

**České vysoké učení technické v Praze**

**Fakulta strojní**



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

**Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**

**Bakalářská práce**

**Analýza systému měření – volba  
měřidla**

Martin Šimeček

2023

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šimeček** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **492690**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Analýza systému měření - volba měřidla**

Název bakalářské práce anglicky:

**Measurement system analysis - choice of gauge**

Pokyny pro vypracování:

1. Podstata analýzy systému měření.
2. Návrh experimentu.
3. Realizace experimentu.
4. Vyhodnocení experimentu.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. BcA. Jan Podaný, Ph.D. ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **03.04.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

Ing. BcA. Jan Podaný, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Libor Beránek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci Analýza systému měření – volba měřidla vypracoval sám pod vedením svého vedoucího Ing. BcA. Jana Podaného, Ph.D. a literatura, kterou jsem použil k sepsání této práce, je uvedena v seznamu použité literatury.

V Praze dne:.....

Podpis:.....

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu Ing. BcA. Janu Podanému, Ph.D. za cenné rady, připomínky, vstřícné jednání a trpělivost.

# **Abstrakt**

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku analýzy systému měření. Popisuje historii i princip analýzy systému měření. Zaměřuje se také na měřidla a metrologický systém. S tím souvisí i nejistoty měření a chyby měření, které práce také zmiňuje. V neposlední řadě pojednává o experimentu, jeho návrhu a vyhodnocení.

# **Klíčová slova**

Analýza systému měření, GRR, MSA, variabilita, měřidlo, opakovatelnost, reprodukovatelnost

## **Abstract**

The bachelor thesis is focused on the issue of measurement system analysis. It describes the history and principle of the measurement system analysis. It also focuses on gauges and the metrology system. This is also related to measurement uncertainties and measurement errors, which the work also mentions. And last but not least, it discusses the experiment, its design and evaluation.

## **Keywords**

Measurement system analysis, GRR, MSA, variability, repeatability, reproducibility

# Obsah

Úvod.....	9
1 MSA – ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ .....	10
1.1 Historie MSA .....	10
1.2 Popis a princip.....	11
1.3 Stabilita .....	11
1.4 Strannost.....	12
1.5 Linearita .....	13
1.6 Uniformita .....	14
1.7 Opakovatelnost.....	14
1.8 Reprodukovatelnost.....	14
1.9 Metody studií opakovatelnosti a reprodukovatelnosti .....	15
1.9.1 Metoda založená na rozpětí .....	15
2 Metrologie.....	18
2.1 Národní metrologický systém .....	18
3 Měřidla.....	20
3.1 Etalony .....	20
3.2 Pracovní měřidla stanovená .....	21
3.3 Pracovní měřidla nestanovená.....	21
3.4 Certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály.....	21
3.5 Nejistota měření .....	21
3.6 Abbeho princip.....	22
3.7 Chyby .....	22
3.7.1 Rozdělení dle charakteru .....	22
3.8 Vlivy na přesnost měření .....	23
3.9 Kalibrace a ověření .....	24
3.10 Ergonomie při měření.....	24

4	Experiment.....	26
4.1	Měřidla experimentu .....	26
4.1.1	Posuvné měřítko .....	26
4.1.2	Mikrometr .....	27
4.1.3	Passametr .....	28
4.1.4	Koncové měrky.....	28
4.2	Návrh experimentu.....	29
4.3	Průběh experimentu .....	30
4.4	Numerické výpočty pro analýzu .....	31
4.4.1	Variační rozpětí.....	31
4.4.2	Průměrné variační rozpětí.....	32
4.4.3	GRR .....	33
4.4.4	Směrodatná odchylka.....	34
4.4.5	%GRR.....	35
4.5	Vyhodnocení experimentu .....	36
5	Grafické výstupy.....	37
	Závěr .....	40
	Seznam zkratk .....	42
	Seznam obrázků.....	43
	Seznam tabulek.....	44
	Seznam rovnic.....	45
	Použitá literatura .....	46



# Úvod

Dnešní moderní doba na nás klade čím dál tím větší požadavky – na produktivitu práce, na naše pracovní nasazení a s tím jde ruku v ruce kvalita výroby. I proto byl vymyšlen nástroj jako analýza systému měření, aby se těchto požadavků snáze dosahovalo. Dříve takové požadavky byly kladeny také, ale nevědělo se, jak je správně kontrolovat, jak brát v potaz i ostatní vlivy při měření. I proto byl před více než třiceti lety vymyšlen nástroj, který zvládal brát v úvahu nejen samotné měřidlo, ale i ostatní vlivy měření. I z tohoto významného milníku můžeme vidět, jak je pro náš svět metrologie neobyčejně důležitá věda a je potřeba jí věnovat patřičnou pozornost.

Cílem této bakalářské práce je čtenáře seznámit s analýzou systému měření a jejím využitím se zaměřením na volbu měřidla. V bakalářské práci rozeberu a vysvětlím, co to vlastně analýza systému měření je, zaměřím se i na její vznik a historii. Jelikož moje bakalářská práce popisuje u analýzy systému měření volbu měřidla, tak se také zaměřím na měřidla, jejich rozdělení a také s tím spojené chyby měření. Samozřejmě po provedení analýzy je potřeba ji vyhodnotit. Zmínil jsem tři nejčastěji používané metody vyhodnocení a tu, kterou budu používat ve své bakalářské práci, jsem rozebral podrobně. Krátce se také zmíním o ergonomii při měření.

Nakonec budu provádět samotnou analýzu systému měření. Zaměřím se na návrh experimentu, kde zvolím potřebná měřidla, operátory, metodu vyhodnocení a promyslím strategii experimentu. Následně experiment provedu, získám tím naměřená data a ta pomocí vybrané metody vyhodnotím. Analýza systému měření tedy bude provedena pro každé měřidlo.

# 1 MSA – ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ

## 1.1 Historie MSA

Analýza systému měření (MSA) je používána již více než třicet let. Počátky svého vývoje i postupné vylepšování zaznamenala především v automobilovém průmyslu. V roce 1989 zveřejnila společnost Ford dokument, v němž prezentovala dvě dodnes stále používané metody známé jako Type – 1 a Type – 2. Hned o rok později společnost AIAG vydala první příručku, která tuto metodu standardizovala. [1]

V roce 1994 byla automobilkami Ford, Chrysler a General Motors vytvořena norma QS9000. Jedná se o kvalitativní normu zejména pro americký automobilový průmysl. Jsou v ní definovány standardy, pod které společnosti nesmějí zajít. Normu QS9000 musí splňovat navíc i dodavatelé veškerých komponent pro tyto společnosti. Evropský automobilový průmysl taktéž využívá kvalitativní normu, a to německou normu VDA 6.1. Poprvé byla zveřejněna v roce 2003 pro německou automobilku Volkswagen. [2]

O rok později vydává společnost AIAG průvodce MSA, což je referenční příručka k normě QS9000. V té době to byl velký pokrok. Zhruba kolem roku 1999 již AIAG nezvládlo standardizovat nové příručky. Proto se od té doby některé podniky rozhodly využít nového manuálu pod záštitou Q-DAS®, ale vývoj referenční příručky od AIAG přesto nadále pokračoval. Po vývoji v roce 2002 vydala společnost AIAG třetí vydání příručky MSA. Ta ovšem měla stále mnoho nedostatků, nebrala v potaz vliv prostředí a vliv zkušební části v konečném vyhodnocení měření. [1]

V roce 2010 bylo zveřejněno čtvrté vydání příručky MSA od AIAG s malými, ale dosti významnými změnami. V téže době prošla změnami také příručka od VDA, a to byl pro některé firmy problém, neboť nebyly schopné sjednotit příručky od AIAG a VDA. [1]

V roce 2012 společnost Ford přichází s příručkou „Gauging Application Specification“. Tato příručka nebyla tak ambiciózní, ale jako první přišla s postupy, které počítají s vlivem teploty. Přidaly se také společnosti BMW a Daimler, které vydaly směrnice v roce 2013. Obě vydané směrnice se odkazovaly na příručku VDA. Ve stejném roce byl vydán dokument VDI/VDE 2600, který se věnuje validaci procesu. [1]

## 1.2 Popis a princip

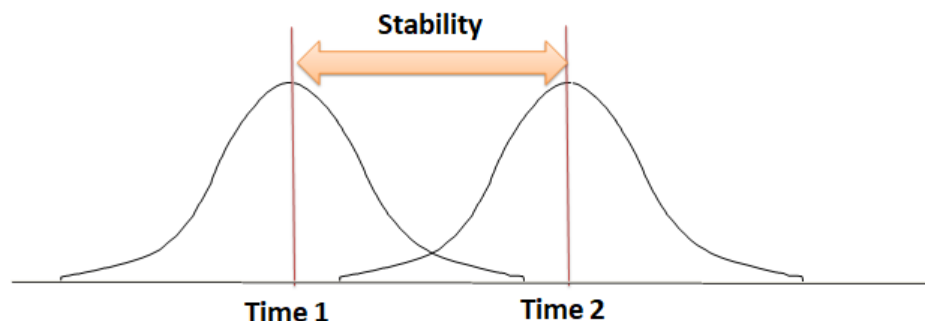
Analýza systému měření je soubor operací pro vyhodnocení zvoleného systému měření. Jak již bylo řečeno, své počátky, vývoj i největší využití má v automobilovém průmyslu. Ale metoda je natolik univerzální, že ji začala využívat i další odvětví průmyslu. Metoda má svoji velkou výhodu v tom, že předpokládá, že měřidlo není jediný činitel, který ovlivňuje výsledek měření. Bere v úvahu i ostatní vlivy. [3]

Cílem této metody je zjistit vliv různých okolností na variabilitu výsledků měření. Základní kroky MSA:

- „Uřčit způsobilost systému měření
- Uřčit zdroje variability systému měření
- Popsat zdroje variability statistickými a metrologickými veličinami
- Přinést informace o systému měření“ [3]

## 1.3 Stabilita

Stabilita je schopnost měřicího systému generovat v průběhu měření stejné součásti stále stejné hodnoty. Zjištění stability se provádí jako první, protože jsou na něm závislé další parametry. Ke zjištění stability potřebujeme znát referenční hodnotu. V kontrolovaném prostředí vzorek desetkrát změříme. Během dvaceti období (dnů) v pravidelných intervalech změříme vzorek třikrát až pětkrát. Během tohoto měření zachycujeme změny v hodnotách. Po tomto procesu zjištěná data zaneseme do dvou regulačních diagramů  $\bar{x}$  a R pro průměr a variační rozpětí, jak můžeme vidět na obrázku. [4] [5]



Obrázek 1 Graf stability [5]

## 1.4 Strannost

Strannost je rozdíl mezi pozorovaným aritmetickým průměrem a stanovenou referenční hodnotou. Pro další postup musíme nejprve zjistit, zda je strannost nulová, nebo nenulová (statisticky nevýznamná, nebo statisticky významná). Toto zjišťování začneme tím, že zvolíme vzorky o známých referenčních hodnotách (etalony), které by měly odpovídat středu výrobního rozpětí. Po zvolení vzorků je potřeba každý vzorek nejméně desetkrát přeměřit. Z těchto hodnot se následně provede výpočet bodového odhadu strannosti dle následujícího vzorce: [4] [5]

*Rovnice 1 Bodový odhad strannosti [4]*

$$\hat{B}_i = \bar{x} - x_r$$

$\bar{x}$  – aritmetický průměr měřených vzorků

$x_r$  – vybraná referenční hodnota

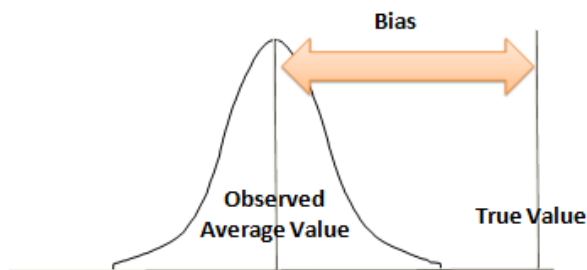
Vypočtený bodový odhad strannosti nedokáže posoudit, jestli je hodnota statisticky významná, či nikoli. Nutností dalšího postupu je ověření vyhovující opakovatelnosti. Pomocí výběrové směrodatné odchylky měření stejného znaku zjistíme podíl opakovatelnosti z celkové variability pomocí tohoto vzorce: [4]

*Rovnice 2 Procentuální podíl opakovatelnosti z celkové variability [4]*

$$\%EV = \frac{s}{TV} \cdot 100 = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}}{TV} \cdot 100$$

$s$  – výběrová směrodatná odchylka

$TV$  – celková variabilita odhadovaná pomocí odchylky výrobního procesu

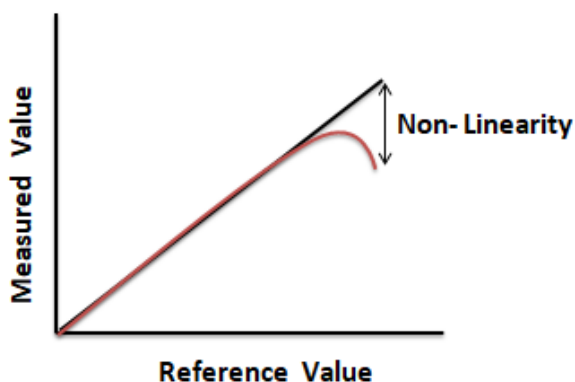


Obrázek 2 Graf strannosti [5]

V grafu výraz "True Value" představuje referenční hodnotu, zatímco výraz "Observed Average Value" představuje aritmetický průměr měřených vzorků. Slovo "Bias" je pak strannost.

## 1.5 Linearita

Linearitu můžeme vyjádřit jako rozdíl mezi hodnotami strannosti v provozním prostoru systému měření. Ke zjištění linearity by mělo být rovnoměrně rozloženo pět vzorků se známou referenční hodnotou. Následně je potřeba každý vzorek alespoň desetkrát přeměřit a z naměřených hodnot a referenční hodnoty spočítat bodový odhad strannosti. Když je toto hotové, sestrojí se graf závislosti hodnot odchylek na referenční hodnotě. Sestrojený graf lze proložit přímkou a poté vyhodnotit, jak významný je každý regresní koeficient. Linearita je vyhovující, jestliže nejsou odhady regresních koeficientů statisticky významné. [4] [5]



Obrázek 3 Graf linearity [5]

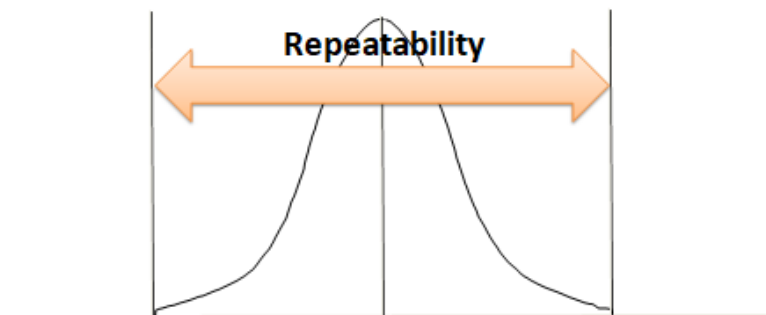
Na grafu je patrné, že pokud odhady regresních koeficientů jsou statisticky významné, jedná se o nelinearitu. Výraz "Measured Value" představuje měřenou hodnotu. Výraz "Reference Value" představuje referenční hodnotu. "Non - Linearity" je poté nelinearita.

## 1.6 Uniformita

Uniformita je změna opakovatelnosti v rozsahu systému měření. Uniformita se vyhodnocuje spolu s linearitou nebo jako součást analýzy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. [4]

## 1.7 Opakovatelnost

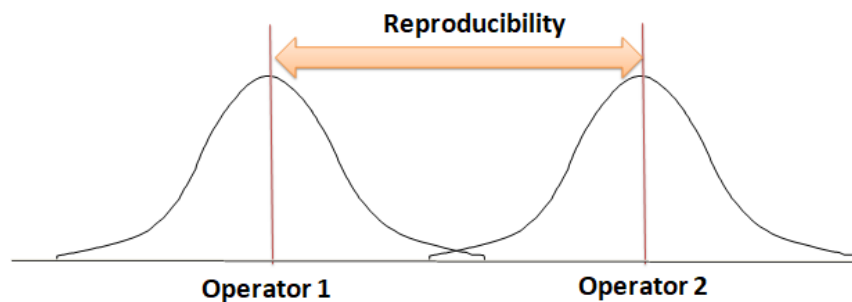
Opakovatelnost lze vysvětlit tím, jak velké rozdíly pozorujeme mezi měřeními, které byly prováděny na stejném vzorku, stejnou osobou a stejným měřidlem. [5]



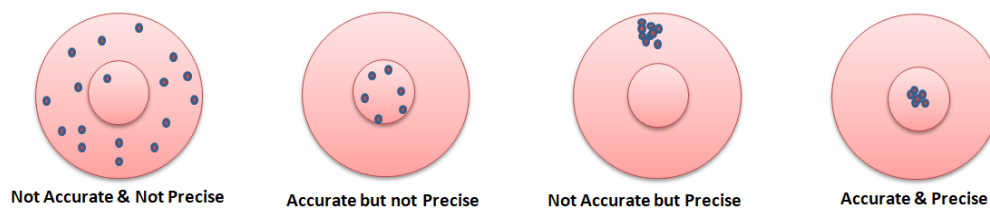
Obrázek 4 Graf opakovatelnosti [5]

## 1.8 Reprodukovatelnost

Reprodukovatelnost se odlišuje od opakovatelnosti tím, že se zkoumá, jak velké rozdíly pozorujeme mezi měřeními, které jsou prováděny na stejném vzorku, stejným měřidlem, ale jinou osobou. Může se však jednat i o situaci, kdy operátor měří stejný vzorek, ale používá různá měřidla. [5]



Obrázek 5 Graf reprodukovatelnosti [5]



Obrázek 6 Varianty přesného a nepřesného měření [5]

Na prvním obrázku můžeme vidět měření nepřesné a nesprávné, na druhém měření nepřesné, ale správné. Na třetím obrázku vidíme měření přesné, ale nesprávné a na posledním přesné a správné.

## 1.9 Metody studií opakovatelnosti a reprodukovatelnosti

Pro vyhodnocení ukazatelů opakovatelnosti a reprodukovatelnosti se v praxi nejčastěji používají tyto metody:

- a) metoda založená na rozpětí
- b) metoda průměru a rozpětí
- c) metoda ANOVA [4]

Pro tuto bakalářskou práci jsem zvolil metodu založenou na rozpětí, proto ji popíšu podrobněji.

### 1.9.1 Metoda založená na rozpětí

Z těchto tří zmíněných metod se jedná o metodu časově nejméně náročnou, tudíž metoda není vhodná pro detailní a do hloubky jdoucí analýzy, ale výborně poslouží pro rychlé ověření. Metoda neumožňuje samostatně vyhodnotit opakovatelnost a reprodukovatelnost. [4]

Metoda je prováděna na pěti vzorcích, dvěma operátory, přičemž každý operátor měří každý vzorek pouze jednou. [4]

Po změření všech potřebných hodnot se nejprve vypočítá variační rozpětí  $R_i$ . To je potřeba spočítat pro každý kus a každé měřidlo zvlášť.

Rovnice 3 Variační rozpětí [4]

$$R_i = X_{imax} - X_{imin}$$

$i$  - číslo měřeného kusu [4] [6]

Když máme takto spočtené variační rozpětí, následuje výpočet průměrného variačního rozpětí  $\bar{R}$  pro jednotlivá měřidla. Výpočet provedeme dle vzorce:

Rovnice 4 Průměrné variační rozpětí [6]

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$$

$n$  – počet kusů pro jednotlivá měřidla [4] [6]

Když máme spočítané průměrné variační rozpětí, dle následujícího vztahu vypočteme kombinovanou opakovatelnost a reprodukovatelnost GRR.

Rovnice 5 GRR [4]

$$GRR = \frac{\bar{R}}{d_2^*} [-],$$

$d_2^*$  - koeficient závislý na počtu měření operátorů a počtu měřených dílů [4]

Nakonec se stanoví procentuální hodnota %GRR. Kritérium přijatelnosti systému je pak procentuální podíl GRR z celkové variability. Ta se zpravidla odhaduje pomocí směrodatné odchylky procesu. Směrodatnou odchylku procesu spočteme dle vzorce:

Rovnice 6 Směrodatná odchylka [4]

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

$N$  – počet měření

$x_i$  – naměřené hodnoty

$\bar{x}$  – aritmetický průměr naměřených hodnot [4] [6]



A procentuální GRR spočteme dle tohoto vztahu:

*Rovnice 7 Procentuální GRR [6]*

$$\%GRR = \frac{GRR}{\sigma} * 100 \text{ [%]}$$

$\sigma$  – směrodatná odchylka procesu [4]

Po vypočtení potřebných ukazatelů je nutné učinit závěr o přijatelnosti systému měření. Mohou teoreticky nastat tři varianty, které jsou vidět v tabulce:

*Tabulka 1 Tabulka přijatelnosti systému měření [4]*

%GRR < 10%	Systém měření je přijatelný
10 % < %GRR < 30 %	Systém je podmíněně přijatelný
% GRR > 30 %	Systém není přijatelný a je nutné jej zlepšit

## 2 Metrologie

Jak je metrologie důležitá a nepostradatelná, nám ukazují případy již z doby tisíce let před naším letopočtem. Ve starém Egyptě bylo nedílnou součástí práce královských architektů i kalibrování a starost o měřidla. Při každém úplňku museli měřidla zkalibrovat pod hrozbou trestu smrti. Následovalo měření pomocí královského lokte, což byla délka od lokte po natažený prostředníček plus šířka ruky. Ale vládnoucí faraon nemohl být všude, kde potřebovali jeho ruku k měření, proto se tento rozměr přenesl na žulové nebo dřevěné kopie. [7]

Tím je jasné, že metrologie je věda, bez které se nelze obejít. Souvisí téměř se všemi ostatními vědeckými obory. A tím, jak se věda a lidské poznání dále a dále vyvíjejí, musí se s nimi vyvíjet i všechny oblasti metrologie. Bez vývoje by metrologie neměla šanci být důstojným nástrojem jak vědy, tak i všech průmyslových odvětví. Metrologie je věda, která se zabývá měřením a všemi souvisejícími aspekty. [7]

Metrologie má tři hlavní úkoly:

1. *„Definuje mezinárodně uznávané jednotky měření.*
2. *Realizuje jednotky měření pomocí vědeckých metod.*
3. *Vytváří řetězce návaznosti cestou stanovení a dokumentování hodnoty a přesnosti měření a přenosu těchto údajů.* “ [7]

### 2.1 Národní metrologický systém

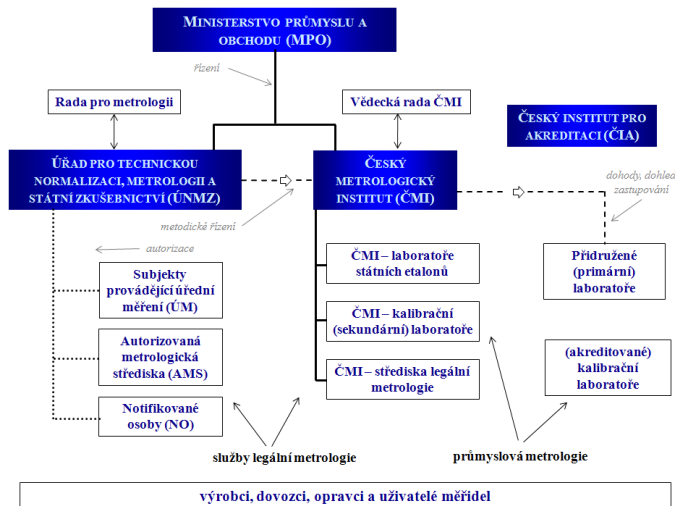
Pod pojmem národní metrologický systém si můžeme představit soubor instrukcí, který v určitém státě zajišťuje jednotnost a správnost měřidel a jejich používání na území tohoto státu. [8]

Základem tohoto systému jsou uživatelé, výrobci a servisní technici používaných měřidel. Spolu s nimi tvoří národní metrologický systém ti, kteří se podílejí na zajištění služeb pro uživatele, výrobce a servis. Další nezanedbatelnou složkou národního metrologického systému je stát. Ten navrhuje a schvaluje potřebné zákony a legislativu systému. [8]

Samozřejmě národní metrologický systém se nesusoustrdí pouze na výrobce, servis a uživatele měřidel, ale i na vzdělávání lidí v oblasti metrologie. Dále má na starost správu

certifikačních orgánů a laboratoří. Zapojuje se do spolupráce na mezinárodní úrovni s dalšími národními metrologickými systémy. [8]

Veškerá činnost národního metrologického systému je pochopitelně omezena zákonem č. 505/1990 Sb. [8]



Obrázek 7 Národní metrologický systém České republiky [8]

## 3 Měřidla

Měřidlo je nástroj, pomocí něhož jsme schopni určit hodnotu měřené veličiny. Měřidla rozdělujeme na následující skupiny:

- a) etalony
- b) pracovní měřidla stanovená
- c) pracovní měřidla nestanovená
- d) certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály [9]

### 3.1 Etalony

Etalon je měřidlo, které slouží k uchování a realizaci určité stupnice nebo jednotky určité veličiny. Etalon musí danou jednotku či stupnici uchovávat nezávisle na čase. Využívají se také ke kalibraci méně přesných měřidel. Etalonová soustava v České republice je součástí její infrastruktury stejně jako např. síť dálnic. [9] [10]

Etalony lze rozdělit do těchto skupin:

**Etalony primární**, zvané také jako mezinárodní, jsou etalony s nejvyšší dosažitelnou přesností. Jsou uchovávány v Mezinárodním úřadu pro míry a váhy v Paříži.

**Etalony sekundární** jsou odvozeny od etalonů primárních a dále se rozdělují na řády.

**Etalony řádu 0** jsou státní etalony, které náš stát má uloženy v Praze.

**Etalony řádu 1** jsou tzv. ověřovací. To znamená, že se používají pro kontrolu a kalibraci laboratorních přístrojů.

**Etalony řádu 2** jsou hlavními etalony měřicích středisek. [10]

### 3.2 Pracovní měřidla stanovená

Se stanovenými měřidly se setkáváme prakticky každý den, například když si jdeme v obchodě zvážit ovoce nebo na čerpací stanici natankovat palivo. Tato měřidla jsou stanovena vyhláškou Ministerstva průmyslu a obchodu a podléhají pravidelným kontrolám. [9]

### 3.3 Pracovní měřidla nestanovená

Nestanovená měřidla jsou taková, která nejsou etalonem a ani se na nich neprovádějí pravidelné státní kontroly. [9]

### 3.4 Certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály

Certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály jsou materiály, které mají přesně dané složení či vlastnosti. Používají se pro kalibraci přístrojů či k vyhodnocování měřicích metod. [9]



Obrázek 8 Státní etalon hmotnosti [11]

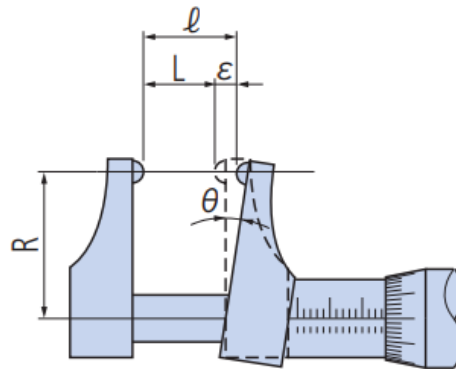
### 3.5 Nejistota měření

Nejistota měření je parametr, který popisuje rozptyl hodnot, které je možné přiřadit k měřené veličině. To v podstatě znamená, že nejistota měření určuje interval kolem měřené hodnoty, v němž leží správná hodnota veličiny. V praxi rozlišujeme dva základní typy nejistot měření, a to nejistotu typu A a nejistotu typu B. [12]

Nejistota typu A je dána výpočtem na základě opakovaných měření veličiny. Oproti tomu nejistota typu B není založena na opakování měření. Počítá se v ní s vlivy operátora, prostředí, měřidel. Většinou si s jedním druhem nejistoty nevystačíme, proto se používá kombinace obou druhů. [12]

### 3.6 Abbeho princip

Abbeho princip nám říká, že maximální přesnosti je možno dosáhnout tak, že stupnice měřidla a osy měření jsou rovnoběžné. Tento princip vychází z toho, že když se změni úhel  $\Theta$ , způsobí se posun, který již není měřen na stupnici měřidla. Tento posun nazýváme Abbeho chybou  $\epsilon$ . [13]



Obrázek 9 Abbeho princip [13]

### 3.7 Chyby

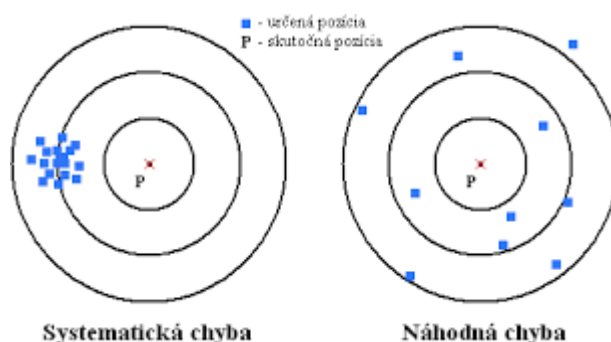
Absolutní chyba měření je rozdíl mezi skutečnou a naměřenou hodnotou.

#### 3.7.1 Rozdělení dle charakteru

**Hrubé chyby** – Jako hrubá chyba se označují naměřené hodnoty, které jsou velmi odlehlé. Zjišťují se pomocí Grubbsova testu. Vznikají poškozením měřidla, neodbornou obsluhou či velmi špatnými podmínkami měření.

**Systematické chyby** – Jsou to ty, které vznikají při stejných podmínkách opakovaně nebo se předvídatelně mění. Dají se zjistit a následně korigovat. Vznikají například špatnou kalibrací měřidla nebo okolním prostředím.

**Náhodné chyby** – Jsou způsobeny náhodnými příčinami. Při opakovaném měření za stejných podmínek vznikají nepravidelně a nedají se předpovídat. Dají se omezit opakovaným měřením. [14]



Obrázek 10 Schéma náhodných a systematických chyb [15]

### 3.8 Vlivy na přesnost měření

Aby naše měření proběhlo bez problémů, je potřeba zjistit, kde by mohlo potenciálně dojít k variabilitě a počítat s ní. Jinak může být měření velice negativně ovlivněno. Variabilitu můžeme očekávat v těchto oblastech:

**Měřený dílec** – Zde mohou ovlivnit měření vlastnosti materiálu dílce, jeho zašpinění, teplota,...

**Prostředí** – Vliv prostředí nelze v žádném případě zanedbat. Měření může ovlivnit například teplota v místnosti, vlhkost vzduchu, vibrace,...

**Operátor** – Zde je největší riziko neodborné obsluhy.

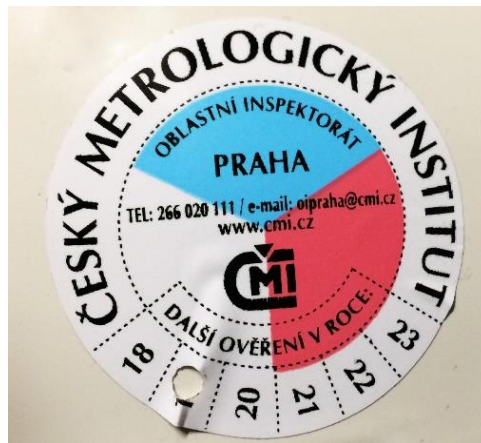
**Strategie** – S vlivem špatné strategie je také nutné počítat. Hrozí výběr špatné metody měření, nevhodného vyhodnocení či špatná poloha součásti.

**Měřidlo** – Vliv měřidla může nastat, když bude měřidlo nevhodně zvoleno či dokonce poškozeno. [16]

### 3.9 Kalibrace a ověření

Kalibrace je činnost, která určuje metrologické vlastnosti přístroje, systému nebo referenčního materiálu. Zpravidla se provádí porovnáním s etalony nebo certifikovanými referenčními materiály. Po provedení se vystavuje kalibrační list a měřidlo se označí štítkem. [9]

Ověření také zkoumá, zda má měřidlo požadované metrologické vlastnosti. Rozdíl mezi kalibrací a ověřením tkví v tom, že při ověření se zkoumá, jestli měřidlo splňuje svými vlastnostmi úředně stanovené požadavky, kdežto u kalibrace se zkoumá vztah mezi hodnotou naměřenou měřidlem a jmenovitou hodnotou určenou etalonem. [9]



Obrázek 11 Štítek úředního ověření ČMI [17]

### 3.10 Ergonomie při měření

Aby popisované chyby nevznikaly, je rovněž důležité se zabývat ergonomií operátora při samotném měření.

Základním předpokladem je práce v čistém a příjemném prostředí. Abychom od operátora mohli vyžadovat precizní výkon, musíme k němu vytvořit také patřičné podmínky. [18]

Jedna z nejzákladnějších podmínek práce je, aby na ni bylo vidět. Vhodné osvětlení je velice důležité. Při měření je téměř klíčový parametr prostředí. Osvětlení musí být dostatečné, ale zároveň nesmí operátora omezovat. Dalším parametrem prostředí je hluk.



Tím se rozumí všechno, co vyvolává rušivý nebo škodlivý sluchový vjem. Hluk kromě nepříjemných sluchových vjemů má veliký vliv na pracovní pohodu, a tím na podávané pracovní výkony a jejich kvalitu. V neposlední řadě z vlivu prostředí je potřeba zmínit chvění a otřesy. Rozdíl mezi těmito dvěma pojmy je takový, že chvění je dlouhodobější kmitavý pohyb, kdežto otřes je jednorázový děj. Chvění nebo otřesy negativně působí na nervovou soustavu člověka a způsobují i zvýšenou fyzickou únavu. [18]

Samozřejmě nesmíme opomenout další vlivy prostředí, například teplotu vzduchu. Přebytečné množství tepla je nutno odvádět z pracoviště pryč. Stejně je to s vlhkostí vzduchu a s jeho čistotou. Rovněž je nutné zajistit přiměřené proudění vzduchu. Je potřeba zajistit takové podmínky, aby operátor byl v pracovní pohodě a zároveň aby nastavené podmínky negativně neovlivňovaly přesnost měření. [18]

## 4 Experiment

### 4.1 Měřidla experimentu

Moje bakalářská práce popisuje MSA z pohledu měřidla. Jako první měřidlo bylo zvoleno to nejběžnější strojírenské měřidlo, a to posuvné měřítko, jako další mikrometr a jako třetí passametr.

#### 4.1.1 Posuvné měřítko

Posuvné měřítko se samozřejmě nevyužívá pouze ve strojírenství, ale jeho použití je zde největší. Skládá se ze dvou částí. První část je pevná a druhá posuvná. Na pevné části se nachází stupnice a jeden měřicí dotyk. Na posuvné části se nachází tzv. pomocná stupnice a druhý dotyk. Měřenou hodnotu zjistíme tam, kde se překrývá stupnice na pevném dotyku s pomocnou stupnicí na posuvném dotyku. [19]

Běžný rozsah posuvných měřítek je 150 mm, ale samozřejmě existují i měřítka s větším rozsahem. Posuvná měřítka lze ještě rozdělit na mechanická a digitální. [19]

Základní zásada pro měření s posuvným měřítkem je měřit s citem. Ještě, než však měření začneme, je potřeba zkontrolovat, zda když dáme měřicí dotyky k sobě, není mezi nimi průsvit světla. U digitálních posuvných měřítek je potřeba měřidlo vynulovat, tzn. musíme mít dotyky u sebe a pomocí tlačítka vynulovat měřidlo. Při měření nesmíme tlačítka velkou silou dotyky k sobě. Při měření vnějších ploch nelze měřit součást na konci dotyku, ale co nejbližší stupnici. Při konci měření uvolníme měřicí dotyky a sejmeme měřidlo z dílu bez dření dotyků o dílec. [19]



Obrázek 13 Posuvné měřítko Mahr



Obrázek 12 Digitální posuvné měřítko Mahr

#### 4.1.2 Mikrometr

Mikrometr je měřidlo, které má dva doteky. Jeden dotek je pevný a druhý je pohyblivý. Pohyblivý dotek je ovládán válcovou částí. Na ní se nachází spojka. Pomocí ní se mikrometr ovládá. Spojka při větším tlaku začne prokluzovat, tím je zajištěno měření při stále stejném tlaku dotyků. Takže měření probíhá tak, že mezi dotyky vložíme součást a utahujeme pomocí spojky. V žádném případě neutahujeme pomocí bubínku, mohli bychom mikrometr poškodit. Když začne spojka prokluzovat, zastavíme. Buď hodnotu odečteme rovnou nebo pomocí brzdy zafixujeme dotyky, sejmeme mikrometr a odečteme hodnotu. [19]

Naměřenou hodnotu odečítáme ze dvou stupnic. Vodorovná stupnice je dvojitá a dílky se vzájemně přesazují. Druhá stupnice je po obvodu bubínku. Tato stupnice obsahuje pouze 50 dílků, tzn. jedno otočení je 0,5 mm. Nejdříve odečteme hodnotu z vodorovné stupnice. Zde odečítáme vždy po 0,5 mm, každý dílek je 0,5 mm. K této hodnotě ještě připočteme hodnotu z obvodu bubínku. [19]

Podobně jako u posuvného měřítka existuje mechanická a digitální varianta mikrometru. Mikrometr má ale i další druhy, například mikrometr s talířovými doteky, který se využívá pro měření parametrů ozubených kol. Další druh je tzv. vnitřní mikrometr pro měření průměru děr. A ještě bych zmínil hloubkový mikrometr pro měření hloubky drážek, kapes atd.



Obrázek 14 Mikrometr Mahr ve stojánku



Obrázek 15 Digitální mikrometr Mahr

### 4.1.3 Passametr

Passametr je tzv. komparační měřidlo. To znamená, že nám poskytne pouze odchylku od předem nastaveného rozměru. Tento rozměr je potřeba na passametru nastavit. Nejčastěji se k tomu využívají koncové měrky. Nastavíme požadovaný rozměr a poté pomocí tlačítka uvolníme pohyblivý dotek a vložíme měřený dílec. Na číselníkovém úchylkoměru odečteme naměřenou odchylku od nastaveného rozměru. [20]

Passametr má podobně jako mikrometr dva měřicí doteky, pouze zde jsou oba doteky pohyblivé. Jeden se pohybuje pomocí šroubu a pomocí druhého se uvolňuje dílec nebo měrka. [20]

Běžný rozsah měřidla je 25 mm, avšak vyrábějí se passametry i s rozsahem 150 mm. [20]

### 4.1.4 Koncové měrky

Koncové měrky jsou jedny z nejpřesnějších měřidel délky používané pro běžná měření. Jsou to velmi přesně vyrobené hranolky. Velikost měrky je dána vzdáleností koncových rovnoběžných ploch hranolku. Pokud nenajdeme velikost měrky, kterou potřebujeme, je nutné si rozměr složit z více měrek. Měrky jsou vyrobené ze speciální kalené oceli s velkou otěruvzdorností a malou tepelnou roztažností. Nejpřesnější měrky jsou vyrobeny z keramických materiálů. Povrch funkčních ploch je lapovaný a je tak přesný, že měrky drží samovolně pohromadě. [21]



Obrázek 16 Passametr Mahr a koncová měrka

## 4.2 Návrh experimentu

V druhé polovině bakalářské práce se budu zabývat experimentem a jeho vyhodnocením. Ještě před samotným zahájením experimentu bylo nutné sestavit návrh experimentu a promyslet si strategii jeho provedení. Jelikož experiment MSA je zaměřen na volbu měřidla, bylo nutné nejprve zvolit měřidla. Jak jsem již zmínil v předchozí kapitole, zvolil jsem klasická komunální měřidla, a to posuvné měřítko, mikrometr a passometr. Mikrometr a posuvné měřítko jsem zvolil v klasické i digitální verzi. Měřidla byla zvolena i s ohledem na to, s jakou přesností jsou schopna měřit.

Dále bylo nutné zvolit měřené díly. V případě mého experimentu jsem zvolil válečky broušené na bezhroté brusce. Měřeným parametrem byl průměr válečku, který je  $16 \pm 0,02$  mm. Pro měření byla vybrána řada číslo jedna, ve které se měřilo všech pět vzorků.



*Obrázek 17 Válečky broušené na bezhroté brusce*

Když toto všechno již bylo rozhodnuto, bylo potřeba si uvědomit, jakou metodou se bude později experiment vyhodnocovat. Na tom závisí, kolik operátorů, kolik dílů a kolik opakování měření bude nutné do experimentu zahrnout. Zvolil jsem metodu založenou na rozpětí. Na základě prostudované literatury a konzultace jsem zjistil, že pro můj experiment se metoda založená na rozpětí hodí více než metoda průměru a rozpětí, která

se hodí spíše pro větší množství operátorů. Jelikož moje bakalářská práce je zaměřená na volbu měřidla MSA, je žádoucí menší množství operátorů. Pro metodu rozpětí je předepsáno měření pěti vzorků dvěma operátory a každý vzorek se měří pouze jednou.

### 4.3 Průběh experimentu

Po zvolení a připravení zmíněných věcí je již možné zahájit samotné měření. Po příchodu do laboratoře se připraví měřidla a měřené vzorky a operátoři jsou proškoleni a obeznámeni s měřidly i průběhem měření. Jak již bylo zmíněno, měřená charakteristika je průměr válečku. Měřit začíná první operátor tak, že nejdříve změří určené vzorky posuvným měřítkem a totéž pak opakuje i s ostatními měřidly. Všechny naměřené hodnoty si operátor zaznamenává sám. Druhý operátor čeká mimo místnost, až první operátor dokončí měření, aby se navzájem neovlivňovali a měření tak bylo objektivní. Poté druhý operátor provede úplně stejné měření jako první operátor.

Při měření je kladen důraz na přesnost měření a preciznost. Operátoři dodržují pravidla a zásady přesného měření. Při měření mají nasazené rukavice, aby neovlivňovali výsledek měření. Stejně tak oba mikrometry jsou upnuty ve stojánku, aby nebyly teplotně ovlivňovány operátory. Při měření s passametrem si operátoři nastaví rozměr pomocí koncové měřky. Měřku očistí pomocí technického benzínu a po skončení měření ji zakonzervují pomocí lékařské vazelíny.



Obrázek 18 Passametr nastavený pomocí koncové měřky

Naměřené hodnoty všech měřidel i obou operátorů byly zaznamenány do následující tabulky. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v milimetrech.

Tabulka 2 Naměřené hodnoty

Díl	Posuvné měřítko		Digitální posuvné měřítko	
	Operátor 1	Operátor 2	Operátor 1	Operátor 2
1	16	16	15,99	15,98
2	16	16	15,99	15,99
3	16	16	15,98	15,98
4	16	16	15,99	15,99
5	16	16	15,99	15,99
Díl	Mikrometr		Digitální mikrometr	
	Operátor 1	Operátor 2	Operátor 1	Operátor 2
1	15,995	15,995	15,999	15,994
2	15,99	16	16,001	15,998
3	15,995	15,99	15,995	15,989
4	16	16	15,994	16,003
5	16	15,99	15,998	15,989
Díl	Passametr			
	Operátor 1	Operátor 2		
1	15,996	15,992		
2	15,998	15,999		
3	15,986	15,989		
4	15,995	15,999		
5	15,992	15,994		

## 4.4 Numerické výpočty pro analýzu

### 4.4.1 Variační rozpětí

Po naměření všech potřebných hodnot je možné začít experiment vyhodnocovat. K tomu je však nutné vypočítat všechny potřebné parametry.

Jako první začnu výpočtem variačního rozpětí  $R_i$ . Provádí se pro každé měřidlo. Na ukázkou je zde výpočet pro první vzorek měřený posuvným měřítkem.

$$R_i = X_{imax} - X_{imin} [mm],$$

$$R_i = 16 - 16 = 0 \text{ mm}$$

Další vypočtené hodnoty variačního rozpětí  $R_i$  jsou zanesené do následující tabulky.

Tabulka 3 Vypočtené hodnoty variačního rozpětí

Díl	Posuvné měřítko	Digitální posuvné měřítko	Mikrometr	Digitální mikrometr	Passametr
	$R_i$ [mm]				
1	0	0,01	0	0,005	0,004
2	0	0	0,01	0,003	0,001
3	0	0	0,005	0,006	0,003
4	0	0	0	0,009	0,004
5	0	0	0,01	0,009	0,002

#### 4.4.2 Průměrné variační rozpětí

Následuje výpočet průměrného variačního rozpětí  $\bar{R}$  pro jednotlivá měřidla.

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \text{ [mm]},$$

Posuvné měřítko  $\bar{R} = \frac{0+0+0+0+0}{5} = 0 \text{ mm}$

Digitální posuvné měřítko  $\bar{R} = \frac{0,01+0+0+0+0}{5} = 0,002 \text{ mm}$

Mikrometr  $\bar{R} = \frac{0+0,01+0,005+0+0,01}{5} = 0,005 \text{ mm}$

Digitální mikrometr  $\bar{R} = \frac{0,005+0,003+0,006+0,009+0,009}{5} = 0,0064 \text{ mm}$

Passametr  $\bar{R} = \frac{0,004+0,001+0,003+0,004+0,002}{5} = 0,0028 \text{ mm}$



### 4.4.3 GRR

Pro výpočet hodnoty GRR použiji v předchozím kroku vypočtené hodnoty průměrného variačního rozpětí  $\bar{R}$  a koeficient závislý na počtu operátorů a počtu měřených vzorků. V tomto případě se jedná o pět měřených vzorků a dva operátory. Z *Tabulky 4* jsem zjistil, že pro můj případ je koeficient  $d_2^*$  roven 1,19. Následují výpočty hodnot GRR pro jednotlivá měřidla.

$$GRR = \frac{\bar{R}}{d_2^*} [-],$$

Posuvné měřítko  $GRR = \frac{0}{1,19} = 0$

Digitální posuvné měřítko  $GRR = \frac{0,002}{1,19} = 0,00168$

Mikrometr  $GRR = \frac{0,005}{1,19} = 0,0042$

Digitální mikrometr  $GRR = \frac{0,0064}{1,19} = 0,00538$

Passametř  $GRR = \frac{0,0028}{1,19} = 0,00235$

Tabulka 4 Tabulka koeficientů  $d_2^*$  [22]

Values associated with the Distribution of the Average Range

		Subgroup Size ( $m$ )													
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Number of Subgroups ( $g$ )	1	1.0 1.41421	2.0 1.91155	2.9 2.23887	3.8 2.48124	4.7 2.67253	5.5 2.82981	6.3 2.96288	7.0 3.07794	7.7 3.17905	8.3 3.26909	9.0 3.35016	9.6 3.42378	10.2 3.49116	
	2	1.9 1.27931	3.8 1.80538	5.7 2.15069	7.5 2.40484	9.2 2.60438	10.8 2.76779	12.3 2.90562	13.8 3.02446	15.1 3.12869	16.5 3.22134	17.8 3.30463	19.0 3.38017	20.2 3.44922	
	3	2.8 1.23105	5.7 1.76858	8.4 2.12049	11.1 2.37883	13.6 2.58127	16.0 2.74681	18.3 2.88628	20.5 3.00643	22.6 3.11173	24.6 3.20526	26.5 3.28931	28.4 3.36550	30.1 3.43512	
	4	3.7 1.20621	7.5 1.74989	11.2 2.10522	14.7 2.36571	18.1 2.56964	21.3 2.73626	24.4 2.87656	27.3 2.99737	30.1 3.10321	32.7 3.19720	35.3 3.28163	37.7 3.35815	40.1 3.42805	
	5	4.6 1.19105	9.3 1.73857	13.9 2.09601	18.4 2.35781	22.6 2.56263	26.6 2.72991	30.4 2.87071	34.0 2.99192	37.5 3.09808	40.8 3.19235	44.0 3.27701	47.1 3.35372	50.1 3.42381	
	6	5.5 1.18083	11.1 1.73099	16.7 2.08985	22.0 2.35253	27.0 2.55795	31.8 2.72567	36.4 2.86680	40.8 2.98829	45.0 3.09467	49.0 3.18911	52.8 3.27392	56.5 3.35077	60.1 3.42097	
	7	6.4 1.17348	12.9 1.72555	19.4 2.08543	25.6 2.34875	31.5 2.55460	37.1 2.72263	42.5 2.86401	47.6 2.98568	52.4 3.09222	57.1 3.18679	61.6 3.27172	65.9 3.34866	70.0 3.41894	
	8	7.2 1.16794	14.8 1.72147	22.1 2.08212	29.2 2.34591	36.0 2.55208	42.4 2.72036	48.5 2.86192	54.3 2.98373	59.9 3.09039	65.2 3.18506	70.3 3.27006	75.2 3.34708	80.0 3.41742	
	9	8.1 1.16361	16.6 1.71828	24.9 2.07953	32.9 2.34370	40.4 2.55013	47.7 2.71858	54.5 2.86028	61.1 2.98221	67.3 3.08896	73.3 3.18370	79.1 3.26878	84.6 3.34585	90.0 3.41624	
	10	9.0 1.16014	18.4 1.71573	27.6 2.07746	36.5 2.34192	44.9 2.54856	52.9 2.71717	60.6 2.85898	67.8 2.98100	74.8 3.08781	81.5 3.18262	87.9 3.26775	94.0 3.34486	99.9 3.41529	
	11	9.9 1.15729	20.2 1.71363	30.4 2.07577	40.1 2.34048	49.4 2.54728	58.2 2.71600	66.6 2.85791	74.6 2.98000	82.2 3.08688	89.6 3.18174	96.6 3.26690	103.4 3.34406	109.9 3.41452	
	12	10.7 1.15490	22.0 1.71189	33.1 2.07436	43.7 2.33927	53.8 2.54621	63.5 2.71504	72.6 2.85702	81.3 2.97917	89.7 3.08610	97.7 3.18100	105.4 3.26620	112.7 3.34339	119.9 3.41387	
	13	11.6 1.15289	23.8 1.71041	35.8 2.07316	47.3 2.33824	58.3 2.54530	68.7 2.71422	78.6 2.85627	88.1 2.97847	97.1 3.08544	105.8 3.18037	114.1 3.26561	123.1 3.34282	129.8 3.41333	
	14	12.5 1.15115	25.7 1.70914	38.6 2.07213	51.0 2.33737	62.8 2.54452	74.0 2.71351	84.7 2.85562	94.9 2.97787	104.6 3.08487	113.9 3.17984	122.9 3.26510	131.5 3.34233	139.8 3.41286	
	15	13.4 1.14965	27.5 1.70804	41.3 2.07125	54.6 2.33661	67.2 2.54385	79.3 2.71290	90.7 2.85506	101.6 2.97735	112.1 3.08438	122.1 3.17938	131.7 3.26465	140.9 3.34191	149.8 3.41245	
	16	14.3 1.14833	29.3 1.70708	44.1 2.07047	58.2 2.33594	71.7 2.54326	84.5 2.71237	96.7 2.85457	108.4 2.97689	119.5 3.08395	130.2 3.17897	140.4 3.26427	150.2 3.34154	159.7 3.41210	
	17	15.1 1.14717	31.1 1.70623	46.8 2.06978	61.8 2.33535	76.2 2.54274	89.8 2.71190	102.8 2.85413	115.1 2.97649	127.0 3.08358	138.3 3.17861	149.2 3.26393	159.6 3.34121	169.7 3.41178	
	18	16.0 1.14613	32.9 1.70547	49.5 2.06917	65.5 2.33483	80.6 2.54228	95.1 2.71148	108.8 2.85375	121.9 2.97613	134.4 3.08324	146.4 3.17829	157.9 3.26362	169.0 3.34092	179.7 3.41150	
	19	16.9 1.14520	34.7 1.70480	52.3 2.06862	69.1 2.33436	85.1 2.54187	100.3 2.71111	114.8 2.85341	128.7 2.97581	141.9 3.08294	154.5 3.17801	166.7 3.26335	178.4 3.34066	189.6 3.41125	
	20	17.8 1.14437	36.5 1.70419	55.0 2.06813	72.7 2.33394	89.6 2.54149	105.6 2.71077	120.9 2.85310	135.4 2.97552	149.3 3.08267	162.7 3.17775	175.5 3.26311	187.8 3.34042	199.6 3.41103	
$d_1$	1.12838	1.69257	2.05875	2.32593	2.53441	2.70436	2.8472	2.97003	3.07751	3.17287	3.25846	3.33598	3.40676		
$cd$	0.876	1.815	2.7378	3.623	4.4658	5.2673	6.0305	6.7582	7.4539	8.1207	8.7602	9.3751	9.9679		

V tabulce hodnota  $m$  představuje počet operátorů a hodnota  $g$  počet měřených dílů.

#### 4.4.4 Směrodatná odchylka

K tomu, abych dokázal vypočítat %GRR, musím spočítat směrodatnou odchylku  $\sigma$  pro jednotlivá měřidla.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \text{ [mm]}$$

Přistoupím tedy k výpočtu samotné směrodatné odchyly. Směrodatné odchyly pro jednotlivá měřidla byly vypočteny pomocí softwaru Microsoft Excel. Vypočtené hodnoty jsou zaneseny v této tabulce:

Tabulka 5 Vypočtené směrodatné odchyly

Posuvné měřítko	Digitální posuvné měřítko	Mikrometr	Digitální mikrometr	Passametr
$\sigma$ [mm]				
0	0,00458	0,00415	0,00445	0,0041

#### 4.4.5 %GRR

Nyní už mám vypočítané všechny potřebné hodnoty pro výpočet %GRR. Celkovou variabilitu odhadnu pomocí již vypočítané směrodatné odchyly. Následuje výpočet hodnot %GRR pro jednotlivá měřidla.

$$\%GRR = \frac{GRR}{\sigma} * 100 \text{ [%]}$$

Posuvné měřítko  $\%GRR = \frac{0}{0} * 100 = NELZE$

Digitální posuvné měřítko  $\%GRR = \frac{0,00168}{0,00458} * 100 = 37 \%$

Mikrometr  $\%GRR = \frac{0,0042}{0,00415} * 100 = 101 \%$

Digitální mikrometr  $\%GRR = \frac{0,00538}{0,00445} * 100 = 121 \%$

Passametr  $\%GRR = \frac{0,00235}{0,0041} * 100 = 57 \%$

## 4.5 Vyhodnocení experimentu

Vyhodnocení analýzy systému měření jsem provedl pomocí metody rozpětí. Nyní je potřeba vypočtené a zjištěné numerické hodnoty ucelit a vyvodit z nich odpovídající závěry.

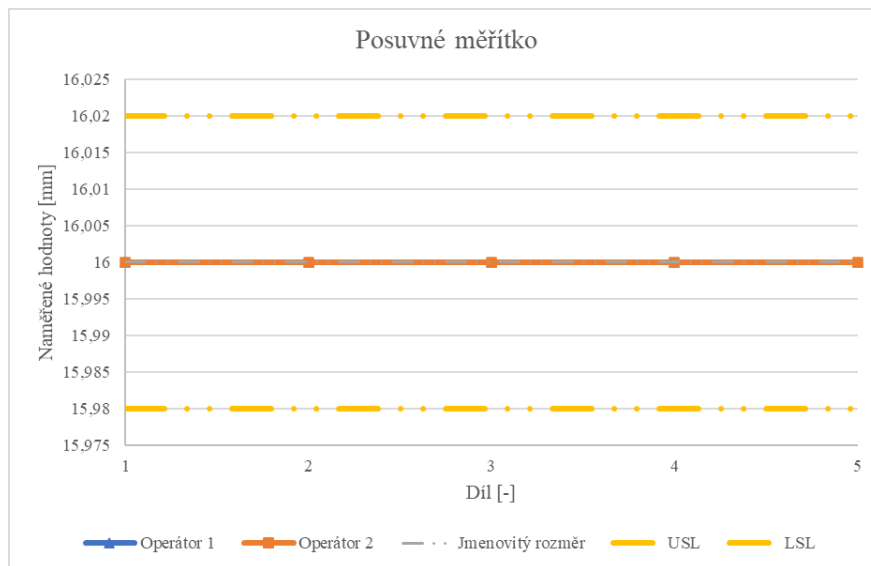
Pro rozhodování o přijatelnosti systému měření je vypovídající hodnota %GRR. V *Tabulce 1* z kapitoly o metodě rozpětí jsou uvedeny mezní hodnoty, se kterými se mnou vypočtené hodnoty %GRR porovnají.

U posuvného měřítka nelze měření vyhodnotit, neboť zde nedochází k dostatečné variabilitě. Tím pádem vyjde hodnota GRR rovna nule i směrodatná odchylka rovna nule. I z tohoto pohledu se posuvné měřítko jeví pro tento experiment jako nevhodné měřidlo. U ostatních měřidel lze měření vyhodnotit. U digitálního posuvného měřítka vyšla hodnota %GRR rovna 37 %, u mikrometru 101 %, u digitálního mikrometru 121 % a u passametru 57 %. Když tyto hodnoty porovnáme s již zmíněnou tabulkou, zjistíme, že všechny systémy měření jsou nepřijatelné.

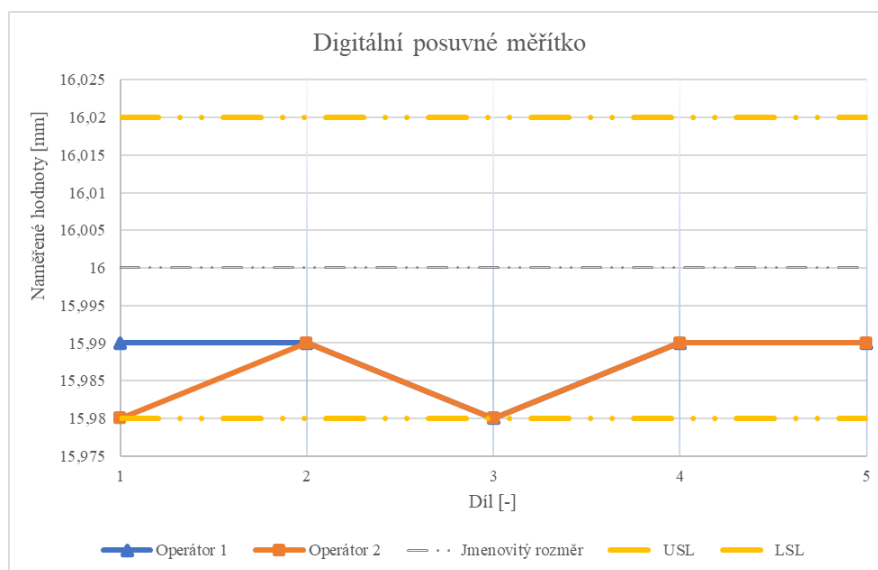
Jelikož vyšlo, že všechny systémy měření jsou nepřijatelné, bylo by potřeba udělat v těchto systémech měření okamžitá nápravná opatření, která by systémy zlepšila na přijatelnou úroveň.

Poté je potřeba naměřit experiment znovu, zopakovat analýzu a opět ji vyhodnotit.

## 5 Grafické výstupy

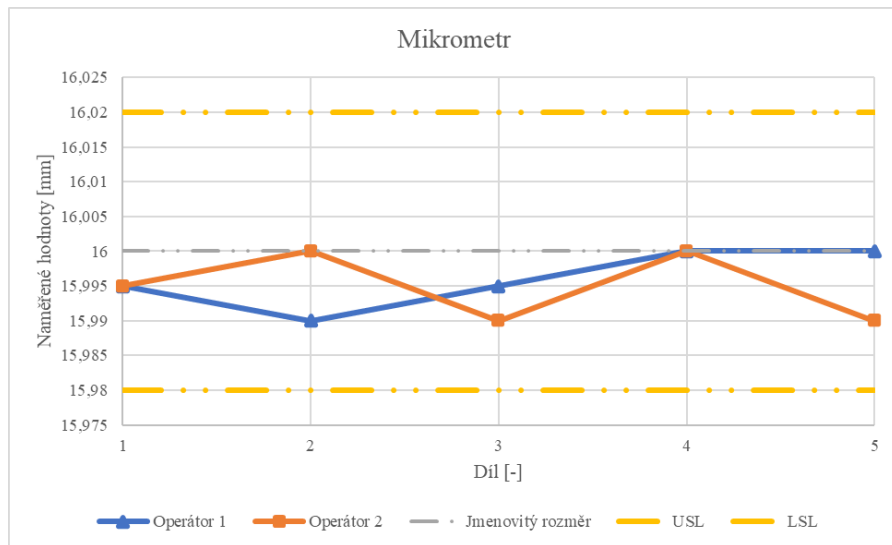


Obrázek 19 Naměřené hodnoty posuvným měřítkem

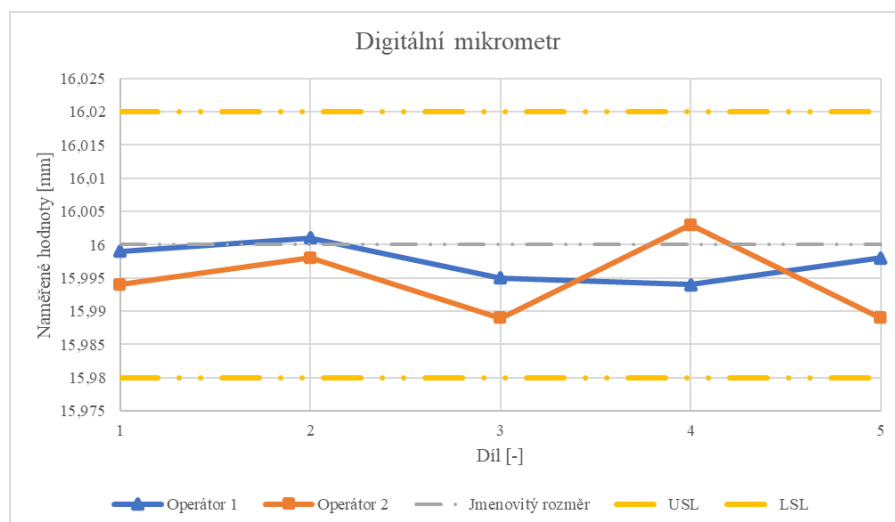


Obrázek 20 Naměřené hodnoty digitálním posuvným měřítkem

Na těchto dvou grafech je vidět srovnání hodnot naměřených posuvným měřítkem a digitálním posuvným měřítkem. U obou měřidel oba operátoři neměřili ani jeden díl mimo toleranční pole. U posuvného měřítka naměřili u všech dílů stejné hodnoty a u digitálního posuvného měřítka mimo prvního dílu také. U třetího dílu byl oběma operátory naměřen dolní mezní rozměr.

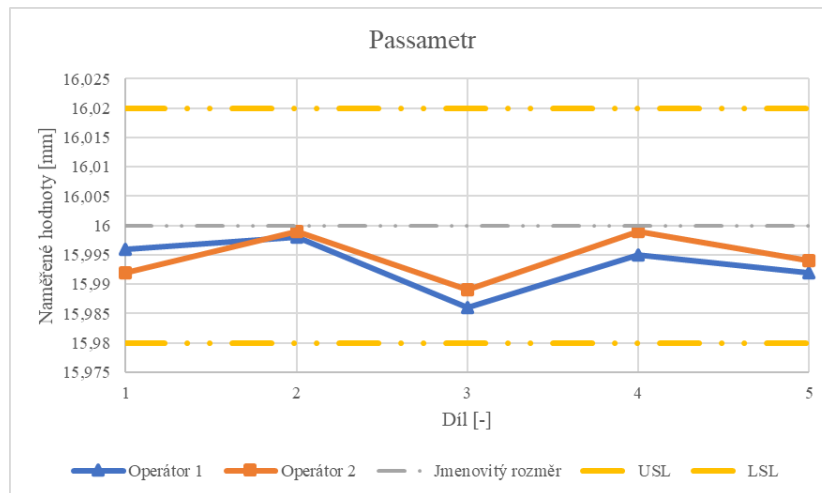


Obrázek 21 Naměřené hodnoty mikrometrem



Obrázek 22 Naměřené hodnoty digitálním mikrometrem

Zde je patrné porovnání naměřených hodnot mikrometru a digitálního mikrometru. Zde už se oba operátoři vzájemně neshodovali jako u měření posuvnými měřítky. Avšak ani jeden operátor nenaměřil jakoukoli hodnotu mimo toleranční pole.



Obrázek 23 Naměřené hodnoty passametrem

A jako poslední je vidět graf naměřených hodnot pomocí passametru. Ani v tomto případě nedošlo k naměření jakékoli hodnoty mimo toleranční pole. Také jsou patrné oproti měření mikrometry menší rozdíly naměřených hodnot mezi oběma operátory.

## Závěr

V bakalářské práci jsem se zabýval analýzou systému měření, konkrétně volbou měřidla.

Vysvětlil jsem její podstatu, vznik i historii. Popsal jsem detailně pojmy, se kterými analýza systému měření pracuje. Taktéž jsem zmínil metody vyhodnocení analýzy systému měření a podrobně rozebral metodu rozpětí, kterou jsem při vyhodnocení využíval. S analýzou systému měření je spjata metrologie i metrologický systém, který jsem také popsal.

Dále jsem se věnoval měřidlům. Rozebral jsem jejich druhy. Poté jsem se věnoval chybám při měření. Zmínil jsem druhy chyb, proč a jak chyby vznikají.

Nakonec jsem se zabýval provedením analýzy systému měření. Nejprve jsem navrhl experiment. Zvolil jsem měřidla, která jsem při experimentu využíval, a ještě před samotným zahájením experimentu jsem zvolil metodu vyhodnocení procesu, a to metodu rozpětí. Experiment jsem provedl a získané hodnoty zaznamenal a začal experiment vyhodnocovat. Pomocí metody rozpětí jsem vyhodnotil analýzu systému měření pro jednotlivá měřidla. Vyhodnocením jsem získal hodnoty %GRR. U digitálního posuvného měřítka vyšla hodnota %GRR rovna 37 %, u mikrometru 101 %, u digitálního mikrometru 121 % a u passametru 57 %. Přitom systém měření je přijatelný pouze do 30 % a to ještě jenom podmíněně.

U posuvného měřítka nelze měření vyhodnotit, neboť zde nedochází k dostatečné variabilitě a GRR i směrodatná odchylka pak vyjdou rovno nule. Ostatní systémy měření již bylo možné vyhodnotit, ale všechny vyšly jako nepřijatelné. Otázka je, proč tomu tak je. Měření byla prováděna v laboratoři s přijatelnými podmínkami měření. Operátoři prováděli měření v rukavicích, aby co nejméně teplotně ovlivňovali měření. Z tohoto pohledu se tedy zdá, že všechno proběhlo tak, jak mělo. Druhý faktor, který mohl měření silně ovlivnit, jsou samotná měřidla. Měření bylo provedeno s měřidly ze školní laboratoře. Kdyby byl experiment prováděn s měřidly z metrologické laboratoře průmyslového podniku, na výsledky analýzy by to jistě mělo vliv. V těchto laboratořích jsou měřidla využívána v provozu k měření aktuální výroby, a tudíž vzniká větší tlak a potřeba mít měřidla správně kalibrovaná. Další faktor, který mohl výsledky negativně ovlivnit, je samotná metoda vyhodnocení. Byla ale zvolena s ohledem na velké množství



měřidel a malé množství operátorů. Příčina nepřijatelnosti systémů měření však může samozřejmě souviset i s nezkušeností a rozdíly v dovednostech obou operátorů, anebo chybně zvoleným postupem měření.

## Seznam zkratk

MSA.....	Measurement system analysis
AIAG.....	Automotive Industry Action Group
VDA.....	Verband der Automobilindustrie
BMW.....	Bayerische Motoren Werke
ANOVA.....	Analysis of Variance
GRR.....	Gage Repeatability and Reproducibility
ČMI.....	Český metrologický institut

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Graf stability [5] .....	11
Obrázek 2 Graf strannosti [5] .....	13
Obrázek 3 Graf linearity [5].....	13
Obrázek 4 Graf opakovatelnosti [5].....	14
Obrázek 5 Graf reprodukovatelnosti [5] .....	14
Obrázek 6 Varianty přesného a nepřesného měření [5].....	15
Obrázek 7 Národní metrologický systém České republiky [8].....	19
Obrázek 8 Státní etalon hmotnosti [11] .....	21
Obrázek 9 Abbeho princip [13] .....	22
Obrázek 10 Schéma náhodných a systematických chyb [15].....	23
Obrázek 11 Štítek úředního ověření ČMI [17] .....	24
Obrázek 12 Digitální posuvné měřítko Mahr .....	26
Obrázek 13 Posuvné měřítko Mahr .....	26
Obrázek 14 Mikrometr Mahr ve stojánku.....	27
Obrázek 15 Digitální mikrometr Mahr .....	27
Obrázek 16 Passametř Mahr a koncová měřka.....	28
Obrázek 17 Válečky broušené na bezhroté brusce .....	29
Obrázek 18 Passametř nastavený pomocí koncové měřky .....	30
Obrázek 19 Naměřené hodnoty posuvným měřítkem .....	37
Obrázek 20 Naměřené hodnoty digitálním posuvným měřítkem.....	37
Obrázek 21 Naměřené hodnoty mikrometrem.....	38
Obrázek 22 Naměřené hodnoty digitálním mikrometrem .....	38
Obrázek 23 Naměřené hodnoty passametřem .....	39

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Tabulka přijatelnosti systému měření [4] .....	17
Tabulka 2 Naměřené hodnoty .....	31
Tabulka 3 Vypočtené hodnoty variačního rozpětí .....	32
Tabulka 4 Tabulka koeficientů $d_2^*$ [22] .....	34
Tabulka 5 Vypočtené směrodatné odchylky .....	35

## Seznam rovnic

Rovnice 1 Bodový odhad strannosti [4] .....	12
Rovnice 2 Procentuální podíl opakovatelnosti z celkové variability [4] .....	12
Rovnice 3 Variační rozpětí [4].....	16
Rovnice 4 Průměrné variační rozpětí [6] .....	16
Rovnice 5 GRR [4] .....	16
Rovnice 6 Směrodatná odchylka [4].....	16
Rovnice 7 Procentuální GRR [6] .....	17

## Použitá literatura

- [1] CONRAD, Stephan. *A Brief History of Measurement System Analysis*. [online] 2014 [cit.2023-03-17]. Dostupné z: [https://www.qdas.com/fileadmin/mediamanager/PIQ-Artikel/History\\_Measurement-System-Analysis.pdf](https://www.qdas.com/fileadmin/mediamanager/PIQ-Artikel/History_Measurement-System-Analysis.pdf)
- [2] QS 9000. MANAGEMENTMANIA. *ManagementMania.com* [online]. 2015. [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/qs-9000>
- [3] MSA (*Measurement System Analysis*). MANAGEMENTMANIA. *ManagementMania.com* [online]. [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/measurement-system-analysis>
- [4] NENADÁL, Jaroslav. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press, 2018. ISBN 978-80-7261-561-2.
- [5] HESSING, Ted. *Measurement Systems Analysis (MSA)*. Six Sigma Study Guide [online]. 2014 [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://sixsigmastudyguide.com/measurement-systems-analysis/>
- [6] KRÁL, Jan. *Stanovení měř opakovatelnosti a reprodukovatelnosti při kontrole měření a srovnáváním*. Národní středisko pro podporu jakosti [online]. [cit. 2023-03-17] Dostupné z: [https://www.csq.cz/fileadmin/user\\_upload/Spolkova\\_cinnost/Odborne\\_skupiny/Statisticke\\_metody/sborniky/2006/04\\_-\\_11\\_-\\_MSA.pdf](https://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Statisticke_metody/sborniky/2006/04_-_11_-_MSA.pdf)
- [7] *Metrologie v kostce*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. [online] [cit. 2023-03-13] 2009. Dostupné z: [https://www.unmz.cz/sborniky\\_th/sb2009/MvK\\_7\\_vidit\\_hypervazby\\_small.pdf](https://www.unmz.cz/sborniky_th/sb2009/MvK_7_vidit_hypervazby_small.pdf)
- [8] *Národní metrologický systém České republiky*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. [online]. [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://www.unmz.cz/metrologie/metrologicky-system/narodni-metrologicky-system-ceske-republiky/>
- [9] *Základní pojmy*. Český metrologický institut [online]. [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/node/537>
- [10] *Etalony*. Střední odborné učiliště, Plzeň [online]. [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://www.souepl.cz/wp-content/ucitele/kulhanek/OPVK%202012/Soustava%20SI/etalony.html>
- [11] *Státní etalon hmotnosti*. Český metrologický institut [online]. [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/statni%20etalon%20hmotnosti>
- [12] *Nejistoty*. Vysoké učení technické, Brno [online]. [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <http://uvhk.fce.vutbr.cz/sites/default/files/Vyuka/CS01/nejistoty.pdf>

- [13] *Metrologická příručka*. MITUTOYO ČESKO [online]. [cit. 2023-03-20] Dostupné z: <http://mitoro.cz/ke-stazeni/metrologicka-prirucka.pdf>
- [14] PROCHÁZKA, Karel. *Chyby měření 1*. Střední škola průmyslová a umělecká, Opava [online]. [cit. 2023-03-20] 2011. Dostupné z: [https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/\\_sablony/KOM\\_III/VY\\_52\\_INOVACE\\_J-05-01.pdf](https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablony/KOM_III/VY_52_INOVACE_J-05-01.pdf)
- [15] *Téoria chýb* [online]. [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: [https://web.science.upjs.sk/kanuk/pozemne-laserove-skenovanie/prednasky/02-teoria\\_chyb.pdf](https://web.science.upjs.sk/kanuk/pozemne-laserove-skenovanie/prednasky/02-teoria_chyb.pdf)
- [16] BERÁNEK, Libor. *MTR\_2020\_2. přednáška Nejistoty měření, komunální měřidla*. České vysoké učení technické, Praha [online]. [cit. 2023-07-05]. Dostupné z: [https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/437743/mod\\_resource/content/1/MTR\\_2020\\_2.%20p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ka%20Nejistoty%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD%2C%20komun%C3%A1ln%C3%AD%20m%C4%9B%C5%99idla\\_vodoznak.pdf](https://moodle-vyuka.cvut.cz/pluginfile.php/437743/mod_resource/content/1/MTR_2020_2.%20p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ka%20Nejistoty%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD%2C%20komun%C3%A1ln%C3%AD%20m%C4%9B%C5%99idla_vodoznak.pdf)
- [17] *Úřední ověření vah (cejchování)*. Ohaus Váhy. [ohausvahy.cz](http://ohausvahy.cz) [online]. [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://www.ohausvahy.cz/uredni-overeni-vah-cejchovani/>
- [18] CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2007, ISBN 978-80-01-03802-4
- [19] ŠVRČINA, Josef. *Měřidla – měření*. Střední škola průmyslová a umělecká, Opava [online]. [cit. 2023-03-20] Dostupné z: [https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/\\_sablony/Praxe\\_II\\_a\\_III/VY\\_52\\_INOVACE\\_H-02-19.pdf](https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablony/Praxe_II_a_III/VY_52_INOVACE_H-02-19.pdf)
- [20] PROCHÁZKA, Karel. *KOM 3*. Střední škola průmyslová a umělecká, Opava [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.sspu-opava.cz/~prochazka/KOM/pasamet.html>
- [21] PROCHÁZKA, Karel. *Měření délek – koncové měrky*. Střední škola průmyslová a umělecká, Opava [online]. 2011 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: [https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/\\_sablony/KOM\\_III/VY\\_52\\_INOVACE\\_J-05-09.pdf](https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablony/KOM_III/VY_52_INOVACE_J-05-09.pdf)
- [22] PHELPS, Jody. *The War on Error – Vol. IV: Get Some R&R - Variables*. JayWink Solutions [online]. [cit. 2023-07-13]. Dostupné z: <http://jaywinksolutions.com/1/post/2020/08/the-war-on-error-vol-iv-get-some-rr-variables.html>