

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**

**ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ,  
PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**ANALÝZA SYSTÉMU MĚŘENÍ – VLIV  
OPERÁTORA**

**2023**

**FILIP ČÁP**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Čáp** Jméno: **Filip** Osobní číslo: **492667**  
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 - vliv operátora**

Název bakalářské práce anglicky:

**Measurement system analysis - the influence of the operator**

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, C.Sc.  
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

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Analýza systému měření – vliv operátora* vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. BcA. Jana Podaného, Ph.D. a použil jsem podklady uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne .....

.....

Filip Čáp

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. BcA. Janu Podanému, Ph.D., za to, jak mě při psaní mé práce provázel a vždy mi byl nápomocen. Rovněž za jeho věcné rady, příjemný přístup, ochotu a podporu. Dále zde chci také poděkovat operátorům, kteří se zúčastnili laboratorního měření. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za trpělivost a oporu při mém studiu.

# **Anotace**

Bakalářská práce se zabývá analýzou systému měření neboli MSA (Measurement system analysis). V první části je obecně charakterizovaná metrologie a norma QS – 9000, z níž MSA vychází, a také řada podmínek práce při měření. Dále je zde vysvětlena metodika MSA včetně variability systému měření, nejistot měření a chyb měření. Práce rovněž popisuje metody pro určení ukazatelů opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Ve druhé části jsou popsány výpočty pro realizaci experimentu, měřené díly a použité měřidlo, následně pak tabulky s naměřenými a vypočtenými hodnotami a grafy pro porovnání naměřených hodnot jednotlivými operátory.

## **Klíčová slova**

Analýza systému měření, MSA, Ergonomie, Mikrometr, Operátor, Opakovatelnost, Reprodukovatelnost, Metoda průměru a rozpětí

# **Annotation**

The bachelor thesis deals with measurement system analysis (MSA). The first part of the thesis describes metrology in general, the QS-9000 standard on which MSA is based and the conditions of work during measurement. The MSA methodology is explained, including measurement system variability, measurement uncertainties and measurement errors. The first part of the thesis also describes methods for determining repeatability and reproducibility indicators. The second part of the thesis describes the calculations for the implementation of the experiment, the measured components and the gauge used. Then are presents tables with measured and calculated values and graphs for comparison of measured values by individual operators.

## **Keywords**

Measurement system analysis, MSA, Ergonomics, Micrometer, Operator, Repeatability, Reproducibility, Diameter and span method

# Obsah

Úvod.....	10
1 Metrologie .....	11
2 QS-9000.....	13
3 Operátor.....	15
4 Ergonomie .....	16
4.1 Systém Č-S (T)-P .....	16
4.2 Podmínky práce při měření .....	17
4.2.1 Člověk.....	17
4.2.2 Technika.....	21
4.2.3 Pracovní prostředí .....	21
5 MSA .....	24
5.1 Zdroje variability – systém měření .....	24
5.2 Variabilita procesu měření .....	26
5.2.1 Variabilita polohy .....	26
5.2.2 Variabilita šíře.....	29
5.2.3 Variabilita systému měření .....	33
5.3 Metody pro určování opakovatelnosti a reprodukovatelnosti.....	36
5.3.1 Metoda založená na rozpětí .....	36
5.3.2 Metoda založená na průměru a rozpětí.....	36
5.3.3 Metoda ANOVA.....	36
6 Realizace metody založené na průměru a rozpětí .....	37
6.1 Použité měřidlo a měřené díly.....	37
6.1.1 Použité měřidlo .....	37
6.1.2 Měřené díly .....	37
6.2 Zaškolení operátorů.....	38
6.3 Postup měření.....	38
6.4 Postup výpočtů .....	39
6.5 Naměřené a vypočítané hodnoty .....	44

6.6 Grafické zpracování naměřených hodnot.....	46
Závěr .....	51
Seznam obrázků .....	55
Seznam tabulek .....	56
Seznam příloh .....	57



## Seznam symbolů a zkratek

AIAG	Automotive Industry Action Group
APQP	Advanced Product Quality Planning
ASTM	Americká společnost pro testování a materiály
AV	Variabilita operátorů – reprodukovatelnost
$A_2$	Konstanta pro výpočet regulačních mezí průměru
CL	Střední hodnota
$d_2^*$	Koeficient závislý na počtu operátorů a dílů
$D_3, D_4$	Konstanty pro výpočet regulačních mezí rozpětí
EV	Variabilita zařízení – opakovatelnost
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
GRR	Variabilita systému měření – opakovatelnost a reprodukovatelnost
$K_1, K_2, K_3$	Konstanty vycházející z převrácené hodnoty koeficientu $d_2^*$
LCL	Dolní regulační mez
MSA	Analýza systému měření
Ndc	Počet rozlišitelných kategorií
PPAP	Production Part Approval Process
PV	Variabilita mezi díly
QS 9000	Oborová norma amerického automobilového průmyslu
R	Rozpětí
$\bar{R}, \bar{\bar{R}}$	Průměrné rozpětí
SPC	Statistical Process Control
TV	Celková variabilita
UCL	Horní regulační mez
$\bar{X}, \bar{\bar{X}}$	Aritmetický průměr

# Úvod

S neustále se zvyšujícími nároky na kvalitu všech systémů a procesů měření je nutné všechny tyto systémy a procesy analyzovat. Jako jeden z hlavních nástrojů se využívá analýza systému měření neboli MSA, která hodnotí systém jako celek a vyhledává faktory, jež mohou mít vliv na variabilitu výsledků měření.

Tato bakalářská práce se zabývá popsáním analýzy systému měření, zdroji variabilit a jejich příčinami. Rovněž charakterizuje jednotlivé druhy variability a metody pro zjištění variability. Těmi jsou metoda založená na rozpětí, metoda založená na průměru a rozpětí a metoda ANOVA. Dále popisuje souvislosti spojené s analýzou systému měření, jako je ergonomie při měření, která se zabývá například pracovní polohou operátorů, podmínkami při měření nebo vlivem psychického stavu operátora na měření.

Práce má za cíl z naměřených dat zjistit, jak velký může být vliv operátorů při měření, pokud se jedná o operátory s odlišnými zkušenostmi. Pomocí metody založené na průměru a rozpětí a vypočítání opakovatelnosti a reprodukovatelnosti vyhodnocují naměřená data a odhalují možné příčiny variability při měření. To vše je také graficky zpracováno, zhodnoceno a okomentováno v závěru.

# 1 Metrologie

V českých zemích se o pojmu metrologie začalo hovořit již od roku 1268. V tuto dobu totiž nařídil Přemysl Otakar II. tzv. obnovení měr a vah, jež mělo za cíl metrologické sjednocení. Od té doby se metrologie stala součástí našich každodenních životů. Dřevěné latě nebo třeba kávu nakupujeme podle velikosti a váhy. Snad každý má doma elektroměr či vodoměr, jež měří naši spotřebu, která se následně promítne na našem bankovním účtu. [1] [2] [3]

Metrologie je tedy vědní a technický obor zabývající se veškerými poznatky a činnostmi týkajícími se měření. Je stavebním kamenem jednotného a přesného měření v oblastech vědy, průmyslu, hospodářství, ochrany zdraví a životního prostředí.

Metrologie plní tři hlavní úkoly. Jedním z nich je definice mezinárodně uznávaných jednotek měření. Takovou jednotkou je například metr. Dalším úkolem je samotná realizace jednotek měření. K tomu se využívají vědecké metody, jako je například realizace metru s využitím laserových paprsků. Posledním z úkolů je vytváření dokumentace o zjištěných hodnotách, přesnosti měření a přenosu těchto údajů. Příkladem může být dokumentovaný vztah mezi mikrometrickým šroubem určeným do provozu přesného strojírenství a primární laboratoří metrologie optické délky.

Tento vědní obor taktéž představuje každodenní zkoumání, organizaci a využití různých metod, díky kterým můžeme shromažďovat informace z okolního světa. [1] [4] [5]

Podle řešených problémů lze metrologii členit do několika skupin:

- a) **Vědecká metrologie** se zabývá teoretickými otázkami měření (např. teorie fyzikálních veličin) a organizací a vývojem etalonů a jejich udržováním.
- b) **Průmyslová metrologie** slouží k zajištění fungování měřidel používaných v průmyslu a ve výrobních a zkušebních procesech. Dále také k zabezpečení jednotnosti a přesnosti měření a následné jakosti výroby.
- c) **Obecná metrologie** řeší problémy, které jsou společné pro všechny obory měření, bez ohledu na jednotlivé měřené veličiny (např. soustava SI, problémy chyb a nejistot měření, zpracování a posuzování výsledků, hodnocení způsobilosti měřidel, obecné vlastnosti měřících prostředků).
- d) **Legální metrologie** souvisí s legálními aspekty metrologického charakteru. Zajišťuje měrový pořádek tím, že vyhláší měřicí jednotky, stanovuje měřicí

metody a příslušný dohled. To vše provádí pomocí měřicích předpisů právně-technického charakteru.

- e) **Státní metrologie** je zajišťována státními úřady.
- f) **Podniková metrologie** se zabývá problémy a jejich řešením v organizacích. Řeší zabezpečování metrologického pořádku v konkrétních podmínkách podniku v rámci jeho systému kvality. [1] [5]

V dnešní době je vysoká úroveň metrologické služby podmínkou k fungování všech moderních systémů. U každé náročnější technologie tedy platí, že to, co nelze změřit, nelze ani vyrobit. Jedna z metod vycházejících z metrologie je i metoda MSA, jež by se dala zařadit do obecné metrologie a kterou se budu v této práci dále zabývat. [4]

## 2 QS-9000

QS-9000 je oborová norma amerického automobilového průmyslu, jejímž požadavkům musí vyhovět každý dodavatel automobilového průmyslu. Norma byla vydána v roce 1994 automobilkami General Motors, Chrysler a Ford, jinak také známých jako Velká trojka. Vydána byla pod hlavičkou AIAG (Automotive Industry Action Group), která normu zpracovává, distribuuje, zajišťuje školení pro certifikaci a vydává další manuály kvality. Norma obsahuje požadavky na zavádění nových výrobků, způsobilost procesů, neustálé zlepšování a schvalování výrobků zákazníkem. Využívá pět základních nástrojů, jež jsou popsány níže. [6] [7]

### **PPAP** (Production Part Approval Process)

Metodu PPAP lze přeložit jako proces schvalování dílů do sériové výroby. Tato metoda se používá pro nastavení procesů schvalování dílů určených k výrobě. Slouží k dokázání toho, že firma správně rozumí všem konstrukčním požadavkům dle výrobní dokumentace. Dále prokazuje porozumění firmy specifikacím zákazníka a schopnost firmy výrobek vyrábět trvale podle všech těchto požadavků. Metoda PPAP se používá na všech místech firmy, které dodávají výrobní díly. [6]

### **SPC** (Statistical Process Control)

Tato metoda využívá ke sběru dat sledování výrobního procesu. Údaje o kvalitě a měření se shromažďují ve formě statistických dat za pomoci různých přístrojů. Tato data se následně používají k vyhodnocování, monitorování nebo řízení procesu. SPC je efektivní metoda pro neustálé zlepšování procesů, které díky tomuto nástroji mohou fungovat na maximum. [8]

### **FMEA** (Failure Mode and Effect Analysis)

Třetím nástrojem je v překladu analýza možných vad a jejich následků. Cílem této tzv. preventivní metody je včasné identifikování možných poruch, chyb či vad, které mohou ovlivnit výslednou kvalitu nebo bezpečnost celého systému. Metoda byla vyvinuta v 60. letech minulého století během vesmírného programu APOLLO společnosti NASA. První civilní využití proběhlo ve společnosti Ford kvůli špatné kvalitě projektu Ford Pinto. Metoda FMEA se nejčastěji používá ve výrobě, ale díky její univerzálnosti se pro ni nachází uplatnění v řadě dalších oblastí. Stavebním kamenem

metody je velká zkušenost operátorů s analyzovaným systémem, proto je doporučeno skládat tým z více lidí, aby se jejich znalosti a zkušenosti vzájemně vykrývaly. [6]

#### **APQP** (Advanced Product Quality Planning)

Metoda APQP představuje jasně definovaný strukturovaný postup plánování kvality. Ten vede k zajištění kvality produktu, kterou požaduje zákazník. Základní strategií APQP je požadavek, aby kvalita byla už od začátku vývoje součástí návrhů. Nesmí se tak stát, že bude metoda použita až při testování hotového výrobku. [9]

#### **MSA** (Measurement Systems Analysis)

Posledním nástrojem je metoda MSA. Je to analytická technika pro posuzování systému měření. Díky své praktičnosti a univerzálnosti se používá v mnoha odvětvích. Tato metoda a její souvislosti budou dále zpracovávány v následujících kapitolách. [6]

### 3 Operátor

Člověk je jedním z nejslabších článků v systému měření a může v něm působit ve dvou základních pozicích:

- a) Operátor – zadavatel je člověk, který definuje cíl, ovlivňuje výběr měřidla, určuje měřený objekt a pravděpodobně bude s naměřenými hodnotami dále pracovat. Nemůže si dovolit vytvořit špatné či neúplné zadání, jež by vedlo k nesprávným či plně nevyužitelným výsledkům. Zadavatel nemusí být vždy konkrétní člověk. Je obvyklé, že zadání je dlouhodobé a dané písemně nebo odkazem na platné legislativní podklady. Dalším úkolem zadavatele je definice vlastností, parametrů nastavení, uživatelského komfortu, kvality počítačových systémů měření a zpracování. Aby se minimalizoval vliv zadavatele, je potřeba:
  - přesně definovat cíle měření,
  - využívat platné normy nebo jiné obecné předpisy,
  - konzultovat možné problémy v týmu řešitelů,
  - uváženě a s výhledem do budoucna volit parametry, dodavatele a způsob aplikace počítačových systémů.
- b) Operátor – řešitel je člověk, který měření konkrétně provádí. Měření je často skupinová práce, proto by mohlo být hovořeno o skupině operátorů. Je-li měření a zpracování signálu prováděno počítačovým systémem, lze podíl operátora vidět především v kvalitě nastavení, kontrole systému a formě komunikace s dodavatelem systému. Aby se minimalizoval vliv operátora, je nutné:
  - řádně jej zaškolit a neustále vzdělávat v dané problematice,
  - dokonale jej naučit pracovat s měřidlem nebo počítačovým systémem,
  - dbát na jeho bezpečnost a vytvořit mu odpovídající podmínky vhodné pro měření,
  - respektovat jeho pozici v týmu a klást důraz na jeho připomínky,
  - motivovat ho,
  - ochránit jej před stresem a neobtěžovat ho jinými úkoly, které nesouvisí s měřením,
  - poznat jeho vlastnosti a plně je využít.

Operátoři při využívání metody MSA hrají velkou roli. O tom pojednává kapitola *Realizace metody založené na průměru a rozpětí*, která je popisována v této práci. [10]

## 4 Ergonomie

Název ergonomie vznikl z řeckých slov ergon (práce) a nomos (zákon). Jedná se o multidisciplinární obor zabývající se vztahy mezi člověkem, jeho činností a ostatními prvky prostředí, s cílem optimalizovat pracovní pohodu člověka, zvyšovat efektivnost lidské činnosti a předcházet riziku poškození zdraví. Uplatňují se zde vědní obory, jako je fyziologie práce, biomechanika, antropologie, psychologie, bezpečnost práce a společensko-ekonomické obory.

Cílem ergonomie je humanizace techniky, zvyšování efektivnosti a spolehlivosti člověka při práci, racionalizace pracovních podmínek, ochrana zdraví člověka a navrhování pracovních nástrojů, pomůcek, zařízení, předmětů tak, aby co nejvíce vyhovovaly a odpovídaly kapacitám fyzického a psychického výkonu člověka, a také rozměrům lidského těla. [11] [12]

### 4.1 Systém Č-S (T)-P

Pracovní systém je utvářen třemi základními složkami: člověk, stroj (technika) a pracovní prostředí. Skládá se z jednoho nebo více pracovníků a pracovního vybavení, jež spolupůsobí při výkonu práce v pracovním prostředí za podmínek daných pracovními úkoly. [11] [12]

#### Člověk

- Tvoří pracovní systém,
- je nejslabším článkem pracovního systému,
- limituje výslednou výkonnost pracovního systému,
- je hodnocen podle výkonnostní kapacity (senzorické, mentální, motorické), osobní stability a adaptační schopnosti,
- realizuje na pracovišti za pomoci pracovního vybavení v daném prostředí pracovní úkoly.

#### Stroj (Technika)

- Je součástí pracovního vybavení,
- ovlivňuje způsob a náročnost vykonávané práce člověkem a její výsledek dle své technické úrovně a vhodnosti použití.



## Pracovní prostředí

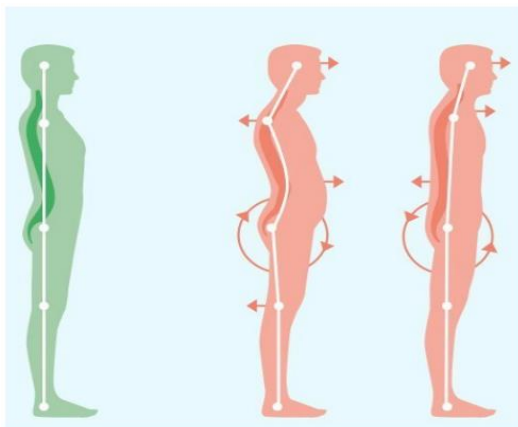
- Dělí se na prostředí fyzikální, chemické, biologické, organizační, sociální a kulturní,
- je vázáno na pracovní prostor, jenž bývá přidělený jedné nebo více osobám,
- pozitivním (světlo, mikroklima) či negativním (hluk, prach, škodlivé záření, vibrace atd.) působením ovlivňuje výsledky pracovního úkolu. [12]

## 4.2 Podmínky práce při měření

### 4.2.1 Člověk

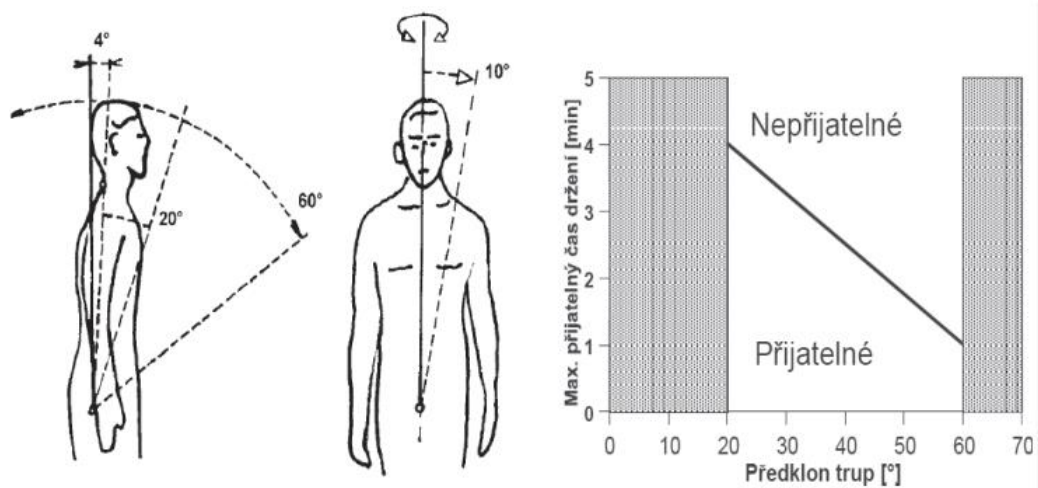
#### Držení těla – neutrální pozice

Neutrální pozicí těla se dá nazvat optimální poloha těla nebo jeho jednotlivých částí, kdy se naše tělo nachází vestoje, vsedě či při výkonu pracovní činnosti. Díky tomuto přirozenému postavení naše vazy, šlachy, svaly a klouby podléhají nejmenšímu zatížení a napětí způsobenému gravitací. Těžiště těla se nachází v optimální pohybové zóně, a proto umožňuje maximální kontrolu pohybu a tvorbu síly. Pokud se těžiště těla a pracovní poloha nacházejí mimo optimální zónu a my nejsme schopni udržet tělo v neutrálním postavení, dochází ke zvýšené zátěži pohybového aparátu a přepínání určitých částí těla. Při dlouhodobém působení negativních účinků vzniklých přetěžováním je tělo nuceno vytvářet nepřírozené kompenzační mechanismy. To má za následek snižování efektivnosti a výkonnosti pohybu. Dále se zvyšuje úroveň přetížení a zvyšuje se riziko zranění nebo poškození zdraví. Na následujícím obrázku lze vidět na levé straně neutrální pozice těla a na pravé straně případy špatného, a tedy rizikového držení těla. [13]

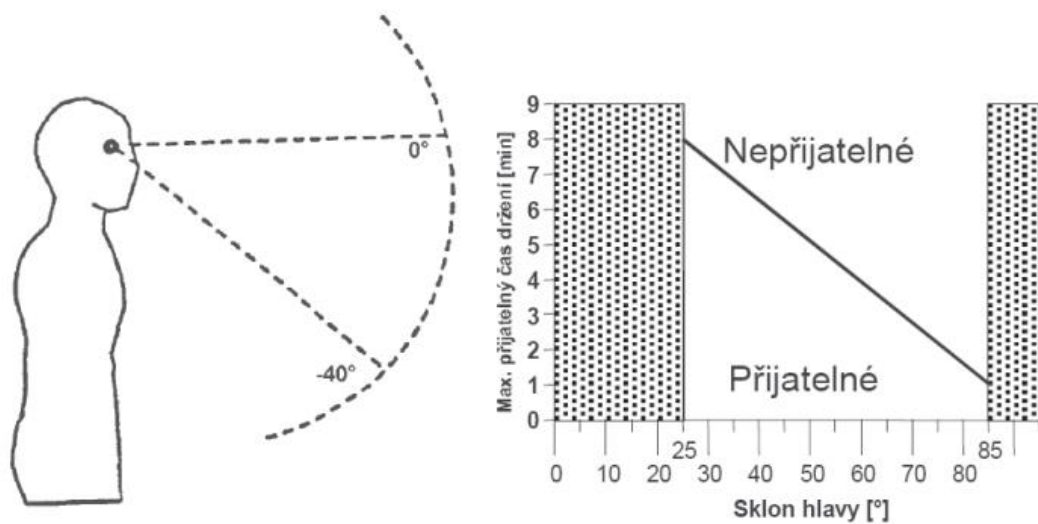


Obrázek 1 - Ukázka správného a špatného držení těla [13]

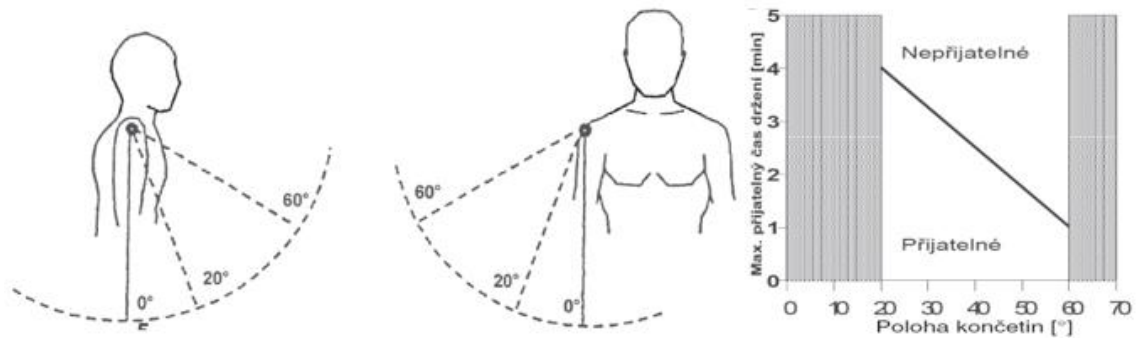
Nepřetržitou práci vestoje nebo vsedě lze nazvat prací v nucené poloze. Tyto pozice se v ergonomii nazývají jako fyziologicky nepříznivé polohy. Mají za následek nadměrné zatížení některých částí těla vlivem statického namáhání svalů, trvalého tlaku, tření, natažení atd. Nejčastějšími zdravotními problémy při pracovních činnostech v nucené poloze jsou oteklá chodidla a vznik křečových žil. Z toho důvodu jsou zavedeny maximální časové hodnoty držení částí těla viz *Obrázek 2*, *Obrázek 3* a *Obrázek 4*. [14]



*Obrázek 2 - Optimální poloha trupu při práci [14]*



*Obrázek 3 - Optimální sklon hlavy [14]*



Obrázek 4 - Optimální polohy horních končetin [14]

### Komfortní – silová zóna

Komfortní – silová zóna se nachází co nejbližee tělu a slouží pro zvedání a manipulaci břemen. Jedná se přibližně o prostor od poloviny stehen k hrudníku viz *Obrázek 5*. V tomto rozmezí lze správně využívat sílu svalu paže a tělo se nachází v neutrální pozici. Díky tomu zvládnou záda a paže manipulovat s největší zátěží při nejmenším úsilí. V rozsahu komfortní zóny umožní výkon pracovních činností optimalizovat výkon práce, zvýšit efektivnost pracovní činnosti a významně také přispívá k udržení správného postoje, pohybového stereotypu a eliminaci přetížení spojeného s případnými zdravotními obtížemi pohybového aparátu. [13]



Obrázek 5 – Komfortní – silová zóna [13]

### Počet opakovaných pohybů

Opakovaný pohyb se řadí do jednoho z hlavních ergonomických rizikových faktorů. Mnoho pracovních úkonů a činností se při výkonu práce opakuje. Za opakující se činnost s vysokou intenzitou je z obecného hlediska možné považovat takovou činnost, u níž je

cyklus opakování kratší než 30 sekund. Jako příklad lze uvést tzv. pásovou výrobu, kde je tento trend nejvíce patrný. Počet opakovaných operací za jednu pracovní směnu se zde pohybuje v řádech stovek cyklů.

Vysoký počet opakování jednotlivých činností, nepřírozená poloha těla či používání nadměrné síly výrazně přispívají ke zvýšení celkové tělesné zátěže, únavy a přetížení. Proto je nutné používat vhodné pracovní pomůcky, držet správné postavení těla a pokud je to možné, zavést střídání pracovních činností nebo pracovní přestávky viz následující kapitola. [13]

### **Střídání výkonu různých činností, změna pohybu nebo protažení**

Lidský nervosvalový systém je kvůli evolučnímu vývoji nastaven především pro chůzi a pohyb. Proto je lidskému tělu přirozená jakákoliv forma pohybu, jež má vliv na celkové postavení těla, chůzi, výkonnost srdce a cév, funkci plic, činnost vnitřních orgánů, regeneraci, činnost mozkových center a psychiku. V případě omezení pohybu, sezení či stání na jednom místě, tedy práce vykonávané v pozici s omezenou hybností nebo s jednostranným zatížením určitých částí těla způsobuje únavu, snížení výkonnosti kognitivních funkcí mozku a nepozornost. Při delším působení může omezení pohybu zapříčinit zdravotní a fyziologické obtíže. Je proto důležité, aby operátoři měli možnost se uvolnit a protáhnout nadměrně zatěžované partie, ale i celé tělo a zachovat tak přirozenou možnost pohybu. Dále je potřebné zajistit střídání různých pracovních činností, které cíleně zatíží také jiné části těla. [13]

### **Psychická zátěž**

V pracovních systémech jsou na člověka kladeny čím dál větší požadavky způsobené moderními technologiemi a mentální dynamikou práce. To velice často vyvolává psychickou zátěž jednotlivce. Rozlišujeme několik druhů pracovní zátěže, které vyplývají například z činnosti periferních smyslových orgánů, z vysokých nároků na pozornost, paměť, rozhodování a z požadavků, jež vyvolávají afektivní odpověď. Celkový psychický stav člověka však není ovlivňován pouze pracovními faktory, ale i faktory z běžného života – příkladem je smrt partnera, rozvod, nemoc nebo ztráta práce. Proto je dobré zavést preventivní opatření k odstranění stresu a zajištění duševní pohody pracovníka. Využívá se například zhodnocování zátěžové situace a vytvoření opatření na odstranění těžkostí, naaranžování situace a její zmanipulování tak, aby se nevyskytly

ohrožující jevy a v neposlední řadě je možná také motivace (ústní pochvala, peněžitá odměna, materiální odměna, navýšení dnů dovolené atd.). [14]

## **4.2.2 Technika**

### **Minimalizace bodového zatížení**

Při práci se nevyhneme použití ručního náradí, například posuvného měřidla, mikrometru, kleští, nůžek, šroubováku a jiných. Všechny tyto nástroje při styku s plochou dlaně nebo prsty ruky vytvářejí vysoké kontaktní napětí. To může být způsobeno vlivem tlaku hran, různými výstupky, povrchem drženého předmětu, poškozením nástroje či častým třením povrchu předmětu o citlivou tkáň ruky. Lokální působení vzniklého tlaku na velmi malou oblast těla při používání těchto nástrojů může způsobovat změnu prokrvení jemných tkání a kvality nervových spojení a jejich funkcí nebo omezení pohybu šlach a svalů. K prevenci takovýchto obtíží a k eliminaci zatížení lze použít různé druhy přípravků či nástavců. Lze také navrhnout jiné technické řešení ke zlepšení pracovního výkonu. [13]

## **4.2.3 Pracovní prostředí**

### **Správné osvětlení**

Vhodné osvětlení je jedním ze základních požadavků tvorby zdravého pracoviště, pracovního výkonu a efektivnosti práce. Je taktéž nutnou podmínkou pro správnou orientaci pracovníka v prostoru a jeho bezúrazový děj. Osvětlení by se dalo rozdělit na přirozené a umělé, ale zpravidla bývá kombinované. Minimální hodnota umělého osvětlení je 300 luxů pro pracovní prostory s trvalým výskytem pracovníků. V mnoha případech, kde je osvětlení nevhodné nebo špatné, vzniká pracovní diskomfort, který ovlivňuje celkovou pracovní výkonnost a efektivitu práce. Nevhodná intenzita světla či jeho nevhodná barva (teplota chromatičnosti světla) má za následek zhoršení smyslového vnímání pracovníků, schopnosti odhadu vzdálenosti a provádění různých pohybů včetně chůze a v neposlední řadě i snížení koncentrace. V interiéru pracoviště je vhodné volit barvu lidskému oku nejšetrnější, například žlutozelenou barvu, jež se promítá přímo na sítnici. Červené a modré světlo o stejné intenzitě jako žlutozelené světlo člověk postřehne mnohem obtížněji, a proto rychleji ztrácí koncentraci a snižuje se jeho produktivita. Tento problém s osvětlením se týká mnoha různých oblastí, jako je výroba, manipulace s materiálem, řízení vozidel nebo kancelářské a administrativní práce.

V následující tabulce jsou rozděleny činnosti podle náročnosti a kontrastu a k nim přiřazené požadavky na zrakový výkon a osvětlenost. [13] [14] [15]

Tabulka 1 - Vztah mezi činnostmi, požadavky na zrakový výkon, kontrastem a osvětleností [14]

Činnost	Požadavky na zrakový výkon	Kontrast	Osvětlenost (lx)
<b>Mimořádně jemné práce</b> – montážní práce a výroba (např. měřicích přístrojů), hodinářství, mimořádně jemné zámečnické práce, klenotnictví, restaurátorské práce apod.	velké	malý střední velký	5000 3000 2000
<b>Středně jemné práce</b> – strojní obrábění, řezání, pilování, broušení, zámečnické práce, opravy automobilů, svařování, náročné balení a třídění, středně náročná kontrola výrobků apod.	průměrné	malý střední velký	500 300 200
<b>Hrubé práce</b> – manipulace s materiálem (břemeny), např. zámečnické, instalátorské, hrubé nýtování, nenáročné svařování, hrubá kontrola chodu dopravníků.	malé	malý střední velký	200 150 100

## Mikroklima

Mikroklimatické podmínky pracovišť jsou určovány celkovými klimatickými podmínkami. Pokud nejsou vnitřní prostory od vnějšího prostředí odděleny vzduchotechnikou se zabráněním přirozeného větrání, je jejich vliv velmi výrazný. Vhodné mikroklima na pracovišti vytváří pocit pohody a ovlivňuje kvalitu a včasnost odváděné práce. Zvedá se tak její efektivnost a celková produktivita.

Vzduchotechnika však není jednoznačným optimálním řešením oddělení mezi klimatem venku a mikroklimatem uvnitř budovy. Nese s sebou více potenciálních technických problémů a nároků na provoz a údržbu. Zaměstnanci si v takových prostorách stěžují na zdravotní problémy spojené s dýchacím ústrojím či psychickými poruchami. Světová zdravotnická organizace udává, že v roce 1984 trpělo cca 30 % lidí ve vyspělých zemích syndromem nezdravých budov. Později v roce 2002 to dle průzkumu bylo cca 60 %. Ve vyspělých zemích ubývá staveb s velkoplošnými formáty, zatímco v České republice je to trend, který je navíc doplněn o prosklené fasády. Tato řešení značně zhoršují optimální mikroklima uvnitř pracovních prostorů. [15]

## **Teplota a vlhkost**

Pocitová teplota prostředí je ovlivňována vlhkostí vzduchu, která se vyskytuje v rozmezí 30-70 %. Ve vytápěných místnostech v zimě vlhkost klesá i pod 20 %, proto musí být pomocí vzduchotechniky přiváděn vlhký vzduch nepřekračující 40 %. Čím je vlhkost větší, tím je teplota okolí nesnesitelnější. Vysoké teploty jsou příčinou nadměrné únavy, snížení produktivity, přesnosti, kvality práce a nesoustředěnosti vedoucí až k nebezpečným úrazům. Bylo prokázáno, že při zvýšení teploty z 24 °C o 1 °C se sníží pracovní výkon o 4 %. V dalším pokusu byla produktivita vyjádřena jako 100% při teplotě 22 °C. Při zvýšení na 27 °C poklesla o 25 % a při zvýšení na 30 °C byla produktivita pouhých 50 %. [15]

## 5 MSA

Metoda MSA neboli analýza systému měření je kritickým nástrojem využívaným pro pochopení schopností jakéhokoliv systému používaného k měření dílu. Používá se tedy k hodnocení samotného měřidla, ale také k posouzení celého systému měření. Metoda cílí na analýzu možných chyb v celém měřicím procesu, protože vychází z předpokladu, že pro správné měření nestačí pouze přesné měřidlo, ale je nutné se zaměřit i na jiné faktory a hodnotit systém měření jako celek. Cílem analýzy je zjistit, jaké faktory mají vliv na variabilitu výsledků měření (například vliv operátora). [16]

Posuzování procesů je prováděno na základě kvantitativních dat zjištěných při měření. Analýza systému měření má několik společných vlastností pro všechny měřicí systémy:

- měřicí systém musí být stabilní, což znamená, že v procesu působí jen náhodné příčiny,
- variabilita systému měření musí být menší než variabilita výrobního procesu a specifikovaná tolerance, jinak by měření nemělo smysl,
- jednotlivá měření postupují v menších krocích v porovnání s variabilitou výrobního procesu a specifikovanou tolerancí, krok měření by teoreticky neměl být větší než jedna desetina z menší hodnoty variability výrobního procesu a technické tolerance,
- statistické vlastnosti měřicího systému se mohou měnit v závislosti na vlastnostech měřené součásti, stále však musí platit druhý bod uvedený výše, tj. variabilita systému měření musí být menší než variabilita výrobního procesu a specifikované tolerance. [5]

Základní kroky metody MSA:

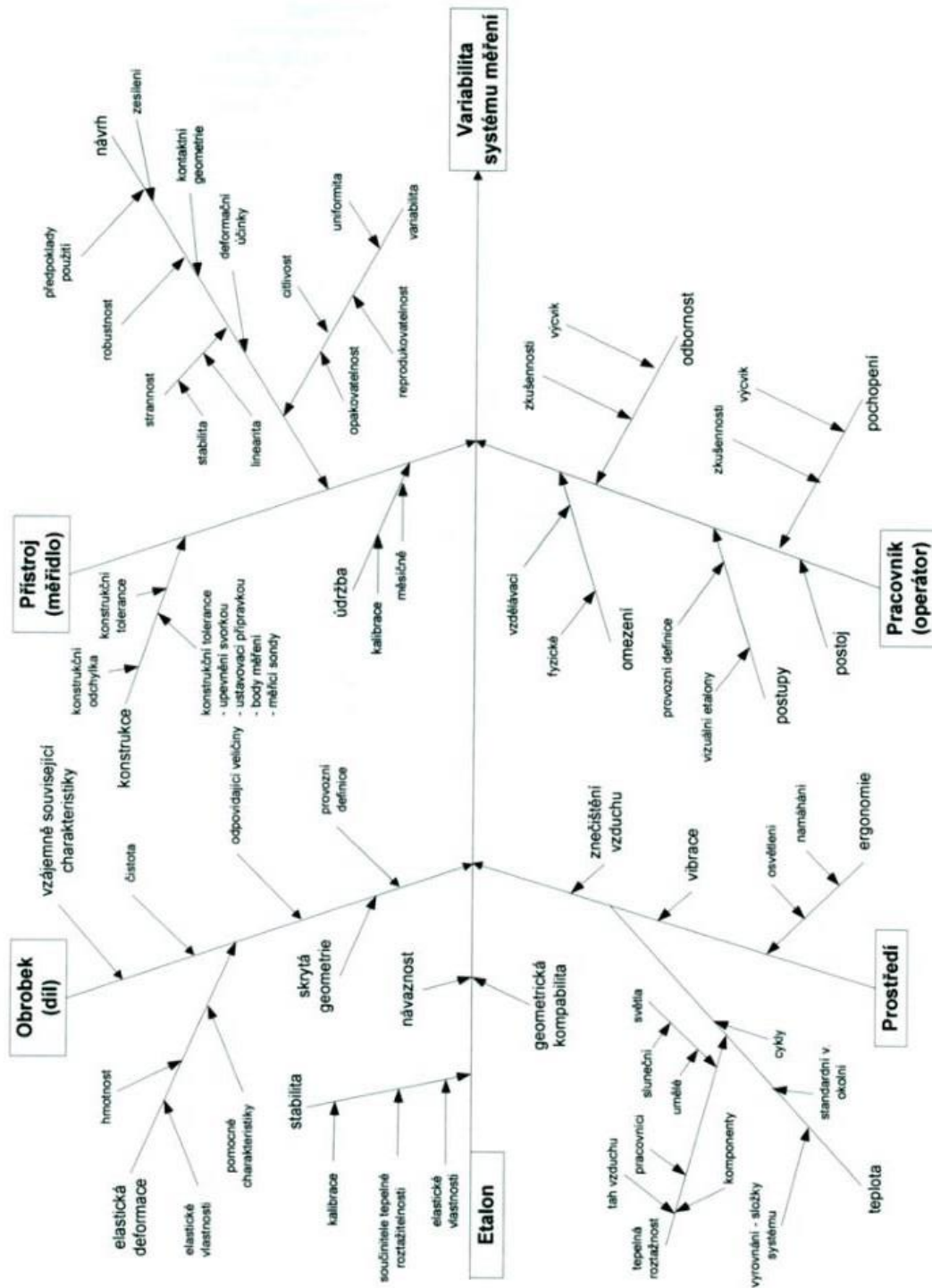
- stanovit způsobilost systému měření,
- stanovit zdroje variability systému měření,
- vyobrazit zdroje variability statistickými a metrologickými veličinami,
- vygenerovat potřebné informace o systému měření. [6]

### 5.1 Zdroje variability – systém měření

Systém měření je ovlivněn náhodnými i systematickými zdroji variability. Tyto zdroje jsou způsobeny různými příčinami, a proto se je pro řízení variability systému měření snažíme identifikovat, eliminovat, nebo alespoň monitorovat. Ačkoli velké množství



příčin obvykle závisí na dané situaci, lze obecně identifikovat některé typické zdroje variability systému měření. Na následujícím obrázku lze vidět diagram příčin a následků, který uvádí možné zdroje variability, jako jsou obrobek, přístroj, prostředí, operátor a pojmy s nimi spjaté. [17]



Obrázek 6 - Diagram příčin a následků variability systému měření [18]

## 5.2 Variabilita procesu měření

Předpoklad standardních metod analýzy systému měření je normální rozdělení pravděpodobnosti, které u většiny procesů popisuje celkovou variabilitu měření. Ve skutečnosti existují systémy měření, jež nelze popsat normálním rozdělením. V takové situaci, pokud se normalita předpokládá, může metoda MSA nadhodnotit chybu systému měření. Tento problém musí odhalit a opravit operátor provádějící měření. V následující části budou popsány variability polohy, šíře a systému měření. [17]

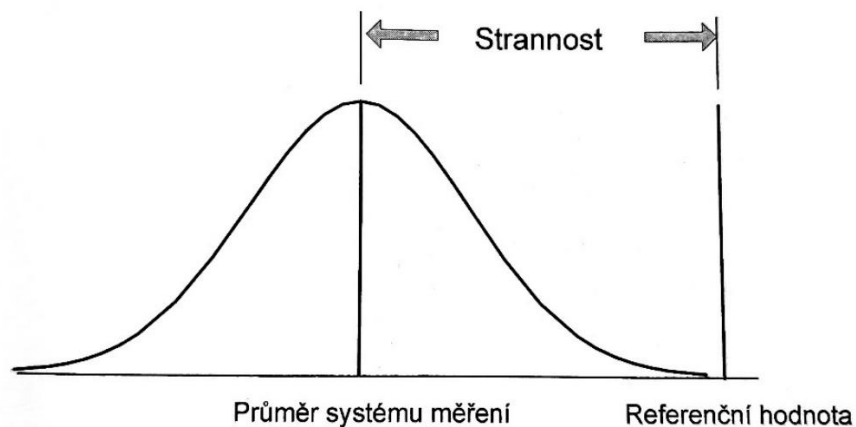
### 5.2.1 Variabilita polohy

#### Přesnost

Pojem přesnost popisuje těsnost shody mezi průměrnou hodnotou jednoho nebo více naměřených výsledků a referenční hodnotou. Proces měření musí být prováděn ve statisticky zvládnutém stavu, jinak tento proces nemá žádný význam. V některých organizacích se přesnost zaměřuje se stranností. Proto ASTM (Americká společnost pro zkoušení a materiály) doporučuje, aby se jako deskriptor chyby polohy používal pouze pojem strannost. Tento termín bude používán dále v tomto textu. [5] [17]

#### Strannost

Jak bylo zmíněno výše, strannost je často chápána také jako přesnost. To se ovšem nedoporučuje, protože přesnost má v literatuře několik významů. Strannost je rozdíl mezi referenční hodnotou (pravou hodnotou) a pozorovanou průměrnou hodnotou měření, které bylo provedeno u stejné charakteristiky na stejném dílu. Strannost dle MSA představuje celkovou systematickou chybu systému měření. [5] [17]



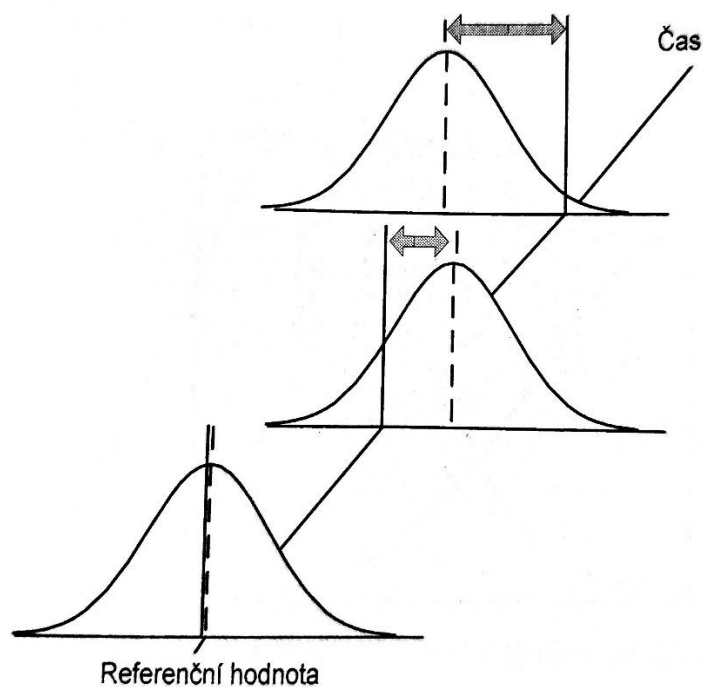
Obrázek 7 - Strannost měření [17]

Možné příčiny nadměrné strannosti:

- přístroj je nutné kalibrovat,
- opotřebené zařízení, přípravek nebo přístroj,
- poškozený či opotřebený hlavní etalon,
- špatné používání kalibru nebo hlavního etalonu,
- nedostatečná kvalita přístroje,
- chyba linearity,
- chybně zvolené měřidlo pro danou aplikaci,
- nesprávně provedená metoda měření – nastavení, zatížení, technika, upevnění,
- deformace měřidla či dílu,
- měření nesprávné charakteristiky,
- prostředí – čistota, teplota, vlhkost, vibrace,
- neodbornost obsluhy. [17]

## Stabilita

Stabilita je charakterizována jako celková variabilita výsledků měření získaných měřicím systémem při měření jedné charakteristiky na stejném hlavním etalonu nebo na stejných dílech v dostatečně dlouhém časovém úseku. Dá se tedy říct, že stabilita je změna strannosti za delší časový interval. [5] [17]



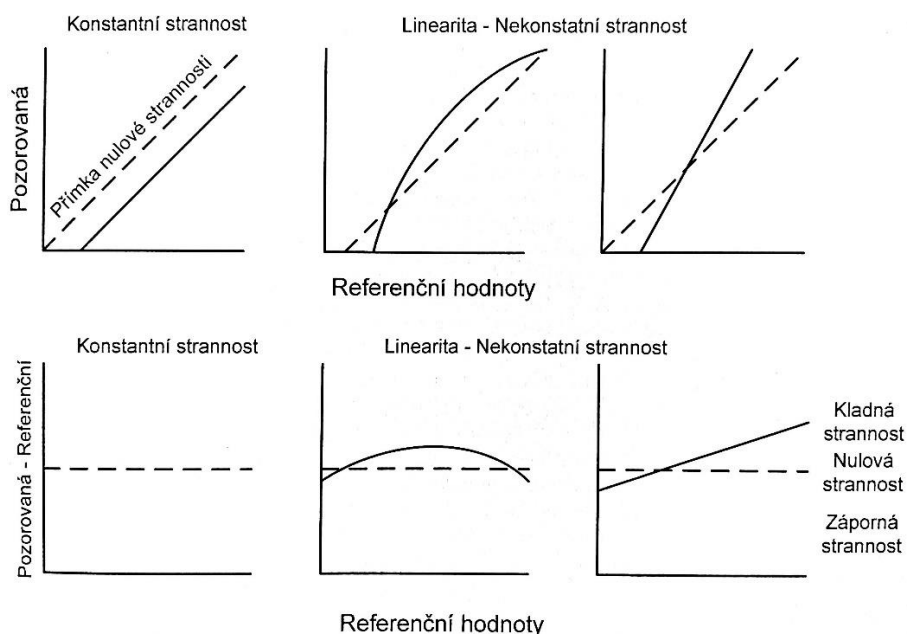
Obrázek 8 - Stabilita měření [17]

Možné příčiny nestability:

- dlouhé intervaly mezi kalibracemi,
- opotřebené zařízení, přípravek nebo přístroj,
- stárnutí materiálu,
- špatná údržba – hydraulika, filtry, koroze, energie, ovzduší,
- poškozený či opotřebený hlavní etalon,
- špatné používání kalibru nebo hlavního etalonu,
- nedostatečná kvalita přístroje,
- návrh přístroje postrádá robustnost,
- nesprávně provedená metoda měření – nastavení, zatížení, technika, upevnění,
- deformace měřidla či dílu,
- variabilita prostředí,
- neodbornost obsluhy. [17]

## Linearita

Rozdíl mezi hodnotami strannosti na pracovním rozsahu měřidla se nazývá linearita. Lze ji považovat za změnu strannosti vzhledem k velikosti. O linearitě měřicího systému můžeme v praxi hovořit tehdy, pokud je střední hodnota systematické chyby v každém místě pracovního rozsahu stejná. V případě odhadu linearity je nutné změřit minimálně 5 vzorků. V závislosti na rozptylu měřicího procesu jsou hodnoty měřené veličiny rozloženy v celém pracovním rozsahu měřidla. [5] [17]



Obrázek 9 - Linearita měření [17]

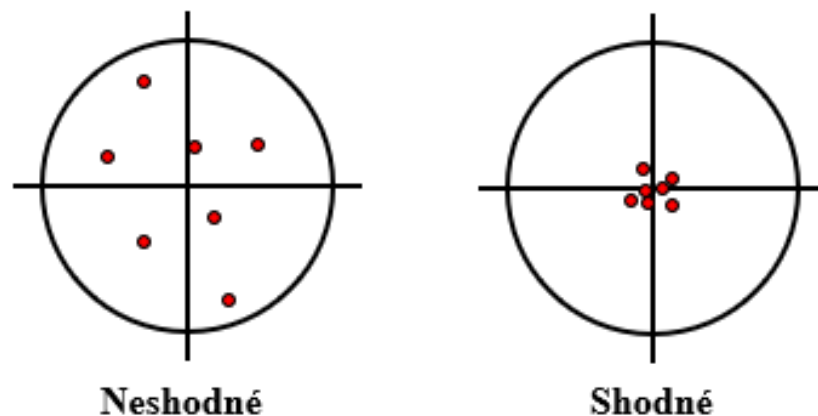
Možné příčiny chyby linearity:

- dlouhé intervaly mezi kalibracemi,
- opotřebené zařízení, přípravek nebo přístroj,
- stárnutí materiálu,
- špatná údržba – hydraulika, filtry, koroze, energie, ovzduší,
- poškozený či opotřebený hlavní etalon,
- špatné používání kalibru nebo hlavního etalonu,
- nedostatečná kvalita přístroje,
- návrh přístroje postrádá robustnost,
- nesprávně provedená metoda měření – nastavení, zatížení, technika, upevnění,
- deformace měřidla či dílu,
- variabilita prostředí,
- neodbornost obsluhy. [17]

## 5.2.2 Variabilita šíře

### Shodnost

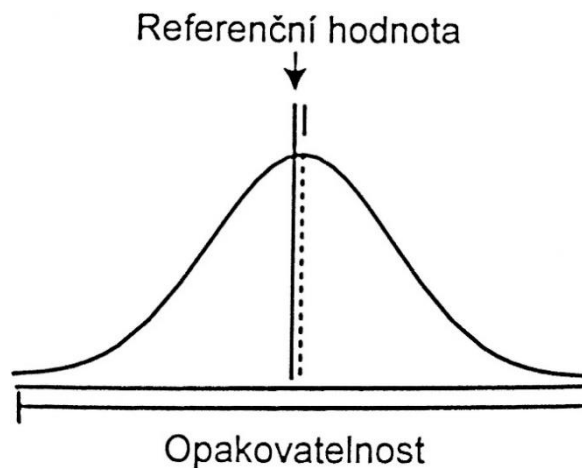
Shodnost zpravidla popisuje celkový účinek citlivosti, prahu citlivosti a opakovatelnosti v provozním rozsahu systému měření. Některé organizace zaměňují pojem shodnost s pojmem opakovatelnost. Ve skutečnosti je však shodnost používána k popisu očekávané variability opakovaných výsledků měření v daném měřicím rozsahu. Rozsahem může být velikost či čas (tj. „zařízení je stejně shodné v nízkém rozsahu jako ve vysokém rozsahu měření, nebo stejně shodné dnes jako včera“). [5] [17]



Obrázek 10 - Shodnost měření

## Opakovatelnost

Opakovatelnost, běžně označována také jako variabilita zařízení, je variabilita výsledků měření získaných jedním měřicím přístrojem za stejných podmínek, který byl několikrát použit jedním operátorem při měření stejné charakteristiky na identickém dílu v průběhu krátkého časového intervalu. Nejvhodnějším výrazem pro opakovatelnost je variabilita uvnitř systému, přičemž jsou stanoveny a definovány podmínky měření, jako je pevné stanovení dílu, etalonu, obsluhy, metody, přístroje a prostředí. [5] [17]

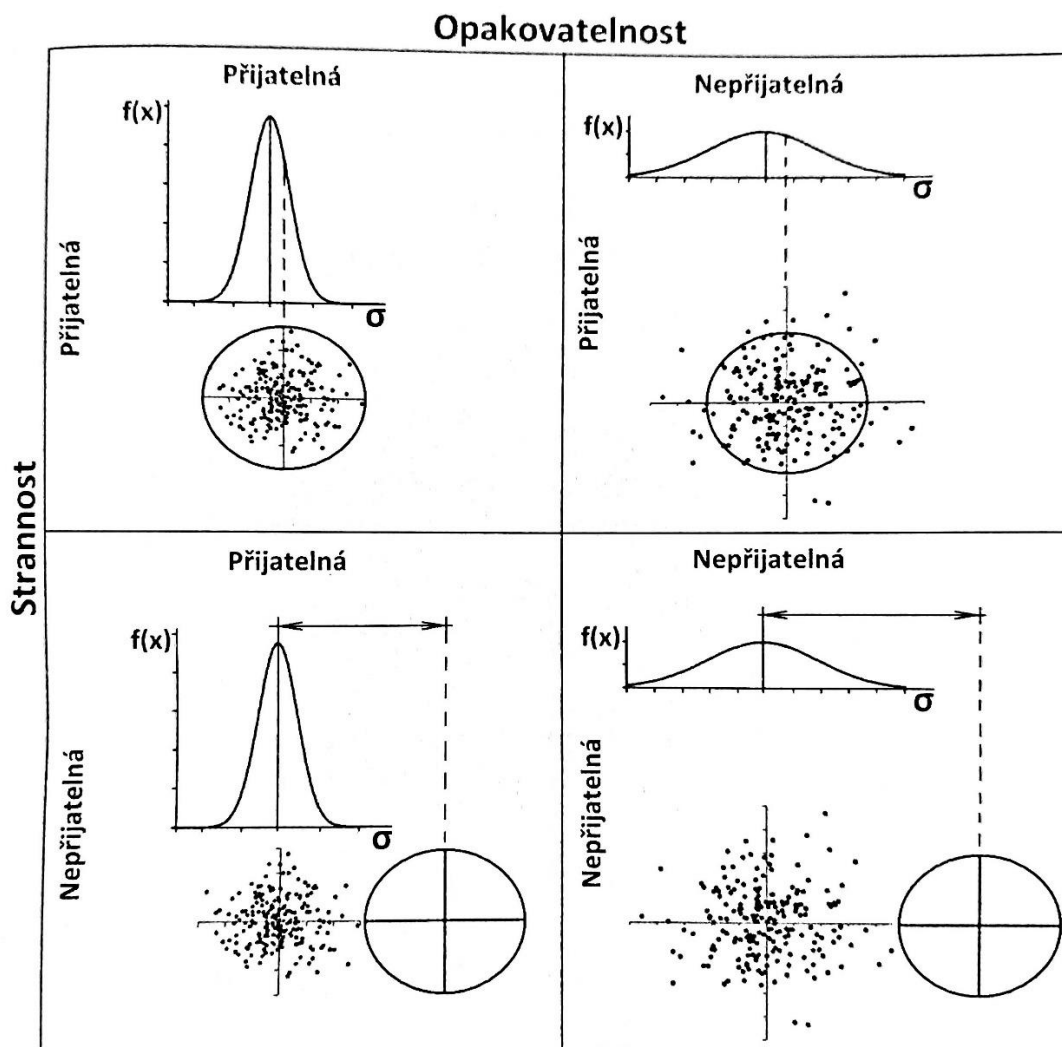


Obrázek 11 - Opakovatelnost měření [17]

Možné příčiny chybné opakovatelnosti:

- uvnitř dílu: poloha, povrchová úprava, zkosení nebo forma,
- uvnitř přístroje: opotřebení, poškození zařízení či přípravku, oprava, nedostačující kvalita nebo údržba,
- uvnitř etalonu: třída, kvalita, opotřebení,
- uvnitř metody: technika, proměnlivost nastavení, nulování, upnutí,
- uvnitř operátora: nedostatek zkušeností, poloha, technika, cit pro danou věc, únava, odbornost při manipulaci,
- uvnitř prostředí: vlhkost, krátkodobé výkyvy teplot, vibrace, špatné osvětlení, nečistota,
- porušení předpokladu stabilního a správného provozu,
- špatný návrh přístroje či metoda postrádající robustnost,
- nesprávně zvolené měřidlo pro danou aplikaci,
- deformace měřidla nebo dílu, nedostatečná pevnost. [17]

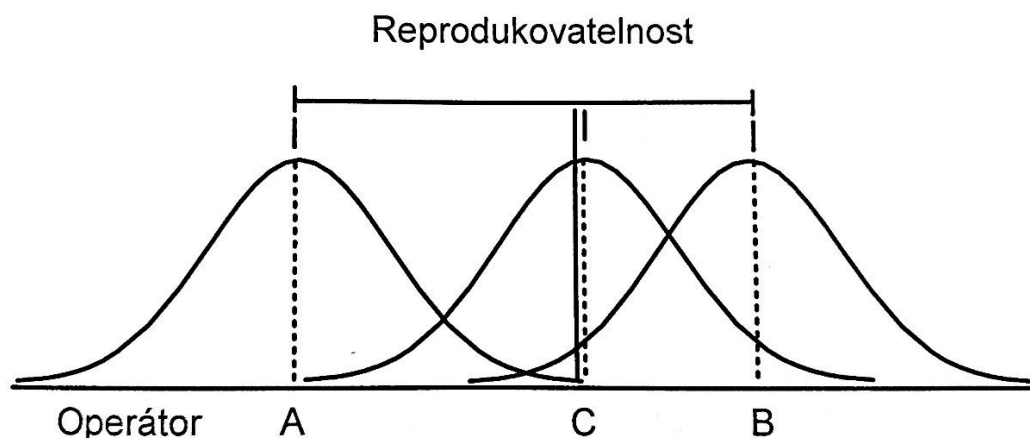
Na následujícím obrázku je vztah mezi opakovatelností a stranností, který pomocí schémat popisuje, kdy je opakovatelnost a strannost nepřijatelná a naopak.



Obrázek 12 - Vztah mezi opakovatelností a stranností [5]

## Reprodukovatelnost

Reprodukovatelnost, běžně také označovaná jako variabilita mezi operátory, je definována jako variabilita průměru měření prováděných různými operátory pomocí stejného měřicího přístroje při měření stejné charakteristiky na identickém dílu v krátkém časovém úseku. Předpokládá se, že se používají ruční přístroje ovlivněné odborností obsluhy, a ne automatizované systémy, u nichž operátor není hlavním zdrojem variability. Z tohoto důvodu lze reprodukovatelnost nazývat průměrnou variabilitou měření mezi systémy nebo mezi podmínkami měření. [5] [17]



*Obrázek 13 - Reprodukovatelnost měření [17]*

Potenciální zdroje chyby reprodukovatelnosti:

- mezi díly: průměrný rozdíl při měření typů dílů A, B, C za použití stejného přístroje, metody a obsluhy,
- mezi přístroji: průměrný rozdíl při použití různých přístrojů na stejných dílech, stejnou obsluhou a ve stejném prostředí,
- mezi etalony: průměrný vliv různých hlavních etalonů v procesu měření,
- mezi metodami: průměrný rozdíl vzniklý změnou bodových hustot, ručních proti automatizovaným systémům, způsoby uchycení nebo upevnění,
- mezi operátory: průměrný rozdíl mezi různými operátory, který je způsobený např. výcvikem, technikou, odborností a zkušenostmi,
- mezi prostředím: průměrný rozdíl u měření v čase 1, 2, 3, který je způsobený cykly prostředí,
- porušení předpokladu ve studii,
- návrh přístroje postrádá robustnost. [17]

### **Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla (GRR) [17]**

Opakovatelnost a reprodukovatelnost je rozptyl rovnající se součtu rozptylů uvnitř systému a mezi systémy. Lze jej také definovat jako odhad kombinované variability opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla. Pro výpočet *GRR* se používá následující vzorec:

$$\sigma_{GRR}^2 = \sigma_{opakovatelnost}^2 + \sigma_{reprodukovatelnost}^2 \quad (5.1)$$



## **Citlivost**

Citlivost lze popsat jako nejmenší vstup, jež způsobí použitelný výstupní signál. Jedná se o odezvu systému měření na změny měřené charakteristiky. Citlivost je určena návrhem měřidla, provozní údržbou a provozním stavem přístroje a etalonu. Vždy se udává jako jednotka měřené veličiny.

Faktory ovlivňující citlivost:

- odbornost a zkušenosti obsluhy,
- schopnost utlumit přístroj,
- opakovatelnost měřidla,
- okolní podmínky (ovzduší, nečistota, vlhkost). [17]

## **Konzistence**

Rozdíl variability měření prováděných v daném čase lze označit jako konzistenci. Může být také považována jako opakovatelnost v daném čase.

Faktory ovlivňující konzistenci:

- rozdílná teplota dílů,
- opotřebení měřicího zařízení,
- požadované zahřátí u elektronického přístroje. [17]

## **Uniformita**

Rozdíl variability v provozním rozsahu měřidla je označován jako uniformita. Může být také popisována jako stejnost opakovatelnosti vzhledem k velikosti.

Faktory ovlivňující uniformitu:

- nedostatečná čitelnost stupnice,
- paralaxa při čtení. [17]

### **5.2.3 Variabilita systému měření**

#### **Způsobilost [17]**

Odhadem kombinované variability náhodných a systematických chyb měření na základě krátkodobého hodnocení lze popsat jako způsobilost systému měření. Způsobilost měření zahrnuje několik složek, jako je nekorigovaná strannost nebo linearita. Dále pak

opakovatelnost a reprodukovatelnost včetně krátkodobé konzistence. Pro výpočet způsobilosti se používá následující vzorec:

$$\sigma_{\text{způsobilost}}^2 = \sigma_{\text{GRR}}^2 + \sigma_{\text{strannost (linearita)}}^2 \quad (5.2)$$

### **Výkonnost [17]**

Výkonnost systému měření je celkový účinek všech významných a stanovitelných zdrojů variability v daném čase. Vyjadřuje kvantitativně dlouhodobé posuzování kombinovaných chyb měření. Výkonnost zahrnuje několik složek, jako je stabilita, způsobilost a konzistence. Pomocí následujícího vztahu lze vypočítat výkonnost:

$$\sigma_{\text{výkonnost}}^2 = \sigma_{\text{stabilita}}^2 + \sigma_{\text{způsobilost}}^2 + \sigma_{\text{konzistence}}^2 \quad (5.3)$$

### **Nejistota měření**

Nejistota měření je kvantitativní pojem, jež charakterizuje rozsah hodnot, o kterém se s určitou pravděpodobností tvrdí, že uvnitř leží správná hodnota. Proto je nejistota neoddělitelnou součástí jakéhokoliv výsledku měření a obzvláště důležitá je v případech, kdy jsou výsledky měření vztaženy k nějaké mezní hodnotě. [19] [20]

Mírou nejistoty měření je směrodatná odchylka udávané veličiny. Takto vyjádřenou nejistotu lze označovat jako standardní nejistotu představující rozsah hodnot okolo naměřené veličiny. Standardní nejistoty jsou rozděleny na nejistoty typu A a typu B a udávají se buď samostatně bez znaménka, nebo za hodnotou výsledku, a to se znaménkem  $\pm$ . [10] [20]

Druhy nejistot měření jsou zařazeny do 4 skupin, které jsou popsány níže.

#### **Standardní nejistota typu A – $u_A$**

Nejistoty typu A jsou zapříčiněny náhodnými chybami, jejichž původ je všeobecně neznámý. Ke stanovení této nejistoty se využívá opakovaného měření stejné hodnoty měřené veličiny za stejných podmínek. Čím více se provede opakujících se měření, tím se nejistoty zmenšují. [10] [20]

#### **Standardní nejistota typu B – $u_B$**

Nejistoty typu B jsou zapříčiněny známými a odhadnutelnými příčinami vzniku. Určování této nejistoty, jež provádí zkušený experimentátor, nebývá vždy jednoduché. Při zvýšeném požadavku na přesnost a u složitých zařízení je zapotřebí provést podrobný

rozbor chyb. Výsledná nejistota typu B je dána sumací nejistot vycházejících z různých zdrojů, přičemž nezávisí na počtu opakovaných měření. [10] [20]

### **Kombinovaná standardní nejistota – $u_c$**

Hodnotí-li se výsledek pomocí kombinované standardní nejistoty, není potřeba rozlišovat nejistoty typu A a B. Jedná se totiž o jejich sumaci. Tato nejistota udává rozsah (interval), ve kterém se bude nejpravděpodobněji vyskytovat skutečná hodnota měřené veličiny. Proto se v praxi tato nejistota používá nejčastěji. [10] [20]

### **Rozšířená standardní nejistota – U**

Rozšířená standardní nejistota je používána v případě, kdy je nutné zajistit ještě větší pravděpodobnost správného výsledku měření. Pro zjištění této nejistoty se vynásobí kombinovaná nejistota příslušným koeficientem. [10] [20]

## **Chyby měření**

V praxi je měření ovlivňováno mnoha zdroji chyb, jako jsou například přístroje, metody, pozorování nebo vyhodnocení. Tyto chyby mohou zvětšit, či naopak zmenšit naměřenou hodnotu. Kalibrační laboratoře mají tedy za úkol zjistit množství těchto chyb a jejich velikost. Podle jejich působení lze chyby rozdělit na tři typy, a to chyby systematické, hrubé a náhodné. [10] [19]

### **Systematické chyby**

Systematické chyby mají poznatelnou příčinu, lze tak v systému měření označit konkrétní zdroj. Jedná se o stálé vlivy jak do velikosti, tak znaménkem. Jejich hodnota se ve stálých podmínkách nemění a pokud ano, mění se hodnota podle známé závislosti, lze je tedy vyčíslit. Pro zpracování chyb existují jednoznačné cesty, nelze je však charakterizovat na základě opakovaných měření. [10] [19]

### **Hrubé chyby**

Hrubé chyby jsou chyby nápadné svojí velikostí (přístroj ukazuje neobvykle vysokou, nízkou, nebo žádnou hodnotu) a mohou být doprovázeny dalšími negativními vlivy v systému měření (samovolné vypínání měřidla, jeho přehřívání, poškození či neobvyklé zvuky). Hrubé chyby jsou známkou selhání systému, a proto vyžadují zásadní zásah do systému měření. Je nutné měřidlo opravit, zkalibrovat, zkontrolovat nastavení a nalézt příčinu poruchy. Správně navržený a přezkoumaný systém by měl hrubou chybu vyloučit. [10] [19]

## **Náhodné chyby**

Pokud chyby nejde zařadit mezi hrubé nebo systematické, jedná se o chyby náhodné. Náhodné chyby nelze odhalit z hlediska konkrétních zdrojů, je možné pouze vytipovat jejich okruhy. Jedná se o chyby nestálé jak z hlediska velikosti, tak z hlediska znaménka. Nelze je vyčíslit a nelze je zpracovat jinak než statisticky na základě opakovaných měření. [10] [19]

## **5.3 Metody pro určování opakovatelnosti a reprodukovatelnosti**

### **5.3.1 Metoda založená na rozpětí**

Metoda založená na rozpětí slouží k rychlé aproximaci variability měření. Poskytne však pouze celkový obraz o systému měření, protože nerozkládá variabilitu na opakovatelnost a reprodukovatelnost. Proto se běžně používá pro rychlou kontrolu, zda se nezměnilo GRR. Pro studii metody založené na rozpětí se nejčastěji využívá dvou operátorů a pěti dílů. Oba operátoři měří každý díl jednou, a tak je rozpětí vypočítáváno absolutní hodnotou rozdílu mezi výsledky měření operátora A a B. Poté se zjistí součet rozpětí a vypočítá se průměrné rozpětí. Celková variabilita měření se následně získá vynásobením průměrného rozpětí daným koeficientem. [17]

### **5.3.2 Metoda založená na průměru a rozpětí**

Na rozdíl od metody založené na rozpětí je metoda založená na průměru a rozpětí schopna rozložit variabilitu systému na dvě samostatné složky, a to reprodukovatelnost a opakovatelnost. Není však schopna vyjádřit jejich interakci. Touto metodou se zabývá tato bakalářská práce dále, a to v kapitole *Realizace metody založené na průměru a rozpětí*. [17]

### **5.3.3 Metoda ANOVA**

Analýza rozptylu (ANOVA) je statistická metoda pro analyzování chyb měření a jiných zdrojů variability v systému měření. Při metodě ANOVA lze rozptyl rozdělit do čtyř kategorií. Jedná se o díly, operátory, interakci mezi díly a operátory a chybu replikace způsobené měřidlem. Metoda ANOVA je upřednostňována z důvodu její flexibility. Podmínkou je však přístup uživatele k odpovídajícímu počítačovému programu, protože

jde o složité výpočty, které nelze provádět ručně, tak jako je tomu u metody založené na průměru a rozpětí. [17]

## 6 Realizace metody založené na průměru a rozpětí

Jak už bylo uvedeno v předchozí kapitole, metoda založená na průměru a rozpětí byla realizována pro námi naměřené hodnoty v laboratoři. Pro tuto studii byli vybráni 4 operátoři (dvě ženy a dva muži) s rozdílnými zkušenostmi při měření. Všichni byli před začátkem měření seznámeni s danou problematikou, s měřenými díly a s dílenským měřidlem, které bude popsáno dále.

### 6.1 Použité měřidlo a měřené díly

#### 6.1.1 Použité měřidlo

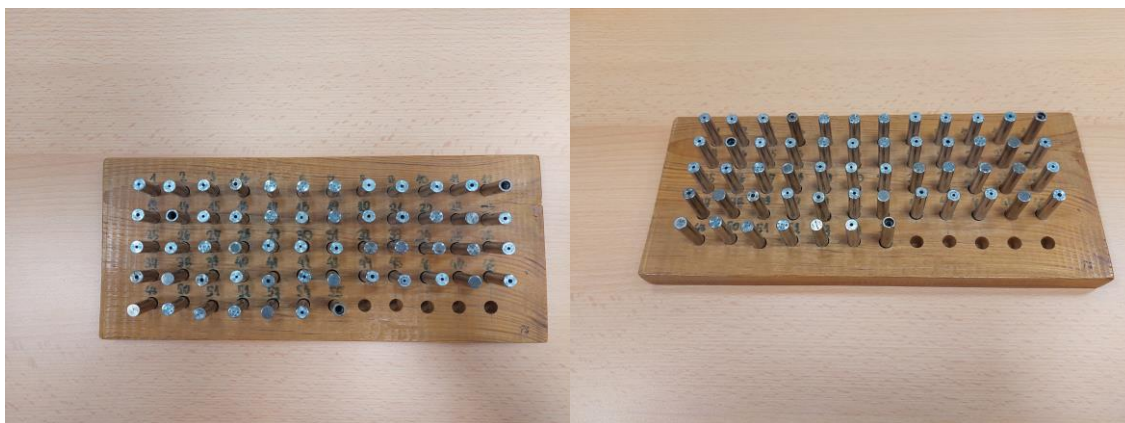
Pro měření byl zvolen mechanický mikrometr s rozsahem měření 0–25 mm a přesností 0,01 mm. Dle doporučení v příručce MSA však byly naměřené hodnoty zaznamenávány s přesností 0,005 mm v případě, kdy se ryska mikrometru nacházela přibližně uprostřed dílků. Dále pro vytvoření stejných podmínek pro všechny operátory a zpřesnění měření byl použit stojan viz *Obrázek 14*.



*Obrázek 14 - Mikrometr od výrobce Mahr a stojan*

#### 6.1.2 Měřené díly

Pro tento experiment bylo dle MSA příručky vybráno 15 sériově vyráběných čepů s vnitřním závitem ze sady 55 kusů viz *Obrázek 15*. Čepy jsou vyráběny o průměru  $7,90 \pm 0,10$  mm. Operátoři měli za úkol změřit daný průměr právě výše zmíněným mikrometrem.



*Obrázek 15 - Měřené díly*

## **6.2 Zaškolení operátorů**

Před začátkem měření proběhlo seznámení operátorů s daným úkolem. Jednalo se o čtyři vybrané operátory s rozdílnými zkušenostmi.

Operátor A je žena, která má nulové zkušenosti s jakýmkoliv měřením. Proto u ní proběhlo individuální zaškolení, avšak v přítomnosti ostatních operátorů, kteří se mohli zaškolení také zúčastnit. Náplní zaškolení bylo seznámení operátora s daným měřidlem, jeho správné čtení, vysvětlení dané problematiky a upozornění na možné chyby při měření. Operátor A by se dal tedy nazvat jako pracovník poučený. Dalšími operátory jsou žena a muž označení jako operátor B a C. Tito operátoři mají zkušenosti s měřením z hodin strojírenské metrologie, ovšem oba tento předmět absolvovali již před rokem v několikačlenných skupinkách. Dají se tedy označit jako pracovníci znalí. Posledním operátorem je muž a je označen jako operátor D. Jedná se o operátora s několikaletou praxí v oblasti metrologie.

## **6.3 Postup měření [17]**

První činností na začátku měření bylo vynulování měřidla. Dále byli označeni operátoři A (žena – začátečník), B (žena – pokročilá), C (muž – pokročilý), D (muž – expert) a díly očíslovány od 1 do 15.

Všechna měření byla prováděna v nahodilém pořadí, a to z důvodu zajištění náhodnosti případné změny. Operátoři dostávali jednotlivé díly tak, aby neviděli jejich číslo a naměřená hodnota byla zapisována do záznamového archu, který byl taktéž zakrytý pro všechny operátory. Tzn. operátor A začal měřit v namátkovém pořadí všech 15 dílů a po naměření ho následovali další operátoři. Po prvním naměření všemi operátory začalo

druhé měření opět operátorem A a pokračovalo stejným způsobem jako předchozí měření, ovšem měřené díly byly podávány v jiném sledu. Všechna tato měření se prováděla třikrát u každého operátora.

Je důležité, aby žádný z operátorů nevěděl, jaký očíslovaný díl právě kontroluje. Zabrání se tak jakékoliv možné znalostní strannosti. Pouze pracovník, který studii provádí, by si měl být vědom toho, o jaké díly jde, a měl by celý experiment sledovat a řídit.

Posledním bodem měření byla nutnost, aby každý operátor používal svůj postup měření pro zjišťování odečtu hodnot. Tyto rozdíly mezi jejich styly měření by se mohly odrazit v reprodukovatelnosti systému měření.

## 6.4 Postup výpočtů [17] [21]

Následující postup výpočtů vychází z příručky MSA:

- 1) Výpočet rozpětí pro jednotlivé díly u každého operátora z naměřených hodnot

$$R = x_{max} - x_{min} \quad (6.1)$$

- 2) Výpočet průměrného rozpětí pro každého operátora

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{\text{počet dílů}} \quad (6.2)$$

- 3) Výpočet průměru všech rozpětí

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\bar{R}_a + \bar{R}_b + \bar{R}_c + \bar{R}_d}{\text{počet operátorů}} \quad (6.3)$$

- 4) Výpočet dolní a horní regulační meze rozpětí

$$UCL_R = D_4 \cdot \bar{\bar{R}} \quad (6.4)$$

$$LCL_R = D_3 \cdot \bar{\bar{R}} \quad (6.5)$$

$$CL_{\bar{R}} = \bar{\bar{R}} \quad (6.6)$$

$D_4, D_3 \dots$  jsou konstanty závislé na počtu měření a jsou uvedené v následující tabulce

Tabulka 2 - Hodnoty konstant [21]

$\bar{X}$ and R Charts				
Chart for Averages		Chart for Ranges (R)		
Control Limits Factor	Divisors to Estimate $\sigma_X$	Factors for Control Limits		
Subgroup Size	$A_2$	$d_2$	$D_3$	$D_4$
2	1.880	1.128	—	3.267
3	1.023	1.693	—	2.574
4	0.729	2.059	—	2.282
5	0.577	2.326	—	2.114
6	0.483	2.534	—	2.004
7	0.419	2.704	0.076	1.924
8	0.373	2.847	0.136	1.864
9	0.337	2.970	0.184	1.816

$UCL_R$  a  $LCL_R$  představují mez pro jednotlivá  $R$  a pokud jsou některé hodnoty mimo tuto mez, je nutné měření opakovat, nebo hodnoty vyřadit a přepočítat některé výše zmíněné výpočty a pokračovat dále.

- 5) Výpočet aritmetických průměrů všech naměřených hodnot pro jednotlivá měření u každého operátora

$$\bar{x} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_k}{\text{počet dílů}} \quad (6.7)$$

- 6) Výpočet aritmetického průměru z jednotlivých průměrů z předchozího výpočtu pro každého operátora

$$\bar{X} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3}{\text{počet měření}} \quad (6.8)$$

- 7) Výpočet aritmetického průměru všech vypočítaných aritmetických průměrů

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_a + \bar{X}_b + \bar{X}_c + \bar{X}_d}{\text{počet měření}} \quad (6.9)$$

- 8) Výpočet aritmetického průměru pro díl – součtem všech aritmetických průměrů pro díl a vydělením počtem operátorů dojdeme k aritmetickému průměru pro daný díl

- 9) Výpočet rozpětí mezi díly z jednotlivých aritmetických průměrů pro díl

$$R_p = x_{max} - x_{min} \quad (6.10)$$



10) Výpočet rozpětí mezi operátory z jednotlivých aritmetických průměrů

$$\bar{X}_{DIFF} = \bar{X}_{max} - \bar{X}_{min} \quad (6.11)$$

11) Výpočet opakovatelnosti

$$EV = \bar{R} \cdot K_1 [-] \quad (6.12)$$

$K_1$ ...je konstanta závislá na počtu měření a je rovna převrácené hodnotě  $d_2^*$  získané z *Tabulky 4*, kde (m) je počet měření a (g) je počet dílů vynásobených počtem operátorů

12) Výpočet reprodukovatelnosti

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{\text{počet dílů} \cdot \text{počet měření}}\right)} [-] \quad (6.13)$$

$K_2$ ...je konstanta závislá na počtu operátorů a je rovna převrácené hodnotě  $d_2^*$  získané z *Tabulky 4*, kde (m) je počet operátorů a (g) je rovno 1, protože existuje pouze jeden výpočet rozpětí

13) Výpočet opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (GRR)

$$GRR = \sqrt{EV^2 \cdot AV^2} [-] \quad (6.14)$$

14) Výpočet variability dílu

$$PV = R_p \cdot K_3 [-] \quad (6.15)$$

$K_3$ ...je konstanta závislá na počtu dílů a je rovna převrácené hodnotě  $d_2^*$  získané z *Tabulky 4*, kde (m) je počet dílů a (g) je rovno 1, protože existuje pouze jeden výpočet rozpětí

15) Výpočet celkové variability

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} [-] \quad (6.16)$$

16) Výpočet opakovatelnosti v procentech v porovnání s celkovou variabilitou

$$EV = 100 \left(\frac{EV}{TV}\right) [\%] \quad (6.17)$$

17) Výpočet reprodukovatelnosti v procentech v porovnání s celkovou variabilitou

$$AV = 100 \left(\frac{AV}{TV}\right) [\%] \quad (6.18)$$

18) Výpočet GRR v procentech v porovnání s celkovou variabilitou

$$GRR = 100 \left(\frac{GRR}{TV}\right) [\%] \quad (6.19)$$

19) Výpočet variability dílu v porovnání s celkovou variabilitou

$$PV = 100 \left( \frac{PV}{TV} \right) [\%] \quad (6.20)$$

20) Výpočet počtu rozlišitelných kategorií (citlivosti měřicího systému), které lze spolehlivě rozlišit daným měřicím systémem

$$ndc = 1,41 \left( \frac{PV}{GRR} \right) [-] \quad (6.21)$$

Výsledek  $ndc$  má být zaokrouhlován na celé číslo a musí být  $\geq 5$ . Pokud tomu tak není, systém není dostatečně citlivý k detekování jednotlivých kategorií měření a je tedy nevyhovující.

21) Vyhodnocení pomocí kritéria opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla

*Tabulka 3 - Kritéria přijatelnosti systému měření na základě analýzy GRR [22]*

% GRR < 10% a $ndc \geq 5$	Systém měření je přijatelný.
10% < % GRR < 30% a $ndc \geq 5$	Systém měření je přijatelný pro některé aplikace. Záleží na důležitosti měření, vynaložených nákladech na zařízení.
% GRR > 30% nebo $ndc < 5$	Systém měření není přijatelný a je nutné jej zlepšit.

Tabulka 4 – Hodnoty  $d_2^*$  pro výpočet konstant K [17]

Počet podskupin (n)	Rozsah podskupiny (m)																			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	1.0	2.0	2.9	3.8	4.7	5.5	6.3	7.0	7.7	8.3	9.0	9.6	10.2	10.8	11.3	11.9	12.4	12.9	13.4	
2	1.41421	1.91155	2.23887	2.48124	2.67253	2.82981	2.96288	3.07794	3.17905	3.26909	3.35016	3.42378	3.49116	3.55333	3.61071	3.66422	3.71424	3.76118	3.80537	
3	1.9	3.8	5.7	7.5	9.2	10.8	12.3	13.8	15.1	16.5	17.8	19.0	20.2	21.3	22.4	23.5	24.5	25.5	26.5	
4	1.27931	1.80538	2.15069	2.40484	2.60438	2.76779	2.90562	3.02446	3.12869	3.22134	3.30463	3.38017	3.44922	3.51287	3.57156	3.62625	3.67734	3.72524	3.77032	
5	2.8	5.7	8.4	11.1	13.6	16.0	18.3	20.5	22.6	24.6	26.5	28.4	30.1	31.9	33.5	35.1	36.7	38.2	39.7	
6	1.23105	1.76858	2.12049	2.37883	2.58127	2.74681	2.88628	3.00643	3.11173	3.20526	3.28931	3.36550	3.43512	3.49927	3.55842	3.61351	3.66495	3.71319	3.75857	
7	3.7	7.5	11.2	14.7	18.1	21.3	24.4	27.3	30.1	32.7	35.3	37.7	40.1	42.4	44.6	46.7	48.8	50.8	52.8	
8	4.6	9.3	13.9	18.4	22.6	26.6	30.4	34.0	37.5	40.8	44.0	47.1	50.1	52.9	55.7	58.4	61.0	63.5	65.9	
9	1.19105	1.73857	2.09601	2.35781	2.56263	2.72991	2.87071	2.99192	3.10321	3.19720	3.28163	3.35815	3.42805	3.49246	3.55183	3.60712	3.65875	3.70715	3.75268	
10	5.5	11.1	16.7	22.0	27.0	31.8	36.4	40.8	45.0	49.0	52.8	56.5	60.1	63.5	66.8	70.0	73.1	76.1	79.1	
11	1.18083	1.73089	2.08985	2.35253	2.55795	2.72567	2.86680	2.98829	3.09467	3.18911	3.27392	3.35077	3.42097	3.48563	3.54522	3.60072	3.65253	3.70109	3.74678	
12	6.4	12.9	19.4	25.6	31.5	37.1	42.5	47.6	52.4	57.1	61.6	65.9	70.0	74.0	77.9	81.6	85.3	88.8	92.2	
13	1.17348	1.72555	2.08543	2.34875	2.55460	2.72263	2.86401	2.98568	3.09222	3.18679	3.27172	3.34866	3.41894	3.48368	3.54333	3.59888	3.65075	3.69936	3.74509	
14	7.2	14.8	22.1	29.2	36.0	42.4	48.5	54.3	59.9	65.2	70.3	75.2	80.0	84.6	89.0	93.3	97.4	101.4	105.3	
15	1.16794	1.72147	2.08212	2.34591	2.55208	2.72036	2.86192	2.98373	3.09039	3.18506	3.27006	3.34708	3.41742	3.48221	3.54192	3.59751	3.64941	3.69806	3.74382	
16	8.1	16.6	24.9	32.9	40.4	47.7	54.5	61.1	67.3	73.3	79.1	84.6	90.0	95.1	100.1	104.9	109.5	114.1	118.5	
17	1.16361	1.71828	2.07953	2.34370	2.55013	2.71858	2.86028	2.98221	3.08896	3.18370	3.26878	3.34585	3.41624	3.48107	3.54081	3.59644	3.64838	3.69705	3.74284	
18	9.0	18.4	27.6	36.5	44.9	52.9	60.6	67.8	74.8	81.5	87.9	94.0	99.9	105.6	111.2	116.5	121.7	126.7	131.6	
19	1.16014	1.71573	2.07746	2.34192	2.54856	2.71717	2.85898	2.98100	3.08781	3.18262	3.26775	3.34486	3.41529	3.48016	3.53993	3.59559	3.64755	3.69625	3.74205	
20	9.9	20.2	30.4	40.1	49.4	58.2	66.6	74.6	82.2	89.6	96.6	103.4	109.9	116.2	122.3	128.1	133.8	139.4	144.7	
21	1.15729	1.71363	2.07577	2.34048	2.54728	2.71600	2.85791	2.98000	3.08688	3.18174	3.26690	3.34406	3.41452	3.47941	3.53921	3.59489	3.64687	3.69558	3.74141	
22	10.7	22.0	33.1	43.7	53.8	63.5	72.6	81.3	89.7	97.7	105.4	112.7	119.9	126.7	133.3	139.8	146.0	152.0	157.9	
23	1.15490	1.71189	2.07436	2.33927	2.54621	2.71504	2.85702	2.97917	3.08610	3.18100	3.26620	3.34339	3.41387	3.47879	3.53861	3.59430	3.64630	3.69503	3.74087	
24	11.6	23.8	35.8	47.3	58.3	68.7	78.6	88.1	97.1	105.8	114.1	122.1	129.8	137.3	144.4	151.4	158.1	164.7	171.0	
25	1.15289	1.71041	2.07316	2.33824	2.54530	2.71422	2.85627	2.97847	3.08544	3.18037	3.26561	3.34282	3.41333	3.47826	3.53810	3.59381	3.64582	3.69457	3.74041	
26	1.15115	1.70914	2.07213	2.33737	2.54452	2.71351	2.85562	2.97787	3.08487	3.17984	3.26510	3.34233	3.41286	3.47781	3.53766	3.59339	3.64541	3.69417	3.74002	
27	1.14965	1.70804	2.07125	2.33661	2.54385	2.71290	2.85506	2.97735	3.08438	3.17938	3.26465	3.34191	3.41245	3.47742	3.53728	3.59302	3.64505	3.69382	3.73969	
28	1.14833	1.70708	2.07047	2.33594	2.54326	2.71237	2.85457	2.97689	3.08395	3.17897	3.26427	3.34154	3.41210	3.47707	3.53695	3.59270	3.64474	3.69351	3.73939	
29	1.14717	1.70623	2.06978	2.33535	2.54274	2.71190	2.85413	2.97649	3.08358	3.17861	3.26393	3.34121	3.41178	3.47677	3.53666	3.59242	3.64447	3.69325	3.73913	
30	1.14613	1.70547	2.06917	2.33483	2.54228	2.71148	2.85375	2.97613	3.08324	3.17829	3.26362	3.34092	3.41150	3.47650	3.53640	3.59216	3.64422	3.69301	3.73890	
31	1.14520	1.70480	2.06862	2.33436	2.54187	2.71111	2.85341	2.97581	3.08294	3.17801	3.26335	3.34066	3.41125	3.47626	3.53617	3.59194	3.64400	3.69280	3.73869	
32	1.14437	1.70419	2.06813	2.33394	2.54149	2.71077	2.85310	2.97552	3.08267	3.17775	3.26311	3.34042	3.41103	3.47605	3.53596	3.59174	3.64380	3.69260	3.73850	
33	1.14358	1.70362	2.06768	2.33353	2.54111	2.71036	2.85273	2.97515	3.08234	3.17743	3.26279	3.34012	3.41075	3.47579	3.53572	3.59152	3.64357	3.69238	3.73829	
34	1.14283	1.70310	2.06725	2.33316	2.54075	2.71000	2.85236	2.97478	3.08200	3.17708	3.26245	3.33980	3.41045	3.47550	3.53545	3.59126	3.64331	3.69213	3.73805	
35	1.14211	1.70261	2.06683	2.33280	2.54040	2.70964	2.85200	2.97441	3.08165	3.17672	3.26199	3.33936	3.41003	3.47509	3.53505	3.59087	3.64292	3.69175	3.73768	
36	1.14142	1.70215	2.06642	2.33245	2.54005	2.70928	2.85165	2.97405	3.08131	3.17637	3.26164	3.33902	3.40968	3.47475	3.53472	3.59055	3.64260	3.69144	3.73738	
37	1.14075	1.70172	2.06602	2.33211	2.53970	2.70892	2.85130	2.97369	3.08100	3.17603	3.26130	3.33868	3.40935	3.47442	3.53440	3.59023	3.64227	3.69111	3.73705	
38	1.14011	1.70131	2.06562	2.33177	2.53935	2.70856	2.85095	2.97333	3.08065	3.17567	3.26094	3.33832	3.40900	3.47407	3.53405	3.58988	3.64195	3.69079	3.73673	
39	1.13948	1.70091	2.06523	2.33143	2.53900	2.70820	2.85060	2.97297	3.08030	3.17531	3.26058	3.33796	3.40864	3.47371	3.53370	3.58953	3.64141	3.69022	3.73616	
40	1.13887	1.70052	2.06484	2.33110	2.53865	2.70784	2.85025	2.97261	3.08000	3.17495	3.26022	3.33760	3.40826	3.47331	3.53330	3.58913	3.64103	3.68984	3.73578	
41	1.13827	1.70014	2.06446	2.33077	2.53830	2.70748	2.84990	2.97225	3.07965	3.17459	3.25986	3.33724	3.40789	3.47293	3.53292	3.58875	3.64065	3.68946	3.73540	
42	1.13768	1.70000	2.06408	2.33044	2.53795	2.70712	2.84955	2.97189	3.07930	3.17423	3.25950	3.33688	3.40751	3.47255	3.53254	3.58837	3.64027	3.68908	3.73502	
43	1.13710	1.70000	2.06370	2.33011	2.53760	2.70676	2.84920	2.97153	3.07895	3.17387	3.25911	3.33649	3.40712	3.47216	3.53215	3.58798	3.63988	3.68869	3.73464	
44	1.13653	1.70000	2.06332	2.32978	2.53725	2.70640	2.84885	2.97117	3.07859	3.17351	3.25874	3.33611	3.40672	3.47176	3.53175	3.58758	3.63948	3.68829	3.73426	
45	1.13597	1.70000	2.06294	2.32945	2.53690	2.70604	2.84850	2.97081	3.07823	3.17315	3.25838	3.33574	3.40633	3.47137	3.53136	3.58719	3.63909	3.68790	3.73388	
46	1.13541	1.70000	2.06256	2.32912	2.53655	2.70568	2.84815	2.97045	3.07787	3.17279	3.25802	3.33539	3.40588	3.47092	3.53091	3.58674	3.63864	3.68745	3.73350	
47	1.13485	1.70000	2.06218	2.32879	2.53620	2.70532	2.84780	2.97009	3.07751	3.17243	3.25766	3.33504	3.40551	3.47055	3.53054	3.58637	3.63827	3.68708	3.73312	
48	1.13430	1.70000	2.06180	2.32846	2.53585	2.70496	2.84745	2.96973	3.07715	3.17207	3.25730	3.33469	3.40514	3.47018	3.52917	3.58500	3.63690	3.68571	3.73274	
49	1.13374	1.70000	2.06142	2.32813	2.53550	2.70460	2.84710	2.96937	3.07679	3.17171	3.25694	3.33434	3.40477	3.46981	3.52880	3.58463	3.63653	3.68534	3.73236	
50	1.13319	1.70000	2.06104	2.32780	2.53515	2.70424	2.84675	2.96901	3.07643	3.17135	3.25658	3.33400	3.40440	3.46944	3.52843	3.58426	3.63616	3.68497	3.73198	
51	1.13263	1.70000	2.06066	2.32747	2.53480	2.70388	2.84640	2.96865	3.07607	3.17097	3.25622	3.33365	3.40401	3.46905	3.52804	3.58387	3.63577	3.68458	3.73160	
52	1.13208	1.70000	2.06028	2.32714	2.53445	2.70352	2.84605	2.96829	3.07571	3.17059	3.25586	3.33330	3.40362	3.46866	3.52765	3.58348	3.63539	3.68420	3.73122	
53	1.13152	1.70000	2.05990	2.32681	2.53410	2.70316	2.84570	2.96793	3.07535	3.17021	3.25550	3.33295	3.40323	3.46827	3.52726	3.58309	3.63500	3.68381	3.73084	
54	1.13097	1.70000	2.05952	2.32648	2.53375	2.70280	2.84535	2.96757	3.07499											

## 6.5 Naměřené a vypočítané hodnoty

V následující tabulce je proveden první výpočet naměřených hodnot. Po výpočtu  $UCL_R$  a vyřazení přesahujících rozpětí byla provedena první iterace viz *Příloha A*. Po přepočtu hodnot bylo opět nutné provést odstranění přečnivajících rozpětí a byla provedena druhá iterace viz *Tabulka 6*. Po této iteraci již byla všechna rozpětí pod horní regulační mezí, takže bylo možné pokračovat ve výpočtech viz níže. Světle červenou barvou jsou označené hodnoty vyškrtnuté v první fázi a tmavě červenou barvou jsou označené hodnoty vyloučené v druhé fázi.

Tabulka 5 - Výpočet naměřených hodnot v programu Excel

Operátor	Číslo měření	Díl [mm]															Průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1 A	1	7,925	7,915	7,920	7,880	7,875	7,820	7,885	7,995	7,920	7,895	7,935	7,920	7,995	7,915	7,875	7,911
	2	7,925	7,915	7,910	7,875	7,870	7,870	7,880	7,995	7,925	7,895	7,920	7,920	7,990	7,915	7,870	7,912
	3	7,925	7,915	7,910	7,875	7,870	7,870	7,885	7,995	7,920	7,895	7,920	7,920	7,990	7,915	7,870	7,912
	Průměr [mm]	7,925	7,915	7,913	7,877	7,872	7,853	7,883	7,995	7,922	7,895	7,925	7,920	7,992	7,915	7,872	$\bar{X}_a = 7,912$
6 B	1	0,000	0,000	0,010	0,005	0,050	0,005	0,000	0,005	0,005	0,015	0,000	0,005	0,000	0,005	0,005	$R_a = 0,007$
	2	7,930	7,910	7,910	7,875	7,870	7,920	7,885	7,995	7,920	7,895	7,920	7,920	7,990	7,910	7,875	7,915
	3	7,930	7,915	7,915	7,880	7,870	7,870	7,885	7,995	7,930	7,895	7,925	7,920	7,995	7,920	7,875	7,914
	Průměr [mm]	7,928	7,913	7,913	7,877	7,872	7,887	7,885	7,995	7,927	7,897	7,923	7,905	7,993	7,917	7,877	$\bar{X}_b = 7,914$
11 C	1	0,005	0,005	0,005	0,005	0,050	0,000	0,000	0,010	0,005	0,005	0,005	0,045	0,005	0,010	0,005	$R_b = 0,011$
	2	7,930	7,920	7,920	7,880	7,880	7,890	7,890	8,000	7,920	7,900	7,930	7,930	7,990	7,910	7,900	7,919
	3	7,930	7,920	7,920	7,880	7,875	7,885	7,890	8,000	7,930	7,895	7,930	7,925	8,000	7,920	7,880	7,919
	Průměr [mm]	7,930	7,920	7,920	7,880	7,873	7,883	7,890	7,998	7,925	7,898	7,930	7,918	7,963	7,917	7,887	$\bar{X}_c = 7,916$
16 D	1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,015	0,000	0,005	0,010	0,005	0,000	0,030	0,100	0,010	0,020	$R_c = 0,014$
	2	7,930	7,910	7,920	7,870	7,870	7,870	7,880	7,995	7,930	7,890	7,920	7,930	7,990	7,910	7,870	7,912
	3	7,925	7,910	7,915	7,875	7,865	7,870	7,890	7,990	7,920	7,895	7,920	7,920	7,990	7,910	7,870	7,911
	Průměr [mm]	7,927	7,910	7,917	7,875	7,868	7,870	7,883	7,992	7,925	7,893	7,922	7,925	7,992	7,912	7,870	$\bar{X}_d = 7,912$
20	1	0,005	0,000	0,005	0,010	0,005	0,010	0,005	0,010	0,005	0,005	0,005	0,010	0,005	0,005	0,000	$R_d = 0,005$
	2	7,928	7,915	7,916	7,877	7,871	7,870	7,885	7,995	7,925	7,896	7,925	7,917	7,985	7,915	7,876	$R_p = 0,125$
	3																$\bar{X} = 7,9133$
	Průměr pro díl [mm]																$\bar{X}_{DIFF} = 0,0036$
25	Konstanty	K1=	0,591	K2=	0,447	K3=	0,281	D3=	0,000	D4=	2,574						$LCL_R = 0,000$
																	$UCL_R = 0,0238$

Tabulka 6 – Druhá iterace naměřených hodnot v programu Excel

Operátor	Číslo měření	Díl [mm]															Průměr [mm]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1 A	1	7,925	7,915	7,920	7,880	7,875	0,000	7,885	7,995	7,920	7,895	0,000	7,920	7,995	7,915	7,875	7,917
	2	7,925	7,915	7,910	7,875	7,870	0,000	7,880	7,995	7,925	7,895	0,000	7,920	7,990	7,915	7,870	7,914
	3	7,925	7,915	7,910	7,875	7,870	0,000	7,885	7,995	7,920	7,895	0,000	7,920	7,990	7,915	7,870	7,914
	Průměr [mm]	7,925	7,915	7,913	7,877	7,872	0,000	7,883	7,995	7,922	7,895	0,000	7,920	7,992	7,915	7,872	$\bar{X}_d =$
	Rozpětí [mm]	0,000	0,000	0,010	0,005	0,005	0,000	0,005	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,005	$R_d =$
6 B	1	7,930	7,910	7,910	7,875	7,870	0,000	7,885	7,995	7,920	7,895	7,920	7,895	7,990	7,910	7,875	7,914
	2	7,925	7,915	7,915	7,880	7,870	0,000	7,885	7,995	7,930	7,895	7,925	7,925	7,995	7,920	7,875	7,917
	3	7,930	7,915	7,915	7,875	7,875	0,000	7,885	7,995	7,930	7,900	7,925	7,925	7,995	7,920	7,880	7,918
	Průměr [mm]	7,928	7,913	7,913	7,877	7,872	0,000	7,885	7,995	7,927	7,897	7,923	7,923	7,993	7,917	7,877	$\bar{X}_b =$
	Rozpětí [mm]	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,010	0,005	0,005	0,000	0,005	0,010	0,005	$R_b =$
11 C	1	7,930	7,920	7,920	7,880	0,000	0,000	7,890	8,000	7,920	7,900	7,930	7,930	7,990	7,910	0,000	7,920
	2	7,930	7,920	7,920	7,880	0,000	0,000	7,890	8,000	7,930	7,895	7,930	7,930	7,990	7,920	0,000	7,922
	3	7,930	7,920	7,920	7,880	0,000	0,000	7,890	7,995	7,925	7,900	7,930	7,930	7,990	7,920	0,000	7,921
	Průměr [mm]	7,930	7,920	7,920	7,880	0,000	0,000	7,890	7,998	7,925	7,898	7,930	7,930	7,990	7,917	0,000	$\bar{X}_c =$
	Rozpětí [mm]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,010	0,005	0,000	0,000	0,000	0,010	0,000	$R_c =$
16 D	1	7,930	7,910	7,920	7,870	7,870	7,870	7,880	7,995	7,930	7,890	7,920	7,920	7,990	7,910	7,870	7,912
	2	7,925	7,910	7,915	7,880	7,870	7,870	7,880	7,990	7,925	7,895	7,925	7,925	7,995	7,915	7,870	7,913
	3	7,925	7,910	7,915	7,875	7,865	7,870	7,890	7,990	7,920	7,895	7,920	7,920	7,990	7,910	7,870	7,911
	Průměr [mm]	7,927	7,910	7,917	7,875	7,868	7,870	7,883	7,992	7,925	7,893	7,922	7,925	7,992	7,912	7,870	$\bar{X}_d =$
	Rozpětí [mm]	0,005	0,000	0,005	0,010	0,005	0,000	0,010	0,005	0,010	0,005	0,005	0,010	0,005	0,005	0,000	$R_d =$
	Průměr pro díl [mm]	7,928	7,915	7,916	7,877	7,871	7,870	7,885	7,995	7,925	7,896	7,925	7,923	7,992	7,915	7,873	$R_p =$
																	$\bar{X} =$
																	$\bar{R} =$
																	$\bar{X}_{DIFF} =$
																	$U_{CLR} =$
	Konstanty	K1=	0,591	K2=	0,447	K3=	0,281	D3=	0,000	D4=	2,574						LCL <sub>R</sub> =
																	0,000
																	0,0106

Tabulka 7 - Výpočet GRR

EV=	0,00242379487	%EV=	6,83
AV=	0,00392927239	%AV=	11,08
GRR=	0,00461670479	%GRR=	13,01
PV=	0,03517500000	%PV=	99,15
TV=	0,03547667668	ndc=	11

Dle výše uvedené *Tabulky 7* vyšlo *GRR* 13,01 %. Systém měření je tedy přijatelný pro některé aplikace, avšak *ndc* je  $11 > 5$ , což znamená, že je splněna podmínka a systém je dostatečně citlivý k detekování jednotlivých kategorií měření. Největší variabilitu do měření přináší variabilita dílu, která je 99,15 %. Reprodukovatelnost byla vypočítána vyšší než opakovatelnost, z čeho je možné usoudit, že se jedná o vnesení větší variability operátora, než by bylo vhodné. O určení největšího vlivu jednotlivých operátorů se bude zabývat následující kapitola.

## 6.6 Grafické zpracování naměřených hodnot

Grafické zpracování vychází z *Tabulky 5*. Jako první graf byl zpracován diagram pro průměr. Tento diagram slouží k určení, zda má systém měření dostatečný práh citlivosti pro procesy s variabilitou změřenou na vzorcích ve výběru. Pokud se přibližně jedna polovina průměrů nebo více nacházejí mimo regulační mez, jedná se o systém měření s dostatečným prahem citlivosti. Regulační meze a střední hodnota se vypočítají z následujících vztahů:

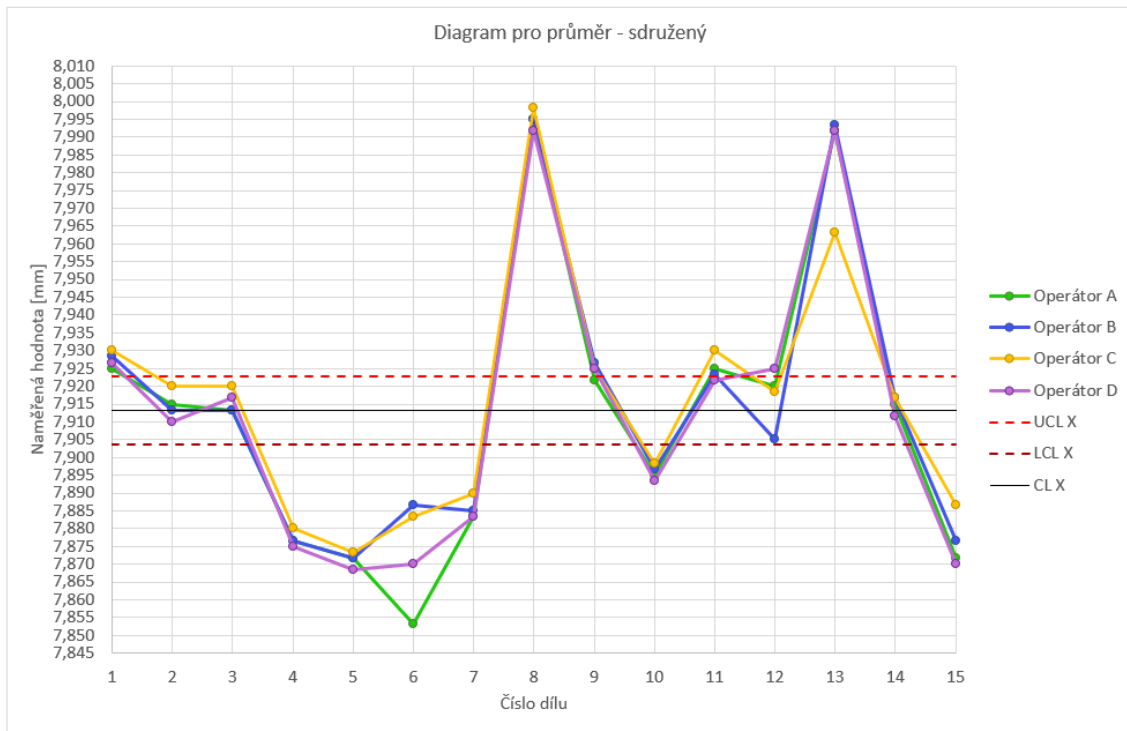
$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R} \quad (6.22)$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R} \quad (6.23)$$

$$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \quad (6.24)$$

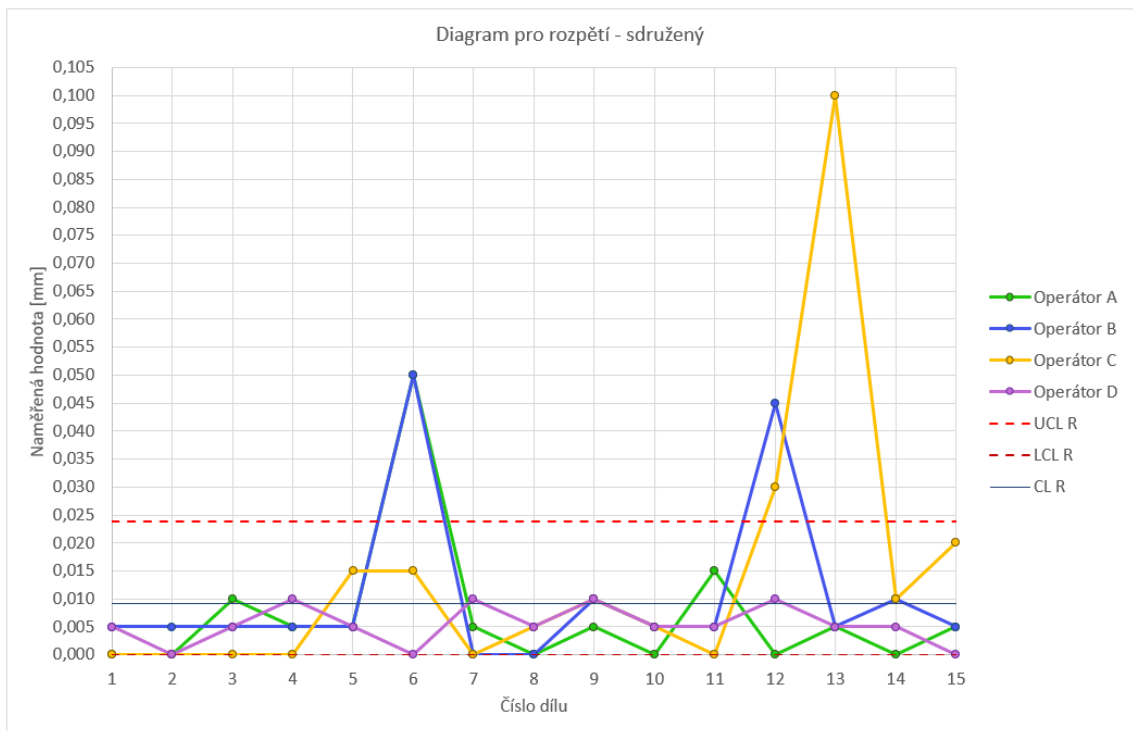
$A_2$ ...je konstanta z *Tabulky 2*

Po přezkoumání následujícího diagramu lze s určitou jistotou říci, že více než polovina hodnot je mimo regulační mez, a proto má systém měření dostatečný práh citlivosti pro procesy s variabilitou změřenou na vzorcích a nejsou zjevné žádné velké rozdíly mezi jednotlivými operátory.



Obrázek 16 - Diagram pro průměr – sružený

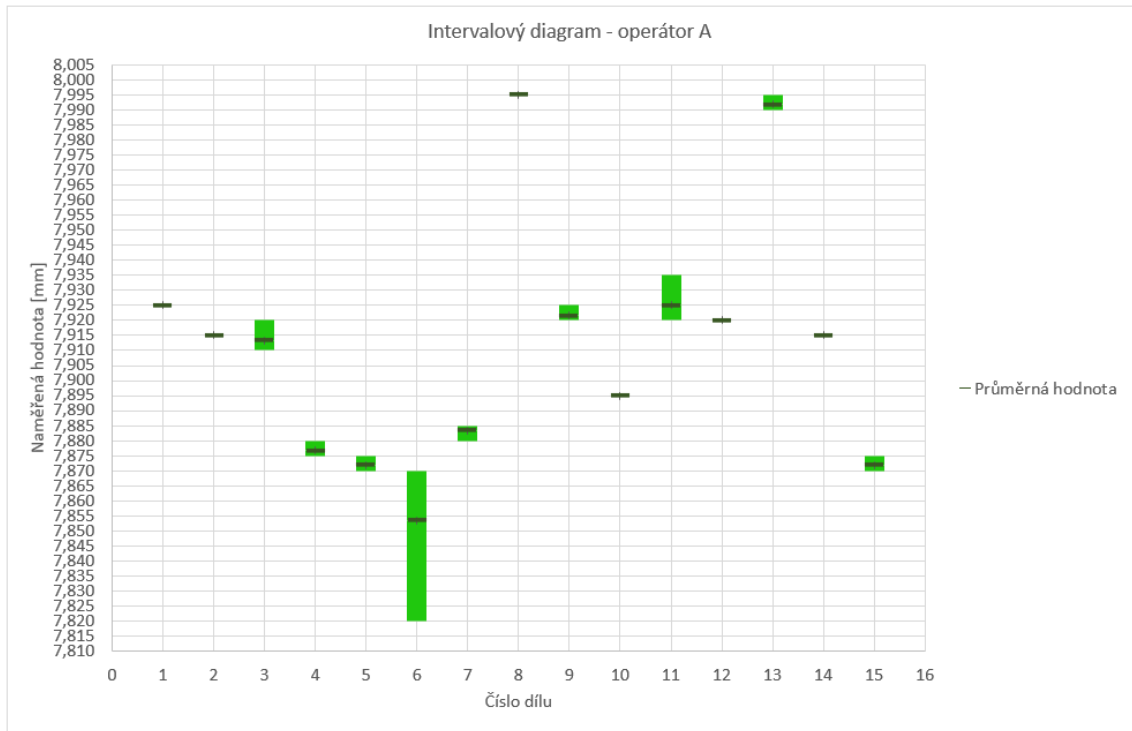
Další diagram je opět sružený, ale nyní se jedná o diagram pro rozpětí. Tento regulační diagram slouží k určení, zda je proces ve statisticky zvládnutém stavu. Pokud se tedy některé hodnoty nacházejí mimo regulační meze, je nutné měření s jednotlivými operátory opakovat, anebo jako v našem případě hodnoty vyškrtnout, zaznamenat a pokračovat v numerické analýze. Z Obrázku 17 vyplývá, že mezi variabilitou jednotlivých operátorů existují rozdíly v kvalitě naměřených dat. Tyto rozdíly mohou být způsobeny odlišnou metodou měření od ostatních operátorů. Největší variabilitu vykazuje operátor C a operátor B. Proto je nutné udělat další diagramy, které detailně pohlédnou na danou variabilitu každého z operátorů.



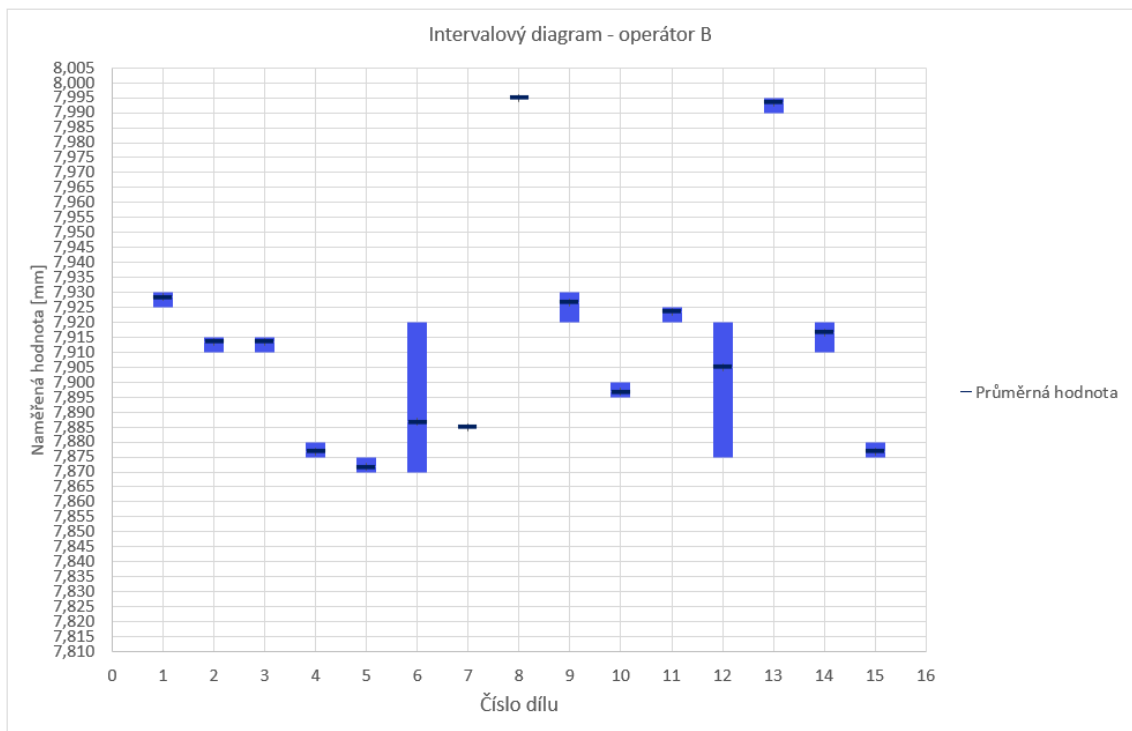
Obrázek 17 - Diagram pro rozpětí – sružený

Pro přehledné zobrazení jednotlivých variabilit byl vybrán intervalový diagram. Intervalový diagram slouží k identifikaci odlehlých hodnot k jejich aritmetickému průměru. Po přezkoumání všech diagramů je patrné, že největší variabilitu vykazuje operátor C. Operátor B vykazuje druhou největší variabilitu a bezchybné měření provedl jen u dvou z patnácti měření. Nejstálější a nejmenší variabilitu prokázal operátor D, ovšem oproti operátorovi A, který byl jen jednou mimo regulační mez a provedl 6 bezchybných měření, má operátor D pouze 3 bezchybná měření. I přesto se dá prohlásit, že jeho měření bylo nejstálější a nejpresnější. Druhým nejstálějším operátorem byl operátor A.

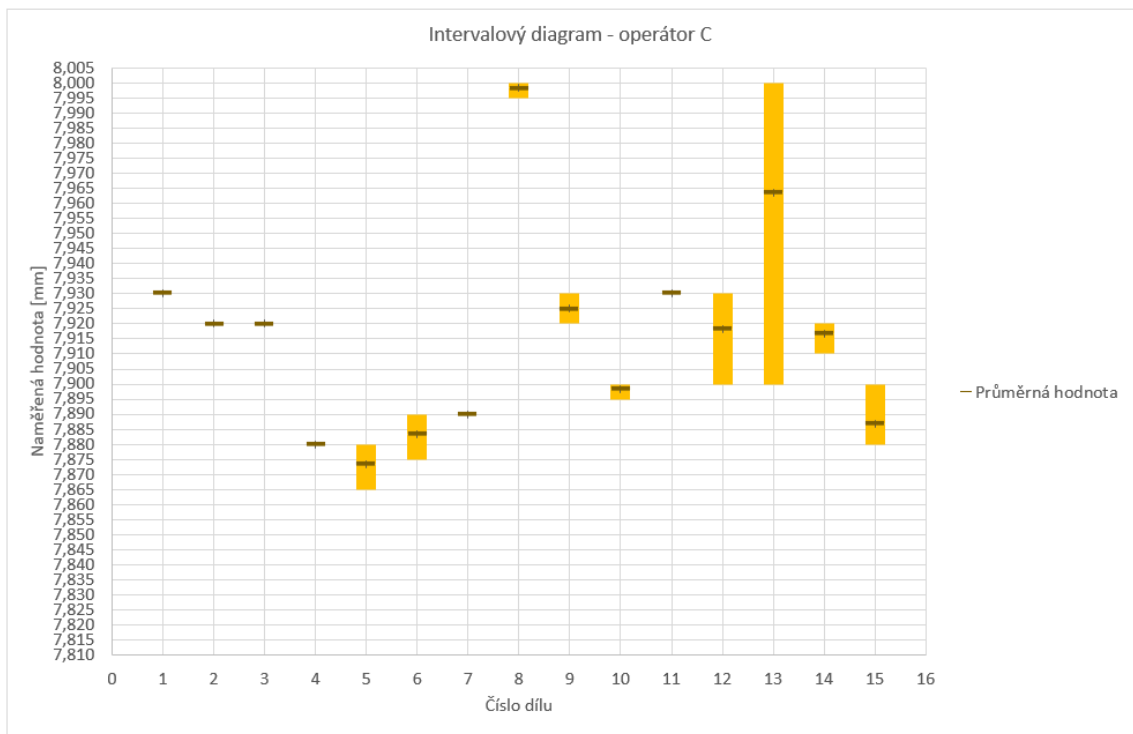




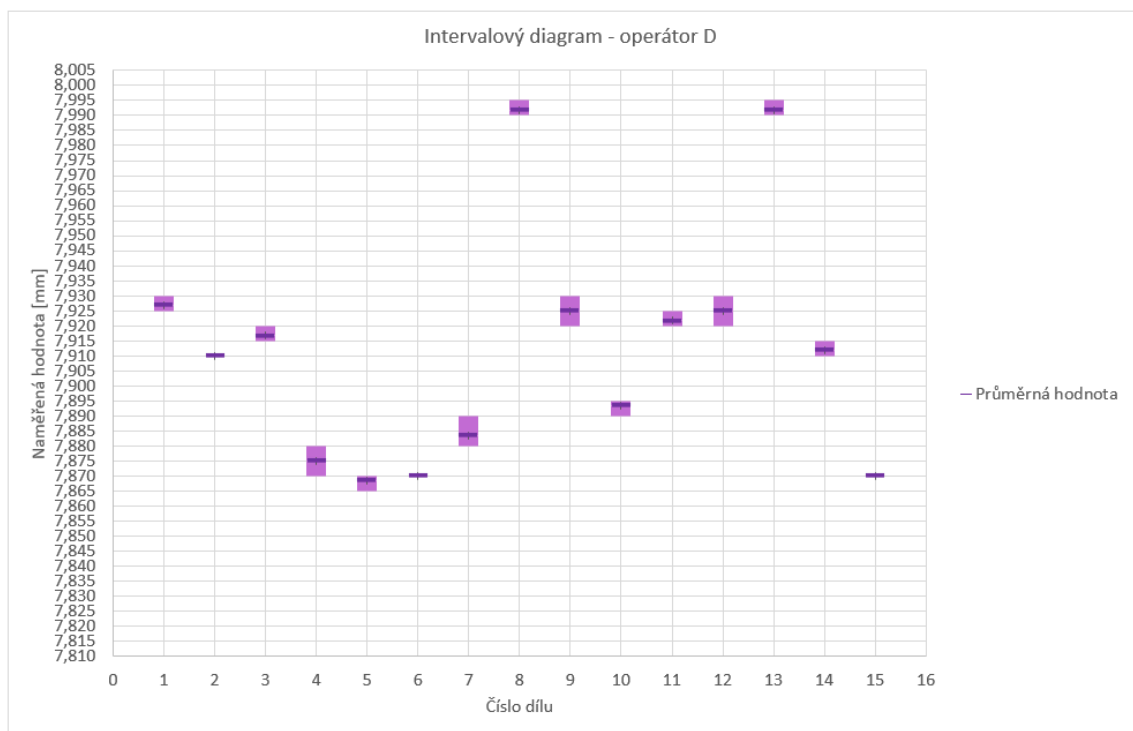
Obrázek 18 - Intervalový diagram – operátor A



Obrázek 19 - Intervalový diagram – operátor B



Obrázek 20 - Intervalový diagram – operátor C



Obrázek 21 - Intervalový diagram – operátor D

## Závěr

Na začátku práce jsem charakterizoval analýzu systému měření. Dále jsem popsal jednotlivé druhy variability a metody pro její zjištění. Zabýval jsem se také souvislostmi dané analýzy, jako jsou podmínky při měření nebo ideální pracovní poloha.

Cílem práce bylo zjistit, jak velký vliv mohou mít operátoři při měření. Pomocí dané metody a vypočítání *GRR* jsem vyhodnotil naměřená data a určil, že se jedná o přijatelný systém měření, který je dostatečně citlivý k detekování jednotlivých kategorií měření.

Vyhodnocením dat jsem zjistil, že největší variabilitu do systému měření vnáší variabilita dílu. Dále jsem identifikoval, že je reprodukovatelnost vyšší než opakovatelnost, proto jsem se zaměřil na grafické zpracování vlivu operátora. Z *Obrázku 16* vyplývá, že se jedná o systém měření s dostatečným prahem citlivosti pro procesy s variabilitou změřenou na vzorcích, protože se více než polovina hodnot nachází mimo regulační mez. Z *Obrázku 17* vyplývá, že se některé hodnoty nacházejí mimo regulační mez, takže je nutné jejich odstranění a přepočítání. Je tedy patrné, že mezi variabilitou jednotlivých operátorů existují rozdíly. Variabilita je způsobena odlišnými metodami měření každého z operátorů a největší variabilitu vykazuje operátor C a poté B. Pro přehledné zobrazení jednotlivých variabilit jsem vybral intervalový diagram. Po přezkoumání všech dílčích diagramů se ukázalo, že největší variabilitu jeví operátor C. Za ním se nachází operátor B, který projevuje taktéž vysokou variabilitu. Nejstálejší a nejmenší variabilitu prokázal operátor D, jež ovšem naměřil pouze 3 bezchybná měření. Operátor A provedl 6 bezchybných měření, avšak jednou se nacházel mimo regulační mez. Je tedy s určitou jistotou možné konstatovat, že měření operátora D bylo nejstálejší a nejpřesnější. Druhým nejstálejším a nejpřesnějším měřením disponoval operátor A. Následoval operátor B a poté operátor C vnášející do systému největší variabilitu a nejvíce jeho naměřených hodnot muselo být vyškrtáno.

Analýzou dat se zjistilo, že přesnost měření závisí na dosavadních zkušenostech při měření (jako je tomu u operátora D), ale také na zaškolení jednotlivých operátorů. Je totiž patrné (v případě operátora A), že individuální přístup a zaškolení neznalého a nezkušeného operátora bylo přínosnější a účinnější než u operátorů, kteří mají s měřením již nějaké zkušenosti (operátoři B a C) po absolvování podobného školení, jež ovšem proběhlo před rokem v početné skupině lidí.

## Citovaná literatura

- [1] HOWARTH, Preben, Fiona REDGRAVE, PTB GERMANY, Søren MADSEN a Schultz GRAFISK. “metrology–in short” 3rd edition. *EURAMET project*. 2008, 1011.
- [2] *Ikvalita portál pro kvalitáře* [online]. Pardubice, 2007 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=122>
- [3] *TYRKYS, škola cestovního ruchu* [online]. Praha, 2022 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://www.tyrkys.cz/stranka/metrologie.html>
- [4] PETŘKOVSKÁ, Lenka a Lenka ČEPOVÁ. *Strojírenská metrologie*. OSTRAVA, VŠB–TUO. 2011.
- [5] TŮMOVÁ, Olga. *Metrologie a hodnocení procesů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, . Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/xsPd2W9R>
- [6] *Management Mania: QS 9000* [online]. c2011-2016 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/qs-9000>
- [7] *Quality System Requirements QS-9000* [online]. [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://ciiiaas.files.wordpress.com/2007/11/qs-9000.pdf>
- [8] *Quality-One* [online]. Spojené státy americké, 2022 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://quality-one.com/spc/>
- [9] *PDQM: APQP – Advanced Product Quality Planning* [online]. Praha, c1997-2022 [cit. 2022-12-05]. Dostupné z: <https://www.pdqm.cz/terms/management/APQP>
- [10] NĚMEČEK, Pavel. *Nejistoty měření*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. Kvalita, quality, Qualität. ISBN 978-80-02-02089-9.
- [11] CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05173-3.
- [12] *Ergonomie* [online]. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i., c2016-2023 [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://zsbozp.vubp.cz/ergonomie>

- [13] *10 základních principů ergonomie pracoviště* [online]. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i., 2020 [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: <https://vubp.cz/soubory/produkty/publikace-ke-stazeni/10-zakladnich-principu-ergonomie-pracoviste.pdf>
- [14] MAREK, Jakub a Petr SKŘEHOT. *Základy aplikované ergonomie* [online]. Praha: VÚBP, 2009 [cit. 2023-03-14]. Bezpečný podnik. ISBN ISBN978-80-86973-58-6. Dostupné z: [www.vubp.cz](http://www.vubp.cz)
- [15] TILHON, Jiří. *Ergonomie v praxi: správná praxe pro malé a střední podniky: správná praxe pro malé a střední podniky*. Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2022, . Dostupné také z: <https://go.exlibris.link/qJZVKjmP>
- [16] IYER, Rajiv. *Understanding Measurement System Analysis (MSA) also known as Gage R&R analysis for Instron® Testing Systems*. Recuperado de [www.instron.com](http://www.instron.com), 2010.
- [17] *Analýza systémů měření: příručka*. Čtvrté vydání. Praha: Česká společnost pro jakost, 2010. ISBN 978-800-2023-265.
- [18] *Analýza systému měření: Measuring System Analysis* [online]. Beránek, 2014 [cit. 2023-01-12]. Dostupné z: <https://www.slideserve.com/matsu/anal-za-syst-mu-men-measuring-system-analysis>
- [19] *Jak pochopit vyjadřování nejistoty měření spojené s metrologií elektrických veličin* [online]. Praha: Horský, 2011 [cit. 2023-06-30]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/jak-pochopit-vyjadrovani-nejistoty-mereni-spojene-s-metrologii-elektricky-velicin--9881>
- [20] *Metodika vyjadřování nejistoty měření* [online]. Brno: Bradík, 2002 [cit. 2023-06-30]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/02011/index.html>
- [21] GROUP, Automotive Industry Action, Chrysler CORPORATION, Ford Motor COMPANY a General Motors CORPORATION. *Statistical Process Control (SPC): Reference Manual: Reference Manual*. Automotive Industry Action Group, 2005. ISBN 9781605341088. Dostupné také z: <https://books.google.cz/books?id=mKDEMgEACAAJ>

[22] NENADÁL, Jaroslav. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press, 2018. ISBN 978-80-726-1561-2.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Ukázka správného a špatného držení těla [13] .....	17
Obrázek 2 - Optimální poloha trupu při práci [14] .....	18
Obrázek 3 - Optimální sklon hlavy [14] .....	18
Obrázek 4 - Optimální polohy horních končetin [14] .....	19
Obrázek 5 – Komfortní – silová zóna [13] .....	19
Obrázek 6 - Diagram příčin a následků variability systému měření [18] .....	25
Obrázek 7 - Strannost měření [17] .....	26
Obrázek 8 - Stabilita měření [17] .....	27
Obrázek 9 - Linearita měření [17] .....	28
Obrázek 10 - Shodnost měření .....	29
Obrázek 11 - Opakovatelnost měření [17] .....	30
Obrázek 12 - Vztah mezi opakovatelností a stranností [5] .....	31
Obrázek 13 - Reprodukovatelnost měření [17] .....	32
Obrázek 14 - Mikrometr od výrobce Mahr a stojan .....	37
Obrázek 15 - Měřené díly .....	38
Obrázek 16 - Diagram pro průměr – sdružený .....	47
Obrázek 17 - Diagram pro rozpětí – sdružený .....	48
Obrázek 18 - Intervalový diagram – operátor A .....	49
Obrázek 19 - Intervalový diagram – operátor B .....	49
Obrázek 20 - Intervalový diagram – operátor C .....	50
Obrázek 21 - Intervalový diagram – operátor D .....	50

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Vztah mezi činnostmi, požadavky na zrakový výkon, kontrastem a osvětleností [14].....	22
Tabulka 2 - Hodnoty konstant [21].....	40
Tabulka 3 - Kritéria přijatelnosti systému měření na základě analýzy GRR [22] .....	42
Tabulka 4 – Hodnoty $d_2^*$ pro výpočet konstant K [17] .....	43
Tabulka 5 - Výpočet naměřených hodnot v programu Excel .....	44
Tabulka 6 – Druhá iterace naměřených hodnot v programu Excel .....	45
Tabulka 7 - Výpočet GRR .....	46



# **Seznam příloh**

**Příloha A – První iterace naměřených hodnot v programu Excel**

**Příloha A – První iterace naměřených hodnot v programu Excel**

	Operátor	Číslo měření	Díl [mm]															$\bar{R}_a =$	0,004
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1	A	1	7,925	7,915	7,920	7,880	7,875	0,000	7,885	7,995	7,920	7,895	7,935	7,920	7,995	7,915	7,875		
2		2	7,925	7,915	7,910	7,875	7,870	0,000	7,880	7,995	7,925	7,895	7,920	7,920	7,990	7,915	7,870		
3		3	7,925	7,915	7,910	7,875	7,870	0,000	7,885	7,995	7,920	7,895	7,920	7,920	7,990	7,915	7,870		
4		Průměr [mm]																	
5		Rozpětí [mm]	0,000	0,000	0,010	0,005	0,005	0,000	0,005	0,000	0,005	0,000	0,015	0,000	0,005	0,000	0,005	$\bar{R}_a =$	0,004
6	B	1	7,930	7,910	7,910	7,875	7,870	0,000	7,885	7,995	7,920	7,895	7,920	0,000	7,990	7,910	7,875		
7		2	7,925	7,915	7,915	7,880	7,870	0,000	7,885	7,995	7,930	7,895	7,925	0,000	7,995	7,920	7,875		
8		3	7,930	7,915	7,915	7,875	7,875	0,000	7,885	7,995	7,930	7,900	7,925	0,000	7,995	7,920	7,880		
9		Průměr [mm]																	
10		Rozpětí [mm]	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,000	0,000	0,010	0,005	0,005	0,005	0,000	0,005	0,010	0,005	$\bar{R}_b =$	0,005
11	C	1	7,930	7,920	7,920	7,880	7,880	7,890	7,890	8,000	7,920	7,900	7,930	0,000	0,000	7,910	7,900		
12		2	7,930	7,920	7,920	7,880	7,875	7,885	7,890	8,000	7,930	7,895	7,930	0,000	0,000	7,920	7,880		
13		3	7,930	7,920	7,920	7,880	7,865	7,875	7,890	7,995	7,925	7,900	7,930	0,000	0,000	7,920	7,880		
14		Průměr [mm]																	
15		Rozpětí [mm]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,015	0,000	0,005	0,010	0,005	0,000	0,000	0,000	0,010	0,020	$\bar{R}_c =$	0,006
16	D	1	7,930	7,910	7,920	7,870	7,870	7,870	7,880	7,995	7,930	7,890	7,920	7,930	7,990	7,910	7,870		
17		2	7,925	7,910	7,915	7,880	7,870	7,870	7,880	7,990	7,925	7,895	7,925	7,925	7,995	7,915	7,870		
18		3	7,925	7,910	7,915	7,875	7,865	7,870	7,890	7,990	7,920	7,895	7,920	7,920	7,990	7,910	7,870		
19		Průměr [mm]																	
20		Rozpětí [mm]	0,005	0,000	0,005	0,010	0,005	0,000	0,010	0,005	0,010	0,005	0,005	0,010	0,005	0,005	0,000	$\bar{R}_d =$	0,005
21		Průměr pro díl [mm]																	
22																			
23																		$\bar{R} =$	0,0051
24																		$UCL_R =$	0,0131