



NEJISTOTY PŘESNÝCH DÉLKOVÝCH MĚŘENÍ Z POHLEDU TERMINOLOGIE A JEJICH DEFINIC

Ing. Ing. Štěpánka DVOŘÁČKOVÁ

Abstrakt

V dnešní době samotný výsledek bez udání nejistoty je již zcela bezcenný. Měřením reprezentativního vzorku téže veličiny, třebaže za podmínek opakovatelnosti, získáme totiž pokaždé různé hodnoty. Tuto „různorodost“ mají na svědomí tzv. zdroje nejistoty, které proces měření ovlivňují. Cílem tohoto příspěvku je uvést čtenáře do problematiky nejistot měření z pohledu terminologie a jejich definic.

Klíčová slova: metrologie, měření, etalon, přesnost měření, nejistota měření, chyba měření, kalibrace

ÚVOD

V současné době se prolínají dva přístupy k vyhodnocování výsledků měření. První, v našich končinách patřičně zažitý a dlouhou dobu v praxi používaný, představuje klasické vyhodnocování chyb měření. Tento přístup se uplatňuje u měření, jehož výstupem je jediný výsledek měření, např. kalibrace měřidla. Tato klasická metoda však již neumožňuje plnohodnotné vyjádření dosažené přesnosti měření, zejména popis hlavních vlivů na dané měření, které mají vliv na jeho kvalitu a další požadované parametry.

Novým přístupem je v souladu s novými národními a mezinárodními předpisy z oblasti metrologie přístup z pohledu nejistoty měření. Je to přístup, který umožňuje efektivnější vyšetření všech vlivů na měření a faktorů, které naše měření mohou ovlivnit. Jeho zavedení v praxi znamená, že k výsledku měření při kalibraci přidružíme nejistotu měření, která je vyhodnocena z skutečných podmínek měření, za kterých byla kalibrace provedena. Po n opakovaných kalibracích stejného nebo podobného měřidla pak vypočtená nejistota může být vyhodnocena znovu, tentokrát již na základě opakovaných měření za podmínek opakovatelnosti měření.

NEJISTOTY MĚŘENÍ

Pojem nejistota měření je definován v ČSN 01 0115 jako parametr přidružený k výsledku měření charakterizující rozsah hodnot, které je možno důvodně přiřadit k měřené veličině. Jedná se tedy o interval okolo výsledku měření, ve kterém leží (s určitou pravděpodobností) pravá hodnota veličiny. Pravou hodnotu veličiny sice nelze určit, ale lze ji stanovit (pomocí nejistoty) intervalem "od - do", ve kterých bude pravděpodobně ležet.

ZPŮSOB VYHODNOCOVÁNÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ A JEJÍ TYPY

Na počátku vyhodnocení nejistoty měření stojí detailní pochopení podstaty tohoto měření, které bývá popsáno tzv. modelem měření. Nejistoty měření se skládají z několika dílčích složek.

Ke stanovení jejich velikosti se užívají podle ČSN P ENV 13005 dva základní způsoby (typy) stanovení nejistoty:

- způsob A vyhodnocení standardní nejistoty měření (statistické zpracování naměřených údajů);
- způsob B vyhodnocení standardní nejistoty měření (jiné než statistické zpracování naměřených údajů).

V normě ČSN P ENV 13005 jsou pak definovány druhy nejistoty:

- standardní nejistota;
- kombinovaná nejistota;
- rozšířená nejistota.

Vyhodnocení standardních nejistot měření způsobem A

Dle definice je nejistota typu A stanovena výpočtem z opakovaně provedených měření dané veličiny. V praxi to znamená, že pokud provedeme opakovaný odečet hodnoty neměnné měřené veličiny a máme k dispozici měřicí přístroj s dostatečným rozlišením, nevyhneme se jistému rozptylu naměřených hodnot.

Předpokládáme, že během tohoto opakovaného měření se nemění ani daná měřená veličina, ani ovlivňující veličiny, které na naše měření působí.

Dále je v definici uvedeno, že mírou nejistoty typu A je výběrová směrodatná odchylka výběrového průměru. Výběrová odchylka proto, že naměřené hodnoty x představují určitý malý výběr z prakticky neomezeného množství hodnot, kterých veličina může nabývat. Výběrového průměru proto, že hodnota, která se uvádí jako výsledek měření, se získá výpočtem průměrné hodnoty opakovaně provedených odečtů.

Tomuto matematickému popisu také odpovídá příslušný vztah pro výpočet nejistoty typu A:

$$u_A(x) = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

kde:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

Pro platnost tohoto vztahu je nutné, aby počet odečtených měření byl větší než 10 (tj. $n \geq 10$), ze kterých se nejistota typu A vypočítá. Není-li možné dodržet tuto podmínku, je nutno provést doplňkovou korekci pro zohlednění malého počtu opakovaných měření a nebo nejistotu vyhodnotit způsobem B.

Vyhodnocení standardních nejistot způsobem B

Postup pro stanovení standardní nejistoty typu B je založen na stanovení nejistoty jiným než statistickým vyhodnocením série pozorování. V tomto případě vychází stanovení nejistoty z určitých odborných znalostí a racionálního úsudku pracovníka, který měření provádí a nejistoty následně vyhodnocuje. Tyto nejistoty mohou být odvozeny na základě:

- údajů a zkušeností z dříve provedených měření;
- zkušeností s chováním a vlastnostmi příslušných materiálů a měřicího vybavení, popřípadě jejich obecné znalosti;
- údajů výrobce měřicí techniky;
- údajů uváděných v kalibračních listech;
- nejistot referenčních údajů převzatých s příruček.

Při určování nejistoty metodou typu B se vychází z dílčích nejistot jednotlivých zdrojů $u_B(z_j)$.

Je-li známa maximální odchylka j -tého zdroje nejistoty $z_{j \max}$, určí se nejistota $u_B(z_j)$ podle následujícího vztahu:

$$u_B(z_j) = \frac{z_{j \max}}{k} \quad (3)$$

Kde k je součinitel vycházející ze zákona rozdělení, kterým se příslušný zdroj nejistot řídí, takže např. pro normální (Gaussovo) rozdělení je $k = 2$, popř. 3, pro rovnoměrné rozdělení $k = 1,73$ atd.

V některých případech však může být známa již přímo hodnota standardní nejistoty $u_B(z_j)$ (např. z kalibračního listu měřidla).

Výsledná nejistota se určí metodou B pro p zdrojů $z_1, z_2, \dots, z_j, z_p$ dle následujícího vztahu:

$$u_B(x) = \sqrt{\sum_{j=1}^p A_j^2 u_B^2(z_j)} \quad (4)$$

kde: $u_B(z_j)$ jsou nejistoty jednotlivých zdrojů,
 A_j jejich součinitele citlivosti.

Touto úpravou se nejistotě typu B dostává charakteru směrodatné odchylky a jako s takovou se s ní dále pracuje.

Použití rovnoměrného rozdělení představuje přiměřené statistické vyjádření nedostatečné znalosti vstupní (měřené) veličiny x , pokud o ní nejsou známy jiné informace, než jsou např. limity její variability.

Pokud ale víme, že pravděpodobnost výskytu hodnot v okolí středu intervalu hodnot je vyšší než pravděpodobnost výskytu hodnot v krajích intervalu, může být vhodnější použití trojúhelníkového nebo normálního rozdělení. Naopak, pokud je výskyt hodnot v mezích intervalu pravděpodobnější než ve středu intervalu, může být vhodnější použití U rozdělení.

Nejistoty kombinované

V reálné praxi jen málokdy vystačíme s jedním typem nejistoty měření. Ve většině případů se stanovuje kombinovaná nejistota měření, která je výsledkem kombinace obou typů nejistoty měření A i B. Výsledná kombinovaná standardní nejistota výsledků měření (veličiny x) je geometrickým součtem nejistoty typu A a nejistoty typu B dle následujícího vztahu:

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

Standardní kombinovaná nejistota u_c byla určena s pravděpodobností $P = 68\%$, tj. pro koeficient rozšíření $k = 1$. Pro jinou pravděpodobnost se nejistota měření upraví vynásobením koeficientem rozšíření vhodného rozdělení.

Nejistoty rozšířené

Jak již bylo v textu uvedeno, výše uvedeným postupem se získá standardní kombinovaná nejistota. Označení „standardní“ vyjadřuje, že při skládání této nejistoty byly použity hodnoty směrodatných odchylek. Za určitých podmínek je možno považovat rozdělení takto určené nejistoty za přibližně normální. Z toho je zřejmé, že takto vypočtená



nejistota měření pokrývá asi 67 % možných variant výsledků. Jinými slovy až 1/3 výsledků měření se může ocitnout mimo takto stanovené pásmo nejistot.

Z metrologického hlediska je taková situace nepřipustná, proto přistupujeme k vynásobení standardní nejistoty koeficientem rozšíření, který nám umožní získat pokrytí možných výsledků s vyšší pravděpodobností.

V praxi se nejčastěji používá postup určení koeficientu rozšíření dohodou pro určitou odhadovanou pravděpodobnost pokrytí výsledku měření. Z paralely s normálním rozdělením jsou vžité dva základní koeficienty:

$k = 2$ pro pravděpodobnostní pokrytí přibližně 95%;

$k = 3$ pro pravděpodobnostní pokrytí přibližně 99,7%.

Rozšířenou nejistotu vypočteme ze vztahu:

$$U = k \cdot u_c \quad (6)$$

ZÁVĚR

Cílem tohoto příspěvku bylo uvést čtenáře do problematiky nejistot měření z pohledu terminologie a jejich definic.

Tento článek souvisí s řešením projektu MSM 4674788501, který je podporován MŠMT ČR.

LITERATURA

- [1] Čech Jaroslav; Pernikář Jiří; Podaný Kamil. Strojírenská metrologie. 4.vydání. CERM, 2005. ISBN 80-214-3070-2;
- [2] Šrámek Jan. Nejistoty přesných délkových měření [Bakalářská práce]. VUT Brno 2008. Fakulta strojního inženýrství;
- [3] Pernikář Jiří; Tykal Miroslav. Strojírenská metrologie II. 1.vydání. CERM, 2006, ISBN 80-214-3338-8;
- [4] www.cmi.cz -oficiální stránky ČMI.



UNCERTAINTIES OF ACCURATE LENGHT MEASUREMENT OUT OF THE TERMINOLOGY PROJECTION AND THEIR DEFINITION.

Abstrakt

In this time are earnings quite valueless free of uncertainty. We get every time of the measurements representative specimen on one's behalf contion of repeatability. The diference implicate mine of uncertainty which influence the process of measurement. The drift of this article is bring in readers to problems of measurement uncertainty out of the terminology projection and their definition.

Keywords: metrology, measurement, etalon (standard), accuracy of measurement, uncertainty of measurement, error of measurement, calibration

AUTOR

Ing. Ing. Štěpánka DVOŘÁČKOVÁ
Fakulta strojní, katedra obrábění a montáže
Technická univerzita v Liberci,
Studentská 2, 461 17 Liberec, ČR
stepanka.dvorackova@centrum.cz

