Česká metrologická společnost, z.s.

Novotného lávka 5, 116 68 Praha 1

Tel: 606 957 233
e-mail: cms-zk@csvts.cz
www.spolky-csvts.cz/cms

Neprodejné

Metodika provozního měření

MPM 0.0.1/02/24

Analýza vhodnosti použití měřidel a měřicích systémů.

Podtitul

Řešení vhodnosti měřidel a měření podle VDA

Praha
říjen 2024

Vzorový metodický postup byl zpracován a financován ÚNMZ v rámci Plánu standardizace – Program rozvoje metrologie 2024
Číslo úkolu: VII/3/24

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.

Neprodejné

1 Předmět metodiky

Metodika řeší vhodnost měřicích systémů a procesů měření pro případ, kdy je pro měřený znak předepsaná tolerance. Základem pro výpočet vhodnosti je nejistota měření, která je následně zohledněna při prokazování shody se specifikovanými požadavky.

2 Související normy a metrologické předpisy

Číslo normy	Název	
ČSN 01 0250	Statistické metody v průmyslové praxi. Všeobecné základy	[L1]
ČSN 01 0252	Statistické metody v průmyslové praxi II. Závislosti mezi náhodnými veličinami - korelace a regrese	[L2]
ČSN 01 0253	Statistické metody v průmyslové praxi III. Základní neparametrické metody	[L3]
ČSN IEC 61650	Techniky analýzy dat o bezporuchovosti - Postupy pro porovnání dvou konstantních intenzit poruch a dvou konstantních parametrů proudu poruch (událostí)	[L4]
ČSN ISO 16269-4	Statistická interpretace dat - Část 4: Detekce a ošetření odlehlých hodnot	[L5]
ČSN ISO 16269-7	Statistická interpretace údajů - Část 7: Medián - Odhad a konfidenční intervaly	[L6]
ČSN ISO 16269-8	Statistická interpretace dat - Část 8: Stanovení předpovědních intervalů	[L7]
ČSN ISO 10017	Management kvality - Návod ke statistickým technikám pro ISO 9001:2015	[L8]
ČSN ISO 5479	Statistická interpretace údajů - Testy odchýlení od normálního rozdělení	[L9]
ČSN 01 0222	Aplikovaná statistika. Testy odlehlosti výsledků pozorování	[L10]

Neprodejné

ČSN 01 0223	Aplikovaná statistika. Pravidla stanovení odhadů a konfidenčních mezí pro parametry normálního a logaritmicko-normálního rozdělení. Případ úplných výběrů	[L11]
ČSN 01 0224	Aplikovaná statistika. Pravidla stanovení odhadů a konfidenčních mezí pro parametry Weibullova rozdělení	[L12]
ČSN 01 0230	Aplikovaná statistika. Analýza rozptylu	[L13]
ČSN ISO 5725-1	Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření - Část 1: Obecné zásady a definice	L14]
ČSN ISO 5725-2	Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření - Část 2: Základní metoda pro stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti normalizované metody měření	[L15]
ČSN ISO 5725-3	Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření - Část 3: Mezilehlé míry preciznosti normalizované metody měření	[L16]
ČSN ISO 5725-4	Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření - Část 4: Základní metody pro stanovení pravdivosti normalizované metody měření	[L17]
ČSN ISO 5725-5	Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření - Část 5: Alternativní metody pro stanovení preciznosti normalizované metody měření	[L18]
ČSN ISO 5725-6	Přesnost (pravdivost a preciznost) metod a výsledků měření - Část 6: Použití hodnot měr přesnosti v praxi	[L19]
ČSN ISO 2854	Statistická interpretace údajů. Odhady a testy středních hodnot a rozptylů	[L20]
ČSN EN ISO 9001:2016	Systémy managementu jakosti – Požadavky	[L21]
ČSN ISO 10012:2003	Systémy managementu měření – Požadavky na procesy měření měřicí vybavení	[L22]

Neprodejné

ČSN ISO 3534-1	Statistika - slovník a značky: Pravděpodobnost a obecné termíny	[L23]
ČSN ISO 3534-2	Statistika - slovník a značky: Statistické řízení jakosti	[L24]
ČSN ISO 7873	Regulační diagramy pro aritmetický průměr s výstražnými mezemi	[L25]
ČSN ISO 22514	Statistické metody v managementu procesu - Způsobilost a výkonnost -3: 2010 Část 3: Studie výkonnosti stroje pro měřitelná data na diskrétních dílech -7:2014 Část 7: Způsobilost procesů měřen	[L26]
ČSN ISO 11462	Směrnice pro uplatňování statistické regulace procesu (SPC) – část 1: 2002 Prvky SPC – část 2: 2011 Katalog nástrojů a postupů	[L27]
ČSN ISO 7870	Regulační diagramy - 2: 2018 Shewhartovy regulační diagramy - 3: 2014 Přejímací regulační diagramy - 4: 2015 Regulační diagramy CUSUM	[L28]
VDA 5, 3. vydání, 2021	Procesy měření a zkoušení	[L29]
MSA, vydání 1999	Analýza systému měření, příručka ČSJ	[L30]
Bosch 2003	Bosch R.: Způsobilost měřicích a kontrolních procesů	[L31]
ČSN EN ISO/IEC 17025:2018	Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří	[L32]

Neprodejné

3 Kvalifikace pracovníků provádějících měření

Kvalifikace pracovníků provádějících analýzu vhodnosti použití měřidel a měřicích systémů 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, nebo certifikátem odborné způsobilosti. Úroveň školení závisí na zařazení pracovníka a důležitosti prováděné měřicí operace.

4 Názvosloví, definice

4.1 Tolerance a statistická regulace

Statistická regulace je nejvýhodnější způsob kontroly mezioperační hromadné a sériové výroby. Statistický charakter metody se projevuje tím, že jak časový rozvrh kontrol, tak způsob výběru ke kontrole a rozhodování o kvalitě se řídí předpisy, založenými na předběžném rozboru uvažovaného výrobního/měřicího procesu a na teoretických základech matematické statistiky.

Regulační diagramy obsahují střední (jmenovitou) hodnotu parametru výrobku, regulační meze (ve kterých probíhá výroba, je-li výrobní proces v ustáleném stavu) a toleranční meze (tj. konstrukční meze, které označují krajní meze parametru a nesmí být překročeny, pokud výrobek má být shodný)

Tolerance je rozdíl mezi horní a dolní toleranční mezí; může být oboustranná nebo jednostranná, ale nemusí obsahovat jmenovitou hodnotu.

4.2 Hodnocení způsobilosti procesu

Způsobilost výrobního/měřicího procesu je určena celkovým kolísáním zjišťovaných údajů, které je dáno pouze náhodnými příčinami. Dříve než je stanovena způsobilost procesu, musí být tento proces uveden do statisticky zvládnutého stavu. Pomocí *X*- a *R*-diagramů se identifikují tzv. vymezitelné příčiny kolísání. O statisticky zvládnutelném procesu hovoříme, pokud je alespoň posledních 25 podskupin/hodnot ve statisticky zvládnutém stavu.

Určení indexů způsobilosti

a) Index způsobilosti C_p charakterizuje možnosti procesu dané jeho variabilitou.

$$C_p = \frac{\mathrm{USL}-\mathrm{LSL}}{6\sigma} \qquad (4.1)$$

kde USL horní specifikační (toleranční) mez,
LSL dolní specifikační (toleranční) mez,
σ směrodatná odchylka.

b) Index způsobilosti C_{pk} zohledňuje variabilitu i umístění hodnot znaku v tolerančním poli, charakterizuje skutečnou způsobilost procesu dodržovat předepsané toleranční meze:

Neprodejné

- je-li předepsána horní toleranční mez:

$$C_{\mathrm{pk}} = C_{\mathrm{pU}} = \frac{\mathrm{USL}-\mu}{3\sigma} \tag{4.2}$$

- je-li předepsána dolní toleranční mez:

$$C_{\mathrm{pk}} = C_{\mathrm{pL}} = \frac{\mu-\mathrm{LSL}}{3\sigma} \tag{4.3}$$

- jsou-li předepsané obě meze:

$$C_{\mathrm{pk}} = \min\{C_{\mathrm{pU}}, C_{\mathrm{pL}}\} \tag{4.4}$$

kde μ je střední hodnota sledovaného znaku.

Pokud není variabilita charakterizována rozptylem kolem střední hodnoty ale kolem optimální hodnoty (která musí ležet ve středu tolerančního rozpětí):

$$C_{\mathrm{pm}} = \frac{\mathrm{USL}-\mathrm{LSL}}{6\sqrt{\sigma^2+(\mu-T)^2}} \tag{4.5}$$

kde T je cílová hodnota tolerančního pole.

Pokud cílová hodnota neleží ve středu tolerančního pole nebo je specifikována jen 1 toleranční mez, zavádí se index

$$C_{\mathrm{pm}} = \min\left\{\frac{T-\mathrm{LSL}}{3\sqrt{\sigma^2+(\mu-T)^2}}, \frac{\mathrm{USL}-T}{3\sqrt{\sigma^2+(\mu-T)^2}}\right\} \tag{4.6}$$

Porovnání indexů C_{pm} a C_p umožní zjistit, nakolik je dosažený výsledek ovlivněn variabilitou hodnot a nakolik posunem střední hodnoty μ vůči cílové hodnotě T.

Tab.1: Hodnota indexů C_p a C_{pk} v závislosti na tolerančních mezích

Toleranční meze	Hodnota indexů C_p, C_{pk}	Pravděpodobnost vzniku neshodných jednotek při rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$ [ppm]
$\mu \pm 3\sigma$	1,00	2700
$\mu \pm 4\sigma$	1,33	63,4
$\mu \pm 5\sigma$	1,67	0,7
$\mu \pm 6\sigma$	2,00	$1.\ 10^{-3}$

Proces se považuje za způsobilý, dosahuje-li hodnota indexů alespoň 1,33. Některé firmy mají vyšší požadavky na způsobilost procesu (kdy μ je uprostřed tolerančního pole), např. při metodě „six sigma“.

4.3 Přesnost měření a měřicích přístrojů

Přesnost celého měřicího procesu je souhrnem přesnosti měřidla, přesnosti měřicí metody a přesnosti operátora, který s měřidlem zachází. Je třeba zdůraznit všeobecný rys měření: měřicím zařízením a zvolenou metodou se na měřeném objektu určuje velikost jisté veličiny. Vlivem zpětného působení měřicího zařízení na měřený objekt dochází vždy ke změnám poměrů v měřeném objektu. To je důvod, proč nelze změřit pravou (skutečnou) hodnotu dané veličiny. Při každém reálném procesu měření dochází k chybám. S výsledky měření se pak musí zacházet vždy jako s náhodnými (přibližnými) hodnotami, a v tom

Neprodejné

smyslu je také zpracovávat.

4.3.1 Rozdělení chyb podle příčiny vzniku

a) Chyby metody (Δ_m, δ_m): jde většinou o systematické chyby (způsobené volbou postupu měření, provedením zapojení apod.), které vznikají vzájemným působením měřicího přístroje a měřeného obvodu.
b) Chyby měřicích přístrojů (základní a přídavné) jsou dány vlastnostmi přístrojů a nedokonalostí jejich výroby i vlivem okolí.
c) Chyby členů měřicího obvodu jsou způsobeny nepřesnostmi vyrovnání a kalibrace etalonů a dalších členů. Pro velmi přesná měření je udána největší dovolená odchylka od jmenovité hodnoty (absolutní nebo relativní).
d) Chyby způsobené rušivými vlivy jsou obtížně korigovatelné. Tyto chyby způsobují rušivá napětí, kapacitní a induktivní vazby, odpory vodičů, změny teploty, polohy apod.
e) Chyby čtení jsou způsobeny pozorovatelem, který čte údaj měřicího přístroje.
f) Celkové chyby měření jsou výsledkem většího počtu dílčích chyb.

4.3.2 Rozdělení chyb podle způsobu výskytu

a) chyby systematické (soustavné),
b) chyby náhodné (nahodilé),
c) chyby hrubé (omyly).

4.4 Měřicí přístroje analogové a digitální

4.4.1 Chyby analogových přístrojů

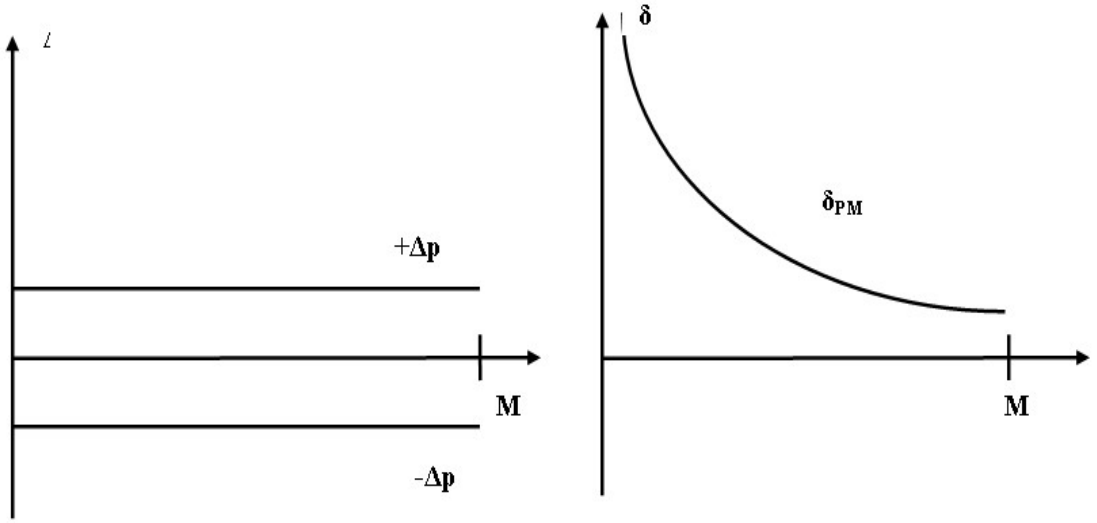
Základní chyby analogových měřicích přístrojů jsou obvykle zahrnuty v třídě přesnosti. Třída přesnosti je vyjádřena jako maximální možná relativní chyba, pokud se přístroj používá podle stanovených metrologických požadavků výrobce za specifických vztažných podmínek ve specifikovaných mezích (teplota, tlak a vlhkost vzduchu, cizí elektromagnetické pole, poloha, druh měřených veličin apod.).
Nejsou-li dodrženy vztažné podmínky, je poměrná chyba údaje přístroje dána součtem poměrné chyby přístroje (za vztažných podmínek) a poměrnou chybou změn údaje (které vznikají, pokud přístroj nepracuje za vztažných podmínek):

$$\delta_u = \delta_p + \sum \delta_z \tag{4.7}$$

kde $\sum \delta_z$ je souhrn změn údaje přístroje (při měření za jiných než vztažných podmínek), udaný v % skutečné hodnoty *S*.

Dovolené chyby jsou uvedeny např. v normách ČSN IEC 51, třídy přesnosti bývají u většiny analogových měřidel normalizovány nebo jsou uvedeny v návodu přístroje.

Nerodejné



Obr.1: Závislost absolutní Δ a relativní δ chyby analogového přístroje (třída přesnosti vztažena k rozsahu M)

4.4.2 Chyby digitálních přístrojů

Základní chyby digitálních přístrojů se skládají ze dvou složek:
1. část chyby je udána v % údaje měřené veličiny (MH nebo rdg – of reading) a
2. část chyby je vztažena k maximální hodnotě měřicího rozsahu. (MHMR nebo FS – full scale).

Základní chyba absolutní:

$$\Delta_{celk} = \Delta_{čtení} + \Delta_{rozsahu} =$$
$$= \pm \textit{(x \% z údaje měřené hodnoty + y \% z měřicího rozsahu)} \quad (4.8)$$

Chyba rozsahu může být též vyjádřena počtem kvantovacích kroků (digitů).

Základní chyba relativní:

$$\delta_{celková} = \delta_{čtení} + \delta_{rozsahu} \quad (4.9)$$

Je dána součtem relativní chyby měřené hodnoty a relativní chyby vztažené k maximální hodnotě rozsahu vyjádřené v procentech.
Chyby digitálních přístrojů mohou být rozšířeny o chyby, které garantuje výrobce za určitý časový úsek (1 měsíc, 3 měsíce nebo 1 rok).

Převod mezi absolutní a relativní chybou digitálních přístrojů lze vyjádřit dvěma způsoby, a to:
a)

$$\left|\Delta_{celková}\right| = \left|\frac{\delta_1}{100}.U_x\right| + \left|\frac{\delta_2}{100}.U_M\right| = \left|\Delta_1\right| + \left|\Delta_2\right| \quad (4.10)$$

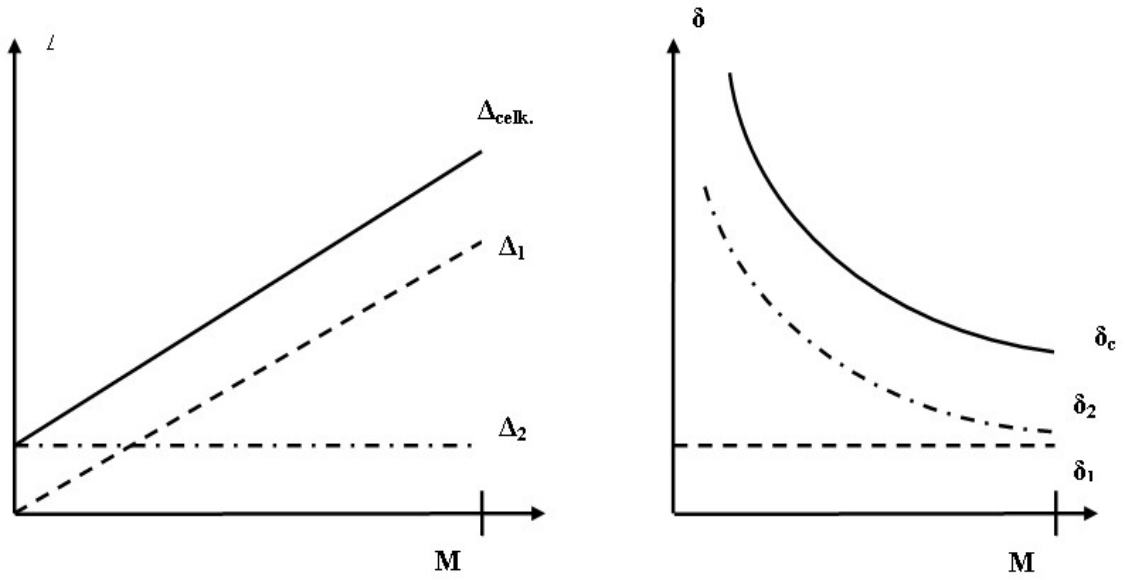
kde δ_1 je relat. chyba v % U_x (údaje měřené veličiny),
δ_2 je relat. chyba v % U_M (hodnoty měřicího rozsahu).

b)

$$\Delta_{celková} = \pm(\frac{\delta_1}{100}.U_X + \Delta_3.k) \quad (4.11)$$

kde δ_1 je relat. chyba v % U_x (údaje měřené veličiny),

Δ_3 je absolutní chyba udaná v počtu jednotek posledního místa číslicového zobrazovače, tj. počet kvantovacích kroků.



Obr.2: Závislost absolutní a relativní chyby digitálního přístroje

4.5 Nejistoty měření

Nejistota měření (výsledku měření) je takový nezáporný parametr, který charakterizuje rozptýlení hodnot přiřazených k měřené veličině na základě určité použité informace. Nejistota se udává nejen u výsledku měření, ale i u parametrů měřidel, u hodnot použitých konstant, atd.

Nejistota měření se obecně skládá z mnoha složek. Základem určování nejistot je statistický přístup k vyhodnocení. Předpokládá se určité (např. normální) rozdělení pravděpodobnosti, které udává, jak se může měřená hodnota odchylovat od skutečné (konvenční) hodnoty, popř. je uvedena pravděpodobnost, s jakou se skutečná hodnota může nacházet v intervalu daném nejistotou. Mírou nejistoty je **směrodatná odchylka**.

4.5.1 nejistoty typu A (značené u_A), které jsou způsobeny většinou náhodnými chybami, a určí se statistickou analýzou naměřených hodnot získaných za přesně definovaných podmínek měření. Zde se uplatňuje přístup matematicko-statistický.

4.5.2. nejistoty typu B (značené u_B) jsou způsobeny známými nebo odhadnutelnými příčinami. Stanoví se postupy, které nejsou přímo definovány ve standardu. U složitějších zařízení při požadování zvýšené přesnosti je nutné provést podrobný rozbor vzniku chyb a z nich stanovit nejistotu způsobem B. Příčin vzniku standardních nejistot hodnocených způsobem B může být více a výsledná standardní nejistota u_B je dána jejich geometrickým součtem. Pokud jsou zdroji nejistot různé veličiny, musíme stanovit koeficienty převodu (označované *c* nebo A) tak, aby všechny dílčí nejistoty měly stejné jednotky / rozměry.

Výpočet dílčích nejistot u_B závisí jen na pravděpodobnostním přístupu.

4.5.3 Kombinovaná standardní nejistota – u_C

je dána geometrickým součtem standardní nejistoty typu A a standardní nejistoty typu B.
Při normálním rozdělení hustoty pravděpodobnosti $N(\mu, \sigma^2)$ měřené veličiny za daných

Nepro

podmínek udává interval, ve kterém se vyskytuje pravá hodnota měřené veličiny s pravděpodobností *P = 68,27 %*:

$$u_X = \sqrt{u_{AX}^2 + u_{BX}^2} = \sqrt{u_{AX}^2 + \sum_{J=1}^{m} c_J^2 . u_{ZJ}^2} \tag{4.12}$$

4.5.4 Rozšířená (celková) nejistota – U

se zavádí, pokud je požadována větší pravděpodobnost výskytu skutečné hodnoty

$$U = k_U . u_X , \tag{4.13}$$

kde k_U koeficient rozšíření (pokrytí) platí pro normální rozdělení hustoty pravděpodobnosti.

Tab. 2: Hodnoty koeficientu rozšíření k_U v závislosti na intervalu rozdělení hustoty pravděpodobnosti N (μ, σ^2)

Rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$ pravděpodobnost P (%)	Koeficient rozšíření k_U (-)
68,27	1
95,45	2
99,00	2,58
99,73	3

V rámci WECC platí dohoda, že se používá $k_U = 2$, tzn., že skutečná hodnota se nachází v daném intervalu s pravděpodobnost P= 95 %.

Určení nejistot výsledků měření (uncertainty of measurement) neřeší veškerou variabilitu měřicího procesu. Nejistota měření souvisí s dalšími termíny, které vyhodnocujeme při zjišťování pravé (konvenční) hodnoty měřené veličiny:
přesnost (accuracy), **správnost** (trueness), **shodnost** (precision), **rozlišitelnost**, **opakovatelnost** (repeatability), **reprodukovatelnost** (reproducibility), **způsobilost kontrolních procesů** VDA.

4.6 Základní pojmy a charakteristiky

Způsobilost strojů se hodnotí ukazateli C_m a C_{mk}.

a) výpočet těchto ukazatelů pomocí aritmetického průměru a směrodatné odchylky:

Aritmetický průměr je odhadem střední hodnoty

$$\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \tag{4.14}$$

výběrová směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_j - \overline{x}\right)^2} \tag{4.15}$$

Výpočet ukazatele způsobilosti C_m je dán vztahem

$$C_m = \frac{\mathrm{USL}-\mathrm{LSL}}{6s} \tag{4.16}$$

Neprodejné

Ukazatel způsobilosti, je-li známa jen dolní toleranční mez:

$$C_{\mathrm{mL}} = \frac{\overline{x} - \mathrm{LSL}}{3s} \tag{4.17}$$

Ukazatel způsobilosti, je-li známa jen horní toleranční mez

$$C_{\mathrm{mU}} = \frac{\mathrm{USL} - \overline{x}}{3s} \tag{4.18}$$

Ukazatel způsobilosti C_{mk} je dán minimální hodnotou z údajů C_{mL} a C_{mU} .

$$C_{\mathrm{mk}} = \min\{C_{\mathrm{mL}}, C_{\mathrm{mU}}\} \tag{4.19}$$

b) výpočet ukazatelů způsobilosti strojů C_m a C_{mk} pomocí mediánu a kvantilů (tato metoda je doporučována jako vhodnější) na hladině významnosti α:

$$C_m = \frac{\mathrm{USL} - \mathrm{LSL}}{Q_{1-\alpha/2} - Q_{\alpha/2}} = \frac{\mathrm{USL} - \mathrm{LSL}}{Q_{0{,}99865} - Q_{0{,}00135}} \tag{4.20}$$

kde Q je kvantil pro hladinu významnosti, obvykle α= 5 %.

Je-li známa dolní toleranční mez

$$C_{\mathrm{mL}} = \frac{\text{ж} - \mathrm{LSL}}{\text{ж} - Q_{\alpha/2}} = \frac{\text{ж} - \mathrm{LSL}}{\text{ж} - Q_{0{,}00135}} \tag{4.21}$$

Nebo je-li známa horní toleranční mez

$$C_{\mathrm{mU}} = \frac{\mathrm{USL} - \text{ж}}{Q_{1-\alpha/2} - \text{ж}} = \frac{\mathrm{USL} - \text{ж}}{Q_{0{,}99865} - \text{ж}} \tag{4.22}$$

Ukazatel způsobilosti C_{mk} je dán minimální hodnotou z C_{mL} a C_{mU} .

$$C_{\mathrm{mk}} = \min\{C_{\mathrm{mL}}, C_{\mathrm{mU}}\} \tag{4.23}$$

Způsobilost měřidel se hodnotí ukazateli C_g a C_{gk}:

$$C_g = \frac{0{,}2\ T}{6\ s} \tag{4.24}$$

$$C_{\mathrm{gk}} = \frac{0{,}2\ T - |\overline{x} - x_m|}{6\ s} \tag{4.25}$$

Ukazatele způsobilosti C_g a C_m charakterizují možnosti procesu dané jeho variabilitou, ukazatele C_{gk} a C_{mk} zohledňují jak variabilitu procesu, tak i centrální umístění hodnot znaku v tolerančním poli, charakterizují skutečnou způsobilost procesu.

Při hodnocení měřicích procesů je neméně důležité sledování variability systému měření i pomocí následujících parametrů:

- funkčnost (performance) je variabilita naměřených dat získaných během dlouhého časového úseku,

Neprodejné

- nejistota měření (uncertainty) představuje interval okolo výsledku měření, o kterém se s jistou pravděpodobností předpokládá, že uvnitř leží pravá hodnota.

4.7 Řešení podle VDA – způsobilost kontrolních procesů, procesy měření a zkoušení

Postupuje se ve 2 krocích:

a) analýza způsobilosti systému měření
b) analýza způsobilosti procesu měření

K posouzení metrologických požadavků na systém měření a proces měření jsou zavedeny:

ukazatele vhodnosti Q_{MS} pro systém měření $$Q_{MS} = \frac{2.U_{MS}}{TOL} . 100\ \%$$ (4.26)

ukazatele vhodnosti Q_{MP} pro proces měření $$Q_{MP} = \frac{2.U_{MP}}{TOL} . 100\ \%$$ (4.27)

kde *U* = rozšířená nejistota systému/procesu měření
TOL = tolerance (např. podle ČSN ISO 14253-1)
MPE = max. dovolená odchylka, chyba.

Ukazatelům se stanovují limitní (maximální) hodnoty Q_{MS_max} a Q_{MP_max} ,
obvykle Q_{MS_max} = 15 % a Q_{MP_max} = 30 %

Pokud jsou ukazatelé menší než jejich limitní hodnoty, je systém měření i proces měření hodnocen jako vhodný.

Stanovení složek nejistoty měření může odpadnout, pokud je MPE doložena a dokumentována. V takovém případě platí pro výpočet nejistoty:

$$u_{MS} = \frac{MPE}{\sqrt{3}} \quad (4.28)$$

Pokud nejistotu MS ovlivňuje větší počet MPE, provádí se jejich součet (jako u nejistot typu B).

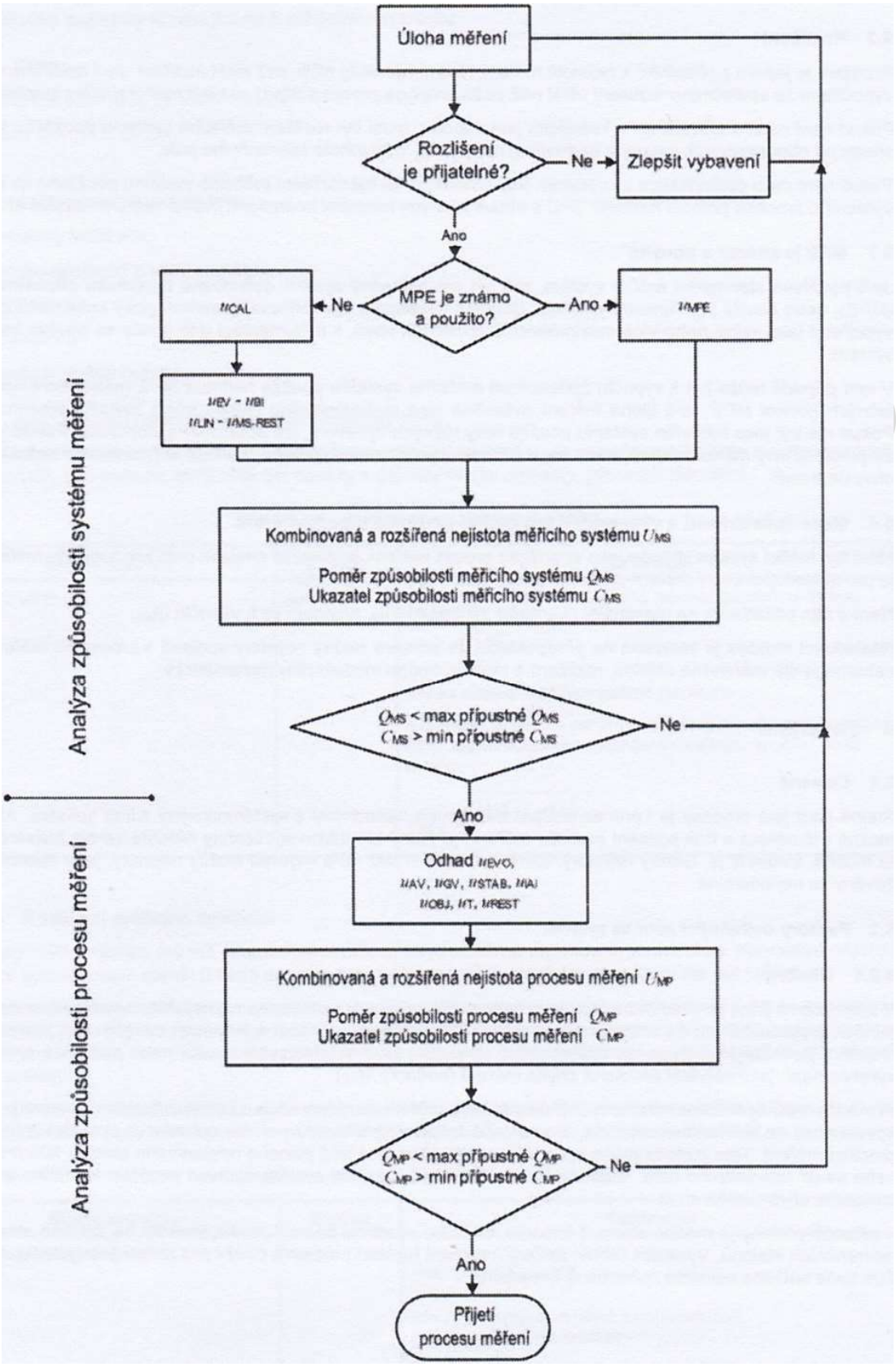
Minimální možné tolerance se vypočtou úpravou předchozích rovnic (4.26 a 4.27)

$$\boldsymbol{TOL_{MIN_UMS} = \frac{2.U_{MS}}{Q\ MS_MAX} . 100\ \%} \quad (4.29)$$

$$\boldsymbol{TOL_{MIN_UMP} = \frac{2.U_{MP}}{Q\ MP_MAX} . 100\ \%} \quad (4.30)$$

kde RE je rozlišení,
MPE je max. dovolená odchylka, chyba

Neprodejné



Obr. 3: Postupový diagram analýzy způsobilosti systému měření a procesu měření

V závislosti na parametru ukazatele vhodnosti procesu měření Q_{MP} lze zjistit vztah mezi pozorovanou hodnotou indexu způsobilosti a skutečnou hodnotou indexu způsobilosti (čím větší je Q_{MP}, tím větší je skutečná hodnota indexu způsobilosti při stejné hodnotě

V literatuře [L29] je též uvedena závislost mezi pozorovanou hodnotou indexu způsobilosti procesu a skutečnou hodnotou pro typické hodnoty Q_{MP} 10 %, 20 %, 30 %, 40 % a 50 %.

Systémy a procesy měření musí být dostatečně a komplexně hodnoceny**.** Při tom nesmí být ignorovány vlivy, jako je nejistota při kalibraci etalonů a jejich návaznost na národní a mezinárodní etalony, vliv měřeného objektu nebo dlouhodobá stabilita procesu měření. Výsledku měření se uvedením nejistoty připisuje reálná kvalita či záruka.

Indexy C_g a C_{gk} se používají k vyjádření, zda jsou použitá zařízení pro měření způsobilá. Následující výpočet vychází z normy VDA 5.

Na etalonu je nutno zpravidla provést alespoň 25 opakovaných měření. Z naměřených hodnot, resp. z jejich rozptýlení se vypočítá směrodatná odchylka s_g

Index způsobilosti C_g, často nazývaný **potenciál měřicího systému** nebo **opakovatelnost,** je dán výpočtem výběrové směrodatné odchylky:

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{\bar{X}}_g)^2} \qquad (4.31)$$

je následně dán výpočtem

$$C_g = \frac{0{,}2\cdot(USL-L\quad)}{4\cdot s_g} \qquad (4.32)$$

$$C_{gk} = \frac{0{,}1\cdot(USL-LSL)-B_i}{2\cdot s_g} \qquad (4.33)$$

kde hodnota B_i = systematická chyba (absolutní hodnota mezi $\bar{\bar{X}}_g$ a X_m).

$B_i = |\bar{\bar{X}}_g - X_m|$

X_m…skutečná hodnota etalonu

Poznámka:
Některé firmy používají místo $4s_g$ resp. $2s_g$ (pravděpodobnost pokrytí P = 95,45 %) hodnoty $6s_g$ resp.$3s_g$ (pravděpodobnost pokrytí P = 99,73%)

VDA používá další pojmy, pokud se řeší shoda se specifikací:
Míra rozlišení (%) = (rozlišení/ T) . 100 %

a) rozlišení je vhodné, je-li míra rozlišení ≤ 5 %
b) rozlišení je nevhodné, je-li míra rozlišení > 5 %

Neprodejné

Nejmenší kontrolovatelná tolerance T_{min} (v závislosti na mezní hodnotě způsobilosti G_{PP}):

$$T_{min} = \frac{6\,u_{PM}}{G_{PP}} \quad (4.34)$$

kde u_{PM} je standardní nejistota procesu měření

g_{PP} je ukazatel způsobilosti (odpovídá zúžení tolerance T pro oblast shody):

$$g_{PP} = 2\,U\,/T \quad (4.35)$$

Mezní hodnota ukazatele způsobilosti se označuje G_{PP}.

Kontrolní proces je způsobilý, pokud $g_{PP} \leq G_{PP}$

Je-li tolerance pozorovaného znaku $T \geq T_{min}$, je kontrolní měřidlo pro kontrolní proces použitelné.

Toleranční meze a rozšířené nejistoty měření:

a) lineární modely

Interval shody pro výrobce (oboustranné toleranční omezení) – výrobce má velké zmenšení tolerance:

$$T' = T - 2\,.\,U \quad (4.36)$$

Interval shody pro odběratele (oboustranné toleranční omezení)

$$T'' = T + 2\,.\,U \quad (4.37)$$

b) kvadratický model

Interval shody pro výrobce (oboustranné toleranční omezení)

$$T''' = \sqrt{T^2 - 4.U^2} \quad (4.38)$$

5 Měřidla a pomocná měřicí zařízení

5.1 Hlavní měřidla

Hlavní měřidla jsou ta, která měří veličinu vlastnosti příslušného dílu/produktu (např. posuvka délku, multimetr odpor, teploměr teplotu atd.).

Některé vlastnosti jsou společné pro všechny měřicí systémy:

- systém měření musí být statisticky stabilní; tzn., že působí jen náhodné příčiny,
- variabilita měřicího systému musí být menší oproti variabilitě výrobního procesu a specifikované toleranci. V opačném případě by měření nemělo smysl.
- Jednotlivá měření postupují v menších krocích v porovnání s variabilitou výrobního procesu a specifikovanou tolerancí, teoreticky přírůstkový krok měření nemá být větší než 0,1 z menší hodnoty technické tolerance a variability výrobního procesu.
- Statistické vlastnosti systému měření se mohou měnit v závislosti na vlastnostech měřeného produktu, jak je uvedeno již dříve, i největší variabilita systému měření musí být malá vůči variabilitě výrobního systému.

Neprodejné

5.2 Pomocná měřidla a pomůcky

Pomocná měřidla umožňují provádět interní měření za stejných podmínek, popř. se používají k interní kontrole měřidla před a po měření.

6 Obecné podmínky měření – veličiny ovlivňující výsledky měření

Požadavky na zabezpečování kvality měřicího zařízení jsou definovány v tomto rozsahu:

- systém managementu měření (zahrnuje i metrologický konfirmační systém pro měřicí zařízení a požadavky na řízení procesů měření),
- vhodnost kontrolních měřidel (VDA).

Efektivní systém managementu měření zabezpečuje odpovídající způsobilost měřicího zařízení i procesů měření a je významný z hlediska dosažení odpovídající kvality produktu a řízení rizika nesprávných výsledků měření.
Cílem systému managementu měření je schopnost řídit na přijatelné úrovni rizika, že výstupem měřicího zařízení a procesu měření by mohly být nesprávné výsledky. Riziko nesprávných výsledků musí být udržováno na úrovni přijatelné pro stabilní a způsobilý výrobní proces. [L21] [L22] [L32]

V rámci systému managementu měření identifikovat dva základní procesy:

1. proces měření, kde za vstup lze považovat identifikaci a kvantifikaci požadavků zákazníka na měření a produkt, popis funkčních charakteristik procesu měření a za výstup lze považovat míru přesnosti (správnosti, shodnosti) změřeného výsledku, získaného v laboratoři nebo výrobním procesu;
2. proces metrologické konfirmace měřicího vybavení, kde za vstup lze považovat metrologické požadavky zákazníka a metrologické charakteristiky měřicího vybavení a za výstup je považována metrologická konfirmace měřicího zařízení.

7 Metrologické meze využití metody měření

Celý měřicí systém obsahuje přístroje, které měří danou veličinu. Způsob, jak je měřicí systém instalován a provozován, může mít v některých případech velký vliv na hodnotu sledované veličiny. Proto se musí na stanovišti obsluhy (kontrola operátorů) zachovávat standardní podmínky, tj. musí být zajištěny stejné montážní (instalace) a provozní podmínky, aby byla zajištěna minimalizace rozdílů.
U veličin, kde je hodnota závislá na okolní teplotě, musí být okolní teplota ve zkušebním prostředí podle příslušné normy.

Použité přístroje mají mít práh citlivosti, který v případě přímého měření umožní naměření nejméně 10-krát citlivěji hodnotu než je očekávaná variabilita měřicího procesu (např. možnost měření napětí voltmetrem s přesností $\pm 0{,}1$ V, je-li předpokládaná variabilita procesu měření napětí řádově $\pm$ 1 V).

Neprodejné

Metrologická konfirmace musí zajistit, že metrologické charakteristiky měřicího zařízení budou splňovat metrologické požadavky na proces měření. Metrologické charakteristiky měřicího vybavení mohou být podle měřicího vybavení charakterizovány rozsahem, chybou správnosti/přesností, stálostí, hysterezí, driftem, rozlišitelností, prahem citlivosti atd.

8 Kontrola měřidla před použitím a příprava na měření

Každý měřicí i kontrolní systém (viz §3 zákona 505/1990 Sb. O metrologii v platném znění a vyhláška č. 345/2002 Sb. v platném znění) musí být kontrolovány ověřením nebo kalibrací. U stanovených měřidel je doba ověření uvedena ve vyhlášce č. 345/2002 Sb..

8.1 Shromáždění informací o měřeném výrobku

Při řešení VDA musí mít měřené výrobky, měřicí systémy i prostředí a operátoři po celou dobu experimentu zajištěné konstantní podmínky. Musí být omezeny takové podmínky, které mají nepříznivý vliv na výsledky měření (např. změny hluku, vysoké/nízké teploty, silná elektrická nebo magnetická pole).

8.2 Definování kontrolních bodů a polohy pozorovatele

Při řešení VDA pracují všichni operátoři ve stejné poloze vůči měřicímu zařízení i měřenému dílu.

8.3 Příprava měřené soustavy

Před měřením musí být připraven plán řešení VDA podle konkrétních podmínek (počet opakování, počet dílů, počet měřicích systémů, počet operátorů apod.)

8.4 Příprava měřicího přístroje

Měření se provádí stanovenými nebo pracovními měřidly, která mají platné ověření nebo kalibraci. Před měřením provádíme vizuální kontrolu přístroje a provede se v případě potřeby i interní kontrola nastavení přístroje.

9 Postup měření

9.1 Doplňkové měření

Toto měření se provádí pouze v případě, kdy je nutné doplnit nějaké chybějící informace.

9.2 Hlavní měření

Měření se provádí podle metodiky VDA, pro stanovení vhodnosti měřidla je navržena metoda založená na hodnocení průměru a rozpětí, tj. způsob, kterým se získá jak odhad opakovatelnosti, tak reprodukovatelnosti systému měření.

Neprodejné

Postupuje se ve 2 krocích:

a) analýza způsobilosti systému měření,
b) analýza způsobilosti procesu měření.

ad a) Zjistí se, zda je rozlišení systému měření přijatelné. Pokud není, je nutné zlepšit výběr měřicího systému/přístroje, aby dosahoval požadované vlastnosti.
Pokud je rozlišení přijatelné, zjistíme, zda je známa maximální dovolená odchylka MPE:

- pokud ano, vypočte se kombinovaná a rozšířená nejistota,
- pokud není MPE známá, musíme provést kalibraci měřicího systému/přístroje.

Pak se vypočte ukazatel způsobilosti C_{MS} a ukazatel vhodnosti (poměr způsobilosti) Q_{MS} pro systém měření, viz (4.26)
Pokud jsou splněny podmínky $Q_{MS} <$ maximálně přípustné Q_{MS_max},
$C_{MS} >$ minimálně přípustné C_{MS_min},
je analýza způsobilosti systému měření provedena.

ad b) Zjistí se jednotlivé složky nejistot procesu měření a vypočte se kombinovaná a rozšířená nejistota procesu měření U_{MP}.

Pak se vypočte ukazatel způsobilosti C_{MP} a ukazatel vhodnosti (poměr způsobilosti) Q_{MP} pro systém měření, viz (4.27)

Pokud jsou splněny podmínky $Q_{MP} <$ maximálně přípustné C_{MP_max},
$C_{MP} >$ minimálně přípustné C_{MP_min},
je analýza způsobilosti procesu měření provedena.

Stanovení složek nejistoty měření může odpadnout, pokud je MPE doložena a dokumentována. V takovém případě platí pro výpočet nejistoty vzorec, viz (4.28)

Minimální možné tolerance se vypočtou podle vztahů, viz (4.29) a (4.30)

Index způsobilosti C_g, (potenciál měřicího systému, opakovatelnost) je dán výpočtem výběrové směrodatné odchylky, viz (4.31)

a je následně dán také výpočtem podle rovnic, viz (4.32) a (4.33)

9.3 Vyhodnocení měření

Měření se vyhodnocuje obvykle některým validovaným software. Pokud není takový SW k dispozici, musí se postupovat podle jednotlivých vztahů, které jsou uvedeny v odstavcích 4.4, 4.5 a 4.7.
Pokud by se řešila shoda se specifikací, pak se použijí vztahy (4.34), (4.35), (4.36, (4.37) a (4.38).

Neprodejné

10 Stanovení nejistoty měření

10.1 Metodika stanovení nejistot měření

V metodice VDA se nejistoty měření vyhodnocují na základě maximálních odchylek, viz rovnice (4.28):

$$u_{MS} = \frac{MPE}{\sqrt{3}}$$

Pokud nejistotu ovlivňuje větší počet MPE, provádí se jejich součet (jako u nejistot typu B).
Rozšířená nejistota závisí na pořadovém stupni konfidence. Pokud je konfidenční interval 95 % a předpokládáme pravděpodobnostní rozdělení normální, je činitel rozšíření k = 2.

Standardní nejistota $u_{MP} = \sqrt{u_{kal}^2 + u_w^2 + u_{sys}^2}$ (10.1)

kde u_{kal} nejistota kalibrace,
u_W nejistota seřízení referenčního měřidla a opakované směrodatné odchylky (chyby),
u_{sys} nejistota získaná ze systematických odchylek.

10.2 Příklad

Nejistota kalibrace

$$u_{kal} = U_{kal} / k_{kal} = 0{,}026 / 2 = 0{,}013 \text{ mm}$$

Nejistota seřízení referenčního měřidla a opakované směrodatné odchylky (chyby)

$$u_W = 0{,}040 \,.\, 0{,}577 = 0{,}031 \text{mm}$$

Nejistota získaná ze systematických odchylek

$$u_{sys} = 0{,}577 \,.\, Bi = 0{,}577 \,\, (x_g - x_m) - 0{,}577 \,.\, 0{,}0148 = 0{,}00854 \text{ mm}$$

Standardní nejistota $u_{MP} = \sqrt{(169 + 961 + 72{,}93).10^{-6}} = 34{,}68 \,.\, 10^{-3}$ mm

11 Záznamy o měření

Protokol o provozním měření vhodnosti měřidel má mít jedinečné kódové označení pro jeho jednoznačnou identifikaci. Jednotlivé strany protokolu mají být očíslovány.
Příklad struktury protokolu o provozním měření, viz níže.

A. Identifikační údaje

A1 Název projektu;
A2 Druh měření (měřené veličiny, typ měření);
A3 Objednatel;
A4 Zpracovatel;
A5 Osoby provádějící měření;

Neprodejné

A6 Datum a čas měření.

B. Podklady
B1 Seznam vstupních podkladů (projektová dokumentace, fotodokumentace);
B2 Seznam použitých technických norem a právních předpisů.

C. Prostředí, okolí
C1 Popis posuzovaného místa, měřidel, popř. operátorů;
C2 Výrobky, na kterých se měření provádí (typ, označení, atd.).

D. Měřená soustava
D1 Popis zdroje nebo zdrojů zahrnutých do referenčních hodnot;
D2 Popis provozních podmínek.

E. Parametry prostředí
E1 Popis meteorologických podmínek, pokud to měření vyžaduje (tlak, vlhkost);
E2 Teplota prostředí.

F. Měřicí přístroje
F1 Hlavní měřicí přístroje (podle druhu měřené veličiny, typ, výrobce, číslo, ověření nebo kalibrace);
F2 Pomocné měřicí přístroje (teploměr, vlhkoměr apod.).

G. Měření
G1 Stav měřené soustavy;
G2 Typ měření, časové intervaly měření (referenční, dlouhodobý);
G3 Měřené charakteristiky, u kombinovaných jejich složky;
G4 Kontrolní měření;
G5 Naměřené (popř. korigované) hodnoty (tabulka);
G6 Nejistoty měření;
G7 Stanovení požadovaných korigovaných hodnot s vyjádřením rozšířené nejistoty.

H. Vyhodnocení měření
H1 Odstraní se všechna data, která obsahují nežádoucí události;
H2 Provede se úprava neúplných nebo poškozených dat;
H3 Stanoví se kombinovaná nejistota u jednotlivých charakteristik pro konkrétní měření;
H4 Porovnání výsledků s požadavky legislativy;
H5 Zhodnocení měření (zda vyhovuje/nevyhovuje měřicí systém/operátor pro daný druh měření);
H6 Podpis zodpovědné osoby.

Neprodejné

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.

Neprodejné