



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

MINIMALIZACE CHYB V PROCESU OBRÁBĚNÍ S OHLEDEM NA OPERÁTORA

**ERROR MINIMISATION IN THE PROCESS OF MACHINING WITH REGARD TO THE
OPERATOR**

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MARTIN PEŇÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LUBOŠ KOTEK, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systému a robotiky

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Peňák

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Kvalita, spolehlivost a bezpečnost (2341T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Minimalizace chyb v procesu obrábění s ohledem na operátora

v anglickém jazyce:

Error minimisation in the process of the machining with regard to the operator

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza způsobilosti a minimalizace chyb v procesu obrábění strojní součástí pro zabezpečení kvality výroby s ohledem na operátora a ostatních zdrojů možných chyb.

Cíle diplomové práce:

Literární rešerše dané problematiky.

Zhodnocení stávajícího stavu.

Návrh metodiky pro minimalizaci chyb v procesu obrábění s ohledem na operátora.

Využití metody v průmyslovém podniku a návrh opatření pro zlepšení.

Seznam odborné literatury:

- [1] Analýza systému měření (MSA): příručka. 3. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2003, 233 s. ISBN 80-020-1562-2.
- [2] FIALA, Alois.. Statistické Řízení jakosti: Prostředky a nástroje prořízení a zlepšování procesu. 1. vyd. Brno: VUT v Brně, 1997, 92 s. ISBN 80-214-0895-2.
- [3] JAKL, Milan. Měřicí systémy. Praha: editační středisko _VUT, 1988.
- [4] KOŽÍŠEK, Jan. Statistická analýza: příručka. 3. vyd. Praha: _VUT, 1993, 128 s. ISBN 80-010-0965-3.
- [5] Minitab User's Guide 2: Data Analysis and Quality tools. USA, 2000.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 12.11.2014

L.S.

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

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

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Abstrakt

Práce se zabývá analýzou způsobilosti systému měření při výrobě rotační součásti z pohledu minimalizace chyb operátora a spolehlivosti lidského činitele. Cílem práce je provést literární rešerši na dané téma a následně provést analýzu současného systému ve společnosti ZNOJEMSKÉ STROJÍRNY, s.r.o. Na základě získaných dat navrhnout vhodné nápravné opatření ke zlepšení stávajícího stavu.

Klíčová slova

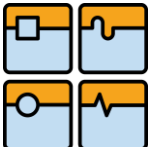
variabilita procesu, Gage R&R, lidský činitel, měřicí systém

Abstract

This thesis deals with analysis of measurement system capability in the production of rotary components from the viewpoint of operator error reduction and reliability of human factors. The aim is to carry out a literature review on the topic and then to analyze the current system in the company ZNOJEMSKÉ STROJÍRNY, s.r.o. Based on the obtained data suggest appropriate corrective arrangements to improve the current situation.

Key words

process variability, Gage R&R, human factor, measuring system

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Bibliografická citace

PEŇÁK, M. *Minimalizace chyb v procesu obrábění s ohledem na operátora*. Brno:
 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 53 s.
 Vedoucí diplomové práce Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

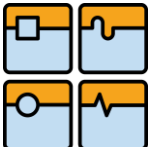
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „*Minimalizace chyb v procesu obrábění s ohledem na operátora*“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne: 26.5.2015

.....
Bc. Martin Peňák

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu práce Ing. Luboši Kotkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování této práce, dále zaměstnancům firmy ZNOJEMSKÉ STROJÍRNY s.r.o. pod vedením Ing. Lud'ka Blažka za spolupráci a trpělivost při řešení problémů týkajících se práce. V neposlední řadě potom rodině a přátelům za jejich podporu.

Obsah

Úvod	11
1 O firmě	12
1.1 Obráběcí centrum	12
1.2 Měřená součást	13
1.3 Měřicí systém	13
2 Statistické vlastnosti systému měření	14
2.1 Práh citlivosti	14
2.2 Stabilita	14
2.3 Variabilita systému měření	14
2.4 Opakovatelnost	15
2.5 Reprodukovatelnost	15
2.6 Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla (GRR)	15
2.7 Stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla	15
2.8 Počet oddělených tříd	16
2.9 Variabilita procesu	17
2.10 Ukazatele variability procesu	18
2.11 Analýza měřicího systému (MSA)	19
2.12 Způsobilost měřidla	19
2.13 Způsobilost systému měření	20
3 Zdroje variability	22
3.1 Variabilita systému měření	24
3.2 Lidský činitel	25
3.3 Člověk – stroj	26
3.4 Spolehlivost lidského činitele	27
3.5 Příčiny selhání lidského činitele	28
3.6 Identifikace příčin selhání	29
3.7 Posouzení vlivu lidského činitele	30
4 Popis experimentu	31
5 Analýza dat	32
5.1 Kontrola normálního rozdělení	32
5.1.1 Test normality	32
5.2 One-Way ANOVA	33
5.2.1 Vyhodnocení One-Way ANOVA	33
5.3 Gage R&R	34
5.3.1 Vyhodnocení hodnot Gage R&R	34
5.3.2 Vyhodnocení grafické podoby Gage R&R	35
5.4 Vyhodnocení	38
6 Analýza dat nových vzorků	40
6.1 Kontrola normálního rozdělení	40
6.2 One-Way ANOVA	40
6.2.1 Vyhodnocení One-Way ANOVA	40
6.3 Gage R&R	42
6.3.1 Vyhodnocení hodnot Gage R&R	42
6.3.2 Vyhodnocení grafické podoby Gage R&R	43
6.4 Vyhodnocení analýzy dat nových vzorků	45
7 Způsobilost procesu	48

8	Závěr	49
9	Seznam použitých zdrojů	50
10	Seznam použitých obrázků	51
11	Seznam příloh	52

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Úvod

Globalizace je pojem, který je v posledních letech velmi často skloňovaný. Setkáváme se s ním téměř na každém kroku a ve všech odvětvích, aniž bychom si to často uvědomovali. Zboží každodenní potřeby i stroje, na kterých jsou tyto výrobky vyráběny, jsou často z produkce zahraniční firmy nebo minimálně společnosti se zahraničním majitelem. Je to vývoj, který se nedá zcela zastavit, ale můžeme jej určitě ovlivnit. Zcela to ovšem závisí na předpokladu rozvoje společnosti, ve které žijeme a zejména na vůli, aby peníze v ní vytvořené v ní také zůstaly.

Některé společnosti se vydaly touto cestou. A to i přes nemalá úskalí, které jim tvrdý konkurenční trh nastoluje. Jsou to zejména firmy, které vsadily na nabídku komplexních služeb zahrnujících kvalitní funkční výrobky podpořené dobrým servisem pro zákazníka. Touto cestou se vydala společnost ZNOJEMSKÉ STROJÍRNY, s.r.o. Firma se zabývá třískovým obráběním strojních součástí jakéhokoliv druhu.

Veškeré procesy ovlivňující kvalitu produktu ve společnosti jsou neustále kontrolovány a zlepšovány. Jelikož nežijeme v ideálním světě, vyskytnou se v každém procesu chyby. Tyto chyby sebou nesou další náklady, které zatěžují společnost, jak po finanční stránce, tak možným poškozením dobrého jména. Právě z těchto důvodů otevřely ZNOJEMSKÉ STROJÍRNY, s.r.o. projekt zaměřený na online sledování procesu s okamžitou zpětnou vazbou operátorovi o jeho stavu.

Vzhledem k nynějším možnostem je nutné, aby vstupní data zadával do systému operátor stroje ručně přes terminál. Data jsou získávána měřením součástí přímo u stroje operátorem. Schopnost měřicího systému poskytovat relevantní data závisí na operátorovi. Každý člověk disponuje jinými schopnostmi, má jiné vlastnosti a zkušenosti, na základě kterých se dopouští chyb. Díky této části projektu vznikla tato práce, jejímž cílem bylo prověřit schopnost jednotlivých operátorů.

Pravděpodobnost vzniku lidské chyby se liší v závislosti vlivu lidského činitele na systém. Z tohoto důvodu není možné brát výše uvedené skutečnosti na lehkou váhu a je nutno jim věnovat patřičnou pozornost. V dnešní době, kdy je čím dál více kladen důraz na kvalitu, a díky stále sofistikovanějším strojům, je stále více vyžadována profesionalita operátorů měřicích přístrojů. V případě experimentu uvedeného v této práci hraje člověk a jeho výsledek závisí na jeho schopnostech, odbornosti a pečlivosti.

Cílem celého projektu i této práce je zaměřit se ve skupině všech zdrojů variability měřicího systému na chybu operátora. To z toho důvodu, že do projektu budou zařazeni téměř všichni operátoři obráběcích strojů a oddělení kontroly. Přestože všichni jsou do určité míry znalí výrobního procesu, je nutné pro potřeby projektu zjistit jejich úroveň odbornosti v procesu měření.

1 O firmě

Společnost ZNOJEMSKÉ STROJÍRNY, s.r.o. je česká strojírenská firma založena roku 1992. Je významným dodavatelem přesně obráběných dílců a montážních podskupin strojů a průmyslových zařízení. Třískově obráběné dílce a montážní podsestavy jsou dodávány širokému okruhu evropských a amerických finalistů strojů a zařízení. Jedná se o zákazníky z různých průmyslových oblastí jako letecký průmysl, vstříkovací zařízení, vakuová technika, tiskařské stroje, textilní stroje, obráběcí stroje atd.



Obr. 1 - Logo společnosti [1]

Výroba je specializována na obrábění technicky náročných dílců do hmotnosti cca 40kg objednávaných ve středně velkých sériích 50 – 2000ks. Základem technologického vybavení jsou CNC stroje, CNC soustruhy, CNC obráběcí centra, CNC brusky na ploché a rotační broušení.

ZNOJEMSKÉ STROJÍRNY, s.r.o. jsou jedním ze zakládajících členů Svazu českého leteckého průmyslu.

Práce je zaměřena na rotační součást, která je vyráběna na jednom z mnoha CNC obráběcích centrech, kterými společnost disponuje.

1.1 Obráběcí centrum

Základní tvar součásti je vyráběn na CNC soustruhu Daewoo Doosan PUMA 300B. Jedná se o univerzální CNC soustruh se základním vybavením bez protiběžného vřetena a poháněným nářadím.

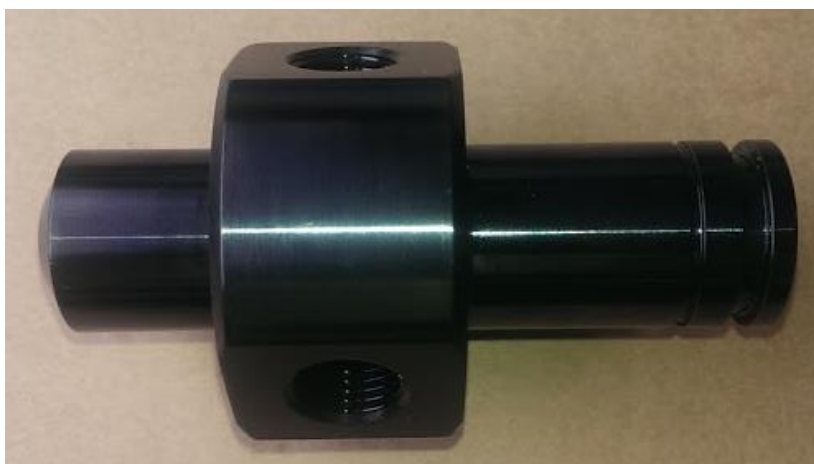


Obr. 2 - CNC soustruh PUMA 300B [1]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1.2 Měřená součást

K experimentu byla záměrně vybrána rotační součást na Obr. 3 - Měřená součást pro její nejčastější opakování ve výrobě a pro její tvar. Jedná se součást sestavy, jejíž montáž je prováděna ve výrobním závodě a následně dodávána zákazníkovi. Pro správnou funkci je velmi důležitý rozměr $\varnothing 22,5$ f8 na délce 10,5mm, který se vkládá do otvoru protikusu. Při měření tohoto rozměru mikrometrem je velmi důležitá zkušenost operátora vzhledem k těžišti součásti.



Obr. 3 - Měřená součást

Dle technologického postupu je součást vyráběna na hotovo na dvě upnutí v CNC soustruhu. Na první je obroben základní tvar včetně otvorů v ose součásti. Na druhé upnutí je upravena délka a čelo součásti dle výkresu uvedeného v příloze 1. Následují operace frézování, závitování a černění.

1.3 Měřicí systém

Měřicí systém je soubor nástrojů nebo měřidel, standardů, operací, metod, příslušenství, software, operátorů, prostředí a předpokladů použitých ke kvantifikaci měřeného objektu nebo ke stanovení a posouzení do funkce charakteristické pro měřený objekt. V podstatě jde o komplexní proces použitý pro získání měřené charakteristiky.

Měřená hodnota je definována jako „přiřazení čísel (nebo hodnot) materiálním věcem pro reprezentaci vztahů mezi nimi s ohledem na konkrétní vlastnosti." Tato definice byla nejprve vyslovena C. Eisenhartem (1963). Způsob přiřazení čísel je definován jako proces měření a hodnota přiřazená je definována jako hodnota měření. [8]

V procesu měření použitého v projektu diplomové práce byl zvolen měřicí systém, který společnost používá při kontrolních měřeních této rotační součásti. Je používán digitální mikrometr uchycený ve stojanu. Blíže popsáno v kapitole o postupu měření.

2 Statistické vlastnosti systému měření

Jelikož se jedná o proces výroby, kdy výsledkem je finální díl, nebo součást sestavy, je nutné ji dodat v požadované kvalitě. Aby jí bylo možné docílit s cílem jejího neustálého zlepšování, je nutné vědět, co proces dělá. To je možné pouze na základě výsledků a vyhodnocení parametrů procesu získaných během jeho kontroly pomocí měřících zařízení, nebo etalonů. Následně je možné posoudit, zda je proces stabilní a pracuje s přijatelnou variabilitou dostačující k získání požadované kvality určenou zákazníkem. Sběr dat, analýza a statistické vyhodnocení je v tomto případě chápáno jako proces a je nutné na něj pohlížet jako na nedílnou součást procesu výroby.

V případě, že by neexistovaly v systému žádné odchylky, každé měření by odpovídalo etalonu. Ze statistického hlediska by byl tento systém měření hodnocen jako systém s nulovým rozptylem, nulovou stranností a vždy se správným vyhodnocením každého výrobku. To by se ale jednalo o ideální systém, který se vyskytuje velmi málo, a tak je nutné používat systémy se statistickými vlastnostmi, které již nejsou zcela ideální. O tom, jak je systém měření kvalitní, rozhodují statistické vlastnosti dat z něj obdržených.

Existuje mnoho rozdílných systémů měření vytvořených pro individuální potřeby dle daného procesu s odlišnými statistickými vlastnostmi. Avšak každý správný systém měření je charakteristický následujícími základními vlastnostmi:

- citlivostí a prahem citlivosti vhodným pro daný systém,
- stabilitou systému,
- variabilitou systému měření dostatečnou k posouzení celkového procesu, jehož je součástí.

2.1 Práh citlivosti

Jedná se schopnost přístroje věrohodně identifikovat velikost změny vzhledem k referenční hodnotě. Její mírou obvykle bývá hodnota nejmenšího dílku stupnice přístroje. Z tohoto důvodu bývá někdy také nazývána rozlišitelností či čitelností přístroje.

Rozlišitelnost přístroje by měla být rovna nejméně jedné desetíně měřeného rozsahu. Rozsahem je nazývána tolerance měřené hodnoty. Z praktického hlediska je možno tuto zásadu brát jako výchozí pro určení prahu citlivosti, a to z toho důvodu, že neobsahuje žádný jiný prvek variability systému měření. [2]

2.2 Stabilita

Stabilitou výsledků měření je jejich celková variabilita pro stejný etalon. V případě měření jednoho znaku musí být tyto výsledky získávány po dostatečně dlouhou dobu. Stabilitou je také označována změna přesnosti systému, která se projevuje změnou strannosti. Stranností je označována míra systematické chyby měřicího systému. Příčinami nadměrné strannosti mohou být: opotřebený přístroj, prostředí, velikost dílu, jeho poloha, odbornost obsluhy.

2.3 Variabilita systému měření

Obvykle bývá popisována normálním rozdělením u většiny procesů měření. Jestliže naměřené hodnoty odpovídají normálnímu rozdělení, předpokládá se při analýze použití

standardních metod. Na druhou stranu se objevují systémy měření, které nemají standardní rozdělení, a ty musejí být rozpoznány a analyzovány rozdílným způsobem, aby nedošlo k nadhodnocení chyby.

2.4 Opakovatelnost

Opakovatelnost je variabilita měření provedených jedním operátorem, stejným měřidlem identické charakteristiky na stejného dílu. Většinou označována jako variabilita operátora. Jedná se o rozptyl způsobený náhodnými příčinami za jasně určených podmínek měření. Opakovatelnost se dá taktéž chápat jako variabilita uvnitř systému měření, která vzniká v zařízení, neméně způsobená libovolnou podmínkou měření.

2.5 Reprodukovatelnost

Variabilita je průměru měření provedených různými operátory, stejným měřidlem identické charakteristiky stejného dílu. Jedná se o rozptyl hodnot mezi operátory a bývá tak i běžně nazývána. Projevuje se zejména při měření ručními přístroji, které jsou závislé na odbornosti obsluhy. Jestliže je proces měření zautomatizován, můžeme reprodukovatelnost nazývat variabilitou mezi systémy.

2.6 Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla (GRR)

Jak již bylo dříve zmíněno, měřicí systém je proces, který má vlastní variabilitu. Z hlediska řízení kvality je tedy nutné stanovit, jak velká část z celkové naměřené variability připadá právě procesu měření. K tomu je určena metoda opakovatelnosti a reprodukovatelnosti GRR. Jedná se o rozptyl daný součtem rozptylů uvnitř a mezi systémy. [2]

$$\sigma_{GRR}^2 = \sigma_{reprodukovatelnost}^2 + \sigma_{opakovatelnost}^2 \quad (1)$$

2.7 Stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla

Existuje mnoho způsobů, jakými může být popsán měřicí systém spojitých proměnných:

- metoda založená na rozpětí,
- metoda založená na průměru a rozpětí,
- metoda ANOVA.

Návrh dat studie je u všech metod velmi podobný, mimo metodu založenou na rozpětí. Variabilita uvnitř dílu (rovinnost, kruhovitost atd.) není u všech těchto metod brána v úvahu. [2]

Proces používaný k identifikaci zdrojů variability v měřicím systému je nazýván Analýza měřicího systému (MSA). Nástroj používaný k měření těchto zdrojů variability se nazývá Studie opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (Gage R&R). Gage R&R je studie, ve které několik operátorů opakovaně měří dané součásti v pořadí zaručujícím opakovatelnost a reprodukovatelnost měřicího systému. Jestliže jsou analyzovány různé zdroje rozptylu,

může být dále definováno, zda variabilita vzniká rozdíly mezi operátory, měřicími metodami, nebo inherentními vlastnostmi součástí.

Během Gage R&R musí být dodrženy následující aspekty:

- každý operátor měří stejnou část opakovaně,
- data musí být vyvážená; tj. operátoři musí každou část měřit stejným počtem opakování,
- hodnoty musí reprezentovat celý rozsah předpokládané variability. Je doporučeno vybrat součásti uvnitř specifikovaného rozsahu,
- operátoři musí provádět měření součástí v náhodném pořadí. Nesmí vědět v jakémkoliv okamžiku, kterou součást právě měří.

Hodnoty získané Gage R&R studií:

- opakovatelnost – variabilita přístroje,
- reprodukovatelnost – variabilita způsobená měřicím systémem,
- procento přesnosti k toleranci (%P/T) – poměr variability měřicího systému a tolerančního pole,
- procento Gage R&R (%R&R) – poměr variability měřicího systému a celkové variability. [3]

Kritéria vyhodnocení přijatelnosti měřicího systému metodou Gage R&R, která jsou použita k analyzování procesu:

- R&R nebo P/T < 10% - systém je považován za způsobilý,
- R&R nebo P/T > 10% a zároveň < 30% - systém je považován za způsobilý vzhledem k důležitosti použití, nákladů na měřicí zařízení a opravu,
- R&R nebo P/T > 30% - systém je považován za nezpůsobilý. Je nutné se zaměřit na zlepšení způsobu měření.[3]

2.8 Počet oddělených tříd

Z hlediska ekonomického a fyzikálního nejsou všechny díly rozdělení procesu chápány jako díly, které mají své vlastní nebo odlišné hodnoty měřeného znaku. Každá hodnota měřeného znaku bude zařazena podle naměřených hodnot do velikostních tříd, které lze spolehlivě rozlišit systémem měření. Jedná se o počet nepřekrývajících se 97% konfidenčních intervalů, které pokrývají rozpětí očekávané variability produktu.

$$ndc = 1,41(PV/GRR) \quad (2)$$

kde:

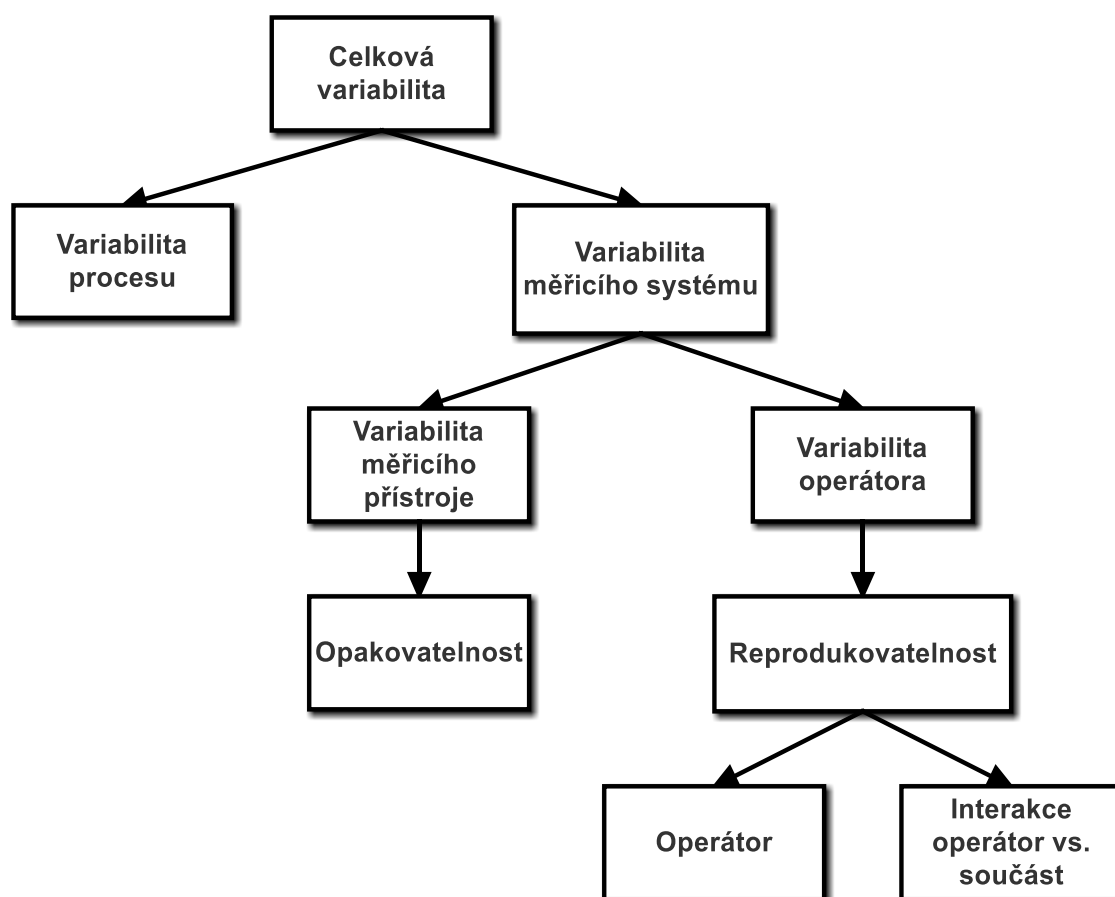
PV – variabilita procesu

GRR – hodnota Gage R&R

Jestliže systém měření neobsahuje dostatečný počet oddělených tříd (ndc- Number of Distinct Categories), nemusí být vhodný pro identifikaci variability procesu. Hodnota ndc by měla být rovna alespoň 5. [2]

2.9 Variabilita procesu

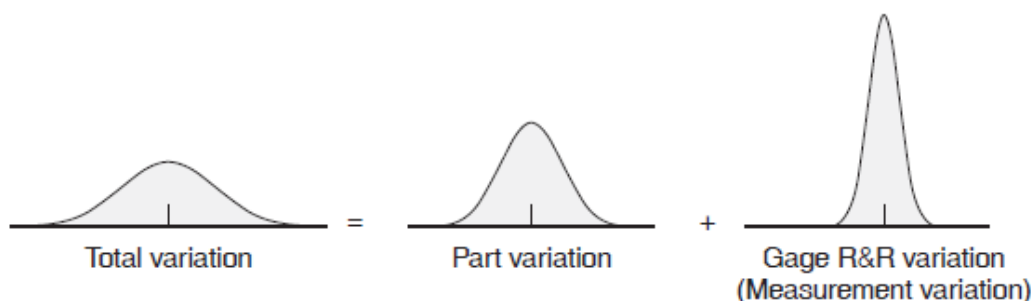
Každý systém má mnoho zdrojů variability. Odchytky mohou být způsobeny stroji, materiály, metodami, měřicími přístroji, operátory a prostředím mezi ostatními zdroji. Velmi často bývají tyto zdroje variability rozděleny do dvou hlavních kategorií: variabilita způsobená procesem (part - to - part) a variabilita způsobená měřicím systémem. Specificky je dále variabilita měřicího systému rozdělena do dvou podskupin: opakovatelnost a reprodukovatelnost. Před započítáním jakéhokoliv procesu musí být jednotlivé zdroje variability měřicího systému identifikovány a redukovány. Na Obr. 4 a Obr. 5 jsou znázorněny jednotlivé zdroje variability v systému. Dále mohou být vypočteny i další ukazatele jako například P/T a R&R. Tyto ukazatele jsou důležité při hodnocení spolehlivosti měřicího systému.[3]



Obr. 4 – Zdroje variability [3]

Výše uvedený diagram by se dal také popsat následujícím vztahem nebo obrázkem.

$$\sigma_{celková}^2 = \sigma_{procesu}^2 + \sigma_{měřicího\ systému}^2 \quad (3)$$



Obr. 5 – Části celkové variability [4]

2.10 Ukazatele variability procesu

- Rozpětí**

Nejjednodušší ukazatel variability. Představení je velmi jednoduché. Hodnotu získáme odečtením nejvyšší a nejnižší hodnoty, která se v souboru dat nachází.

$$R = X_{max} - X_{min} \quad (4)$$

Tento druh variability se používá pouze v případě malého rozsahu vzorků. V různých zdrojích je uvedena rozdílná hranice pro přechod z rozpětí na směrodatnou odchylku. Ve všech případech se tato hranice nachází v intervalu $n = \langle 4, 10 \rangle$. Poté velmi záleží na hodnotiteli, pro kterou charakteristiku se rozhodne. [2]

- Klouzavé rozpětí**

Tento druh charakteristiky se používá zejména u procesu, kde není možné měřit více vzorků. Důvody mohou být ekonomické nebo i případy, že se jedná o destruktivní zkoušky. Pro získání hodnoty je použita hodnota z předchozího měření. [2]

$$MR = |X_i - X_{i-1}| \quad (5)$$

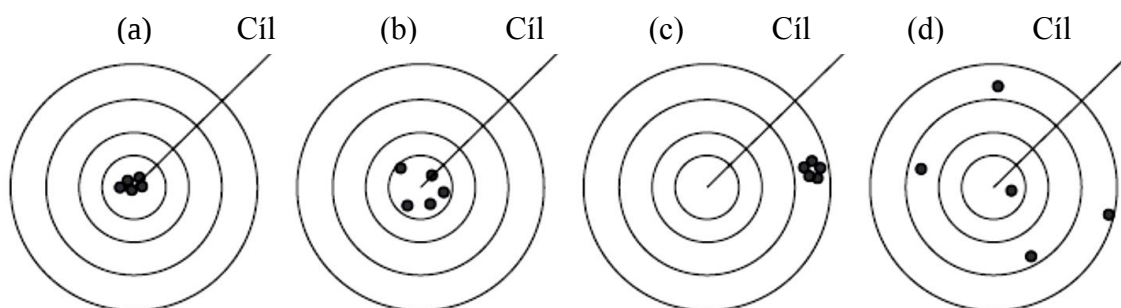
- Výběrová směrodatná odchylka**

Velmi používaná charakteristika k popisu variability procesu. Zejména se používá u procesů s velkým rozsahem vzorků $n > 10$. [2]

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (6)$$

2.11 Analýza měřicího systému (MSA)

Je používána k vyhodnocení variability spojené s měřicím přístrojem. MSA bývá běžně používána zaměnitelně s Gage R&R studií. MSA je ve skutečnosti komplexní analýza vyhodnocující části variability vznikající od stability měřidla, strannosti měřidla, linearity měřidla, opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla. Opakovatelnost a reprodukovatelnost měřidla jsou v podstatě podmnožina nebo část MSA. Důvodem pro záměnu termínů MSA a GR&R je, že mnoho problémů měřicích systémů je zjištěno a opraveno s GR&R postupy, aniž by bylo nutné pokračovat v podrobnější analýze MSA.



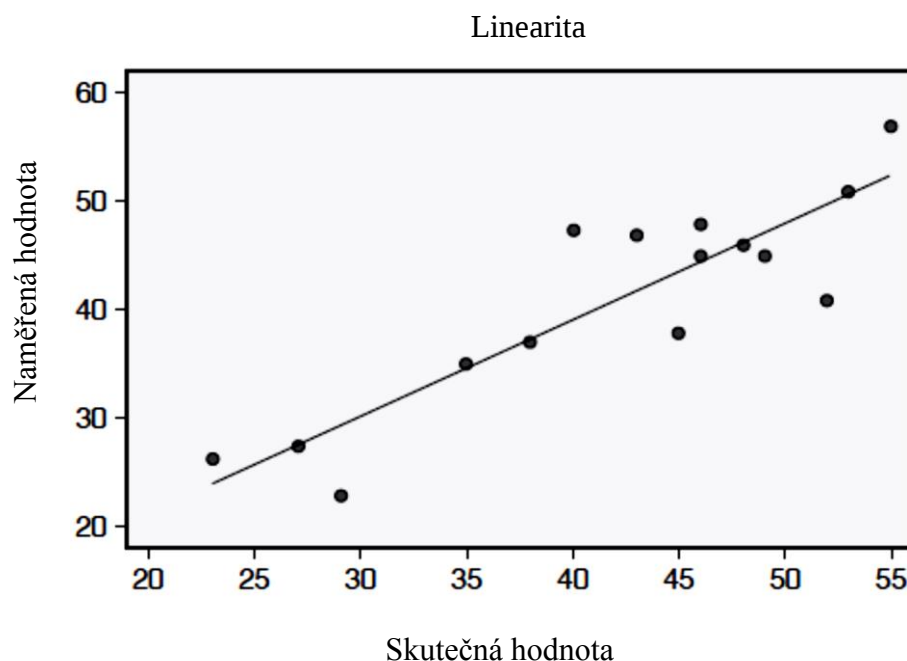
(a) přesný a shodný, (b) přesný, ale neshodný, (c) nepřesný, ale shodný, (d) nepřesný a neshodný

Obr. 6 – Rozdíl mezi shodností a přesností [4]

2.12 Způsobnost měřidla

MSA je technika sběru a analýzy dat k vyhodnocení účinnosti měřidla. Jsou známy čtyři základní charakteristiky, které jsou klíčem každého měřicího systému:

- Shodnost – je dále rozdělena na opakovatelnost a reprodukovatelnost,
- Přesnost – blízkost střední hodnoty naměřených hodnot s „pravou hodnotou“. Rozdíl mezi přesností a shodností je velmi dobře znázorněn na Obr. 6,
- Stabilita - definována jako celkový rozdíl naměřených hodnot systémem měření na stejném vzorku nebo stejné části při měření jedné charakteristiky po delší časové období. Čím menší je celková změna, tím je stabilnější systém měření,
- Linearita - je rozdíl mezi skutečnou hodnotou měřeného vzorku a průměrem naměřených hodnot stejné části, která má stejné rozložení v celém rozsahu měření. Linearita je nejlépe vysvětlena na schématu na Obr. 7. [4]



Obr. 7 – Diagram vztahu skutečných a naměřených hodnot [4]

2.13 Způsobnost systému měření

Je definována jako inherentní variabilita charakteristiky výrobku. Reprezentuje výkon procesu v průběhu období stabilních operací. Způsobnost procesu je vyjádřena jako 6σ , kde σ je směrodatná odchylka vzorku procesu podle stavu statistické kontroly. Index způsobnosti procesu je bezrozměrné číslo, které se používá k reprezentaci schopnosti plnit limity přání zákazníka. Tento index srovnává variabilitu charakteristik vůči limitům specifikace. Existují tři základní indexy způsobnosti procesu, běžně používané jsou C_p , C_{pk} a C_{pm} .

C_p index popisuje způsobnost procesu ve vztahu k toleranci charakteristického znaku dělenou přirozenou variabilitou procesu pro proces ve stavu statistické kontroly.

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (7)$$

kde:

USL – horní mezní hodnota

LSL – dolní mezní hodnota

6σ – přirozená variabilita procesu

Rozdíl uvedený v čitateli zlomku je šířka tolerančního pole pro danou měřenou charakteristiku, která je předepsána zadavatelem. Jmenovatel představuje skutečně dosahovanou přesnost procesu. Z toho vyplývá, že čím větší bude tento poměr, tím bude proces kvalitnější.

Nicméně, index C_p je omezen při jeho použití, protože neřeší centrování procesů vzhledem k specifikačním limitům. Z tohoto důvodu byl vyvinut index C_{pk} . Ten je definován jako

$$C_{pk} = \text{Min}(C_{pkU}, C_{pkL}) \quad (8)$$

kde:

C_{pkU} – horní index způsobilosti dán: $C_{pkU} = \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma}$

C_{pkL} – dolní index způsobilosti dán: $C_{pkL} = \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma}$

a

$\bar{x}$ – střední hodnota

3σ – polovina přirozené variability procesu

C_{pk} určuje blízkost střední hodnoty procesu k nejbližší mezní hodnotě. Musí být uvedena alespoň jedna mezní hodnota, aby mohla být vypočtena hodnota C_{pk} . [5]

Níže jsou uvedena pravidla často používaná pro určení, zda je proces považován za schopný:

C_p resp. $C_{pk} > 1,33$ (schopný),

C_p resp. $C_{pk} = 1,00 - 1,33$ (schopný s přísnou kontrolou),

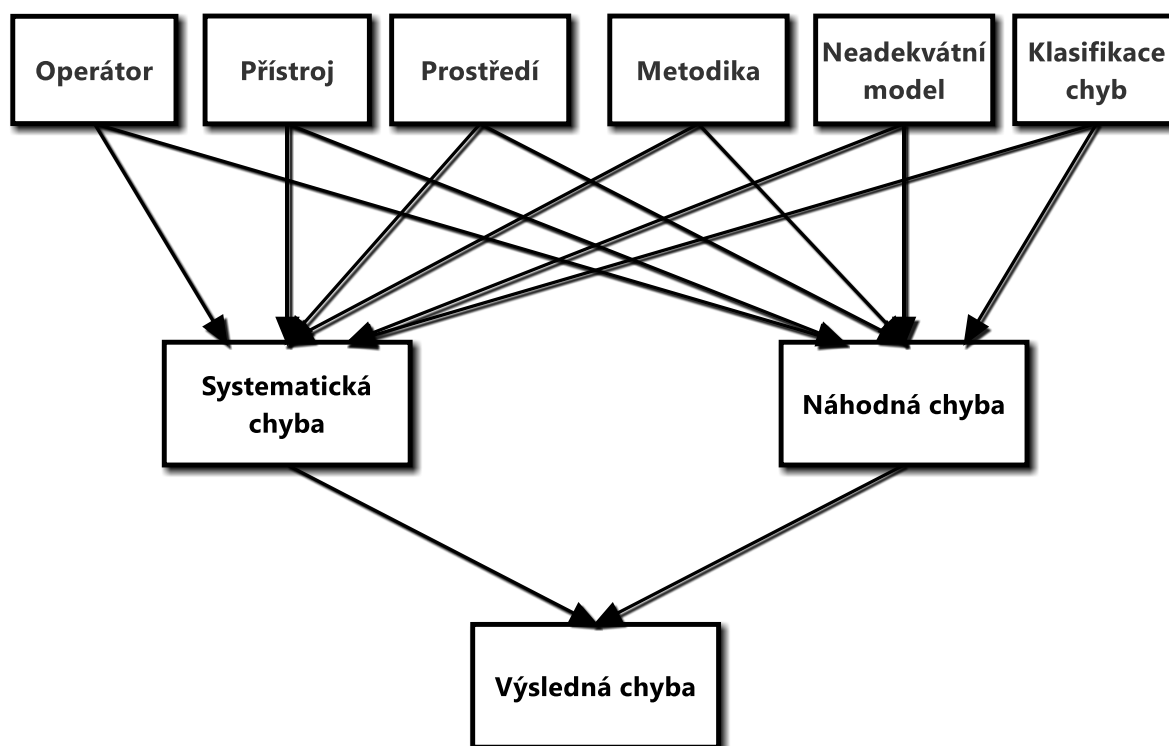
C_p resp. $C_{pk} < 1,00$ (není schopen).

Některé učebnice ukazují, že pro metodiku Six sigma je podmínka $C_{pk} = 2,0$. [6]

3 Zdroje variability

Jakékoliv měření bez ohledu na to, jak pečlivě bylo provedeno, se vyznačuje chybami (nejistotami) definujícími přesnost odhadu parametrů, které jsou předmětem zájmu. Všechny chyby jsou na základě jejich původu rozlišovány následujícím způsobem: lidské, instrumentální, vnější, metodické chyby, stejně jako chyby zapříčiněné nedokonalostí modelu a chyby způsobené jejich klasifikací. Zdroje výsledné chyby jsou uvedeny v diagramu znázorněném na Obr. 8.

Chyby operátora, subjektivní, odkazují na chyby závislé na fyzických nebo fyziologických funkcích operátora (pozorovatele): kvalifikaci, únavě atd., které lze rozpoznat dle jejich hodnot a charakteristických rysů. Za daných podmínek se tato chyba ostře odlišuje od zbývajících výsledků této řady.



Obr. 8 – Charakter vzniku výsledné chyby [9]

Chyby přístrojů jsou chyby (selhání, poruchy) vzniklé v důsledku nedokonalosti měřicích přístrojů. Obvykle jsou příčiny jejich vzniku důkladně analyzovány. V případě, že není možné jejich odstranění, jsou vzaty v úvahu s pomocí různých oprav. Mezi chyby přístrojů patří ty, které vznikají v důsledku chyby odečtu z měřicího přístroje, nulové změny nebo nedostatečné citlivosti měřicího přístroje atd.

Chyby prostředí jsou spojeny s fyzikálními vlivy charakteristickými pro dané prostředí, které působí na měřicí přístroj, nikoliv na měřený objekt. Tlaky, nárazy, vibrace, silný vítr, vlhkost, rozdíl teplot a další odchylky parametrů prostředí, při kterých byl přístroj kalibrován, mohou také vést ke vzniku chyb.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 23
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Metodické chyby, tedy chyby způsobené nedokonalostí zvolené metody měření, jsou velmi důležité. Nejčastěji tyto chyby vznikají v důsledku často používaným zjednodušením v rovnicích pro měření. Jsou také generovány různými aproximacemi, zaokrouhlením, zanedbáním členů nejvyšších řádů a nebrání v úvahu ostatní faktory, které mají vliv na zpracování naměřených dat.

Chyby neadekvátního modelu jsou spojeny s tím, že měřený objekt a jeho různé fyzikální vazby jsou přítomny v procesu zpracování naměřených dat v podobě některých abstraktních idejí (modelů). Odrážejí pouze hlavní rysy reálného objektu a reálných vazeb, ale nikdy se s nimi zcela neshodují. Adekvátnost modelu objektu znamená, že model odráží jen ty vlastnosti objektu, které jsou předmětem zájmu pozorovatele, který má možnost posoudit, do jaké míry jsou tyto vlastnosti významné, a které z nich lze zanedbat.

Velmi jednoduchý příklad chyby tohoto druhu lze pozorovat při měření poloměru ocelové kuličky. Kulička je vnímána jako ideální koule. Ve skutečnosti se koule neshoduje s ideálním tvarem. Měření průměru kuličky v různých směrech bude zdrojem neshodujících se výsledků.

Pokud je určitá skupina naměřených dat podřízena neznámé pravidelnosti, je aproximována křivkou známého tvaru. Rozdíl mezi hodnotami vyjádřenými touto křivkou a skutečnými hodnotami by měl být považován za chybu způsobenou neadekvátním modelem.

Chyby způsobené **chybou klasifikace** se objeví tehdy, když je možné podstoupit měření vedlejšího objektu na objekt předmětu měření. Za účelem vyloučení chyby klasifikace je obvykle provedena předběžná kontrola, zda jsou splněny všechny podmínky pro řešení zkoumaného problému. Kontroly tohoto typu jsou součástí určitého segmentu teorie pravděpodobnosti, tj. teorie statistických řešení.

Podle teorie původu, každá z výše uvedených chyb může být označována jako buď systematickou, nebo náhodnou.

Systematickou chybou se nazývá chyba, jenž vyjadřuje významné vazby, které vznikají v průběhu měření nebo zpracování dat. Taková chyba se objeví pokaždé, i když jsou jasně stanoveny všechny podmínky. Systematická chyba je složka chyby, která zůstává konstantní nebo se pohybuje předvídatelným způsobem v opakovaných měřeních po celou dobu.

Chyba se nazývá **náhodnou chybou**, pokud má stochastický charakter a odráží méně významné vazby. Taková chyba nemůže být přesně reprodukována vytvořením stejných, nebo jiných podmínek. Tato složka chyby měření se pohybuje nepředvídatelným způsobem (s ohledem k znaku a hodnotě) v opakovaných měřeních jedné a tytéž konstantní fyzikální veličiny prováděných s podobnou důkladností.

Výsledná chyba se skládá ze součtu náhodných a systematických chyb, které nejsou vyloučeny a jsou považovány za náhodné. [9]

Při plánování experimentu spojené s měřením je nutné se snažit co nejvíce eliminovat systematické chyby. A to ze všech zdrojů jejího možného vzniku. Za předpokladu, že je

zvolena správná metodika měření, vyhodnocení a model je řádně sestaven a propracován, je možno se zaměřit variabilitu systému měření jako takovou.

3.1 Variabilita systému měření

Podobně jako u všech procesů je systém měření zasažen náhodnými a systematickými zdroji variability. Tyto zdroje mohou být zapříčiněny obvyklými nebo specifickými příčinami. Pro řízení měřicího procesu je nutné:

- identifikovat potenciální zdroje variability,
- eliminovat (pokud je to možné) nebo monitorovat tyto zdroje variability.

Přestože specifické příčiny vzniku závisejí na dané situaci, je možné některé typické zdroje identifikovat. Existuje mnoho různých metod vhodných k určení a kategorizaci těchto zdrojů variability jako například diagram příčin a následků, strom poruch atd.

Zkratka S.W.I.P.E. představuje šest základních prvků obecného měřicího systému, na které je nutné se zaměřit k dosažení požadovaných výsledků. Všechny mohou být považovány za chybový model kompletního měřicího systému. [8]

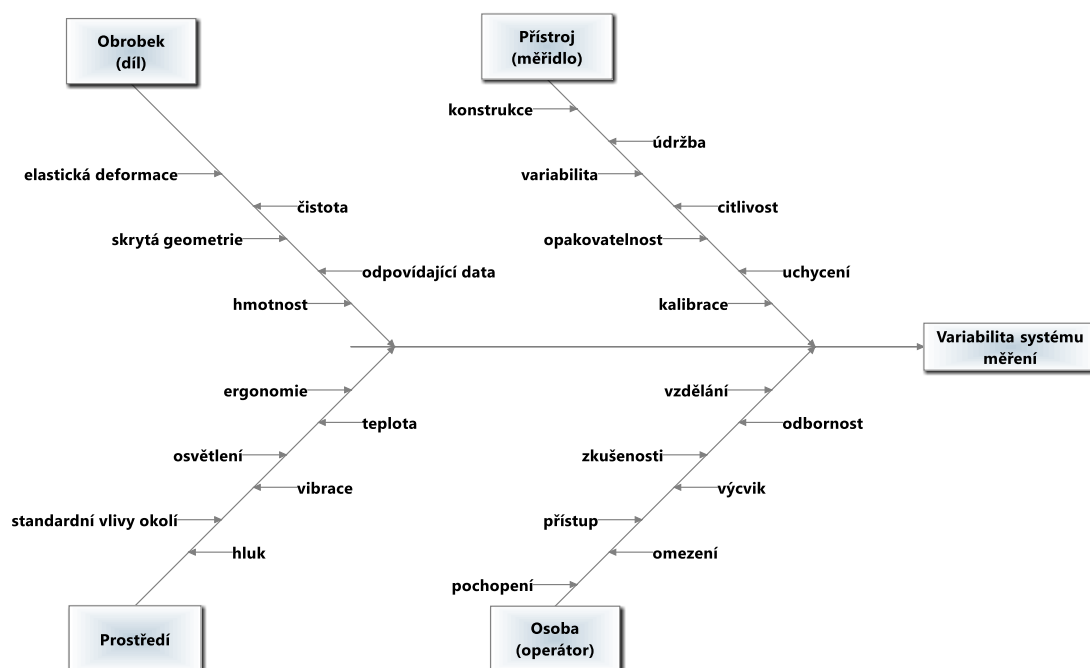
S - Etalon (Standard)

W - Obrobek (Workpiece)

I - Přístroj (Instrument)

P - Osoba a postup (Person/Procedure)

E - Prostředí (Environment)



Obr. 9 - Příklad digramu příčin a následků

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 25
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Pomocí diagramu příčin a následků je možno popsat a identifikovat jednotlivé zdroje variability měřicího systému. Obecné znázornění diagramu je uvedeno na Obr. 9. Vzhledem k jedinečnosti každého systému budou i zdroje variability jedinečné. Vždy je nutné vypracovat diagram dle potřeb daného systému.

Cílem celého projektu i této práce je zaměřit se ve skupině všech zdrojů variability měřicího systému na chybu operátora. A to z toho důvodu, že do projektu budou zařazeni téměř všichni operátoři obráběcích strojů a oddělení kontroly. Přestože všichni jsou do určité míry znalí výrobního procesu, je nutné pro potřeby projektu zjistit jejich úroveň odbornosti v procesu měření.

3.2 Lidský činitel

Měření je možno provádět automatizovaně bez působení operátora, nebo za použití měřidla, kde je vyžadována obsluha operátora. V druhém případě správnost měření (vznik chyb) závisí z velké části na schopnostech operátora. V tomto případě se hovoří o lidském činiteli a jeho spolehlivosti.

Lidský činitel je charakterizován jako souhrn vlastností a schopností člověka mající v daném procesu vliv na výkonnost, efektivitu a spolehlivost systému a jsou hodnoceny z psychologického, fyziologického a fyzického hlediska. Ve většině případů je o něm hovořeno negativně. Vliv lidského činitele může být i pozitivní. Operátor je z jedné strany nejslabším článkem v systému, a z druhé strany je však nejvýkonnějším prvkem systému. Některé situace, které nejsou řešitelné pomocí počítače nebo stroje, mohou být zachráněny člověkem. Stroj projevuje větší spolehlivost při výkonu rutinní práce, kdežto člověk se stává nenahraditelným v situacích, kde je potřeba improvizace a rozhodování. To je dáno schopnostmi člověka kreativně myslet a flexibilně reagovat na situace v jeho okolí. Při stejné situaci se člověk nechová vždy stejně a ten samý úkol může být vykonán různým způsobem, aniž by přitom byly snížena spolehlivost systému. Na druhou stranu to sebou přináší riziko, že může být akce provedena chybně. Do pojmu lidského činitele je nutné integrovat nejen člověka, ale také úroveň podnikové a celospolečenské kultury a kultury bezpečnosti.[10]

Lidskou chybu není možné v systému opomíjet a je nutné věnovat dostatečnou pozornost na její omezení nebo úplné zamezení. Teorie pravděpodobnosti měří pravděpodobnost náhodných chyb, nikoliv systémových. Právě lidské chyby jsou nejčastějším zdrojem chyb systémových. Na příčinu vzniku lidské chyby je možno se dívat z více úhlů vzhledem k jejímu zapříčinění. Faktorů ovlivňujících činnost operátora je nepřeberné množství, ale dají se rozdělit do několika základních skupin:

– Operační prostředí

- prostředí pracovního procesu - kdy je proces prováděn, jak často byl v minulosti opakován operátorem a jak složitý proces je,
- fyzické prostředí - hluk, teplota, osvětlení prostředí,
- rozvrh práce - pracovní doba, přestávky, směnnost, noční práce.

– Charakteristika úkolů

- design prostředků - umístění, označení, design kontrolních panelů,
- pracovní pomůcky a postupy - kritéria pro výběr pomůcek, detailnost popisu, aktualizace,
- výcvik - používání nového a stávajícího zařízení, vývoj výcvikového programu.

– Charakteristika operátora

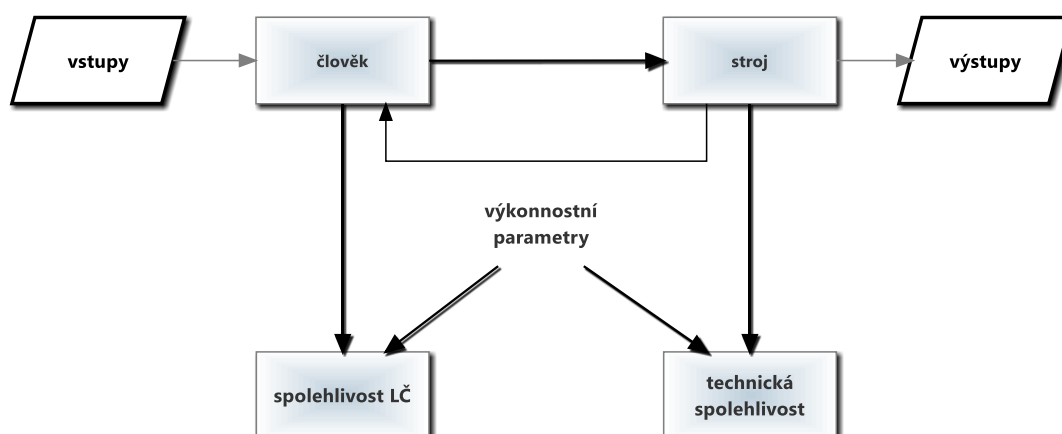
- zkušenosti - úroveň dovedností, zvládání stresu,
- osobní faktory - motivace, emoční kontrola, tělesný stav a věk.

– Organizační a sociální faktory

- týmová práce a komunikace - rozdělení pracovní zátěže, jasnost odpovědností autorita a vedení,
- politika managementu - zájem managementu, kultura prostředí, organizační určení. [7]

3.3 Člověk – stroj

Tímto systémem rozumíme soustavu, která je tvořena pracovníkem (skupinou pracovníků) a pracovními prostředky (stroje, technickými zařízeními) včetně pracovního předmětu. V této soustavě realizované v daném pracovním prostředí jsou určitým způsobem rozděleny funkce mezi lidské a technické komponenty – Obr. 10. Stroj je zde chápán jako pracovní prostředek obecně, počínaje jednoduchým nářadím či nástrojem, přes jedno či víceúčelový stroj, přístroj, technické zařízení až po řídicí centrum.



Obr. 10 – Schéma soustavy člověk – stroj [11]

Jsou identifikovány zásadní rozdíly mezi spolehlivostí stroje a spolehlivostí lidského činitele, a to zejména ve způsobu zpracování informací a ve způsobu dosažení cíle. Interfacem je nazýván všechny hardware, kterým je uskutečněna interakce mezi člověkem a strojem. Bývá často označován jako sdělovače a ovladače (displej, ukazatel měřicího přístroje, klávesnice, atd.).

V této soustavě by mělo docházet k neustálé oboustranné výměně informací mezi člověkem a hardwarem. V poslední době se velmi řeší otázka priority rozhodování. Jak je uvedeno výše, člověk se při rozhodování neřídí předem stanovenými pravidly na rozdíl od stroje. Člověk jako kreativní prvek pracovního systému používá pro něj velmi specifické vlastnosti při interakci člověka a stroje. Těmi je myšlení a schopnost učit se novým věcem, získávat zkušenosti a dovednosti a poučit se z předchozích nezdarů. Stroj je charakteristický tím, že je u něj předem známo, jak bude jednat, což může mnohdy být na rozdíl od člověka i nesporná výhoda.

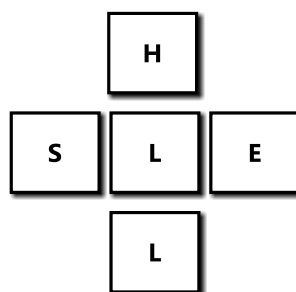
Výpočetní technika dnešní doby mnohonásobně překračuje možnosti lidského mozku v rychlosti a kapacitě paměti. Z těchto důvodů se stále naskytá otázka priority rozhodování při návrhu řídicího systému. Stroj při plnění svého úkolu není na rozdíl od člověka ovlivněn únavou. Jelikož stroj pracuje podle předem stanoveného algoritmu, je každá jeho provedená práce identická. Je-li algoritmus navržen správně, je téměř vyloučen vznik chyby, což se o člověku říci nedá.[10]

3.4 Spolehlivost lidského činitele

Spolehlivost lidského činitele je charakterizována, jako pravděpodobnost s jakou je člověk schopen provádět danou aktivitu požadovanou systémem během časového úseku bez konání jakékoliv vedlejší aktivity vedoucí k poškození systému. Jde tedy o kvalitativní vlastnost lidského operátora, která je specifická pro každého jedince a která je závislá na výkonových parametrech jedince (fyzický stav, mentální úroveň, psychická odolnost apod.).

Stanovení, nebo i dokonce předpovězení spolehlivosti lidského činitele není jednoduché. Důvodem tohoto tvrzení je, že se nejedná o izolovaný krok nebo jednorázové rozhodnutí, ale o soubor rozdílných faktorů, vlivů a příčin, které utváří tuto vlastnost člověka.[10]

Věnovat pozornost spolehlivosti člověka je potřeba již v etapě návrhu experimentu a také v samotném procesu. Výkon člověka je ovlivněn mnoha faktory a pro pochopení jejich souvislostí je možné použít model SHELL – Obr. 11. Znázorňuje pojmový model lidského činitele pomocí blokového schématu, kde jednotlivé komponenty znázorňují různé komponenty lidského činitele.



Obr. 11 – Model SHELL [11]

kde:

S – Software (postupy, symboly)

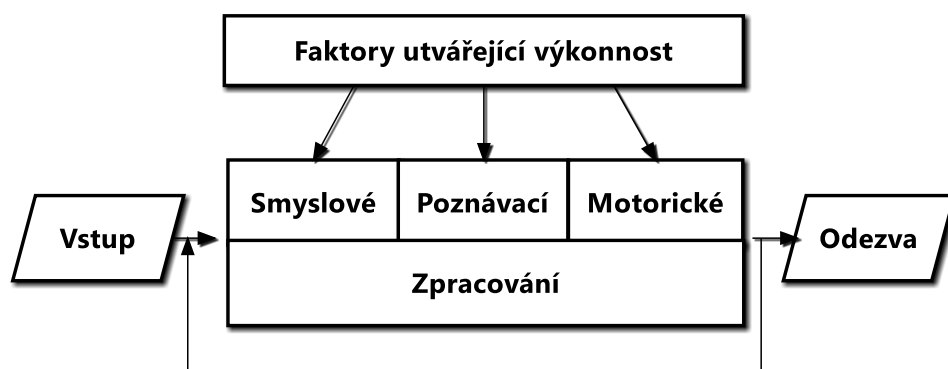
H – Hardware (stroj, přístroj)

E – Enviroment (prostředí, ve kterém se odehrává interakce S – H – L)

L – Liveware (člověk v centru zájmu)

L – Liveware (lidé, se kterými je člověk v centru zájmu v nějakém vztahu) [11]

V souvislosti s lidským činitelem je nutné brát v úvahu i to, jakým způsobem je člověk schopen zpracovat danou informaci. Při měření závislém zcela na schopnostech operátora je tento faktor zcela zásadní. Existuje jednoduchý model uvedený na Obr. 12, zpracování informací člověkem.



Obr. 12 – Model zpracování informací člověkem [11]

3.5 Příčiny selhání lidského činitele

O lidském selhání je možno hovořit tehdy, když nastane situace v plnění úkolu, že kladené požadavky jsou vyšší, než aktuální výkonnostní kapacity člověka (ať již mentální, tak i fyzické). Lidské pochybení se vyskytuje v mnoha podobách. Příčinou může být chyba managementu, špatně prováděná kontrola, nedostatečný výcvik a školení. Neméně je nutno brát v úvahu individuální selhání operátorů spojené s lajdáctvím, podceněním úkolu anebo neschopností plnit zadané úkoly. Mnoho z těchto selhání je možno odstranit nebo eliminovat.

Nejisté jednání

Jestliže si operátor počíná při měření nejistě, a tímto jednáním vznikne chyba, jedná se o lidské selhání. Při detailnějším hodnocení vzniku chyby je nutné zjistit, proč se lidé takto chovají.

Neznalost, paměť a motivace

V případě nestandardní nebo nové situace je často slýcháno „já nevím“ nebo „nikdo mi nic neřekl“. Ne vždy tomu tak opravdu je. Jednou za základních vlastností člověka je, že hledá nejjednodušší způsoby řešení, cesty nejmenšího odporu, a to i v případě, kdy si není jistý správností svého rozhodnutí. V případě, že lidé přistupují k takovému způsobu řešení, lze za možné příčiny považovat následující: nedostatek znalostí vinnou špatného výcviku, školení, úrovně dokumentace, schopností (dovedností) a způsobu jak úkol plnit. Všechny tyto nedostatky by měly být odhaleny důkladnou a neustálou kontrolou.

Nejistého jednání se může člověk dopouštět kvůli svým postojům. Na ně mohou negativně působit následující aspekty:

- špatné pracovní návyky,
- lhostejnost,
- lenost,
- ukvapenost,
- rozpoložení, nálada,
- špatný příklad,
- nuda,
- nadřazené zájmy. [10]

S ohledem na systém měření jsou lidé v pozici, kdy mohou udělat chybu, na rozdíl automatizované strojní měření, které pracuje dle předepsaných podmínek. Mnohdy i stroj však provede chybu. V tomto případě se často uvádí konstatování, že stroj nepracuje tak jak má, proto jsou výsledky chybné. Stroj vždy pracuje tak, jak je nastaven a jak jsou zadány jeho parametry. Ty jsou zadány při vývoji konstruktérem, programátorem nebo jeho obsluhou.

Jak již bylo uvedeno, prostředí hraje velmi významnou roli ve spolehlivosti lidského činitele. Může na člověka působit příznivými i nepříznivými faktory. Z hlediska vzniku lidských chyb je potřeba se zaměřit zejména na ty negativní. Mezi negativní vlivy pracovního prostředí patří:

- nedostatečný čas potřebný k vykonání úkolu,
- nevhodné mikroklimatické podmínky,
- otřesy, nárazy, vibrace,
- hluk,
- nedostatečné nebo nevhodné osvětlení,
- nekompatibilní rozhraní a design zařízení,
- náhlost změny vnějších podmínek (pracovní tempo, režim práce),
- směnování,
- kolektiv.[10]

I zde má stroj své nesporné výhody, ale v některých případech nelze stroj použít. Vzhledem k finančním podmínkám, dispozicím pracovního prostředí a využitelnosti je člověk mnohem flexibilnější a přizpůsobivější.

3.6 Identifikace příčin selhání

Identifikace příčin selhání je velmi důležitá a obtížná součást posouzení vlivu lidského činitele. Je nutné si uvědomit, že zde jsou predikovány možné chyby společně s faktory zapříčiňujícími jejich vznik. Hodnocení chyb a určení činností, které vedou k jejich prevenci

nebo redukci je komplexní proces. Návrh opatření k zamezení jedné chyby může iniciovat jiný druh chyby. Mezi nejvýznamnější chyby a příčiny jejich vzniku lze zařadit následující:

- Chyby, kterým lze předejít lepším výcvikem, školením a pokyny. Člověk nevěděl přesně, co má dělat. Často se tento druh chyb nazývá chybou v důsledku špatného úmyslu (záměru). Operátor nebyl řádně proškolen a vycvičen v měření.
- Chyby, kterým šlo předejít lepší motivací. Člověk věděl, co má dělat, ale neudělal, protože se rozhodl to neudělat. Operátor prošel školením a disponuje všemi prostředky, ale chyba vznikla díky jeho přístupu k dané věci. Namísto měření si hodnoty vymyslí, opíše atd.
- Chyby způsobené nedostatkem fyzických a duševních schopností. Operátor má sníženou pozornost díky směnování, ke konci pracovní doby, rodinné problémy atd.
- Chyby způsobené snížením nebo ztrátou pozornosti. Operátor má v plánu provést měření, avšak okolní dění mu naruší pozornost a měření neprovede.

3.7 Posouzení vlivu lidského činitele

Vliv lidského činitele se posuzuje u procesů, ve kterých výskyt lidských chyb výrazně ovlivňuje výstup daného procesu. Nemusí se vždy jednat o proces, kde člověk hraje významnou úlohu, ale může do něj vstupovat jen částečně nebo jej pouze kontrolovat. Posouzení vlivu člověka na systém by mělo zahrnovat:

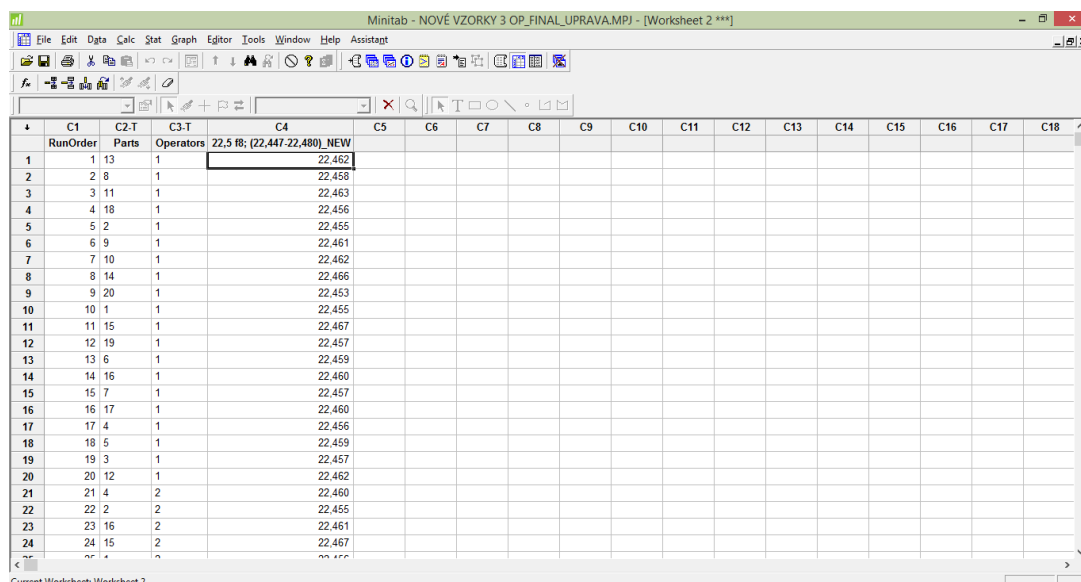
- Analýzu vlivu lidského činitele na měřicí systém, včetně návodu s upozorněním na úskalí, která mohou nastat,
- Analýzu celého procesu v případě vzniku lidské chyby i přes již provedená opatření,
- Opakovanou kontrolou provádět hodnocení systému a neustále pracovat na jeho zlepšování zaměřeného na eliminaci lidské chyby.

Posouzení vlivu lidského činitele je souhrnným materiálem, který zahrnuje posouzení spolehlivosti i chybovosti lidského činitele. Kvalitativní a kvantitativní analýzou lze dosáhnout relevantních výsledků ve všech výše uvedených bodech. Vzhledem k složitosti dnešních systémů a charakteru společnosti, ve které žijeme, budou tyto analýzy používány i pro stále jednodušší systémy měření.

4 Popis experimentu

Součást, která byla předmětem měření, byla vybrána pro její nejčastější opakování výroby a její tvar. Součást je poměrně složité ustavit do měřidla vzhledem k jejímu těžišti. Byla vybrána záměrně, aby byla ověřena odbornost operátorů, i přes jejich dlouholetou praxi a zkušenosti.

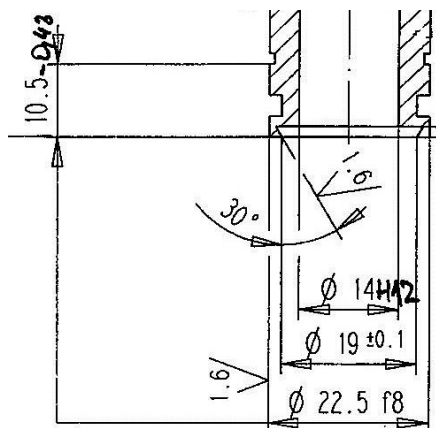
Měření ve společnosti ZNOJEMSKÉ STROJÍRNY s.r.o. proběhlo během jednoho dne ve dvou směnách. Měření bylo prováděno v jedné klimatizované místnosti, aby byly zajištěny co nejlepší podmínky opakovatelnosti. Pro zaručení náhodnosti měření byla použita tabulka generována v softwaru Minitab - Obr. 13. Z výrobní dávky 50ks bylo vybráno 20ks. Snahou bylo vybrat pomocí mikrometru výběrový soubor s co největším rozptylem měřených hodnot daného rozměru. Byli vybráni 3 operátoři, kteří se nejčastěji setkávají s výrobky.



	C1	C2-T	C3-T	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
	RunOrder	Parts	Operators	22,5 f8; (22,447-22,480).NEW														
1	1	13	1	22,462														
2	2	8	1	22,458														
3	3	11	1	22,463														
4	4	18	1	22,456														
5	5	2	1	22,455														
6	6	9	1	22,461														
7	7	10	1	22,462														
8	8	14	1	22,466														
9	9	20	1	22,453														
10	10	1	1	22,455														
11	11	15	1	22,467														
12	12	19	1	22,457														
13	13	6	1	22,459														
14	14	16	1	22,460														
15	15	7	1	22,457														
16	16	17	1	22,460														
17	17	4	1	22,456														
18	18	5	1	22,459														
19	19	3	1	22,457														
20	20	12	1	22,462														
21	21	4	2	22,460														
22	22	2	2	22,455														
23	23	16	2	22,461														
24	24	15	2	22,467														

Obr. 13 – Předpis měření

Dále bylo přistoupeno k samotnému měření. K měření byl použit digitální mikrometr Mitutoyo 0-25mm uchycený ve stojanu. Měřidlo bylo navázané, identické, tak jako při standardní kontrole při výrobě. Každý kus byl měřen dvakrát ve znárodněném pořadí jednotlivými operátory. Byl měřen $\varnothing 22,5$ f8 na délce 10,5mm uveden na Obr. 14.



Obr. 14 – Měřený rozměr součásti

5 Analýza dat

Pro analýzu dat naměřených hodnot byl zvolen standardní postup metodou ANOVA a GAGE R&R.

5.1 Kontrola normálního rozdělení

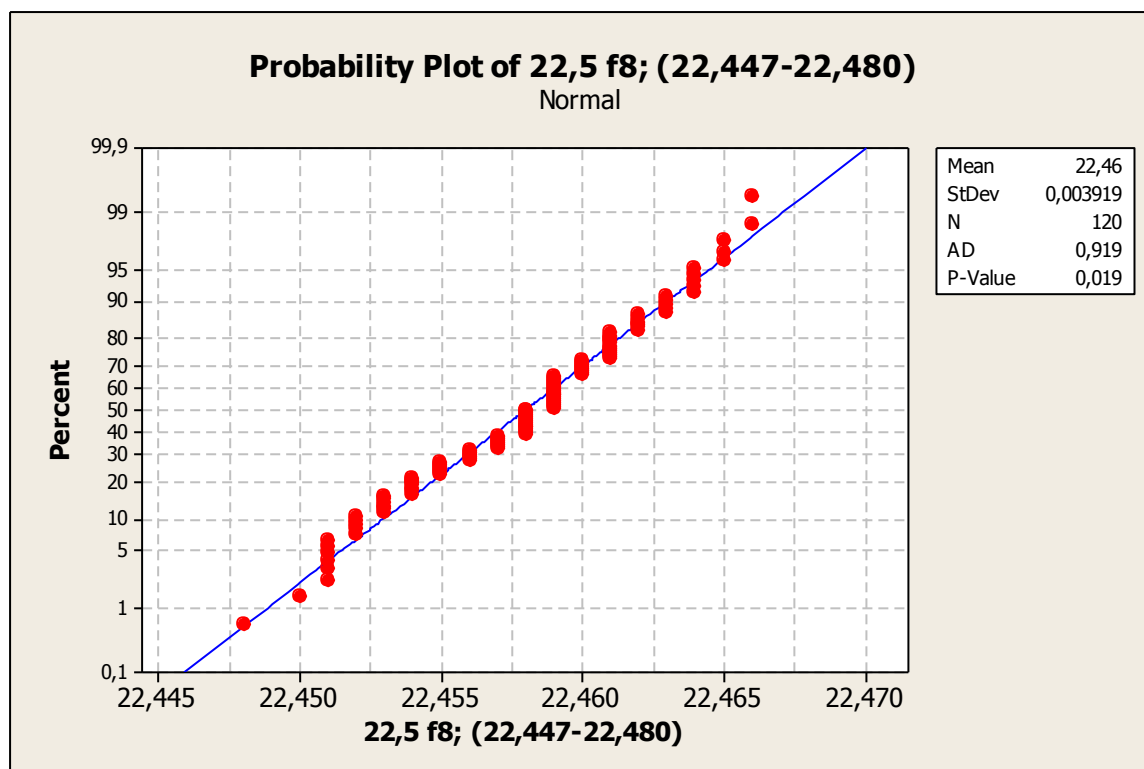
Ke statistickým analýzám se často používají testy, které předpokládají normální rozdělení hodnot základního souboru. Pro správný výběr následných testů je tedy nutno ověřit plnění výše uvedeného předpokladu. K tomuto účelu je nejčastěji použito χ^2 testu, Komogorova – Smirnovova a Anderson – Darlingova testu. V tomto případě byl použit Anderson – Darlingův test, který nabízí statistický software Minitab, jenž byl použit pro zpracování dat. Při tomto testu normality mají hypotézy následující tvar:

H_0 – výběrový soubor pochází ze základního souboru s normálním rozdělením,

H_A – výběrový soubor pochází ze základního souboru, který nemá normální rozdělení.

Pro následující vyhodnocení je dána hladina významnosti $0,05\% \rightarrow \alpha = 0,005$ tzn. pokud je P-hodnota větší než $0,005$, nezamítáme hypotézu, že data pocházejí z normálního rozdělení.

5.1.1 Test normality



Obr. 15 – Test normality

Jelikož P-hodnota uvedena na Obr. 15 je větší než $0,005$, nezamítáme hypotézu, že naměřená data nepocházejí ze základního souboru s normálním rozdělením na stanovené hladině významnosti. Na základě tohoto výsledku je možno přistoupit k následnému testu.

5.2 One-Way ANOVA

Testem One-Way ANOVA je možno ověřit, zda některý v faktorů má významný vliv na hodnotu náhodné veličiny. Při tomto testu mají hypotézy následující tvar:

H_0 – všechny střední hodnoty jsou stejné - sledovaný faktor nemá významný vliv,

H_A – alespoň jedna střední hodnota se liší o jiné - prokázal se vliv sledovaného faktoru.

Pro následující vyhodnocení je dána hladina významnosti 5% $\rightarrow \alpha = 0,05$, tzn. pokud je P-hodnota větší než 0,05, nezamítáme nulovou hypotézu, že sledovaný faktor nemá významný vliv.

5.2.1 Vyhodnocení One-Way ANOVA

Tab.1 – Jednofaktorová ANOVA pro faktor Operator

One-way ANOVA: 22,5 f8; (22,447-22,480) versus Operators

Source	DF	SS	MS	F	P
Operators	2	0,0000693	0,0000347	2,31	0,104
Error	117	0,0017586	0,0000150		
Total	119	0,0018280			

S = 0,003877 R-Sq = 3,79% R-Sq(adj) = 2,15%

				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----+-----			
1	40	22,4569	0,0039	(----*-----)			
2	40	22,4587	0,0039	(----*-----)			
3	40	22,4583	0,0038	(----*-----)			
				-----+-----+-----+-----+-----			
				22,4575	22,4600	22,4625	22,4650

Pooled StDev = 0,0039

Jelikož P-hodnota uvedena v Tab.1 je větší než 0,05, nezamítáme hypotézu, že střední hodnoty naměřených dat se významně neliší. Můžeme říci, že faktor OPERATOR nemá významný podíl na variabilitě měření.

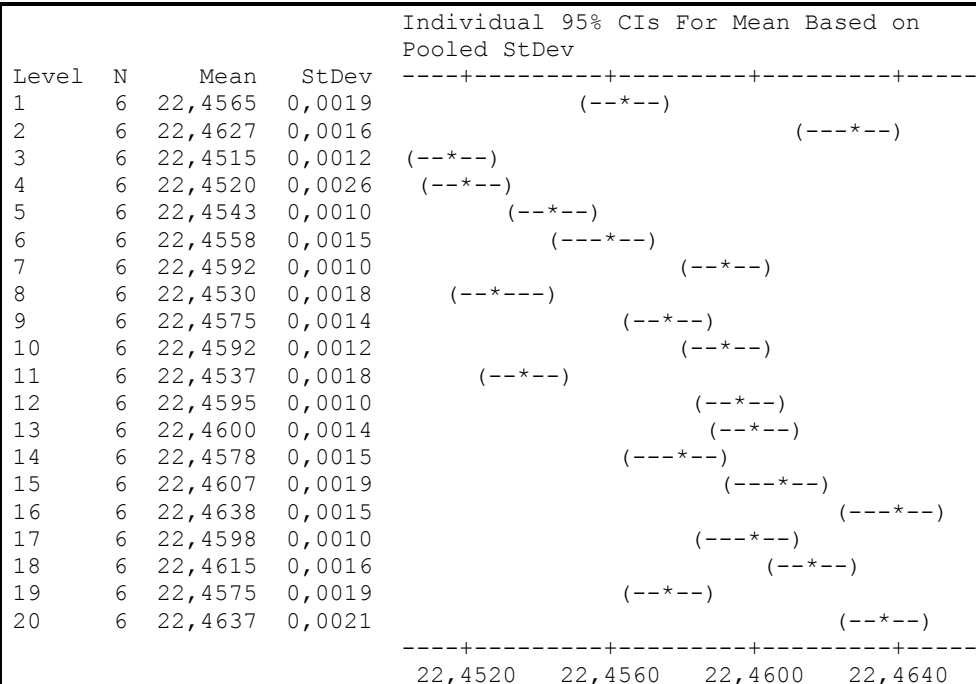
Tab.2 – Jednofaktorová ANOVA pro faktor Part

One-way ANOVA: 22,5 f8; (22,447-22,480) versus Parts

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	19	0,0015753	0,0000829	32,81	0,000
Error	100	0,0002527	0,0000025		
Total	119	0,0018280			

S = 0,001590 R-Sq = 86,18% R-Sq(adj) = 83,55%

DIPLOMOVÁ PRÁCE



Pooled StDev = 0,0016

Jelikož P-hodnota uvedená na v Tab.2 je menší než 0,05, zamítáme nulovou hypotézu, že střední hodnoty naměřených dat se významně neliší. Můžeme říci, že faktor PART má významný podíl na variabilitě měření.

Ze závěrů obou testů je možno usoudit, že naměřené hodnoty jsou významně ovlivněny konkrétními součástmi na rozdíl od operátorů, což jsou pozitivní výsledky.

5.3 Gage R&R

Dalším vyhodnocením měřicího systému je metoda Gage R&R. Všechny podmínky pro aplikování této metody byly splněny, jak je uvedeno v kapitole 2.7.

5.3.1 Vyhodnocení hodnot Gage R&R

Tab.3 – Tabulka Gage R&R

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0000028	17,29
Repeatability	0,0000014	8,85
Reproducibility	0,0000014	8,44
Operators	0,0000008	4,96
Operators*Parts	0,0000006	3,48
Part-To-Part	0,0000134	82,71
Total Variation	0,0000162	100,00

Process tolerance = 0,033

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,0016733	0,0100399	41,58	30,42
Repeatability	0,0011972	0,0071833	29,75	21,77
Reproducibility	0,0011690	0,0070143	29,05	21,26
Operators	0,0008958	0,0053746	22,26	16,29
Operators*Parts	0,0007512	0,0045070	18,67	13,66
Part-To-Part	0,0036594	0,0219566	90,94	66,54
Total Variation	0,0040239	0,0241432	100,00	73,16

Number of Distinct Categories = 3

V horní části tabulky 3 jsou uvedeny jednotlivé složky variability systému včetně uvedení jejich procentuálních příspěvků. Největší mírou na celkové variabilitě systému se podílí variabilita mezi vzorky. Což je mnohem více, než příspěvek měřicího systému, a to je žádoucí stav. Celkový příspěvek měřicího systému do celkové variability je 17,29%.

Ve spodní části jsou uvedeny charakteristiky R&R. Tyto charakteristiky rozhodují o přípustnosti systému měření vzhledem k procesu a tolerančnímu poli.

První z nich, která je zvýrazněna červeně, rozhoduje o přípustnosti měřicího systému vzhledem k procesu. Uvedená hodnota je větší než 30%, a to znamená, že systém je považován za nezpůsobilý. Je nutné se zaměřit na zlepšení způsobu měření.

Druhou charakteristikou je hodnota P/T, označena zeleně, která rozhoduje o přípustnosti měřicího systému vzhledem k tolerančnímu poli. Hodnota ukazatele P/T je větší než 30%, což opět ukazuje na nevyhovující měřicí systém vzhledem k tolerančnímu poli.

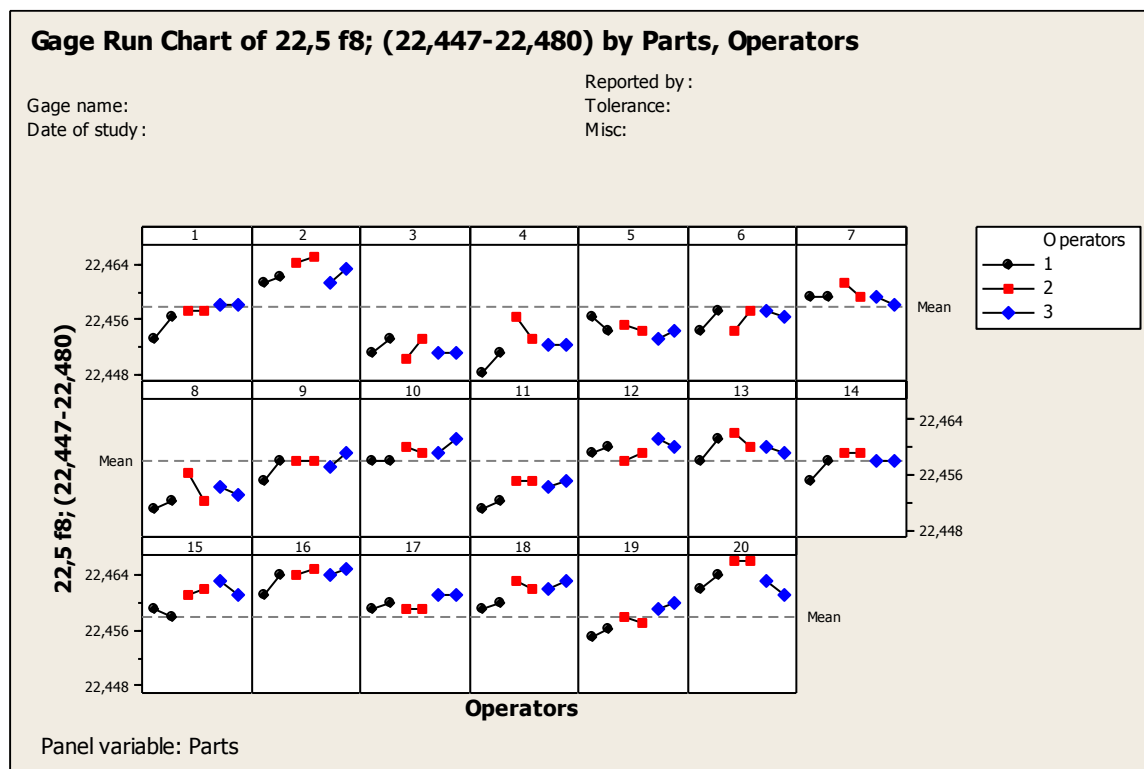
Dalším významným kritériem při hodnocení způsobilosti měřicího systému je Počet oddělených tříd (ndc- Number of Distinct Categories). Zde je uvedena hodnota 3, což je z hlediska analýzy obecně nepřijatelná hodnota. Výsledky je možno použít pouze pro hrubé odhady.

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že systém měření je nevyhovující pro účely řízení procesu. Je nutné se zaměřit na vyhledání a eliminaci negativních vlivů během procesu měření.

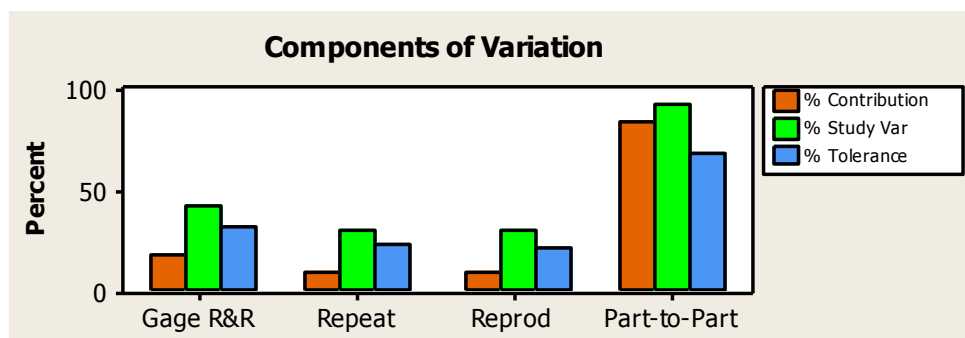
5.3.2 Vyhodnocení grafické podoby Gage R&R

Na Obr. 16 je zobrazen průběhový digram, který je možno použít k detailnějšímu vyhodnocení rozdílů mezi měřeními jednotlivými operátory a jejich opakováními.

Z diagramu jsou patrné rozdíly v naměřených hodnotách u jedné součásti jednotlivými operátory. Nelze jednoznačně určit, který z operátorů má větší či menší variabilitu. Z tohoto pohledu je nutné se zaměřit na techniku měření a její zlepšení.

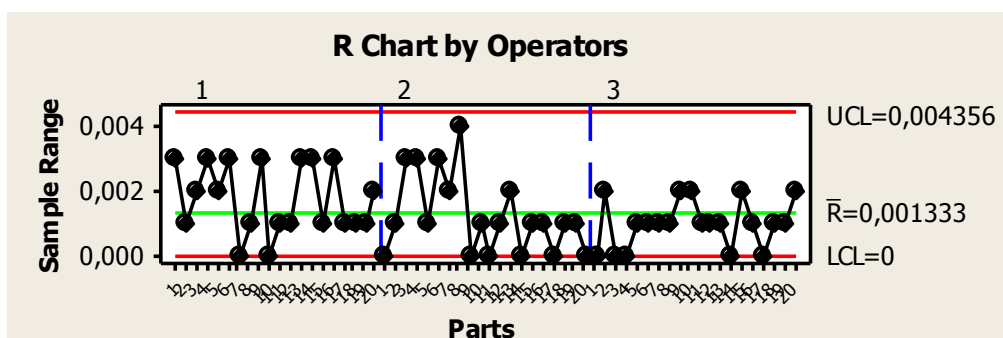


Obr. 16 – Průběhový diagram



Obr. 17 – Diagram složek variability

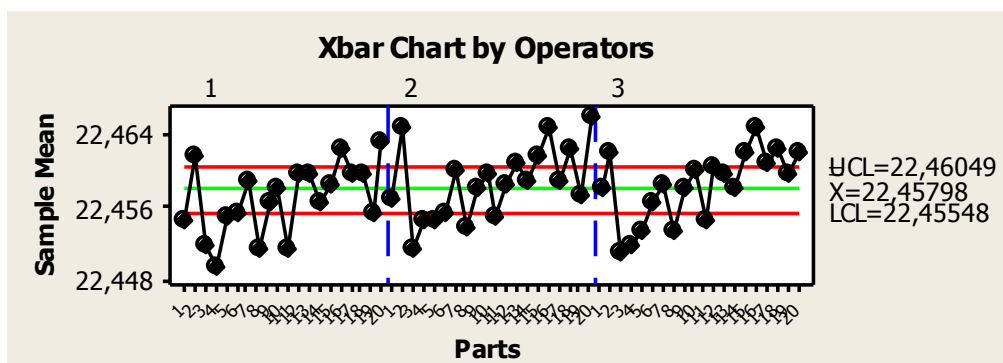
Diagram grafického vyjádření hodnot Gage R&R, kde je žádoucí co největší rozdíl mezi složkami Gage R&R (co nejmenší) a part-to-part (co největší). Přestože je rozdíl patrný, není zcela dostačující, jak bylo určeno v předchozí kapitole. Podíly variability vnesené do systému měření opakovatelností (Repeat) a reprodukovatelností (Reprod) jsou velmi blízké a je nutné se na ně zaměřit.



Obr. 18 - Diagram rozpětí

Dle diagramu rozpětí se dá konstatovat, zda je proces měření zcela zvládnutý, zejména z pohledu reprodukovatelnosti. V podstatě ukazuje rozdíl měřených hodnot mezi jednotlivými opakováními u každého operátora.

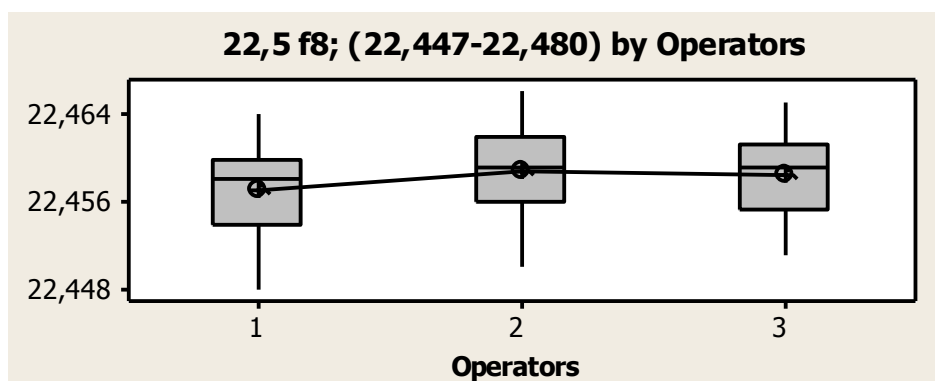
Operátor č.1 má nejvíce rozdílů mezi měřenými hodnotami, kdežto operátor č.3 nejméně.



Obr. 19 - Diagram průměrů

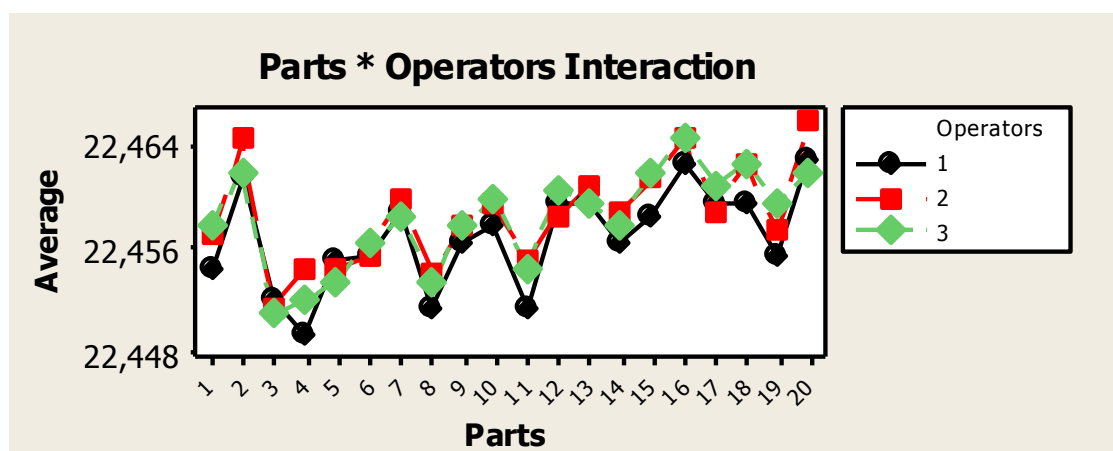
Diagram znázorňuje průměr obou měření na jednom kuse provedených každým operátorem. Regulační meze, které jsou znázorněny červeně, jsou vypočteny pomocí opakovatelnosti. V metodě Gage R&R jde především o to, abychom získali co největší variabilitu mezi jednotlivými vzorky. Z toho vyplývá, že většina průměrů naměřených hodnot by měla ležet mimo tyto meze. Velmi malá variabilita mezi vzorky může být způsobena špatným výběrem vzorků, nebo nepostačující rozlišitelností použitého měřidla.

V tomto případě je variabilita mezi vzorky patrná. Většina hodnot leží uvnitř regulačních mezí, což by ukazovalo na výběr vzorků s malou variabilitou. Tento předpoklad by také potvrzoval malý počet odlišných kategorií (ndc), který vyšel menší než 5.



Obr. 20 - Diagram porovnání operátorů

V tomto diagramu je znázorněn rozdíl průměrných hodnot a rozložení naměřených hodnot mezi jednotlivými operátory. V ideálním případě by měla být spojnice vodorovná čára a rozložení stejné, což by značilo vynikající reprodukovatelnost. Tento fakt neplatí ani v jednom případě, což je patrné z diagramu na Obr. 20.



Obr. 21 - Diagram interakcí operátor vs. součást

Interakce operátor versus součást je u většiny vzorků odlišná. Cílem je, aby byly hodnoty velmi blízké nebo se dokonce překrývaly.

5.4 Vyhodnocení

Při celkovém pohledu je zřejmé, že aplikovaný systém měření je nezpůsobilý. Hodnota přípustnosti měřicího systému je větší než horní hranice podmíněné přípustnosti. Hodnota ndc je menší než 5, což je obecně nepřijatelné. Příspěvek variability měřicího systému do celkové variability je více jak 17% s téměř stejným příspěvkem opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. Podmínka rozlišitelnosti vzhledem k výrobní toleranci je hraniční.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 39
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Střední hodnoty naměřených dat mezi jednotlivými operátory se liší a také je pro operátory obtížné naměřit stejné hodnoty při opakovaných měřeních. Podmínka rozlišitelnosti systému 1/10 je dodržena. Šířka tolerančního pole je 0,033 mm a rozlišitelnost měřidla je 0,001 mm.

Neuspokojivé výsledky mohou být zapříčiněny způsobem, jakým operátoři součást měří. Vzhledem k malé délce měřeného průměru a tvaru součásti není jednoduché umístit součást mezi měřicí plochy mikrometru tak, aby osa součásti byla kolmo k ose mikrometru. Velmi záleží na zkušenostech operátora. Dalším aspektem může být malá variabilita rozměrů u vybraných vzorků.

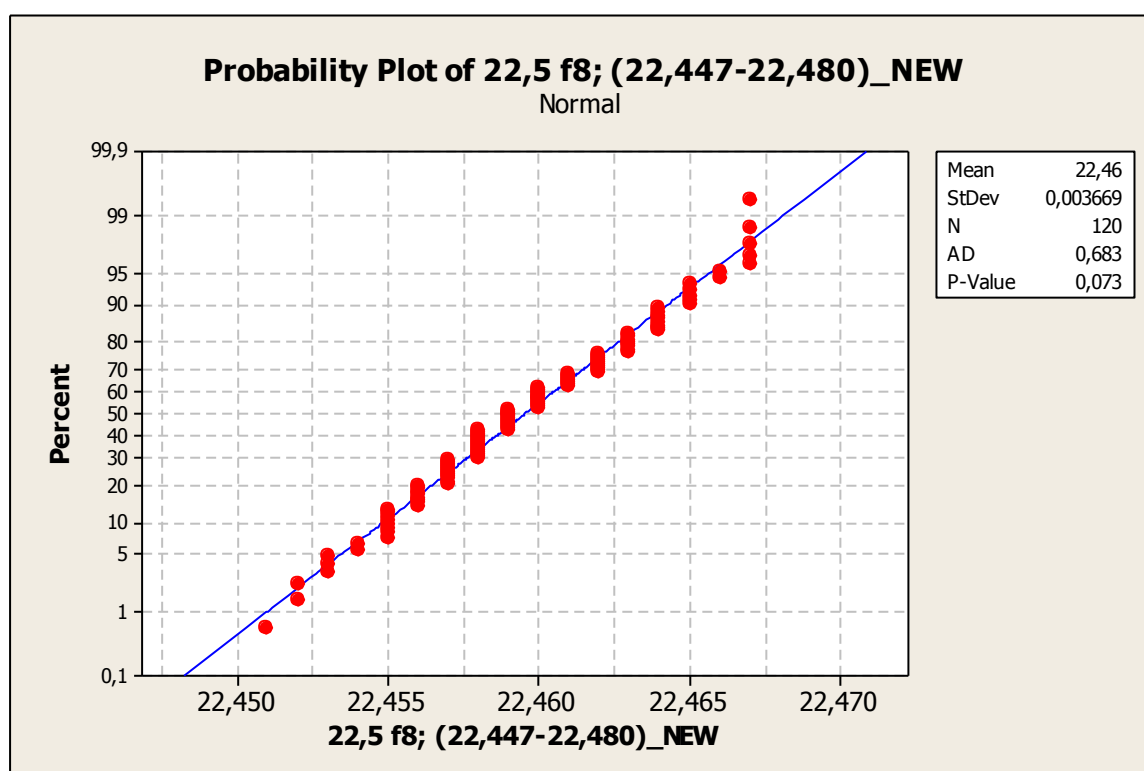
Na základě výše uvedeného bylo navrženo opakování měření s následujícími podmínkami:

- výběr vzorků s větší variabilitou rozměru,
- proškolení operátorů v měření mikrometrem s důrazem na umístění součásti mezi měřicí plochy mikrometru.

6 Analýza dat nových vzorků

Z nové výrobní dávky bylo vybráno 20 vzorků se snahou o co největší variabilitu měřeného rozměru. Vzorky z nové výrobní dávky byly vyráběny na stejném obráběcím stroji s dodržení stejného technologického postupu, jak tomu bylo v případě vzorků předchozích. Operátoři byli proškoleni v měření mikrometrem s důrazem na pečlivost umístění součásti do měřicího přístroje. Opakované měření probíhalo za stejných podmínek jako to první.

6.1 Kontrola normálního rozdělení



Obr. 22 - Test normality pro nové vzorky

P-hodnota uvedená na Obr. 22 je opět větší než 0,005, nezamítáme hypotézu, že naměřená data nepocházejí ze základního souboru s normálním rozdělením na stanovené hladině významnosti. Na základě tohoto výsledku je možno přistoupit k následnému testu.

6.2 One-Way ANOVA

6.2.1 Vyhodnocení One-Way ANOVA

Tab.4 – Jednofaktorová ANOVA pro faktor Operator pro nové vzorky

One-way ANOVA: 22,5 f8; (22,447-22,480)_NEW versus Operators

Source	DF	SS	MS	F	P
Operators	2	0,0000058	0,0000029	0,21	0,808

```
Error      117  0,0015958  0,0000136
Total      119  0,0016016
```

S = 0,003693 R-Sq = 0,36% R-Sq(adj) = 0,00%

```

Level   N      Mean   StDev
1       40  22,4592  0,0037
2       40  22,4597  0,0037
3       40  22,4597  0,0036

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
-----+-----+-----+-----+
1      (-*-*)
2      (-*-*)
3      (-*-*)
-----+-----+-----+-----+
                22,4600  22,4625  22,4650  22,4675
```

Pooled StDev = 0,0037

P-hodnota uvedena na v Tab. 4 je větší než 0,05, nezamítáme hypotézu, že střední hodnoty naměřených dat se významně neliší. Můžeme říci, že faktor OPERATOR nemá významný podíl na variabilitě měření. Navíc je P-hodnota zároveň větší než v prvním měření. To by mohlo ukazovat, že proškolení operátorů bylo žádoucí a splnilo svůj účel.

Tab.5 – Jednofaktorová ANOVA pro faktor Part pro nové vzorky

One-way ANOVA: 22,5 f8; (22,447-22,480)_NEW versus Parts

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	19	0,0014838	0,0000781	66,27	0,000
Error	100	0,0001178	0,0000012		
Total	119	0,0016016			

S = 0,001086 R-Sq = 92,64% R-Sq(adj) = 91,24%

```

Level   N      Mean   StDev
1        6  22,4552  0,0008
10       6  22,4617  0,0010
11       6  22,4630  0,0011
12       6  22,4628  0,0010
13       6  22,4640  0,0011
14       6  22,4647  0,0010
15       6  22,4668  0,0004
16       6  22,4612  0,0012
17       6  22,4595  0,0005
18       6  22,4577  0,0010
19       6  22,4565  0,0012
2        6  22,4552  0,0013
20       6  22,4525  0,0010
3        6  22,4577  0,0014
4        6  22,4573  0,0015
5        6  22,4587  0,0005
6        6  22,4592  0,0012
7        6  22,4582  0,0012
8        6  22,4580  0,0014
9        6  22,4615  0,0010

Individual 95% CIs For Mean Based on
Pooled StDev
-----+-----+-----+-----+
1      (*-)
10     (*-)
11     (-*-)
12     (-*)
13     (-*-)
14     (*-)
15     (-*)
16     (*-)
17     (-*-)
18     (*-)
19     (-*-)
2      (*-)
20     (-*-)
3      (*-)
4      (-*)
5      (*-)
6      (*-)
7      (*-)
8      (-*-)
9      (-*-)
-----+-----+-----+-----+
                22,4550  22,4600  22,4650  22,4700
```

Pooled StDev = 0,0011

Jelikož P-hodnota uvedená na v Tab.5 je menší než 0,05, zamítáme nulovou hypotézu, že střední hodnoty naměřených dat se významně neliší. Můžeme říci, že faktor PART má významný podíl na variabilitě měření.

Ze závěrů obou testů naměřených dat získaných z nového měření je možno usoudit, že naměřené hodnoty jsou významně ovlivněny konkrétními součástmi na rozdíl od operátorů, než tomu bylo v prvním měření.

6.3 Gage R&R

Vyhodnocení měřicího systému metodou Gage R&R pro nové měření je uvedeno níže.

6.3.1 Vyhodnocení hodnot Gage R&R

Tab.6 – Tabulka Gage R&R pro nové vzorky

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0000012	8,71
Repeatability	0,0000010	7,20
Reproducibility	0,0000002	1,52
Operators	0,0000000	0,28
Operators*Parts	0,0000002	1,24
Part-To-Part	0,0000128	91,29
Total Variation	0,0000140	100,00

Process tolerance = 0,033

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,0011049	0,0066295	29,52	20,09
Repeatability	0,0010042	0,0060249	26,83	18,26
Reproducibility	0,0004610	0,0027659	12,32	8,38
Operators	0,0001970	0,0011821	5,26	3,58
Operators*Parts	0,0004168	0,0025005	11,13	7,58
Part-To-Part	0,0035762	0,0214574	95,54	65,02
Total Variation	0,0037430	0,0224582	100,00	68,06

Number of Distinct Categories = 4

V horní části Tab. 6 jsou uvedeny jednotlivé složky variability systému včetně uvedení jejich procentuálních příspěvků. Největší mírou na celkové variabilitě systému se podílí variabilita mezi vzorky. Což je mnohem více než příspěvek měřicího systému, a to je žádoucí stav. Celkový příspěvek měřicího systému do celkové variability je 8,71% oproti předchozím více jak 17%. Změnou je i poměr jednotlivých příspěvků opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. V prvním případě byly tyto hodnoty téměř shodné, kdežto nyní velkou mírou přispívá opakovatelnost.

Ve spodní části jsou uvedeny charakteristiky R&R. Tyto charakteristiky rozhodují o přípustnosti systému měření vzhledem k procesu a tolerančnímu poli.

První z nich, která je zvýrazněna červeně, rozhoduje o přípustnosti měřicího systému vzhledem k procesu. Uvedená hodnota je mírně pod 30%, a to znamená, že systém je považován za způsobilý. Zlepšení je o více jak 10% v porovnání s předchozím měřením.

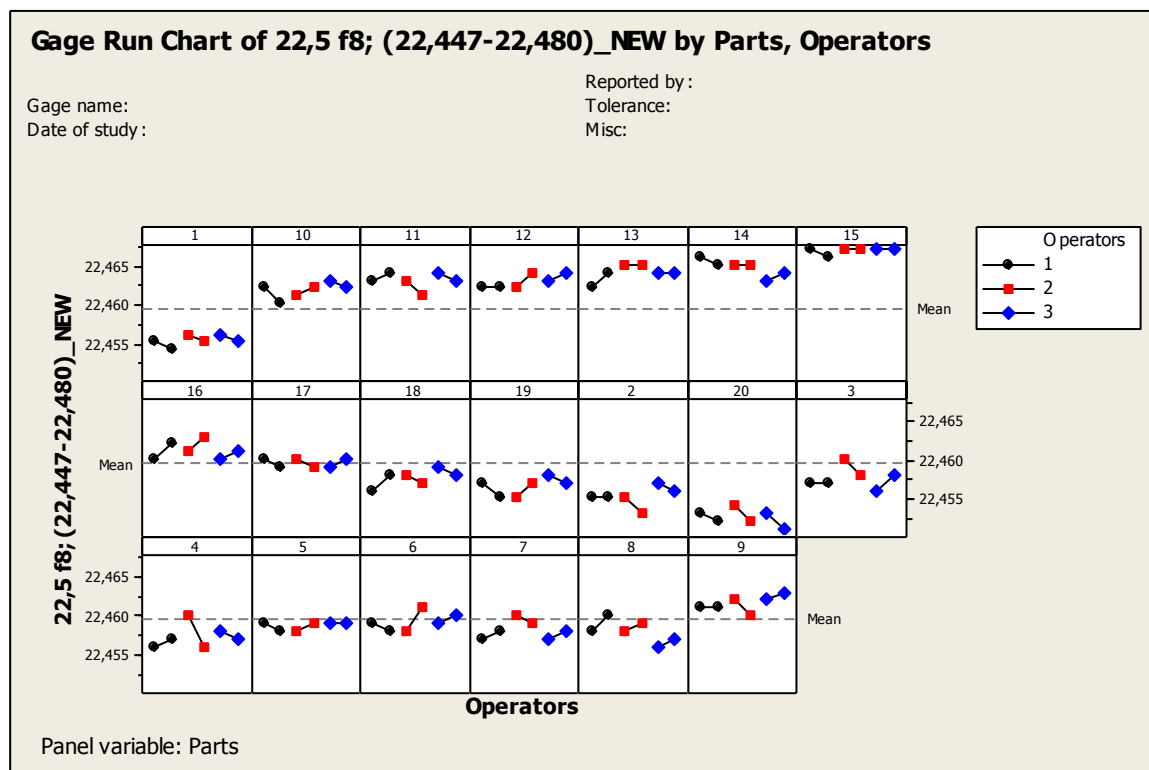
Druhou charakteristikou je hodnota P/T, označena zeleně, která rozhoduje o přípustnosti měřicího systému vzhledem tolerančnímu poli. Hodnota ukazatele P/T je menší než 30%, což ukazuje na měřicí systém způsobilý vzhledem k důležitosti použití, nákladů na měřicí zařízení. Výsledkem předchozího měření byl nezpůsobilý systém.

Počet oddělených tříd (ndc- Number of Distinct Categories) je v tomto případě roven hodnotě 4. Je to zlepšení o jeden stupeň oproti předchozímu měření, ale stále nedostatečné pro požití vyhodnocení ukazatelů procesu. Výsledky je možno použít pouze pro hrubé odhady.

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že systém měření je nevyhovující pro účely řízení procesu. Bylo zaznamenáno viditelné zlepšení oproti předchozímu měření. Jelikož hodnoty jsou pod hranicemi přijatelnosti, pouze počet oddělených tříd není vyhovující, bylo pokročeno k dalším analýzám ke zjištění jejich kořenových příčin.

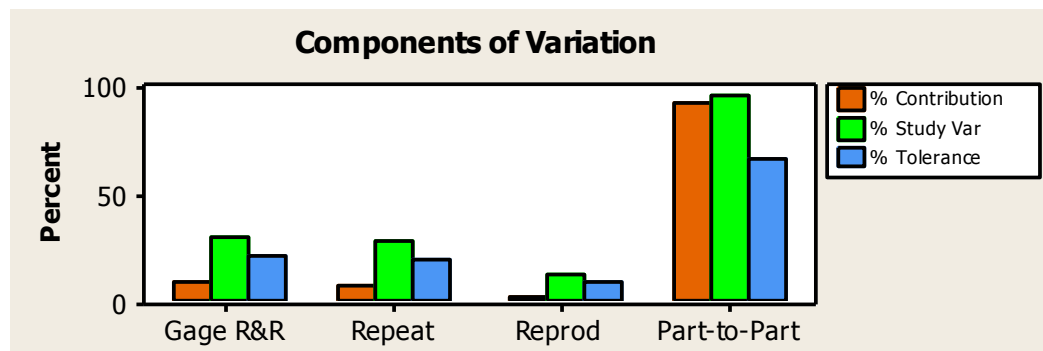
6.3.2 Vyhodnocení grafické podoby Gage R&R

Na Obr. 23 je zobrazen průběhový digram, který je možno použít k detailnějšímu vyhodnocení rozdílů mezi měřeními jednotlivými operátory a jejich opakováními pro nové vzorky.



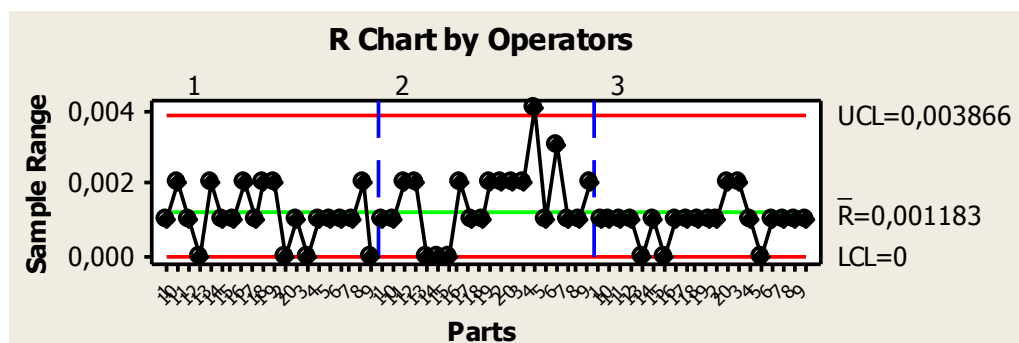
Obr. 23 – Průběhový diagram pro nové vzorky

V porovnání s předchozím průběhovým diagramem je zde vidět menší variabilita mezi jednotlivými měřeními a operátory. Operátor 2 vykazuje ovšem větší variabilitu mezi opakovány měřeními oproti zbylým dvěma.



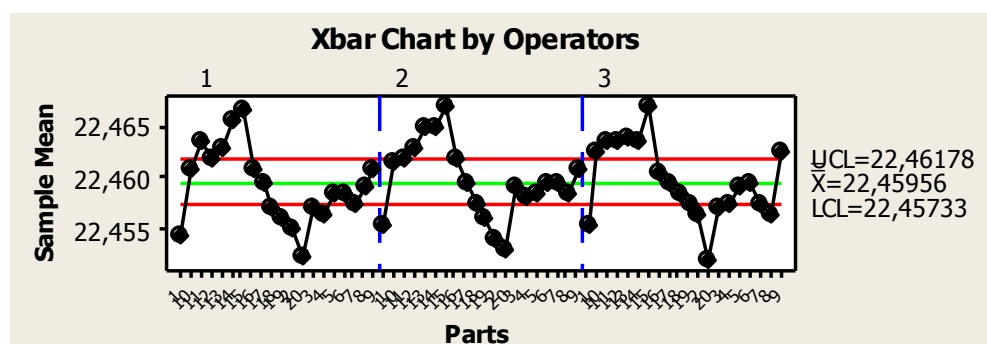
Obr. 24 – Diagram složek variability pro nové vzorky

Diagram je grafické vyjádření hodnot Gage R&R, kde je žádoucí to největší rozdíl mezi složkami Gage R&R (co nejmenší) a part-to-part (co největší). Rozdíl je zcela patrný, zejména na sloupci reprodukovatelnosti.



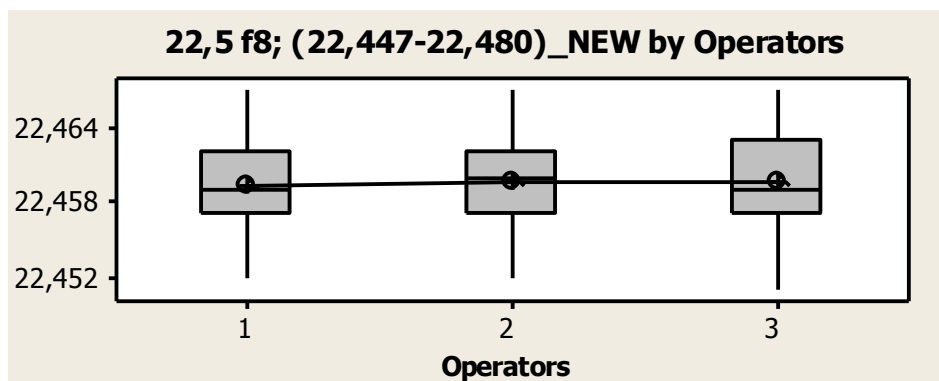
Obr. 25 - Diagram rozpětí pro nové vzorky

Dle diagramu rozpětí se dá konstatovat, že je proces měření téměř zvládnutý. Zejména z pohledu reprodukovatelnosti u operátorů 1 a 3. Operátor 2 vykazuje větší variabilitu v opakovaných měřeních oproti ostatním. Jedna hodnota se vyskytuje nad UCL. Operátor má problém udělat shodná měření.



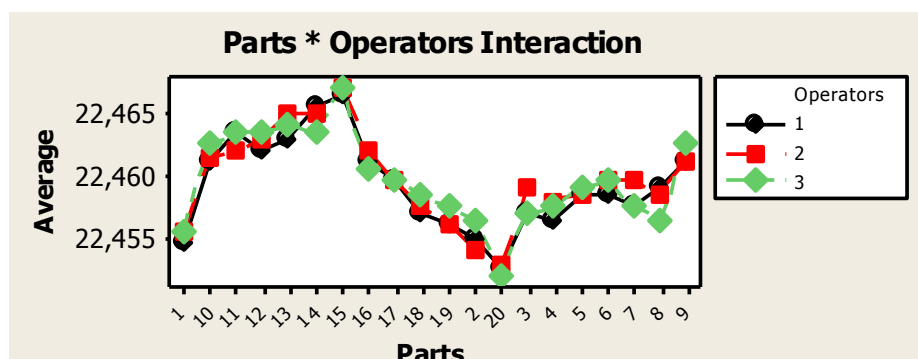
Obr. 26 - Diagram průměrů pro nové vzorky

Variabilita mezi vzorky je patrná. Zhruba polovina hodnot leží uvnitř regulačních mezí, což by stále ukazovalo na výběr vzorků s malou variabilitou, přesto i zde je vidět zlepšení. Toto tvrzení by také potvrzoval malý počet odlišných kategorií, který vyšel menší než 5.



Obr. 27 - Diagram porovnání operátorů pro nové vzorky

I zde je patrné, že spojnice není tak zalomená jak v předchozím případě. Také variabilita hodnot je odlišná.



Obr. 28 - Diagram interakcí operátor vs. součást pro nové vzorky

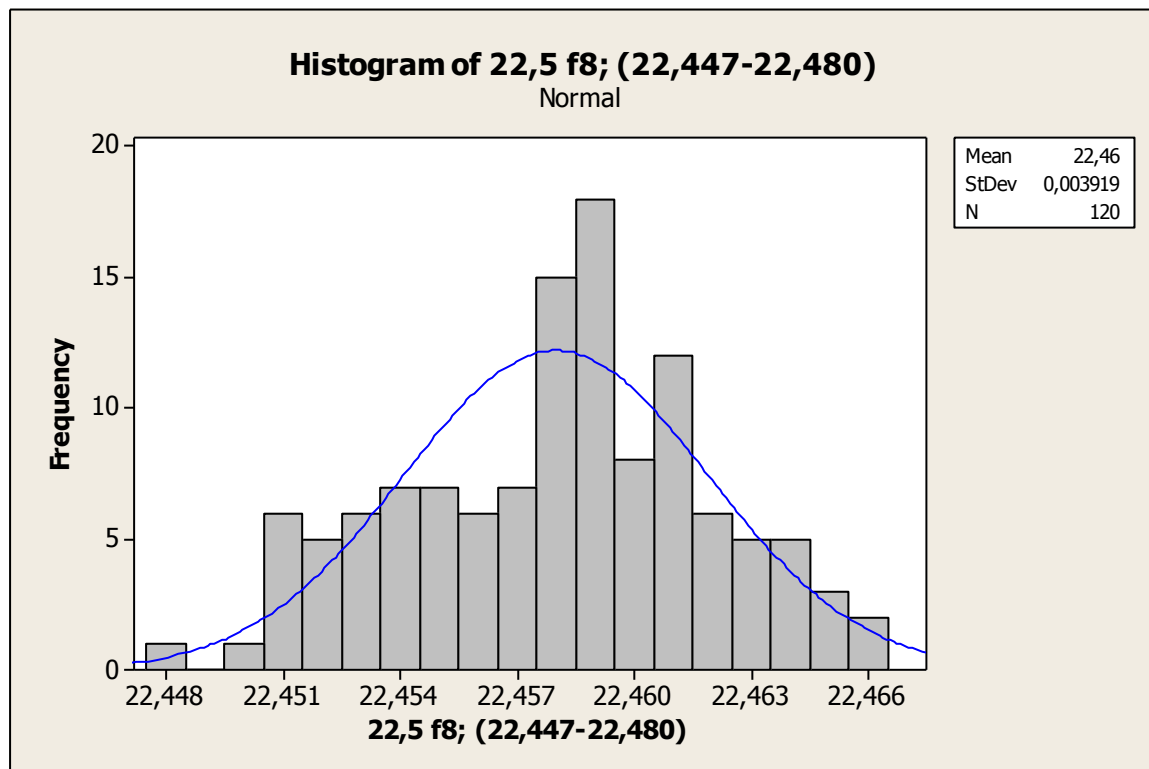
Interakce operátor versus součást není již tak rozdílná. U většiny vzorků se velmi blíží.

6.4 Vyhodnocení analýzy dat nových vzorků

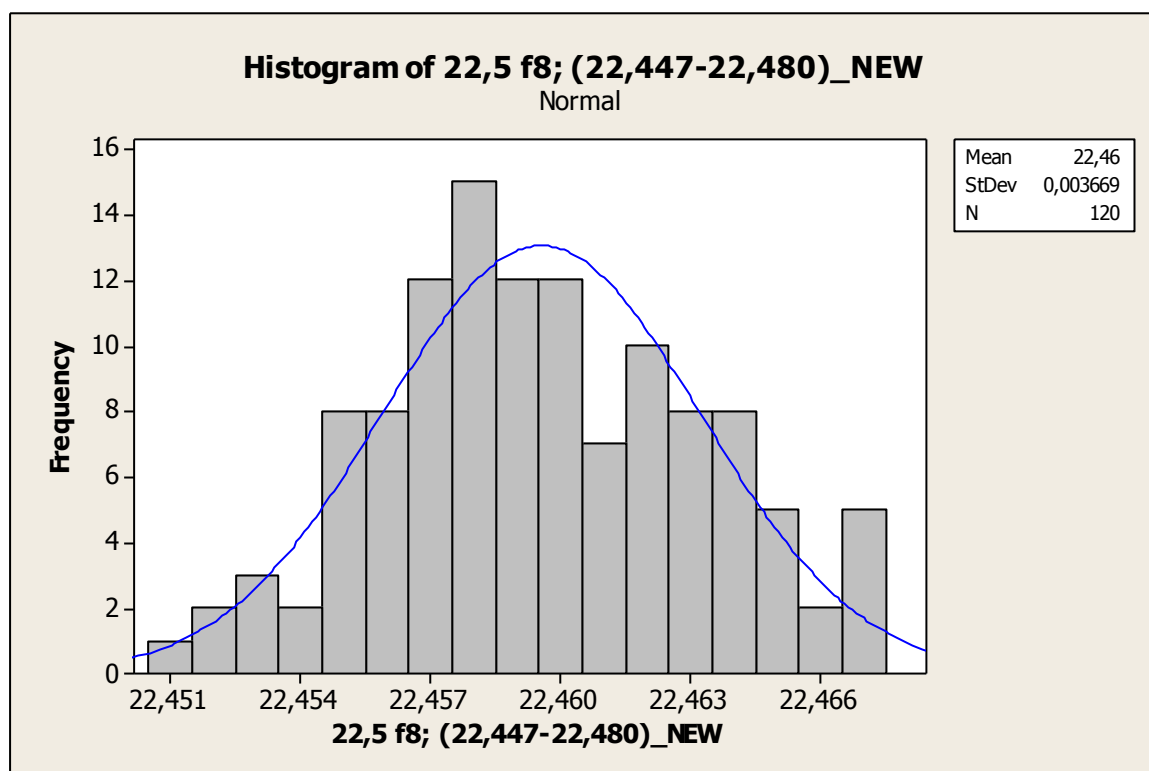
V závěru analýzy prvního experimentu byly určeny dva základní úkoly, na které bylo nutno se zaměřit a provést opakované měření: a) vybrat vzorky s větší variabilitou rozměru a b) provést proškolení operátorů v měření. Do jaké míry se podařilo tyto úkoly vyplnit je uvedeno níže.

Ad a) Výběr nových vzorků s větší variabilitou

Z níže uvedených histogramů nelze říci, že by nově vybrané vzorky vykazovaly větší variabilitu rozměrů. Dokonce naopak. Rozložení četností v jednotlivých skupinách v histogramu nových vzorků se mnohem více blíží normálnímu rozdělení, než v prvním případě. To může být také ovlivněno způsobem měření operátorů.



Obr. 29 - Histogram



Obr. 30 - Histogram pro nové vzorky

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 47
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Ad b) Proškolení operátorů

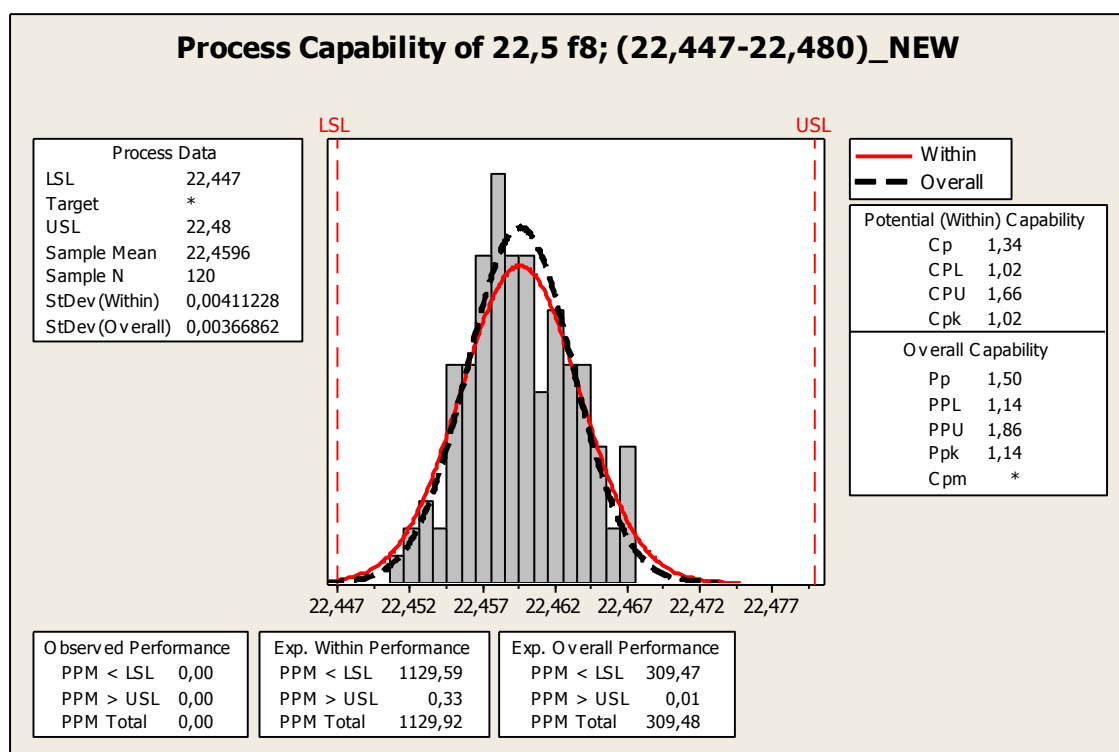
Operátoři byli proškoleni v postupu měření a zvláště upozorněni na možná úskalí při měření. Zejména na umístění součásti do měřicích plošek mikrometru a kontroly správnosti tohoto uložení. To se ukázalo velmi důležité, protože těžiště součásti je mimo osu plošek a měřený průměr je na malé délce.

Výsledky opakovaného měření jsou uvedeny v kapitole 8. Vyhodnocení měřicího systému pro nové vzorky je výrazně pozitivnější v porovnání s prvním. Avšak stále nedostačující pro statistické řízení procesu. U operátorů 1 a 3 je výrazné zlepšení. Operátor 2 vykazuje stále nedostatky ve způsobu měření.

Při zamyšlení nad obsahem předchozích dvou odstavců se nabízí myšlenka co nejvíce eliminovat vliv operátora. Nejvhodnější by bylo celkové měření zautomatizovat, ale to vzhledem k možnostem podniku nelze. Musel by být pořízen nový měřicí přístroj, což v současné době není dost možné vzhledem k již provedeným investicím a využitelnosti měřidla. Z těchto důvodů by postačoval přípravek, ve kterém by byla součást pevně uchycena, a tím by byla zaručena kolmost její osy rotace a mikrometru. Přípravek by byl mobilní, tudíž by byl naplněn i požadavek pro sběr dat přímo u výrobního stroje.

7 Způsobilost procesu

Charakterizovat kvalitu výrobního procesu je snahou mnoha výrobců, aby byli schopni prokázat svoje schopnosti zákazníkům. Na druhé straně jim dávají informaci o možných rezervách v procesu ke zvyšování kvality výrobků. Nejznámějším je index způsobilosti procesu – Cp.



Obr. 31 - Diagram způsobilosti procesu pro nové vzorky

Hranice kvalifikace způsobilosti procesu je pro Cp, resp. Cpk 1,33. Z výstupu statistického softwaru je patrné, že Cp tuto podmínku splňuje, a to pouze o jednu setinu. V tomto případě je nutné vzít v úvahu, zda je tato hraniční hodnota pro daný proces dostačující. A to vzhledem k povaze součásti a požadavkům zákazníka.

Dle Cpk je tento proces podmíněně způsobilý. Musí být pod neustálou kontrolou. V grafickém vyjádření na Obr. 31 - Diagram způsobilosti procesu pro nové vzorky je patrná strannost ke spodní hranici tolerance LSL. Vzhledem k šířce tolerančního pole mohou velmi snadno vznikat zmetky. Je nutné také zvážit fakt, že součást je soustružena na hotovo a nebyl zaznamenán stav obráběcího nástroje při výrobě měřených vzorků (dávky). Opotřebováváním nástroje se bude postupně rozměr posouvat k horní hranici tolerance.

Z hlediska funkčnosti a důležitosti dodržení sledovaného rozměru je výsledek dostačující. Avšak z pohledu statistického řízení procesu je potřeba se více zaměřit na proces a snažit se určit slabá místa. Nabízí se hned několik faktorů k prověření.

- Výrobní tolerance stroje
- Práh citlivosti měřicího systému
- Zkušenosti operátorů
- Možnost chybování operátorů

8 Závěr

Cílem diplomové práce bylo provést prvotní analýzu systému měření v procesu obrábění se zaměřením na chyby operátorů. Analýza byla provedena jako součást projektu společnosti ZNOJEMSKÉ STROJÍRNY s.r.o, která se zabývá třiskovým obráběním součástí strojů a zařízení. Cílem projektu je online vyhodnocování stability procesu, kde vstupní data jsou získávána měřením vybraných rozměrů součástí operátory strojů.

Předmětem měření byla záměrně vybrána rotační součást, která vyžaduje při měření daného průměru značnou zkušenost operátora. Měření bylo provedeno za podmínek opakovatelnosti a reprodukovatelnosti digitálním mikrometrem, který je standardně používán při kontrolních měřeních tohoto rozměru. Vyhodnocení dat prvního měření ukázalo, že aplikovaný systém měření je vzhledem k variabilitě procesu nezpůsobilý, což byl jeden z cílů práce. K analýze byla použita metoda Gage R&R, kterou byla zjištěna značná variabilita opakovaných měření u jednotlivých operátorů. Tím byl ověřen předpoklad, že nejdůležitější z celého projektu bude zaměřit se na eliminaci chyb lidského činitele.

Přestože se výsledek u operátorů nesetkal s příznivým ohlasem, byla navržena metodika pro minimalizaci chyb, což bylo dalším cílem práce. Na základě výsledků prvotní analýzy bylo navrženo proškolení operátorů s vyhodnocením výsledků jejich měření a významu jejich vlivu na celý projekt. Výsledky této části nejsou uvedeny v práci, protože se jednalo pouze o výcvik. Zejména byly zdůrazněny vlivy, které přímo i nepřímo ovlivňují jejich chybovost. Z tohoto důvodu byla provedena samostatná opakovaná měření během několika dní, která byla prováděna dle možností operátorů. Výsledky jednotlivých měření byly vyhodnocovány pouze pro účely kontroly mimo rozsah této práce.

Následně byly vybrány nové vzorky identické součásti a bylo provedeno opakované měření za stejných podmínek jako měření první. Výsledky analýzy byly o mnoho příznivější, než tomu bylo v předchozím měření. Příspěvek měřicího systému k celkové variabilitě byl přípustný a hodnota R&R byla menší než 30%, což je hodnota podmíněné přípustnosti měřicího systému. Také hodnota ukazatele opakovatelnosti se značně snížila. Přesto stále není možno prohlásit, že systém je plně způsobilý pro statické řízení procesu, protože není schopen rozlišit 5 oddělených kategorií výrobku.

Vypočtená hodnota indexu způsobilosti procesu C_p byla těsně nad hranici přípustnosti. To ukazuje na nutnost zaměřením se na slabá místa procesu.

Výše uvedené ukazuje, že vliv lidského činitele je velmi výrazný nejen v procesu měření, ale v každém procesu, kde se vyskytuje. Operátoři provádějící měření jsou ve společnosti považováni za profesionály ve svém oboru. I přesto bylo nutné provést opakovaně školení, výcvik a kontrolní analýzy zkušebně naměřených dat.

Po řádném proškolení a opakovaném výcviku vykazovali operátoři při druhém měření větší jistotu a působili klidnějším dojmem. Tomu odpovídaly i výsledky a chybovost operátorů při opakovaných měřeních. Ustavení měřené součásti do mikrometru bylo také přesnější.

Firmě ZNOJEMSKÉ STROJÍRNY s.r.o. doporučuji na základě analýzy zaměřit se při realizaci projektu prioritně na lidského činitele a jeho hodnocení. A to především na určení slabých míst v měřicím procesu spojeným s řádným a pravidelným výcvikem operátorů. Zajištění vhodných podmínek pro plnění jejich úkolů. Vybudování výcvikového plánu s různými úrovněmi složitosti dle kvalifikace operátora a jeho předchozích výsledků. A to vše podpořeno nastavením spravedlivého motivačního programu.

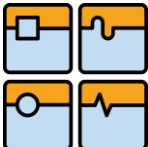
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 50
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

9 Seznam použitých zdrojů

1. ZNOJEMSKÉ STROJÍRNY, s.r.o. [online]. [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.strojirny.cz/index.php>
2. *Analýza systémů měření (MSA): příručka*. 3. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2003, xvi, 233 s. ISBN 80-02-01562-2.
3. PENA-RODRIGUEZ, Manuel E. *Statistical process control for the FDA-regulated industry*. Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press, 2013, 1 online zdroj (195 pages).
4. WALKER, H. *The certified quality inspector handbook*. Milwaukee, Wis.: ASQ Quality Press, 2008, c2009., xxi, 434 p. ISBN 0873897315.
5. KUBIAK, T a Donald W BENBOW. *The certified six sigma black belt handbook*. 2nd ed. Milwaukee, Wis.: ASQ Quality Press, c2009, xxvii, 620 p. ISBN 0873897323.
6. WESTCOTT, Russ. *The certified manager of quality/organizational excellence handbook*. Fourth edition. xxxi, 654 pages. ISBN 0873898613.
7. PALEČEK, Miloš, Stanislav MALÝ a Adam GIECI. *Spolehlivost lidského činitele*. Vyd. 1. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2008, 138 s. ISBN 978-80-86973-28-9.
8. CORPORATION .., DaimlerChrysler.. *Measurement systems analysis: reference manual*. 4th ed. [Detroit, Mich: DaimlerChrysler, 2010. ISBN 9781605342115.
9. CHUNOVKINA, Anna G, L MIRONOVSKIĀ a Valery A SLAEV. *Metrology and theory of measurement*. Boston: De Gruyter, [2013], 1 online zdroj (582 pages). De Gruyter studies in mathematical physics. ISBN 978-3-11-028482-9.
10. SKŘEHOT, Petr a Jan BUMBA. *Prevence nehod a havárií*. Vyd. 1. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2009, 595 s. ISBN 978-80-86973-73-9.
11. MUKHAMETZIANOVA,. *Vliv lidského činitele na bezpečnost výrobních zařízení*. Brno, 2013.
12. Meet Minitab 15 for Windows. USA, 2007.

10 Seznam použitých obrázků

Obr. 1 - Logo společnosti [1]	12
Obr. 2 - CNC soustruh PUMA 300B [1]	12
Obr. 3 - Měřená součást	13
Obr. 4 – Zdroje variability [3].....	17
Obr. 5 – Části celkové variability [4].....	18
Obr. 6 – Rozdíl mezi shodností a přesností [4].....	19
Obr. 7 – Diagram vztahu skutečných a naměřených hodnot [4].....	20
Obr. 8 – Charakter vzniku výsledné chyby [9]	22
Obr. 9 - Příklad digramu příčin a následků	24
Obr. 10 – Schéma soustavy člověk – stroj [11]	26
Obr. 11 – Model SHELL [11].....	27
Obr. 12 – Model zpracování informací člověkem [11].....	28
Obr. 13 – Předpis měření	31
Obr. 14 – Měřený rozměr součásti	31
Obr. 15 – Test normality	32
Obr. 16 – Průběhový diagram	36
Obr. 17 – Diagram složek variability	36
Obr. 18 - Diagram rozpětí	37
Obr. 19 - Diagram průměrů.....	37
Obr. 20 - Diagram porovnání operátorů.....	38
Obr. 21 - Diagram interakcí operátor vs. součást.....	38
Obr. 22 - Test normality pro nové vzorky.....	40
Obr. 23 – Průběhový diagram pro nové vzorky	43
Obr. 24 – Diagram složek variability pro nové vzorky.....	44
Obr. 25 - Diagram rozpětí pro nové vzorky	44
Obr. 26 - Diagram průměrů pro nové vzorky	44
Obr. 27 - Diagram porovnání operátorů pro nové vzorky	45
Obr. 28 - Diagram interakcí operátor vs. součást pro nové vzorky	45
Obr. 29 - Histogram	46
Obr. 30 - Histogram pro nové vzorky	46
Obr. 31 - Diagram způsobilosti procesu pro nové vzorky	48

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 52
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

11 Seznam příloh

- P1 - Výrobní výkres součásti
- P2 - CD s elektronickou verzí

