

Návrh statistické kalibrace jednoúčelových měřidel

Bc. Alena Pávková

Diplomová práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Alena Pávková**
Osobní číslo: **T17351**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Návrh statistické kalibrace jednoúčelových měřidel**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vytvoření rešerše týkající se konstrukce a především kalibrace jednoúčelových měřidel ve strojírenské praxi**
- 2. Návrh kalibračního postupu vybrané skupiny jednoúčelových měřidel**
- 3. Nalezení vhodných statistických metod využitelných pro charakteristické podmínky opakovatelnosti a reprodukovatelnosti pro navržený kalibrační postup**

Rozsah diplomové práce: **cca 60 stran**
Rozsah příloh: **dle pokynů VDP**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. Statistická analýza experimentálních dat. Vyd. 2. uprav. rozš. Praha: ACADEMIA, 2004, 953 s. ISBN 80-200-1254-0**
2. **MELOUN, Milan. Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: Academia, 2006, 982 s. ISBN 80-200-1396-2**
3. **MELOUN, Milan. Statistické zpracování experimentálních dat. 2. vyd. Praha: Ars magna, 1998, 839 s. ISBN 80-721-9003-2**

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Vladimír Pata**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **17. května 2019**

Ve Zlíně dne 6. února 2019

L.S.

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 užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Brně 17.5.2019

.....

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

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno,

v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

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

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

(3) Do práva autorského také nezahnuje 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 vzdělávacího 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 přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem kalibrace přístroje pro optické měření kontaktního úhlu CAM 200. První – teoretická část této práce popisuje kalibraci jako takovou, principy a teorie kalibrace, dále obsahuje popis statistických metod použitých pro hodnocení dat v praktické části. V této části je také popsána teorie viskozity a úhel smáčivosti.

V praktické části je podrobněji popsán přístroj CAM 200, jeho použití kalibrace udávaná výrobcem. Jelikož tento doporučený postup od výrobce mi přišel nedostatečný, v další části jsem navrhla různé přípravky a jejich způsob ověření, pomocí kterých by byla kalibrace účinnější. V závěru je zpracován návrh kalibračního postupu.

Klíčová slova:

Kalibrace, statistika, měření kontaktního úhlu

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the design of calibration of the instrument for optical measurement of contact angle CAM 200. The first - theoretical part of this thesis describes calibration as such, principles and theory of calibration, it also contains description of statistical methods used for data evaluation in the practical part. The theory of viscosity and wettability angle are also described in this section.

The practical part describes in more detail the CAM 200, its use by the manufacturer. Since this recommended procedure from the manufacturer came to me inadequate, in the next section I suggested various products and their way of verification by which the calibration would be more effective. In the conclusion, a proposal of the calibration procedure is elaborated.

Keywords:

Calibration, statistics, contact angle measurement,

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za cenné rady a připomínky, odborné vedení a jeho čas při zpracování mé práce.

Prohlášení

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

V Brně dne 17.5.2019

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 KALIBRACE	13
1.1 DŮVODY KALIBRACE.....	13
1.2 OVĚŘOVÁNÍ A KALIBRACE	14
1.3 KALIBRAČNÍ POSTUP	14
2 NEJISTOTY A CHYBY MĚŘENÍ	15
2.1 CHYBY MĚŘENÍ	15
2.1.1 Absolutní chyba měření	15
2.1.2 Relativní chyba měření	16
2.1.3 Hrubá chyba měření	16
2.1.4 Systematická chyba měření.....	16
2.1.5 Náhodná chyba.....	17
2.2 NEJISTOTY MĚŘENÍ.....	17
2.2.1 Standardní nejistota typu A	17
2.2.2 Standardní nejistota typu B	18
2.2.3 Kombinovaná standardní nejistota typu.....	18
2.2.4 Rozšířená kombinovaná nejistota	18
3 STATISTICKÉ METODY	19
3.1 EXPLORATORNÍ ANALÝZA DAT.....	19
3.1.1 Grafické metody.....	20
3.1.2 Krabicový (boxplot) graf.....	21
3.1.3 Graf pravděpodobnosti.....	21
3.1.4 Grubbsův parametrický test extrémních odchylek.....	22
3.2 TESTOVÁNÍ HYPOTÉZ	23
3.2.1 Kroky při testování hypotéz	23
3.2.2 Nulová hypotéza H_0 , alternativní hypotéza H_a	23
3.2.3 Hladina významnosti testu	24
3.3 F-TEST.....	25
3.4 T-TEST (PRO TESTOVÁNÍ ROZDÍLU 2 STŘEDNÍCH HODNOT)	25
4 KAPALINA, POVRCHOVÉ NAPĚTÍ, KONTAKTNÍ ÚHEL	27
4.1 KAPALINA	27
4.2 SMÁČIVOST A KONTAKTNÍ ÚHEL	27
4.3 ZPŮSOBY MĚŘENÍ KONTAKTNÍHO ÚHLU	28
4.3.1 Metody přímé	28
4.3.2 Metody nepřímé	29
II PRAKTICKÁ ČÁST	31
5 POPIS STROJE CAM 200 OPTICAL	32

5.1	POPIS JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ	33
5.2	TECHNICKÉ PARAMETRY PŘÍSTROJE	34
5.3	POPIS KALIBRACE VÝROBCEM	34
6	NÁVRH KALIBRAČNÍCH PŘÍPRAVKŮ	37
6.1	KALIBRACE DLE KULIČKY DODANÉ VÝROBCEM	37
6.2	KALIBRACE POMOCÍ VYSOUSTRUŽENÝCH PŘÍPRAVKŮ	37
6.2.1	Přípravek č. 1	38
6.3	KALIBRACE POMOCÍ UPRAVENÝCH LOŽISKOVÝCH KULIČEK.....	40
6.4	KALIBRACE POMOCÍ VSAZENÉ KULIČKY DO PODSTAVCE Č.1	42
7	MĚŘENÍ.....	44
7.1	MĚŘENÍ KALIBRAČNÍ KULIČKY DODANÉ VÝROBCEM VÝŠKOMĚREM MITUTOYO	44
7.2	MĚŘENÍ KULIČEK A A B	45
8	HODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT.....	46
8.1	HODNOCENÍ DAT KALIBRAČNÍ KULIČKY	46
8.1.1	Graf časové řady	46
8.1.2	Boxplot.....	46
8.1.3	Grubbsův test	47
8.1.3.1	Grubbsův test pro minimum	47
8.1.3.2	Grubbsův test pro maximum.....	49
8.1.4	Graf časové řady po vyřazení hrubých chyb.....	50
8.1.5	Test normality	50
8.1.6	Souhrn grafických analýz.....	51
8.2	KULIČKA A	52
8.2.1	Graf časové řady	52
8.2.2	Grubbův test.....	52
8.2.3	Test normality	54
8.2.4	Histogram.....	55
8.2.5	Souhrn grafických analýz.....	55
8.3	KULIČKA B.....	56
8.3.1	Graf časové řady	56
8.3.2	Grubbsův test	57
8.3.3	Test normality	58
8.3.4	Histogram.....	59
8.3.5	Souhrn grafických analýz.....	59
8.4	POROVNÁNÍ DAT KULIČKY A A B	60
8.4.1	Porovnání rozptylů	61
8.4.2	Porovnání rovnosti průměrů.....	61
8.5	ZÁVĚR.....	62
9	NÁVRH KALIBRAČNÍHO POSTUPU	63
9.1	KALIBRAČNÍ POSTUP	63
	ZÁVĚR	67

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	68
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	70
SEZNAM OBRÁZKŮ	72
SEZNAM PŘÍLOH.....	75

ÚVOD

Kalibrace je neodmyslitelnou činností ve výrobních procesech v průmyslových odvětvích. Díky široké škále různorodých technologií je zde mnoho záměrů a důvodů ke kalibraci. Ve výrobních závodech je kalibrace nezbytná pro zvyšování jakosti a kvality výroby, na které se v dnešní době klade velký důraz a jsou vyžadovány mezinárodními normami. Těchto požadavků lze dosahovat pouze pomocí zkalibrovaných zařízení. Základem úspěšné kalibrace je vyhodnocení vlastností kalibrovaného objektu, zejména vyjádření chyb a nejistot měření.

V této diplomové práci se zabývám návrhem použití statistických metod pro využití při kalibraci měřícího přístroje CAM 200. Tento přístroj slouží převážně k měření kontaktního úhlu smáčení. V dnešní době existují modernější a přesnější způsoby měření, ale pro školní účely je tento stroj dostačující. Výrobce dodává ke kalibraci kalibrační přípravek, který ale mi ale nepřijde dostačující.

V teoretické části se nejprve seznámíme s pojmem kalibrace, chybami a nejistotami měření. Další kapitola obsahuje popis statických metod, které budou následně použity pro vyhodnocení výsledků v praktické části práce. Dále je zde řešena problematika povrchového napětí kapalin a kontaktního úhlu.

V části praktické se blíže seznámíme s kalibrovaným přístrojem. Následují návrhy možných kalibračních přípravků, výběr nejvhodnějších, jejich následné měření a hodnocení.

V závěru práce je sestaven návrh kalibračního postupu pro přístroj CAM 200.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 KALIBRACE

Dle Mezinárodního metrologického slovníku je kalibrace soubor úkonů, pomocí jichž se stanoví za specifikovaných podmínek vztah mezi hodnotami veličin, které jsou stanoveny měřicím přístrojem, měřicím systémem nebo hodnotami reprezentovanými ztělesněnou mírou či referenčním materiálem a odpovídajícími hodnotami, které jsou realizovány etalony. Zjednodušeně lze říci, že se jedná o srovnání dvou měřicích přístrojů a následná dokumentace. Kalibrovaný přístroj srovnáváme s referenčním vzorkem – etalonem, jenž má vyšší přesnost. Můžeme se setkat také s označením kalibrátor, má vyšší přesnost a metrologickou návaznost.

V praxi lze říci, že pokud chceme provádět měření a dosáhnout pravdivých hodnot, je kalibrace použitých měřidel nutná. Kalibrace je podstatný úkon ve výrobních procesech všech průmyslových oborů.

1.1 Důvody kalibrace

Abychom se ujistili, že daný měřicí přístroj měří a funguje správně, provádíme kalibraci. Kalibrace udává přesnost daného měřidla či referenčního materiálu. Je docílena přímým srovnáním se standardy či referenčními materiály.

Mezi hlavní důvody, proč provádět kalibraci, patří:

- zajištění ověřitelnosti
- zajištění, že výsledky měření udávané přístrojem jsou konzistentní s jiným měřením
- přesnost měřidla
- zajištění návaznosti na etalon.^[1]

Důvodů, proč kalibrovat, je v praxi mnohem více, ať už je to ověření přesnosti daného přístroje, zaručení a udržení bezpečnosti a kvality výrobků. Kalibrace není vždy levná záležitost. V běžně praxi je však nutné zvážit možná rizika a náklady způsobené při zanedbání nebo úplné vypuštění kalibrace.

1.2 Ověřování a kalibrace

Zákon č.505/1990 Sb. o metrologii říká:

„Ověřením stanoveného měřidla se potvrzuje, že stanovené měřidlo má požadované metrologické vlastnosti. Tento požadavek se považuje za splněný, pokud má měřidlo požadované metrologické vlastnosti stanovené opatřením obecné povahy. Opatření obecné povahy kromě požadovaných metrologických vlastností stanoveného měřidla stanoví i zkoušky při jeho ověřování. Postup při ověřování stanovených měřidel stanoví ministerstvo vyhláškou.

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.^[18]

1.3 Kalibrační postup

Kalibrační postup, nebo také kalibrační předpis je dokument obsahující souhrn prováděných a potřebných činností pro kalibraci daného měřidla. Je to v podstatě návod, jak postupovat krok po kroku během kalibrace.

Každý kalibrační postup by měl obsahovat a splňovat dané požadavky. Je nutné, aby byl:

- úplný – udány všechny potřebné informace a kroky kalibrace
- správný – nutnost správnost dat, bez chyb
- srozumitelný – musí být jednoznačný, aby nemohlo dojít k mylnému pochopení
- validovaný – v případě, že postup není normalizovaný, je nutné potvrzení a uznání platnosti
- stručný a účelný – uvedení důležitých a nezbytně nutných informací, použití příslušných technických termínů, určení optimálních podmínek pro nejúčinnější kalibraci
- přehledný – čitelný, vhodné uspořádání pro dobrou orientaci. ^[2]

Interval platnosti kalibrace je určován s ohledem na vlastnosti daného měřidla či doporučení výrobce, dobu a podmínky užívání měřidla. Můžeme pak říci, že v tomto intervalu je dané měřidlo schopno měřit s takovou dostatečnou přesností, jakou vyžadují technologické parametry.

2 NEJISTOTY A CHYBY MĚŘENÍ

Měření lze chápat jako soubor experimentálních úkonů. Cílem těchto úkonů je určení skutečné hodnoty měřené veličiny. I přes fakt, že opakujeme měření za stejných podmínek, zjistíme, že naměřené hodnoty se od sebe více či méně liší – vznikají chyby během měření. Chyby nám vznikají i při dodržení podmínek opakovatelnosti a reprodukovatelnosti.^[3]

Opakovatelností rozumíme dodržení:

- stejného postupu měření
- stejné osoby provádějící měření
- stejného měřicího systému
- stejných pracovních podmínek a místa
- opakování měření v krátkých časových intervalech.

Podmínka reprodukovatelnosti se vztahuje na měření provedené na stejném prvku se změněnými podmínkami – jiné měřidlo, personál, jiný čas či podobně. Můžeme tvrdit, že reprodukovatelnost je variabilita středních hodnot opakovaných měření stejného znaku provedených za různých podmínek.^[3]

2.1 Chyby měření

Chyby během měření dosáhneme téměř vždy. Chybou měření rozumíme rozdíl mezi hodnotou naměřenou a hodnotou pravou.

Hlavními příčinami vzniku chyb jsou:

- měřidlo/měřicí systém – nedokonalost, nespolehlivost přístrojů
- měřicí metoda
- podmínky během provádění měření.^[3]

2.1.1 Absolutní chyba měření

Absolutní chyba měření je rovna rozdílu mezi hodnotou naměřenou a hodnotou pravou. V běžné praxi skutečnou hodnotu pravou není možné získat, pracujeme s hodnotou zvanou konvenčně pravá hodnota, která se k pravé hodnotě blíží s dostatečnou přesností. Jednotka je totožná s jednotou naměřené veličiny.^{[3][4]}

$$\Delta = y - x_0 \quad (1)$$

kde: Δ - absolutní chyba měření
 y – naměřená hodnota
 x_0 - (konvenčně) pravá hodnota.^[3]

2.1.2 Relativní chyba měření

Relativní chyba měření je rovna poměru absolutní chyby měření k (konvenční) pravé hodnotě. Lze vyjádřit v procentech, popřípadě bezrozměrná.

$$\Delta_r = \frac{y-x_0}{x_0} \quad (2)$$

Kde: Δ_r – relativní chyba měření
 y – naměřená hodnota
 x_0 - (konvenčně) pravá hodnota.^[3]

2.1.3 Hrubá chyba měření

Důvody vzniku hrubé chyby mohou být následující: nesprávně provedení měření, nesprávný odečet či zpracování dat, vada přístroje, nesprávná manipulace a podobné příčiny. V případě naměření dat zatížených hrubou chybou je výsledek měření nepoužitelný. Tyto hrubé chyby se z naměřených dat musí vyloučit a v měření je možno pokračovat až po odstranění příčin.

Abychom tyto data mohli vyloučit, musíme je otestovat z důvodu, že rozhodnutí data vyřadit, může být nesprávné. Testování hodnot provádíme za předpokladu normálního rozdělení hustoty pravděpodobnosti.^{[3][4]}

2.1.4 Systematická chyba měření

Vznik chyb systematických je z příčin, jež působí soustavně a jednoznačně co do smyslu a velikosti. Zda působí systematická chyba lze zjistit pomocí změny měřících podmínek, například změna přístroje či jiný pozorovatel.

Chyby můžeme dělit dle příčin vzniku na:

- chyby měřidla – vznik při výrobě, činnosti a používání
- chyby měřící metody – nesprávná volba metody
- chyby osobní – lidský faktor (nevědomost, nedokonalost, neopatrnost)
- chyby způsobené vlivem prostředí – vlhkost, prašnost, teplota apod.^{[3][4]}

2.1.5 Náhodná chyba

Tyto chyby mají příčinu charakteru náhodného, jenž nelze předvídat. Ovlivňují každou naměřenou hodnotu. V případě opakovaného měření za konstantních podmínek – osoba, měřidlo, prostředí apod., v důsledku působení chyb náhodných bude soubor vykazovat rozptyl, jehož velikost je úměrná vlivu chyb.

Obecné vlastnosti náhodných chyb lze vyjádřit dvěma zákony:

- malé chyby jsou častější než chyby velké
- chyby kladné jsou stejně četné jako chyby záporné.

Náhodné chyby mají při měření nejčastěji normální Gaussovo rozdělení hustoty pravděpodobnosti výskytu. [3]

2.2 Nejistoty měření

Nejistotu měření nám udává parametr, jenž charakterizuje interval (rozsah) hodnot kolem výsledku měření. Týkat se může výsledku samotného měření, ale i hodnot odečtených na použitých měřicích přístrojích, hodnot použitých konstant atd.

Nejistoty měření určujeme pomocí použití statistiky a teorie pravděpodobnosti. Je zde předpoklad, že nejistota měření pokryje skutečnou hodnotu s předpokládanou pravděpodobností. [4][5]

2.2.1 Standardní nejistota typu A

Nejistotu typu A získáme pomocí opakovaného měření. S počtem měření její hodnota klesá za předpokladu, že hodnoty jsou získané nezávislým měřením za shodných podmínek.

Standardní nejistota typu A u_A se určí výpočtem směrodatné odchylky:

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (3)$$

kde: $s(\bar{x})$ – směrodatná odchylka rozptylu aritmetických průměrů,

n – počet měření

x_i – jednotlivé naměřené hodnoty

\bar{x} – aritmetický průměr. [3][4]

2.2.2 Standardní nejistota typu B

Hodnota nejistoty typu B není závislá na počtu měření. Pro vyhodnocování této nejistoty používáme jiné než statistické metody. Stanovení je obtížnější než u nejistoty typu A, je zde potřeba určitá praxe a zkušenosti. Určuje se na základě informací jako například údaje výrobce měřidla, zkušenosti z předchozího měření, údaje získané kalibrací apod.

Při určování nejistoty je postup následující:

- vytipování možných zdrojů nejistot
- určení standardních nejistot (převzetím, odhadem, atd.)
- posouzení závislosti mezi jednotlivými zdroji – určení korelačních koeficientů pro vzájemné závislé zdroje
- výpočet výsledné nejistoty typu B u_B .^{[3][4]}

2.2.3 Kombinovaná standardní nejistota typu

V běžné praxi je použití pouze nejistoty typu A či B samostatně nedostačující, proto je zavedena kombinovaná standardní nejistota u_C , jenž je součtem předchozích dvou nejistot.

Kombinovanou nejistotu získáme výpočtem odmocniny součtu čtverců nejistot typu A a B.^[3]

2.2.4 Rozšířená kombinovaná nejistota

V případech, kdy je třeba vysoké pravděpodobnosti (spolehlivosti), používáme rozšířenou kombinovanou nejistotu.

Zjednodušeně je rozšířená nejistota násobkem kombinované nejistoty u_C :

$$U = k_U \cdot u_C \quad (4)$$

kde k_U je koeficient rozšíření nebo pokrytí.

Hodnotu koeficientu rozšíření určujeme:

- konvencí,
- výpočtem z údajů poskytovaných experimentátorem pro výpočet výsledků měření
- z technických norem a předpisů
- individuálními dohodami apod.^[3]

3 STATISTICKÉ METODY

Data výběrového rozdělení lze charakterizovat pomocí statistických metod a analýz, odhadnout parametry základního souboru. Charakteristika je závislá na rozdělení základního souboru. Pokud není možno nalézt data normálního rozdělení, použijeme maximálně věrohodné odhady parametrů.

3.1 Exploratorní analýza dat

Metodika EDA neboli exploratorní analýza dat má za cíl nalézt zvláštnosti statistického chování dat a ověření předpokladů pro následné zpracování.

Převážná část statistických metod pracuje s předpokladem určitých vlastností hodnocených souborů či výběrů.

Nejčastěji to jsou:

- minimální rozsah výběru
- normalita, tedy splnění předpokladu, že výběr pochází ze základního souboru s normálním rozdělením
- nepřítomnost silně vychýlených hodnot
- vzájemná nezávislost prvků.

Při této metodě se vychází výběrových prvků uspořádaných vzestupně $x(1) \leq x(2) \leq \dots \leq x(n)$. Je dáno, že střední hodnota i -té statistiky $E(x_{(i)}) = 100 P_i$ procentnímu kvartilu výběrového rozdělení, symbolem $P_i \approx \frac{i}{(n+1)}$ značíme pořadovou pravděpodobnost.

Pokud vyneseme závislost hodnot x_i na P_i , $i=1, \dots, n$, dostaneme hrubý odhad kvantilové funkce $Q(P_i)$, která je inverzní k distribuční funkci $F(x_i)$. Funkce $Q(P_i)$ charakterizuje rozdělení výběru. Provedením následující lineární interpolace je možno vyčíslit $100\alpha\%$ kvantil \tilde{x} pro libovolnou hodnotu α z intervalu $[0,1]$:

$$\tilde{x} = (n + 1) \left(\alpha - \frac{i}{n+1} \right) (x_{(i+1)} - x_{(i)}) + x_{(i)} \quad , \quad (5)$$

kde pro index i musí platit nerovnost

$$\frac{i}{n+1} \leq \alpha \leq \frac{i+1}{n+1} \quad (6)$$

Jednou ze základních zvláštností rozdělení dat je takzvaná symetrie výběrového rozdělení a jeho relativní délka konců v komparaci s rozdělením normálním. Abychom vyjádřili symetrii či špičatost v různých vzdálenostech od mediánu, je možno využít jednoduchých funkčních charakteristik. Ze vztahu pro délku konců T_L :

$$T_L = \ln(R_L/R_F) \quad (7)$$

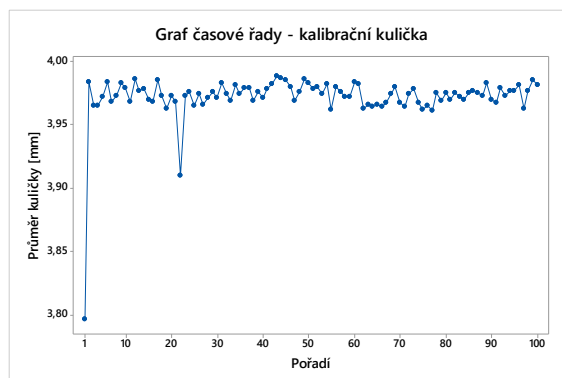
je možno určit jejich teoretické velikosti pro vybraná rozdělení. Pro normální rozdělení jsou to hodnoty (0.534; 0.822), pro rovnoměrné (0.405; 0.559) a Laplaceovo rozdělení (0.693; 1.098) [9]

3.1.1 Grafické metody

Graf časové řady

Časová řada nám realizuje náhodné procesy a hodnoty uspořádává chronologicky. Časové řady lze dělit do několika skupin:

- krátkodobé – s periodou kratší než jeden rok
- intervalové
- s absolutními ukazateli – hodnoty
- deterministická (žádný prvek), stochastická (náhodný prvek)
- ekvidistantní/neekvidistantní (konstantní časová vzdálenost/různé časové vzdálenosti)
- stacionární/nestacionární (hodnoty aritmetického průměru stejné v celém průběhu/ hodnoty se v průběhu liší)



Obrázek 1 Ukázka grafu časové řady

3.1.2 Krabicový (boxplot) graf

Z krabicového grafu lze vyčíst informace o maximu a minimu ze souboru naměřených dat. Dále udává informaci o hodnotě mediánu, velikostech kvartilů. Pokud se v datech vyskytují odchylky, zobrazí se mimo úsečku. V případě podezřelých hodnot jsou tyto data vyobrazena symbolem „*“.

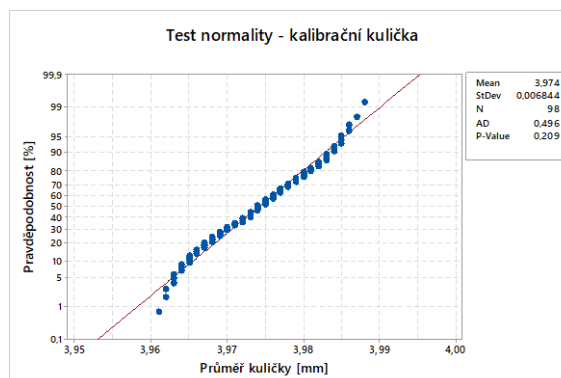


Obrázek 2 Ukázka krabicového (boxplot) grafu

3.1.3 Graf pravděpodobnosti

Graf pravděpodobnosti neboli test normality nám dává informaci o průměrné hodnotě, standardní odchylce rozptylu na základě N-počtu měření.

Položením nulové hypotézy ve formě, že data pochází z normálního rozdělení a k ní hypotéze alternativní – data nepocházejí z normálního rozdělení testujeme data na normalitu. Hodnota pravděpodobnosti p měří důkaz proti hypotéze nulové. Pokud $p >$ hladina významnosti α (nejčastěji volíme $\alpha = 0,050$) nezamítám nulovou hypotézu a s možností omylu 5% mohu říci, že data pocházejí z normálního rozdělení.



Obrázek 3 Ukázka testu normality

3.1.4 Grubbsův parametrický test extrémních odchylek

Grubbsův test používáme pro vylučování takzvaných extrémních hodnot. Provádíme ho na základě vypočteného testovacího kritéria u souborů dat, které patří do Gaussova normálního rozdělení.

Při použití Grubbsova testu je postup následující:

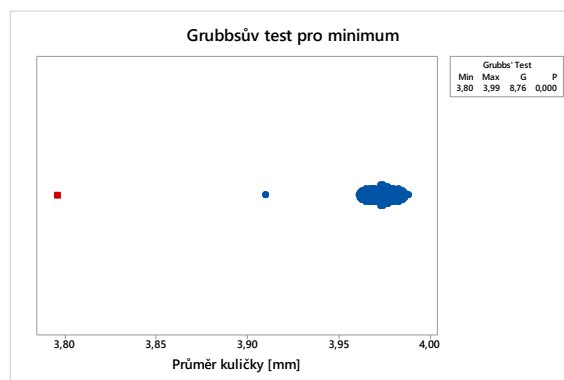
- seřazení hodnot výběrového souboru do vzestupné variační řady
- výpočet aritmetického průměru (\bar{x}) a směrodatné odchylky (s) ze všech hodnot hodnoceného souboru
- stanovení H_0 (chyba náhodná) a k ní alternaci H_A (hrubá chyba)
- zvolení hladiny významnosti α (nejčastěji 0,050 či 0,010)
- výpočet testovacího kritéria pro první (n -tou) hodnotu variační řady

$$T_1 = \frac{\bar{x} - x_1}{s}, \quad T_n = \frac{x_n - \bar{x}}{s} \quad (8)$$

- porovnání vypočteného kritéria s tabulkovou kritickou hodnotou pro příslušné n výběrového souboru a zvolenou hodnotou α pro Grubbsův test.

Pokud $T_{1(n,\alpha)} > T_{krit.}$ – první, popřípadě poslední, hodnotu řady vyloučíme ze souboru, je nutné vypočítat nový aritmetický průměr a směrodatnou odchylku bez vyřazené extrémní hodnoty.

Pokud $T_{1(n,\alpha)} \leq T_{krit.}$ – první, popřípadě poslední, hodnota do hodnoceného souboru patří a nelze ji vyřadit.^[7]



Obrázek 4 Ukázka Grubbsova testu

3.2 Testování hypotéz

Pomocí testování statistických hypotéz můžeme posuzovat, zda získaná data splňují předpoklad, který jsme před měřením učinili.

Při testování hypotéz vždy stavíme naproti sobě dvě hypotézy: první, kterou testujeme, a naproti ní je hypotéza druhá – alternativní. První testovanou hypotézu nazýváme nulovou.^[10]

3.2.1 Kroky při testování hypotéz

Postup pro testování hypotéz je možno rozdělit do následujících bodů:

- formulace hypotézy nulové a k ní hypotézy alternativní
- volba hladiny významnosti, zjištění kritické hodnoty
- výpočet testovacího kritéria
- formulace závěru testování.^[8]

3.2.2 Nulová hypotéza H_0 , alternativní hypotéza H_a

Prvním krokem je formulace **nulové hypotézy H_0** a proti ní hypotézy alternativní. Jako nulovou hypotézu stavíme tvrzení vyjadřující tzv. „žádný rozdíl“ (v případě nalezení rozdílu ho přičítáme přirozené variabilitě dat).^{[8][10]}

Alternativní hypotéza H_a popírá hypotézu nulovou. Lze ji vyjádřit jako existenci rozdílu mezi skupinami či existence závislosti mezi proměnnými.

Máme dvě základní varianty hypotéz – jednostrannou (pravostranná, levostranná) a oboustrannou.

V případě jednostranné hypotézy můžeme například tvrdit:

$$H_0: \mu_x = \mu_y \quad (9)$$

$$H_a: \mu_x > \mu_y \text{ nebo } \mu_x < \mu_y. \quad (10)$$

Pokud hovoříme o hypotéze oboustranné, formulace by vypadala takto: ^[8]

$$H_0: \mu_x = \mu_y \quad (11)$$

$$H_A: \mu_x \neq \mu_y \quad (12).$$

3.2.3 Hladina významnosti testu

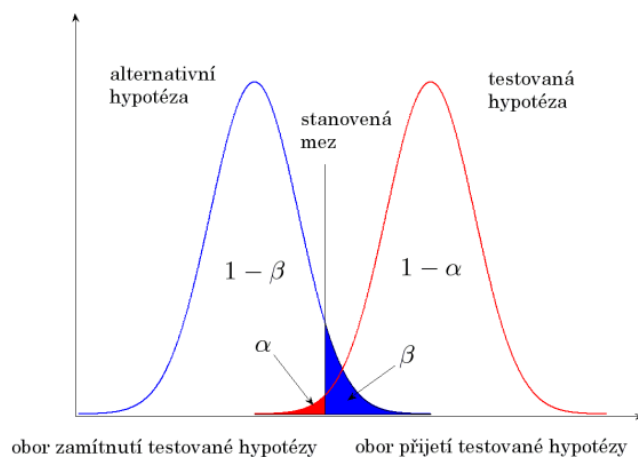
Pravděpodobnost zamítnutí nulové hypotézy i v případě, že platí, označujeme jako **hladinu významnosti α** . Nejčastěji volíme $\alpha=0,05$ (5%). Jedná se o tzv. **chybu I. druhu**, kdy zamítneme nulovou hypotézu i přes její pravdivost.

V opačném případě, kdy nulovou hypotézu přijímáme, ale ve skutečnosti platí hypotéza alternativní, hovoříme o tzv. **chybě druhého druhu**. Pravděpodobnost, se kterou se můžeme této chyby dopustit, značíme β .^{[17][8]}

		Výsledek testu	
		platí H_0	neplatí H_0
Skutečnost	platí H_0	správné rozhodnutí pravděpodobnost $1 - \alpha$ spolehlivost testu	chyba I. druhu pravděpodobnost α hladina významnosti
	neplatí H_0	chyba II.druhu pravděpodobnost β hladina významnosti	správné rozhodnutí pravděpodobnosti $1 - \beta$ síla testu

Obrázek 5 Chyba I. a II.druhu

Hodnotu $1-\beta$ označujeme jako **sílu testu**, která udává pravděpodobnost, že se nedopustíme chyby II.druhu – tedy zamítáme nulovou hypotézu, protože platí hypotéza alternativní.^[17]



Obrázek 6 Grafické znázornění chyb I. a II.druhu

3.3 F-test

F-test nám slouží k testování rozdílu dvou rozptylů. Tedy zda při testování vycházíme z předpokladu, že výběry pocházejí z normálního rozdělení.

Hypotézy jsou voleny $H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$ (13)

$H_a: \sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$, popř. $\sigma_x^2 > \sigma_y^2$ nebo $\sigma_x^2 < \sigma_y^2$. (14)

S hladinou významnosti α ($\alpha=0.05$).

Statistika *F-testu* má následující tvar

$$F = \max \frac{s_x^2}{s_y^2} \quad (15)$$

Hodnotu vypočtené statistiky *F* porovnáme s hodnotou ze statistických tabulek dle v a námi zvolené hladiny významnosti α .

V případě $F > F_{krit.}$: zamítáme nulovou hypotézu $H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$, rozptyly souborů se liší statisticky významně a pocházejí ze dvou různých základních souborů.

V případě $F < F_{krit.}$: nezamítáme nulovou hypotézu a tvrdíme $H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$ – tedy že rozptyly obou souborů se statisticky významně neliší a pocházejí ze stejného základního souboru.^{[9][18]}

3.4 T-test (pro testování rozdílu 2 středních hodnot)

T-test – studentův test používáme pro testování rozdílu dvou středních hodnot μ kdy porovnáme dva výběry. Předpokládáme, že výběry mají normální rozdělení, střední hodnoty μ_x a μ_y a rozptyly σ_x^2 a σ_y^2 .

Hypotézy jsou voleny $H_0: \mu_x = \mu_y$ (16)

$H_a: \mu_x \neq \mu_y$, popř. $\mu_x > \mu_y$ nebo $\mu_x < \mu_y$. (17)

S hladinou významnosti α ($\alpha=0.05$).

Pro klasický studentův t-test pro různé rozptyly $\sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$ s Gaussovým rozdělením je testovací kritérium ve tvaru:

$$t = \frac{\bar{x}_x - \bar{x}_y}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n_x - 1} + \frac{s_y^2}{n_y - 1}}} \quad (18)$$

Hodnotu vypočtené statistiky *t* porovnáme s hodnotou $t_{1-\alpha/2(v)}$ ze statistických tabulek dle v a námi zvolené hladiny významnosti α .

V případě $t \leq t_{1-\alpha/2}(v)$: nezamítáme nulovou hypotézu $H_0: \mu_x = \mu_y$, střední hodnoty souborů se neliší statisticky významně.

V případě $t \geq t_{1-\alpha/2}(v)$: zamítáme nulovou hypotézu a tvrdíme $H_a: \mu_x \neq \mu_y$ – tedy že střední hodnoty obou souborů se statisticky významně liší.^{[9][18]}

4 KAPALINA, POVRCHOVÉ NAPĚTÍ, KONTAKTNÍ ÚHEL

4.1 Kapalina

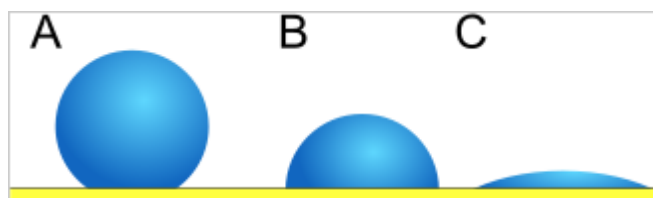
Kapalina je látka, která je strukturně podobná struktuře amorfních látek. Je složena z molekul, které jsou blízko sebe – nejsou však pevně svázané, což umožňuje jejich kmitající pohyb o frekvenci 10^{12} Hz a pohybují se v celém objemu.

Molekuly na sebe vzájemně působí přitažlivými silami ovlivňujícími vlastnost kapaliny. Tyto přitažlivé molekulové síly působí v krátkém dosahu, tudíž na danou molekulu působí pouze molekuly z blízkého okruhu. Vektor přitažlivé síly směřuje ke středu kapaliny a je kolmicí na povrch, zde vzniká povrchová energie.

Tendencí každé kapaliny je snaha dosáhnout takového tvaru, jehož obsah povrchu je co nejmenší a tím i minimalizovat povrchovou energii. [12]

4.2 Smáčivost a kontaktní úhel

Smáčivost lze definovat jako schopnost kapaliny přilnout a udržovat kontakt s povrchem pevných látek. Je to důsledek mezimolekulární interakce. [13]



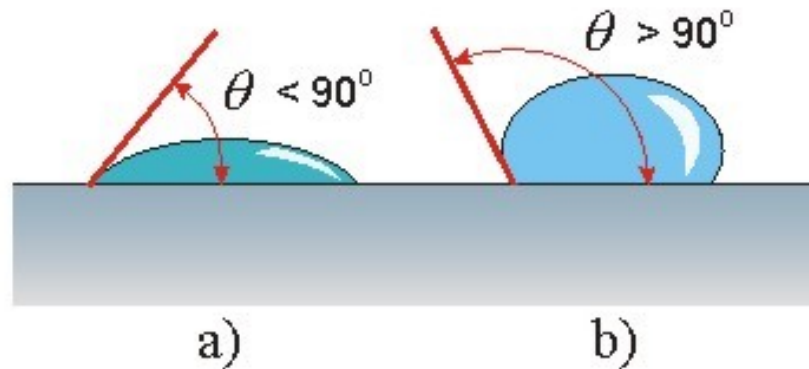
Obrázek 7 Smáčivost kapalin: A – málo smáčivá, B – středně smáčivá, C – dobře smáčivá [13]

Kontaktní úhel

Kontaktní úhel neboli úhel smáčení je kvantitativní hodnota smáčení kapaliny na pevném povrchu. Úhel je geometricky definován jako úhel θ , který svírá tečna k povrchu kapky vedená v bodě styku kapky s rozhraním.

Velikost kontaktního úhlu udává, zda daná kapalina povrch smáčí nebo ne.

Pokud je úhel smáčení $\theta > 90^\circ$ - kapalina tuhou látku smáčí špatně či nesmáčí (Obrázek 8b). V případě, že úhel smáčení $\theta < 90^\circ$ - kapalina tuhou látku smáčí (Obrázek 8a).

Obrázek 8 Kontaktní úhel θ ^[13]

V případě, že se kapka kapaliny rozprostře na tenkou svislou vrstvu, hovoříme o dokonalém smáčení. ^[13]

4.3 Způsoby měření kontaktního úhlu

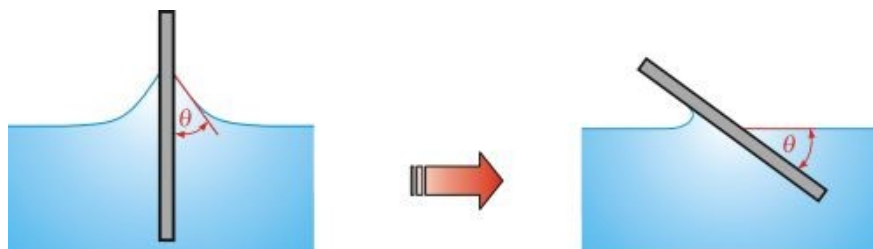
4.3.1 Metody přímé

Metoda nakloněné desky

Principem této metody je ponoření desky do kapaliny a její následné naklánění do té doby, kdy je povrch kapaliny na jedné straně desky rovný až k čáře styku mezi deskou a kapalinou. V této chvíli je svíraný úhel kapaliny s rovinou desky úhel smáčivosti θ .

Před samotným měřením je nutné, aby povrch desky i kapaliny byly dokonale čisté.

Tato metoda je vhodná pro měření malých úhlů do 10° . Nevýhoda metody spočívá v tom, že naměřená hodnota je mezi hodnotou úhlu postupujícího a úhlu ustupujícího. ^[14]

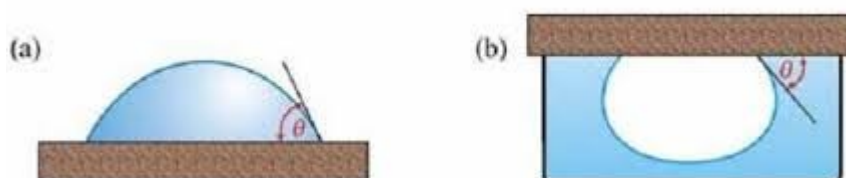
Obrázek 9 Metoda měření úhlu pomocí nakloněné desky^[14]

Měření pomocí přisedlé kapce nebo přilnavící bublině

Metody měření pomocí přisedlé kapky či pomocí přilnavící bublině patří mezi nejpoužívanější. Výhoda metody je, že není třeba vědět hustotu kapaliny ani povrchové napětí.

Základní princip je využití kapek kapaliny či vzduchových bublin aplikovaných na pevný rovný povrch. Měření úhlu je prováděno z obrazu nasnímaného profilu kapky či bubliny pomocí mikroskopu či kamery.

Přesnost této metody není příliš vysoká, velký podíl zde mají zkušenosti člověka provádějícího měření. Velké nepřesnosti vznikají převážně při měření úhlu $<10^\circ$ a $>160^\circ$ a to z důvodu složitého určení bodu kontaktu.^[15]



Obrázek 10 a) přisedlá kapka na desce b) přilnavící bublina^[15]

V případě použití videokamery pro nasnímání obrazu profilu kapky a využití počítače pro vyhodnocování se přesnost metody zvyšuje a lze říci, že jsme schopni určit úhel smáčivosti s přesností přibližně 1° .^[15]



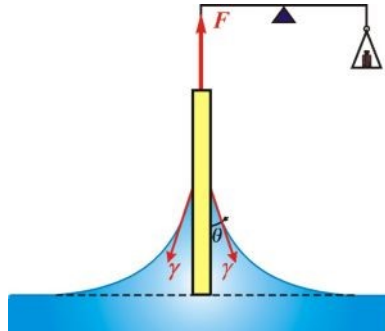
Obrázek 11 Snímání profilu kapky digitálním zařízením^[15]

4.3.2 Metody nepřímé

Nepřímé metody jsou založeny na metodách tenziometrických jako je kapilární elevace na svislé desce, vyvažování Wilhelmyho destičky či na analýze profilu kapky.

Wilhelmyho metoda vyvažovací destičky

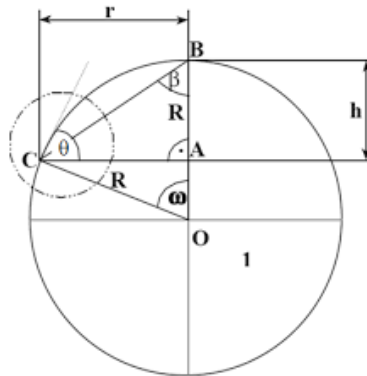
Principem této metody je měření síly, která je nutná k vyvážení rovné svislé destičky ponořené do kapaliny. Tedy jedná se o změnu hmotnosti destičky způsobené vzlínající kapalinou, se kterou došlo ke kontaktu. [16]



Obrázek 12 Wilhelmyho metoda vyvažovací destičky [16]

Analýza profilu kapky

Dalším možným způsobem je nepřímý výpočet metodou dosedací kapky. Využívá faktu, že malé kapky mají po přiblížení tvar kulové výseče. Pomocí průmětu snímku získaného projekcí kapky zjistíme průměr základny a výšku kapky. Z těchto dvou hodnot vypočítáme úhel smáčení θ . [16]



Obrázek 13 Pomocné schéma kulové kapky

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 POPIS STROJE CAM 200 OPTICAL

CAM 200 je počítačově řízený přístroj, jehož účelem je zachycení videosekvencí a automatická analýza obrazu. Pomocí přístroje lze měřit následující:

- statických kontaktních úhlů
- povrchového a mezipovrchového napětí
- povrchové volné energie

Ve své době byl vhodný jak pro výzkum, tak pro normální měření.

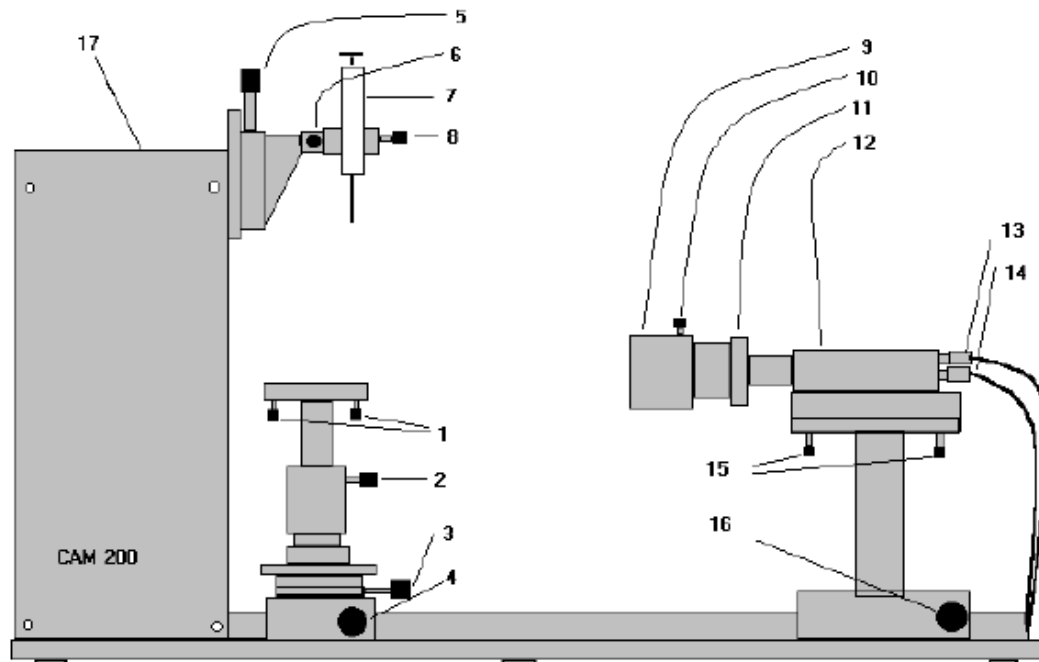
Konkrétně tento přístroj nebyl nikdy plně využíván, laboratoř, která jej vlastnila, ho měla pouze jako záložní.

V následujících kapitolách budou popsány možné způsoby kalibrace pomocí navržených přípravků a nalezení nejvhodnějšího.



Obrázek 14 Přístroj CAM 200

5.1 Popis jednotlivých částí



Obrázek 15 Popis jednotlivých částí

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1) Nastavení úrovně podstavce | 10) Zámek zoomu fotoaparátu |
| 2) Nastavení výšky podstavce | 11) Nastavení clony objektivu |
| 3) Boční nastavení | 12) CCD kamera |
| 4) Lineární posuv podstavce | 13) Světelný synchronizační kabel |
| 5) Nastavení výšky dávkovače | 14) Kabel video výstupu |
| 6) Boční nastavení dávkovače | 15) Nastavení výšky kamery |
| 7) Dávkovač | 16) Lineární posuv kamery |
| 8) Upínací svorka | 17) Světelný zdroj a jednotka rozhraní |
| 9) Přiblížení objektivu fotoaparátu | |

5.2 Technické parametry přístroje

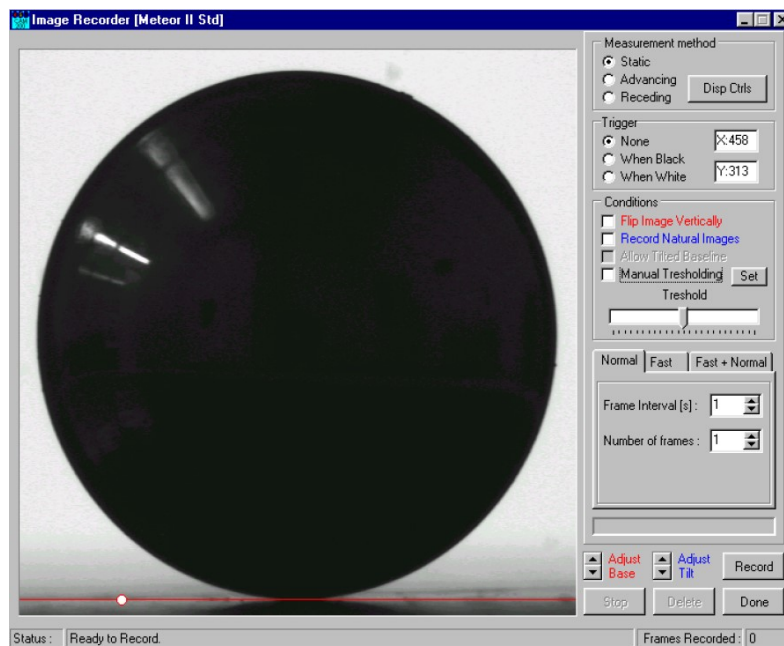
Maximální velikost vzorku	Neomezeně x 150 x 50 mm (š x v x h)
Rámcový interval	40ms - 1000 s, počet snímků závisí na paměti RAM
Fotoaparát	CCD kamera
Dávkování	Ruční nebo automatický (volitelný dávkovač)
Požadavky na počítač	486 nebo Pentium s 64 MB paměti, SVGA grafikou, Windows 95/98, NT nebo novější operační systém
Příslušenství	Automatický dávkovač, měřící komora, termostatem měřící komory, sklopná plošina
Možnosti měření	Statický kontaktní úhel, postupující a ustupující kontaktní úhly, povrchové/mezifázové napětí pomocí metody zavěšení
Rozsah měřených úhlů	0 - 180°
Úchylka	+/- 0,5°

5.3 Popis kalibrace výrobcem

Kalibraci přístroje musíme provádět pokaždé pro kterýkoli výpočet objemového či povrchového napětí. Pokud požadujeme pouze kontaktní úhel, není třeba provádět kalibraci.

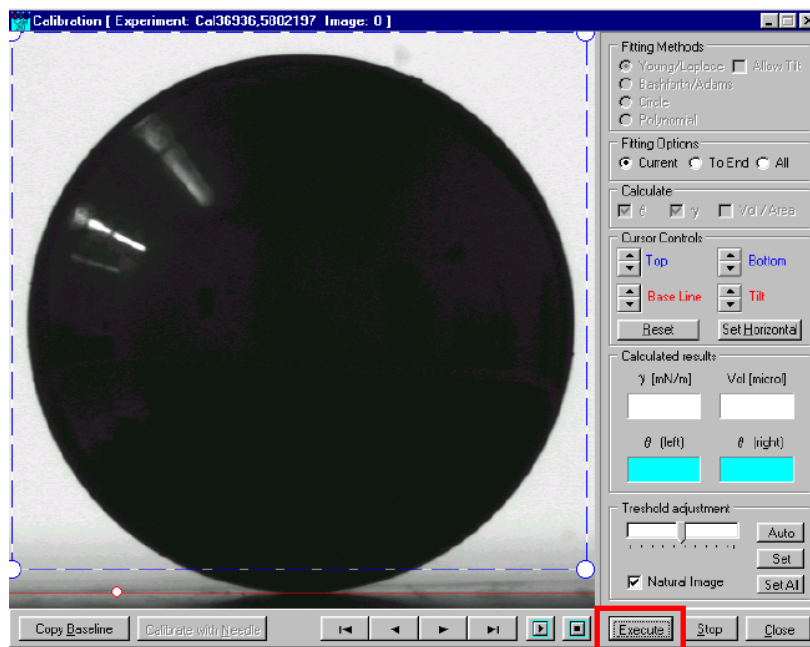
Kalibraci musíme obnovit při každé změně zvětšení obrazu či otvoru. Jakmile nastavíme zvětšení a objektiv, musíme je „uzamknout“ na místě, aby nedošlo k posunu. Kalibrace se provádí kalibrační kuličkou o známém přesném průměru.

Kalibraci spustíme v základním menu programu výběrem „New calibration“. To vyvolá obrazovku, která zobrazuje živý obraz před kamerou. Kalibrační kuličku umístíme do obrazu kamery a nastavíme červenou čáru tak, aby byla v nejnižším bodě kalibrační kuličky (Obrázek 16).

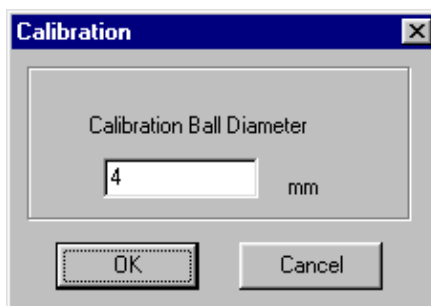


Obrázek 16 Kalibrace – nastavení

Pokud máme takto nastaveno, uložíme obraz. Definujeme oblast, ve které se nachází kulička pomocí modrého čtverce: kurzorem upravíme jeho velikost tak, aby kalibrační kulička byla uvnitř tohoto čtverce. Pokud máme takto nastaveno, pokračujeme stisknutím tlačítka „Execute“ (Obrázek 17). To vyvolá obrazovku s dotazem na velikost kalibrační kuličky (Obrázek 18).

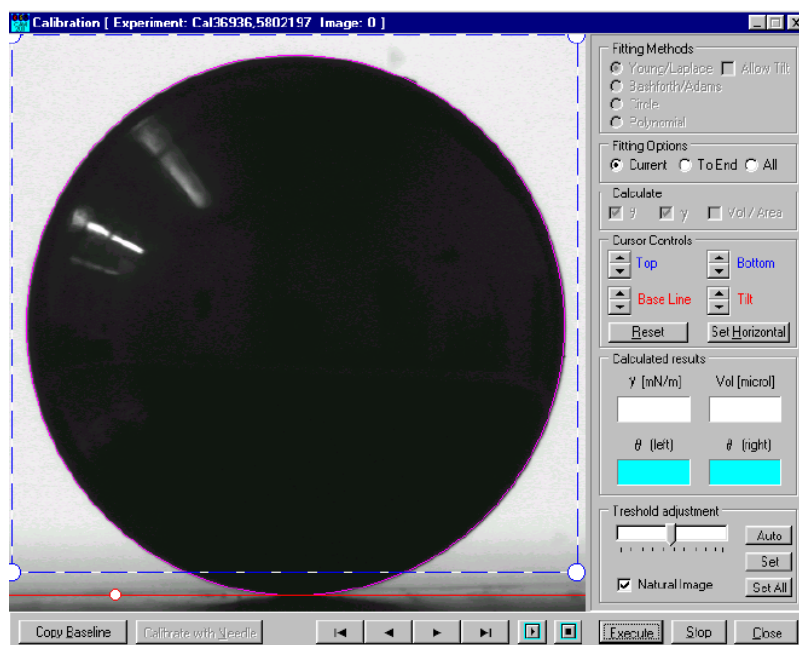


Obrázek 17 Nastavení velikost čtverce



Obrázek 18 Tabulka pro zadání velikost kalibrační kuličky

Do této tabulky zadáme průměr kalibrační kuličky a potvrdíme. Objeví se obrazovka, která ukazuje fialovou obvodovou kružnici o námi zadaném průměru kalibrační kuličky viz. Obrázek 19. Tato fialová kružnice by měla přesně kopírovat tvar obrazu kalibrační kuličky.



Obrázek 19 Proložení obrazu kuličky kružnicí

Pokud se tvar fialové kružnice shoduje s tvarem obrazu kalibrační kuličky (Obrázek 19), potvrdíme tlačítkem „Done“ a tím je kalibrace dokončena.

V případě nesprávného nastavení modrého čtverce nám vyskočí chybové hlášení a je nutno upravit velikost rámečku.

6 NÁVRH KALIBRAČNÍCH PŘÍPRAVKŮ

Kalibrace stroje lze provádět způsobem uvedeným od výrobce. Tento způsob mi přijde nedostačující, proto jsem navrhla jiné možné způsoby pomocí vyrobených přípravků, které jsou popsány níže.

6.1 Kalibrace dle kuličky dodané výrobcem

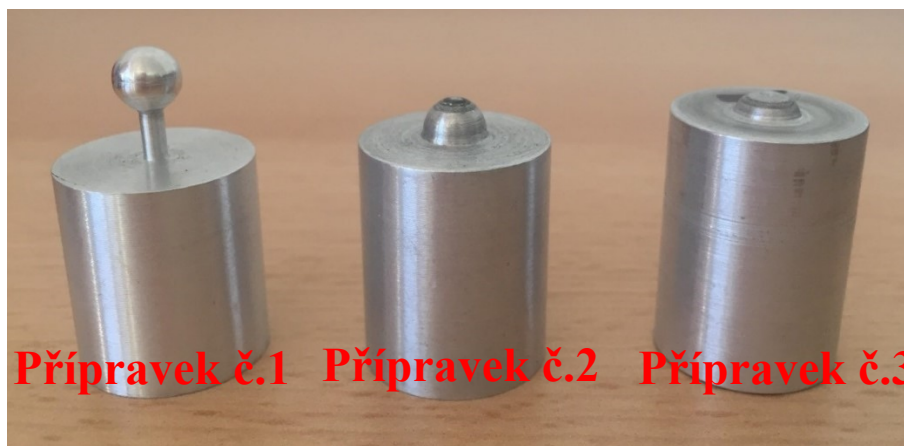
Výrobce dodává ke kalibraci lesklou kuličku z konstrukční oceli o průměru 3,97 mm. Způsoby ověření a zjištění přesné velikosti této kuličky a vyhodnocení naměřených dat je uvedeno v kapitole 7.

6.2 Kalibrace pomocí vysoustružených přípravků

Jako jedním z možných způsobů kalibrace mě napadla kalibrace pomocí přípravků, které by napodobovaly tvar kapky kapaliny o různých smáčivostech.

Za materiál byla zvolena duralová slitina EN AW-6060 z důvodu dobrého opracování a také dostupnosti, má vysokou pevnost, je odolná vůči korozi a po opracování dosahuje lesklých povrchů – to se ukázalo později jako nežádoucí pro naše účely.

Přípravky byly vyrobeny z duralové tyče na klasickém soustruhu, kde velice záleží na zručnosti obsluze stroje. Nástroj – soustružnický nůž, byl vybroušen do tvaru rádiusu R3.



Obrázek 20 Soustružené polotovary

6.2.1 Přípravek č. 1

První přípravek (Obrázek 20) má tvarem představovat tvar kapky kapaliny, která tuhou látku smáčí špatně – tedy úhel smáčení $\theta \gg 90^\circ$.

Jak už jsem zmínila, přípravky byly vyrobeny na klasickém soustruhu pomocí vybroušeného tvarového nože. Není tedy jisté, zda tvar kapky je doopravdy koule o daném průměru.

Ověřit tvar jsem měla možnost na přístroji Zoller Smile 400. Jedná se o optický vertikální přístroj pro měření a seřizování nástrojů pro obráběcí centra, CNC soustruhy, vyvrtávačky a podobně.

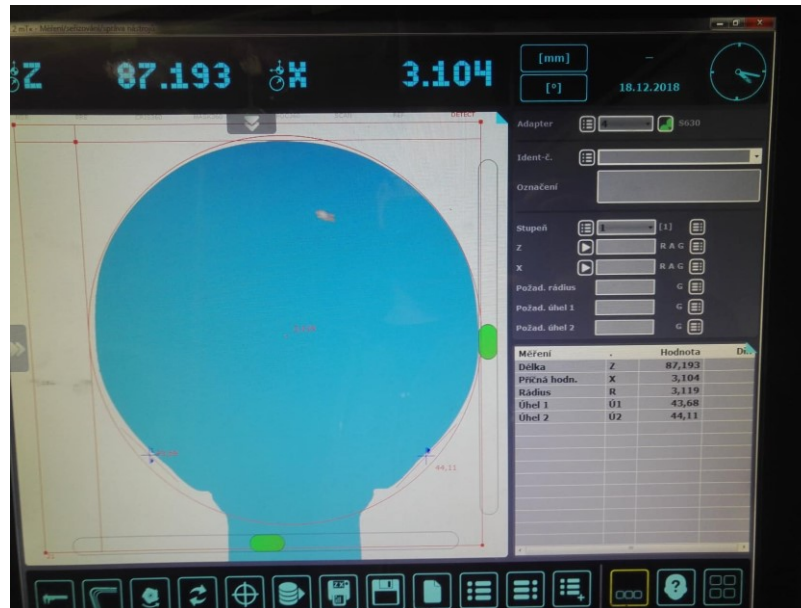


Obrázek 21 Zoller Smile 400

Již po prvním změření na tomto přístroji je patrné, že vysoustružená kapka nemá tvar koule. Po proložení obrazu kružnicí o nejbližším možném průměru $d=3,10\text{mm}$ je vidět, že tvar vysoustružené kapky není přesná kružnice – Obrázek 23.

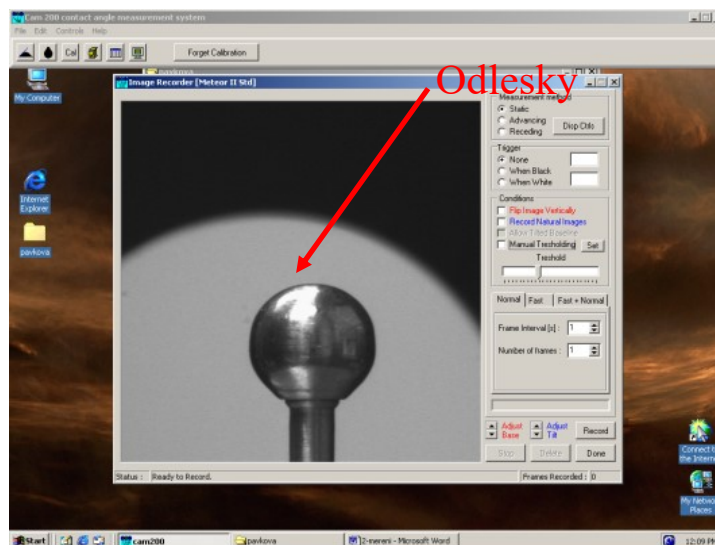


Obrázek 22 Měření přístrojem Zoller

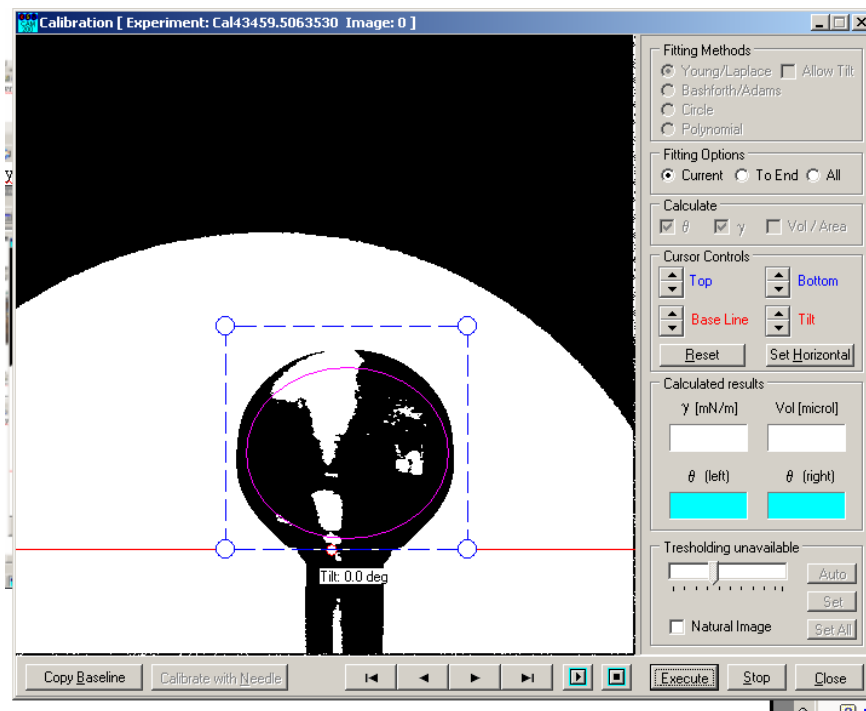


Obrázek 23 Proložení obrazu kružnicí - Zoller

I přes zjištění, že tvar kapky na přípravku není přesná koule, jsem pomocí jej zkusila provést kalibraci přístroje CAM 200.



Obrázek 24 Obraz přípravku snímáný kamerou



Obrázek 25 Pokus kalibrace pomocí přípravku č.1

V průběhu pokusu o kalibraci se tu vyskytli dva problémy – odlesky a tvar přípravku. Po zaostření a uložení obrazu přípravku z kamery je vidět na Obrázku 25, že obraz není spojitý – není přesně ohraničený, přístroj nedokáže vytvořit spojitou obvodovou kružnici = obrys není spojitá čára. To je způsobeno tím, že přípravek se leskne a odráží světlo i přesto, že v místnosti byly zatažené žaluzie a nepronikalo sluneční světlo. Fialová křivka je kružnice o námi zadaném průměru 3,10mm, který předpokládáme, že přípravek má. Jak lze ale Obrázek 25 ukazuje, opět se nám potvrdilo že přípravek nemá tvar koule a její průmět do 2D není kružnice, tudíž kalibrace pomocí tohoto přípravku není možná.

6.3 Kalibrace pomocí upravených ložiskových kuliček

Kalibrační kulička dodávaná ke kalibraci výrobcem má průměr 3,97 mm – což je z mého hlediska poměrně malý průměr. Pro přesnější kalibraci by byla vhodná kulička o větším průměru – alespoň 6-8 mm. Tudíž dalším nápadem na možný přípravek pro kalibraci přístroje CAM 200 je použít přesnou ložiskovou kuličku většího průměru.

Tyto ložiskové kuličky jsou převážně vyráběny z uhlíkové, nerezové, chromové oceli, mosazi či hliníku.

Jelikož při kalibraci s obyčejnou přesnou kuličkou byly problémy s odleskem, potřebovala jsem najít způsob, jakým zmatnit povrch kuliček. Bylo potřeba, aby se odstranila lesklost povrchu, ale zároveň se nezměnil tvar a neporušil povrch kuliček.

Nevhodnější způsob mě napadl kuličky zakalit. Neměla jsem ale možnost kde kuličky odborně tepelně upravit, zvolila jsem tedy „domácí“ způsob kalení.



Obrázek 26 Kuličky před úpravou

Postup kalení byl následující: kuličky jsem potřela olejem a poté zahřála plynovým hořákem. Na plynovém hořáku nelze nijakým způsobem regulovat teplotu, proto nelze říci jaká byla kalící teplota, chlazení pak proběhlo na vzduchu za normální pokojové teploty.



Obrázek 27 Zahřátí plynovým hořákem a následné chlazení na vzduchu

Tímto procesem jsme z lesklých kuliček udělali kuličky s povrchem matným, který nám odstraní problémy s odlesky během kalibrace.

6.4 Kalibrace pomocí vsazené kuličky do podstavce č.1

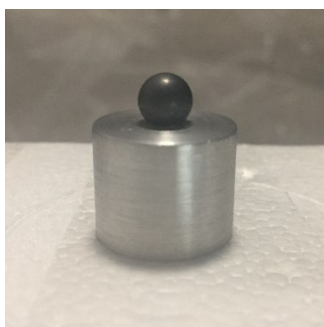
Jelikož nápad vysoustružit kuličku z jednoho kusu nebyl nejvhodnější díky nemožnosti dodržení přesného tvaru koule, zkusila jsem navrhnout vhodnější přípravek.

Napadl mě způsob vzít zmatněnou kuličku a umístit ji na podstavec. Na podobném principu je postavený přípravek používaný jako kalibr při měření drsnosti na drsnoměru od výrobce Taylor Hobson (Obrázek 28).



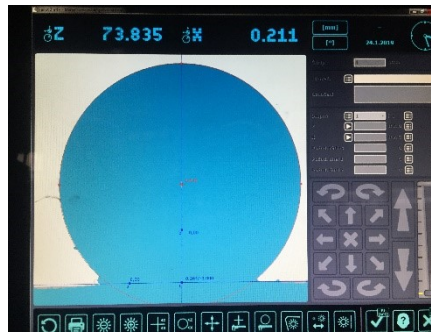
Obrázek 28 Kalibr pro měření drsnosti Taylor Hobson

Tepelně upravenou – zmatněnou kuličku jsem vložila do hliníkového podstavce, do kterého byl zavrtán rádiusový otvor. Pro udržení kuličky na podstavci jsem použila malé množství lepidla Loctite 325.

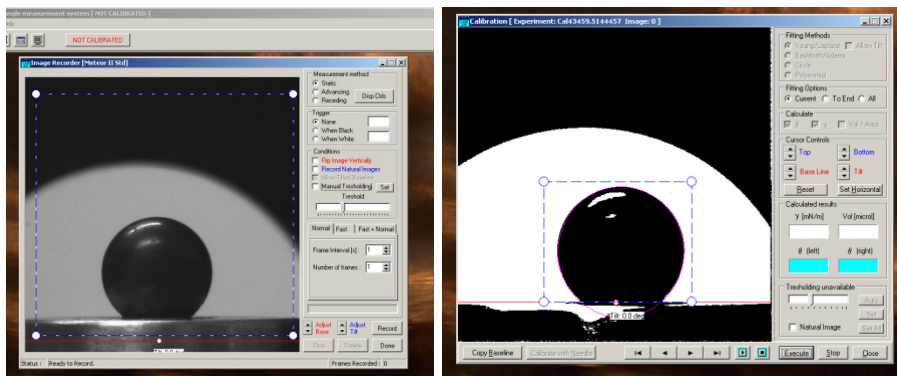


Obrázek 29 Kulička vlepená do podstavce

Kuličku na podstavci jsem opět proměřila na optickém měřicím přístroji Zoller Smile 400.



Obrázek 30 Měření na stroji Zoller



Obrázek 31 Snímek přípravku před a po uložení obrazu

7 MĚŘENÍ

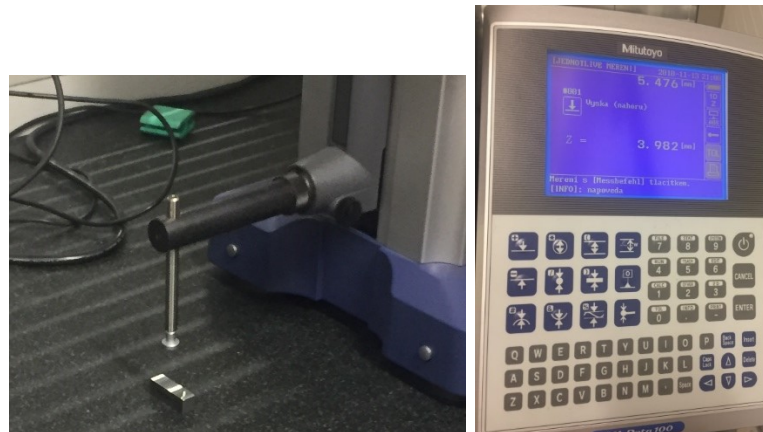
7.1 Měření kalibrační kuličky dodané výrobcem výškoměrem Mitutoyo

Měření kalibrační kuličky jsem provedla na lineárním výškoměru značky Mitutoyo, který se vyznačuje vysokou přesností.



Obrázek 32 Výškoměr Mitutoyo

Kuličku jsem změřila 100x. Během měření jsem pomocí pinzety pootáčela kuličkou tak, abych ji proměřila ze všech stran. Podložku jsem použila etalon o přesně daném rozměru.



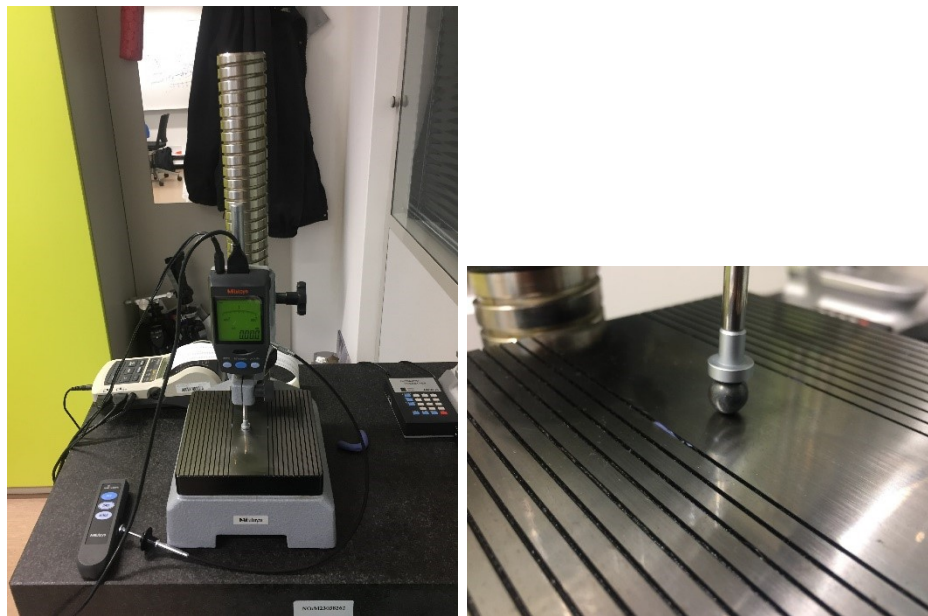
Obrázek 33 Detail měření, ovládací panel přístroje

7.2 Měření kuliček A a B

Kuličky A a B byly zakaleny. Kalením může v mnoha případech dojít k ovlivnění tvaru a velikosti z důvodu působení vysokých teplot. Je tedy nutné ověřit, zda se nám nezměnil tvar a zda se nám zachovala velikost těchto dvou vzorků.

Každou kuličku jsme změřili 100x a naměřené hodnoty pro obě kuličky jsou uvedeny v příloze.

Kuličky byly měřeny na stejném přístroji, a to na digitálním výškoměru značky Mitutoyo se statistickou tiskárnou. Hodnoty byly následně hodnoceny pomocí statistického programu.



Obrázek 34 a) Výškoměr Mitutoyo, b) detail měření

8 HODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

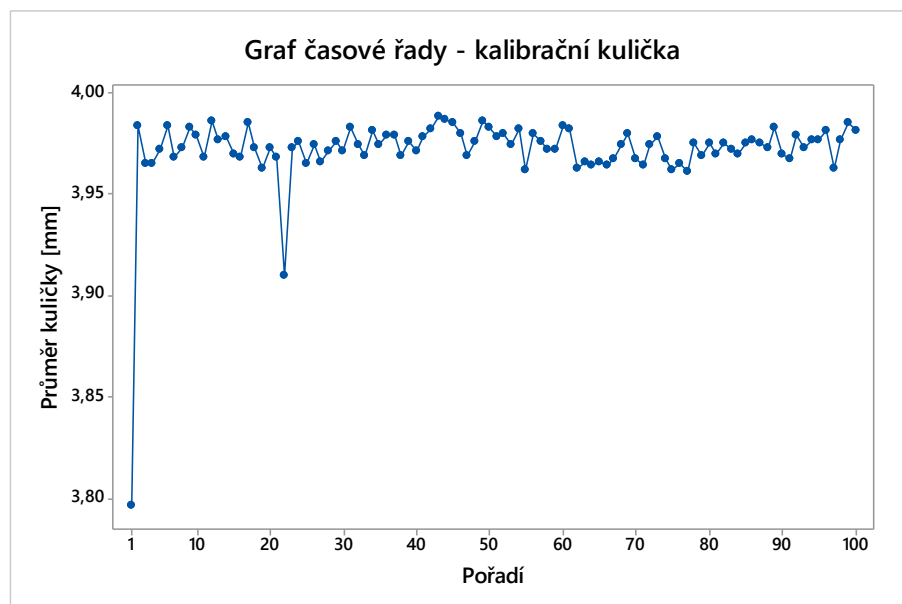
Pro hodnocení dat byl použit vhodný statistický software. Hodnocená data jsou uvedena v tabulce v příloze P1.

8.1 Hodnocení dat kalibrační kuličky

V následujících kapitolách byla použita metodika EDA.

8.1.1 Graf časové řady

Obrázek 35 vyobrazuje graf časové řady, vidíme na první pohled dva problémy: měření č. 1 a měření č. 22. Je nutné zjistit, zda se jedná o extrémní hodnoty či o hrubé chyby.

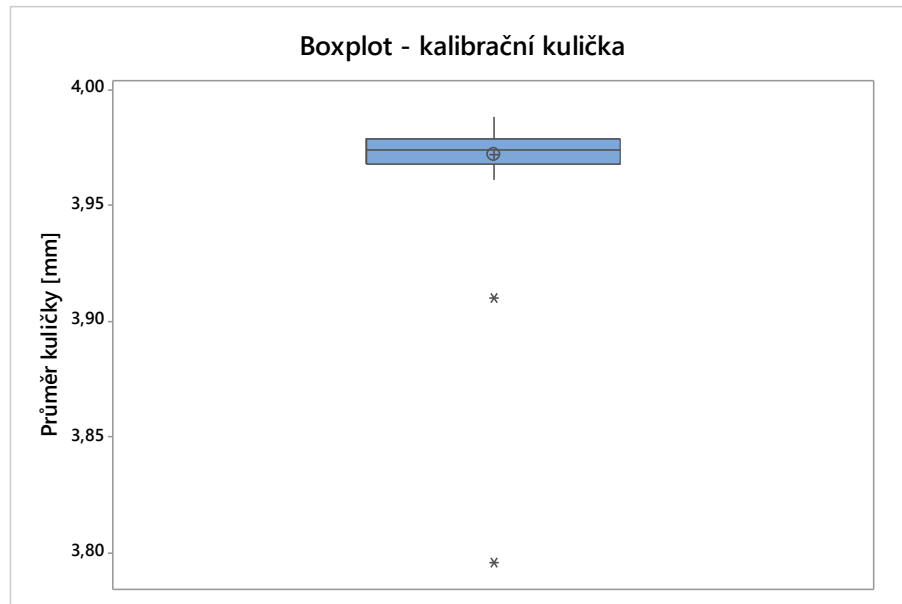


Obrázek 35 Graf časové řady – kalibrační kulička

Pro zjištění, zda jsou v hodnocených datech hrubé chyby nebo se jedná o extrémní hodnoty, nám slouží Grubbsův test.

8.1.2 Boxplot

Také boxplot (Obrázek 36) nám ukazuje, že v hodnocených datech jsou dvě podezřelé odlehlé hodnoty.



Obrázek 36 Boxplot – kalibrační kulička

8.1.3 Grubbsův test

Z grafu časové řady jsou podezřelé dvě velmi nízké hodnoty: 3,796 a 3,910. Z tohoto důvodu jsem se rozhodla pro aplikaci jednostranného Grubbsova testu.

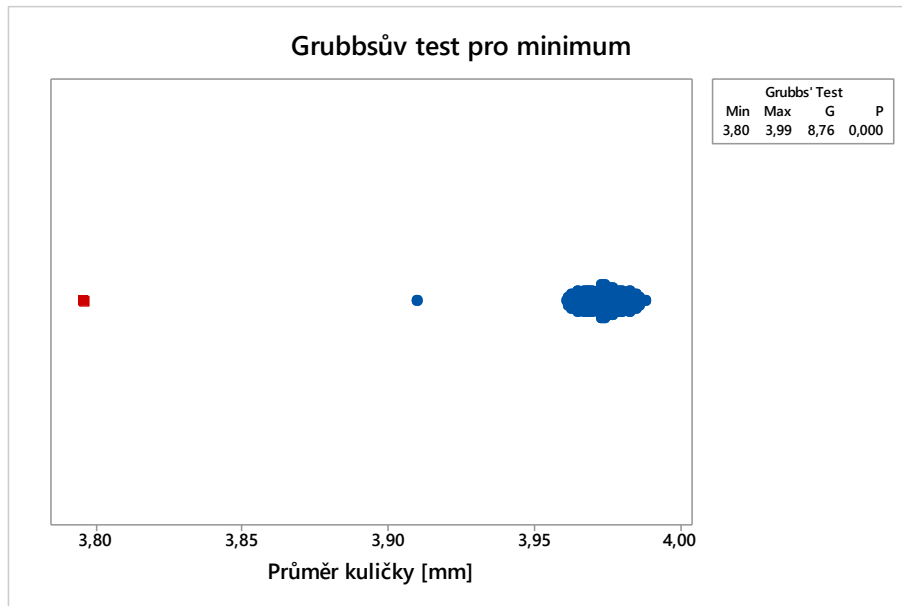
8.1.3.1 Grubbsův test pro minimum

Pomocí Grubbsova testu určíme, zda měření č.1 je pouze náhodná chyba nebo se jedná o chybu hrubou:

$$H_0: \text{MIN (hodnota 3,796)} = \text{EXTRÉM}$$

$$H_a: \text{MIN (hodnota 3,796)} \neq \text{EXTRÉM}$$

S hladinou významnosti $\alpha = 0,050$.



Obrázek 37 Grubbsův test pro měření č.1

Z grafu (Obrázek 37) vidíme, že hodnota $p = 0,000$ tedy je menší než $\alpha (0,050)$. Tím pádem zamítám H_0 ve prospěch H_a - tedy měření č.1 je hrubá chyba a může být z hodnocených dat vyřazena.

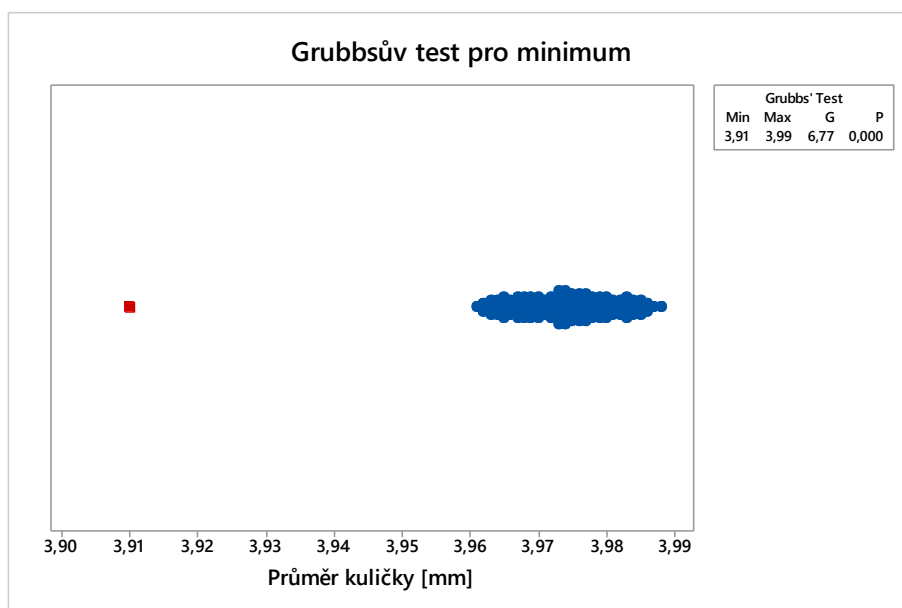
Nyní je potřeba Grubbsův test pro minimum zopakovat.

Znovu musím zjistit, zda měření č. 22 byla chyba pouze náhodná nebo chyba hrubá:

H_0 : MIN (hodnota 3,910) = *EXTRÉM*

H_a : MIN (hodnota 3,910) \neq *EXTRÉM*

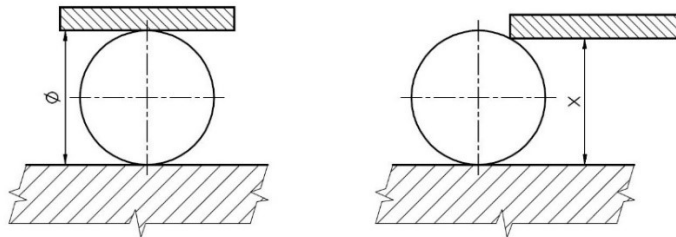
S hladinou významnosti $\alpha = 0,050$.



Obrázek 38 Grubbsův test pro měření č. 22

Z grafu (Obrázek 38) vidíme, že hodnota $p = 0,000$ - tedy je menší než $\alpha (0,050)$. Tím pádem opět zamítám H_0 ve prospěch H_a - měření č. 22 je hrubá chyba a může být z hodnocených dat také vyřazena.

Důvodem vzniku těchto hrubých chyb je špatný dotyk sondy na kuličku. Jak je vidět na obrázku níže (Obrázek 39) sonda se nedotkla nejvyššího bodu kuličky celou plochou, ale pouze hranou v nižší části. Naměřená hodnota neodpovídá hodnotě průměru kuličky.



Obrázek 39 Chyba při měření

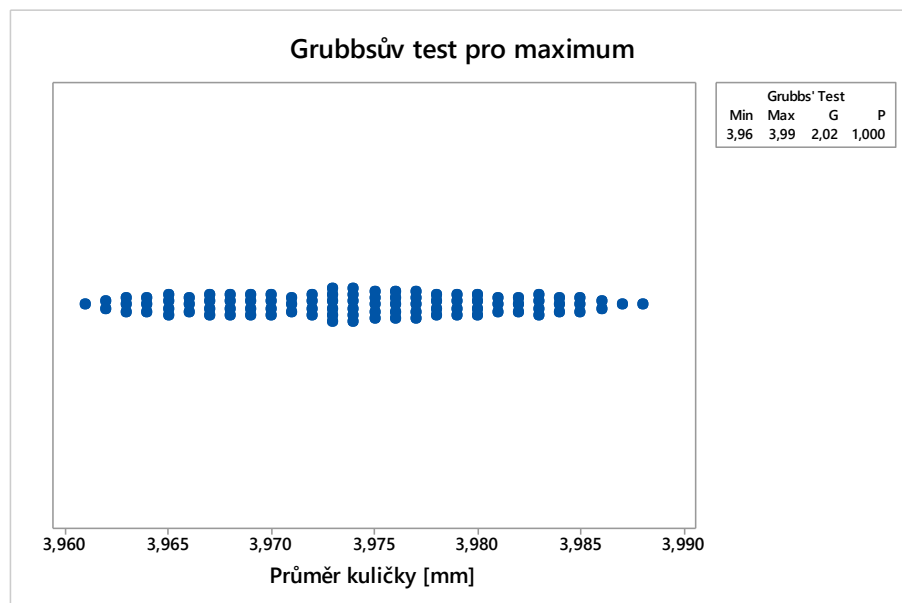
8.1.3.2 Grubbsův test pro maximum

Pro prozkoumání druhé strany hodnot jsem provedla Grubbsův test pro maximum. Přestože nepředpokládám výskyt hrubých chyb.

$$H_0: \text{MAX} = \text{EXTRÉM}$$

$$H_a: \text{MAX} \neq \text{EXTRÉM}$$

S hladinou významnosti $\alpha = 0,050$.

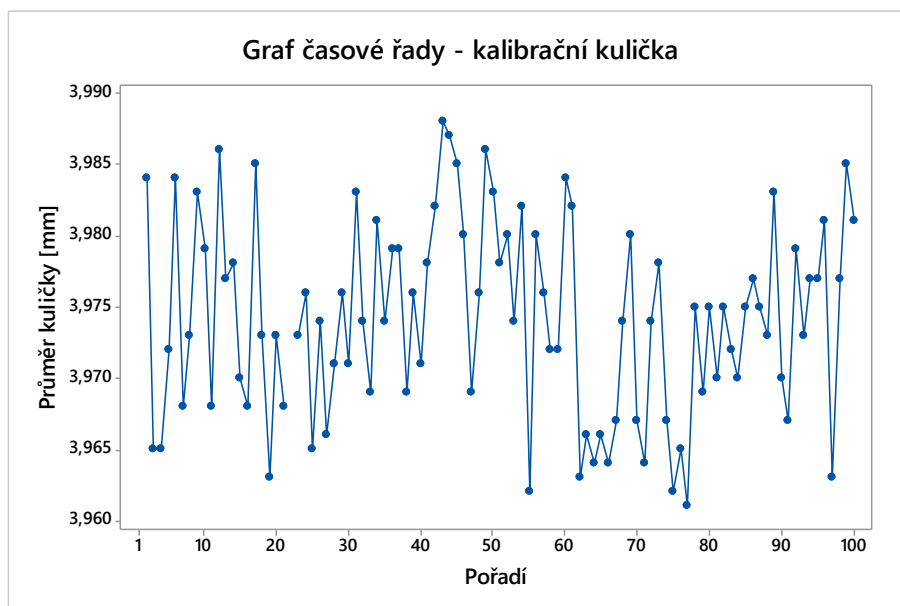


Obrázek 40 Grubbsův test pro maximum

Z grafu (Obrázek 40) vidíme, že hodnota $p = 1,000$ - tedy je větší než $\alpha (0,050)$. Tím pádem nezamítám H_0 a potvrdil se můj odhad.

8.1.4 Graf časové řady po vyřazení hrubých chyb

Vzhledem k tomu, že původní graf časové řady zkreslovaly hrubé chyby, jsem ho vytvořila znovu. V něm jsou viditelné mezery po odstranění hrubých chyb. Nyní je z grafu lépe čitelné, že nevykazuje žádné trendy (rostoucí, klesající, periodický a podobně).



Obrázek 41 Graf časové řady po odstranění hrubých chyb

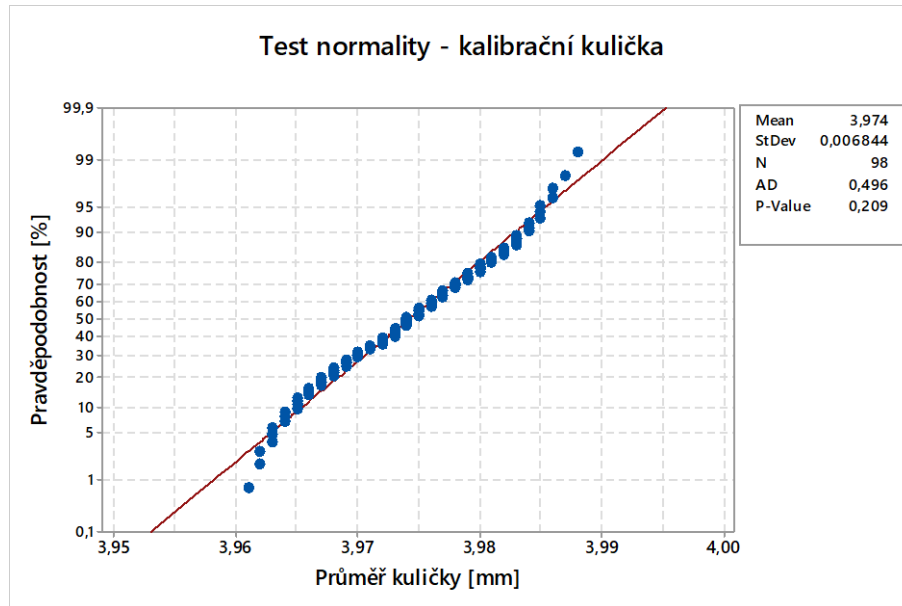
8.1.5 Test normality

Pomocí testu normality zjistím, zda data patří do normálního rozdělení.

$$H_0: \text{naměřená data} \in N(\mu; \sigma^2)$$

$$H_s: \text{naměřená data} \notin N(\mu; \sigma^2)$$

S hladinou významnosti $\alpha = 0,050$.

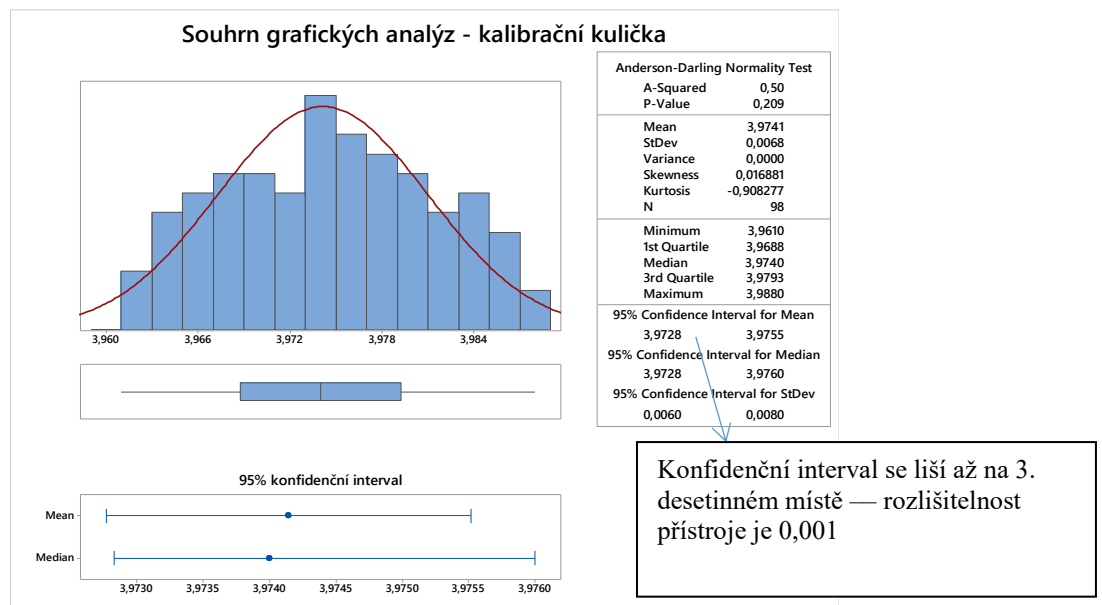


Obrázek 42 Test normality – kalibrační kulička

Hodnota $p = 0,209$ z grafu výše (Obrázek 42) je větší než α , nezamítám tedy nulovou hypotézu a s 95% pravděpodobností data pocházejí z normálního rozdělení.

8.1.6 Souhrn grafických analýz

Obrázek 43 zobrazuje souhrn hodnocení dat kalibrační kuličky po odstranění hrubých chyb. Pomocí analýz jsem dokázala, že data na základě 98 měření splňují normalitu. Pokud bude tato kulička použita pro kalibraci CAM 200, je nutné ji brát jako etalon o průměru 3,97 mm (což je aritmetický průměr vypočtený na základě 98 naměřených hodnot).

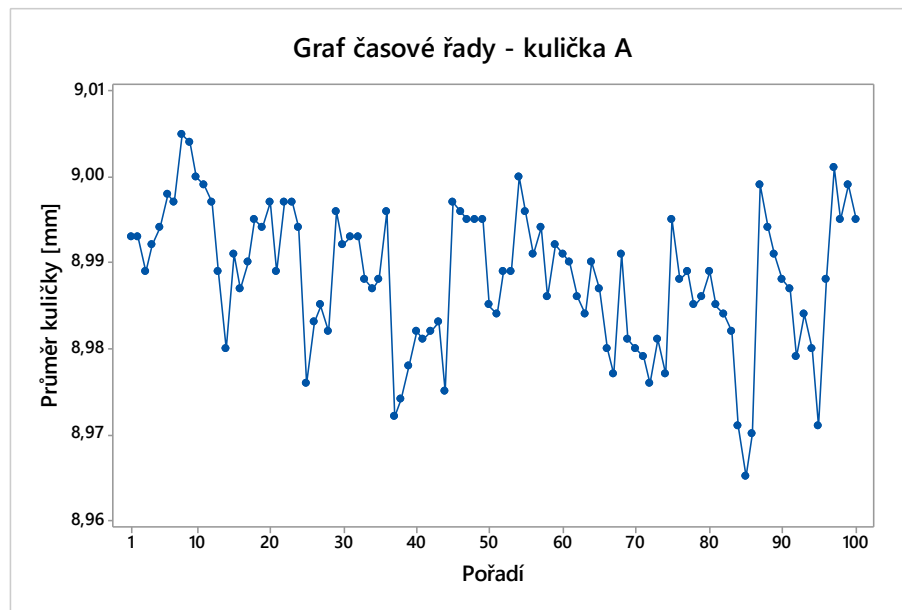


Obrázek 43 Souhrn grafických analýz – kalibrační kulička

8.2 Kulička A

8.2.1 Graf časové řady

Graf časové řady pro kuličku A (Obrázek 44) nám na první pohled nevykazuje žádné extrémy.



Obrázek 44 Graf časové řady – kulička A

8.2.2 Grubbův test

Přestože z graf časové řady nám nevykazuje žádné podezřelé hodnoty, provedeme Grubbsův test jednostranný. Test nám určí, zda okrajové hodnoty jsou pouze extrémy či hrubé chyby.

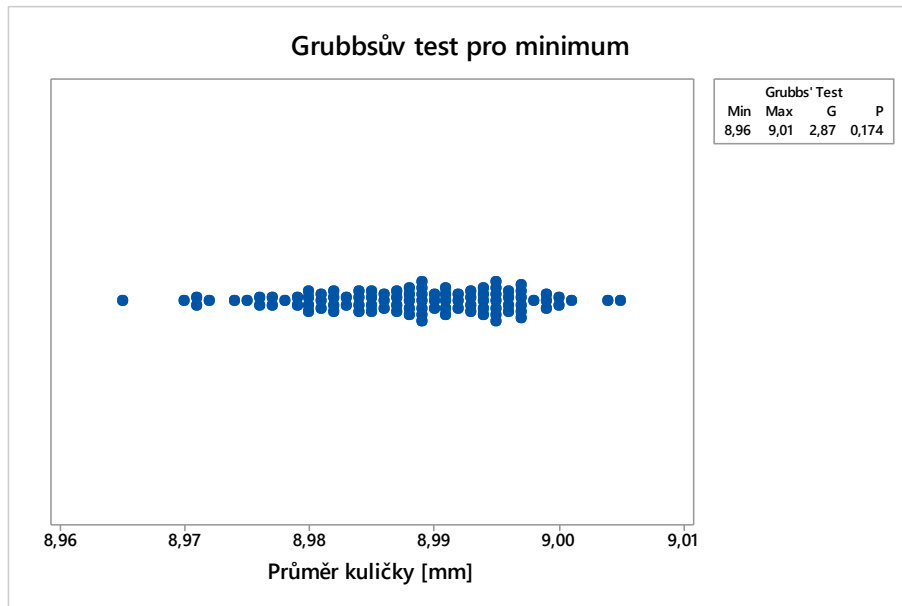
Grubbsův test pro minimum:

H_0 : MIN (hodnota 8,965) = *EXTRÉM*

H_a : MIN (hodnota 8,965) \neq *EXTRÉM*

S hladinou významnosti $\alpha = 0,050$.

Z grafu (Obrázek 45) vidíme, že hodnota $p=0,174$ je větší než $\alpha (0,050)$. Tím pádem nezamítám nulovou hypotézu H_0 a můžu s 95% pravděpodobností říct, že hodnota 8,965 je pouze extrém a nikoli hrubá chyba.



Obrázek 45 Grubbsův test pro minimum

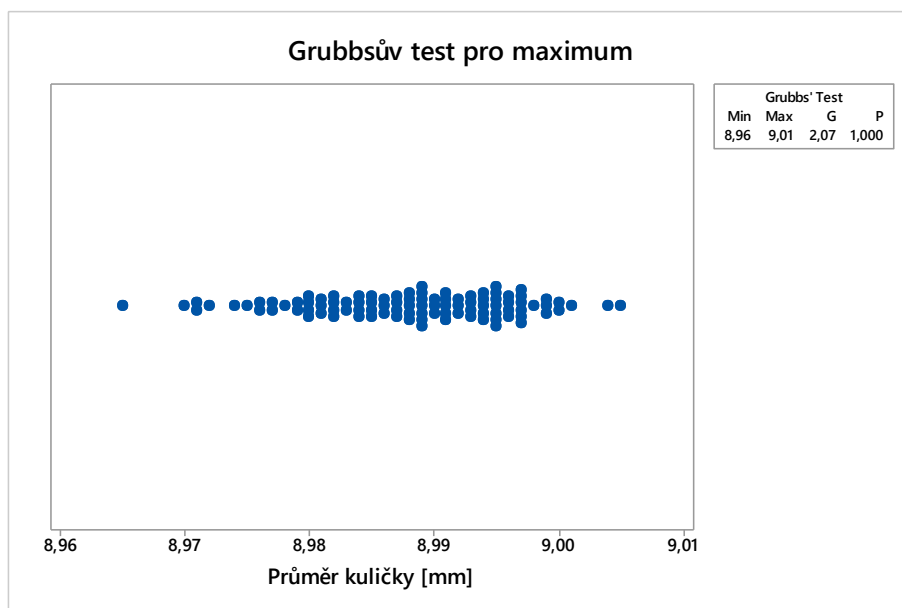
Postup budu opakovat – tentokrát pro druhou stranu hodnot, volím Grubbsův test pro maximum.

H_0 : MIN (hodnota 9,005) = *EXTRÉM*

H_a : MIN (hodnota 9,005) \neq *EXTRÉM*

S hladinou významnosti $\alpha = 0,050$.

Z grafu (Obrázek 46) vidíme, že hodnota $p=1,000$ je větší než $\alpha (0,050)$. Tím pádem opět nezamítám nulovou hypotézu H_0 a mohu s 95% pravděpodobností říct, že hodnota 9,005 je pouze extrém a nikoli hrubá chyba.



Obrázek 46 Grubbsův test pro maximum

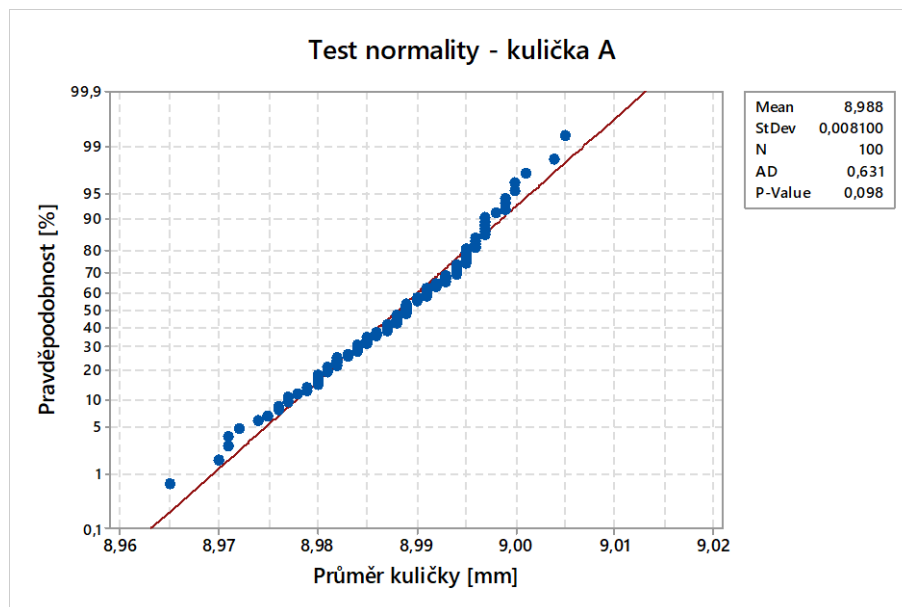
8.2.3 Test normality

Pomocí testu normality zjistím, zda data patří do normálního rozdělení.

H_0 : naměřená data $\in N(\mu; \sigma^2)$

H_s : naměřená data $\notin N(\mu; \sigma^2)$

S hladinou významnosti $\alpha = 0,050$.

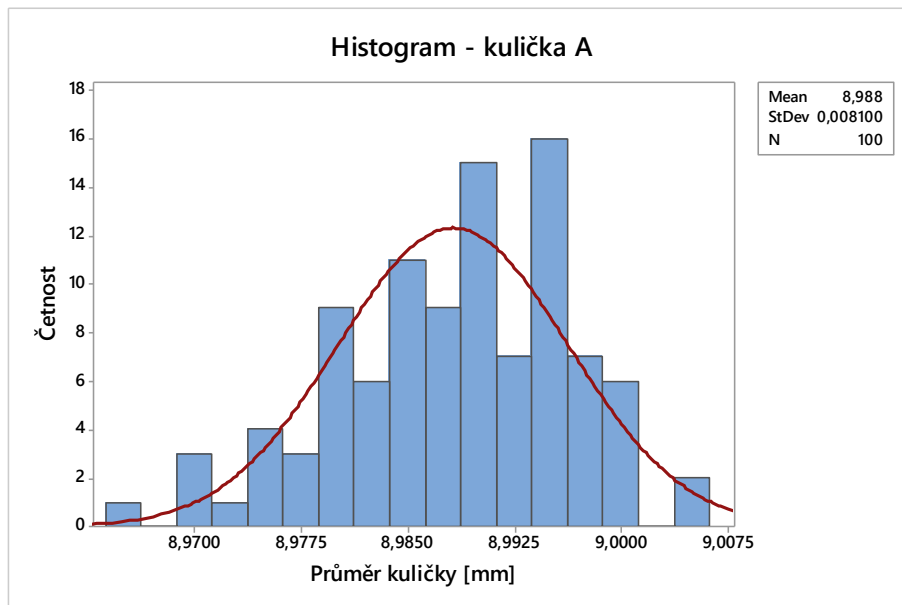


Obrázek 47 Test normality – kulička A

Hodnota $p = 0,098$ z grafu výše (Obrázek 47) je větší než α ($\alpha=0,050$), nezamítám tedy nulovou hypotézu a s 95% pravděpodobností data pocházejí z normálního rozdělení.

8.2.4 Histogram

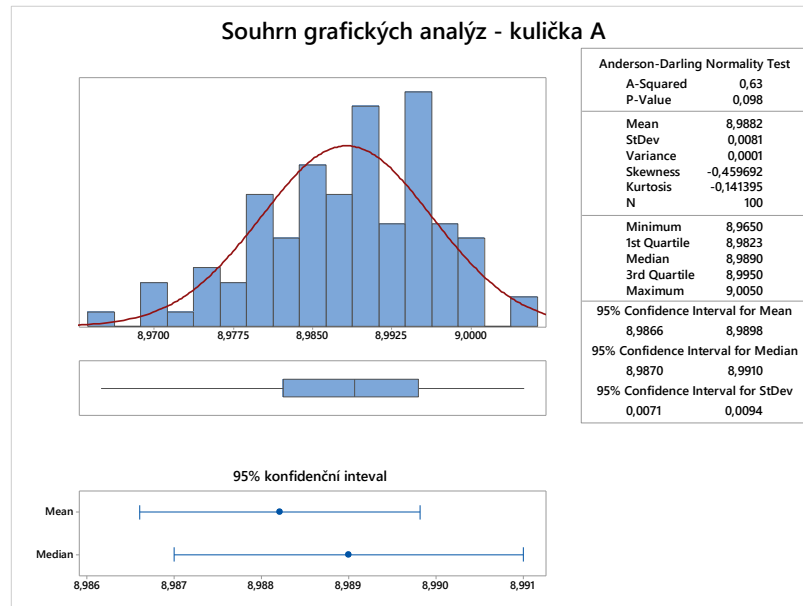
Obrázek 48 nám zobrazuje histogram, který nám slouží pro odhad tvaru funkce rozložení hustoty pravděpodobnosti. Z grafu (Obrázek 48) je patrné, že se jedná o normální rozdělení.



Obrázek 48 Histogram – kulička A

8.2.5 Souhrn grafických analýz

Obrázek 49 vyobrazuje souhrn grafických analýz. Na základně 100 naměřených hodnot tvrdím, že data s 95% pravděpodobností splňují normální rozdělení. Průměrná hodnota průměru kuličky je 8,988 s průměrnou odchylkou 0,008. Data vykazují velmi mírnou negativní šikmost.

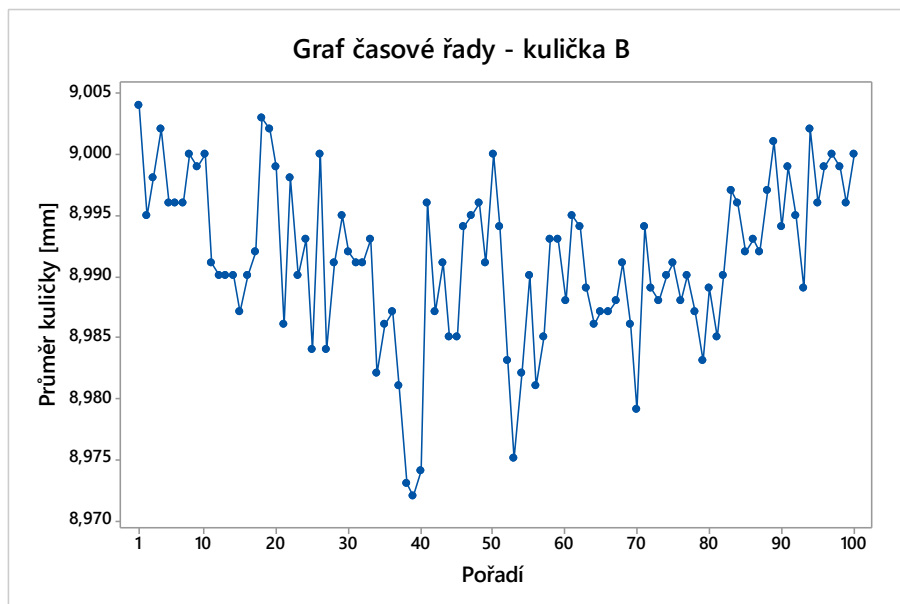


Obrázek 49 Souhrn grafických analýz – kulička A

8.3 Kulička B

8.3.1 Graf časové řady

Graf časové řady pro kuličku B (Obrázek 50) nám na první pohled nevykazuje žádné hrubé chyby.



Obrázek 50 Graf časové řady – kulička B

8.3.2 Grubbsův test

Ani graf časové řady pro kuličku B nám nevykazuje žádné podezřelé hodnoty, přesto opět provedeme Grubbsův test jednostranný pro minimum a pro maximum. Test nám určí, zda okrajové hodnoty jsou pouze extrémy či hrubé chyby.

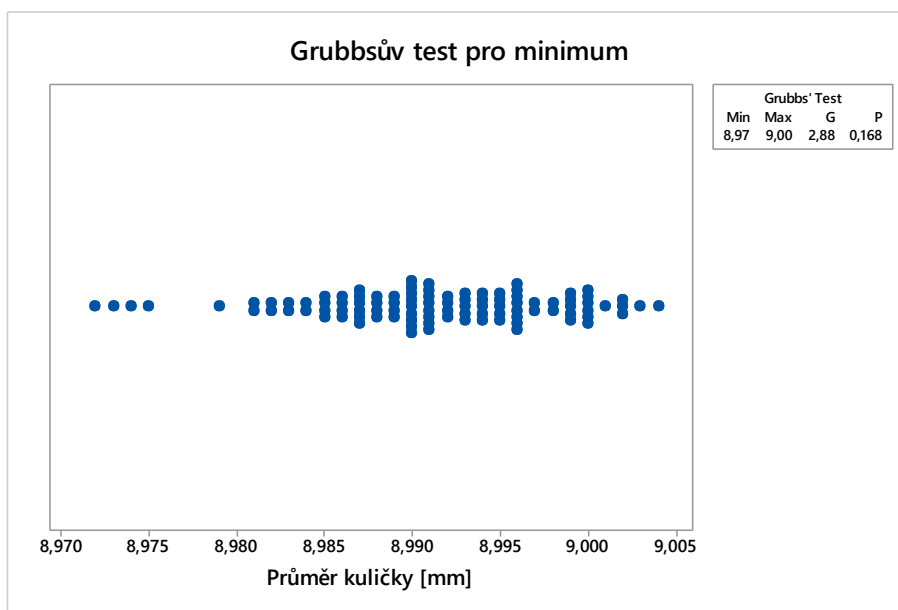
Grubbsův test pro minimum:

H_0 : MIN (hodnota 8,972) = *EXTRÉM*

H_a : MIN (hodnota 8,972) \neq *EXTRÉM*

S hladinou významnosti $\alpha = 0,050$.

Z grafu (Obrázek 45) vidíme, že hodnota $p=0,168$ je větší než α (0,050). Tím pádem nezamítám nulovou hypotézu H_0 a můžu s 95% pravděpodobností říct, že hodnota 8,972 je pouze extrém a nikoli hrubá chyba.



Obrázek 51 Grubbsův test pro minimum

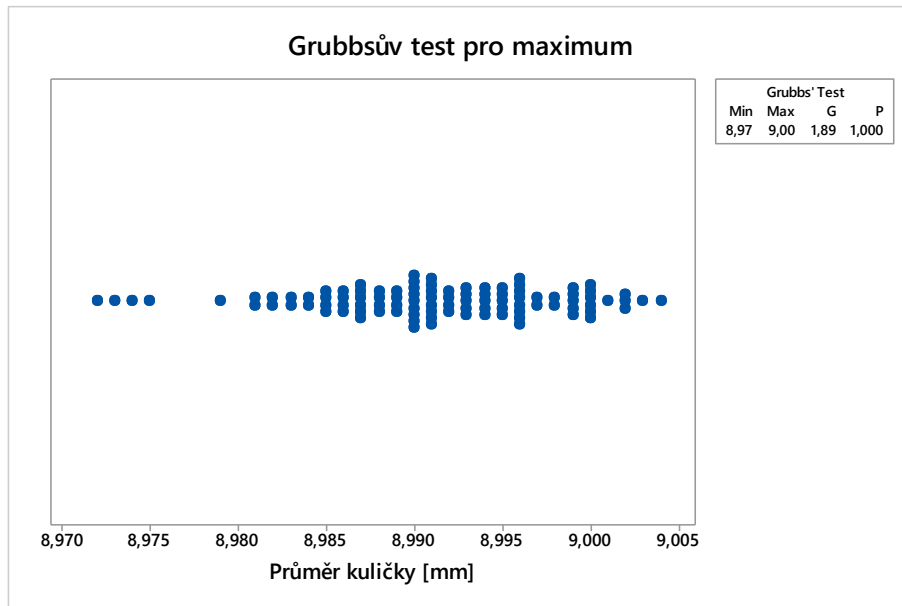
Postup budu opakovat i pro druhou stranu hodnot, Grubbsův test pro maximum.

H_0 : MIN (hodnota 9,004) = *EXTRÉM*

H_a : MIN (hodnota 9,004) \neq *EXTRÉM*

S hladinou významnosti $\alpha = 0,050$.

Z grafu (Obrázek 52) vidíme, že hodnota $p=1,000$ je větší než α (0,050). Tím pádem opět nezamítám nulovou hypotézu H_0 a mohu s 95% pravděpodobností říct, že hodnota 9,004 je pouze extrém a nikoli hrubá chyba.



Obrázek 52 Grubbsův test pro maximum

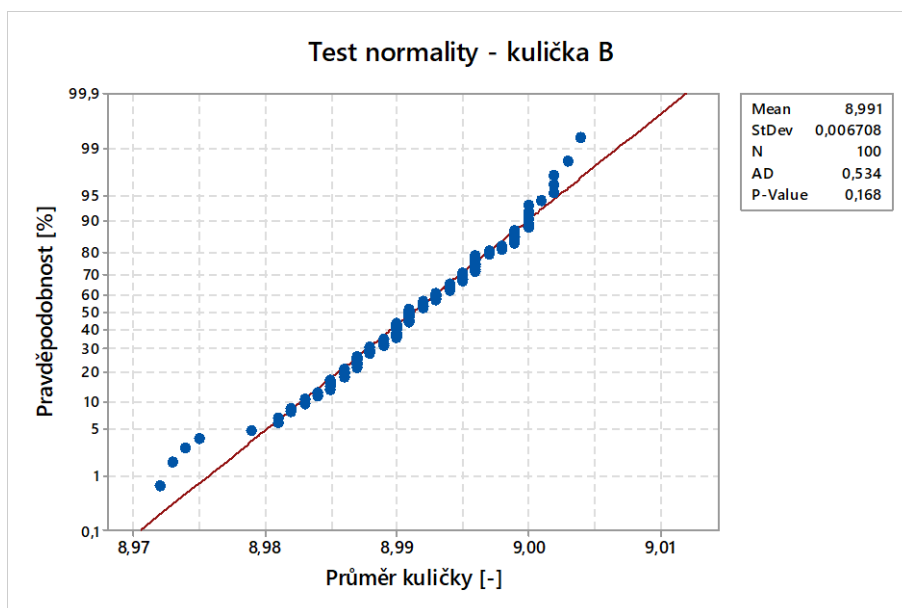
8.3.3 Test normality

Pomocí testu normality opět zjistím, zda data patří do normálního rozdělení.

$$H_0: \text{naměřená data} \in N(\mu; \sigma^2)$$

$$H_s: \text{naměřená data} \notin N(\mu; \sigma^2)$$

S hladinou významnosti $\alpha = 0,050$.

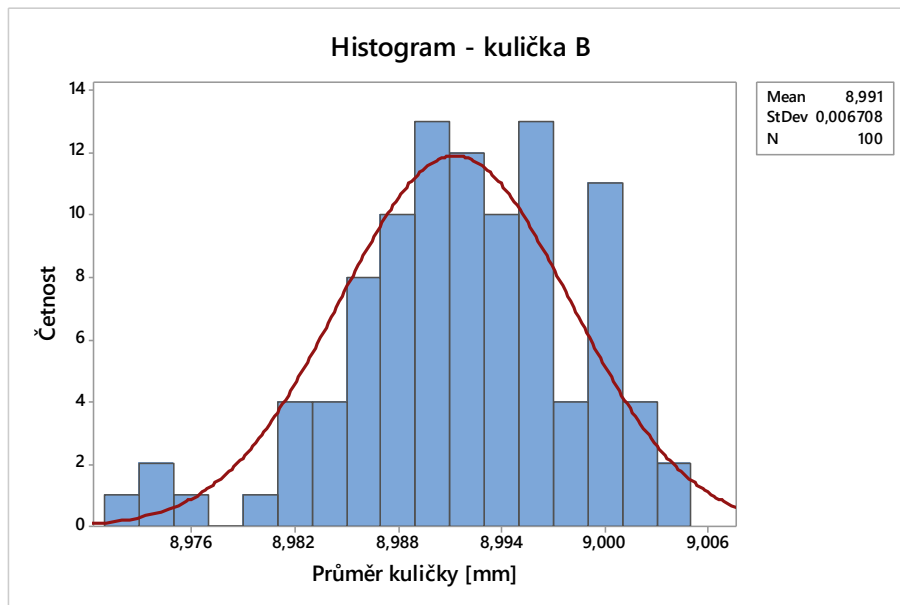


Obrázek 53 Test normality – kulička B

Hodnota $p = 0,168$ z grafu výše (Obrázek 53) je větší než α ($\alpha=0,050$), nezamítám tedy nulovou hypotézu a s 95% pravděpodobností tvrdím, že data pocházejí z normálního rozdělení.

8.3.4 Histogram

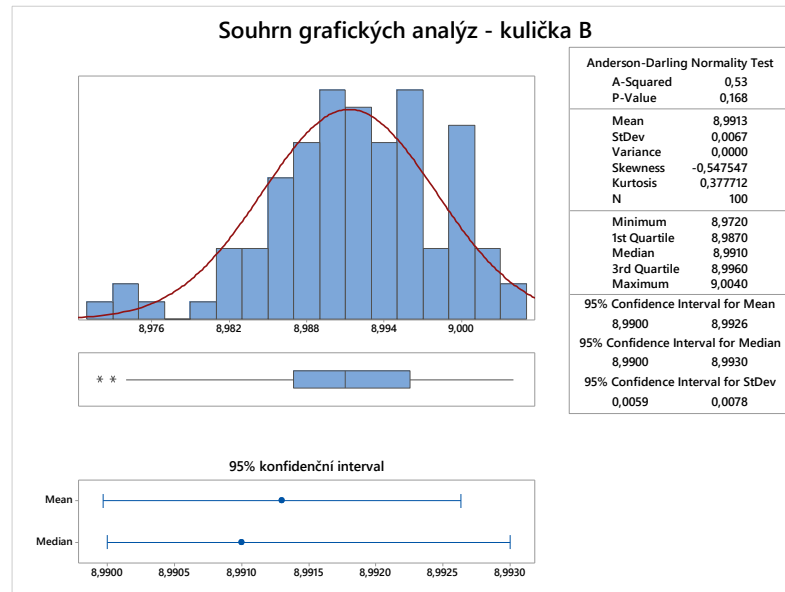
Obrázek 54 zobrazuje histogram z naměřených dat kuličky B. Je patrná mírná šikmost dat pocházejících z normálního rozdělení.



Obrázek 54 Histogram – kulička B

8.3.5 Souhrn grafických analýz

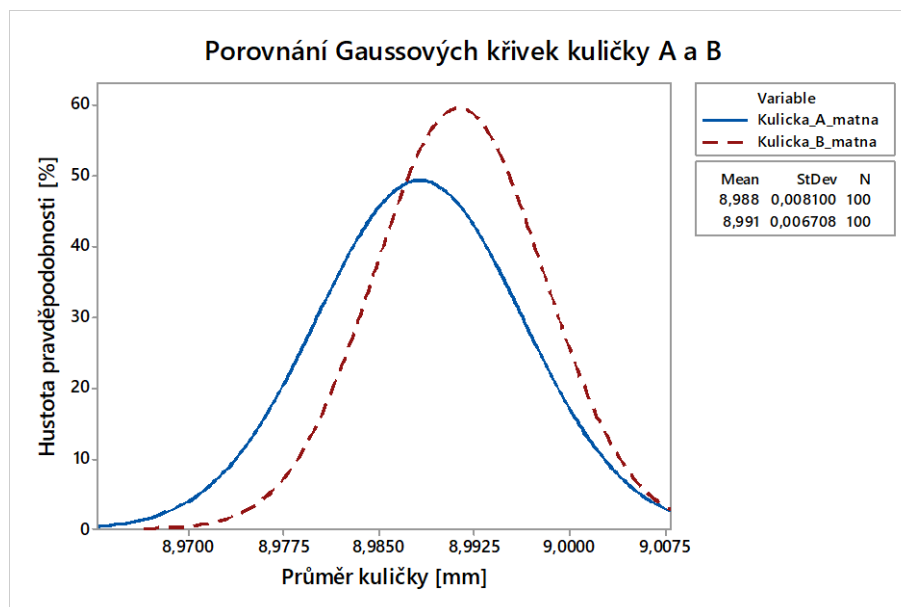
Obrázek 55 vyobrazuje souhrn grafických analýz. Na základně 100 naměřených hodnot tvrdím, že data s 95% pravděpodobností splňují normální rozdělení. Průměrná hodnota průměru kuličky je 8,991 s průměrnou odchylkou 0,006. Data vykazují mírnou negativní šikmost.



Obrázek 55 Souhrn grafických analýz – kulička B

8.4 Porovnání dat kuličky A a B

Na obrázku níže (Obrázek 56) vidíme porovnání Gaussových křivek z hodnot pro kuličku A a B. Je vidět, že tvar křivek se mírně liší.



Obrázek 56 Porovnání Gaussových křivek kuliček A a B

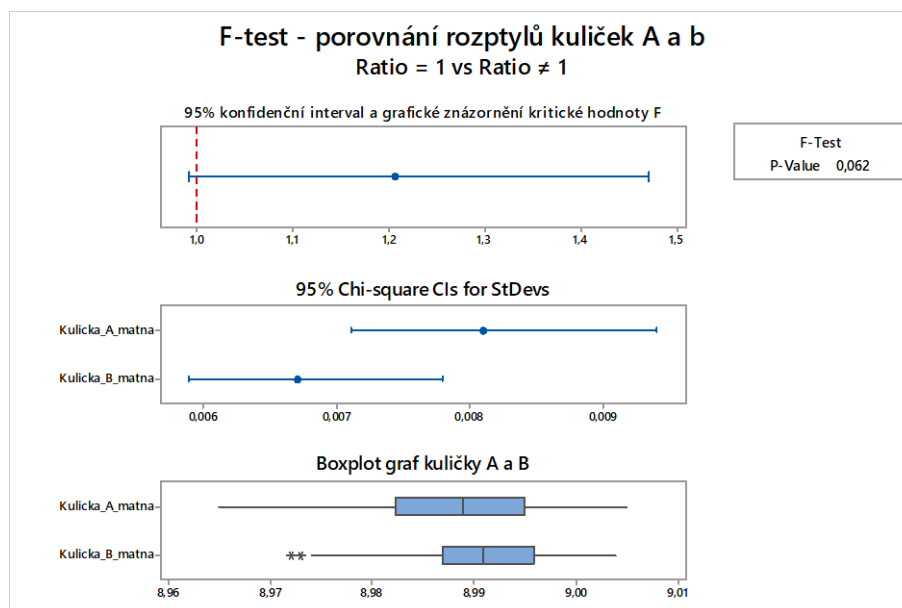
8.4.1 Porovnání rozptylů

Abych zjistila, zda se rozptyly dat pro kuličku A a B liší, použiji F-test, který slouží k porovnávání rozptylů.

$$H_0: \sigma_A^2 = \sigma_B^2$$

$$H_A: \sigma_A^2 \neq \sigma_B^2$$

Volím hladinu významnosti $\alpha=0,050$.



Obrázek 57 F-test – porovnání rozptylů kuliček A a B

Z grafu (Obrázek 57) vidím, že $p=0,062$ – je tedy větší než hodnota α . To znamená, že nezamítám nulovou hypotézu a s 95% pravděpodobností tvrdím, že rozptyly hodnot pro kuličku A a pro kuličku B se statisticky významně neliší na základě 100 provedených měření.

8.4.2 Porovnání rovnosti průměrů

Provedu t-test pro porovnání rovnosti aritmetických průměrů kuličky A a B za předpokladu rovnosti rozptylů – dokázáno v kapitole 8.4.1 pomocí F-testu.

$$H_0: \mu_A = \mu_B$$

$$H_a: \mu_A \neq \mu_B$$

S hladinou významnosti α ($\alpha=0,050$)

```
Two-sample T for Kulicka_A_matna vs Kulicka_B_matna

      N      Mean    StDev  SE Mean
Kulicka_A_matna  100  8,98821  0,00810  0,00081
Kulicka_B_matna  100  8,99130  0,00671  0,00067

Difference =  $\mu$  (Kulicka_A_matna) -  $\mu$  (Kulicka_B_matna)
Estimate for difference:  -0,00309
95% CI for difference:  (-0,00516; -0,00102)
T-Test of difference = 0 (vs  $\neq$ ): T-Value = -2,94  P-Value = 0,004  DF = 198
Both use Pooled StDev = 0,0074
```

Obrázek 58 T-test – porovnání aritmetických průměrů kuliček A a B

Z obrázku výše (Obrázek 58) vidím, že hodnota $p=0,004$ – což je menší než hodnota α ($\alpha=0,050$) – zamítám tedy nulovou hypotézu ve prospěch hypotézy alternativní a tvrdím: na základě 100 naměřených hodnot s možností 5% chyby se aritmetický průměr hodnot pro kuličku A liší od aritmetického průměru hodnot pro kuličku B.

8.5 Závěr

Pomocí statistických metod jsem dokázala, že hodnoty aritmetických průměrů pro kuličku A a B si nejsou rovny. Kuličky je nutno od sebe vhodně rozlišit, aby nedošlo k jejich záměně.

Při použití kuličky A pro kalibraci je třeba ji brát jako etalon o průměru 8,98 s průměrnou odchylkou 0,008, což bylo dokázáno na základě 100 naměřených hodnot.

Pokud bude pro kalibraci použita kulička B, jedná se o etalon o průměru 8,99 s průměrnou odchylkou 0,006, to bylo dokázáno na základě 100 měření.

9 NÁVRH KALIBRAČNÍHO POSTUPU

Jedním z cílů této diplomové práce je vytvořit návrh kalibračního postupu pro přístroj CAM 200.

9.1 Kalibrační postup

Tento kalibrační postup je určený pro přístroj CAM 200. Postup je určený jak pro první kalibraci přístroje, tak i pro následnou rekalibraci.

Kalibraci přístroje CAM 200 mohou provádět osoby s potřebnými teoretickými a praktickými dovednostmi, kteří jsou k takovýmto úkonům proškoleni.

A PROSTŘEDKY A POMŮCKY KE KALIBRACI:

- přístroj CAM 200
- stolní počítač se softwarem CAM 200
- kalibrační kulička o přesně daném průměru
- teploměr
- vodováha
- pinzeta

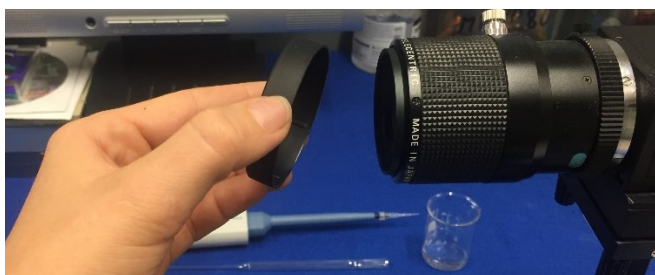
B PODMÍNKY PRO KALIBRACI

- teplota místnosti na teplotu $20 \pm 1^\circ\text{C}$
- pomůcky a potřebné prostředky umístit do měřicí místnosti a nechat temperovat minimálně 24 hodin před kalibrací
- relativní vlhkost vzduchu maximálně 70 %
- uzavřená okna, do místnosti nesmí pronikat sluneční paprsky

C POSTUP KALIBRACE

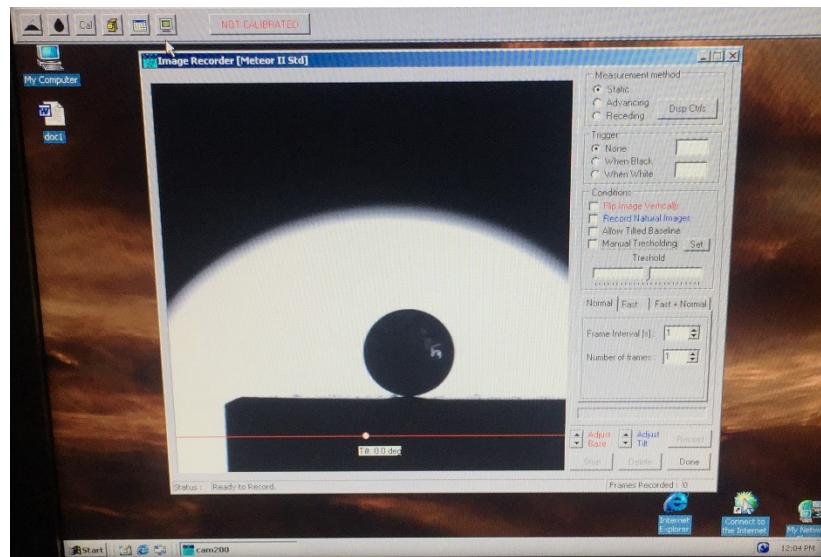
Postup samotné kalibrace je následující:

- a) Spustíme program CAM 200.
- b) Na přístroji sundáme z kamery krytku (Obrázek 59).



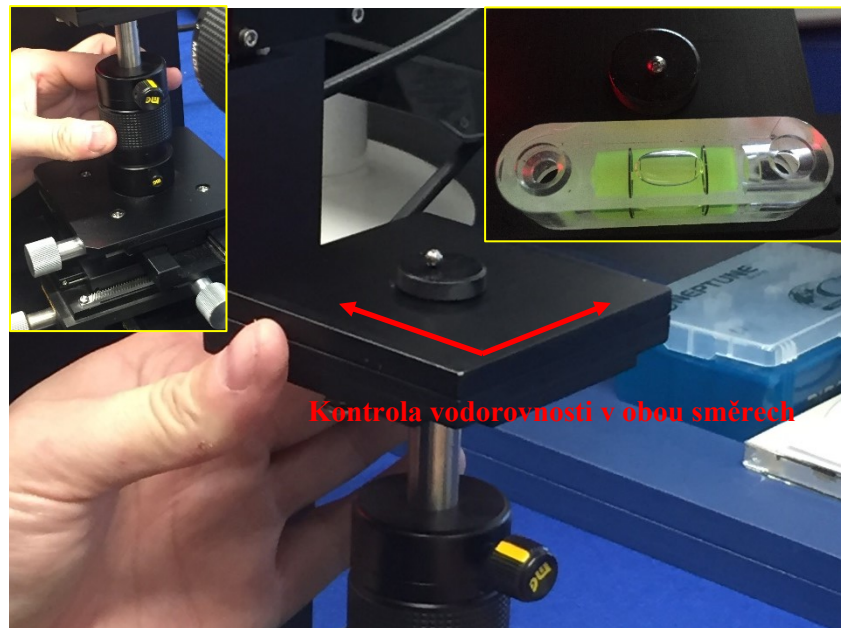
Obrázek 59 Sundání krytky

- c) Pomocí šroubu pro nastavení výšky podstavce umístíme kuličky doprostřed obrazu kamery (Obrázek 60).



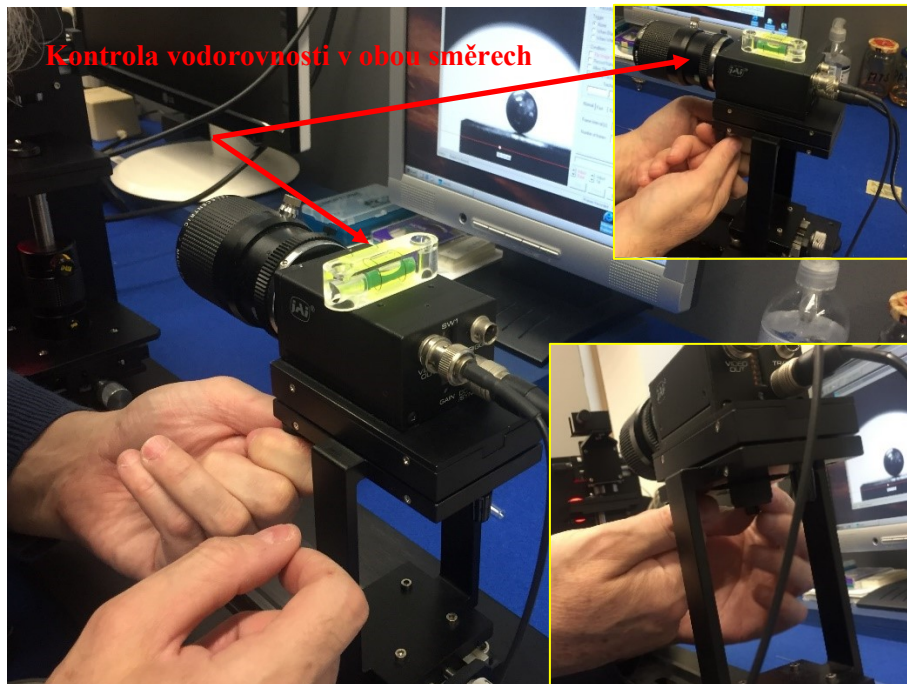
Obrázek 60 Obraz kamery

- d) Na měřící podstavec umístíme kalibrační kuličku, pro manipulaci s kuličkou je potřeba použít pinzetu, pomocí šroubů uvedeme podstavec do vodorovné polohy, pro kontrolu použijeme vodováhu.



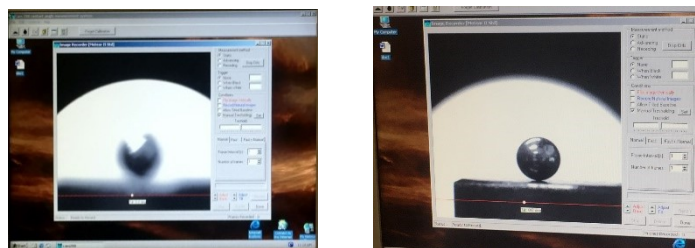
Obrázek 61 Nastavení podstavce

- e) Do vodorovné polohy je nutno uvést i kameru, provádíme opět pomocí šroubů.



Obrázek 62 Nastavení kamery

- f) Jestliže máme rozostřený obraz (Obrázek 63a) pomocí šroubů upravíme vzdálenost kamery a podstavce do takové polohy, dokud nemáme obraz dobře zaostřen (Obrázek 63b).

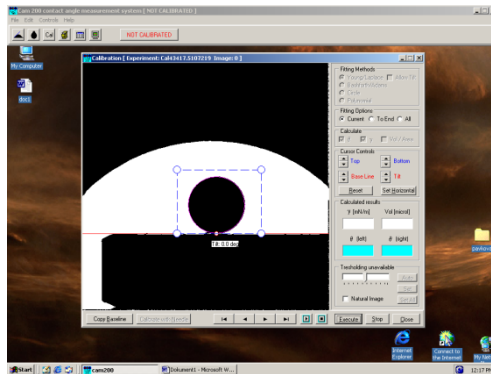


Obrázek 63 a) rozostřený obraz b) zaostřený obraz



Obrázek 64 Úprava vzdálenosti kamery od podstavce

- g) Po zaostření obrazu v menu programu zvolíme „New calibration“, pomocí kurzoru posuneme červenou přímkou do styčného bodu kalibrační kuličky s podstavcem. Velikost a umístění modrého čtverce zvolíme tak, aby jeho spodní strana byla zároveň s červenou přímkou a obraz kalibrační kuličky byl uvnitř tohoto čtverce. Pokud máme obraz takto nastavený, tlačítkem „Done“ potvrdíme a zafixujeme obraz.



Obrázek 65 Nastavení obrazu

- h) Po zmáčknutí tlačítka „Execute“ nám vyskočí tabulka s dotazem na průměr kalibrační kuličky. Zadáme známý průměr kalibrační kuličky.
- i) Po zmáčknutí tlačítka „Enter“ se na obrazu objeví fialová kružnice, která má přesně kopírovat tvar obrazu kalibrační kuličky. Pokud se tak stane, potvrdíme kalibraci a tímto je kalibrace dokončena.
- j) Pokud se nám objeví obrazovka s chybovým hlášením, kalibrace neproběhla správně a je nutné celý proces opakovat.
- k) Po dokončení kalibrace je přístroj připravený pro měření.

D INTERVAL KALIBRACE

Kalibraci přístroje CAM 200 je doporučeno provádět v intervalu 1x za 6 měsíců dle návodu. Přeměření kalibračních kuliček je doporučeno provádět v intervalu 1x za 12 měsíců.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce byl návrh kalibračního postupu pro jednoúčelové měřidlo. Vybrán byl přístroj CAM 200 pomocí kterého lze měřit převážně kontaktní úhel.

V teoretické části je popsána kalibrace jako taková, její důvody a důležitost v dnešním světě. Následuje popis vhodných statistických metod, které byly následně použity pro hodnocení dat v části praktické. V druhé polovině části teoretické je popsána problematika povrchového napětí a kontaktního úhlu, jeho způsoby měření.

V části praktické je bližší seznámení s přístrojem CAM 200. Výrobce dodal k přístroji kalibrační kuličku, u které ale nebyl ověřený přesný průměr. Proto jsem tuto kuličku změřila 100x pomocí výškoměru a data následně vyhodnotila. Dvě naměřené hodnoty musely být ze souboru vyřazeny – jednalo se o hrubé chyby. Na základě 98 měření jsem dokázala, že průměr kalibrační kuličky je $d=3,97$ mm.

Dále jsem navrhla jiné možné kalibrační přípravky, z nichž nejhodnější byly zkalené ložiskové kuličky. Jelikož se kalením jejich průměr a tvar mohl změnit, bylo nutné je opět proměřit a dokázat jejich průměr. Každou kuličku (kulička A, kulička B) jsem změřila opět 100x pomocí digitálního výškoměru. Pomocí použití vhodných statistických metod jsem dokázala, že naměřené hodnoty obou kuliček pocházejí z normálního rozdělení. Díky provedení F-testu jsem dokázala, že se jejich rozptyly s 95% pravděpodobností neliší. Na základě výsledků tohoto testu o rovnosti rozptylů jsem provedla t-test pro porovnání jejich průměrů. Tento test ukázal, že se jejich průměry nerovnají a nelze je tudíž zaměnit.

Při použití kuličky A pro kalibraci je třeba ji brát jako etalon o průměru 8,98 mm s průměrnou odchylkou 0,008 mm. V případě použití kuličky B se jedná o etalon o průměru 8,99 mm s průměrnou odchylkou 0,006 mm. Vše bylo dokázáno na základě 100 naměřených hodnot.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HOWARTH, Preben a Fiona REDGRAVE. *Keiryōgaku hayawakari: Metrology in short*. Dai 3-han. Tokyo: IA Japan, 2009.]
- [2] Metrologie v praxi. [Http://www.metrie.cz](http://www.metrie.cz) [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <http://www.metrie.cz/metrologie/cz>.
- [3] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004. ISBN 978-80-248-0671-6.
- [4] CHUDÝ, Vladimír. *Meranie technických veličín*. V Bratislave: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 1999. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 80-227-1275-2.
- [5] ČECH, Jaroslav, PERNIKAŘ, Jiří, PODANY, Kamil *Strojirenska metrologie*. 4. vyd. Brno: CERM, 2005. 175 s. ISBN 80-214-3070-2.
- [6] CYHELSKÝ, Lubomír. *Základy statistiky*. Praha: Vysoká škola finanční a správní o.p.s., 2009. ISBN 978-80-7408-013-5.
- [7] Základy statistiky: pro studující veterinární medicíny a farmacie. BEDÁŇOVÁ, I. a V. VEČEREK. [Http://cit.vfu.cz](http://cit.vfu.cz) [online]. Brno, 2007 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Skripta.pdf>.
- [8] HENDL, Jan. *Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat*. Páté, rozšířené vydání. Praha: Portál, 2015. ISBN 978-80-262-0981-2.
- [9] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Kompendium statistického zpracování dat*. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2196-8.
- [10] BEDÁŇOVÁ, I. a VEČEREK, V. Základy statistiky [online]. [cit. 2019-04-12]. VFU Brno, 2007. 130 s. Dostupné z WWW: <<http://cit.vfu.cz/stat/FVL/Skripta.pdf>>.
- [11] PATA, Vladimír. Statistické zpracování dat I-VI.: Studijní materiály a podklady. Zlín.
- [12] DRÁBKOVÁ, Sylva. *Mechanika tekutin* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008] [cit. 2019-05-05]. ISBN 978-80-248-1508-4.
- [13] Laboratoř chemie a chemické technologie : Ústav organické chemie. In Stanovení povrchové smáčivosti tenkých vrstev a odbourávání povrchově vázaných nečistot [online]. [s.l.] : [s.n.], 2007 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.vscht.cz/kot/resources/studijni-materialy/labchcht-001/n150013b6.pdf>>.
- [14] SHAW, Duncan J. *Introduction to colloid and surface chemistry*. 4th ed. Boston: Butterworth-Heinemann, c1992. ISBN 07-506-1182-0.
- [15] MITTAL, K. L. *Contact angle, wettability and adhesion*. Boston: VSP, 2006. ISBN isbn90-676-4436-6.
- [16] *Mobilní fázová rozhraní* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-579-X/pdf/058.pdf

[17] HINDLS, Richard. *Statistika pro ekonomy*. 8. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-43-6.

[18] Zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAM	Contact Angle Meter
EDA	Exploratorní analýza dat
σ^2	rozptyl
α	hladina významnosti
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
H_0	nulová hypotéza
H_A	alternativní hypotéza
Δ	absolutní chyba měření
x_0	konvenčně pravá hodnota
Δ_r	relativní chyba měření
u_A	nejistota typu A
$s(\bar{x})$	směrodatná odchylka rozptylu aritmetických průměrů
n	počet měření
x_i	naměřené hodnoty
u_B	nejistota typu B
u_C	kombinovaná nejistota
k_U	koeficient rozšíření
T_L	délka konců
s	směrodatná odchylka
$1-\beta$	síla testu
max	maximum
μ	střední hodnota
θ	úhel smáčení
F	testovací kritérium F-testu
$F_{krit.}$	kritická hodnota F-testu

T testovací kritérium t-testu

$T_{\text{krit.}}$ kritická hodnota t-testu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Ukázka grafu časové řady	20
Obrázek 2 Ukázka krabicového (boxplot) grafu.....	21
Obrázek 3 Ukázka testu normality.....	21
Obrázek 4 Ukázka Grubbsova testu.....	22
Obrázek 5 Chyba I. a II.druhu	24
Obrázek 6 Grafické znázornění chyb I. a II.druhu	24
Obrázek 7 Smáčivost kapalin: A – málo smáčivá, B – středně smáčivá, C – dobře smáčivá ^[13]	27
Obrázek 8 Kontaktní úhel θ ^[13]	28
Obrázek 9 Metoda měření úhlu pomocí nakloněné desky ^[14]	28
Obrázek 10 a) přisedlá kapka na desce b) přilnavající bublina ^[15]	29
Obrázek 11 Snímání profilu kapky digitálním zařízením ^[15]	29
Obrázek 12 Wilhelmyho metoda vyvažovací destičky ^[16]	30
Obrázek 13 Pomocné schéma kulové kapky	30
Obrázek 14 Přístroj CAM 200	32
Obrázek 15 Popis jednotlivých částí.....	33
Obrázek 16 Kalibrace – nastavení	35
Obrázek 17 Nastavení velikost čtverce.....	35
Obrázek 18 Tabulka pro zadání velikost kalibrační kuličky	36
Obrázek 19 Proložení obrazu kuličky kružnicí.....	36
Obrázek 20 Soustružené polotovary	37
Obrázek 21 Zoller Smile 400.....	38
Obrázek 22 Měření přístrojem Zoller	38
Obrázek 23 Proložení obrazu kružnicí - Zoller	39
Obrázek 24 Obraz přípravku snímáný kamerou	39
Obrázek 25 Pokus kalibrace pomocí přípravku č.1	40
Obrázek 26 Kuličky před úpravou.....	41
Obrázek 27 Zahřátí plynovým hořákem a následné chlazení na vzduchu.....	41
Obrázek 28 Kalibr pro měření drsnosti Taylor Hobson	42
Obrázek 29 Kulička vlepená do podstavce.....	42
Obrázek 30 Měření na stroji Zoller.....	43
Obrázek 31 Snímek přípravku před a po uložení obrazu.....	43

Obrázek 32 Výškoměr Mitutoyo	44
Obrázek 33 Detail měření, ovládací panel přístroje	44
Obrázek 34 a) Výškoměr Mitutoyo, b) detail měření	45
Obrázek 35 Graf časové řady – kalibrační kulička	46
Obrázek 36 Boxplot – kalibrační kulička	47
Obrázek 37 Grubbsův test pro měření č.1	48
Obrázek 38 Grubbsův test pro měření č. 22	48
Obrázek 39 Chyba při měření	49
Obrázek 40 Grubbsův test pro maximum	49
Obrázek 41 Graf časové řady po odstranění hrubých chyb	50
Obrázek 42 Test normality – kalibrační kulička	51
Obrázek 43 Souhrn grafických analýz – kalibrační kulička	51
Obrázek 44 Graf časové řady – kulička A	52
Obrázek 45 Grubbsův test pro minimum	53
Obrázek 46 Grubbsův test pro maximum	53
Obrázek 47 Test normality – kulička A	54
Obrázek 48 Histogram – kulička A	55
Obrázek 49 Souhrn grafických analýz – kulička A	56
Obrázek 50 Graf časové řady – kulička B	56
Obrázek 51 Grubbsův test pro minimum	57
Obrázek 52 Grubbsův test pro maximum	58
Obrázek 53 Test normality – kulička B	58
Obrázek 54 Histogram – kulička B	59
Obrázek 55 Souhrn grafických analýz – kulička B	60
Obrázek 56 Porovnání Gaussových křivek kuliček A a B	60
Obrázek 57 F-test – porovnání rozptylů kuliček A a B	61
Obrázek 58 T-test – porovnání aritmetických průměrů kuliček A a B	62
Obrázek 59 Sundání krytky	63
Obrázek 60 Obraz kamery	64
Obrázek 61 Nastavení podstavce	64
Obrázek 62 Nastavení kamery	65
Obrázek 63 a) rozostřený obraz b) zaostřený obraz	65
Obrázek 64 Úprava vzdálenosti kamery od podstavce	65
Obrázek 65 Nastavení obrazu	66

SEZNAM TABULEK

Tabulka naměřených hodnot.....	PI(76)
--------------------------------	--------

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA PI: TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT	76
---	----

PŘÍLOHA P I: TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT

Pořadí měření	Průměr kalibrační kuličky [mm]	Průměr kuličky A [mm]	Průměr kuličky B [mm]
1	3,796	8,993	9,004
2	3,984	8,993	8,995
3	3,965	8,989	8,998
4	3,965	8,992	9,002
5	3,972	8,994	8,996
6	3,984	8,998	8,996
7	3,968	8,997	8,996
8	3,973	9,005	9,000
9	3,983	9,004	8,999
10	3,979	9,000	9,000
11	3,968	8,999	8,991
12	3,986	8,997	8,990
13	3,977	8,989	8,990
14	3,978	8,980	8,990
15	3,970	8,991	8,987
16	3,968	8,987	8,990
17	3,985	8,990	8,992
18	3,973	8,995	9,003
19	3,963	8,994	9,002
20	3,973	8,997	8,999
21	3,968	8,989	8,986
22	3,910	8,997	8,998
23	3,973	8,997	8,990
24	3,976	8,994	8,993
25	3,965	8,976	8,984
26	3,974	8,983	9,000
27	3,966	8,985	8,984
28	3,971	8,982	8,991
29	3,976	8,996	8,995
30	3,971	8,992	8,992
31	3,983	8,993	8,991
32	3,974	8,993	8,991
33	3,969	8,988	8,993
34	3,981	8,987	8,982
35	3,974	8,988	8,986
36	3,979	8,996	8,987
37	3,979	8,972	8,981
38	3,969	8,974	8,973
39	3,976	8,978	8,972
40	3,971	8,982	8,974
41	3,978	8,981	8,996
42	3,982	8,982	8,987

43	3,988	8,983	8,991
44	3,987	8,975	8,985
45	3,985	8,997	8,985
46	3,980	8,996	8,994
47	3,969	8,995	8,995
48	3,976	8,995	8,996
49	3,986	8,995	8,991
50	3,983	8,985	9,000
51	3,978	8,984	8,994
52	3,980	8,989	8,983
53	3,974	8,989	8,975
54	3,982	9,000	8,982
55	3,962	8,996	8,990
56	3,980	8,991	8,981
57	3,976	8,994	8,985
58	3,972	8,986	8,993
59	3,972	8,992	8,993
60	3,984	8,991	8,988
61	3,982	8,990	8,995
62	3,963	8,986	8,994
63	3,966	8,984	8,989
64	3,964	8,990	8,986
65	3,966	8,987	8,987
66	3,964	8,980	8,987
67	3,967	8,977	8,988
68	3,974	8,991	8,991
69	3,980	8,981	8,986
70	3,967	8,980	8,979
71	3,964	8,979	8,994
72	3,974	8,976	8,989
73	3,978	8,981	8,988
74	3,967	8,977	8,990
75	3,962	8,995	8,991
76	3,965	8,988	8,988
77	3,961	8,989	8,990
78	3,975	8,985	8,987
79	3,969	8,986	8,983
80	3,975	8,989	8,989
81	3,970	8,985	8,985
82	3,975	8,984	8,990
83	3,972	8,982	8,997
84	3,970	8,971	8,996
85	3,975	8,965	8,992
86	3,977	8,970	8,993
87	3,975	8,999	8,992
88	3,973	8,994	8,997

89	3,983	8,991	9,001
90	3,970	8,988	8,994
91	3,967	8,987	8,999
92	3,979	8,979	8,995
93	3,973	8,984	8,989
94	3,977	8,980	9,002
95	3,977	8,971	8,996
96	3,981	8,988	8,999
97	3,963	9,001	9,000
98	3,977	8,995	8,999
99	3,985	8,999	8,996
100	3,981	8,995	9,000