



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

MANAGEMENT JAKOSTI PRO KALIBRACI **DÉLKOVÝCH MĚŘIDEL**

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM FOR THE CALIBRATION OF LINEAR GAUGES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN DOBEŠ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ PERNIKÁŘ, CSc.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Dobeš

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Management jakosti pro kalibraci délkových měřidel

v anglickém jazyce:

Quality Management system for the calibration of linear gauges

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Základní pojmy a definice
2. Přehled platné legislativy
3. Návrh kalibračních postupů pro vybraná měřidla
4. Závěr

Cíle bakalářské práce:

Vytvořit pracovní postupy pro kalibraci zadaných měřidel.

Seznam odborné literatury:

- [1]. ČECH,J. a PERNIKÁŘ,J. a Poddaný,K. Strojírenská metrologie 2. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 188s. ISBN 80 – 214 – 3070 - 2
- [2] Způsobilost kontrolních procesů, Svaz automobilového průmyslu (VDA), Česká společnost pro jakost Praha 2004 ISBN 80-02-01656-4
- [3] PERNIKÁŘ,J. a TYKAL,M. Strojírenská metrologie II. 1. Vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 180s. ISBN 80 – 214 –3338-8.
- [4] Jemčík,J. a Kuhn,L. Technická měření ve strojírenství SNTL Praha 1982, 581 s.
- [5] [ČSN 01 0115: Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii

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






doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu



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

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Abstrakt

Tato bakalářská práce pojednává o problematice kalibrace měřidel. Cílem této práce je vypracování podrobných kalibračních postupů a ukázkové měření vybraných typů délkových měřidel. Těmito měřidly jsou koncové měrky, číselníkový úchylkoměr, posuvné měřítko a třmenový mikrometr. Toto měření bylo zprostředkováno v kalibrační laboratoři firmy TM Technik s. r. o., kde autor mohl získávat zkušenosti od zaměstnanců a řešit s nimi uvedená témata.

Klíčová slova


Kalibrace, kalibrační postup, metrologie, přesnost měření, kalibrační laboratoř

Abstract

This bachelor thesis deals with the issues of calibration of gauges. The aim of the thesis is to create detailed calibration procedures and exemplary measurements of selected types of length gauges. These gauges are gauge blocks, dial indicator, caliper, micrometer. This measuring was implemented in the calibration laboratory TM Technik s. r. o., where autor could obtain experiences from employees and discuss with them about these topics.


Key words

Calibration, procedures of calibration, metrology, accuracy of measurement, calibration laboratory

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Bibliografická citace

DOBEŠ, Jan. *Management jakosti pro kalibraci délkových měřidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 53 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.


	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Management jakosti pro kalibraci délkových měřidel vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.


23. 5. 2014

.....
Dobeš Jan

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	


Poděkování

Děkuji doc. Ing. Jiřímu Pernikářovi, CSc. za odborné vedení a cenné připomínky při vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům firmy TM Technik s. r. o. za spolupráci a uvedení do problematiky daného tématu.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Obsah


Úvod	10
1 Základní pojmy a definice	11
1.1 Metrologie obecně	11
1.2 Definice pojmů a termínů v oblasti měření [5]	12
1.3 Základy teorie chyb měření [1]	15
1.4 Nejistota měření	18
2 Přehled platné legislativy	23
2.1 Základní právní předpisy [8]	23
2.2 Kategorie měřidel	25
3 Návrh kalibračních postupů pro vybraná měřidla	27
3.1 Kalibrace koncových měrek	27
3.2 Kalibrace číselníkových úchylkoměrů	32
3.3 Kalibrace posuvných měřítek	39
3.4 Kalibrace třmenových mikrometrů	42
Závěr	47
Seznam použitých zdrojů	48
Seznam použitých zkratk a symbolů	50
Seznam obrázků	52
Seznam tabulek	53

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Úvod

Měření délek je činnost, která lidi doprovází již od jejich nejstarších dějin, kdy potřeba měření vznikla společně se zavedením směnného obchodu. Právě směnný obchod byl u většiny druhů zboží založený jen na bázi měření. K tomu aby bylo možné něco změřit, je třeba zvolit vhodné jednotky. Jednotku si může každý člověk v nejjednodušším případě zvolit sám, a také takto se to dříve v nejběžnější praxi uskutečňovalo. Často se volila za základní jednotku libovolná část lidského těla, například loket nebo palec a pomocí těchto délek se vyjadřovaly délky ostatních předmětů. Je jisté, že udávání délek pomocí takto volených jednotek nebylo zrovna nejpřesnější. S postupným rozvojem vědy se zvolily takové jednotky, které bylo možné využívat jednorázově s velkou přesností, a které jsou založeny na fyzikálním principu.

I přes dnešní moderní techniku, vybavenost měřících laboratoří a znalostí vyškoleného personálu není možné určit skutečnou hodnotu měřené veličiny. Je téměř jisté, že to ani nikdy možné nebude. V každém případě se dá určit interval, v němž se s danou pravděpodobností skutečná hodnota nalézá. Kromě tohoto problému se práce zabývá především kalibrací měřidel, která spočívá v metrologické konfirmaci, jenž popisuje soubor činností. Tyto činnosti mají za úkol určit, zda měřící zařízení je ve shodě s požadavky pro dané použití. Při kalibrování každého měřidla musí být předem známé podmínky, pokyny a metody, jenž bývají shrnuty v kalibračních postupech, které jsou hlavním předmětem této práce. V těchto postupech je specifikováno celé provádění kalibrace. Kalibrační úkony jsou vykonávány v kalibrační laboratoři firmy TM Technik s. r. o., která dbá na svém dobrém jménu a stará se o to, aby jejich dokumentace byla v souladu s metrologickým řádem.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

1 Základní pojmy a definice

Přesné pojmy a správná terminologie používané ve vědách jsou důležité pro vzájemnou komunikaci v odborných kruzích. Jejich správné používání je nutno zapracovat do platných norem a předpisů.

1.1 Metrologie obecně

Metrologie je vědní a technická disciplína, která se zabývá činnostmi a poznatky měření. Tvoří základnu jednotného a přesného měření nejrůznějších oborech vědy, státní správy, v obraně, zdravotnictví a také životního prostředí. Přesné



Obr. 1.1 Ukázka měřících zařízení [13]


a jednotné měření je předpokladem pro vzájemnou důvěru při směně zboží, ale zároveň i jednou z nucených podmínek pro efektivitu výroby.

Metrologie plní obecně tyto úkoly [4]:

- definuje mezinárodně uznávané měřicí jednotky (např. metr),
- realizuje jednotky pomocí vědeckých metod, etalonů (např. realizování metru s využitím laserových paprsků),
- návaznost měření.

Metrologii můžeme členit na několik kategorií, které je vhodné správně definovat. Rozlišuje se na tři základní části:

- **Metrologie vědecká**, která se zabývá vývojem, výzkumem a organizováním činností spojených s vývojem a uchováním etalonů, tedy měřících standardů. Pomáhá při studiu základních přírodních zákonů. Z vědeckého hlediska se tento oddíl metrologie pohybuje na nejvyšší úrovni.
- **Metrologie legální** je definována jako část metrologie, která se zaměřuje na činnosti, které vyplývají ze zákonem stanovených požadavků. Shrnuje tedy normy, vyhlášky a zákony, které se týkají měření, měřících jednotek, měřidel a metod měření, které jsou prováděny právoplatnými orgány.
- **Metrologie praktická** se zabývá praktickou činností při aplikaci měřících postupů v dané oblasti [1].

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 12
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

1.2 Definice pojmů a termínů v oblasti měření [5]

Donedávna byly základní termíny definovány v Mezinárodním slovníku základních a všeobecných termínů v metrologii. Tahle norma je však v současné době neplatná. Proto je náhradou za tuto normu od roku 2009 nový Mezinárodní slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM) TNI 01 0115.

Měření: soubor činností, jejichž cílem je stanovit hodnotu veličiny.

Metoda měření: logický sled po sobě následujících, genericky posloupně popsaných činností, které jsou používány při měření.

Měřená veličina: blíže určená veličina, která je předmětem měření.

Postup měření: podrobný popis měření podle jednoho nebo více měřících principů a dané metody měření, který zahrnuje libovolný výpočet k získání výsledku měření.

Přesnost měření: těsnost shody mezi výsledkem měření a (konvenčně) pravou hodnotou měřené veličiny. Přesnost je pojem kvalitativní a nejde přímo kvantifikovat.

Výsledek měření: hodnota získaná měřením a přisouzená měřené veličině. Jako výsledek měření může být hodnota [1]:


- indikovaná přístrojem,
- průměr z množství hodnot získaných za podmínek opakovatelnosti,
- výsledek korigovaný (po odstranění předpokládaných systematických chyb),
- výsledek nekorigovaný (před odstraněním předpokládaných systematických chyb).

Úplný výsledek měření: obsahuje výsledek měření a údaj o nejistotě měření.

Hodnota (veličiny): velikost blíže určené veličiny obecně vyjádřené jako (měřící) jednotka násobená číselnou hodnotou.

Číselná hodnota (veličiny): podíl hodnoty veličiny a jednotky použité pro její vyjádření.

Pravá hodnota veličiny, skutečná hodnota veličiny: hodnota, která je ve shodě s definicí veličiny. Tuto pravou hodnotu veličiny nelze nikdy poznat, lze se jí měřením pouze přiblížit.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Konvenční pravá hodnota (veličiny): hodnota, která je přisuzovaná blíže určené veličině a přijatá někdy konvencí jako hodnota, jejíž nejistota bývá vyhovující pro daný účel.

Jednotka (měřící): blíže určená veličina definovaná a přijatá konvencí, se kterou jsou porovnávány jiné veličiny stejného druhu za účelem vyjádření jejich hodnoty ve vztahu k této veličině.

Metrologická confirmace: soubor činností požadovaných k zajištění takového stavu měřidla, aby vyhovovalo zamýšlenému používání. Confirmace obsahuje mimo jiné: justování, kalibraci, plombování, opatření štítkem aj.

Kalibrace: soubor úkonů, kterými se stanoví za specifikovaných podmínek vztah mezi hodnotami veličin, které jsou indikovány měřícím přístrojem nebo měřícím systémem a hodnotami reprezentovanými referenčním etalonem.

Justování: operace určená k tomu, aby funkční stav a správnost měřidla odpovídaly jeho používání.


Ověření (stanoveného měřidla): potvrzení, že stanovené měřidlo má požadované metrologické vlastnosti, které jsou obsaženy v certifikátu, jenž byl vydán při příslušném schválení typu. Ověřování provádí Český metrologický institut nebo autorizovaná metrologická střediska. Stanovená měřidla také podléhají příslušnému schválení typu.

Validace: ověřování, že specifikované požadavky jsou přiměřené pro zamýšlené použití.

Měřící zařízení: zařízení používané k měření, samotné nebo ve spojení s jedním nebo více přídatnými zařízeními. Patří sem měřidla, etalony, certifikované referenční materiály, příslušenství a instrukce.

Etalon: realizace definice dané veličiny, se stanovenou hodnotou veličiny a přidruženou nejistotou měření, používaná jako reference.

Mezinárodní etalon: etalon uznaný signatáři mezinárodní dohody a určený k celosvětovému použití.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Třída přesnosti: třída měřidel, které splňují určité metrologické požadavky stanovené k udržení chyb měření za specifikovaných pracovních podmínek ve specifikovaných mezích.

Rozlišitelnost (indikačního zařízení): názorné kvantitativní vyjádření způsobilosti indikačního zařízení rozlišit velmi blízké hodnoty indikované veličiny. Často je definována jako hodnota jednoho dílku u analogového měřidla. U digitálního měřidla je to hodnota jednoho digitu.

Největší dovolená chyba (měřidla): extrémní hodnota chyby daného měřidla povolená specifikacemi, normou, garantována výrobcem atd. Největší dovolená chyba je závislá zpravidla na absolutní hodnotě měřené veličiny. Zpravidla bývá větší než rozlišitelnost, takže při odečítání měřené hodnoty na stupnici nesmíme odhadovat zlomky nejmenšího dílku.

V případě že dodržíme požadované podmínky měření, žádný výsledek měření by neměl mít chybu větší než je největší dovolená.

$$\delta = \pm(A + B \cdot L) \leq C \quad 1.1$$

kde L – hodnota měřené veličiny v mm (případně v m),


A – konstanta zahrnující vliv náhodných chyb,

B – konstanta zahrnující vliv nevyločených systematických chyb,

C – horní hranice chyby δ [1].

Opakovatelnost (výsledků měření): těsnost shody mezi výsledky po sobě následujících měření téže měřené veličiny, provedených za stejných podmínek měření. Podmínky opakovatelnosti jsou podmínky, kdy na sobě navzájem nezávislé výsledky měření jsou získány stejnou metodou na stejném zkušebním vzorku v té samé laboratoři stejným operátorem, jenž užívá stejné přístroje v krátkém časovém intervalu. Opakovatelnost může být kvantitativně vyjádřena charakteristikami rozptylu výsledků. Pro tento účel se používá směrodatná odchylka a rozpětí [1].

Reprodukovatelnost (výsledků měření): těsnost shody mezi výsledky měření téže veličiny provedenými za změněných podmínek měření. Mezi změněné podmínky měření lze zahrnout: princip měření, metodu měření, pozorovatele, měřicí přístroj,

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

referenční etalon, místo, podmínky použití a čas [1]. Je také důležité brát v úvahu, že nemůžeme srovnávat měření dvou a více měřidel s různou rozlišitelností (například desetinovým a tisícinovým zařízením).

Korekce: algebraicky připočtená hodnota k nekorigovanému výsledku měření ke kompenzaci systematické chyby. Korekce má hodnotu systematické chyby, ale opačné znaménko.

1.3 Základy teorie chyb měření [1]

Každé měření je zatíženo chybou. Tyto chyby vznikají vlivem nedokonalostí lidských smyslů, nepřesností měřících prostředků, volbou nesprávné měřicí metody, nemožností vyloučit rušivé vlivy a mnoho dalších.

Absolutní chyba měření je rozdíl mezi výsledkem měření a (konvenčně) pravou hodnotou měřené veličiny:

$$\Delta = x_m - x_p, \quad 1.2$$

kde x_m je výsledek měření,

x_p je (konvenčně) pravá hodnota měřené veličiny [3].

Korektní (pravou) hodnotu veličiny z měření, které je zatíženo chybou, nelze pořádně stanovit, ale můžeme se k ní přiblížit. Určí se nejpravděpodobnější konvenčně pravá hodnota předmětné veličiny a odhadne se její přesnost.

Relativní chyba je bezrozměrná a bývá definovaná jako podíl chyby měření a pravé hodnoty měřené veličiny

$$\Delta_r = \frac{x_m - x_p}{x_p}, \quad 1.3$$

Ize ji také vyjádřit v procentech

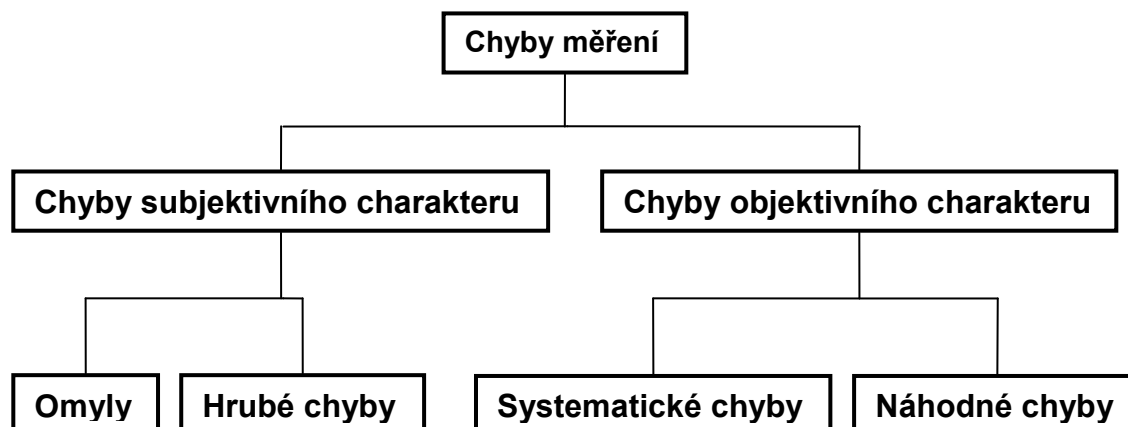
$$\Delta_p = \frac{x_m - x_p}{x_p} \cdot 100 [\%]. \quad 1.4$$

Takto vyjádřená chyba odpovídá lépe logaritmické reakci našich lidských smyslů i prosté intuici. Je totiž něco jiného obdržet například dodávku uhlí na zimu s přesností jeden kilogram a znát se stejnou absolutní chybou velikost rodinných zásob zlata.

Obecně se celková chyba skládá z chyby systematické a z chyby náhodné. Chyby kterých se musíme vyvarovat, jsou nazývány jako **chyby hrubé**.



Systematické a náhodné chyby jsou kategorií chyb, kterých se vyvarovat úplně nelze. Systematické chyby mohou mít složku, která je odhalitelná. To znamená, že u ní lze vyloučit korekci výsledku měření. Můžou obsahovat ale také složku neodhalitelnou a spolu s náhodnými chybami se zahrnují do nejistoty měření.



Obr. 1.2 Schéma klasifikace chyb měření

Náhodná chyba δ je výsledek měření minus střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže měřené veličiny uskutečněné za podmínek opakovatelnosti [3].

$$\delta_{\max} \rightarrow \pm 3s_x \quad 1.5$$

Pro opakující se měření platí:

$$\delta_{\max} \rightarrow \pm 3s_{\bar{x}}; \text{ kde } s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} \text{ (př. } n = 4 \rightarrow 2x \text{ menší } \delta). \quad 1.6$$

Dva zákony, které obecně vyjadřují vlastnosti náhodných chyb a jsou statistického původu znějí:

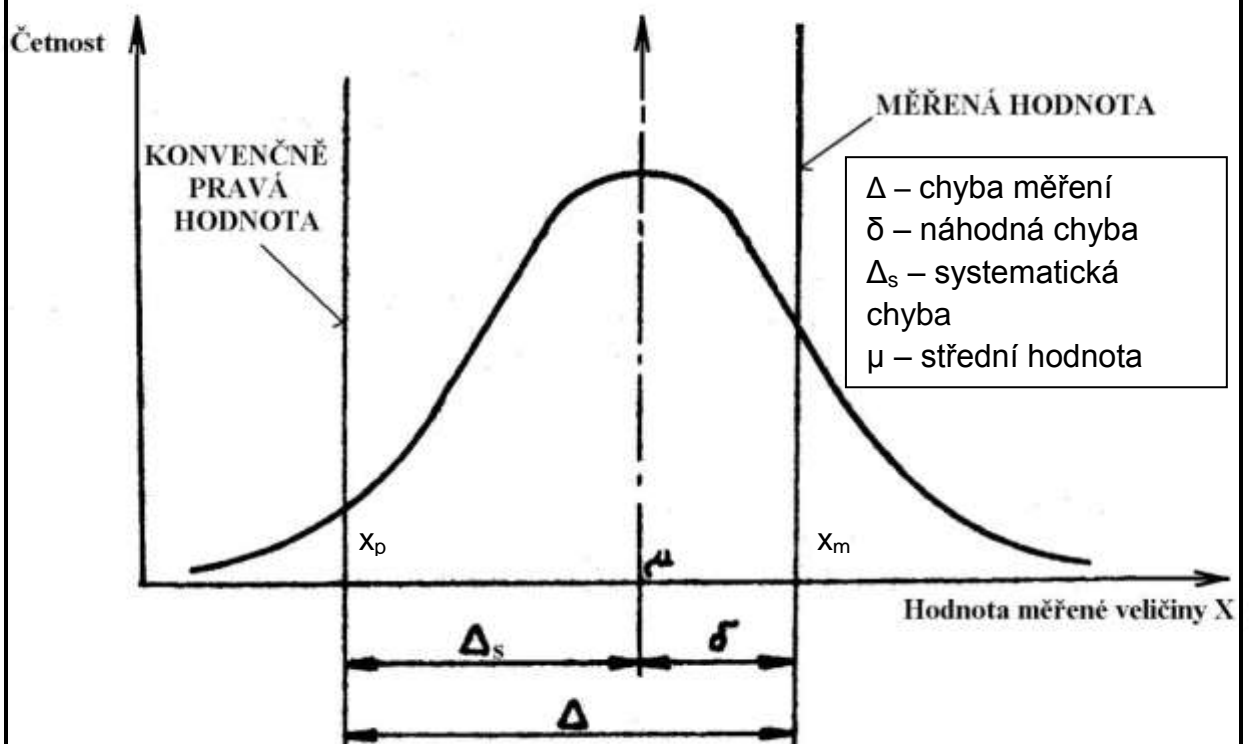
- malé chyby se vyskytují častěji než chyby velké,
- za předpokladu symetrického rozložení chyb jsou chyby kladné stejně četné jako chyby záporné.

Systematická chyba Δ_s je střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže měřené veličiny, uskutečněných za podmínek opakovatelnosti, od které se odečte pravá hodnota měřené veličiny. Systematickou chybu lze eliminovat pomocí korekce, jenž má velikost systematické chyby s opačným znaménkem. Avšak, systematickou chybu nemůžeme vyloučit v celém rozsahu pomocí korekce,

protože střední hodnotu můžeme pouze nahradit jejím odhadem a pravou hodnotu referenční hodnotou [3].

Systematická chyba se nejčastěji vyskytuje jako:

- chyba metody,
- chyba obsluhy,
- chyba měřících prostředků,
- chyba zapříčiněná okolním prostředím,
- chyba vznikající nepřiměřenosti modelu měření.




Obr. 1.3 Graf chyby měření [3]

Hrubou chybu můžeme definovat jako chybu málo nápadnou a tudíž nelehce rozpoznatelnou. Změřené hodnoty, které jsou poškozeny právě hrubými chybami je třeba z výsledků bezpodmínečně vyloučit. Takže zjistíme-li, že se v měření nachází hrubé chyby, je třeba ukončit proces měření a pokračovat až tehdy, dokud se příčina hrubých chyb neodstraní. Opatření, které by měly hrubé chyby odstranit, musí být zásadní – výměna měřidla, operátora, změna času měření, místa apod.

Nejčastější příčiny chyb měření:

- měřící zařízení, měřící systém (např. chyby vzniklé posunutím nuly, chyby třením),

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 18
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- podmínky, za kterých se měření uskutečňuje (vliv okolního prostředí),
- metoda měření.

1.4 Nejistota měření

Podle mezinárodního metrologického slovníku je nejistota definovaná jako nezáporný parametr k vyhodnocování měření, charakterizující rozptýlení hodnot, v němž leží pravá hodnota měřené veličiny, obecně s danou pravděpodobností [5]. Jako předmět metrologie je nejistota v nynější době celkem nový a tudíž velmi aktuální pojem. Podle mezinárodních norem, předpisů a směrnic evropských institucí se u akreditovaných laboratoří jednoznačně požaduje vyjadřování výsledků měření, kalibrace, ověření s nejistotou dané procedury.

Jak už bylo zmíněno v úvodu, pravou (skutečnou) hodnotu měřené veličiny nelze identifikovat, protože neexistují absolutně přesné měřící přístroje a ani nelze vytvořit dokonalé ideální podmínky pro měření. Výsledek, který tedy vzejde z reálného měření se pravé hodnotě veličiny pouze přibližuje. Abychom mohli definovat přesnost výsledku měření, je třeba k němu dodat nejistotu měření.

Interpretace nejistoty měření:

Existuje-li výsledek měření Y a výsledná nejistota měření U , pak v intervalu $\langle Y - U; Y + U \rangle$, jehož středem je výsledek měření, leží hledaná pravá (skutečná) hodnota měřené veličiny s danou pravděpodobností, která je většinou 95% [3].

Při měření dané veličiny dostaneme datový soubor, který se vyhodnocuje do podoby výsledku kalibrace. K odhadnutí výsledku měřené veličiny poslouží aritmetický průměr námi provedených měření:

$$Y = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad 1.7$$

Tato výstupní veličina neboli výsledek může být u dalších druhů měření doplněn o korekce, což je vlastně odstranění systematické chyby, která se vnáší do měření vlivem určitých vstupních veličin. Vstupní veličinou může být třeba tepelná roztažnost materiálu. Dva hlavní typy stanovení nejistoty výsledku jsou:

- stanovení nejistoty typu A,
- stanovení nejistoty typu B.

A) Stanovení nejistoty typu A

Toto stanovení má základní princip, a to je určení nejistoty statistickou analýzou sérií naměřených hodnot. V takto stanoveném případě se považuje za nejistotu výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru.

Abychom získali správný soubor dat k vyhodnocení směrodatné odchylky, je třeba měření několikrát opakovat za stejných podmínek. Nutná je také dostatečná rozlišitelnost měřidla pro dobrou pozorovatelnost odchylek, které vznikají díky náhodným vlivům. Při naměření hodnot, nezávislých na sobě, se standardní nejistota váže na výběrový průměr a zjistí se tedy výpočtem směrodatné odchylky:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad 1.8$$

Výběrová směrodatná odchylka je pak nazývána jako **standardní nejistota typu A (u_A)** neboli:

$$s_{\bar{x}} = u_A \quad 1.9$$

Ovšem, pokud je počet opakovaných měření nižší $n < 10$, musí být uvážena spolehlivost odhadu standardní nejistoty typu A a to pomocí koeficientu k_s , jehož hodnota závisí na počtu měření [3].


Tab. 1.1 Závislost koeficientu rozšíření nejistoty typu A na počtu měření [3]

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

B) Stanovení nejistoty typu B

Nejistota typu B se stanoví odlišným způsobem než pouze statistickou analýzou sérií naměřených hodnot. Při vyjádření nejistoty totiž čerpáme z odborných znalostí s pomocí všech možných dostupných informací o možné variabilitě a výstupní veličiny [6]:

- z minulých měření,
- vlastností o chování a zkušenostech daných materiálů za určitých podmínek,
- záznamů z kalibračních listů nebo jiných certifikátů,
- záznamů výrobce,

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 20
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- z literárních záznamů řešící tento problém.

Nejdříve je nutné najít všechny **možné zdroje nejistot**. 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 zdrojů [3]:

Vlivy vázané na použité přístroje, etalony a vybavení:


- nejistoty kalibrace nebo ověření,
- stabilita (časová specifikace) přístrojů,
- dynamické chyby přístrojů,
- zanedbané systematické chyby,
- vnitřní tření v přístrojích,
- rozlišitelnosti přístrojů a rozlišení odečtu z přístrojů,
- hystereze, mrtvý chod,
- specifikace výměnných částí přístrojů.

Vlivy okolního prostředí a jejich změny:

- tlak, změna tlaku,
- relativní vlhkost,
- magnetické pole,
- elektrické pole,
- osvětlení, jeho frekvence a tepelné vyzařování,
- hustota vzduchu,
- čistota prostředí,
- napájecí napětí, stabilita, frekvence, harmonické zkreslení,
- zemní smyčky.

Vlivy metody:

- ztráty, svodové proudy,
- interakce s měřeným předmětem,
- nejistoty použitých konstant,
- vlivy reálných parametrů oproti ideálně uvažovaným v modelech,
- vlastní ohřev,
- odvod či přestup tepla.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 21
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Vlivy operátora:

- nedodržení metodik,
- paralaxa,
- elektrostatické pole,
- tepelné vyzařování,
- osobní zvyklosti.

Ostatní vlivy:

- náhodné omyly při odečtech nebo zápisu hodnot,
- těžko postihnuteľné globální vlivy (vliv Měsíce, ročních období apod.).

Ke zjištění nejistoty typu B je třeba dodržet takovýto postup [3]:

- 1) Určí se možné zdroje nejistot.
- 2) Posoudí se největší možný rozsah změn $\pm z_{\max}$ u jednotlivých zdrojů. Velikost Δz_{\max} se musí zvolit tak, aby bylo překročení velikosti těchto změn málo pravděpodobné.
- 3) Zhodnotí se, jaké pravděpodobnostní rozdělení nejlépe vystihuje výskyt hodnot v intervalu $\pm z_{\max}$ a z tabulky rozdělení pravděpodobnosti odečteme konstantu κ , která závisí na rozdělení pravděpodobnosti daného zdroje.
- 4) Stanoví se hodnoty nejistot typu B z jednotlivých zdrojů.

$$u_{B_i} = \frac{\Delta z_{\max}}{\kappa} \quad 1.10$$

5) Celková nejistota typu B je dána geometrickým součtem nejistot jednotlivých zdrojů.

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial z_i} \cdot u_{Bz_i} \right)^2} \quad 1.11$$

Jestliže je funkce f lineární, potom:

$$\frac{\partial f}{\partial z_i} = \pm 1, \quad 1.12$$

Dostáváme tedy:



$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_{Bi}^2} \quad 1.13$$

C) Kombinovaná standardní nejistota výsledku měření:

Při vyhodnocování měření touto nejistotou, není potřeba od sebe rozeznávat nejistoty typu A a B. A možná i proto je jí v praxi dávána největší přednost. Tato nejistota určuje interval, ve kterém se s docela velkou pravděpodobností může vyskytovat skutečná hodnota měřené veličiny. Je dána geometrickým součtem nejistot určených typem A a typem B [3,6]:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad 1.14$$

D) Rozšířená standardní nejistota:


Aby bylo možné stanovit rozšířenou nejistotu, je potřeba použít vzorec definovaný pro tuto celkovou nejistotu:

$$U = k \cdot u_C \quad 1.15$$

Při naprosté většině kalibrací můžeme soudit, že se jedná o normální rozdělení měřené veličiny a koeficient rozšíření $k = 2$ pak odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95% této distribuce. Jestliže existují důvody pro určení nižší nebo naopak vyšší pravděpodobnosti pokrytí distribuce normálního rozdělení hodnot, koeficienty jím odpovídající jsou v nadcházející tabulce [3,6].

Tab. 1.2 Koeficient rozšíření k standardní nejistoty výsledku [3]

Koeficient rozšíření k	Pravděpodobnost
1	68,0 %
2	95,5 %
3	99,7 %

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 23
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

2 Přehled platné legislativy

Jednotlivé části národního metrologického systému (dále NMS), za něž je zodpovědný stát, musí být podloženy příslušnou právní úpravou. Metrologický řád stanovuje dle mezinárodních norem ISO 9000 dané povinnosti a popisuje postup pracovníků při používání a skladování měřících zařízení, včetně jejich údržby. Řád zahrnuje i požadavky norem ČSN EN 45001, ČSN EN ISO 10012, zákona o metrologii č. 505/1990 Sb. ve znění všech dodatků, provádějící vyhlášky Ministerstva průmyslu a obchodu ČR (dále MPO) č. 262/2000 Sb. a vyhlášky MPO č. 345/2002 Sb. o stanovených měřidlech a dalších [7].

2.1 Základní právní předpisy [8]


A) Zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii ve znění všech dodatků je základem legislativy českého metrologického systému a byl již několikrát novelizován.

Posláním zákona je úprava práv a povinností jednotlivých subjektů (neboli podnikatelů a právnických osob) hospodářské oblasti na jedné straně a orgánů státní správy na straně druhé za účelem zajistit jednotnost a správnost měřidel nebo měření ve změnách přijatých zákonem č. 119/2000 Sb., zákonem č. 137/2002 Sb. a zákonem č. 226/2003 Sb. a jiných [7].

B) Zákon č. 20/1993 Sb., který má za úkol zabezpečit výkony státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví ve znění zákona č. 22/1997 Sb., zákona č. 119/2000 Sb. a zákona č. 137/2002 Sb.. Je to zákon České národní rady.

C) Zákon č. 22/1997 Sb., který popisuje technické požadavky na výrobky a změny nebo doplnění některých zákonů. Tento zákon byl novelizován zákonem č. 71/2000 Sb., jenž definuje změny, které jsou zájmem technických norem a vymezuje práva a povinnosti autorizovaných osob.

C) Vyhláška MPO č. 264/2000 Sb., kde orgány a subjekty státní správy mají za úkol používat základní měřící jednotky a jejich označování. Všechny doplňující detaily tohoto problému, včetně definic jednotek, popisuje právě tato vyhláška. Na mezinárodní úrovni je možno použít i jiné základní jednotky, pokud odpovídají obchodním zvyklostem.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 24
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

D) Vyhláška MPO č. 262/2000 Sb., kterou se zajišťuje jednotnost a správnost měřidel a měření. Byla novelizována vyhláškou MPO č. 344/2002 Sb. a později vyhláškou MPO č. 229/2010 Sb.

Rozebírá některé postupy a zásady pro provádění konkrétních ustanovení zákona o metrologii. Stanovuje například postup při schválení typu stanovených měřidel, autorizaci metrologických středisek a další.

E) Vyhláška MPO č. 345/2002 Sb. slouží ke stanovení měřidel k povinnému ověřování a měřidel, které podléhají schválení typu. Tato vyhláška byla opět několikrát novelizována a zrušila vyhlášku MPO č. 263/2000 Sb.

F) ČSN EN ISO 9000, Systémy managementu jakosti – Základní principy

Je to směrnice pro volbu a použití norem. Obsahuje základy a obecné zásady systému managementu jakosti a zpřesňuje jeho terminologii [9].

G) ČSN EN ISO 9001, Systémy managementu jakosti – požadavky

Norma obsahuje požadavky na systém managementu jakosti, které musí daná organizace splnit, aby mohla být certifikována [9].

H) ČSN EN ISO 9004

Je to směrnice pro budování systému managementu jakosti. Poskytuje návod, jak zlepšovat fungování a výkony organizace. Popisuje především efektivnost systému managementu jakosti. Tato norma se nepoužívá pro certifikaci, ale pro zlepšování již zaběhnutých systémů [9].


I) ČSN EN ISO 10012, Systémy managementu měření

Stanovuje nároky na procesy měření a měřicí vybavení. Předepisuje návod, zda dané náležitosti vyhovují metrologickým požadavkům [9].

J) ČSN EN ISO / IEC 17025

Tato norma popisuje všeobecná kritéria pro správný chod zkušebních laboratoří, akreditačních a certifikačních orgánů z hlediska organizace, vybavení, pracovníků a technických pomůcek [9].

Legální metrologie má obecně jeden jediný cíl, a to je ochrana občanů před důsledky špatného měření v úřední oblasti, ale také u obchodní komunikace, zdraví a především bezpečnosti práce.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 25
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

2.2 Kategorie měřidel

Hlavní kategorie měřidel, pro které se rozlišuje prokazování způsobilosti, stanovuje zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii ve znění zákona č. 119/2000 Sb. Dělí se na:

- 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 a pracovního měřidla.

A) Etalony


Etalon měřící jednotky nebo stupnice dané veličiny se odborně definuje jako měřidlo, které uskutečňuje a uchovává tuto jednotku nebo stupnici, ale také ji přenáší na měřidla s nižší přesností. Etalony by měly sloužit především k zajištění jednotnosti nebo přesnosti měřidel a měření. Nesmí se používat k rutinnímu měření [7].



Obr. 2.1 Původní platino-iridiový etalon metru [7]

Státní etalony jsou prohlášeny národním nařízením za etalony, jenž dávají podklad pro určování hodnot jiných etalonů stejné veličiny v příslušné zemi. Z hlediska měření mají tyto etalony největší metrologickou kvalitu v dané zemi pro danou oblast. V Česku jsou státní etalony schvalovány příslušným orgánem Úřadem pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (dále jen ÚNMZ). Státní etalony v Česku jsou uloženy zpravidla v Českém metrologickém institutu (dále jen ČMI), ale ÚNMZ může etalony svěřit i jiným organizacím.

Hlavní etalony tvoří další podskupinu kategorie etalonů a určují základ pro návaznost měřidel. V praxi jsou používány pro kalibrování pracovních měřidel a pracovních etalonů, jejichž třída přesnosti je vždy nižší než třída přesnosti právě hlavního etalonu. Jejich kalibrace se uskutečňuje v ČMI nebo v akreditovaných

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

kalibračních laboratořích, které zastřešují obor metrologie v České republice a lhůtu do další kalibrace určuje uživatel.

B) Stanovená měřidla

Jsou to měřidla, která MPO pověří k povinnému ověření a schválení typu. Schválení typů měřidel uskutečňuje díky zákonu o metrologii ČMI, který zjišťuje jestli je měřidlo schopné vykonávat funkci pro kterou je určené. Pomocí technických zkoušek a jiných činností vydá ČMI certifikát a značku schválení typu předmětnému typu měřidla.

Ověřování stanovených měřidel má na starosti ČMI a také autorizovaná metrologická střediska (dále AMS). Tímto úkonem se prohlašuje, že má stanovené měřidlo požadované vlastnosti, a to nejen metrologické. Stanovená měřidla, jenž projdou ověřením, opatří ČMI nebo AMS úřední značkou, popřípadě dodá ověřovací list. Měřidla, jenž jsou stanovena, mohou být podle zákona používány v obchodních vztazích (při prodeji, nájmu, darování a poskytování služeb) a mají velký vliv na bezpečnost a životní prostředí. Seznam druhů těchto měřidel popisuje vyhláška č. 345/2002 Sb.. Důležité je, že lhůta měřidla do ověření je stanovena vyhláškou. Zatímco lhůtu pro kalibraci si určuje každý uživatel sám.


C) Pracovní měřidla

Obecně jsou definována jako měřidla, jenž nejsou etalonem ani stanoveným měřidlem. Mají velký vliv na jakost výroby, řízení technologického procesu. Proto jsou také tato měřidla nejvíce rozšířená. V praxi jsou to měřidla, které se používají například při výrobě produktu a pomocí nich jsou zjišťovány dané parametry. Nejčastějšími pracovními měřidly bývají délková měřidla, jako třeba mikrometry, posuvná měřidla, ale i úhломěry, teploměry, manometry a další.

Podnik, který využívá pracovní měřidla, je povinnen vést jejich seznam a ověřitelné záznamy o jejich kalibracích a kontrolách.

D) Certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály

Jde o materiály nebo látky jejichž složení a vlastnosti jsou přesně určena. Používají se ke kalibrování přístrojů, k jejich ověřování, k vyhodnocování metod měření a určování vlastností materiálů.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 27
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

3 Návrh kalibračních postupů pro vybraná měřidla

Následující kalibrační postupy byly vypracovány podle obecného schématu kalibračních postupů, které jsou používány v akreditované kalibrační laboratoři brněnské firmy TM Technik s. r. o.. Tato laboratoř je akreditovaná v oboru délka, úhel, moment síly a tlak. Působí na trhu již jedenáctým rokem.

Kalibrace následujících měřidel se provádí za těchto referenčních podmínek:

- teplota prostředí: $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$,
- temperovací doba: min. 3 hodiny.

Relativní vlhkost vzduchu a teplota prostředí v laboratoři je neustále monitorována registračním teploměrem s vlhkoměrem. Data jsou archivována na "protokolech o měření" a zakládána do složky.

3.1 Kalibrace koncových měrek

Koncové měrky jsou obecně považovány za základ měření délky ve strojním průmyslu. Plochy měrek sloužící k měření jsou opracovávány s velmi vysokou přesností, co se rovnoběžnosti těchto ploch a drsnosti jejich povrchu týče. Materiály ze kterých se měrky vyrábí, jsou především nástrojové oceli třídy 19 422, keramika nebo dříve tvrdokov. Jednotlivé měrky mohou být spojeny tzv. „nasátím.“ Působením molekulových přitažlivých sil se spojí měřící plochy měrek a tyto síly mohou mít hodnotu až 1000 N. Vlivem nasátí vzniká chyba 0,1 až 0,2 μm .



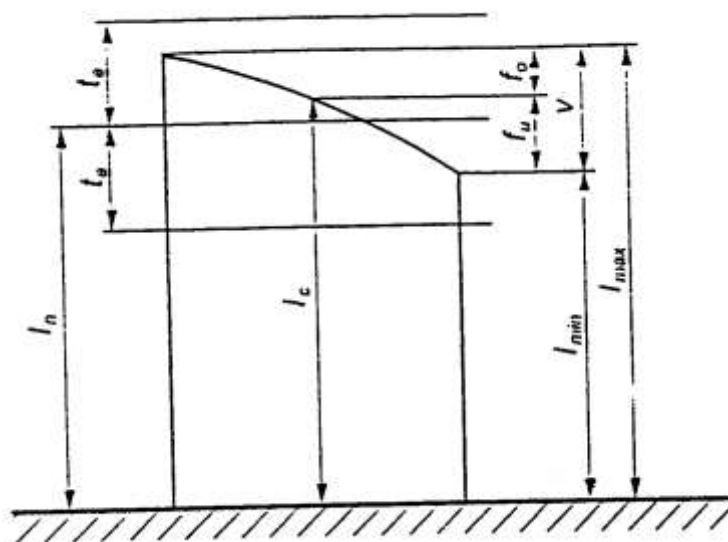
Obr. 3.1 Sada keramických koncových měrek



Měrky se používají především jako:

- etalony délky,
- pro nastavování a ověřování měřících zařízení,
- pro přímé ověřování délkových rozměrů výrobků v průmyslu.

Pro koncové měrky platí norma z roku 1999 ČSN EN ISO 3650, která také zajišťuje značení jejich tříd, jimiž jsou třídy přesnosti K, 0, 1 a 2 a definuje základní parametry měrky [1,10]:



Obr. 3.2 Základní parametry měrky [1]

Délka koncové měrky l – kolmá vzdálenost určitého bodu na měřící ploše měrky a plochy rovinné destičky, jenž je ze stejného materiálu a má stejné povrchové vlastnosti. Na tuto destičku je druhá měřící plocha přilnuta nasunutím.


Středová délka koncové měrky l_c – vzdálenost od středu měřící plochy, která je volně přístupná.

Rozpětí délek v – rozdíl mezi největší délkou koncové měrky l_{max} a nejmenší délkou l_{min} . Toto rozpětí je také součtem úchylek f_o a f_u od středové délky l_c . Tyto hodnoty se ovšem při kalibraci příliš nepoužívají, protože je zastupuje právě rozpětí délek [1].

Uvedený kalibrační postup platí pro provádění kalibrace koncových měrek komparační metodou měřením kolmé vzdálenosti od středu měřící plochy k protilehlé měřící ploše. Postup je určen pro koncové měrky do jmenovité délky 100 mm.

A) Měřidla a pomůcky ke kalibraci

- přístroj na měření koncových měrek TESA – Intronix,

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 29
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- digitální teploměr s vlhkoměrem,
- odmagnetovač,
- odkládací misky,
- lupa,
- lapovací pasta,
- odmašťovací prostředky (lékařský benzin),
- rukavice,
- planparalelní sklo,
- konzervační prostředek (bílá lékařská vazelína, olej Nicro K4-Ultra).

B) Příprava

Měrky se vyjmou z kazety, opatrně jsou položeny na misku s děrovaným dnem (pokud možno ne na funkční plochu) a jsou vyprány v technickém benzínu. Po vyprání měrek je potřeba je otřít úterkou do sucha a položit je do transportních krabic na čistý papír (ne na látku nebo plst). Pomocí brusného kamene jsou odstraněny případné ranky na hranách kontrolovaných měrek. Dále je na měrku nanesena trocha lapovací pasty, zředěná bílou lékařskou vazelínou a funkční plochy měrek by měly být zalapovány na litinové desce. Nakonec se měrky vyperou a osuší [15].

Důležitá je také vzhledová kontrola popř. justování, která se provádí v oblasti evidence, kdy se kontroluje označení a kompletnost sady dle seznamu. Měřicí plochy všech měrek musí lehce přilnout nasunutím. Jemné škrábance bez otřepů jsou přípustné, jestliže nesníží jejich přilnavost. Kontrolování rovinnosti měřených ploch měrky je zajištěno planparalelním sklem, které má zajištěnou odchylku rovinnosti. Přilnutá funkční plocha se prohlédne přes planparalelní sklo a nesmí vykazovat žádné interferenční pruhy. U tříd 1 a 2 jsou dané lesklé skvrny a stíny povoleny v malém rozsahu [15].

C) Postup měření

V první řadě je požadováno mít pracovníka, jenž je způsobilý k provádění kalibrace a nutné vybavení potřebné k měření. Měrky jsou kontrolovány pomocí etalonu – sady koncových měrek vyššího řádu na komparačním zařízení TESA komparační metodou. U tohoto měření jsou kontaktovány měřicí plochy obou měrek,

kdy se etalonová měrka porovnává s kalibrovanou měrkou a odečítá se rozdíl jejich délek komparátorem s vysokou rozlišitelností 0,01 μm .

Nejdříve se etalonová měrka a měřená měrka vloží na měřicí stůlek do šablony posuvu. Je nutné dbát na orientaci měrek, takže by se etalonová i měřená měrka měla vkládat popisem doprava. Pohyblivé rameno s měřícím dotykem se sníží do středu etalonové měrky. Komparátor s etalonovou měrkou, která musí být přesnější než měřená měrka se nastaví na příslušnou „nulovou“ hodnotu – poloha č. 1. Nutno podotknout, že se vše děje ve vertikální poloze. Dále se šablona posuvu přesune na měřenou měrku do polohy č. 2 pod měřicí dotyk a provede se měření. Následuje měření v krajních polohách č. 3, 4, 5, 6. Poté se snímač vrátí do výchozí polohy č. 1 na etalonovou měrku. Toto měření se 5x opakuje a údaje ukazatele hodnot jsou v průběhu měření zaznamenány na PC v metrologickém programu „Měrky.“ Program vyhodnocuje dva základní parametry měrky. Je to úchylka od jmenovité délky v libovolném bodě a rozpětí délky. Z naměřených úchylek se vypočítá aritmetický průměr a dané rozpětí délky. Podle tabulky 3.1, kde je uvedena stanovená dovolená úchylka jmenovité délky t_e v libovolném bodě měřicí plochy a tolerance t_v pro rozpětí délky, program přiřadí měrku do třídy přesnosti. Špatné, nevyhovující měrky, jenž neodpovídají rozměrům dané třídy se ze sady vyřadí. Vyhodnocení výsledků měření provádí technik kalibrační laboratoře dle ČSN EN ISO 3650. Nakonec se provede konzervace měrek konzervačním prostředkem.

Tab. 3.1 Dovolená úchylka jmenovité délky t_e v libovolném bodě měřicí plochy a úchylka t_v pro rozpětí délky [1]

Jmenovitá délka l_n [mm]	Kalibr. třída K		Třída 0		Třída 1		Třída 2	
	$\pm t_e$ [μm]	$\pm t_v$ [μm]	$\pm t_e$ [μm]	$\pm t_v$ [μm]	$\pm t_e$ [μm]	$\pm t_v$ [μm]	$\pm t_e$ [μm]	$\pm t_v$ [μm]
$0,5 < l_n \leq 10$	0,2	0,05	0,12	0,10	0,2	0,16	0,45	0,30
$10 < l_n \leq 25$	0,3	0,05	0,14	0,10	0,3	0,16	0,60	0,30
$25 < l_n \leq 50$	0,4	0,06	0,20	0,10	0,4	0,18	0,80	0,30
$50 < l_n \leq 75$	0,5	0,06	0,25	0,12	0,5	0,18	1,00	0,35
$75 < l_n \leq 100$	0,6	0,07	0,30	0,12	0,6	0,20	1,20	0,35

Výstupem z měření je protokol z programu Měrky, který je podkladem pro vystavení kalibračního listu. Program Měrky je určen pro měření sad koncových

měrek. Slouží také k archivaci těchto sad, nebo k tisku protokolu o měření. Vývoj tohoto počítačového softwaru zajišťuje česká firma Mesing, která se zabývá měřicími zařízeními v oblasti metrologie.

D) Měření koncové měrky 10 mm

Vzorkem pro ukázkou měření bude měrka z oceli o jmenovité délce 10 mm, jenž patří do sady o třídě přesnosti 2. Tato měrka byla náležitě ošetřena podle výše uvedených kritérií justování. Naměřené hodnoty při kalibraci měrky ukazuje tabulka.

Tab. 3.2 Kalibrace koncové měrky 10 mm v programu Měrky

Pořadí měření	Naměřené úchyly v μm				
	Bod 2	Bod 3	Bod 4	Bod 5	Bod 6
č. 1	0,01	- 0,04	- 0,16	- 0,01	- 0,11
č. 2	- 0,05	- 0,08	- 0,09	- 0,04	- 0,04
č. 3	0,03	- 0,02	- 0,05	0,07	0,05
č. 4	- 0,06	- 0,04	- 0,05	0,01	0,02
č. 5	- 0,07	0,04	- 0,13	0,04	0,03
Ar. průměr	- 0,03	- 0,03	- 0,10	0,01	- 0,01
Odovídá třídě přesnosti 1!					

E) Vyhodnocení měření

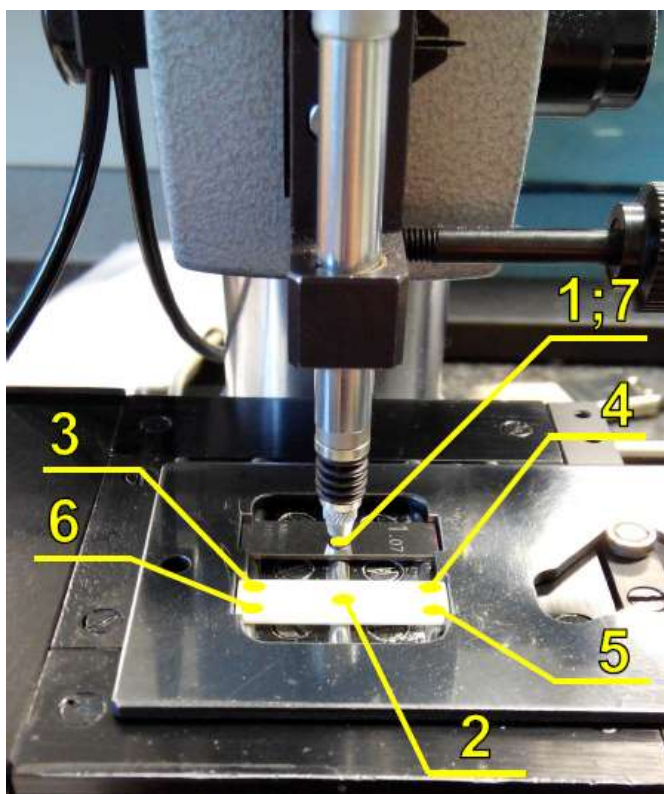
Program na výstupu vyhodnotí hned několik hodnot, které hrají roli při pozdějším určování třídy přesnosti. Mezi nimi i úchytku středové délky a rozpětí délky, které jsou uvedeny ve výsledném kalibračním listu. Vygenerované hodnoty jsou:

- úchytku středové délky: - 0,03 μm
- rozpětí délky: 0,11 μm
- střední chyba měrky: - 0,03 μm
- celková chyba měrky: 0,1 μm
- největší délka měrky l_{max} : 10,00001 mm
- nejmenší délka l_{min} : 9,99990 mm
- největší kladná úchytku f_0 : 0,04 μm
- nejmenší záporná úchytku f_u : 0,07 μm
- odpovídá třídě přesnosti: 1

Počítačový rozbor měření spočíval především v tom, že program vyhodnotil náš výsledek měření, tedy nejvyšší naměřenou zprůměrovanou úchytku od jmenovité




délky v daném bodě a rozpětí délky s tabulkou 3.2. Nejvyšší zprůměrovaná úchylka byla tedy - 0,1 μm a vyhodnocené rozpětí délky bylo 0,11 μm . Dle tabulky je vidět, že vypočítaná úchylka zároveň náleží do intervalu $\langle - 0,2; 0,2 \rangle$ a vypočítané rozpětí do intervalu $\langle - 0,16; 0,16 \rangle$. Oba tyto intervaly patří do sloupce třídy 1. Tudíž byla tato měrka programem vyhodnocena jako podléhající třídě přesnosti 1.



Obr. 3.3 Postup měření na porovnávacím komparátoru

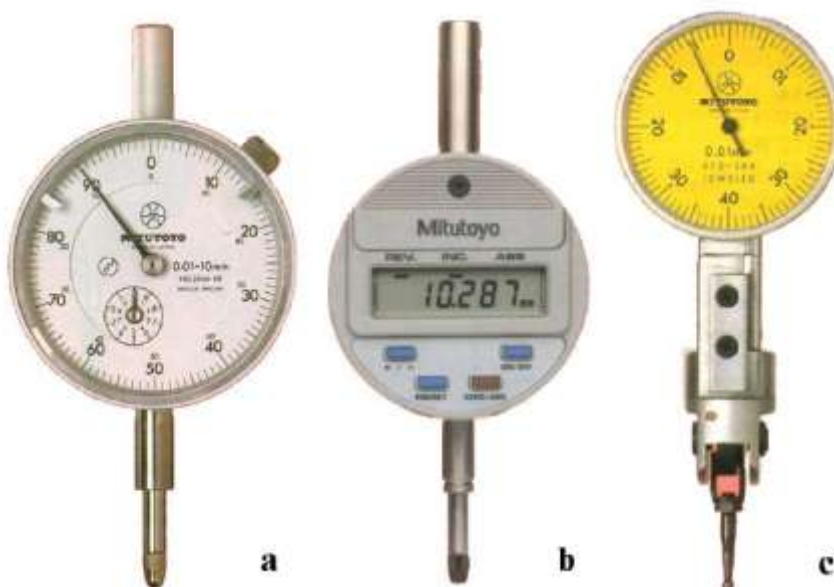
3.2 Kalibrace číselníkových úchylkoměrů

Číselníkové úchylkoměry jsou měřidla rozdílová, která měří úchylku od nastavené hodnoty. Jsou založena na převodu mezi pohybem jejich měřícího doteku a směrovkou měřené hodnoty na kruhovém ciferníku. Dnes se vyrábí číselníkové úchylkoměry s rozlišitelností 0,01 mm; 0,001 mm popřípadě 0,002 mm. Na číselníku úchylkoměru je také možno nastavit speciálními směrovkami příslušné hraniční meze, které usnadňují odečítání hodnot při daném měření. Zvláštním typem číselníkových úchylkoměrů jsou tzv. číselníkové úchylkoměry páčkové, které mají dotyk ve tvaru kuličky. Dotyk páčkového úchylkoměru je otočný, takže tyto úchylkoměry jsou vhodné především pro měření obvodového házení nebo čelního házení některých rotačních součástí. Další skupinou úchylkoměrů jsou digitální

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 33
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

úchylkoměry, což jsou elektronická měřidla s většinou šestimístným displejem. Rozlišitelnost je většinou 0,001 mm nebo 0,01 mm.

Tento kalibrační postup platí pro provádění kalibrace číselníkových, digitálních a páčkových úchylkoměrů s hodnotou dílku 0,1 mm; 0,01 mm; 0,001 mm; 0,002 mm.




Obr. 3.4 a – klasický, b – digitální, c – páčkový úchylkoměr

A) Měřidla a pomůcky ke kalibraci

- přístroj na kalibraci úchylkoměrů MCU 30 – PP,
- délkoměr SIP 305 M
- lékařský benzín,
- štětec nebo měkký hadr,
- digitální teploměr s vlhkoměrem,
- rukavice.

B) Příprava a vzhledová kontrola

Sklo musí být průhledné bez rýh a kazů, které by zhoršovaly čitelnost stupnice. Číselník by měl mít patřičně čitelné číslice a čárky. Neměl by se otáčet ani příliš ztuhla, ani příliš volně. Pokud něco z toho nastane, měla by být přitáhnutá úchytky, která číselník brzdí. Ručička, resp. ukazatel hodnoty musí být úplný, rovný a spojený s hřídelkem tak, aby při prudkém zrychlení nebo zpomalení bylo vyloučeno jejich vzájemné pootočení. Prověří se, není-li dotek úchylkoměru příliš otláčen. Jestliže ano, vyměníme jej, protože u většiny typů úchylkoměrů se dá snadno vyšroubovat.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 34
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Důležité také je přezkoušet funkci úchylkoměru. Vyzkouší se, zda se měřící dotek při tlaku prstem pohybuje, ručka úchylkoměru na jeho pohyb ihned reaguje a při uvolnění doteku se ručka vrací bez drhnutí do původní polohy. Jestliže tomu tak není, úchylkoměr se vyřazuje nebo je předán na opravu [15].


C) Postup kalibrace úchylkoměrů přístrojem MCU30 – PP

Kontrola číselníkových a digitálních úchylkoměrů se provádí na přístroji s označením MCU30 – PP, který je určen pro kalibraci úchylkoměrů do rozsahu 30 mm. Zde jsou naměřené hodnoty zpracovávány v počítačovém programu G4CU, který zajišťuje vyhodnocení a výpočet výsledků, archivaci, tisk protokolů a konstrukci grafů.

Princip kalibrace číselníkového úchylkoměru spočívá v jeho vložení do utahovací svěrky přístroje, která zabraňuje úchylkoměru vykonávat kývavý pohyb. Poté jsou údaje délek kalibrujícího se úchylkoměru srovnávány s hodnotami etalonového délkoměru, který je zprostředkován zobrazovací jednotkou s digitálním displejem. Jednotka je integrovaná jako součást mechaniky a její rozlišitelnost je 0,0001 mm. Měření zajišťuje referenční inkrementální snímač s celkovým zdvihem 30 mm, jenž je umístěn na stejné ose jako čep kontrolovaného úchylkoměru. Posuv doteku kontrolovaného úchylkoměru a snímače etalonového délkoměru jistí koncová měrka, která je připevněna k pohyblivému přímovodu.

Pracovník, který kontrolu úchylkoměru provádí, otáčí ovládacím kolečkem, jímž mění vzdálenost doteku úchylkoměru od snímače. Zároveň tím nastavuje úchylku na kontrolovaném úchylkoměru a hodnotu na zobrazovací jednotce. Kalibrace se provádí na několika hodnotách úchylkoměru po celém jeho rozsahu a zpět. Zpočátku musí být shodná nulová hodnota jak na úchylkoměru, tak i na zobrazovací jednotce. Po dosáhnutí maximálního rozsahu úchylkoměru otáčí pracovník kolečkem zpět na nulovou hodnotu a zastavuje se na stejných hodnotách jako při předešlé cestě směrem vpřed. Z těchto hodnot je poté vytvořen výsledný graf závislosti chyby na zdvihu doteku, který je také součástí kalibračního listu.

U kalibrace digitálních úchylkoměrů je postup totožný s tím rozdílem, že pracovník nevykonává pohyb kolečkem směrem zpět (ve směru vysouvání doteku).

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 35
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Postup kalibrace páčkových úchylkoměrů se od klasických úchylkoměrů liší v tom, že se úchylkoměr upíná pomocí speciální konstrukce do vodorovné polohy tak, aby byl zachován princip posuvu etalonu.



Obr. 3.5 Příklad přístroje MCU30 – PP s kalibrovaným úchylkoměrem

Normy pro vyhodnocení úchylkoměrů jsou různé. Používá se například německá norma DIN 878, DIN 2270, ČSN EN ISO 463, ale většinou má každý výrobce vlastní mezní úchylky, které s porovnáním naměřených úchylek dávají najevo, zda se daný úchylkoměr vyřadí či nikoliv. K vyhodnocení kalibrace úchylkoměru se používá:

Úchylka měřicího rozsahu (v jednom směru) f_e – rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší odchylkou v celém měřicím rozsahu při zasouvání doteku.

Celková úchylka měřicího rozsahu (v obou směrech) f_{ges} – absolutní hodnota rozdílu největší a nejmenší chyby přesnosti úchylkoměru zjištěné v kterémkoliv místě daného měřicího rozsahu při zasunutém a vysunutém měřicím čepu.

Úchylka reverzibility f_u – zjišťuje se v celém měřicím rozsahu zároveň s chybou přesnosti. Je rovna maximálnímu rozdílu údajů zjištěných na stejné hodnotě při pohybu měřicího doteku v jednom a opačném směru.

Opakovatelnost f_w (rozpětí) – se zjišťuje pětinasobným najetím posuvu délkoměru (měřicího přípravku) pokaždé na stejnou hodnotu. Stanovuje se na začátku, ve středu a na konci měřicího rozsahu úchylkoměru. Rozdíl mezi největším a nejmenším údajem úchylkoměru se rovná rozpětí v daném bodě měřicího rozsahu úchylkoměru.

Mezní úchylka při měření přes 1/10 otáčky (dříve značeno f_t) – rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším bodem v diagramu odchylek v dílčím rozpětí 10 dílků stupnice při zasouvání doteku (číselníkové úchylkoměry) nebo při vychýlení měřicího doteku proti měřicí síle (páčkové úchylkoměry) [11].

D) Měření číselníkového úchylkoměru

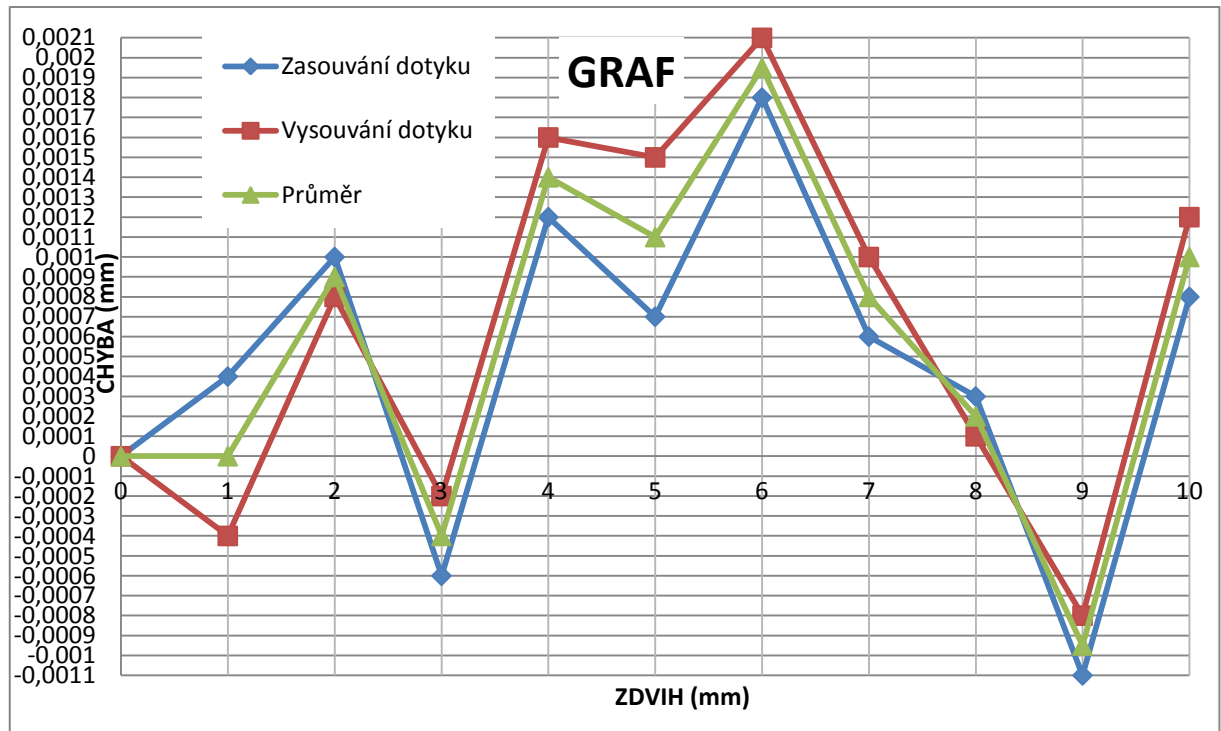
Ukázkovým měřidlem bude číselníkový úchylkoměr značky Teclock o rozsahu 0 – 10 mm a rozlišitelnosti 0,01 mm. Tento úchylkoměr splnil požadavky k měření na přístroji MCU30 – PP a prošel procesem justování. Byly naměřeny úchyly ve 22 bodech ve směru zasouvání a vysouvání čepu, které jsou popsány následující tabulkou:

Tab. 3.3 Naměřené hodnoty při kalibraci číselníkového úchylkoměru

Jmenovitá hodnota úchylkoměru	Hodnoty etalonu (zobrazovací jednotka)				Aritm. průměr úchylek
	Zasouvání dotyku (vpřed)		Vysouvání dotyku (zpět)		
	hodnota	úchylka	hodnota	úchylka	
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
0	0	0	0	0	0
1	1,0004	0,0004	0,9996	- 0,0004	0
2	2,0010	0,0010	2,0008	0,0008	0,00090
3	2,9994	- 0,0006	2,9998	- 0,0002	- 0,00040
4	4,0012	0,0012	4,0016	0,0016	0,00140
5	5,0007	0,0007	5,0015	0,0015	0,00110
6	6,0018	0,0018	6,0021	0,0021	0,00195
7	7,0006	0,0006	7,0010	0,0010	0,00080
8	8,0003	0,0003	8,0001	0,0001	0,00020
9	8,9989	- 0,0011	8,9992	- 0,0008	- 0,00095
10	10,0008	0,0008	10,0012	0,0012	0,00100



Z těchto údajů byl vytvořen graf závislosti úchylek (chyb) na zdvihu etalonu (jmenovité hodnotě úchylkoměru):



Obr. 3.6 Graf závislosti úchylky na zdvihu etalonu

Počítačový program dále vygeneroval pět měřených parametrů úchylkoměru. Povinností pracovníka je k těmto hodnotám do kalibračního listu uvést mezní úchylky, aby bylo majiteli měřidla jasné, zda měřidlo vyhovuje dané normě (v tomto případě DIN 878), nebo hodnotám úchylek, které určuje výrobce měřidla.

Tab. 3.4 Tabulka naměřených a mezních úchylek úchylkoměru [11]

měřený parametr	povoleno dle DIN 878 [mm]	naměřeno [mm]
f_e	0,015	0,0029
f_{ges}	0,017	0,0032
f_u	0,003	0,0008
1/10 ot. (dříve f_t)	0,005	0,0020
f_w	0,003	0,0002

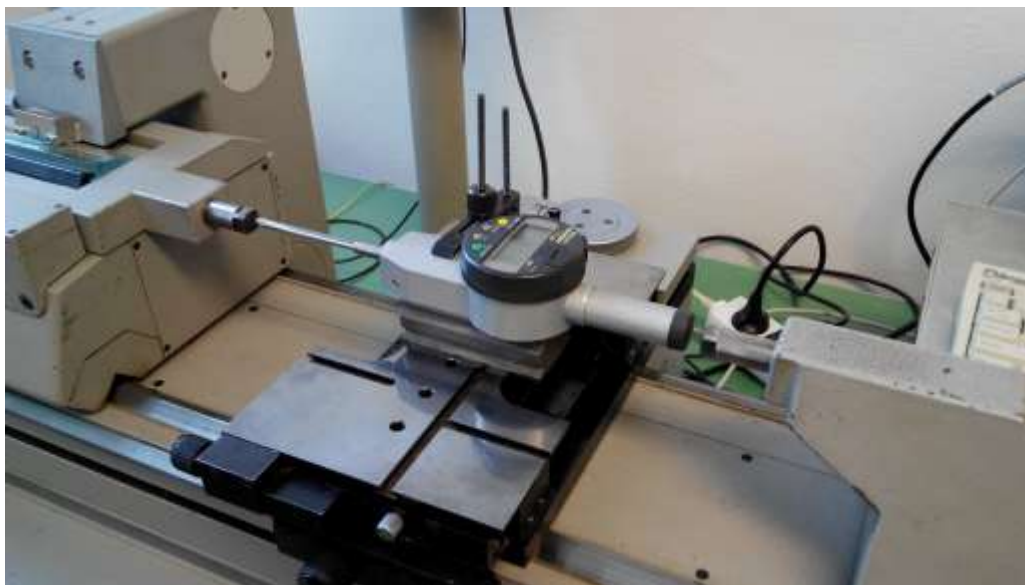
E) Vyhodnocení měření

Kalibrovaný úchylkoměr od firmy Teclock dle naměřených údajů vyhovuje normě DIN 878 podle příslušného kalibračního postupu.




F) Kalibrace úchylkoměrů nad 30 mm

Úchylkoměry s rozsahem větším než 30 mm se provádí na přístroji s označením SIP 305 M. Tyto úchylkoměry jsou méně časté a jejich kalibrační postup není tak obvyklý. Princip měření je podobný jako u přístroje MCU30 – PP. Rozdíly jsou v tom, že úchylkoměr je při kalibrování ve vodorovné poloze a je zde problém s upínáním měřidla mezi lože přístroje. Úchylkoměr se při upínání mezi lože může smýkat, proto se používají speciální upevňovací dotyky, které jsou viditelné na obrázku. Pracovník musí brát velký zřetel na to, aby byl dodržen Abbeho princip a nedocházelo tak k chybě 1. řádu.



Obr. 3.7 Digitální úchylkoměr na přístroji SIP 305 M

Postup kalibrace po zajištění funkčnosti úchylkoměru je shodný jako v předešlých případech. Rozdíly jsou v tom, že pracovník se při stlačování opět zastavuje na jmenovitých hodnotách úchylkoměru, ale už nedochází ke zpětnému pohybu vysouvání čepu. Nevrací se tedy na nulovou hodnotu. Úchylky od jmenovité hodnoty se tentokrát neukládají v žádném počítačovém programu, ale jsou psány na předpřipravený pracovní protokol. Podle příslušného pracovního protokolu je vypracován kalibrační list. Kalibrační list u úchylkoměrů nad 30 mm udává dané úchylky od jmenovitých hodnot a parametr **f-e**, který je jediným mezním parametrem pro vyhodnocení shodnosti úchylkoměru. Má však jiný smysl. Je to největší chyba, kterou naměří pracovník na libovolné jmenovité hodnotě úchylkoměru.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 39
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

3.3 Kalibrace posuvných měřitek

Posuvným měřítkem se rozumí měřidlo, které se skládá ze dvou částí. Z pevné části, kde je umístěna základní stupnice a posuvné části s tzv. noniem (popř. displejem). Posuvná měřítka mají většinou dva druhy čelistí. Větší pár čelistí slouží k měření vnějších rozměrů a menší čelisti k měření rozměrů vnitřních. Většina „posuvek“ také obsahuje tzv. hloubkoměr, který je umístěn ve spodní části měřidla. Posuvná měřidla můžeme rozdělit do dvou kategorií. Jsou to měřidla analogová a digitální. Analogová měřítka se vyrábí s rozlišitelností 0,02 mm a 0,05 mm. Zatímco běžné digitální měřítka má rozlišitelnost 0,01 mm. Zvláštním typem posuvného měřítka je měřítka s číselníkovým úchylkoměrem, které má místo displeje nebo nonia zabudovaný číselníkový úchylkoměr pro měření délky [12].

Tento kalibrační postup je určen k provádění kalibrace posuvných měřitek analogových i digitálních do rozsahu 1000 mm.

A) Měřidla a pomůcky ke kalibraci

- koncové měrky,
- příměrná deska,
- kontrolní nastavný kroužek,
- lupa,
- benzín,
- štětec nebo měkký hadr nepouštějící vlas,
- olej nebo řídká vazelína,
- lapovací papír, lapovací pasta,
- digitální teploměr s vlhkoměrem,
- brusný kámen,
- rukavice.

B) Příprava

Pracovník, jenž kalibraci provádí, musí být opět oprávněn k provádění kalibrace a měl by být k poskytování této činnosti patřičně vyškolen. Celý proces začíná vzhledovou kontrolou, kde se kontroluje zda je měřidlo označeno evidenčním číslem. Celé měřidlo se očistí měkkým hadrem navlhčeným v benzínu. Ověří se, zda posuvné měřidlo nenese stopy neodstranitelného poškození. Nesmí mít [15]:

- ohnuté nebo jinak poškozené měřicí plochy,
- poškozené šrouby na ustavujícím ústrojí,
- nečitelné čárkové stupnice a jejich číslice,
- poškozený nebo nečitelný displej u digitálních měřidel.


Lehce poškozené plochy se upraví lapovacím papírem, poškozené hrany vodících ploch tělesa posuvky se upraví jemným pilníkem a dočistí brusným kamenem arkansas. Místa napadená korozí se očistí smirkovým papírem. Při přezkoušení funkce měřidla se dbá především na to, aby pohyb posuvné části měřidla byl plynulý a pouze s minimální vůlí v celém měřícím rozsahu. Při zaaretování posuvné části se nesmí hodnota nastavená na stupnici měnit. U digitálních měřidel se přezkouší funkce všech ovládacích tlačítek panelu dle návodu výrobce [15].

C) Proces kalibrace

Nejdříve je nutná kontrola rovnoběžnosti měřících ploch. Ta se provádí vizuálně proti světlu a sadou koncových měrek. Používají se měrky se setinovou řadou. Dvojici měrek zasuneme do měřících čelistí. Pokud jedna z měrek vypadne ze sevřených čelistí, nahrazujeme ji vypadlou tak dlouho, až obě měrky sevřené doteky posuvného měřidla udrží. Norma, která zajišťuje technické požadavky posuvných měřidel je např. DIN 862, ČSN 25 1230, ČSN 25 1233, ČSN 99 0652.

Tab. 3.5 Mezní úchylny posuvných měřitek dle DIN 862 [13]

Rozsah měření	Rozlišitelnost posuvného měřítka		
	Analogové měřítko		Digitální měřítko
	0,05 mm	0,02 mm	0,01 mm
[mm]	[μm]	[μm]	[μm]
0 až 50	50	20	20
50 až 100			
100 až 200		30	30
200 až 300			
300 až 400			
400 až 500	40	40	
500 až 600			
600 až 700			
700 až 800			
800 až 900			
900 až 1000	120		

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 41
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Měření vnějších rozměrů probíhá kontrolou chyby přesnosti koncovými měrkami nejméně na 5 kontrolních bodech měřicího rozsahu. Kontrolní body se volí tak, aby se jednotlivé hodnoty odečítaly jinou čárkou pomocné stupnice (např. 0 – 26,3 – 51,5 – 100 – 125,7 – 150 mm). Chyby přesnosti se odečítají přímo na stupnici (popř. displeji) posuvného měřítka a nesmějí překročit dovolené hodnoty uvedené v normě použité pro vyhodnocení měření.



Obr. 3.8 Měření vnějších rozměrů posuvného měřítka

Kontrola konců pro **vnitřní měření** se provádí pomocí nastavného kroužku pouze na jedné hodnotě, která je poté srovnávána s mezní hodnotou podle příslušné normy.



Obr. 3.9 Měření vnitřních rozměrů posuvného měřítka



D) Měření posuvného měřítka

Cílem kalibrace bude digitální posuvné měřítko značky Mitutoyo o rozsahu 0 až 150 mm s rozlišitelností 0,01 mm. Toto měřidlo bylo patřičně ošetřeno justováním a splnilo podmínky k měření metrologických parametrů. Byla provedena vizuální kontrola rovnoběžnosti měřících ploch proti světlu. Čelisti měřidla neprokazovaly známky průsvitu, a tudíž bylo možné přistoupit k vyplnění pracovního protokolu. Pracovní protokol kromě údajů o měřidle obsahuje údaje o měření vnějších rozměrů koncovými měrkami a měření vnitřních rozměrů nastavným kroužkem o velikosti 40,001 mm. Naměřené hodnoty jsou následně uvedeny v kalibračním listu, což popisuje následující tabulka.

Tab. 3.6 Naměřené hodnoty digitálního posuvného měřítka [13]


Výsledek měření			
Měřený úsek [mm]	Největší dovolená chyba [mm]	Vnější odchylka [mm]	Vnitřní odchylka [mm]
délka – 0	± 0,02	0	
délka – 26,3		0	
délka – 51,5		- 0,01	
délka – 100		- 0,01	
délka – 125,7	± 0,03	- 0,01	
délka – 150		- 0,01	
průměr – 40	± 0,02		+ 0,01

E) Vyhodnocení měření

Hodnoty, které byly naměřeny nepřesahují mezní úchylky uvedené v DIN 862 (viz tabulka 3.5). Měřidlo tedy vyhovuje této normě podle uvedeného kalibračního postupu a může být označeno kalibračním štítkem.

3.4 Kalibrace třmenových mikrometrů

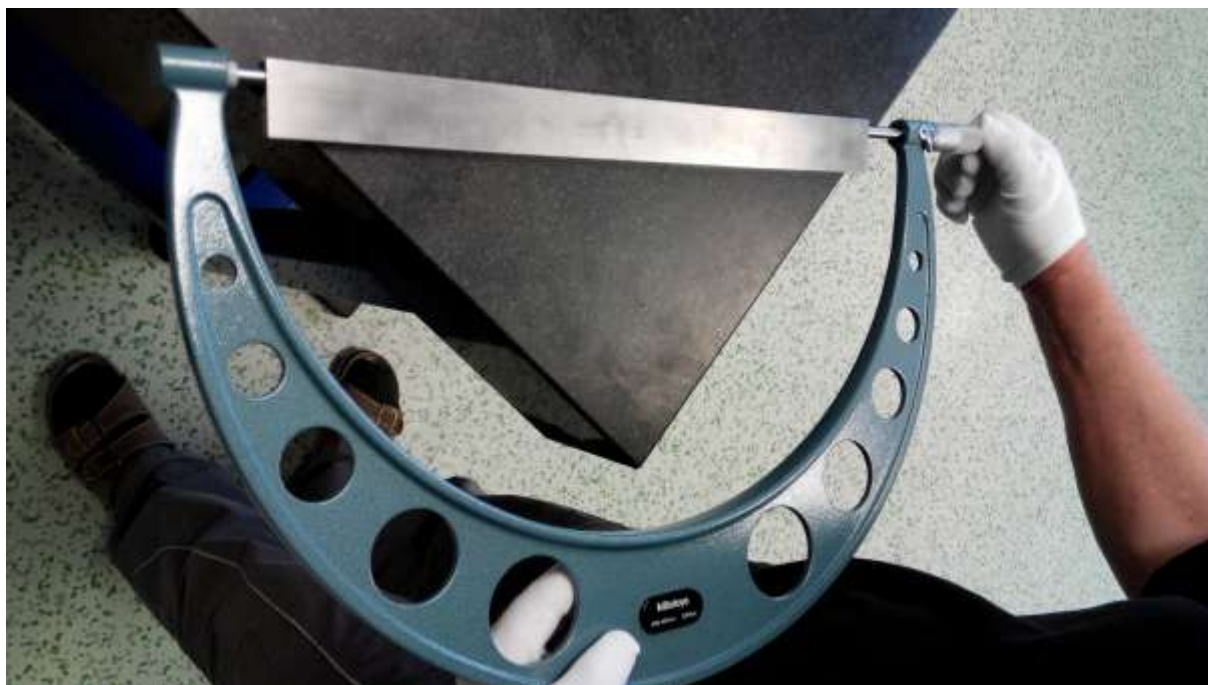
Třmenové mikrometry se používají především k měření vnějších rozměrů a existuje jich několik druhů podle provedení. Měření délky třmenovými mikrometry je zajištěno přesným šroubem, který má stoupání 0,5 mm popř. 1 nebo 2 mm. Právě proto se vyrábí mikrometry s rozsahem stupnice např. 0 – 25 mm, 25 – 50 mm, 50 – 75 mm a další. Nejčastější třmenové mikrometry mají rozlišitelnost 0,01 mm,

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 43
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

digitální 0,001 mm. Pro speciální měření se používají např. třmenové mikrometry s talířkovými dotyky, výměnnými dotyky, na měření závitů a další [12].

A) Měřidla a pomůcky

- koncové měrky 5. řádu 0,5 – 100 mm,
- koncové měrky 4. řádu 125 – 500 mm,
- průměrná deska,
- příslušenství koncových měrek,
- držák mikrometrů,
- benzín,
- lupa,
- štetec nebo měkký hadr nepouštějící vlas,
- olej nebo řídká vazelína,
- rukavice,
- digitální teploměr s vlhkoměrem.




Obr. 3.10 Kalibrace třmenového mikrometru 400 – 425 mm na průměrné desce

B) Příprava

Provede se celková vzhledová kontrola, včetně ověření, zda měřidlo obsahuje evidenční číslo. Kontroluje se, zda měřidlo nemá stopy poškození, které nejde odstranit a to především:

- deformovaný měřící bubínek, trubku či třmen,

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 44
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- poškozené nebo vyštípnuté měřicí plochy,
- nečitelné čárkové stupnice a jejich číslice,
- poškozený nebo nečitelný displej u digitálních měřidel.

Lehce poškozené měřicí plochy mikrometru se upraví (zalapují). Při přezkoušení funkce mikrometru dbá pracovník, aby chod mikrometrického šroubu byl v celém rozsahu plynulý bez znatelné vůle v některých částech měřícího rozsahu.

Bubínek mikrometru nesmí při otáčení házet ani zachytávat o trubku. Při zajištění mikrometrického vřetena ustavovacím zařízením se nesmí změnit vzdálenost měřících ploch o více než 2 μm . Zařízení k vymezení stálé měřicí síly musí plnit spolehlivě svoji funkci a při odjištění ustavovacího zařízení se musí mikrometrický šroub otáčet působením zařízení k vymezení stálé měřicí síly rovnoměrně. U digitálních mikrometrů se přezkouší funkce všech ovládacích tlačítek panelu dle návodu výrobce [15].

C) Proces kalibrace

Kalibrování třmenových mikrometrů začíná měřením rovinnosti měřících ploch mikrometru planparalelním sklem, které se vyhodnocuje pomocí interferenčních proužků. Skleněná měrka se postupně přiloží k jedné i druhé měřicí ploše tak, aby počet viditelných interferenčních proužků byl co nejmenší. Interferenční proužky budou zřetelnější, použije-li se při zkoušce monochromatický zdroj světla. Úchylka rovinnosti měřících ploch musí být menší než 1 μm . Neměly by se tedy na měřicí ploše vyskytnout více než čtyři proužky téže barvy. Kontrola rovinnosti měřících ploch nastavovacích měrek se provádí obdobně jako u měřících ploch mikrometru, pokud jsou tyto plochy rovinné. Při vyhodnocování rovinnosti měřících ploch se nebere v úvahu okrajové pásmo měřicí plochy v šířce 0,4 mm.

Hlavní část kalibrace je kontrola mikrometru koncovými měrkami. Mikrometr je upnut ve svěráku, nebo je-li větší, slouží ke snažší poloze pro kalibrování průměrná deska. Pracovník zapisuje do pracovního protokolu odchylky od jmenovitých hodnot uvedené v příslušné normě. Např. pro mikrometr se stoupáním 0,5 mm se používá ke kalibraci řada koncových měrek: 2,5 – 5,1 – 7,7 – 10,3 – 12,9 – 15,0 – 17,6 – 20,2 – 22,8 a 25 mm). Dovolené odchylky od jmenovitých rozměrů jsou uvedeny v normách, které zajišťují funkčnost mikrometrů např. ČSN 25 1420, ČSN 25 1400, ČSN 25 1401 nebo DIN 863.



Obr. 3.11 Uchopení koncové měřky rovinnými doteky mikrometru

Tab. 3.7 Maximální povolené úchyly mikrometrů dle DIN 863 [14]

Měřicí rozsah [mm]	Max. úchylka [μm]	Tolerance rovnoběžnosti měřících ploch	
		Počet interferenčních pásků	μm
0 až 25	4	6	2
25 až 50	4	6	2
50 až 75	5	10	3
75 až 100	5	10	3
100 až 125	6	-	3
125 až 150	6	-	3
150 až 175	7	-	4
175 až 200	7	-	4

D) Měření třmenového mikrometru


Předmětem měření bude třmenový mikrometr neznámého výrobce s rovinnými doteky a rozsahem 0 – 25/0,01 mm. Daný mikrometr prošel vstupní kontrolou dle předešlého postupu. Při měření rovinnosti rovinnou skleněnou měrkou nevykazoval ani jeden dotyk větší počet interferenčních proužků než 3 tzn. 0,6 μm . Úchylka rovinnosti měřících ploch musí být menší než 1 μm , v čemž mikrometr vyhovuje. Měření metrologických parametrů koncovými měrkami, jenž je poté uvedeno v kalibračním listu (popř. pracovním protokolu) popisuje nadcházející tabulka.

Tab. 3.8 Naměřené úchytky třmenového mikrometru o rozsahu 0 – 25/0,01 mm [14]

Výsledek měření		
Měřený úsek [mm]	Tolerance [mm] DIN 863	Naměřená odchylka [mm]
délka – 2,5	± 0,004	0
délka – 5,1		0
délka – 7,7		0
délka – 10,3		0
délka – 12,9		+ 0,001
délka – 15,0		+ 0,001
délka – 17,6		0
délka – 20,2		+ 0,001
délka – 22,8		0
délka – 25		+ 0,001

E) Vyhodnocení měření

Při měření úchylek od jmenovitých hodnot nevykazoval mikrometr větší chybu přesnosti než 0,001 mm. Jelikož největší dovolená chyba u mikrometru s rozsahem 0 – 25 mm je 0,004 mm, vyhovuje tento mikrometr normě DIN 863.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 47
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	


Závěr

Byly vypracovány kalibrační postupy základních měřidel, které slouží k měření délky. Jsou to koncové měrky, číselníkové úchylkoměry, posuvná měřítka a třmenové mikrometry. U každého měřidla byla provedena vzorová kalibrace v kalibrační laboratoři s pomocí školených pracovníků kalibrační laboratoře firmy TM Technik s. r. o.. Výstupem kalibrovaných měřidel bývá kalibrační list, kde jsou uvedeny všechny důležité údaje o měřidle a příslušné kalibraci. Výsledky měření kalibrace jsou nezbytné pro vyjádření aktuálního stavu měřidla, jestli vyhovuje daným dovoleným úchytkám.

Při kalibraci koncové měrky o jmenovité hodnotě 10 mm byla tato měrka přiřazena k třídě přesnosti 1 podle ČSN ISO 3650. Kalibrace se prováděla na porovnávacím komparátoru komparační metodou.


U číselníkového úchylkoměru 0 – 10/0,01 mm od výrobce TECKLOCK byly porovnány naměřené hodnoty s celkovými dovolenými chybami, které jsou popsány normou DIN 878. Při měření nedošlo k překročení ani jedné z nich, a tak byl úchylkoměr prohlášen za vyhovující.

Dále byla provedena kalibrace digitálního posuvného měřítka 0 – 150/0,01 mm a třmenového mikrometru 0 – 25/0,01 mm. U posuvného měřítka je měřítka považováno za zkalibrované a lze ho dále používat k měření. Ve všech částech kontroly výsledky měření nedosahovaly chyby vyšších hodnot než + 0,01 mm, což norma DIN 862 pro příslušnou kontrolu posuvných měřítka dovoluje. Měřený třmenový mikrometr nesmí přesáhnout celkovou dovolenou chybu chodu mikrometrického šroubu 0,02 mm. Nejvyšší naměřená celková chyba mikrometrického šroubu je - 0,01 mm. Mikrometr tedy také vyhovuje předepsané odchylce a lze jej dále používat pro měření.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 48
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Seznam použitých zdrojů

- [1] ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. *Strojírenská metrologie*. 4. přeprac. vyd., 2. v nakl. CERM. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 176 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-3070-2.
- [2] *Způsobilost kontrolních procesů: použitelnost kontrolních prostředků, vhodnost kontrolních procesů, přihlednutí k nejistotám měření : 1. vyd. 2003*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2004, 112 s. Management jakosti v automobilovém průmyslu. ISBN 80-020-1656-4.
- [3] PERNIKÁŘ, Jiří. *Strojírenská metrologie II: použitelnost kontrolních prostředků, vhodnost kontrolních procesů, přihlednutí k nejistotám měření : 1. vyd. 2003*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 180 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-3338-8.
- [4] JEMČÍK, J. a KUHN, L. *Technická měření ve strojírenství SNTL Praha 1982*, 581 s.
- [5] TNI 01 0115: 2009 Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM). Praha: Český normalizační institut, 2009. 90 s.
- [6] EA 4/02, Vyjadřování nejistot měření při kalibracích. Praha: Český institut pro akreditaci, 2002, 74 s. [online]. [cit. 2013-12-28]. Dostupné z: <http://www.cia.cz/Download.ashx?Type=Document&Id=4870>
- [7] Legislativní rámec metrologického systému ČR. *Český metrologický institut* [online]. 2013, 6. 12. 2013 [cit. 2014-02-06]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/index.php?dwn=1&par=4949&wdc=876&lang=1>
- [8] Právní předpisy v oblasti metrologie. *Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví* [online]. 1990 [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/pravni-predpisy-v-oblasti-metrologie>
- [9] Normy řady ISO 9000. *Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví* [online]. 2005 [cit. 2014-02-14]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/normy-serie-iso-9001-a-jejich-aplikace>
- [10] ČSN EN ISO 3650. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Etalony délek - Koncové měřky*. Praha, 2000, 21 s.
- [11] Číselníkové úchylkoměry: Číselníkové úchylkoměry dle DIN. *Unimetra* [online]. [cit. 2014-03-19]. Dostupné z: http://www.unimetra.cz/soubory_zbozi/41_2.pdf

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 49
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- [12] PETŘKOVSKÁ, Lenka a Lenka ČEPOVÁ. Strojírenská metrologie. [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://www.346.vsb.cz/Petrkovska,%20Cepova%20%20strojirenska%20metrologie.pdf>
- [13] Posuvná měřidla: Dovolené chyby přesnosti dle DIN 862. *Unimetra* [online]. [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: https://docs.google.com/viewer?url=http%3A%2F%2Fwww.unimetra.cz%2Fsobory_materialy%2F21_1.pdf
- [14] Flexible measuring systems: Dovolené chyby přesnosti dle DIN 863. [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.f-m-s.dk/DIN862+863.pdf>
- [15] KP. *Kalibrační postupy pro kalibraci pracovních měřidel*. Brno: TM Technik s. r. o., 2011

Seznam použitých zkratk a symbolů

A	[-]	Konstanta zahrnující vliv náhodných chyb
B	[-]	Konstanta zahrnující vliv nevyloučených systematických chyb
C	[-]	Horní hranice chyby
f_e	[-]	Úchylka měřicího rozsahu v jednom směru kalibrace úchylkoměru
f_{ges}	[mm]	Celková úchylka měřicího rozsahu v obou směrech úchylkoměru
f-e	[mm]	Chyba přesnosti úchylkoměru v celém rozsahu
f_o	[mm]	Největší kladná úchylka od středové délky koncové měrky
f_u	[mm]	Největší záporná úchylka od středové délky koncové měrky
f_u	[mm]	Úchylka reverzibility úchylkoměru
f_w	[mm]	Opakovatelnost (rozpětí)
k	[-]	Koeficient rozšíření standardní nejistoty výsledku
k_s	[-]	Koeficient rozšíření nejistoty typu A
L	[mm]	Hodnota měřené veličiny v mm
L	[mm]	Délka koncové měrky
l_c	[mm]	Středová délka koncové měrky
l_n	[mm]	Opakovaná jmenovitá délka koncových měrek
l_{max}	[mm]	Největší délka koncové měrky
l_{min}	[mm]	Nejmenší délka koncové měrky
n	[-]	Počet opakovaných měření
$s_{\bar{x}}$	[mm]	Směrodatná odchylka aritmetického průměru
s_x	[mm]	Směrodatná odchylka
t_e	[mm]	Dovolená úchylka jmenovité délky v libovolném bodě měřicí plochy
t_v	[mm]	Dovolená úchylka pro rozpětí délky koncové měrky
U	[mm]	Rozšířená standardní nejistota měření
u_A	[mm]	Výsledná nejistota typu A
u_B	[mm]	Výsledná nejistota typu B
u_c	[mm]	Kombinovaná standardní nejistota výsledku měření
u_{Bz}	[mm]	Standardní nejistota typu B z jednotlivých zdrojů
u_{Bzi}	[mm]	Standardní nejistota typu B odhadu vlivu z_i
x_i	[mm]	i-tá hodnota měření
x_m	[mm]	Výsledek měření

x_p	[mm]	(Konvenčně) pravá hodnota měřené veličiny
\bar{x}	[mm]	Aritmetický průměr naměřených hodnot
Y	[-]	Výsledek měření
z_i	[-]	Zdroj nejistoty typu B
κ	[-]	Konstanta závisící na rozdělení pravděpodobnosti daného zdroje
Δ	[-]	Absolutní chyba
Δ_p	[%]	Procentuální relativní chyba měření
Δ_r	[mm]	Relativní chyba měření
Δ_s	[mm]	Systematická chyba měření
δ	[-]	Náhodná chyba měření
δ_{max}	[-]	Maximální náhodná chyba
υ	[-]	Rozpětí délek
μ	[-]	Střední hodnota základního souboru

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Ukázka měřících zařízení [13].....	11
Obr. 1.2 Schéma klasifikace chyb měření.....	16
Obr. 1.3 Graf chyby měření [3].....	17
Obr. 2.1 Původní platino–iridiový etalon metru [7]	25
Obr. 3.1 Sada keramických koncových měrek	27
Obr. 3.2 Základní parametry měrky [1]	28
Obr. 3.3 Postup měření na porovnávacím komparátoru	32
Obr. 3.4 a – klasický, b – digitální, c – páčkový úchylkoměr	33
Obr. 3.5 Přístroj MCU30 – PP s kalibrovaným úchylkoměrem.....	35
Obr. 3.6 Graf závislosti úchylky na zdvihu etalonu.....	37
Obr. 3.7 Digitální úchylkoměr na přístroji SIP 305 M	38
Obr. 3.8 Měření vnějších rozměrů posuvného měřidla	41
Obr. 3.9 Měření vnitřních rozměrů posuvného měřítka	41
Obr. 3.10 Kalibrace třmenového mikrometru 400 – 425 mm na průměrné desce.....	43
Obr. 3.11 Uchopení koncové měrky rovinnými doteky mikrometru	45

Seznam tabulek

Tab. 1.1 Závislost koeficientu rozšíření nejistoty typu A na počtu měření [3]	19
Tab. 1.2 Koeficient rozšíření k standardní nejistoty výsledku [3].....	22
Tab. 3.1 Dovolená úchylka jmenovité délky t_e v libovolném bodě měřicí plochy a úchylka t_v pro rozpětí délky [1].....	30
Tab. 3.2 Kalibrace koncové měrky 10 mm v programu Měrky	31
Tab. 3.3 Naměřené hodnoty při kalibraci číselníkového úchylkoměru	36
Tab. 3.4 Tabulka naměřených a mezních úchylek úchylkoměru [11].....	37
Tab. 3.5 Mezní úchylky posuvných měřítek dle DIN 862 [13]	40
Tab. 3.6 Naměřené hodnoty digitálního posuvného měřítka [13].....	42
Tab. 3.7 Maximální povolené úchylky mikrometrů dle DIN 863 [14].....	45
Tab. 3.8 Naměřené úchylky třmenového mikrometru o rozsahu 0 – 25/0,01 mm [14]	46