

Kalibrace univerzálního délkoměru Carl Zeiss Jena, tvorba kalibračního postupu a kalibračního protokolu

Pavel Rožek

Bakalářská práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel Rožek**
Osobní číslo: **T140050**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Kalibrace univerzálního délkoměru Carl Zeiss Jena**

Zásady pro vypracování:

1. Popište teorii délkového měření na abbeho principu
2. Popište univerzální délkoměr, postup měření a jeho aplikace v délkové metrologii
3. Zhotovte kalibrační postup pro kalibraci univerzálního délkoměru
4. Provedte kalibraci délkoměru Carl Zeiss Jena
5. Zhotovte protokol o kalibraci
6. Závěr a doporučení



Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. **BUMBÁLEK, Leoš. Kontrola a měření. 1. Praha: Informatorium, 2009. 205s.**
2. **NENÁHLO, Čeněk. Měření geometrických veličin. 1. Praha: ČMS, 2005. 207s.**
3. **ČECH, Jaroslav, Jiří Pernikář a Kamil PODANÝ. Strojírenská metrologie. VUT v Brně, FSI, 2005. ISBN 80-214-2070-2.**
4. **ČSN 010115. Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii. Praha: Český Normalizační institut, 1996**
5. **ČSN EN ISO 3650. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Etalony délek – Koncové měřky. Praha: Český normalizační institut, 2000**
6. **EA 4/02: Vyjadřování nejistot měření při kalibracích. Praha, 2001**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milena Kubišová
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

8. ledna 2016

Termín odevzdání bakalářské práce:

20. května 2016

Ve Zlíně dne 1. dubna 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 2. 5. 2016

1.12

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá kalibrací délkového měřicího stroje – univerzálního délkoměru. Teoretická část popisuje vybrané základní požadavky metrologické laboratoře pro kalibraci délkových měřidel, vysvětluje návaznost délkových měřidel, určování nejistot měření a základní rozdělení délkových měřicích strojů podle jejich konstrukce.

Praktická část řeší tvorbu kalibračního postupu, kalibraci univerzálního délkoměru, tvorbu protokolu o kalibraci a výpočet nejistot pro potřeby kalibrační laboratoře ve Slovácích strojárnách a.s. Uherský Brod.

Klíčová slova:

Metrologie, Abbého princip, kalibrace, etalon

.

ABSTRACT

The bachelor's dissertation deals with the calibration of length measuring machine – universal length measuring device. The theoretical part of this dissertation describes selected basic requirements of metrological laboratory for the calibration of length measuring instruments, furthermore there is the explained the sequence of length measuring instruments, the determination of measurement uncertainty and basic classification of length measuring machines according to their constructions.

The practical part of this dissertation deals about the creation of calibration procedure, the calibration of universal length measuring gauge, creation of calibration certificate, calculation of uncertainty for needs calibration laboratory company Slovácích strojárny a.s. Uherský Brod.

Keywords:

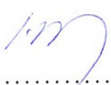
Metrology, Abbe principle, calibration, standard.

Velmi rád bych touhle cestou poděkoval vedoucí mé bakalářské práce Ing. Mileně Kubišové za odborné vedení, ochotně poskytnuté rady, čas a pozornost, kterou mě věnovala při vypracování mé bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za konzultace v oboru strojírenské metrologie a kalibrace délkových měřidel.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně 2. 5. 2016


.....

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 DÉLKOVÁ METROLOGIE	12
2 ZÁKLADNÍ POJMY	13
2.1 KALIBRACE	13
2.2 OVĚŘENÍ	13
2.3 MĚŘIDLO.....	13
2.4 ETALON.....	13
2.5 NEJISTOTA.....	14
2.6 NÁVAZNOST	14
3 ROZDĚLENÍ DÉLKOVÝCH MĚŘIDEL	15
4 ROZDĚLENÍ KALIBRACÍ	16
5 METROLOGICKÉ LABORATOŘE PRO KALIBRACI MĚŘIDEL	17
5.1 POŽADAVKY NA PRACOVNÍ PROSTORY	17
5.2 PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ	17
5.3 TECHNICKÁ ZPŮSOBILOST	18
5.4 AKREDITAČNÍ KRITÉRIA	18
5.5 PERSONÁLNÍ OBSAZENÍ A KVALIFIKACE PRACOVNÍKŮ.....	19
6 MĚŘICÍ DÉLKOVÉ STROJE	20
6.1 DÉLKOMĚRY	20
6.2 ABBÉHO SVISLÝ DÉLKOMĚR	20
6.3 UNIVERZÁLNÍ DÉLKOVÝ MĚŘICÍ STROJ.....	21
7 POPIS UNIVERZÁLNÍHO DÉLKOMĚRU	23
7.1 KOMPONENTY DÉLKOMĚRU	24
7.1.1 Základní popis délkoměru.....	24
7.1.2 Měřicí suport	25
7.1.3 Podkládací stolec	26
7.1.4 Opěrné ložisko s protipinolou	26
7.2 PŘÍSLUŠENSTVÍ DÉLKOMĚRU.....	27
7.2.1 Sada upínacích přípravků	27
7.2.2 Upínky měřeného objektu a pružné svorky	28
7.2.3 Podpěrný stolec	28
7.2.4 Sada měřicích nástavců	29
7.2.5 Sada měřicích třmenů.....	30
7.2.6 Jednoosý plovoucí stolec s upínačem	30
7.2.7 Hrotové přístroje	31
7.2.8 Univerzální upínací přípravek pro dlouhé měřené objekty.....	31
7.2.9 Závaží pro měřicí sílu.....	31
7.2.10 Další příslušenství univerzálního délkoměru	32

8	KONCOVÉ MĚRKY	33
8.1	POUŽITÍ KONCOVÝCH MĚREK	34
8.2	KONCOVÉ MĚRKY MUSÍ SPLŇOVAT TYTO POŽADAVKY	34
8.3	MATERIÁLY NA VÝROBU KONCOVÝCH MĚREK	34
8.4	ZNAČENÍ KONCOVÝCH MĚREK.....	34
	POŽADOVANÝ ROZMĚR MĚRKY SE SKLÁDÁ Z JEDNOTLIVÝCH MĚREK, KTERÉ SE SPOJUJÍ TZV. NASÁVÁNÍM.	35
9	NEJISTOTY MĚŘENÍ.....	36
9.1	STANOVENÍ NEJISTOTY	36
9.1.1	Standardní nejistota typu A (<i>u_a</i>)	36
9.1.2	Standardní nejistota typu B (<i>u_b</i>)	37
9.2	VYJÁDŘENÍ VÝSLEDKU MĚŘENÍ.....	38
10	ZÁVĚR K TEORETICKÉ ČÁSTI.....	39
II	PRAKTICKÁ ČÁST	40
11	KALIBRACE UNIVERZÁLNÍHO DÉLKOMĚRU	41
12	KALIBRAČNÍ POSTUP	42
12.1	KALIBRAČNÍ POSTUP – UNIVERZÁLNÍ DÉLKOMĚR	42
12.1.1	Předmět kalibrace	42
12.1.2	Odkazy na normy a předpisy.....	42
12.1.3	Prostředky potřebné pro kalibraci	42
12.1.4	Podmínky kalibrace.....	43
12.1.5	Rozsah kalibrace	43
12.1.6	Kontrola před kalibrací	43
12.1.7	Měření metrologických parametrů	44
12.1.8	Vyhodnocení a rozhodnutí o výsledku kalibrace	44
13	KALIBRACE UNIVERZÁLNÍHO DÉLKOMĚRU CALL ZEISS JENA.....	45
13.1	NÁVAZNOST	45
13.2	KALIBRACE	47
13.3	KONTROLA A PŘÍPRAVA PŘED KALIBRACÍ	48
14	KALIBRAČNÍ LIST	53
15	POROVNÁNÍ KALIBROVANÉHO DÉLKOMĚRU S LABORATORNÍM UNIVERZÁLNÍM DÉLKOMĚREM MAHR ULM 1500L-E	56
16	ZÁVĚR.....	60
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	62
	SEZNAM OBRÁZKŮ	63
	SEZNAM TABULEK.....	65
	SEZNAM PŘÍLOH.....	66

ÚVOD

V zákoně o metrologii jsou měřidla rozdělena na etalony, pracovní měřidla stanovená, pracovní měřidla nestanovená a referenční materiály.

Pracovní měřidla nestanovená podléhají prvotní kalibraci a následné rekalibraci. Pracovní měřidla nestanovená dělíme na pracovní měřidla podléhající rekalibraci, pracovní měřidla nepodléhající rekalibraci (orientační nebo informativní měřidla) a měřidla v rezervě.

Neustálá potřeba zvyšování kvality výroby a nutnost řešit stále složitější úkoly vyžadující extrémní přesnost, dnes běžně v mikrometrech, nás nutí využívat měřicí přístroje a zařízení schopné tyto hodnoty kvantitativně přesně určit.

Do kategorie vysoce přesných měřicích přístrojů patří také univerzální délkoměr, který je využíván v metrologických střediscích a kalibračních laboratořích pro velmi přesné laboratorní měření a kalibraci délkových měřidel. Kalibrujeme jím např. mezní válečkové kalibry, závitové kalibry, kuželové závitové kalibry, číselníkové úchylkoměry a páčkové úchylkoměry nebo koncové měřky nad 100 mm ve vodorovné poloze.

Úkolem bakalářské práce bude příprava a kalibrace měřicího délkového stroje - univerzálního délkoměru.

Teoretická část popisuje vybrané základní požadavky pracoviště kalibrační laboratoře, vysvětluje návaznost měřidel a stanovení nejistot měření. Popisuje délkové měřicí přístroje podle jejich konstrukce.

Praktická část řeší tvorbu kalibračního postupu, kalibraci univerzálního délkoměru a vypracování protokolu o měření pro potřeby kalibrační laboratoře ve Slovácích strojírnách a.s. Uherský Brod. Kalibrací dle kalibračního postupu zjistíme jeho aktuální přesnost měření.

Na závěr bude provedeno porovnání kalibrovaného délkoměru s laboratorním univerzálním délkoměrem Mahr ULM 1500L-E, který využívá pro vlastní měření laserový interferometr. Oba délkoměry pracují na Abbeho principu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

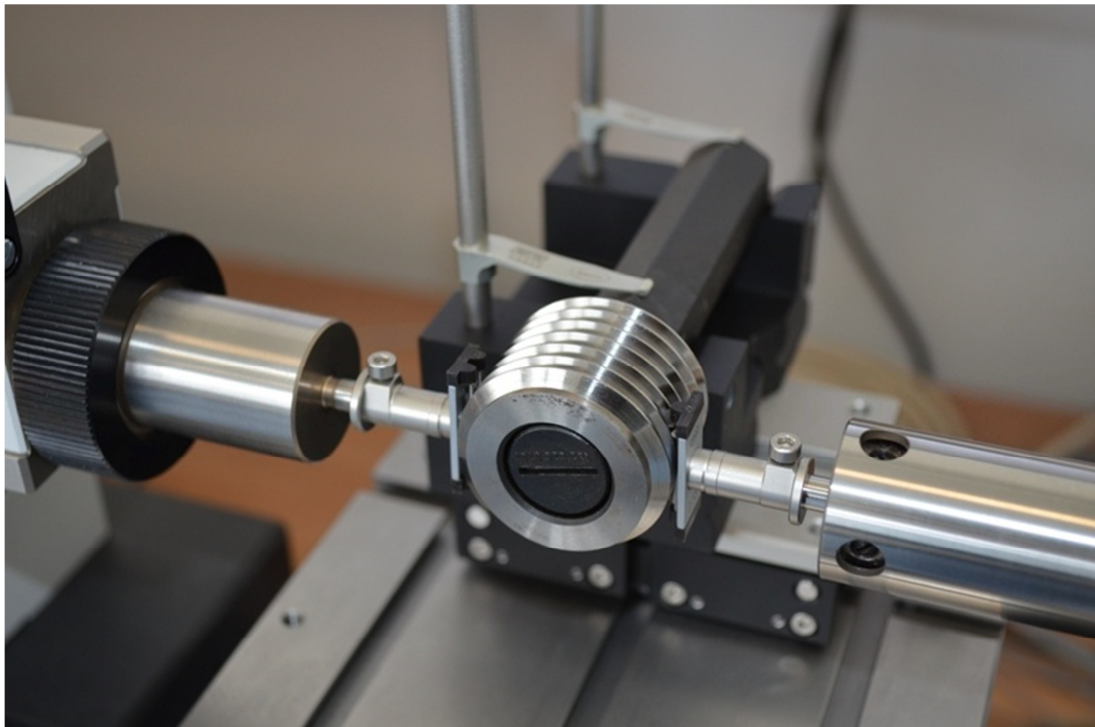
1 DÉLKOVÁ METROLOGIE

Měření délek patří k nejstarším metrologickým úkolům v lidské historii.

V současnosti se na délkové měření s rozvojem nových technologií kladou velké požadavky. Přesnost obráběcích strojů je dnes na velmi vysoké úrovni a tak ve výrobní praxi jsou používány stále častěji měřicí přístroje s chybou měření v řádech mikrometrů. Nové možnosti přináší vývoj moderních technologií, zvláště laserové nebo optické měřicí techniky, které se dnes čím dál častěji využívají ve strojírenské metrologii. Používají je metrologické laboratoře, metrologická střediska i i kontroly jakosti na všech úrovních dílenské kontroly.

Délka je jednou zase základních veličin soustavy SI, označuje se písmenem l nebo L a jednotkou délky je 1 metr (m).

Definice metru: Metr je délka, kterou proběhne světlo ve vakuu za dobu $1/299\,792\,458$ sekundy.



Obrázek 1: Velmi přesné měření středního průměru závitového kalibru - trnu

2 ZÁKLADNÍ POJMY

2.1 Kalibrace

„Kalibrace je 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 indikace. Kalibrace určuje metrologické charakteristiky přístroje, systému nebo referenčního materiálu. Obvykle se toho dosahuje přímým porovnáním s etalony nebo certifikovanými referenčními materiály. Vystavuje se kalibrační list a (ve většině případů) se kalibrované měřidlo opatřuje štítkem.“ [1]

2.2 Ověření

„Ověření je soubor činností, kterými se potvrzuje, že stanovené měřidlo má požadované metrologické vlastnosti. Tento požadavek se považuje za splněný, pokud je měřidlo v souladu s požadavkem stanoveným opatřením obecné povahy. Postup při ověřování stanoveným měřidlem stanoví Ministerstvo dopravy a průmyslu vyhláškou. Ověřené stanovené měřidlo opatří Český metrologický institut nebo autorizované metrologické středisko úřední značkou nebo vydá ověřovací list, nebo použije obou způsobů. Grafickou podobu úřední značky a náležitosti ověřovacího listu stanovuje Ministerstvo průmyslu a obchodu vyhláškou.“ [1]

2.3 Měřidlo

„Měřidla slouží k určení hodnoty měřené veličiny. Spolu s nezbytnými pomocnými měřicími zařízeními se pro tyto účely dělí na: etalony, pracovní měřidla stanovená (nebo také stanovená měřidla), pracovní měřidla nestanovená (nebo také pracovní měřidla) a certifikované referenční materiály.“ [1]

2.4 Etalon

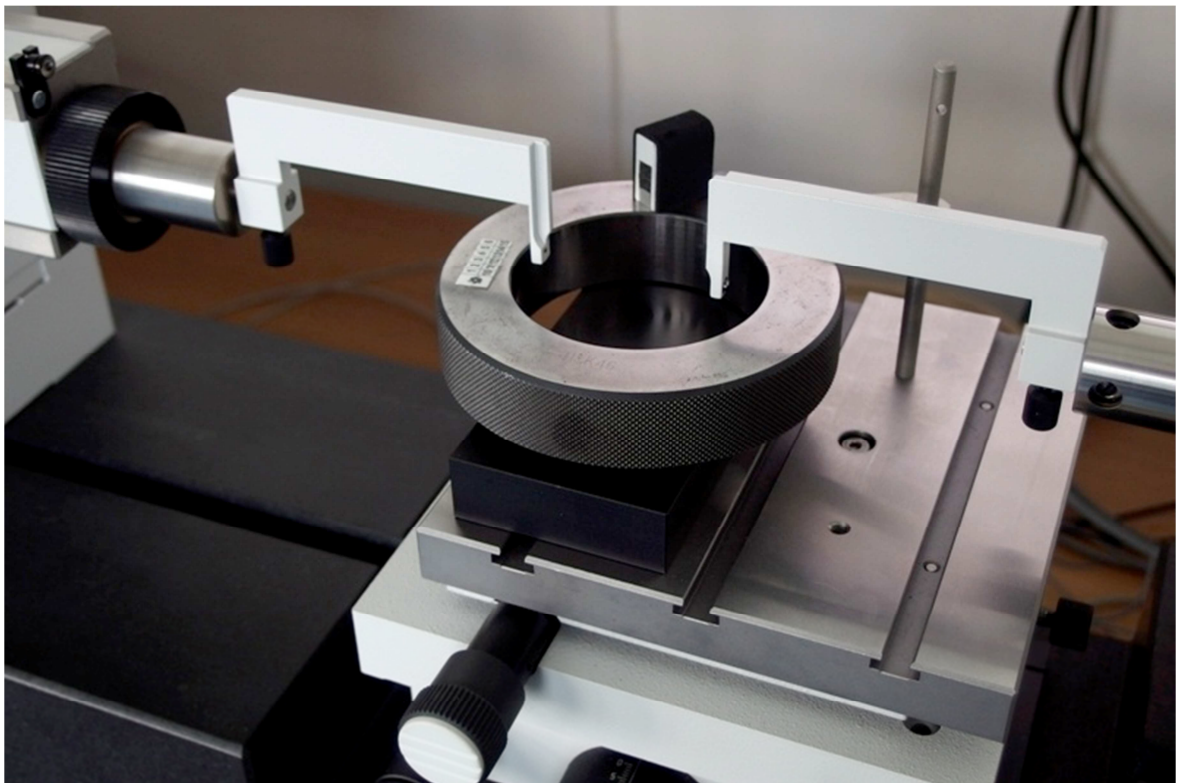
„Etalon (standard) měřicí jednotky nebo stupnice určité veličiny je měřidlo, sloužící k realizaci a uchovávání této jednotky nebo stupnice a k jejímu přenosu na měřidla nižší přesnosti. Uchováváním etalonu se rozumí všechny úkoly, potřebné k zachování metrologických charakteristik etalonu ve stanovených mezích.“ [1]

2.5 Nejistota

„Nejistota měření je parametr vztahující se k výsledku měření, který charakterizuje rozptýlení hodnot, které je možné přiřadit k měřené veličině. Je kvantitativní mírou kvality výsledku měření, umožňující porovnat výsledky měření s jinými výsledky, referencemi, specifikacemi nebo etalony. Nejistota měření může být stanovena různými způsoby.“ [1]

2.6 Návaznost

„Návaznost je vlastnost výsledku měření nebo hodnoty etalonu, kterou je určen vztah k národním nebo mezinárodním etalonům prostřednictvím nepřerušovaného řetězce porovnání s uvedením příslušných nejistot. V podstatě se jedná o zařazení daných měřidel do nepřerušené posloupnosti přenosu hodnoty veličiny počínající etalonem nejvyšší metrologické kvality. Řetězec návaznosti je nepřerušovaný řetězec porovnání, pro nějž jsou udány nejistoty. Tím je zajištěno to, že výsledek měření nebo hodnota etalonu jsou vztaženy k referencím vyšší úrovně, nakonec až k primárním etalonům. Konečný uživatel získává návaznost na nejvyšší mezinárodní úrovni buď přímo cestou národního metrologického institutu, nebo prostřednictvím sekundární kalibrační laboratoře, zpravidla akreditované.“ [1]



Obrázek 2: Kalibrace hladkého kalibru – vnitřní průměr

3 ROZDĚLENÍ DÉLKOVÝCH MĚŘIDEL

Délková měřidla používaná ve strojírenské výrobě rozdělujeme:

- koncové měrky
- pevná a mezní měřidla (kalibry)
- posuvná a mikrometrická měřidla
- měřicí přístroje s převodem
 - mechanickým
 - mechanicko-optickým
 - pneumatickým
 - elektrickým
- měřicí přístroje optické
 - interferenční komparátory
 - laserové interferometry
 - holografie
- měřicí přístroje délkové
- mikroskopy a profilprojektory
- měřidla na malé otvory
- měřidla na velké rozměry
- vícerozměrná měřidla
- kontrolní a třídící automaty
- měřicí stanice
- aktivní sledovací měřidla
- souřadnicové stroje

4 ROZDĚLENÍ KALIBRACÍ

Měřidla můžeme dále rozdělit na jednotlivé skupiny s podobným principem měření a kalibrace. Například mikrometrická měřidla nebo posuvná měřidla obsahují více jednotlivých typů, kalibrujeme je ale podle stejného principu kalibrace.

Podle kalibrací se měřidla dělí na:

- Kalibrace přímým měřením na délkoměru
- Kalibrace pomocí laserového interferometru
- Kalibrace koncových měrek komparační metodou
- Kalibrace závitových měřidel
- Kalibrace mikrometrických měřidel
- Kalibrace posuvných měřidel
- Kalibrace délkoměrů
- Kalibrace 2D a 3D strojů
- Kalibrace měřidel s číselníkovým indikátorem
- Kalibrace čárkových měřítok
- Kalibrace komunálních měřidel na 2D a 3D strojích
- Kalibrace úhelníků a úhломěrů
- Kalibrace libel
- Kalibrace sklonoměrů

5 METROLOGICKÉ LABORATOŘE PRO KALIBRACI MĚŘIDEL

Metrologické laboratoře a kalibrační laboratoře musí splňovat řadu požadavků. Ty je možné rozdělit například na:

1. požadavky na pracovní prostory,
2. přístrojové vybavení,
3. technickou způsobilost
4. akreditační kritéria,
5. organizační a materiální zabezpečení,
6. personální obsazení a kvalifikace pracovníků

5.1 Požadavky na pracovní prostory

Požadavky na pracovní prostory závisí na stupni akreditace a přesnosti měření prováděných v laboratoři. Pro správnost a přesnost délkového měření je nutno dodržovat dané podmínky:

- teplota běžně $(20\pm 1)^\circ\text{C}$, $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ pro méně přesná měřidla, pro kalibraci velmi přesných měřidel, např. koncových měrek teplota $(20\pm 0,5)^\circ\text{C}$,
- relativní vlhkost $(50\pm 15)\%$. Relativní vlhkost neovlivňuje přímo samotné měření, má však vliv na povrchovou korozi měřidel,
- intenzita umělého osvětlení má být min. 500 lx až 800 lx v místech, kde se měření provádí,
- hlučnost v laboratoři má být do 55dB,
- bezprašnost a neustálá čistota pracovních prostor,
- prostředí bez vibrací a elektromagnetických poruch,
- dostatečně velké a esteticky působící pracovní prostředí
- klid pro soustředěnou a nerušenou práci.

5.2 Přístrojové vybavení

Přístrojové vybavení musí trvale vykazovat všechny parametry, které jsou při akreditaci laboratoří definované v kalibračních postupech. Zde je nutný neustálý plně funkční stav měřicího zařízení, nutnost školení pracovníků využívajících toto zařízení a jejich záznam o

proškolení, archivace návodů k jejich použití. Měřicí zařízení musí být navázáno na etalony příslušné veličiny vyššího řádu.

5.3 Technická způsobilost

Technická způsobilost dokladuje kvalitu řízení a organizace kalibrační laboratoře splňující podmínky ČSN EN ISO 17025.

Zde patří zejména:

- způsob řízení laboratoře,
- kvalifikace pracovníků
- prostory a přístrojové vybavení,
- zásada dodržení kalibračních postupů a validace výpočtů.

5.4 Akreditační kritéria

Kalibrační laboratoř ve své příručce kvality definuje kritéria, které se zavazuje dodržovat a podle které obhájí akreditaci před akreditační komisí.

Příručka kvality obsahuje:

- Termíny a definice
- Požadavky na management
 - organizace,
 - systém managementu,
 - řízení dokumentů
 - přezkoumání poptávek, nabídek a smluv,
 - subdodávky kalibrací,
 - nakupování služeb a dodávek,
 - služba zákazníkovi,
 - stížnosti,
 - řízení neshodné práce při kalibraci,
 - zlepšování, opatření k nápravě,
 - preventivní opatření,
 - řízení záznamů,
 - interní audity,

- přezkoumání systému managementu.
- Závazky vyplývající z akreditace
- Technické požadavky
 - osoby pracující v laboratoři,
 - prostory a podmínky prostředí,
 - kalibrační podmínky a validace metod,
 - zařízení,
 - návaznost měření,
 - vzorkování,
 - zacházení s kalibračními položkami,
 - zajišťování kvality výsledků kalibrací,
 - uvádění výsledků.

5.5 Personální obsazení a kvalifikace pracovníků

Kvalifikaci pracovníků provádějících požadovaný typ kalibrace definuje předpis dané organizace. Tito pracovníci musí dodržovat kalibrační postup, ovládat obsluhu měřicího zařízení, na kterém se kalibrace vykonává.

Doporučuje se certifikace (osvědčení) odborné způsobilosti těchto pracovníků pro daný obor a veličinu. Pro kalibraci univerzálního délkoměru je možné získat osvědčení odborné způsobilosti v oboru délka u ČMI Brno.

6 MĚŘICÍ DÉLKOVÉ STROJE

Pracují na principu absolutního nebo komparačního odměřovacího systému.

Měření je prováděno v jedné ose nebo v soustavě souřadnicových rovin nebo prostoru.

Patří sem:

- jednoosé měřicí přístroje, např. Abbeho délkoměr, univerzální délkoměr (pro velmi přesné měření),
- dvouosé měřicí přístroje, např. měřicí mikroskopy (pro přesné měření v souřadném systému XY),
- tříosé měřicí souřadnicové stroje (pro přesné kontaktní, optické nebo laserové měření a skenování, v souřadném systému XYZ, v kartézských nebo polárních souřadnicích).

6.1 Délkoměry

Délkoměry slouží k velmi přesnému měření rozměrů a kontrole měřidel, např. mezní hladké kalibry trny, mezní hladké kalibry kroužky, mezní závitové kalibry trny, mezní závitové kalibry kroužky, mikrometrická měřidla, základní měrky, měřicí přípravky apod.

Podle konstrukce délkoměry dělíme na:

- vertikální (Abbého svislý délkoměr),
- horizontální (univerzální délkoměr).

6.2 Abbého svislý délkoměr

Je vertikální délkoměr s absolutním nebo komparačním způsobem měření. Měřicí pinola je osazena skleněným pravítkem, do kterého je vyryta stupnice o délce 100 mm s milimetrovým dělením. K odečtení hodnoty na měřicí pinole slouží spirálový okulár zabudovaného mikroskopu, který měří s přesností 1 μm . Dnes se často stávající systém odečítání pomocí okuláru nahrazuje odměřováním digitálním, kdy se na měřicí pinolu připevní digitální pravítko a měřená hodnota se čte na displeji vyhodnocovací jednotky. Takto při velmi dobré tuhosti lože délkoměru jsme schopni měřit s přesností 0,1 μm . [7]



Obrázek 3: Abbého svislý délkoměr

Konstrukce délkoměrů dle Abbého principu spočívá v tom, že všechny funkční prvky přístroje musí být umístěny v jedné ose. Snímací pravítka, měřený díl i měřicí třmeny jsou v jedné ose.

6.3 Univerzální délkový měřicí stroj

Je vodorovný délkoměr pro velmi přesná měření rozměrů v rozsahu podle konstrukce stroje s vyloučením chyby 1. řádu. Univerzální délkoměry se vyrábí nejčastěji v rozsahu 100 mm, 300 mm, 500 mm, 1000 mm, 1500 mm nebo 3000 mm.



Obrázek 4: Univerzální délkoměr Carl Zeiss Jena

Vyrábí se také malé dílenské délkoměry s rozsahem 100 mm bez možnosti naklápěcího stolku, které jsou určeny spíše pro kontrolu měřidel a velmi přesných součástí přímo na dílenském pracovišti.

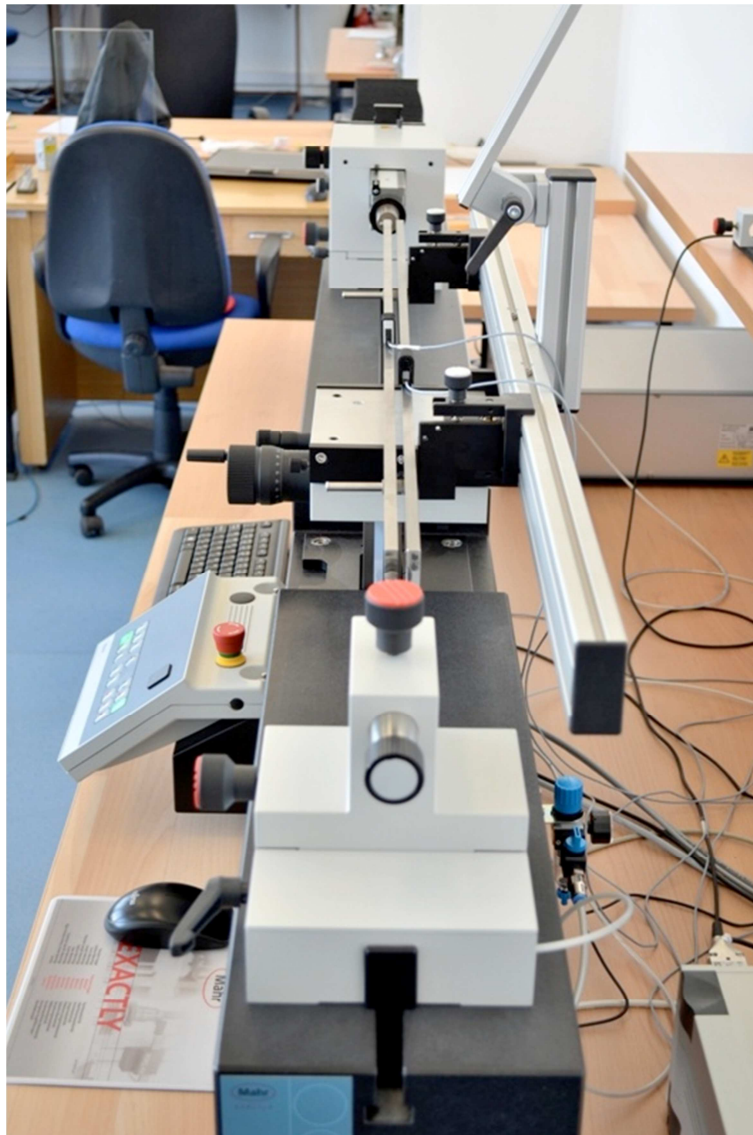


Obrázek 5: Délkoměr pro dílenské použití Helio - UMG 50

7 POPIS UNIVERZÁLNÍHO DÉLKOMĚRU

Délkoměr je přístroj pro měření rozměru v jedné ose s přímou indikací měřené hodnoty. S příslušenstvím délkoměru můžeme měřit různé předměty.

Nejčastěji se měří válečkové kalibry – hladké kalibry na díry a třmenové kalibry na hřídele, nastavovací kroužky pro vnitřní měření, měřicí drátky, lístkové spároměrky, mikrometrická měřidla, koncové měrky, nastavné tyčky k mikrometrům, měřidla s číselníkovým indikátorem, kvalifikační koule k 3D strojům nebo např. volné měření s pružnou deformací.



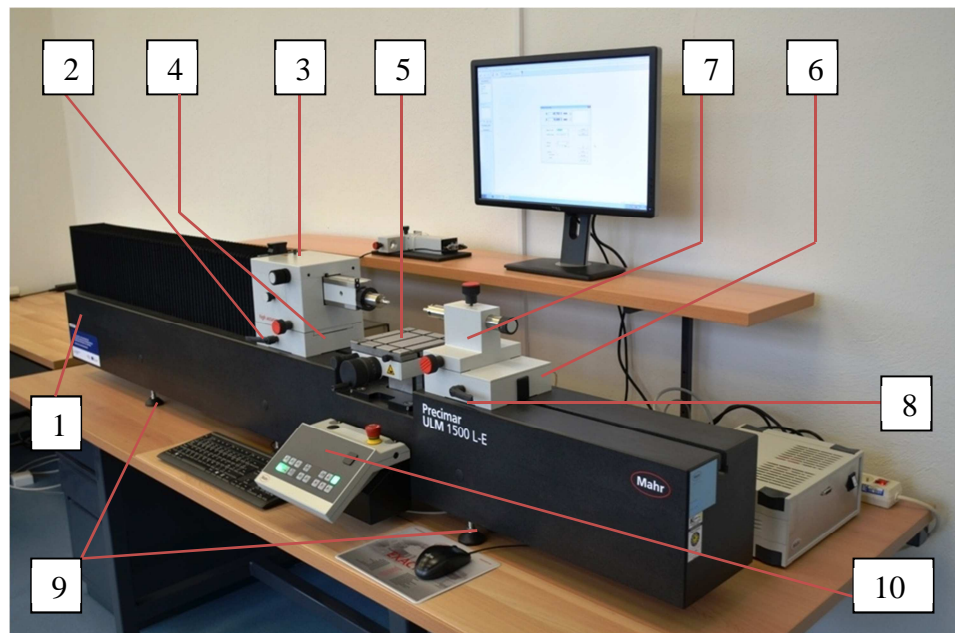
Obrázek 6: Univ. délkoměr Mahr ULM 1500 L-E

7.1 Komponenty délkoměru

Moderní délkoměry mají velmi stabilní lože s vysoce přesnými vodícími dráhami, na kterých jsou umístěny na vzduchových ložiskách vodící plochy pevné pinoly a protipinoly. Lože přístroje stojí na gumových patkách, které tlumí vibrace a zároveň vyrovnávají lože přístroje, což je nezbytné pro správnou funkci délkoměru.

Ve středu lože, mezi oběma vodícími plochami, se nachází podkládací stolek. Ten má manuální nebo motorické polohování osy Z.

7.1.1 Základní popis délkoměru

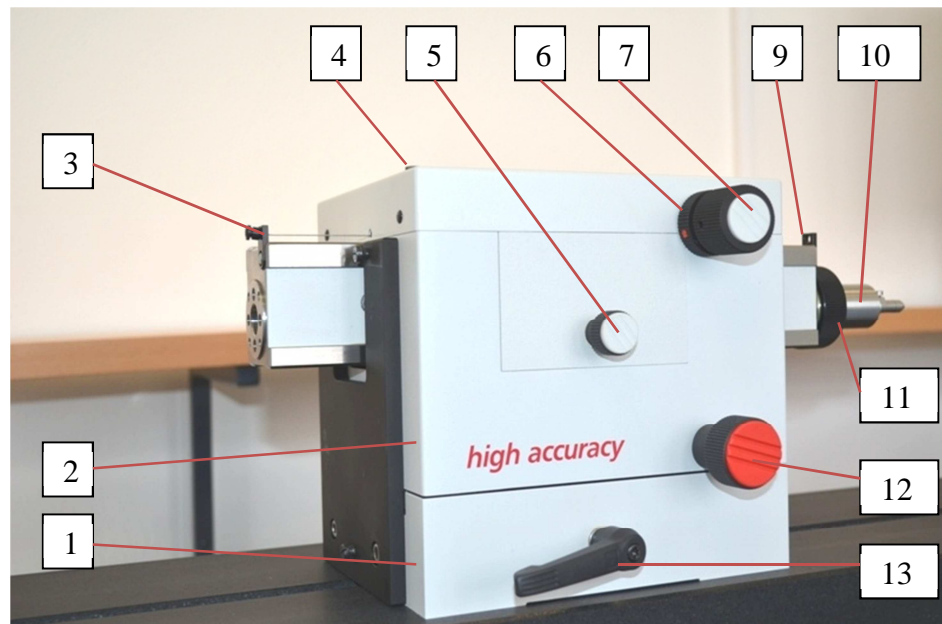


Obrázek 7: Popis délkoměru

1. Lože délkoměru
2. Aretační páčka pro vodící plochu suportu
3. Pevná pinola (koník)
4. Vodící plocha pro měřicí suport
5. Podkládací stolek
6. Vodící plocha pro opěrné ložisko
7. Protipinola
8. Aretační páčka pro vodící plochu protipinoly
9. Gumové patky
10. Ovládací panel

7.1.2 Měřicí suport

Měřicí suport je složen z vodicí plochy a na ni umístěného měřicího elementu.

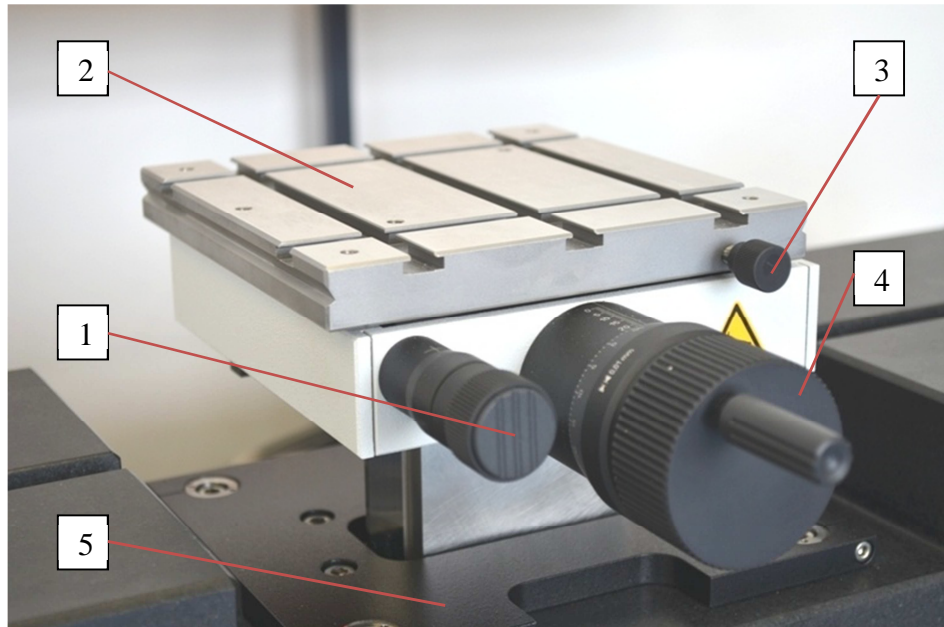


Obrázek 8: Měřicí suport

1. Vodicí plocha
2. Měřicí element
3. Držák kladky pro kladný směr měřicí síly
4. Svěrací šroub pro aretaci měřicí pinoly
5. Zajištění krycí desky
6. Zajištění jemného ustavení
7. Jemné ustavení
8. Měřicí pinola
9. Držák kladky pro záporný směr měřicí síly
10. Mezikus (dlouhý)
11. Převlečná matice
12. Svěrací šroub pro připevnění měřicího elementu
13. Aretační páčka pro zafixování suportu

7.1.3 Podkládací stolek

Podkládací stolek se skládá z pevné spodní části a z desky stolku volně posuvné ve směru měření. T-drážky a otvory se závit v desce stolku slouží pro připevnění upínacích přípravků nebo příslušenství.

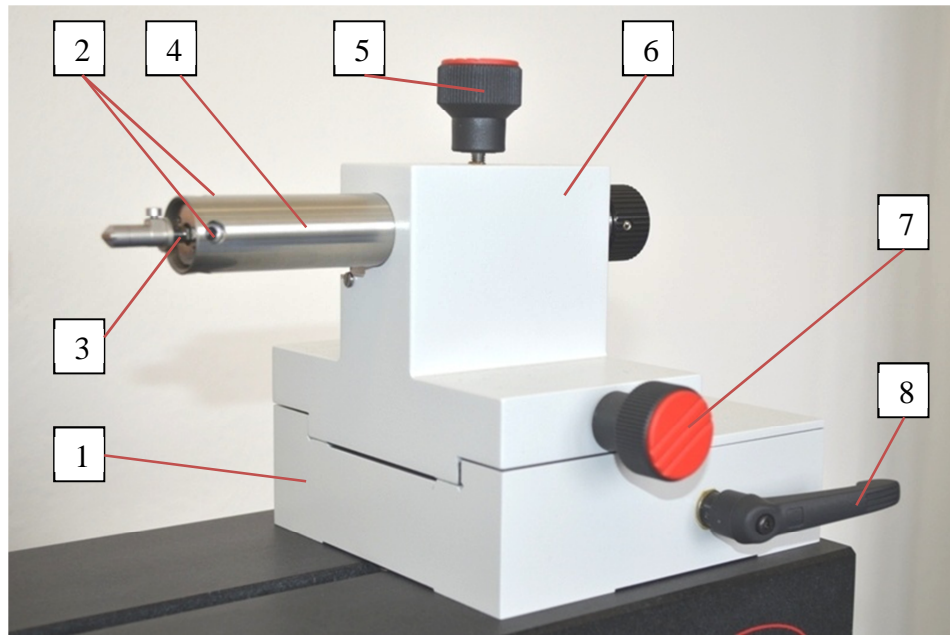


Obrázek 9: Podkládací stolek

1. Seřizovací šroub pro natočení desky stolku
2. Deska stolku
3. Zajišťovací páčka
4. Mikrometrický šroub pro směr osy Y
5. Deska pro připevnění na lože přístroje

7.1.4 Opěrné ložisko s protipinolou

Protilehlý suport se skládá z vodicí plochy a opěrného ložiska. Protipinola by měla být upevněna ve středu opěrného ložiska.



Obrázek 10: Opěrné ložisko s protipinolou

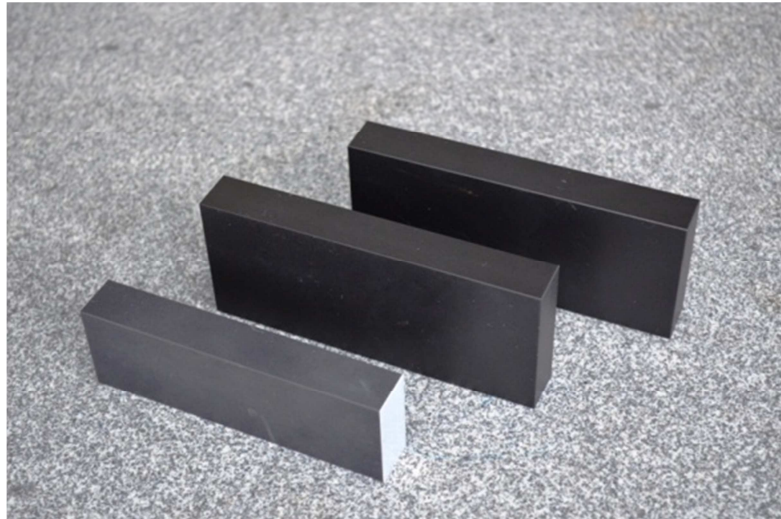
1. Vodicí plocha (protilehlý suport)
2. Seřizovací šrouby pro čep protipinoly
3. Čep protipinoly
4. Protipinola
5. Svěrací šroub pro upnutí protipinoly
6. Opěrné ložisko
7. Svěrací šroub pro připevnění opěrného ložiska na protilehlý suport
8. Aretační páčka pro upnutí protilehlého suportu (vedení)

7.2 Příslušenství délkoměru

7.2.1 Sada upínacích přípravků

Slouží k upnutí měřených objektů na podkládací stolek.

Patří sem rovnoběžné podložky, které umožňují upnutí měřených objektů rovnoběžně s deskou podkládacího nebo nasazovacího stolku. Rovinné broušené podložky slouží k podložení kalibrovaného měřidla, pokud nepostačuje zdvih stolku pro zdvižení měřidla do měřicí roviny.



Obrázek 11: Rovnoběžné podložky

7.2.2 Upínky měřeného objektu a pružné svorky

Slouží pro připevnění a upnutí všech typů měřených objektů na podkládací stolek, nasazovacích stolků a dalšího příslušenství. Upínky používáme pro upevnění těžkých nebo objemných měřených objektů.



Obrázek 12: Upínky

7.2.3 Podpěrný stolek

Podpěrný stolek slouží k podepření dlouhých měřených objektů na délkoměrech pro velké měřené délky tak, aby se neprohýbaly. Nasazuje se shora do drážky granitového základního lože délkoměru.



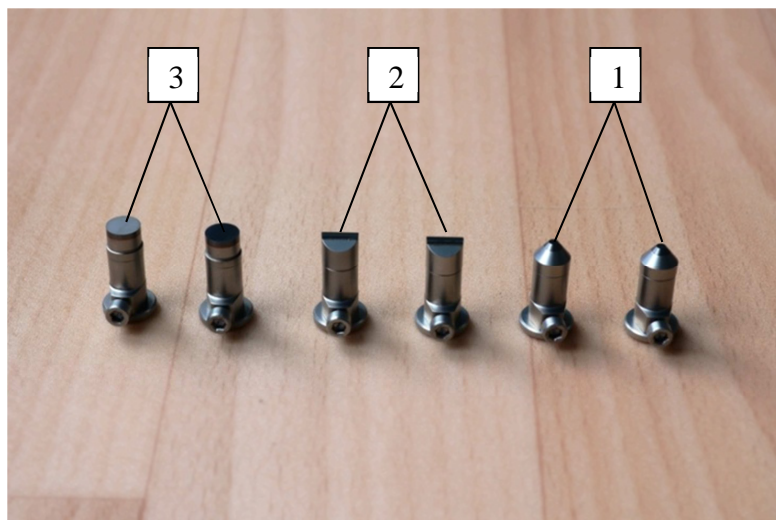
Obrázek 13: Podpěrný stolek

7.2.4 Sada měřicích nástavců

Obsahuje vždy tři páry měřicích nástavců s odlišnou geometrií kontaktních ploch. Snímací elementy zajišťují při všech vnějších měřeních potřebný bodový nebo přímkový dotyk mezi měřicím nástavcem a měřeným objektem. Měřicí plošky nástavců jsou tvrdokovové, proto jsou otěruvzdorné a odolné vůči mechanickému opotřebení.

Výběr měřicího nástavce volíme podle tvaru měřené plochy.

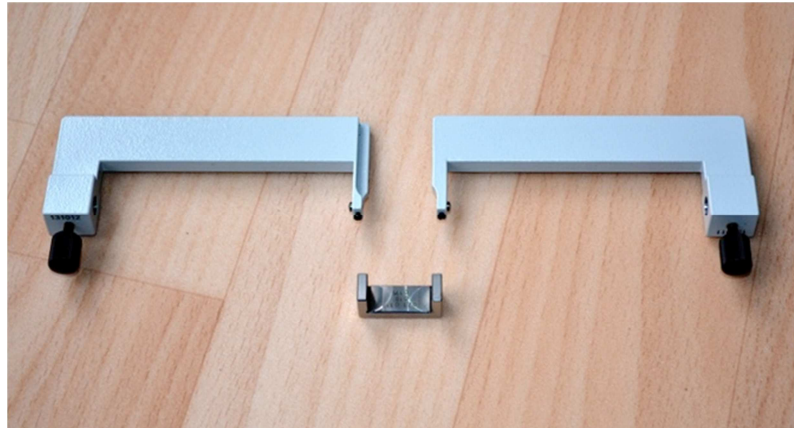
1. Rovinné plochy objektu jsou snímány kulovou měřicí plochou
2. Válcové plochy objektu jsou snímány měřicím břitem
3. Kulové plochy objektu jsou snímány rovinnými měřicími plochami.



Obrázek 14: Sada výměnných měřicích doteků

7.2.5 Sada měřicích třmenů

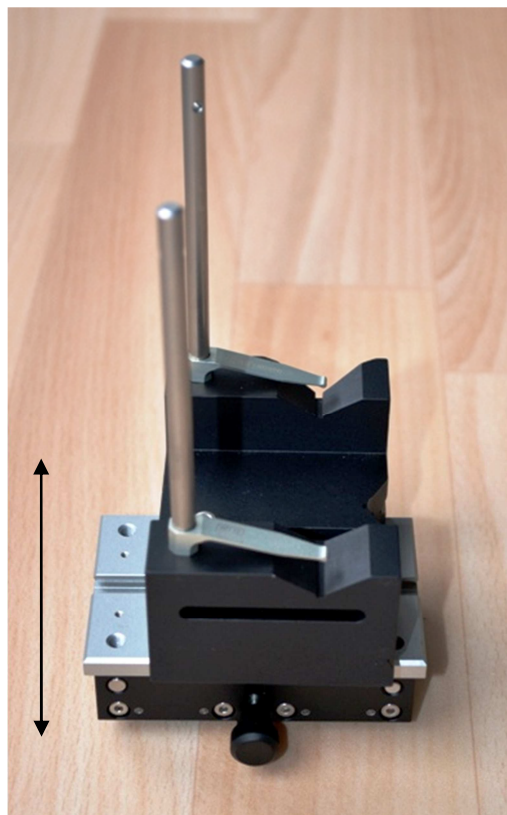
Měřicí třmeny umožňují měření vnitřních průměrů. Nastavují se na referenční kroužek.



Obrázek 15: Měřicí třmeny

7.2.6 Jednoosý plovoucí stolek s upínačem

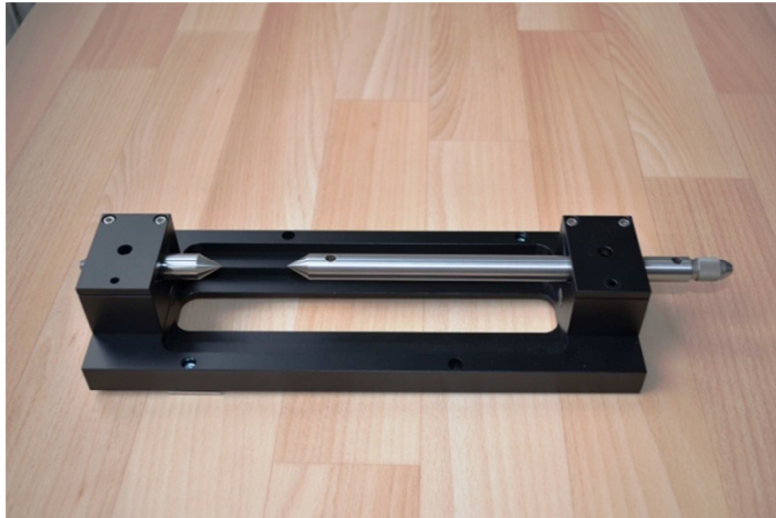
Používá se pro plovoucí upnutí měřených objektů. Například při měření středního průměru závitových kalibrů – trnů.



Obrázek 16: Plovoucí stolek s upínačem

7.2.7 Hrotové přístroje

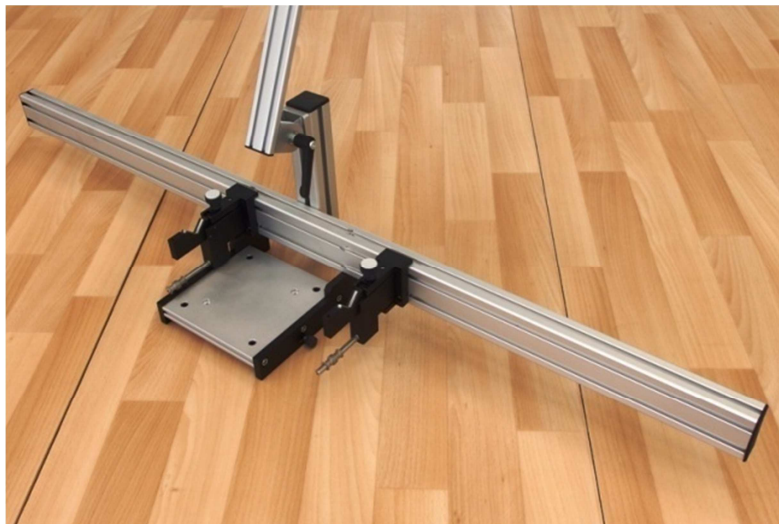
Slouží pro upnutí měřených objektů se středícími důlky.



Obrázek 17: Hrotový přístroj

7.2.8 Univerzální upínací přípravek pro dlouhé měřené objekty

Používá se pro měření dlouhých objektů, například třmenových mikrometrů do 1000mm, velkých třmenových kalibrů nebo koncových měrek.



Obrázek 18: Univerzální upínací přípravek

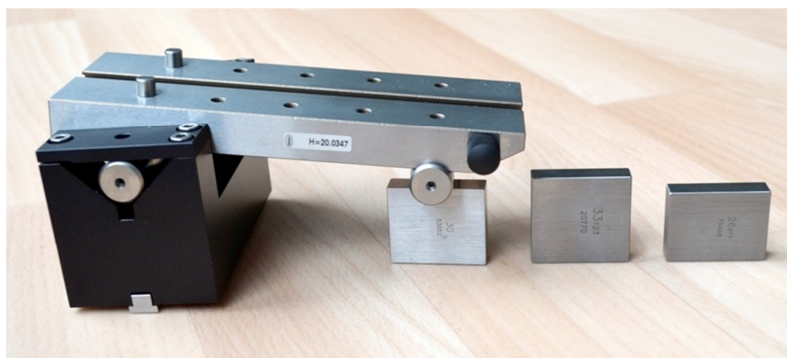
7.2.9 Závaží pro měřicí sílu

Závaží mají různou gramáž a dají se kombinovat, takže se může měřit s mnoha různými měřicími silami konstantními v celém měřicím rozsahu.



Obrázek 19: Závaží pro měřicí sílu

7.2.10 Další příslušenství univerzálního délkoměru



Obrázek 20: Sada pro kalibraci kuželových závitů



Obrázek 21: Sada T-nástavců pro indukční snímač

8 KONCOVÉ MĚRKY

Protože v praktické části budu kalibrovat univerzální délkoměr pomocí koncových měrek, popisuji zde koncové měrky – podnikový etalon pro obor délky.

Pro koncové měrky platí ČSN EN ISO 3650 „Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Etalony délky – Koncové měrky“.



Obrázek 22: Sada koncových měrek

Koncové měrky jsou uznávány jako základ délkového měření ve strojírenství. Vyrábějí se ve tvaru hranolů o rozměrech 9x30 mm do jmenovitého rozměru 10 mm a 9x35 mm nad 10 mm délky. Tomu jsou přizpůsobeny vodící šablonky u komparačního přístroje ke kalibraci koncových měrek, kdy se do vodící šablonky vkládá vždy etalonová měrka a kalibrovaná měrka. Kalibrace koncových měrek spočívá v porovnání etalonové a kalibrované měrky komparační metodou. [7]



Obrázek 23: Komparační kalibrátor koncových měrek

8.1 Použití koncových měrek

- jako etalon délky
- pro nastavení měřidel, měřících přístrojů,
- k ověřování a kalibraci měřidel,
- k přímé kontrole délkových rozměrů výrobků.

8.2 Koncové měrky musí splňovat tyto požadavky

- vysoká tvrdost,
- otěruvzdornost,
- korozivzdornost,
- rozměrová stálost,
- malý koeficient délkové roztažnosti,
- dobrá obrobitelnost,

8.3 Materiály na výrobu koncových měrek

- nástrojová ocel 19 422 – z důvodu malé odolnosti proti korozi je zde nutné používat při práci s měrkami rukavice a po skončení práce měrky konzervovat vhodným konzervačním prostředkem.
- Keramický materiál (zirkon oxidu ZrO_2) – nekorozivní materiál, vysoká rozměrová stálost (menší teplotní koeficient oproti ocelovým koncovým měrkám).
- Karbid wolframu (WC) – vysoká tvrdost a otěruvzdornost.

8.4 Značení koncových měrek

Koncové měrky jsou vždy značeny jmenovitou délkou v milimetrech a symbolem třídy přesnosti. Zde je použito následující značení:

- **K kalibrační třída K:** nejpřesnější měrky určené do kalibračních laboratoří, používány jako mastery s certifikací oproti dalším koncovým měrkám, které jsou kalibrovány porovnáním,
- **0 třída 0:** Jako etalon pro kontrolu koncových měrek nižších tříd přesnosti a pro velmi přesná měření v kalibračních laboratořích a měrových střediscích,
- **1 třída 1:** na kontrolu koncových měrek, kalibrů a seřizování délkových měřidel,

- = **třída 2:** slouží jako pracovní a nastavovací měrky přímo ve strojírenské výrobě nebo jako náhrada za pevné třmenové kalibry.

Požadovaný rozměr měrky se skládá z jednotlivých měrek, které se spojují tzv. nasáváním.



Obrázek 24: Koncové měrky třídy přesnosti 1

9 NEJISTOTY MĚŘENÍ

U akreditovaných pracovišť se dle mezinárodních norem, směrnic a pokynů evropských organizací jednoznačně vyžaduje, aby výsledek měření, ověření, kalibrace, zkoušení byly uvedeny s nejistotou dané procedury.

Výpočet nejistot je popsán v dokumentu EA 4/02.

„Nejistotou se rozumí parametr charakterizující rozsah (interval) hodnot kolem výsledku měření, který můžeme odůvodněně přiřadit hodnotě měřené veličiny. Může se týkat výsledku měření, ale také hodnot odečtených na použitých přístrojích, hodnot použitých konstant, korekce atd., na kterých nejistota výsledku závisí. [2]

9.1 Stanovení nejistoty

Stanovení nejistoty měření při kalibraci vychází z dokumentu EA 4/02.

9.1.1 Standardní nejistota typu A (u_a)

„Standardní nejistota typu A (u_a) při přímém měření se stanoví z n opakovaných a nezávislých měření stejné hodnoty a za stejných podmínek. Odhad měřené veličiny X je dán výběrovým průměrem z naměř. hodnot x_1, x_2, \dots, x_n . Výběrový průměr se určí ze vztahu:“ [2]

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

Výběrovou směrodatnou odchylku s_x vypočítáme z naměřených hodnot ze vztahu:

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

Výběrová směrodatná odchylka s_x charakterizuje rozptýlení naměřených hodnot kolem výběrového průměru \bar{x} . Výběrový průměr udává odhad hodnoty měřené veličiny. Určuje se z náhodného výběru a má náhodný charakter. Rozptyl výběrových průměrů se stanoví ze vztahu (2).

$$S_x^2 = \frac{1}{n} s_x^2 \quad (3)$$

Standardní nejistota typu A je rovna směrodatné odchylce výběrových průměrů a použijeme zde vztah:

$$u_A(x) = S\bar{x} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

9.1.2 Standardní nejistota typu B (u_b)

Stanovení Standardní nejistoty typu B (u_b) spočívá v jiném než statistickém vyhodnocení naměřených údajů. Do této nejistoty zahrnujeme všechny možné vlivy, které mohou mít vliv na přesnost v době měření. Standardní nejistota se odhaduje podle racionálního úsudku na základě všech možných a dostupných informací.

Patří sem například:

- údaje výrobce měřicí techniky,
- údaje získané při kalibraci a z certifikátů,
- zkušenosti z předchozích sérií měření,
- zkušenosti s chování materiálů a techniky,
- metody měření,
- zkušenosti a praktické znalosti osob v kalibrační laboratoři.

Při určování nejistoty vycházíme z dílčích nejistot $u_b(z_j)$ pomocí vztahů:

$$u_b(z_j) = \frac{z_j^{max}}{k} \quad (5)$$

$$u_b(z_j) = \frac{U}{k} \quad (6)$$

kde: k - součinitel vycházející ze zákona rozdělení

U – hodnota standardní rozšířené nejistoty z kal. listu daného měřidla (etalonu)

Výslednou nejistotu získáme ze pomocí vztahu:

$$u_b(x) = \sqrt{\sum_{j=1}^n A_j^2 u_B^2(z_j)} \quad (7)$$

kde: $u_b(z_j)$ - nejistoty jednotlivých zdrojů

A_j - jejich součinitele citlivosti

Výsledná kombinovaná standardní nejistota výsledků měření potom bude geometrickým součtem standardní nejistoty typu A sa standardní nejistoty typu B ze vztahu:

$$u_c(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)} \quad (8)$$

Rozšířená nejistota měření se vypočítá ze vztahu:

$$U = k \times u_c(x) \quad (9)$$

kde: $k = 1$ pro pravděpodobnostní pokrytí přibližně 68,3 %;
 $k = 2$ pro pravděpodobnostní pokrytí přibližně 95 %;
 $k = 2,58$ pro pravděpodobnostní pokrytí přibližně 99 %;
 $k = 3$ pro pravděpodobnostní pokrytí přibližně 99,7 %.

Kalibrační list obsahuje vždy informaci, jaký koeficient byl pro výpočet nejistoty použitý. Nejčastěji je koeficient $k = 2$.

V kalibračním listu se doslovně píše:

„Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k = 2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí cca 95 %. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.“

9.2 Vyjádření výsledku měření

Výsledek měření uvádíme s nejistotou na dvě platné číslice. Celý výpočet nejistoty provádíme s nezaokrouhlenými hodnotami a zaokrouhlujeme až výslednou nejistotu.

„Při konečném zaokrouhlení výběrového průměru z naměřených hodnot postupujeme tak, že zaokrouhlená číslice má být řádově shodná s druhou platnou číslicí nejistoty, Tedy ve výsledku měření se uvádí výběrový průměr jako nejpravděpodobnější hodnota výsledku měření jen na tolik míst, aby jeho číslice nejnižšího řádu měla týž řád jako číslice nejnižšího řádu nejistoty měření při stejné jednotce metrologické veličiny.“ [2]

Příklad zápisu: $L = 49,995 \text{ mm} \pm 0,28 \mu\text{m}$

10 ZÁVĚR K TEORETICKÉ ČÁSTI

V teoretické části jsem se zaměřil na základní popis a vysvětlení práce v metrologické laboratoři, které jsou nezbytné pro praktickou část mé bakalářské práce.

Kapitola 1 obsahuje úvod do délkové metrologie. V kapitole 2 jsou popsány základní pojmy a definice potřebné pro správné pochopení oboru délkové metrologie a v našem případě do tohoto oboru patřící kalibrace délkový měřidel. Kapitola 4 a 5 popisuje rozdělení délkových měřidel a rozdělení podle typu kalibrace. V kapitole 5 následuje popis metrologické laboratoře. Kapitola 6 popisuje měřicí délkové stroje všeobecně a kapitola 7 je zaměřena na popis univerzálního délkoměru. V kapitole 8 jsou představeny koncové měrky, protože v praktické části slouží jako etalon délky pro kalibraci univerzálního délkoměru. V poslední kapitole teoretické části jsou uvedeny základní vzorce pro výpočet nejistot měření, které jsou součástí každého kalibračního protokolu a bez kterých samotné měření nemá úplnou vypovídající hodnotu o přesnosti kalibrovaného měřidla.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

11 KALIBRACE UNIVERZÁLNÍHO DÉLKOMĚRU

V praktické části bakalářské práce se budu věnovat kalibraci univerzálního délkoměru Carl Zeiss Jena s výrobním číslem 2020, který je součástí kalibrační laboratoře Slovácckých strojírén a.s. v Uherském Brodě.

Toto měřicí zařízení bylo dovezeno z kalibrační laboratoře Krušnohorských strojírén Komořany. Protože není kalibrované akreditovanou kalibrační laboratoří a nemáme tak tento délkoměr navázaný na etalon vyššího řádu a se zjištěním jeho skutečné přesnosti, touto bakalářskou prací provedu kalibraci délkoměru a porovnání kalibrovaného délkoměru s laboratorním délkoměrem Mahr ULM 1500 L-E, který v kalibrační laboratoři Slovácckých strojírén využíváme.

Nejdříve vypracuji kalibrační postup, prvotní záznam a kalibrační protokol. Potom provedu sérii měření, kde jako etalon použiji koncové měrky s návazností na ČMI Brno. Získané hodnoty měření zanesu do kalibračního protokolu včetně výpočtu nejistoty měření. Nakonec provedu porovnání výše zmíněných délkoměrů.

12 KALIBRAČNÍ POSTUP

Velké kalibrační laboratoře si díky svým zkušenostem a vybavením laboratoře tvoří vlastní kalibrační postupy. Laboratoře malé a i střední velikosti často využívají možnosti přizpůsobit svým podmínkám tzv. vzorový (univerzální) kalibrační postup, který nabízí pro jednotlivé typy měření Česká metrologická společnost Praha (ČMS).

V mém případě použiju jako vzor kalibrační postup ČMS – DÉLKOMĚR č. KP1.1.2/08/02/N.

12.1 Kalibrační postup – Univerzální délkoměr

Kalibrační postup popisuje metodiku kalibrace délkoměru pomocí koncových měrek.

12.1.1 Předmět kalibrace

Tento kalibrační postup se vztahuje na kalibraci univerzálního délkoměru Carl Zeiss / Jena, který je vybaven digitálním odměřovacím systémem. Slouží jako pracovní etalon k přímému měření měřidel s rovnými plochami, vnějších průměrů s válcovitými a kulovými plochami, měření závitů (střední průměr) měřicími drátky. Stupnice 0 až 100 mm a hodnotu dílku 0,001 mm, do celkového měřicího rozsahu 500 mm.

12.1.2 Odkazy na normy a předpisy

EA 4/02	Vyjadřování nejistot při kalibracích
ČSN EN ISO 17025	Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří
ČSN EN ISO 10012	Systémy managementu měření – Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení
ČSN 010115	Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii
PNÚ 1100.0	Schéma návaznosti měřidel délky

12.1.3 Prostředky potřebné pro kalibraci

- sada koncových měrek kalibrovaných s nejistotou odpovídající 4. etalonovému řádu,

- teploměr s rozlišitelností minimálně 0,2 °C,
- lékárenský technický benzín,
- utěrky
- konzervační prostředky,
- leštící a lapovací prostředky,
- pracovní rukavice,
- kleště koncových měrek.

12.1.4 Podmínky kalibrace

Kalibrace délkoměru se provádí za standardních podmínek:

- teplota prostředí při kalibraci: $20 \pm 0,5$ °C,
- vlhkost vzduchu při kalibraci: $50\% \pm 15\%$ (maximálně 80% z důvodu vzniku koroze),

12.1.5 Rozsah kalibrace

- funkční zkouška,
- příprava koncových měrek,
- měření metrologických parametrů.

12.1.6 Kontrola před kalibrací

Provede se evidenční kontrola, kde se kontroluje správnost údajů na evidenčním štítku a v evidenční kartě délkoměru.

Délkoměr se vyčistí, koroze na funkčních plochách se odstraní jemným leštícím papírem a kluzné plochy se ošetří podle doporučení výrobce. Justážní šrouby musí zajišťovat perfektní funkčnost a nesmí ovlivňovat přesnost při měření.

Rovnoběžnost doteků se kontroluje planparalelním sklem. Dále se kontroluje funkce zařízení pro vyvození měřicí síly.

Před kalibrací univerzálního délkoměru se provede vizuální kontrola způsobilosti koncových měrek. Měrky se vyčistí, odmastí lékárenským benzínem a očistí měkkou antistatickou utěrkou, případně se odmagnetují.

12.1.7 Měření metrologických parametrů

Při kalibraci univerzálního délkoměru se vychází z nulového bodu. Výchozí hodnota je 0,0000 mm. To znamená, že pohyblivý dotek bude zobrazovat přímo velikost rozměru.

Vlastní kalibrace se provede tak, že se na perfektně očištěné doteky vkládá příslušná koncová měrka viz tabulka 1. Měření se pak provede na každém jednotlivém rozměru v 10 sériích měření.

Tabulka 1: Maximální dovolená chyba

Jmenovitý rozměr v mm				Úchylka v μm
0	---	---	---	0
1	11	21	75	0,3
2	12	22	80	0,3
3	13	23	90	0,3
4	14	24	100	0,3
5	15	25	---	0,3
6	16	30	---	0,3
7	17	40	---	0,3
8	18	50	---	0,3
9	19	60	---	0,3
10	20	70	---	0,3

12.1.8 Vyhodnocení a rozhodnutí o výsledku kalibrace

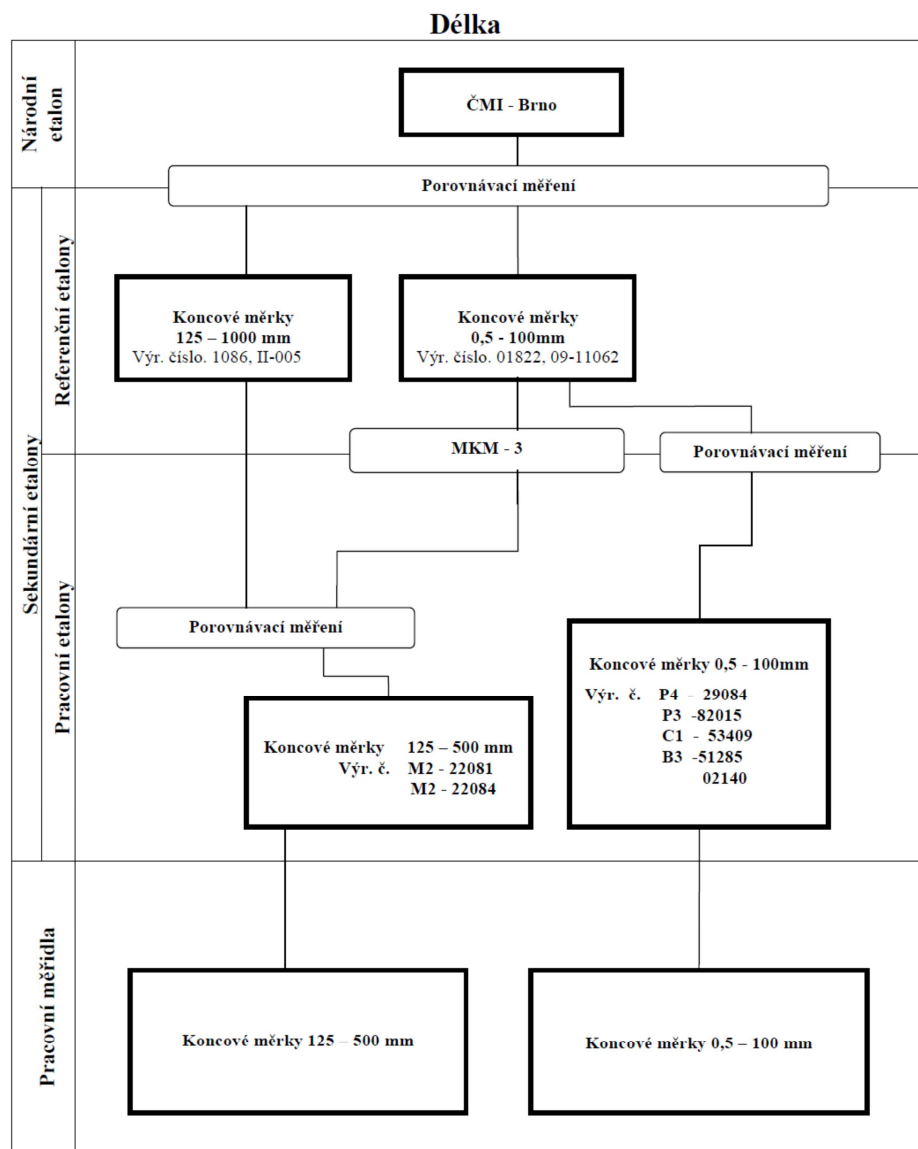
Naměřené hodnoty se zapíše do formuláře a porovnájí se s mezními dovolenými uvedenými v tabulce 1. Nejistota měření se vyhodnocuje podle dokumentu EA 4/02 Vyjádření nejistoty při kalibraci. Za správnost výsledků kalibrace odpovídá pracovník, který kalibraci provedl a za správnost přenosu dat do kalibračního protokolu odpovídá pracovník vystavující nebo vyplňující kalibrační list. Kontrolu provádí vedoucí kalibrační laboratoře při podpisu kalibračního protokolu podle záznamů o kalibraci.

Kalibrační laboratoř dobu platnosti kalibrace v kalibračním listu neuvádí.

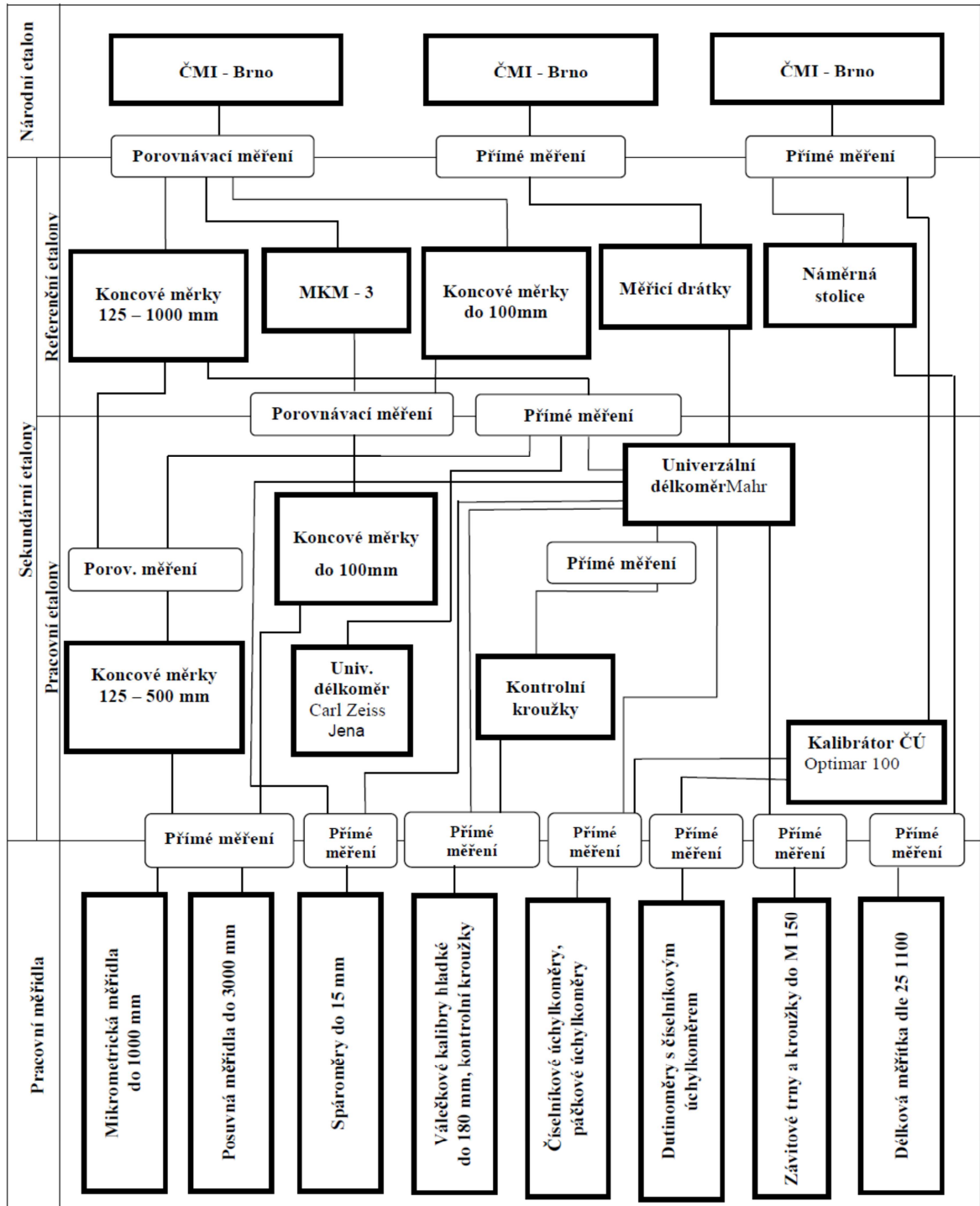
13 KALIBRACE UNIVERZÁLNÍHO DÉLKOMĚRU CALL ZEISS JENA

13.1 Návaznost

Univerzální délkoměr Carl Zeiss Jena s číslem výroby 2020 je součástí přístrojového vybavení KL Slováckých strojůren a.s. a jako jiné přístroje musí být navázán na etalon délky vyššího řádu. V tomto případě použiji jako hlavní etalon koncové měrky čtvrtého řádu (0,2 + 2 L)μm. Kalibrační protokol hlavního etalonu je součástí přílohy bakalářské práce pod označením PI a PII. Návaznost oboru délka a do ní spadající hlavní etalon i kalibrovaný přístroj je znázorněn na obrázku č.25 a 26.



Obrázek 25: Schéma návaznosti KL SUB, strana 1/2



Obrázek 26: Schéma návaznosti KL SUB, strana 2/2

Ve schématu návaznosti je vždy znázorněn nepřerušovaný řetězec návaznosti kalibrovaného měřidla až po národní (primární) etalon, v našem případě etalon délky. Toto schéma jsem sestavil pro kalibrační laboratoř Slovákých strojírén.

13.2 Kalibrace

V této části provedu kalibraci univerzálního délkoměru Carl Zeiss Jena č.v. 2020.



Obrázek 27: Carl Zeiss Jena č.v. 2020



Obrázek 28: Výrobní štítek

13.3 Kontrola a příprava před kalibrací

Před kalibrací je nutné zkontrolovat kompletnost a funkčnost kalibrovaného měřidla - délkoměru a také etalonů, pomocí kterých budu délkoměr kalibrovat.

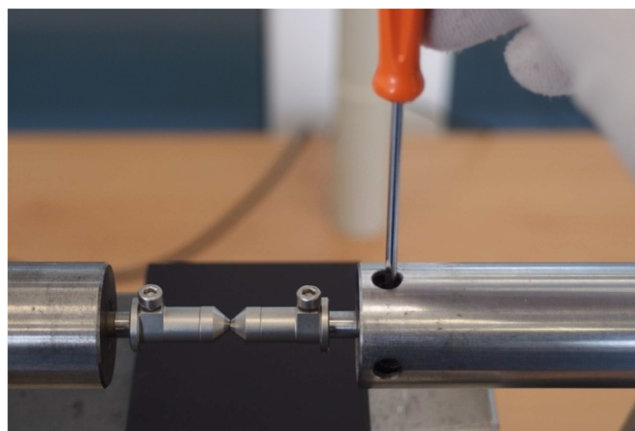
Délkoměr musí být stabilně usazený na pracovním stole. Nesmí se nijak třepat nebo jinak vibrovat na stole. Dále vyzkouším hladký chod pohybu pinoly a také stav digitálního pravítka, které je na pinole připevněno. Vhodné je odzkoušet i vertikální a horizontální (příčný) posuv stolku a jeho naklápění. Nakonec zkontroluji funkčnost pravého koníku, funkčnost a kompletnost všech justážních šroubů a závaží k vyvození dané přítlačné síly.



Obrázek 29: Pinola s digitálním pravítkem

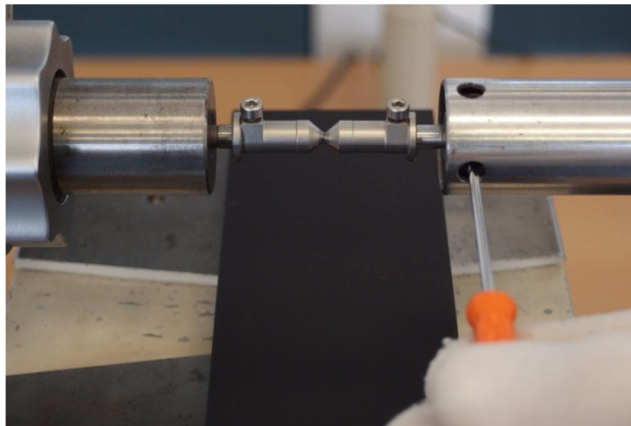
Po vizuální kontrole je nutné vybrat a seřadit výměnné doteky. V našem případě vyberu doteky s kulovou měřicí plochou pro rovinné plochy koncové měřky.

Po nasazení a pevném dotažení imbusovým klíčem provedu vyrovnání doteků, hledám vratný bod – v tomto případě minimum.

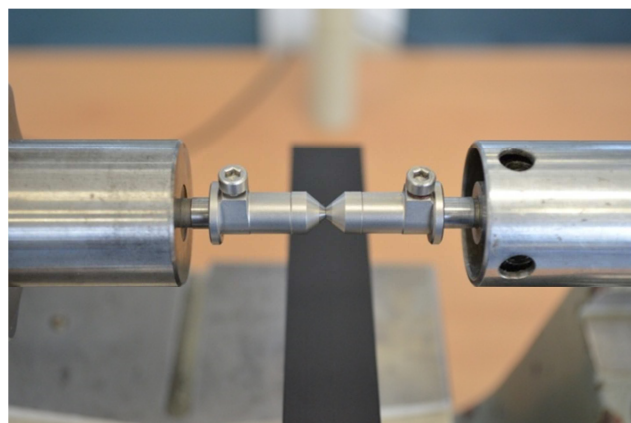


Obrázek 30: Vratný bod – vertikální poloha

Při hledání vratného bodu nastavím minimum jak ve vertikální poloze, tak i v horizontální poloze. Pro jistotu ještě provedu kontrolu nastavení vratného bodu.



Obrázek 31: Vratný bod – horizontální poloha



Obrázek 32: Seřízené měřicí doteky

Po seřízení vratného bodu vynulují na vyhodnocovací jednotce absolutní hodnotu osy x a nechám ustálit pinolu před prvním měřením.



Obrázek 33: Vynulování osy x

Ještě před výše zmíněnou kontrolou délkoměru jsem věnoval velkou pozornost koncovým měrkám – etalonům. Ty je nutné odmastit, to znamená odstranit konzervační film, který chrání povrch měrek proti povrchové korozi. K čištění měrek jsem použil lékařský benzín nanesený na vatovou tyčinku. Jednotlivé čisté měrky jsem dřevěnými kleštěmi skládal na čistou podložku. Kontrolu interferenčním sklem a případné odmagnetování měrek jsem z důvodu etalonové kvality a jejich známé historie mohl zanedbat. Nutností byla temperance etalonů po určitou dobu a v bezprostřední blízkosti kalibrovaného délkoměru z důvodu vytemperování na stejnou teplotu. Etalonové měrky jsem postupně kladl na kovovou rovnoběžnou podložku nechal temperovat před měřením.

Výhodou bylo, že tělo délkoměru a koncové měrky jsou ze stejného materiálu a mají tedy stejný koeficient teplotní roztažnosti. Za ideální stav se udává rozdíl teploty etalonu a kalibrovaného měřidla do 0,2 °C.



Obrázek 34: Temperace etalonu

V blízkosti místa měření v rovině pinoly jsem umístil přenosný dataloger, který zaznamenává v průběhu měření hned tři parametry důležité pro konečné vyhodnocení jednotlivých měření. Dataloger zapisuje v námi nastaveném časovém intervalu aktuální teplotu prostředí, vlhkost a teplotu rosného bodu.



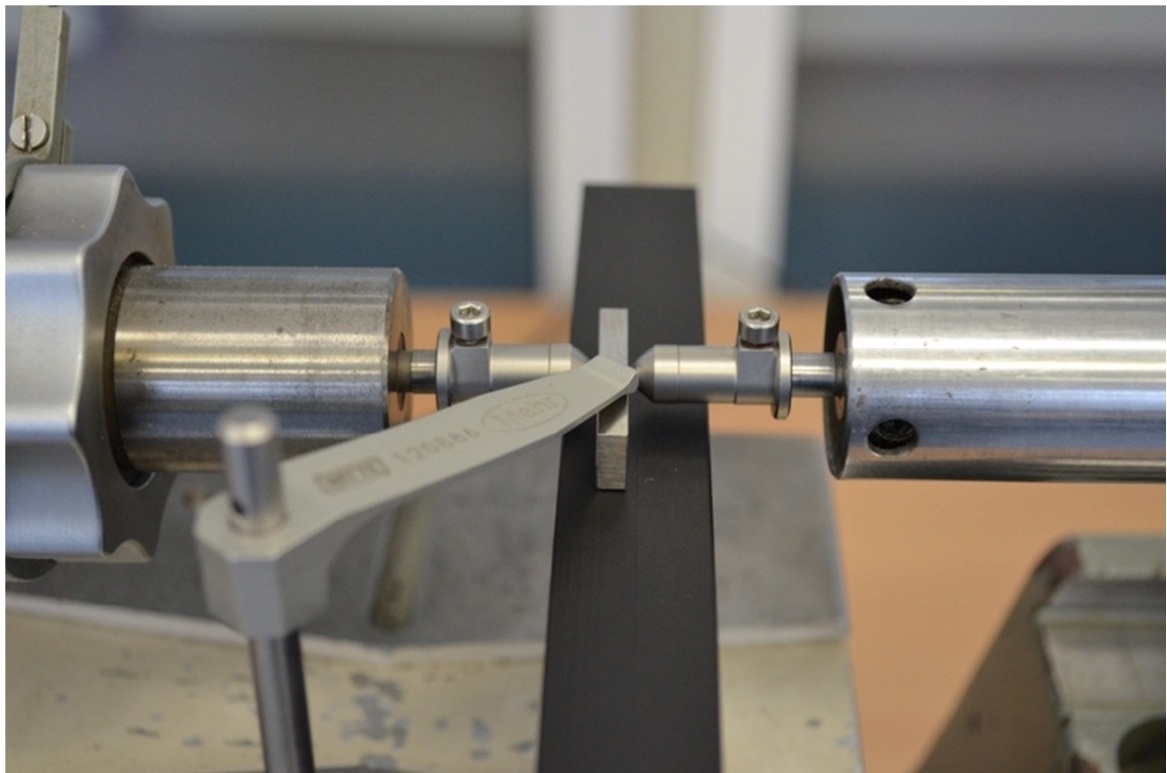
Obrázek 35: Dataloger



Obrázek 36: Bavlněné rukavice

Při kalibraci jsem vkládal postupně etalonové měrky podle jejich velikosti od nejmenší po největší, to je od 1 mm po 100mm, abych kalibrací zkontroloval celý měřicí rozsah pravítka délkoměru. Měření každé měrky jsem provedl v sérii 10 opakování. Hodnoty jsem zapsal do prvotního záznamu.

Při měření každé měrky je vždy nutné opřít měřicí doteky k sobě, nechat je ustát a potom zkontrolovat, případně vynulovat osu X na čtecím zařízení. U každé měrky je nezbytné také najít pomocí naklápěcího a otočného stolku minimum vratného bodu – tedy minimální měřenou hodnotu etalonové měrky.



Obrázek 37: Kalibrace univerzálního délkoměru

Měření necháme chvíli ustát a do prvotního záznamu zapisujeme odchylku od jmenovité hodnoty.

Na konci měření jsem do prvotního záznamu vložil také hodnotu rozdílu teploty ze záznamu v datalogeru, viz příloha PIII (tabulka) a PIV (graf).

Odchylky etalonových měrek jsem vložil do prvotního záznamu před vlastním měřením.

14 KALIBRAČNÍ LIST

Pro kalibrační list jsem použil vzor z bývalé AKL Komořany, které podle možností laboratoře postupně upravuji pro vlastní potřeby SUB.

Kalibrační list je vytvořen v programu MS Excel a obsahuje celkem 2 listy kalibračního protokolu a 1 list prvotního záznamu.

List č. 1 je strana 1/2, kde jsou obsaženy všechny základní informace, jako např.:


- název a adresu kalibrační laboratoře,
- pořadové číslo kalibračního listu pro jednoznačnou identifikaci, celkový počet stran,
- jméno a adresa zadavatele kalibrace,
- datum přijetí předmětu kalibrace, datum provedení kalibrace, datum vystavení protokolu,
- použitá metoda kalibrace a číslo kalibračního postupu,
- použité etalony, jejich návaznost a číslo kalibračního listu,
- podmínky prostředí laboratoře,
- kdo kalibraci provedl,
- kdo a kdy vystavil kalibrační list,
- podpis vedoucího KL

List 2 obsahuje stranu 2/2 kalibračního listu a jsou zde uvedeny:

- pořadové číslo kalibračního listu pro jednoznačnou identifikaci
- tabulka výsledných hodnot kalibrace, která obsahuje jmenovitou hodnotu, výslednou odchylku a nejistotu měření.

Prvotní záznam obsahuje tabulku pro zápis naměřených hodnot podle daných jmenovitých hodnot, dále výpočet délkové roztažnosti a výpočet nejistot měření viz příloha P5.

Tabulka 3: Kalibrační list strana 1/2

 Slovákcké strojírny Uherský Brod a.s.	KALIBRAČNÍ LABORATOR		
	obor : Délka		Tel. : 572 82 2717
Sídlo: Nivnická 1763, 68828 Uherský Brod			
KALIBRAČNÍ LIST č. : 0001 / 15			List číslo : 1 Počet listů : 2
Zákazník : Slovákcké strojírny Uherský Brod a.s. (Bakalářská práce) Číslo zakázky : Předmět kalibrace : Univerzální délkoměr 0 - 100 mm Evidenční číslo : 06203 Výrobní číslo : 2020 Výrobce : CARL ZEISS Datum přijetí předmětu kalibrace : 30.3.2015 Datum provedení kalibrace : 2.4.2015			
K A L I B R A C E			
- metoda : porovnávací			
- předpis : KP 1.1.2/08/02/N			
Návaznost hlavních etalonů na národní etalony			
Název	Výr. (Ev.) číslo	Navázání	Kalibrační list
Koncové měrky	1822	ČMI Brno	6033-KL-M0072-14
Použité etalony mají zajištěnou návaznost na národní etalony prostřednictvím etalonů ČMI nebo etalonů akreditovaných kalibračních laboratoří.			
Teplota prostředí laboratoře		Relativní vlhkost laboratoře	
(20 ±2) °C		(50 ±15) %	
Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření k = 2, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí cca 95 %. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4 / 02.			
<u>VÝSLEDKY KALIBRACE :</u>			
Výsledky kalibrace viz list č. 2			
Kalibrační list vypracoval : Pavel Rožek		Ladislav Pospíšil Vedoucí kalibrační laboratoře	
Kalibraci provedl : Pavel Rožek			
V Uherském Brodě dne : 2.4.2015			
Výsledky kalibrace se týkají jen předmětu kalibrace. Kalibrační list nesmí být bez písemného souhlasu kalibrační laboratoře reprodukován jinak, než celý .			

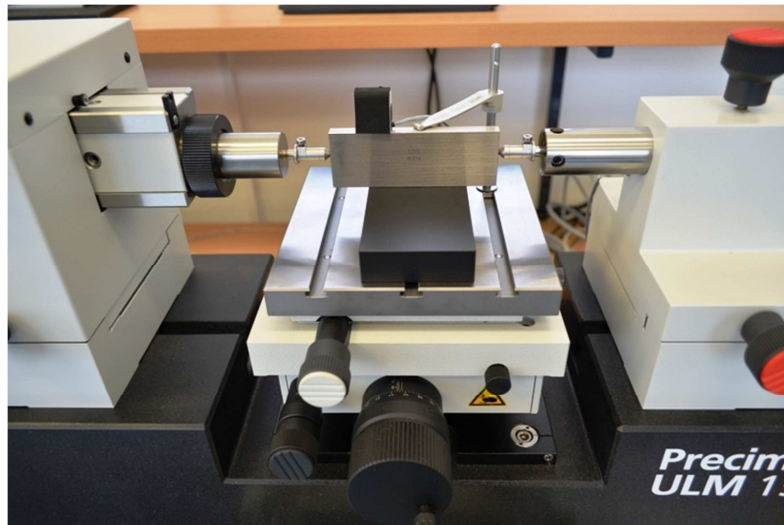
Tabulka 4: Kalibrační list strana 2/2

Kalibrační list číslo : 0001 / 15			List číslo : 2		
			Počet listů : 2		
VÝSLEDKY KALIBRACE					
Jmenovitá hodnota [mm]	Výsledná odchylka [μm]	Nejistota měř. [±] [μm]	Jmenovitá hodnota [mm]	Výsledná odchylka [μm]	Nejistota měř. [±] [μm]
0	0,0	0,21	19	0,1	0,34
1	-0,1	0,21	20	0,1	0,35
2	-0,1	0,21	25	-0,4	0,48
3	-0,2	0,22	30	-0,4	0,53
4	0,0	0,22	35	/	/
5	-0,3	0,23	40	-0,2	0,58
6	-0,1	0,23	45	/	/
7	-0,1	0,24	50	-0,2	0,70
8	-0,1	0,24	55	/	/
9	0,0	0,25	60	-1,2	1,13
10	-0,1	0,26	65	/	/
11	-0,4	0,27	70	-1,1	1,18
12	-0,2	0,27	75	-1,1	1,23
13	-0,3	0,28	80	-0,9	1,21
14	-0,2	0,29	85	/	/
15	-0,1	0,30	90	-0,4	1,20
16	0,0	0,31	95	/	/
17	0,0	0,32	100	-1,0	1,45
18	0,0	0,33	/	/	/
<u>Poznámka :</u>					
Konvenčně pravá délka = jmenovitá hodnota + výsledná odchylka s uvedeným znaménkem					

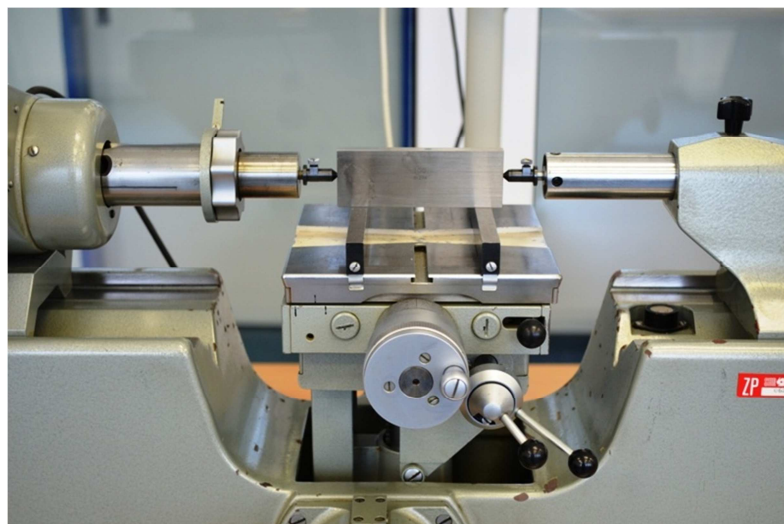
15 POROVNÁNÍ KALIBROVANÉHO DÉLKOMĚRU S LABORATORNÍM UNIVERZÁLNÍM DÉLKOMĚREM MAHR ULM 1500L-E

V poslední kapitole provedu základní porovnání dvou univerzálních délkoměrů, které ke svému měření využívají tzv. Abbého princip, popsany v kapitole 6.

Pro porovnání jsem zvolil univerzální délkoměr Mahr ULM 1500 L-E, který je také součástí kalibrační laboratoře Slováckých strojíren v Uherském Brodě.



Obrázek 38: Mahr ULM 1500 L-E, koncová měrka 100 mm



Obrázek 39: Carl Zeiss Jena, koncová měrka 100 mm

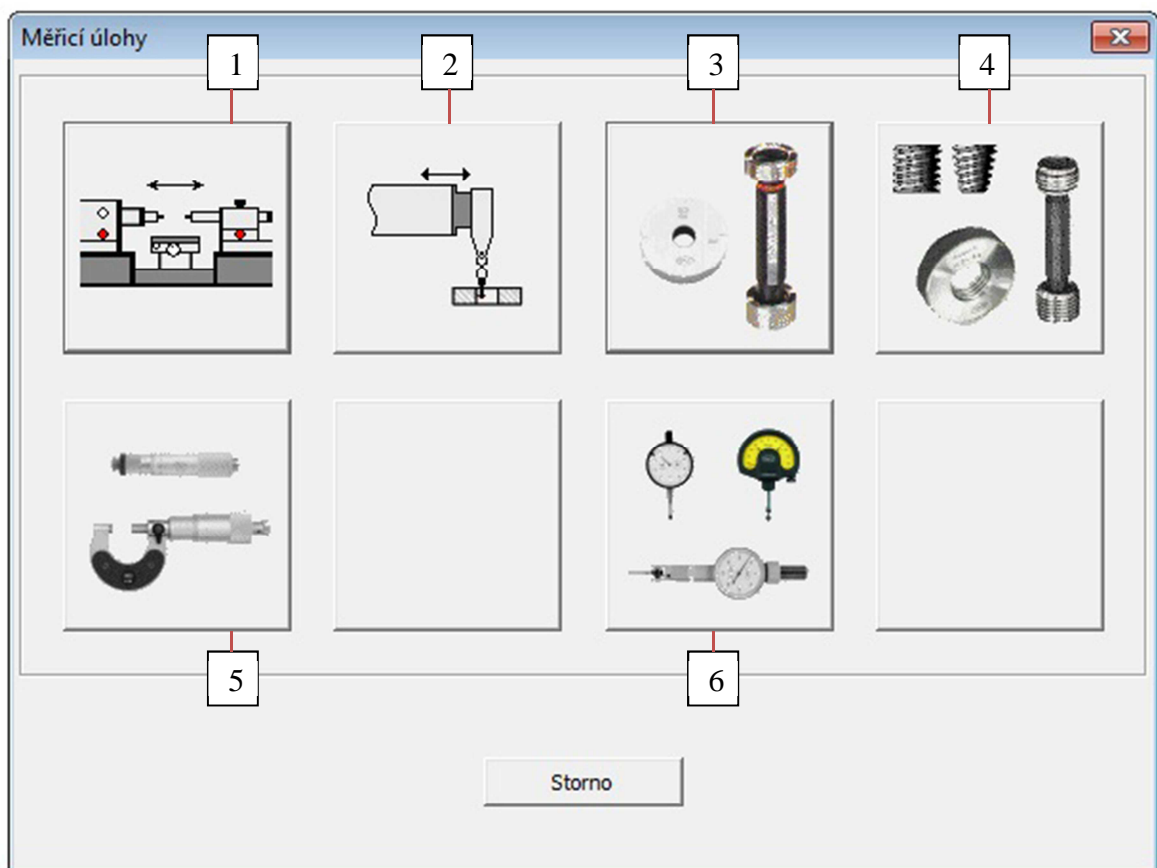
Základní rozdíl spočívá už v použitém materiálu těla přístrojů. Mahr má tělo granitové, Carl Zeiss litinové. Výhodou litinové základny a celého přístroje je shodný koeficient tep-

lotní roztažnosti i s měřeným objektem. Výhodou granitové základny je dobrá obrobitelnost bez vnitřního pnutí, korozivzdornost a malý koeficient teplotní roztažnosti.

Délkoměr Mahr pro měření využívá laserový interferometr a umožňuje absolutní měření v celém rozsahu nebo měření komparační. Délkoměr vyhodnocuje při měření teplotu ze 3 teplotních čidel, které jsou umístěny v granitovém těle, na měřeném objektu a v koníku pevného hrotu nebo v případě porovnávacího měření např. koncové měřky na etalonu. Mahr má navíc motorický pojezd vertikální osy stolku se třemi rychlostmi posuvu.

Velkou výhodou je možnost záměny např. výměnných doteků nebo také upínacích přípravků u obou délkoměrů. Vyplývá to z historie těchto dvou firem zabývajících se výrobou velmi přesných měřicích přístrojů.

Délkoměr Mahr nabízí pro volné měření a kalibrace měřidel moduly, které nás vedou celou kalibrací a zamezují možným chybným krokům.



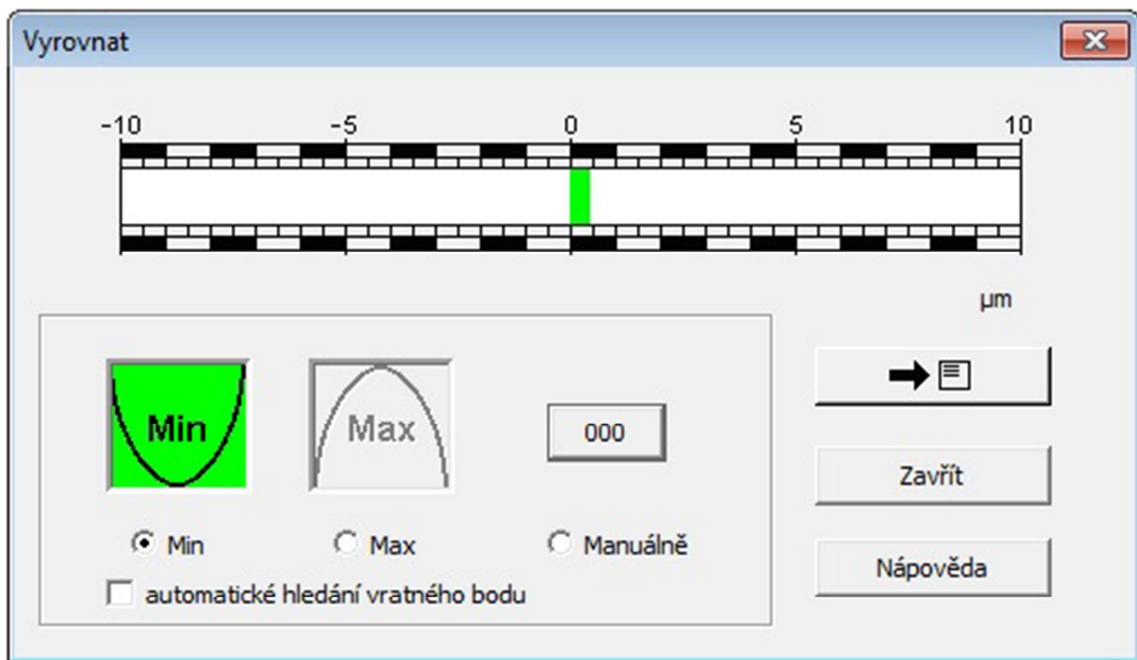
Obrázek 40: Základní menu

1. Volné měření, volné měření s pružnou deformací,
2. Indukční snímání,

3. Hladké kalibry, trny a kroužky,
4. Závitové kalibry vnější a vnitřní, válcové a kuželové,
5. Mikrometrická měřidla,
6. Číselníkové úchylkoměry, páčkové úchylkoměry.

Jednotlivé moduly vždy nabízí výběr norem včetně podnikové normy, podle které chceme kalibraci nebo volné měření provádět.

Užitečným pomocníkem je funkce „vyrovnat“ umožňující vyrovnání výměnných doteků nebo měřeného objektu. Hledáme zde manuálně nebo automaticky minimum nebo maximum vratného bodu.



Obrázek 41: Vratný bod

V tabulce 5 je vzor protokolu o kontrole z délkoměru Mahr ULM 1500 L-E. V modulu Volné měření s pružnou deformací jsem provedl měření etalonových měrek o délce 25; 50; 75 a 100 mm.

Protokol o kontrole v případě naší kalibrační laboratoře slouží jako příloha ke kalibračnímu protokolu, případně jako prvotní záznam.

16 ZÁVĚR

Cílem předkládané bakalářské práce byla příprava a provedení kalibrace univerzálního délkoměru, který nově vznikající kalibrační laboratoř ve Slovácových strojárnách získala převodem z již neexistující Akreditované kalibrační laboratoře v Krušnohorských strojárnách v Mostě – Komořanech.

Z důvodu využití tohoto měřicího přístroje k interním kalibracím komunálních měřidel vyvstal požadavek na přípravu potřebné dokumentace a provedení kalibrace za účelem zjištění jeho skutečného stavu a využití vzhledem k jeho přesnosti v kalibrační laboratoři.

Teoretická část byla zaměřena na popis základních požadavků kalibrační laboratoře pro kalibraci měřidel, rozdělení délkových měřidel a rozdělení kalibrací, rozdělení měřicích délkových strojů a podrobnější popis univerzálního délkoměru. V závěru teoretické části byly popsány koncové měřky a základy stanovení nejistot měření při kalibraci.

V praktické části byl vzorový kalibrační postup ČMS uzpůsoben vlastním podmínkám a možnostem kalibrační laboratoře. Kalibrační postup je nedílnou součástí kalibrace a definuje postup a podmínky při kalibraci pro konkrétní pracoviště. Dále byl v programu MS Excel upraven kalibrační protokol a prvotní záznam, který má povinnost KL společně s kalibračním protokolem po dobu pěti let archivovat.

Kalibrace univerzálního délkoměru Carl Zeiss Jena č.v. 2020 byl hlavním úkolem praktické bakalářské práce. Kalibrace byla provedena pomocí hlavního etalonu SUB – koncových měrek č. 01822 s návazností na etalon délky v ČMI Brno. Zde byl popsán praktický postup kalibrace a zápis měřených hodnot do prvotního záznamu. Výstupem potom byl přenos měřených hodnot z prvotního záznamu do kalibračního protokolu a jeho vystavení, viz. tabulka 3 a tabulka 4.

Z výsledků kalibrace lze usuzovat, že univerzální délkoměr je dobrém stavu a kalibrační laboratoř může vybrat vhodná měřidla na základě jejich rozlišitelnosti, které se mohou na tomto délkoměru kalibrovat. Poměrně vysoká nejistota měření při kalibraci vznikla z důvodu velkého teplotního rozdílu při kalibraci, v našem případě 0,9 °C. Optimalizací teplotního rozdílu při kalibraci lze zásadně ovlivnit celkovou nejistotu měření.

Závěrem bylo provedeno základní porovnání dvou délkoměrů v KL, které se liší materiálovou konstrukcí, ale oba pracují na Abbého principu. Zde došlo ke zjištění, že mohou využívat celou řadu shodného příslušenství a tím se rozšiřuje jejich možnost použití.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Kalibrace: Základní pojmy. ČMI Brno [online]. [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/node/537>
- [2] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie: část 1*. Ostrava, 2004. Skripta. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [3] ŠRÁMEK, Jan. Nejistoty měření při kalibraci 1 a 2 osých měřicích přístrojů. s. 12.
- [4] BUMBÁLEK, Leoš. *Kontrola a měření pro SPŠ strojní*. Vyd. 1. Praha: Informatorium, 2009, 206 s. ISBN 978-80-7333-072-9.
- [5] NENÁHLO, Čeněk. *Měření vybraných geometrických veličin*. Praha: Česká metrologická společnost, 2005, 207 s.
- [6] ČECH, Jaroslav. *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.
- [7] PATA, Vladimír. *Studijní materiály a podklady z předmětu TYJM Jakost a metrologie v akademickém roce 2010/2011*.
- [8] DUCHOŇ, Václav. *Rozdělení kalibrací*. ČMI Brno, 3 s.
- [9] *EA-4/02 M:2013: Vyjádření nejistoty měření při kalibraci*. ČIA, 2014, 71 s. Dostupné z: <http://www.cai.cz/akreditace/laboratore/kalibracni-laboratore.aspx>
- [10] ČSN 01 0115. *Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii*. Český normalizační institut, 1996.
- [11] LUDVÍK, Vladimír. *Sborníky technické harmonizace: nejistoty měření, přesnost měření, správnost měření a otázky spojené se vzájemnou porovnatelností výsledků měření a sprohlášením o shodě s technickými specifikacemi*. Praha: Q-art, 2005.
- [12] MARTINÁK, Milan. *Kontrola a měření: učebnice pro 3. ročník stř. prům. škol strojnických*. 1. vyd. Překlad Jindřich Klůna. Praha: SNTL, 1989, 214 s. ISBN 80-030-0103-X.
- [13] *Software ULM - 828 WIN, verze 6.02 - 03: Návod* [online]. 2013 [cit. 2015-04-12].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AKL	Akreditovaná kalibrační laboratoř
ČMI	Český metrologický institut
ČMS	Česká metrologická společnost
ČSN	Česká státní norma
dB	Jednotka decibelu
EA	European-accreditation (Vyjádření nejistoty měření při kalibraci)
EN	Evropská norma
GPS	Geometrické požadavky na výrobky
HE	Hlavní etalon
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
KL	Kalibrační laboratoř
KP	Kalibrační postup
KSK	Krušnohorské strojírny Komořany
L	Délka
lx	Jednotka luxu
PNÚ	Podniková norma ÚNMZ
SI	Mezinárodní soustava jednotek
SUB	Slovácké strojírny Uherský Brod
U	Rozšířená nejistota měření
u_a	Standardní nejistota typu A
u_b	Standardní nejistota typu B
u_c	Výsledná kombinovaná standardní nejistota
PNÚ	Podniková norma ÚNMZ

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Velmi přesné měření středního průměru závitového kalibru - trnu

Obrázek 2: Kalibrace hladkého kalibru – vnitřní průměr

Obrázek 3: Abbého svislý délkoměr

Obrázek 4: Délkoměr Carl Zeiss Jena

Obrázek 5: Délkoměr pro dílenské použití Helio – UMG 50

Obrázek 6: Univerzální délkoměr Mahr ULM 1500L-E

Obrázek 7: Popis délkoměru

Obrázek 8: Měřicí suport

Obrázek 9: Podkládací stolek

Obrázek 10: Opěrné ložisko s protipinolou

Obrázek 11: Rovnoběžné podložky

Obrázek 12: Upínky

Obrázek 13: Podpěrný stolek

Obrázek 14: Sada výměnných měřicích doteků

Obrázek 15: Měřicí třmeny

Obrázek 16: Plovoucí stolek s upínačem

Obrázek 17: Hrotový přístroj

Obrázek 18: Univerzální upínací přípravek

Obrázek 19: Závaží pro měřicí sílu

Obrázek 20: Sada pro kalibraci kuželových závitů

Obrázek 21: Sada T-nástavců pro indukční snímač

Obrázek 22: Sada koncových měrek

Obrázek 23: Komparační kalibrátor koncových měrek

Obrázek 24: Koncové měrky třídy přesnosti 1

Obrázek 25: Schéma návaznosti KL SUB, strana 1/2

Obrázek 26: Schéma návaznosti KL SUB, strana 2/2

Obrázek 27: Carl Zeiss Jena č.v. 2020

Obrázek 28: Výrobní štítek

Obrázek 29: Pinola s digitálním pravítkem

Obrázek 30: Vratný bod – vertikální poloha

Obrázek 31: Vratný bod – horizontální poloha

Obrázek 32: Seřízené měřicí doteky

Obrázek 33: Vynulování osy X

Obrázek 34: Temperace etalonu

Obrázek 35: Dataloger

Obrázek 36: Bavlněné rukavice

Obrázek 37: Kalibrace univerzálního délkoměru

Obrázek 38: Mahr ULM 1500 L-E, koncová měrka 100 mm

Obrázek 39: Carl Zeiss Jena, koncová měrka 100 mm

Obrázek 40: Základní menu

Obrázek 41: Vratný bod

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Maximální dovolená chyba

Tabulka 2: Prvotní záznam

Tabulka 3: Kalibrační list strana 1/2

Tabulka 4: Kalibrační list strana 2/2

Tabulka 5: Protokol o kontrole Mahr ULM 1500L-E

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Kalibrační list etalonu, strana 1/2

Příloha 2: Kalibrační list etalonu, strana 2/2

Příloha 3: Protokol o měření teploty při kalibraci - tabulka

Příloha 4: Protokol o měření teploty při kalibraci – graf (vlhkost, teplota, rosný bod)

Příloha 5: Výpočet nejistot v programu MS Excel

PŘÍLOHA P I: KALIBRAČNÍ LIST ETALONU, STRANA 1/2



Český metrologický institut

Okružní 31, 638 00 Brno

tel. +420 545 555 111, fax +420 545 222 728, www.cmi.cz



K 2202

Kalibrační laboratoř č. 2202 akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s.

Pracoviště: Oblastní inspektorát Brno, Okružní 31, 638 00 Brno
Oddělení délky, tel. +420 545 555 111, fax +420 545 555 183

KALIBRAČNÍ LIST

6033-KL-M0072-14

Datum vystavení: 7. srpna 2014 List 1 ze 2 listů

Zákazník: Slováké strojírný, akciová společnost, Nivnická 1763, 688 28 Uherský Brod

Měřidlo: Sada koncových měrek (0,5 ÷ 100) mm; 122 ks; třída přesnosti 1; materiál: ocel

Výrobce; typ měřidla: SOMET

Identifikační číslo: 01822; 09-11062

Použité etalony: Sada koncových měrek (0,5 ÷ 100) mm, ev.č. 060756 B 88184, sekundární etalon 2. řádu, Kalibrační list č. 4031-KL-D0086-12

Zařízení na kalibraci koncových měrek komparační metodou, s vyhodnocovacím modulem, inv.č. 106 00 314, Kalibrační list 6033-KL-S0008-12

Kalibrační postup: 633-MP-C003

Podmínky prostředí: Teplota vzduchu v laboratoři: (20 ± 0,5) °C

Sekundární řád: 4.

Nejistota měření: $U = (0,2 + 2L) \mu\text{m}$, kde L je měřená délka v [m]

Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA-4/02. Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu k , který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95%, což pro normální rozdělení odpovídá koeficientu rozšíření $k = 2$.

Výsledky kalibrace:

Výsledky kalibrace, uvedené na následujícím listě, byly získány za podmínek a s použitím postupů uvedených v tomto kalibračním listě a vztahují se pouze k době a místu provedení kalibrace.

Datum kalibrace: 28. 7. - 5. 8. 2014

Kalibraci provedla:

Zdeňka Macháčková



Vedoucí oddělení:

Ing. Václav Duchoň

PŘÍLOHA P II: KALIBRAČNÍ LIST ETALONU, STRANA 2/2

KALIBRAČNÍ LIST

6033-KL-M0072-14

List 2 ze 2 listů

Výsledky kalibrace:

I	II	III
0,5	+0,09	0,05
1	+0,08	0,07
1,0005	+0,02	0,05
1,001	+0,09	0,03
1,002	-0,03	0,05
1,003	+0,05	0,05
1,004	-0,03	0,03
1,005	+0,25	0,05
1,006	0,00	0,08
1,007	-0,06	0,11
1,008	-0,05	0,05
1,009	+0,03	0,08
1,01	+0,14	0,06
1,02	+0,13	0,11
1,03	+0,16	0,06
1,04	+0,07	0,06
1,05	-0,02	0,04
1,06	+0,10	0,05
1,07	+0,08	0,05
1,08	-0,02	0,05
1,09	-0,06	0,10
1,1	+0,13	0,03
1,11	-0,01	0,05
1,12	+0,17	0,03
1,13	+0,19	0,08
1,14	-0,04	0,06
1,15	+0,17	0,13
1,16	+0,13	0,07
1,17	+0,13	0,05
1,18	+0,11	0,08
1,19	+0,02	0,04

I	II	III
1,2	+0,07	0,04
1,21	0,00	0,04
1,22	+0,16	0,09
1,23	-0,09	0,05
1,24	+0,13	0,06
1,25	+0,15	0,04
1,26	+0,04	0,06
1,27	-0,05	0,12
1,28	+0,01	0,07
1,29	+0,11	0,04
1,3	+0,01	0,05
1,31	+0,14	0,08
1,32	+0,07	0,05
1,33	+0,08	0,04
1,34	+0,07	0,06
1,35	+0,06	0,06
1,36	+0,11	0,07
1,37	+0,15	0,08
1,38	+0,05	0,05
1,39	0,00	0,06
1,4	-0,12	0,05
1,41	0,00	0,05
1,42	-0,01	0,06
1,43	+0,07	0,06
1,44	+0,13	0,11
1,45	+0,06	0,05
1,46	+0,01	0,06
1,47	+0,10	0,07
1,48	-0,04	0,05
1,49	+0,16	0,05
1,5	0,00	0,06

I	II	III
1,6	+0,12	0,05
1,7	-0,07	0,06
1,8	+0,05	0,08
1,9	+0,12	0,04
2	-0,05	0,09
2,5	+0,04	0,09
3	-0,04	0,08
3,5	+0,13	0,10
4	+0,21	0,05
4,5	+0,07	0,07
5	-0,01	0,07
5,5	+0,08	0,07
6	-0,08	0,07
6,5	+0,20	0,07
7	+0,14	0,06
7,5	-0,05	0,07
8	+0,05	0,07
8,5	+0,02	0,04
9	+0,17	0,07
9,5	+0,12	0,06
10	+0,13	0,07
10,5	-0,03	0,08
11	-0,08	0,03
11,5	-0,01	0,06
12	+0,05	0,05
12,5	-0,06	0,05
13	-0,05	0,05
13,5	+0,04	0,06
14	+0,11	0,05
14,5	+0,12	0,08
15	+0,04	0,04

I	II	III
15,5	-0,03	0,07
16	+0,19	0,11
16,5	+0,10	0,07
17	+0,04	0,06
17,5	-0,04	0,09
18	+0,09	0,07
18,5	+0,14	0,11
19	+0,04	0,07
19,5	-0,19	0,06
20	+0,16	0,03
20,5	+0,18	0,07
21	+0,05	0,04
21,5	+0,11	0,04
22	+0,17	0,04
22,5	+0,01	0,05
23	+0,19	0,04
23,5	+0,18	0,05
24	+0,07	0,07
24,5	-0,24	0,11
25	-0,09	0,14
30	+0,38	0,14
40	+0,05	0,09
50	+0,31	0,08
60	-0,02	0,09
70	+0,03	0,07
75	-0,04	0,09
80	+0,10	0,05
90	-0,31	0,20
100	+0,21	0,04

Vysvětlivky:

Sloupec I Jmenovitá délka koncové měřky v [mm]

Sloupec II Úchylka středové délky od jmenovité délky v [μ m]

Sloupec III Rozpětí délky v [μ m] (souhrnná úchylka rovnoběžnosti a rovinnosti)

Největší dovolené úchylky jmenovité délky v libovolném bodě měřicí plochy a tolerance pro rozpětí délky pro Třidu 1 podle ČSN EN ISO 3650:

Jmenovitá délka l_n [mm]	Dovolené úchylky délky \pm [μ m]	Tolerance rozpětí délky [μ m]
$0,5 \leq l_n \leq 10$	0,2	0,16
$10 < l_n \leq 25$	0,3	
$25 < l_n \leq 50$	0,4	0,18
$50 < l_n \leq 75$	0,5	
$75 < l_n \leq 100$	0,6	0,2

Český metrologický institut
Oblastní inspektorát Brno
Okružní 31
638 00 Brno
-3-

Konec kalibračního listu.

Tento dokument nesmí být bez písemného souhlasu provádějící laboratoře rozmnožován jinak než v celkovém počtu listů.

PŘÍLOHA P III: MĚŘENÍ TEPLoty PŘI KALIBRACI – TABULKA

PROTOKOL O MĚŘENÍ

Soubor: D:\DATA\CometLoggers\Logger\13931280\2015_04_02_no02.mss

Výrobní číslo: 13931280

Popis záznamu: Kalibrace Carl Zeiss Jena č.v.:2020

Interval: z 2.4.2015 7:00:00 do 2.4.2015 13:10:00

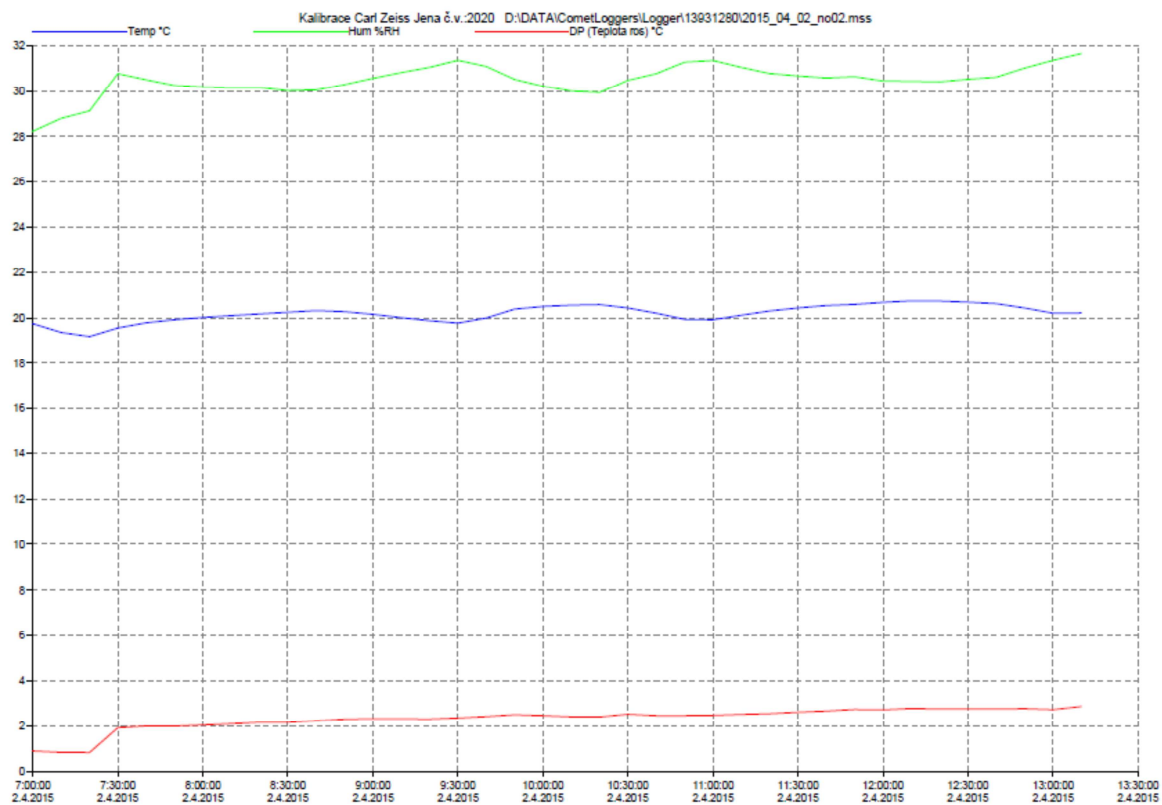
Měřené analogové kanály:

Číslo	Název	Jednotka
1	Temp	°C
2	Hum	%RH
6	DP (Teplota ros)	°C

Datum	Období	Temp °C	Hum %RH	DP (Tepl ota ros) °C
2.4.2015	7:00:00	19,7	28,2	0,9
2.4.2015	7:10:00	19,4	28,8	0,8
2.4.2015	7:20:00	19,2	29,1	0,8
2.4.2015	7:30:00	19,6	30,8	1,9
2.4.2015	7:40:00	19,8	30,5	2,0
2.4.2015	7:50:00	19,9	30,2	2,0
2.4.2015	8:00:00	20,0	30,2	2,0
2.4.2015	8:10:00	20,1	30,1	2,1
2.4.2015	8:20:00	20,2	30,2	2,2
2.4.2015	8:30:00	20,2	30,0	2,2
2.4.2015	8:40:00	20,3	30,0	2,2
2.4.2015	8:50:00	20,3	30,3	2,3
2.4.2015	9:00:00	20,2	30,6	2,3
2.4.2015	9:10:00	20,0	30,8	2,3
2.4.2015	9:20:00	19,9	31,0	2,3
2.4.2015	9:30:00	19,8	31,4	2,4
2.4.2015	9:40:00	20,0	31,1	2,4
2.4.2015	9:50:00	20,4	30,5	2,5
2.4.2015	10:00:00	20,5	30,2	2,5
2.4.2015	10:10:00	20,6	30,0	2,4
2.4.2015	10:20:00	20,6	29,9	2,4
2.4.2015	10:30:00	20,4	30,5	2,5
2.4.2015	10:40:00	20,2	30,8	2,5
2.4.2015	10:50:00	19,9	31,3	2,5
2.4.2015	11:00:00	19,9	31,3	2,5
2.4.2015	11:10:00	20,1	31,1	2,5
2.4.2015	11:20:00	20,3	30,8	2,5
2.4.2015	11:30:00	20,4	30,7	2,6
2.4.2015	11:40:00	20,5	30,6	2,7
2.4.2015	11:50:00	20,6	30,6	2,7
2.4.2015	12:00:00	20,7	30,5	2,7
2.4.2015	12:10:00	20,7	30,4	2,8
2.4.2015	12:20:00	20,7	30,4	2,8
2.4.2015	12:30:00	20,7	30,5	2,8
2.4.2015	12:40:00	20,6	30,6	2,8
2.4.2015	12:50:00	20,4	31,0	2,8
2.4.2015	13:00:00	20,2	31,4	2,7
2.4.2015	13:10:00	20,2	31,6	2,9

PŘÍLOHA P IV: MĚŘENÍ TEPLOTY PŘI KALIBRACI – GRAF

- Vlhkost
- Teplota
- Rosný bod



PŘÍLOHA P V: VÝPOČET NEJISTOT V PROGRAMU MS EXCEL

Rozšířená nejistota HE je vypočítána ze vztahu : $U = (0,2 + 2L)$

- dle ověřovacího listu číslo : 6033-KL-M0072-14

Zadej rozdíl teplot při kalibraci : $0,9$ °C

Jmen. hod. [mm]	HE - KM č.1			HE - KM č. 2			Naměřené odchylky									
	Jmen. hod.	odch.HE	Nejistota HE	Jmen. hod.	odch.HE	Nejistota HE	[μm]									
	[mm]	[μm]	[μm]	[mm]	[μm]	[μm]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0,2				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0,08	0,202				-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
2	2	-0,05	0,204				-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
3	3	-0,04	0,206				-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
4	4	0,21	0,208				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5	-0,01	0,21				-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
6	6	-0,08	0,212				-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
7	7	0,14	0,214				-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
8	8	0,05	0,216				-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
9	9	0,17	0,218				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10	0,13	0,22				-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
11	11	-0,08	0,222				-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4
12	12	0,05	0,224				-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
13	13	-0,05	0,226				-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
14	14	0,11	0,228				-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
15	15	0,04	0,23				-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
16	16	0,19	0,232				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	17	0,04	0,234				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	18	0,09	0,236				0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	19	0,04	0,238				0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
20	20	0,16	0,24				0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
25	25	-0,09	0,25				-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4
30	30	0,38	0,260001				-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4
35																
40	40	0,05	0,28				-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
45																
50	50	0,31	0,300001				-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2
55																
60	60	-0,02	0,32				-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2	-1,2
65																
70	70	0,03	0,34				-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1
75	75	-0,04	0,35				-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1
80	80	0,1	0,36				-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9	-0,9
85																
90	90	-0,31	0,379999				-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4
95																
100	100	0,21	0,4				-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

$\alpha = 1,15E-05$ °C⁻¹

Tepl. rozdíl: - měrky a UNIV. DÉLKOMĚRU: $0,2$ °C

- prostředí od 20° C $0,9$ °C

Základní údaje: - chyba odečtu : $0,05$ μm

velikost dílku : $0,1$ μm

- odečet : $0,05$ μm