



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VYJADŘOVÁNÍ PŘESNOSTI MĚŘIDEL A MĚŘENÍ

THE EXPRESSION OF THE ACCURACY OF THE GAUGE AND
MEASUREMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

HELENA SVOBODOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ PERNIKÁŘ, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Helena Svobodová

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vyjadřování přesnosti měřidel a měření

v anglickém jazyce:

The expression of the accuracy of the gauge and measurement

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Přehled legislativy v oblasti metrologie
2. Základní pojmy a definice
3. Chyby měření a jejich eliminace
4. Základní charakteristiky přesnosti měřidel a měření
5. Závěr

Cíle bakalářské práce:

Vyjadřování přesnosti měření je popsáno v mnoha dokumentech, které jsou často nepřehledné a pro praxi těžko použitelné. Cílem práce je vytvořit dokument, který bude odpovídat platným normám a bude vyhovovat pro potřeby metrologické praxi.

Seznam odborné literatury:

1. PERNIKÁŘ, J., TYKAL, M. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-2.
2. ČECH, J., PERNIKÁŘ, J., PODDANÝ, K. Strojírenská metrologie. 4. přepracované vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 176s. ISBN 80-214-3070-2
3. CHUDÝ, V., PALENČÁR, R., KUREKOVÁ, E., HALAJ, M. Meranie technických veličín. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 1999. 688 s. ISBN 80-227-1275-2.
4. ČSN 01 0115 Mezinárodní slovník základních termínů v metrologii.
5. VDA 5 Způsobilost kontrolních procesů. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost 2004. 112 s. ISBN 80-02-01656-4.
6. Fiala, A.: Statistické řízení procesů. Prostředky a nástroje pro řízení a zlepšování procesů. VUT v Brně, 1997. ISBN 80-214-0895-2

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 30.10.2013




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Práce řeší otázku přesnosti měření, přesnosti měřidel a jejich vyjadřování.

Nastiňuje legislativní základ metrologie v České republice a interpretuje definice základních termínů používaných v metrologii, uvedené v novém vydání Mezinárodního metrologického slovníku (VIM 3:2007). Specifikuje a na jednoduchých příkladech vysvětluje chyby měření a uvádí možnosti jejich eliminace. Dále popisuje jednoduchý způsob stanovení nejistoty měření.

Smyslem této práce je vyložit uvedenou problematiku tak, aby byla srozumitelná a použitelná pro běžnou metrologickou praxi.

Klíčová slova

Přesnost měření, nejistota měření, chyba měření, justování, kalibrace, etalon.

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the issue of measurement, accuracy of measuring instruments and their expressing.

It outlines the legislative basis of metrology in the Czech Republic and interprets the definitions of basic terms used in metrology. These definitions are listed in the new edition of International dictionary of metrology (VIM 3:2007). It specifies and exemplifies measurement errors and presents possibilities of their elimination. Further, it describes a simple way of measurement uncertainty determination.

The aim of this thesis is to explain the issue in a way that it is understandable and can be applicable for the common metrology practice.

Key words

Measurement accuracy, measurement uncertainty, measurement error, adjustment, calibration, measurement standard.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SVOBODOVÁ, Helena. *Vyjadřování přesnosti měřidel a měření*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 47 s. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Vyjadřování přesnosti měřidel a měření** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

26. května 2014

Datum

Helena Svobodová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu docentu Pernikářovi za metodické vedení při zpracování této bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	8
1 PŘEHLED LEGISLATIVY V OBLASTI METROLOGIE	10
1.1 Zákony.....	10
1.2 Vyhlášky	11
2 ZÁKLADNÍ POJMY, TERMÍNY A DEFINICE	13
2.1 Měření	13
2.2 Hodnota veličiny	15
2.3 Kalibrace	23
3 CHYBY MĚŘENÍ A JEJICH ELIMINACE.....	25
3.1 Chyby měření	25
3.2 Eliminace chyb měření.....	29
4 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY PŘESNOSTI MĚŘIDEL A MĚŘENÍ.....	30
4.1 Přesnost měření	30
4.2 Přesnost měřidel	36
ZÁVĚR	39
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	40
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	41
SEZNAM PŘÍLOH.....	43

ÚVOD

Požadavky na přesnost výrobků se neustále zvyšují. Kvalitní výrobek nelze vyrobit bez výrobních prostředků na odpovídající technické úrovni, dostatečného počtu kvalifikovaného personálu a množství času potřebného pro provedení daných činností.

Měřidla, jejich přesnost a následně přesnost při měření, jsou pak základními faktory, které se na kvalitě finálního výrobku podepisují. Bezchybné měření neexistuje z čehož vyplývá, že každé měření je zatíženo chybou. Snahou však je při měření tyto chyby v maximální možné míře omezit.

Přesnost kontrolních prostředků proto musí být o jeden až dva řády vyšší.

Snahou státních orgánů v oblasti metrologie je, aby legislativní a normalizační činnosti zajistily potřebné zákony normy a předpisy. V České republice byla platná norma ČSN 01 0115:1996 „Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii“ nahrazena technickou normalizační informací TNI 01 0115:2009 „Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)“.

Nový slovník je univerzálnější a platí i pro obory analytické chemie a laboratorní medicíny. Pro zaběhlou strojírenskou praxi však může být poněkud nepřehledný a některé termíny zasluhují podrobnější vysvětlení – například termín „nejistota měření“ včetně poznámek¹:

nejistota měření

nejistota

nezáporný parametr charakterizující rozptýlení **hodnot veličiny** přiřazených k **měřené veličině** na základě použité informace

Poznámka 1:

Nejistota měření zahrnuje složky pocházející ze systematických vlivů, jako například složky související s **korekcemi** a přidělenými hodnotami veličiny **etalonů**, stejně jako **definiční nejistotu**. Někdy nejsou odhadnuté systematické vlivy korigovány, ale místo toho jsou začleněny jako složky přidružené nejistoty měření.

Poznámka 2:

Parametrem může být např. směrodatná odchylka nazvaná **standardní nejistota měření** (nebo její specifikovaný násobek), nebo polovina šířky intervalu, který má stanovenou **pravděpodobnost pokrytí**.

Poznámka 3:

Nejistota měření obecně sestává z mnoha složek. Některé z těchto složek smějí být vyhodnoceny **vyhodnocením nejistoty měření způsobem A** ze statistického rozdělení hodnot veličiny z řady **měření** a mohou být charakterizovány směrodatnými odchylkami. Jiné složky, které smějí být vyhodnoceny **vyhodnocením nejistoty měření způsobem B**, mohou být také charakterizovány směrodatnými odchylkami vypočtenými z funkcí hustoty pravděpodobností založených na zkušenosti nebo jiné informaci.

Poznámka 4:

Obecně se pro daný soubor informací předpokládá, že nejistota měření je přidružena ke stanovené hodnotě veličiny přiřazené k měřené veličině. Modifikace této hodnoty má za následek modifikaci přidružené nejistoty.

Významem a posláním metrologie totiž není pouze realizace vlastního procesu měření, ale také zajištění jeho jednotnosti a správnosti, a to jak po stránce terminologické, tak obecných technických zásad a principů měření. Ve strojírenství se jedná zejména o požadavek na vzájemné lícování dílů a zajištění jejich jednoduché zaměnitelnosti při případných opravách. Při obchodních činnostech je zase zapotřebí zabezpečit, aby žádná ze zúčastněných stran nebyla zvýhodněna, ani poškozena (například v obchodním vztahu dodavatele a odběratele).

Úkolem této bakalářské práce, zaměřené na problematiku vyjadřování přesnosti měřidel a měření, je navrhnout srozumitelný systém hodnocení přesnosti měření a kontroly, který by vycházel z nejnovějšího vydání „Mezinárodního metrologického slovníku“ a přitom byl pro strojírenskou praxi dostatečně srozumitelný.

1 PŘEHLED LEGISLATIVY V OBLASTI METROLOGIE

Základem národního metrologického systému České republiky jsou následující právní předpisy, které upravují obecně práva a povinnosti subjektů a platí i v oblasti strojírenské metrologie (dále jen „SM“):

1.1 ZÁKONY

Zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii, ve znění pozdějších předpisů².

Zákon o metrologii (dále jen „ZoM“) ukládá právnickým osobám, fyzickým osobám, které jsou podnikateli (dále jen „subjekty“) a orgánům státní správy, povinnosti v rozsahu potřebném k zajištění jednotnosti a správnosti používaných měřidel a prováděných měření.

Měřidla jsou dle ZoM členěna do jednotlivých kategorií dle jejich významu a způsobu použití, a to na²:

- etalony,
- pracovní měřidla stanovená („stanovená měřidla“),
- pracovní měřidla nestanovená („pracovní měřidla“),
- certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály, pokud jsou určeny k funkci etalonu nebo stanoveného nebo pracovního měřidla.

Jejich jednotnost a správnost je zajišťována návazností měření, tedy zařazením do nepřerušené posloupnosti přenosu hodnoty veličiny počínající etalonem nejvyšší metrologické kvality pro danou měřicí jednotku. Návaznost je v případě etalonů a pracovních měřidel zajišťována kalibrací, není-li pro dané měřidlo vhodnější jiný způsob či metoda. Stanovená měřidla podléhají pravidelnému ověření ve lhůtách stanovených vyhláškou – viz odst. 1.2 této práce.

Pro zajištění jednotnosti a správnosti v oblasti SM jsou pro subjekty používající měřidla významné zejména následující paragrafy ZoM:

§2, odst. (1), (2)

Povinnost používat základní měřicí jednotky stanovené ZoM, jejich označování, násobky díly stanovené vyhláškou viz odst. 2.2.

§5, odst. (1), (5), (6)

Hlavní etalony jsou základem návaznosti měřidel u subjektů a podléhají kalibraci. Tuto kalibraci na žádost uživatele může provést buď Český metrologický institut (dále jen „ČMI“) nebo akreditovaná kalibrační laboratoř (dále jen „AKL“), případně zahraniční subjekty se srovnatelnou metrologickou úrovní.

Uživatelé **pracovních měřidel** si návaznost používaných měřidel mohou zajistit sami pomocí svých hlavních etalonů nebo prostřednictvím ČMI, AKL případně u jiných uživatelů, kteří mají příslušné hlavní etalony navázané na etalony ČMI, AKL nebo na etalony zahraničních subjektů se srovnatelnou metrologickou úrovní.

Pozn.:

Způsobilost kalibračních laboratoří je při akreditaci posuzována podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 „Posuzování shody – Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří“.

Lhůtu návaznosti stanoví uživatel měřidla podle metrologických a technických vlastností, způsobu a četnosti používání hlavního etalonu či pracovního měřidla.

Jak z výše uvedeného textu vyplývá, odpovědnost za zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření je ze zákona vložena na bedra uživatele měřidla.

1.2 VYHLÁŠKY

Ministerstva průmyslu a obchodu (dále jen „MPO“) **prováděcí**, navazující na ZoM:

Vyhláška MPO č. 262/2000 Sb., kterou se zajišťuje jednotnost a správnost měřidel a měření, v platném znění².

Obsahem této vyhlášky je, mimo jiné, postup při schvalování typu stanovených měřidel, náležitosti certifikátu a značky schválení typu (včetně grafické podoby), postup při ověřování stanovených měřidel, náležitosti vystavovaných dokumentů (ověřovacích listů) a úředních značek, kterými jsou měřidla po ověření označována (provedení např. formou samolepících štítků či plomb). Dále jsou zde uvedeny důvody zániku platnosti ověření stanovených měřidel.

Příkladem stanovených měřidel podléhajících pravidelnému ověřování, se kterými je možné se setkat v běžném životě, jsou vodoměry, plynoměry, elektroměry anebo váhy, pokud jsou používány k účelům dle §3, odst. 3 ZoM a zároveň jmenovitě uvedeny ve vyhlášce MPO č. 345/2002 Sb., v platném znění.

Vyhláška MPO č. 345/2002 Sb. v platném znění, týkající se měřidel stanovených k povinnému ověřování, včetně uvedení doby platnosti jejich ověření, a měřidel podléhajících schválení typu.

Vzhledem k zaměření této bakalářské práce zejména na oblast etalonů a pracovních měřidel však obsah těchto dvou výše uvedených vyhlášek není dále podrobněji rozveden.

Vyhláška MPO č. 264/2000 Sb. o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a jejich označování, v platném znění.²

Jak název napovídá, touto vyhláškou jsou stanoveny základní měřicí jednotky, jejich násobky a díly.

Další informace o veličinách a jednotkách, včetně pravidel pro jejich používání a zápis, využívaných v jednotlivých odvětvích lze nalézt v normách ČSN ISO řady 80000 „Veličiny a jednotky“.

2 ZÁKLADNÍ POJMY, TERMÍNY A DEFINICE

Základní pojmy, termíny a definice jsou obsaženy v Mezinárodním metrologickém slovníku, známém odborné veřejnosti jako VIM 3:2007 (TNI 01 0115:2009). Slovník je volně dostupný na stránkách Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (www.unmz.cz).

Pro účely této bakalářské práce jsou uvedeny ty základní termíny, u kterých je analyzována jejich možná aplikace pro metrologii ve strojírenství. V závorkách jsou u jednotlivých termínů pro lepší orientaci uvedeny odkazy na jejich číslování ve VIMu.

2.1 MĚŘENÍ

měření (VIM 2.1)
proces experimentálního získávání jedné nebo více hodnot veličiny, které mohou být důvodně přiřazeny veličině¹

Dle této definice lze odvodit, že jakékoli měření veličiny slouží v oblasti SM k získání její hodnoty.

Do soustavy mezinárodních veličin ISQ však přináleží i tzv. technické veličiny, které nemají zvláštní měřicí jednotku. Tyto veličiny se vyjadřují v jednotkách soustavy SI a jejich příkladem jsou v oblasti SM:

- kruhovitost, vyjadřovaná odchylkou od myšlené kružnice v jednotkách délky;
- rovinnost, vyjadřovaná odchylkou od myšlené roviny v jednotkách délky.

Základní podmínkou při měření je, aby byl předem k dispozici popis:

- veličiny přiměřený uvažovanému použití výsledku měření,
- postupu měření a podmínek měření,
- měřicího systému s platnou metrologickou návazností, který je v souladu se specifikovaným postupem a podmínkami měření.

Dále pak mohou být v některých případech vyžadovány údaje o veličinách ovlivňujících měření, jako je čas, teplota a tlak.

V oblasti SM je ve výrobních provozech vlastní měření prováděno především během:

- vývoje výrobku,
- výroby výrobku,
- kontroly a přejímky hotového výrobku.

měřená veličina

(VIM 2.3)

veličina, která má být měřena¹

Při měření se určuje poměr dvou stejných veličin, jehož vyjádřením je číselná hodnota veličiny. K účelu tohoto porovnání slouží měřidlo nebo měřicí systém, který může být manuální, poloautomatický nebo automatický.

měřicí princip

(VIM 2.4)

jev sloužící jako základ měření¹

Měřicí princip je v praxi fyzikální zákon, který nám umožňuje měřit. Příkladem je gravitace, neboť bez ní by nebylo možné vážením určit hmotnost.

metoda měření

(VIM 2.5)

měřicí metoda

generický popis logického organizování činností použitých při měření¹

Mezi základní metody měření sloužící k získání hodnoty veličiny náleží:

- **metoda přímá**,

kdy pro získání hodnoty veličiny není nutný přepočtení – naměřená hodnota je získána přímo odečtem ze stupnice měřidla (např. měření délky pomocí posuvky*),

- **metoda nepřímá**,

kdy hodnota veličiny je určena nepřímo, tj. měřením jiných veličin a následným přepočtem podle známého vztahu – příkladem může být získání hodnoty elektrického odporu výpočtem z naměřených hodnot napětí a proudu anebo měření délky koncové měřky indukčnostními snímači, případně měření délky s využitím vlnové délky světla (interferometrie).

Pozn.*:

Označení „posuvka“ je použito v návaznosti na ČSN 25 1230:1980. Označení „posuvné měřidlo“ dle ČSN EN ISO 13385-1:2012 je příliš obecné – dané měřidlo dostatečně nespecifikuje, ale vztahuje se na celou skupinu posuvných měřidel, do které patří zejména již zmíněné posuvky, posuvné výškoměry a hloubkoměry.

postup měření

(VIM 2.6)

podrobný popis měření podle jednoho nebo více měřicích principů a dané metody měření založený na modelu měření a zahrnující jakýkoliv výpočet k získání výsledku měření¹

Postup měření bývá zpracován formou pracovní návodky, která obsahuje nejen popis sledu prováděných činností, ale také informace o požadovaných podmínkách prostředí (teplota, relativní vlhkost vzduchu) i použitých etalonech, zařízeních a pomůckách.

2.2 HODNOTA VELIČINY

pravá hodnota veličiny (VIM 2.11)

pravá hodnota

skutečná hodnota

hodnota veličiny, která je ve shodě s definicí veličiny¹

Pravá hodnota veličiny není zjištěitelná z důvodu neexistence absolutně přesného měřidla a nemožnosti realizovat naprosto ideální podmínky měření. Proto je v praxi nahrazována **konvenční hodnotou veličiny**, která se získá měřením dané hodnoty pomocí etalonu, nebo obecně měřidlem přesnějším alespoň o jeden řád (desetkrát).

konvenční hodnota veličiny (VIM 2.12)

hodnota veličiny přiřazená pro daný účel k veličině dohodou¹

referenční hodnota veličiny (VIM 5.18)

referenční hodnota

hodnota veličiny používaná jako základ pro porovnávání s hodnotami veličin stejného druhu¹

Konvenční hodnota veličiny (dříve „konvenčně pravá hodnota veličiny“) je taková hodnota, o které prohlásíme, že vyhovuje pro náš účel použití. V praxi je pak používána jako **referenční hodnota veličiny** (etalonů či fyzikálních konstant) pro další kalibrace a **zastupuje** tak **pravou hodnotu veličiny**.

Pozn.:

Konvence znamená „dohoda“, „úmluva“.

naměřená hodnota veličiny (VIM 2.10)

naměřená hodnota

hodnota veličiny reprezentující výsledek měření¹

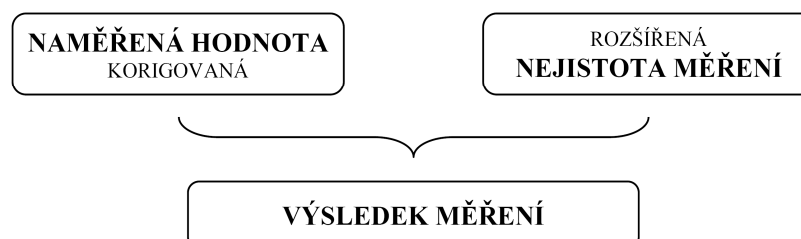
Výstupem měření je **naměřená hodnota veličiny**, vyjádřená číslem a referencí, kterou může být značka dané měřicí jednotky (např. 5 kg).

výsledek měření (VIM 2.9)

soubor hodnot veličiny přiřazený měřené veličině společně s jakoukoliv další dostupnou relevantní informací¹

Relevantní informací je zpravidla míněna **nejistota měření**.

Celkový výsledek měření sestává z naměřené hodnoty oproštěné od systematické chyby (tj. korigované naměřené hodnoty) a z nejistoty měření, jak je znázorněno na následujícím obrázku.



Obrázek 2.1: Výsledek měření

nejistota měření

(VIM 2.26)

nejistota

nezáporný parametr charakterizující rozptýlení hodnot veličiny přiřazených k měřené veličině na základě použité informace¹

Pro srovnání je uvedena i původní definice:

nejistota měření

(ČSN 01 0115, VIM 2; 3.9)

parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, které by mohly být důvodně prisuzovány k měřené veličině³

Interpretace nejistoty měření:

Máme-li výsledek měření y , výslednou rozšířenou nejistotu měření U , pak se hledaná pravá (skutečná) hodnota měřené veličiny bude nacházet v intervalu $\langle y - U; y + U \rangle$ s pravděpodobností danou jednotlivými intervaly pokrytí (většinou 95 %).

Výsledkem měření (obvykle aritmetickým průměrem z odečtených indikací, korigovaným hodnotou systematické chyby) se pravé hodnotě veličiny pouze přibližujeme. Tato skutečnost je způsobena jednak nedokonalostí přenosu veličiny a také dalšími vlivy vstupujícími do procesu měření (lidský faktor, podmínky prostředí, apod.).

Pro určení přesnosti výsledku měření je proto nutné jej doplnit číselnou hodnotou vymezující interval, ve kterém se s danou pravděpodobností vyskytuje i pravá hodnota měřené veličiny. Tento interval definuje **nejistota měření**.

Druhy nejistot:

Standardní nejistota (u):

- typu A (ozn. u_A), získaná z opakovaných měření jako směrodatná odchylka,
- typu B (ozn. u_B), získaná jinými způsoby.

Standardní nejistota u_A se získá:

- **způsobem vyhodnocení A** pomocí statistické analýzy, tj. jako směrodatná odchylka výběrového průměru, stanovená z opakovaných měření, vypočítaná ze vztahu⁴:

$$S_{\bar{x}} = u_A = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}, \quad S_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \quad (2.1), (2.2)$$

kde je

$s_{\bar{x}}$ směrodatná odchylka aritmetického průměru,

s_x směrodatná odchylka jednoho údaje,

n počet opakovaných měření,

x_i naměřená hodnota,

$\bar{x}$ aritmetický průměr.

Je-li počet opakovaných měření $n < 10$ a není možné učinit kvalifikovaný odhad na základě zkušeností, lze standardní nejistotu u_A stanovit ze vztahu⁵:

$$u_A = k_s \cdot u_A \quad (2.3)$$

kde je

k_s koeficient, jehož velikost závisí na počtu měření n , viz následující tabulku:

Tabulka 2.1⁵: Hodnoty koeficientu k_s

n	9	8	7	6	5	4	3	2
k_s	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7,0

Pro $n > 9$ je $k_s = 1$.

Doporučení⁵:

Počet měření volit větší než deset, v krajním případě větší než pět.

Standardní nejistota u_B se získá:

- **způsobem vyhodnocení B** , tj. z dostupných údajů o chování předmětné veličiny.

Možné zdroje standardní nejistoty u_B :

Pro většinu případů měření elektrických veličin, nebo ostatních veličin, které jsou vhodnými převodníky převedeny na elektrické signály (což je v poslední době případ většiny měření), je možné vybírat z následujících zdrojů⁴:

Vlivy vázané na použité přístroje, etalony a vybavení:

- nejistoty kalibrace,
- stabilita (časová specifikace) přístrojů,
- dynamické chyby přístrojů,
- zanedbané systematické chyby,
- vnitřní tření v přístrojích,
- rozlišitelnost/rozlišení odečtu z přístrojů (v některých případech může nahradit standardní nejistotu u_A),
- hystereze, mrtvý chod,
- specifikace výměnných částí přístrojů.

Vlivy okolního prostředí a jejich změny:

- tlak, změna tlaku,
- relativní vlhkost,
- teplota okolí,
- magnetické pole,
- elektrické pole,
- osvětlení, příp. jeho frekvence a tepelné vyzařování,
- hustota vzduchu,
- čistota prostředí, ovzduší, prašnost.

Způsob určování standardní nejistoty u_B :

V prvním kroku se vytipují možné vlivy (zdroje nejistoty), které se označí z_1, z_2, z_3 až z_n .

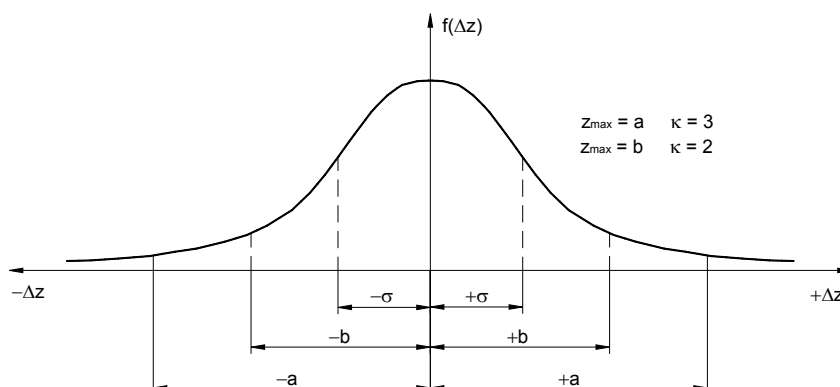
Následně se určí standardní nejistota u_{Bz_i} každého jednotlivého zdroje z_i , kterými mohou být údaje z kalibračních listů, časová stálost měřidla, vlastnosti použitých materiálů (roztlačnost v závislosti na teplotě), vliv lidského faktoru (paralakční chyba, chyba vlivem nedodržení konstantní přitlačné síly), vliv měřidla (rozlišení) apod.

Další postup:

- Proveďte se odhad maximálního rozsahu změn – intervalu $\pm \Delta z_{\max}$, které mohou v důsledku působení daného vlivu nastat, a to takovým způsobem, aby pravděpodobnost překročení tohoto intervalu byla nízká.

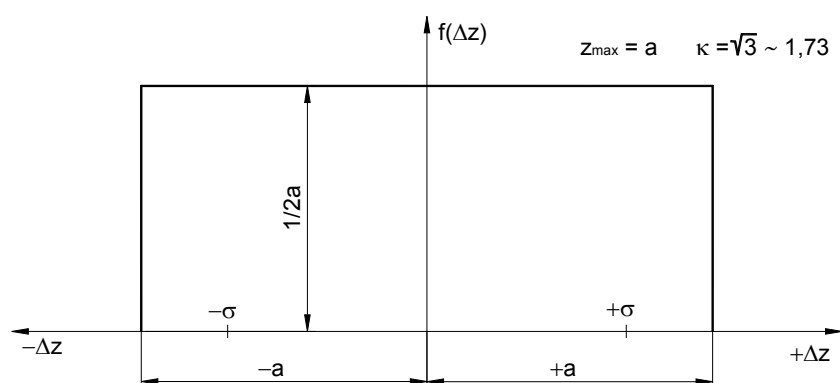
- Zvolí se rozdělení pravděpodobnosti nejlépe vystihující předpokládaný výskyt hodnot v odhadnutém intervalu $\pm\Delta z_{\max}$. Pro výpočet se poté použije konstanta daná pro zvolené rozdělení pravděpodobnosti, označovaná symbolem κ , příp. χ .

Normální (Gaussovo) rozdělení pravděpodobnosti (viz obrázek 2.2)
zvolíme, pokud předpokládáme největší pravděpodobnost výskytu hodnot v okolí středu intervalu $\pm\Delta z_{\max}$.



Obrázek 2.2: Normální (Gaussovo) rozdělení⁵

Rovnoměrné (pravoúhlé) rozdělení pravděpodobnosti (viz obrázek 2.3)
zvolíme v případě, předpokládáme-li přibližně stejnou (rovnoměrnou) pravděpodobnost výskytu hodnot v celém intervalu $\pm\Delta z_{\max}$, případně není-li možné jednoznačně rozložení hodnot v odhadnutém intervalu $\pm\Delta z_{\max}$ určit.



Obrázek 2.3: Rovnoměrné (pravoúhlé) rozdělení⁵

- Vyčíslení jednotlivých zdrojů standardní nejistoty u_B se provede pomocí následujícího vztahu⁵:

$$u_{Bz_i} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi} \quad (2.4)$$

- Celková standardní nejistota u_B je poté dána součtem jednotlivých vlivů $u_{B1,2,...,n}$ a stanoví se ze vztahu⁵:

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{B_i}^2} \quad (2.5)$$

Pozn.:

Platí pouze pro lineární vztah mezi veličinami

Kombinovaná standardní nejistota (u_c)

je výsledkem součtu jednotlivých vlivů, tj. získaných způsobem vyhodnocení A a B. Určí se pomocí vztahu⁵:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (2.6)$$

Rozšířená nejistota měření (U)

vznikne vynásobením kombinované standardní nejistoty koeficientem rozšíření zvoleným v závislosti na požadované pravděpodobnosti výskytu pravé veličiny v daném intervalu podle vzorce⁵:

$$U = k \cdot u_c \quad (2.7)$$

Pozn. 1:

Kombinovaná standardní nejistota u_c vypočítaná výše uvedeným způsobem je vždy určena s pravděpodobností $P = 68 \%$, tj. pro koeficient rozšíření $k = 1$.

Pozn. 2:

Jednotlivé pravděpodobnosti výskytu pravé hodnoty veličiny pro dané koeficienty rozšíření jsou uvedeny na následujícím listu.

Pozn. 3:

Pro lepší přehlednost je doporučeno dokumentem EA-4/02 uvádět analýzu nejistot formou tabulky.

Výsledek měření se uvede ve tvaru ($y \pm U$), kde je
 y odhad (naměřená hodnota korigovaná hodnotou systematické chyby),
 U rozšířená nejistota měření.

V intervalu $\langle y - U ; y + U \rangle$ se tedy nachází hledaná pravá hodnota měřené veličiny s pravděpodobností danou jednotlivými **intervaly pokrytí**.

interval pokrytí (VIM 2.36)
interval obsahující se stanovenou pravděpodobností soubor pravých hodnot veličiny měřené veličiny, založený na dostupné informaci¹

Jednotlivé **intervaly pokrytí** znamenají pravděpodobnost výskytu pravé hodnoty veličiny⁶:

pro $k = 1$	pravděpodobnost výskytu:	68,27 %,
pro $k = 2$	pravděpodobnost výskytu:	95,45 %,
pro $k = 3$	pravděpodobnost výskytu:	99,73 %.

kde je

k koeficient rozšíření.

Pro většinu výsledků měření je dostačující interval pokrytí pro $k = 2$.

Příklad:

Měření jmenovité délky 20 mm, provedené desetkrát za podmínek opakovatelnosti posuvkou s rozlišením 0,01 mm.

Pozn.: Pro zjednodušení jsou uvedeny pouze výsledné hodnoty.

Výsledek měření:	20,01 mm
Hodnoty rozšířené nejistoty měření:	$U = 0,02$ mm
Použitý koeficient rozšíření:	$k = 2$

Pravá hodnota délky bude v tomto případě ležet v intervalu:
 $\langle 20,01 - 0,02 ; 20,01 + 0,02 \rangle$ s pravděpodobností cca 95 %.

Alternativy možného uvedení výsledku měření a rozšířené nejistoty měření:

- (20,01 $\pm$ 0,02) mm, pro $k = 2$,
- 20,01 mm $\pm$ 0,02 mm, pro $k = 2$,
- 20,01 mm, $U = 0,02$ mm, pro $k = 2$.

K tomuto vyjádření musí být připojena vysvětlující poznámka, která může mít následující obsah:

„Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu $k = 2$, který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %“⁷.

Pozn.:

Otevřené intervaly (např. „ $U < x$ “) nejsou přípustné.

Jednotka nejistoty měření musí být vždy stejná jako měřicí jednotka měřené hodnoty nebo je vůči ní vyjádřena relativně, např. v procentech⁷.

Pro uvádění výsledků měření a nejistoty měření platí dále následující pravidla:

- numerická hodnota rozšířené nejistoty měření musí být uváděna nejvýše na dvě platné číslice,
- v konečném vyjádření musí být numerická hodnota výsledku měření zaokrouhlena na nejnižší platnou číslici hodnoty rozšířené nejistoty měření přiřazené danému výsledku měření,
- při zaokrouhlování se musí použít obvyklá pravidla pro zaokrouhlování za podmínky dodržení pokynů pro zaokrouhlování, tj. v článku 7 Pokynu pro vyjadřování nejistoty měření (GUM)⁷.

Pozn.:

Pravidla pro zaokrouhlování lze také nalézt v ČSN ISO 80000-1:2009 Veličiny a jednotky – Část 1: Obecně.

Pravidla pro vyjadřování nejistot měření při kalibracích jsou uvedena ve stejnojmenném dokumentu EA-4/02, který je volně dostupný na stránkách Českého institutu pro akreditaci, o.p.s. (www.cia.cz).

Výsledek měření včetně nejistoty měření je poté porovnán s předepsanou hodnotou veličiny, kterou může reprezentovat výrobová norma, výkresová dokumentace nebo jednotná soustava tolerancí a uložení.

Pravidla pro vyhodnocení výsledku měření jsou dána dokumentem ILAC-G08 „Pokyny k uvádění shody se specifikací“ (volně ke stažení na stránkách www.cia.cz), případně ČSN EN ISO 14253-1:1998 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Zkoušení obrobků a měřidel měřením – Část 1: Pravidla rozhodování o prokazování shody nebo neshody se specifikacemi.

2.3 KALIBRACE

kalibrace

(VIM 2.39)

činnost, která za specifikovaných podmínek v prvním kroku stanoví vztah mezi hodnotami veličiny s nejistotami měření poskytnutými etalony a odpovídajícími indikacemi s přidruženými nejistotami měření a ve druhém kroku použije tyto informace ke stanovení vztahu pro získání výsledku měření z indikace¹

Pro srovnání je uvedena i původní definice:

kalibrace

(ČSN 01 0115, VIM 2; 6.11)

soubor úkonů, kterými se stanoví za specifikovaných podmínek vztah mezi hodnotami veličin, které jsou indikovány měřicím přístrojem nebo měřicím systémem nebo hodnotami reprezentovanými ztělesněnou mírou nebo referenčním materiálem a odpovídajícími hodnotami, které jsou realizovány etalony³

Činnosti rozdělené do „dvou kroků“ dle definice z nového vydání VIMu znamenají:

„Prvním krokem“ je míněno zjištění hodnoty veličiny měřením v daných měřicích bodech měřicího rozsahu a následně určení chyby měření (naměřená hodnota veličiny minus referenční hodnota veličiny).

„Druhý krok“ znamená aplikování výsledku kalibrace (zjištěné v prvním kroku a vyjádřené hodnotou nebo kalibrační tabulkou) na libovolný bod v celém měřicím rozsahu např. kalibrační křivkou, kalibračním diagramem, nebo úpravou softwaru u složitých měřicích systémů, např. trísouřadnicového měřicího stroje.

Druhý krok dle definice se však v praxi, např. při kalibraci většiny pracovních měřidel v oboru délka, nevyužívá.

Jednoduše řečeno kalibrace slouží k zjištění závislosti mezi hodnotou naměřenou kalibrovaným měřidlem a referenční hodnotou dané veličiny, zprostředkovanou referenčním etalonem.

Povinnost používat pro měření ovlivňující kvalitu finálního výrobku pouze měřidla kalibrovaná vyplývá ze ZoM. Stejně tak, jako požadavek na stanovení odpovídajících rekalkibračních intervalů, které mohou být od denních (např. kontrola měřidel vracejících se po směně do výdejen) až po několikaleté, doplněné mezilhůtovými kontrolami. Jak již je uvedeno v kapitole 1, rekalkibrační intervaly jsou určovány uživatelem měřidla.

Příklady kalibrace měřidel, následného měření těmito měřidly ve výrobě a vyhodnocení kalibrace jsou uvedeny v Přílohách 1 až 4.

měřidlo

(VIM 3.1)

měřicí přístroj

zařízení používané k měření buď samotné, nebo ve spojení s jedním nebo více přidavnými zařízeními¹

Pozn. :

Měřidlem smí být indikační měřidlo nebo ztělesněná míra¹.

ztělesněná míra

(VIM 3.6)

měřidlo reprodukující nebo trvale poskytující během jeho používání veličiny jednoho nebo více daných druhů, přičemž každá z nich má přidělenou hodnotou veličiny¹

Příkladem ztělesněné míry je **koncová měrka** (někdy nazývaná „johansonka“ podle C. E. Johanssona, švédského vynálezce a vědce; později známá pod označením „základní měrka“).

justování měřicího systému

(VIM 3.11)

justování

soubor činností provedených na měřicím systému tak, aby poskytoval předepsané indikace odpovídající daným hodnotám veličiny, která má být měřena¹

Justování zahrnuje činnosti směřující k uvedení měřidla do plně funkčního stavu, tj. vyčištění, seřízení, vymezení vůle ve vodicích částech, kontrolu a případné doplnění chybějících součástí (šrouby, pera, pružiny), kontrolu přítlačných i brzdících mechanismů a promazání, je-li to účelné.

Jedná se o takové seřízení, které může přispět ke zmenšení chyby měření, je-li správně provedeno.

Justování jednak kalibraci předchází a jednak po něm musí kalibrace následovat.

Uživatelské seřízení měřidla před kalibrací (např. třmenového mikrometru „na nulu“ pomocí koncové nebo nastavovací měrky) justováním není.

etalon

(VIM 5.1)

standard měření**standard**

realizace definice dané veličiny, se stanovenou hodnotou veličiny a přidruženou nejistotou měření, používaná jako reference¹

Etalon měřicí jednotky anebo stupnice určité veličiny je měřidlo sloužící k realizaci a uchovávání této jednotky nebo stupnice a k jejímu přenosu na měřidla nižší přesnosti. Uchováváním etalonu se rozumí všechny úkony potřebné k zachování metrologických charakteristik etalonu ve stanovených mezích¹.

V případě měřidel délky bývá etalonem sada koncových měrek, která slouží pro kalibraci pracovních měřidel (např. posuvek a třmenových mikrometrů). Jak je již zmíněno v kapitole 1, etalon podléhá dle ZoM pravidelné kalibraci ve lhůtách stanovených uživatelem etalonu.

3 CHYBY MĚŘENÍ A JEJICH ELIMINACE

3.1 CHYBY MĚŘENÍ

chyba měření

(VIM 2.16)

chyba

naměřená hodnota veličiny minus referenční hodnota veličiny¹

Pozn.:

Chyba měření nemá být zaměňována s výrobní chybou nebo omylem¹.

„Chyba“ se stanoví jako rozdíl mezi dvěma známými hodnotami, tj. hodnotou naměřenou a referenční (reprezentovanou etalonem). Chybu lze **vyčíslit**, a proto je pojmem kvantitativním.

Absolutní chyba měření byla v ČSN 01 0115 (VIM 2) vyjádřena jako rozdíl mezi výsledkem měření a pravou hodnotou veličiny. Z důvodu nezjistitelnosti pravé hodnoty veličiny se pro běžně prováděná měření pravá hodnota nahrazuje konvenční hodnotou, blíží se pravé hodnotě s dostačující přesností. Tato konvenční hodnota může být používána jako referenční hodnota pro běžně prováděné kalibrace.

Pozn.:

V praxi je za konvenční (referenční) hodnotu považována hodnota uvedená v kalibračním listu měřidla (etalonu).

Relativní chyba byla podle ČSN 01 0115 (VIM 2) vyjádřena jako podíl chyby měření a pravé hodnoty měřené veličiny, kterou je možné vyjádřit v procentech⁴. Stejně jako v případě absolutní chyby měření je i zde pravá hodnota veličiny nahrazena konvenční hodnotou.

V praxi lze chyby rozdělit na:

- systematické,
- náhodné,

a chyby zvláštního významu, viditelné na první pohled:

- hrubé.

systematická chyba měření

(VIM 2.17)

systematická chyba

složka chyby měření, která v opakovaných měřeních zůstává konstantní nebo se mění předvídatelným způsobem¹

Systematická chyba je střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže měřené veličiny, uskutečněných za podmínek opakovatelnosti, od které se odečte pravá hodnota měřené veličiny⁴. Stejně jako v případě absolutní chyby měření je i zde pravá hodnota veličiny nahrazena konvenční hodnotou.

Příkladem systematické chyby je chyba měření zjištěná při kalibraci etalonu, která následně vstupuje do hodnoty naměřené při kalibraci pracovního měřidla jako systematická chyba a tudíž je možné ji korekcí částečně odstranit.

Příkladem předvídatelné chyby může být chyba způsobená odchylkou teploty prostředí od referenční teploty dané pro konkrétní obor měření (např. od 20 °C pro měření v oboru délka).

náhodná chyba měření

(VIM 2.19)

složka chyby měření, která se v opakovaných měřeních mění nepředvídatelným způsobem¹

Náhodná chyba je výsledek měření minus střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže měřené veličiny uskutečněné za podmínek opakovatelnosti. V praxi lze provést pouze odhad náhodné chyby⁴.

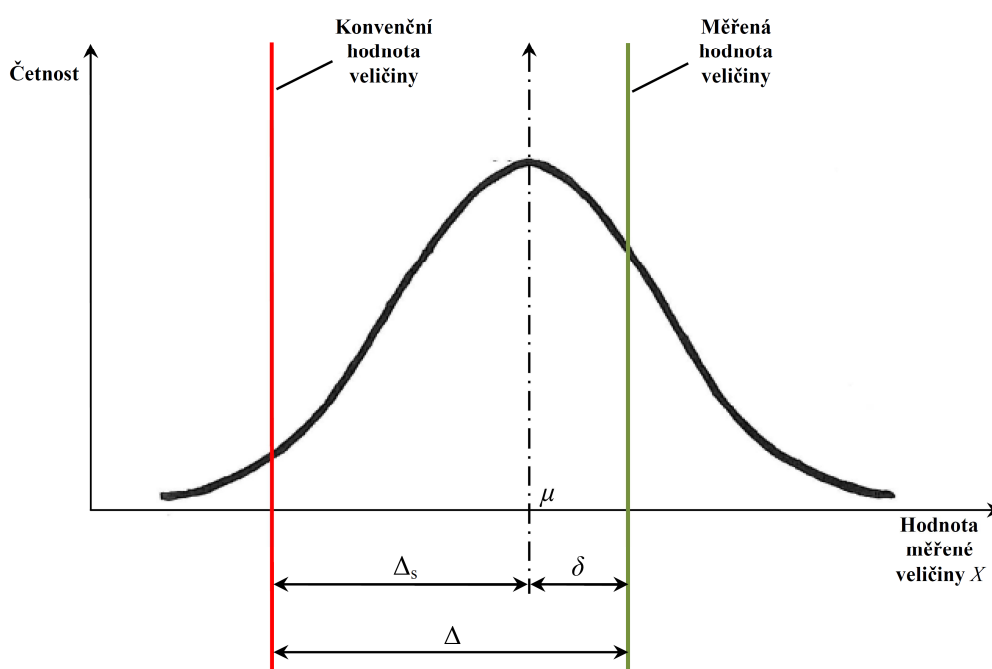
Náhodná chyba měření může být způsobena např. nestabilitou prostředí (kolísáním teploty v laboratoři).

Hrubá chyba.

Může nastat případ, že měření je zatíženo chybou abnormální velikosti - **hrubou chybou**, která je důsledkem nesprávně provedeného měření. Hrubá chyba vznikne například nedodržením pracovního postupu (např. doby temperace měřidla), únavou pracovníka či jeho nepozorností při odečtu nebo zápisu naměřené hodnoty, nebo technickou závadou měřidla či měřicího systému.

Charakteristickým znakem je, že se od ostatních hodnot z jedné série opakovaných měření podstatně liší.

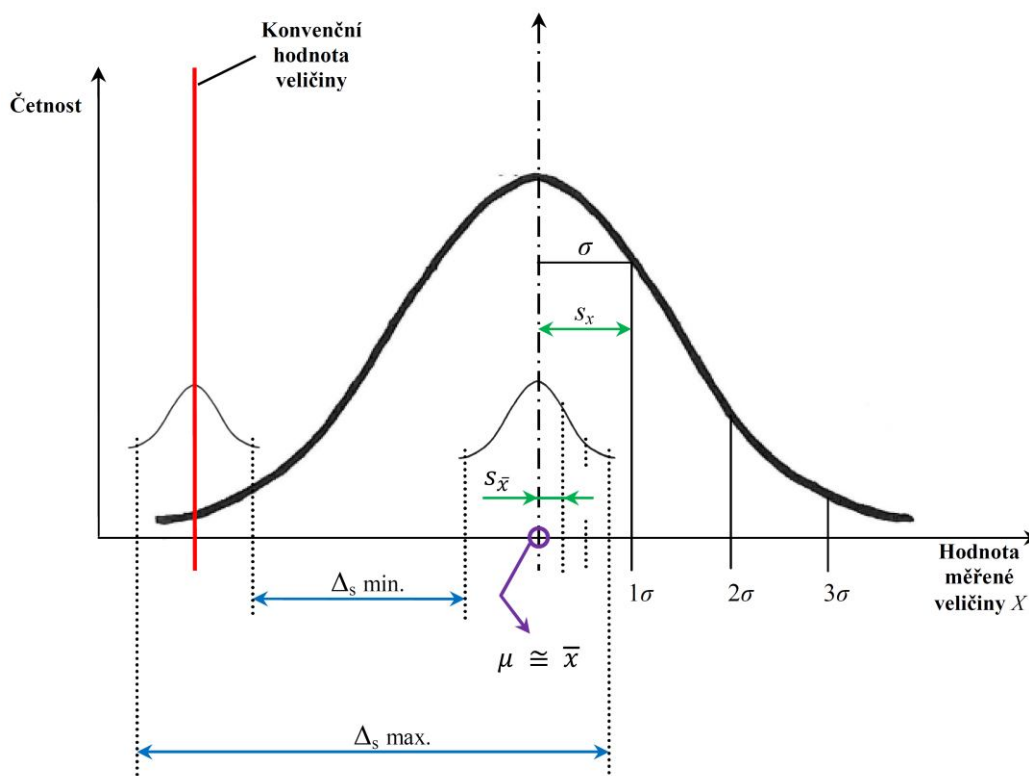
Grafické znázornění chyb měření je uvedeno na následujících obrázcích 3.1 a 3.2.

Obrázek 3.1: Grafické znázornění chyb měření⁵

Legenda k obrázku 3.1:

- Δ celková chyba měření
- Δ_s systematická chyba měření
- δ náhodná chyba měření
- μ střední hodnota z nekonečného počtu měření

Celková chyba měření je dána součtem systematické chyby měření a náhodné chyby měření.



Obrázek 3.2: Systematická chyba

Legenda k obrázku 3.2:

- σ směrodatná odchylka základního souboru, stanovená z nekonečného počtu opakovaných měření,
 s_x směrodatná odchylka (výběrová),
 Δ_s systematická chyba,
 μ střední hodnota,
 $\bar{x}$ aritmetický průměr,
 $s_{\bar{x}}$ směrodatná odchylka aritmetického průměru.

referenční pracovní podmínka
referenční podmínka

(VIM 4.11)

pracovní podmínka předepsaná pro vyhodnocování funkčnosti měřidla nebo měřicího systému nebo pro porovnávání výsledků měření¹

Referenční podmínkou pro měření v oboru délka je teplota okolí 20 °C a relativní vlhkost vzduchu obvykle udávaná v rozmezí (50 ± 15) %.

3.2 ELIMINACE CHYB MĚŘENÍ

korekce

(VIM 2.53)

kompenzace systematického vlivu¹

Pomocí korekce lze eliminovat **systematickou chybu**. Korekce, která má hodnotu systematické chyby, ale opačné znaménko, se přičte k nekorigované naměřené hodnotě.

Eliminace je však jen částečná, a to z důvodu nemožnosti zjištění jak přesné střední hodnoty, tak pravé hodnoty veličiny (viz obrázek 3.2).

Náhodná chyba může nabývat hodnot maximálně plus, nebo minus tři směrodatné odchylky. Náhodnou chybu nelze kompenzovat, pouze snížit pravděpodobnost jejího výskytu, a to zvýšením počtu opakovaných měření [viz (3.1)], provedených za bezpodmínečného dodržení všech podmínek opakovatelnosti, z nichž se vypočítá aritmetický průměr. Určí se pomocí vztahu⁴:

$$S_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \quad (3.1)$$

kde:

 $s_{\bar{x}}$ směrodatná odchylka aritmetického průměru, s_x směrodatná odchylka jednoho údaje, n počet opakovaných měření.

Příklad:

Provede-li se devět opakovaných měření, sníží se směrodatná odchylka i největší hodnota náhodné chyby třikrát.

Měření zatížené **hrubou chybou** se obvykle z prováděné analýzy vyloučí, přičemž se následně musí celý výpočet chyb měření opakovat.

Hrubé chyby je nutno se při měření vyvarovat.

Pro eliminování všech negativních vlivů a tím i případných chyb by bylo nutné provést velké množství opakovaných měření, což není v praxi realizovatelné.

Počet opakovaných měření se ve srovnání s požadovaným teoretickým množstvím volí velmi malý (obvykle tři až deset v každém měřicím bodě).

4 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY PŘESNOSTI MĚŘIDEL A MĚŘENÍ

4.1 PŘESNOST MĚŘENÍ

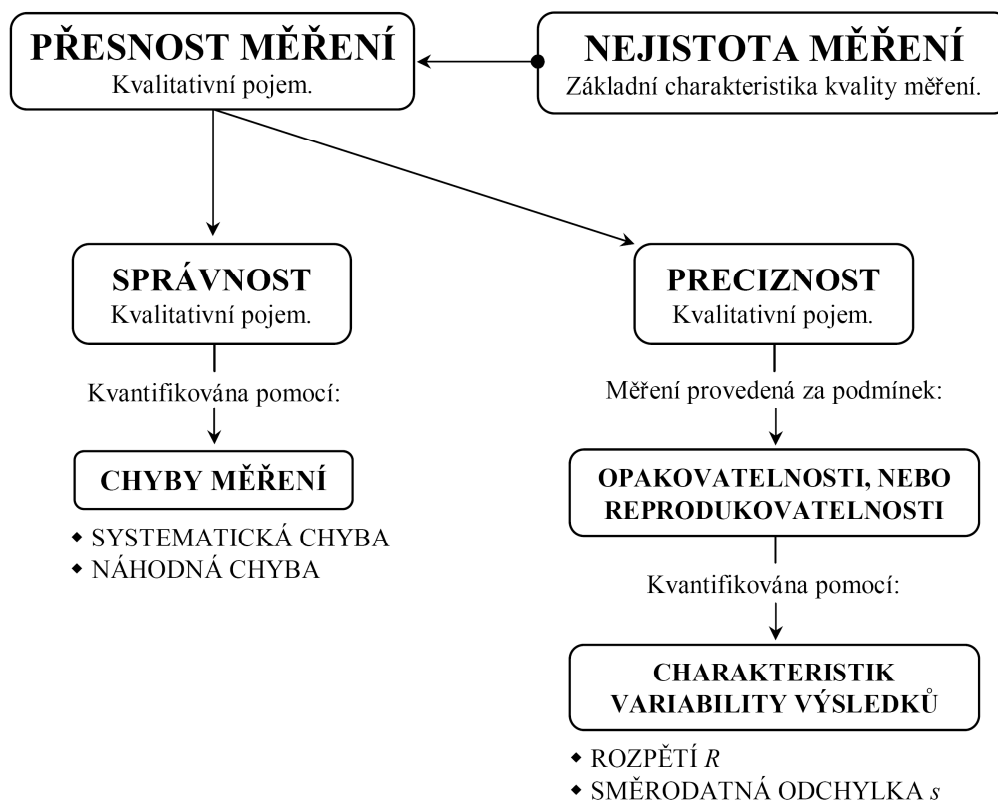
přesnost měření

(VIM 2.13)

přesnost

těsnost shody mezi naměřenou hodnotou veličiny a pravou hodnotou měřené veličiny¹

Vztah základních parametrů přesnosti měření je uveden na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Přesnost měření

Pojem **přesnost** je používán často a v různých významech. V metrologii je však definován jednoznačně.

„Přesnost“ je definována jako „těsnost shody“, tj. blízkost naměřené hodnoty k hodnotě pravé. Jelikož rozdíl mezi hodnotou známou, tj. naměřenou a hodnotou nepoznatelnou, tj. pravou **nelze vyčíslit**, jedná se o kvalitativní pojem.

Vyčíslit však **lze chybu měření**, která je definována jako rozdíl naměřené a referenční hodnoty. Měření je potom tím přesnějším, čím menší chybu měření nabízí. Příkladem může být laserový interferometr, který je pro měření délek přesnější než měřicí pásmo či svinovací metr.

Jednou z hlavních podmínek přesného měření je, aby bylo provedeno ve stabilním prostředí.

Podmínky prostředí zahrnují zejména:

- stálou teplotu a relativní vlhkost vzduchu udržovanou v mezích dovoleného kolísání,
- minimalizované proudění vzduchu,
- bezprašnost,
- eliminování chvění a vibrací.

pravdivost měření

(VIM 2.14)

správnost měření

pravdivost

těsnost shody mezi aritmetickým průměrem nekonečného počtu opakovaných naměřených hodnot veličiny a referenční hodnotou veličiny¹

Stejně jako přesnost měření je i správnost měření pojmem kvalitativním.

preciznost měření

(VIM 2.15)

preciznost

těsnost shody mezi indikacemi nebo naměřenými hodnotami veličiny získanými opakovanými měřeními na stejném objektu nebo na podobných objektech za specifikovaných podmínek¹

O **preciznosti** provedeného **měření** vypovídá stejnorodost (minimální rozptýlenost) naměřených hodnot.

Preciznost se kvantifikuje pomocí parametrů rozptylu (variability). Nejčastěji se pro tento účel používá⁴:

- rozpětí: $R = X_{\max} - X_{\min}$, nebo
- směrodatná odchylka s :

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.1)$$

Mezi specifikované podmínky měření pro jednotlivé případy patří dále uvedené podmínky, jejichž výčet není vyčerpávající, ale ani závazný.

➤ **podmínky opakovatelnosti měření**, tj.:

- stejný postup měření,
- stejný obslužný personál,
- stejný měřicí systém,
- stejné pracovní podmínky a stejné místo měření,
- opakování měření na stejném nebo podobných objektech v krátkém časovém úseku.

Pozn.:

Opakovatelnost měření je významným ukazatelem stálosti měření za stejných podmínek.

➤ **podmínky mezilehlé preciznosti měření**, tj.:

- stejný postup měření,
- stejné místo měření,
- opakování měření na stejném nebo podobných objektech v rozšířeném časovém úseku,
- různý obslužný personál,
- různý měřicí systém,
- změněné i nezměněné pracovní podmínky.

Pozn.:

Podmínky mezilehlé preciznosti jsou mezistupněm mezi podmínkami opakovatelnosti a reprodukovatelnosti.

Typickým příkladem aplikace těchto podmínek je mezilaboratorní porovnávání (MPZ), kdy je **jedno a to samé měřidlo kalibrováno v různých metrologických laboratořích**. Výsledky MPZ mohou sloužit k srovnání odborné úrovně laboratoří. Z výčtu podmínek je u tohoto příkladu vynecháno „stejně místo měření“. Z toho vyplývá, že uvedené podmínky nejsou „dogma“. V opačném případě by totiž musely být definovány další (zvláštní) podmínky mezilehlé preciznosti konkrétně pro mezilaboratorní porovnávání zkoušek.

➤ **podmínky reprodukovatelnosti měření**, tj.:

- různé postupy měření,
- různý obslužný personál,
- různý měřicí systém,
- různá místa měření,
- opakování měření na stejném nebo podobných objektech.

Pozn. 1:

Typickým příkladem aplikace těchto podmínek jsou mezilaboratorní porovnávací zkoušky **pro validaci kalibračních anebo zkušebních metod** s cílem prokázat, že výsledky nové metody jsou srovnatelné se zavedenými metodami.

Pozn. 2:

V praxi se často používají dříve běžné termíny: opakovatelnost (reprodukovatelnost), místo: preciznost za podmínek opakovatelnosti (reprodukovatelnosti).

Vyhodnocování základních parametrů přesnosti se provádí v souladu s pravidly matematické statistiky.

Zjišťuje se:

1. Odhad průměru (poloha), což v přesnosti měření odpovídá pravdivosti (správnosti) měření,
2. Rozptýlení hodnot (variabilita), což v přesnosti měření odpovídá preciznosti.

Význam obou těchto parametrů je demonstrován na jednoduchém příkladu dvou statistických souborů.

První výběr:	9; 10; 11	→	$\bar{x} = 10$
Druhý výběr:	2; 8; 20	→	

Odhad střední hodnoty je pro oba statistické výběry stejný, liší se však směrodatnou odchylkou:

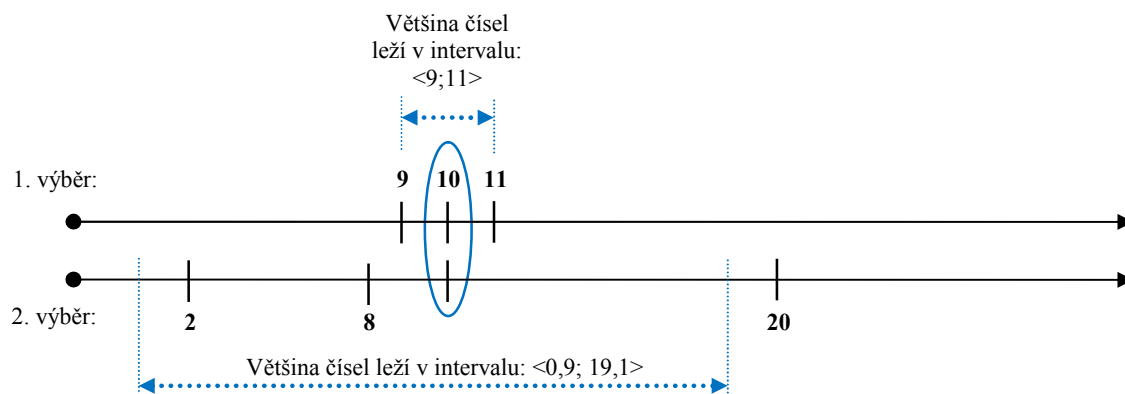
Odhad směrodatné odchylky se vypočítá ze vztahu (4.1):

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

Odhad směrodatné odchylky pro první výběr:	$s_1 = 1$
Odhad směrodatné odchylky pro druhý výběr:	$s_2 = 9,1$

Odhad směrodatné odchylky druhého výběru vypovídá o jeho nesourodosti – většina čísel se odchyluje od střední hodnoty o více než devět. Aritmetický průměr v tomto případě ztrácí vypovídací schopnost.

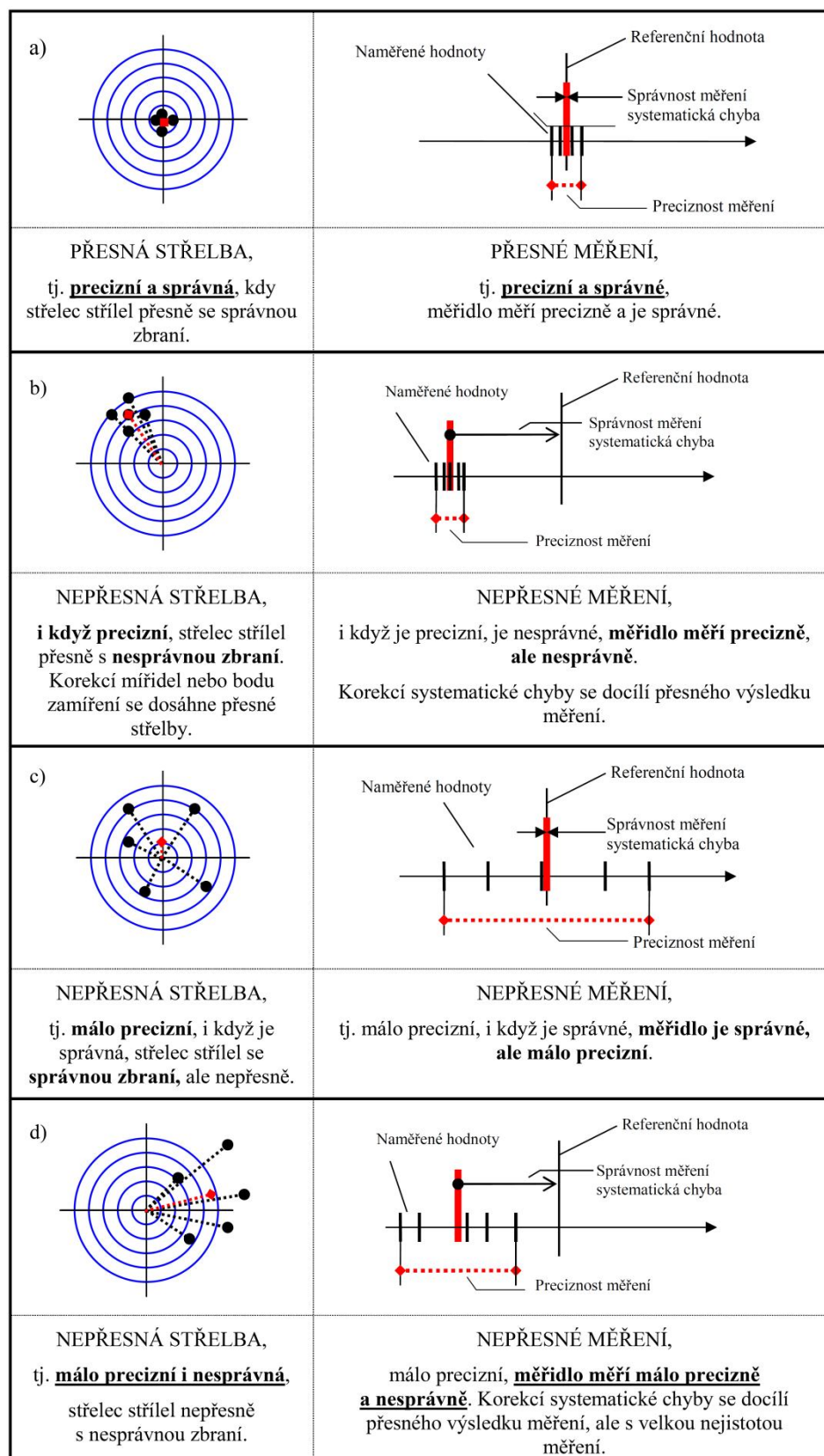
Grafické znázornění výše uvedeného příkladu je na obrázku 4.2:



Obrázek 4.2: Vhodnost použití aritmetického průměru

Úzký interval by v případě měření uskutečněných za podmínek opakovatelnosti vypovídal o preciznosti provedeného měření.

Podrobné objasnění termínů **preciznost** a **správnost měření** je graficky znázorněno na následujícím obrázku 4.3.



Obrázek 4.3: Příklady vyjádření preciznosti a správnosti opakovaných měření⁸

4.2 PŘESNOST MĚŘIDEL

přesnost měřicího přístroje (ČSN 01 0115, VIM 2; 5.18)
schopnost měřicího přístroje poskytovat výstupní signály blízké pravé hodnotě³

Přesnost měřidla je vyjádřena formou třídy přesnosti, která je stanovena pomocí největší dovolené chyby (dané výrobcem, normou, specifikací), nebo rozlišovací schopností měřidla (dané nejmenším dílkem stupnice).

Pozn. 1:

Termín „přesnost měřicího přístroje“ ve VIM 3:2007 definován není.

Pozn. 2:

Termíny „třída přesnosti“ a „rozlišení“ viz dále.

největší dovolená chyba měření (VIM 4.26)

největší dovolená chyba

mezní hodnota chyby

krajní hodnota chyby měření vzhledem ke známé referenční hodnotě veličiny, dovolená specifikacemi nebo předpisy pro dané měření, měřidlo nebo měřicí systém¹

Pozn.:

K označení „největší dovolené chyby“ se nemá používat termín „tolerance“¹.

Největší chyba měřidel délky závisí zpravidla na absolutní hodnotě měřené délky a lze ji vyjádřit vztahem⁵:

$$\delta_m = \pm(A + B \cdot L) \leq C \text{ } [\mu\text{m}] \quad (4.2)$$

kde je

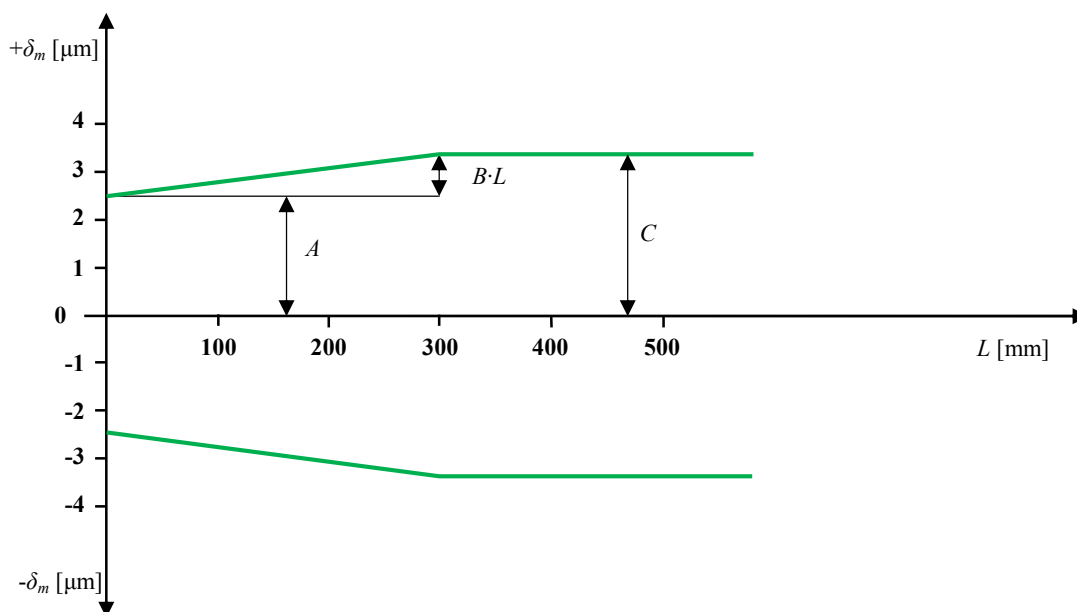
L hodnota měřené veličiny v milimetrech (případně v metrech),

A konstanta zahrnující vliv náhodných chyb,

B konstanta zahrnující vliv nevyloučených systematických chyb,

C horní mez chyby.

Geometrická interpretace vztahu (4.2) je uvedena na následujícím obrázku 4.4:

Obrázek 4.4: Geometrická interpretace vztahu (4.2)⁵

V Přílohách 1 až 4 jsou uvedeny příklady kalibrace měřidel, následného měření těmito měřidly ve výrobě a vyhodnocení kalibrace ve vztahu ke specifikaci. Zároveň je na uvedených měřidlech demonstrován vliv rozlišitelnosti měřidla na přesnost měření a vysvětlení pojmů referenční hodnota, jmenovitá hodnota, chyba měření, odchylka a korekce.

Dříve bylo uplatňováno obecné pravidlo, že pro kalibraci musí být použito měřidlo (etalon) desetkrát, případně čtyřikrát přesnější než měřidlo, které pomocí něj bylo kalibrováno. V dnešní době se tento princip nevyužívá.

Pro vyhovující výsledek měření (kalibrace) musí být splněna podmínka, že naměřená hodnota včetně nejistoty měření musí ležet v pásmu největších dovolených chyb měření.

rozlišení

(VIM 4.14)

nejmenší změna veličiny, která je měřena, která způsobí rozeznatelnou změnu v odpovídající indikaci¹

Rozlišení měřidla je dáno nejmenším dílkem stupnice, který lze při odečtu naměřené hodnoty rozlišit (např. nonius 0,05 mm, dílek stupnice 0,002 mm, číslicový krok – digit 0,01 mm).

třída přesnosti

(VIM 4.25)

třída měřidel nebo měřicích systémů, které splňují stanovené metrologické požadavky určené k udržení chyb měření nebo přístrojových nejistot za specifikovaných pracovních podmínek ve specifikovaných mezích¹

Přesnost měřidel v oblasti SM je vyjadřována **třídou přesnosti**, která je na měřidle vyznačena číslem nebo značkou přijatou konvencí (např. 0, K, II), případně dána **rozlišením** měřidla.

ZÁVĚR

Základní principy měření jsou stejné, ať už se jedná o obory technické (např. strojírenství), nebo netechnické (např. chemie, biologie).

Pro zabezpečení jednotnosti a správnosti měřidel a měření tak, jak je vyžadováno ZoM, je nezbytné používat i jednotnou terminologii. Každý z nás však může jeden a týž pojem chápat a vyložit si jej jinak. K tomu, aby nedocházelo k rozporům ve výkladu jednotlivých pojmů by měl sloužit VIM.

VIM 3:2007 je výsledkem několikaletého snažení o sjednocení terminologie metrologické s terminologií používanou v analytické chemii a laboratorní medicíně. Zároveň představuje nový přístup k měřicímu procesu a výsledku měření, kdy základní charakteristikou jeho kvality je nejistota měření, nikoli tzv. chybový přístup.

Autoři nového slovníku, zřejmě vedeni snahou o co nejpřesnější formulaci definovaných termínů, které mají mít uplatnění v různých technických oborech, vytvořili dokument značně rozsáhlý a nepřehledný, který navíc zavádí i nové pojmy, jako „preciznost měření“, „správnost měření“. Pro širokou skupinu praktických metrologů je však tento dokument někdy těžko srozumitelný a jeho zavádění do běžné metrologické praxe je tak značně sníženo.

Jako příklad nemožnosti aplikovat do praxe údaje o měřidle poskytované některými výrobci měřidel může posloužit termín „přesnost“.

Jak z textu bakalářské práce vyplývá, tento termín je pouze kvalitativní. Z termínu „přesnost“ uváděného výrobcí v katalogích, případně přímo na měřidlech, proto není jednoznačně zřejmé, zda se jedná o:

- největší dovolenou chybu danou výrobcem, nebo
- nejistotu měření, případně
- jinou specifikaci.

Snahou této bakalářské práce je problematiku terminologie v oblasti měřidel a měření vysvětlit a zjednodušit tak, aby při dodržení nových principů definice přesnosti měření podle VIM 3:2007 byly dané formulace jednodušší a srozumitelnější.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. *Sborníky technické harmonizace 2010. Terminologie z oblasti metrologie. 2. vydání. TNI 01 0115:2009. Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)*. [online]. [vid. 2014-02-07]. Dostupné z: http://www.unmz.cz/files/Sborníky%20TH/Terminologie%20v%20oblasti%20metrologie_DEF.pdf
- [2] Český metrologický institut, *Přehled předpisů – legislativní rámec metrol. systému ČR*. [online]. [vid. 2014-02-07]. Dostupné z: <http://www.cmi.cz/index.php?lang=1&wdc=96>
- [3] ČSN 01 0115. *Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [4] ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. *Strojírenská metrologie I*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno: 2009.
- [5] PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. *Strojírenská metrologie II*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno: 2006.
- [6] REISENAUER, Roman. *Metody matematické statistiky*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p., Praha: 1970.
- [7] Český institut pro akreditaci, o.p.s. *Dokument ILAC-P14:01/2013. Politika ILAC pro nejistoty při kalibraci*. [online]. [vid. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.cia.cz/Download.ashx?Type=Document&Id=5148>
- [8] POSPÍŠIL, Miroslav. *Základy všeobecné metrologie aneb abeceda metrologa*. Brno: 2013. [prezentace PowerPoint pro účely školení v ČMI, dostupná pouze u autora]. [vid. 2014-05-01].
- [9] Český institut pro akreditaci, o.p.s. *Dokument EA-4/02 M:2013. Vyjádření nejistoty měření při kalibraci*. [online]. [vid. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.cia.cz/Download.ashx?Type=Document&Id=9135>
- [10] ŠINDELÁŘ, Václav a Zdeněk TŮMA. *METROLOGIE její vývoj a současnost*. Praha: Česká metrologická společnost, 2002.
- [11] SEKK spol. s r. o. a EURACHEM-ČR. *Metrologická terminologie v klinické a analytické laboratoři: 2. přepracované a doplněné vydání*. [online]. [vid. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.sekk.cz/terminologie/index.htm>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
AKL	Akreditovaná kalibrační laboratoř
ČMI	Český metrologický institut
ČSN	Česká technická norma
EA	Evropská spolupráce pro akreditaci
EN	Evropská norma
GUM	Pokyn pro vyjadřování nejistoty měření
IEC, ISO	Označení mezinárodní technické normy
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MPZ	Mezilaboratorní porovnávání
Sb.	Sbírky
SM	Strojírenská metrologie
Soustava ISQ	Mezinárodní soustava fyzikálních veličin (např. délka, hmotnost)
Soustava SI	Mezinárodně domluvená soustava jednotek fyzikálních veličin (např. metr, kilogram)
Subjekty	Právnícké osoby a fyzické osoby, které jsou podnikateli
TNI	Technická normalizační informace
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
VIM	Mezinárodní metrologický slovník
ZoM	Zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii, ve znění pozdějších předpisů

Symbol	Jednotka	Popis
A	[-]	konstanta zahrnující vliv náhodných chyb
B	[-]	konstanta zahrnující vliv nevyloučených systematických chyb
C	[-]	horní hranice chyby δ_m
K		označení třídy přesnosti
L	[m]	délka vyjádřená v příslušných jednotkách
P	[-]	pravděpodobnost
R	[-]	rozpětí
U	[-]	rozšířená nejistota měření
0		označení třídy přesnosti
II		označení třídy přesnosti
k	[-]	koeficient rozšíření
k_s	[-]	koeficient závisující na počtu opakovaných měření, používaný pro výpočet standardní nejistoty typu A
$s_{\bar{x}}$	[-]	směrodatná odchylka aritmetického průměru
s_x	[-]	směrodatná odchylka (výběrová)
u	[-]	standardní nejistota
$\bar{x}$	[-]	aritmetický průměr
y	[-]	odhad (výsledek korigovaný hodnotou systematické chyby)
z	[-]	zdroj nejistoty
Δ_s	[-]	systematická chyba
δ	[-]	náhodná chyba měření
δ_m	[-]	největší chyba měřidla
κ	[-]	konstanta pro dané rozdělení pravděpodobnosti
μ	[-]	střední hodnota (základního souboru)
σ	[-]	směrodatná odchylka (základního souboru)
χ	[-]	konstanta pro dané rozdělení pravděpodobnosti

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Příklad A
Vliv rozlišení měřidla na stanovení chyby/odchylky měření.
Kalibrace a měření posuvkou s rozlišením 0,01 mm
- Příloha 2: Příklad B
Kalibrace měřicího pásma porovnáním s etalonem a následné měření tímto kalibrovaným pásmem ve výrobě
- Příloha 3: Grafické znázornění příkladu B.II
- Příloha 4: Příklad C
Vyhodnocení kalibrace válečkového kalibru dobrého: 5 H7 D

PŘÍLOHA 1

Příklad A: Vliv rozlišení měřidla na stanovení chyby/odchylky měření.
Kalibrace a měření posuvkou s rozlišením 0,01 mm:



A. I. KALIBRACE

Referenční hodnota z kalibračního listu použité koncové měrky: 20,000 39 mm
Hodnota indikovaná posuvkou při kalibraci: 20,00 mm

Chyba měření = naměřená hodnota minus referenční hodnota

Chyba měření = 20,00 - 20,000 39 = -0,000 39 mm, tj.: **-0,39 μm**

Referenční hodnota pro další měření provedená touto posuvkou: 19,999 61 mm
Tuto hodnotu je možné, pro další použití, zaokrouhlit na 20,000 mm.

A. II. MĚŘENÍ VE VÝROBĚ

Hodnota naměřená touto, zkalibrovanou, posuvkou při měření ve výrobě: 20,09 mm

Při měření ve výrobě obvykle není používána hodnota referenční, ale jmenovitá. Proto se nejedná o chybu měření, ale o odchylku od jmenovité hodnoty.

Odchylka = naměřená hodnota minus jmenovitá hodnota

Odchylka = 20,09 - 20 = **+0,09 mm**

nebo:

Chyba měření = naměřená hodnota minus referenční hodnota

Chyba měření = 20,09 - 19,999 61 = +0,090 39 mm, tj.: **+0,09 mm**

Z výše uvedeného příkladu vyplývá, že úchylka středové délky koncové měrky do $\pm 0,4 \mu\text{m}$ je při běžném měření ve výrobě ve vztahu k rozlišení posuvky (0,01 mm) zanedbatelná a je možno použít jmenovitou hodnotu místo hodnoty referenční.

PŘÍLOHA 2

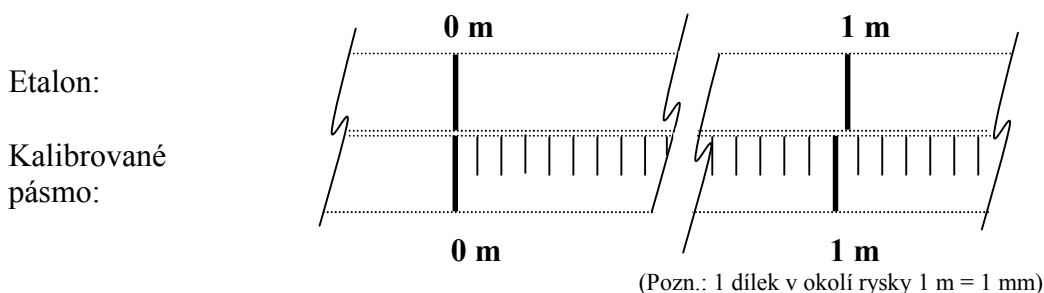
Příklad B:

Kalibrace měřicího pásma porovnáním s etalonem a následné měření tímto kalibrovaným pásmem ve výrobě:

Jiná situace však nastane například u měřicích pásem, kde je možné se dopustit použitím jmenovité hodnoty místo referenční mnohem větší nepřesnosti při stanovení výsledku měření.

B. I. KALIBRACE

(Pozn.: Nulové rysky jsou nastaveny souose a jsou počátkem měření.)



Z kalibračního listu etalonu lze vyčíst, že na rysce 1 m byla zjištěna chyba měření +1,2 mm, tj. referenční hodnota pro prováděnou kalibraci je 1,001 2 m.

Chyba měření = naměřená hodnota minus referenční hodnota

Chyba měření = 0,999 5 - 1,001 2 = -0,001 7 m, tj.: **-1,7 mm**

Referenční hodnota na rysce 1 m pro další měření provedená tímto pásmem: 0,998 3 mm

B. II. MĚŘENÍ VE VÝROBĚ

Pokud bude pro měření v provozu použito výše uvedené kalibrované měřicí pásmo, a hodnota naměřená tímto pásmem bude 1,001 5 m, výpočty budou vypadat následovně:

Odchylka = naměřená hodnota minus jmenovitá hodnota

Odchylka = 1,001 5 - 1 = +0,001 5 m, tj.: **+1,5 mm**

nebo:

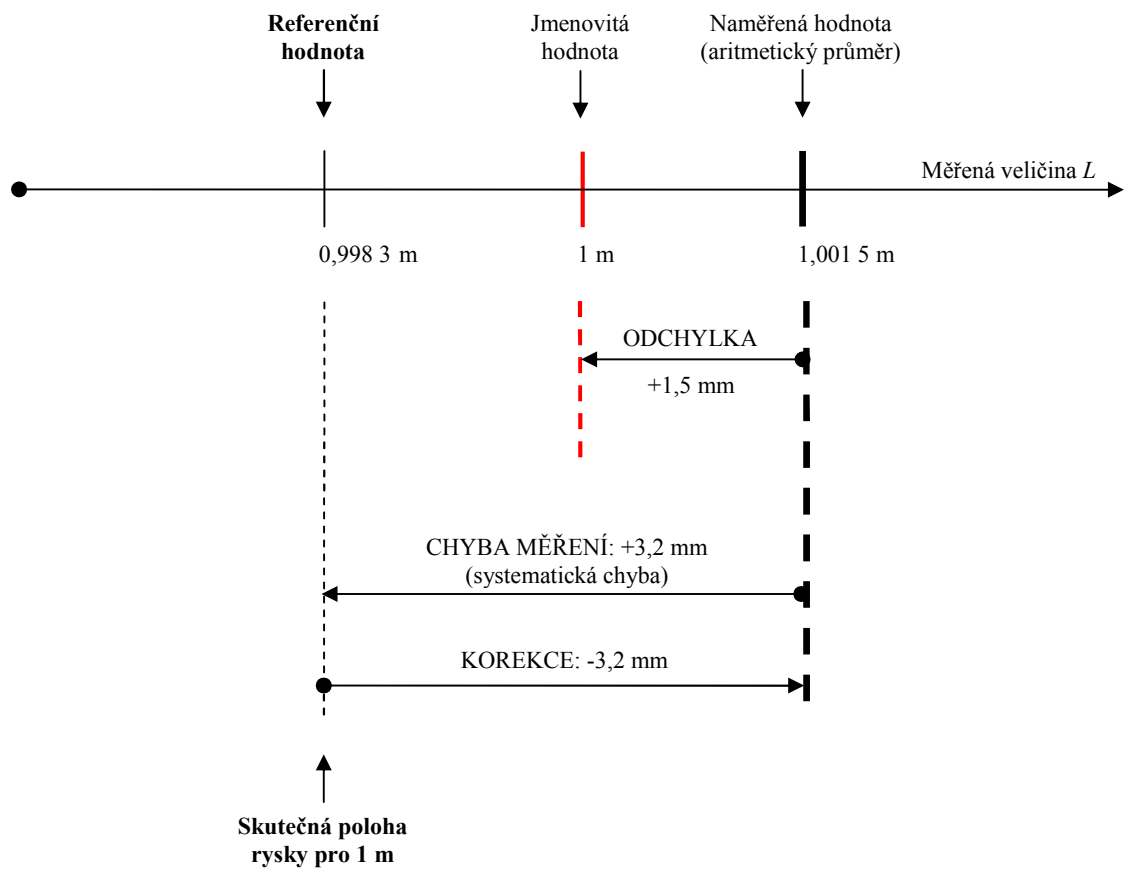
Chyba měření = naměřená hodnota minus referenční hodnota

Chyba měření = 1,001 5 - 0,998 3 = +0,003 2 mm, tj.: **+3,2 mm**

Pro co největší přiblížení skutečné (pravé) hodnotě, je nutno naměřenou hodnotu korigovat o -3,2 mm.

PŘÍLOHA 3

Grafické znázornění výše uvedeného příkladu B.II.:



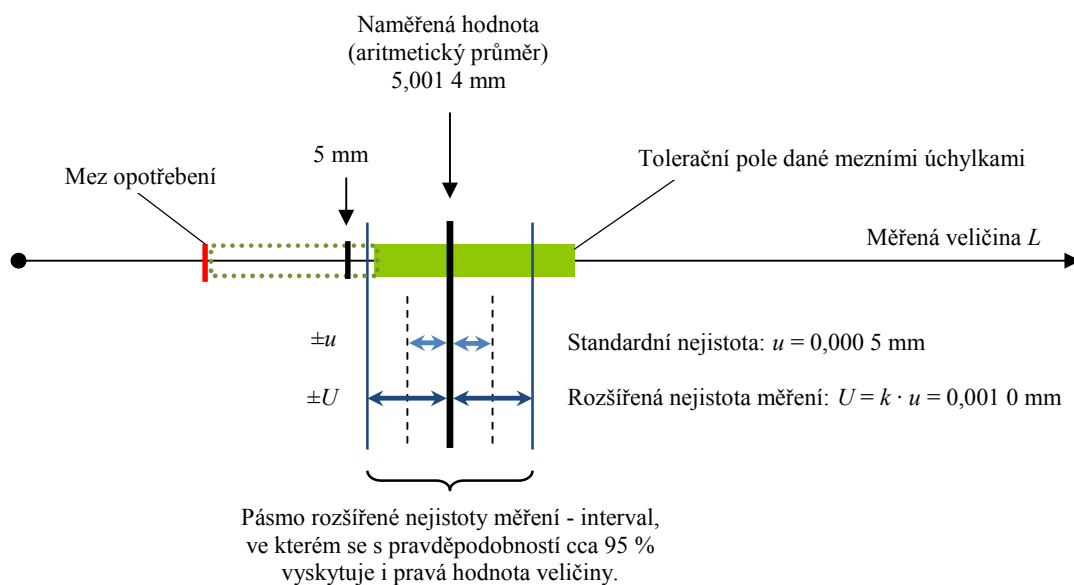
PŘÍLOHA 4

Příklad C: Vyhodnocení kalibrace válečkového kalibru dobrého: 5 H7 D

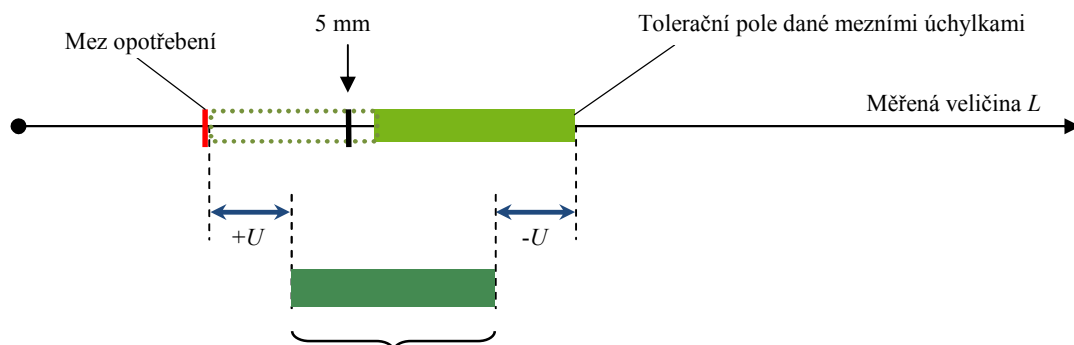
Naměřená hodnota: 5,001 4 mm
Rozšířená nejistota měření: $U = 0,001\ 0\ \text{mm}$, pro $k = 2$

Mezní úchytky: 5,000 5 mm až 5,003 5 mm
Mez opotřebení: 4,998 5 mm

Grafické znázornění:



Nejistota měření zužuje toleranční pole:



Pouze pokud by naměřené hodnoty ležely v intervalu (4,999 5 až 5,002 5) mm bylo by možné prohlásit pro kalibr 5 H7 D shodu se specifikací, tedy že měřidlo je vyhovující.

Specifikace je zde dána mezními úchytkami pro uložení H7.

Pro rozšíření intervalu (zmenšením rozšířené nejistoty měření) je nutno použít přesnější měřidlo (etalon) anebo stabilní podmínky měření.