

Návrh kalibračních postupů dílenských měřidel

Bc. Jiří Zapletal, DiS.

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří ZAPLETAL, DiS.**

Osobní číslo: **T12517**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Řízení jakosti**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Návrh kalibračních postupů dílenských měřidel**

Zásady pro vypracování:

Úvod do metrologie, cíle práce

Základní pojmy a definice nejistot měření

Stanovení nejistot měření pro kalibrace dílenských měřidel

Vypracování kalibračních postupů

Výhodnocení a závěr

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

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

ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 Posuzování shody – Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří

ČSN EN ISO 10012 Systémy managementu měření – Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení

ČSN 01 0115 Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii

Česká metrologická společnost, Kalibrační postup č. KP 1.1.2/02/03/N

Česká metrologická společnost, Kalibrační postup č. KP 1.1.2/03/98/N

Česká metrologická společnost, Kalibrační postup č. KP 1.1.2/05/03/N

I. Hughes & T. Hase, Measurements and their uncertainties, Oxford University Press, USA; 1 edition October 1, 2010, 136 stran, ISBN-13: 978-0199566334

Meranie technických veličín, Vladimír Chudý, Rudolf Palenčár, Eva Kureková, Martin Halaj, Meranie technických veličín, Bratislava: Vydavateľství STU, 1999, 688 stran, ISBN 80-227-1275-2

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Vladimír Pata

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

10. února 2014

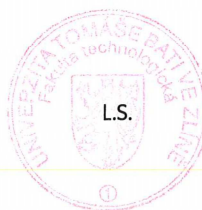
Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Diplomová práce je věnována tématu stanovení kalibračních postupů dílenských měřidel. V řešení dané problematiky byla zohledněna nejen problematika kalibračních postupů, ale také vyjádření výsledků měření pomocí matematických principů a vztahů. Cílem diplomové práce je návrh vhodného kalibračního návodu, stanovení nejistot měření pro zajištění správného měření a vyhodnocení, a také výhod pro implementaci v podnikové praxi.

Klíčová slova:

kalibrace, chyba měření, etalon, správné měření, přínosy pro aplikaci v praxi.

ABSTRACT

The thesis is devoted to the topic of determining calibration procedures of workshop gauges. In the solution of the issue was focused not only to solve the issue of calibration procedures, but also the expression of measurement results by using mathematical principles and relationships. The aim of the thesis is to create suitable calibration instructions, determination of measurement uncertainties to ensure correct measurement and evaluation, and also formulate advantages for implementation in business practice.

Keywords:

calibration, measurement error, calibration gauge, correct measurement, the benefits for application in practice.

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za podporu, odborné vedení, cenné informace a praktické rady při vedení této diplomové práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné. Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně, na základě uvedené literatury, pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Uherském Hradišti dne 20.5.2014

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	12
1 METROLOGIE – VÝZNAM, ROZDĚLENÍ A NÁRODNÍ METROLOGICKÝ SYSTÉM ČR	13
2 METROLOGICKÁ TERMINOLOGIE.....	20
2.1 DĚLENÍ MĚŘIDEL	20
2.1.1 Etalony	20
2.1.2 Kontrolní měřidla	20
2.1.3 Stanovená měřidla	21
2.1.4 Pracovní měřidla nestanovená.....	22
2.1.5 Orientační měřidla.....	23
2.1.6 Referenční materiály	23
2.1.7 Certifikované referenční materiály	23
2.2 METROLOGICKÁ LEGISLATIVA	24
2.2.1 Zákon o metrologii	24
2.2.2 Zajištění návazností.....	26
3 KALIBRACE.....	27
3.1 KALIBRACE A DŮVODY KALIBRACE.....	27
3.2 OVĚŘENÍ	28
3.3 VZTAH MEZI KALIBRACÍ A OVĚŘENÍM	29
3.4 KALIBRAČNÍ PŘEDPIS	29
4 STANOVENÍ NEJISTOT PRO KALIBRACI DÍLENSKÝCH MĚŘIDEL.....	30
4.1 NEJISTOTY A CHYBY MĚŘENÍ.....	30
4.1.1 Chyby měření	30
4.1.2 Rozdělení chyb	31
4.1.3 Zdroje chyb měření	34
5 STANOVENÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ PŘI KALIBRACI	35
5.1 STANOVENÍ NEJISTOTY VSTUPNÍ VELIČINY METODOU TYPU A.....	36
5.2 STANOVENÍ NEJISTOTY VSTUPNÍ VELIČINY METODOU TYPU B.....	37
5.3 VÝPOČET STANDARDNÍ KOMBINOVANÉ NEJISTOTY	39
5.4 ROZŠÍŘENÁ NEJISTOTA	39
5.5 VYJADŘOVÁNÍ NEJISTOT V KALIBRAČNÍCH LISTECH.....	40
5.6 KALIBRAČNÍ POSTUP – POSUVNÉ MĚŘÍTKO DIGITÁLNÍ.....	40
5.7 KALIBRAČNÍ POSTUP – TRMENOVÝ MIKROMETR	42
II PRAKTICKÁ ČÁST	45
6 NÁVRH KALIBRAČNÍCH POSTUPŮ.....	46
6.1 ŘEŠENÍ POŽADAVKU	46
7 STANOVENÍ NEJISTOT MĚŘENÍ PRO JEDNOTLIVÉ KALIBRACE	48
7.1 STANOVENÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ POSUVNÉHO DIGITÁLNÍHO MĚŘIDLA	48
7.1.1 Vnější měření a rozbor výsledků měření	48
7.1.2 Výpočet standardní nejistoty typu A.....	50
7.1.3 Výpočet nejistoty typu B.....	50

7.1.4	Výpočet standardní kombinované nejistoty U_c	52
7.1.5	Výpočet standardní rozšířené nejistoty U	52
7.1.6	Vnitřní měření a rozbor výsledků měření	53
7.1.7	Výpočet standardní nejistoty typu A.....	54
7.1.8	Výpočet nejistoty typu B.....	55
7.1.9	Výpočet standardní kombinované nejistoty U_c	56
7.1.10	Výpočet standardní rozšířené nejistoty U	56
7.1.11	Měření hloubkoměru a rozbor výsledků měření	56
7.1.12	Výpočet standardní nejistoty typu A.....	58
7.1.13	Výpočet nejistoty typu B.....	58
7.1.14	Výpočet standardní kombinované nejistoty U_c	59
7.1.15	Výpočet standardní rozšířené nejistoty U	60
7.2	STANOVENÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ PRO TRŽENOVÝ MIKROMETR DIGITÁLNÍ	60
7.2.1	Vnější měření a rozbor výsledků měření	60
7.2.2	Výpočet standardní nejistoty typu A.....	62
7.2.3	Výpočet nejistoty typu B.....	63
7.2.4	Výpočet standardní kombinované nejistoty U_c	64
7.2.5	Výpočet standardní rozšířené nejistoty U	64
8	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	66
8.1	NÁVRH KALIBRAČNÍCH POSTUPŮ PRO KALIBRACI DÍLENSKÝCH MĚŘIDEL.....	66
8.2	ÚSPORA.....	66
9	ZÁVĚR	68
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	70
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	72
	SEZNAM OBRÁZKŮ	73
	SEZNAM GRAFŮ	74
	SEZNAM TABULEK	75
	SEZNAM ROVNIC	76
	SEZNAM PŘÍLOH	78

ÚVOD

System měření, způsoby měření a praktické uplatňování těchto postupů jsou odrazem mnoha stránek evoluce lidské společnosti. Měření, zobrazení výsledků a vyhodnocování využíváme denně a ve všech oborech činností. Chceme-li měřit a vyjádřit náš život časově, prostorově, ale i společensky. Jednoznačně stanovené a uznávané jednotky jsou základním stavebním kamenem ve všech oborech, pro všechny obchodní transakce, vědeckou činnost či řízení a kontrolu výroby.[10]

System měření ovšem nespádl z nebe, má svou vlastní historii, která se píše jak z úspěchů, tak i z poznání omylnosti. Světové dějiny měření, potažmo metrologie, jsou zejména událostmi měření a změřených veličin. Měření je od začátku součástí lidské práce ve všech konkrétních formách a jejich technických a sociálních funkcích.[10]

Aby tento system mohl být uplatněn již od svého prvopočátku, bylo třeba vyjádřit poznatky definicemi pojmů, které by společnost mohla přijmout bez nedůvěry. Proto byly, s postupem dějin a lidského poznání, definovány jednotky systému měření. Nejprve jednoduché, ale nezbytné pro běžnou potřebu směny, jako je palec, loket, uzel. Například staří Egypťané dokázali ve stavebnictví nejen operovat s měřidly, dokonce museli dodržovat zákon o kalibraci, a to pod trestem smrti. Ovšem dokázali také zkonstruovat pravý úhel, či přesné rozměry dílů chrámových sloupců, což vyžadovalo dodržování, zdokonalování měřících systémů a systematicko – analytický přístup.

Jak historie postupovala, dostával se system měření do všech částí světa. Řekové a Římané převzali metrologické poznatky. Avšak ve středověku bylo vyjadřování pojmů v mnoha ohledech poněkud nejednoznačné, stále lze v této době hovořit o systému měření jako o neuspořádaném, bez jednoznačných vazeb mezi základními a odvozenými.

V tomto ohledu stojí za zmínku snaha o sjednocení měrných jednotek v českých zemích za dob Přemysla Otakara II, kdy byla vyhlášena základní jednotka spolu s odvozenými. Došlo tedy k definování jednoho loktu, který měřil 0,59 m, tedy se rovnal třem pídím, píd' deseti prstům a tak dále.

Nejednotnost měrných pojmů a návazností byla však stále výraznou překážkou, zejména při obchodu a výrobě. K významným datům v historii metrologie se řadí i rok 1970, kdy byla ve Francii pověřena Akademie věd, aby vypracovala podklady pro stanovení jednotné měrné soustavy, vycházející z přírodních konstant, které jsou v čase neměn-

né. Byly tak stanoveny pojmy délkové, jako například metr, hmotnostní – kilogram, ale také jejich odvozeniny. O pět let později Francie tuto soustavu uznala jako legální, a za dalších deset let se k ní připojilo dalších 18 států. Československo přijalo metrickou konvenci po rozpadu Rakouska – Uherska a následně po vzniku samostatného českého státu v roce 1993.

Současná metrologie obklopuje lidstvo ve větší míře než kdy před tím. Praktické povědomí a dodržování základních principů je denní rutinou. Pociťujeme její platnost při nákupu, směně platidel či při kontrole venkovní teploty.

Prim hraje samozřejmě obchod a výroba. S postupem technologického vývoje se zpřísňují i požadavky zákazníků na dodržování požadovaných parametrů a vlastností zboží, což nutí výrobní podniky ke stále intenzivnějšímu využívání měřících a vyhodnocovacích postupů, jejich modernizaci a uplatňování při řízení výroby a kvality. Investice vložené do moderního zázemí pro metrologickou činnost se vrací v podobě nových zakázek. Z tohoto pohledu je klíčové uplatnění nejen vhodných měřících postupů, ale také měřidel tak, aby došlo k jejich efektivnímu využití.

Diplomová práce je věnována návrhu kalibračních postupů dílenských měřidel, včetně vyjádření a vyhodnocení nejistot, jakož i požadavků vycházejících z norem ČMI. Jako kalibrační měřidla byly zvoleny posuvné měřidlo a třmenový mikrometr.

V diplomové práci jsou také zmíněny důležité pojmy a definice, které jsou s tématem neodmyslitelně spjaty. A to zejména problematika týkající se samotné metrologie a její terminologii.

Samotné kalibrace jsou provedeny v laboratoři technologické fakulty UTB. Hlavním přínosem této diplomové práce je zdokumentování optimálních postupů pro kalibraci jednotlivých měřidel, včetně rozboru jednotlivých výsledků. Dalším výstupem bude také návrh kalibračních listů tak, aby odpovídal požadavkům norem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 METROLOGIE – VÝZNAM, ROZDĚLENÍ A NÁRODNÍ METROLOGICKÝ SYSTÉM ČR

Pojem metrologie má kořeny v řeckém jazyce a dal by se volně přeložit jako „Umění měření“. V podstatě je metrologie popisována jako obor spojující umění implementace lidského ducha na straně jedné a zručnosti potřebné k užití koncepčního myšlení a řešení praktických úkolů na straně druhé. Hlavní význam tedy leží ve vědeckém výzkumu na straně jedné a v požadavku na jistotě informací v souvislosti s ekonomickými, ekologickými, technologickými, aj. požadavky na straně druhé.[11]

Požadavky na kvalitu naměřených hodnot jsou v praxi velmi rozdílné. Jelikož neexistuje ideální měření, je třeba pohlížet na výsledky měření s předpokládanými nebo vyčíslenými stupni přesnosti a jistoty, tedy s odchylkami a chybami, které jsou pro výsledek akceptovatelné.[11]

V praxi se nejvíce setkáváme s metrologií podnikovou - forma aplikované metrologie v prostředí podniků. Tato činnost souvisí zejména s:

- procesem měření
- tvorbou a aktualizací související dokumentace
- zabezpečení přesnosti a jakosti měřidel, etalonů, kontrolních měřidel
- zabezpečení procesu odpovídající kalibrace měřidel – jak v rámci podniku v návaznosti na vnitropodnikové etalony, tak i ve spolupráci s externími laboratořemi a akreditačními společnostmi.

Tato část metrologie je v běžné praxi významně sledována nejen z pohledu výsledků, jednotnosti a kvality měření, ale také z pohledů:

- ekonomického
- ekologického
- výrobního
- administrativního

Z uvedeného vyplývá, že vhodné procesní řízení podnikové metrologie musí být prováděno komplexně, protože ovlivňuje mnoho klíčových ukazatelů výsledků podniků (KPI). Aplikaci je třeba provést při zvážení mnoha požadavků, jakými jsou zejména:

- doba měření
- náročnost měření
- nákladovost měření

- jednotlivé procesy měření
- administrativní zátěž
- vyhodnocování výsledků
- znalosti a zkušenosti pracovníků

Závěrem bych chtěl tedy shrnout hlavní úkoly metrologie, kterými jsou:

- definování mezinárodně uznávaných jednotek měření, jako je například metr.
- realizace jednotek měření pomocí vědeckých metod, například realizace metru s využitím laserových paprsků.
- vytváření řetězců návaznosti při dokumentování přesnosti měření, např. dokumentovaná návaznost mezi noniem mikrometru v provozu přesného strojírenství a primární laboratoří metrologie délky.

➤ **Národní metrologický systém České republiky**

Národním metrologickým systémem (dále jen NMS) se rozumí systém, který slouží k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření v daném státě, a to prostřednictvím soustavy technických prostředků a zařízení, jakož i technických předpisů, práv a povinností správních orgánů a právnických osob nebo podnikajících fyzických osob. [12]

Základními oblastmi působnosti systému jsou fundamentální metrologie, legální metrologie a průmyslová metrologie.[12]

Základním prvkem NMS ČR jsou spotřebitelé a obecně veřejnost (tedy nejenom občané ČR, ale i cizí státní příslušníci, kteří se na území ČR vyskytují). Pro ně zde existuje infrastruktura výrobců a služeb a pro ně též objektivně existují hlediska veřejného zájmu, která je třeba respektovat a dodržovat.[12]

Druhým významným prvkem NMS ČR jsou podnikatelské subjekty. Tento prvek zahrnuje též výrobce a oprávněné měřidel, jakož i subjekty provádějící montáže měřidel. Dále tento prvek zahrnuje i subjekty s výstupy, které nemají charakter výrobků (např. služby).[12]

Další prvky NMS ČR se podílejí na jeho managementu, zabezpečování služeb pro dva výše zmíněné základní prvky a potřebný rozvoj metrologie a mezinárodní metrologickou spoluprací v rámci tohoto systému. Je zde samozřejmě zastoupen stát, jehož funkce je v zásadě soustředěna jednak na tvorbu, projednávání a schvalování nutné metrologické legislativy (tedy vlastně většinou oblast legální metrologie), činnosti související s dodrže-

váním metrologické legislativy, činnosti související se zabezpečením rozvoje metrologie v České republice a činnosti související s oblastí mezinárodní spolupráce v metrologii.[12]

Jedním z klíčových prvků je nesporně národní metrologický institut, představovaný Českým metrologickým institutem (dále jen ČMI).[12]

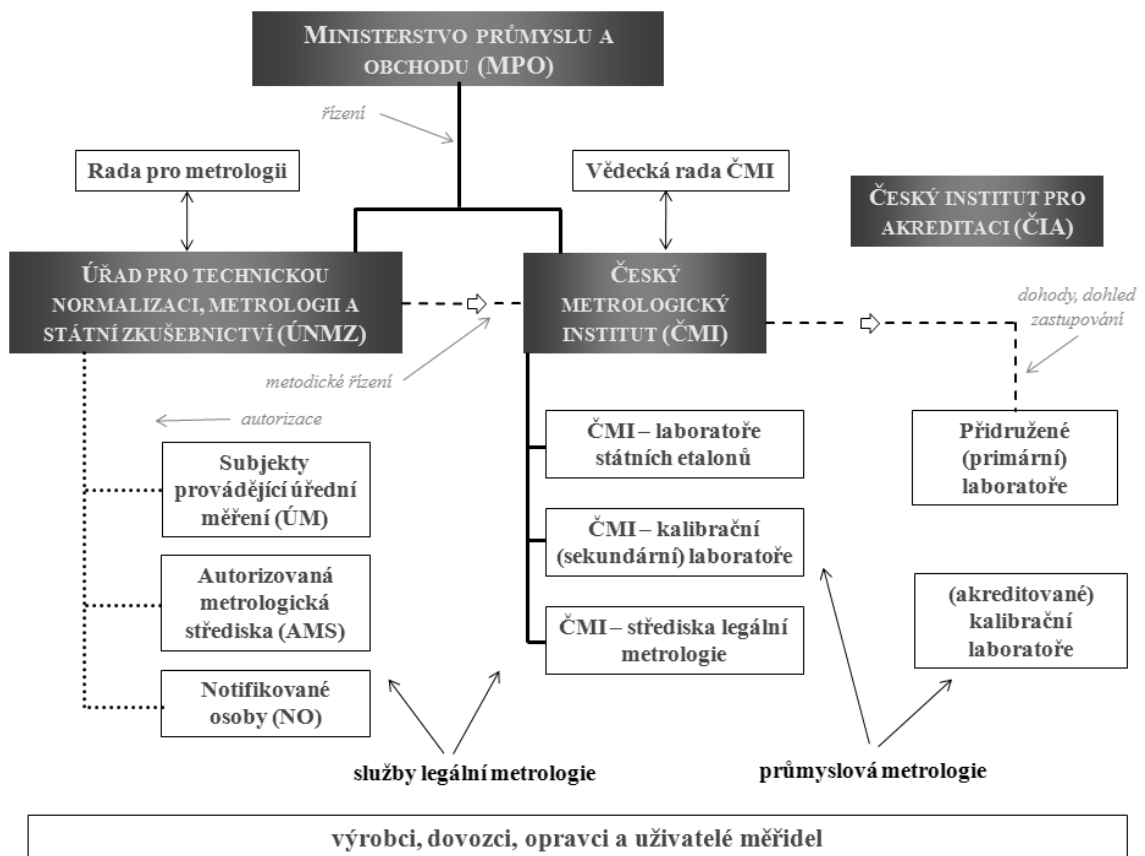
NMS zahrnuje také další důležité prvky, jako vzdělávání v oblasti metrologie, včetně sítě fungujících certifikačních orgánů pro certifikaci osob v oblasti metrologie a samozřejmě též český národní akreditační systém, na jehož základě je možno především v oblasti užití metrologie prokazovat odbornou způsobilost kalibračních laboratoří, zkušebních laboratoří, certifikačních orgánů a inspekčních orgánů. Český národní akreditační systém má též významné postavení v oblasti subjektů, působících v legální metrologii. Řada pracovišť ČMI, která poskytují služby v oblasti metrologie obecně a která současně pracují v legální metrologii, je totiž akreditována. Akreditace slouží vedle prověření odborné způsobilosti ze strany ČMI také jako podklad pro autorizaci subjektů, které pak pracují jako autorizovaná metrologická střediska (AMS).[12]

Právní rámec NMS ČR je v současné době vymezen zákonem č. 505/1990 Sb., o metrologii, a jeho prováděcími předpisy. Uvádění některých druhů měřidel na trh a do provozu spadá do působnosti zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a věcně příslušných nařízení vlády ČR. [12]

Národní metrologický systém ČR je zcela srovnatelný a slučitelný se systémy, běžnými v členských státech Metrické konvence a zejména se systémy zemí v EU. Tomu odpovídá také zapojení do mezinárodní spolupráce na všech relevantních úrovních, včetně členství a práce v orgánech Metrické konvence, EURAMET e.V., OIML, WELMEC a dalších. [12]

Graf 1.1 Struktura NMS ČR[12]

Struktura NMS ČR

➤ **Prvky NMS ČR, které aktivně působí v systému**

MPO - Ústřední orgán státní správy pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví – viz zákon č. 2/1969 Sb. a zákon č. 20/1993 Sb., o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví.[12]

ÚNMZ - Orgán státní správy pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Působnost v metrologii je dána zákonem č. 20/1993 Sb., a zákonem č. 505/1990 Sb., o metrologii.[12]

➤ **Hlavní oblasti působnosti ÚNMZ v metrologii**

- stanoví program státní metrologie a zabezpečuje jeho realizaci,
- zastupuje Českou republiku v mezinárodních metrologických orgánech a organizacích,
- autorizuje subjekty k výkonům v oblasti státní metrologické kontroly měřidel a úředního měření, pověřuje oprávněné subjekty k uchování státních etalonů,

- provádí kontrolu činnosti ČMI,
- kontroluje dodržování povinností stanovených tímto zákonem; při výkonu kontroly postupuje podle zvláštního právního předpisu,
- oznamuje orgánům Evropských společenství (ES) informace o subjektech pověřených ke schvalování typu měřidel a k ověřování měřidel
- a další[12]

Působnost v metrologii je dána zákonem o metrologii a zřizovací listinou. Plní funkci národního metrologického institutu.

➤ **Hlavní oblasti působnosti ČMI v metrologii**

- provádí metrologický výzkum a uchovávání státních etalonů včetně přenosu hodnot měřicích jednotek,
- provádí certifikaci referenčních materiálů,
- vykonává státní metrologickou kontrolu měřidel,
- registruje subjekty, které opravují stanovená měřidla, popřípadě provádějí jejich montáž,
- vykonává státní metrologický dozor,
- provádí metrologickou kontrolu hotově baleného zboží a lahví,
- posuzuje shodu a provádí zkoušení výrobků v rozsahu udělených autorizací či akreditace podle právního předpisu upravujícího oblast technických požadavků na výrobky (MID, NAWI),
- vydává opatření obecné povahy podle §24c a 24d zákona o metrologii,
- oznamuje orgánům ES informace o vydání či změnách certifikátů týkajících se schvalování měřidel.

➤ **Přidružené laboratoře ČMI**

- Ústav fotoniky a elektroniky AV ČR
- Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický
- Vysoká škola chemicko-technologická
- Český hydrometeorologický ústav.[12]
- ČIA - národní metrologický systém využívá služeb národního akreditačního orgánu při posuzování odborné způsobilosti subjektů působících v metrologii.

- Autorizovaná metrologická střediska (AMS) – k 31. 12. 2010 je autorizováno 261 subjektů pro ověřování stanovených měřidel/ cca 1000 pracovníků.
- Subjekty autorizované k výkonu úředního měření (ÚM)– k 31. 12. 2010 je autorizováno 76 subjektů/ cca 120 pracovníků.
- Notifikovaná osoba pro směrnice MID a NAWI – 1 (ČMI – NO 1383)
- Registrované subjekty podle § 19 zákona č. 505/1990 Sb. – k 31. 12. 2010 je cca 6 000 subjektů oprávněných vykonávat montáž a opravy stanovených měřidel
- Výrobci měřidel
- V NMS dále působí cca 110 akreditovaných kalibračních laboratoří a další subjekty.[12]

➤ **Postavení ČR v mezinárodních organizacích působících v metrologii**

Metrická konvence – přesně vzato Úmluva o soustavě metrické – je smlouvou na vládní úrovni. Generální konference pro váhy a míry je za ČR obesílána delegací, pověřenou k jednání vládou. Československo přistoupilo k úmluvě v roce 1922 (viz vyhláška č. 351/1922 Sb.). Česká republika je členem jako následnický stát. Spolupráce s BIPM (Mezinárodní úřad pro váhy a míry) probíhá na technické úrovni a je koordinována ČMI.

Úmluvu o zřízení OIML a přistoupení Československa schválila vláda v roce 1955. Členem jeho výboru je generální ředitel ČMI.

Pokud jde o WELMEC, stala se ČR členem v roce 2004, kdy podepsala Memorandum o porozumění.

Členem EURAMET e.V. je ČMI od roku 2007 (dříve EUROMET, kde byl ČMI plným členem od r. 1996).[12]

Tabulka 1.1 NMS ČR je spjat s akreditací a technickou normalizací [12]

Metrologie		Akreditace	Technická normalizace
Svět			
BIPM	OIML	ILAC/IAF	ISO/IEC
Evropa			
EURAMET	EK, WELMEC	EA	CEN, CENELEC
Česká republika			
ČMI (nár. lab.)	ÚNMZ	ČIA	ÚNMZ
fundamentální metrologie	ČMI, ČOI(nár. autority)	nár. akreditační orgán	nár. normalizační orgán
průmyslová metrologie	autorizované subjekty	akreditované subjekty	

➤ Kategorie metrologie

V Evropské unii se metrologie člení do tří kategorií s různým stupněm složitosti, oblasti užití a přesnosti:

1. Vědecká metrologie se zabývá organizací a vývojem etalonů a jejich uchováváním (nejvyšší úroveň).
2. Průmyslová metrologie zajišťuje náležité fungování měřidel používaných v průmyslu a ve výrobních a zkušebních procesech.
3. Legální metrologie se zabývá přesností měření tam, kde tato měření mají vliv na průhlednost ekonomických transakcí, zdraví a bezpečnost.

Fundamentální metrologie není v mezinárodním měřítku definována, nicméně představuje nejvyšší úroveň přesnosti v rámci dané oblasti. Fundamentální metrologii lze proto popsat jako vědeckou metrologii doplněnou o ty části legální a průmyslové metrologie, které vyžadují vědeckou kompetenci.[8]

➤ Průmyslová a vědecká metrologie

Průmyslová a vědecká metrologie tvoří dvě ze tří základních kategorií metrologie. Metrologické činnosti, zkoušení a měření, představují zpravidla cenné vstupy pro problematiku jakosti v průmyslové činnosti. Patří sem potřeba návaznosti, která se stává stejně důležitou jako vlastní měření. Uznání metrologické kompetence na každém stupni řetězce návaznosti lze dosáhnout ujednáními a ujednáními o vzájemném uznávání. [17]

Tabulka 1.2 Náplň metrologie [15]

Veličina	Volba, definice
Jednotka	Soustava jednotek, definice, její realizace a její výzkum
Metoda	Výzkum, prověření, volba, interní i externí porovnávání
Měřidlo, měřicí soustava	Výzkum, vývoj, výroba, transport, uchovávání, seřizování, justování, kalibrace, mezilhůtová kontrola, energetické zdroje, registrace, automatizace, oprava, evidence, externí a mezinárodní porovnávání, hierarchie etalonů
Lidský činitel	Výuka, výchova, vlastnosti (významné pro měření), zkoušky, praxe
Realizace měření	Čtení, registrace, automatizace, aplikace výpočetní techniky
Zpracování výsledku	Výzkum, studium a aplikace statistiky, výpočetní technika
Stanovení nejistoty výsledku	Výzkum, studium a aplikace statistiky, výpočetní technika
Posouzení nejistoty výsledku	Porovnání s požadavky a s výsledky jiných externích podobných měření
Aplikování výsledku	Podle účelu, požadavků a zkušeností
Další činnosti	Právní aspekty metrologie, zákon, vyhlášky
	Organizační aspekty podnikové metrologie
	Mezinárodní metrologická spolupráce
	Prognostika

2 METROLOGICKÁ TERMINOLOGIE

Základním dokumentem, který se zabývá definicemi všeobecných a základních termínů se nazývá International Vocabulary of Metrology – Basic and general concepts and associated terms, third edition, ISO, 2007.[8] Tento mezinárodní metrologický slovník uvádí pojmy v pěti kapitolách a pro lepší pochopení pojmů a vztahů jsou doplněny o diagramy.

2.1 Dělení měřidel

2.1.1 Etalony

Etalon měřicí jednotky anebo stupnice určité veličiny je měřidlo sloužící k realizaci a uchovávání této jednotky nebo stupnice a k jejímu přenosu na měřidla nižší přesnosti. Uchováváním etalonu se rozumí všechny úkony potřebné k zachování metrologických charakteristik etalonu ve stanovených mezích.[13]

Etalony se dělí na několik úrovní. Tyto úrovně jsou definovány především jejich nejistotou. Slouží zejména k zabezpečování kvality a přesnosti jak procesu měření, tak i samotných měřidel, proto nejsou zpravidla používána k běžným měřením.

Rozlišujeme tedy etalony primární, které zabezpečují vyjádření dané veličiny a její jednotky v souladu s nejvyšší dosaženou přesností, kterou aktuální technické a vědecké poznatky umožňují. Primární etalony jsou uchovávány jako mezinárodní a státní.

Dále známe sekundární etalony, které v návaznosti na primární slouží k odvozování etalonů, používajících se v hospodářství.

Referenční etalony jsou využívány na úrovni jednotlivých podniků, anebo akreditovaných kalibračních laboratoří. Využívají se ke kalibraci vnitropodnikových měřidel.

Poslední skupinou jsou etalony pracovní, které slouží ke kalibraci provozních měřidel.

2.1.2 Kontrolní měřidla

Tato měřidla nejsou používána k běžnému dennímu měření, ale také nenahrazuje etalony. Jejich účelem je zejména kontrolní, tedy pro kontrolu měřidel, využívaných v běžné denní praxi. Pro tyto účely musí splňovat následující předpoklady:

- musí mít řádově vyšší přesnost, než měřidlo kontrolované

- musí být zajištěna jejich návaznost na etalon vyššího řádu
- musí být specifikována v metrologických systémech jednotlivých organizací (nikoli zákonem)

2.1.3 Stanovená měřidla

Stanovená měřidla jsou měřidla, která Ministerstvo průmyslu a obchodu stanoví vyhláškou k povinnému ověřování s ohledem na jejich význam

- v závazkových vztazích, například při prodeji, nájmu nebo darování věci, při poskytování služeb nebo při určení výše náhrady škody, popřípadě jiné majetkové újmy,
- pro stanovení sankcí, poplatků, tarifů a daní,
- pro ochranu zdraví,
- pro ochranu životního prostředí,
- pro bezpečnost při práci, nebo
- při ochraně jiných veřejných zájmů chráněných zvláštními právními předpisy.[13]

Tato měřidla podléhají nutnosti pravidelného ověřování, které potvrzuje, že měřidlo splňuje požadavky, kladené na jejich provoz. Lhůty pro platnosti jednotlivých kalibrací jsou uvedeny ve vyhlášce č. 345/2002 Sb.

Stanovených měřidel může být používáno pro daný účel jen po dobu platnosti provedeného ověření. Novému ověření však tato měřidla již nepodléhají, pokud prokazatelně přestala být užívána k účelům, pro které byla vyhlášena jako stanovená. ČMI je oprávněn zjišťovat u uživatelů plnění povinností předkládat stanovená měřidla k ověření. Zjistí-li, že je používáno stanovené měřidlo bez platného ověření, měřidlo zaplombuje nebo zruší úřední značku.

ČMI může povolit krátkodobé používání stanoveného měřidla v době mezi ukončením jeho opravy a ověřením s omezením této doby. Toto ustanovení je plošně uplatňováno v případě vah s neautomatickou činností, výdejních stojanů na pohonné hmoty, taxametrů a procesních plynových chromatografů pro stanovení energetické hodnoty zemního plynu; u těchto měřidel po provedení servisu či opravy označí a zajistí registrovaný oprávněný stanovené měřidlo přidělenými značkami na místech určených k umístění úřední značky; takto označené měřidlo lze používat jako stanovené po dobu 30 dnů od ukončení servisního zásahu či opravy. V této době musí být zajištěno ověření; pokud se to nestane, nesmí být mě-

řidlo po této lhůtě používáno jako stanovené. K této věci vydal ČMI závazné opatření. S tímto plošným povolením je seznámen i dozorový orgán, kterým je ČOI. U jiných druhů měřidel se v této věci rozhoduje individuálně.[14]

Subjekty (uživatelé stanovených měřidel) jsou povinny vést evidenci používaných stanovených měřidel podléhajících novému ověření s datem posledního ověření a předkládat tato měřidla k ověření.[14]

2.1.4 Pracovní měřidla nestanovená

Pracovní měřidla jsou měřidla, která nejsou etalonem ani stanoveným měřidlem.

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 určování vlastností materiálů.[13]

V pochybnostech určí případné zařazení měřidla do některé z uvedených kategorií měřidel Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. [13]

Tato měřidla představují v běžné výrobní praxi nejhojnější zastoupení. Jsou využívány k vyhodnocování nejen výrobků samotných, ale také k ověření korekcí, v případě neshody. Jejich používání je specifikováno v rámci vnitropodnikové organizace a řízení kontroly výroby.

Metody využívané během kontroly musí být jasně specifikovány, kvantifikovány a vyhodnocovány. K tomu účelu slouží mnoho metod, z níž často používaná je MSA - Analýza měřicího systému.

Jednotnost a kvalita pracovních měřidel je zajištěna jejich uživatelem, což v praxi zpravidla znamená, že je řízena například podnikovým metrologem nebo manažerem kvality. Zákon těmto uživatelům umožňuje, za předem stanovených podmínek, stanovení způsobu návaznosti pracovních měřidel na etalonu, dobu platnosti kalibrace a také kritéria shody měřidla s etalonem v návaznosti na potřeby uživatele.

Kalibrace může být prováděna samostatně v návaznosti na vnitropodnikové etalony a kalibrační postupy, nebo prostřednictvím služeb externích dodavatelů.

2.1.5 Orientační měřidla

Tento typ měřidel bývá také označován jako „informativní“, což napovídá o jejich charakteru. Jsou definována jako měřidla, která neovlivňují kvalitu, množství, bezpečnost a ochranu zdraví při práci. Využití těchto měřidel je zpravidla ve vnitropodnikové metrologické dokumentaci specifikováno jako orientační, nepodléhají nutnosti pravidelné kalibrace.

Stejně jako pracovní měřidla je vhodné i tento typ měřidel v praxi označit jednoznačně tak, by nemohlo dojít k jejich záměně.

2.1.6 Referenční materiály

Referenční materiály jsou takové materiály nebo látky, kterou jsou dostatečně definovány a stabilní. V metrologické praxi se využívají ke:

- kalibraci přístrojů a zařízení
- vyhodnocování metod měření
- kvantifikované určování vlastností materiálů

2.1.7 Certifikované referenční materiály

Certifikované referenční materiály jsou materiály, jejichž složení nebo vlastnosti certifikoval ČMI nebo AMS. Certifikací referenčního materiálu se potvrzuje hodnota jedné nebo více vlastností materiálu nebo látky uvedené v certifikátu. O certifikaci referenčního materiálu se vydává certifikát - náležitosti certifikátu stanoví ministerstvo vyhláškou č. 262/2000 Sb. v platném znění a která obsahuje a upravuje řadu dalších náležitostí pro tuto oblast. Výrobci nebo dovozcům, kteří certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály uvádějí do oběhu, stanovuje zákon povinnost uvést v dokumentaci jejich metrologické charakteristiky.

Výrobce certifikovaného referenčního materiálu má před jeho uvedením do oběhu povinnost předložit referenční materiál k certifikaci. Certifikaci dovážených referenčních materiálů, určených jako certifikované referenční materiály, zajišťuje jejich uživatel, pokud již nebylo zajištěno dovozcem nebo zahraničním výrobcem.[14]

Při ČMI je zřízen Certifikační orgán pro certifikaci referenčních materiálů, který zveřejňuje četné bližší údaje o svém uspořádání, způsobilosti a službách.[14]

Pro ověřování stanovených měřidel nebo kalibraci hlavních etalonů se používají certifikované referenční materiály. Pokud však nelze z technických důvodů použít certifikované referenční materiály, je možno použít ostatní referenční materiály.[14]

Certifikované referenční materiály jsou všeobecně připravovány v sériích. Vlastní hodnoty jsou stanoveny v rámci nejistot měření při měření vzorků, které reprezentují celou výrobní sérii.[17]

2.2 Metrologická legislativa

Tato oblast je v českém legislativním rámci vymezena zejména následujícími zákony:

- Zákon č.20/1993Sb. o zabezpečení státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví, ve znění Zákona č.22/1997Sb. a
- Zákon č.505/1990Sb. ve znění Zákona č.119/2000Sb. a dalších dodatků určuje působnost orgánů státní správy

Tato legislativa je součástí harmonizace legislativy v souladu s požadavky Evropské Unie a závazků vyplývajících z požadavků zajištění podmínek sjednocení postupů posuzování shody a evropských předpisů pro metrologické a zkušební zabezpečení národního hospodářství.

Přirozeně jsou předměty legislativního rámce i další předpisy, jejich přehled je uveden v tabulce v příloze.

2.2.1 Zákon o metrologii

V této kapitole se budu krátce věnovat výše uvedeným zákonům a jejich hlavním bodům.

Zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii a související předpisy

(novelizován zákonem č. 20/1993 Sb., zákonem č. 119/2000 Sb.,zákonem č. 13/2002 Sb.,zákonem č. 137/2002 Sb. zákonem č. 226/2003 Sb.,zákonem č. 444/2005 Sb.,zákonem č. 481/2008 Sb., zákonem č. 223/2009 Sb., zákonem č. 155/2010 Sb.,zákonem č. 18/2012 Sb., viz příloha Právní předpisy v metrologii)

Účelem zákona je úprava práv a povinností fyzických osob, které jsou podnikateli, a právnických osob a orgánů státní správy, a to v rozsahu potřebném k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření.

Státní metrologickou kontrolou měřidel se pro účely tohoto zákona rozumí schvalování typu měřidla, prvotní a následné ověřování stanoveného měřidla a certifikace referenčních materiálů.

Úřad může na žádost uživatele měřidla vyjmout měřidlo specifického určení z působnosti státní metrologické kontroly měřidel na stanovené období.

Tento právní dokument je věnován zejména definicím těchto pojmů:

- základní měřicí jednotky
- měřidla a jejich návaznost
- schvalování typů měřidel
- ověřování a kalibrace měřidel
- úkoly orgánů státní správy a subjektů
- úhrady a pokuty

Zákon České národní rady č. 20/1993 Sb., o zabezpečení výkonu státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví

Zákonem se zřizuje se Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (dále jen "Úřad") se sídlem v Praze, který je podřízen ministerstvu průmyslu a obchodu rozpočtovou organizací.

V čele Úřadu je předseda; jeho jmenování a odvolání se řídí služebním zákonem.

Orgány státní správy v oblasti technické normalizace, metrologie a státního zkušebnictví jsou:

- a) ministerstvo
- b) Úřad.[13]

2.2.2 Zajištění návaznosti

Návazností měřidel se pro účely tohoto zákona rozumí zařazení daných měřidel do nepřerušené posloupnosti přenosu hodnoty veličiny počínající etalonem nejvyšší metrologické kvality pro daný účel. [13]

Státní etalony mají pro příslušný obor měření nejvyšší metrologickou kvalitu ve státě. Schvaluje je Úřad, který též stanoví způsob jejich tvorby, uchovávání a používání. Za tvorbu, rozvoj a udržování státních etalonů odpovídá stát, který tuto činnost zajišťuje podle tohoto zákona. Státní etalony uchovává Český metrologický institut nebo oprávněné subjekty pověřené Úřadem k této činnosti. Český metrologický institut koordinuje budování a rozvoj státních etalonů a jejich uchovávání. Státní etalony se navazují především na mezinárodní etalony uchovávané podle mezinárodních smluv nebo na státní etalony jiných států s odpovídající metrologickou úrovní.[13]

Pro další etalony nejvyšší metrologické kvality ve státě v oborech měření, kde není schválen státní etalon, platí ustanovení odstavce 2 obdobně.

K ochraně státních etalonů může být zřízeno v okolí jejich uchovávání ochranné pásmo podle zvláštních předpisů.[13]

Hlavní etalony tvoří základ návaznosti měřidel u subjektů a podléhají povinné kalibraci. Kalibraci hlavních etalonů provádí na žádost uživatele Český metrologický institut nebo akreditované kalibrační laboratoře a zahraniční subjekty, které zaručují srovnatelnou metrologickou úroveň. Lhůtu následující kalibrace hlavního etalonu stanoví uživatel tohoto hlavního etalonu podle metrologických a technických vlastností, způsobu a četnosti používání hlavního etalonu. Je-li Český metrologický institut požádán o kalibraci hlavního etalonu v oborech měření, ve kterých jsou vyhlášena stanovená měřidla, je povinen ji buď provést, anebo může tuto kalibraci zprostředkovat v zahraničí.

Způsob návaznosti pracovních měřidel stanoví uživatel měřidla. Kalibraci pracovních měřidel si mohou jejich uživatelé zajistit sami pomocí svých hlavních etalonů nebo u jiných tuzemských nebo zahraničních subjektů, které mají hlavní etalony příslušné veličiny navázány v souladu s odstavcem 5.[13]

3 KALIBRACE

Chce-li uživatel provádět měření, jejichž výsledkem má být pravdivý obraz skutečnosti, musí se také zabývat kalibrací používaných měřidel.

3.1 Kalibrace a důvody kalibrace

Základním nástrojem pro zajištění zjistitelnosti měřicího postupu je kalibrace měřících přístrojů, systému měření a referenčních materiálů. Kalibrace určuje přesnost měřidla, systému či referenčních materiálů. Je jí obvykle dosaženo přímým srovnáním se standardy nebo referenčními materiály. Důkazem kalibrace je zpravidla i nálepka umístěná na měřidle.

Čtyři hlavní důvody pro kalibraci měřidel:

- vytvoření a zajištění ověřitelnosti
- zajištění, že výsledky měření jsou konzistentní s jinými měřidly
- nastavení přesnosti měřidla
- zajištění návaznosti měřidla na etalon[17]

Kalibrace samotná může být zajištěna v rámci jednotky, anebo ve spolupráci s externími dodavateli – tuzemskými i zahraničními, tedy mohou využít služeb autorizovaných metrologických středisek.

Autorizovanými metrologickými středisky jsou subjekty, které ÚNMZ (dále „Úřad“) na základě jejich žádosti autorizoval k ověřování stanovených měřidel nebo certifikaci referenčních materiálů po prověření úrovně jejich metrologického a technického vybavení Českým metrologickým institutem a po prověření kvalifikace odpovědných zaměstnanců, která je doložena certifikátem způsobilosti vydaným akreditovanou osobou nebo osvědčením o odborné způsobilosti vydaným Úřadem. Pro účely autorizace může být využito zjištění prokázaných při akreditaci. Náležitosti žádosti o autorizaci a podmínky pro autorizaci stanoví ministerstvo vyhláškou. Na udělení autorizace není právní nárok. Neplní-li autorizovaný subjekt povinnosti stanovené zákonem nebo podmínkami stanovenými v rozhodnutí o autorizaci, nebo pokud o to požádá, Úřad rozhodnutí o autorizaci pozastaví, změní nebo zruší.

Úřad autorizovanému metrologickému středisku přiděluje, popřípadě odnímá úřední značku pro ověření měřidla. V rozhodnutích a osvědčeních je autorizované metrologické

středisko povinně uvést svůj název a připojit k podpisu otisk razítka autorizovaného metrologického střediska.

Jiné subjekty než ty, které jsou k tomu autorizovány, nejsou oprávněny užívat označení autorizované metrologické středisko, a to ani jako součást svého názvu.

3.2 Ověření

Ověřením stanoveného měřidla se potvrzuje, že stanovené měřidlo má požadované metrologické vlastnosti. Tento požadavek se považuje za splněný, pokud je měřidlo v souladu s požadavkem stanoveným opatřením obecné povahy. Postup při ověřování stanovených měřidel stanoví ministerstvo vyhláškou.[13]

Ověřené stanovené měřidlo opatří Český metrologický institut nebo autorizované metrologické středisko úřední značkou nebo vydá ověřovací list anebo použije obou těchto způsobů. Grafickou podobu úřední značky a náležitosti ověřovacího listu stanoví ministerstvo vyhláškou.[13]

Za úřední značku prvotního ověření podle tohoto zákona se považuje také označení shody a zajišťovací značky výrobce, umístěné na stanoveném měřidle, které bylo uvedeno na trh podle zvláštního právního předpisu. [13]

Poškozování nebo pozměňování platných úředních značek je zakázáno.

Při kalibraci pracovního měřidla se jeho metrologické vlastnosti porovnávají zpravidla s etalonem; není-li etalon k dispozici, lze použít certifikovaný nebo ostatní referenční materiál za předpokladu dodržení zásad návaznosti měřidel.[13]

Pokud měřidlo bylo vyrobeno a uvedeno do oběhu v některém z členských států Evropské unie nebo Evropského hospodářského prostoru nebo ve státě, s nímž je sjednána mezinárodní smlouva o uznávání, kterou je Česká republika vázána, v souladu s příslušnými předpisy tohoto státu, a pokud v České republice podléhá požadavku na prvotní ověření, uznávají se výsledky metrologických zjištění provedených v tomto státě, pokud zaručují metrologickou úroveň, jakou vyžaduje právní úprava v České republice, a pokud tyto výsledky jsou k dispozici Českému metrologickému institutu.[13]

3.3 Vztah mezi kalibrací a ověřením

Vztah mezi těmito postupy lze dovodit z jednotlivých charakteristik daných činností. Zatímco metoda ověření se zabývá zkoumáním shody metrologických vlastností předmětného měřicího přístroje (měřidla) s legislativními požadavky, kalibrace se věnuje vyhodnocení případné rozdílnosti mezi naměřenou hodnotou zkoumaného měřicího přístroje s hodnotou vyjádřenou etalonem.

Podíváme-li se tedy na výsledek obou činností, zjistíme, že v případě kalibrace mohou být zjištěné rozdíly a chyby uvedeny v kalibračním listu, což lze použít i ke korekci měřidla, pro účely ověřování se naměřená hodnota neuvádějí, protože je podstatné, zda stanovené měřidlo vyhovuje toleranci povolených hodnot či nikoli bez ohledu na rozložení případných chyb.

3.4 Kalibrační předpis

Kalibrační předpis, neboli také kalibrační postup, je souhrnem všech činností, které musí kalibrační pracovník při kalibraci provést. Jedná se tedy o pracovní návod, jakým způsobem se má postupovat.

Vhodný kalibrační předpis by měl splňovat následující požadavky:

- úplnost – nesmí v něm být vynechány kroky kalibrace
- správnost – uvedené údaje nesmí obsahovat chybu
- srozumitelnost – pojmy uvedené v předpisu nesmí být zavádějící
- validaci – není-li zákonem stanoveno jinak, musí být validován v rámci metrologického řádu podniku
- stručnost – postup by neměl obsahovat jiné než nezbytné údaje
- přehlednost – slouží pro snadnou orientaci v krocích a definicích

4 STANOVENÍ NEJISTOT PRO KALIBRACI DÍLENSKÝCH MĚŘIDEL

4.1 Nejistoty a chyby měření

Všechna prováděná měření jsou zatížena chybou, kterou jsou podmíněny aktuálními podmínkami měření, za kterých bylo prováděno. Chybě se nelze vyhnout při měřeních za podmínek opakovatelnosti, ani reprodukovatelnosti.[17]

- Opakovatelnost vyjadřuje míru shody mezi výsledky měření prováděných v těsné časové posloupnosti za sebou a za stejných podmínek měření. Jejimi podmínkami jsou:
 - stejný postup
 - stejná osoba
 - totéž měřidlo
 - shodné místo
 - opakované měření v průběhu krátkého časového intervalu

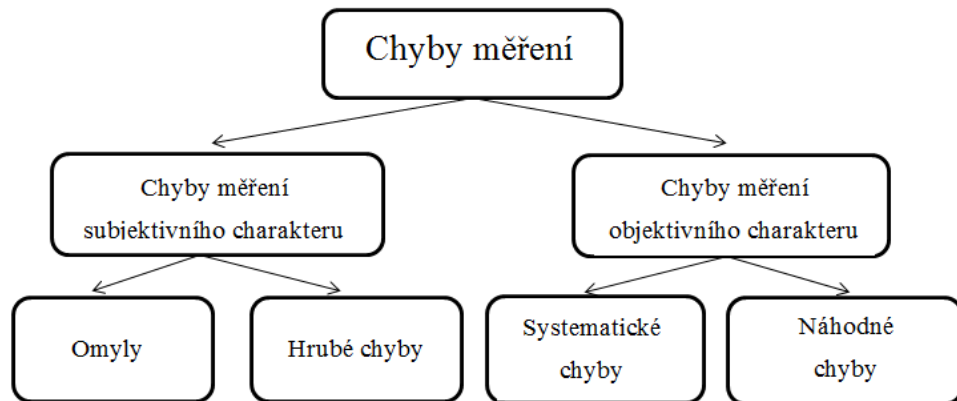
Reprodukovatelnost vyjadřuje míru shody mezi výsledky měření prováděných za změněných podmínek, kdy nejméně jedna z uvedených podmínek není při prováděných měřeních shodná. [17]

- stejný postup
- stejná osoba
- totéž měřidlo
- shodné místo
- opakované měření v průběhu krátkého časového intervalu

4.1.1 Chyby měření

Z výše uvedeného vyplývá, že k jisté míře zatížení měření chybou dojde vždy. Chybu měření lze definovat jako rozdíl zjištěné hodnoty a pravé či konvenčně pravé hodnoty zjišťované veličiny. Jelikož pouze jedno měření zpravidla k odhadu chyby nestačí, tedy není s čím porovnávat, musí být provedeno vícekrát. [17]

Graf4.1Dělení chyb[17]



Na výsledku měření se velkou měrou podílí také stav a kvalita měřících nástrojů.

K základním požadavkům jakosti měřidla patří:

- přesnost
- citlivost
- spolehlivost
- životnost

4.1.2 Rozdělení chyb

Chyby dělíme na:

- absolutní
- relativní

Dále dle charakteru:

1. chyby subjektivního charakteru
 - omyly
 - hrubé chyby
2. chyby náhodného charakteru
 - náhodné
 - systematické – konstantní nebo proměnné

Hodnoty měření dané veličiny:

- konvenčně pravá hodnota – hodnota měřené veličiny, jejíž rozdíl od pravé hodnoty je zanedbatelný
- pravá hodnota – hodnota měřené veličiny

➤ **Absolutní chyba měření**

Jedná se o rozdíl mezi výsledkem měření a (konvenčně) pravou hodnotou měření. V praxi ovšem nelze pravou hodnotu veličiny získat, proto se nahrazuje tzv. konvenční pravou hodnotou, získanou pomocí řádově až 10x přesnějším měření.

$$\Delta = X_m - X_p \quad (4.1)$$

x_m je naměřený výsledek

x_p je (konvenčně) pravá hodnota

➤ **Relativní chyba měření**

Jedná se o poměr absolutní chyby měření k (konvenční) pravé hodnotě měření. Lze ji také vyjádřit v procentech.

$$\Delta r = \frac{X_m - X_p}{X_p} \quad (4.2)$$

x_m je naměřený výsledek

x_p je (konvenčně) pravá hodnota

➤ **Hrubé chyby**

Tento typ chyb je charakteristický velkou odlišností od předpokládaného výsledku měření. Jejich vznik je způsoben zejména:

- omyly
- hrubými opomenutími při měření,
- nevhodně zvoleným postupem měření
- nebo vadou měřicího přístroje.

Výskyt těchto chyb je možné ověřit pomocí mnoha nástrojů statistického vyhodnocování, jako například:

- boxplotovým diagramem
- histogramem
- Grubbsovým testem hypotéz

➤ **Náhodná chyba**

Jsou to chyby, které nelze předvídat, vyskytují se nahodile vlivem náhodných jevů. Mohou být způsobeny například:

- drobnými otřesy při měření,
- kolísáním teploty,
- či lidským faktorem. Nelze je naprosto potlačit.

Vypočítáme ji, když od střední hodnoty, která by vznikla z nekonečného počtu měření, odečteme naměřený výsledek měření, čímž stanovíme odhad náhodné chyby. Velikost této chyby lze zmenšit opakovaným měřením.

➤ **Systematická chyba**

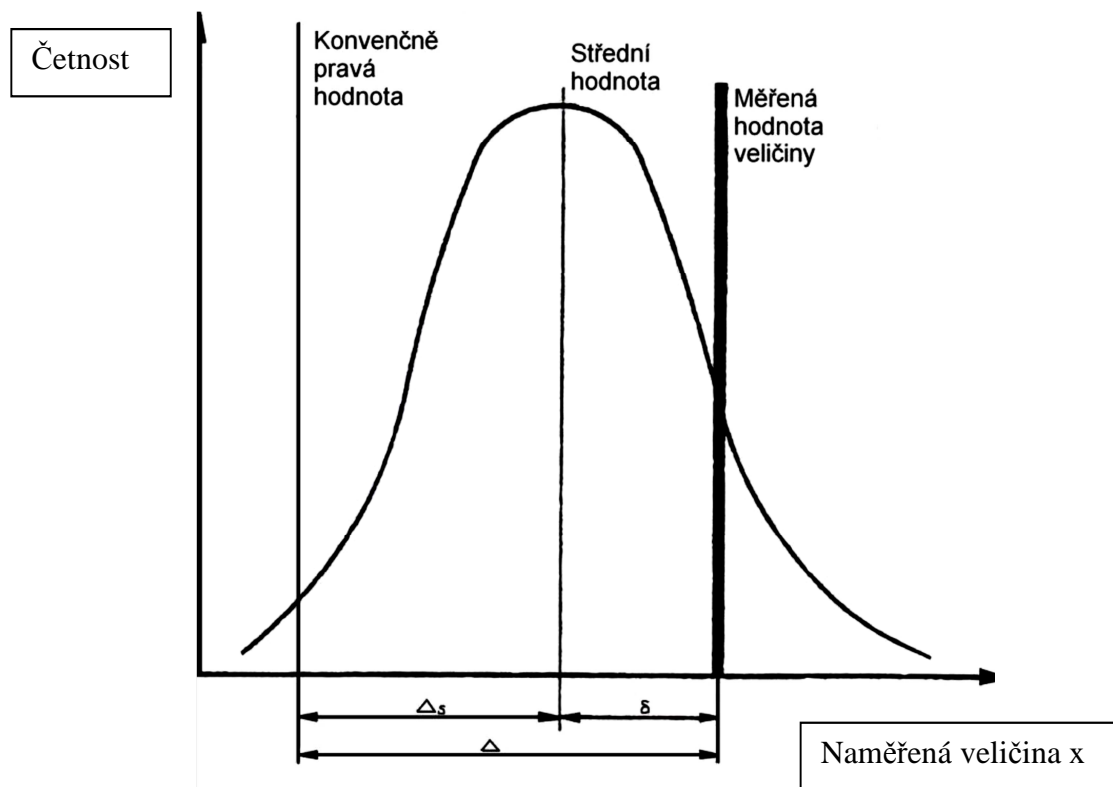
Tento typ chyb se vyskytuje pravidelně při opakovaném měření za stejných podmínek. Je tedy konstantní, ať již velikostí, nebo i znaménka. Tato chyba je také charakterizována případnou změnou v závislosti na změně podmínek měření, avšak vždy se mění dle určité závislosti. Může být způsobena:

- vadou měřicího zařízení,
- nevhodnou metodou měření,
- či lidským faktorem.

Lze ji odstranit za pomoci statistické korekce měření. Jelikož je proces zjišťování a odstraňování systematických chyb poměrně časově a finančně nákladný, uplatňuje se v pouze případech, kdy je to nevyhnutelné.

Výpočet systematické chyby získáme jako rozdíl mezi střední hodnotou, kterou bychom získali při nekonečném počtu měření za stejných podmínek, a (konvenčně)pravou hodnotu zkoumané veličiny.

Graf 4.2 Grafické vyjádření chyby měření



4.1.3 Zdroje chyb měření

Chyby při měření mohou být způsobeny mnoha faktory. Některé z nich lze odstranit, jiné definitivně eliminovat nelze. Proto při vyhodnocování výsledků naměřených veličin by měli zohledněny následující činitele:

- chyby měřicího přístroje – jsou to chyby vznikající vlivem nedokonalosti použitých technologií
- chyby instalace – vznikají při nedostatečné instalaci měřidel
- chyby měřicí metody – vyplývají z nevhodně zvolených metod měření, či jejich nedokonalosti
- chyby lidského faktoru – způsobené nedokonalostí pozorovatele
- chyby při vyhodnocení – způsobené nevhodným či chybným zpracováním dat

Tyto zdroje mohou působit buď jednotlivě, nebo společně, nejsou tedy na sobě nezávislé.

5 STANOVENÍ NEJISTOTY MĚŘENÍ PŘI KALIBRACI

Nejistota je kvantifikované vyjádření kvality výsledku měření, umožňuje srovnávání naměřených výsledků s ostatními výsledky, referenčními materiály, specifikacemi či standardy.

Všechna měření jsou svým způsobem chybná, jelikož se výsledek měření odlišuje od přesné hodnoty. Věnovaný čas a zdroje umožňují většinu zdrojů nejistot identifikovat, chyby měření mohou být kvantifikována a korigována. Například za pomoci kalibrace. [17]

Nejistotou měření lze označit rozsah naměřených hodnot, které lze přiřadit k hodnotě naměřené veličiny. Parametrizuje tím rozsah hodnot, které mohou být důvodně přisuzovány naměřené veličině. Nejistota se ovšem netýká jen a pouze výsledků měření, jak by se mohlo na první pohled zdát, nýbrž také samotných měřidel a postupů měření a jeho vyhodnocení. Někteří řadí do této skupiny také korekce samotné.

Precizní stanovení nejistot měření je požadováno zejména při výzkumné a technické činnosti, jako například při:

- Experimentálních zkouškách v laboratořích
- měření a vyhodnocování etalonů
- technologicky náročných měření s vysokým požadavkem přesnosti
- vyhodnocování v rámci legislativních požadavků

Při určování nejistot dochází k uplatnění matematické statistiky a teorie pravděpodobnosti. Uvažujeme-li, že získané hodnoty měřením, stejně jako chyby vzniklé při sbírání hodnot podléhají rozdělení pravděpodobnosti, docházíme k tomu, že i samotný výsledek měření má určité rozdělení pravděpodobnosti.[17]

Rozlišujeme následující typy nejistot:

- nejistota typ A
- nejistota typu B
- kombinovaná nejistota
- rozšířená nejistota

5.1 Stanovení nejistoty vstupní veličiny metodou typu A

Vyhodnocení typu A standardní nejistoty je metoda vyhodnocení nejistoty pomocí statistické analýzy naměřených údajů. V případě opakovaných přímých měření se jedná o statistické zpracování výsledků opakovaným přímým měřením.[9]

Předpokládá se, že naměřené hodnoty získáme nezávislým měřením za shodných podmínek měření. To znamená, že máme k dispozici n naměřených údajů $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. Naměřené údaje jsou realizací n nezávislých stejně přesných měření jedné veličiny. [18]

Odhad hodnoty naměřené veličiny daný vztahem

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.1)$$

Standardní nejistota určená hodnotou tohoto odhadu se rovná směrodatné odchylce aritmetického průměru, tedy:

$$u_{Ax} = S_x = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.2)$$

Podmínkou vyhodnocování typu A je realizace více opakovaných měření.

Při malém počtu opakovaných měření ($n < 10$), je-li proces měření statisticky řízen a je k dispozici průřezový rozptyl s_p , který charakterizuje rozptýlení řádného měřicího procesu, určíme standardní nejistotu metodou A podle vztahu:[18]

$$u_{Ax} = \frac{s_p}{\sqrt{n}} \quad (5.3)$$

Tabulka uvádí koeficient k pro hodnotu $n < 10$, pro $n > 10$ se nedoporučuje.

Tabulka 5.1 Hodnota koeficientu k pro hodnotu $n < 10$

n	10a více	9	8	7	6	5	4	3	2
k	1,0	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,7	2,3	7

Výsledná nejistota typu A je pak stanovena za pomoci Gaussova zákona šíření nejistot.[9] Normální (nebo Gaussovo) rozdělení pravděpodobnosti je jedno z nejdůležitějších rozdělení pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny. Slovo "normální" zde není použito v obvyklém smyslu "obyčejné", "běžné". Jeho použití se vztahuje k staršímu významu "řídící se zákonem, předpisem nebo modelem".

Tímto rozdělením pravděpodobnosti se sice neřídí velké množství veličin, ale jeho význam spočívá v tom, že za určitých podmínek dobře aproximuje řadu jiných pravděpodobnostních rozdělení (spojitých i diskrétních).[9]

5.2 Stanovení nejistoty vstupní veličiny metodou typu B

Hodnoty nejistoty typu B nejsou stanovovány, na rozdíl od hodnot nejistoty typu A, opakovaným měřením a jejím statistickým vyhodnocením. Pro stanovení nejistoty typu B se používají hodnoty vycházejících z odborných úsudků, vzniklých na základě dostupných informací a měření veličiny X, včetně možných změn. [9]

Zdroji těchto informací mohou být například:

- aktuální měření a výsledky vyhodnocení, které byly získány na základě používání měřidla
- hodnot udávaných výrobcem měřicího přístroje
- kalibrační listy a certifikáty měřicího přístroje
- nejistota referenčních materiálů
- vadou měřicího přístroje
- nejistota způsobená měřicí metodou
- aj.

Správné použití postupů při vyhodnocení a následné získání relevantních údajů, stejně jako získání hledané veličiny je odvislé nejen na výše uvedených zdrojích informací, ale také na odbornosti a stupni pochopení procesů daným pracovníkem.[18]

Proto je nesmírně důležitá nejen volba vhodného postupu, ale také praxe osoby, která vyhodnocení provádí.

Rámcový postup stanovení nejistot pro vyhodnocení typu B je tento:

1. Vytipují se možné zdroje nejistot Z_1, Z_2, \dots, Z_p .
2. Proveďte se odhad odchylek vzorec plus mínus Z_{\max} od jmenovité hodnoty tak, aby nejlépe vystihoval výskyt hodnot Z v interval plus mínus Z_{\max}
3. Určí se standardní nejistota každého zdroje
 - buď převzetím certifikátů, technické dokumentace, tabulek, technické normy, kalibračních listů, dokumentace výrobce, atd.
 - anebo metodami uvedenými níže

4. Stanoví se jednotlivé nejistoty U_x [18]

$$u_{z=\frac{\Delta z_{max}}{\varnothing}} \tag{5.4}$$

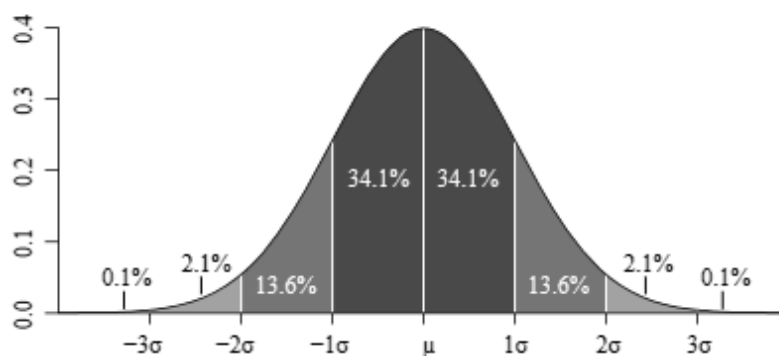
Pro standardní použití bývá nejčastěji volen vztah pro rovnoměrné rozdělení pravděpodobnosti s koeficientem. Poté se určí hodnoty U_z a standardní nejistota typu B dle vzorce:

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^X U^2 z_i} \tag{5.5}$$

Tabulka 5.2 Stanovení konstanty k podle pravděpodobnosti rozdělení

	Z max	K
Normální (Gaussovo) rozdělení	a	3
	b	2
Trojúhelníkové (Simpsonovo) rozdělení	a	$\sqrt{6}$
Bimodální trojúhelníkové rozdělení	a	$\sqrt{2}$
Bimodální - Diracovo rozdělení	a	1
Rovnoměrné (pravoúhlé) rozdělení	a	$\sqrt{3}$
Lichoběžníkové rozdělení	a při b = a/3	2,32
	a při b = a/2	2,19
	a při b = 2a/3	2,04

Tabulka 5.3 Odhad rozdělení pro jednotlivé složky nejistoty typu B – Normální Gaussovo rozdělení[19]



Pro aplikaci aproximace normálovým rozdělením přistupujeme tehdy, mohou-li se častěji vyskytovat odchylky od nominální hodnoty malých hodnot a s rostoucí hodnotou pravděpodobnosti jejich výskytu klesá. Například je-li zdrojem nejistoty měřicí přístroj od

důvěryhodného výrobce, u kterého lze předpokládat, že většina přístrojů bude s malými chybami.[9]

K aproximaci rovnoměrným rozdělením dochází tehdy, je-li pravděpodobnost výskytu jakékoli odchylky v daném intervalu $\pm Z$ max stejná. K aplikaci tohoto druhu aproximace dochází velmi často. Důvodem je mimo jiné i to, že zpravidla nemáme dostatečné poznatky o rozdělení pravděpodobnosti výskytu odchylek.[9]

Aproximaci trojúhelníkem použijeme obdobně jako u normálního rozdělení.

Aproximaci bimodálním rozdělením použijeme například u měřících přístrojů, které výrobce rozděluje do různých tříd přesnosti. V některých případech totiž nelze pro střední třídu přesnosti použít přístroje s příliš malými nebo příliš velkými chybami, protože již náleží do jiné třídy přesnosti.[9]

5.3 Výpočet standardní kombinované nejistoty

V praxi je obvykle třeba společně jediným číslem vyjádřit nejistoty typu A a nejistoty typu B.[18] Kombinovaná standardní nejistota u_c je součtem předchozích typů standardních nejistot, tedy A a B. Udává nám interval, ve kterém se pohybuje naměřená veličina. Tento typ nejistoty vypočítáme dle následujícího vzorce:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (5.6)$$

5.4 Rozšířená nejistota

Rozšířená standardní nejistota U je ponejvíce uváděna v případech, kdy je nutné zajistit vysokou pravděpodobnost měření. Tento typ nejistoty lze pozorovat například ve výsledcích kalibrace prováděné kalibrační laboratoří.

Nejčastěji se setkáváme s použitím koeficientu $k = 2$, který vyjadřuje, že při normálním rozdělení pravděpodobnosti je hledaná hodnota v intervalu s pravděpodobností pokrytí asi 95%.

Tato úroveň spolehlivosti je určena vynásobením standardní kombinované nejistoty u_c a koeficientu rozšíření k .

$$U = k \cdot u_c, \quad (5.7)$$

Tabulka č. 5.4 Koeficienty rozšíření pro normální rozdělení

Koeficient rozšíření k	Pravděpodobnost P
1	68%
2	95%
2,58	99%
3	99,70%

5.5 Vyjadřování nejistot v kalibračních listech

Jak jsem již uvedl, při vyjadřování výsledků naměřených hodnot uváděných v kalibračních listech je také nutno uvést k odhadu y i náležící rozšířené nejistoty, které se vyjadřují ve tvaru $y \pm U$.

Součástí takto definovaného zápisu je také formulace zmiňující, že uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k_T=2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%.

5.6 Kalibrační postup – posuvné měřítko digitální

Tento kalibrační postup se vztahuje na kalibraci posuvek s nonickou diferencí 0,1 mm a 0,05 mm s měřícím rozsahem do 2000 mm a posuvek s kruhovým číselníkem s hodnotou dílku stupnice 0,1 mm a 0,05 mm.

a) Potřebné vybavení ke kalibraci

- sada koncových měrek, pracovní etalon minimálně 5. sekundárního řádu a 2.třídy přesnosti, navázaný na hlavní etalon,
- příslušenství koncových měrek ŠN 25 3327 (pro delší rozměry),
- příslušenství k ošetřování koncových měrek
- kontrolní kroužek, navázaný na příslušný etalon minimálně 4. sekundárního řádu
- nožové pravítko 125 mm nebo 200 mm nebo 315 mm, navázané na etalon
- třmenový mikrometr nebo pasometr, navázaný na etalon
- průměrná deska
- tělískový teploměr s měřícím rozsahem min (16 až 26)°C s hodnotou dílku stupnice min. 0,2 °C, popř. jiný teploměr obdobných parametrů, navázán na etalon,
- vlasový vlhkoměr, navázaný na etalon,

- odmagnetovávací přístroj,
- lupa se zvětšením 6x až 8x,
- šroubováky různých šířek (0,9 mm až 3,5 mm),
- speciální keramický brousek, kámen arkansas,
- smirkový papír Carbodurum 320, lapovací papír 500,
- čisticí prostředky (čistý lékárenský benzín, miska, vlasový štětec, lněná utěrka, jelenice),
- mazací a konzervační prostředky (lékařská vazelína, hodinářský olej, apod.).
- vazelína.

b) Obecné podmínky kalibrace

Kalibrace posuvky se provádí za těchto podmínek:

- Teplota prostředí: $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
- Teplotní rozdíl mezi etalonem a posuvkou: max. 1°C .
- vlhkost vzduchu: $50\% \pm 15$
- Minimální doba temperování posuvky a etalonu podle následující tabulky
- Teplota kalibrované posuvky, etalonu a prostředí v místnosti se měří před zahájením
- Kalibrace a po jejím ukončení.

c) Proces kalibrace

- Předběžná kontrola a úprava posuvky:
 - o Posuvka se očistí, všechny měřicí plochy se odmastí, posuvka se podle potřeby odmagnetuje. Překontroluje se, zda posuvka není mechanicky poškozena. Vizuálně se překontrolují měřicí plochy, včetně případné funkční plochy hloubkoměru. Měřicí plochy nesmějí být poškrábány nebo jinak poškozeny, šrouby na ustavujícím ústrojí nesmějí být ohnuty, nebo nesmějí mít poškozený závit. Lehce poškozené plochy se upraví, např. lapovacím papírem, poškozené hrany vodících ploch tělesa posuvky se upraví jemným pilníkem a dočistí kamenem arkansas, místa napadená korozí se očistí smirkovým papírem. Zkontroluje se označení posuvky evidenčním číslem.
- Funkční zkouška

- Pohyb posuvné části musí být plynulý, bez zadržávání a pouze s minimální vůlí v celém měřicím rozsahu. Při zaaretování posuvné části se nesmí hodnota nastavená na stupnici změnit.
- Měření metrologických parametrů:
 - Rovnoběžnost měřicích ploch pro vnější měření se kontroluje pomocí koncových měrek. Rovnoběžná poloha měřicích ramen musí zůstat zachována i po zatažení ustavujícího ústrojí. Úchylka rovnoběžnosti měřicích ploch pro vnější měření nesmí být větší než 0,03 mm/100 mm u posuvek s nonickou diferencí 0,1 mm, u ostatních posuvek, tj. posuvek s nonickou diferencí 0,05 mm a posuvek s kruhovým číselníkem 0,02 mm/100 mm.
 - Celkově dovolené chyby posuvek 1. třídy přesností jsou odvozeny od vzorce $\pm (50 + 0,1 \times L) \mu\text{m}$, kde je L měřená délka v milimetrech.
- Vyhodnocení kalibrace
 - Měřené hodnoty, resp. úchyly od jmenovité hodnoty se zanesou do záznamu o kalibraci, resp. do kalibračního listu. Zjištěné úchyly zvětšené o rozšířenou nejistotu měření U se porovnají s dovolenými chybami.
 - Vyhovuje-li měřidlo požadavkům kalibrace, je opatřeno kalibrační značkou s datem platnosti. Nevyhovuje-li měřidlo požadavkům, zaniká platnost kalibrace.

5.7 Kalibrační postup – třmenový mikrometr

Tento kalibrační postup lze aplikovat při kalibracích i rekalibracích třmenových mikrometrů digitálních s rovinnými měřicími dotyky s rozlišitelností 0,001 mm v měřicím rozsahu od 0 mm do 25 mm. Stoupání mikrometrického šroubu může být 0,5 mm nebo 1 mm.

- a) Potřebné vybavení ke kalibraci
 - sada koncových měrek S 41 od 125 mm do 500 mm ČSN 25 2210.2. Jde o pracovní etalon minimálně 5. sekundárního řádu a 2. třídy přesnosti, který je navázán na etalon minimálně 4 sekundárního řádu.

- příslušenství koncových měrek
- stojánek na třmenové mikrometry, např. ČSN 25 3366
- planparalelní skleněné měrky, sada 4 měrek, např. 12,00 mm, 12, 25 mm, 12,37 mm, popř. 25,00 mm, 25, 12 mm, 25, 37 mm,
- rovinná skleněná měrka Ø 45 mm, popř. Ø 60 mm,
- sada pomocných doteků pro měření chyby chodu mikrometrického šroubu,
- nožové pravítko 200 mm, popř. 315 mm,
- vodorovný délkoměr s rozlišitelností lepší než 1 µm, navázaný na etalon,
- siloměr do 20 N, např. MKP 1500, Haldex Švédsko apod.
- tělískový teploměr s měřícím rozsahem min (16 až 26)°C s hodnotou dílku stupnice min. 0,2 °C, popř. jiný teploměr obdobných parametrů, navázán na etalon,
- vlasový vlhkoměr, navázaný na etalon,
- odmagnetovací přístroj,
- lupa se zvětšením 3x,
- šroubováky různých šířek (0,9 mm až 3,5 mm),
- čisticí prostředky (čistý lékárenský benzín, miska, vlasový štětec, lněná utěrka, jelenice),
- mazací a konzervační prostředky (lékařská vazelína, hodinářský olej, apod.).
- vazelína.

b) Obecné podmínky kalibrace

Kalibrace posuvky se provádí za těchto podmínek:

Teplota prostředí: 20°C ±2°C

Teplotní rozdíl mezi etalonem a posuvkou: max. 1 °C.

Vlhkost vzduchu: 50 % ±15

Minimální doba temperování posuvky a etalonu podle následující tabulky

Teplota kalibrované posuvky, etalonu a prostředí v místnosti se měří před zahájením kalibrace a po jejím ukončení.

c) Proces kalibrace

- Předběžná kontrola a případná úprava mikrometru:
 - o Mikrometr se očistí a podle potřeby odmagnetuje. Překontroluje se, zda mikrometr není mechanicky poškozen. Měřící plochy mikrometru a nastavovací měrky nesmějí být poškrábány, vyštípnuty nebo ji-

nak poškozeny. Lehce poškozené měřící plochy mikrometru a měřky se upraví. Zkontroluje se označení mikrometru evidenčním číslem.

- Funkční kontrola mikrometru
 - o Chod mikrometrického šroubu musí být v celém měřícím rozsahu plynulý, bubínek mikrometru nesmí při otáčení házet, při zajištění mikrometrického vřetena se nesmí změnit vzdálenost měřících ploch o více než 2 μm .
- Měření metrologických parametrů:
 - o Rovinnost měřících ploch mikrometru se kontroluje rovinnou skleněnou měrkou a vyhodnocuje se pomocí interferenčních proužků. Rovnoběžnost měřících ploch mikrometru s měřícím rozsahem od 0 mm do 25 mm, popř. od 25 mm do 50 mm se měří sadou čtyř planparalelních skleněných měrek. Měřicí síla se vyvodí zařízením pro vymezení měřicí síly a měří se vhodným siloměrem. Kontrola deformace třmenu se provádí především jako přejímací zkouška u větších mikrometrů.
- Vyhodnocení kalibrace
 - o Měřené hodnoty, resp. úchyly od jmenovité hodnoty se zanesou do záznamu o kalibraci, resp. do kalibračního listu. Zjištěné úchyly zvětšené o rozšířenou nejistotu měření U se porovnají s dovolenými chybami.
 - o Vyhovuje-li měřidlo požadavkům kalibrace, je opatřeno kalibrační značkou s datem platnosti. Nevyhovuje-li měřidlo požadavkům, zaniká platnost kalibrace.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 NÁVRH KALIBRAČNÍCH POSTUPŮ

Zadání diplomové práce je vytvoření návrhu kalibračních postupů, které by mohly být používány v běžné výrobní praxi prostřednictvím pracovníků kontrolních oddělení.

Zároveň zaměstnavatel by chtěl v rámci této diplomové práce provést nejen revizi stávajících kalibračních postupů, ale také v rámci projektů věnovaným optimalizaci firemních procesů, navrhnout postup pro zlepšení využívání zdrojů určených ke kalibracím. A to jak lidských, tak i procesních a nákladových.

Podmínkou úspěšného řešení je tedy připravit podklady pro optimalizaci na úrovni aplikovatelné v praxi, spolu s vyhodnocením navržených postupů i ušetřených nákladů.

Aktuální procesy, zabývající se kalibrací dílenských měřidel, jsou harmonizovány ve shodě s nutností postupného snižování pracnosti a nákladů. Tyto požadavky jsou nyní zejména plněny v rámci uzavřené smlouvy s externím dodavatelem kalibračních služeb, které jsou využívány jednak na základě expiračních lhůt jednotlivých měřidel, používaných při výrobní činnosti, ale také na základě úvah jednotlivých pracovníků Oddělení kontroly.

Tato rozhodnutí jsou stanovována na základě posouzení jednotlivých měřidel, která sice jsou zkalibrována v rámci časových lhůt, ale z důvodů běžného užívání ve výrobě mohou být poškozena nebo v podezření, že proměřují při kontrole požadovaných rozměrů. Dojde-li k situaci, že u měřidla dojde k pochybnostem o jeho kvalitě měření, je na posouzení jednotlivého pracovníka Oddělení kontroly, zda bude ihned vyřazeno nebo předáno ke kalibraci u externího dodavatele.

Vzhledem k tomu, že tento postup je sice platný, ale není exaktně definován, dochází při opětovné kalibraci měřidel k vícenákladům, které se skládají nejen z primárních cen za služby dodavatele, ale také ze sekundárních nákladů, vznikajících na straně vícepráce jednotlivých zaměstnanců společnosti. A to jak manipulačními, tak i administrativními.

6.1 Řešení požadavku

Aby bylo možné navrhnout vypracování řešení zadání, bylo nutné se soustředit na všechny výše zmíněné aspekty a zohlednit je při přípravě aplikovatelného postupu. Navřené řešení je věnováno zejména dvěma hlavními složkám, které přispějí k významné redukci nákladů, optimalizaci procesů a splnění zadání mého zaměstnavatele. Tedy zefektivnění

procesů na straně jedné, a také zefektivnění účelnosti vynaložených finančních prostředků spojených s kalibrací u externího dodavatele na straně druhé.

Bylo třeba stanovit kalibrační postupy pro dílenská měřidla, která by nejen standardizovaly procesy vyhodnocení jednotlivých měřidel v období kalibrační periody, čímž by redukovala možnost variabilního subjektivního hodnocení jednotlivými pracovníky, a tím i možné ovlivnění kvality kontroly a výroby, ale také přinášely podklady při rozhodování o vhodnosti jednotlivých měřidel ke kalibraci u externího dodavatele, což umožňuje další redukci nákladů tím, že nevhodná měřidla budou moci být eliminována ještě před zaslání k dodavateli.

Vhodnosti navržených kalibračních postupů bude definována dosaženými výsledky a jejich statistickým vyhodnocením. Zefektivnění vynakládání finančních prostředků bude dále definováno výpočty.

Po implementaci bude řešení platné a závazné pro všechny pracovníky oddělení kontroly ve všech výrobních celcích.

7 STANOVENÍ NEJISTOT MĚŘENÍ PRO JEDNOTLIVÉ KALIBRACE

7.1 Stanovení nejistoty měření posuvného digitálního měřidla

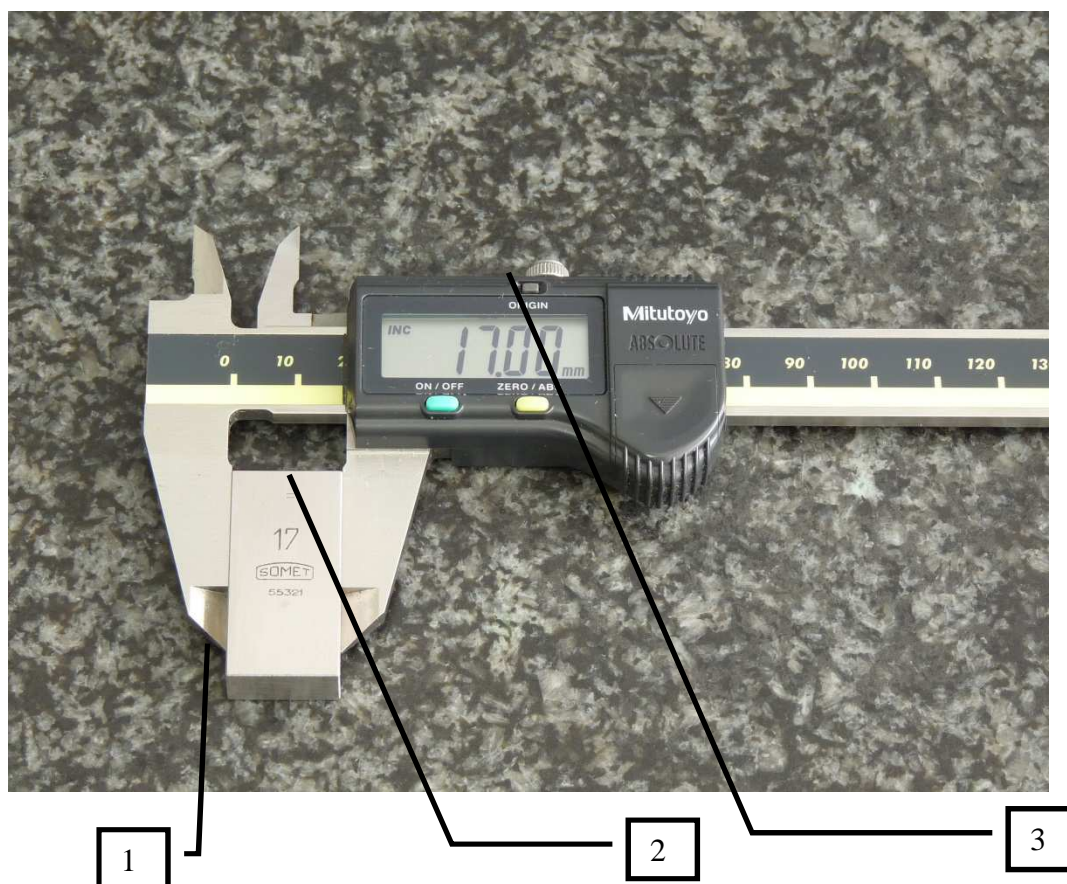
Proces kalibrace a následného hodnocení byl proveden v souladu s kalibračním postupem, zmíněným v diplomové práci.

7.1.1 Vnější měření a rozbor výsledků měření

Provedení kontrolních měření rozsahu vnějších ramen měřidla bylo provedeno za pomoci koncových měrek, etalonem 4. sekundárního řádu, v souladu s kalibračním postupem. Výsledky provedených měření jsou dále zobrazeny v tabulce č.7.1.

Obrázekč.7.1, na kterém je vyobrazen způsob provádění měření za pomoci koncové měrky. Komentář k obrázku následuje.

Graf7.1 Měření za pomoci koncové měrky



Aby bylo možné provést měření v souladu s kalibračním postupem, který je uveden v teoretické části diplomové práce, je nejprve nutno uvést měřidlo do souladu s požadavky.

To znamená, že je třeba zkontrolovat a zajistit, aby digitální měřítko mělo očištěno všech měřicí plochy, které se odmastí a posuvka se podle potřeby odmagnetuje.

Následně je třeba provést kontrolu funkčnosti. Pohyb posuvné části musí být plynulý, bez zadržávání a pouze s minimální vůlí v celém měřícím rozsahu. Při zafixování posuvné části se nesmí hodnota nastavená na stupnici změnit. Měřidlo je kontrolováno na rovnoběžnost a přímost měřících ploch.

Jsou-li podmínky splněny, je možné přistoupit k samotnému měření celkové chyby posuvky. Pro tyto účely je třeba respektovat následující body, vyznačené na obrázku:

- 1 – Koncová měrka – musí být očištěna od nečistot a navázána na etalon 4. sekundárního řádu
- 2 – Ramena měřidla – musí provést stisk koncové měrky celou plochou, avšak umístění koncové měrky nesmí přesáhnout plochu ramen.
- 3 – Fixační šroub – je-li naměřená hodnota zaaretována tímto šroubem, po uvolnění nesmí dojít ke změně hodnoty větší než dovolené, v souladu s kalibračním postupem.

Zjištěné hodnoty je třeba poté převést do tabelizovaného formátu pro další vyhodnocení.

Tabulka 7.1 Výsledky měření vnějších ramen posuvného digitálního měřítka

Jmenovitá hodnota koncové měrky	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	15,00	15,01	15,00	15,01	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
20	20,01	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,01	20,00
25	25,00	25,00	25,00	25,00	25,01	24,99	25,00	25,00	25,00	25,00
50	50,00	50,00	50,00	50,01	50,00	50,00	50,01	50,00	50,01	50,01
90	90,00	90,00	90,01	90,01	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00
120	120,00	120,01	120,00	120,00	120,00	120,01	120,00	120,00	120,00	120,01
150	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,01	150,00

7.1.2 Výpočet standardní nejistoty typu A

Níže je uveden postup a výpočet standardní nejistoty typu A, který je proveden pro naměřenou hodnotu 120 mm. Pro ostatní naměřené hodnoty jsou jednotlivé výpočty nejistoty typu A uvedeny v následující tabulce č. 7.2.

Prvním krokem při stanovení je výpočet střední hodnoty z výsledků měření dle následujícího vzorce.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7.1)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{10} 120,00 + 120,01 + 120,00 + 120,00 + 120,00 + 120,01 + 120,00 + 120,00 + 120,00 + 120,01 = 120,003 \text{ mm}$$

Stanovení standardní nejistoty typu A pro hodnotu 120 mm, bylo vytvořeno dle následujícího vztahu, přičemž koeficient byl definován hodnotou 1.

$$u_{Ax} = S_x = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (7.2)$$

Obdobný postup výpočtu byl uplatněn i pro ostatní naměřené hodnoty během provedené kalibrace, v souladu s kalibračním postupem. Celkový přehled získaných výsledků je uveden v následující tabulce č. 7.2.

Tabulka 7.2 Celkový přehled získaných výsledků

koncová měrka	\bar{x} [mm]	u_A [mm]
15	15,002	0,00133
20	20,002	0,00133
25	25,000	0,00149
50	50,004	0,00163
90	90,002	0,00133
120	120,001	0,00100
150	150,001	0,00100

7.1.3 Výpočet nejistoty typu B

Jako zdroje nejistot typu B byly shledány zejména následující atributy:

- nejistota kalibrace použitých měrek
- temperační podmínky při měření
- síla, kterou vyvinula osoba při měření

Z výše uvedeného vyplývá, že definování nejistoty typu B pro toto kalibrační měření bude součtem aspektů, které se podílí na vlivu měření a jejím vyhodnocování.

Prvním z uvedených zdrojů nejistoty typu B je nejistota zkalibrování použitých koncových měrek, které lze definovat dle vztahu pro etalony 4. sekundárního řádu s rozšířenou nejistotou měření $U = (0,1 + 1 L) \mu\text{m}$ a koeficientem $k = 2$ dle následujícího vzorce:

$$U_{Be} = \frac{U}{k} \quad (7.3)$$

$$U_{Be} = \frac{(0,1 + 1 \times 120)}{2} = 0,00011 \text{ mm}$$

Druhým zdrojem nejistoty typu B je určena teplota prostředí, ve kterém byla kalibrace prováděna. Vycházíme-li z obecných podmínek při běžných měření v kalibračních laboratořích, uvažujeme o teplotě v rozmezí $21^\circ \text{C} \pm 1$.

Při výpočtu bude použit koeficient při rovnoměrném rozdělení, tedy $\sqrt{3}$, a uvažována shodná délková teplotní roztažnost dle vztahu $\alpha = 11,5 \times 10^{-6} \times \text{K}^{-1}$

$$U_{Bt} = \frac{\Delta Z_{max}}{k} = \frac{11,5 \times 10^{-6} \times 120}{\sqrt{3}} = 0,00013 \text{ mm} \quad (7.4)$$

Třetím zdrojem nejistoty typu B je síla, která byla užitá při měření osobou, která je prováděla. Jelikož je tento parametr subjektivní, je nutno přihlídnout nejen k její možné variabilitě, ale také ji zohlednit při možném výskytu nedodržení Abbeho principu při měření, což by mohlo dále ovlivnit velikost chyb a tedy i nejistoty měření.

Vycházíme-li z výsledků získaných hodnot, zjistíme, že chyby získané během kalibrace se pohybují v rozmezí $\pm 0,01 \text{ mm}$. Jelikož data pocházejí z normálního Gaussova rozdělení, je použit pro výpočet koeficient $k = 3$.

Hodnotu zdroje nejistoty, která byla způsobena subjektivitou užití síly při měření, vypočítáme dle následujícího vzorce:

$$U_{Bms} = \frac{0,01}{3} = 0,0033 \text{ mm} \quad (7.5)$$

Nyní lze přistoupit k závěrečnému stanovení standardní nejistoty typu B. Pro její výpočet je třeba zohlednit výše uvedené zdroje nejistot a převést je na složky nejistot měřené veličiny, což bylo provedeno dle následujícího vztahu:

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^X U^2 z_i} \quad (7.6)$$

$$U_B = 0,0033 \text{ mm}$$

7.1.4 Výpočet standardní kombinované nejistoty U_c

Pro výpočet standardní kombinované nejistoty U_c byl použit vztah dle vzorce

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (7.7)$$

$$U_c = 0,0035 \text{ mm}$$

7.1.5 Výpočet standardní rozšířené nejistoty U

Stanovení této nejistoty je prováděno zejména v případech, kdy je vhodné zjistit výsledek měření s ještě větší pravděpodobností. Tento typ nejistoty je definován jako součin standardní kombinované nejistoty a koeficientu rozšíření, který je pro standardní konfidenční úroveň 2.

Samotný výpočet provedeme dle následujícího vzorce:

$$U = k \cdot u_c, \quad (7.8)$$

$$U = 2 \times 0,0035 = 0,0070 \text{ mm} \sim 0,01 \text{ mm}$$

Po provedeném zaokrouhlení výsledků měření je patrné, že hledaná hodnota bude náležet rozmezí $150,01 \pm 0,01 \text{ mm}$ s konfidenčním intervalem 95%.

V tabulce jsou shrnuty výsledky měření a výpočty jednotlivých typů nejistot pro jednotlivá měření. Tyto výsledky nebyly, na rozdíl od výše uvedeného výpočtu, zaokrouhlovány.

I přesto, že nebyly provedena tato matematická úprava je patrné, že výsledné hodnoty od sebe nevykazují významnou odlišnost, a proto je lze v běžné praxi považovat za zanedbatelnou.

Tabulka 7.3 Tabulka naměřených hodnot

koncová měrka	\bar{x} [mm]	u_A [mm]	u_{Be} [mm]	u_{Bt} [mm]	u_{Bms} [m m]	u_B [mm]	u_C [mm]	U [mm]
15,00	15,002	0,00133	0,00011	0,0008	0,0033	0,0033	0,0035	0,0070
20,00	20,002	0,00133	0,00006	0,0009	0,0033	0,0033	0,0036	0,0070
25,00	25,000	0,00149	0,00006	0,00010	0,0033	0,0033	0,0033	0,0071
50,00	50,004	0,00163	0,00008	0,00010	0,0033	0,0034	0,0038	0,0072
90,00	90,002	0,00133	0,00010	0,00012	0,0033	0,0034	0,0037	0,0075
120,00	120,00	0,00100	0,00011	0,00013	0,0033	0,0033	0,0035	0,0070
150,00	150,00	0,00100	0,00013	0,00013	0,0033	0,0033	0,0033	0,0070

7.1.6 Vnitřní měření a rozbor výsledků měření

Provedení kontrolních měření rozsahu vnějších ramen měřidla bylo provedeno za pomoci nastavného kroužku, etalonem 4. sekundárního řádu, v souladu s kalibračním postupem. Celkem bylo provedeno 20 měření. Výsledky provedených měření jsou dále zobrazeny v tabulce č.7.2.

Obrázekč.7.2, na kterém je vyobrazen způsob provádění měření za pomoci nastavného kroužku. Komentář k obrázku následuje.

Graf7.2 Měření za pomoci nastavného kroužku



Pro zajištění podmínek měření je třeba respektovat postup uvedený v kalibračním postupu.

Jsou-li podmínky splněny, je možné přistoupit k samotnému měření celkové chyby posuvky. Pro tyto účely je třeba respektovat následující body, vyznačené na obrázku:

- 1 – Nastavní kroužek - musí být očištěn od nečistot a navázán na etalon 4. třídy.
- 2 – Vnitřní ramena – musí provést měření nastavného kroužku, dle obrázku.
- 3 – Fixační šroub – je-li naměřená hodnota ustavena tímto šroubem, nesmí dojít ke změně hodnoty v rozsahu větším, než povoleném.

Zjištěné hodnoty je třeba poté převést do tabelizovaného formátu pro další vyhodnocení.

Tabulka 7.4. Výsledky měření

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Naměřená hodnota	39,96	39,97	39,98	39,98	39,98	39,98	39,98	39,98	39,98	39,98
Číslo měření	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Naměřená hodnota	39,97	39,97	39,97	39,98	39,98	39,98	39,98	39,98	39,98	39,98

7.1.7 Výpočet standardní nejistoty typu A

Níže je uveden postup a výpočet standardní nejistoty typu A, který je proveden pro naměřenou hodnotu 39,999 mm.

Prvním krokem při stanovení je výpočet střední hodnoty z výsledků měření dle následujícího vzorce.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7.9)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{20} 39,96 + 39,97 + 39,98 + 39,98 + 39,98 + 39,98 + 39,98 + 39,98 + 39,98 + 39,98 + 39,97 + 39,97 + 39,97 + 39,98 + 39,98 + 39,98 + 39,98 + 39,98 + 39,98 + 39,98 = 39,977$$

Stanovení standardní nejistoty typu A pro hodnotu 39,999 mm, bylo vytvořeno dle následujícího vztahu, přičemž koeficient byl definován hodnotou 1.

$$u_{Ax} = S_x = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,0011 \text{ mm} \quad (7.10)$$

7.1.8 Výpočet nejistoty typu B

Jako zdroje nejistot typu B byly shledány zejména následující atributy:

- nejistota kalibrace použitých měrek
- temperační podmínky při měření
- síla, kterou vyvinula osoba při měření

Z výše uvedeného vyplývá, že definování nejistoty typu B pro toto kalibrační měření bude součtem aspektů, které se podílí na vlivu měření a jejím vyhodnocování.

Prvním z uvedených zdrojů nejistoty typu B je nejistota kalibrování použitého kalibračního kroužku, které lze definovat dle vztahu pro etalony 4. sekundárního řádu s rozšířenou nejistotou měření $U = 0,4 \mu\text{m}$ a koeficientem $k = 2$ dle následujícího vzorce:

$$U_{Be} = \frac{U}{k} \quad (7.11)$$

$$U_{Be} = \frac{0,4}{2} = 0,0002 \text{ mm}$$

Druhým zdrojem nejistoty typu B je určena teplota prostředí, ve kterém byla kalibrace prováděna. Vycházíme-li z obecných podmínek při běžných měření v kalibračních laboratořích, uvažujeme o teplotě v rozmezí $21^\circ \text{C} \pm 1$.

Při výpočtu bude použit koeficient při rovnoměrném rozdělení, tedy $\sqrt{3}$, a uvažována shodná délková teplotní roztažnost dle vztahu $\alpha = 11,5 \times 10^{-6} \times \text{K}^{-1}$

$$U_{Bt} = \frac{\Delta Z_{max}}{k} \frac{11,5 \times 10^{-6} \times 39,99}{\sqrt{3}} = 0,00265 \text{ mm} \sim 0,003 \text{ mm} \quad (7.12)$$

Třetím zdrojem nejistoty typu B je síla, která byla užita při měření osobou, která je prováděla. Jelikož je tento parametr subjektivní, je nutno přihlídnout nejen k její možné variabilitě, ale také ji zohlednit při možném výskytu nedodržení Abbeho principu při měření, což by mohlo dále ovlivnit velikost chyb a tedy i nejistoty měření.

Vycházíme-li z výsledků získaných hodnot, zjistíme, že chyby získané během kalibrace se pohybují v rozmezí $\pm 0,01 \text{ mm}$. Jelikož data pocházejí z normálního Gaussova rozdělení, je použit pro výpočet koeficient $k = 3$.

Hodnotu zdroje nejistoty, která byla způsobena subjektivitou užití síly při měření, vypočítáme dle následujícího vzorce:

$$U_{Bms} = \frac{0,01}{3} = 0,0033 \text{ mm} \quad (7.13)$$

Nyní lze přistoupit k závěrečnému stanovení standardní nejistoty typu B. Pro její výpočet je třeba zohlednit výše uvedené zdroje nejistot a převést je na složky nejistot měřené veličiny, což bylo provedeno dle následujícího vztahu:

$$\begin{aligned} u_B &= \sqrt{\sum_{i=1}^X U^2 z_i} \\ &= 0,0017 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.14)$$

7.1.9 Výpočet standardní kombinované nejistoty u_c

Pro výpočet standardní kombinované nejistoty u_c byl použit vztah dle vzorce

$$\begin{aligned} u_c &= \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \\ &= 0,0018 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.15)$$

7.1.10 Výpočet standardní rozšířené nejistoty U

Stanovení této nejistoty je prováděno zejména v případech, kdy je vhodné zjistit výsledek měření s ještě větší pravděpodobností. Tento typ nejistoty je definován jako součin standardní kombinované nejistoty a koeficientu rozšíření, který je pro standardní konfidenční úroveň 2.

Samotný výpočet provedeme dle následujícího vzorce:

$$U = k \cdot u_c, \quad (7.16)$$

$$U = 2 \times 0,0018 = 0,0036 \text{ mm} \sim 0,01 \text{ mm}$$

Po provedeném zaokrouhlení výsledků měření je patrné, že hledaná hodnota bude náležet rozmezí $39,99 \pm 0,01$ mm s konfidenčním intervalem 95%.

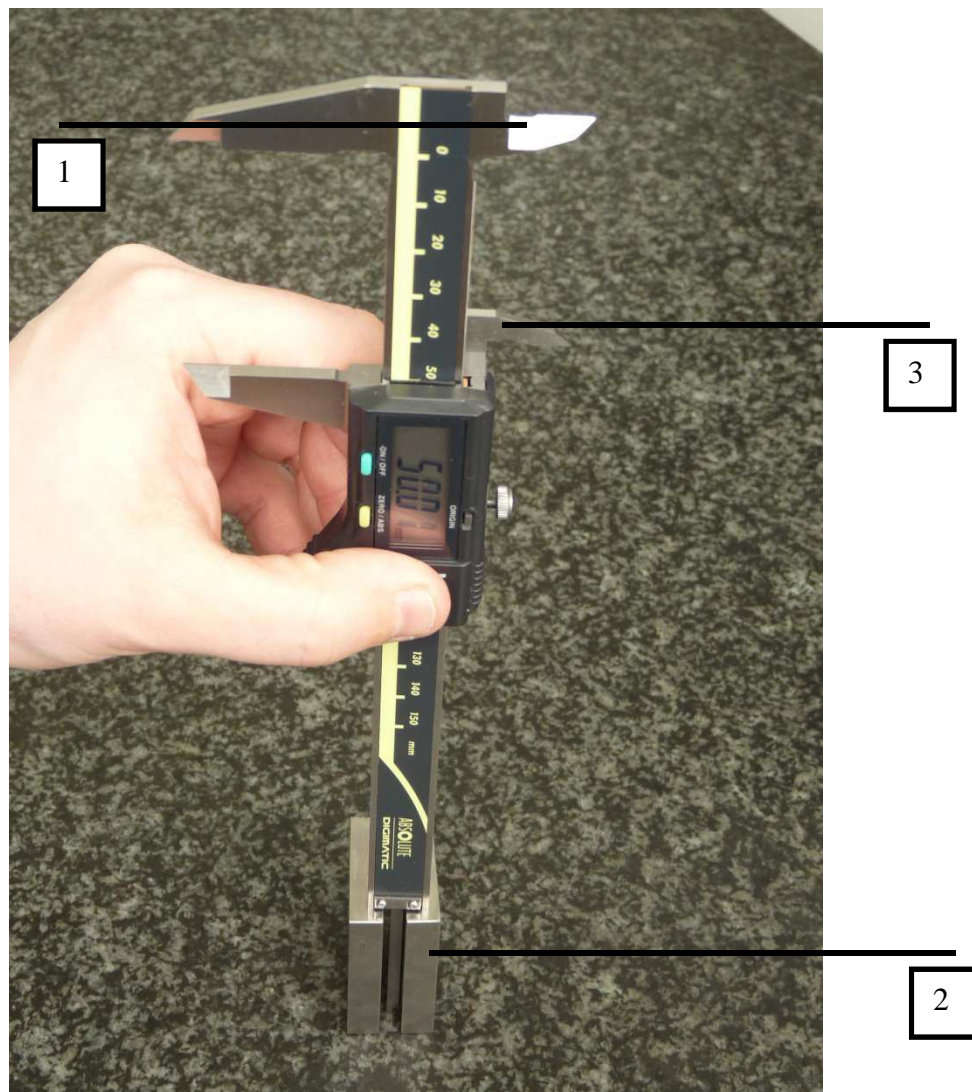
I přesto, že nebyly provedena tato matematická úprava je patrné, že výsledné hodnoty od sebe nevykazují významnou odlišnost, a proto je lze v běžné praxi považovat za zanedbatelnou.

7.1.11 Měření hloubkoměru a rozbor výsledků měření

Provedení kontrolních měření rozsahu vnějších ramen měřidla bylo provedeno za pomoci koncových měrek, etalonem 4. sekundárního řádu, v souladu s kalibračním postupem bylo provedeno 20 měření. Výsledky provedených měření jsou dále zobrazeny v tabulce č.7.3.

Obrázek č.7.3, na kterém je vyobrazen způsob provádění měření za pomoci koncové měrky. Komentář k obrázku následuje.

Graf7.3 Měření za pomoci koncové měrky



Pro zajištění podmínek měření je třeba respektovat postup uvedený v kalibračním postupu.

Jsou-li podmínky splněny, je možné přistoupit k samotnému měření celkové chyby posuvky. Pro tyto účely je třeba respektovat následující body, vyznačené na obrázku:

1. Koncová měrka – musí být očištěna od nečistot a navázána na etalon 4. třídy
2. Hloubkoměr měřidla – musí provést měření koncové měrky, popř. koncových měrek celou plochou, avšak vždy musí být v souladu s osou měrek
3. Fixační šroub – je-li naměřená hodnota ustavena tímto šroubem, nesmí dojít ke změně hodnoty více než dovolené kalibračním postupem

Zjištěné hodnoty je třeba poté převést do tabelizovaného formátu pro další vyhodnocení.

Tabulka 7.3 Výsledky měření

Číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Naměřená hodnota	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99	50,00
Číslo měření	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Naměřená hodnota	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	49,99	49,99	49,99	49,99

7.1.12 Výpočet standardní nejistoty typu A

Níže je uveden postup a výpočet standardní nejistoty typu A, který je proveden pro naměřenou 49,99 mm.

Prvním krokem při stanovení je výpočet střední hodnoty z výsledků měření dle následujícího vzorce.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7.17)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{20} = 49,99 + 49,99 + 49,99 + 49,99 + 49,99 + 49,99 + 49,99 + 49,99 + 49,99 + 50,00 + 50,00 + 50,00 + 50,00 + 50,00 + 50,00 + 50,00 + 49,99 + 49,99 + 49,99 + 49,99 = 49,994$$

Stanovení standardní nejistoty typu A pro hodnotu 50,00mm, bylo vytvořeno dle následujícího vztahu, přičemž koeficient byl definován hodnotou 1.

$$u_{Ax} = S_x = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,0011 \text{ mm} \quad (7.18)$$

7.1.13 Výpočet nejistoty typu B

Jako zdroje nejistot typu B byly shledány zejména následující atributy:

- nejistota kalibrace použitých měrek
- temperační podmínky při měření
- síla, kterou vyvinula osoba při měření

Z výše uvedeného vyplývá, že definování nejistoty typu B pro toto kalibrační měření bude součtem aspektů, které se podílí na vlivu měření a jejím vyhodnocování.

Prvním z uvedených zdrojů nejistoty typu B je nejistota zkalibrování použitých koncových měrek, které lze definovat dle vztahu pro etalony 4. sekundárního řádu s rozšířenou nejistotou měření $U = (0,1 + 1 L) \mu\text{m}$ a koeficientem $k = 2$ dle následujícího vzorce:

$$U_{Be} = \frac{U}{k} = \frac{(0,1 + 1 \times 0,05)}{2} = 0,00075 \text{ mm} \quad (7.19)$$

Druhým zdrojem nejistoty typu B je určena teplota prostředí, ve kterém byla kalibrace prováděna. Vycházíme z obecných podmínek při běžných měření v kalibračních laboratořích, uvažujeme o teplotě v rozmezí $21^\circ \text{C} \pm 1$.

Při výpočtu bude použit koeficient při rovnoměrném rozdělení, tedy $\sqrt{3}$, a uvažována shodná délková teplotní roztažnost dle vztahu $\alpha = 11,5 \times 10^{-6} \times \text{K}^{-1}$.

$$U_{Bt} = \frac{\Delta Z_{max}}{k} = \frac{11,5 \times 10^{-6} \times 50}{\sqrt{3}} = 0,00331 \text{ mm} \sim 0,003 \text{ mm} \quad (7.20)$$

Třetím zdrojem nejistoty typu B je síla, která byla užitá při měření osobou, která je prováděla. Jelikož je tento parametr subjektivní, je nutno přihlídnout nejen k její možné variabilitě, ale také ji zohlednit při možném výskytu nedodržení Abbeho principu při měření, což by mohlo dále ovlivnit velikost chyb a tedy i nejistoty měření.

Vycházíme-li z výsledků získaných hodnot, zjistíme, že chyby získané během kalibrace se pohybují v rozmezí $\pm 0,01 \text{ mm}$. Jelikož data pocházejí z normálního Gaussova rozdělení, je použit pro výpočet koeficient $k = 3$.

Hodnotu zdroje nejistoty, která byla způsobena subjektivitou užití síly při měření, vypočítáme dle následujícího vzorce:

$$U_{Bms} = \frac{0,01}{3} = 0,0033 \text{ mm} \quad (7.21)$$

Nyní lze přistoupit k závěrečnému stanovení standardní nejistoty typu B. Pro její výpočet je třeba zohlednit výše uvedené zdroje nejistot a převést je na složky nejistot měřené veličiny, což bylo provedeno dle následujícího vztahu:

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^X U_i^2} = 0,0027 \text{ mm} \quad (7.22)$$

7.1.14 Výpočet standardní kombinované nejistoty U_c

Pro výpočet standardní kombinované nejistoty U_c byl použit vztah dle vzorce

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,0032 \text{ mm} \quad (7.23)$$

7.1.15 Výpočet standardní rozšířené nejistoty U

Stanovení této nejistoty je prováděno zejména v případech, kdy je vhodné zjistit výsledek měření s ještě větší pravděpodobností. Tento typ nejistoty je definován jako součin standardní kombinované nejistoty a koeficientu rozšíření, který je pro standardní konfidenční úroveň 2.

Samotný výpočet provedeme dle následujícího vzorce:

$$U = k \cdot u_c, \quad (7.24)$$

$$U = 2 \times 0,0032 = 0,0064 \text{ mm} \sim 0,01 \text{ mm}$$

Po provedeném zaokrouhlení výsledků měření je patrné, že hledaná hodnota bude náležet rozmezí $49,99 \pm 0,01$ mm s konfidenčním intervalem 95%.

7.2 Stanovení nejistoty měření pro třmenový mikrometr digitální

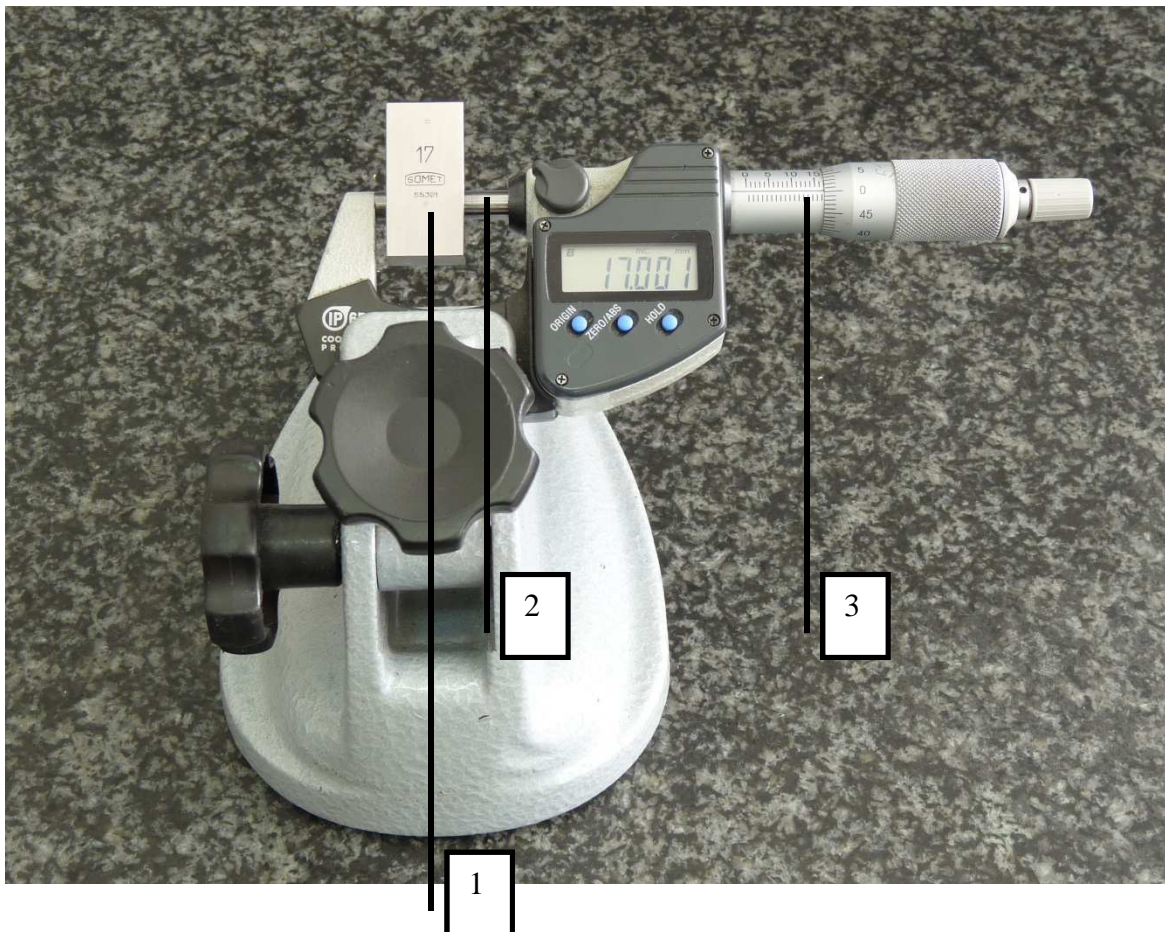
Proces kalibrace a následného hodnocení byl proveden v souladu s kalibračním postupem, zmíněným v diplomové práci.

7.2.1 Vnější měření a rozbor výsledků měření

Provedení kontrolních měření rozsahu vnějších ramen měřidla bylo provedeno za pomoci koncových měrek, etalonem 4. sekundárního řádu, v souladu s kalibračním postupem. Výsledky provedených měření jsou dále zobrazeny v tabulce č.7.6.

Obrázek č.7.4, na kterém je vyobrazen způsob provádění měření za pomoci koncové měrky. Komentář k obrázku následuje.

Graf7.4 Měření za pomoci koncové měrky



To znamená, že je třeba zkontrolovat a zajistit, aby digitální měřtko mělo očištěno všech měřící plochy, které se odmastí a digitální mikrometr se podle potřeby odmagnetuje.

Následně je třeba provést kontrolu funkčnosti. Mikrometr nesmí být mechanicky poškozen, měřící bubínek, trubka a třmen nejsou deformovány.

Jsou-li podmínky splněny, je možné přistoupit k samotnému měření celkové chyby měření mikrometru. Pro tyto účely je třeba respektovat následující body, vyznačené na obrázku:

1. Koncová měrka – musí být očištěna od nečistot a navázána na etalon 4. sekundárního řádu
2. Ramena měřidla – musí provést stisk koncové měrky celou plochou

3. Mikrometrický šroub – je-li naměřená hodnota ustavena tímto šroubem, po uvolnění nesmí dojít ke změně hodnoty větší než dovolené, v souladu s kalibračním postupem.

Zjištěné hodnoty je třeba poté převést do tabelizovaného formátu pro další vyhodnocení.

Tabulka 7.5 Rozbor naměřených výsledků

Jmenovitá hodnota koncové měrky	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	11,001	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,001	11,000	11,000
12	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,000	12,001	12,000	12,000	12,000
13	13,000	13,000	13,000	13,001	13,000	13,000	13,000	13,001	13,000	13,000
14	14,000	14,000	14,000	14,000	14,001	14,000	14,000	14,001	14,000	14,000
15	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
17	17,000	17,000	17,000	17,000	17,000	17,001	17,000	17,000	17,000	17,000
18	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000	18,000
20	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
25	24,999	25,000	25,000	25,000	25,000	24,999	25,000	25,000	25,000	25,000

7.2.2 Výpočet standardní nejistoty typu A

Níže je uveden postup a výpočet standardní nejistoty typu A, který je proveden pro naměřenou hodnotu 120 mm. Pro ostatní naměřené hodnoty jsou jednotlivé výpočty nejistoty typu A uvedeny v následující tabulce č. 7.7.

Prvním krokem při stanovení je výpočet střední hodnoty z výsledků měření dle následujícího vzorce.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7.25)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{10} 24,999 + 25,000 + 25,000 + 25,000 + 25,000 + 24,999 + 25,000 + 25,000 + 25,000 + 25,000 = 24,9998 \text{ mm}$$

Stanovení standardní nejistoty typu A pro hodnotu 25 mm, bylo vytvořeno dle následujícího vztahu, přičemž koeficient byl definován hodnotou 1.

$$u_{Ax} = S_x = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,000133 \text{ mm} \quad (7.26)$$

Tabulka 7.6 Celkový přehled získaných výsledků

koncová měrka	\bar{x} [mm]	u_A [mm]
11	11,000	0,000133
12	12,000	0,000100
13	13,000	0,000133
14	14,000	0,000133
15	15,000	0
17	17,000	0,000100
18	18,000	0
20	20,000	0
25	24,998	0,000133

Obdobný postup výpočtu byl uplatněn i pro ostatní naměřené hodnoty během provedené kalibrace, v souladu s kalibračním postupem. Celkový přehled získaných výsledků je uveden v následující tabulce č. 7.8.

7.2.3 Výpočet nejistoty typu B

Jako zdroje nejistot typu B byly shledány zejména následující atributy:

- nejistota kalibrace použitých měrek
- temperační podmínky při měření
- síla, kterou vyvinula osoba při měření

Z výše uvedeného vyplývá, že definování nejistoty typu B pro toto kalibrační měření bude součtem aspektů, které se podílí na vlivu měření a jejím vyhodnocování.

Prvním z uvedených zdrojů nejistoty typu B je nejistota kalibrování použitých koncových měrek, které lze definovat dle vztahu pro etalony 4. sekundárního řádu s rozšířenou nejistotou měření $U = (0,1 + 1 L) \mu\text{m}$ a koeficientem $k = 2$ dle následujícího vzorce:

$$U_{Be} = \frac{U}{k} \quad (7.27)$$

$$U_{Be} = \frac{(0,1 + 1 \times 0,0249)}{2} = 0,000624 \text{ mm}$$

Druhým zdrojem nejistoty typu B je určena teplota prostředí, ve kterém byla kalibrace prováděna. Vycházíme-li z obecných podmínek při běžných měření v kalibračních laboratořích, uvažujeme o teplotě v rozmezí $21^\circ \text{C} \pm 1$.

Při výpočtu bude použit koeficient při rovnoměrném rozdělení, tedy $\sqrt{3}$, a uvažována shodná délková teplotní roztažnost dle vztahu $\alpha = 11,5 \times 10^{-6} \times \text{K}^{-1}$

$$U_{Bt} = \frac{\Delta Z_{max}}{k} = \frac{11,5 \times 10^{-6} \times 24,99}{\sqrt{3}} = 0,00017 \text{ mm} \quad (7.28)$$

Třetím zdrojem nejistoty typu B je síla, která byla užita při měření osobou, která je prováděla. Jelikož je tento parametr subjektivní, je nutno přihlídnout nejen k její možné variabilitě, ale také ji zohlednit při možném výskytu nedodržení Abbeho principu při měření, což by mohlo dále ovlivnit velikost chyb a tedy i nejistoty měření.

Vycházíme-li z výsledků získaných hodnot, zjistíme, že chyby získané během kalibrace se pohybují v rozmezí $\pm 0,01$ mm. Jelikož data pocházejí z normálního Gaussova rozdělení, je použit pro výpočet koeficient $k = 3$.

Hodnotu zdroje nejistoty, která byla způsobena subjektivitou užití síly při měření, vypočítáme dle následujícího vzorce:

$$U_{Bms} = \frac{0,01}{3} = 0,0033 \text{ mm} \quad (7.29)$$

Nyní lze přistoupit k závěrečnému stanovení standardní nejistoty typu B. Pro její výpočet je třeba zohlednit výše uvedené zdroje nejistot a převést je na složky nejistot měřené veličiny, což bylo provedeno dle následujícího vztahu:

$$u_{B=} = \sqrt{\sum_{i=1}^X U^2 z_i} = 0,00036 \text{ mm} \quad (7.30)$$

7.2.4 Výpočet standardní kombinované nejistoty U_c

Pro výpočet standardní kombinované nejistoty U_c byl použit vztah dle vzorce

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0,0039 \text{ mm} \quad (7.31)$$

7.2.5 Výpočet standardní rozšířené nejistoty U

Stanovení této nejistoty je prováděno zejména v případech, kdy je vhodné zjistit výsledek měření s ještě větší pravděpodobností. Tento typ nejistoty je definován jako součin standardní kombinované nejistoty a koeficientu rozšíření, který je pro standardní konfidenční úroveň 2.

Samotný výpočet provedeme dle následujícího vzorce:

$$U = k \cdot u_c, \quad (7.32)$$

$$U = 2 \times 0,0039 = 0,0078 \text{ mm} \sim 0,01 \text{ mm}$$

Po provedeném zaokrouhlení výsledků měření je patrné, že hledaná hodnota bude náležet rozmezí $25,01 \pm 0,01$ mm s konfidenčním intervalem 95%.

V tabulce jsou shrnuty výsledky měření a výpočty jednotlivých typů nejistot pro jednotlivá měření. Tyto výsledky nebyly, na rozdíl od výše uvedeného výpočtu, zaokrouhlovány.

I přesto, že nebyly provedena tato matematická úprava je patrné, že výsledné hodnoty od sebe nevykazují významnou odlišnost, a proto je lze v běžné praxi považovat za zanedbatelnou.

Tabulka 7.7 Vypočtené hodnoty nejistot

koncové měrky [mm]	\bar{x} [mm]	u_A [mm]	u_{Be} [mm]	u_{Bt} [mm]	u_{Bms} [mm]	u_B [mm]	u_C [mm]	U [mm]
11	11,000	0,000133	0,000055	0,00007	0,0033	0,00033	0,00035	0,00070
12	12,000	0,000100	0,000056	0,00007	0,0033	0,00033	0,00036	0,00075
13	13,000	0,000133	0,000056	0,00008	0,0033	0,00033	0,00036	0,00074
14	14,000	0,000333	0,000057	0,00009	0,0033	0,00034	0,00037	0,00074
15	15,000	0	0,000058	0,00009	0,0033	0,00035	0,00037	0,00076
17	17,000	0,000100	0,000059	0,00011	0,0033	0,00035	0,00038	0,00077
18	18,000	0	0,000059	0,00012	0,0033	0,00035	0,00038	0,00078
20	20,000	0	0,000060	0,00013	0,0033	0,00036	0,00039	0,00078
25	24,998	0,000133	0,000062	0,00017	0,0033	0,00036	0,00039	0,00078

8 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Vytvoření nového kalibračního postupu a jeho implementací do procesu kalibrací měřidel ve společnosti bylo dosaženo:

- zvýšení flexibility pracovníků kontroly, výroby a administrativních pracovníků
- zvýšení produktivity oddělení kontroly
- snížení nákladů na kalibraci
- zrychlení doby nutné pro řešení neshodných měřidel
- standardizace procesu

8.1 Návrh kalibračních postupů pro kalibraci dílenských měřidel

Uvedené postupy jsou připraveny s ohledem na platné kalibrační postupy, vydané Českým metrologickým ústavem a jsou ve shodě s rozsahem a principy se uvažovaným standardizovaným procesem.

Rozsah platnosti je stanoven pro všechny pracovníky oddělení kontroly, ve kterých může kalibrace interními prostředky probíhat.

Měřené výsledky a jejich vyhodnocování je charakterizováno v harmonii s platnými postupy a následně evidovány v kalibračních listech jednotlivých měřidel., viz předchozí kapitoly diplomové práce.

8.2 Úspora

Díky novému postupu bylo dosaženo úspor na externí kalibraci i osobních nákladů. Jelikož se jedná o implementaci nového postupu bez nutnosti nákupu nových zařízení, nevznikla nutnost stanovit dobu návratnosti, nýbrž řešení generuje ušetřené finanční prostředky již od počátku implementace.

Podmínkou implementace je ovšem to, že navržené kalibrační postupy budou prováděny v rámci běžné pracovní činnosti oddělení kontrol. Jelikož bude tato činnost vtělena do běžného pracovní náplně, nebudou tedy vznikat dodatečné vícenáklady.

Návrh tohoto řešení nemá nezbytně dopad pouze na proces kalibrace, nýbrž se dotýká většiny aspektů obchodní činnosti zadavatele, protože ovlivňuje jak složku nákladovou, tak i procesní, personální a výrobní. Ušetřené prostředky a získané člověkohodiny je možné uplatnit jako dodatečný efekt standardizace procesu.

Jelikož lze navržený postup, v obecné rovině, možno vztáhnout i na jiné druhy měřidel, naskýtají se v případné implementaci další možnosti uplatnění finanční a procesní optimalizace, které se opět mohou dotknout širšího spektra uvažovaných základních činností ve výrobním podniku.

Vyjádření navrhovaného řešení ve finančních prostředcích je uvedeno v tabulkách níže

Tabulka 8.1 Vyhodnocení řešení pro posuvné digitální měřítka

Cena kalibrace (Kč/kus)	230
Standardní počet ks/měsíc	12
Cena kalibrace/ měsíc	2760
Počet ks nepravidelné kalibrace/měsíc	4
Interní náklady na kalibraci/ks	125
Úspory za měsíc (Kč)	6000

Tabulka 8.2 Vyhodnocení řešení pro třmenové digitální mikrometry

Cena kalibrace (Kč/kus)	300
Standardní počet ks/měsíc	2
Cena kalibrace/ měsíc	1500
Počet ks nepravidelné kalibrace/měsíc	2
Interní náklady na kalibraci/ks	125
Úspory za měsíc (Kč)	500

Tabulka 8.3 Vyhodnocení řešení pro oba typy měřidel

Úspory za měsíc (Kč)	6500
Úspory za rok (Kč)	78000

9 ZÁVĚR

Zadání diplomové práce byl návrh kalibračních postupů dílenských měřidel. Definice těchto návrhů jsou uvedeny v předchozích kapitolách.

Výstupem zmiňovaných postupů jsou kalibrační listy k jednotlivým kalibrovaným měřidlům. Toto řešení obsahuje také statistické vyhodnocení naměřených veličin a jejich rozbor s ohledem na rozdělení případných chyb, nejistot měření a jiných odchylek.

Na základně takto definovaného stavu měřidla a vyhodnocení výsledků kalibrace, lze jednoznačně rozhodnout, zda toto měřidlo vyhovuje požadavkům na přesnost pro uvažovaný druh měření či nikoliv.

V případě uvedených měřidel lze na základě vyhodnocení veličin určit úroveň přesnosti, respektive kalibrace.

Posuvná digitální měřidla, která byla předmětem kalibrace pro účely diplomové práce, nepřesahují ve všech případech celkové dovolené chyby, 0,02 mm, popř. 0,03 mm, čímž splňují požadavky pro další používání a také pro případnou kalibraci externí firmou.

Podobného výsledku bylo dosaženo i v případech kalibrace digitálních třmenových mikrometrů, kdy naměřená celková chyba je 0,001 mm. Jelikož povolená chyba mikrometrového šroubu je 0,003 mm, je zřejmé, že i v těchto případech uvedená měřidla vyhovují požadavkům pro další využití.

Výpočty a postupy uvedené v diplomové práci se zabývají kalibračními postupy pro měřidla, která byla předmětem kalibrace. Výběr zmíněných měřících prostředků byl stanoven s ohledem na jejich hojný výskyt ve výrobních procesech. Stanovení výsledků a jejich následné vyhodnocení bylo provedeno v souladu se základními premisami a definicemi pro stanovení nejistot měření a jejich následnému statistickému zpracování.

Na základě zadání diplomové práce byl vznesen také požadavek zaměstnavatelem na uplatnění kalibračních postupů v rámci optimalizace a standardizace kalibračních procesů v rámci společnosti. Návrh by měl zefektivnit dosud aplikovaný postup vyhodnocování dílenských měřidel s ohledem na potřeby kalibrace v termínech shodných s expirací doby kalibrace, ale také reagovat na požadavky vyplývající v mezidobí, kdy vzniká potřeba operativně vyhodnocovat požadavky výroby k nutnosti recalibrace měřidel.

Tyto požadavky vznikají zejména s ohledem na opotřebení měřících prostředků vznikající během denního používání při kontrole vyrobených součástek. Dále také dochází k poškození měřidel, která mají většinou mechanický původ.

Vyhodnocování požadavků výroby je prováděno v rámci oddělení kontroly, spadající k jednotlivým výrobním činnostem zaměstnavatele.

Uvedené návrhy kalibračních postupů dílenských měřidel přinášejí, v kombinaci s vhodným způsobem implementace a využití, významné benefity v podobě snížení nákladů na kalibraci, zvýšení efektivity využití výrobních zdrojů a vhodný prostředek pro interní kontrolu měřidel.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Zákon o metrologii č. 505/1990 Sb. ve znění pozdějších předpisů
- [2] ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 Posuzování shody–Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří
- [3] ČSN EN ISO 10012 Systémy managementu měření–Požadavky na procesy měření a měřicí vybavení
- [4] ČSN 01 0115 Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii
- [5] Česká metrologická společnost, Kalibrační postup č. KP 1.1.2/02/03/N
- [6] Česká metrologická společnost, Kalibrační postup č. KP 1.1.2/03/98/N
- [7] Česká metrologická společnost, Kalibrační postup č. KP 1.1.2/05/03/N
- [8] Hughes & T. Hase, *Measurements and their uncertainties*, Oxford University Press, USA; 1 edition October 1, 2010, 136 stran, ISBN-13: 978-0199566334
- [9] Meranie technických veličín, Vladimír Chudý, Rudolf Palenčár, Eva Kureková, Martin Halaj, *Meranie technických veličín*, Bratislava: Vydavateľství STU, 1999, 688 stran, ISBN 80-227-1275-2
- [10] (1 Heinz-Dieter Haustein: *Weltchronik des Messens – Universalgeschichte von Maß und Zahl, Geld und Gewicht*, de Gruyter, Berlin, 2001, ISBN 3-11-017173-2, str. 1 – 2)
- [11] Ruhm, K. H. *Was ist Metrologie? –Eine Übersicht*. ETH Zurich, Schweiz, *Metrologie Wissenschaft und Technologie des Messens*. <http://www.mmm.ethz.ch/dok01/d0000759.pdf> (accessed Dec 13, 20.).
- [12] Národní metrologický systém České republiky. Národní metrologický systém České republiky - ÚNMZ. <http://www.unmz.cz/urad/narodni-metrologicky-system-ceske-republiky> (accessed Dec 13, 20.).
- [13] Úplné pracovní znění zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii. Úplné pracovní znění zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii - ÚNMZ. <http://www.unmz.cz/urad/uplne-pracovni-zneni-zakona-c-505-1990-sb-o-metrologii-c237> (accessed Dec 13, 20.).
- [14] CMI. Legislativní rámec metrologického systému ČR. <http://www.cmi.cz/index.php?lang=1&wdc=876> (accessed Dec 13, 20.).
- [15] ŠINDELÁŘ, Václav a Zdeněk TŮMA. *Metrologie: její vývoj a současnost*. Praha: Česká metrologická společnost, 2002, 384 s.
- [16] Jiménez, J. G.; et al. http://qualitasaagg.files.wordpress.com/2010/01/10_curvadistribucionnormal. La curva de distribución normal o “Campana de Gauss”. <http://qualitasaagg.wordpress.com/2010/01/22/la-curva-de-distribucion-normal/> (accessed Dec 13, 30).
- [17] Howarth, P. *Metrology - in short, 3rd edition*, 3rdth ed.; DanishFundamental Metrology Ltd: Denmark, 2008.
- [18] Vdoleček, F.; et al. *Nejistoty v měření II: Nejistoty přímých měření*, 2010. A10_B03_Su. <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au100152.pdf> (accessed Jan 14, 18).

- [19] Normálové rozdělení, 2013. Normální rozdělení - Wikipedie. http://cs.wikipedia.org/wiki/Norm%C3%A1ln%C3%AD_rozd%C4%9Blen%C3%AD (accessed Jan 14, 18).

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Sb.	Sbírka zákona
Odst.	Odstavec
Č.	Číslo
NMS	Národní metrologický systém
ČR	Česká republika
ČMI	Český metrologický institut
AMS	Autorizované metrologické středisko
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
ES	Evropské společenství
AV ČR	Akademie věd České republiky
ČIA	Český institut pro akreditaci
BIPM	Mezinárodní úřad pro váhy a míry
OIML	International Organization of Legal Metrology
ČOI	Česká obchodní inspekce
ČSN	Česká technická norma
WELMEC	European cooperation in legal metrology
MID	Measuring Instrument Directive
NAWI	Non-automatic weighing instruments
OIML	International Organization of Legal Metrology
ILAC	International Laboratory Accreditation Cooperation
IAF	International Accreditation Forum
ISO	ISO - International Organization for Standardization
IEC	International Electrotechnical Commission
EA	European accreditation
EK	European commission
CEN	European Committee for Standardization
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 Struktura NMS ČR[12].....	16
Obrázek 4.1 Dělení chyb[17].....	31
Obrázek 7.1 Měření za pomoci koncové měrky	48
Obrázek 7.2 Měření za pomoci nastavného kroužku	53
Obrázek 7.3 Měření za pomoci koncové měrky	57
Obrázek 7.4 Měření za pomoci koncové měrky	61

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1.1 Struktura NMS ČR[12].....	16	
Graf 4.1 Dělení chyb[17].....	31	
Graf 4.2 Grafické vyjádření chyby měření	34	
Graf 7.1 Měření za pomoci koncové měrky	48	
Graf 7.2 Měření za pomoci nastavného kroužku	53	
Graf 7.3 Měření za pomoci koncové měrky	57	
Graf 7.4 Měření za pomoci koncové měrky	61	
Graf 9.1 Time Series Plot of 11 – mikrometr	Graf 9.2 Time Series Plot of 12 - mikrometr.....	80
Graf 9.3 Time Series Plot of 13 - mikrometr	Graf 9.4 Time Series Plot of 14 - mikrometr	80
Graf 9.5 Time Series Plot of 17 – mikrometr	Graf 9.6 Time Series Plot of 15 - mikrometr.....	80
Graf 9.7 Time Series Plot of 18 – mikrometr	Graf 9.8 Time Series Plot of 20 - mikrometr.....	81
Graf 9.9 Time Series Plot of 25 - mikrometr		81
Graf 9.10 Time Series Plot of 20 – měřidlo	Graf 9.11 Time Series Plot of 15 - měřidlo.....	81
Graf 9.12 Time Series Plot of 25 – měřidlo	Graf 9.13 Time Series Plot of 50 - měřidlo.....	82
Graf 9.14 Time Series Plot of 90 - měřidlo.....		82
Graf 9.15 Time Series Plot of 120 – měřidlo	Graf 9.16 Time Series Plot of 150 - měřidlo.....	82

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1 NMS ČR je spjat s akreditací a technickou normalizací [12]	18
Tabulka 1.2 Náplň metrologie [15].....	19
Tabulka 5.1 Hodnota koeficientu k pro hodnotu $n < 10$	36
Tabulka 5.2 Stanovení konstanty k podle pravděpodobnosti rozdělení	38
Tabulka 5.3 Odhad rozdělení pro jednotlivé složky nejistot typu B – Normální Gaussovo rozdělení[19].....	38
Tabulka 7.1 Výsledky měření vnějších ramen posuvného digitálního měřítka	49
Tabulka 7.2 Celkový přehled získaných výsledků.....	50
Tabulka 7.3 Tabulka naměřených hodnot.....	53
Tabulka 7.4. Výsledky měření	54
Tabulka 7.5 Rozbor naměřených výsledků.....	62
Tabulka 7.6 Celkový přehled získaných výsledků.....	63
Tabulka 7.7 Vypočtené hodnoty nejistot	65
Tabulka 8.1 Vyhodnocení řešení pro posuvné digitální měřítka	67
Tabulka 8.2 Vyhodnocení řešení pro třmenové digitální mikrometry	67
Tabulka 8.3 Vyhodnocení řešení pro oba typy měřidel	67

SEZNAM ROVNIC

(4.1).....	32
(4.2).....	32
(5.1).....	36
(5.2).....	36
(5.3).....	36
(5.4).....	38
(5.5).....	38
(5.6).....	39
(5.7).....	39
(7.1).....	50
(7.2).....	50
(7.3).....	51
(7.4).....	51
(7.5).....	51
(7.6).....	52
(7.7).....	52
(7.8).....	52
(7.9).....	54
(7.10).....	54
(7.11).....	55
(7.12).....	55
(7.13).....	55
(7.14).....	56
(7.15).....	56
(7.16).....	56
(7.17).....	58
(7.18).....	58
(7.19).....	59
(7.20).....	59
(7.21).....	59
(7.22).....	59
(7.23).....	59
(7.24).....	60
(7.25).....	62
(7.26).....	62
(7.27).....	63
(7.28).....	63
(7.29).....	64

(7.30).....	64
(7.31).....	64
(7.32).....	64

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA P I: KALIBRAČNÍ LIST	79
PŘÍLOHA P II: PŘEHLED GRAFŮ MINIMA, MEDIÁNU A MAXIMA	80

PŘÍLOHA P I: KALIBRAČNÍ LIST

Kalibrační list	
------------------------	--

KALIBRAČNÍ LIST

KL - -

/ 2014

Kalibraci provedl:

Datum vystavení :

Zadavatel :

Měřidlo :

- název :
- výrobce :
- jmenovitý rozměr :
- identifikační číslo :

Použitý etalon :

- název :
- výrobce :
- typ/rozsah :
- identifikační číslo :
- kalibrační list č. :
- Platnost kalibrace do :

Etalon je navázán na etalon ČMI OI Brno.

Kalibrační metoda :

Měření proběhlo dle Interního kalibračního postupu

Podmínky měření :

Teplota vzduchu v laboratoři $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$

Nejistota měření :

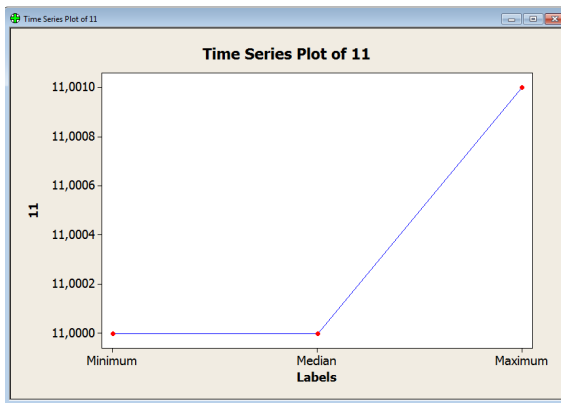
Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k=2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.

Zjištěné výsledky měření jsou součástí Kalibračního listu.

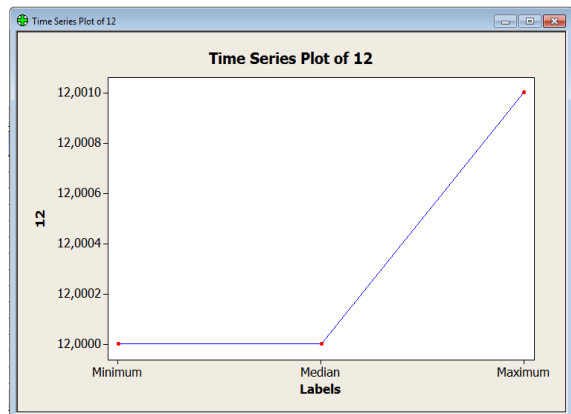
PŘÍLOHA P II: PŘEHLED GRAFŮ MINIMA, MEDIÁNU A MAXIMA

1. Naměřené hodnoty pro digitální třmenový mikrometr

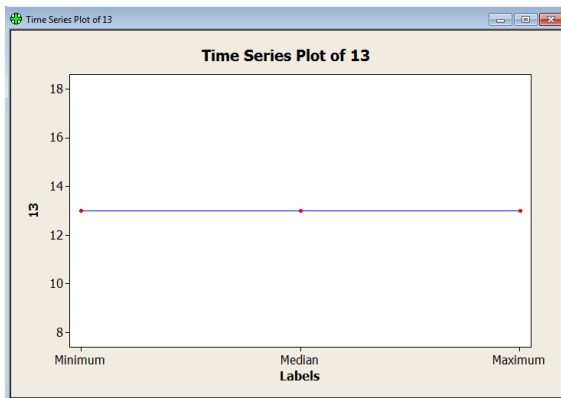
Graf 9.1 TimeSeries Plot of 11 – mikrometr



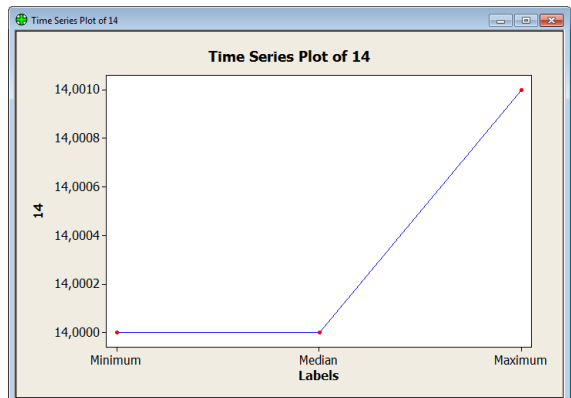
Graf 9.2 TimeSeries Plot of 12 - mikrometr



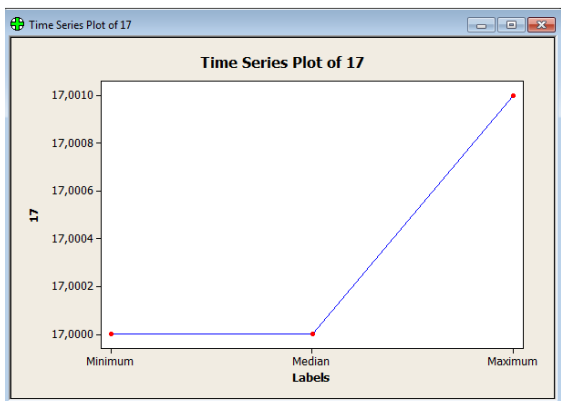
Graf 9.3 Time Series Plot of 13 - mikrometr



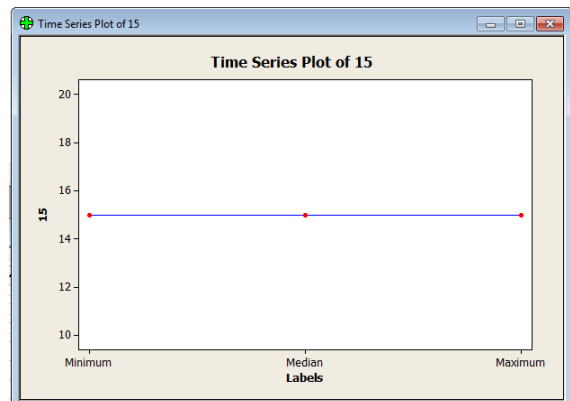
Graf 9.4 Time Series Plot of 14 - mikrometr



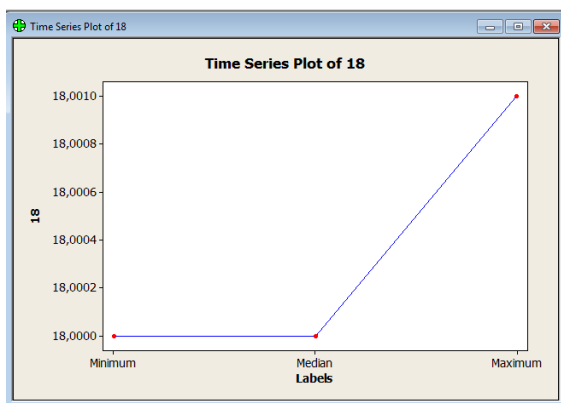
Graf 9.5 TimeSeries Plot of 17 – mikrometr



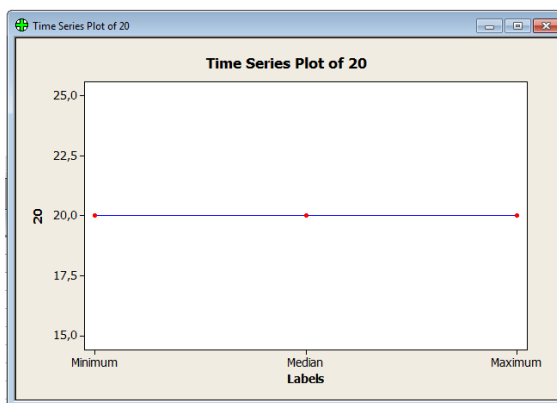
Graf 9.6 TimeSeries Plot of 15 - mikrometr



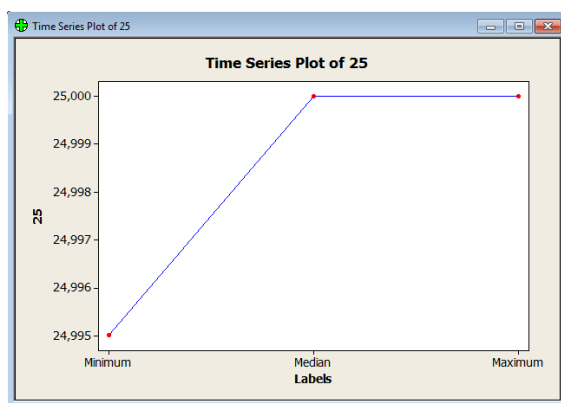
Graf9.7 TimeSeries Plot of 18 – mikrometr



Graf9.8 TimeSeries Plot of 20 - mikrometr

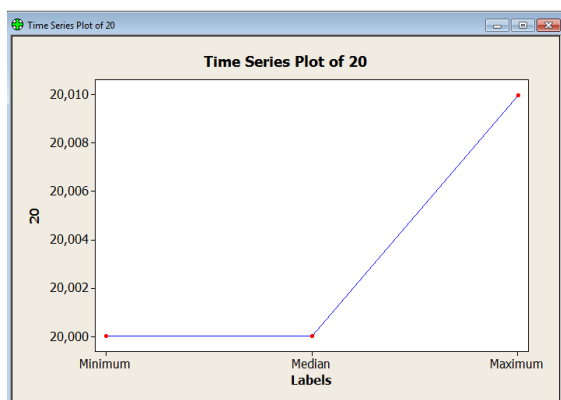


Graf9.9 TimeSeries Plot of 25 - mikrometr

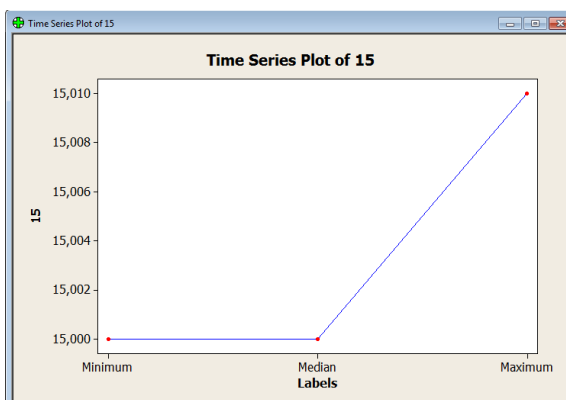


2. Naměřené hodnoty pro digitální měřidlo

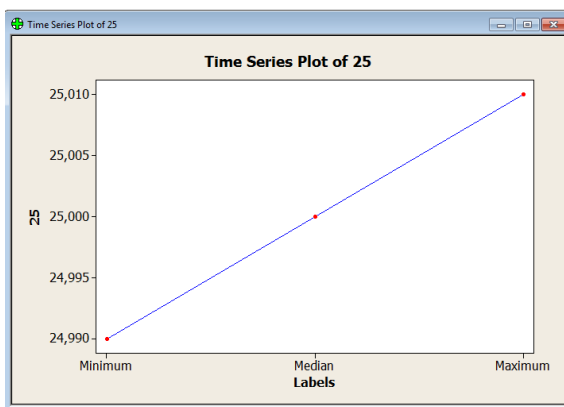
Graf9.10 TimeSeries Plot of 20 – měřidlo



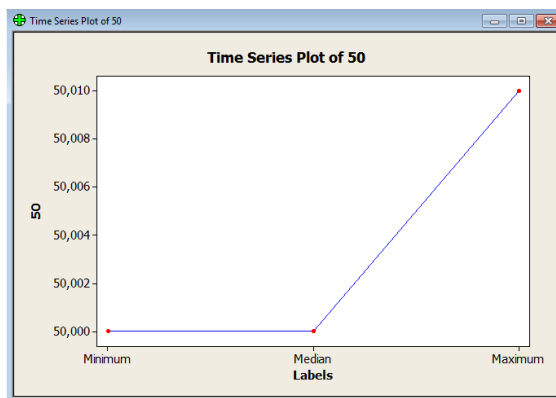
Graf9.11 Time Series Plot of 15 - měřidlo



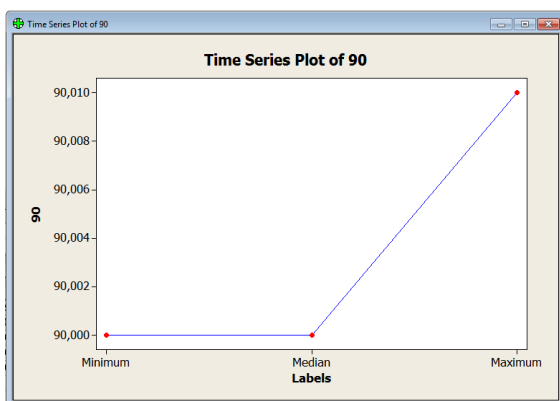
Graf9.12 TimeSeries Plot of 25 – měřidlo



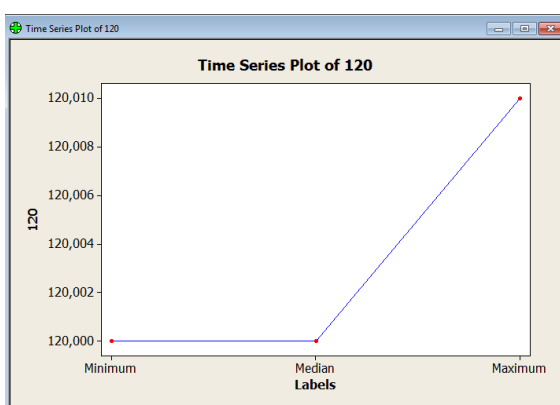
Graf9.13 TimeSeries Plot of 50 - měřidlo



Graf9.14 TimeSeries Plot of 90 - měřidlo



Graf9.15 TimeSeries Plot of 120 – měřidlo



Graf9.16 TimeSeries Plot of 150 - měřidlo

