi jednotlivými odečty se volí s ohledem na průběh změny teploty pracovního prostředí, avšak počet odečtů je vždy nejméně 11.

## 8 Vyhodnocení

Záznam naměřených hodnot a ostatních skutečností důležitých pro kalibraci a vyhodnocení měření je prováděno SW MS Excel.

### 8.1 VNĚJŠÍ PROHLÍDKA

Pokud nejsou splněny všechny požadavky uvedené v kapitole 7.1, v další kalibraci se nepokračuje. Důvod přerušení kalibrace se zaznamená.

### 8.2 STANOVENÍ CHYBY

#### 8.2.1 Hodnota naměřená etalonem

Dle kapitoly 7.2 získáme v jednom teplotním bodě pro etalon  $n$  odečtů, z kterých zjistíme skutečnou teplotu - konvenčně pravou hodnotu:

$$t_e = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ei}}{n} \quad (2)$$

$t_e$	aritmetický průměr hodnot naměřených etalonem v jednom teplotním bodě-skutečná teplota - konvenčně pravá hodnota
$t_{ei}$	$i$ -tý odečet hodnoty naměřené etalonem v jednom teplotním bodě
$n$	počet odečtů v jednom teplotním bodě

### 8.2.2 Hodnota naměřená zkoušeným teploměrem

Dle kapitoly 7.2 získáme v jednom teplotním bodě pro každý zkoušený teploměr  $n$  odečtů, z kterých vypočteme aritmetický průměr:

$$t_z = \frac{\sum_{i=1}^n t_{zi}}{n} \quad (3)$$

$t_z$	aritmetický průměr hodnot naměřených zkoušeným teploměrem v jednom teplotním bodě
$t_{zi}$	$i$ -tý odečet hodnoty naměřené zkoušeným teploměrem v jednom teplotním bodě
$n$	počet odečtů v jednom teplotním bodě

### 8.2.3 Nejistota měření

Rozšířená nejistota měření je dána vztahem:

$$U = k \times u \quad (4)$$

$U$	rozšířená nejistota měření
$k$	koeficient rozšíření
$u$	standardní nejistota

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (5)$$

$u_A$	standardní nejistota typu A
$u_B$	standardní nejistota typu B

$$u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \times \sum_{i=1}^n (t_{zi} - t_z)^2} \quad (6)$$

$t_z$	aritmetický průměr hodnot naměřených zkoušeným teploměrem v jednom teplotním bodě
$t_{zi}$	$i$ -tý odečet hodnoty naměřené zkoušeným teploměrem v jednom teplotním bodě
$n$	počet odečtů v jednom teplotním bodě

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m (u_{Bj} \times c_j)^2} \quad (7)$$

$u_{Bj}$	nejistota $j$ -tého zdroje nejistoty typu B
$m$	počet zdrojů nejistoty typu B
$c_j$	citlivostní koeficient $j$ -tého zdroje nejistoty typu B

$$u_{Bj} = \frac{\Delta z_{\max}}{\chi} \quad (8)$$

$\Delta z_{\max}$	odhad maxima $j$ -tého zdroje nejistoty
$\chi$	typ rozložení pravděpodobnosti $j$ -tého zdroje nejistoty

Uvažované zdroje nejistot typu B:

j	zdroj nejistoty	odhad mezí; $\Delta z_{\max}$	rozdělení; $\chi$	koef.citl.; c
---	-----------------	-------------------------------	-------------------	---------------

1	<u>etalon</u> : rozšířená nejistota $U$ etalonu zjištěná z kalibračního listu; [ °C ]	$\Delta z_{\max} = U$	normální $\chi = 2$	1
2	<u>zkoušený teploměr</u> : rozlišení; [ °C ]	$\Delta z_{\max} = \frac{d}{2}$ $d$ hodnota posledního platného digitu	rovnoměrné $\chi = \sqrt{3}$	1
3	<u>kapalinová lázeň</u> : rozložení teplotního pole $t_{tp}$ , (stabilita, homogenita) určí se proměřením případně z technické dokumentace; [ °C ]	$\Delta z_{\max} = t_{tp}$	rovnoměrné $\chi = \sqrt{3}$	1
4	<u>teplotní komora</u> rozložení teplotního pole $t_{tp}$ , (stabilita, homogenita) určí se proměřením případně z technické dokumentace; [ °C ]	$\Delta z_{\max} = t_{tp}$	rovnoměrné $\chi = \sqrt{3}$	1
5	<u>prostorové teplotní pole</u> : rozložení teplotního pole $t_{pp}$ , v místě měření (stabilita, homogenita) určí se experimentálně, [ °C ]	$\Delta z_{\max} = t_{pp}$	rovnoměrné $\chi = \sqrt{3}$	1

## 8.2.4 Chyba zkoušeného teploměru

Kalibrace v kapalinové lázni:

$$\Delta t_z = t_z - t_e + \Delta t_r + \Delta t_l \quad (9a)$$

Měřicí řetězec teploty:

$$\Delta t_z = t_z - t_e + \Delta t_r + \Delta t_p \quad (9b)$$

$\Delta t_z$	chyba zkoušeného teploměru
$t_z$	aritmetický průměr hodnot naměřených zkoušeným teploměrem, viz rovnice (3)
$t_e$	konvenčně pravá hodnota, viz rovnice (2)
$\Delta t_r$	korekce na rozlišení zkoušeného teploměru
$\Delta t_l$	korekce na rozložení teplotního pole kapalinové lázně
$\Delta t_p$	korekce na vliv prostorového teplotního pole

## 8.2.5 Vyhodnocení shody se specifikací



Ve všech teplotních bodech se chyba zkoušeného teploměru porovná s největší dovolenou chybou:

a) v případě, že ve všech teplotních bodech platí:

$$|\Delta t_z| + U < \Delta_{\max} \quad (10)$$

$\Delta t_z$  chyba zkoušeného teploměru

$U$  rozšířená nejistota měření

$\Delta_{\max}$  největší dovolená chyba

zkoušený teploměr vyhověl požadované specifikaci.

b) v případě, že alespoň v jednom teplotním bodě platí:

$$|\Delta t_z| - U > \Delta_{\max} \quad (11)$$

$\Delta t_z$  chyba zkoušeného teploměru

$U$  rozšířená nejistota měření

$\Delta_{\max}$  největší dovolená chyba

zkoušený teploměr nevyhověl požadované specifikaci.

c) v ostatních případech nelze rozhodnout, zda zkoušený teploměr vyhověl či nevyhověl požadované specifikaci.

## 9 Kalibrační list

Výsledek kalibrace a další údaje se v potřebném rozsahu zaznamenají do kalibračního listu. Kalibrační list je vytvořen v souladu s EN ISO/IEC 17025 a jeho vzor je uveden v příloze 1.

## 10 Příklad výpočtu nejistoty

Příklad výpočtu nejistoty je proveden pro případ kalibrace v kapalinové lázni pro teplotu 50 °C a v souladu s dokumentem EA 4/02.

### 10.1 VSTUPNÍ ÚDAJE

Zkoušený teploměr:

vpichový elektronický teploměr

měřicí rozsah (-50 až +150) °C

rozlišení 0,1 °C

největší dovolená chyba 1 °C

Etalon:

digitální teploměr + odporový snímač teploty Pt100

rozšířená nejistota měření při 50 °C je dle kalibračního listu 0,037 °C pro k=2

Kapalinová lázeň:

lázeň plněná silikonovým olejem

nejhorší naměřená hodnota homogenity a stability je ±0,05 °C

Podmínky při kalibraci:

teplota okolí během celé doby měření (23±1) °C

## 10.2 NAMĚŘENÉ HODNOTY

č. odečtu	$t_e$ ; etalon [ °C ]	$t_z$ ; zkoušený [ °C ]
1	50,25	50,4
2	50,25	50,4
3	50,26	50,4
4	50,25	50,4

## 10.3 VYHODNOCENÍ

Chyba zkoušeného teploměru:

$$\Delta t_z = t_z - t_e + \Delta t_r + \Delta t_l \quad (12)$$

- $\Delta t_z$  chyba zkoušeného teploměru  
 $t_z$  aritmetický průměr hodnot naměřených zkoušeným teploměrem  
 $t_e$  konvenčně pravá hodnota, údaj etalonu  
 $\Delta t_r$  korekce na rozlišení zkoušeného teploměru  
 $\Delta t_l$  korekce na rozložení teplotního pole kapalinové lázně

**$t_z$ ; aritmetický průměr hodnot naměřených zkoušeným teploměrem**

$$t_z = 50,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

výběrová směrodatná odchylka - standardní nejistota typu A:

$$u_A = 0,00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**$t_e$ ; konvenčně pravá hodnota - aritmetický průměr hodnot naměřených etalonem**

$$t_e = 50,25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

standardní nejistota:

$$u_{te} = \frac{0,037}{2} = 0,019 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**$\Delta t_r$ ; korekce na rozlišení zkoušeného teploměru**

$$\Delta t_r = 0,00 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

standardní nejistota:

$$u_{\Delta tr} = \frac{0,1}{2 \times \sqrt{3}} = 0,029 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**$\Delta t_l$ ; korekce na rozložení teplotního pole kapalinové lázně**

$$\Delta t_l = 0,00 \text{ } ^\circ\text{C} \pm 0,05 \text{ } ^\circ\text{C}$$

standardní nejistota:

$$u_{\Delta tl} = \frac{0,05}{\sqrt{3}} = 0,029 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**Přehled nejistot**

veličina	odhad	standardní nejistota	typ rozdělení	koeficient citlivosti	příspěvek k nejistotě
----------	-------	-------------------------	---------------	--------------------------	--------------------------

$t_e$	50,25 °C	0,019 °C	normální	1	0,019 °C
$t_z$	50,4 °C	0,00 °C	normální	1	0,00 °C
$\Delta t_r$	0,0 °C	0,029 °C	rovnoměrné	1	0,029 °C
$\Delta t_l$	0,0 °C	0,012 °C	rovnoměrné	1	0,029 °C
$\Delta t_z$	0,15 °C				0,045 °C

#### Rozšířená nejistota měření

$$U = k \times u = 2 \times \sqrt{0,019^2 + 0,00^2 + 0,029^2 + 0,029^2} = 2 \times 0,045 \approx 0,09 \text{ °C}$$

#### Uvedený výsledek

Chyba zkoušeného teploměru při jmenovité teplotě 50 °C je  $+0,15\text{ °C} \pm 0,09\text{ °C}$ .

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k=2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95 %. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.

## **11 Validace a péče o kalibrační postup**

Tento kalibrační postup pro digitální teploměry kalibrované v teplotní lázni byl validován při mezilaboratorním porovnávání zkoušek pořádaném ČMI DMPZ-044-14 a metoda kalibrace měřicích řetězců teploty byla validována pracovníky laboratoře porovnáním výsledků měření s výsledky v teplotní lázni a systematickým prověřením všech faktorů ovlivňujících nejistotu měření.

Nejméně jednou za rok se kontroluje aktuálnost kalibračního postupu.

## **12 Přílohy**

Příloha č. 1      Vzor kalibračního listu



Všeobecná fakultní nemocnice v Praze  
**Metrologické středisko**  
Na Bojišti 1, 128 00 Praha 2



List 1 / 2

**KALIBRAČNÍ LIST**  
**číslo : T-nnn-D/2020**

**Datum vystavení :** ...dat.vystavení KL

**Zadavatel :** Všeobecná fakultní nemocnice v Praze  
...klinika  
...adresa

**Datum přijetí měřidla :** ...dat.přijetí

**Kalibrované měřidlo :** digitální elektronický teploměr

Výrobce : ...výrobce

Typ : ...typ

Identifikační označení / výr. č. : ...ozn. měřidla TD- / ...v.č.

Popis : ...popis

Kanál : ...označení kanálu

Nastavený rozsah : ...označení rozsahu

Rozlišení : ...rozlišení °C

Měřicí rozsah : ...měřicí rozsah ( až ) °C

Identifikační označení snímače : ...ozn. snímače

**Podmínky kalibrace :** Měřidlo bylo kalibrováno porovnávací metodou.

Umístění etalonu : Naměřené hodnoty jsou vypočteny jako průměrné hodnoty z více odečtů.

Místo měření : Společně se zkoušeným přístrojem v kapalinové lázni.

Všeobecná fakultní nemocnice v Praze

oddělení metrologie

Na Bojišti 1, Praha 2

**Kalibrační postup :** KP-03-02

**Použitý etalon :** ...

Návaznost : ...

**Teplota okolního prostředí :** (23±3) °C



Všeobecná fakultní nemocnice v Praze

**Metrologické středisko**

Na Bojišti 1, 128 00 Praha 2



List 2 / 2

**Pokračování kalibračního listu č. T-nnn-D/2020**

**Tabulka naměřených a vypočtených hodnot :**

Použitá označení :

$t_e$	konvenčně pravá hodnota teploty, údaj etalonu
$t_z$	hodnota naměřená zkoušeným teploměrem
$\Delta t_z$	chyba zkoušeného teploměru
$U$	rozšířená nejistota měření

**kanál ...označení kanálu / rozsah ...označení rozsahu**

$t_e$	$t_z$	$\Delta t_z$	$U$
°C	°C	°C	°C
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření  $k=2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95 %. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.

**Poznámka :** Naměřené hodnoty platí pro kanál ... .

**Kalibroval :** Ing. O. Kraus  
technik metrolog

**Dne :** ...dat.kal.

**Schválil :** Ing. Jiří Pařík  
vedoucí MS

- - - - - konec kalibračního listu - - - - -

---

Výsledky kalibrace byly získány za podmínek a s použitím postupu uvedených v tomto kalibračním listě a vztahují se pouze k době a místu provedení kalibrace. Tento dokument nesmí být bez písemného souhlasu provádějící laboratoře rozmnožován jinak než v celkovém počtu listů.