



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH INTERNÍ METODIKY PRO MĚŘENÍ VÝROBKŮ A DÍLŮ NA PŘÍSTROJI CMM UPMC ZEISS NA PRACOVIŠTI ČMI BRNO

PROPOSAL OF INTERNAL METHODOLOGY FOR MEASUREMENT OF PRODUCTS AND PARTS ON CMM
UPMC ZEISS AT CMI BRNO

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Alena Hájková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Šrámek, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka:	Bc. Alena Hájková
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	Ing. Jan Šrámek, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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 diplomové práce:

Návrh interní metodiky pro měření výrobků a dílů na přístroji CMM UPMC Zeiss na pracovišti ČMI Brno

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem je vytvoření komplexního návrhu interního zkušebního postupu pro potřeby národního metrologického orgánu ČMI Brno v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17025 a navazujících systémových norem řady ČSN EN ISO 10360. Včetně dokumentů stanovujících rozsah působnosti zkušební laboratoře, stanovení nejistoty měření pro tento postup a pracovních návodů pro operátora CMM.

Cíle diplomové práce:

Popis současného stavu v oblasti přesného měření na CMM.

Popis přístroje Zeiss UPMC.

Popis požadavků zkušební laboratoře ČMI Brno.

Vytvoření zkušebního postupu.

Stanovení nejistoty měření při provádění zkoušek.

Vyhodnocení dosažených výsledků.

Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN ISO 5459 (014402) Geometrické specifikace produktu (GPS) - geometrické tolerování - Základny a soustavy základen. 22 s. Třídící znak 014402.

ČSN EN ISO 10360-2:2002. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM) - Část 2: Souřadnicové měřicí stroje používané pro měření lineárních rozměrů

(ISO 10360-2:2001). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2002, 35 s. Třídící znak 252011.

ČSN EN ISO 17025:2018. Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, 48 s. Třídící znak 015253.

EA 4/02:2013. Vyjadřování nejistot měření při kalibracích (Expressions of the Uncertainty of Measurements in Calibration (previously EAL- R2)). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. 74 stran.

TNI 01 0115:2009. Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 90 s. Třídící znak 83031.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem interní metodiky pro měření výrobků a dílů na přístroji CMM UPMC Zeiss na pracovišti Českého metrologického institutu v Brně (dále jen ČMI Brno). V první části této práce je analyzován současný stav poznání v oblasti přesného měření na souřadnicových měřicích strojích (dále jen CMM), který zahrnuje vymezení základních metrologických pojmů, metodiku stanovení a vyjadřování nejistot měření a obecný popis CMM. V diplomové práci je dále uveden detailní popis přístroje UPMC 850 CARAT S-ACC od firmy Zeiss a jsou zde shrnuty požadavky na zkušební laboratoř v souladu s normou ČSN EN 17 025:2018. Další část práce je zaměřena na definování a stanovení nejistot měření pro tento CMM a na vypracování návrhu zkušební postupu pro měření na zmíněném stroji. Závěr práce shrnuje dosažené výsledky a doporučení pro praxi.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the proposal of internal methodology for measurement of products and parts on CMM UPMC Zeiss at CMI Brno. The first part of this work analyzes the current state of knowledge in the field of accurate measurement on coordinate measuring machines (CMM), which includes the definition of basic metrological concepts, methodology for determining and expressing uncertainties of measurement and a general description of CMM. The diploma thesis also contains a detailed description of the UPMC 850 CARAT S-ACC device from the company Zeiss and summarizes the requirements for the testing laboratory in accordance with the standard ČSN EN 17 025: 2018. The next part of the work is focused on defining and determining the measurement uncertainties for this CMM and on developing a testing procedure for measurements on this machine. The final part of this thesis summarizes the achieved results and recommendations for practice.

KLÍČOVÁ SLOVA

Souřadnicové měřicí stroje (SMS), měření délky, přesnost měření, nejistota měření, zkušební laboratoř, zkušební postup

KEYWORDS

Coordinate measuring machines (CMM), length measurement, accuracy of measurement, uncertainty of measurement, testing laboratory, testing procedure.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HÁJKOVÁ, Alena. Návrh interní metodiky pro měření výrobků a dílů na přístroji CMM UPMC Zeiss na pracovišti ČMI Brno. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124427>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Ing. Jan Šrámek Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Janu Šrámkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Největší poděkování patří mé rodině a přátelům, kteří mě po celou dobu studia podporovali.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracovala jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Šrámka Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne

.....

Bc. Alena Hájková

OBSAH

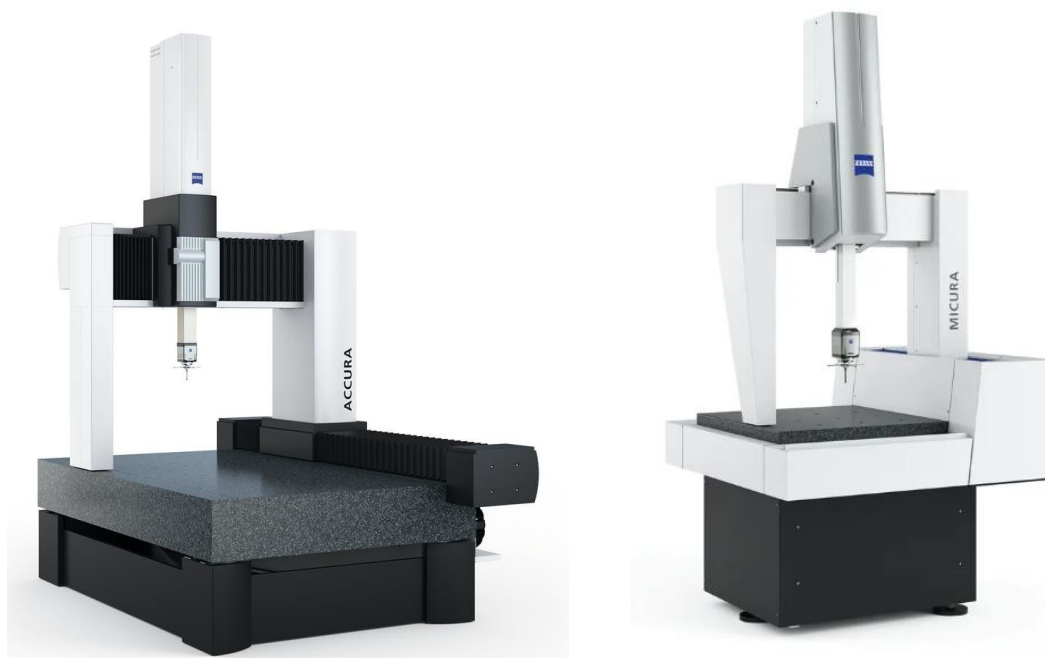
1	ÚVOD	15
2	MOTIVACE	17
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ V OBLASTI PŘESNÉHO MĚŘENÍ NA CMM	19
3.1	Metrologie.....	19
3.1.1	Základní pojmy a definice	19
3.1.2	Chyby měření	20
3.1.3	Nejistoty měření	21
3.1.4	Zákon o metrologii	24
3.1.5	Národní metrologický systém ČR	26
3.2	Souřadnicové měřicí stroje (CMM).....	28
3.2.1	Části CMM	28
3.2.2	Typy konstrukce CMM	30
3.2.3	Snímací systémy	31
3.2.4	Kalibrace CMM.....	35
3.2.5	Přesnost CMM.....	37
3.2.6	Chyby snímání u CMM	39
4	PŘÍSTROJ ZEISS UPMC	41
4.1	Firma Zeiss	41
4.2	Stroj Zeiss UPMC 850 CARAT S-ACC.....	42
5	POŽADAVKY ZKUŠEBNÍ LABORATOŘE ČMI BRNO	45
5.1	Norma ČSN EN ISO/IEC 17025:2018	45
5.2	Obecné požadavky a definice	45
5.3	Požadavky na strukturu.....	46
5.4	Požadavky na zdroje	47
5.4.1	Pracovníci	48
5.4.2	Prostory a podmínky prostředí	48
5.4.3	Vybavení.....	48
5.4.4	Metrologická návaznost.....	49
5.5	Požadavky na proces.....	50
5.5.1	Přezkoumání poptávek, nabídek a smluv	50
5.5.2	Výběr a validace metod	51
5.5.3	Zacházení se zkušebními položkami	51
5.5.4	Technické záznamy, vyhodnocení nejistot měření a platnost výsledků	52
5.5.5	Uvádění výsledků	52
5.5.6	Stížnosti a neshodná práce.....	54
5.5.7	Řízení dat a management informací	54
5.6	Požadavky na systém managementu.....	55
5.6.1	Možnost A	55
6	STANOVENÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ CMM	59
6.1	Zdroje nejistot	59
6.1.1	Nejistota kalibrace měřicího přístroje (u_{ks}).....	59
6.1.2	Vliv měřeného objektu (u_E)	59
6.1.3	Vliv kalibrace doteku pomocí referenční koule (u_D).....	60
6.1.4	Vliv rozlišovací schopnosti stroje (u_p).....	60

6.1.5	Nejistota kalibrační koule (u_{kk})	60
6.1.6	Vliv rozdílu teplot CMM a měřeného předmětu ($u_{\Delta T}$)	61
6.1.7	Vliv rozdílu teploty měření od 20 °C ($u_{\Delta 20}$)	61
6.2	Modelový příklad výpočtu nejistot	61
6.2.1	Výpočet nejistoty kalibrace měřicího přístroje (u_{ks})	61
6.2.2	Výpočet nejistoty vlivu měřeného objektu (u_E)	61
6.2.3	Výpočet nejistoty vlivu kalibrace doteku pomocí referenční koule (u_D)	62
6.2.4	Výpočet nejistoty vlivu rozlišovací schopnosti stroje (u_p)	62
6.2.5	Výpočet nejistoty kalibrační koule (u_{kk})	62
6.2.6	Výpočet nejistoty vlivu rozdílu teplot CMM a měřeného předmětu ($u_{\Delta T}$)	62
6.2.7	Výpočet nejistoty vlivu rozdílu teploty měření od 20 °C ($u_{\Delta 20}$)	62
6.2.8	Stanovení kombinované a rozšířené nejistoty měření	63
6.2.9	Vyhodnocení příspěvků nejistoty	64
7	ZKUŠEBNÍ POSTUP	66
7.1	Úvodní strana	66
7.2	Vlastní obsah protokolu	66
7.2.1	Úvod zkušebnímu postupu	66
7.2.2	Oprávnění	67
7.2.3	Související předpisy	67
7.2.4	Zařízení a pomůcky	67
7.2.5	Vlastní pracovní postup	67
7.3	Nejistoty měření	69
7.4	Závěrečné ustanovení	69
8	VYHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	71
9	ZÁVĚRY	73
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	78
	SEZNAM OBRÁZKŮ	81
	SEZNAM TABULEK	82
	SEZNAM PŘÍLOH	83

1 ÚVOD

S ohledem na stále se zvyšující požadavky na kvalitu výrobku, je kladen velký důraz na zrychlování a zpřesňování výrobních procesů a technologií. Aby bylo možné udržet tento trend, musí být vyvíjena měřicí technika, která bude schopná ověřit shodu se zadanou specifikací a prokázat dosažení požadované kvality. Na trhu je dostupné široké spektrum měřidel, volba měřidla tedy závisí na měřených parametrech a požadavcích na přesnost. Pro některé výrobky je dostačující kontrola rozměru pomocí dílenského posuvného měřidla, pro jiné je nutné použít souřadnicový měřicí stroj s vysokou přesností.

Souřadnicové měřicí stroje (Coordinate Measuring Machines – dále jen CMM) umožňují komplexní měření výrobku a díky tomu představují jednu z největších inovací v oblasti strojírenské metrologie. Toto měření se skládá ze změření reálného tvaru výrobku, porovnání změřeného tvaru s tvarem určeným specifikací a následného vyhodnocení požadovaných parametrů. Velkou výhodou je možnost zvolení souřadného systému kdekoli v prostoru, který spadá do měřicího rozsahu CMM. Souřadnice všech nasnímaných bodů jsou poté vyhodnocovány vůči zvolenému souřadnému systému. Oproti tradičním způsobům měření je výhodou značná rychlost měření a vyhodnocování výsledků. Naměřené výsledky lze v elektronické formě uchovat a na jejich základě poté vytvořit protokol o měření. Díky těmto možnostem měření je tento typ měřicích strojů hojně využíván pro kontrolu kvality, nejčastěji z hlediska geometrických a rozměrových tolerancí. Souřadnicové měřicí stroje nachází využití v automobilovém a leteckém průmyslu, kde se využívají zejména ke kontrole kvality obecných tvarových ploch. Tyto přístroje přispívají k udržení a zlepšení kvality výroby a tím i k zvyšování konkurenceschopnosti daných produktů. Příklady CMM jsou uvedeny na obr. 1. [1]



Obr. 1 Příklady CMM, ZEISS ACCURA a ZEISS MICURA [22], [23]

2 MOTIVACE

Před nákupem souřadnicového měřicího stroje Zeiss UPMC 850 CARAT disponoval Český metrologický institut souřadnicovým měřicím strojem Zeiss Xenos umístěným v Laboratoři primární metrologie (LPM) v Praze. I přes to, že je Xenos novější a přesnější než UPMC, je pro pracovníky Oddělení primární nanometrologie a technické délky (6014) ČMI OI Brno nově pořízený stroj UPMC velkým pomocníkem při rozměrové kontrole různých výrobků a vzorků.

Díky nákupu nového stroje může ČMI IO Brno nabídnout rozšíření služeb v oblasti kalibrací etalonů a přesných měřidel délky. Jelikož je stroj umístěn v Brně, předpokládá se zájem zákazníku převážně z Moravy a Slovenka. Zákazníkům může ČMI nabídnout nejen možnost kalibrace, ale i možnost rozměrové kontroly výrobků a prototypů dle výkresové dokumentace nebo 3D modelu. Maximální rozměry měřených výrobků jsou omezeny měřicím rozsahem přístroje (v ose $x = 850$ mm, $y = 1200$ mm; $z = 600$ mm) a použitým snímáacím systémem.

Hlavním cílem předkládané diplomové práce by mělo být především navrhnout zkušební postupu pro měření na stroji Zeiss UPMC 850 CARAT pro akreditovanou zkušební laboratoř ČMI. Pro vytvoření zkušební postupu jsou klíčové nejistoty měření. Stanovení složek nejistot bylo provedeno po konzultaci s vedoucím diplomové práce a vychází z jeho praktických zkušeností načerpaných z práce metrologa na ČMI.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ V OBLASTI PŘESNÉHO MĚŘENÍ NA CMM

3.1 Metrologie

Metrologie je dle VIM definována jako věda o měření a její aplikaci. V poznámce k této definici je uvedeno, že metrologie zahrnuje veškeré teoretické a praktické aspekty měření, jakékoliv nejistoty měření a obory použití. [6], [7]

Hlavní úkoly metrologie jsou [8]:

- Definování mezinárodně uznávaných jednotek měření.
- Realizace jednotek měření pomocí vědeckých metod.
- Vytváření řetězců návaznosti cestou stanovení a dokumentování hodnoty a přesnosti měření a přenosu těchto údajů.

Metrologie je dále členěna do tří kategorií. Každá kategorie má svoje požadavky na přesnost a různý stupeň složitosti. První kategorií je vědecká (fundamentální) metrologie, ta se zabývá organizací, vývojem a udržováním etalonů, přenosem jednotek na etalony nižších řádu a vědou a výzkumem v metrologii. Tato kategorie má nejvyšší požadavky na přesnost. Druhou kategorií je průmyslová metrologie, která slouží k zajištění jednotnosti a přesnosti měření. Jejím úkolem je zajistit fungování měřidel používaných v průmyslu a ve výrobních a zkušebních procesech, dále měřidel pro zajištění kvality života obyvatel a měřidel pro akademický výzkum. Poslední kategorií je legální metrologie. Ta se zabývá správností a fungováním měření v případech, kdy mají výsledky měření vliv na průhlednost ekonomických transakcí, zdraví nebo bezpečnost. [7], [8]

3.1.1 Základní pojmy a definice

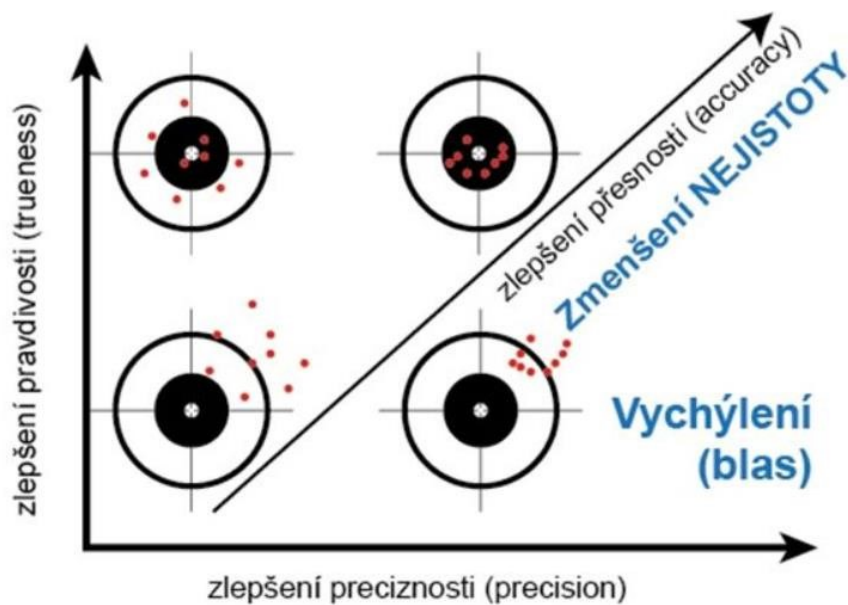
Pro získání celkového přehledu o problematice přesného měření na souřadnicových měřicích strojích je vhodné uvést základní pojmy a definice vztahující se k tomuto tématu.

Přesnost měření – je dle VIM definována jako těsnost shody mezi naměřenou hodnotou veličiny a pravou hodnotou naměřené veličiny. Přesnost měření je kvalitativní charakteristika, a proto ji nelze jednoduše vyjádřit kvantitativně. Pro vyhodnocení měření jsou ale rozhodující kvantitativní charakteristiky, jako například nejistota měření. Nejčastěji bývají kvantifikovány tyto dvě charakteristiky: odhad průměru (střední hodnoty, polohy), který hodnotí správnost měření a odhad variability (rozptylu, rozpětí), který hodnotí preciznost měření. [6], [17], [18]

Správnost měření – dle VIM je uvedena jako těsnost shody mezi aritmetickým průměrem nekonečného počtu měření veličiny a referenční hodnoty měřené veličiny. Tento pojem je také pouze kvalitativní. Přímou ovlivňuje systematickou chybu, která se dá eliminovat pomocí korekce. Běžně se kvantifikuje charakteristikami průměru (střední hodnoty, polohy). [6], [17], [18]

Preciznost měření – je podle VIM definována jako těsnost shody mezi indikacemi nebo naměřenými hodnotami veličiny získanými opakovanými měřeními na stejném nebo podobném objektu, např. za dodržení podmínek opakovatelnosti nebo reprodukovatelnosti měření. Běžně se kvantifikuje charakteristikami variability (rozptyl, rozpětí). [6], [17], [18]

Na obr. 2 je zobrazen vztah mezi precizností, správností (pravdivostí) a přesností měření. Z obrázku vyplývá, že ideální stav nastává, když s rostoucí přesností klesá hodnota nejistoty měření. V případě, že dojde k měření s vysokou správností, ale s nízkou precizností, bude interval naměřených hodnot obsahovat hodnotu reálnou, ale bude příliš široký. Naproti tomu u měření s vysokou precizností a nízkou správností budou naměřené hodnoty v úzkém intervalu, dojde ale k vychýlení a reálná hodnota bude mimo tento interval. [19]



Obr. 2 Vztah mezi správností, precizností a přesností [21]

Úplný výsledek měření – Jelikož není možné přesně určit skutečnou hodnotu, je nutné stanovit určité rozmezí, ve kterém se skutečná hodnota nachází. Úplný výsledek je složen z naměřené hodnoty (hodnota získaná měřením, která se blíží skutečné hodnotě) a nejistoty měření (nese informaci o její přesnosti). Výsledek měření je zapsán v tomto tvaru (3.1) [6], [7]:

$$Y = (y \pm U), \quad (3.1)$$

kde Y je měřená veličina, y je odhad měřené veličiny a U je rozšířená nejistota měřené veličiny uvedená ve stejných jednotkách. [7]

3.1.2 Chyby měření

Určit pravou hodnotu měřené veličiny není možné, protože naměřené hodnoty jsou vždy zatíženy chybou měření. Chyba měření je dle definice VIM rozdíl mezi naměřenou hodnotou veličiny a referenční hodnotou veličiny. Existují tři typy chyb měření, a to chyby náhodné, systematické a hrubé. Náhodné chyby ovlivňují přesnost, systematické pak správnost výsledku. Jelikož jsou hrubé chyby odlehlé nebo vybočující hodnoty, jsou ze zpracovávaných dat

vyloučeny, aby nedošlo ke zkreslení měření. Celková chyba měření se tedy skládá z náhodné a systémové chyby. Schématické rozdělení chyb je zobrazeno na obr. 3. [6], [7]



Obr. 3 Rozdělení chyb měření [25]

Náhodná chyba měření – je dle VIM definována jako složka chyby měření, která se v opakovaném měření mění nepředvídatelným způsobem. Tyto chyby nelze nijak ovlivnit a objevují se při každém měření. Příčinou jejich vzniku jsou nekontrolovatelné vlivy, které se při opakování měření mění náhodně a nezávisle na vlivech kontrolovaných. Tyto chyby se chovají jako náhodné veličiny a lze je popsat s využitím statistických metod. [6], [7]

Systematická chyba měření – se dá podle VIM popsat jako složka chyby měření, která v opakovaných měřeních zůstává konstantní nebo se mění předvídatelným způsobem. Hodnota měřené veličiny je při opakovaném měření a stálých podmínkách zkreslována pořád stejným způsobem. Příčinou může být použití nevhodné měřicí metody, nepřesného měřidla nebo měřícího přístroje, případně osoba provádějící měření. K jejímu odstranění je nutné použití přesnějších přístrojů nebo zavedení korekce. [6], [7]

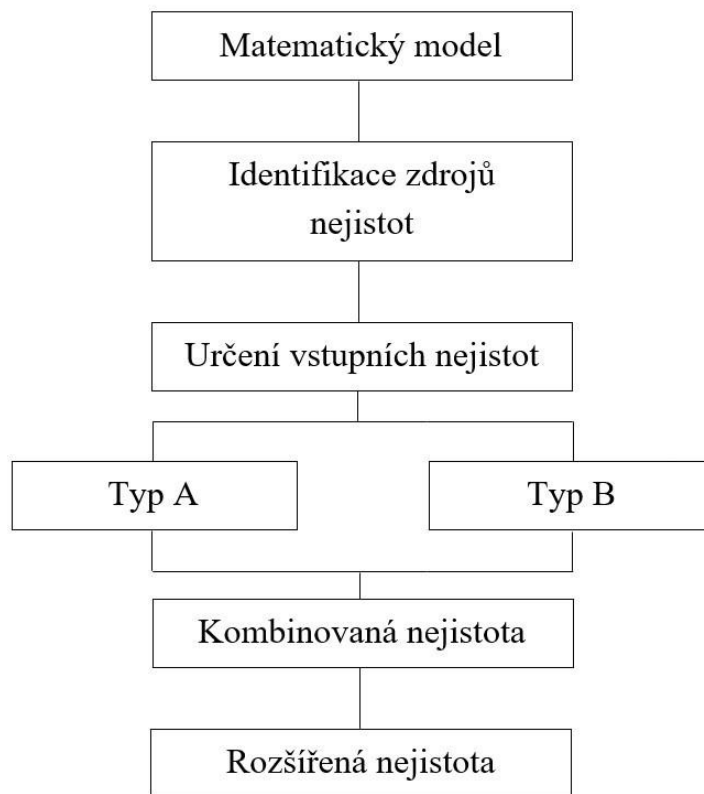
Hrubá chyba měření – se na první pohled liší od ostatních hodnot, jedná se o vybočující nebo odlehlou hodnotu. Může být způsobena nesprávným zapsáním naměřené hodnoty, chybou při odečtení, nevhodným nastavením podmínek, selháním přístroje atd. Ze zpracování naměřených dat se vylučuje, aby nedošlo ke zkreslení výsledku měření. [7]

3.1.3 Nejistoty měření

Dle VIM je nejistota nezáporný parametr, charakterizující rozptýlení hodnot veličiny, který je na základě užití informace přidružen k měřené veličině. Nejistota měření je vytvořena na základě kvantifikace příspěvku systematických a náhodných chyb měření, které mohou výsledek významně zatížit. Nejistoty vymezují interval, o kterém se předpokládá, že do něj výsledek měření padne. Mají významnou roli v případech, kdy se výsledek měření vztahuje k mezní hodnotě. [6], [7], [8]

Za zdroje nejistot lze považovat všechny jevy, které mohou ovlivnit neurčitost jednoznačného stanovení výsledku měření a tím mohou vzdálit naměřenou hodnotu od hodnoty skutečné. Výrazně k nim přispívají všechny rušivé vlivy prostředí. Nejčastějšími zdroji nejistot jsou: nevhodný výběr měřícího přístroje, nevhodná definice měřené veličiny, nevhodný postup měření, zaokrouhlování konstant, vliv obsluhy, nedodržení stejných podmínek při opakovaných

měřeních, nepřesnost etalonu apod. Na obr. 4 je zobrazen obecný metodický postup pro stanovení nejistot. Pro řešení konkrétních úkolů může být upraven. [7]



Obr. 4 Schéma určení nejistoty měření [7]

Standardní nejistota typu A (u_A) – Její složky jsou stanoveny na základě statistického zpracování opakovaných měření. Složky této nejistoty jsou charakterizovány odhady rozptylů a směrodatných odchylek stanovených z opakovaných měření. Pro určení nejistoty typu A je nutné stanovit výběrový průměr \bar{y} dle vztahu (3.2) [7], [17], [20]:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (3.2)$$

kde je: n celkový počet měření dané veličiny,

i číslo měření,

y_i i -tá hodnota měřené veličiny y .

Výběrová směrodatná odchylka $s_{\bar{y}}$ charakterizuje rozptyl hodnot výběrových průměrů a je tedy brána jako míra nejistoty výběrového průměru \bar{y} . Standardní nejistota typu A je v tomto případě rovna směrodatné odchylce výběrového průměru. Stanoví se dle vztahu (3.3) [17], [20]:

$$u_A = s_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (3.3)$$

kde je: n celkový počet měření dané veličiny,

i číslo měření,

y_i i -tá hodnota měřené veličiny y ,

\bar{y} aritmetický průměr ze všech měření.

Aby platil tento vztah je nutné dodržet podmínku počtu měření n většího než 10. V případě, že není možné dodržet tuto podmínku, je nutné provést korekci, která zohlední malý počet měření. Korekce je dána vztahem (3.4) [7], [17], [20]:

$$u_A(y) = k_s s_{\bar{y}}, \quad (3.4)$$

kde k_s je koeficient, který vychází ze Studentova rozdělení pravděpodobnosti a je závislý na počtu měření n , viz tab. 3.1. [20]

Tab 3.1) Hodnota koeficientu k_s v závislosti na počtu měření [20]

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
k_s	7,0	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0	1,0

Standardní nejistota typu B (u_B) – Složky standardní nejistoty typu B jsou stanoveny jinými prostředky než statistickým zpracováním opakovaných měření, nezávisí tedy na počtu měření. Nejistota je stanovena na základě odborných znalostí, zkušeností pracovníka a dostupných informací. Složky nejistoty mohou být odvozeny z údajů z předešlých měření, údajů výrobce měřidla, údajů v kalibračním listě, analýz použité metod měření, podmínek prostředí, nejistot uvedených v referenčních materiálech apod. [7], [17], [20]:

Postup pro výpočet nejistoty typu B pro přímé měření je následovný. Jako první je nutné vytipovat si možné zdroje nejistot Z_j (předpokladem je, že jsou nekorelované). Následně se pro každý zdroj odhadne rozsah odchylek $\pm \Delta z_{maxj}$ tak, aby bylo jeho překročení nepravděpodobné. Dále se odhadne rozdělení pravděpodobnosti, kterému odpovídají odchylky ΔZ v intervalu $\pm \Delta z_{maxj}$. Nejistota u_{zj} se následně určí ze vztahu (3.5) [7], [20]:

$$u_{zj} = c_j \frac{\Delta z_{maxj}}{\chi}, \quad (3.5)$$

kde je c_j koeficient citlivosti, χ je součinitel vycházející ze zákona rozdělení, kterým se příslušný zdroj nejistot řídí, pro normální (Gaussovo) rozdělení je $\chi = 2$, pro rovnoměrné rozdělení $\chi = \sqrt{3}$, pro trojúhelníkové $\chi = \sqrt{6}$ atd.

Celková standardní nejistota typu B se poté stanoví dle vztahu (3.6) [7], [20]:

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m u_{zj}^2}, \quad (3.6)$$

Kombinovaná standardní nejistota (u_c) – Pro určení kombinované standardní nejistoty měření je nutné sloučení obou typů výsledných nejistot. Vztah pro výpočet kombinované nejistoty je uveden v rovnici (3. 7). [7], [17]

$$u_c = s_{\bar{y}} = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}, \quad (3.7)$$

kde u_A je nejistota typu A a u_B nejistota typu B.

Rozšířená nejistota (U) – vymezuje interval okolo výsledku měření, v kterém se s určitou pravděpodobností nalézá výsledek měření. V případě, že by byla použita pouze kombinovaná standardní nejistota, mohla by se až třetina výsledků ocitnout mimo stanovený interval. Rozšířená nejistota se v praxi získává z kombinované standardní nejistoty vynásobené příslušným koeficientem krytí, který je závislý na požadované úrovni konfidence. [7], [17]

Základní koeficienty k jsou: $k = 1$ pro pravděpodobnostní pokrytí přibližně 68,27 %,

$k = 2$ pro pravděpodobnostní pokrytí přibližně 95,45 %,

$k = 2,58$ pro pravděpodobnostní pokrytí přibližně 99,01 %,

$k = 3$ pro pravděpodobnostní pokrytí přibližně 99,73 %.

V praxi je pro výpočet rozšířené nejistoty používán vztah (3.8). [7], [17]

$$U = k * u_c, \quad (3.8)$$

kde k je koeficient rozšíření a u_c je kombinovaná standardní nejistota měření.

3.1.4 Zákon o metrologii

V české legislativě je základním stavebním kamenem pro právní úpravu metrologie zákon o metrologii č. 505/1990 Sb. ve znění četných pozdějších předpisů a jeho prováděcí vyhlášky. Účelem zákona je úprava práv a povinností podnikajících fyzických a právnických osob a orgánů státní správy, a to v rozsahu potřebném k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření. Dalšími zákony týkající se metrologie jsou č. 20/1993 Sb., o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví, zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky, ve znění pozdějších předpisů a ta nařízení vlády, která se vztahují na měřidla. [8], [9]

- **Členění měřidel dle zákona o metrologii**

Dle zákona č. 505/1990 Sb. se měřidla sloužící k určení hodnoty měřené veličiny spolu s nezbytnými pomocnými měřicími zařízeními dělí na čtyři skupiny [9]:

a) etalony;

b) pracovní měřidla stanovená (dále jen "stanovená měřidla");

c) pracovní měřidla nestanovená (dále jen "pracovní měřidla");

d) certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály, pokud jsou určeny k funkci etalonu nebo stanoveného nebo pracovního měřidla. [9]

Etalon – Za etalon měřící jednotky anebo stupnice určité veličiny se považuje měřidlo sloužící k realizaci a uchování této jednotky nebo stupnice a dále k jejímu přenosu na měřidla nižší

přesnosti. Uchováváním etalonu se rozumí všechny úkony potřebné k zachování metrologických charakteristik etalonu ve stanovených mezích. [9]

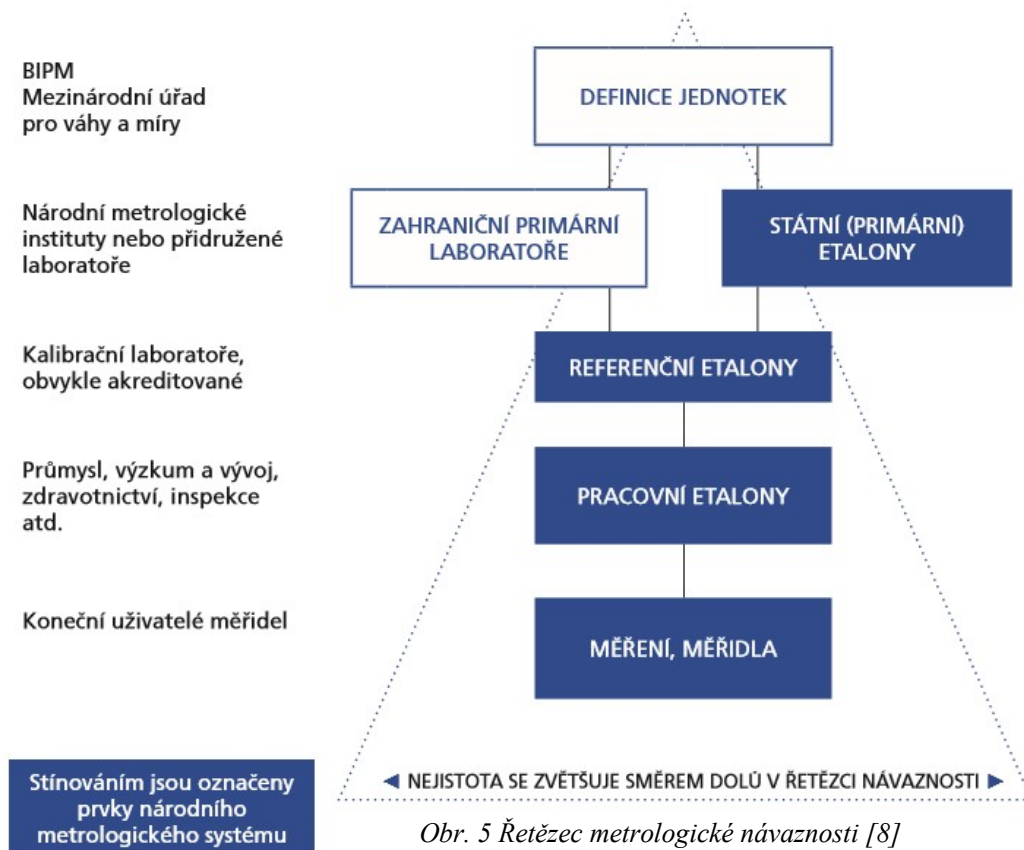
Stanovená měřidla – jsou měřidla, která musí být povinně ověřována s ohledem na jejich význam. Měřidla jsou uvedena ve vyhlášce Ministerstva průmyslu a obchodu. Jedná se zejména o měřidla, která jsou používána při prodeji, nájmu, stanovení sankcí, poplatků, daní, dále pak pro ochranu zdraví, životního prostředí a bezpečnost práce. [9]

Pracovní měřidla – jsou měřidla, která nejsou etalonem ani stanoveným měřidlem. U těchto měřidel se obecně předpokládá, že jejich jednotnost a přesnost bude zajišťována kalibrací. [9]

Certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály – jsou materiály nebo látky přesně stanoveného složení nebo vlastností, používané zejména pro ověřování nebo kalibraci přístrojů, vyhodnocování měřících metod a kvantitativní určení vlastností materiálů. [9]

- **Metrologická návaznost**

Návaznost měřidel je dle zákona č. 505/1990 Sb. definována jako zařazení daných měřidel do nepřerušené posloupnosti přenosu hodnoty veličiny počínající etalonem nejvyšší metrologické kvality pro daný účel. Je to tedy vlastnost výsledku měření nebo hodnoty etalonu, kterou je určen vztah k národním nebo mezinárodním etalonům prostřednictvím nepřerušného řetězce porovnání s uvedením příslušných nejistot. Řetězec metrologické návaznosti je uveden na obr. 5. [8], [9], [10]:

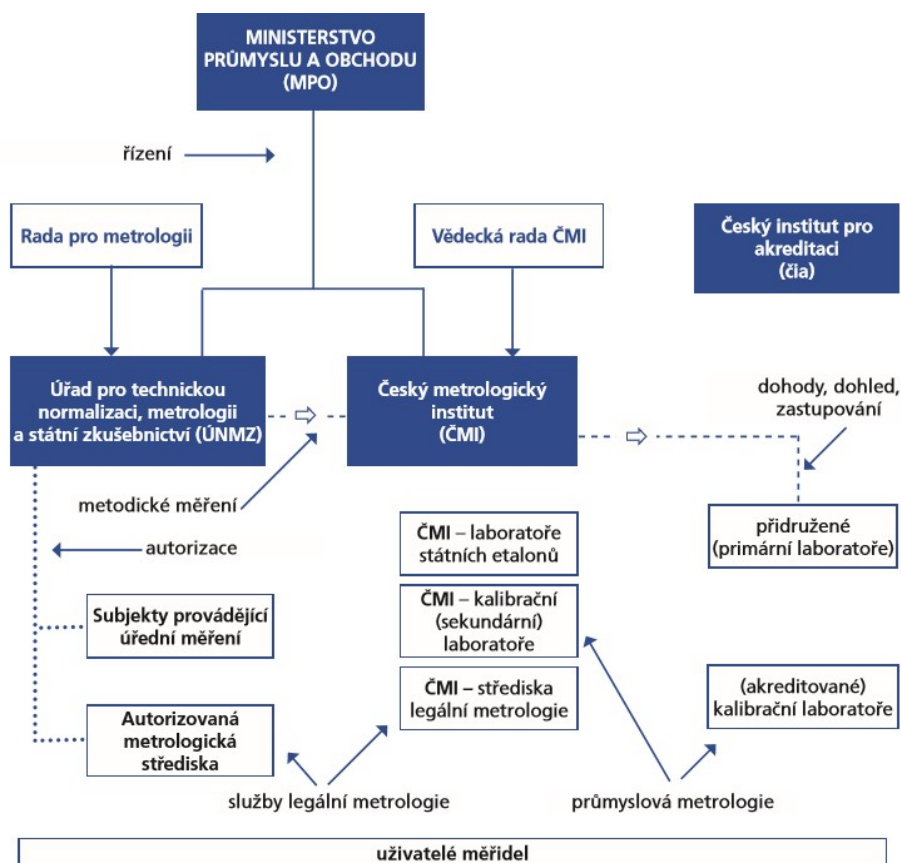


Obr. 5 Řetězec metrologické návaznosti [8]

Formou metrologické návaznosti je kalibrace nebo ověřování. Ověřením se prokazuje, že stanovené měřidlo má požadované metrologické vlastnosti. Za ověřené se považuje měřidlo v případě, že je v souladu s požadavkem stanoveným opatřením obecné povahy. Stanovená měřidla a postup při jejich ověřování stanoví Ministerstvo průmyslu a obchodu vyhláškou. Ověření může být prováděno pouze Českým metrologickým institutem nebo Autorizovaným metrologickým střediskem. Naproti tomu kalibrace pracovního měřidla může být prováděna jakýmkoliv subjektem, který disponuje vhodnými etalony navázanými v souladu se zákonem o metrologii. Kalibrace tedy určuje metrologické charakteristiky přístroje, systému nebo referenčního materiálu. Obvykle je toho dosahováno přímým porovnáním s etalony nebo certifikovanými referenčními materiály. Výsledkem je vydání kalibračního listu. [9], [10]

3.1.5 Národní metrologický systém ČR

Jako národní metrologický systém (NMS) se rozumí systém, který zajišťuje jednotnost a správnost měřidel a měření v daném státě, tuto funkci plní prostřednictvím soustavy technických prostředků a zařízení, jakož i technických předpisů, práv a povinností správních orgánů a právnických osob nebo podnikajících fyzických osob. NMS v České republice se skládá ze spotřebitelů (občané ČR, nebo cizinci na území ČR), podnikatelských subjektů (výroba a oprava měřidel, montáž, služby) a dalších prvků podílejících se na jeho managementu, zabezpečování služeb, rozvoji metrologie a mezinárodní metrologické spolupráci. Struktura NMS ČR je zobrazena na obr. 6. [8]



Obr. 6 Národní metrologický systém ČR [8]

- **Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO)**

V České republice je v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví ústředním orgánem státní správy Ministerstvo průmyslu a obchodu. Jeho funkcí je zabezpečit úkoly vyplývající ze zákona č. 20/1993 Sb., o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví, ve znění pozdějších předpisů. Mimo jiné řídí státní politiku v oblasti metrologie a navrhuje odpovídající legislativní akty, vypracovává návrhy na rozvoj metrologie v ČR, řídí a kontroluje Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví a Český metrologický institut. [8], [11]

- **Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ)**

Tento úřad je zřízen jako orgán státní správy pro předmětné činnosti zákonem České národní rady č. 20/1993 Sb., o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví. Jedná se o organizační složku státu v resortu MPO. V současné době má tři poradní orgány, a to Radu pro technickou normalizaci, Radu pro metrologii a Komisi pro posuzování shody. Úkolem ÚNMZ je zabezpečení úkonů vyplývajících ze zákona o metrologii a navazujících vyhlášek a úkonů v oblasti sblížení technických předpisů a norem ČR s dokumenty EU. Náplní práce je například stanovení programu státní metrologie a zajištění jeho realizace, zastoupení ČR v mezinárodních metrologických orgánech a organizacích, plnění úkolů vyplývajících z tohoto členství nebo mezinárodních smluv, pověřování subjektů k uchování státních etalonů, provedení kontroly činnosti Českého metrologického institutu atd. [8], [9]

- **Český metrologický institut (ČMI)**

Tento institut má za úkol zabezpečit jednotnost a přesnost měřidel a měření ve všech oborech vědecké, technické a hospodářské činnosti. Je základním výkonným orgánem českého národního metrologického systému. Jeho úlohou je především zajistit shodu realizace jednotek veličin v České republice s mezinárodně uznávanými etalony a přenos jednotek do praxe. ČMI byl zřízen MPO a je veden jako právně-ekonomická státní příspěvková organizace. Platí pro něj proto všechny právní normy jako pro státní organizace. Ve zřizovací listině jsou uvedeny základní činnosti institutu, jsou jimi fundamentální metrologie, průmyslová metrologie a legální metrologie. [8], [11]

Zákon o metrologii mu ukládá například: provádět metrologický výzkum a uchovávat státní etalony včetně přenosu hodnot měřících jednotek na měřidla nižších přesností, schvalovat typy měřidel a ověřovat stanovená měřidla, provádět certifikaci referenčních materiálů, registrovat subjekty, které opravují stanovená měřidla, případně provádějí montáž, vykonávat státní dozor nad AMS, u subjektů, které opravují či montují stanovená měřidla a u subjektů, které provádějí úřední měření, provádět metrologickou kontrolu baleného zboží se symbolem „e“ a lahví označených symbolem „3“, poskytovat odborné služby v oblasti metrologie a provádět přezkoušení stanovených měřidel. ČMI může také povolit za určitých podmínek konstrukční změnu stanoveného měřidla. A dále komunikuje s orgány Evropského společenství nebo příslušnými orgány států o změnách, zrušení nebo omezení certifikátů týkajících se stanovených měřidel. [9]

- **Český institut pro akreditaci (ČIA) a Autorizovaná metrologická střediska (AMS)**

ČIA je národní akreditační orgán. Byl založen jako obecně prospěšná společnost a je soukromoprávní neziskovou organizací. Pole působnosti této společnosti jsou akreditace a dozor nad trvalým plněním požadavků na subjekty posuzování shody. Mezi funkce patří například: zajišťování a budování akreditačního systému ČR, úkony spojené se zkoušením a udělením akreditace, případně jejím odejmutím, vedení registru akreditovaných míst a v neposlední řadě dohled nad trvalým dodržováním akreditačních kritérií. Subjekty, kterým ČIA zabezpečuje akreditaci, jsou například: zdravotnické laboratoře, kalibrační laboratoře, zkušební laboratoře, certifikační orgány provádějící certifikaci výrobku, systémů managementu nebo osob, inspekční orgány či enviromentální ověřovatelé. [11]

AMS jsou subjekty, které působí v regulované sféře metrologie vymezené zákonem o metrologii a navazujícími vyhláškami. Náplní jejich práce je prvotní a následné ověřování stanovených měřidel. Aby subjekt dostal autorizaci od ÚNMZ, musí být nejprve prověřena jeho technická způsobilost, prověření provádí ČMI nebo ČIA. [11]

3.2 Souřadnicové měřicí stroje (CMM)

Z pohledu metrologie jsou CMM odvozeny od měřících mikroskopů, z konstrukčního hlediska od NC frézek. Už na přelomu 15. a 16. století navrhl René Descartes koncept měření více os. Základem pro CMM měření je právě Descartem popsáný kartézský souřadný systém. První měřicí stroje, které dokážou měřit v kartézské soustavě byly popsány C. E. Johanssonem a F. H. Roltem. V roce 1959 byly na Mezinárodním veletrhu obráběcích a tvářecích strojů v Paříži představeny první CMM, vyrobené britskou firmou Ferranti. V šedesátých letech začala s vývojem mikroprocesorů stoupat i obliba CMM, nejprve se používaly v metrologických laboratořích. Poměrně rychle se však začaly rozšiřovat i do dílenského prostředí, zejména pro svoje přednosti oproti konvenčním měřidlům. [11], [12], [13], [14]

Pro rozšíření CMM z laboratoří do dílen ovšem museli výrobci řešit řadu nových problémů, nejčastěji to byly negativní vlivy prostředí, ve kterém byly stroje používány (teplotní změny, otřesy a vibrace, nečistoty). To mělo za následek vznik jednoduchých CMM, které byly svou konstrukcí lépe přizpůsobeny dílenskému prostředí. Vývoj nastal i ve způsobu snímání měřených rozměrů, u prvních CMM bylo snímání výhradně dotykové, u novějších strojů se začaly stále častěji používat optické snímací hlavy. Optické snímací hlavy jsou oblíbené zejména pro vyšší rychlost snímání a tím i vyšší rychlost měření, bohužel za cenu nižší přesnosti. [12]

3.2.1 Části CMM

Konstrukce souřadnicového měřicího stroje se obecně skládá z rámu, pracovní desky, mostu, stojanu (sloupu), pinoly a vedení. Rám je svařovaná konstrukce, která nese ostatní prvky CMM, proto by měl mít co největší tuhost. U CMM mostového typu je rám nahrazen deskou v podlaze. [1]

Pracovní deska – Na pracovní desku neboli stůl se používá žulová nebo granitová deska či litinový odlitek, lepší je však použití kamene, jelikož u ocelových a litinových desek mohou

vznikat změny geometrické přesnosti. Materiál desky by měl být odolný proti korozi, mít minimální objemovou roztažnost a objemovou stálost. Plocha, která přijde do kontaktu s měřeným předmětem je broušena (aby nedošlo k ovlivnění měření). Deska je ustavena pomocí čtyř základních podpěr. V pracovní ploše se nachází otvory se závity. Díky závitům, šroubům a upínkám je možné k pracovní ploše připevnit měřený kus. Deska má na koncích upevněno seřiditelné vedení, po kterém se pohybuje most. Mostem je myšlena složená uzavřená konstrukce. [1], [11], [16]

Mostové konstrukce, portály a sloupy – jsou u většiny CMM vyrobeny jako svařence. Je důležité, aby měly dostatečnou tuhost a byly rozměrově a tvarově stálé. Portál musí být konstruován na minimální průhyb při pohybu pinoly v příčném směru. V některých případech může být konstrukce portálu vyrobena ze žuly nebo granitu.

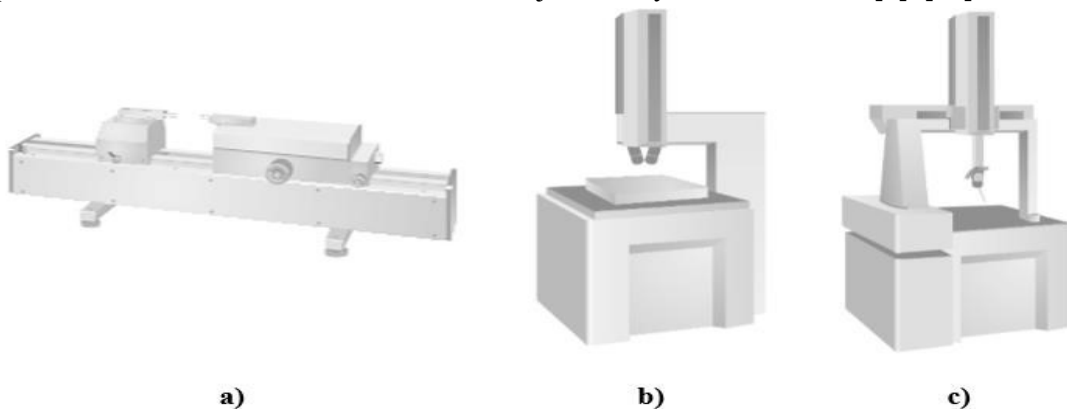
Pinola – je vyrobena z oceli nebo duralu, může být vertikální nebo horizontální. Průřez může být kruhový nebo čtvercový. Většinou se ale jedná o tyč s profilem H. K eliminaci případných průhybů (jak od vlastní hmotnosti, tak od hmotnosti snímací hlavy) by měla být pinola vyvažována. Vyvažování je mechanické a probíhá pomocí dvou souměrných závaží. [1], [11], [16]

Vedení – je velice důležitou součástí CMM. Konstrukce musí zajistit, aby se mohly pohyblivé části lehce posouvat s maximální možnou přesností. Důležitý je i plynulý pohyb bez trhavých pohybů při nízkých rychlostech (zejména v koncových polohách). Vedení musí být konstruováno tak, aby docházelo k minimálnímu tření, minimálnímu opotřebení a byla zajištěna maximální tuhosti celého zařízení. Jedním z používaných typů vedení je vedení aerostatické s plynným třením. Hlavní tohoto vedení předností je, že odpadají potíže s odváděním oleje. Další výhodou je velmi nízké tření i při vyšší rychlosti. Mezi nevýhody patří problémy s čištěním vzduchu a možnost poškození vedení v případě porušení vrstvy vzduchu a také nižší odolnost proti korozi. [1]

Nejvhodnější jsou ale vedení valivá, která jsou na kuličkách či válečcích. Velkou výhodou je velmi malé tření, vysoká tuhost při vhodném zakrytování a dále vysoká rovnoměrnost pohybů, která je důležitá pro přesné měření. Také mazání na těchto vedeních nemá prakticky žádný vliv na přesnost pohybů. Hlavním účelem mazání je zabezpečení ochrany proti korozi. Nedostatkem je složitost jejich přesného vyhotovení. Nejjednodušší je použití přesných kladek. Vylepšená jsou pak valivá hnízda, která dokážou eliminovat vliv mikro-nerovností. [1], [11]

3.2.2 Typy konstrukce CMM

V současnosti existují na trhu různé druhy CMM. Od malých strojů měřících výrobky o váze několika gramů, až po velké stroje, které slouží k měření několikátunových obrobků. Podle konstrukce mohou být rozděleny na tři základní typy. Prvním typem jsou jednosouřadnicové měřicí stroje (obr. 7a). Jak už název napovídá, s těmito stroji je možné měřit rozměr pouze v jedné ose. Výhodou je, že mají velkou přesnost měření i při měření velkých rozměrů. Dalším typem jsou dvousouřadnicové měřicí stroje (obr. 7b). Měří rozměry ve dvou navzájem kolmých osách, které jsou v jedné rovině. V tomto 2D měření se využívají zejména mikroskopy, laserové interferometry a skenery. Posledním typem jsou třísouřadnicové měřicí stroje (obr. 7c). Tyto stroje umožňují měření rozměrů ve třech navzájem kolmých osách. Na jedno upnutí je možné provést měření rozměrů ve všech třech navzájem kolmých souřadnicích. [1], [11]



Obr. 7 Typy CMM podle konstrukce: a) jednosouřadnicový CMM (délkoměr), b) dvousouřadnicový CMM (měřicí mikroskop), c) třísouřadnicový CMM [11]

- **Rozdělení CMM podle normy ČSN EN ISO 10360-1**

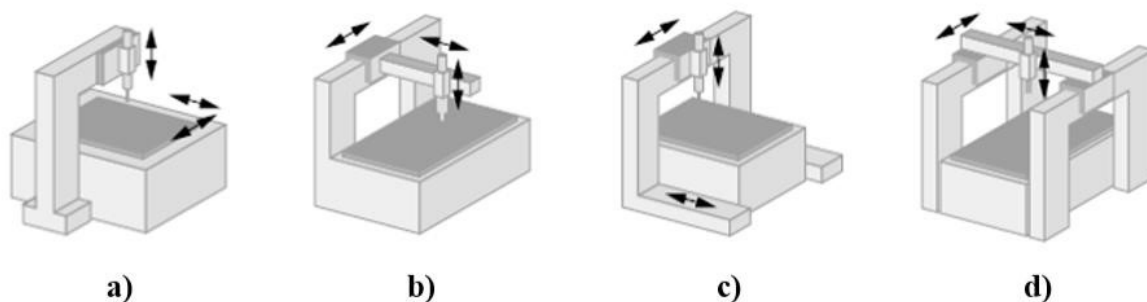
Dle normy ČSN EN ISO 10360-1 existují čtyři druhy souřadnicových měřicích strojů, a to stojanové, mostové, portálové a výložníkové. [15]

Stojanový typ (obr. 8a) – Základem konstrukce je nosný sloup, na kterém je připevněno posuvné horizontální rameno. Na konci ramena je umístěna snímací hlava. Výrobek je tedy upnutý na stole, který se může pohybovat ve směru osy „x“ a „y“. Pinola vykonává pohyb ve směru osy „z“. Pro svou konstrukci má využití především v automobilovém průmyslu. Pro měření součástí automobilových dílů je nezbytné, aby měl stroj velký pracovní prostor a otevřenou konstrukci, což tento stroj splňuje. Tyto stroje se dají snadno integrovat do výrobních linek. [11]

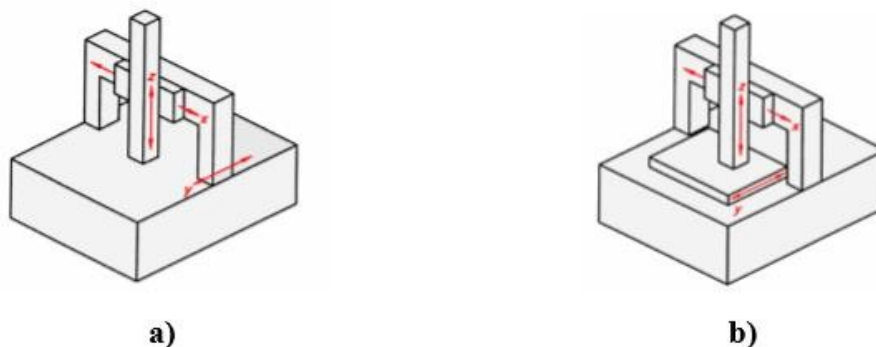
Výložníkový typ (obr. 8b) – Konstrukci tvoří pohyblivé konzolové rameno, na které je umístěna pojízdná pinola. Měřicí pinola se pohybuje ve směru osy „y“. Vyložení pinoly od vodící plochy se mění kolmo v ose „x“, v ose „y“, z tohoto důvodu je nutné vyvažování. Osa „y“ je z důvodu tuhosti poměrně krátká. Tyto stroje jsou používány pro kontrolu menších a středních obrobků a díky dobré přístupnosti k měřenému předmětu jsou vhodné pro dlouhé a úzké součásti. [1], [11]

Portálový typ (obr. 8c) – Tento typ patří mezi nejrozšířenější CMM pro měření středních a velkých rozsahů. Existují dvě provedení, první má pohyblivý portál, který se pohybuje nad pevným stolem (obr. 9a). Druhé provedení má pevný portál, který vyžaduje pohyblivý stůl. (obr. 9b). Velkou výhodou je vysoká přesnost měření, která může dosahovat hodnot až $0,5 + L/500 \mu\text{m}$, kde L je měřený rozměr. Hodí se tedy i pro laboratorní účely. Nevýhodou je pak omezená velikost měřených výrobků. [1], [11]

Mostový typ (obr. 8d) – Tento typ souřadnicového měřicího stroje vyniká svou velikostí a disponuje největším rozsahem měření, ten může v ose „x“ přesáhnout i 24 m. Konstrukce je masivní a omezuje ohybové momenty, které by mohly být vyvolané hmotností stroje. Díky trojrozměrné kapacitě je možné na jedno upnutí změřit součást na pěti stranách. Používá se při kontrole nadrozměrných výrobků, především v automobilovém, leteckém nebo energetickém průmyslu. [1], [11]



Obr. 9 Typy rozdělení CMM: a) stojanový typ, b) výložňkový typ, c) portálový typ, d) mostový typ [11]

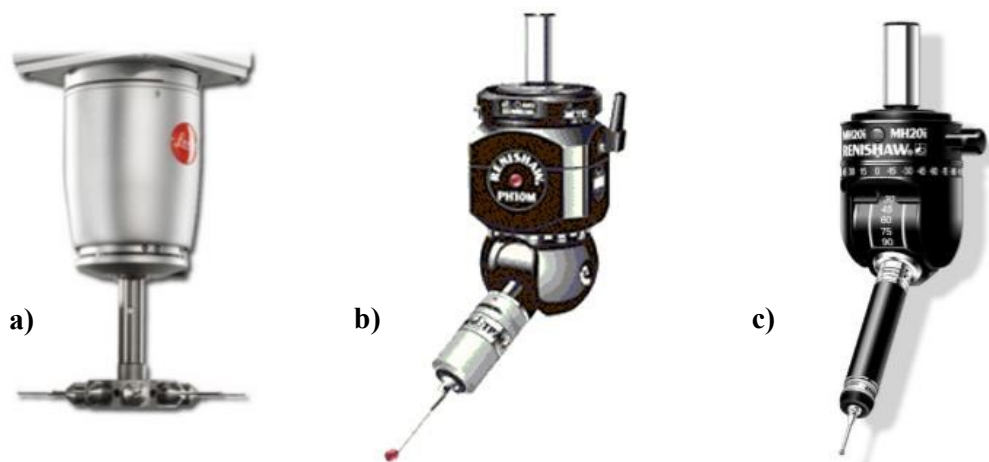


Obr. 8 Portálový CMM: a) pohyblivý portál-pevný stůl, b) pevný portál-pohyblivý stůl [11]

3.2.3 Snímací systémy

Nepostradatelnou součástí CMM jsou snímací systémy, které slouží ke nasnímání měřených bodů. Body jsou následně vyhodnoceny měřícím programem a je získána numerická informace o měřené veličině. Snímací systém se skládá z následujících částí: snímací hlava, prodloužení snímací hlavy, systém výměny snímací hlavy, snímací dotyk, prodloužení snímacího dotyku a systému výměny snímacího dotyku. Snímací systémy rozdělujeme na dotykové (využívají dotykové senzory) nebo bezdotykové (používají se optické senzory). [11]

Snímací hlavice – hlavice rozdělujeme na dva typy: pevné a indexovatelné. Pevné hlavice (obr. 10 a) se nedají v prostoru natáčet, ale mají vyšší přesnost. Indexovatelné hlavice (obr. 10 b) zajistí přesné polohování snímacích sond v pracovním prostoru stroje. Dále umožňují natáčení sondy v jednotlivých osách a zajištění sondy v požadované poloze. Tyto hlavice se dále dělí na motorické (určené k polohování sondy, takže snímání lze provádět v různých úhlech) a manuální (ručně nastavitelné, umožňují flexibilní měření složitých tvarů součástek), viz obr. 10 c). [11]

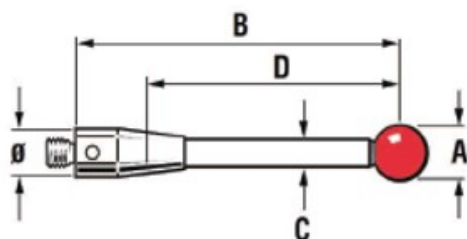


Obr. 10 Snímací hlavice: a) pevná snímací hlavice, b) indexovatelná snímací hlavice c) manuální hlavice [11]

Dotykové snímací systémy – Ve strojírenské praxi jsou v dnešní době nejvíce využívány dotykové snímací systémy. Charakteristickým rysem všech dotykových snímačů je potřeba fyzického kontaktu dotyku s měřenou součástí. Tyto systémy se dělí na dva typy, prvním je systém spínacího typu, kdy spínací sonda funguje tak, že v okamžiku, kdy se dotykne měřené součásti, sonda vydá signál a okamžitě dojde k zastavení pohybu a odečtení aktuálních souřadnic. Druhým typem je systém snímací (skenující sonda). V tomto případě je měřící hrot v neustálém kontaktu a měřenou součástí. [11]

- **Měřící doteky**

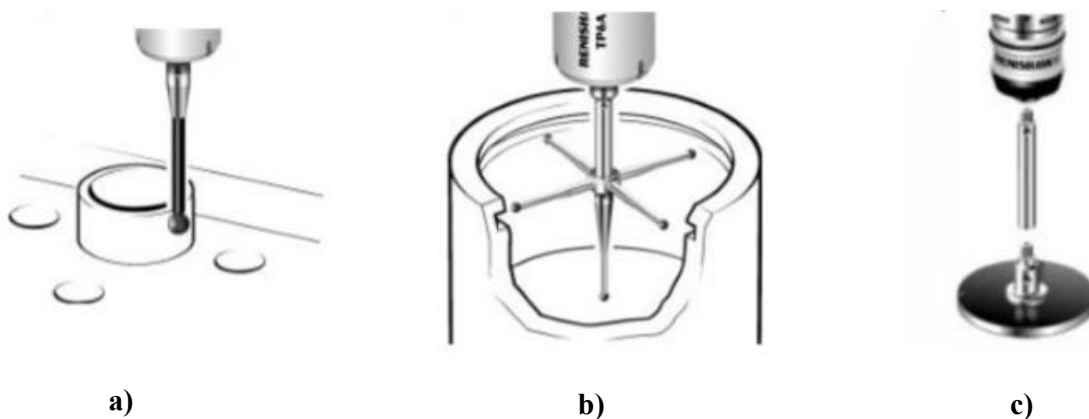
Jsou součástí měřícího systému, který zajišťuje kontakt mezi měřenou součástí a sondou. Typ a rozměr dotyku je volen v závislosti na měřeném prvku. Velice důležitou vlastností je tuhost dotyku a dokonalý tvar kuličky. Na obr. 11 jsou zobrazeny rozměry dotyku. [11]



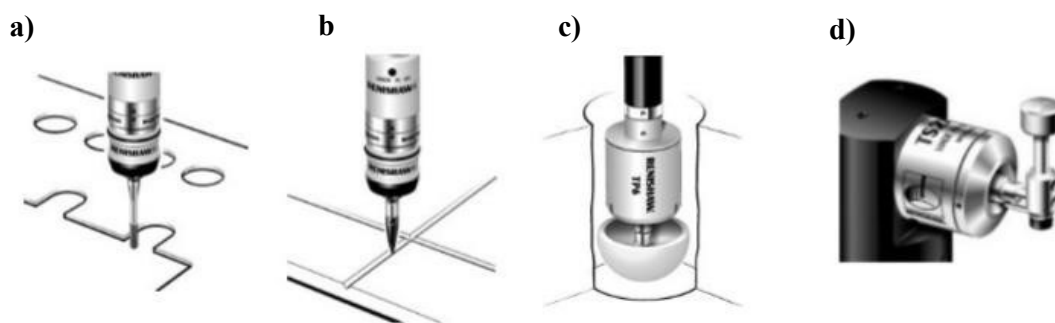
A – průměr kuličky,
B – celková délka,
C – průměr dřívku,
D – efektivní činná délka (EWL).

Aby bylo při měření dosaženo co největší přesnosti, je nutné dodržení určitých zásad a pravidel. Dotyk musí být co nejkratší, aby nedocházelo k průhybům. Měl by se zajistit co nejmenší počet prodlužovacích nástavců, protože každý spoj dotyku je zdrojem nepřesnosti. Průměr kuličky by měl být co největší, protože čím větší kulička tím větší průměr stopky (dříku) dotyku, a větší průměr stopky zvýší tuhost dotyku. [11]

Typy dotyků – Dotyky se dělí do několika skupin: přímé, hvězdicové, diskové a dotyky pro speciální účely. Přímé dotyky mají nejjednodušší tvar a skládají se z přesné kuličky a stopky (obr. 12 a). Hvězdicové dotyky (obr. 12 b) umožňují snímání složitých prvků nebo otvorů, jejich konstrukci tvoří stopka se čtyřmi nebo pěti kuličkami, které jsou pevně umístěny ke střednímu dílu. Diskové dotyky (obr. 12 c) jsou používány ke snímání zápichů nebo drážek v případech, kde není možné použití hvězdicového dotyku. Poslední skupinou jsou dotyky pro speciální účely, a to válcový dotyk (obr. 13 a), špička (obr. 13 b), dutá keramická polokoule (obr. 13 c) a dotyk na ustavení nástrojů (obr. 13 d). [11]



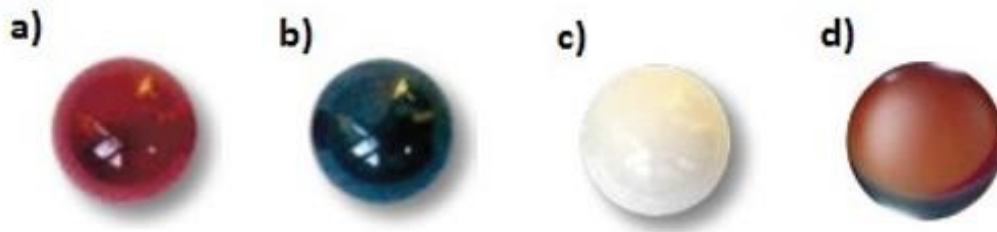
Obr. 12 Základní typy dotyků: a) přímý dotyk, b) hvězdicový dotyk, c) diskový dotyk [11]



Obr. 13 Dotyky pro speciální účely: a) válcový dotyk, b) špička c) dutá keramická polokoule, d) dotyk na ustavení nástrojů [11]

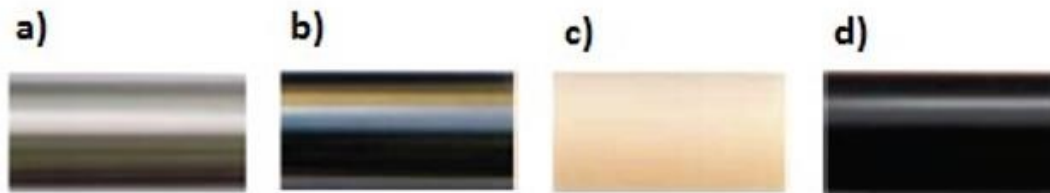
Materiál kuličky dotyku – Nejpoužívanějším materiálem je rubín (obr. 14 a), je použit u většiny měřících aplikací. Nehodí se však ke skenovacím aplikacím na hliníkové materiály (dochází k otěru hliníku) a ke skenování litinových povrchu (opotřebení povrchu kuličky

otěrem). Dalším materiálem je nitrid křemíku (obr. 14 b), ten má podobné vlastnosti jako rubín, vykazuje však značnou míru opotřebení otěrem při kontaktu s ocelovými povrchy. Oxid zirkoničitý (obr. 14 c) je keramický materiál s podobnou tvrdostí a odolností jako rubín, používá se místo rubínu především u agresivních aplikací u litinových součástek. Nejpresnější a nejekonomičtější je měření s kuličkou z diamatu (obr. 14 d). Kulička je extrémně tvrdá a hladká, díky tomu udržuje opotřebení na minimální hranici. Diamant je vhodný téměř pro všechny měřicí aplikace. [11]



Obr. 14 Materiály kuliček: a) rubín, b) nitrid křemíku, c) oxid zirkoničitý, d) diamant [11]

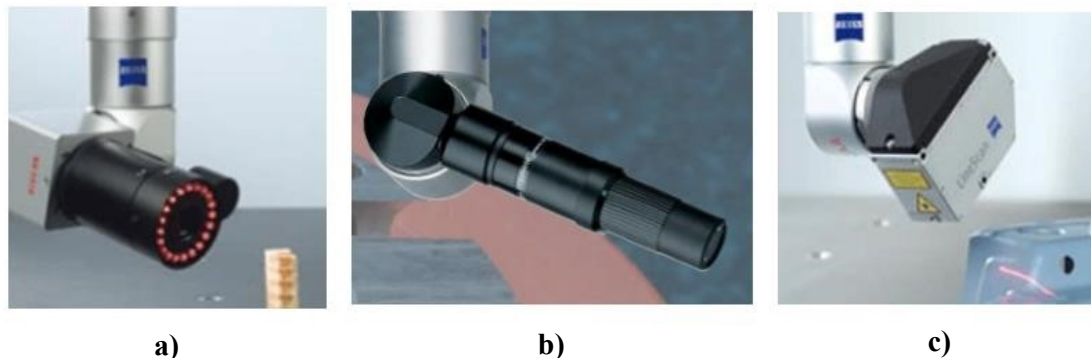
Materiál stopky dotyku – Jako materiál se může použít nemagnetická nerezavějící ocel (obr. 15 a), používá se pro kuličky s průměrem 2 mm a více a pro délku stopky do 30 mm. Dalším materiálem je karbid wolframu (obr. 15 b), předností tohoto materiálu je vysoká tuhost v poměru k průměru stopky, takže je ideální pro případy, kdy je vyžadována maximální tuhost a minimální průměr stopky. Další možností je použití keramiky (obr. 15 c), tyto stopky zajišťují dostatečnou ochranu sondy před havárií (v případě kolize se dotek zlomí). Pro přesné sondy založené na tenzometrickém principu jsou ideálním materiálem uhlíková vlákna (obr. 15 d). Mají výborné tlumení vibrací a minimální koeficient tepelné roztažnosti. [11]



Obr. 15 Materiály pro stopky dotyků: a) ocel, b) karbid wolframu, c) keramika, d) uhlíková vlákna [11]

Bezdotykové snímací systémy – jak už bylo výše zmíněno, u těchto systémů nedochází k fyzickému kontaktu sondy a měřené součásti. Použity mohou být laserové systémy, kde se používají dva různoběžné laserové paprsky, které se protínají v přesně definované vzdálenosti. Když dojde k průniku těchto paprsků, tak vyhodnocovací jednotka stroje zaznamená dotyk. U kamerových (optických) systémů je pomocí optické kamery přenesen optický signál na digitální obraz, který se následně využije k výpočtu měřených bodů ve vyhodnocovacím programu. Nejnovějším způsobem bezdotykového měření je počítačová tomografie. Tomografie se z medicíny rozšířila i do strojírenství a je založena na nedestruktivním způsobu získávání informací o měřené součásti. Na obrázku 16 jsou zobrazeny příklady snímacích

systémů měřících hlav. Prvním je optický kamerový měřicí systém Zeiss ViSCAN (obr. 16 a), druhým je optický bodový měřicí systém Zeiss RDS DTS (obr. 16 b) a na třetím je laserový čárový měřicí systém Zeiss RDS line SCAN (obr. 16 c). [11]



Obr. 16 Příklady systémů měřících hlav: a) 2D optický kamerový, b) optický bodový, c) laserový čárový [11]

3.2.4 Kalibrace CMM

Kalibrace je dle VIM definována jako [6]:

„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.

Poznámka 1.: Kalibrace smí být vyjádřena údajem, kalibrační funkcí, kalibračním diagramem, kalibrační křivkou nebo kalibrační tabulkou. V některých případech se smí skládat ze součtových nebo násobných korekcí indikace s přidruženou nejistotou měření.

Poznámka 2.: Kalibrace nemá být zaměňována s justováním měřicího systému, často mylně nazývaným „samokalibrace“, ani s ověřením kalibrace.

Poznámka 3.: Samotný první krok ve výše uvedené definici je často chápán jako kalibrace“ [6].

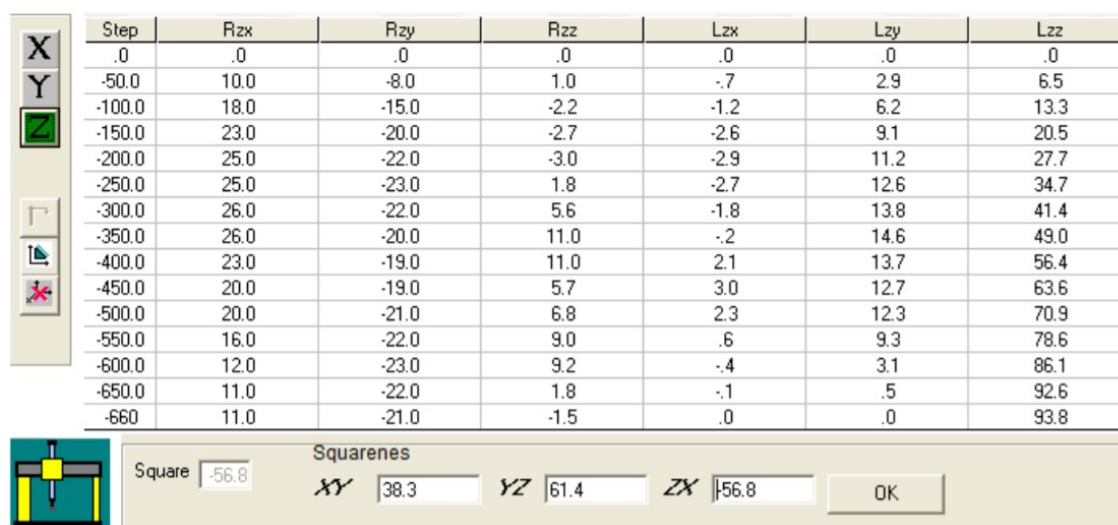
Souřadnicový měřicí stroj se dá současně klasifikovat jako měřicí stroj i jako měřicí systém. Tuto skutečnost dovoluje fakt, že jsou v něm zakomponovány tři a více délkových měřidel, snímače teploty a v závislosti a typu konstrukce i další pomocná měřidla. Jelikož je hlavní činností CMM měření délky a ostatní měřidla mají pouze doplňkovou činnost, bude dále řešena kalibrace pouze této veličiny. [19]

V prvním kroku kalibrace se zjistí chyby vedení snímacího systému ve směru tří souřadných os v závislosti na poloze uvnitř rozsahu každé souřadnice. Tyto chyby vznikají, protože mechanismus má obecně šest stupňů volnosti v jednom směru pohybu. Jedná se tedy o šest nelineárních funkcí, které jsou získány experimentálně za použití unikátních měřících přístrojů, etalonů a kalibračních postupů. Například pro osu X jsou to tři funkce pro rotační chyby (R_{xx} , R_{xy} a R_{xz}), dále dvě funkce pro translační chyby (T_{xy} a T_{xz}) a funkce nelinearity měřítka L_{xx} . [19]

V závislosti na rozsahu v konkrétní ose se provedou měření s krokem 10, 20, 50, 100 nebo 200 mm (větší krok se nepoužívá). V případě, že se jedná o CMM, který slouží k proměření karoserií aut (rozsah nejdelší osy 6 000 mm), obsahuje měření desítky hodnot. Jakmile jsou zjištěny chybové funkce ve směru všech tří souřadných os, je nutné zjistit chyby pravoúhlosti vedení φ_{xy} , φ_{yz} a φ_{zx} . Tento krok je podstatný z důvodu zjednodušení, protože výpočetní software využívá pro matematické výpočty pravoúhlý eukleidovský prostor. Výpočty provedené v pravoúhlém eukleidovském prostoru jsou značně jednodušší než výpočty provedené v obecném nepravoúhlém prostoru. [19]

V případě, že jsou zjištěny všechny chyby, je možné zahájit druhý krok kalibrace, a to zadání konstant do prostorové matice, která se nazývá „mapa korekcí“. Aby mohl tuto matici software používat, musí být zapsána na příslušný hardware. Tento úkon může zpravidla provádět jen výrobce, nebo autorizovaný servisní zástupce, nikoliv běžná kalibrační laboratoř. [19]

Na obr. 17 je pro názornost uveden příklad tabulky pro šest funkcí v závislosti na zvoleném kroku portálového CMM s údaji ke korekci v ose Z. Ve spodní části je tabulka údajů korekce chyb pravoúhlosti u všech tří souřadných os. Tabulky pro osy X a Y jsou obdobné. [19]



Step	Rzx	Rzy	Rzz	Lzx	Lzy	Lzz
.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
-50.0	10.0	-8.0	1.0	-.7	2.9	6.5
-100.0	18.0	-15.0	-2.2	-1.2	6.2	13.3
-150.0	23.0	-20.0	-2.7	-2.6	9.1	20.5
-200.0	25.0	-22.0	-3.0	-2.9	11.2	27.7
-250.0	25.0	-23.0	1.8	-2.7	12.6	34.7
-300.0	26.0	-22.0	5.6	-1.8	13.8	41.4
-350.0	26.0	-20.0	11.0	-.2	14.6	49.0
-400.0	23.0	-19.0	11.0	2.1	13.7	56.4
-450.0	20.0	-19.0	5.7	3.0	12.7	63.6
-500.0	20.0	-21.0	6.8	2.3	12.3	70.9
-550.0	16.0	-22.0	9.0	.6	9.3	78.6
-600.0	12.0	-23.0	9.2	-.4	3.1	86.1
-650.0	11.0	-22.0	1.8	-.1	.5	92.6
-660	11.0	-21.0	-1.5	.0	.0	93.8

Square: -56.8 Squares: XY: 38.3 YZ: 61.4 ZX: 56.8 OK

Obr. 17 Náhled mapy korekcí portálového CMM pro osu z včetně konstant ke korekci chyb pravoúhlosti v rovinách xy, yz a zx [19],[24]

Bohužel ani provedení úplné kalibrace ve dvou krocích není zárukou, že výsledky měření budou splňovat požadavky metrologické návaznosti nebo že je CMM metrologicky způsobilý a ve shodě se specifikací. Mělo by proto následovat ověření kalibrace. [19]

Ke kalibraci CMM bývají nejčastěji použity hmotné délkové etalony tedy koncové měrky. Příklad kalibrace portálového souřadnicového měřicího stroje s použitím ocelových koncových měrek je na obr. 18. Měrky jsou vhodné zejména pro přístroje s dotykovým snímacím systémem. Pro CMM větších rozsahů je vhodnější použít jako etalon průmyslový

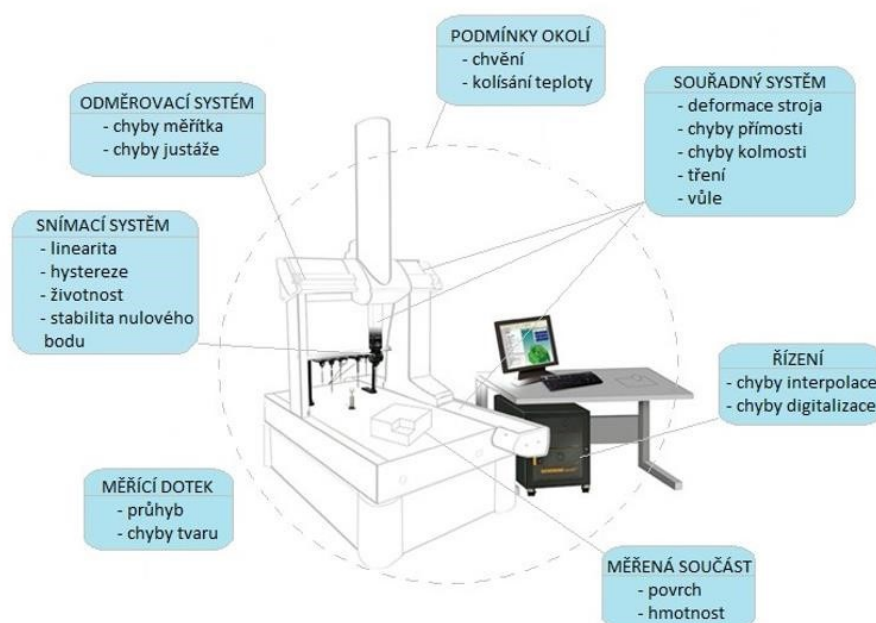
laserinterferometr. V případě přístrojů s optickým snímáním je vhodné použití skleněných čárkových měřitek, skleněné mřížky, či kombinace s průmyslovým laserinterferometrem. Pro multisenzorové CMM jsou etalony vybírány v závislosti na konstrukci. [17]



Obr. 18 Ukázka kalibrace portálového CMM pomocí koncových měrek [19]

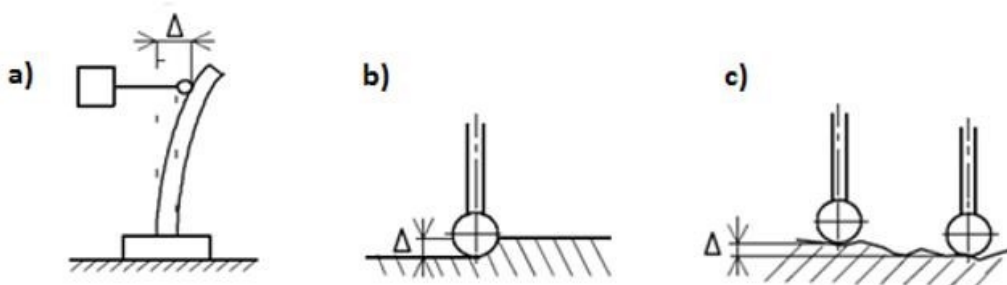
3.2.5 Přesnost CMM

Přesnost CMM je brána jako vlastnost, která charakterizuje jeho schopnost dávat údaje shodné se skutečnou hodnotou měřené veličiny. Vyjadřuje kvalitativně stupeň přiblížení naměřených hodnot hodnotám skutečným. Přesnost měření na CMM je ovlivněna dílčími nepřesnostmi. Jelikož je CMM složitý systém, zkonstruovaný z velkého počtu dílů, mohou být tyto díly zdrojem parciálních chyb měření. Významné zdroje chyb jsou uvedeny na obr. 19. Faktory,



kteře mají největší vliv na přesnost jsou materiálová roztažnost měřeného materiálu a vliv atmosférických podmínek. [1], [11]

Přesnost měření je závislá i na charakteru měřeného objektu. Při měření může měřicí sonda deformovat poddajné součásti nebo jejich povrchy (obr. 20 a, b). Nebo může nastat chyba měření vlivem velké tvarové úchylky kontrolovaného povrchu (obr. 20 c). [11]

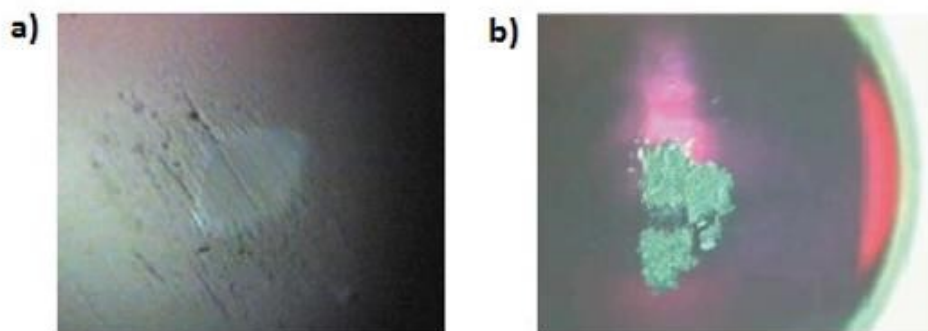


Obr. 20 Chyby vznikající při měření: a) deformace poddajných součástí, b) poddajnost povrchu součástí, c) tvarové úchylky zkoumaného povrchu [11]

Na přesnost může mít vliv i opotřebení kuličky doteku. Příčinou změny tvaru kuličky může být například opotřebení otěrem (obr. 21 a), či usazování materiálu na povrchu kuličky

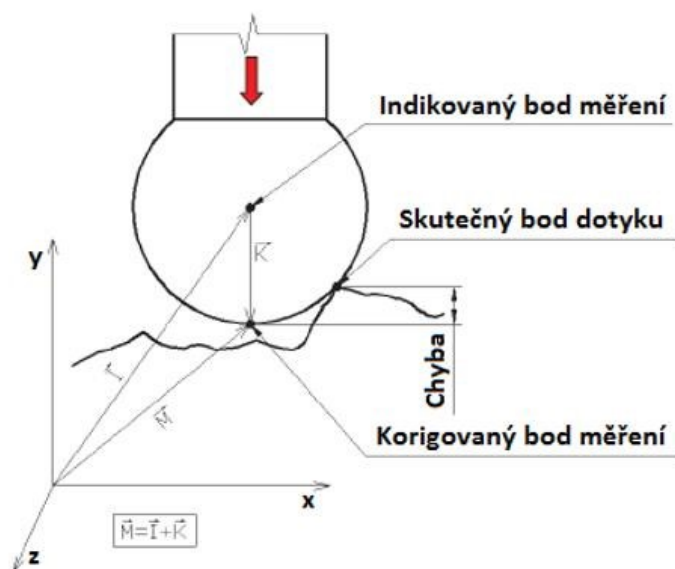
Obr. 19 Zdroje chyb při měření [11]

(obr. 21 b). V případě, že dojde ke kontaktu kuličky a měřené součásti v místě opotřebení, mohou vznikat systematické chyby měření, protože skutečný rozměr kuličky má v místě opotřebení rozdílnou hodnotu, než je ta, se kterou CMM počítá. [11]



Obr. 21 Opotřebení kuličky doteku: a) opotřebení dotykem, b) usazování hliníku na povrchu kuličky [11]

Přesnost může být dále ovlivěna i přepočtem souřadnic měřeného bodu. Princip přepočtu souřadnic je zobrazen na obr. 22. CMM při měření zaznamenává souřadnice indikovaného bodu měření, který je umístěn ve středu snímací koule. Po zaznamenání indikovaného bodu měření přepočítá CMM jeho souřadnice do korigovaného bodu měření, který je předpokládaným bodem na povrchu měřené součásti. Bohužel v praxi může nastat situace, že korigovaný bod měření není totožný se skutečným bodem dotyku a díky tomu vznikne chyba měření. [11]



Obr. 22 Přepočet souřadnic ze snímaného bodu [11]

3.2.6 Chyby snímání u CMM

Jak již bylo zmíněno výše, každý výsledek měření je zatížen chybou. Dle normy ČSN EN ISO 10 360 má každá specifikace přesnosti označení MPE (Maximum Permissible Error). Přičemž konkrétní měřicí úloha je definována indexem např. MPE_P – největší dovolená chyba snímání. Vybrané specifikace přesnosti jsou uvedeny níže. [11]

Největší dovolená chyba při měření rozměru (MPE_E) – Pro stanovení odchylky délkových rozměrů je nutné měřit kalibrované koncové rozměry nebo stupňovité koncové rozměry. Stanoví se 5 různých délek v 7 libovolných pozicích v měřicím rozsahu přístroje. Možné délky a pozice jsou zobrazeny na obr. 23. Každá délka musí být změřena nejméně 3krát. Tímto způsobem bude získáno 105 hodnot. Tyto hodnoty se porovnají s kalibračními hodnotami a všechny odchylky od kalibračních hodnot musí být menší, než je hodnota specifikace. Specifikace se uvádí ve tvaru [11], [26]:

$$MPE_E = (A + L/K), \quad (3.9)$$

kde: A je kladná konstanta v mikrometrech udávaná výrobcem,

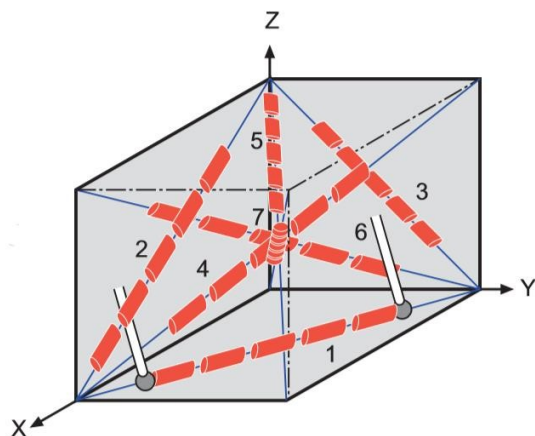
K je bezrozměrná kladná konstanta udávaná výrobcem,

L je měřený rozměr v milimetrech.

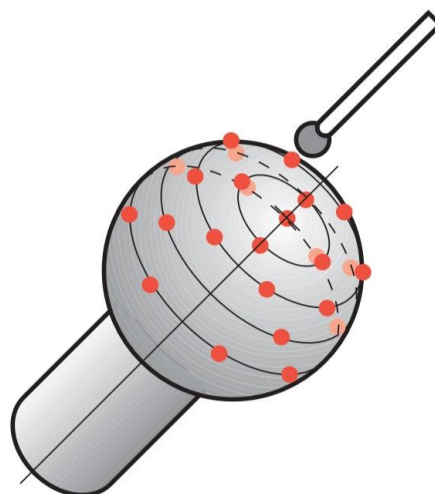
Největší dovolená chyba snímání (MPE_P) – K určení kontaktní odchylky je na 25 místech doporučených normou ČSN EN ISO 10360-2 měřena referenční kulička o průměr 10 až 50 mm. Možná místa měření jsou zobrazena na obr. 24. Kulička má zanedbatelnou tvarovou chybu. Z naměřených hodnot je vypočtena Gaussova vyrovnávací kulička. Rozsah radiálních vzdáleností od referenční kuličky nesmí překročit specifikaci. [11], [26]

Největší dovolená chyba při měření kruhovitosti ($MPE_{RON(MZCI)}$) – Pro zjištění této chyby je nutné nasnímat 50 mm referenční prstencem se zanedbatelnou tvarovou odchylkou. Je nutné nasnímat velké množství bodů (použití skenovacího režimu). Z naměřených výsledků se vypočte tzv. Tschebyscheffova kružnice (MZCI = referenční kružnice minimální zóny), to znamená, že jsou vytvořeny dvě koaxiální kružnice, které ohraničují profil kruhovitosti a jsou umístěny v nejmenší možné radiální vzdálenosti, viz obr. 25. Šířka prstence, který tyto dvě kružnice vytváří, nesmí překročit specifikaci. [11], [26], [30]

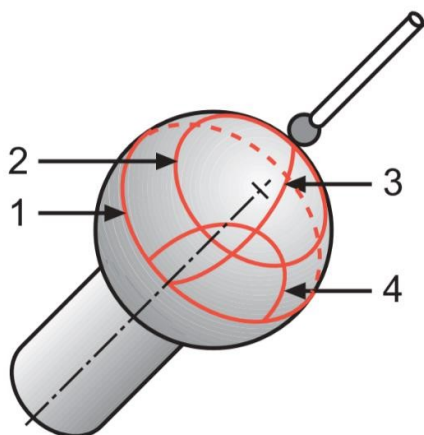
Největší dovolená chyba kontaktního snímání (MPE_{THP}) – pro zjištění snímané kontaktní odchylky bude nasníмана referenční koule o průměru 25 mm na 4 drahách stanovených normou ČSN EN ISO 10360-4. Dráhy jsou zobrazeny na obr. 26. Koule má zanedbatelnou tvarovou chybu. Při porovnávání naměřených hodnot se specifikací MPE_{THP} musí být splněna podmínka, že rozsah radiálních odchylek od referenční koule nesmí překročit specifikaci, která odpovídá MPE_P . Dále je nutné specifikovat čas T potřebný k vykonání kontroly, protože rychlost měření má významný vliv na výsledek měření. [11], [26]



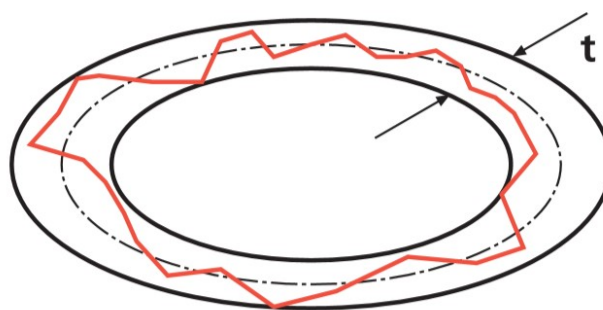
Obr. 23 Zobrazení možných délek a pozic při zjišťování MPE_E [26]



Obr. 26 Příklad umístění bodu pro zjištění MPE_P [26]



Obr. 25 Zobrazení možných drah pro zjištění MPE_{THP} [26]



Obr. 24 Referenční kružnice minimální zóny [26]

4 PŘÍSTROJ ZEISS UPMC

4.1 Firma Zeiss

Firma Carl Zeiss působí na trhu již 120 let. Skromná dílna byla založena v roce 1846 a během 50 let se změnila v globálně působící firmu. V roce 1847 byla spuštěna výroba jednoduchých mikroskopů s proměnlivým zvětšením. Poptávka byla ovšem ta vysoká, že bylo nutné začátkem 80. let 19. století přejít na racionálnější formu průmyslové výroby. Od té doby doba se stala firma Carl Zeiss renomovanou značkou a je považována za výrobce špičkových technologií a produktů. Její slávu zajistila především výroba vysoce kvalitních mikroskopů a optických zařízení. Od začátku výroby používala firma své vlastní měřicí a kontrolní přístroje. Těmto přístrojům byla v roce 1919 vyhrazena vlastní divize, která v současnosti patří mezi přední světové výrobce souřadnicových měřících systémů. [2]

Sortiment výrobků firmy je velice široký, pro představu jsou uvedeny tyto výrobky. Na obr. 28 je mostový souřadnicový měřicí přístroj Zeiss Prismo. Přístroj je ideální pro úlohy v oblasti výzkumu, vývoje a zajištění kvality, jakož i pro kalibraci zkušebních těles a kalibrů. Na obr. 27 je zobrazen modulární stojanový měřicí stroj s horizontálním ramenem Zeiss Pro. Jako poslední je na obr. 29 zobrazen Rondcom 31, který slouží k měření kruhovitosti.



Obr. 28 ZEISS PRISMO [3]



Obr. 27 ZEISS PRO [4]

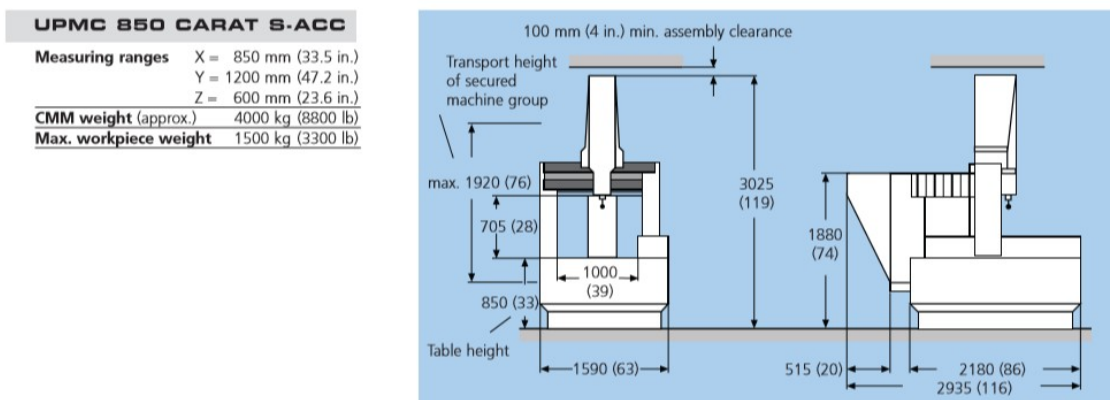


Obr. 29 RONDCOM 31 [5]

V současné době zaměstnává firma Carl Zeiss přibližně 2400, kteří pracují v závodech v Německu, Číně, USA nebo Indii. Dále má firma přes 100 servisních a prodejních středisek po celém světě. [2]

4.2 Stroj Zeiss UPMC 850 CARAT S-ACC

Jedná se o portálový souřadnicový měřicí stroj s pevným stolem a pohyblivým portálem. Stroj je opatřen pneumatickým antivibračním systémem a měřítka ze Zeroduru, která mají minimální tepelnou roztažnost. Pracovní deska je vyrobena z granitu. Je vybaven univerzální hlavou HSS, která umožňuje aplikaci různých snímacích dotyků. Rubínová kulička snímacího dotyku může mít průměr 0,5 až 6 mm. Nechybí funkce měření teploty obrobku (pro zjištění teplotního roztažení obrobku a následnou matematickou kompenzaci) a také funkce zjištění průhybu stolu stroje (matematická korekce). Stroj je vybaven vysoce výkonnými servopohony, které umožňují pohyb a eliminaci tahové síly ve všech osách. Ovládací panel je vybaven joystickem. Velikost měřeného výrobku je ovlivněna měřicím rozsahem stroje a hmotností, která nesmí přesáhnout 1 500 kg. Měřicí rozsah pro jednotlivé osy je následovný: pro osu *X* je 850 mm, pro osu *Y* je 1 200 mm a pro osu *Z* je 600 mm. Na obr. 30 je uveden schématický náčrt stroje a jeho rozměry, rozměry jsou uvedeny v mm. Na obr. 31 je zobrazen reálný stroj umístěný v laboratoři ČMI. [26]



Obr. 30 Schématický náčrt stroje [26]



Obr. 31 Zeiss UPMC 850 CARAT S-ACC [35]

Přístroj má v názvu zkratku CARAT (Coated Aging Resistant Alloy Technology) což znamená, že portál a pinola stroje jsou vyrobeny ze slitiny, která zajistí, aby měla teplota okolí minimální vliv na výsledek měření. Zkratka S-ACC znamená super-accuracy, v překladu se jedná o super- přesnost. Již z názvu vyplývá, že jde o velmi přesný přístroj. Díky své přesnosti je vhodný jak pro měření ve výzkumu a vývoji, tak pro kalibraci a kontrolu měřidel. Přesnost je v tomto případě definována pomocí maximálních dovolených chyb měření. Tyto chyby jsou uvedeny v tabulce 4.1. MPE_E je největší dovolená chyba při měření rozměru, MPE_P je největší dovolená chyba snímání, MPE_{THP} znamená největší dovolená chyba kontaktního snímání a MPE_{RONt} je největší dovolená chyba při měření kruhovitosti. Tyto chyby jsou detailně popsány v podkapitole 3.6.2. Mimo chyby uvedené v tabulce 4.1 uvádí výrobce ještě nejnižší udávanou mezní hodnotu pro chybu měření délky v jedné ose $u_1 = (0,40 + 1,11 L) \mu\text{m}$ a nejnižší udávanou mezní hodnotu pro chybu měření délky v prostoru $u_3 = (0,70 + 1,67 L) \mu\text{m}$, kde L je měřená délka v metrech. Na obrázcích 32 a 33 je zobrazeno měření vnitřního průměru a kalibrace snímacího systému pomocí referenční koule. [26]

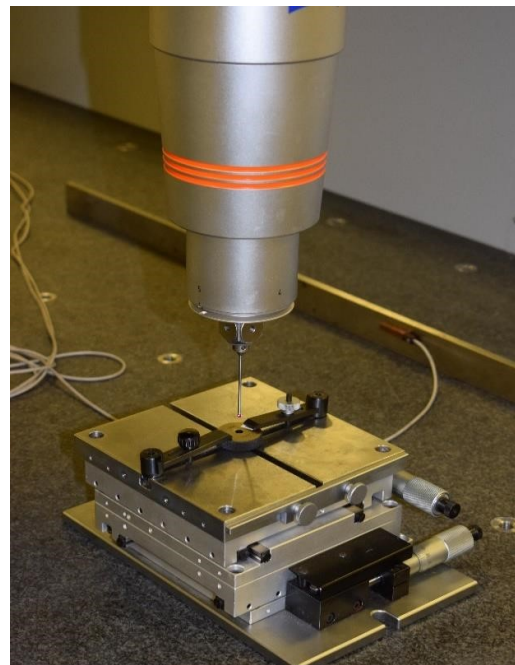
Tab 4.1) Přesnost stroje [26]

Druh chyby	Velikost [μm]
MPE_E	$0,7 + L/600$
MPE_P	0,6
MPE_{THP}	1,8
MPE_{RONt}	0,7

Kde L je měřená délka v mm.



Obr. 33 Kalibrace snímacího systému pomocí referenční koule [35]



Obr. 32 Měření vnitřního průměru nastavného kroužku [35]

Pro správný provoz stroje je nutné dodržet požadavky na okolní prostředí. Nedodržení těchto požadavků by mohlo mít za následek nepřesné výsledky měření či zničení přístroje. Laboratoř musí být schopna zajistit následující podmínky. Vlhkost vzduchu by se měla pohybovat mezi 40 až 60 %. Ve specifikacích ke stroji je uvedeno, že okolní teplota může být od +15 °C do +30 °C. Ovšem pro dosažení přesnosti, která je uvedena výše, je nutné při měření udržovat okolní teplotu na hodnotě 20 °C ± 1 °K. Zkušeni laboratoř by z tohoto důvodu měla být vybavena klimatizací. [26]

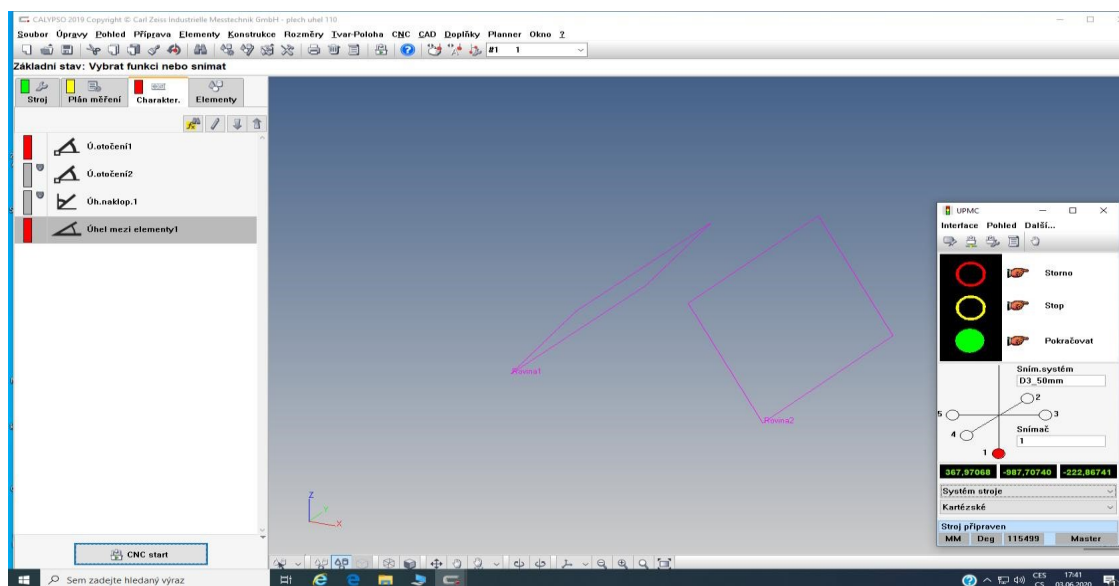
Stroj je dále vybaven softwarem Calypso. Tento software je kompatibilní s CAD programy. Z CAD modelu dokáže převzít tolerance všech rozměrů a polohy a přiřadit je příslušnému měřenému prvku. Po definování měřeného prvku vytvoří Calypso optimální strategii měření včetně dráhy pojezdů. Integrovaný asistent stanoví na základě požadované přesnosti optimální rychlost skenování. Skenování probíhá technologií Vast Navigator, která zaručuje velkou rychlost skenování. Vast Navigator měří plynule, v optimálních dráhách najíždění a objezdu bez zbytečných zastavení. Na obr. 34 je zobrazeno schéma měření pomocí konvenčního softwaru a Calypso. Na obr. 35 je zobrazeno uživatelské prostředí sw Calypso. [31]

Konvenční software



Calypso

Obr. 34 Schéma měření Calypso vs konvenční software [31]



Obr. 35 Příklad uživatelského prostředí Calypso [35]

5 POŽADAVKY ZKUŠEBNÍ LABORATOŘE ČMI BRNO

Každá akreditovaná zkušební laboratoř musí splňovat požadavky, které vychází z normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 a jsou obecně v souladu s normou ČSN EN ISO 9001. Tyto požadavky jsou shrnuty v této kapitole.

5.1 Norma ČSN EN ISO/IEC 17025:2018

Tato norma byla vytvořena pro specifikaci požadavků na kalibrační a zkušební laboratoře. Jedná se o český překlad normy EN ISO/IEC 17025:2017. Oproti předchozímu vydání z roku 2005 má norma větší flexibilitu v požadavcích na procesy, postupy, dokumentované informace a organizační odpovědnost. Další změnou je odlišný přístup založený na zvažování rizik, který umožňuje určité snížení normativních požadavků a jejich nahrazení požadavky na výkonnost. [27]

Norma má za cíl podpořit důvěru v pracovní činnost laboratoře. Obsahuje soubor požadavků na laboratoře, který jim umožní dokázat, že pracují kompetentně a jsou schopné poskytovat platné výsledky. Laboratoře, které fungují v souladu s touto normou, budou také pracovat obecně v souladu s ČSN EN ISO 9001. Zákazníci, regulační orgány, akreditační orgány a další, mohou používat tento dokument k potvrzení nebo uznání kompetence laboratoří. Dokument vyžaduje, aby laboratoř plánovala a také uplatňovala opatření zaměřená na řešení rizik a příležitostí. Zohlednění rizik a příležitostí je základem pro zvýšení efektivity systému managementu, dosažení lepších výsledků a předcházení negativních dopadů. Sama laboratoř je zodpovědná za to, kterým rizikům a příležitostem je třeba se věnovat. [27]

5.2 Obecné požadavky a definice

Prvním požadavkem je nestrannost, což znamená existence objektivity. Objektivita znamená, že neexistuje střet zájmů nebo je tento střet vyřešen tak, že nemá negativní vliv na činnost laboratoře. Laboratorní činnosti musí být prováděny nestranně a uspořádány a řízeny tak, aby byla zajištěna nestrannost. Vedení laboratoře se musí zavázat k nestrannosti. Laboratoř nesmí dovolit, aby obchodní, finanční nebo jiné tlaky způsobily ohrožení nestrannosti. Je-li zjištěno ohrožení nestrannosti, laboratoř musí být schopna prokázat, jak se toto riziko eliminuje nebo minimalizuje. [27]

Druhým požadavkem je důvěrnost. Laboratoř je odpovědná prostřednictvím právně vymahatelných závazků za správu všech informací vytvořených nebo získaných během provádění laboratorních činností. Zákazník musí být předem informován, které informace hodlá laboratoř veřejně zpřístupnit. Informace o zákazníkovi získané z jiných zdrojů (například stěžovatel nebo regulační orgán) musí být důvěrné mezi laboratoří a zákazníkem. Zdroj těchto informací musí být pro laboratoř důvěrný a nesmí být sdílen se zákazníkem. Pracovníci, včetně členů pracovních skupin, smluvních partnerů, externích pracovníků nebo osob jednajících

jménem laboratoře musí zachovat důvěrnost veškerých informací získaných nebo vytvořených během laboratorní činnosti s výjimkou požadavků zákona. [27]

Splnění těchto požadavků je v laboratoři zajištěno jak proškoleným personálem, tak i faktem, že tato laboratoř spadá pod ČMI. Součástí ČMI jsou další vnitro-organizační subjekty, které akredituje ČIA (zkušební laboratoře, kalibrační laboratoře a certifikační orgány). Jelikož je ČMI státní organizací, předpokládá se, že bude konat podle platné legislativy a bude respektovat a dodržovat zákonné normy a požadavky. Také se dá předpokládat, že činnost ČMI je transparentní a je kontrolována příslušnými úřady. Neutrannost i důvěrnost by měla být zajištěna i skutečností, že má tato organizace dlouholetou praxi oboru metrologie a zkušebnictví.

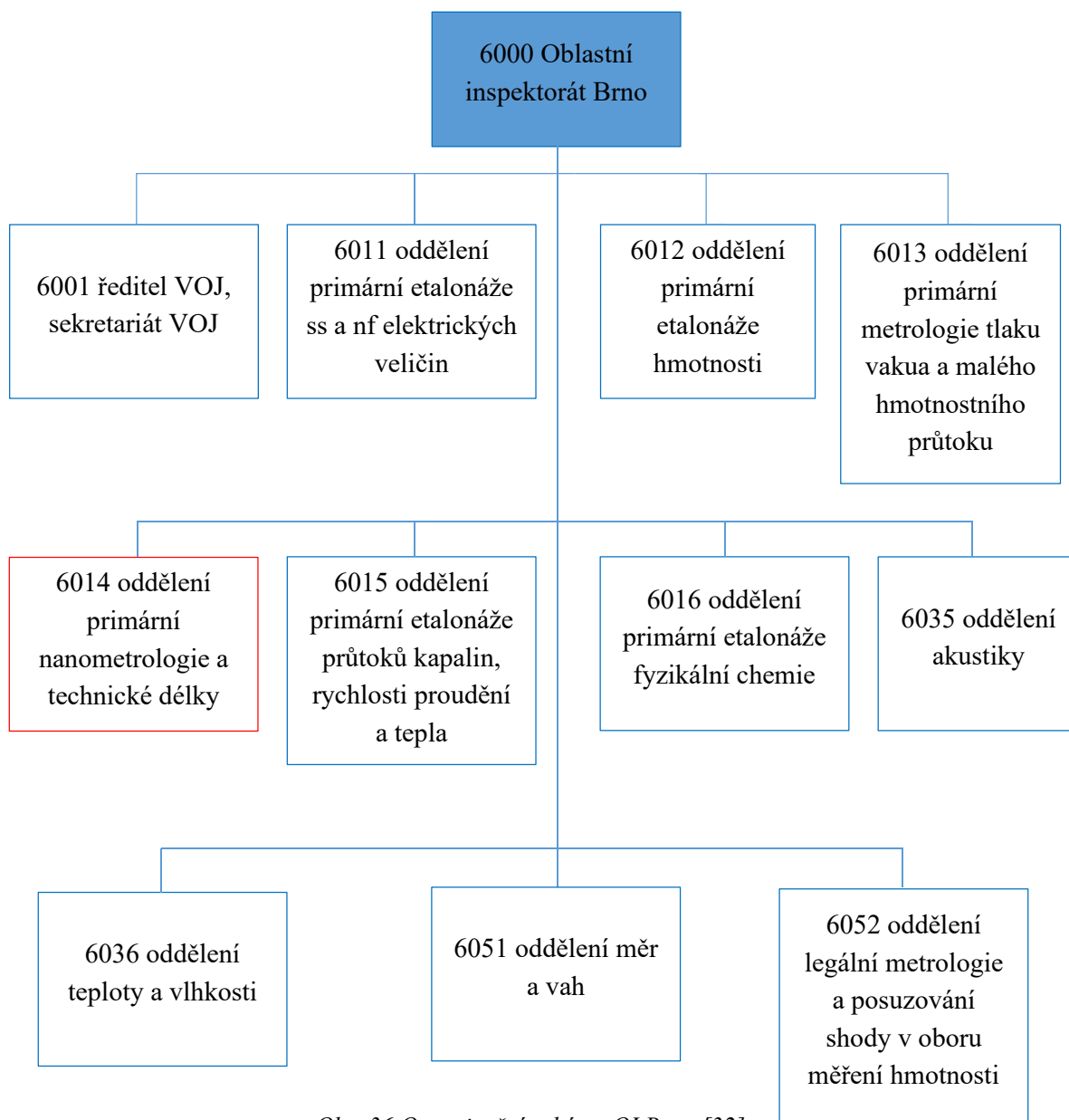
5.3 Požadavky na strukturu

Laboratoř musí být právním subjektem nebo jeho definovanou částí. Laboratoř si musí určit vedení, které má celkovou odpovědnost za laboratoř. Laboratoř musí definovat a dokumentovat rozsah laboratorních činností, které jsou v souladu s normou ČSN EN ISO/IEC 17025:2018. Musí uplatňovat shodu s touto normou pouze pro tento rozsah laboratorních činností, což vylučuje externě průběžně zajišťované laboratorní činnosti. Všechny laboratorní činnosti musí být prováděny tak, aby vyhovovaly požadavkům této normy, zákazníkům, regulačním orgánům a organizacím poskytujícím uznání. [27]

Laboratoř musí určit organizační a řídicí strukturu laboratoře, její místo v mateřské organizaci a vztahy mezi managementem, technickým provozem a podpůrnými službami. Musí stanovit odpovědnosti, pravomoci a vzájemné vztahy všech pracovníků působících v laboratoři. Dále musí dokumentovat své postupy v rozsahu nezbytném pro zajištění jednotného uplatňování svých laboratorních činností a platnosti výsledků. [27]

Pracovníci musí mít pravomoci a zdroje potřebné k plnění svých povinností, které zahrnují zavedení, udržování a neustále zlepšování systému managementu, zjišťování odchylek od managementu nebo postupů pro provádění činností, akce k prevenci nebo minimalizaci takových odchylek, podávání zpráv o výkonnosti systému managementu vedení laboratoře a zajištění efektivnosti laboratorních činností. Vedení musí zajistit aby, probíhala komunikace ohledně efektivnosti systému managementu a důležitosti respektování požadavků zákazníků a dalších požadavků a aby byla zachována integrita systému managementu při plánování a zavádění jeho změn. [27]

ČMI se dělí na vnitřní organizační jednotky (VOJ). Tyto jednotky jsou rozmístěny v různých městech v České republice. Organizační schéma celého ČMI je uvedeno v příloze 1. Tato zkušební laboratoř spadá pod Oblastní inspektorát Brno (OI), který se následně dělí na další oddělení, viz obr. 36. Laboratoř patří pod oddělení primární nanometrologie a technické délky 6014. Toto oddělení má svého vedoucího, který je zodpovědný za chod laboratoře a práci zaměstnanců. [32]



Obr. 36 Organizační schéma OI Brno [32]

5.4 Požadavky na zdroje

Je nutné, aby měla laboratoř k dispozici prostory, pracovníky, vybavení, systémy a podpůrné služby nezbytné k řízení a provádění určených laboratorních činností. Na každý zdroj má laboratoř specifické požadavky a k výkonu laboratorní činnosti je nutné, aby byly splněny. [27]

5.4.1 Pracovníci

Všichni pracovníci, kteří by mohli ovlivnit laboratorní činnost, musí jednat nestranně, být kompetentní a pracovat podle zásad systému managementu laboratoře. Laboratoř je povinna dokumentovat požadavky na kompetenci pro každou funkci, která může mít vliv na výsledky laboratorních činností, včetně požadavků na vzdělání, výcvik, technické znalosti, kvalifikaci, dovednosti a zkušenosti. Pracovníci musí být informováni o svých povinnostech, odpovědnostech a pravomocích. Laboratoř musí také zajistit, aby byli pracovníci kompetentní k vykonávání laboratorních činností. Laboratoř musí mít postup a uchovávat záznamy o: stanovení požadavků a kompetencí, výběru pracovníků, výcviku pracovníků, dohledu nad pracovníky, pravomocích pracovníků a sledování kompetencí pracovníků. [27]

Pracovníci, kteří budou pracovat s UPMC Zeiss musí být řádně proškolení. Školení pracovníků bylo tomto případě provedeno přímo firmou Zeiss. V rámci školení se pracovníci naučili obsluhovat stroj UPMC Zeiss a pracovat se softwarem Calypso. Obecně jsou pracovníci pravidelně školeni jak ČMI, tak ČIA. ČMI může například provádět certifikaci pracovníků pro metrologické funkce v AMS, funkce metrologa ve státní zprávě, funkci úředního měřiče v různých oborech atd. [33]

5.4.2 Prostory a podmínky prostředí

Prostory a podmínky prostředí musí být vhodné pro zkoušení a nesmí mít nepříznivý vliv na platnost výsledků. Nepříznivé vlivy mohou být například: mikrobiální znečištění, prach, elektromagnetické rušení, vlhkost, teplota, zvuk, elektrické napájení, záření a vibrace. Požadavky na prostory a podmínky prostředí důležité pro provádění měření musí být zdokumentovány. Je nezbytné, aby laboratoř sledovala, řídila a zaznamenávala podmínky prostředí v souladu s metodami nebo postupy a příslušnými specifikacemi. V případě, že laboratoř provádí zkoušení na místech nebo zařízeních mimo její trvalou kontrolu, musí zajistit, že splňují požadavky tohoto dokumentu. [27]

Zkoušení laboratoř je umístěna v suterénu, jedná se tedy o podzemní laboratoř. Toto umístění má zajistit minimální ovlivnění výsledků měření, např. vibracemi. Další důležitou podmínkou je teplotní stabilita. Aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výsledků, musí být teplota v laboratoři $+ 20 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Proto je laboratoř vybavena klimatizačním systémem. Aby bylo možné zaznamenávat teplotní podmínky při měření, je laboratoř vybavena teploměry s integrovanou pamětí. Relativní vlhkost by se měla pohybovat okolo $50 \% \pm 10 \%$.

5.4.3 Vybavení

Je nutné, aby laboratoř měla přístup k vybavení (měřidla, software, etalony/standarty měření, referenční materiály, referenční data, činidla, spotřební materiál nebo pomocné přístroje) nezbytné ke správnému provedení zkoušení. Laboratoř musí mít postup pro zacházení, přepravu, skladování, používání a plánovanou údržbu svých zařízení, který zajistí jejich správnou funkci a zabrání kontaminaci nebo poškození. Před zařazením do provozu musí být ověřeno, že zařízení vyhovuje specifikovaným požadavkům. Zařízení, která se používají pro měření, musí být schopna dosáhnout přesnosti měření a/nebo nejistoty měření vyžadovaných pro získání platného výsledku. [27]

Zařízení se musí být kalibrováno, jestliže přesnost měření nebo jeho nejistota mají vliv na platnost uvedených výsledků nebo je kalibrace nutná pro zajištění metrologické návaznosti výsledků. Laboratoř musí zajistit program kalibrací, který musí být přezkoumán a podle potřeby upravován, aby se udržela důvěra ve stav kalibrace. Stav kalibrace nebo doba platnosti musí být uvedeny na štítku na zařízení nebo jinak označeny, aby je mohl uživatel zařízení snadno identifikovat. V případě, že jsou součástí kalibrace i referenční hodnoty nebo korekční faktory, musí laboratoře zajistit, že jsou řádně aktualizovány a zavedeny, aby splnily specifikované požadavky. Zařízení, které bylo přetíženo, poskytuje chybné výsledky nebo se ukázalo jako vadné, musí být staženo z provozu. Musí být umístěno odděleně, případně označeno štítkem mimo provoz. [27]

O zkušebním zařízení je nutné udržovat záznamy. Tyto záznamy musí tam, kde je to aplikovatelné, obsahovat [27]:

- a) identifikaci zařízení, včetně softwaru a firmwaru,
- b) název výrobce, identifikaci typu a sériové číslo nebo jinou jednoznačnou identifikaci,
- c) doklad o ověření, že zařízení splňuje stanovené požadavky,
- d) současné umístění,
- e) data kalibrace, výsledky kalibrací, nastavení, kritéria pro převzetí a příslušné datum další kalibrace nebo kalibrační interval,
- f) dokumentaci k referenčním materiálům, výsledky kritérií pro převzetí, relevantní data a doby platnosti,
- g) plán údržby a doposud provedenou údržbu, pokud je relevantní pro výkonnost zařízení,
- h) podrobnosti o jakémkoliv poškození, selhání, úpravě nebo opravě zařízení.

Vybavením se v tomto případě rozumí souřadnicový měřicí stroj UPCM Zeiss 850, sada měřících dotyků, přípravky k upnutí měřeného výrobku a jeho očištění a software Calypso. Kalibrace stroje byla provedena 29.4.2020 a byla provedena akreditovanou kalibrační laboratoří Carl Zeiss IMT se sídlem v Praze. Kalibrace byla provedena v souladu s kalibračním postupem KP002-ZEISS-2617. A na základě vyhodnocení naměřených hodnot, uvedených v kalibračním listu, spolu s vyhodnocením nejistoty měření, byla prokázána shoda se specifikací výrobce. Stroj měří v toleranci uvedené výrobcem. Kalibrační list je uveden v příloze 2.

5.4.4 Metrologická návaznost

Této problematice byla věnována pozornost ve třetí kapitole. Je ale vhodné si ji připomenout i v této souvislosti. Laboratoř musí stanovit a udržovat metrologickou návaznost výsledků měření pomocí dokumentovaného nepřerušného řetězce kalibrací, z nichž každá přispívá k nejistotě měření a vztahuje se k příslušné referenci. Je nutné zajistit, aby byly výsledky měření navázány na mezinárodní soustavu jednotek. Toto navázání lze provést pomocí kalibrace zajištěné v kompetentní laboratoři nebo certifikovaných hodnot certifikovaných referenčních materiálů poskytnutých kompetentním výrobcem s uvedenou

metrologickou návazností SI nebo přímou realizací jednotek SI zajišťovanou porovnáváním s národními nebo mezinárodními etalony. [27]

Jak je již zmíněno v podkapitole 5.4.3, kalibrace byla provedena akreditovanou kalibrační laboratoří firmy Zeiss. Kalibrační list uvedený v příloze 2 dokumentuje návaznost na (mezi)národní etalony realizující měrné jednotky v souladu s Mezinárodní soustavou jednotek (SI). Je zajištěna tedy metrologická návaznost na Laboratoř primární metrologie v Praze.

5.5 Požadavky na proces

Mezi tyto požadavky patří zejména požadavky na zpracování a přezkoumání nabídek, poptávek a smluv se zákazníky, požadavky na výběr, verifikaci a validaci použitých metod, pravidla pro vzorkování a zacházení se zkoušenými položkami, dále požadavky na technické záznamy, vyhodnocování nejistot a zajištění platnosti výsledků. Velice důležité jsou požadavky na uvádění výsledků, kde je nutné definovat, požadavky na protokoly o zkouškách, uvádění výroků o shodě, uvádění stanovisek a interpretací, případně požadavky na změny zpráv. Mezi požadavky na proces se řadí i požadavky na organizaci stížností a neshody práce. Jako poslední jsou zde uvedeny požadavky na laboratorní systém managementu informací. [27]

5.5.1 Přezkoumání poptávek, nabídek a smluv

Je nezbytné, aby měla laboratoř postup pro přezkoumávání poptávek, nabídek a smluv. Tento proces musí zajistit, aby byly požadavky dostatečně a jednoznačně definovány, dokumentovány a pochopeny, aby měla laboratoř vybavení a prostředky k plnění těchto požadavků a aby byly zvoleny vhodné postupy a metody, které jsou schopny plnit požadavky zákazníka. Zákazník musí být informován o tom, že jím požadovaná metoda je zastaralá nebo nevhodná. Požaduje-li zákazník výrok o shodě se specifikací nebo normou pro zkoušku, musí být tato norma nebo specifikace a rozhodovací pravidlo jasně definovány. Není-li zvolené pravidlo obsaženo ve specifikaci nebo normě, musí být dohodnuto se zákazníkem. [27]

Všechny rozdíly mezi poptávkou nebo nabídkou a smlouvou musí být vyřešeny před začátkem zkoušení. Smlouva musí být přijatelná pro laboratoř i pro zákazníka. Zákazník musí být informován o jakékoliv odchylce od smlouvy. V případě, že dojde ke změně smlouvy v průběhu zkoušení, musí o tom být informováni všichni dotčení zaměstnanci. Záznamy o přezkoumání, včetně významných změn se musí uchovávat, dále se musí uchovávat záznamy o komunikaci se zákazníkem týkající se požadavků zákazníka nebo výsledků zkoušení. [27]

Přezkoumávání nabídek a poptávek ve zkušební laboratoři ČMI funguje tak, že zákazník s pracovníkem vytvoří poptávku, která je nahrána do informačního systému ČMI (ISČMI) a obsahuje všechny požadavky zákazníka. Je zde také uvedeno datum předání výrobku laboratoři a datum jeho navrácení zákazníkovi. Za proveditelnost zadané poptávky je odpovědný pracovník, co ji do systému zadal. Musí zvážit, jestli má laboratoř dostatečně vybavení a používá vhodné metody ke splnění všech požadavků zákazníka.

5.5.2 Výběr a validace metod

Musí být použity vhodné metody a postupy pro zkoušení, pro vyhodnocení nejistoty měření a pro statistické postupy pro analýzu dat. Metody, postupy a podpůrná dokumentace musí být průběžně aktualizovány a musí být pracovníkům snadno dostupné. Použité metody by měly být v nejnovější platné verzi. Jestliže není metoda stanovena zákazníkem, stanoví vhodnou metodu laboratoř, o této volbě musí zákazníka informovat. Obecně se doporučuje norma, která je publikována v mezinárodních nebo národních normách, případně metody od odborných organizací. [27]

Validovány musí být metody, které jsou nestandardní, byly vyvinuty laboratoří nebo standardní metody používané mimo stanovený rozsah nebo jinak upravené. Rozsah validace musí být takový, aby splnil potřeby dané aplikace nebo oblasti použití. Laboratoř musí uchovávat záznamy o validaci obsahující: použitý postup validace, specifikaci požadavků, stanovení výkonnostních charakteristik metody, získané výsledky, prohlášení o platnosti metody, podrobně popisující její vhodnost pro předpokládané použití. [27]

Používané metody jsou zvoleny na základě akreditace a způsobilosti pracovníků. ČMI má dlouhou praxi v provádění metrologických úkonů, proto je možné říct, že i volba metod je založena nejenom na teoretických poznatcích, ale i praktických zkušenostech. Navíc je ČMI akreditována Českým institutem pro akreditaci jako akreditovaný organizátor mezilaboratorních porovnání podle ČSN EN ISO/IEC 17043. Toto porovnávání je jednou z metod zajištění odborné úrovně metrologických laboratoří a jimi poskytovaných služeb. Laboratoř používá software od výrobce stroje, předpokládá se tedy, že je nejlepší možnou volbou k určení relevantních výsledků. [28]

5.5.3 Zacházení se zkušebními položkami

Laboratoř musí mít postupy pro příjem, zacházení, skladování, ochranu, uchování a likvidaci nebo navrácení zkušebních položek. Musí být zachována integrita zkušební položky a musí být zajištěna ochrana zájmů laboratoře a zákazníka. Také nesmí dojít k znehodnocení, kontaminaci nebo ztrátě či poškození položky během manipulace, skladování a přepravy. Zajištěna musí být jednoznačná identifikace položek, která musí být uchována po celou dobu, kdy je za položku zodpovědná laboratoř. Systém identifikace nesmí dovolit, aby byly položky zaměněny. Při příjmu položky musí být zaznamenány odchylky od stanovených podmínek. V případě pochybností o vhodnosti položky ke zkoušení nebo při odlišnosti od poskytnuté dokumentace je nutné projednat se zákazníkem další postup a výsledky konzultace zapsat. Jestliže zákazník požaduje použití položek, které mají odchylku od specifikovaných podmínek, musí laboratoř do výsledné zprávy zahrnout odmítnutí odpovědnosti s označením výsledku, který může být ovlivněn danou odchylkou. [27]

Předání výrobků je ošetřeno předávacím protokolem, kdy je v poptávce zaznamenáno datum předání výrobku laboratoři a datum následného navrácení výrobku zadavateli. Měřené výrobky jsou skladovány na určených místech. Je jasně definováno, kde jsou uloženy výrobky, u kterých bylo již provedeno měření a kde jsou umístěny výrobky, které ještě měřeny nebyly. Fyzické označení měřených a neměřených výrobků se v tomto případě neprovádí (na rozdíl od kalibrace).

5.5.4 Technické záznamy, vyhodnocení nejistot měření a platnost výsledků

Laboratoř musí zajistit technické záznamy o každém zkoušení a kalibraci. Tyto záznamy musí obsahovat výsledky měření a také identifikaci faktorů, které mají vliv na výsledek měření a s tím spojené nejistoty měření. Dále musí obsahovat datum a identitu pracovníků, kteří jsou odpovědní za zkoušení a kontrolu dat a výsledků. Tyto záznamy mají umožnit opakování měření za stejných nebo podobných podmínek. Změny v záznamech musí být zpětně sledovatelné vzhledem k původnímu pozorování nebo předchozím verzím. Musí být tedy uchovány jak původní data, tak pozměněná data, včetně data změny, údaje o změnách datech a pracovníků provádějících změnu. Technické záznamy jsou převážně v elektronické podobě a jsou umístěny v informačním systému ČMI. Jejich záloha uložena na serveru. [27]

Povinností laboratoře je identifikovat příspěvek k nejistotě měření. Pro vyhodnocení je nutné použít vhodné metody analýzy a vzít v úvahu všechny příspěvky, které jsou významné. Laboratoř provádějící zkoušení musí vyhodnotit nejistotu měření. Jestliže není možné zkušební metodou rigorosní vyhodnocení nejistoty měření, musí být proveden odhad na základě teoretických principů metody nebo praktických zkušeností. Příspěvky k nejistotě měření budou probrány v kapitole 6. [27]

Další úlohou laboratoře je zajistit postup pro monitorování výsledků. Výsledná data musí být zaznamenána, aby bylo možné zjištění trendu nebo aby bylo možné použít statistické postupy k přezkoumání výsledků. Monitorování musí být plánováno a musí zahrnovat například: používání referenčních materiálů, funkční kontrolu zkušebních zařízení, průběžné kontroly zařízení, přezkoumání uváděných výsledků, zkoušení slepého kontrolního vzorku, mezilaboratorní porovnání atd. Výsledky z monitorování se musí analyzovat používat k řízení případně ke zlepšení zkoušení. Pokus jsou výsledky z monitorování mimo předem stanovená kritéria, musí se přijmout vhodná opatření, aby se zabránilo uvádění nesprávných výsledků. Aby byla zajištěna platnost výsledků, probíhá v pravidelných intervalech kalibrace přístroje včetně jeho příslušenství a v neposlední řadě i mezilaboratorní porovnávání. [27]

5.5.5 Uvádění výsledků

Veškeré výsledky musí být před vydáním přezkoumány a schváleny. Musí být uvedeny jasně, přesně, objektivně a jednoznačně v protokolu o zkoušce a musí obsahovat všechny náležitosti dohodnuté se zákazníkem a informace nezbytné pro správnou interpretaci výsledků Tyto zprávy musí být uchovány jako technické záznamy. Každá výsledná zpráva (protokol o zkoušce) musí obsahovat alespoň následující požadavky, pokud tedy nemá laboratoř podstatné důvody je neuvádět. Tyto požadavky by měly minimalizovat možnost nedorozumění nebo neprávniho použití [27]:

- a) titul (např. Protokol o zkoušce),
- b) název a adresu laboratoře,
- c) místo provádění zkoušení, včetně těch provedených u zákazníka
- d) jednoznačnou identifikaci, že všechny její části jsou součástí celkové zprávy s jasnou identifikací konce,
- e) jméno a kontaktní údaje zákazníka,

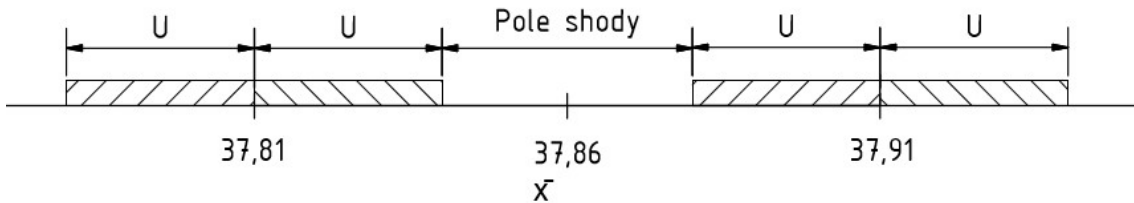
- f) identifikace použité metody,
- g) popis a jednoznačnou identifikaci položky,
- h) datum přijetí zkušební položky,
- i) datum provedení zkoušení,
- j) datum vydání zprávy,
- k) prohlášení, že se výsledky vztahují pouze ke zkoušeným položkám,
- l) výsledky a jednotky měření,
- m) doplnění, odchylky nebo vyloučení z metody,
- n) identifikace osob schvalující zprávu,
- o) informace o specifických podmínkách při zkoušce (podmínky prostředí),
- p) výrok o shodě s požadavky nebo specifikacemi,
- q) nejistotu měření uvedenou ve stejné jednotce jako měřená veličina nebo ve vyjádření relevantním k měřené veličině,
- r) další informace, které mohou být vyžadovány zvláštními metodami, orgány nebo zákazníky.

Všechna data jsou zpracovávána softwarem Calypso, poté jsou převedena do záznamu o měření v PDF a vepsána do protokolu o zkoušce, který obsahuje všechny výše uvedené náležitosti. Protokol je zákazníkovi poskytnut v papírové podobě, na vyžádání lze poslat PDF formátu. Data z Calypso jsou uvedena dalších stranách protokolu nebo v příloze. Příklad úvodní strany protokolu o zkoušce je uveden v příloze 3.

V případě, že se poskytuje výrok o shodě se specifikací nebo normou, musí být dokumentované použité rozhodovací pravidlo s přihlédnutím k úrovni rizika spojeného právě s použitím tohoto pravidla. Jestliže je rozhodovací pravidlo předepsáno zákazníkem nebo právními předpisy není posuzování úrovně rizika nutné. Výrok o shodě musí být uveden tak, aby jasně definoval, na které výrobky se vztahuje, které specifikace nebo normy jsou splněny nebo nesplněny a zvolené rozhodovací pravidlo (pokud není obsaženo ve specifikaci či normě). Stanoviska a interpretace vydávají pouze pracovníci, kteří k tomu mají oprávnění. Musí být zdokumentováno, z čeho tyto informace vycházejí a musí tedy být založeny na výsledcích získaných ze zkoušené položky. Je-li nutné vydanou zprávu změnit, musí být tato změna informace ve zprávě identifikována a měl by být uveden i důvod změny. V případě nutnosti vydání celé nové zprávy je nezbytné, aby byla jednoznačně identifikována a obsahovala odkaz na originální zprávu, kterou nahrazuje. [27]

Výrok o shodě se standartně neposkytuje, je poskytnut pouze na vyžádání zákazníka. Pracovník, který ho vydá, musí mít k tomuto úkonu oprávnění. V případě, že není rozhodovací pravidlo nebo norma stanoveno zákazníkem, je na zkušenostech pracovníka, které pravidlo volí, vždy ale musí počítat s nejistotou měření, a právě o tuto nejistotu zúžit interval, ve kterém se může vyskytovat měřená hodnota. Příklad je uveden na obr. 37 níže. Byl měřen rozměr 37,86 mm s tolerancí $\pm 0,05$ mm, nejistota měřicího přístroje U byla 0,03 mm. Z toho tedy

vyplývá, že interval musí být na každé straně zmenšen o 0,03 mm. Aby tedy byla naměřená hodnota ve shodě se specifikací může se od rozměru 37,86 lišit maximálně o $\pm 0,02$ mm.



Obr. 37 Příklad zobrazení pole shody

5.5.6 Stížnosti a neshodná práce

Je nezbytné disponovat dokumentovaným procesem přijímání stížností, jejich hodnocení a rozhodování o nich. Popis procesu vyřizování stížnosti musí být na vyžádání k dispozici pro všechny zainteresované strany. Laboratoř se musí stížností zabývat a je zodpovědná za všechna rozhodnutí na všech úrovních procesu vyřizování stížností. V procesu vyřizování stížností musí být obsaženy alespoň následující prvky: popis procesu přijímání, zkoumání oprávněnosti, prošetření a rozhodnutí o tom, jaké kroky je třeba dále podniknout, sledování a zaznamenávání stížností, včetně použitých opatření a zajištění, aby byly podniknuty příslušné kroky. Jestliže je to možné, musí laboratoř potvrdit přijetí stížnosti a poskytnout stěžovateli zprávy o stavu vyřizování a jeho výsledku. Výstupy musí být učiněny nebo přezkoumány a schváleny osobami, které nejsou zapojeny do původní činnosti laboratoře. [27]

Laboratoř je povinna mít postup, který bude uplatňován v případě zjištění, že zkušební činnost nebo výsledky zkoušení neodpovídají vlastním specifikovaným postupům nebo smluvním požadavkům zákazníka. Takový postup musí zajistit, že [27]:

- jsou určeny pravomoci a odpovědnosti při managementu neshodné práce,
- opatření (včetně zastavení nebo opakování práce a zadržení zpráv) jsou založena na úrovních rizik stanovených laboratoří,
- je provedeno zhodnocení významu neshodné práce, včetně analýzy dopadu na předchozí výsledky,
- je určeno rozhodnutí o přijatelnosti neshodné práce,
- v případě nutnosti je upozorněn zákazník a práce anulována,
- je stanovena odpovědnost pro pověření k opětovnému zahájení práce.

V tomto případě mohou být stížnosti zaslány emailem na ředitelství. Ale vzhledem k dlouholeté praxi je jejich počet minimální a týkají se převážně časové náročnosti zkoušek. Svou spokojenost či nespokojenost může zákazník vyjádřit i v předávacím formuláři (v případě, že laboratoř předává měřenou součást zpátky zákazníkovi). Ve formuláři je vytvořeno pole pro toto vyjádření, zákazník ho ale většinou proškrtne.

5.5.7 Řízení dat a management informací

Je nezbytné, aby laboratoř měla přístup k datům a informacím k provádění zkoušení. Systém managementu informací musí být před zavedením validován na funkčnost, včetně

řádného fungování rozhraní v rámci laboratorního systému managementu informací. Tento systém slouží ke sběru, zpracování a zaznamenávání dat, vytváření zpráv a ukládání nebo vyhledávání dat. V tomto managementu informací jsou obsažena jak data v počítačových systémech, tak i mimo ně. Laboratorní systém managementu informací musí být chráněn před neoprávněným přístupem, musí být zajištěn proti manipulaci a ztrátě, být provozován v prostředí, které je v souladu se specifikacemi poskytovatele nebo laboratoře, musí být udržován způsobem, který zaručí integritu dat a informací a musí zahrnovat zaznamenání selhání systému a odpovídající bezprostřední opatření. Laboratoř je povinna zajistit instrukce, manuály a referenční data týkající se managementu informací, která budou pracovníkům snadno dostupná. [27]

Jak už bylo zmíněno výše, Český metrologický institut má vytvořen svůj informační systém, každá zaměstnanec má svůj účet s vlastním přístupovým jménem a heslem. Všechna data jsou zálohována na zabezpečeném serveru. Většina dat je v elektronické podobě, ale najdou se i dokumenty, které jsou v papírové podobě. Jedná se například o „Kuchařku pro souřadnicovou měřicí techniku“, která je umístěna u stroje a slouží jako návod pro operátora. Zabezpečení tohoto dokumentu je zajištěno uložením v uzamykatelném šuplíku a zákazem vstupu nepovolaných osob do laboratoře.

5.6 Požadavky na systém managementu

Laboratoř je povinna vytvořit, dokumentovat a udržovat systém managementu, který má za cíl podporovat a prokazovat důsledné plnění požadavků vyplývajících z výše uvedených skutečností a zajistit kvalitu laboratorních výsledků. Kromě dodržování výše uvedených bodů je nutné zavést systém managementu dle možnosti A nebo možnosti B. Možnost A definuje kroky, na které se musí systém managementu minimálně zaměřit. Možnost B předpokládá, že má laboratoř vytvořen systém managementu v souladu s požadavky normy ČSN EN ISO 9001 a je schopna konzistentně plnit všechny požadavky obsažené v kapitolách 5.2 až 5.5 a také splňuje požadavky uvedené níže pro možnost A. Možnost B tedy nebude dále rozepsána. Obě možnosti jsou určeny k dosažení stejného výsledku v provozování systému managementu. [27]

5.6.1 Možnost A

Dle možnosti A se systém managementu laboratoře musí zaměřovat minimálně na následující uvedené skutečnosti [27]:

- a) dokumentace systému managementu,
- b) řízení dokumentů systému managementu,
- c) řízení záznamů,
- d) opatření zaměřená na řešení rizik a příležitostí,
- e) zlepšování,
- f) nápravná opatření,
- g) interní audity
- h) přezkoumání systému managementu.

Dokumenty a záznamy (bod a až c) – management laboratoře je povinen vytvořit dokumentovat a udržovat politiky a cíle systému managementu, dále musí zajistit, že politika a cíle budou brány na vědomí a budou realizovány na všech stupních organizace. Politika a cíle se musí zabývat kompetencí, nestranností a konzistentní činností laboratoře. Všechny dokumenty, procesy, systémy a záznamy týkající se plnění požadavků, musí být zahrnuty v systému managementu nebo na něj odkazovat. Zaměstnanci musí mít přístup k těm dokumentům systému managementu, které jsou vztaženy k jejich povinnostem. Musí být zajištěno řízení dokumentů, do kterého spadá: schválení a prověření dokumentů oprávněným pracovníkem, periodická aktualizace, jasná identifikace dokumentu, identifikace změn a aktuální stav revize, zamezení neúmyslného použití zastaralých dokumentů. Uchovávané záznamy musí být čitelné. Laboratoř musí mít zavedeny prostupy pro řízení svých záznamů potřebných pro uchovávání, identifikaci, archivaci, ochranu, zálohování, vyhledání a likvidaci. Záznamy musí být uchovány po dobu odpovídající smluvním podmínkám. Více požadavků na technické záznamy je uvedeno v podkapitole 5.5.4. [27]

Opatření zaměřená na řešení rizik a příležitostí (bod d) – je nutné, aby laboratoř brala v úvahu rizika a příležitosti související s činnostmi laboratoře, aby: zajistila, že systém managementu dosahuje požadovaných výsledků, posílila příležitosti k dosažení zámětů a cílů laboratoře, zabránila nežádoucím dopadům a selhání laboratoře a dosahovala zlepšení. Musí být naplánováno, jak řešit tyto rizika a příležitosti a jak integrovat a zavádět takové činnosti (opatření) do systému managementu a jak vyhodnocovat efektivnost a účinnost těchto opatření. Opatření proti rizikům musí být adekvátní potencionálnímu dopadu na platnost výsledků. [27]

Zlepšování a nápravná opatření (bod e a f) – musí být identifikovány příležitosti pro zlepšení a v návaznosti na ně zavádět potřebná opatření. Tyto příležitosti lze identifikovat přezkoumáním provozních postupů, používáním politik a cílů, nápravnými opatřeními, výsledky auditů, návrhy pracovníků, posouzením rizik atd. pro zlepšování je také klíčová zpětná vazba od zákazníku. Ta musí být analyzována a využívána za účelem zlepšování systému managementu. V případě, že dojde k neshodě, je třeba přijmout nápravná opatření. Postup zavedení nápravných opatření je následující: je nutné reagovat na neshodu a přijmout opatření, k řízení a nápravě a řešit také důsledky, dále je nutné vyhodnotit potřebu přijmout opatření pro odstranění příčiny, aby se toto neshoda již neopakovala, realizovat potřebná opatření, přezkoumat efektivnost přijatých opatření, aktualizovat rizika a příležitosti a v případě potřeby provést změny v systému managementu. [27]

Interní audit (bod g) – každá laboratoř musí mít naplánované interní audit v určitých intervalech. Audit zjišťují, zda systém managementu odpovídá vlastním požadavkům laboratoře a je efektivně zaveden a udržován. V otázce auditů musí laboratoř učinit následující kroky [27]:

- a) naplánovat, stanovit, zavést, a udržovat program auditů včetně četnosti, metod, odpovědností, požadavky na plánování a předávání zpráv, v programu musí být zohledněny důležitosti laboratorních činností, změny a výsledky předchozích auditů,
- b) jasně definovat kritéria auditu a jeho předmět,
- c) zajistit, aby byly výsledky auditu předány ve formě zprávy relevantnímu managementu,

- d) provést bez odkladu náležitě opravy a nápravná opatření,
- e) uchovávat záznamy jako důkaz o realizaci auditu a výsledcích auditu.

Přezkoumání systému managementu (bod h) – přezkoumání musí být provedeno v plánovaných intervalech, aby byla zajištěna a potvrzena jeho trvalá vhodnost, přiměřenost a efektivnost. Vstupy do přezkoumání systému managementu musí být zdokumentovány a musí se vztahovat k následujícím situacím [27]:

- a) změně interních a externích záležitostí,
- b) plnění cílů,
- c) vhodnosti politik a zvolených postupů,
- d) stavu opatření vyplývající z předchozích přezkoumání,
- e) výsledkům posledních auditů,
- f) nápravným opatřením,
- g) posuzování externími orgány,
- h) změnám objemu a typu prováděných prací,
- i) zpětné vazbě a stížnostem,
- j) efektivnosti aplikovaných zlepšení,
- k) přiměřenosti zdrojů,
- l) závěrům ze zajišťování platnosti výsledků,
- m) a dalším relevantním skutečnostem.

ČMI má vytvořenou politiku kvality, která je pro celou organizaci jednotná a vztahuje se na všechny laboratoře, které pod ČMI spadají. Politika kvality ČMI je uvedena v příloze 4. Cílem politiky kvality ČMI je dobudování, udržování a rozvíjení jednotného národního metrologického systému (NMS) v rámci ČR. Systém managementu kvality je dokumentován v příručce jakosti organizace ČMI. Příručka sjednocuje systém managementu celého ČMI a současně je příručkou jakosti pro kalibrační a zkušební laboratoř. Dále je systém managementu kvality obsažen v příručkách jakosti VOJ. Plnění systému managementu kvality je kontrolováno interními audity, které pobíhají jak na úrovni VOJ, tak na úrovni celého ČMI. Všechny body uvedené výše ČMI splňuje v rámci svého systému managementu, proto lze předpokládat, že budou aplikovány a plněny i v této zkušební laboratoři. [29]

6 STANOVENÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ CMM

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1.3, každé měření je zatíženo nejistotou. V této kapitole budou stanoveny nejistoty při provádění zkoušek. Bude stanovena standartní nejistota typu B a její jednotlivé složky. Standartní nejistota typu A nebude stanovena, jelikož nebude prováděno opakované měření zkoušených výrobků.

6.1 Zdroje nejistot

Pro tento stroj byly vybrány následující zdroje nejistot:

- nejistota kalibrace měřicího přístroje,
- vliv měřeného objektu
- vliv kalibrace doteku pomocí referenční koule
- vliv rozlišovací schopnosti stroje
- nejistota kalibrační koule
- vliv rozdílu teplot CCM a měřeného předmětu
- vliv rozdílu teploty od 20 °C

6.1.1 Nejistota kalibrace měřicího přístroje (u_{ks})

Prvním příspěvkem k celkové nejistotě je nejistota kalibrace měřicího přístroje. Tato nejistota je uvedena v kalibračním listě přístroje (viz příloha 2). Je uvedena ve tvaru (6.1):

$$U = a + bL, \quad (6.1)$$

kde a a b jsou experimentálně zjištěné koeficienty a L je měřená délka v metrech.

Jelikož je značná pravděpodobnost výskytu malých odchylek od střední hodnoty, zatímco pravděpodobnost výskytu velkých odchylek, které jsou rovny mezím, je velmi malá, bude pro tuto nejistotu je předpokládáno normální rozdělení ($\chi = 2$). Příspěvek k nejistotě se stanoví dle obecného vztahu (3.5) a jeho podoba je uvedena v následujícím vztahu (6.2) [20], [34]:

$$u_{ks} = c_j \frac{(a + bL)}{\chi}, \quad (6.2)$$

kde c_j je koeficient citlivosti a χ je koeficient plynoucí z rozdělení pravděpodobnosti.

6.1.2 Vliv měřeného objektu (u_E)

Do tohoto vlivu spadá závislost nejistoty na velikosti měřeného výrobku. Dá se předpokládat, že při měření malého, dobře obrobeného výrobku bude tato nejistota mnohem menší než při měření velkého neopracovaného odlitku. V této práci budou měřeným objektem koncové měřky. Jako každý etalon mají kalibrační list, ve kterém je uvedena jejich nejistota s koeficient rozšíření, pro který platí. Nejistota je uvedena ve tvaru (6.1). Pro zjištění této nejistoty je použit stejný vztah i rozdělení jako v předešlém případě, tedy vztah (6.2) a normální rozdělení. [20], [34]

6.1.3 Vliv kalibrace doteku pomocí referenční koule (u_D)

Před začátkem každého měření by se měla provést kalibrace doteku, aby se dosáhlo co nejlepších výsledků měření. Kalibrace se provádí pomocí referenční koule a dotek je kalibrován sejmutím 5 až 6 bodů. Koule musí být velmi přesná a musí mít definovanou kruhovitost. U tohoto vlivu se předpokládá rovnoměrné rozdělení. Toto rozdělení je používáno v případech, kdy je stejná pravděpodobnost výskytu jakékoliv odchylky v daném intervalu. Podoba vztahu pro výpočet této nejistoty vychází z obecného vztahu (3.5) a má následující podobu (6.3) [34]:

$$u_D = c_j \frac{U_{rk}}{\chi}, \quad (6.3)$$

kde c_j je koeficient citlivosti, U_{rk} je nejistota referenční koule a χ koeficient plynoucí z rozdělení pravděpodobnosti.

6.1.4 Vliv rozlišovací schopnosti stroje (u_p)

Tato nejistota je způsobena konečnou rozlišovací schopností měřícího stroje. V případě měřících strojů se stupnicí se určuje podle schopnosti obsluhy a velikosti nejmenšího dílku stupnice v rozmezí 0,1 až 1 dílek. U digitálních strojů je rovna nejmenšímu digitu. Pro příspěvek vlivem rozlišení se předpokládá rovnoměrné rozdělení s koeficientem typickým pro toto rozdělení $\chi = \sqrt{3}$. Rovnoměrné (obdélníkové) je zvoleno, jelikož je stejná pravděpodobnost výskytu kterékoliv odchylky v celém daném intervalu. V metrologické praxi se jedná o nejčastěji používané rozdělení, protože ve většině případů nejsou k dispozici potřebné poznatky o rozdělení pravděpodobnosti výskytu odchylek, a proto nelze některé odchylky upřednostňovat použitím jiného rozdělení. [20], [34]

Vzorec pro výpočet toho příspěvku vychází z obecného vztahu pro výpočet příspěvku nejistoty měření typu B (3.5) a má následnou podobu:

$$u_p = c_j \frac{R}{\chi}, \quad (6.4)$$

kde c_j je koeficient citlivosti, R je rozlišovací schopnost přístroje a χ koeficient plynoucí z rozdělení pravděpodobnosti.

6.1.5 Nejistota kalibrační koule (u_{kk})

Tento příspěvek je stanoven na základně nejistoty kalibrační koule a vychází z hodnoty uvedené v kalibračním listě koule. Pro tuto nejistotu se předpokládá rovnoměrné rozložení pravděpodobnosti. Vztah pro výpočet nejistoty kalibrační koule je opět odvozen z obecného vzorce (3.5) a má následující podobu (6.5) [20], [34]:

$$u_{kk} = c_j \frac{U_{koule}}{\chi}, \quad (6.5)$$

kde c_j je koeficient citlivosti, U_{koule} je nejistota kalibrační koule z kalibračního listu a χ koeficient plynoucí z rozdělení pravděpodobnosti.

6.1.6 Vliv rozdílu teplot CMM a měřeného předmětu ($u_{\Delta T}$)

Nezanedbatelným příspěvkem k celkové nejistotě je i vliv rozdílu teplot souřadnicového měřicího stroje a měřeného předmětu. Obecně platí, že ideálně by měl mít stroj i měřený předmět stejnou teplotu. To se ovšem v praxi málokdy podaří. Aby byl rozdíl teplot co nejmenší, nechává se měřený předmět v jedné místnosti se strojem minimálně přes noc. Pro tento vliv se předpokládá rovnoměrné rozložení pravděpodobnosti. Vztah vychází z obecného vztahu (3.5) a jeho podoba je následovná (6.6) [20], [34]:

$$u_{\Delta T} = \frac{\alpha_A(t_1 - t_2)L}{\chi}, \quad (6.6)$$

kde α_A je průměrná hodnota koeficientu tepelné roztažnosti daného měřeného materiálu a stroje, $(t_1 - t_2)$ je rozdíl teplot měřeného předmětu a stroje, χ koeficient plynoucí z rozdělení pravděpodobnosti a L je měřená délka v metrech.

6.1.7 Vliv rozdílu teploty měření od 20 °C ($u_{\Delta 20}$)

Jedním ze základních předpokladů pro přesná a kvalitní měření délky je monitorování teploty. V laboratoři je tedy nutné dbát na stálou teplotu s co nejmenším rozptylem. Teplota je regulována klimatizací, bohužel i přesto dochází k odchylce od hodnoty + 20 °C. Pro tento rozdíl se předpokládá rovnoměrné rozložení a je dán vztahem (6.7) [20], [34]:

$$u_{\Delta T 20} = \frac{\pm \alpha}{\chi} * \frac{\Delta t_{20}}{\chi} L, \quad (6.7)$$

kde $\pm \alpha$ je rozdíl koeficientu tepelné roztažnosti, Δt_{20} je odchylka od teploty 20 °C, χ koeficient plynoucí z rozdělení pravděpodobnosti a L je měřená délka v metrech.

6.2 Modelový příklad výpočtu nejistot

Pro lepší znázornění jednotlivých nejistot byla zvolena praktická ukázka. Výpočet nejistot byl proveden podle metodiky vysvětlené v kapitole 6.1. Jako měřený předmět byla použita koncová měrka velikosti 0,15 m. Měření bylo provedeno pouze jednou, proto nebude brána v potaz nejistota typu A vycházející ze statistického zpracování opakovaných měření. Přehled nejistot a jejich příspěvků je uveden v Tab. 7.1 na konci této kapitoly.

6.2.1 Výpočet nejistoty kalibrace měřicího přístroje (u_{ks})

Jak bylo zmíněno výše, tato nejistota vychází z kalibračního listu přístroje. Je v něm uvedena jako $U = 0,1 + 0,4 * L$, pro $k = 2$. Kde L je podle zadání 0,15 m. Rozdělení pravděpodobnosti je normální a $\chi = 2$. Koeficient citlivosti je 1. Po dosazení do vzorce (6.2) je hodnota nejistoty následovná:

$$u_{ks} = c_j \frac{(a + bL)}{\chi} = 1 \frac{(0,1 + 0,4 * 0,15)}{2} = 0,08 \mu\text{m}. \quad (6.8)$$

6.2.2 Výpočet nejistoty vlivu měřeného objektu (u_E)

Nejistota pro tuto koncovou měrku je uvedena jako: $U = (0,5 + 5L) \mu\text{m}$ s koeficientem rozšíření $k = 2$. Ze zadání této nejistoty je vidět, že čím větší měřená délka L , tím větší je složka

této nejistoty. Koeficient citlivosti je 1. Výpočet je proveden podle vztahu (6.2) a hodnota nejistoty je následující:

$$u_E = c_j \frac{(a + bL)}{\chi} = 1 \frac{(0,5 + 5 * 0,15)}{2} = 0,625 \mu m \quad (6.9)$$

6.2.3 Výpočet nejistoty vlivu kalibrace doteku pomocí referenční koule (u_D)

Nejistota referenční koule byla stanovena na 0,1 μm . Koeficient citlivosti je 1. v tomto případě bude použito rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti výskytu, proto je koeficient $\chi = \sqrt{3}$. Nejistota je vypočtena dosazením čísel do vztahu (6.3). Hodnota nejistoty je:

$$u_D = c_j \frac{U_{rk}}{\chi} = 1 \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,057735 \mu m. \quad (6.10)$$

6.2.4 Výpočet nejistoty vlivu rozlišovací schopnosti stroje (u_p)

Pro tento typ stroje je brána rozlišovací schopnost 0,1 μm . Je přepokládáno rovnoměrné rozdělení s koeficientem typickým pro toto rozdělení $\chi = \sqrt{3}$. Koeficient citlivosti je 1. Nejistota je získána dosazením do vztahu (6.4). Její hodnota je následující:

$$u_p = c_j \frac{R}{\chi} = 1 \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,057735 \mu m. \quad (6.11)$$

6.2.5 Výpočet nejistoty kalibrační koule (u_{kk})

Pro tuto kalibrační kouli je zadána nejistota 0,2 μm Pro tuto nejistotu se předpokládá rovnoměrné rozložení pravděpodobnosti, tedy $\chi = \sqrt{3}$. Koeficient citlivosti je 1. Velikost nejistoty je zjištěna dosazením čísel do vztahu (6.5). Výsledná nejistota je:

$$u_{kk} = c_j \frac{U_{koule}}{\chi} = 1 \frac{0,2}{\sqrt{3}} = 0,11547 \mu m. \quad (6.12)$$

6.2.6 Výpočet nejistoty vlivu rozdílu teplot CMM a měřeného předmětu ($u_{\Delta T}$)

Rozdíl teplot stroje a koncové měřky ($t_1 - t_2$) je 0,2 $^{\circ}C$. Koeficient tepelné roztažnosti je 11,5 $\mu m/m ^{\circ}C$. Koeficient citlivosti je 1,725 $\mu m/^{\circ}C$. Pro tento vliv se předpokládá rovnoměrné rozložení pravděpodobnosti, $\chi = \sqrt{3}$. Výsledná nejistota je získána dosazením do vztahu (6.6):

$$u_{\Delta T} = \frac{\alpha_A(t_1 - t_2)L}{\chi} = \frac{11,5 * (0,2) * 0,15}{\sqrt{3}} = 0,199186 \mu m. \quad (6.13)$$

6.2.7 Výpočet nejistoty vlivu rozdílu teploty měření od 20 $^{\circ}C$ ($u_{\Delta 20}$)

V tomto případě je rozdíl do teploty 20 $^{\circ}C$ celý 1 $^{\circ}C$. Rozdíl koeficientu tepelné roztažnosti je 11,5 $\mu m/m ^{\circ}C$. Koeficient citlivosti je 0,15 m. Pro tento rozdíl se předpokládá rovnoměrné rozložení s koeficientem $\chi = \sqrt{3}$. Velikost nejistoty je získána dosazením do vztahu (6.7):

$$u_{\Delta T20} = \frac{\pm\alpha}{\chi} * \frac{\Delta t_{20}}{\chi} L = \frac{11,5}{\sqrt{3}} * \frac{1}{\sqrt{3}} 0,15 = 0,575 \mu\text{m}. \quad (6.14)$$

Tab 7.1) Bilanční tabulka

Veličina	Odhad [μm]	Standartní nejistota	Rozdělení	Citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě [μm]
u_{E1}	0,1	0,08 μm	norm.	1	0,08
u_{E2}	0,5	0,625 μm	norm.	1	0,625
u_D	0,06	0,057735 μm	rovn.	1	0,057735
u_p	0,06	0,057735 μm	rovn.	1	0,057735
u_{kk}	0,12	0,11547 μm	rovn.	1	0,11547
$u_{\Delta T}$	0,2	0,11547 $^{\circ}\text{C}$	rovn.	1,725 $\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$	0,199186
$u_{\Delta 20}$	0,6	0,99593 $\mu\text{m}/\text{m}$	rovn.	0,15 m	0,575

6.2.8 Stanovení kombinované a rozšířené nejistoty měření

Následný výpočet celkové a rozšířené nejistoty probíhá podle metodiky uvedené v kapitole 3.1.3. Celková standartní nejistota typu B se stanoví dle vztahu (3.6). Výpočet je následující:

$$u_B = \sqrt{\sum_{j=1}^m u_{zj}^2} = \sqrt{u_{E1}^2 + u_{E2}^2 + u_D^2 + u_p^2 + u_{kk}^2 + u_{\Delta T}^2 + u_{\Delta 20}^2} =$$

$$= \sqrt{0,08^2 + 0,625^2 + 0,057735^2 + 0,057735^2 + 0,11547^2 + 0,19919^2 + 0,575^2} \quad (6.15)$$

$$u_B = 0,887313 \mu\text{m}$$

Výpočet kombinované nejistoty se s tímto případem neprovádí. Jelikož nejsou měření opakována je standartní nejistota typu A vycházející ze statistického zpracování rovna nule, bude kombinovaná nejistota stejná, jako nejistota typu B.

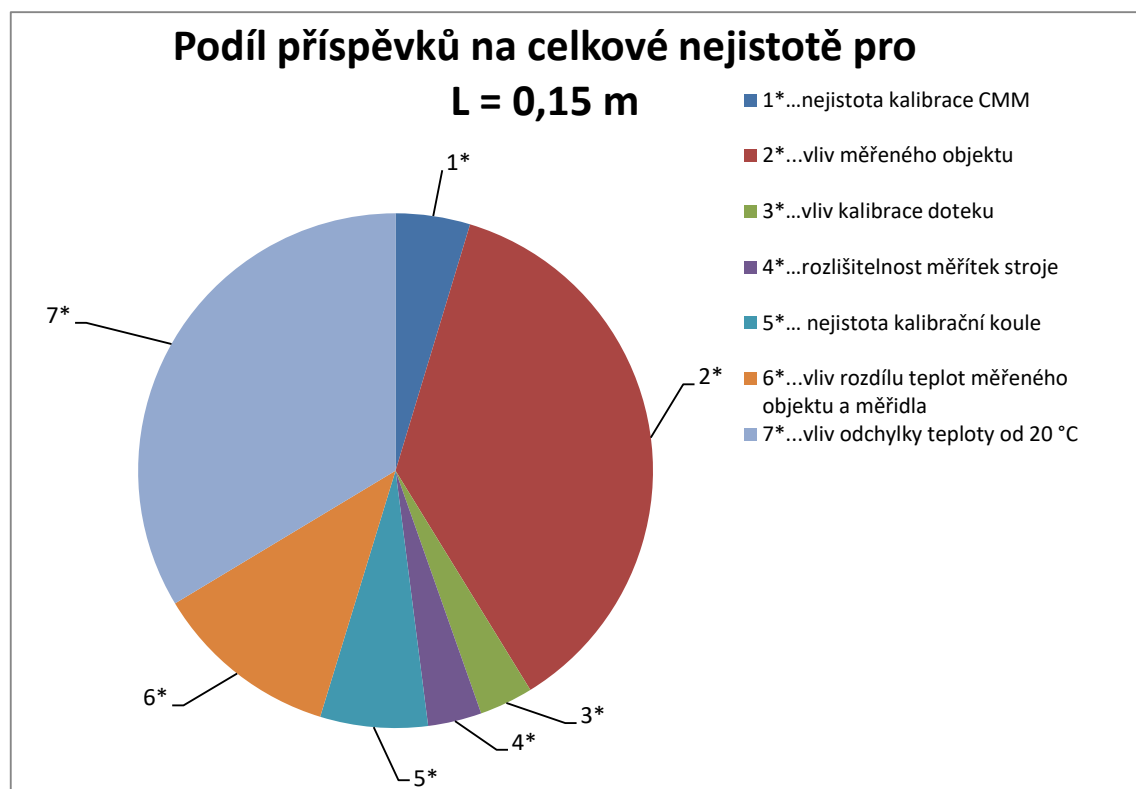
Posledním krokem ke stanovení nejistoty je určení rozšířené nejistoty. Její určení je důležité, protože v případě, že by byla jako finální nejistota brána pouze kombinovaná nejistota, mohla by se až třetina výsledků ocitnout mimo stanovený interval. Proto je nutné kombinovanou nejistotu vynásobit koeficientem rozšíření. Pro tento případ byl zvolen koeficient rozšíření $k = 2$. Tento koeficient říká, že pravděpodobnostní pokrytí je přibližně 95,45 %. Rozšířená nejistota vychází ze vztahu (3.8), kde u_C je v tomto případě rovno u_B . Po dosazení do vztahu (3.8) je rozšířená nejistota měření:

$$U = k * u_c = 2 * 0,887313 = 1,78 \mu m. \quad (6.16)$$

Výsledkem tedy je, že nejistota při měření koncové měřky délky 0,15 m bude na tomto přístroji 1,78 μm .

6.2.9 Vyhodnocení příspěvků nejistoty

Pro větší názornost byl z příspěvků k nejistotě sestaven koláčový graf (obr. 38), který jasně demonstruje, jak velký podíl mají jednotlivé příspěvky na celkové nejistotě pro $L = 0,15 m$.

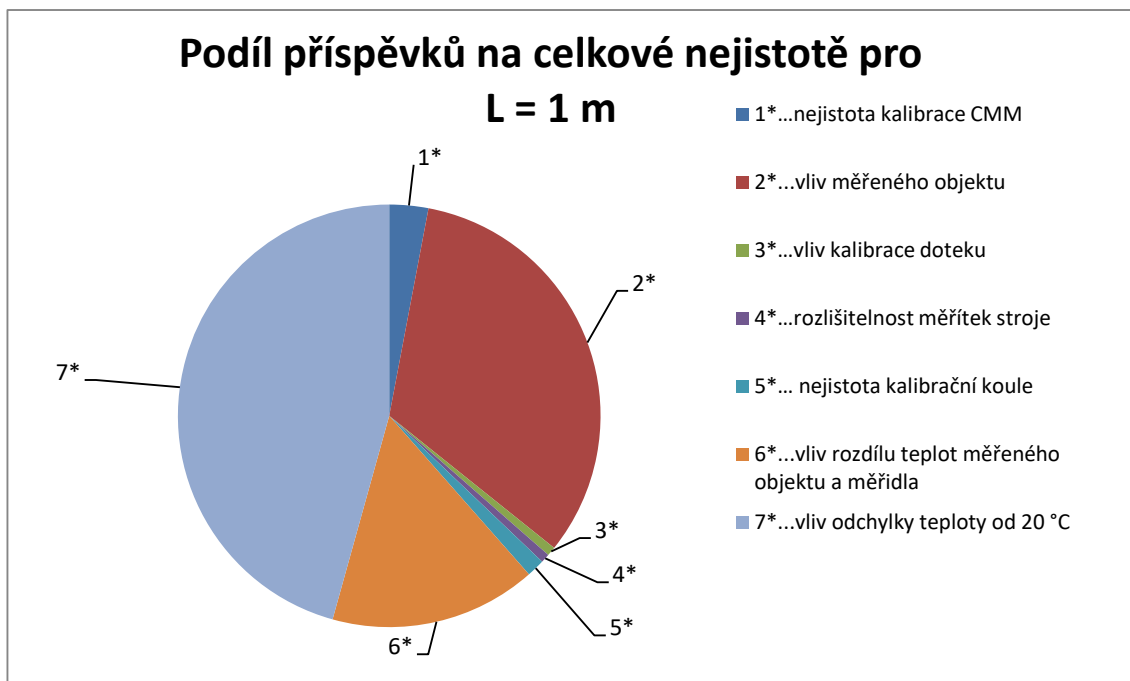


Obr. 38 Podíl příspěvků na celkové nejistotě pro $L = 0,15 m$

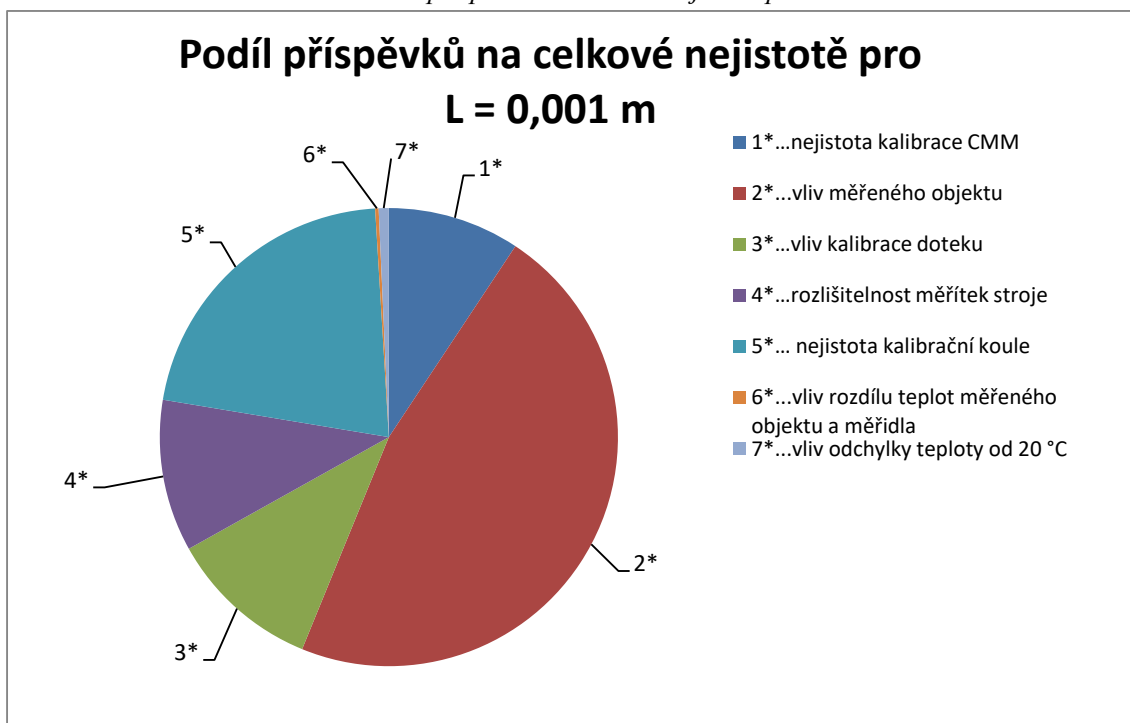
Z grafu (obr. 38) je patrné, že největší podíl na celkové nejistotě má vliv měřeného objektu (37 %), vliv odchylky od 20 °C (34 %) a vliv rozdílu teplot měřeného objektu (12 %). Tyto příspěvky jdou dominantní. Naproti tomu nejméně významný je vliv rozlišitelnosti měřítek stroje (3 %) a vliv kalibrace doteku (3 %).

Pro lepší představu o tom, jak se mění podíl nejistot se změnou měřené délky byly vypočteny nejistoty pro $L = 1 m$, velikost nejistoty je 9,82 μm a pro $L = 0,001 m$, velikost nejistoty je 0,59 μm . Graf pro $L = 1 m$ je zobrazen na obr. 39. Z tohoto grafu jasně vyplývá, že příspěvkem, který nejvíce ovlivňuje velikost nejistoty je vliv odchylky od teploty 20 °C (46 %), dalšími významnými příspěvky jsou vliv měřeného objektu (33 %) a vliv rozdílu teplot měřeného objektu a měřidla (16 %). Oproti tomu vlivy kalibrace doteku (1 %), rozlišitelnost měřítek (1 %), nejistota kalibrační koule (1 %) a nejistota kalibrace CMM (3 %) mají minimální podíl na velikosti nejistoty. Na obr. 40 je zobrazen podíl příspěvků na celkové nejistotě

pro $L = 0,001$. Oproti předchozím grafům zde téměř není příspěvek vlivu teploty (jak rozdílu teplot, tak odchylky od $20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Jelikož jde o malou délku, projevují se zde příspěvky vlivem nejistoty kalibrační koule (21 %), kalibrace doteku (11 %) a rozlišitelnosti měřitek stroje (11 %) a nejistoty kalibrace CMM (9 %). Nejvýznamnější příspěvek má však vliv měřeného objektu (47 %). Ze všech uvedených grafů je patrné, že jedinou složkou, která má přibližně stejný podíl na celkové nejistotě, je vliv měřeného objektu.



Obr. 39 Podíl příspěvků na celkové nejistotě pro $L = 1\text{ m}$



Obr. 40 Podíl příspěvků na celkové nejistotě pro $L = 0,001\text{ m}$

7 ZKUŠEBNÍ POSTUP

Jedná se o metodický postup, ve kterém jsou uvedeny všechny kroky, podmínky a okolnosti, které musí být zajištěny, pro uspokojivý výsledek měření. Postup neobsahuje pouze návod pro operátora, ale i požadavky na zařízení a pomůcky, zkoušený výrobek a okolní prostředí. V této kapitole je vysvětleno, co musí postup obsahovat a jak to v něm má být definováno. Návrh zkušební postupu pro stroj Zeiss UPCM 850 je uveden v příloze 5.

7.1 Úvodní strana

Postup má každé straně záhlaví, aby se dalo jasně identifikovat, k jakému postupu příslušná stránka patří. Tato hlavička obsahuje identifikační číslo dokumentu a počet listů ve formátu aktuální strana/celkový počet stran. Tento dokument musí mít úvodní stránku, na které bude uveden název dokumentu, zařazení dokumentu v rámci technických záznamů ČMI, návaznost dokumentu na určitou normu, či právní předpis. Musí být jasně určeno, pro koho je dokument závazný a kdo je zodpovědný za jeho přezkoumání. Dále jsou důležité datумы, úvodní strana by měla obsahovat datum nabytí účinnosti, datum schválení a datum vydání. A také podpisy, kdo zkušební postup zpracoval, přezkoumal a schválil.

7.2 Vlastní obsah protokolu

Ve vlastním obsahu je úvod, který popisuje, pro jaké úkony je postup určen, princip měření a zajištění metrologické návaznosti. Dále jsou v protokolu uvedena potřebná oprávnění a předpisy. Popsáno je i použité zařízení a potřebné pomůcky. Následuje popis pracovního postupu, který obsahuje obecný návod pro operátora a podmínky, za kterých má měření probíhat. Nakonec jsou uvedeny nejistoty měření a jejich příspěvky k celkové nejistotě měření.

7.2.1 Úvod zkušební postupu

V úvodu je vysvětleno, na jaké úkony se postup vztahuje a na které výrobky se dá aplikovat. Následuje popis principu zkoušení s použitím souřadnicového měřicího stroje a softwaru Calypso. Poslední částí úvodu je prohlášení o metrologické návaznosti stroje, která je doložena kalibračním listem uvedeným v příloze 5. Pro tento zkušební postup byl navrhnut úvod a princip a předepsána metrologická návaznost v následujícím znění:

- **Úvod**

Tento metodický postup je vhodný pro:

- Zkoušení výrobků pro zkušební laboratoře a průmyslové podniky.
- Měření sérií součástí, měření podle CAD modelu.
- Měření dle výkresové dokumentace.

Tato metoda je obecně aplikovatelná na celou řadu běžně používaných výrobků např. obrobky, výlisky, svařence a další tvarově složité součásti.

- **Princip**

Zkoušení s použitím souřadnicového měřicího stroje se provádí tak, že jsou nasnímány měřicí body na povrchu měřeného výrobku. Snímání je provedeno pomocí dotykového snímacího systému, který je osazen měřicí sondou s kulovým hrotem. Následně jsou souřadnice naměřených bodů přeneseny do výpočetního softwaru (Calypso), který je dále zpracovává a vyhodnocuje. Vyhodnocení probíhá buď přímým porovnáním naměřených bodů s CAD daty nebo pomocí tvorby základních geometrických prvků a jejich vztahů.

- **Metrologická návaznost**

Metrologická návaznost je zajištěna kalibrací stroje pomocí délkových etalonů, v souladu s normami ISO 10360 nebo VDI 2617, s prokazatelnou návazností.

7.2.2 Oprávnění

Musí být jasně definováno, kdo může provádět tento zkušební postup. V tomto případě jsou to zaměstnanci ČMI, kteří jsou proškoleni firmou Zeiss k obsluze stroje UPCM Zeiss 850. Ve zkušebním postupu je toto oprávnění definováno následovně:

Toto zkoušení mohou provádět pracovníci akreditované laboratoře za dodržení podmínek daných akreditací.

7.2.3 Související předpisy

Jelikož ČMI již vlastní podobné stroje, je možné se vycházet z již zavedených postupů. V tomto případě to mohou být části manuálu pro stroj SIP CMM5 a pro stroj Zeiss XENOS. Ve zkušebním postupu je tato kapitola formulována takto:

Detailní postupy, možnosti a kombinace jsou součástí manuálu č. 815-TD-0027-02 pro stroj SIP CMM5 a manuálu č. 8015-TD-0001-18 pro stroj Zeiss XENOS, „Kuchařka pro souřadnicovou měřicí techniku“

Konkrétní strategie při každém druhu měření musí být vytvářena v souladu s technickou dokumentací předanou zákazníkem a dle jeho individuálních požadavků.

7.2.4 Zařízení a pomůcky

V této podkapitole jsou shrnuty přístroje a pomůcky, které jsou potřebné nejen k provedení měření, ale i k ustavení výrobku a jeho očištění. Kapitola je popsána následující větou:

Souřadnicový měřicí stroj a příslušenství, sada měřících dotyků, přípravky k upnutí a očištění.

7.2.5 Vlastní pracovní postup

Do této podkapitoly spadá metodika měření (návod pro operátor), která je navržena pro obecný tvar výrobku. Dále jsou zde definovány požadavky na teplotu okolí a stabilizaci zkoušených výrobku. Jako poslední jsou zde uvedena potřebná konfigurace měřicí soustavy způsob zpracování a uvedení výsledků a způsob validace postupu. Kapitola je v postupu uvedena v následujícím znění:

Metodika měření je závislá na druhu měřeného objektu. Obecně ji lze formulovat v následujících krocích:

1. Upnutí měřeného objektu.
2. Očištění měřených povrchů.
3. Instalace materiálových čidel teploty na povrch.
4. Sestavení a kvalifikace vhodné sestavy měřicích dotyků.
5. Teplotní stabilizace měřeného objektu.
6. Definice výchozího souřadnicového systému. Musí být provedeno v souladu s výkresovou dokumentací nebo s požadavky zákazníka.
7. Měření požadovaných geometrických elementů, vždy takovým množstvím měřicích bodů, který rovnoměrně pokryje měřený element a zároveň minimalizuje případný vliv kvality povrchu na výsledek měření.
8. Výpočet vzájemných geometrických závislostí naměřených elementů definovaných výkresovou dokumentací.
9. Vynesení naměřených hodnot do grafického zobrazení výsledku měření, nebo export textových dat pro přípravu kalibračního listu případně pro statistickou analýzu více měření.

- **Požadavky na prostředí při měření**

Teplota – pro provádění zkoušení výrobků je třeba dodržet teplotu prostředí $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ s teplotním gradientem v čase nejvíce $0,5^{\circ}\text{C}/\text{hod}$.

- **Požadavky na stabilizaci zkoušených výrobků před měřením**

Výrobky by měly mít stejnou teplotu jako stroj, proto je třeba, aby byly v laboratoři dostatečně dlouho (ideálně přes noc). Tím se vyloučí vliv rozdílu teplot na měření. Odchylka teploty od 20°C by měla být minimální.

- **Konfigurace měřicí sestavy**

Měřicí stroj Zeiss UPCM, sestava měřicích sond pro konkrétní případ, výpočetní software Calypso, integrovaný teploměr.

- **Popis činností při měření**

Popis činnosti je obecně popsán v úvodu ke kapitole 5.

- **Způsob zpracování naměřených údajů do výsledků měření**

Zpracování výsledků zkoušení probíhá v softwaru Calypso. Přenos do zkušebního protokolu je zajištěn elektronickou cestou přes lokální počítačovou síť.

- **Validace postupu**

Postup byl validován mezinárodními porovnáními s vyhovujícím výsledkem.

7.3 Nejistoty měření

Poslední kapitolou jsou nejistoty měření a jejich příspěvky, detailně jsou nejistoty rozvedeny V kapitole 6. Tento výčet umožní pracovníkovi lépe chápat zdroje nejistot, které se vyskytují při měření. Ve zkušebním postupu budou formulovány pouze bilanční tabulkou s popisem jednotlivých nejistot. Návrh bilanční tabulky pro $L = 0,15$ je uveden níže:

Veličina	Odhad [μm]	Standartní nejistota	Rozdělení	Citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě [μm]
u_{ks}	0,1	0,08 μm	norm.	1	0,08
u_E	0,5	0,625 μm	norm.	1	0,625
u_D	0,06	0,057735 μm	rovn.	1	0,057735
u_p	0,06	0,057735 μm	rovn.	1	0,057735
u_{kk}	0,12	0,11547 μm	rovn.	1	0,11547
$u_{\Delta T}$	0,2	0,11547 $^{\circ}\text{C}$	rovn.	1,725 $\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$	0,199186
$u_{\Delta 20}$	0,6	0,99593 $\mu\text{m}/\text{m}$	rovn.	0,15 m	0,575
Výsledná nejistota měření					1,78

kde: u_{ks} – nejistota kalibrace měřicího přístroje,

u_E – vliv měřeného objektu,

u_D – vliv kalibrace doteku pomocí referenční koule

u_p – vliv rozlišovací schopnosti stroje,

u_{kk} – nejistota kalibrační koule,

$u_{\Delta T}$ – vliv rozdílu teplot CCM a měřeného předmětu,

$u_{\Delta 20}$ – vliv rozdílu teploty od 20 $^{\circ}\text{C}$.

7.4 Závěrečné ustanovení

V závěrečném ustanovení je vymezeno, komu je postup určen a pro koho je závazný. Znění závěrečného ustanovení je následující:

Tento pracovní postup je závazný pro všechny pracovníky zkušební laboratoře. Vedoucí každé laboratoře je povinen prokazatelně seznámit se zněním tohoto pracovního postupu všechny současné i nově nastupující pracovníky.

Tento pracovní postup musí být neustále k dispozici každému pracovníkovi laboratoři.

8 VYHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Tato diplomová práce se zabývá problematikou návrhu interní metodiky pro měření výrobků a dílů na přístroji CMM UPMC Zeiss na pracovišti ČMI. V rámci této práce bylo v souladu s cíli provedeno zhodnocení současného stavu v oblasti přesného měření na CMM, byl popsán stroj UPCM 850 CARAT, byly definovány požadavky na zkušební laboratoř dle normy ČSN EN ISO 17 025:2018, následně byly definovány zdroje nejistot a určena celková nejistota při měření na tomto konkrétním stroji a na závěr byl vypracován návrh zkušebního postupu pro UPCM 850 CARAT.

Pro tři vybrané délky byly zpracovány koláčové grafy (obr. 38, 39, 40), které umožňují lepší orientaci při vyhodnocování jednotlivých vlivů působících na rozšířenou nejistotu měření na přístroji UPCM 850 CARAT. Je-li zjištěno, která složka má největší vliv na velikost nejistoty, je možné se zaměřit na eliminaci této složky a tím snížit celkovou nejistotu měření.

Z grafu (obr. 38) je patrné, že pro $L = 0,15$ m ($U = 1,78$ μm) má největší podíl na celkové nejistotě vliv měřeného objektu (37 %) a vliv odchylky od 20 °C (34 %). Pro snížení nejistoty měření by se tedy měly eliminovat tyto dva vlivy. Vliv měřeného objektu se nedá dost dobře eliminovat, protože je dán vlastnostmi měřeného předmětu. Proto je nutné se zaměřit na teplotní podmínky v laboratoři. Snížením rozdílu teplot z 1 °C na 0,5 °C by se podíl tohoto vlivu snížil na 20 % a celková nejistota by byla 1,47 μm . Naproti tomu vliv rozlišitelnosti měřítka stroje či vliv kalibrace doteku mají tak malý příspěvek, že by se jejich eliminace na celkové nejistotě téměř neprojevila.

Další grafické znázornění (obr. 39) bylo vytvořeno pro měřenou délku $L = 1$ m ($U = 9,82$ μm). V tomto případě je rozložení podílu podobné, jako u $L = 0,15$ m. Nejvýznamnější složkou je vliv odchylky od teploty 20 °C (46 %) a za ním vliv měřeného objektu (33 %). V tomto případě by se snížením rozdílu teplot na 0,5 °C dosáhlo snížení podílu na 30 % a výsledná nejistota by se z 9,82 μm snížila na 7,24 μm . Jako nevýznamné se v tomto případě jeví vlivy kalibrace doteku (1 %), rozlišitelnost měřítka (1 %), nejistota kalibrační koule (1 %) a nejistota kalibrace CMM (3 %).

Poslední graf je vytvořen pro $L = 0,001$ m (obr. 40). Na rozdíl od předchozích dvou případů je zde téměř nulový příspěvek vlivu teploty (jak rozdílu teplot mezi CMM a měřeným předmětem, tak odchylky od 20 °C). Nejvýznamnější složkou je vliv měřeného objektu (47 %). Mezi další složky, které významně ovlivňují nejistotu měření patří vliv nejistoty kalibrační koule (21 %), vliv kalibrace doteku (11 %), vliv rozlišitelnosti měřítka (11 %) a vliv nejistoty kalibrace CMM (9 %). Vliv nejistoty kalibrační koule se dá snížit požitím přesnější kalibrační koule, ale s přihlédnutím k velikosti výsledné nejistoty ($U = 0,59$ μm) a k nákladům na pořízení přesnější kalibrační koule, by bylo toto řešení ekonomicky náročné a nevýhodné.

9 ZÁVĚRY

Tato diplomová práce se zaměřuje na vytvoření návrhu interní metodiky pro měření výrobků a dílů na přístroji CMM UPMC Zeiss na pracovišti ČMI. V práci je představen a popsán souřadnicový měřicí stroj Zeiss UPCM 850 CARAT S-ACC, který rozšířil rodinu měřících strojů na Oddělení primární nanometrologie a technické délky 6014 na ČMI v Brně. Dále jsou v práci shrnuty požadavky na zkušební laboratoře dle normy ČSN EN ISO/IEC 17025 a zpracován návrh zkušebního postupu pro výše uvedený přístroj, včetně stanovení nejistot měření.

Prvním cílem této práce bylo popsání současného stavu na poli přesného měření na CMM, jeho zpracování je v kapitole 3. Na začátku této kapitoly jsou definovány metrologické pojmy související s chybami a nejistotami měření. Další část této kapitoly je zaměřena na legislativu a je v ní popsán zákon o metrologii a národní metrologický systém České republiky. Poslední část kapitoly 3 se týká souřadnicových měřících strojů. Jejím obsahem je popis jednotlivých částí CMM a rozdělení souřadnicových měřících strojů dle normy ČSN EN ISO 10360-1, kapitola také popisuje způsob provádění kalibrace CMM, včetně zhodnocení přesnosti a popisu chyb snímání těchto strojů.

Druhým cílem byl detailní popis přístroje Zeiss UPCM 850 CARAT S-ACC. Tento cíl byl zpracován v kapitole 4. V úvodu kapitoly je krátce představena firma Zeiss a její historie. V následující části jsou popsány technické parametry přístroje, včetně schématických nákrešů a reálných fotografií stroje. Dále je v kapitole rozebrána přesnost stroje a software používaný při měření.

Třetím cílem bylo shrnutí požadavků na zkušební laboratoř. Tyto požadavky vycházely převážně z normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 a jsou uvedeny v kapitole 5. Kapitola je koncipována tak, že jsou vždy nejprve uvedeny obecné požadavky normy, týkající se určité problematiky a poté je popsáno, jak jsou tyto požadavky plněny ve zkušební laboratoři spadající pod Český metrologický institut. V rámci této kapitoly byly shrnuty například požadavky na strukturu, pracovníky, vybavení, prostory, technické záznamy, management atd. Požadavky uvedené v této kapitole musí splňovat každá akreditovaná zkušební laboratoř.

Čtvrtým cílem bylo stanovení nejistot měření při provádění zkoušek na přístroji Zeiss UPCM 850 CARAT S-ACC. Tento úkol je zpracován v kapitole 6. Hlavní náplní této kapitoly je podrobná analýza nejistot měření na výše uvedeném CMM, stanovení podstatných zdrojů nejistot, které mají vliv na výslednou nejistotu měření a praktický příklad výpočtu nejistoty měření pro měřenou délku $L = 0,15$ m. Stanoveno bylo celkem 7 složek přispívajících k výsledné nejistotě měření. Rozšířená nejistota měření je pro výše uvedenou délku $1,78 \mu\text{m}$. Pro větší přehlednost byl ze složek nejistoty vytvořen koláčový graf, který jasně ukázal, že největší podíl na celkové nejistotě má vliv měřeného objektu (37 %) a vliv odchylky teploty v laboratoři od $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (34 %). Naopak nejmenší je vliv rozlišitelnosti měřítka stroje (3 %) a vliv kalibrace doteku (3 %). Pro snížení nejistoty měření by se obsluha stroje měla zaměřit na vlivy,

které nejvíce přispívají k nejistotě měření. V tomto případě je nutné zajistit, aby byl minimální teplotní rozdíl mezi reálnou teplotou v laboratoři a teplotou + 20 °C.

Pátým cílem předložené diplomové práce bylo vytvoření zkušebního postupu. Jednotlivé části zkušebního postupu jsou okomentovány v kapitole 7. Kompletní postup je uveden v příloze 5 a obsahuje všechny kroky, podmínky a okolnosti, které musí být zajištěny, pro uspokojivý výsledek měření. V úvodní části je popsán princip měření a zajištění metrologické návaznosti, dále je zde uveden popis zařízení a pomůcek, popis pracovního postupu a podmínky, za kterých má měření probíhat. V poslední části jsou uvedeny nejistoty, které byly stanoveny v kapitole 6.

Šestáým cílem bylo zhodnocení dosažených výsledků. Tento cíl byl splněn v kapitole 8. V tomto úkolu byly porovnány složky nejistot dalších dvou délek (1 m a 0,001 m). Bylo zjištěno že při měření malých délek (do 10 mm) má významný podíl na velikosti nejistoty vliv nejistoty kalibrační koule, rozlišitelnost měřitek stroje nebo kalibrace dotyku. Naopak pro větší délky je rozhodujícím vlivem teplota. Z toho vyplývá, že v praxi je důležité nejprve zjistit podíl jednotlivých složek na výsledné nejistotě měření a poté se pokusit eliminovat složky, které významně ovlivňují tuto nejistotu. V případě, že je významnou složkou vliv odchylky teploty od 20 °C, doporučuje autorka udržování konstantní teploty v laboratoři co nejbližší této hodnotě. Konstantní teploty se dá dosáhnout použitím klimatizačního systému s plynulým prouděním vzduchu, omezením větrání a omezením počtu pracovníků v laboratoři. Jestliže je významnou složkou teplotní rozdíl mezi měřeným objektem a CMM. Rozdíl lze snížit například ponecháním měřeného předmětu v laboratoři minimálně 12 hodin před měřením.

Diplomová práce může sloužit jako zdroj informací pro zájemce o metrologii, kterým může pomoci lépe pochopit problematiku stanovování nejistot měření na CMM. Využití může dále najít ve zkušební laboratoři Českého metrologického institutu, kde by mohl být použit vytvořený zkušební postup.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Souřadnicové měřicí stroje* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <http://www.ksa.tul.cz/getFile/id:2522>
- [2] *Historie firmy Zeiss* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/metrologie/o-nas/historie.html>
- [3] *Přístroj Zeiss Prismo. ZEISS* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/systemy/bridge-type-cmms/prismo.html>
- [4] *Přístroj Zeiss Pro. ZEISS* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/systemy/merici-stroje-s-horizontalnim-ramenem.html>
- [5] *Přístroj Zeiss Rondcom 31. ZEISS* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.zeiss.com/metrology/products/systems/form-and-surface/form-testers/combined-measuring-instruments.html>
- [6] TNI 01 0115:2009. *Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 90 stran. Třídící znak 83031.
- [7] PETŘKOVSKÁ, Lenka a Lenka ČEPOVÁ. 2011. *Strojírenská metrologie: studijní opora "Strojírenská metrologie"*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [8] *Metrologie v kostce* [online]. 2009. Třetí upravené a doplněné vydání. Praha. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: https://www.cmi.cz/sites/all/files/public/download/2400-ID-C_ZVE%C5%98EJN%C4%9ANO.pdf
- [9] Zákon č. 505/1990 Sb. *Zákon o metrologii*. Praha: Federální shromáždění České a Slovenské Federativní Republiky, 1990.
- [10] JANKOVÝCH, Róbert. *Principy metrologie*. Vysoké učení technické Brno - Fakulta strojírenské technologie.
- [11] ČEPOVÁ, Lenka a Lenka PETŘKOVSKÁ. 2011. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch: studijní opora*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 125 s
- [12] NENÁHLO, Čeněk. 2011. *Souřadnicová měřicí technika*. MM Průmyslové spektrum, rubrika Trendy / Měření, Strana 42, březen 2011 [online]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/souradnicova-merici-technika.html>
- [13] *A brief history of CMM technology* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://status-cmm.co.uk/blog/a-brief-history-of-cmm-technology/>
- [14] *A history of CMMS* [online]. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <https://www.cequalitysolutions.com/2019/08/22/a-history-of-cmms/>

- [15] ČSN EN ISO 10360-1. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM) - Část 1: Slovník* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2001. 44 s. Třídící znak 252011.
- [16] TICHÁ, Šárka. 2004. *Strojírenská metrologie*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita.
- [17] ŠRÁMEK, Jan. *Stanovení přesnosti měření v nanometrologii* [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/184092>. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Róbert Jankových.
- [18] PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav POSPÍŠIL. Stanovení přesnosti měření v inženýrské praxi. *Metrologie*, 2015, č. 4, s. 12-18. ISSN 1210-3543.
- [19] SKOPAL, Miroslav a Alois FIALA. *Kalibrace a přesnost měření*. [online]. MM Průmyslové spektrum, rubrika Výroba / Metrologie, strana 56, listopad 2011. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/kalibrace-a-presnost-mereni.html>
- [20] JANKOVÝCH, Róbert. *Statistické nástroje v metrologii*. Vysoké učení technické Brno - Fakulta strojírenské technologie.
- [21] SENFT, Václav. *Analytické vlastnosti metod*. [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/11240670/>
- [22] Přístroj Zeiss Accura. *ZEISS* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.zeiss.com/metrology/products/systems/coordinate-measuring-machines/bridge-type-cmms/accura.html>
- [23] Přístroj Zeiss Micura. *ZEISS* [online]. [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.zeiss.com/metrology/products/systems/coordinate-measuring-machines/bridge-type-cmms/micura.html>
- [24] SKOPAL, Miroslav a Alois FIALA. *Kalibrace a zkouška souřadnicových měřicích strojů*. Vysoké učení technické Brno - Fakulta strojírenské technologie
- [25] Chyby měření. *HOMEL.VSB* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=chyby>
- [26] Specifications and Performance Features. *ATECHAUTHORITY* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.atechauthority.com/pdf/UPMC-Specs.pdf>
- [27] ČSN EN ISO 17025:2018. *Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. 48 stran. Třídící znak 015253.
- [28] *Mezilaboratorní porovnání (MPZ)*. [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: https://www.cmi.cz/mezilaboratorni_porovnani
- [29] Oficiální stránky ČMI [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/>

- [30] JANKOVÝCH, Róbert. *Metrologie kruhovitosti*. Vysoké učení technické Brno - Fakulta strojírenské technologie.
- [31] *Calypso Software pro snadné programování měření součástí* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <http://web.tuke.sk/smetrologia/prospekty/calypso.pdf>
- [32] Organizační schéma OI ČMI Brno. *CMI* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/sites/all/files/public/orgschema/OrgSchemaCS.html>
- [33] *Osvědčení o akreditaci* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: https://www.cmi.cz/sites/all/files/public/download/394_2018_Osvedceni%20o%20a%20akreditaci_COP.pdf
- [34] EA 4/02:2013. *Vyjadřování nejistot měření při kalibracích (Expressions of the Uncertainty of Measurements in Calibration (previously EAL- R2)*, DEC 1999). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. 74 stran.
- [35] *Dokumenty a informace z ČMI poskytnuté panem Ing. Janem Šrámkem Ph.D.*
- [36] CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info> Bibliografické citace dokumentu podle CSN ISO 690 a CSN ISO 690

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda
3D	trojdimenzionální,
°C	stupeň Celsia,
°K	stupeň Kelvina,
α	koeficient tepelné roztažnosti,
α_A	průměrná hodnota koeficientu tepelné roztažnosti stroje a objektu,
Δt_{20}	odchylka od teploty 20 °C,
Δz_{maxj}	rozsah odchylek,
μm	mikrometr,
χ	koeficient plynoucí z rozdělení pravděpodobnosti,
$\varphi_{xy}, \varphi_{yz}$ a φ_{zx}	chyby pravouhlosti vedení,
A	kladná konstanta v mikrometrech udávaná výrobcem,
a	experimentálně zjištěný koeficient,
AMS	autorizovaná metrologická střediska,
b	experimentálně zjištěný koeficient,
c_j	koeficient citlivosti,
CAD	Computer Aided Design,
CMM	Coordinate Measuring Machines,
ČIA	Český institut pro akreditaci,
ČMI	Český metrologický institut,
ČSN	Česká technická norma,
EN	Evropská norma,
i	číslo měření,
ISČMI	informačního systému ČMI,
ISO	International Organization for Standardization,
K	bezrozměrná kladná konstanta udávaná výrobcem,
k_s	koeficient rozšíření,
L	měřená délka,
L_{xx}	funkce nelinearity měřítka,
LPM	Laboratoř primární metrologie,
m	metr,

mm	milimetr,
MPE _E	Největší dovolená chyba při měření rozměru,
MPE _P	Největší dovolená chyba snímání,
MPE _{RONt(MZCI)}	Největší dovolená chyba při měření kruhovitosti,
MPE _{THP}	Největší dovolená chyba kontaktního snímání,
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu,
MZCI	referenční kružnice minimální zóny,
<i>n</i>	počet měření,
NMS	Národní metrologický systém,
OI	Oblastní inspektorát,
<i>R</i>	rozlišovací schopnost přístroje,
R_{xx} , R_{yy} a R_{xz}	funkce pro rotační chyby,
$s_{\bar{y}}$	výběrová směrodatná odchylka,
SI	Mezinárodní soustava jednotek,
SMS	Souřadnicové měřicí stroje,
sw	software,
T_{xy} a T_{xz}	translační chyby,
t_1	teplota měřeného objektu,
t_2	teplota CMM,
<i>U</i>	rozšířená nejistota měřené veličiny,
$u_{\Delta 20}$	nejistota vlivu rozdílu teploty od 20 °C,
$u_{\Delta T}$	nejistota vlivu vliv rozdílu teplot CCM a měřeného předmětu,
u_A	standardní nejistota typu A,
u_B	standardní nejistota typu B,
u_C	kombinovaná standardní nejistota,
u_D	nejistota vlivu kalibrace doteku pomocí referenční koule,
u_E	nejistota vlivu měřeného objektu,
u_{kk}	nejistota kalibrační koule,
U_{koule}	nejistota kalibrační koule z kalibračního listu,
u_{ks}	nejistota kalibrace měřícího přístroje,
u_p	nejistota vlivu rozlišovací schopnosti stroje,
U_{rk}	nejistota referenční koule,
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví,

VIM	Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny,
VOJ	Vnitro-organizační jednotka,
Y	měřená veličina,
y	odhad měřené veličiny,
\bar{y}	výběrový průměr,
y_i	i-tá hodnota měřené veličiny y ,
Z_j	zdroje nejistot.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady CMM, ZEISS ACCURA a ZEISS MICURA [22], [23].....	15
Obr. 2 Vztah mezi správností, precizností a přesností [21]	20
Obr. 3 Rozdělení chyb měření [25].....	21
Obr. 4 Schéma určení nejistoty měření [7]	22
Obr. 5 Řetězec metrologické návaznosti [8].....	25
Obr. 6 Národní metrologický systém ČR [8].....	26
Obr. 7 Typy CMM podle konstrukce: a) jednosouřadnicový CMM (délkoměr), b) dvousouřadnicový CMM (měřicí mikroskop), c) třísouřadnicový CMM [11].....	30
Obr. 8 Portálový CMM: a) pohyblivý portál-pevný stůl, b) pevný portál-pohyblivý stůl [11]	31
Obr. 9 Typy rozdělení CMM: a) stojanový typ, b) výložníkový typ, c) portálový typ, d) mostový typ [11].....	31
Obr. 10 Snímací hlavice: a) pevná snímací hlavice, b) indexovatelná snímací hlavice c) manuální hlavice [11]	32
Obr. 11 Rozměry doteku [11]	32
Obr. 12 Základní typy dotyků: a) přímý dotyk, b) hvězdicový dotyk, c) diskový dotyk [11].	33
Obr. 13 Dotyky pro speciální účely: a) válcový dotyk, b) špička c) dutá keramická polokoule, d) dotyk na ustavení nástrojů [11]	33
Obr. 14 Materiály kuliček: a) rubín, b) nitrid křemíku, c) oxid zirkoničitý, d) diamant [11]..	34
Obr. 15 Materiály pro stopky dotyků: a) ocel, b) karbid wolframu, c) keramika, d) uhlíková vlákna [11]	34
Obr. 16 Příklady systémů měřících hlav: a) 2D optický kamerový, b) optický bodový, c) laserový čárový [11]	35
Obr. 17 Náhled mapy korekcí portálového CMM pro osu z včetně konstant ke korekci chyb pravoúhlosti v rovinách xy, yz a zx [19],[24].....	36
Obr. 18 Ukázka kalibrace portálového CMM pomocí koncových měrek [19]	37
Obr. 19 Zdroje chyb při měření [11].....	38
Obr. 20 Chyby vznikající při měření: a) deformace poddajných součástí, b) poddajnost povrchu součásti, c) tvarové úchylky zkoumaného povrchu [11]	38
Obr. 21 Opatření kuličky doteku: a) opotřebení dotykem, b) usazování hliníku na povrchu kuličky [11].....	38
Obr. 22 Přepočítání souřadnic ze snímaného bodu [11]	39
Obr. 23 Zobrazení možných délek a pozic při zjišťování MPE_E [26]	40
Obr. 25 Referenční kružnice minimální zóny [26]	40
Obr. 26 Zobrazení možných drah pro zjištění MPE_{THP} [26].....	40
Obr. 24 Příklad umístění bodu pro zjištění MPE_P [26].....	40
Obr. 27 ZEISS PRO [4]	41
Obr. 28 ZEISS PRISMO [3]	41
Obr. 29 RONDCOM 31 [5]	41
Obr. 30 Schématický nákres stroje [26].....	42
Obr. 31 Zeiss UPMC 850 CARAT S-ACC [35].....	42

Obr. 32 Měření vnitřního průměru nastavného kroužku [35].....	43
Obr. 33 Kalibrace snímacího systému pomocí referenční koule [35]	43
Obr. 34 Schéma měření Calypso vs konvenční software [31].....	44
Obr. 35 Příklad uživatelského prostředí Calypso [35].....	44
Obr. 36 Organizační schéma OI Brno [32].....	47
Obr. 37 Příklad zobrazení pole shody.....	54
Obr. 38 Podíl příspěvků na celkové nejistotě pro $L = 0,15$ m	64
Obr. 39 Podíl příspěvků na celkové nejistotě pro $L = 1$ m	65
Obr. 40 Podíl příspěvků na celkové nejistotě pro $L = 0,001$ m	65

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1) Hodnota koeficientu k_s v závislosti na počtu měření [20]	23
Tab. 4.1) Přesnost stroje [36].....	44
Tab. 7.1) Bilanční tabulka.....	63

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Organizační schéma ČMI

Příloha 2 – Kalibrační list stroje Zeiss UPCM 850 CARAT S-ACC

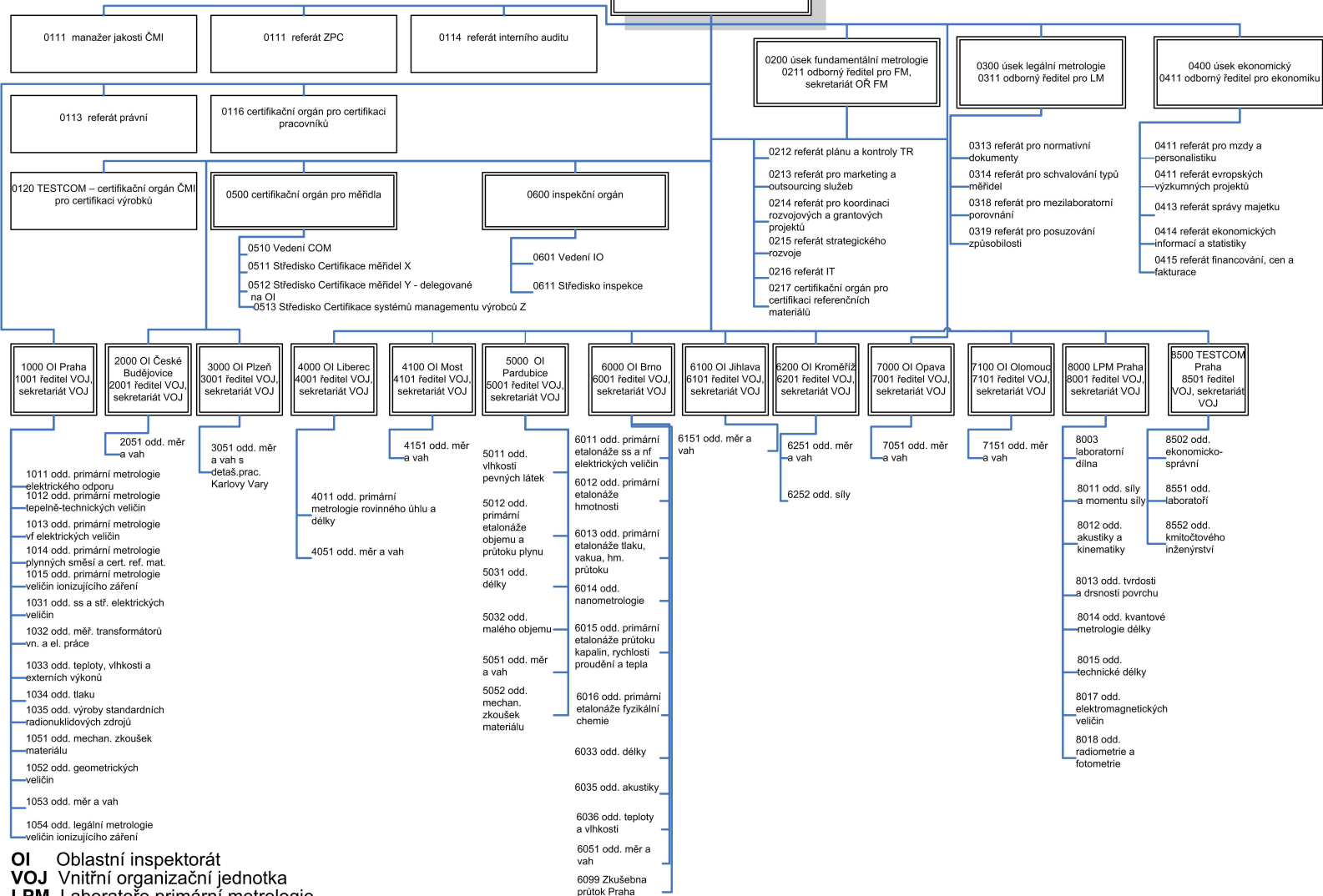
Příloha 3 – Protokol o zkoušce

Příloha 4 – Prohlášení o politice kvality ČMI

Příloha 5 – Navržený zkušební postup

Příloha 1

0100 úsek generálního ředitele
0111 generální ředitel, sekretariát GR



OI Oblastní inspektorát
VOJ Vnitřní organizační jednotka
LPM Laboratoře primární metrologie



Carl Zeiss spol. s r.o.
Kalibrační laboratoř Carl Zeiss IMT
Radlická 3201/14, Smíchov, 150 00 Praha 5

Telefon +420 221 990 404
Fax +420 221 990 409
E-mail sluzby.imt.cz@zeiss.com

Kalibrační laboratoř č. 2398 akreditovaná ČIA podle
ČSN EN ISO/IEC 17025:2005
*Calibration laboratory N. 2398 accredited by the CAI by
ČSN EN ISO/IEC 17025:2005*



Kalibrační list 81047504

Calibration certificate

Zařízení <i>Object</i>	3D souřadnicový měřicí stroj
Výrobce <i>Manufacturer</i>	Carl Zeiss
Typ <i>Type</i>	UPMC 850 CARAT
Sériové č. <i>Serial number</i>	115499
Inventární č.	
Zadavatel <i>Customer</i>	Český metrologický institut -
Zakázka č. <i>Order No.</i>	8581047504
Počet stran kalibračního listu <i>Number of pages of the certificate</i>	16
Zpracovatel <i>Person in charge</i>	Spicar
Datum kalibrace <i>Date of calibration</i>	29.04.2020

Tento kalibrační list dokumentuje návaznost na státní etalony realizující měrné jednotky v souladu s Mezinárodní soustavou jednotek (SI).

ČIA je signatářem mnohostranných dohod organizací European cooperation for Accreditation (EA - Evropská spolupráce pro akreditaci) a International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC - Mezinárodní spolupráce pro akreditaci laboratoří) o vzájemném uznávání kalibračních listů.

Uživatel zodpovídá za dodržení přiměřeného kalibračního intervalu.

This calibration certificate documents the traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

The CAI is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for Accreditation (EA) and of the international Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for the mutual recognition of calibration certificates.

The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.

Tento kalibrační list smí být reprodukován pouze v kompletní a nezměněné podobě. Výňatky nebo změny vyžadují schválení kalibrační laboratoře. Kalibrační listy bez podpisu nejsou platné. Výsledky kalibrace se vztahují pouze ke kalibrovanému zařízení.

This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature are not valid. The calibration results refer only to the calibrated device.

Datum
Date

06.05.2020

Vedoucí kalibrační laboratoře
Head of the calibration laboratory

Datum:
Petr Kafka 2020.05.06
13:43:39 +02'00'



1. Předmět kalibrace

Na souřadnicovém měřicím stroji byly zjištěny: chyba při měření délky u_1 a u_3 v souladu s kalibračním postupem KP002-ZEISS-2617.

Souřadnicový měřicí stroj měl při kalibraci následující konfiguraci:

Řízení:	C99N 115499
Snímací hlava:	MT HSS 115499
Měřicí software:	CALYPSO 6.8.
Referenční koule:	D01172-b r = 12,49976 mm
Měřicí rozsah X:	850 mm
Měřicí rozsah Y:	1200 mm
Měřicí rozsah Z:	600 mm

Kalibrovaný měřicí objem:

Směr X:	850 mm
Směr Y:	1200 mm
Směr Z:	600 mm

Souřadnicový měřicí stroj měl při kalibraci následující specifikaci:

Přípustná mezní hodnota pro chybu při měření délky u_1 (1D) je:

$$(0,40 + 1,11 \times L) \mu\text{m}$$

Přípustná mezní hodnota pro chybu při měření délky u_3 (3D) je:

$$(0,70 + 1,67 \times L) \mu\text{m}$$

Délka L uvedena ve výpočtu chyby měření délky u_1 a u_3 a ve výpočtech nejistoty kalibrace je vždy udávána v metrech.



2. Kalibrační postup

Kalibrace metrologických vlastností souřadnicového měřicího stroje byla provedena v souladu s kalibračním postupem KP002-ZEISS-2617.

Chyby při měření délky u_1 a u_3 byly určeny mechanickým snímáním na stupňových měrkách. Chyba snímání R_3 byla určena s použitím keramické kalibrační koule o průměru 25 mm.

Během měření byla aktivována teplotní kompenzace měřítek souřadnicového měřicího stroje a teplotní kompenzace součásti pro použité etalony. Pro měření teploty nezávislé na souřadnicovém měřicím stroji byl použit kalibrovaný přístroj na měření teploty.

Používané etalony jsou dokumentovány u příslušných naměřených výsledků.



3. Místo kalibrace

Kalibrace je kalibrací na místě. Souřadnicový měřicí stroj se nachází na tomto místě:

Český metrologický institut

-

4. Podmínky kalibrace

Výsledky kalibrace jsou platné v době měření. Tyto výsledky platí pouze pro dané místo instalace a pro nastavení stroje v době kalibrace.

Všechna nastavení a korekční hodnoty byly zdokumentovány a uloženy kalibrační laboratoří.

5. Podmínky okolního prostředí

Teplota okolí stroje se v průběhu kalibrace pohybovala v rozmezí 21,30°C až 21,90°C.

6. Naměřené výsledky

6.1 Chyba měření délky u

Pro určení chyb při měření délky u_1 a u_3 byly použity následující stupňové měřky:

Stupňová měřka 1:

Identifikační číslo:

PM20080176 653-06-08/00690

Kalibrační list:

20596 D-K-15007-01-00 2020-02

Nejistota kalibrace U ($k=2$):

(0,10 + 0,40 × L) μm

Koeficient tepelné roztažnosti α :

0,01 × 10⁻⁶ / K

Nejistota kalibrace teplotního koeficientu α U ($k=2$):

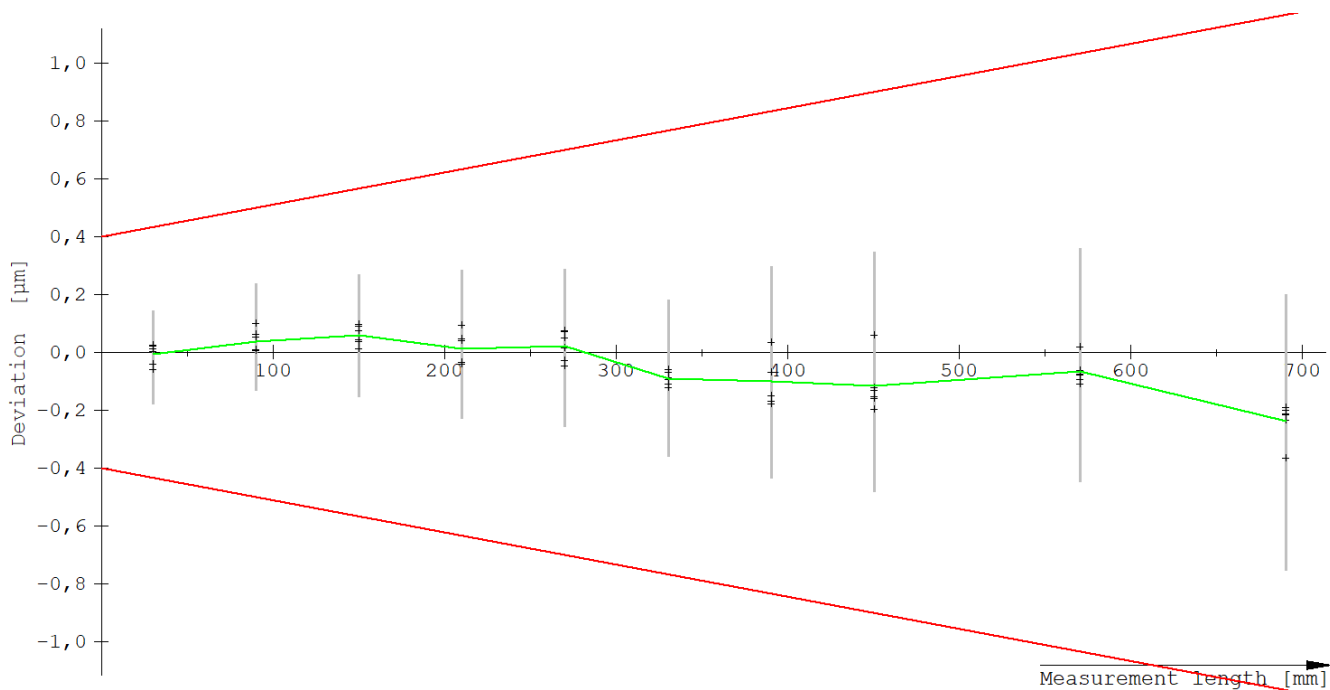
0,10 × 10⁻⁶ / K

V následujících diagramech jsou zobrazeny zjištěné chyby při měření délky u_1 a u_3 s jejich nejistotou měření a dovolenou chybou při měření délky u_1 a u_3 .

Maximální dovolená chyba stroje při měření délky u_1 a u_3 je v grafech znázorněna červenou čarou.



Chyby při měření délky u_1 a u_3 v poloze 1 (Směr X)



Nominal	Actual	Minimal	Maximal
30,0305	30,0305	30,0305	30,0306
90,0873	90,0873	90,0873	90,0874
150,1438	150,1439	150,1439	150,1439
210,2016	210,2016	210,2015	210,2017
270,2591	270,2592	270,2591	270,2592
330,3162	330,3161	330,3161	330,3162
390,3725	390,3724	390,3723	390,3726
450,4294	450,4293	450,4292	450,4295
570,5410	570,5410	570,5409	570,5410
690,6160	690,6157	690,6156	690,6158

Hodnoty v tabulce jsou uvedeny v mm.

Intervaly rozptylu centrované na bodech (sloupce) jsou intervaly nejistoty $\pm U(E)$ se získanými hodnotami chyby jako středními body.

Poloha stupňové měřky : Nul. bod: X = 51mm Y = -1060mm Z = -376mm

Teplota stupňové měřky v °C:

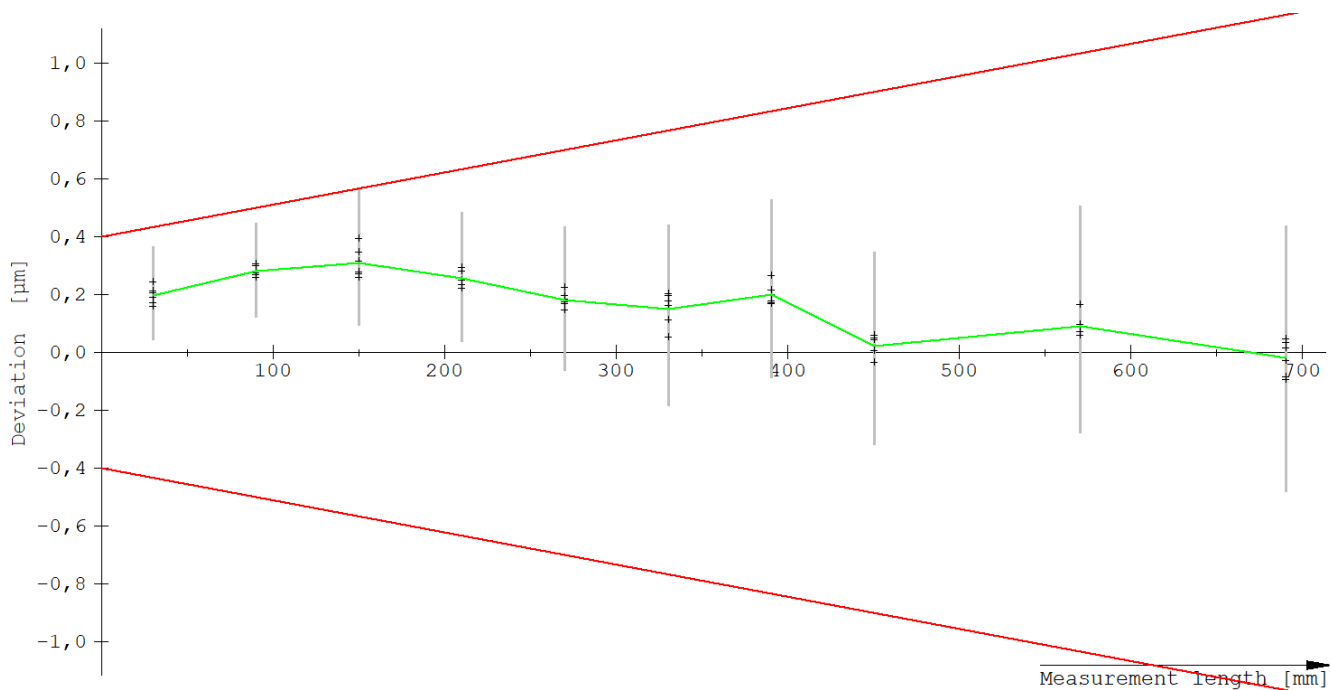
Začátek měření: 21,52 Konec měření: 21,52

Nejistota měření: $\pm (0,11 + 0,40 \times L) \mu\text{m}$





Chyby při měření délky u_1 a u_3 v poloze 2 (Směr X)



Nominal	Actual	Minimal	Maximal
30,0305	30,0307	30,0307	30,0308
90,0873	90,0876	90,0876	90,0876
150,1438	150,1442	150,1441	150,1442
210,2016	210,2018	210,2018	210,2019
270,2591	270,2593	270,2593	270,2594
330,3162	330,3164	330,3163	330,3164
390,3725	390,3727	390,3727	390,3728
450,4294	450,4295	450,4294	450,4295
570,5410	570,5411	570,5411	570,5412
690,6160	690,6160	690,6159	690,6160

Hodnoty v tabulce jsou uvedeny v mm.

Intervaly rozptylu centované na bodech (sloupce) jsou intervaly nejistoty $\pm U(E)$ se získanými hodnotami chyby jako středními body.

Poloha stupňové měřky : Nul. bod: X = 75mm Y = -971mm Z = -175mm

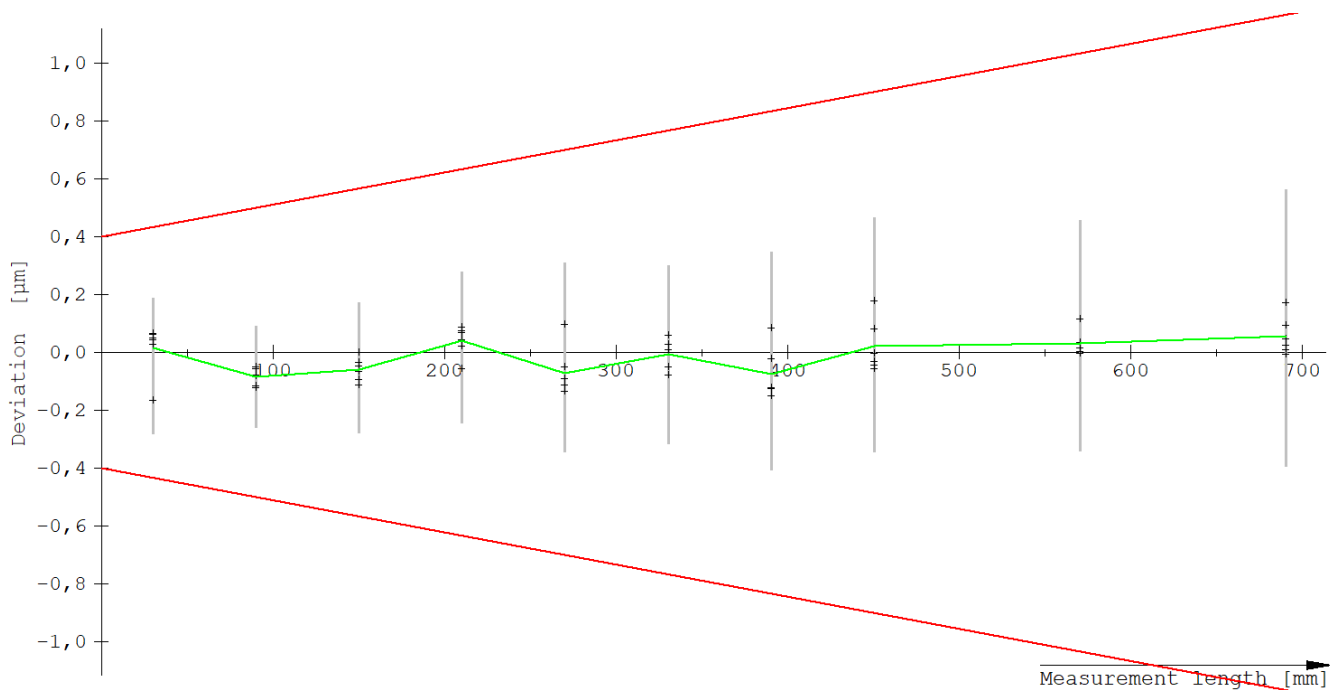
Teplota stupňové měřky v °C:

Začátek měření: 21,63 Konec měření: 21,63

Nejistota měření: $\pm (0,11 + 0,40 \times L) \mu\text{m}$



Chyby při měření délky u_1 a u_3 v poloze 3 (Směr Y)



Nominal	Actual	Minimal	Maximal
30,0305	30,0305	30,0304	30,0306
90,0873	90,0872	90,0872	90,0872
150,1438	150,1438	150,1437	150,1438
210,2016	210,2016	210,2015	210,2017
270,2591	270,2591	270,2590	270,2592
330,3162	330,3162	330,3161	330,3163
390,3725	390,3724	390,3724	390,3726
450,4294	450,4295	450,4294	450,4296
570,5410	570,5411	570,5410	570,5411
690,6160	690,6160	690,6160	690,6161

Hodnoty v tabulce jsou uvedeny v mm.

Intervaly rozptylu centované na bodech (sloupce) jsou intervaly nejistoty $\pm U(E)$ se získanými hodnotami chyby jako středními body.

Poloha stupňové měřky : Nul. bod: X = 636mm Y = -1119mm Z = -376mm

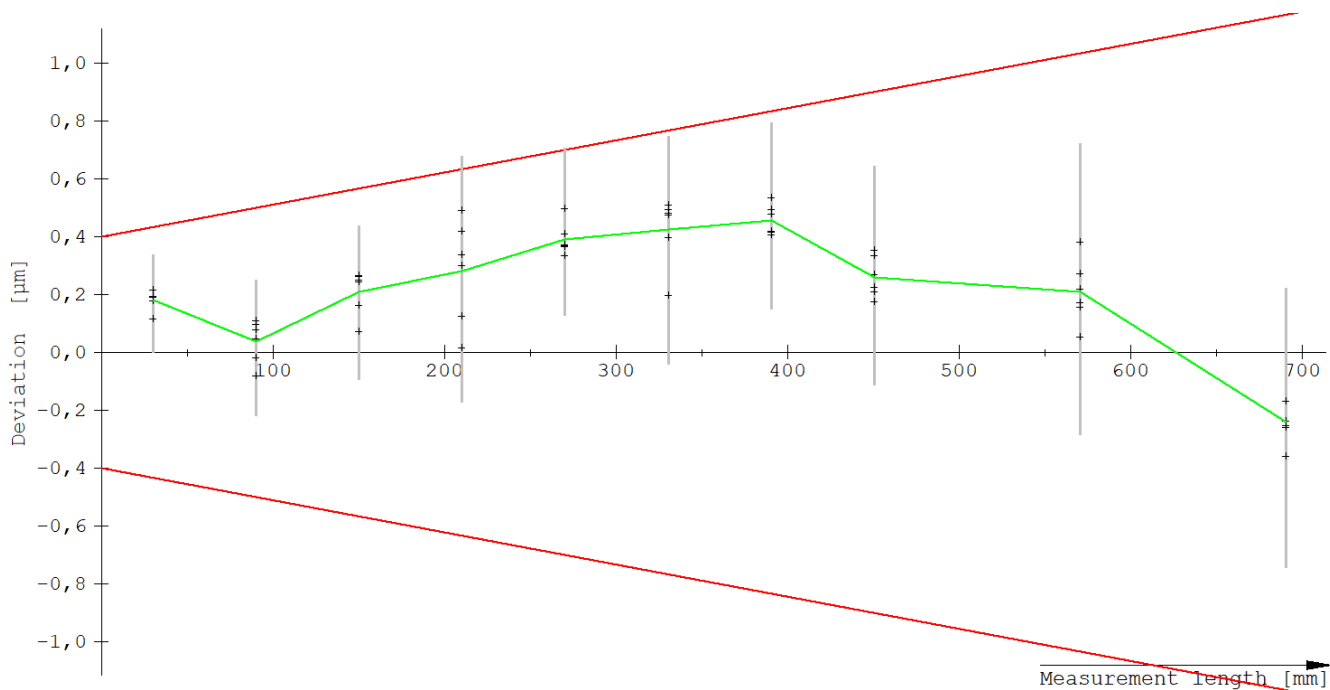
Teplota stupňové měřky v °C:

Začátek měření: 21,65 Konec měření: 21,69

Nejistota měření: $\pm (0,11 + 0,40 \times L) \mu\text{m}$



Chyby při měření délky u_1 a u_3 v poloze 4 (Směr Y)



Nominal	Actual	Minimal	Maximal
30,0305	30,0307	30,0306	30,0307
90,0873	90,0873	90,0872	90,0874
150,1438	150,1440	150,1439	150,1441
210,2016	210,2019	210,2016	210,2021
270,2591	270,2595	270,2595	270,2596
330,3162	330,3166	330,3164	330,3167
390,3725	390,3730	390,3729	390,3731
450,4294	450,4297	450,4296	450,4298
570,5410	570,5412	570,5411	570,5414
690,6160	690,6157	690,6156	690,6158

Hodnoty v tabulce jsou uvedeny v mm.

Intervaly rozptylu centované na bodech (sloupce) jsou intervaly nejistoty $\pm U(E)$ se získanými hodnotami chyby jako středními body.

Poloha stupňové měřky : Nul. bod: X = 172mm Y = -830mm Z = -175mm

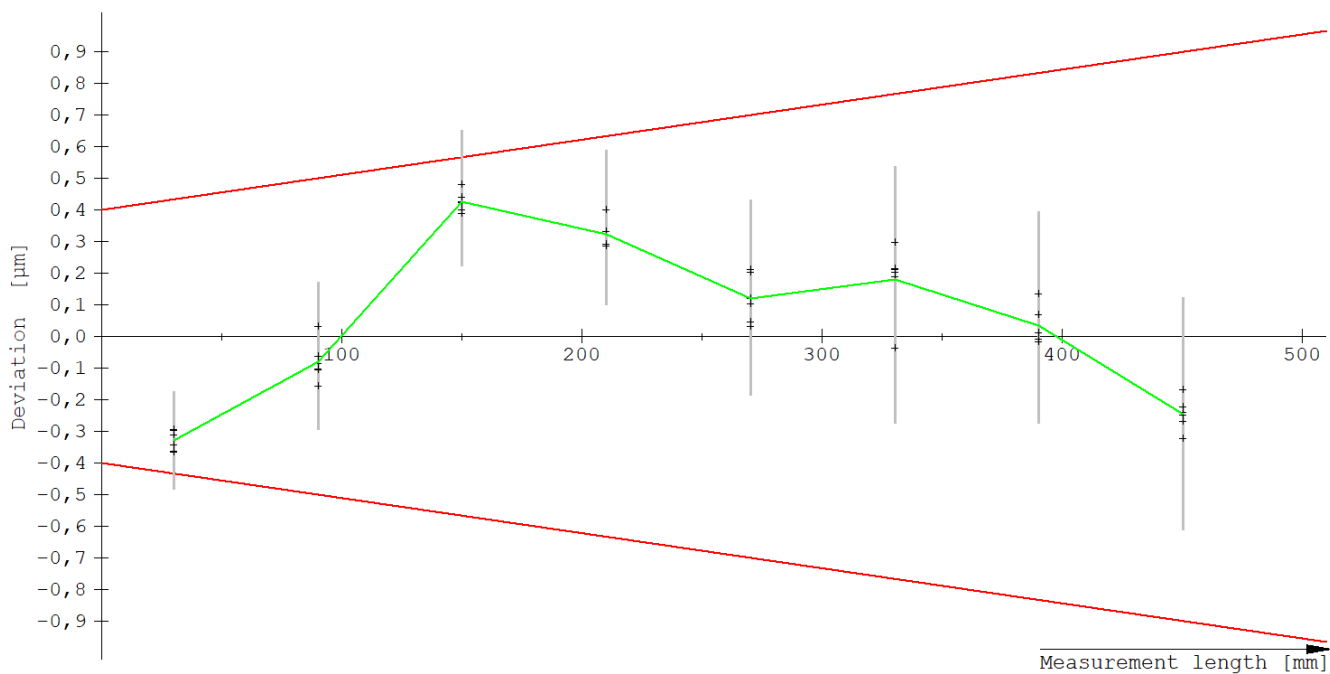
Teplota stupňové měřky v °C:

Začátek měření: 21,67 Konec měření: 21,69

Nejistota měření: $\pm (0,11 + 0,40 \times L) \mu\text{m}$



Chyby při měření délky u_1 a u_3 v poloze 5 (Směr Z)



Nominal	Actual	Minimal	Maximal
30,0305	30,0302	30,0302	30,0302
90,0873	90,0872	90,0871	90,0873
150,1438	150,1443	150,1442	150,1443
210,2016	210,2019	210,2019	210,2020
270,2591	270,2593	270,2592	270,2594
330,3162	330,3164	330,3162	330,3165
390,3725	390,3726	390,3725	390,3727
450,4294	450,4292	450,4291	450,4293

Hodnoty v tabulce jsou uvedeny v mm.

Intervaly rozptylu centrované na bodech (sloupce) jsou intervaly nejistoty $\pm U (E)$ se získanými hodnotami chyby jako středními body.

Poloha stupňové měrky : Nul. bod: X = 209mm Y = -920mm Z = -450mm

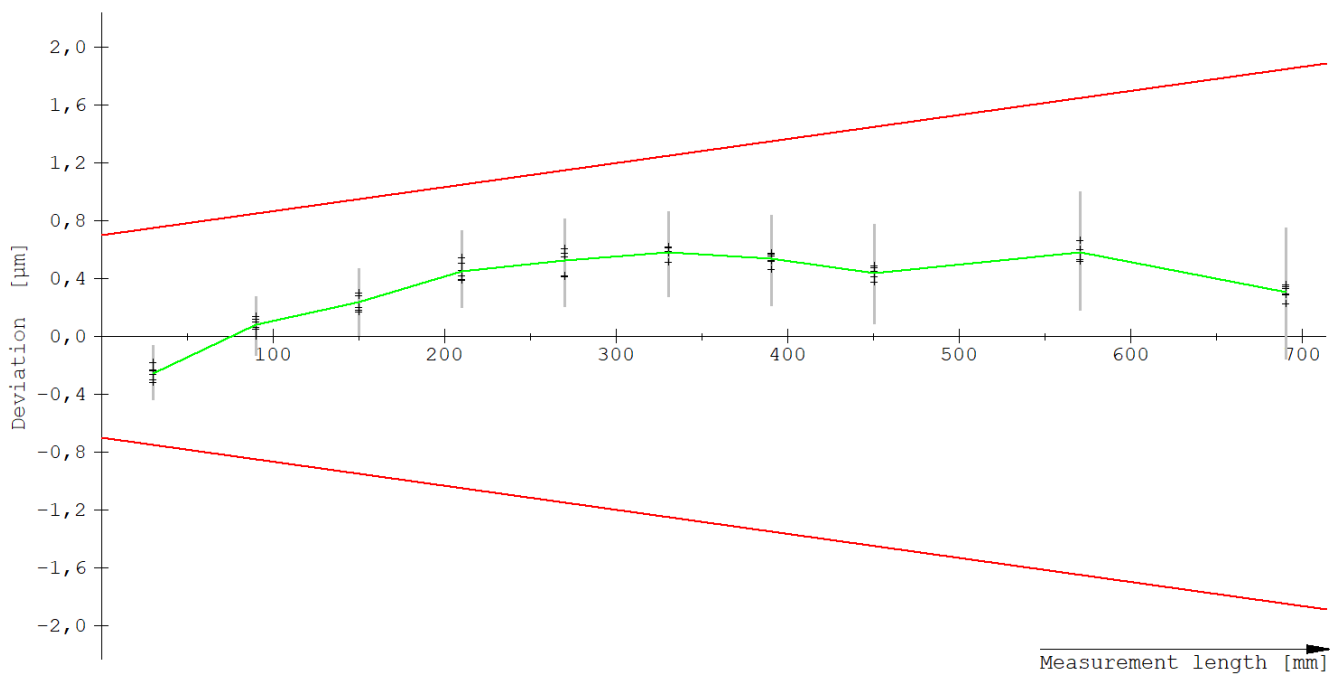
Teplota stupňové měrky v °C:

Začátek měření: 21,86 Konec měření: 21,85

Nejistota měření: $\pm (0,11 + 0,40 \times L) \mu\text{m}$



Chyby při měření délky u_1 a u_3 v poloze 6 (R3D směr PL)



Nominal	Actual	Minimal	Maximal
30,0305	30,0303	30,0302	30,0303
90,0873	90,0874	90,0873	90,0874
150,1438	150,1441	150,1440	150,1441
210,2016	210,2020	210,2020	210,2021
270,2591	270,2597	270,2596	270,2598
330,3162	330,3168	330,3167	330,3168
390,3725	390,3731	390,3730	390,3731
450,4294	450,4299	450,4298	450,4299
570,5410	570,5416	570,5415	570,5417
690,6160	690,6163	690,6162	690,6163

Hodnoty v tabulce jsou uvedeny v mm.

Intervaly rozptylu centované na bodech (sloupce) jsou intervaly nejistoty $\pm U(E)$ se získanými hodnotami chyby jako středními body.

Poloha stupňové měřky : Nul. bod: X = 157mm Y = -1138mm Z = -384mm

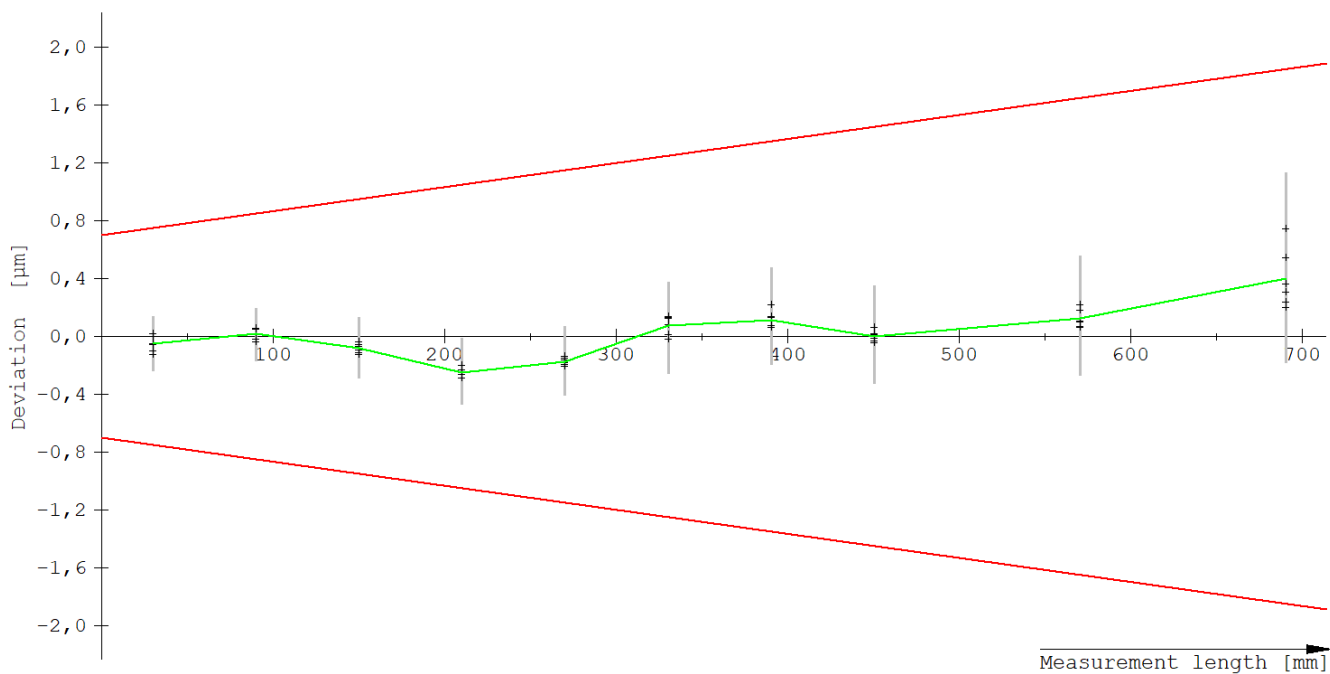
Teplota stupňové měřky v °C:

Začátek měření: 21,71 Konec měření: 21,72

Nejistota měření: $\pm (0,11 + 0,40 \times L) \mu\text{m}$



Chyby při měření délky u_1 a u_3 v poloze 7 (R3D směr PP)



Nominal	Actual	Minimal	Maximal
30,0305	30,0305	30,0304	30,0305
90,0873	90,0873	90,0873	90,0874
150,1438	150,1438	150,1437	150,1438
210,2016	210,2013	210,2013	210,2014
270,2591	270,2590	270,2589	270,2590
330,3162	330,3163	330,3162	330,3163
390,3725	390,3726	390,3726	390,3727
450,4294	450,4294	450,4294	450,4295
570,5410	570,5412	570,5411	570,5412
690,6160	690,6164	690,6162	690,6167

Hodnoty v tabulce jsou uvedeny v mm.

Intervaly rozptylu centrované na bodech (sloupce) jsou intervaly nejistoty $\pm U(E)$ se získanými hodnotami chyby jako středními body.

Poloha stupňové měřky : Nul. bod: X = 635mm Y = -1047mm Z = -384mm

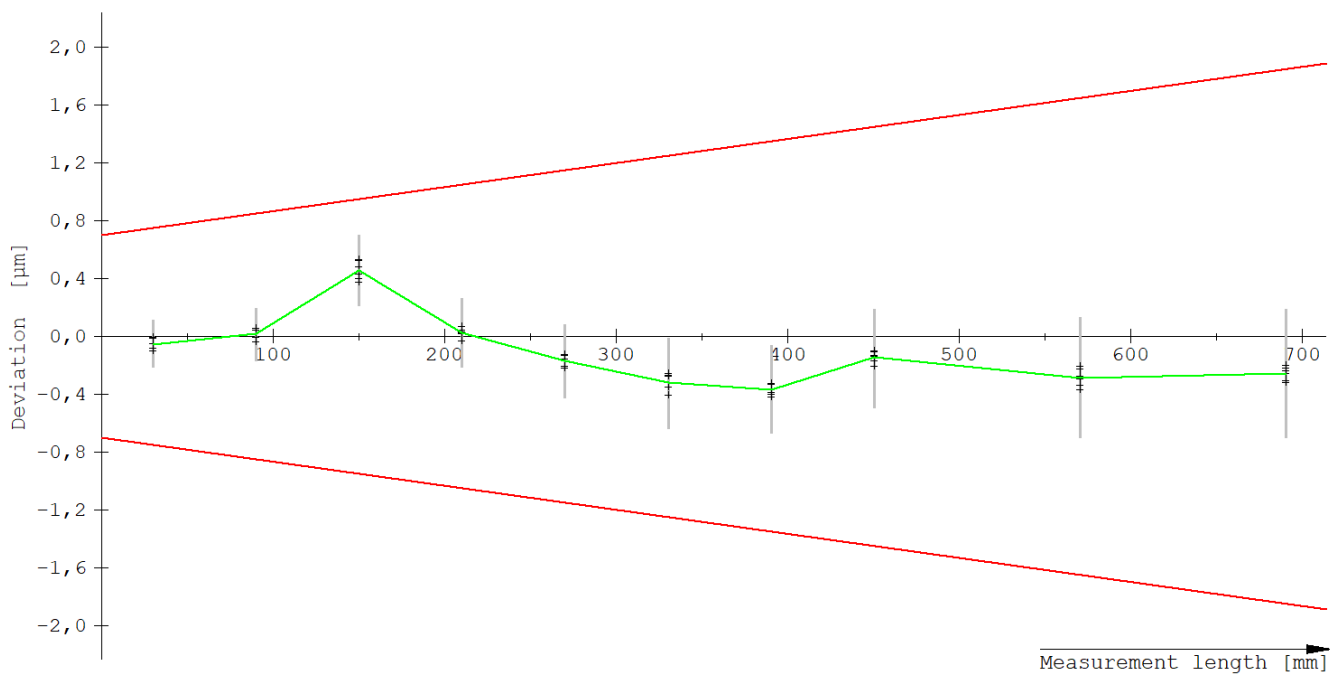
Teplota stupňové měřky v °C:

Začátek měření: 21,72 Konec měření: 21,74

Nejistota měření: $\pm (0,11 + 0,40 \times L) \mu\text{m}$



Chyby při měření délky u_1 a u_3 v poloze 8 (R3D směr ZL)



Nominal	Actual	Minimal	Maximal
30,0305	30,0305	30,0304	30,0305
90,0873	90,0873	90,0873	90,0874
150,1438	150,1443	150,1442	150,1444
210,2016	210,2016	210,2016	210,2016
270,2591	270,2590	270,2589	270,2590
330,3162	330,3159	330,3158	330,3160
390,3725	390,3721	390,3721	390,3722
450,4294	450,4293	450,4292	450,4293
570,5410	570,5407	570,5407	570,5408
690,6160	690,6157	690,6157	690,6158

Hodnoty v tabulce jsou uvedeny v mm.

Intervaly rozptylu centované na bodech (sloupce) jsou intervaly nejistoty $\pm U(E)$ se získanými hodnotami chyby jako středními body.

Poloha stupňové měřky : Nul. bod: X = 97mm Y = -249mm Z = -384mm

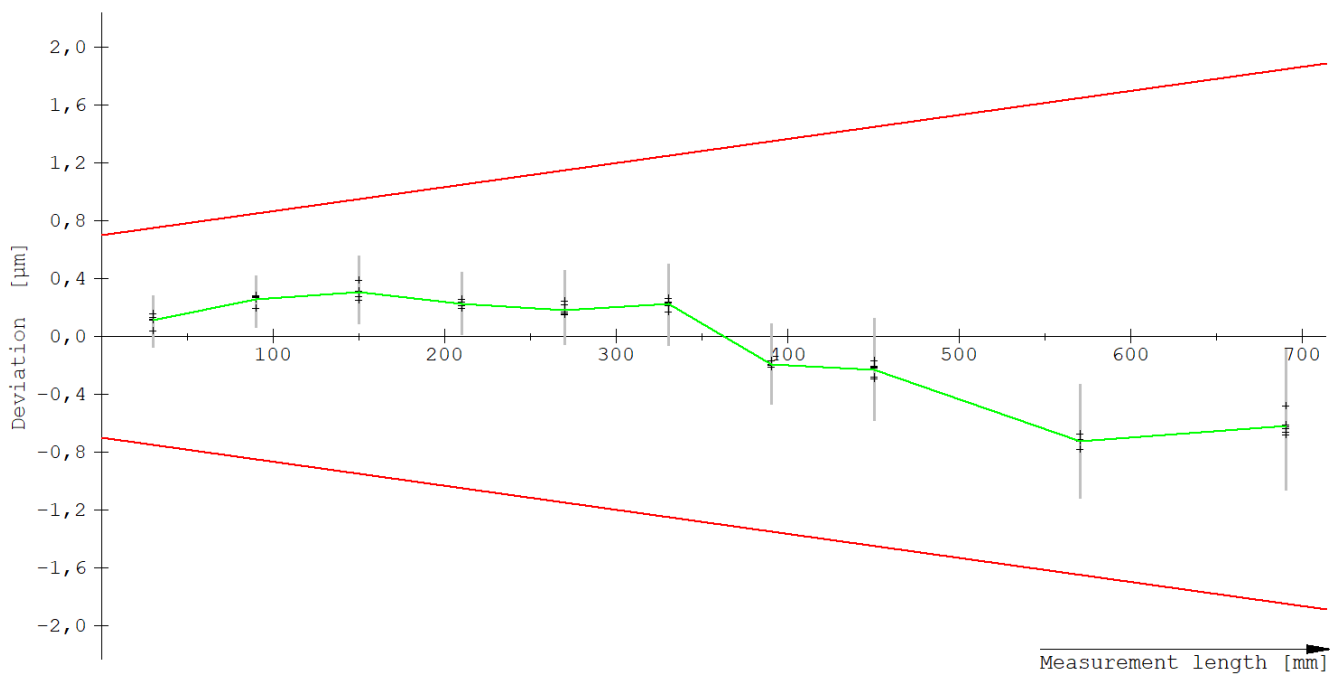
Teplota stupňové měřky v °C:

Začátek měření: 21,72 Konec měření: 21,71

Nejistota měření: $\pm (0,11 + 0,40 \times L) \mu\text{m}$



Chyby při měření délky u_1 a u_3 v poloze 9 (R3D směr ZP)



Nominal	Actual	Minimal	Maximal
30,0305	30,0306	30,0306	30,0307
90,0873	90,0876	90,0875	90,0876
150,1438	150,1441	150,1441	150,1442
210,2016	210,2018	210,2018	210,2018
270,2591	270,2593	270,2593	270,2594
330,3162	330,3164	330,3164	330,3165
390,3725	390,3723	390,3723	390,3724
450,4294	450,4292	450,4291	450,4293
570,5410	570,5403	570,5402	570,5404
690,6160	690,6154	690,6153	690,6155

Hodnoty v tabulce jsou uvedeny v mm.

Intervaly rozptylu centované na bodech (sloupce) jsou intervaly nejistoty $\pm U (E)$ se získanými hodnotami chyby jako středními body.

Poloha stupňové měřky : Nul. bod: X = 602mm Y = -261mm Z = -384mm

Teplota stupňové měřky v °C:

Začátek měření: 21,70 Konec měření: 21,70

Nejistota měření: $\pm (0,11 + 0,40 \times L) \mu\text{m}$





7. Nejistota měření

Nejistoty měření jednotlivých parametrů jsou uvedeny ve výsledcích.

Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní kombinované nejistoty měření a koeficientu rozšíření k , který odpovídá pravděpodobnosti 95%, což pro normální rozdělení odpovídá koeficientu rozšíření $k = 2$.

Byla vyjádřena v souladu s požadavky dokumentu EA-4/02 M.

8. Vyhodnocení shody se specifikací

Na základě vyhodnocení naměřených hodnot, uvedených v kalibračním listu, spolu s vyhodnocením nejistoty měření, byla prokázána shoda se specifikací výrobce. Stroj měří v toleranci uvedené výrobcem.

Konec kalibračního listu.



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

PROTOKOL O ZKOUŠCE XXXX-XX-XXXX

Datum vystavení : ###

List 1 z 1 listu

Zákazník : ###

###

Měřidlo : ###

Výrobce : ###

Identifikační číslo : ###

Metrologická návaznost : Měření jsou metrologicky návazná na (mezi)národní etalony.

Metoda měření : ###

Podmínky měření : Teplota vzduchu ($20,0 \pm 1$) °C

Místo kalibrace : Oblastní inspektorát Brno, Okružní 31, 638 00 Brno

Nejistota měření : $U = 0$

Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02 M:2013. Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření k , který odpovídá pokrytí asi 95 %, což pro normální rozdělení odpovídá koeficientu $k = 2$.

Výsledky měření :

Výsledky měření byly získány za podmínek a s použitím postupu uvedených ve zkušebním postupu a vztahují se pouze k době a místu provedení měření.

Datum měření : #

Měření provedl:

Vedoucí oddělení :

	Český metrologický institut Okružní 31 638 00 Brno	Identifikační číslo dokumentu: 011-VZ-C001 Příloha č. 1	Počet příloh: 0 Počet listů: 1/2 Výtisk č.:

PROHLÁŠENÍ O POLITICE KVALITY ČMI

Vrcholové vedení ČMI, vedení kalibrační a zkušební laboratoře, vedení výrobce referenčních materiálů, vedení certifikačních orgánů při ČMI, a vedení notifikované osoby se zavazuje,

v zájmu integrity jednotného národního metrologického systému v rámci ČR a jeho dlouhodobého souladu s požadavky národního hospodářství v rámci jednotného evropského prostoru,

- v souladu s mezinárodními závazky ČR účinně a pružně zabezpečovat technickou realizaci systému jednotek SI a zajišťovat na vrcholové úrovni mezinárodně uznávanou metrologickou návaznost pro všechny potřebné obory měření na území ČR;
- zabezpečovat na požadované úrovni činnosti státní správy svěřené Institutu zákonem o metrologii a další činnosti stanovené zřizovací listinou a statutem v souladu s obecně platnými právními předpisy s ohledem na právní postavení Institutu;
- u činností charakteru posuzování shody a inspekčních činností důsledně a trvale uplatňovat nestrannost při rozhodování, jinak se zde snažit vyhovět oprávněným potřebám zadavatelů těchto činností;
- zabezpečit dodržování správné laboratorní praxe formou účastí na programech mezilaboratorních porovnání zkoušek, validace metod, kontrolou vedení předepsané dokumentace a podmínek provádění metrologických výkonů;
- trvale kultivovat a rozvíjet systém kvality institutu ve směru posilování jeho přehlednosti, důvěryhodnosti a nestrannosti při rozhodování na bázi platných mezinárodních norem, zejména ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 jako výchozí základní úrovně, a dalších mezinárodně uplatňovaných přístupů a systémů managementu (ČSN EN ISO 9001, ČSN EN ISO/IEC 17065, ČSN EN ISO/IEC 17021, ČSN EN ISO/IEC 17024, ČSN EN ISO/IEC 17043 a ČSN EN ISO 17034);
- v oblasti výroby referenčních materiálů vyrábět referenční materiály vyhovující požadavkům ČSN EN ISO 17034 a dle definic v Pokynu ISO 30, u certifikovaných referenčních materiálů dle Pokynu ISO 35 s vydávanými certifikáty dle Pokynu ISO 31;
- v případě využití subdodavatelské činnosti zajistit adekvátní prověření vhodné způsobilosti;
- udržovat a rozvíjet rozsah působnosti a systém managementu specializovaných akreditovaných činností ČMI, a to v oblasti posuzování shody a certifikace výrobků, výroby referenčních materiálů, posuzování a certifikace systémů managementu výrobců, mezilaboratorního porovnávání zkoušek a certifikace personálu v metrologii a touto cestou vytvořit nezbytnou podporu výrobcům a dovozcům měřidel a koncových telekomunikačních zařízení, kalibračním laboratorům, autorizovaným metrologickým střediskům a dalším subjektům, včetně ČIA, ÚNMZ, ČOI, MPO a dalších;
- aktivně se účastnit činnosti mezinárodních organizací zabývajících se metrologií a telekomunikačními zařízeními a okamžitě přenášet získané poznatky a zkušenosti do praxe Institutu;
- trvale a účinně podporovat zvyšování kvalifikace a motivace zaměstnanců Institutu, organizovat potřebná školení a vyhodnocovat jejich účinnost; realizovat ekonomické nástroje pro podporu odborného vzdělávání, vytvářet motivační nástroje pro pracovníky za účelem zvyšování jejich odborné kvalifikace a odpovídající nástroje pro její prokazování;
- trvale seznamovat zaměstnance Institutu s podstatou, účelem a dokumentací systému managementu Institutu, který je naplněním tohoto prohlášení, s cílem dosáhnout u nich vnitřního ztotožnění s příslušnými cíli a jejich uplatňování při práci; realizovat ekonomické nástroje pro podporu odborného vzdělávání, vytvářet motivační nástroje pro



Český metrologický institut

Okružní 31
638 00 Brno

Identifikační číslo dokumentu:

011-VZ-C001
Příloha č. 1

Počet příloh: **0**

Počet listů: **2/2**

Výtisk č.:

pracovníky za účelem zvyšování jejich odborné kvalifikace a odpovídající nástroje pro její prokazování;

- pravidelně informovat veřejnost o výsledcích činnosti Institutu a odpovídat na dotazy veřejnosti k problematice metrologie, posuzování shody, koncových a dalších telekomunikačních zařízení a elektromagnetické kompatibility výrobků;
- zaměřit se na poskytování výkonů (služeb), k nimž je Institut zřízen, a to v plném souladu se současnými i očekávatelnými budoucími požadavky vnějších i vnitřních zákazníků, včetně vlády jako zákazníka pro činnosti státní správy (veřejnoprávní činnosti) a rozvíjet s tím související partnerské vztahy v tuzemsku i v zahraničí, v oblasti zkušební laboratoře pak zavádět nové obory a metody měření v souladu s vývojem normalizace a rozšiřovat technické možnosti laboratoře v návaznosti na vývoj v normotvorné oblasti;
- rozvojem technického zázemí Institutu, odborným školením personálu i jeho výchovou pro práci se zákazníky vytvářet subjektům, kterých se dotýká regulace podle zákona o metrologii či příslušných oblastí zákona o technických požadavcích na výrobky, podmínky pro efektivní splnění svých zákonných povinností;
- uplatněním principů procesního řízení usilovat o trvalé zlepšování průběhu procesů v celém rozsahu provozních činností Institutu;
- posilovat loajalitu, vnitřní soudržnost a spolupráci v rámci Institutu (tvorba týmů a pracovních skupin) a stimulovat kreativitu a inovace;
- analýzou existující organizační struktury Institutu včetně prostředků komunikace vyhledávat a přijímat opatření vedoucí k účinné, rychlé a levné struktuře organizace a řízení práce;
- trvale zajistit bezpečnost a ochranu zdraví při práci, v rámci disponibilních prostředků usilovat o nadstandardní úroveň pracovního prostředí a v rámci poslání institutu podporovat činnosti a přijímat opatření směřující k ochraně životního prostředí;
- dlouhodobě směřovat k integraci systémů managementu;
- trvale podnikat kroky k zabezpečení potřebné úrovně zdrojů pro realizaci výše uvedené strategie.

Datum: 14. 6. 2019

Podepsán:

**RNDr. Pavel Klenovský, generální ředitel,
vedoucí Kalibrační laboratoře Český metrologický institut**


**Ing. František Staněk PhD., odborný ředitel pro legální metrologii,
vedoucí Zkušební laboratoře Český metrologický institut**

**Doc. RNDr. Jiří Tesař, PhD., odborný ředitel pro fundamentální metrologii,
vedoucí Výrobce referenčních materiálů Český metrologický institut**

Příloha 5

	Český metrologický institut Okružní 31 638 00 Brno	Identifikační číslo dokumentu: xx-XX-Cyyy	Počet příloh: 0 Počet listů: 1/5 Výtisk č.:

Název dokumentu: <p style="text-align: center;">Zkoušky prováděné na souřadnicovém měřicím stroji Zeiss UPMC</p>		
Doplnkové údaje (účel a obsah dokumentu), Anotace: <p style="text-align: center;">Zkušební postup</p>		
Zařazení dokumentu dle úrovně: 3. úroveň Metodický postup		
Návaznost na dokument: <p style="text-align: center;">ČSN EN ISO 17025:2018</p>		
Dokument přezkoumává: vedoucí oddělení 6014, 1x za 5 let		
Dokument je závazný pro zaměstnance útvarů: <p style="text-align: center;">všechny zaměstnance ČMI oddělení 6014</p>		
Poznámky: <p style="text-align: center;">Dokument je řízen útvarem 8015</p>		
<p>Upozornění: Pořizování kopií dokumentu a poskytování dokumentu cizím osobám není bez souhlasu zaměstnance, který dokument schválil, dovoleno.</p>		
Rozdělovník (uvedena čísla středisek nebo VOJ, funkční čísla, na která je dokument distribuován je uveden v ŘOD): 011112; 800111; 800112; 801511; 801532; 801535; 1x: centrální spisovna ČMI;		
Nahrazuje dokument: _____ s účinností od: xx. xx. 20xx		
Datum: schválení: xx. xx. 20xx vydání: : xx. xx. 20xx účinnosti: : xx. xx. 20xx		
Zpracoval - funkce:	Přezkoumal - funkce:	Schválil a vydal - funkce, podpis:

	Český metrologický institut Okružní 31 638 00 Brno	Identifikační číslo dokumentu: xx-XX-Cyyy	Počet příloh: 0 Počet listů: 2/5 Výtisk č.:
---	---	---	---

Obsah

1. Úvod	3
1.1. Princip	3
1.2. Metrologická návaznost	3
2. Oprávnění	3
3. Související předpisy	3
4. Zařízení a pomůcky	3
5. Vlastní pracovní postup	3
5.1. Požadavky na prostředí při měření	4
5.2. Požadavky na stabilizaci zkoušených výrobků před měřením	4
5.3. Konfigurace měřící sestavy	4
5.4. Popis činností při měření	4
5.5. Způsob zpracování naměřených údajů do výsledků měření	4
5.6. Validace postupu	4
6. Nejistoty měření	5
6.1. Rozpočet pro Zeiss UPCM 850 CARAT	5
7. Závěrečné ustanovení	5

	Český metrologický institut Okružní 31 638 00 Brno	Identifikační číslo dokumentu: xx-XX-Cyyy	Počet příloh: 0 Počet listů: 3/5 Výtisk č.:
--	---	---	---

1. Úvod

Tento metodický postup je vhodný pro:

- Zkoušení výrobků pro zkušební laboratoře a průmyslové podniky.
- Měření sérií součástí, měření podle CAD modelu.
- Měření dle výkresové dokumentace.

Tato metoda je obecně aplikovatelná na celou řadu běžně používaných výrobků např. obrobky, vylisky, svařence a další tvarově složitě součásti.

1.1. Princip

Zkoušení s použitím souřadnicového měřicího stroje se provádí tak, že jsou nasnímány měřicí body na povrchu měřeného výrobku. Snímání je provedeno pomocí dotykového snímacího systému, který je osazen měřicí sondou s kulovým hrotem. Následně jsou souřadnice naměřených bodů přeneseny do výpočetního softwaru (Calypso), který je dále zpracovává a vyhodnocuje. Vyhodnocení probíhá buď přímým porovnáním naměřených bodů s CAD daty nebo pomocí tvorby základních geometrických prvků a jejich vztahů.

1.2. Metrologická návaznost

Metrologická návaznost je zajištěna kalibrací stroje pomocí délkových etalonů, v souladu s normami ISO 10360 nebo VDI 2617, s prokazatelnou návazností.

2. Oprávnění

Toto zkoušení mohou provádět pracovníci akreditované laboratoře za dodržení podmínek daných akreditací.

3. Související předpisy

Detailní postupy, možnosti a kombinace jsou součástí manuálu č. 815-TD-0027-02 pro stroj SIP CMM5 a manuálu č. 8015-TD-0001-18 pro stroj Zeiss XENOS, „Kuchařka pro souřadnicovou měřicí techniku“

Konkrétní strategie při každém druhu měření musí být vytvářena v souladu s technickou dokumentací předanou zákazníkem a dle jeho individuálních požadavků.

4. Zařízení a pomůcky

Souřadnicový měřicí stroj a příslušenství sada měřících dotyků, přípravky k upnutí a očištění.

5. Vlastní pracovní postup

Metodika měření je závislá na druhu měřeného objektu. Obecně ji lze formulovat v následujících krocích:

1. Upnutí měřeného objektu.
2. Očištění měřených povrchů.
3. Instalace materiálových čidel teploty na povrch.
4. Sestavení a kvalifikace vhodné sestavy měřících dotyků.
5. Teplotní stabilizace měřeného objektu.
6. Definice výchozího souřadnicového systému. Musí být provedeno v souladu s výkresovou dokumentací nebo s požadavky zákazníka.

	Český metrologický institut Okružní 31 638 00 Brno	Identifikační číslo dokumentu: xx-XX-Cyyy	Počet příloh: 0 Počet listů: 4/5 Výtisk č.:
--	---	---	---

7. Měření požadovaných geometrických elementů, vždy takovým množstvím měřicích bodů, který rovnoměrně pokryje měřený element a zároveň minimalizuje případný vliv kvality povrchu na výsledek měření.
8. Výpočet vzájemných geometrických závislostí naměřených elementů definovaných výkresovou dokumentací.
9. Vynesení naměřených hodnot do grafického zobrazení výsledku měření, nebo export textových dat pro přípravu kalibračního listu případně pro statistickou analýzu více měření.

5.1. Požadavky na prostředí při měření

Teplota – pro provádění zkoušení výrobků je třeba dodržet teplotu prostředí $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ s teplotním gradientem v čase nejvíce $0,5^{\circ}\text{C}/\text{hod}$.

5.2. Požadavky na stabilizaci zkoušených výrobků před měřením

Výrobky by měly mít stejnou teplotu jako stroj, proto je třeba, aby byly v laboratoři dostatečně dlouho (ideálně přes noc). Tím se vyloučí vliv rozdílu teplot na měření. Odchylka teploty od 20°C by měla být minimální.

5.3. Konfigurace měřicí sestavy

Měřicí stroj Zeiss UPCM, sestava měřicích sond pro konkrétní případ, výpočetní software Calypso, integrovaný teploměr.

5.4. Popis činností při měření

Popis činnosti je obecně popsán v úvodu ke kapitole 5.

5.5. Způsob zpracování naměřených údajů do výsledků měření

Zpracování výsledků zkoušení probíhá v softwaru Calypso. Přenos do zkušebního protokolu je zajištěn elektronickou cestou přes lokální počítačovou síť.

5.6. Validace postupu

Postup byl validován mezinárodními porovnáními s vyhovujícím výsledkem.

	Český metrologický institut Okružní 31 638 00 Brno	Identifikační číslo dokumentu: xx-XX-Cyyy	Počet příloh: 0 Počet listů: 5/5 Výtisk č.:

6. Nejistoty měření

6.1. Rozpočet pro Zeiss UPCM 850 CARAT

Pro $L = 0,15$ m.

Veličina	Odhad [μm]	Standartní nejistota	Rozdělení	Citlivostní koeficient	Příspěvek k nejistotě [μm]
u_{ks}	0,1	0,08 μm	norm.	1	0,08
u_E	0,5	0,625 μm	norm.	1	0,625
u_D	0,06	0,057735 μm	rovn.	1	0,057735
u_p	0,06	0,057735 μm	rovn.	1	0,057735
u_{kk}	0,12	0,11547 μm	rovn.	1	0,11547
$u_{\Delta T}$	0,2	0,11547 $^{\circ}\text{C}$	rovn.	1,725 $\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$	0,199186
$u_{\Delta 20}$	0,6	0,99593 $\mu\text{m}/\text{m}$	rovn.	0,15 m	0,575
Výsledná nejistota měření					1,78

kde: u_{ks} – nejistota kalibrace měřicího přístroje,
 u_E – vliv měřeného objektu,
 u_D – vliv kalibrace doteku pomocí referenční koule
 u_p – vliv rozlišovací schopnosti stroje,
 u_{kk} – nejistota kalibrační koule,
 $u_{\Delta T}$ – vliv rozdílu teplot CCM a měřeného předmětu,
 $u_{\Delta 20}$ – vliv rozdílu teploty od 20 $^{\circ}\text{C}$.

7. Závěrečné ustanovení

Tento pracovní postup je závazný pro všechny pracovníky zkušební laboratoře. Vedoucí každé laboratoře je povinen prokazatelně seznámit se zněním tohoto pracovního postupu všechny současné i nově nastupující pracovníky.

Tento pracovní postup musí být neustále k dispozici každému pracovníkovi laboratoře.