

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program:** B0715A270013 – Strojní inženýrství

**Studijní specializace:** Strojírenská technologie – technologie obrábění

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Návrh přípravku pro zaměřování nástrojů na stroji  
EMCO Maxxturn 25**

**Autor:** Jan MEJTA

**Vedoucí práce:** Ing. Jan MEZULIÁNIK

Akademický rok 2023/2024

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2023/2024

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan MEJTA**  
Osobní číslo: **S20B0189P**  
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**  
Specializace: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**  
Téma práce: **Návrh přípravku pro zaměřování nástrojů na stroji EMCO Maxxturn 25**  
Zadávající katedra: **Katedra technologie obrábění**

## Zásady pro vypracování

1. Úvod od problematiky
2. Současný stav a jeho hodnocení
3. Návrh a porovnání možných řešení
4. Vyhodnocení
5. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**  
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- Elektronické informační zdroje dostupné z [www.knihovna.zcu.cz](http://www.knihovna.zcu.cz)
- CIRP ANNALS – Manufacturing Technology (<http://www.cirp.net/>)
- Spektrum, MM Průmyslové dostupné z [www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com)
- SANDVIK Coromant, Sandviken: Technická příručka obrábění, dostupné z <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Mezuliánik**  
Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Michal Povolný, Ph.D.**  
Regionální technologický institut

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2023**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2024**

L.S.

---

**Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.**  
děkan

---

**Doc. Ing. Miroslav Zetek, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářské práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora



## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Janu Mezuliánikovi za vstřícný přístup, velkou pomoc a cenné poznatky při vedení bakalářské práce. Taktéž děkuji paní Ing. Daně Kubátové Ph.D. za pomoc při přípravě a vyhodnocení analýz a panu Ing. Michalu Povolnému Ph.D. za rady během konzultací. Nesmím zapomenout poděkovat celé své rodině za podporu během zpracování této práce.

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Mejta	<b>Jméno</b> Jan
<b>STUDIJNÍ PROGRAM</b>	B0715A270013 Strojírenská technologie-technologie obrábění	
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulu)</b> Ing. Mezuliánik	<b>Jméno</b> Jan
<b>PRACOVÍŠTĚ</b>	ZČU - FST - KTO	
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b> <b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Návrh přípravku pro zaměřování nástrojů na stroji EMCO Maxxturn 25	

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2024
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	104	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	48	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	50
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	<p>Cílem této bakalářské práce je návrh přípravku pro zaměřování nástrojů na stroji EMCO Maxxturn 25. Teoretická část popisuje komunikaci, pohyby částí stroje a vztažné body, které jsou dále vztaženy ke stroji EMCO Maxxturn 25. V rámci rešerše byl popsán současný stav a trendy v zaměřování nástrojů. Experimentální část je zaměřena na současný stav optického zaměřovacího přípravku za pomoci MSA a SPC - FORD analýzy. V praktické části byly představeny tři konstrukční návrhy, na které byl kladen požadavek dokázat zaměřit řezné nástroje s přesností 0,05 mm. Výsledkem je popis principu zaměřování představených návrhů s následným vyhodnocením nejvhodnějšího z nich.</p>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	<p>Tool presetting, zaměřování, CNC, řezné nástroje, přesnost, EMCO Maxxturn 25</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Mejta	<b>Name</b> Jan	
<b>STUDY PROGRAMME</b>	B0715A270013 Technology of Metal Cutting		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Ing. Mezuliánik	<b>Name</b> Jan	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Design of a tool setter jig for the EMCO Maxxturn 25		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KTO	<b>SUBMITTED IN</b>	2024
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	104	<b>TEXT PART</b>	48	<b>GRAPHICAL PART</b>	50
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b> <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	<p>The main objective of the bachelor thesis is a design of a tool jig for tool presetting on the EMCO Maxxturn 25 machine. The theoretical part describes the communication, movements of the machine parts and reference points, which are further related to the EMCO Maxxturn 25. The current state and trends of presetting were described. The experimental part is focused on the current state of the optical tool presetter fixture using MSA and SPC - FORD analysis. In the practical part, three designs were presented, which were required to set cutting tools with an accuracy of 0.05 mm. The result is a description and principle followed by an evaluation of the most suitable one.</p>
<b>KEY WORDS</b>	Tool presetting, tool alignment, CNC, cutting tools, precision, EMCO Maxxturn 25

## Obsah

Úvod.....	1
1 CNC a presetting .....	2
2 Řízení CNC .....	3
2.1 Řídicí systémy s přetržitým řízením .....	4
2.2 Řídicí systémy se souvislým řízením .....	4
2.3 Pohony u CNC strojů.....	5
2.3.1 Hlavní pohony stroje .....	5
2.3.2 Vedlejší pohony stroje.....	5
2.4 Vztažné body .....	6
3 Přípravky pro tool presetting a setting .....	7
3.1 Tool presettery a settery .....	7
3.1.1 Externí tool presetter .....	8
3.2 Moderní Presetting .....	9
3.2.1 Komunikace a automatizace.....	9
3.2.2 Automatický integrovaný tool presetter.....	10
3.2.3 DMG MORI DMU 40 eVo linear .....	11
3.2.4 KOVOSVIT MAS MCU 450VT-5X .....	11
3.2.5 Marposs - nejnovější technologie.....	13
3.2.6 Renishaw - nejnovější technologie.....	14
3.3 Výběr zařízení.....	15
4 Metody zaměřování.....	16
4.1 Dotyková metoda touch off.....	16
4.2 Sondovací hrot.....	16
4.2.1 Druhy dotykových sond .....	17
4.3 Laserové zaměření.....	18
4.4 Optická metoda - optical projector .....	19
4.5 Nastavení a upínání na soustruzích .....	20
5 EMCO Maxxturn 25.....	21
5.1 Zaměřování na EMCO Maxxturn 25 .....	22
6 Shrnutí teoretické části a nastínění praktické části.....	23
7 Experimentální část.....	24
7.1 Orientační zkouška obrobitelnosti .....	24
7.2 Experiment pro opakovatelnost zaměření SPC - FORD .....	26
7.3 Experiment pro opakovatelnost upnutí zaměřovacího přípravku SPC - FORD.....	26

7.4	Experiment pro MSA - GRR .....	27
8	Teorie, postup a vyhodnocení SPC – FORD a MSA analýz.....	28
8.1	SPC - FORD .....	28
8.2	Postup SPC – FORD.....	29
8.3	Hrubé chyby měření .....	30
8.4	Výsledky opakovatelností a porovnání.....	31
8.5	MSA.....	32
8.6	GRR (Gage Repeatability and Reproducibility) .....	35
8.6.1	Postup výpočtu a vyhodnocení.....	36
8.7	Výsledek MSA .....	40
9	Praktická část – návrh nového zaměřovacího přípravku.....	41
9.1	Redukce rozhraní .....	42
9.1.1	Možnost upnutí elektromagnetem.....	42
9.2	První návrh – přípravek s číselníkovými úchylkoměry.....	42
9.3	Druhý návrh – přípravek s laserovým zaměřovačem .....	44
9.4	Třetí návrh – přípravek pro elektrickou indikaci dotyku.....	45
10	Porovnání konstrukčních návrhů a vyhodnocení .....	46
10.1	Vyhodnocení.....	46
11	Závěr.....	48
	Seznam použitých zdrojů .....	50
	PŘÍLOHA č. 1 .....	i
	PŘÍLOHA č. 2.....	v
	PŘÍLOHA č. 3.....	viii
	PŘÍLOHA č. 4.....	xi
	PŘÍLOHA č. 5.....	xiii
	PŘÍLOHA č. 5.....	xv
	PŘÍLOHA č. 6.....	xxviii
	PŘÍLOHA č. 7.....	xxxviii

## Přehled použitých zkratek

BT	Boring Taper
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CCD	Charged Coupled Device
CNC	Computer Numerical Control
CPU	Central Processing Unit
ČSN	Československé Státní Normy
DIN	Deutsche Industrie Norm
DNC	Direct Numerical Control
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FST	Fakulta Strojní
HDD	Hard Disk Drive
LED	Light Emitting Diode
MDI	Manual Data Input
MSA	Measurement System Analysis
NMTB	National Machine Tool Builders
PLC	Programmable Logic Controller
POM	Polyoxymethylen
QR	Quick Response
RFID	Radio Frequency Identification
RTI	Regionální Technologický Institut
SPC	Statistical Process Control
SSD	Solid State Drive
USB	Universal Serial Bus
VBD	Vyměnitelná Břitová Destička
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VTS	Visual Tool Input
ZČU	Západočeská univerzita v Plzni

## Přehled použitých symbolů

$A_p$	hloubka řezu	[mm]
$AV$	variabilita operátora	[-]
$C_g, C_{gk}, C_{gn}, C_{gmin}$	indexy způsobilosti	[-]
$EV$	variabilita operátora	[-]
$GRR$	opakovatelnost a reprodukovatelnost	[-]
$k_1, k_2$	konstanty	[-]
$K_2$	koeficient propočet operátorů	[-]
$K_3$	koeficient pro počet dílů	[-]
$K_i$	koeficient pro počet měření	[-]
$n$	počet dílů	[-]
$ndc$	vhodnost	[-]
$PV$	variabilita dílu	[-]
$r$	počet měření	[-]
$\bar{\bar{R}}$	průměr průměrů rozptylů	[mm]
$\bar{R}$	průměr rozptylu	[mm]
$R$	rozptyl	[mm]
$R_p$	rozptyl průměrů pro díl	[mm]
$s$	směrodatná odchylka	[mm]
$T$	toleranční pole	[mm]
$TV$	celková variabilita	[-]
$UCLR$	horní kontrolní limit rozptylu	[mm]
$\bar{\bar{x}}$	průměr průměrů dílů	[mm]
$\bar{x}$	průměr dílu	[mm]
$x$	průměr	[mm]
$xdiff$	rozdíl průměrů operátorů	[mm]
$xref$	referenční hodnota etalonu	[mm]

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Schéma řízení CNC [3].....	3
Obrázek 2 Důležité body [9].....	6
Obrázek 3 Schéma jednoduchého setteru [9].....	7
Obrázek 4 ZOLLER PMBC-00424.....	8
Obrázek 5 ZOLLER Genius 3s.....	9
Obrázek 6 DMG MORI DMU 40 eVo linear.....	11
Obrázek 7 Renishaw laserový presetter na stroji KOVOSVIT MAS MCU 450VT-5X.....	12
Obrázek 8 Senzory pro měření rozměrů na stroji KOVOSVIT MAS MCU 450VT-5X.....	12
Obrázek 9 Marposs VTS SF 45 [20].....	13
Obrázek 10 Renishaw RMP24 – micro [21].....	14
Obrázek 11 Sondovací hrot výrobce Haas [20].....	16
Obrázek 12 Kinematická sonda [21].....	17
Obrázek 13 Laserové zaměření na DMG MORI DMU 40 eVo linear.....	18
Obrázek 14 ZOLLER Presetting.....	19
Obrázek 15 Heidenhain VT121 [26].....	20
Obrázek 16 EMCO Maxxturn 25.....	21
Obrázek 17 Optický zaměřovací přípravek EMCO s detailem zaměření.....	22
Obrázek 18 POM.....	24
Obrázek 19 VBD po orientační zkoušce obrobitelnosti 1.....	25
Obrázek 20 VBD po orientační zkoušce obrobitelnosti 2.....	25
Obrázek 21 Graf normálního rozdělení [38].....	28
Obrázek 22 Stabilita [35].....	32
Obrázek 23 Strannost [36].....	33
Obrázek 24 Opakovatelnost [37].....	33
Obrázek 25 Linearita [37].....	34
Obrázek 26 Reprodukovatelnost [36].....	35
Obrázek 27 Vřeteno s otvorem upínacího rozhraní.....	41
Obrázek 28 Redukce rozhraní 1.....	42
Obrázek 29 Redukce rozhraní 2.....	42
Obrázek 30 První návrh 1.....	43
Obrázek 31 První návrh 2.....	43
Obrázek 32 Druhý přípravek.....	44
Obrázek 33 Třetí přípravek.....	45



## Seznam tabulek

Tabulka 1 Charakteristika EMCO Maxxturn 25 .....	22
Tabulka 2 Výsledky opakovatelnosti .....	31
Tabulka 3 Parametry pro výpočet EV .....	38
Tabulka 4 Parametry pro výpočet AV .....	38
Tabulka 5 Parametry pro výpočet PV .....	39
Tabulka 6 Výsledek MSA analýzy měřicí jednotky v % .....	40
Tabulka 7 Výsledek MSA analýzy měřicí jednotky .....	40
Tabulka 8 Porovnání konstrukčních návrhů.....	46

## Úvod

CNC obrábění v současné době většinou nahradilo konvenční obrábění, čímž se CNC stroje staly hojně využívanými a zcela běžnými. Ačkoli se způsoby CNC programování a nastavení v jednotlivých dílnách různí, každý CNC stroj potřebuje program s přesnými daty o nástroji. Pro správnou funkci jsou nezbytná data o řezném nástroji, jakými jsou například průměr, délka a poloměr špičky. Další velmi důležitou informací je upnutí řezného nástroje, tedy znalost vyložení, druhu upínače, jeho tvar a rozměry.

Pro správné nastavení nástrojů je potřebné znát přesné údaje řezného nástroje, které musí být správné, jak z hlediska geometrie, tak i ve vztahu k CNC stroji. Pokud není dbáno na správné zohlednění výše zmíněných údajů, může dojít ke kolizi nástroje s obrobkem, což by vedlo ke značné ztrátě času a financí. Získávání informací o rozměrech řezných nástrojů speciálními přípravky či zařízeními je zásadním pokrokem ve strojírenském průmyslu. Tool presetting přebírá proces shromažďování základních údajů o nástrojích před jejich uvedením do provozu, ulehčuje nastavení, snižuje vnesení chyb do procesu obrábění a tím pádem i zmetkovitost výroby.

Cílem této bakalářské práce je navrhnout zaměřovací přípravek nástrojů pro stroj EMCO Maxxturn 25, který se nachází na Fakultě strojní ZČU. Není cílem vyrobit a aplikovat funkční přípravek, nýbrž zhodnotit současný stav a ukázat možnosti zaměřování jiným přesnějším způsobem.

Celý proces návrhu je nutno roztrždit do jednotlivých stádií vývoje. V první řadě je nutné seznámit se se základy automatizace, komunikace a teorie vztažných bodů. V rámci rešerše principů a metod způsobů zaměřování bylo nutno zjistit, jaké jsou trendy a možnosti v současnosti napříč výrobci. Jelikož se celá práce zaměřuje na zaměřování nástrojů na stroji EMCO Maxxturn 25, je popsána metodika současného zaměřování s následnou aplikací MSA a SPC - FORD analýzy pro zjištění, jak nepřesný je současný zaměřovací optický přípravek přímo od výrobce. Aby bylo možné použít MSA analýzu, bylo zapotřebí orientační zkoušky obrábělnosti, která potvrdila stabilitu podmínek obrábění.

Před samotným návrhem je nutné určit možné způsoby upínání s nárokem na přesnost a opakovatelnost zaměřovacího přípravku. Požadavek pro zaměření řezného nástroje byl předem určen na hodnotu tolerančního pole 0,05 mm. Součástí práce jsou tři konstrukční návrhy s porovnáním a následným vyhodnocením.

## 1 CNC a presetting

Pro sběr potřebných dat existují různé metody. Novější stroje jsou často vybaveny vestavěnými zařízeními, tzv. integrovanými tool presettery, která umožňují obsluze snadno změřit nástroj a uložit potřebné informace do řídicího systému stroje. Pokud se jedná o starší stroj, je nutné, aby obsluha změřila řezný nástroj mimo stroj v tzv. externím tool presetteru. [1]

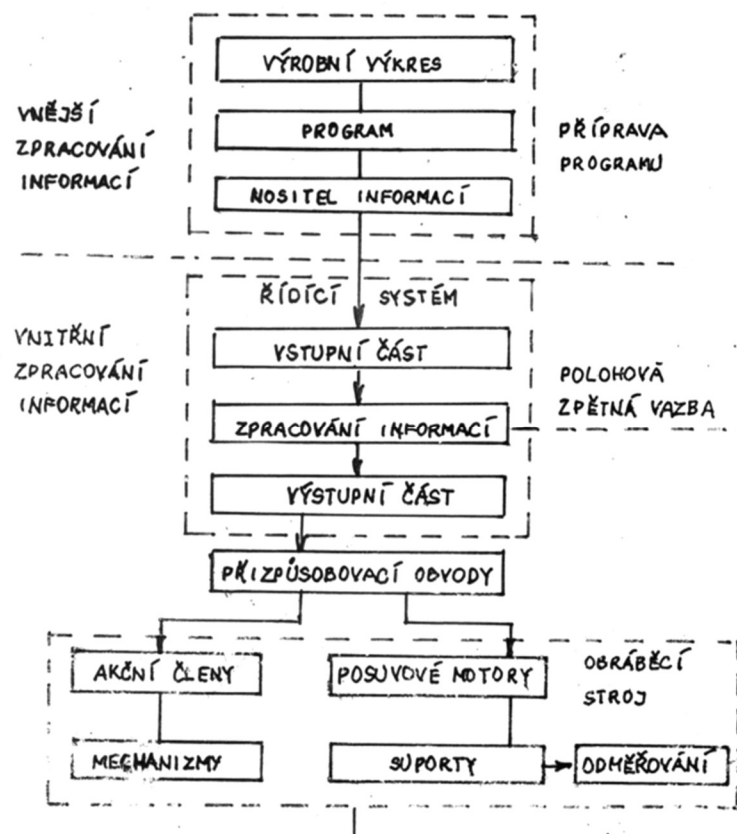
Získaná naměřená data jsou již několik desetiletí ukládána a využívána řídicími systémy. Drobné odchylky zaměření lze korigovat právě tool presettery, proto odpadá nutnost přesného upnutí řezného nástroje. Úkon přednastavení lze přesněji nazvat měřením nástrojů, i když se měřicí stroje často nazývají seřizovače nebo tool presettery. [1], [2]

Poskytnutá data o nástroji, která jsou dále převedena do CNC programů, pomáhají udržet efektivní obráběcí procesy. Kontrola nástrojů také zajišťuje lepší přesnost obrábění a maximalizaci efektivního využití výrobního času. [1], [2]

Konečná přesnost výrobku je přímo ovlivněna přesností rozměrů řezných nástrojů, které jsou použity v CNC stroji. Pro přesné obrábění je nezbytné znát specifikace nástroje, jako je průměr a délka nástroje, poloměr špičky a další. Přednastavení nástroje napomáhá zajistit, aby výrobek odpovídal specifikacím ještě před zahájením procesu obrábění. Klesá tak počet vyrobených kusů, které neprojdou kontrolou. [1], [2]

## 2 Řízení CNC

Všechny NC stroje je možno označit za stroje s numerickým (číslicovým) řízením. CNC stroje se od NC strojů různí pouze způsobem řízení, které je realizováno pomocí výpočetní techniky, proto tedy název Computer Numerical Control. Počítače a všechna výpočetní technika, která je používána k řízení CNC strojů, používá operační systémy, které nahradily pevné logické obvody u NC strojů. Program, nutný pro práci CNC stroje, je do operační paměti výpočetní techniky přenesen z nosného média, např. CD, USB disk, HDD, SSD nebo DNC síť. Všechnu komunikaci zajišťují procesory (dále jen CPU), které se dále dělí na primární a sekundární. Primární CPU zajišťuje komunikaci s obsluhou a obslužné funkce. Sekundární CPU, většinou PLC (Programmable Logic Controller), řeší ostatní komunikaci a funkce mezi jednotlivými částmi CNC stroje. Následuje výběr znaků, které jsou dále díky vstupním dekodérům přeloženy do formátu, který je pro řídicí systém CNC stroje srozumitelný. Dále dochází ke zpracování dat a zároveň je poskytována zpětná vazba obsluze stroje. Zpracovaná data jsou převáděna na povely pro řízení stroje, u souvislého řízení tuto funkci zajišťuje interpolátor. Na základě znalostí o dráze interpolátor generuje odpovídající hodnoty signálu pro jednotlivé směry pohybu, které jsou předány diferencnímu členu, který porovnává skutečnou polohu nástroje s polohou požadovanou. Po zesílení signálu jsou řídicí signály posílány do řízení servopohonů v jednotlivých směrech pohybu. Základní princip funkce CNC (Obrázek 1). [3]



Obrázek 1 Schéma řízení CNC [3]

## 2.1 Řídicí systémy s přetržitým řízením

### Stavění souřadnic

Patří k nejstarším a nejjednodušším způsobům řídicím systémům, kdy pouze nastavuje zadané hodnoty souřadnic. Na jednotlivé pozice se přesouvá většinou rychloposuvem, kdy vždy je prováděn pouze jeden pohyb v jedné ose od začátku až do konce. Nedisponuje možností lineární ani kruhové interpolace. Dráhy nástrojů nejsou přesně definovány, proto jsou používány na souřadnicových vrtačkách nebo tvářecích strojích. [3], [4]

### Pravouhlé řízení

Pohyb nástroje je možný pouze v osách, které jsou rovnoběžné s osami stroje. Automaticky dochází k zpevnování nepohyblivé osy, tedy stává se z ní osa stacionární. Jedná se o jednodušší způsob řízení. Je vhodné pro soustružení válcových ploch nebo frézování pravouhlých obrobků. [3], [4]

## 2.2 Řídicí systémy se souvislým řízením

### Obecné dráhy

V současné době se jedná o nejpoužívanější způsob řízení, který dokáže udělat výpočet korekce nástroje nebo geometrie. Pohyb může být vykonáván ve všech osách současně. O to se stará interpolátor, který dle řádu funkce (lineární, kvadratická a vyšších řádů) dokáže vytvořit interpolovanou dráhu pro pohyb nástroje. [3], [4]

Řídicí systémy se souvislým řízením se dále rozdělují dle počtu os, které současně mohou být řízeny. [3], [4], [5]

- Jednoosé obrábění: Tento typ obrábění umožňuje pohyb pouze v jedné ose. Často se využívá například při vrtání.
- Dvouosé obrábění: Dvouosé obrábění umožňuje pohyb ve dvou osách současně. Nejčastěji se využívá u soustruhů pro řízení pohybu v osách x a z.
- Dvou a půlosé obrábění: Tento typ obrábění umožňuje lineární nebo kruhovou interpolaci v jedné rovině (XY, XZ nebo YZ) a pohyb v osách X a Y po dosažení požadované hloubky řezu v ose Z. Často se využívá u frézek.
- Tříosé obrábění: Tato metoda umožňuje obrábět ve všech třech osách X, Y a Z současně. Interpolátor je zde klíčový, protože propočítává pohyb nástroje v osách X a Y v závislosti na poloze osy Z.
- Čtyřosé obrábění: Čtyřosé obrábění umožňuje rotaci nástroje a obrobku kolem os X, Y, Z. To umožňuje obrábět ve složitějších polohách než jen ve standardních osách.
- Pětiosé obrábění: Nejkomplexnější úroveň obrábění, která umožňuje manipulaci s nástrojem a obrobkem ve všech pěti osách, což umožňuje zpracování velmi složitých tvarů jako jsou lopatky turbín a podobně.
- Víceosé CNC stroje

## 2.3 Pohony u CNC strojů

U CNC strojů jsou v základu rozlišovány dva druhy pohonů. Jedná se o pohony hlavní a vedlejší. [6]

### 2.3.1 Hlavní pohony stroje

Hlavní pohon stroje zajišťuje hlavní řezný pohyb stroje. Požadované je umožnění nastavení dostačujících řezných rychlostí a zaopatření tuhosti, bezpečnosti a přesnosti. V závislosti na změně otáček jsou voleny možnosti použití. [3], [6], [7]

#### Plynulá změna otáček

- Elektromotor na stejnosměrný proud s tyristorovou regulací
- Mechanický řemenový variátor
- Ward – Leonardovo soustrojí
- Elektromotory s frekvenčním měničem

#### Stupňovitá změna otáček

- Převodovky s asynchronními elektromotory

### 2.3.2 Vedlejší pohony stroje

Vedlejší pohony stroje zaopatřují pohyb posuvů a ostatních pohyblivých částí. Požadavky na pohony posuvů vyžadují minimální kinematickou vůli a pasivní účinky, avšak maximální tuhost, rychlost a akcelerace z hlediska produktivity. Hlavním rozdělením konstrukce vedlejších pohonů je: [3], [6], [7]

- Přímé spojení elektromotoru a šroubu: odměřovací prvky jsou nejčastěji propojeny s pohyblivou částí nebo s posuvným šroubem.
- Spojení ozubeným řemenem nebo jiné nepřímé spojení elektromotoru a šroubu: tato možnost je využívána v případech, kdy není v těle CNC stroje dost místa, tedy motory nemohou být umístěny v ose pohybového šroubu. Nepřímé spojení je realizováno ozubeným soukolím nebo zubovým řemenem.

#### Dále se vedlejší pohony posuvů dělí na:

- Elektrické
- Hydraulické
- Pneumatické

Pro pohony posuvů jsou v dnešní době hojně používány servomotory. Mimo jiné by nemělo být zapomenuto na taktéž často používané lineární a prstencové motory. Stejně se ale nejčastěji používají kuličkové šrouby, které zajistí tuhost a potřebnou přesnost do tisíců milimetrů. U malých a jednodušších strojů jsou pro pohon posuvů používány krokové motory, které se při jednom elektrickém impulsu otočí právě o jeden krok. [3], [6], [7]

## 2.4 Vztažné body

Vztažné body jsou důležité body, které souvisejí s definicí souřadného systému (Obrázek 2). Umožňují určit vzájemnou polohu nástroje a obrobku vzhledem k prostoru stroje, kde je obrábění prováděno. Pro poskytnutí přesné informace, v jaké poloze se nachází vztažný bod nástroje vůči řídicímu bodu, slouží právě presetter. Presetting tedy ulehčuje a umožňuje proces, při kterém je zkoumána vzdálenost bodu N od bodu P. [8]

M - nulový bod stroje

- Nulový bod udává výrobce a tento bod nelze měnit. Tento bod je výchozím bodem pro ostatní body souřadnicového systému a nachází se u soustruhů obvykle na čele hlavy vřetena v ose rotace. [8], [9]

R - referenční bod stroje

- Vzdálenost nulového a referenčního bodu je stanovena výrobcem a uložena v řídicím systému stroje. Při najetí suportu do referenčního bodu dostane řídicí systém signalizaci o poloze nástroje a následně jsou připsány korekce nástroje. Nejčastěji je referenční bod definován koncovými spínači. [8], [9]

W - nulový bod obrobku

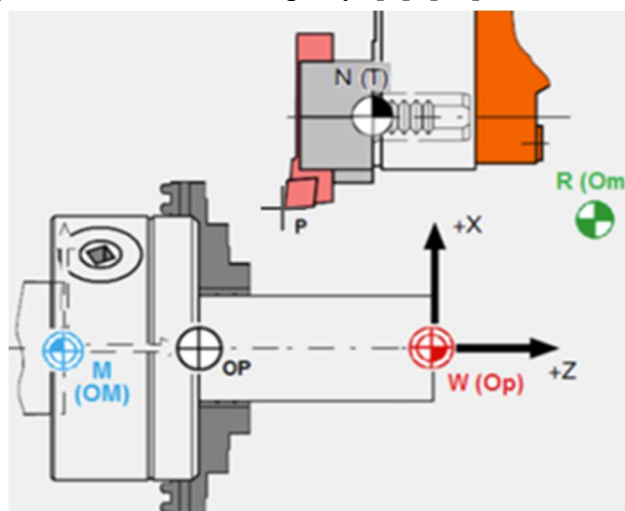
- Nulový bod obrobku lze libovolně volit. Pro tuto operaci slouží většinou funkce G54 až G59 (řada možných funkcí pro nulový bod nekončí a může pokračovat dále), avšak u stroje EMCO Maxxturn 25 lze navíc použít funkce G505 až G599 právě díky použití řídicího systému SINUMERIK. [8], [9]

N - vztažný bod nástroje

- Vztažný bod upnutí nástroje je pevně stanoven a slouží jako výchozí bod k měření nástrojů. Tento bod leží u soustruhů na čele lůžka každé pozice revolveru. U frézek se nachází na čele otvoru vřetena. [8], [9]

P - řídicí bod nástroje

- Řídicí bod nástroje je bod, jehož souřadnice jsou psány do programu. Tyto souřadnice jsou následně na základě rádia špičky upraveny korekcí. Tento bod u soustružnických nožů vznikne protnutím tečen rádia špičky. [8], [10]



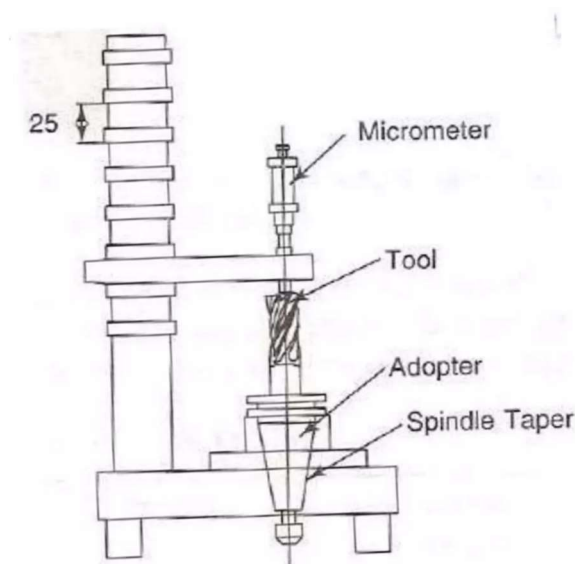
Obrázek 2 Důležité body [9]

### 3 Přípravky pro tool presetting a setting

Tato kapitola bude věnována teoretickému popisu tool presetterů a jejich rozdělení přímo se zástupci jednotlivých tříd, které se vyskytují na FST nebo RTI.

#### 3.1 Tool presettery a settery

Základem je správně definovat rozdíl mezi pojmy tool setting (nastavení nástroje) a tool presetting (přednastavení nástroje). Tool setting je pojem spjatý se starými a jednoduchými obráběcími stroji, kdy k nastavení nástroje dochází přímo uvnitř prostoru stroje. K nastavení nástrojů jsou používány jednoduché metody, například metoda touch off nebo naškrábnutí. Při tool presettingu je potřebné zjistit přesnou polohu špičky nástroje vůči vztažnému bodu stroje. Tento proces může být řízen programem a jako tool presettery jsou použity speciální přístroje, které využívají principy laseru, soustavy optických čoček nebo CCD kamer, více níže. Novější stroje využívají integrovaných systémů, které jsou vestavěny do vnitřních prostorů, pro přednastavení a zaměření nástrojů. Přednastavení je prováděno uvnitř stroje před zahájením úkonu, nebo na externím zařízení. Použití externích tool presetterů je výhodou z časového hlediska, jelikož zatímco je používán jeden nástroj, jiný může být zaměřen v rámci přípravy. [11]



Obrázek 3 Schéma jednoduchého setteru [9]

Nejjednodušší tool settery fungují podobně jako výškoměry pro rotační nástroje (Obrázek 3). Řezný nástroj je umístěn do upínacího přípravku, seřizovací plochou je pohybováno do chvíle, než číselníkový indikátor poukáže na kontakt s řezným nástrojem a odečte se odchylka vzdálenosti. Naměřené hodnoty se poté zaznamenají a zadají do řídicího systému obráběcího stroje. Poskytují však pouze informace o vyložení nástroje. Tyto tool settery jsou levné a vlastní konstrukcí robustní. Přestože jsou kontaktní tool settery jednoduché, jsou o něco méně přesné než pokročilejší a nelze je zautomatizovat. Kontaktní varianty jsou stále dobrou volbou pro výrobu, která potřebuje cenově výhodné řešení pro snížení problémů s údržbou spojené se složitějšími stroji. [1], [12]



### 3.1.1 Externí tool presetter

Externí tool presetter je zařízení, které je umístěno mimo obráběcí stroj, většinou v metrologické laboratoři, v některých případech vedle CNC stroje, umožňující přesné a rychlé měření. Korekční data generovaná presetterem lze v reálném čase a automaticky přenášet do řízení CNC. Rozměry břitů nástroje vzhledem k referenčnímu bodu jsou pevně určeny, tj. nástroj je upnut ve stejném upínači v presetteru, jako v CNC stroji. Příkladem může být optický presetter ZOLLER Genius 3s (Obrázek 5). [12]

Velkou výhodou je offline zaměření nástrojů, jelikož k němu dochází za chodu CNC stroje, díky kterému nedochází ke ztrátě výrobního času. Dále existují externím presetterům velmi podobné a blízké mikroskopy pro kontrolu nástrojů. Tyto mikroskopy jsou schopny měřit průměr a pracují na principu CCD kamer. Průměr je však také důležitým rozměrem pro zaměřování rotačních nástrojů. Takovým polovičním tool presetterem je například ZOLLER pomBasicMicro PMBC-00424 (Obrázek 4). Následně je nástroj digitálně zvětšen a detail je zobrazen na monitoru. [13]



Obrázek 4 ZOLLER PMBC-00424



Obrázek 5 ZOLLER Genius 3s

## 3.2 Moderní Presetting

Moderní tool presettery a celý jejich měřicí cyklus lze zautomatizovat a propojit s výpočetní technikou, která řídí obráběcí stroj. Jelikož odpadá nutnost zapisovat naměřené hodnoty, chyba výsledků měření je minimalizována. [1]

### 3.2.1 Komunikace a automatizace

U novějších CNC strojů je možnost přímé i nepřímé propojení, které umožňuje zautomatizovat proces měření. Tool presetter lze naprogramovat tak, aby prováděl předem stanovené úkony. Programování tool presetteru umožňuje výrobcům dílů přenést měření řezných nástrojů z obsluhy stroje na méně kvalifikované osoby, což obsluhu umožňuje vykonávat úkoly s vyšší náročností. Vytvořené programy pro automatické zaměřování zajišťují, že nástroje jsou měřeny vždy stejným způsobem. [1], [2]

Nejčastěji je komunikace uskutečněna prostřednictvím radiofrekvenčních čipů, které jsou zabudované v držácích nástrojů. Po dokončení měření jsou data zaznamenána na čip, který následně přečte řízení obráběcího stroje. [1]

Dnešní tool presettery mohou být propojeny s CNC stroji pomocí bezdrátového připojení nebo přes centrální síť. Taktéž se používají RFID čipy, QR kódy nebo čárové kódy, které se předem nahrají do CNC zařízení a odpadá tak nutné zaměřování nástrojů po nasazení do stroje. Síťové připojení umožňuje moderním strojům a řídicím softwarům přístup k digitálním informacím, kterými jsou například výkresy, CNC programy a CAD soubory, které lze podle potřeby importovat a exportovat. Digitální informace pro zpětnou komunikaci lze sdílet s konstruktéry CAD. V případě potřeby lze data z měření sdílet také s interními kontrolními odděleními nebo dodavateli. [1], [14]

### 3.2.2 Automatický integrovaný tool presetter

Existují dva druhy automatických integrovaných presetterů, které se od sebe liší mobilitou. První a méně používaný typ používá pohyblivou měřicí sondu, která se pohybuje po dvou navzájem kolmých osách. [15]

Častěji používaný typ je stacionární měřicí sonda, která má přesně danou vzdálenost od vztažného bodu CNC stroje. [15]

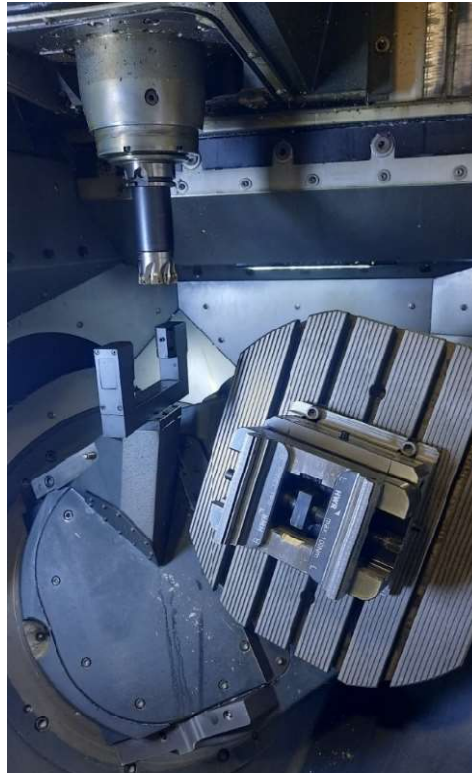
Nejnovější automatické integrované tool presettery mají v ovládacím systému tři režimy pro kontrolu a zaměření. Manuální mód zvaný Manual Data Input, (dále jen MDI), je používán pro počáteční nastavení nástroje. V tomto režimu je nutno zadat číslo pozice nástroje a následně offsety nástroje, u kterých jsou následně doplněny souřadnice v osách X a Z do paměti stroje. Za použití HANDLE JOGu je nástroj přiblížen k tool presetteru v definovaném kvadrantu přesně tak, jak je uvedeno na řídicím panelu dle typu nástroje. [16]

Automatický mód je důležitý pro automatické přeměření nástroje, a tedy aktualizaci hodnot posunu nástroje. [16]

Poslední Break Detect režim je určen pro přeměření a zjištění poruch nástroje. V nastavení je nutno nastavit toleranci, která je ještě přípustná pro výrobu produktu. Pokud je nástroj mimo toleranci, řídicí systém vypíše chybu na pozici daného nástroje a je nutno nástroj vyměnit. Tento režim je opět generován v MDI, což umožňuje vložit automatickou kontrolu nástroje do samotného procesu obrábění. [16] Zobrazení je digitální, takže se do procesu měření nevnáší chyby, které by byly zapříčiněny obsluhou. Dále jsou automatické presettery vybaveny datovým portem pro výstup naměřených hodnot přímo do libovolného systému pro správu nástrojů nebo do osobního počítače za účelem generování hodnot korekce nástroje. [12]

### 3.2.3 DMG MORI DMU 40 eVo linear

U stroje DMG MORI DMU 40 eVo linear je použito laserového zaměřování nástroje (Obrázek 6). Obsluha předem přibližně změří délku nástroje mimo stroj a zapíše hodnotu do systému. Následně je nástroj umístěn zpět do zásobníku a započne se proces zaměření. Kolébka je sklopena, čímž se zpřístupní laserový tool setter. Nástroj je následně roztočen a přibližován v různých směrech (zboku a shora) dokud nedojde k přerušení paprsku. Najetí je několikrát opakováno. Nakonec dochází k zápisu korekcí v jednotlivých osách do systému. Toto obráběcí centrum dokáže zaměřit nástroje s přesností na čtyři desetinná čísla. Samotný proces zaměřování trvá přibližně jednu až dvě minuty v závislosti na dovednostech obsluhy. [17]



Obrázek 6 DMG MORI DMU 40 eVo linear

### 3.2.4 KOVOSVIT MAS MCU 450VT-5X

Stejně jako u předchozího stroje je u obráběcího centra KOVOSVIT MAS MCU 450VT-5X použito laserové zaměřování (Obrázek 7). Jediným rozdílem je počáteční přeměření nástroje. Na tomto stroji jsou umístěny dva optické senzory (Obrázek 8), které před samotným úkonem přeměření nástroje samostatně určí jeho přibližné rozměry. U nástrojů malých rozměrů, tedy malých vrtáků nebo fréz, může však dojít k pochybení měřících senzorů, a tak se u těchto nástrojů doporučuje proces zaměřování pečlivě hlídat. Sice ve většině případů tyto optické senzory usnadňují a urychlují proces zaměřování, ale ve zbylých případech proces nekomplikují. Avšak vždy by se mělo myslet na možné pochybení techniky a následné poškození. Následný proces měření je již naprosto totožný, a to i proto, že oba senzory, ačkoliv použité na strojích jiných značek, jsou od stejného výrobce. [18]

Použité senzory Renishaw OMI - 2T disponují několika světelnými LED diodami, které obsluze signalizují jednotlivé stavy, ve kterých se pozorovaný systém nachází. Zpracovaný signál je zpracován a následně přenesen do řídicího systému CNC. Systém umožňuje používat dvě sondy s jedním rozhraním. Přesně tento typ je použit na obráběcím centru KOVOSVIT MAS MCU 450VT-5X. [19]



**Obrázek 7 Renishaw laserový presetter na stroji KOVOSVIT MAS MCU 450VT-5X**



**Obrázek 8 Senzory pro měření rozměrů na stroji KOVOSVIT MAS MCU 450VT-5X**



### 3.2.5 Marposs - nejnovější technologie

Společnost Marposs představila novou produktovou řadu tool presetterů VTS (Visual Tool Setter) s integrovanou CCD kamerou, díky které je umožněno měřit nástroje s velmi složitými tvary, a to s přesností na jednu tisícinu milimetru. Tato produktová řada našla uplatnění v mnoha odvětvích, od strojírenství až po výrobu mikročipů. Z řady VTS nutno zmínit tool presetter Marposs VTS SF 45 (Obrázek 9), který i přes své malé rozměry dokáže zaměřit řezný nástroj velmi přesně. Velkou výhodou tohoto malého tool presetteru je jeho možnost použití ve strojích, které mají malé vnitřní prostory. Dalším modelem řady VTS je středně velký tool presetter WF 85 a velký WF 170. Díky nejnovějším technologiím se stala řada VTS flexibilní a vhodnou pro aplikaci do jakéhokoli typu stroje. Tyto presettery jsou schopné zaměřovat od nejmenších až po velké řezné nástroje. [20]

Systém VTS používá princip projekce stínu, tedy osvětlený objekt vrhá vlastní stín na kameru, která díky promítnutému stínu nástroje dokáže získat velké množství informací, například délku, průměr nástroje a poloměr špičky. Díky vysoké přesnosti 0.001 mm dokáže VTS řada změřit nástroje o rozměrech průměru do 0,01 mm a to při opakovatelnosti měření 0,02  $\mu\text{m}$ . Výhodou je možnost přeměření nástroje v pracovních otáčkách, tedy obsluha nemusí snižovat otáčky vřetene. Další výhodou je možnost analýzy povrchu řezného nástroje. Po nasvícení nástroje lze posoudit ve vysokém rozlišení na monitoru integritu řezných hran a identifikovat poškození. [20]

Ochrana VTS CCD kamery je tvořena dvojitým systémem, díky kterému lze toto zařízení použít v náročném prostředí a instalovat přímo do pracovního prostoru obráběcího stroje. [20]



Obrázek 9 Marposs VTS SF 45 [20]

### 3.2.6 Renishaw - nejnovější technologie

Na veletrhu EMO Hannover 2023 byl představen společností Renishaw nový sondovací systém pro bezdrátový přenos dat. Renishaw RMP24-micro (Obrázek 10) je nejmenší bezdrátová sonda pro obráběcí stroje s průměrem 24 mm a délkou 31,4 mm, kterou lze na trhu koupit. Renishaw RMP24-micro nabízí velký metrologický výkon v porovnání s ostatními výrobci. Díky opakovatelnosti měření  $0,35 \mu\text{m}$  a nízkým spouštěcím silám se ideálně hodí pro kompaktní stroje pro velmi přesnou výrobu, například v lékařství, hodinářství a mikromechanickém průmyslu. [21]

Renishaw RMP24-micro dokáže díky novému systému FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) pro bezdrátový přenos komunikovat s řídicím systémem obráběcího stroje s pracovním dosahem až 5 metrů v pásmu 2,4 GHz, který se v průmyslu osvědčil, jelikož vyhovuje rádiovým předpisům po celém světě. Technologie FHSS umožňuje sondě i rozhraní měnit kanály při zachování komunikace, takže sondovací systém může pracovat vedle jiných rádiových zdrojů, jako jsou Wi-Fi nebo Bluetooth. [21]



Obrázek 10 Renishaw RMP24 – micro [21]

### 3.3 Výběr zařízení

Malé tool presettery uvnitř strojů jsou používány ve většině malých společnostech, jelikož jsou levnější než samotné externí presettery. Pokud dojde ke zvýšení počtu strojů v dílně, může dojít k prodražení právě kvůli kalibraci a údržbě. Tím pádem může být negativně ovlivněna produktivita výroby z důvodu nečinnosti obráběcích strojů. [1]

Výběr vhodné metody, jakou lze nástroje zaměřovat, závisí na prostředí dílny, typech řezných nástrojů a množství dat, které je potřebné shromáždit. Dle hlavních požadavků dílen budou tool presettery používat jinou metodu zaměřování a mít jiné vlastnosti. Pro správný postup výběru je vhodné udělat průzkum trhu s následným porovnáním. [1]

Tool settery by neměly být považovány za méněcenné stroje, jelikož jsou nedílnou kooperační jednotkou ostatních strojů. Základními pořizovacími aspekty by měla být kvalifikace pracovníků, požadavky na produktivitu a rozpočet. Spolupráce s výrobcem tool presetterů a návštěva jiných uživatelů, kteří tool presettery využívají při výrobě poskytne důležité informace o parametrech, možnostech stroje, osvědčených postupech seřizování nástrojů a možné problémy, které by mohly vzniknout při používání. [1]

Při výběru tool presetteru je důležité vzít v úvahu maximální délku a průměr nástroje, který bude měřen. Tato úvaha je důležitá pro určení kapacity posuvu presetteru nástrojů a pro určení, zda bude měřit celý rozsah používaných nástrojů. Mezi další důležité úvahy patří povolené tolerance. Často je k dispozici přesnost v rozmezí 0,001 mm, ale doporučuje se nekupovat pro větší přesnost, než jakou vyžaduje daný provoz. A konečně je důležité zvážit rozsah upínacích stopek nástrojů používaných při nástrojových operacích. [22]

Tool presettery nástrojů by měly disponovat stejným upínacím rozhraním, jak na presetteru, tak na CNC stroji. Dle ISO norem jsou používány BT, NMTB a DIN příruby s kužely 7:24. Pro nástrojové stopky a nastavení upínání nástrojů jsou běžně k dispozici adaptéry. Mezi běžné vlastnosti tool presetterů patří měření výchozí polohy osy stroje, který eliminuje nutnost časté kalibrace stroje. Dále paměť o datech několika nulových bodech, možnost přepočtu palců na milimetry nebo přepnutí poloměru na průměr, inkrementální nebo absolutní měření z měřicího bodu. V závislosti na výrobcu mohou být běžně dostupné i další neuvedené funkce presetteru nástrojů. [22]

Složitější a přesnější tool presettery používají laserové zaměřování nebo optické CCD kamery, avšak vyšší pořizovací cena a náročnost údržby v mnoha případech odradí od pořízení. [23]

#### Shrnutí kritérií

- Interní – externí
- Prostředí dílny
- Personál
- Typ měření a použití
- Upnutí
- Náročnost měření



## 4 Metody zaměřování

Možných provedení procesu zaměřování může být několik. Jako nejjednodušší metodu lze označit dotykovou metodu nebo metodu naškrábnutí. Tyto metody jsou pro zaměřování nástrojů méně přesné, avšak dostatečné pro výrobu s požadovanou nižší přesností. Naopak pro velmi přesnou výrobu jsou používány pokročilé technologie, které využívají principu laseru nebo soustav čoček.

### 4.1 Dotyková metoda touch off

Nastavení nástrojů dotykem lze provést různými způsoby, nejjednodušší je použít pouze list papíru. Tato metoda je oblíbená pro svou nízkou cenu a jednoduchost. Nástroj se postupně přibližuje k ploše obrobku, přičemž se mezi nástrojem a obrobkem pohybuje kusem papíru sem a tam, dokud nástroj papír nepřitlačí. To obsluhu upozorní, že nástroj je blízko obrobku (na méně než tloušťku papíru), aniž by se ho dotýkal. Pro těsnější dotyk lze použít tenčí materiál, například kovovou spárovou měrku. Tento způsob měření není ideální, pokud jde o absolutní přesnost, ale je relativně rychlý a jednoduchý. Této metodě je velmi blízká metoda „naškrábnutí“. Nástroj přijde do přímého dotyku s obrobkem, na rozdíl od papírku, a zlehka se do materiálu zařízne. [23]

Obě tyto metody nastavení nástroje fungují, ale jsou však silně náchylné k lidské chybě. Jeden operátor může být přísnější než druhý, může mít jiné preference nebo prostě jen lépe vidí. Podobný případ nastává i u optického zaměřování u stroje EMCO Maxxturn 25, kdy při zaměření záleží na lidském faktoru.

### 4.2 Sondovací hrot

Sondovací hrot je používán jako automatický integrovaný tool presetter u moderních CNC strojů. Měřící rameno je přes servomotor spouštěno do pracovních prostor, kde poté probíhá přeměření. Rameno se skládá z dotykové sondy, která přichází do dotyku s nástrojem ve dvou na sebe kolmých osách pro přímé měření posunů v osách X a Z. Příkladem může být sonda výrobce Haas, který právě dovede zaměřit nástroj v ose X a Z (Obrázek 11). [12], [24]



Obrázek 11 Sondovací hrot výrobce Haas [20]

#### 4.2.1 Druhy dotykových sond

Dotykové sondy pracují na principu fyzického kontaktu, tedy stavu, kdy je konec sondy v přímém dotyku s měřeným objektem, (dotykové sondy jsou používány pro měření nástrojů i obrobků). Do programu je nutno zadat určité body, které budou měřeny. Při dotyku jsou zaznamenány data souřadnic, která putují do řídicího systému stroje a jsou porovnány s předepsanými hodnotami. U sond dochází k prodlevě mezi dotykem a zápisem. [24], [25]

- Dotyková sonda s optický snímač

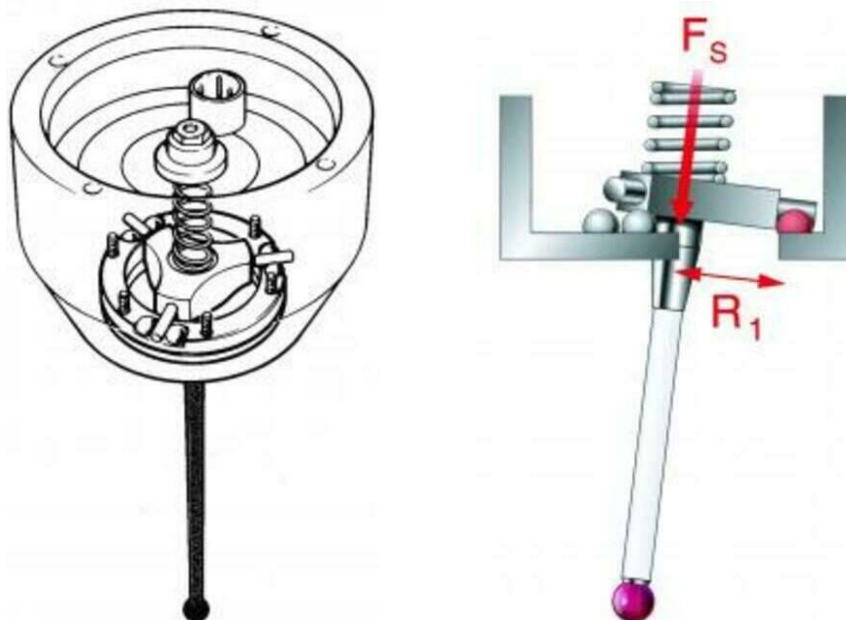
Světelné paprsky, které jsou emitovány LED diodami, procházejí soustavou čoček. Na konci jsou podobně jako laser usměrněny do jednoho bodu. Po vychýlení sondy je vytvořen signál ve fotočláunku a následně zaznamenána poloha. [24]

- Piezokrystalický senzor

Signál pro zápis souřadnic je vytvořen za pomoci elektronické analýzy sil. Pokud dojde k vychýlení hrotu, uvnitř sondy je vyvolán tlak přes valivé elementy na piezokrystalu, což vede ke změně elektrického náboje na krystalu. Ten je dále zpracován a předán řídicímu systému za účelem zapsání souřadnic. [24]

- Kinematická sonda

Za použití tří válečků a šesti kuliček s tlačnou pružinou je v sondovací hlavici bez působení vnějších sil jasně definovaná poloha sondy. Pokud dojde k vychýlení, uvnitř hlavice nastane změna elektrického odporu mezi elementy, což vede k signalizaci zápisu souřadnic. Válečky a kuličky jsou většinou vyrobeny z karbidu wolframu, jelikož dochází k minimálním elastickým deformacím a dobře vedou elektrický proud. Schéma kinematické sondy (Obrázek 12). [25]



Obrázek 12 Kinematická sonda [19]

### 4.3 Laserové zaměření

Bezkontaktní lasery nabízejí vyšší rychlost a přesnost při nastavování nástrojů. Některé z nich mohou také vyhodnotit poškození nástroje a změny geometrie, které mohou indikovat opotřebení. [23]

Měřicí systémy na bázi laserů jsou pro seřizování mnohem přesnější než dotyková měření, ale stále nejsou dokonalé. Laser nemůže získat komplexní 360 stupňový pohled na nástroj stejným způsobem jako optické měření. [23]

Lasery jsou však stabilnější a spolehlivější než metody, které vyžadují větší asistenci člověka. Chladicí kapalinu a nečistoty mnoho laserových systémů ignoruje a lasery mají ze své podstaty přesnost na úrovni mikronů. Existují mnohem větší možnosti měření házivosti a chyb, než při pouhém "očním pohledu" na nástroj pomocí metod nastavení nástroje dotykem. [23]

Systém seřizovače nástrojů se obvykle upíná na stůl obráběcího centra. Obvykle se zařízení skládá z jednoduchého systému, který emituje laserový paprsek do přijímače. Pokud je nástroj v zaměřené poloze, paprsek je přerušen a tím je znemožněn dopad laseru na přijímač. Pokud je nástroj poškozen nebo již nad míru tolerance opotřebovaný, laserovému paprsku nástroj neprekáží v cestě a dopadá na přijímač, což okamžitě signalizuje poruchu na CNC stroji či tool presetteru. Pro detekci rozměrů nástrojů identifikuje nástrojová jednotka, kdy je laserový paprsek přerušen nástrojem a automaticky zaznamená příslušné souřadnice X, Y a Z na příkaz CNC. Na přesně totožném principu pracuje laserový zaměřovač na stroji DMG MORI DMU 40 eVo linear (Obrázek 13). [12]



Obrázek 13 Laserové zaměření na DMG MORI DMU 40 eVo linear

#### 4.4 Optická metoda - optical projector

Nejpřesnějším způsobem měření a přednastavení nástrojů jsou optické snímače. Stroje využívají dopadající osvětlení, které odhalí každý přesný detail nástroje. Díky grafickým výstupním údajům o nástroji a plně automatizovanému provozu jsou měřicí stroje pro přednastavení jednodušší a zároveň mnohem bohatší na výsledky. [23]

Novější technologie zaměřování nástrojů jsou oproti dotykovým složitější. Optické tool presettery shromažďují údaje měření prostřednictvím kalibrovaných CCD kamer a výsledky zobrazují na digitálním displeji. Optické tool presettery poskytují zvětšený pohled na řezný nástroj jako siluetu, podobně jako optický komparátor. U pokročilejších presetterů je zobrazení detailní a umožňuje obsluhu vidět drobné nedokonalosti, například poškození nástroje. Zobrazení je tak detailní, že obsluha musí nástroj očistit, aby dosáhla přesného měření, které může odhalit poškození, které by mohlo být příčinou nevratné deformace. Takovým příkladem může být ZOLLER pomBasicMicro PMBC-00424 (Obrázek 14). [23]



Obrázek 14 ZOLLER Presetting

Mezi novinky nutno zmínit i nástrojovou kameru VT121 značky Heidenhain (Obrázek 15). Jedná se o malou kameru, kterou lze umístit dovnitř stroje, ale i mimo něj na speciální lože. Kamera je schopna kontrolovat stav nástroje přímo ve stroji včetně měření opotřebení. Mezi další schopnosti této kamery patří automatické snímání nástroje, panoramatické a detailní záběry, optimalizace řezných podmínek a NC programů. [26]



Obrázek 15 Heidenhain VT121 [26]

#### 4.5 Nastavení a upínání na soustruzích

Při upínání soustružnického nože musí být dbáno na vyložení nástroje, jelikož dochází k ohybu, a tudíž by se nůž mohl deformovat a podněcovat vibrace. Nastavení výšky nože se kontroluje různými způsoby a pomůckami. Nejjednodušší způsob je nastavení špičky nože podle špičky hrotu v koníku. [27]



## 5 EMCO Maxxturn 25

EMCO Maxxturn 25 je soustružnicko-frézovací centrum určené pro výrobu a zpracování menších obrobků, které si dokáže poradit s komplexním zadáním výroby malých kovových nebo plastových dílů (Obrázek 16). Mimo osu X a Z disponuje tento CNC stroj i říditelnou osou Y, a proto je možno za pomoci poháněných nástrojů vyrábět i frézované plochy a také podle potřeby polohovat soustružnické nože do osy, pod ni, nebo nad ni. Jedná se o zařízení s vysokou přesností výroby, které je vybaveno řídicím systémem SIEMENS nebo FANUC. V revolverové hlavě může být osazeno až 12 nástrojů, které jsou upnuty pomocí rozhraní VDI 16. Zároveň zde může být umístěno 6 poháněných pozic umožňujících využití rotačních nástrojů v radiálním směru a také mimo hlavní osu, další specifikace stroje viz tabulka 1. Tato vlastnost revolverové hlavy umožňuje frézování, vrtání (i mimo osu) a další specifické úkony, které nejsou na obyčejných soustružích možné. Ke stroji EMCO Maxxturn 25 je možno zakoupit podavač tyčového materiálu. Dále tento stroj disponuje vyhazovačem hotových obrobků. Celý stroj EMCO Maxxturn 25 je navržen v této konfiguraci pro sériovou výrobu a je schopen fungovat samostatně. [28]



Obrázek 16 EMCO Maxxturn 25

Charakteristika stroje:

- Osa Y
- Protivřeteno
- Podavač
- Vyhazovač hotových kusů
- Velký rozsah rychlostí

EMCO Maxxturn 25 se vyrábí ve třech provedeních, která se liší v přítomnosti koníku, osy Y a protivřeteno. U všech tří verzí jsou používány řídicí systémy Fanuc 31i-B nebo Sinumerik 828D. [28]

- 25 MY - koník, osa Y
- 25 SM - protivřeteno
- 25 SMY – protivřeteno, osa Y

Tabulka 1 Charakteristika EMCO Maxxturn 25

Rychlost posuvu v osách X/Z	100/320 mm
Max. točivý průměr pro soustružení	114 mm
Rychloposuv	20/10/30 m/min
Max. otáčky	8000 ot/min
Max. točivý moment	30 Nm
Max. výkon	6,5 kW
Počet nástrojů v revolverové hlavě	12
Typ a velikost držáků nástrojů	VDI 16
Rozměry stroje délka/šířka/výška	2180/1425/1870 mm
Váha	2100 kg

## 5.1 Zaměřování na EMCO Maxxturn 25

U soustružnicko-frézovacího centra EMCO Maxxturn 25 jsou nástroje zaměřovány optickým přípravkem (Obrázek 17). Optický přípravek lze jednoduše usadit do držáku, utáhnout ho šroubem a tím zamezit pohybu. Aretační šroub optického přípravku by měl být utahován momentovým klíčem dle předepsaného momentu v servisním manuálu. Následně je nutné nastavit nástroj do pozice pod zaměřovací přípravek. Tento optický přípravek má uvnitř hledí zakomponovaný zaměřovací kříž pro zaměření v ose X a Z. V ose Y je zaměřování velmi nepřesné, jelikož jediná informace o poloze nástroje v ose Y je dostupná skrze ostrost obrazu v okuláru. Nástrojem je následně ručně pohybováno do té doby, než jsou čáry kříže tečné ke špičce nástroje. Zde dochází k vnesení chyb, jelikož optické posouzení polohy nástroje je velmi subjektivní. [29]



Obrázek 17 Optický zaměřovací přípravek EMCO s detailem zaměření

## 6 Shrnutí teoretické části a nastínění praktické části

Aby bylo možné nástroj správně zaměřit, je potřeba znát všechny okolnosti, které jsou s touto procedurou spojeny a předchází jí. Jedná se o programování, pohyby jednotlivých částí CNC stroje a vztažné body. Na trhu je mnoho výrobců, kteří se zabývají nejrůznějšími způsoby řešení v zaměřování nástrojů, a to v externích nebo interních tool presetterech, které využívají lasery, soustavy čoček, CCD kamery nebo dotykové sondy.

V návaznosti na jednotlivé způsoby a technologie zaměřování nástrojů bude na teoretickou část navázáno částí praktickou, která se bude zabírat problematikou zaměřování optickým přípravkem na stroji EMCO Maxxturn 25.

Pro zjištění přesnosti zaměřování budou použity metody MSA analýzy a SPC – FORD. MSA analýza byla vybrána pro posouzení celkové způsobilosti procesu měření. Dále bylo rozhodnuto aplikovat SPC – FORD analýzu, díky které vyjde jasný výsledek velikosti tolerančního pole v závislosti na citlivosti a přesnosti samotného optického zaměřovače a následně v závislosti na spolehlivosti rozhraní, kam je optický zaměřovač upínán. Aby bylo možné analýzy provést, bylo nutné zjistit při použití určitého materiálu vliv na rezný nástroj. Pokud by se nástroj opotřebovával či jakkoliv by jinak měnil své rozměry, byly by výsledky MSA analýzy nepřesné. Díky těmto analýzám bude možno přesně určit, zda je nynější přípravek způsobilý.



## 7 Experimentální část

Pro následující kroky v praktické části bylo nutno navrhnout experimenty, kterými by byla zjištěna přesnost zaměřování celého nynějšího systému i s ohledem na vliv lidského faktoru. U experimentů, při kterých je zapotřebí samotného obrábění, byl za účelem zachování integrity vyměnitelné břitové destičky, (dále jen VBD), použit materiál POM, viz (Obrázek 18), u kterého byl předpoklad takřka nulového opotřebení. Tento předpoklad byl přesto ověřen pomocí orientační zkoušky obrobitelnosti. Pro obrábění byly použity VBD s označením CCMT 09T304-SM IC807.

Pro experimenty bylo předem nachystáno 15 stejných vzorků ( $\varnothing 31 * 55$ ), které byly za malý průměr při experimentech upnuty do kleštiny a následně obrobena.



Obrázek 18 POM

### 7.1 Orientační zkouška obrobitelnosti

Teorie obrábění popisuje krátkodobou a dlouhodobou zkoušku obrobitelnosti s návazností na výpočet řezné síly či trvanlivosti dle Taylorova vztahu. Tato orientační zkouška obrobitelnosti však nemá přímou návaznost na tradiční zkoušky obrobitelnosti.

Jako první byl zvolen experiment zkoušky obrobitelnosti s hloubkou řezu 1 mm na délce 55 mm. Po dvanáctém řezu byla VBD po dokončení obrábění POM přenesena pod mikroskop KEYENCE VHX - 6000 a bylo zde zkoumáno její opotřebení. Po detailním prozkoumání VBD bylo zjištěno nulové opotřebení, tedy nebyla viditelná žádná poškození na špičce, ostří, čele ani hřbetě VBD, viz Obrázek 19 VBD po orientační zkoušce obrobitelnosti.

Na základě výsledku orientační zkoušky obrobitelnosti bylo použit materiál POM a dříve zmíněné VBD pro další experimenty zhodnoceno jako vyhovující. Úspěšnost VBD materiálem POM je viditelná, avšak nedošlo k poškození (Obrázek 19, 20). Detailní záběry viz PŘÍLOHA č. 1 a PŘÍLOHA č. 2.



Obrázek 19 VBD po orientační zkoušce obrábitelnosti 1



Obrázek 20 VBD po orientační zkoušce obrábitelnosti 2

## 7.2 Experiment pro opakovatelnost zaměření SPC - FORD

Opakovatelnost udává těsnost naměřených hodnot v souhlasu předem nastavených podmínek, kdy je měření prováděno na jednom analytu jednou osobou, na stejném stroji, stejným měřicím přístrojem a za podobných podmínek.

U tohoto experimentu opakovatelnosti zaměření nástroje byl zaměřovací přípravek trvale upnut v rozhraní stroje a bylo provedeno 50 náměrů hodnot polohy nástroje v osách X, Y a Z. Zaměření bylo pokaždé prováděno jednou osobou, přičemž vždy byl před zaměřením nástroj přesunut do jiné náhodné polohy druhou osobou. Zaměřování je prováděno přímým pohledem do optického přípravku a pohybem nástroje ručním ovladačem v jednotlivých osách (JOG). Pro hrubé najetí nástroje do zaměřovacího kříže je nutno použít na ovladači přepnutí v desetínách milimetru a pro jemné doměření nástroje je nutno opět přepnout ovladač na mikrony. Jeden krok, tedy pohyb o jednu desetinu milimetru nebo mikron, je prováděn jedním pulzem enkodéru. Jak již bylo zaměřování popsáno v kapitole 5.1 Zaměřování na EMCO Maxxturn 25, nástroj je tečně zaměřen do zaměřovacího kříže v osách X a Z. Zaměření osy Y je prováděno ostrostí obrazu v zaměřovacím přípravku.

Dále byly role při experimentu vyměněny a bylo provedeno dalších 20 náměrů hodnot polohy nástroje pro zjištění odchylky zaměření druhou osobou.

Výsledky zaměřené polohy byly z displeje CNC zapsány do excelovské tabulky pro následné vyhodnocení.

## 7.3 Experiment pro opakovatelnost upnutí zaměřovacího přípravku SPC - FORD

Druhý experiment opakovatelnosti byl proveden na stejném principu, jako předešlý experiment. Bylo nutno dále určit z naměřených dat, jak velkou roli v nepřesnosti zaměření hraje upínací rozhraní optického přípravku uvnitř CNC. Upínací rozhraní zaměřovacího přípravku uvnitř stroje obsahuje dva kolíky, které by měly přesně definovat polohu optického zaměřovače při každém upevnění.

Před zaměřením nástroje bylo nutno optický zaměřovač demontovat z rozhraní CNC a znovu uložit do zamontované pozice. Po upnutí byl zaměřen nástroj a zaznamenána hodnota pozice polohy nástroje z displeje CNC v osách X, Y a Z. Bylo provedeno 30 náměrů jednou osobou, kdy druhá osoba opět prováděla přesun nástroje mimo zaměřenou polohu před dalším měřením.

## 7.4 Experiment pro MSA - GRR

K poslednímu experimentu bylo zapotřebí tři osob, kvůli nutnosti rozdílné úrovně zkušenosti obsluhy CNC, tedy bylo třeba vybrat jednu osobu, která byla bez jakýchkoliv zkušeností, druhá středně pokročilá s delší praxí a třetí proškolená. Každá osoba provedla tři série zaměření po deseti zaměřeních nástroje optickým přípravkem. Po každém zaměření nástroje byl upnut obrobek do kleštiny, obroben a následně přeměřen. Rozměr obrobku byl zaznamenán do excelovské tabulky stejně s hodnotou offsetu nástroje. Následně se díky rozměru před a po obrábění jednoduše dopočítala hloubka řezu  $A_p$ .

Celý tento experiment byl realizován v rámci dvou dní za co nejvíce stejných podmínek. Po konci třetí série u jednotlivých osob byla VBD podrobena optickému rozboru pod mikroskopem. Výsledky zkoušky obrobitelnosti byly opět potvrzeny a opotřebení VBD v průběhu neovlivnilo výsledky experimentů. Obrázky VBD z mikroskopu se nacházejí v PŘÍLOHA č. 1 a PŘÍLOHA č. 2.

Samotná MSA analýza nebyla použita v této práci v tradičním stylu. Obvykle je MSA analýza prováděna tak, že je použit naměřený rozměr obrobku, avšak v našem případě se analýza zaměřovala primárně na zaměření nástroje, které se až následně promítlo ve změně průměru obrobené plochy. Při experimentu pro MSA analýzu byl změřen průměr před a po obrobení, a to v průběhu deseti řezů. Tato naměřená data byla následně použita jako vstup pro zjištění skutečné hloubky řezu  $A_p$ , se kterým bude dále MSA analýza prováděna.

Důležité pro obrábění materiálu POM bylo, aby obrobek byl při všech deseti řezech dostatečně tuhý. Ačkoliv díky nízkým řezným silám nedocházelo k odtlačení, byly vzorky vyměňovány, jakmile jejich průměr klesl pod 20 mm, neboť dále by nemusel být obrobek dostatečně tuhý.

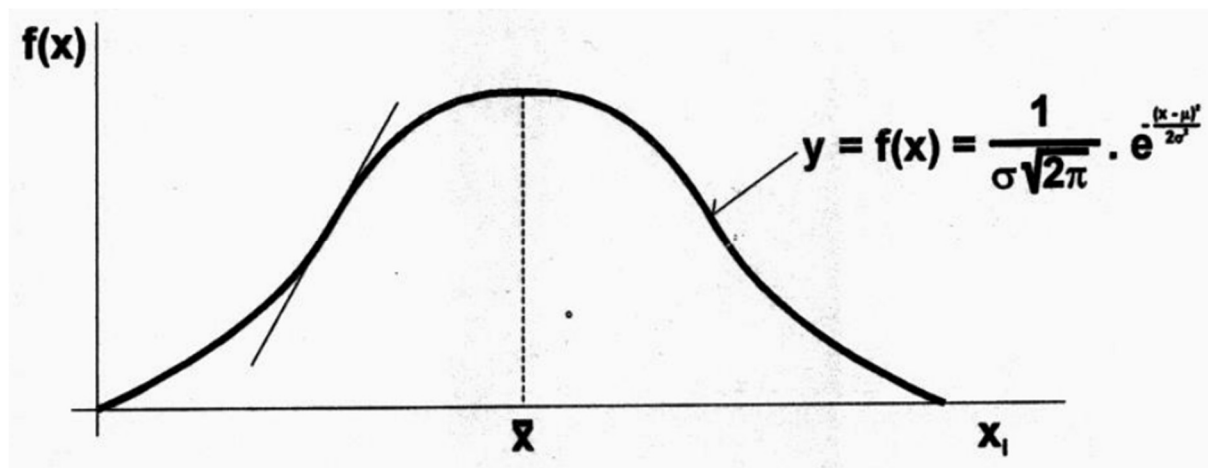
## 8 Teorie, postup a vyhodnocení SPC – FORD a MSA analýz

### 8.1 SPC - FORD

Statistická regulace procesu, (dále jen SPC), je jedním z pokročilých systémů řízení jakosti pro udržení nebo docílení ideálního stavu, při kterém je proces stabilní. Zkoumána je tedy způsobilost systému měření vzhledem k etalonu. Průběžná výběrová statistická kontrola variability je prostředkem ke správně ustálenému procesu. [30], [31], [32]

V této práci pro výpočty byla použita metoda SPC – FORD. Jelikož variabilita procesu není známa, je počítáno dle norem s šířkou tolerančního pásma 20 %, kdy tedy měřidlo může odebrat maximálně 20 % tolerančního pole. Pro výpočet jsou charakteristické konstanty  $k_1 = 0,20$  a  $k_2 = 6$ . [30], [31], [32]

Ukazatel  $C_g$  udává poměr šířky tolerančního pole specifikace a šířky pásma variability hodnot, kdy hodnota  $6s$  představuje šíři intervalu, ve které se nachází 99,73 hodnot při stavu normálního rozdělení (Obrázek 21). Histogramy pro naměřené hodnoty, viz PŘÍLOHA 6, by dle normálního rozdělení měly být tvarově podobné právě Obrázku 21. Pokud ne, v systému měření se vyskytuje chyba. Histogramy lze použít jako grafickou kontrolu výsledků SPC - FORD analýzy. [30], [31]



Obrázek 21 Graf normálního rozdělení [31]

Výsledkem výpočtů jsou indexy způsobilosti  $C_g$ ,  $C_{gk}$  a  $C_{gn}$ . Tyto indexy se dále porovnávají s hodnotou v závislosti pro krátkodobou nebo dlouhodobou způsobilost a velikostí tolerančního pole. [30], [31], [32]

Obecně vždy platí, že hodnota  $C_g$  a menší z  $C_{gk}$  a  $C_{gn}$  musí být větší, než zvolená hodnota  $C_{gmin}$ . Pokud tato podmínka není splněna, systém je nezpůsobilý a nesmí se používat. [30], [31]

## 8.2 Postup SPC – FORD

SPC - FORD analýza byla použita pro naměřené hodnoty v ose X a Z. Osa Y bylo dle zaznamenaných hodnot zcela zbytečně podrobovat analýze, jelikož variabilita poukazuje na velkou nepřesnost v zaměřování.

Aby bylo možné říci, jak velké toleranční pole daný optický zaměřovací přípravek má, byl použit internetový software *třeštík.cz* [32] pro zrychlení výpočtů. Při určování velikosti tolerančního pole bylo nutno zjistit referenční hodnotu etalonu. Tato hodnota byla volena na základě normálního rozdělení při tvorbě histogramu. Pokud naměřené hodnoty dle histogramu nevytvořily zvonovitý tvar, bylo nutno použít deskriptivní statistiku. Histogramy se nacházejí v přílohách.

Referenční hodnota etalonu byla dle deskriptivní statistiky zvolena hodnota mediánu, která je totožná s druhým kvantilem.

Po vyhodnocení dat softwarem *třeštík.cz* [32] bylo tedy možné přesně říci, jak velké toleranční pole nyníjší zaměřovací optický přípravek má, a to v osách X a Z. Toleranční pole bylo postupně zjišťováno na tři desetinná místa. Protokoly o vyšetření způsobilosti měřidla se nacházejí v přílohách.

Pro výpočty SPC - FORD je nutno stanovit:

- Šířku tolerančního pole  $T$  - šířka tolerančního pole byla na základě konzultací a poznatků určena na hodnotu 0,05 mm. Pokud by bylo toleranční pole větší, nevyhovovalo by požadavkům na přesnost zaměřování.
- Referenční hodnotu etalonu  $X_{ref}$  - referenční hodnota etalonu byla v případě nenormálního rozdělení, které lze jasně vidět z histogramů, vybrána na základě deskriptivní statistiky.
- Index způsobilosti  $C_{gmin}$  - tento index byl stanoven na hodnotu 1,67 z důvodu vztažení experimentu pouze na měřidlo a ne na celou soustavu a systém.

**Pro výsledné zhodnocení SPC -FORD bylo nutno vypočítat:**

- Směrodatnou odchylku  $s$
- Průměr  $\bar{x}$
- Index  $C_g$ ,  $C_{gk}$  a  $C_{gn}$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{50} * 20,693 + 20,725 + 20,739 + \dots = 20,758 \text{ mm} \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{(20,693 - 20,758)^2 + (20,725 - 20,758)^2 + (20,739 - 20,758)^2 + \dots}{50 - 1}} = 0,01455144 \quad (2)$$

$$C_g = \frac{k_1 * T}{k_2 * s} = \frac{0,2 * 0,05}{6 * 0,0145514} = 0,1145 \quad (3)$$

$$C_{gk} = \frac{k_1 * T - 2(x_{ref} - \bar{x})}{k_2 * s} = \frac{0,2 * 0,05 - 2(20,761 - 20,758)}{6 * 0,0145514} = 0,0322 \quad (4)$$

$$C_{gn} = \frac{(x_{def} - 0,075 * T) - \bar{x}}{3 * s} = \frac{(20,761 - 0,075 * 0,05) - 20,758}{3 * 0,01455144} = 0,1395 \quad (5)$$

### 8.3 Hrubé chyby měření

Po zhlédnutí naměřených dat opakovatelnosti upnutí zaměřovacího přípravku byla jedna naměřená hodnota daleko od ostatních, proto bylo nutné naměřená data prověřit, jestli není přítomna hrubá chyba měření. Pro detekci hrubé chyby byla použita metoda 6s, kdy naměřená data musí být v tolerančním pásmu +/- třinásobku směrodatné odchylky od referenční hodnoty etalonu. [33]

Byla zjištěna pouze jedna hrubá chyba, a to v případě opakovatelnosti upnutí zaměřovacího přípravku v ose X.

Dále tedy byla tato hrubá chyba odstraněna a nebyla použita při výpočtech.

$$\text{Rozměr etalonu} \pm 3s = 20,719 \pm 3 * 0,07519647 = 20,719 \pm 0,22558941 \quad (6)$$

$$\text{Horní hranice} = 20,9445894 \text{ mm}$$

$$\text{Dolní hranice} = 20,4934106 \text{ mm}$$

Naměřenou hodnotu 21,066 bylo tedy nutno označit za hrubou chybu, jelikož je mimo povolený interval dolní a horní hranice.



## 8.4 Výsledky opakovatelností a porovnání

Pokud je zaměřovací přípravek ve stabilní poloze a nedochází k demontáži, v ose X byla odchylka zaměření 0,61 mm a v ose Z 0,712 mm. Toto jsou výsledky zaměření nástroje osobou bez zkušeností. U druhé proškolené osoby vyšla odchylka v ose X 0,546 mm a v ose Z 0,452 mm. Toleranční pole se tedy pohybuje v ose X kolem hodnot 0,55-0,60 mm a v ose Z 0,30-0,45 mm. V experimentu opakovatelnosti figurovala druhá osoba pro kontrolu správnosti postupu práce a kontrolu naměřených dat.

V případě, kdy byl zaměřovací přípravek před každým zaměřením nástroje demontován, v ose X se odchylka zvýšila na hodnotu 3,09 mm a v ose Z na hodnotu 0,624 mm.

Pro výpočty byl, jak již bylo dříve zmíněno, použit software *třeštík.cz* [32], který operuje pouze s porovnávací hodnotou  $C_{gmin}$  1,33, nikoliv s hodnotou 1,67. Proto bylo zjištěno, při jak velké šíři tolerančního pole je měřidlo způsobilé v porovnání s hodnotou 1,33. Všechny takto získané výsledky byly porovnávány za přísnějších podmínek, tedy pokud by byly porovnávány s hodnotou 1,67, šířka tolerančního pole by byla ještě větší.

Z výsledků je patrné, že samotný optický systém zaměřování vnáší do zaměření nástroje dosti velkou chybu a tato chyba je umocněna upínacím rozhraním, demontáží a montáží zaměřovacího přípravku, které jsou však v praktickém provozu stroje nutností.

Dle předem stanovených požadavků na zaměřovací přípravek by mělo být možno zaměřovat rezný nástroj s přesností 0,05 mm. Dle Tabulky 2 lze říci, že přípravek nesplňuje požadavky přesnosti a je tedy nezpůsobilý pro používání.

Tabulka 2 Výsledky opakovatelnosti

Opakovatelnost zaměření nástroje		Opakovatelnost upnutí zaměřovacího přípravku	
Osa X [mm]	Osa Z [mm]	Osa X [mm]	Osa Z [mm]
0,61	0,312	3,09	0,624
0,546	0,452		

Tabulky s hodnotami a výpočty pro SPC – FORD analýzu viz PŘÍLOHA č. 3 a PŘÍLOHA č. 4  
Dokumenty s vyhodnocením způsobilosti a histogramy viz PŘÍLOHA č. 5 a PŘÍLOHA č. 6



## 8.5 MSA

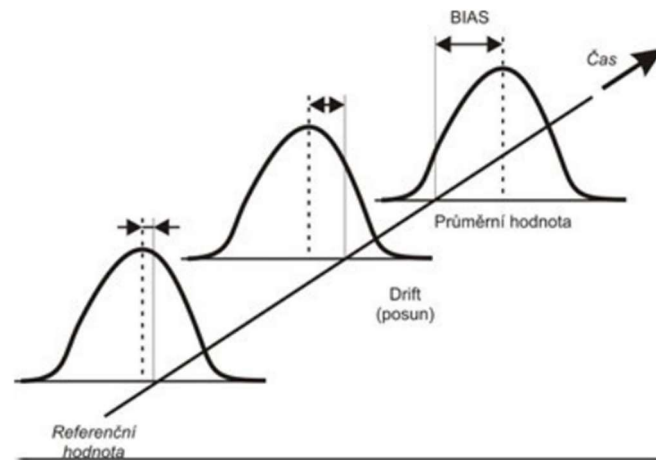
MSA metoda byla navržena v USA společnostmi General Motors, Ford a Chrysler, kde hlavním cílem bylo standardizovat výrobní procesy pro zvýšení přesnosti systému měření. Výsledkem MSA metody je určení vhodnosti systému měření pro měření znaku kvality. MSA dokáže hodnotit měřicí přípravek nebo celý systém měření, kdy předpokladem je vnesení nejistot jinými faktory, nejen měřidlem. Metoda MSA pomocí metod strannosti, stability, linearity a náhodné chyby pomocí metody GRR hodnotí systematické chyby. [30], [31], [34]

Tyto následující metody lze použít pro hodnocení MSA:

- Stabilita
- Strannost
- Opakovatelnost
- Linearita
- Reprodukovatelnost
- Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)

### Stabilita

Stabilita popisuje změnu strannosti v čase. Proměnlivost procesu v čase lze díky stabilitě pozorovat. Je žádoucí, aby měření bylo prováděno jedním zařízením, na jednom díle a v širokém časovém intervalu. [30], [31], [34]



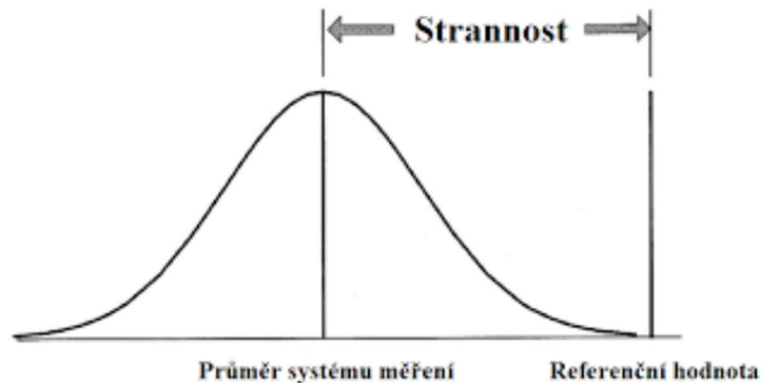
Obrázek 22 Stabilita [35]

Mezi hlavní příčiny nestability patří:

- Chybná kalibrace měřidla
- Stáří měřidla
- Opotřebení měřidla
- Nekalibrovaný etalon
- Nekvalitní měřidlo

## Strannost

Strannost určuje rozdíl mezi pravou a střední referenční hodnotou. Pro odhalení systematické chybovosti měření je používána právě tato metoda. [30], [31], [34]



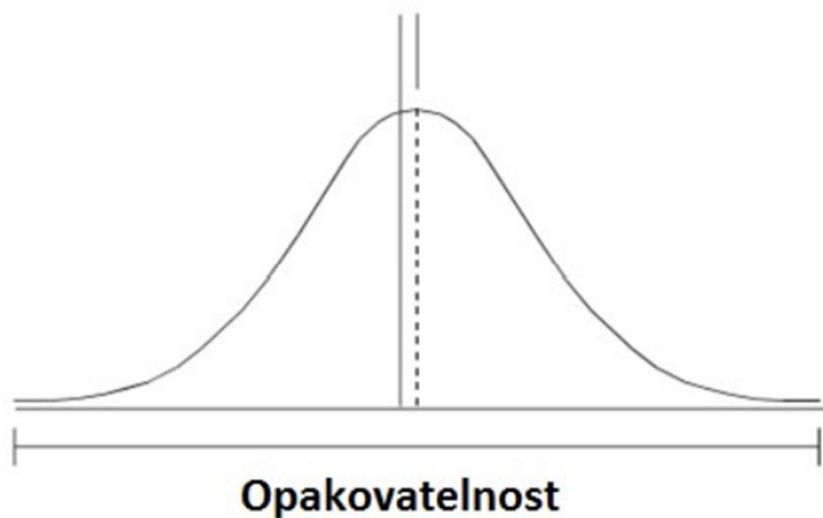
Obrázek 23 Strannost [36]

Mezi hlavní příčiny strannosti patří:

- Prostředí
- Nekalibrované měřidlo
- Nekalibrovaný etalon
- Opotřebením měřidla
- Chybná kalibrace

## Opakovatelnost

Opakovatelnost posuzuje variabilitu měření právě jedné osoby, která měření prováděla. Variabilita dále může být hodnocena, pokud měření bylo prováděno jednou osobou, jedním měřidlem a na jenom dílu. [30], [31], [34]



Obrázek 24 Opakovatelnost [37]

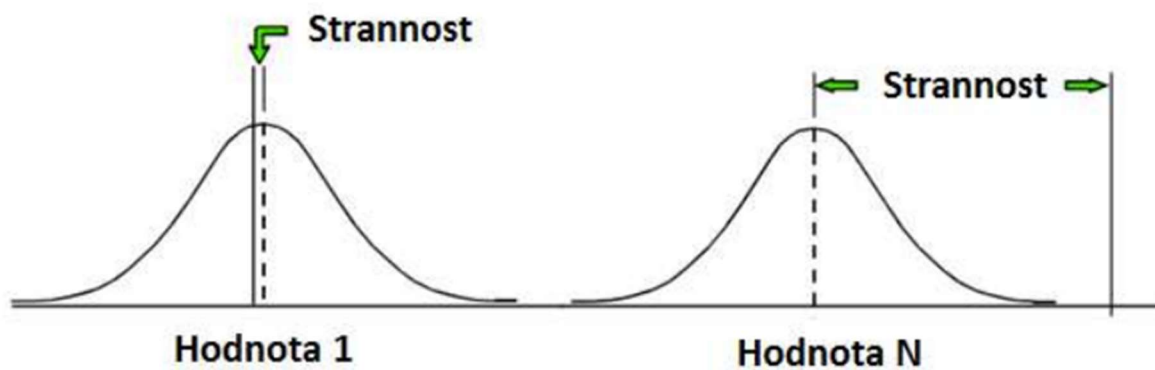
Mezi hlavní příčiny chybné opakovatelnost patří:

- Vliv prostředí
- Chybné uchycení
- Nezkušenost obsluhy
- Kvalita vyrobeného dílu
- Opotřebení měřidla

### Linearita

Linearita udává změnu strannosti vztaženou k velikosti v čase. [30], [31], [34]

Mezi hlavní příčiny nelinearity patří:

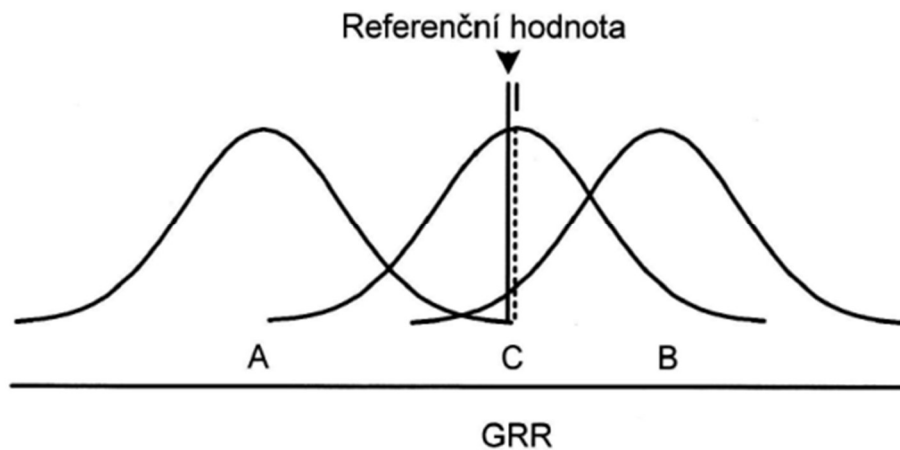


Obrázek 25 Linearita [37]

- Vadný etalon
- Chybná kalibrace
- Opotřebení měřidla
- Nekalibrovaný měřák
- Chybně zvolený měřák

## Reprodukovatelnost

Reprodukovatelnost udává variabilitu měření mezi více operátory. Variabilitu lze porovnávat, pokud bylo měření provedeno na jednom díle, jedním měřidlem a více operátory. [30], [31], [34]



Obrázek 26 Reprodukovatelnost [36]

Mezi hlavní příčiny chybné reprodukovatelnosti patří:

- Různé etalony
- Použitá metoda měření
- Lidský faktor
- Různé měřidla
- Různé díly

## 8.6 GRR (Gage Repeatability and Reproducibility)

Všechny systémy měření jsou omezeny měřidly, obsluhou, podmínkami a ostatními vlivy. Je tedy potřeba najít a odstranit variabilitu, která ovlivňuje proces měření. Příčiny variability lze rozdělit na náhodné a vymežitelné. [30], [31], [34]

### Vymežitelné příčiny

Vymežitelné příčiny při normálním stavu na proces nemají vliv. V případě, že na proces vliv mají, lze tento proces označit jako statisticky nezvládnutý s nejistou výstupní jakostí. [30], [31], [34]

### Náhodné příčiny

Náhodné chyby se velmi těžko odhalují, avšak jsou takřka vždy přítomny. Při jejich působnosti během procesu lze tento proces označit za statisticky zvládnutý. Tyto příčiny způsobují předvídatelné jevy, kterými mohou být například vibrace stroje, teplota okolí, kvalita materiálu. [30], [31], [34]

Nejčastěji se při GRR analýze v praxi pro zjištění opakovatelnosti a reprodukovatelnosti zajistí 2 nebo 3 operátoři, kteří ve třech sériích změří 10 dílů. Výsledkem GRR je stanovení podílu systému měření z celkové variability v procesu. [30], [31]

## Popis postupu MSA – GRR

Pro zhotovení MSA analýzy je potřeba zajistit nejméně 5 dílů k měření ( $n > 5$ ), které představují skutečné nebo očekávané rozmezí variability. V případě této práce bylo připraveno 10 řezů. Dále je nutno připravit 3 operátory, kteří se označí, např. A, B, C, nebo jakkoliv jinak. Provede se kalibrace měřidla, v našem případě byly kalibrovány mikrometry, a první operátor provede právě  $n$  naměření. Naměřené hodnoty jsou zapsány do předem připravené tabulky. Tento postup zopakují ostatní operátoři. Je důležité, aby operátoři navzájem při zápisu hodnot neviděli naměřená data ostatních operátorů, jelikož by to mohlo ovlivnit výsledek naměřených hodnot. [30], [31]

Dále jsou kroky výpočtů v pořadí:

- Výpočet rozpětí, průměrů a celkového rozpětí
- Výpočet horní regulační meze  $UCLR$
- Výpočet  $X_{DIFF}$  a  $R_p$
- Výpočet hodnot %  $EV$ , %  $AV$ , %  $GRR$ , %  $PV$
- Posouzení měřidla dle %  $GRR$  a  $ndc$
- Vyhodnocení

### 8.6.1 Postup výpočtu a vyhodnocení

Po provedení experimentu byla naměřená data zanesena do připraveného excelovského souboru pro výpočet MSA analýzy. V tabulce, viz PŘÍLOHA č. 7, jsou zaznamenány naměřené hodnoty s dopočtenou hloubkou řezu  $A_p$  a offsetem nástroje v ose  $X$ .

Dále bylo nutno vypočítat průměr ( $x$ ), průměr průměrů ( $\bar{x}$ ), rozpětí ( $R$ ), průměr rozpětí ( $\bar{R}$ ), průměr pro díl ( $\bar{x}$ ), průměr průměrů rozpětí operátorů ( $\bar{\bar{R}}$ ), rozdíl maximálního a minimálního průměru operátorů ( $X_{DIFF}$ ), rozdíl maximálního a minimálního průměru pro díl ( $R_p$ ) a horní mez intervalu ( $UCLR$ ).

$$x_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{10} * 0,622 + 0,453 + 0,626 + \dots = 0,611 \quad (7)$$

$$\bar{x}_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{3} * 0,611 + 0,610 + 0,659 = 0,627 \quad (8)$$

$$R_a = R_{MAX} - R_{MIN} = 0,674 - 0,611 = 0,063 \quad (9)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i = \frac{1}{10} * 0,063 + 0,197 + 0,037 + \dots = 0,072 \quad (10)$$

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{3} * 0,627 + 0,640 + 0,623 + \dots = 0,630 \quad (11)$$

$$\bar{\bar{R}} = \frac{[Ra]+[Rb]+[Rc]}{3} = \frac{0,072+0,033+0,033}{3} = 0,046 \quad (12)$$

$$\bar{x}_{DIFF} = [\bar{x} MAX] - [\bar{x} MIN] = 0,648 - 0,623 = 0,017 \quad (13)$$

$$R_P = [x MAX] - [x MIN] = 0,644 - 0,605 = 0,039 \quad (14)$$

$$UCLR = R se dvěma * D4 = * 2,58 = 0,046 * 2,58 = 0,1187 \quad (15)$$

Dále bylo nutno dodržet podmínku, kdy  $UCLR$  je horní hranice hodnot a vypočítaná rozpětí u jednotlivých operátorů nesmí tuto hranici překročit. Pokud by se tak stalo, experiment by se musel opakovat. Po porovnání hodnot rozpětí a  $UCLR$  bylo zjištěno, že všechny hodnoty jsou v prostoru pod horní mezí intervalu, tedy podmínka byla splněna a experiment nemusí být opakován.

V závěru MSA výpočtů bylo nutné stanovit šest směrodatných dat. Viz tabulka 6 a 7.

### Opakovatelnost a reprodukovatelnost (GRR)

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} = \sqrt{0,0271956^2 + 0,0072403^2} = 0,0281438 \quad (16)$$

$$\% GRR = 100 * [GRR/TV] = 100 * [0,0281438 / 0,030688] = 91,71 \% \quad (17)$$

Dle normy lze  $GRR$  považovat za vhodnou, pokud se  $\% GRR$  pohybuje do cca 30 %. Z výpočtů v této práci vychází  $\% GRR$  91,71 %, což poukazuje na značný problém v systému. Jelikož je  $GRR$  závislé na  $AV$  a  $EV$ , bude možno dle výsledků  $AV$  a  $EV$  říci, kde je největší problém.

### Vhodnost (ndc)

$$ndc = 1,41 * [PV/GRR] = 1,41 * [0,012234444 / 0,028143764] = 0,612944541 \quad (18)$$

Pro způsobilý proces se hodnota  $ndc$  vždy musí pohybovat nad hodnotou 5. V případě tohoto experimentu  $ndc$  vyšlo 0,61. Na základě této hodnoty a  $GRR$  lze říci, že celý systém zaměřování je silně nezpůsobilý.

### Opakovatelnost – variabilita zařízení (EV)

$$EV = R * K_i = 0,046 * 0,5908 = 0,0271965 \quad (19)$$

Tabulka 3 Parametry pro výpočet EV

Počet měření	$K_i$
2	0,8862
3	0,5908

$$\% EV = 100 * [EV/TV] = 100 * [0,0271965 / 0,030688] = 88,62 \% \quad (20)$$

V této analýze vychází % EV 88,62 %, tedy variabilita zařízení je extrémně vysoká.

### Reprodukovatelnost – Variabilita operátora (AV)

$$AV = \sqrt{(X_{DIFF} * K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{nr}\right)} = \sqrt{(0,017 * 0,7071)^2 - \left(\frac{0,0271965^2}{10*3}\right)} = 0,0072403 \quad (21)$$

n = počet dílů

r = měření

Tabulka 4 Parametry pro výpočet AV

Operátoři	2	3
$K_2$	0,7071	0,5231

$$\% AV = 100 * [AV/TV] = 100 * [0,0072403 / 0,030688] = 23,59 \% \quad (22)$$

Při této analýze % AV vyšlo 23,59 %. Lze tvrdit, že reprodukovatelnost operátorů není tím největším problémem v systému optického zaměřování.

### Variabilita dílu (PV)

$$PV = R_p * K_3 = 0,039 * 0,3146 = 0,0122344 \quad (23)$$

Tabulka 5 Parametry pro výpočet PV

Díly	K <sub>3</sub>
2	0,7071
3	0,5231
4	0,4467
5	0,403
6	0,3742
7	0,3534
8	0,3375
9	0,3249
10	0,3146

$$\% PV = 100 * [PV/TV] = 100 * [0,0122344 / 0,030688] = 39,87 \% \quad (24)$$

V této analýze % PV vychází 39,87 %. Celková variabilita je potřebnou hodnotou pro výpočet TV a *ndc*. Není tedy směrodatným výsledkem MSA analýzy.

### Celková variabilita (TV)

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} = \sqrt{0,02814376^2 + 0,01223444^2} = 0,030688 \quad (25)$$

Hodnota TV je pomocnou hodnotou pro koncový výsledek výpočtu, % AV, % EV, % PV % GRR a udává celkovou variabilitu měřidla.



**Tabulka 6 Výsledek MSA analýzy měřící jednotky v %**

EV %	88,62258
AV %	23,59333
GRR %	91,70936
PV %	39,8672
ndc	0,612945

**Tabulka 7 Výsledek MSA analýzy měřící jednotky**

EV	0,027196
AV	0,00724
GRR	0,028144
PV	0,012234
TV	0,030688

## 8.7 Výsledek MSA

Z celé analýzy je právě variabilita zařízení největším problémem, což tedy znamená, že optický zaměřovací přípravek je pro zaměřování nevhodný a do systému zaměřování a následného obrábění vnáší velkou chybu.

Reprodukovatelnost operátorů by bylo možné zlepšit proškolením operátorů. Lze tedy s jistotou říci, že chyba obsluhy byla vnesena především operátorem, který se systémem zaměřování neměl žádné zkušenosti.

Postup pro zlepšení by měl být zhotoven tak, že se největší problém, tedy v tomto případě *EV*, zlepší a analýza se provede znovu. Pokud by se výsledek *GRR* a *ndc* posunul hranici způsobilosti a *EV* by nebylo možné dále snižovat, byla by potřeba zlepšit *AV* a postup analýzy opět opakovat do té doby, než by *GRR* dosáhlo hranice 30 % a méně a *ndc* by překonalo hranici 5.

## 9 Praktická část – návrh nového zaměřovacího přípravku

Pro stroj EMCO Maxxturn 25 byl požadován návrh nového řešení pro zaměřování nástrojů. Po nastudování principů zaměřování a technologií bylo rozhodnuto pro návrh tří zaměřovacích přípravků. Před samotnými návrhy byla potřeba stanovit, s jakou přesností by navržené konstrukční návrhy zaměřovaly a dále bylo nutné zamyslet se nad způsobem manipulace a práce s přípravkem před, v průběhu a po procesu zaměřování nástroje.

Jako první a nejdůležitější částí bylo vymyslet, jakou plochu nebo část vnitřního prostoru stroje by bylo nejlepší použít jako rovinu základní pro upnutí zaměřovacích přípravků.

Nynější rozhraní, do kterého byl upínán optický přípravek od výrobce, by bylo vhodné, pokud by bylo použito pro permanentní upnutí. Rozhraní se nachází v dobré poloze, daleko od prostoru obrobku a blízko operátorovi. Toto řešení bylo shledáno jako vhodné. Rozhraní by mohlo být přizpůsobeno a použito jako pevná základna pro jiné upínací rozhraní s vyšší přesností upínání.

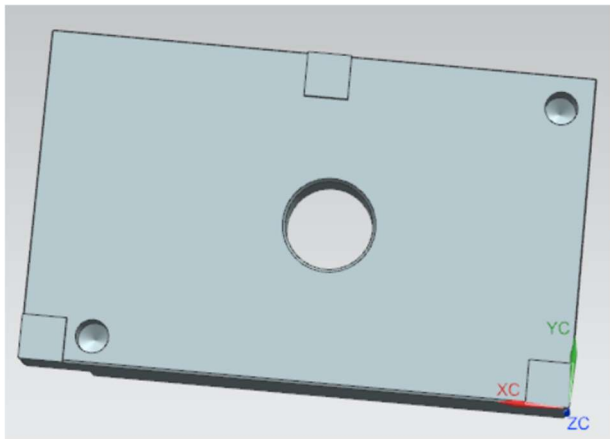
Ve vnitřním prostoru stroje je teoreticky velký počet ploch a pozic, které by mohly být použity jako základna pro zaměřovací rozhraní. Například plocha části vřetene (Obrázek 27). Na plochu kolem vřetene by mohla být čtyřmi šrouby připevněna deska s otvorem pro vřeteno, avšak jednalo by se o nutné povolení čtyř šroubů, které drží vřeteno. Montáž by byla náročná a mohlo by dojít k vychýlení osy vřetene právě kvůli povolení šroubů.



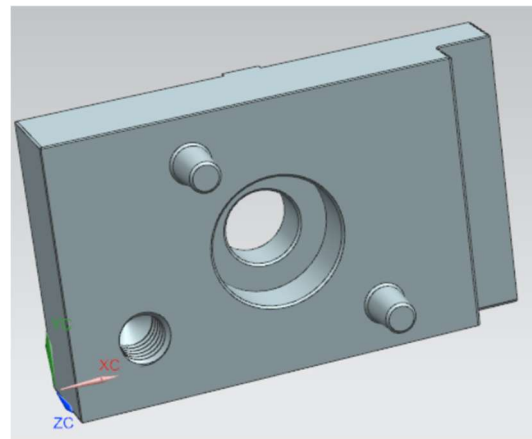
Obrázek 27 Vřeteno s otvorem upínacího rozhraní

## 9.1 Redukce rozhraní

Pro vytvoření nového rozhraní pro upínání dvou nových zaměřovacích přípravků bylo použito staré rozhraní (Obrázek 28). Do starého rozhraní by byla na stálo upnuta destička, která by měla z druhé strany dva kuželové čepy. Kuželové čepy jsou nutností kvůli určení polohy, jelikož kuželové čepy jsou samostředící (Obrázek 29). Na takto nově vzniklou plochu se dvěma kuželovými čepy bude možno upnout nový zaměřovací přípravek za použití utahovací kliky se závitem, čímž se docílí vysoké přesnosti a opakovatelnosti.



Obrázek 28 Redukce rozhraní 1



Obrázek 29 Redukce rozhraní 2

### 9.1.1 Možnost upnutí elektromagnetem

Dalším řešením pro jednoduché upínání zaměřovacích přípravků bylo použít elektromagnet. Elektromagnet by byl umístěn v redukční desce nového rozhraní. Po přiložení zaměřovacího přípravku na kuželové čepy by se vypínačem aktivoval elektromagnet, který by zaměřovací přípravek přitahoval k rozhraní. Po dokončení procesu zaměřování by stačilo pouze elektromagnet vypnout, čímž by došlo k uvolnění zaměřovacího přípravku a snadné demontáži.

## 9.2 První návrh – přípravek s číselníkovými úchylkoměry

Podle prvního konstrukčního návrhu přípravku pro zaměřování, který by byl čistě mechanický, bylo použito čtyř číselníkových úchylkoměrů. Pro upnutí byla použita redukce z kapitoly 9.1 Redukce rozhraní. Pro osu X by byl použit obyčejný číselníkový úchylkoměr s plochým dotykem, stejné provedení by se nacházelo v ose Y. Pro osu Z bylo nutné použít dva číselníkové úchylkoměry z důvodu potřeby zaměřování levých i pravých nožů.

Díky průzkumu zaměřovacích zařízení vzešla možnost použití výkyvného ramene a použít dva číselníkové úchylkoměry (Obrázek 30, 31).

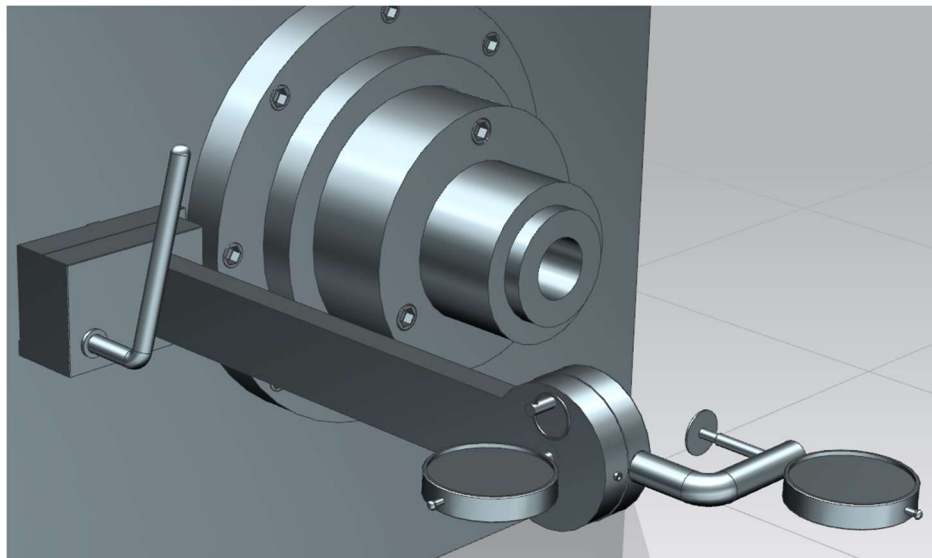
Tato konstrukční koncepce používá stejné redukční rozhraní, viz výše, na které je připevněno nosné rameno, které má na dosedací ploše dva kuželové otvory pro kuželové čepy. Rameno je usazeno na redukci a dotaženo utahovací klikou. Pro osu X je na rameni stacionárně upevněn jeden číselníkový úchylkoměr. Na konci nosného ramene je otvor, do kterého je zalisováno ložisko. Ložisko je zabezpečeno pružným kroužkem a do ložiska je uloženo výkyvné rameno. Na těle nosného ramene je otvor, skrz který je prostrčen kuželový čep. Na výkyvném rameni jsou tři kuželové otvory pootočené o 90°, aby došlo vždy k zajištění výkyvného ramene ve stejné poloze pro zaměření v ose Y a Z.

Na výkyvném rameni je umístěn číselníkový úchylkoměr s talířkovým dotykem a oboustranným číselníkem. Oba číselníkové úchylkoměry jsou zaaretovány červíkem.

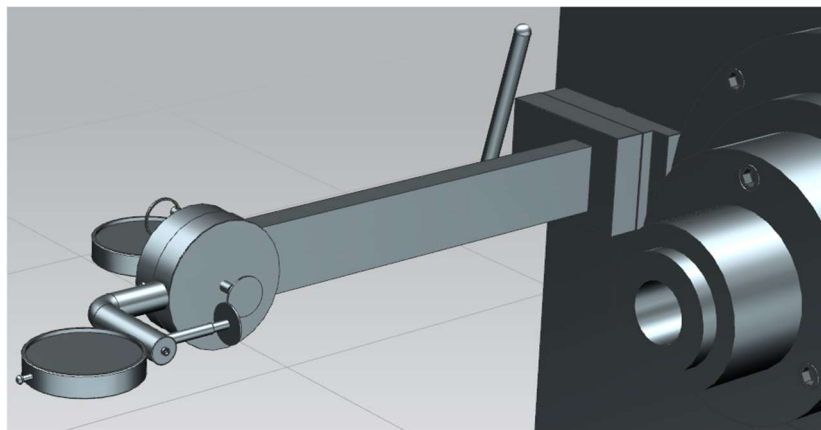
Obecně mají číselníkové úchylkoměry přesnost 0,01 mm. Vnesením nepřesností při výrobě celého zaměřovacího přípravku by se teoretická velikost tolerančního pole měla pohybovat do 0,05 mm dle předem požadované velikosti tolerančního pole pro zaměřování nástrojů.

Použité číselníkové úchylkoměry mají plochou dosedací plochu právě kvůli zaměřování nožů v rovině, ve které se nacházejí.

Proces zaměřování by byl proveden upnutím ramene s úchylkoměry na redukční rozhraní se dvěma kuželovými čepy a dotažen klikou. Vybraný nůž, který by bylo nutno zaměřit, by byl ručně ovladačem pohybován do prostoru číselníkových úchylkoměrů. Dále by byl nůž najet do těsné vzdálenosti před plochu plochého dotyku číselníkového úchylkoměru a postupně v tisícinových krocích posouván kolmo na plochu úchylkoměru. V momentě vychýlení ručičky bylo by jasné, že se nástroj nachází právě v této poloze, kdy stroj na displeji přímo vypíše polohu v dané zaměřované ose. Tento proces by byl zopakován pro další zbylé dvě osy.



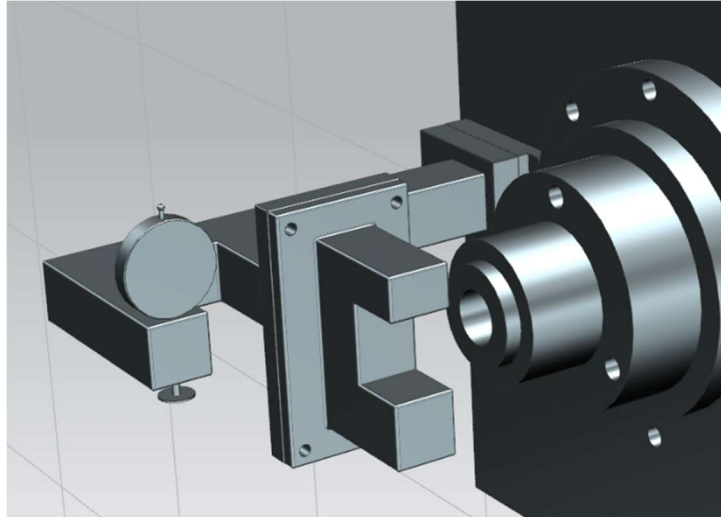
Obrázek 30 První návrh 1



Obrázek 31 První návrh 2

### 9.3 Druhý návrh – přípravek s laserovým zaměřovačem

Druhý přípravek byl navržen pro kooperaci zaměřovacího laseru Marposs VTS SF 45 a číselníkového úchylkoměru. Základem je nosné rameno, které je upnuto k redukci rozhraní, stejně jako u prvního konstrukčního návrhu (Obrázek 32).



Obrázek 32 Druhý přípravek

Na nosné rameno je umístěn číselníkový úchylkoměr s plochým dotykem, který je zaaretován červíkem. Vedle číselníkového úchylkoměru je na destičku připevněn čtyřmi šrouby laser Marposs VTS SF 45 tak, aby laserový paprsek byl rovnoběžný s osou Y. V této poloze lze zaměřovat pravé i levé nože.

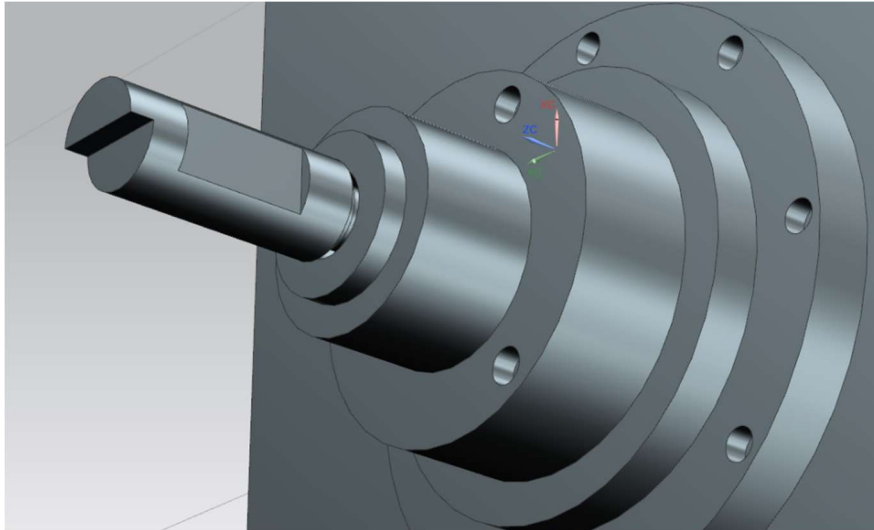
Zaměřování by bylo prováděno najetím nástroje do prostoru paprsku laseru, následně by byl nástroj vytvořeným iteračním cyklem pohybován směrem k laseru až do doby, kdy by došlo k přerušení laserového paprsku. V tuto chvíli by byla zaznamenána data o poloze nástroje v ose X a Z.

Následovalo by zaměření nástroje v ose Y. U stroje EMCO Maxxturn 25 není zaměřování v ose Y tak moc důležité, tedy není potřeba přesného zaměření nástroje v této. Pro osu Y tedy stačí použít oproti laseru méně přesný, avšak stále vhodný číselníkový úchylkoměr. Nástroj by se ručně nasměroval na plochý dotyk číselníkového úchylkoměru a sledovala by se výchylka ručičky číselníku. Po malém vychýlení by bylo možné s přesností na setinu milimetru zjistit polohu nože v ose Y.

Laser Marposs VTS SF 45 dokáže zaměřovat s přesností 0,002 mm. S přihlédnutím na nepřesnosti vnesené výrobou a montáží však lze říci, že se přesnost zaměřování v ose X a Z bude pohybovat v toleranci do 0,05 mm.

## 9.4 Třetí návrh – přípravek pro elektrickou indikaci dotyku

Třetí přípravek byl navržen pro upnutí do kleštiny stroje. Jedná se o rotační součást s vyfrézovanými ploškami v rovinách XZ, ZY a XY (Obrázek 33).



Obrázek 33 Třetí přípravek

Přípravek by byl upnut do kleštiny za nejmenší průměr, na který by bylo nalisováno silonové pouzdro, aby byl přípravek odizolován od stroje. Pro přibližně stejnou polohu upnutí by byly na přípravku a vřetení vytvořeny drážky, které by se vždy při montáži slícovány.

Pro funkčnost tohoto přípravku by bylo nutné vytvořit elektronický komponent, který by dokázal identifikovat na co nejkratší vzdálenost přenos elektrického proudu z nástroje na zaměřovací přípravek, tedy bylo zkoumáno, v jakém okamžiku bude uzavřena vodivá smyčka, a právě v tomto okamžiku by došlo k zaměření nástroje. Nejprve by došlo při zaměřování ke korekci plochy XZ. Nástroj by se dotknul na dvou místech vyfrézované plochy a stroj by pootočil vřetenem tak, aby tato plocha byla stejná, jako základní plocha XZ stroje. Následně by se nástroj dotknul čela v ose Z a nakonec malé boční plochy pro zaměření v ose X.

Na velikosti mezery mezi dvěma plochami pro vedení elektrického proudu závisí na povrchu materiálu, teplotě, vzdušné vlhkosti, napětí a materiálu. Pro naše použití by bylo potřebné nastavit napětí v závislosti na ostatních faktorech tak malé, aby pro přestup elektrického proudu došlo při stavu blízkém doteku. Obecně by se při použití broušené oceli při laboratorních podmínkách a dostatečně malému napětí měla přesnost zaměření pochybovat v rozmezí 0,02 - 0,001 mm.



## 10 Porovnání konstrukčních návrhů a vyhodnocení

V této kapitole bude provedeno porovnání důležitých hledisek u konstrukčních návrhů, na jejichž základě dojde k vyhodnocení, který z konstrukčních návrhů by byl pro účely zaměřování nástrojů na stroji EMCO Maxxturn 25 nejlepší.

Hlavní posuzovaná kritéria budou:

- Montáž / demontáž
- Ekonomické hledisko
- Přesnost
- Očekávaná tolerance

Jednotlivým posuzovaným vlastnostem konstrukčních návrhů budou udělovány body (1-5). Každé z požadovaných vlastností byla přidělena jiná váha dle hlavních požadavků (1-5). Po výpočtu váženého průměru bude návrh s nejvyšším váženým průměrem zvolen jako nejvhodnější (Tabulka 8).

Tabulka 8 Porovnání konstrukčních návrhů

Vlastnost	Váha (1-5)		
	První návrh	Druhý návrh	Třetí návrh
Montáž/demontáž (3)	5	5	5
Ekonomické hledisko (5)	5	2	3
Přesnost (4)	4	5	4
Opakovatelnost (4)	4	4	4
Vážený průměr	18	15,25	15,5

### 10.1 Vyhodnocení

Dle porovnávací metody vyšlo jako nejvhodnější první konstrukční řešení s číselníkovými úchylkoměry.

#### Montáž/demontáž

Co se týče montáže a demontáže u prvních dvou konstrukčních návrhů, jsou tyto procedury naprosto stejné a velmi jednoduché, jelikož se jedná pouze o usazení přípravku na dva kuželové čepy a dotažení kliky a reverzním postupem demontáž. Třetí konstrukční návrh shledávám taktéž jako velmi jednoduchý, jelikož zaměřovací trn je pouze upnut do kleštiny, která se tlačítkem stáhne nebo roztáhne.

Proto všem třem návrhům byla připsána váha 5.

#### Ekonomické hledisko

Laserové zařízení Marposs nebo výroba broušeného trnu s frézovanými plochami a speciálně vyrobeným elektrickým zařízením pro detekci dotyku budou značně dražší než nákup číselníkových úchylkoměrů. V tomto případě jasně vychází číselníkové úchylkoměry jako nejlevnější způsob pro přesné zaměřování na stroji EMCO Maxxturn 25.

### **Přesnost**

Obecně lze říci, že laserový zaměřovač a elektrický indikátor dotyku budou mít vyšší přesnost v porovnání s číselníkovými úchylkoměry. Dle předem stanovené a požadované přesnosti je zbytečné, aby zaměřovací přípravek dokázal zaměřovat na tisícinny milimetru. I když jsou číselníkové úchylkoměry méně přesné, jsou pro použití na stroji EMCO Maxxturn 25 vhodné.

### **Opakovatelnost**

Opakovatelnost číselníkových úchylkoměrů se pohybuje 0,01 - 0,02 mm. U laserového presetteru a elektrického identifikátoru dotyku lze počítat s opakovatelností 0,001 - 0,002 mm. V závislosti na ekonomickém hledisku a požadovaném tolerančním poli max. 0,05 mm a vnesením nepřesností konstrukce, nosných částí a upínacích rozhraní, lze považovat všechny tři konstrukční návrhy za sobě rovné.



## 11 Závěr

Před vytvořením samotných konstrukčních návrhů bylo nutné prostudovat teoretickou problematiku, kterou se tato bakalářská práce zabývá. V teoretické části byly popsány základy automatizace, komunikace, vztažné body, metody a principy způsobů zaměřování nástrojů. Všechny poznatky byly ke konci teoretické části vztaženy ke stroji EMCO Maxxturn 25. Dále byly nastíněny experimenty, které by dokázaly potvrdit domněnku, že nynější optický zaměřovací přípravek je nepřesný.

V experimentální části byla provedena orientační zkouška obrobiteľnosti. Dále byly provedeny experimenty pro MSA analýzu a analýzu opakovatelnosti SPC – FORD. Při všech experimentech byl použit materiál POM z důvodu predikce takřka žádného poškození řezného nástroje, dostatečné tuhosti a dobré obrobiteľnosti. Výsledky orientační zkoušky obrobiteľnosti prokázaly, že při obrábění POM nedochází k opotřebení nástroje. Pokud by docházelo k opotřebení nástroje nebo vzniku nárůstku, nebylo by možné pokračovat v MSA analýze.

SPC – FORD analýza byla zvolena z důvodu zjištění opakovatelnosti zaměření nástroje optickým zaměřovacím přípravkem a opakovatelnosti upínacího rozhraní optického zaměřovacího přípravku. Požadované toleranční pole zaměření nástroje bylo zvoleno na 0,05 mm, avšak s nynějším optickým zaměřovacím přípravkem není možné v této toleranci zaměřovat. K výpočtům způsobnosti byl použit software *třeštík.cz* [32], díky kterému byla zjištěna hranice způsobnosti, a tedy i velikost tolerančního pole pro jednotlivé osy. Při opakovatelnosti zaměření nástroje se v ose X odchylky pohybovaly v hodnotách 0,55 - 0,60 mm a v ose Z 0,30 - 0,45 mm. Při opakovatelnosti upnutí se hodnota odchylky v ose X zvýšila na hodnotu 3,09 mm a v ose Z na hodnotu 0,624 mm. Osu Y bylo zbytečné podrobovat SPC – FORD analýze z důvodu velké viditelné chyby z naměřených dat.

MSA analýza nebyla použita tradičním způsobem, jelikož jako vstup pro výpočty byla použita reálná hloubka řezu z naměřených průměrů během obrábění. Z výsledků MSA analýzy lze vyvodit závěr, že hlavním důvodem nezpůsobnosti je velká variabilita zařízení ( $EV = 88,6 \%$ ), tedy hlavním problémem je samotný optický zaměřovací přípravek.

V praktické části byly vytvořeny tři konstrukční návrhy pro přesnější zaměřování nástrojů na stroji EMCO Maxxturn 25. Požadavkem bylo umožnit zaměřování nástroje v tolerančním poli 0,05 mm.

První konstrukční návrh používá dva číselníkové úchylkoměry, kdy jeden z nich je upevněn na výkyvném rameni, které lze dle potřeby otáčet pro zaměření nástroje v ose Y a Z. Druhý úchylkoměr je permanentně upnut v ose X. Pro upnutí bylo použito redukční rozhraní s kuželovými čepy, které se dotáhne utahovací klikou. Předpokládaná přesnost by se měla pohybovat v hodnotách 0,01 - 0,05 mm.

Druhý konstrukční návrh je opět připevněn utahovací klikou k redukčnímu rozhraní. Tento návrh používá jeden číselníkový úchylkoměr pro zaměření v ose Y s teoretickou přesností 0,01 - 0,05 mm a laserový přípravek Marposs pro zaměření v ose X a Z s přesností 0,002 - 0,005 mm.

Třetí konstrukční návrh, který používá princip elektrické indikace dotyku, je upevněn do kleštiny a odizolován silonovým pouzdrem. Nejprve dojde ke korekci plochy XZ dvojím dotykem nástroje na ploše přípravku. Poté jsou vyfrézované plochy v souladu s plochami stroje a může dojít k zaměření v ose X a Z. Teoretická přesnost zaměření by se měla pohybovat v rozmezí 0,001 - 0,02 mm.

Dle stanovených kritérií a požadavků (montáž/demontáž, ekonomické hledisko, přesnost, opakovatelnost) byl váženým průměrem určen jako nejvhodnější první konstrukční návrh, který používá redukci starého upínacího rozhraní na nové a dva číselníkové úchylkoměry.

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout konstrukční návrh přípravku pro zaměřování nástrojů na stroji EMCO Maxxturn 25 s předem stanovenou maximální hodnotou tolerančního pole 0,05 mm. Tento cíl považuji za splněný.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] Tool Presetting and Measurement. *S&T Engineers* [online]. 30. březen 2021 [vid. 2023-11-13]. Dostupné z: <http://stengineers.com/tool-presetting-and-measurement/>
- [2] *In-Machine Tool Measurement vs. Offline Presetting* [online]. [vid. 2024-01-09]. Dostupné z: <https://www.bigdaishowa.com/en/news/machine-tool-measurement-vs-offline-presetting>
- [3] *Portál ZČU > Courseware > KTO > AVP > Přednášky* [online]. [vid. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kto/avp/prednasky.html>
- [4] CNC řídicí systémy | MM Průmyslové spektrum. *www.mmspektrum.com* [online]. [vid. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/cnc-ridici-systemy>
- [5] SALICH, Marek. Řídicí systémy CNC strojů? Poznejte různé typy řízení. *FactoryAutomation.cz* [online]. [vid. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/ridici-systemy-cnc-stroju-poznejte-ruzne-typy-řízení/>
- [6] Pohony pro obráběcí stroje | MM Průmyslové spektrum. *www.mmspektrum.com* [online]. [vid. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/pohony-pro-obrabeci-stroje>
- [7] Řídicí systémy, pohony a motory pro obráběcí stroje | MM Průmyslové spektrum. *www.mmspektrum.com* [online]. [vid. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/ridici-systemy-pohony-a-motory-pro-obrabeci-stroje>
- [8] *MT25\_CZ4026\_1\_Beschr\_B2016-12.pdf*
- [9] *Conception d un outil multimedia D aide à la programmation CNC en Tournage - PDF Téléchargement Gratuit* [online]. [vid. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://docplayer.fr/85090747-Conception-d-un-outil-multimedia-d-aide-a-la-programmation-cnc-en-tournage.html>
- [10] *Radim\_Paral\_368132\_Bakalarska\_prace.pdf* [online]. [vid. 2024-01-22]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/y59uk/Radim\\_Paral\\_368132\\_Bakalarska\\_prace.pdf](https://is.muni.cz/th/y59uk/Radim_Paral_368132_Bakalarska_prace.pdf)
- [11] WATKINS, Natalie. What is Tool Presetting? *Zoller UK Limited* [online]. 21. červen 2021 [vid. 2023-11-13]. Dostupné z: <https://zoller-uk.com/blog/what-is-tool-presetting>
- [12] *Tool presetting* [online]. [vid. 2023-11-13]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/nileshvishwani/tool-presetting>
- [13] *PomBasic Micro – ZOLLER UK* [online]. [vid. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://zoller-uk.com/inspection-and-measuring/pombasic-micro/>

- [14] Automatizace programování CNC obráběcích strojů | MM Průmyslové spektrum. *www.mmspektrum.com* [online]. [vid. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/automatizace-programovani-cnc-obrabecich-stroju>
- [15] *Haas Automation, Inc – stroje s řízením CNC* [online]. [vid. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.haascnc.com/cs.html>
- [16] *Haas Automatic Tool Presetter — How To* [online]. [vid. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.haascnc.com/video/tips/s4xeo5gcxhk.html>
- [17] DMU 50 3. generace. *DMG MORI Czech* [online]. [vid. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/produkty/stroje/frezovani/petiose-frezovani/dmu/dmu-50>
- [18] *MCU 450VT-5X* - [online]. [vid. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/mcu-450vt-5x/>
- [19] PLC, Renishaw. Renishaw: Technical support library for machine tool probes. *Renishaw* [online]. [vid. 2024-01-08]. Dostupné z: <http://www.renishaw.com/en/technical-support-library-for-machine-tool-probes--43023>
- [20] Equipment for dimensional and geometric inspection | Marposs SPA. *Feel the power of perfection without touching it: Marposs presents the* [online]. [vid. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://www.marposs.com/eng/marposs-new-visual-tool-setter>
- [21] PLC, Renishaw. Renishaw: Renishaw introduces the world's smallest wireless probe for machine tools. *Renishaw* [online]. [vid. 2024-03-30]. Dostupné z: <http://www.renishaw.com/en/renishaw-introduces-the-worlds-smallest-wireless-probe-for-machine-tools--48183>
- [22] *Tool Presetters Selection Guide: Types, Features, Applications* | *GlobalSpec* [online]. [vid. 2023-11-13]. Dostupné z: [https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing\\_process\\_equipment/machine\\_tool\\_accessories/tool\\_presetters](https://www.globalspec.com/learnmore/manufacturing_process_equipment/machine_tool_accessories/tool_presetters)
- [23] WATKINS, Natalie. What Tool Setting Methods are Available for Machines? *Zoller UK Limited* [online]. 2. srpen 2021 [vid. 2023-11-13]. Dostupné z: <https://zoller-uk.com/blog/what-tool-setting-methods-for-machines>
- [24] *Stroj - VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.pdf* [online]. [vid. 2024-01-08]. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16129](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16129)
- [25] Snímací technologie | MM Průmyslové spektrum. *www.mmspektrum.com* [online]. [vid. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/snimaci-technologie>
- [26] *Kamerové systémy* [online]. [vid. 2024-05-08]. Dostupné z: <https://www.heidenhain.cz/produkty/snimaci-a-kamerove-systemy/kamerove-systemy>

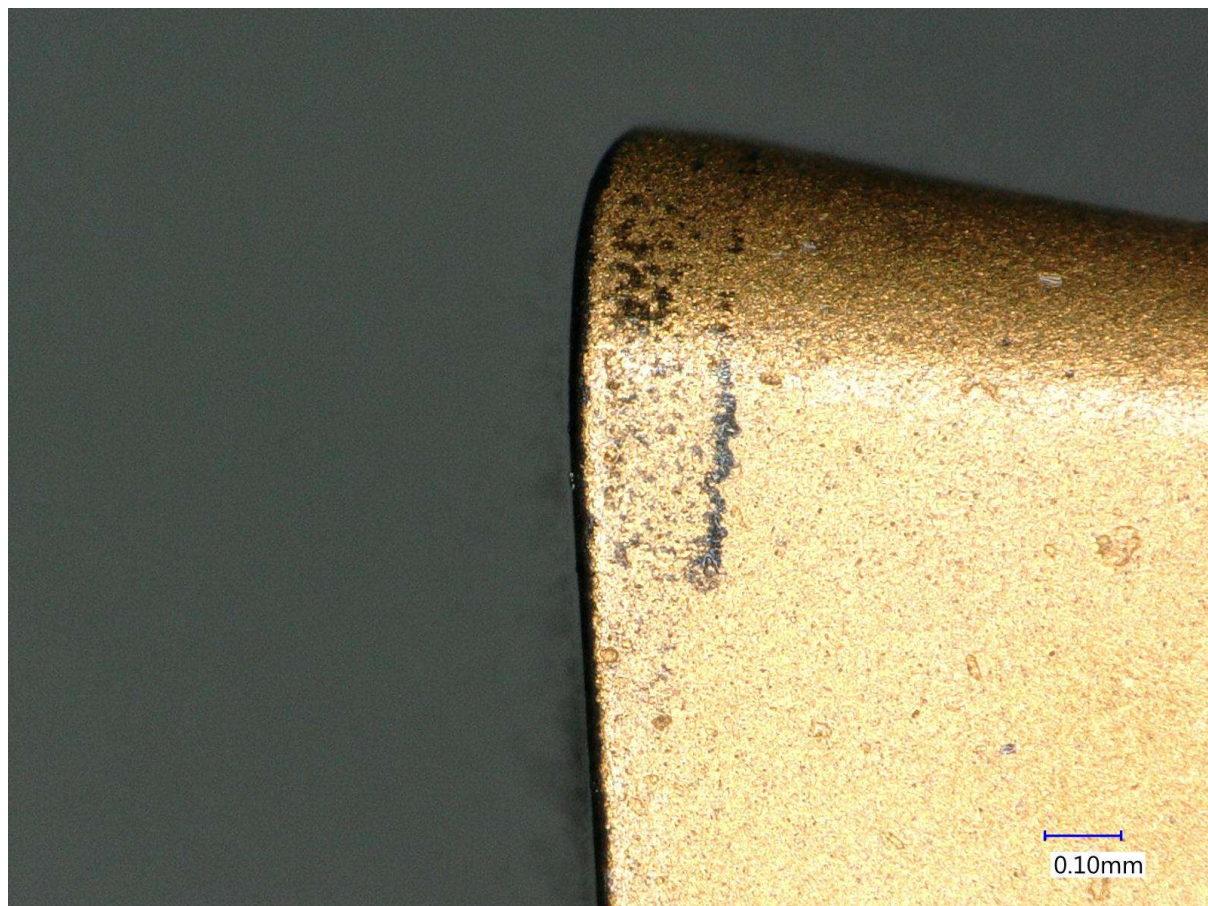
- [27] *Portál ZČU > Courseware > KTO > ZTO > Přednášky* [online]. [vid. 2024-01-08].  
Dostupné z: <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kto/zto/prednasky.html>
- [28] *Universal Turning Center Maxxturn 25* [online]. [vid. 2024-01-08]. Dostupné  
z: <https://www.emco-world.com/en/products/turning/maxxturn/maxxturn-25.html>
- [29] EMCO GROUP. *Návod k obsluze Maxxturn 25*. B.m.: EMCO group
- [30] *Portál ZČU > Courseware > KTO > NRJ > Přednášky* [online]. [vid. 2024-04-17].  
Dostupné z: <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kto/nrj/prednasky.html>
- [31] *Portál ZČU > Courseware > KTO > NRJ > Cvičení* [online]. [vid. 2024-04-17].  
Dostupné z: <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kto/nrj/cviceni.html>
- [32] *Firma TŘEŠTÍK | TŘEŠTÍK* [online]. [vid. 2024-04-22]. Dostupné z: <http://trestik.cz/>
- [33] *chyby\_mereni.pdf* [online]. [vid. 2024-04-22]. Dostupné  
z: [https://home.zcu.cz/~jcapek/download/chyby\\_mereni.pdf](https://home.zcu.cz/~jcapek/download/chyby_mereni.pdf)
- [34] *DP\_Vagnerova.pdf* [online]. [vid. 2024-05-15]. Dostupné  
z: [https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/49293/1/DP\\_Vagnerova.pdf](https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/49293/1/DP_Vagnerova.pdf)
- [35] BAZANT, Martin. *Analýza měřicího systému (MSA). Bazant's Blog* [online].  
4. červenec 2015 [vid. 2024-05-15]. Dostupné  
z: <https://bazant.wordpress.com/2015/07/04/analza-mericho-systmu-msa/>
- [36] *Analýza systémů měření (MSA). Čtvrté vydání*. Praha 1: Česká společnost pro jakost,  
2011. ISBN 978-80-02-02323-5.
- [37] DAIMLERCHRYSLER CORPORATION .. *Measurement systems analysis: reference  
manual*. 4th ed. [Detroit, Mich: DaimlerChrysler, 2010. ISBN 9781605342115

## **PŘÍLOHA č. 1**

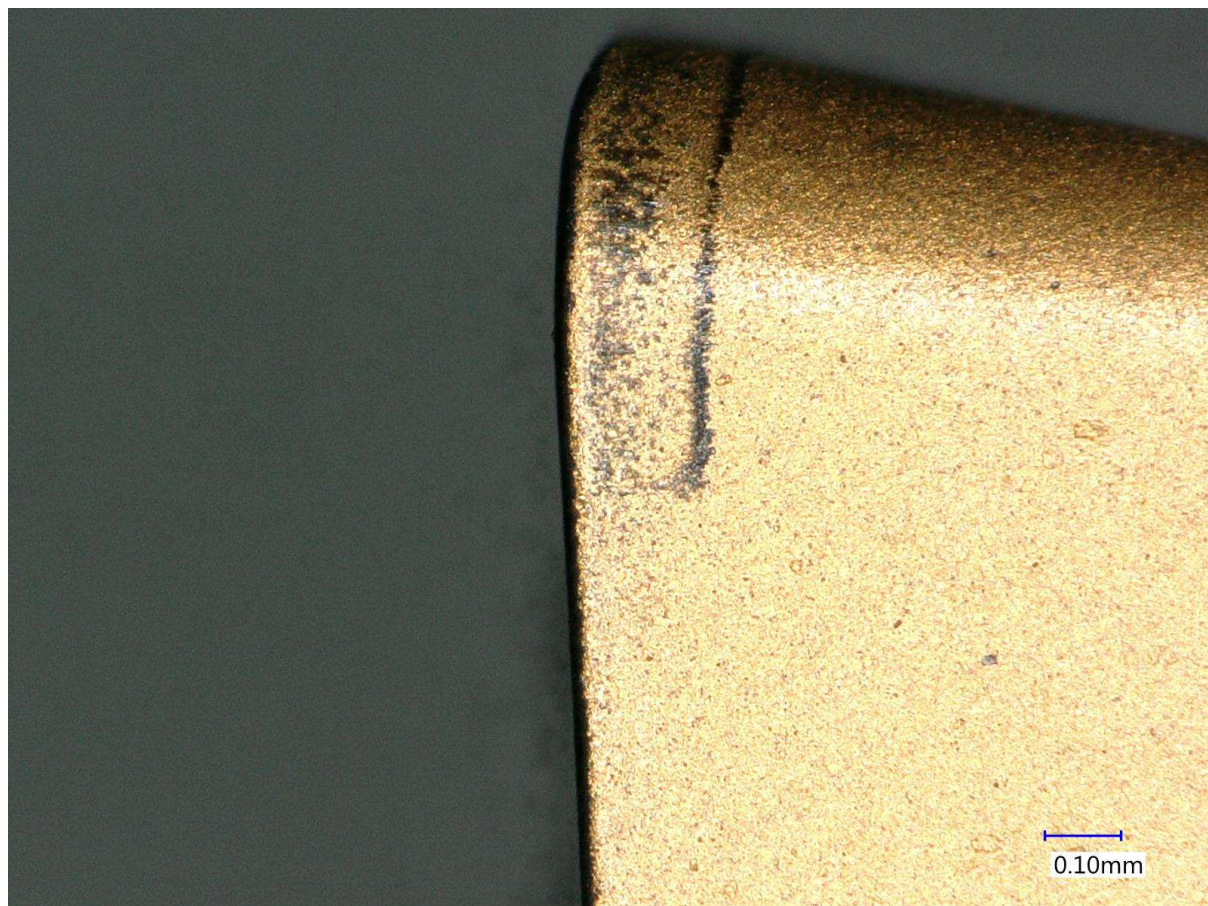
**Fotografie hřbetu VBD po 4., 8. a 12 řezu při orientační zkoušce  
obrobitelnosti**





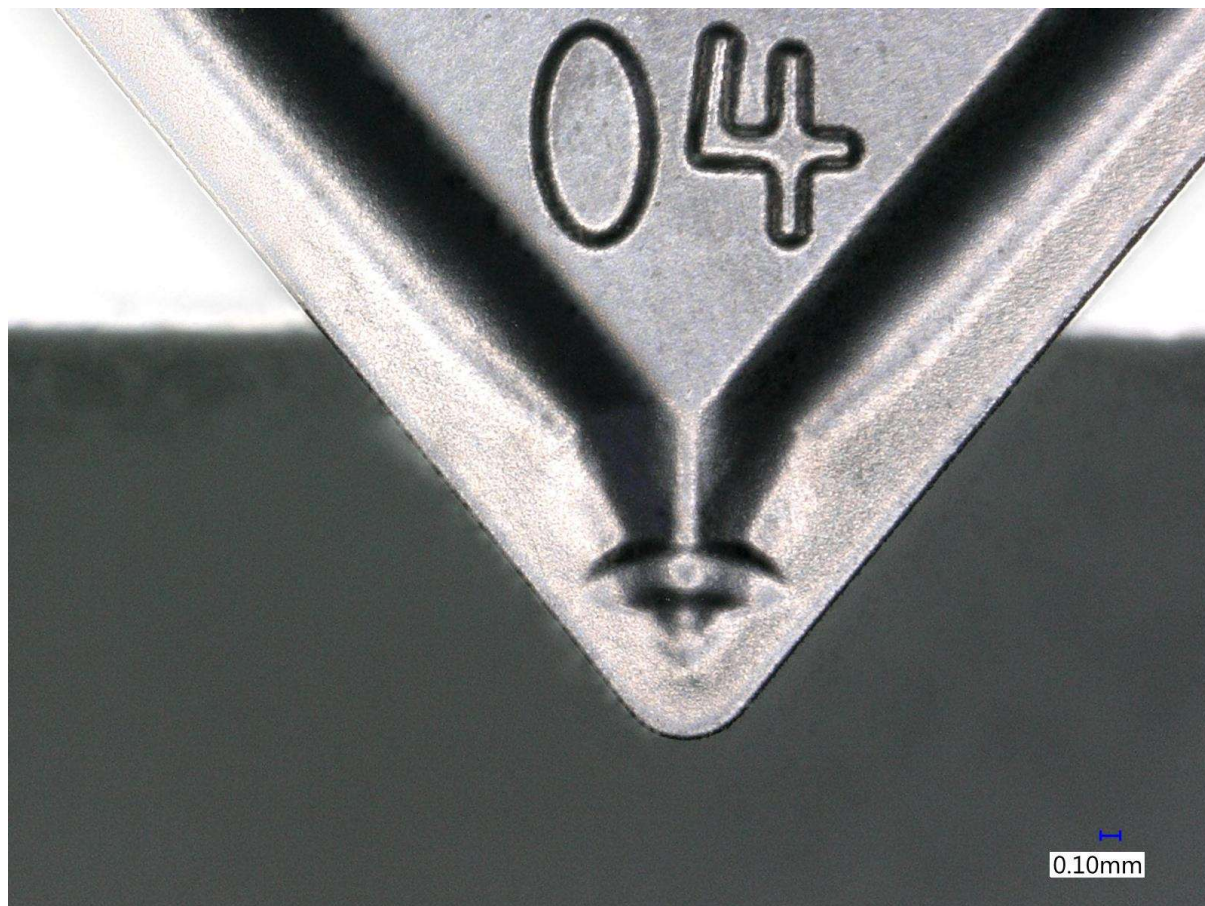


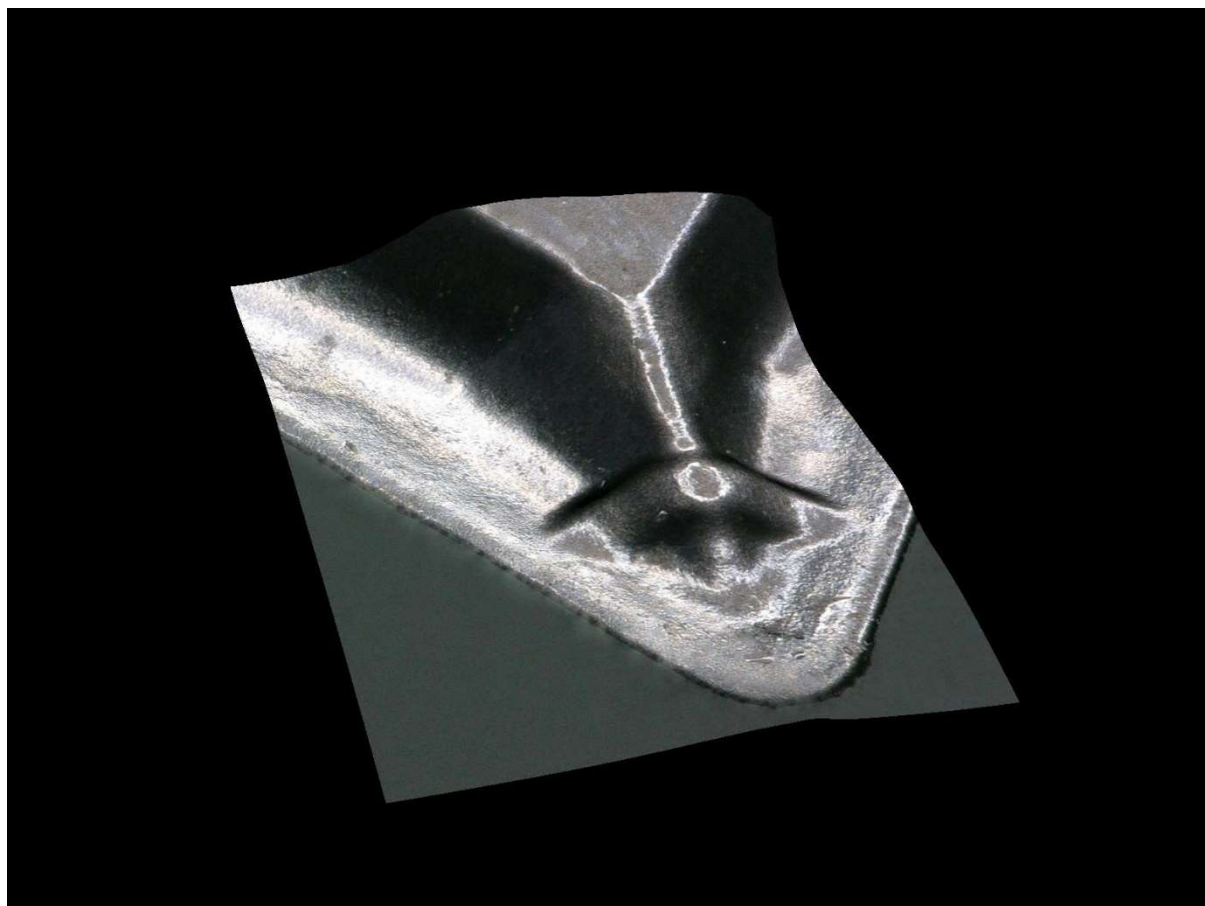




## **PŘÍLOHA č. 2**

**Fotografie a 3D pohled na VBD po orientační zkoušce  
obrobitelnosti**





## **PŘÍLOHA č. 3**

### **Naměřená data pro experiment opakovatelnosti zaměření nástroje**

První tabulka obsahuje prvních padesát náměrů studentem. Druhá tabulka obsahuje naměřená data vedoucím práce pro orientační kontrolu správnosti zaměření a pro kontrolní výpočet opakovatelnosti.



Opakovatelnost zaměření nástroje [mm]			
Měření č. x	Osa X	Osa Z	Osa Y
1	20,693	174,188	-0,7
2	20,725	174,212	-0,7
3	20,739	174,206	0,003
4	20,755	174,217	0,303
5	20,759	174,214	0,303
6	20,761	174,21	-0,297
7	20,757	174,201	-0,197
8	20,771	174,206	-0,397
9	20,747	174,203	0,297
10	20,769	174,214	0,397
11	20,769	174,22	-0,003
12	20,769	174,219	0,097
13	20,775	174,208	0,024
14	20,751	174,203	-0,176
15	20,761	174,214	0,224
16	20,771	174,212	-0,176
17	20,741	174,218	-0,076
18	20,755	174,217	0,024
19	20,767	174,208	-0,176
20	20,761	174,198	0,124
21	20,743	174,208	0,024
22	20,765	174,218	0,024
23	20,763	174,202	0,624
24	20,765	174,21	0,124
25	20,745	174,199	0,624
26	20,757	174,199	0,036
27	20,761	174,212	0,156
28	20,771	174,215	-0,044
29	20,751	174,217	-0,044
30	20,751	174,217	0,456
31	20,767	174,214	0,007
32	20,779	174,22	0,007
33	20,759	174,202	0,007
34	20,757	174,209	0,007
35	20,757	174,209	0,207
36	20,761	174,209	-0,193
37	20,763	174,218	-0,078
38	20,759	174,209	-0,078
39	20,759	174,209	-0,178
40	20,785	174,216	0,016
41	20,747	174,202	-0,184
42	20,755	174,214	0,088
43	20,761	174,223	0,11
44	20,771	174,22	-0,19
45	20,753	174,217	-0,07
46	20,751	174,222	0,145
47	20,763	174,22	0,009
48	20,783	174,221	-0,045
49	20,762	174,202	-0,11
50	20,773	174,219	0,124

Opakovatelnost zaměření nástroje [mm]			
Měření č. x	Osa X	Osa Z	Osa Y
1	20,754	174,221	0,7
2	20,764	174,225	0,093
3	20,75	174,218	0,988
4	20,748	174,211	0,329
5	20,748	174,204	0,692
6	20,75	174,219	0,259
7	20,718	174,218	0,814
8	20,747	174,226	0,918
9	20,776	174,221	0,218
10	20,774	174,201	0,018
11	20,741	174,205	0,745
12	20,755	174,225	0,745
13	20,758	174,197	0,105
14	20,776	174,205	0,052
15	20,75	174,198	0,152
16	20,754	174,201	0,232
17	20,748	174,207	0,103
18	20,748	174,194	0,356
19	20,746	174,2	0,256
20	20,764	174,207	0,456

## **PŘÍLOHA č. 4**

### **Naměřená data pro experiment opakovatelnosti upnutí zaměřovacího přípravku**

Tabulka obsahuje třicet naměřených hodnot pro analýzu opakovatelnosti upnutí. Červenou barvou bylo vyznačeno pole s hrubou chybou.



Opakovatelnost upnutí zaměřovacího přípravku [mm]			
Měření č. x	Osa X	Osa Z	Osa Y
1	20,686	174,208	-0,137
2	20,718	174,212	0,163
3	20,856	174,219	0,063
4	20,88	174,235	-0,008
5	20,766	174,234	-0,12
6	20,792	174,228	0,054
7	20,768	174,238	0,154
8	20,744	174,246	0,128
9	20,806	174,239	0,03
10	20,738	174,243	0,232
11	20,687	174,238	0,032
12	20,715	174,226	0,117
13	20,771	174,23	0,017
14	20,777	174,236	-0,083
15	20,795	174,236	0,017
16	20,839	174,231	0,217
17	20,691	174,263	0,818
18	20,709	174,255	0,691
19	20,741	174,267	0,691
20	20,747	174,256	0,791
21	20,639	174,257	-0,109
22	20,719	174,262	0,091
23	20,641	174,265	0,091
24	20,617	174,27	0,591
25	20,595	174,248	0,012
26	20,625	174,26	0,312
27	20,663	174,26	0,126
28	20,623	174,259	-0,174
29	20,613	174,256	0,026
30	21,066	174,238	-0,274

## PŘÍLOHA č. 5

### Tabulka EXCEL s vypočtenými hodnotami pro experimenty opakovatelností

Tabulka obsahuje pomocné a výsledné vypočtené hodnoty pro experimenty opakovatelností. Pro porozumění jsou data zaznamenána dle tabulky níže.

	X	Z	Y	X	Z	Y
s	0,01455144	0,007573638	0,251663989	0,075196469	0,01632806	0,281948398
	0,012940151	0,010228758	0,308723416			

V **zeleném rámečku** jsou data naměřena studentem pro opakovatelnost zaměření nástroje.

V **červeném rámečku** jsou data naměřena vedoucím práce pro opakovatelnost zaměření nástroje.

V **modrém rámečku** jsou data naměřena studentem pro opakovatelnost upnutí zaměřovacího přípravku.

Pro čtení ostatních hodnot platí analogické pravidlo.

s	X	Z	Y	X	Z	Y
	0,01455144	0,007573638	0,251663989	0,075196469	0,01632806	0,281948398
	0,012940151	0,010228758	0,308723416			
FORD						
T	0,05					
k1	0,2	0,15				
k2	6	5,15				
X průměr						
	20,75866	174,2112	0,00958	20,7227931	174,2438333	0,151966667
	20,75345	174,21015	0,41155			
Cg						
	0,114536203	0,220061555	0,006622587	0,022164161	0,102073769	0,005911247
	0,128798088	0,162939292	0,005398575			
Medián = Xref						
	20,761	174,212	0,007	20,725	174,241	0,077
	20,752	174,207	0,294			
Cgn						
	0,139505096	0,200256015	0,001549685	0,026405923	0,018713524	-0,084195864
	0,05924712	0,019552715	-0,122871578			
Cgk						
	0,032299209	0,129836318	0,008384195	0,006840319	0,134397129	0,093062735
	0,133950011	0,224856223	0,130969441			
Cg(kn) MIN						
	0,032299209	0,129836318	0,001549685	0,006840319	0,018713524	-0,084195864
	0,05924712	0,019552715	-0,122871578			
Strannost Bi						
	-0,00234	-0,0008	0,00258	-0,002206897	0,002833333	0,074966667
	0,00145	0,00315	0,11755			
Rozptyl						
	0,120629349	0,087026654	0,50166123	0,274219745	0,127781299	0,530988133
	0,113754783	0,101137325	0,555628847			
Modus						
	20,761	174,209	0,024	20,686	174,238	0,017
	20,748	174,207	0,745			
MAX						
	20,785	174,223	0,624	21,066	174,27	0,818
	20,776	174,226	0,988			
MIN						
	20,693	174,188	-0,7	20,595	174,208	-0,274
	20,718	174,194	0,018			
Kvartily						
Q1	20,751	174,204	-0,078	20,64	174,238	-0,083
Q2	20,761	174,212	0,024	20,725	174,241	0,063
Q3	20,771	174,217	0,145	20,787	174,264	0,154
Q1	20,748	174,2	0,093			
Q2	20,752	174,207	0,256			
Q3	20,764	174,221	0,745			
s trojnásobek						
3s	0,043654319	0,022720915	0,754991968	0,225589406	0,048984181	0,845845193
	0,038820452	0,030686275	0,926170248			
Hranice pro toleranci chyb						
Horní	20,80465432	174,2347209	20,95058941	174,2899842		
Dolní	20,71734568	174,1892791	20,49941059	174,1920158		
Horní	20,79082045	174,2376863				
Dolní	20,71317955	174,1763137				

## PŘÍLOHA č. 5

### **Dokumenty způsobilosti *třeštík.cz* pro experimenty opakovatelnosti**

Protokoly o způsobilosti zařízení nesou data uvedena v PŘÍLOHA č. 3 a PŘÍLOHA č. 4.

Pro každou opakovatelnost a osu byly vytvořeny dva dokumenty, přičemž v přesnosti na tisícinu milimetru byla určena způsobilost.

## Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Mejta
Název měřidla:	EMCO Maxxturn 25
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	21.056
Dolní toleranční mez:	20.446
Skutečná hodnota etalonu:	20.761
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	50
Počet pracovníků:	1

Č.	Pracovník 1
1	20.693
2	20.725
3	20.739
4	20.755
5	20.759
6	20.761
7	20.757
8	20.771
9	20.747
10	20.769
11	20.769
12	20.769
13	20.775
14	20.751
15	20.761
16	20.771
17	20.741
18	20.755
19	20.767
20	20.761
21	20.743
22	20.785
23	20.763
24	20.765
25	20.745
26	20.757
27	20.761
28	20.771
29	20.751
30	20.751
31	20.767
32	20.779
33	20.759
34	20.757
35	20.757
36	20.761
37	20.763
38	20.759
39	20.759
40	20.785
41	20.747
42	20.755
43	20.761
44	20.771
45	20.753
46	20.751
47	20.763
48	20.783
49	20.762
50	20.773

Střední naměřená hodnota:	20.75866
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.01470
Index způsobilosti Cg:	1.38322
Index způsobilosti Cgk:	1.33016
Závěrečné hodnocení:	Měřidlo je způsobilé!

Vypracoval:  
Dne: 17.03.2024

## Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Mejta
Název měřidla:	EMCO Maxxturn 25
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	21.055
Dolní toleranční mez:	20.447
Skutečná hodnota etalonu:	20.761
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	50
Počet pracovníků:	1

Č.	Pracovník 1
1	20.693
2	20.725
3	20.739
4	20.755
5	20.759
6	20.761
7	20.757
8	20.771
9	20.747
10	20.769
11	20.769
12	20.769
13	20.775
14	20.751
15	20.761
16	20.771
17	20.741
18	20.755
19	20.767
20	20.761
21	20.743
22	20.765
23	20.763
24	20.765
25	20.745
26	20.757
27	20.761
28	20.771
29	20.751
30	20.751
31	20.767
32	20.779
33	20.759
34	20.757
35	20.757
36	20.761
37	20.763
38	20.759
39	20.759
40	20.785
41	20.747
42	20.755
43	20.761
44	20.771
45	20.753
46	20.751
47	20.763
48	20.783
49	20.762
50	20.773

Střední naměřená hodnota:	20.75866
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.01470
Index způsobilosti C <sub>g</sub> :	1.37868
Index způsobilosti C <sub>gk</sub> :	1.32562
Závěrečné hodnocení:	Měřidlo není způsobilé!

Vypracoval:  
Dne: 17.03.2024

## Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Mejta
Název měřidla:	EMCO Maxxturn 25
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	174.368
Dolní toleranční mez:	174.056
Skutečná hodnota etalonu:	174.212
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	50
Počet pracovníků:	1

Č.	Pracovník 1
1	174.188
2	174.212
3	174.206
4	174.217
5	174.214
6	174.21
7	174.201
8	174.206
9	174.203
10	174.214
11	174.22
12	174.219
13	174.208
14	174.203
15	174.214
16	174.212
17	174.218
18	174.217
19	174.208
20	174.198
21	174.208
22	174.218
23	174.202
24	174.21
25	174.199
26	174.199
27	174.212
28	174.215
29	174.217
30	174.217
31	174.214
32	174.22
33	174.202
34	174.209
35	174.209
36	174.209
37	174.218
38	174.209
39	174.209
40	174.216
41	174.202
42	174.214
43	174.223
44	174.22
45	174.217
46	174.222
47	174.22
48	174.221
49	174.202
50	174.219

Střední naměřená hodnota:	174.21120
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.00765
Index způsobilosti C <sub>g</sub> :	1.35948
Index způsobilosti C <sub>gk</sub> :	1.32462
Závěrečné hodnocení:	<b>Měřidlo není způsobilé!</b>

Vypracoval:  
Dne: 17.03.2024

## Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Mejta
Název měřidla:	EMCO Maxxturn 25
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	174.369
Dolní toleranční mez:	174.055
Skutečná hodnota etalonu:	174.212
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	50
Počet pracovníků:	1

Č.	Pracovník 1
1	174.188
2	174.212
3	174.206
4	174.217
5	174.214
6	174.21
7	174.201
8	174.206
9	174.203
10	174.214
11	174.22
12	174.219
13	174.208
14	174.203
15	174.214
16	174.212
17	174.218
18	174.217
19	174.208
20	174.198
21	174.208
22	174.218
23	174.202
24	174.21
25	174.199
26	174.199
27	174.212
28	174.215
29	174.217
30	174.217
31	174.214
32	174.22
33	174.202
34	174.209
35	174.209
36	174.209
37	174.218
38	174.209
39	174.209
40	174.216
41	174.202
42	174.214
43	174.223
44	174.22
45	174.217
46	174.222
47	174.22
48	174.221
49	174.202
50	174.219

Střední naměřená hodnota:	174.21120
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.00765
Index způsobilosti C <sub>g</sub> :	1.36819
Index způsobilosti C <sub>gk</sub> :	1.33333

Závěrečné hodnocení: **Měřidlo je způsobilé!**

Vypracoval:  
Dne: 17.03.2024



## Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Mezuliánik
Název měřidla:	EMCO Maxxturn 25
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	21.025
Dolní toleranční mez:	20.479
Skutečná hodnota etalonu:	20.752
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	20
Počet pracovníků:	1
Č.	Pracovník 1
1	20.754
2	20.764
3	20.75
4	20.748
5	20.748
6	20.75
7	20.718
8	20.747
9	20.776
10	20.774
11	20.741
12	20.755
13	20.758
14	20.776
15	20.75
16	20.754
17	20.748
18	20.748
19	20.746
20	20.764
Střední naměřená hodnota:	20.75345
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.01328
Index způsobilosti Cg:	1.37048
Index způsobilosti Cgk:	1.33409
Závěrečné hodnocení:	Měřidlo je způsobilé!
Vypracoval:	
Dne:	17.03.2024

## Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Mezuliánik
Název měřidla:	EMCO Maxxturn 25
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	21.024
Dolní toleranční mez:	20.480
Skutečná hodnota etalonu:	20.752
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	20
Počet pracovníků:	1
Č.	Pracovník 1
1	20.754
2	20.764
3	20.75
4	20.748
5	20.748
6	20.75
7	20.718
8	20.747
9	20.776
10	20.774
11	20.741
12	20.755
13	20.758
14	20.776
15	20.75
16	20.754
17	20.748
18	20.748
19	20.746
20	20.764
Střední naměřená hodnota:	20.75345
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.01328
Index způsobilosti C <sub>g</sub> :	1.36546
Index způsobilosti C <sub>gk</sub> :	1.32907
Závěrečné hodnocení:	Měřidlo není způsobilé!
Vypracoval:	
Dne:	17.03.2024

## Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Mezuliánik
Název měřidla:	EMCO Maxxturn 25
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	174.433
Dolní toleranční mez:	173.981
Skutečná hodnota etalonu:	174.207
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	20
Počet pracovníků:	1
Č.	Pracovník 1
1	174.221
2	174.225
3	174.218
4	174.211
5	174.204
6	174.219
7	174.218
8	174.226
9	174.221
10	174.201
11	174.205
12	174.225
13	174.197
14	174.205
15	174.198
16	174.201
17	174.207
18	174.194
19	174.2
20	174.207
Střední naměřená hodnota:	174.21015
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.01049
Index způsobilosti C <sub>g</sub> :	1.43629
Index způsobilosti C <sub>gk</sub> :	1.33619
Závěrečné hodnocení:	Měřidlo je způsobilé!
Vypracoval:	
Dne:	17.03.2024

## Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Mezuliánik
Název měřidla:	EMCO Maxxturn 25
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	174.432
Dolní toleranční mez:	173.982
Skutečná hodnota etalonu:	174.207
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	20
Počet pracovníků:	1
Č.	Pracovník 1
1	174.221
2	174.225
3	174.218
4	174.211
5	174.204
6	174.219
7	174.218
8	174.226
9	174.221
10	174.201
11	174.205
12	174.225
13	174.197
14	174.205
15	174.198
16	174.201
17	174.207
18	174.194
19	174.2
20	174.207
Střední naměřená hodnota:	174.21015
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.01049
Index způsobilosti Cg:	1.42993
Index způsobilosti Cgk:	1.32984
Závěrečné hodnocení:	Měřidlo není způsobilé!
Vypracoval:	
Dne:	17.03.2024

## Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

### Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Mejta
Název měřidla:	EMCO Maxxturn 25
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	22.265
Dolní toleranční mez:	19.173
Skutečná hodnota etalonu:	20.719
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	29
Počet pracovníků:	1

Č.	Pracovník 1
1	20.686
2	20.718
3	20.856
4	20.88
5	20.766
6	20.792
7	20.768
8	20.744
9	20.806
10	20.738
11	20.687
12	20.715
13	20.771
14	20.777
15	20.795
16	20.839
17	20.691
18	20.709
19	20.741
20	20.747
21	20.639
22	20.719
23	20.641
24	20.617
25	20.595
26	20.625
27	20.663
28	20.623
29	20.613

Střední naměřená hodnota:	20.72279
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.07653
Index způsobilosti Cg:	1.34675
Index způsobilosti Cgk:	1.33023
Závěrečné hodnocení:	<b>Měřidlo je způsobilé!</b>

Vypracoval:  
Dne: 31.03.2024

## Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Mejta
Název měřidla:	EMCO Maxxturn 25
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	22.264
Dolní toleranční mez:	19.174
Skutečná hodnota etalonu:	20.719
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	29
Počet pracovníků:	1

Č.	Pracovník 1
1	20.686
2	20.718
3	20.856
4	20.88
5	20.766
6	20.792
7	20.768
8	20.744
9	20.806
10	20.738
11	20.687
12	20.715
13	20.771
14	20.777
15	20.795
16	20.839
17	20.691
18	20.709
19	20.741
20	20.747
21	20.639
22	20.719
23	20.641
24	20.617
25	20.595
26	20.625
27	20.663
28	20.623
29	20.613

Střední naměřená hodnota:	20.72279
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.07653
Index způsobilosti Cg:	1.34588
Index způsobilosti Cgk:	1.32936
Závěrečné hodnocení:	<b>Měřidlo není způsobilé!</b>

Vypracoval:  
Dne: 31.03.2024

## Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

### Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

Uživatel měřidla:	Mejta
Název měřidla:	EMCO Maxxturn 25
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	174.553
Dolní toleranční mez:	173.929
Skutečná hodnota etalonu:	174.241
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	30
Počet pracovníků:	1

Č.	Pracovník 1
1	174.188
2	174.212
3	174.206
4	174.217
5	174.214
6	174.21
7	174.201
8	174.206
9	174.203
10	174.214
11	174.22
12	174.219
13	174.208
14	174.203
15	174.214
16	174.212
17	174.218
18	174.217
19	174.208
20	174.198
21	174.208
22	174.218
23	174.202
24	174.21
25	174.199
26	174.199
27	174.212
28	174.215
29	174.217
30	174.217

Střední naměřená hodnota:	174.20950
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.00774
Index způsobilosti Cg:	2.68734
Index způsobilosti Cgk:	1.33075
Závěrečné hodnocení:	Měřidlo je způsobilé!

Vypracoval:  
Dne: 17.03.2024

## Protokol o vyšetření způsobilosti měřidla

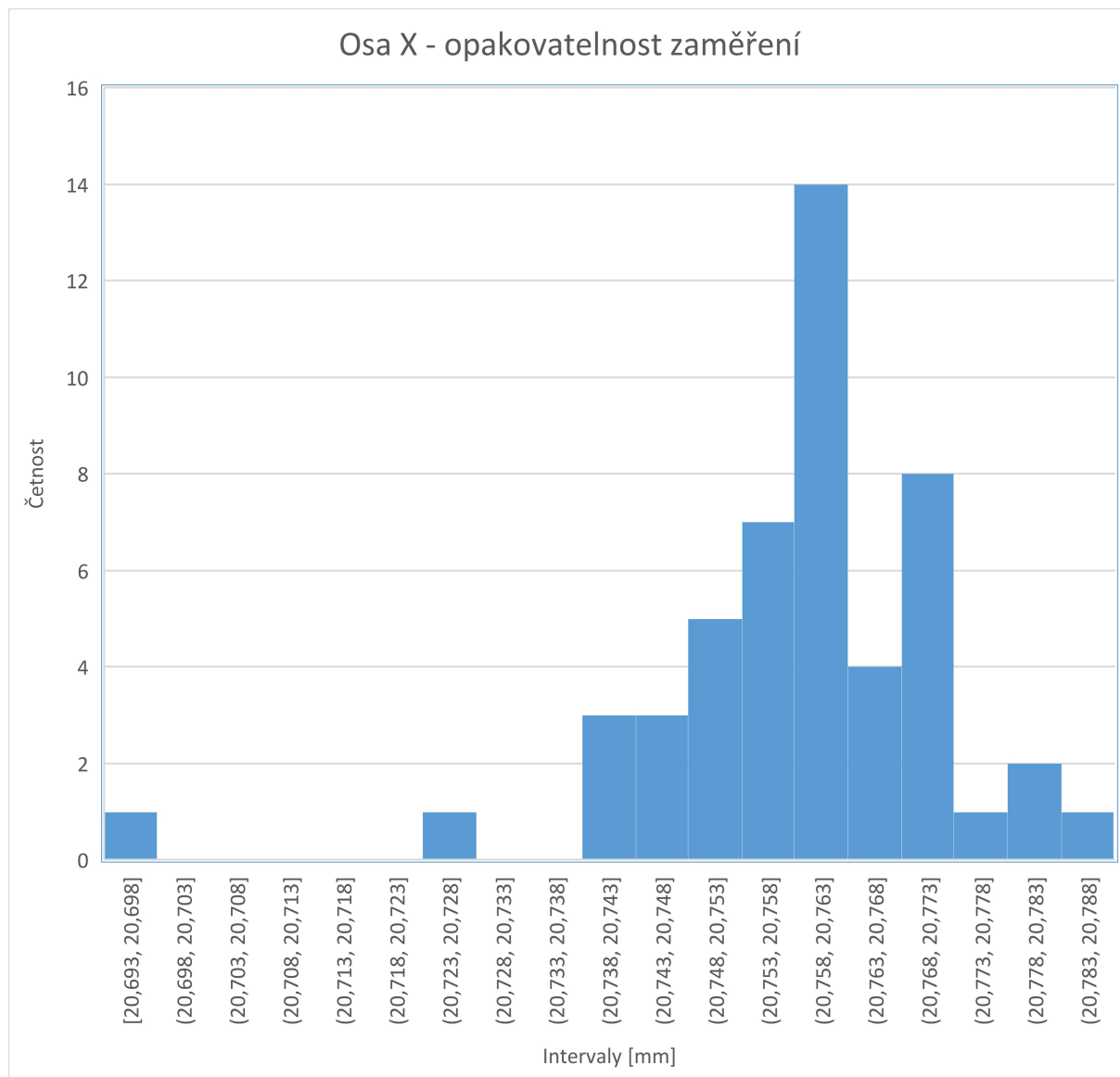
Metoda A - opakovatelnost (měření provádí pouze jeden pracovník)

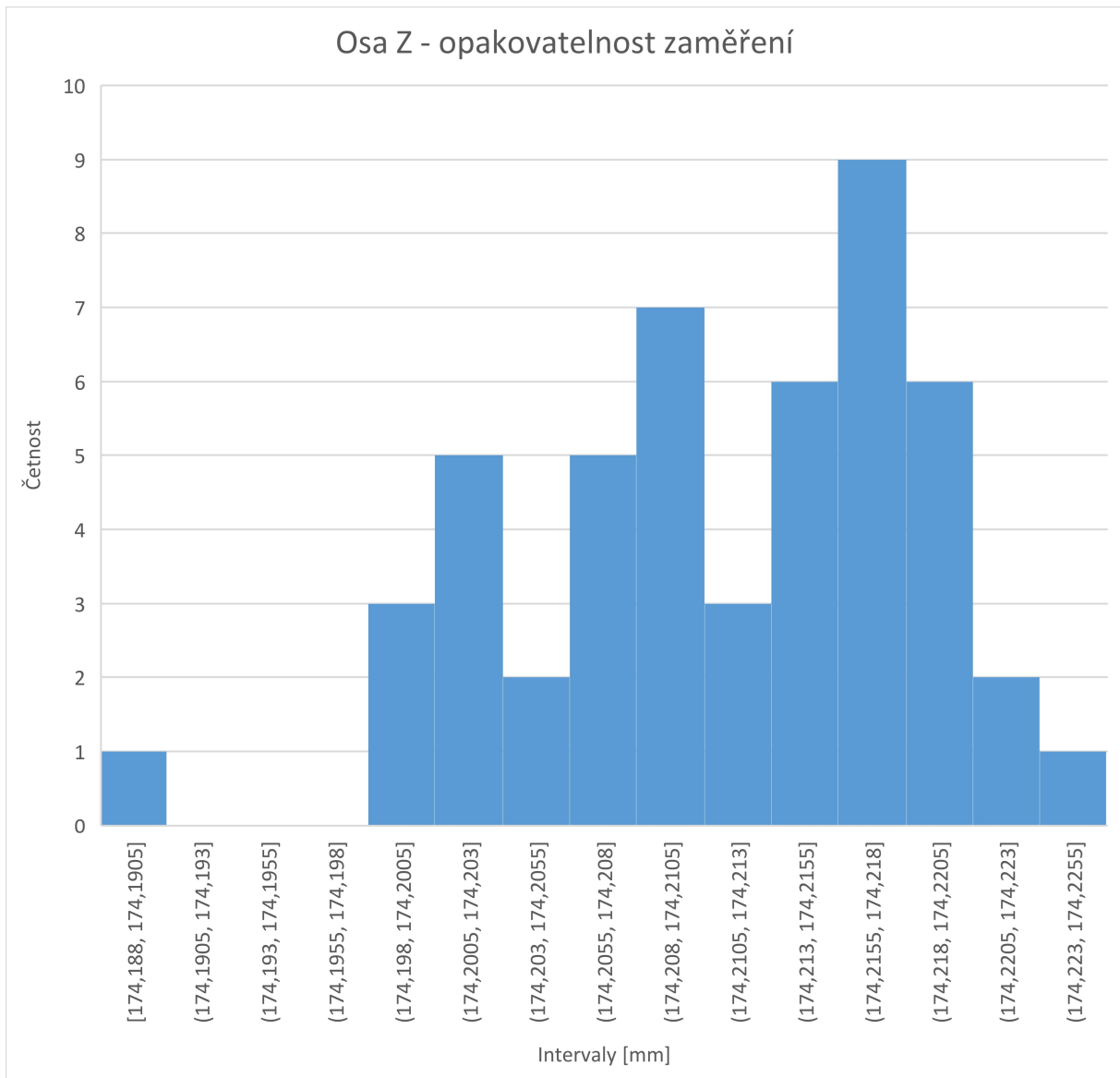
Uživatel měřidla:	Mejta
Název měřidla:	EMCO Maxxturn 25
Evidenční číslo měřidla:	
Horní toleranční mez:	174.552
Dolní toleranční mez:	173.930
Skutečná hodnota etalonu:	174.241
Konstanta K[%]:	20
Počet opakování:	30
Počet pracovníků:	1
Č.	Pracovník 1
1	174.188
2	174.212
3	174.206
4	174.217
5	174.214
6	174.21
7	174.201
8	174.206
9	174.203
10	174.214
11	174.22
12	174.219
13	174.208
14	174.203
15	174.214
16	174.212
17	174.218
18	174.217
19	174.208
20	174.198
21	174.208
22	174.218
23	174.202
24	174.21
25	174.199
26	174.199
27	174.212
28	174.215
29	174.217
30	174.217
Střední naměřená hodnota:	174.20950
Vypočtená směrodatná odchylka:	0.00774
Index způsobilosti C <sub>g</sub> :	2.67873
Index způsobilosti C <sub>gk</sub> :	1.32214
Závěrečné hodnocení:	Měřidlo není způsobilé!
Vypracoval:	
Dne:	17.03.2024

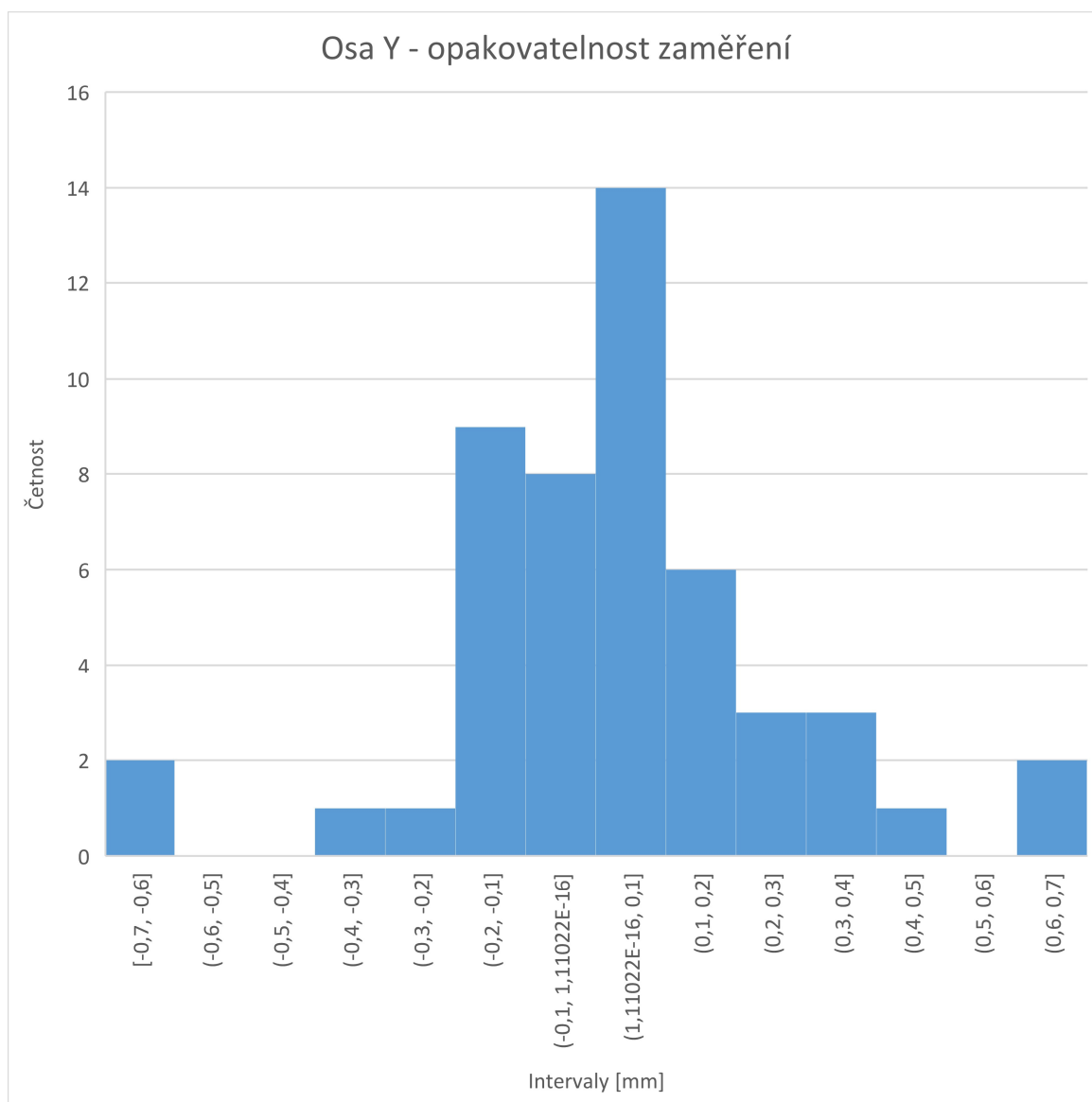


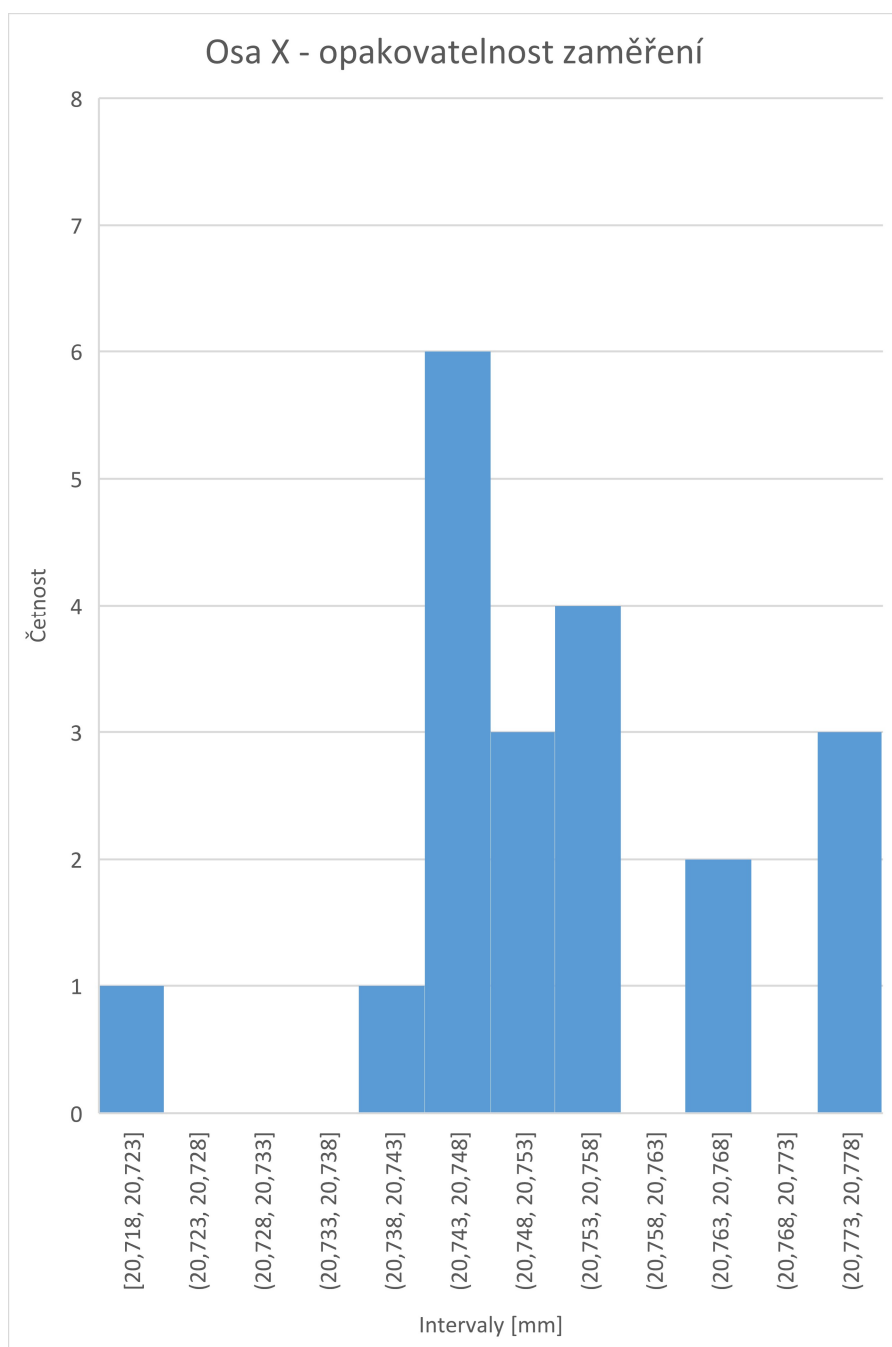
## **PŘÍLOHA č. 6**

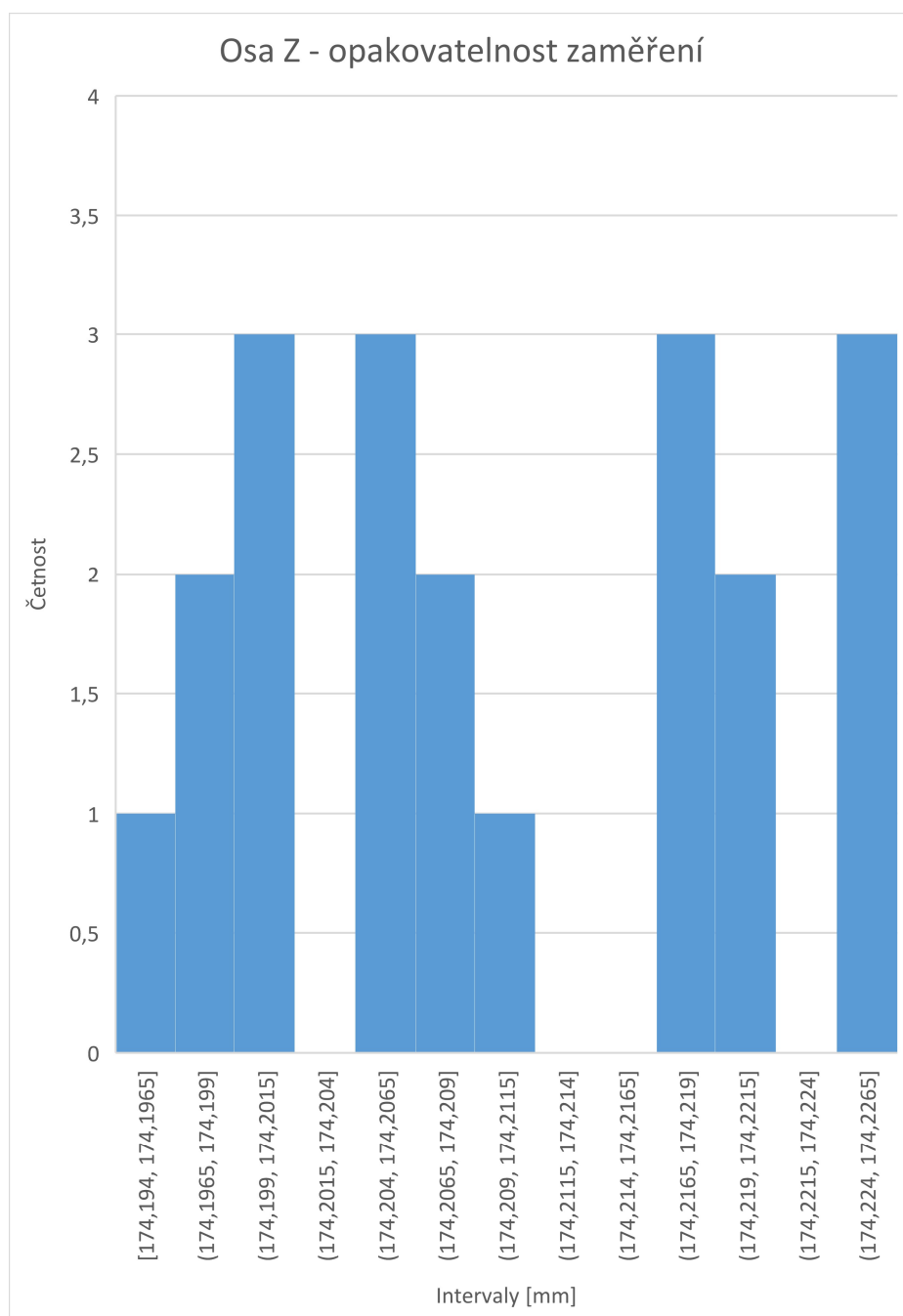
**Histogramy naměřených hodnot dle os X Y Z experimentů  
opakovatelností**

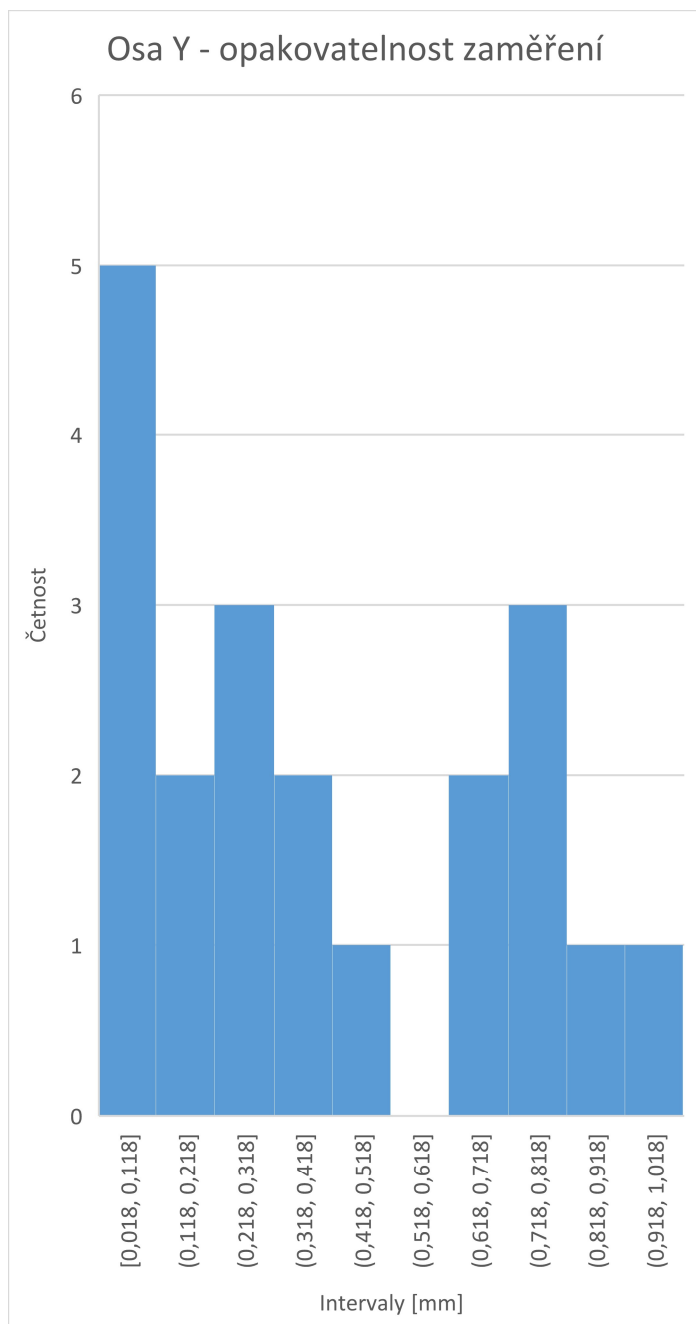


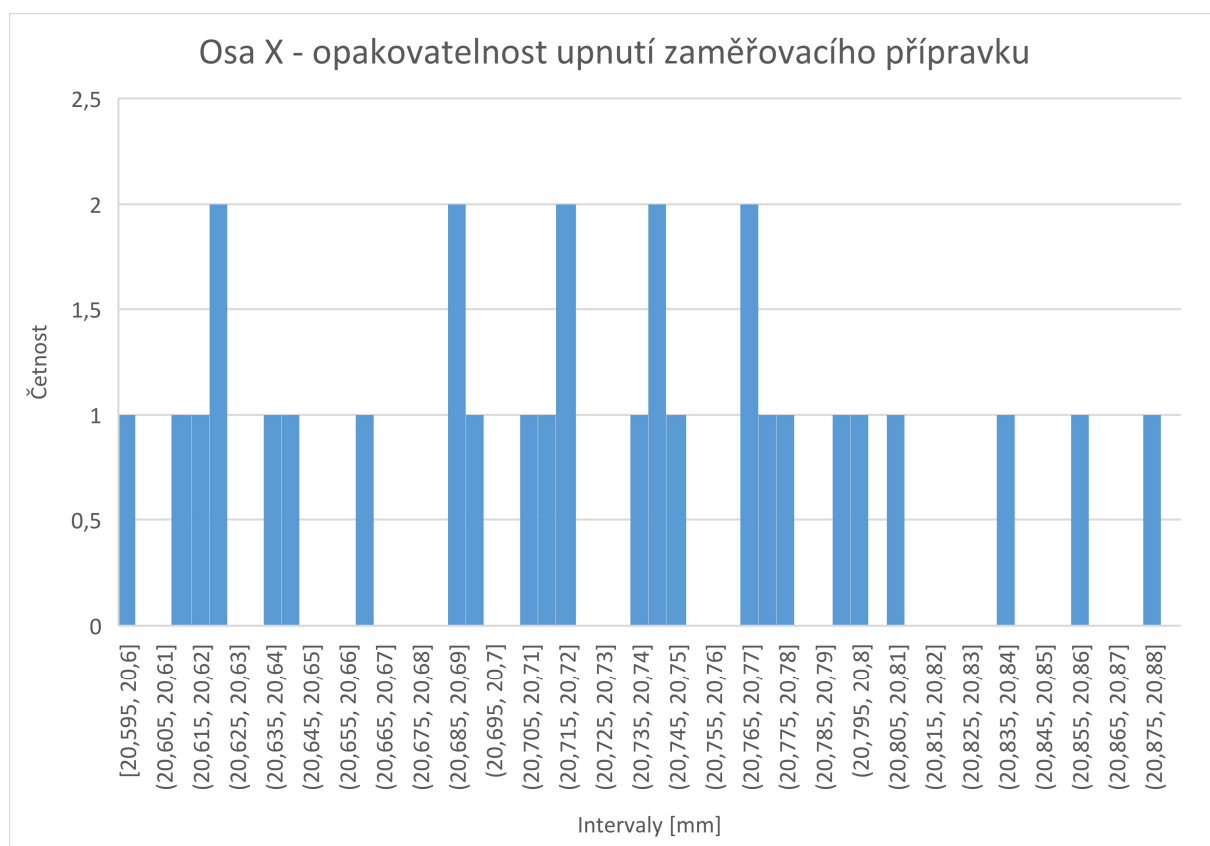




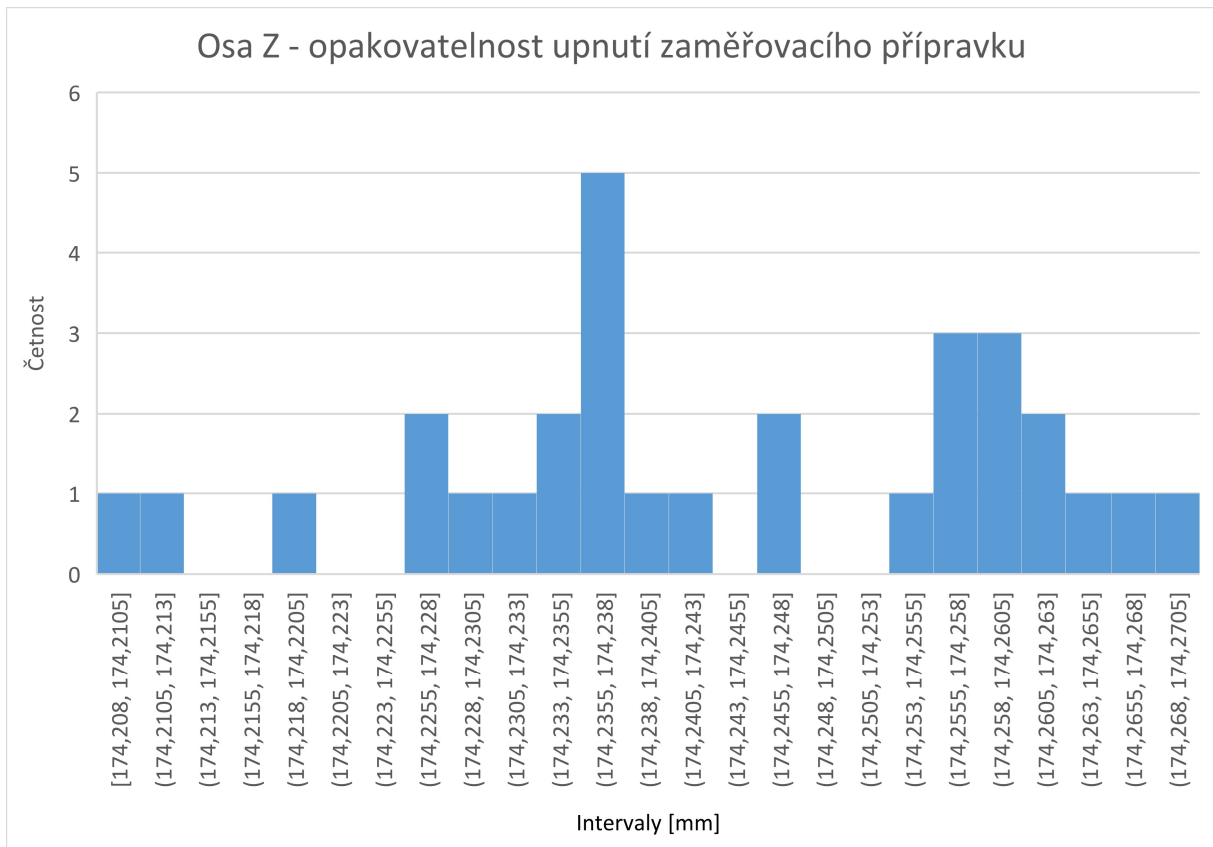


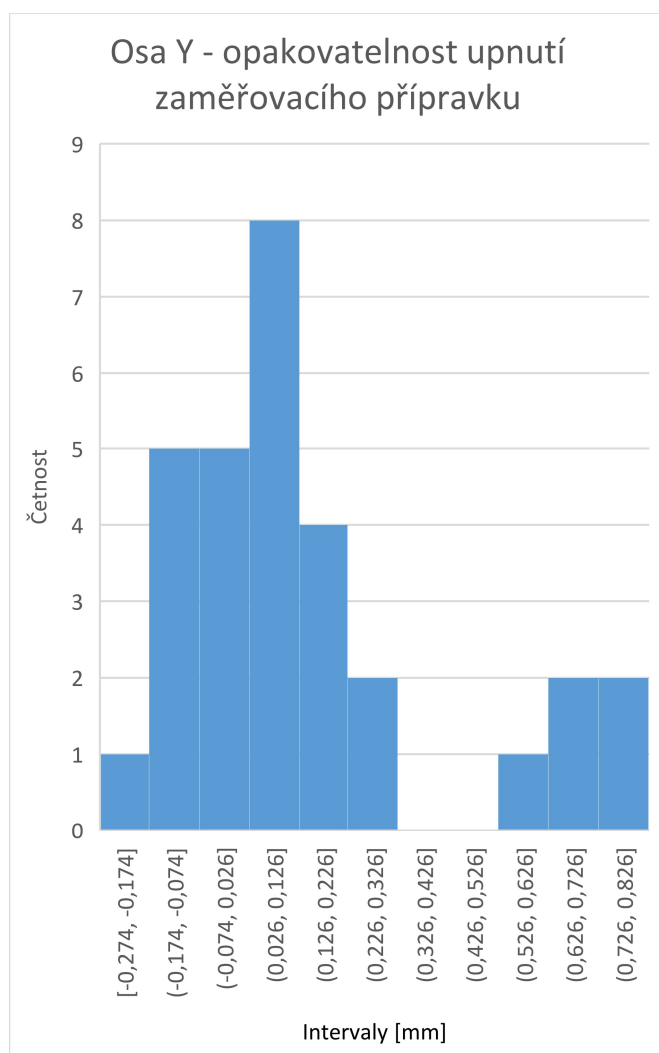












## **PŘÍLOHA č. 7**

**Tabulka EXCEL pro MSA analýzu**

