



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 4.4.1/01/19

**KALIBRACE MĚŘIDEL NEELEKTRICKÝCH VELIČIN
ELEKTRICKOU SIMULACÍ**

Praha
říjen 2019

Vzorový kalibrační postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2019.

Číslo úkolu: VII/1/19.

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

Řešitel: Česká metrologická společnost z.s.

© 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 kalibraci analogových a digitálních měřidel procesních elektrických signálů, jejichž hodnota koresponduje s příslušnou hodnotou jiné neelektrické veličiny. Jedná se o regulátory, zapisovače, ukazatele, dataloggery, měřicí karty a ústředny (nejčastějším případem měřidel teploty a tlaku), které měří:

- stejnosměrné napětí odpovídající termoelektrickému napětí termočlánků typů dle ČSN EN 60584 – 1 ed2.,
- elektrický odpor odpovídající elektrickému odporu platinových odporových snímačů teploty dle ČSN EN 60751, případně niklových odporových snímačů teploty,
- stejnosměrný proud v proudové smyčce v rozsahu (4 – 20) mA, příp. (0 – 20) mA,
- stejnosměrné napětí v rozsahu (0 – 10) V,
- střídavé napětí s obdélníkovým průběhem s frekvencí v rozsahu (0 - 1000) Hz,
- elektrický odpor v rozsahu (0 – 10000) Ω .

Kalibrační postup platí také pro kalibrace těchto měřidel s měřicími trasami mimo stálé prostory laboratoře.

2 Související normy a metrologické předpisy

TNI 01 0115	Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)	[L1]
ČSN 33 2000-4-41	Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem	[L2]
Vyhláška č.50/1978 Sb.	Vyhláška č. 50/1978 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu o odborné způsobilosti v elektrotechnice	[L3]
ČSN EN ISO 9001	Systémy managementu kvality - Požadavky	[L4]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení	[L5]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří	[L6]
EA-4/02 M:2013	Vyjádření nejistoty měření při kalibraci	[L7]
ČSN EN 61187	Elektrická a elektronická měřicí zařízení - Průvodní dokumentace	[L8]
ČSN EN 60051-1 ed. 2	Elektrické měřicí přístroje přímopůsobící ukazovací analogové a jejich příslušenství. Část 1: Definice a všeobecné požadavky společné pro všechny části	[L9]
ČSN IEC 51-2	Elektrické měřicí přístroje přímopůsobící ukazovací analogové a jejich příslušenství. Část 2: Speciální požadavky pro ampérmetry a voltmetry	[L10]
ČSN IEC 51-8	Elektrické měřicí přístroje přímopůsobící ukazovací analogové a jejich příslušenství. Část 8 : Speciální požadavky pro příslušenství	[L11]

ČSN IEC 51-9	Elektrické měřicí přístroje přímopůsobící ukazovací analogové a jejich příslušenství. Část 9 : Doporučené zkušební metody	[L12]
ČSN EN 61 143-1	Elektrické měřicí přístroje - Zapisovače X-t - Část 1: Definice a požadavky	[L13]
ČSN EN 61 143-2	Elektrické měřicí přístroje - Zapisovače X-t - Část 2: Doporučené doplňkové zkušební metody	[L14]
ČSN EN 60584-1 ed.2	Termoelektrické články – Část 1: Údaje napětí a tolerance	[L15]
ČSN EN 60751	Průmyslové platinové odporové teploměry a platinové teplotní senzory	[L16]

3 Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci

Kvalifikace pracovníků provádějících kalibraci měřidel procesních signálů je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s kalibračním postupem upraveným na konkrétní podmínky kalibrační laboratoře nebo obdobného pracoviště provádějícího kontroly měřidel a souvisejícími předpisy. Proces udržování a rozvoje kvalifikace má být soustavný a dokumentovaný, jak to předepisuje ČSN EN ISO/IEC 17025:2018.

Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem, například osvědčením o odborné způsobilosti, osobním certifikátem apod.

Protože se jedná o práci v oboru elektro, je pracovník povinen prokázat způsobilost dle vyhlášky č. 50/78 Sb., §6, v případě kalibrace prováděné mimo prostory laboratoře §8.

4 Názvosloví, definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2), zejména v TNI 01 0115 [L1] a v publikacích věnovaných metrologické terminologii.

Definice týkající se konstrukčních vlastností analogových měřících přístrojů, jejich charakteristických vlastností a charakteristických hodnot, chyb a změn údajů, přesnosti, třídy přesnosti a značek elektrických měřících přístrojů přímopůsobících analogových jsou uvedeny v ČSN IEC 60 051-1 Část 1 : Definice a všeobecné požadavky společné pro všechny části.

5 Měřidla a pomocná měřicí zařízení pro kalibraci

Pro kalibrace popsané v tomto postupu, je nutné mít k dispozici:

- **kalibrátor nebo procesní kalibrátor** s rozlišením nejméně 4 1/2 digitů s funkcemi generování stejnosměrného napětí a proudu, generování střídavého napětí obdélkového průběhu, generování termočlávkového napětí, simulací odporových snímačů teploty,
- **digitální multimetr** s rozlišením nejméně 6 1/2 digitů,

- odporová dekáda s přesností menší než jedna třetina přesnosti kalibrovaného měřidla,
- vhodné měřicí vodiče a vedení,
- termočládkové nebo kompenzační vedení odpovídající příslušnému typu termočládku,
- Dewarova nádoba s ledovou tříští (pro vytvoření 0 °C),
- teploměr a vlhkoměr pro monitorování prostředí v laboratoři nebo pracovišti zákazníka.

Všechny výše uvedené etalonové přístroje musí mít vhodnou metrologickou návaznost na etalony vyššího řádu.

6 Obecné podmínky kalibrace – referenční podmínky

6.1 Kalibrace přístroje se provádí za následujících referenčních podmínek (v laboratoři):

Teplota prostředí : (23 ±2) °C,

Vlhkost vzduchu : (50 ±20) % relat.

Referenční podmínky je nutné v průběhu kalibrace kontrolovat.

Okolní teplota a vlhkost je udržována pomocí klimatizace.

6.2 V případě kalibrace mimo stálé prostory laboratoře je obvykle nemožné dodržet referenční podmínky uvedené v čl. 6.1. Důležitá je zvláště teplota okolí, je proto důležité tuto skutečnost zohlednit při výpočtech nejistoty kalibrace i při vlastním měření. Při nedodržení referenčních podmínek etalonů (obvykle 23 ±5 °C) je nutné do jejich přesnosti zahrnout teplotní koeficienty uvedené v dokumentaci. Při kalibraci měřidel temočládkových napětí je nutné před kalibrací nechat všechny přístroje a propojovací vedení vytemperovat po tak dlouhou dobu, aby se měřená hodnota v průběhu s časem neměnila.

7 Rozsah kalibrace

V rámci metrologické konfirmace podle ČSN ISO 10012 je třeba postupovat následovně:

- provést částečnou kalibraci přístroje podle čl. 7.1 tohoto kalibračního postupu pro zjištění, zda je potřeba provést justování přístroje,
- provést justování přístroje podle dokumentace výrobce, pokud je potřeba,
- po justování provést kompletní kalibraci podle čl. 7.1,
- zaznamenávat výsledky kalibrace před i po justování přístroje, které se uvádí do kalibračních listů.

Tento kalibrační postup pojednává jen o kalibraci přístroje a nezabývá se jeho justováním.

7.1 Při kalibraci přístroje se provádějí následující zkoušky:

7.1.1 Předběžná kontrola (metodika čl. 8.2),

7.1.2 Příprava měřidla (metodika čl. 8.3),

7.1.3. Kontrola provozuschopnosti (metodika čl. 9.1),

7.1.3 Zkouška základní chyby, hysterezní chyby a zbytkové odchylky ukazovatele od nulové značky (metodika čl. 9.2) – pro analogové přístroje,

7.1.4 Kontrola přesnosti měřidla (metodika čl. 9.3) – pro digitální přístroje.

8 Kontrola dodávky a příprava ke kalibraci

8.1 Kontrola dodávky

Při přebírání přístroje ke kalibraci se posoudí, zda typ, výrobní číslo a příslušenství dodaného přístroje odpovídá údajům uvedeným na objednávce nebo dodacím listu. Současně se provede jeho předběžná kontrola, spočívající ve vnější prohlídce přístroje. Současně se provede přezkoumání smlouvy z pohledu požadavků zákazníka a možností laboratoře.

8.2 Předběžná kontrola

Zjišťuje se, zda:

- kryt přístroje a kryt stupnice nejsou poškozeny,
- přístroj je vybaven všemi součástkami a příslušenstvím potřebným ke zkoušení,
- všechny technické údaje o přístroji uvedené na stupnici, přepínači rozsahů, svorkách a krytu přístroje jsou zřetelné.

Měřidlo, které nevyhovělo při vnější prohlídce a konstrukčnímu provedení dle výrobce, se vyřadí z dalších zkoušek.

Před vlastní přípravou měřidla se kontroluje čistota měřidla a jeho funkčních částí. V případě závad se provede vyčištění nebo oprava, kterou provádí z důvodu nezávislosti jiný pracovník, než který provádí kalibraci.

8.3 Příprava měřidla

Před zahájením zkoušení se musí vykonat tyto úkony:

8.3.1. Kalibrovaný přístroj se umístí do prostředí s teplotou a vlhkostí vzduchu podle čl. 6 a ponechá se v něm po dobu nejméně 4 hodin. Pak se přemístí na zkušební pracoviště,

8.3.2. Kalibrovaný přístroj se připraví na zkoušení v souladu s jeho technickou dokumentací nebo údaji uvedenými na přístroji,

8.3.3. Jsou-li výrobcem specifikovány zkušební vodiče nebo vedení, musejí být tyto vodiče nebo vedení pro zkoušky použity. Jinak musí být rozměry a umístění vodičů používaných pro zkoušení voleny tak, aby neovlivňovaly výsledky zkoušek,

8.3.4. U přístrojů napájených ze sítě se po připojení napájení musí přístroj ustalovat při referenčních podmínkách po dobu náběhu, která je uvedena v technické dokumentaci. Není-li doba náběhu stanovena nebo se jedná o přístroje napájené z baterií, může se zkoušet ihned po zapnutí,

8.3.5. Je-li to potřebné, provede se podle pokynů uvedených v dokumentaci dodávané s přístrojem jeho nastavení,

8.3.6. Etalonové kalibrační přístroje musí být zapnuty před započítáním kalibrace pro dosažení přesnosti po takovou dobu, která je uvedena v jejich technické dokumentaci.

9 Postup kalibrace

9.1 Kontrola provozuschopnosti

Kalibrované měřidlo se připojí v souladu s technickou dokumentací. V případě měřidel odporových snímačů teploty je nutné dodržet počet zapojených vodičů (2-, 3-, 4-vodičové připojení). V případě měřidel termočlávkových napětí je nutné použít mezi etalonem a kalibrovaným měřidlem termočlávkové nebo kompenzační vedení stejného typu, jaký je nastaven na kalibrovaném měřidle a etalonovém přístroji. V případě použití napěťového výstupu zdroje napětí (kalibrátoru), který má měděné svorky, je nutné spoj termočlávkového nebo kompenzačního vedení temperovat v Dewarově nádobě s ledovou tříští (0 °C). Pak je eliminován vznik termočlávků měď – materiál termočlávků.

Při kontrole provozuschopnosti se zjišťuje se, zda:

- připojovací svorky jsou spolehlivě upevněné a nepoškozené,
- přepínače měřících rozsahů a měřících míst jsou funkční a mají správnou aretaci odpovídající zvolenému měřicímu rozsahu,
- zjistí se, zda všechny ovládací prvky mechanicky správně pracují,
- zjistí se, zda přístroj na všech jeho kalibrovaných funkcích elektricky správně pracuje,
- u přístrojů vybavených vnějšími kalibračními regulačními prvky se zjistí, zda je lze nastavit ve stanovených mezích,
- u zapisovačů kontrola posuvu papíru,
- u analogových přístrojů je pohyb ukazovatele výchylky plynulý při zvětšování a zmenšování procesního signálu po celé délce stupnice,
- u digitálních přístrojů se zobrazují všechny segmenty displeje včetně znaménka polarity při zvětšování a zmenšování procesního signálu v celém rozsahu kalibrovaného přístroje.

9.2 Zkouška základní a hysterezní chyby (analogové přístroje)

9.2.1 Před zkoušením se nastaví nulová hodnota ukazatele (u přístrojů, u kterých je to možné),

9.2.2 Základní chyby a hysterezní chyba přístrojů se určuje na každé očíslované značce stupnice,

9.2.3 Požádá-li zadavatel kalibrace přístroje s více rozsahy o kalibraci jen jednoho rozsahu, nebo několika rozsahů z plného počtu, pak SKS nalepí na přístroj štítek s výrazem "Omezený rozsah kalibrace". Rovněž v kalibračním listu uvede poznámku: "Na žádost zadavatele byla kalibrace provedena ve výše (níže) uvedeném rozsahu",

9.2.4 Přístroje s více stupnicemi se musí zkoušet na každé stupnici,

9.2.5 Při zkoušce základní a hysterezní chyby se postupuje následovně:

Dostatečně pomalým zvyšováním procesního signálu se přivádí ukazovatel výchylky postupně na každou zkoušenou značku (bez překmitu) bez poklepu na přístroj nebo podložku. Na etalonovém přístroji se čte odpovídající konvenčně pravá hodnota procesního signálu.

Po dosažení maximální hodnoty měřícího rozsahu se zvýší hodnota procesního signálu na 120% hodnoty odpovídající maximální hodnotě měřícího rozsahu nebo na maximální výchylku (mechanický doraz), podle toho, co je menší.

Pak se za obdobných podmínek pomalým snižováním hodnoty procesního signálu přivádí ukazovatel

výchyly postupně na stejné značky stupnice a odečítají se odpovídající konvenčně pravé hodnoty procesního signálu.

9.2.6 Základní chyba přístroje vyjádřená v procentech měřicího rozsahu se vypočítá ze vztahu

$$\delta = \frac{A_N - A_S}{A_{max}} \cdot 100$$

Kde: A_N je nastavená hodnota procesního signálu na kalibrovaném přístroji,

A_S je odpovídající hodnota procesního signálu etalonového přístroje,

A_{max} je maximální hodnota měřicího rozsahu.

9.2.7 Na každé zkoušené značce nesmí zjištěná chyba převyšovat hodnotu dovolené chyby zkoušeného přístroje,

9.2.8 Hysterezní chyba údajů na zkoušené značce stupnice se určuje jako absolutní hodnota rozdílu skutečných hodnot procesního signálu při měření provedených ze strany menších a ze strany větších hodnot,

9.2.9. Hysterezní chyba údajů nesmí převyšovat dovolenou základní chybu přístroje,

9.2.10 Pokud má kalibrovaný přístroj více měřicích míst a společné měřicí ústrojí, provádí se na dalších místech měření na konci měřicího rozsahu. V případě, že přístroj má pro každé měřené místo vlastní měřicí ústrojí, provede se kalibrace na každém měřicím místě samostatně.

9.3 Kontrola přesnosti měřidla (digitální přístroje)

9.3.1 Postupně se nastavují hodnoty procesního signálu, které odpovídají zkoušeným bodům. Na zkoušeném přístroji se odečítají naměřené hodnoty.

Kontrola se provádí nejméně na 10 kontrolních bodech rovnoměrně rozložených v celém rozsahu zkoušeného přístroje, včetně nulového bodu.

9.3.2 Přístroje, jejichž rozlišovací schopnost malá (např. 3 digitový), se zkoušejí tak, že se vstupní hodnota procesního signálu nejprve nastaví taková, aby na displeji zkoušeného přístroje byl požadovaný údaj (např. 1000). Pak se zvýší vstupní hodnota procesního signálu tak, aby se právě změnil údaj zkoušeného přístroje o 1 digit nahoru (z 1000 na 1001) a zaznamená se odpovídající konvenčně pravá hodnota. Poté se snižuje vstupní hodnota procesního signálu tak dlouho, až se právě sníží údaj zkoušeného přístroje z původně nastavené hodnoty o 1 digit (z 1000 na 999) a opět se zaznamenává konvenčně pravá hodnota. Z obou konvenčně pravých hodnot se vypočítá aritmetický průměr, který se zaznamenává do kalibračního listu.

9.3.3 Základní chyba přístroje vyjádřená v procentech měřicího rozsahu se vypočítá ze vztahu

$$\delta = \frac{A_N - A_S}{A_S} \cdot 100$$

Kde: A_N je nastavená hodnota procesního signálu na kalibrovaném přístroji,

A_S je odpovídající hodnota procesního signálu etalonového přístroje.

9.3.4 Pokud má kalibrovaný přístroj více měřicích míst a společné měřicí ústrojí, provádí se na dalších místech měření na konci měřicího rozsahu. V případě, že přístroj má pro každé měřené místo vlastní měřicí ústrojí, provede se kalibrace na každém měřicím místě samostatně.

9.4 Kalibrace mimo stálé pracoviště.

Kalibrace mimo stálé pracoviště (u zákazníka) se provádí ve výjimečných případech, za následujících podmínek:

- na místo kalibrace se přepravuje kalibrační zařízení v ochranném obalu tak, aby nebylo vystaveno velkým otřesům a teplotním rozdílům,
- zaměstnanec provádějící kalibraci mimo stálé pracoviště musí mít v místě kalibrace k dispozici osvědčení o akreditaci, kalibrační listy od použitých etalonů a kalibrační postup, osobní doklady o odborné způsobilosti a kopii příručky kvality kalibrační laboratoře.

Pro kalibrace mimo stálé prostory laboratoře platí ustanovení článků 9.1. až 9.3. Vzhledem k nepraktickému použití Dewarovy nádoby je nutné používat pouze kalibrátory s vnitřní kompenzací.

10 Vyhodnocení kalibrace

Kalibrační list se musí vztahovat pouze k veličinám a výsledkům kalibrací a funkčních zkoušek. Jestliže bylo vypracováno vyjádření o souladu se specifikací, musí být identifikováno, které články specifikace jsou splněny a které nejsou splněny, podle ILAC-G08:03/2009 Pokyny k uvádění shody se specifikací (Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification, 2009).

Pokud jsou vypracována vyjádření o shodě, musí být vzata v úvahu nejistota měření.

Jestliže se měřidlo, které se má kalibrovat, bude justovat nebo opravovat, musí být uvedeny výsledky kalibrace získané před a po justování nebo opravě, pokud jsou k dispozici.

Kalibrační list nesmí obsahovat žádné doporučení týkající se intervalu kalibrace s výjimkou doporučení, které bylo odsouhlaseno zákazníkem.

11 Kalibrační list

Výsledky měření by měly být uváděny v souladu s normou ČSN EN ISO 17025:2018 a jejího článku 7.8 – Uvádění výsledků.

11.1 Náležitosti kalibračního listu

Kalibrační list by měl obsahovat tyto údaje:

- a) název a adresu kalibrační laboratoře,
- b) pořadové číslo kalibračního listu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) jméno a adresu zadavatele, popř. zákazníka,
- d) název, typ, výrobce a identifikační číslo použitého etalonu,
- e) datum přijetí měřidla ke kalibraci (nepovinné), datum provedení kalibrace a datum vystavení kalibračního listu,

- f) určení specifikace uplatněné při kalibraci nebo označení kalibračního postupu (v tomto případě KP 4.4.1/01/19),
- g) podmínky, za nichž byla kalibrace provedena (hodnoty ovlivňujících veličin apod.),
- h) měřidla použitá při kalibraci,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření (etalony použité při kalibraci),
- j) výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s určitou metrologickou specifikací,
- k) jméno pracovníka, který měřidlo kalibroval, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko kalibrační laboratoře.

Vyjádření o nejistotě měření, které podle ILAC-P14:01/2013 bod 6.3 může mít tvar:

„Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem nejistoty měření a koeficientu k , který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %.“

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 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 kalibrační 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 archivovat jej.

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 archivovat 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.

Po ukončení a vyhodnocení provedení kalibrace se přístroj opatří kalibrační značkou – štítkem. Kalibrační štítek je třeba na přístroj umístit viditelně.

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 Analýza nejistot měření

Zdroje a výpočet nejistoty typu A:

Průměrná hodnota:
$$\bar{V} = \frac{\sum V_i}{n}$$

Směrodatná odchylka:
$$s_V = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (V_i - \bar{V})^2}$$

Odhad rozptylu:
$$s_x^2 = \frac{1}{n} s_V^2$$

Nejistota typu A:
$$u_A = \sqrt{s_x^2}$$

Zdroje a výpočet nejistoty typu B (analogová měřidla):

u_{B1} = třída přesnosti etalonového měřidla; rovnoměrné rozdělení,

u_{B2} = nejistota kalibrace etalonu pro $k = 1$,

u_{B3} = nejistota ošetření studeného konce pro termočláanky (Dewarova nádoba); rovnoměrné rozdělení,

u_{B4} = chyba čtení analogového přístroje; rovnoměrné rozdělení.

Ostatní zdroje nejistot jsou při dodržení podmínek zanedbatelné.

Nejistota typu B:
$$u_B = \sqrt{\left(\frac{u_{B1}}{\sqrt{3}}\right)^2 + u_{B2}^2 + \left(\frac{u_{B3}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{u_{B4}}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

Zdroje a výpočet nejistoty typu B (digitální měřidla):

u_{B1} = třída přesnosti etalonového měřidla; rovnoměrné rozdělení,

u_{B2} = nejistota kalibrace etalonu pro $k = 1$,

u_{B3} = nejistota ošetření studeného konce pro termočláanky (Dewarova nádoba); rovnoměrné rozdělení,

u_{B4} = nejistota způsobená konečnou rozlišovací schopností kalibrovaného přístroje; rovnoměrné rozdělení

$$u_{B3} = \frac{1}{2} \cdot \frac{MHR}{|b| \cdot dig}$$

kde: MHR je maximální hodnota rozsahu kalibrovaného přístroje,

b je hodnota kontrolního bodu,

dig je počet digitů kalibrovaného přístroje

Ostatní zdroje nejistot jsou při dodržení podmínek zanedbatelné.

Nejistota typu B:
$$u_B = \sqrt{\left(\frac{u_{B1}}{\sqrt{3}}\right)^2 + u_{B2}^2 + \left(\frac{u_{B3}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{u_{B4}}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

Kombinovaná nejistota: $u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$

Rozšířená nejistota: $U_{k=2} = 2u$

Vzhledem k rozlišovací schopnosti měřičů a zapisovačů teploty není možné dosáhnout nejlepší měřicí schopnosti pro příslušnou veličinu (DC napětí, odpor, příp. DC proud).

15 Výpočet nejistoty kalibrace.

a) analogová měřidla

Kalibrace analogového ukazatele regulátoru teploty pro termočlánek typ K, teplota 1200 °C, třída přesnosti 1,0; porovnáním s etalonovým kalibrátorem.

Nejistota typ A: $u_A = \sqrt{s_x^2} = 0,04 \%$

Zdroj nejistoty typ B1: $u_{B1} = \frac{0,5^\circ\text{C}}{1200^\circ\text{C}} \cdot 100 = 0,042\%$

Zdroj nejistoty typ B2: $u_{B2} = 0,0079\%$

Zdroj nejistoty typ B3: $u_{B3} = \frac{0,2^\circ\text{C}}{1200^\circ\text{C}} \cdot 100 = 0,017\%$

Zdroj nejistoty typ B4: $u_{B4} = \frac{0,5^\circ\text{C}}{1200^\circ\text{C}} \cdot 100 = 0,042\%$

Nejistota typu B:
$$u_B = \sqrt{\left(\frac{u_{B1}}{\sqrt{3}}\right)^2 + u_{B2}^2 + \left(\frac{u_{B3}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{u_{B4}}{\sqrt{3}}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{0,042}{\sqrt{3}}\right)^2 + 0,0079^2 + \left(\frac{0,017}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,042}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,037 \%$$

Kombinovaná nejistota: $u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0,04^2 + 0,037^2} = 0,054 \%$

Rozšířená nejistota: $U_{k=2} = 2u = 2 \cdot 0,054 = 0,11 \%$

Přehled nejistot:

Zdroj nejistot	Odhad	Pravděpodob. rozdělení	Standardní nejistota	Citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě
u_A	0,04 %	normální	0,04 %	1	0,04 %
u_{B1}	0,5 °C	rovnoměrné	0,042 %	1	0,042 %
u_{B2}	0,0079 %	normální	0,0079 %	1	0,0079 %
u_{B3}	0,2 °C	rovnoměrné	0,017 %	1	0,017 %
u_{B4}	0,5 °C	rovnoměrné	0,042 %	1	0,042 %
U					0,11 %

b) digitální měřidla

Kalibrace digitálního ukazatele regulátoru teploty pro termočlánek typ K, teplota 1200 °C, rozlišení 3 1/2 dig., třída přesnosti 1,0; porovnáním s etalonovým kalibrátorem.

Nejistota typ A: $u_A = \sqrt{s_x^2} = \text{zanedbatelná}$

Zdroj nejistoty typ B1: $u_{B1} = \frac{0,5^\circ\text{C}}{1200^\circ\text{C}} \cdot 100 = 0,042\%$

Zdroj nejistoty typ B2: $u_{B2} = 0,0079\%$

Zdroj nejistoty typ B3: $u_{B3} = \frac{0,2^\circ\text{C}}{1200^\circ\text{C}} \cdot 100 = 0,017\%$

Zdroj nejistoty typ B4: $u_{B4} = \frac{1}{2} \cdot \frac{MHR}{|b| \cdot \text{dig}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1375}{1200 \cdot 1375} \cdot 100 = 0,042\%$

Nejistota typu B: $u_B = \sqrt{\left(\frac{u_{B1}}{\sqrt{3}}\right)^2 + u_{B2}^2 + \left(\frac{u_{B3}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{u_{B4}}{\sqrt{3}}\right)^2} =$
 $= \sqrt{\left(\frac{0,042}{\sqrt{3}}\right)^2 + 0,0079^2 + \left(\frac{0,017}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,042}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,037\%$

Kombinovaná nejistota: $u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0,04^2 + 0,037^2} = 0,054 \%$

Rozšířená nejistota: $U_{k=2} = 2u = 2 \cdot 0,054 = 0,11 \%$

Přehled nejistot:

Zdroj nejistot	Odhad	Pravděpodob. rozdělení	Standardní nejistota	Citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě
u_A	0,04 %	normální	0,04 %	1	0,04 %
u_{B1}	0,5 °C	rovnoměrné	0,042 %	1	0,042 %
u_{B2}	0,0079 %	normální	0,0079 %	1	0,0079 %
u_{B3}	0,2 °C	rovnoměrné	0,017 %	1	0,017 %
u_{B4}	0,5 °C	rovnoměrné	0,042 %	1	0,042 %
U					0,11 %

15 Validace

Kalibrační metody podléhají validaci v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17025 čl. 3.9. Validační zpráva je uložena v archivu sekretariátu ČMS.

Upozornění

Kalibrační postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby ho 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).