



**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 4.1.2/02/17**

**METODIKA PROVOZNÍHO MĚŘENÍ PROUDU  
V PRŮMYSLOVÝCH APLIKACÍCH**

**Praha**  
říjen 2017

**Vzorový metodický postup** byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2017

**Číslo úkolu:** VII/3/17

**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 stejnosměrného a střídavého elektrického proudu. Měřicí rozsah není omezen, rozsahy používané v praxi jsou od jednotek pikoampér až po desítky kA. Odečet hodnoty může být analogový, digitální nebo na zařízení zobrazující časový průběh měřeného proudu. Přesnost měření je dána konkrétní aplikací od tisícín procenta pro laboratorní měření až po jednotky procent pro indikační měření (např. v těžkém průmyslu)

## 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 jakosti - Požadavky	[L3]
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření - Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení	[L4]
ČSN EN ISO/IEC 17025	Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost 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	Elektrické měřicí přístroje přímopůsobící ukazovací analogové a jejich příslušenství. Část 1: Definice a všeobecné požadavky společné pro všechny části.	[L8]
ČSN IEC 51-2	dtto Část 2 : Speciální požadavky pro ampérmetry a voltmetry.	[L9]
ČSN IEC 51-8	dtto Část 8 : Speciální požadavky pro příslušenství.	[L10]
ČSN IEC 51-9	dtto Část 9 : Doporučované zkušební metody.	[L11]
ČSN EN 61 143-1	Elektrické měřicí přístroje. Zapisovače X-t. Část 1: Definice a požadavky.	[L12]

### 3 Kvalifikace pracovníků provádějících měření

Kvalifikace pracovníků provádějících měření proudu 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 měřicích 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

- Ampérmetr analogový (měřená hodnota je indikována ručkou nebo světelným ukazatelem),
- ampérmetr digitální (měřená hodnota je indikována číslem zobrazeným na displeji),
- klešťový ampérmetr analogový (vodič protékaný proudem je obemknut kleštěmi a měřen principiálně pomocí proudového transformátoru nebo Hallovy sondy),
- klešťový ampérmetr digitální (vodič protékaný proudem je obemknut kleštěmi a měřen principiálně pomocí proudového transformátoru nebo Hallovy sondy),
- multimetr analogový (přístroj měřící kromě proudu i jiné elektrické veličiny),
- multimetr digitální (přístroj měřící kromě proudu i jiné elektrické veličiny),
- bargraf (měřená hodnota je indikována počtem rozsvícených segmentů, např. LED diod,
- zapisovač (přístroj s obrazovkou nebo zápisem na papír vykreslující časový průběh měřeného napětového signálu),
- měřicí karta (přístroje s výstupem na sběrnici USB, GP-IB, LAN apod., připojitelné přes WiFi, nainstalované do slotu stolního PC),
- bočníky,
- měřicí transformátory proudu,
- proudové kleště.

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.

U analogových přístrojů je zvláště nutné dodržet polohu přístroje podle značky na stupnici (poloha vodorovná nebo svislá). Přístroje, které v konstrukci mají magnet, nesmí být umístěny na kovové podložce.

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 měřicí sondy 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, přepínači rozsahů,

svorkách a krytu přístroje jsou zřetelné.

•

Dále se provede kontrola provozuschopnosti:

- připojovací svorky jsou spolehlivě upevněné a nepoškozené,
- přepínače měřicích rozsahů 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,
- zjistí se, zda je možné nastavit nulový údaj, případně dovolenou odchylku od nuly na všech měřicích rozsazích a ve všech kalibrovaných funkcích přístroje.

U analogových přístrojů nutné nejprve nastavit mechanickou nulu 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.

Na digitálních a elektronických přístrojích se nastavení nuly provádí pouze přístrojů s vyšší rozlišovací schopností podle návodu výrobce.

Některé elektronické přístroje (multimetry s vyšším rozlišením, osciloskopy) jsou vybaveny funkcí autokalibrace, která by se měla provádět v intervalech doporučených výrobcem.

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

Elektrický proud se měří ampérmetrem nebo přístrojem uvedeným v kapitole 5 tohoto postupu, který se připojuje do série s měřeným obvodem. Pro co největší přesnost měření

je nutné zajistit, aby měřicí přístroj nezatěžoval měřený obvod, tedy aby úbytek napětí na měřicím přístroji byl co nejmenší. Vnitřní odpor měřicího přístroje musí být co nejmenší, protože je připojen do série k měřenému obvodu.

Příklad: měření proudu 1,0 A protékáním odporovou součástkou s odporem 100  $\Omega$ , při měření proudu digitálním multimetrem se vstupním odporem 1,0  $\Omega$  vzniká na ampérmetru úbytek napětí 1,0 V, celkové napětí sériové kombinace ampérmetru a odporové součástky je 101,0 V a chyba měřeného obvodu 1,0 %. Při odporu součástky 10  $\Omega$  by chyba byla 10 %.

Při měření analogovými přístroji je nutné brát v úvahu hysterezi analogového přístroje, což znamená, že přístroj měří rozdílné hodnoty při zvyšování proudu (pohybu ukazatele směrem nahoru) a při snižování proudu (pohybu ukazatele směrem dolů). Přístroj však musí splňovat podmínku, že hystereze je menší než třída přesnosti přístroje.

U digitálních přístrojů, které to umožňují, pro stejnosměrné proudy je důležité nastavení tzv. doby integrace, což je údaj vyjadřující počet odměrů za jednotku času. Pro proudy, které jsou stabilní, a hodnota se mění minimálně, je vhodné volit dobu integrace dlouhou (NPLC = 10 nebo 100, kde NPLC znamená počet cyklů napětí sítě, tedy při frekvenci síťového napětí 50 Hz bude počet odměrů  $5 \text{ s}^{-1}$  pro NPLC = (10 nebo 0,5)  $\text{s}^{-1}$  pro NPLC = 100). Podobné je to při měření střídavého proudu, kde je nutné správně nastavit vstupní filtr podle frekvence měřeného proudu.

Při měření střídavých proudů digitálním ampérmetrem nebo multimetrem je potřeba správně vyhodnotit měřenou aplikaci, resp. průběh (tvar) měřeného napětí. Přístroje označené jako TRMS měří tzv. pravou efektivní hodnotu, tedy efektivní hodnotu nezávislou na průběhu (tvaru měřeného střídavého proudu). U přístrojů označených RMS přístroj měří efektivní hodnotu pouze signálů sinusového průběhu, při ostatních průbězích (tvarech) může měřit s velkou chybou.

Je-li potřeba změřit větší proud, než pro který je měřicí přístroj určen, může se k němu paralelně zapojit tzv. bočník  $R_B$  takové velikosti, aby se měřený proud  $I$  rozdělil ve vhodném poměru na proud protékající bočníkem  $I_B$  a proud protékající ampérmetrem  $I_A$ . Přitom platí, že  $I = I_B + I_A$ . Odpor bočníku pak musí mít velikost podle vztahu:

$$R_B = R_A / (n - 1),$$

Kde:  $R_B$  je odpor bočníku

$R_A$  je vstupní odpor ampérmetru

$n$  je násobek zvýšení rozsahu měřicího přístroje

Změna rozsahu u měřicích přístrojů při měření střídavého proudu je také možná tzv. měřicím transformátorem proudu, kde celkový rozsah je součin převodu transformátoru a rozsahu měřicího přístroje.

Volba typu měřicího přístroje – analogový nebo digitální - závisí na měřené aplikaci. U analogových přístrojů je možné sledovat trend, nebo změny měřeného proudu, samozřejmě s horší přesností odečtu, u digitálních přístrojů je změna čísla na displeji rychlá nebo příliš velká a neumožňuje odečíst s výjimkou případů importu naměřených hodnot do vhodného

programu, což ale nelze u přístrojů s vhodnou sběrnicí. Digitální přístroje naopak umožňují přesnější a pohodlnější odečet, přenos dat do počítače a jejich další vyhodnocení.

Pro měření speciálních aplikací proudu je možné použití osciloskopů s proudovými sondami, které zobrazují průběh proudu v čase. Osciloskopy i měřicí sondy nedosahují přesnosti digitálních měřidel (multimetrů), přesnost je obvykle v jednotkách procent, ale naopak je s nimi možné měřit proudy o vysokých frekvencích – až do rozsahů MHz a dále je možné měřit proudové pulsy, které jsou na měřeném objektu velmi krátkou dobu (řádově až mikrosekundy). V takovém případě se používá spouštění časové základny SINGLE.

Měřicí karty připojené k počítači jsou speciální měřidla, u kterých je možné měřit proud ve více kanálech současně. Programové vybavení dodávané s těmito zařízeními umožňují exportovat naměřené hodnoty ve formě grafu nebo ve formátu tabulky MS Excel.

## 10 Stanovení nejistoty při měření napětí (příklad)

### Příklad výpočtu nejistot měření pro analogový měřicí přístroj:

Měření stejnosměrného napětí laboratorním ampérmetrem třídy přesnosti 0,2 %; délka stupnice 150 dílků;

Výpočet nejistoty typu A:

Je proveden v souladu s dokumentem EA-4/02 M:2013

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: 
$$u_A = \sqrt{s_x^2}$$

Průměrná hodnota by podle výše uvedeného dokumentu měla být počítána alespoň z 10 odměrů.

Poznámka: V běžné průmyslové praxi je takové měření nereálné z důvodu velké časové náročnosti nebo neopakovatelnosti měřeného děje. Pak je nutné nejistotu typu A odhadnout na základě zkušenosti nebo na základě výpočtu obdobných typů měření, kde bylo možné alespoň 10 odměrů provést.

$$u_A = \sqrt{s_x^2} = 0,05 \% \text{ - odhad}$$



$u_{B1} = 0,2$  – přesnost měřidla; zjištěno ze značky přístroje na stupnici

$u_{B2} = 0,026$  % - nejistota kalibrace měřidla; zjištěno z kalibračního listu měřidla jako hodnota pro koeficient rozšíření  $k = 2$

$u_{B3} = 0,03$  % - zdroj nejistoty na odečitelnost (rozlišení) ze stupnice; odhad (stupnice podložená zrcátkem, čtení přes malou čtecí lupu se zvětšením 4x)

$$u_B = \sqrt{\left(\frac{u_{B1}}{\sqrt{3}}\right)^2 + u_{B2}^2 + \left(\frac{u_{B3}}{\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,2}{\sqrt{3}}\right)^2 + 0,013^2 + \left(\frac{0,03}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,012\%$$

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{0,01^2 + 0,0058^2} = 0,13 \%$$

$$U_{k=2} = 2u = 2 \cdot 0,13 = 0,26 \%$$

Přehled nejistot:

Zdroj nejistot	Odhad	Pravděpodobnost rozdělení	Standardní nejistota	Citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě
$u_A$	0,05 %	normální	0,05 %	1	0,05 %
$u_{B1}$	0,2 %	rovnoměrné	0,11 %	1	0,11 %
$u_{B2}$	0,013 %	normální	0,013 %	1	0,013 %
$u_{B3}$	0,03 %	rovnoměrné	0,017 %	1	0,017 %
$U$					<b>0,26 %</b>

### Příklad výpočtu nejistot měření pro digitální měřicí přístroj:

Měření stejnosměrného napětí digitálním multimetrem s rozlišením  $3 \frac{1}{2}$ .

Výpočet nejistoty typu A:

Je proveden v souladu s dokumentem EA-4/02 M:2013

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:  $u_A = \sqrt{s_x^2}$

Průměrná hodnota by podle výše uvedeného dokumentu měla být počítána alespoň z 10 odměřů.

Poznámka: V běžné průmyslové praxi je takové měření nereálné z důvodu velké časové náročnosti nebo neopakovatelnosti měřeného děje, pokud není možný odečet po sběrnici (USB, GP-IB, LAN apod. Pak je nutné nejistotu typu A odhadnout na základě zkušenosti nebo na základě výpočtu obdobných typů měření, kde bylo možné alespoň 10 odměřů provést.

$$u_A = \sqrt{s_x^2} = \text{zanedbatelná}$$

(příklad měření proudu stabilizovaného zdroje, jehož hodnota je konstantní a rozlišení přístroje malé, tedy všechny hodnoty mají stejnou hodnotu).

$u_{B1} = 0,58 \%$  - přesnost měřidla; zjištěno z technické dokumentace měřidla  
(příklad: rozsah multimetru 2,0 A; měřená hodnota 1,2 A, přesnost měřidla dle dokumentace 0,5 % z hodnoty + 1 digit, tedy 0,5 % z hodnoty + 0,05 % z rozsahu)

$u_{B2} = 0,10 \%$  - zjištěno z kalibračního listu multimetru jako hodnota pro koeficient rozšíření  $k = 2$

$u_{B3} = 0,042 \%$  - zdroj nejistoty vyjadřující konečnou rozlišovací schopnost multimetru; při rozlišení kalibrovaného voltmetru 3 ½ dig.

$$u_B = \sqrt{\left(\frac{u_{B1}}{\sqrt{3}}\right)^2 + u_{B2}^2 + \left(\frac{u_{B3}}{\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,58}{\sqrt{3}}\right)^2 + 0,05^2 + \left(\frac{0,042}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0,34 \%$$

$$U_{k=2} = 2u_B = 2 \cdot 0,34 = 0,68 \%$$

Přehled nejistot:

Zdroj nejistot	Odhad	Pravděpodobnost rozdělení	Standardní nejistota	Citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě
$u_A$	zanedbatelná				
$u_{B1}$	0,58 %	rovnoměrné	0,33 %	1	0,33 %
$u_{B2}$	0,05 %	normální	0,05 %	1	0,05 %
$u_{B3}$	0,042 %	rovnoměrné	0,024 %	1	0,024 %
<b><math>U</math></b>					<b>0,68 %</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:

- a) identifikace pracoviště provádějícího měření,
- b) pořadové číslo záznamu, očíslování jednotlivých stran, celkový počet stran,
- c) informace o měřidle,
- d) veličiny ovlivňující měření v okamžiku měření a způsob jejich kompenzace,
- e) název výrobní operace,
- f) datum měření, (případně i čas),
- g) označení použité metodiky měření (v našem případě např. MPM 4.1.2/01/17)
- h) měřidla použitá při měření,
- i) obecné vyjádření o návaznosti výsledků měření,
- j) výsledky měření a s nimi spjatou rozšířenou nejistotu měření a/nebo prohlášení o shodě s danou technologickou tolerancí,
- k) 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	Obdržel 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.