



**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**

**Metodika provozního měření**

**MPM 4.4.1/01/19**

**MĚŘENÍ A SIMULACE PROCESNÍCH SIGNÁLŮ  
V PRŮMYSLOVÝCH APLIKACÍCH**

**Praha**

**říjen 2019**

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

Číslo úkolu: VII/3/19

**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 metodiky

Tento metodický postup se vztahuje na průmyslové měření a simulaci procesních signálů při měření neelektrických veličin. Neelektrické veličiny (teplota, tlak, pH, vodivost) se měří pomocí snímačů, jejichž výstupy jsou elektrické signály:

- stejnosměrné napětí odpovídající termoelektrickému napětí termočlánků typů dle ČSN EN 60584 – 1 ed 2,
- 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)  $\Omega$ .

## 2 Související normy a metrologické předpisy

ČSN 33 2000-4-41	Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem	[L1]
Vyhláška č.50/1978 Sb.	Vyhláška č. 50/1978 Sb. Českého úřadu bezpečnosti práce a Českého báňského úřadu o odborné způsobilosti v elektrotechnice.	[L2]
ČSN EN ISO 9001	Systémy managementu kvality - Požadavky	[L3]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení	[L4]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří	[L5]
EA-4/02 M:2013	Vyjadřování nejistot měření při kalibracích	[L6]
ČSN EN 61187	Elektrická a elektronická měřicí zařízení. Průvodní dokumentace	[L7]
ČSN EN 60051-1 ed. 2	Elektrické měřicí přístroje přímopůsobící ukazovací analogové a jejich příslušenství. Část 1: Definice a obecné požadavky společné pro všechny části.	[L8]
ČSN IEC 51-2	Elektrické měřicí přístroje přímopůsobící ukazovací analogové a jejich příslušenství. Část 2: Speciální požadavky pro ampérmetry a voltmetry.	[L9]
ČSN IEC 51-8	Elektrické měřicí přístroje přímopůsobící ukazovací analogové a jejich příslušenství. Část 8: Speciální požadavky pro příslušenství.	[L10]
ČSN IEC 51-9	Elektrické měřicí přístroje přímopůsobící ukazovací analogové a jejich příslušenství. Část 9: Doporučované zkušební metody.	[L11]

ČSN EN 61 143-1	Elektrické měřicí přístroje. Zapisovače X-t. Část 1: Definice a požadavky.	[L12]
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 měření

Kvalifikace pracovníků provádějících měření napětí v průmyslových aplikacích je dána příslušným předpisem organizace. Tito pracovníci se seznámí s metodickým postupem upraveným na konkrétní podmínky daného pracoviště provádějícího měření a případnými (interními) souvisejícími předpisy.

Doporučuje se potvrzení odborné způsobilosti těchto pracovníků prokázat vhodným způsobem, například osvědčením o interním zaškolení, o absolvování odborného kurzu, v krajním případě certifikátem odborné způsobilosti. Úroveň školení závisí na zařazení pracovníka a důležitosti prováděné měřicí operace.

Podle prováděné měřicí operace je pracovník povinen prokázat způsobilost dle příslušného paragrafu vyhlášky č. 50/78 Sb., to znamená v případě pouze odečtu naměřených hodnot alespoň podle §4, v případě obsluhy celého zařízení nebo zapojování měřících obvodů alespoň podle §6.

### 4 Názvosloví, definice

Názvosloví a definice jsou obsaženy v příslušných normách (viz čl. 2), a v publikacích věnovaných metrologické terminologii.

### 5 Měřidla a pomocná měřicí zařízení

Pro měření a simulace popsané v tomto metodickém postupu je nutné mít k dispozici:

- **kalibrátor nebo procesní kalibrátor** s funkcemi generování stejnosměrného napětí a proudu, generování střídavého napětí obdélníkového průběhu, generování termočláňkového napětí, simulací odporových snímačů teploty,
- **digitální multimetr,**
- **odporová dekáda,**
- **vhodné měřicí vodiče a vedení,**
- **termočláňkové nebo kompenzační** vedení odpovídající příslušnému typu termočláňku,
- **teploměr a vlhkoměr** pro monitorování prostředí při měření nebo simulaci zákazníka.

**Poznámka:** Všechna použitá měřidla a pomocná měřicí zařízení musí být navázána na etalon vhodného rozsahu a přesnosti a musí mít platnou kalibraci.

## 6 Obecné podmínky měření – veličiny ovlivňující výsledky měření

Podmínky prostředí, ve kterých je možné používat dané měřidlo, jsou určeny výrobcem měřidla nebo normami příslušnými pro dané měřidlo. Nedodržení těchto podmínek je nutné brát v potaz při vyhodnocení přesnosti měření nebo výpočtu nejistoty měření, případně je nutné použít jiný typ měřidla.

Pro měřidla obsahující v konstrukci elektroniku obvykle výrobce měřidel určuje rozsah použití teploty v rozmezí  $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , pro teploty mimo tento rozsah výrobce určuje tzv. teplotní koeficient, který je nutné připočítat při výpočtu přesnosti měření.

Pro přístroje napájené z elektrické sítě je nutné, aby napětí sítě bylo v rozmezí dle specifikace výrobce, pro přístroje napájené z baterií nebo akumulátorů obdobně.

U elektronických měřidel vyšší přesnosti dále výrobce určuje tzv. dobu náběhu (warm-up), což je doba, po kterou musí být přístroj zapnut, než dosáhne plné přesnosti. Měření je nutné zahájit až po uplynutí této doby.

Ostatní podmínky prostředí (např. vnější elektrické nebo magnetické pole) nemají ve většině průmyslových aplikací přímý vliv na výsledek měření a posuzují se subjektivně podle podmínek daného pracoviště.

## 7 Metrologické meze využití metody měření

Rozsahy měření jsou dány rozsahem použitého měřidla. Měřidla je nutné používat s příslušenstvím dodaným nebo doporučeným výrobcem měřidla. Nevhodné měřicí šňůry nebo připojovací vedení mohou ovlivnit výsledek měření. Pokud není příslušenství měřidel určeno výrobcem, musí být rozměry a umístění vodičů takové, aby neovlivňovalo výsledky měření a bylo bezpečné pro zařízení i obsluhu.

## 8 Kontrola měřidla před použitím a příprava na měření

Měřicí přístroj se připraví pro měření v souladu s technickou dokumentací nebo údaji uvedenými na přístroji. Provede se vnější prohlídka přístroje:

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

Dále se provede kontrola provozuschopnosti:

- připojovací svorky jsou spolehlivě upevněné a nepoškozené,
- zjistí se, zda všechny ovládací prvky mechanicky správně pracují,

- zjistí se, zda přístroj na všech jeho kalibrovaných funkcích elektricky správně pracuje,
- u analogových přístrojů, u kterých je to možné, se zjistí, zda je možné nastavit nulový údaj, případně dovolenou odchylku od nuly. Nastavení se provádí následujícím způsobem:
  - stavítkem mechanické nuly se v potřebném směru přivede ukazovatel na nulovou značku,
  - v průběhu posouvání ukazovatele se poklepává na pouzdro přístroje,
  - když je ukazovatel nastaven na nulovou značku, obrátí se směr pohybu stavítka mechanické nuly a pohne se jím v mezích mechanické vůle (mrtvého chodu), avšak tak, aby nedošlo ke změně polohy ukazovatele.

**Poznámka:** U přístrojů bez stavítka mechanické nuly, nebo u přístrojů, které mají mechanickou nulu vně stupnice, nesmí být znovu nastavení prováděno. U analogových přístrojů s elektronikou se po zapnutí přístroje provede nastavení elektrické nuly obdobným způsobem.

- 6) u přístrojů vybavených vnějšími kalibračními regulačními prvky se zjistí, zda je lze nastavit ve stanovených mezích.
- 7) pokud je to možné, u digitálních přístrojů je vhodné před vlastním měřením vyzkoušet zda svítí všechny segmenty displeje (při poruše sedmisegmentového displeje může snadno dojít k záměně číslic 0 a 8 nebo 5 a 6), u analogových přístrojů při zvyšování nebo snižování procesního signálu je pohyb ukazatele plynulý.

Měřidlo, které vykazuje nedostatky, nelze dále k měření používat.

U přístrojů v aplikacích pouze indikačních (rozvaděčové) je možné některé kroky zjednodušit.

## 9 Postup měření

Výstupem snímače neelektrických veličin je stejnosměrné napětí nebo elektrický odpor. Pro termočlávkové snímače teploty jsou hodnoty tohoto napětí řádově desítky milivoltů, pro snímače pH řádově stovky mV. Pro odporové snímače teploty se jedná odpor řádově stovky až tisíce ohmů, pro snímače vodivosti kapalin obvykle desítky ohmů až 10 kiloohmů. Protože jsou hodnoty desítky mV nebo stovky ohmů obtížně měřitelné u dlouhých měřicích tras nebo u velkých technologických zařízení (hutní a kovářské pece), součástí snímače může být převodník na stejnosměrnou proudovou smyčku 4 – 20mA, napěťový signál 0 až 10 V nebo střídavý signál obdélníkového průběhu 0 kHz až 1 (resp. 10) kHz.

Pro simulaci procesních signálů se používají kalibrátory těchto signálů. Měřidlo se připojí v souladu s technickou dokumentací.

V případě měřidel, která měří elektrický odpor, je nutné dodržet počet zapojených vodičů (2-, 3-, 4-vodičové připojení). Pokud nesouhlasí počet vodičů u etalonového přístroje a zkoušeného měřidla (například 4-vodičové připojení ukazatele teploty a dvousvorkové dekády), propojení se provádí na svorkách tak, aby byl zachován mezi etalonovým přístrojem a zkoušeným měřidlem.

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 napětového 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. Použití Dewarovy nádoby je ale v běžném provozu nepraktické a nedoporučuje se.

Při simulaci proudu proudové smyčky je nutné odpojit napájecí zdroj, který je ve smyčce zapojen, aby nedošlo k poškození etalonového přístroje (pokud kalibrátor jako etalonový přístroj neumožňuje přepnutí do funkce proudové nory).

Snímače s proudovou smyčkou, výstupním stejnosměrným napětím nebo střídavým obdélníkovým signálem jsou obvyklé i v oboru tlaku.

Stejnosemné napětové signály a střídavé obdélníkové signály se propojují vhodnými měděnými vodiči.

Stejná pravidla platí i pro měření procesních signálů, kdy jsou prohozeny funkce zdroj signálu a měřidlo.

Simulace a měření procesních signálů se nejčastěji používá v oboru MaR (měření a regulace). Slouží k odstraňování poruch, kdy je nutné určit vadnou část měřicího celku – snímač, měřicí trasa, měřidlo.

Simulace procesních signálů je nutné provádět v celém rozsahu zkoušeného měřidla z důvodu zjištění linearitu měřicího rozsahu. V případě měření snímače neelektrické veličiny, pokud je namontován na technologickém zařízení, je obvykle měření možné jen v jednom bodě. Ale i z toho lze poznat poruchu snímače, protože výstupní signál neodpovídá hodnotě měřené neelektrické veličiny. Pokud měření v jediném bodě nestačí, je nutné snímač demontovat a simulaci provést i u neelektrické veličiny (například měření teploty v kalibrační píce).

Převodní vztahy mezi neelektrickou veličinou a procesním signálem se zjišťují z příslušných norem nebo dokumentace výrobce ([L15 pro termočlávkové snímače, [L16] pro paltinové odporové snímače teploty).

## 10 Stanovení nejistoty při měření napětí (příklad)

### Analýza nejistot měření

**Zdroje a výpočet nejistoty typu A:**

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

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 přístroje; rovnoměrné rozdělení

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

$u_{B3}$  = nejistota ošetření studeného konce pro termočlánky; 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 termočlánky; 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).

**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:  $u_{B3} = \frac{0,4^\circ\text{C}}{1200^\circ\text{C}} \cdot 100 = 0,033\%$

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

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

$$= \sqrt{\left(\frac{0,042}{\sqrt{3}}\right)^2 + 0,0079^2 + \left(\frac{0,033}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,042}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,040\%$$

Kombinovaná nejistota:  $u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0,04^2 + 0,037^2} = 0,055 \%$

Rozšířená nejistota:  $U_{k=2} = 2u = 2 \cdot 0,055 = 0,11 \%$

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 %
$u_{B3}$	0,4 °C	rovnoměrné	0,033 %	1	0,033 %
$u_{B4}$	0,5 °C	rovnoměrné	0,042 %	1	0,042 %
$U$					<b>0,11 %</b>

### 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:

$$u_{B3} = \frac{0,4^\circ\text{C}}{1200^\circ\text{C}} \cdot 100 = 0,033\%$$

Zdroj nejistoty typ B4:

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

Nejistota typu B:

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

$$= \sqrt{\left(\frac{0,042}{\sqrt{3}}\right)^2 + 0,0079^2 + \left(\frac{0,033}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,042}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,040\%$$

Kombinovaná nejistota:  $u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0,04^2 + 0,037^2} = 0,055 \%$

Rozšířená nejistota:  $U_{k=2} = 2u = 2 \cdot 0,055 = 0,11 \%$

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 %
$u_{B3}$	0,4 °C	rovnoměrné	0,033 %	1	0,033 %
$u_{B4}$	0,5 °C	rovnoměrné	0,042 %	1	0,042 %
$U$					<b>0,11 %</b>

## 11 Záznamy o měření

Pokud má organizace stanoveny konkrétní záznamy o měření, využijí se. Úroveň záznamu je dána důležitostí měřicí operace a jeho rozsah stanoví odpovědný pracovník subjektu (technolog, metrolog atd.)

Tyto záznamy mohou obsahovat například:

- identifikace pracoviště provádějícího měření,
- pořadové číslo záznamu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- informace o měřidle,
- veličiny ovlivňující měření v okamžiku měření a způsob jejich kompenzace,
- název výrobní operace,
- datum měření, (případně i čas),
- označení použité metodiky měření (v našem případě např. MPM 4.4.1/01/19)
- měřidla použitá při měření,
- obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření,
- výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s danou technologickou tolerancí,
- jméno pracovníka, provádějícího měření, jméno a podpis odpovědného (vedoucího) pracovníka, razítko pracoviště.

## 12 Péče o metodický postup

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

Změny, popř. revize metodického postupu provádí jeho zpracovatel. Změny schvaluje vedoucí zpracovatele 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

Metodický postup		Převzal		
Výtisk číslo	Obdrží útvar	Jméno	Podpis	Datum

#### 13.2 Úprava a schválení

Metodický postup	Jméno	Podpis	Datum
Upravil			
Úpravu schválil			

#### 13.3 Revize

Strana	Popis změny	Zpracoval	Schválil	Datum

#### Upozornění

Tento metodický postup je třeba považovat za vzorový. Doporučuje se, aby jej organizace přizpůsobila svým požadavkům s ohledem na své metrologické vybavení a konkrétní podmínky.