

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T004 Strojírenská technologie – technologie  
obrábění

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Vliv metodiky měření a vyhodnocení úchylek tvaru a polohy pomocí  
souřadnicového měřicího stroje na reálně dosažitelnou nejistotu měření  
a opakovatelnost výsledků.

Autor: **Bc. Radim HOBLÍK**

Vedoucí práce: **Ing. Martin MELICHAR, Ph.D.**

Akademický rok 2012/2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta strojní  
Akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Radim HOBLÍK**  
Osobní číslo: **S11N0089P**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**  
Název tématu: **Vliv metodiky měření a vyhodnocení úchylek tvaru a polohy pomocí souřadnicového měřicího stroje na reálně dosažitelnou nejistotu měření a opakovatelnost výsledků.**  
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

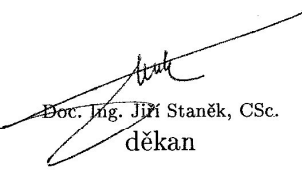
### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvod a definice problému.
2. Teoretický rozbor měření souřadnicového měřicího stroje.
3. Strategie měření.
4. Měření reálné součásti.
5. Zhodnocení, závěr.


Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: 50 - 70 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná  
Seznam odborné literatury:

**TICHÁ, Šárka. Strojírenská metrologie část 1. Ostrava: Vysoká škola báňská Technická univerzita Ostrava, 2004.**  
**ZÍDKOVÁ, Helena a František ZVONEČEK. Jakost - styl života pro třetí tisíciletí. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001.**  
interní dokumentace a manuály firmy Carl Zeiss spol. s.r.o. Česká Republika  
**STANĚK, J., NĚMEJC, J.: Metodika zpracování a úprava diplomových prací. Plzeň : ZČU,2005.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Melichar, Ph.D.**  
Katedra technologie obrábění  
Konzultant diplomové práce: **Ing. Vladimír Šulc**  
Carl Zeiss spol. s r.o.  
Datum zadání diplomové práce: **20. října 2012**  
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2013**

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



  
Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 20. října 2012

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne .....

.....

podpis

## **Autorská práva**

Podle Zákona o právu autorském. č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora, firmy *Carl Zeiss spol. s r. o. Česká Republika* a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

# ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Bc. Hoblík	Jméno Radim	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2303T004 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Melichar, Ph.D.	Jméno Martin	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del>BAKALÁŘSKÁ</del>	Nehodící se škrtněte
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Vliv metodiky měření a vyhodnocení úchylek tvaru a polohy pomocí souřadnicového měřicího stroje na reálně dosažitelnou nejistotu měření a opakovatelnost výsledků.		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2013
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	66	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	58	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	8
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b>  <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	<p>V diplomové práci je řešena problematika měření souososti dvou souosých válců o krátké délce umístěných relativně daleko od sebe. Měření a vyhodnocení je provedeno bodovou i scannovací metodou, navíc v jedné poloze i ve více polohách CMM. Z naměřených hodnot je vyhodnocena souosost, válcovitost a stanovena minimální hodnota souososti, která zaručuje reálně dosažitelnou nejistotu měření a opakovatelnost výsledků. V teoretické části je zmíněn teoretický rozbor měření souřadnicového měřicího stroje a strategie měření.</p>
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>  <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	<p>souřadnicový měřicí stroj, matematické metody vyhodnocení, souosost, problematika vztažného a měřeného prvku</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Bc. Hoblík	Name Radim	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2303T004 “Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Melichar Ph.D.	Name Martin	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Influence of measurement methodology and evaluation of shape and location variations by 3D measuring machine to really available measurement uncertainty and repeatability of results.		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Department of Machining Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2013
----------------	------------------------	-------------------	------------------------------------	---------------------	------

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

<b>TOTALLY</b>	66	<b>TEXT PART</b>	58	<b>GRAPHICAL PART</b>	8
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	<p>This Diploma Thesis is dealing with the concentricity measurement of two concentric cylinders of short length located relatively far apart. The measurement and evaluation is made by point methodology as well as by scanning method, in addition in one position and in more positions on CMM. The concentricity and cylindricity are evaluated from measuring value and minimum value of concentricity is defined, which guarantees realistically achievable measurement uncertainty and repeatability of results. The theoretical part of this Thesis includes theoretical analysis of coordinate measuring machines measurement and strategy of measurement.</p>
<b>KEY WORDS</b>	Coordinate Measuring Machine, Mathematical Methods of Evaluation, Concentricity, Issue of Relative and Measured Parts

## **Poděkování**

Děkuji Ing. Martinu Melicharovi, Ph.D. za vedení diplomové práce a připomínky při jejím vypracování. Děkuji také Ing. Vladimíru Šulcovi z firmy Carl Zeiss spol. s r.o. za konzultace, školení, časový prostor pro měření a poskytnutí firemních podkladů.

## Obsah

1. Úvod a definice problému .....	5
2. Teoretický rozbor měření souřadnicového měřicího stroje .....	6
2.1 Konstrukce CMM .....	6
2.1.1 Koncepce CMM .....	6
2.1.2 Základní prvky CMM .....	7
2.2 Konstrukce snímacích systémů .....	8
2.3 Měření pomocí souřadnicového měřicího stroje .....	11
3. Strategie měření .....	13
3.1 Strategie měření – snímání bodů geometrických elementů .....	13
3.2 Matematické metody pro vyhodnocení geometrických elementů .....	13
3.3 Vliv matematické metody a filtrace na vyhodnocení rozměrů .....	14
3.4 Vliv matematické metody a filtrace na vybrané úchyly tvaru .....	15
3.4.1 Kruhovitost .....	15
3.4.2 Přímost povrchové přímky válce .....	17
3.4.3 Rovnoběžnost povrchové přímky válce .....	17
3.4.4 Válcovitost .....	17
3.5 Vybrané úchyly polohy v prostoru – význam délky vztažného a měřeného prvku k jejich vzájemné vzdálenosti .....	17
3.5.1 Souosost .....	17
3.5.2 Kolmost .....	18
3.6 Vyjmutí extrémních hodnot z vyhodnocení .....	18
4. Měření reálné součásti .....	19
4.1 Měření odchylek středů kružnic od 3D přímky .....	21
4.1.1 Odchyly středů kružnic 1 (7) .....	21
4.1.2 Odchyly středů kružnic 2 (8) .....	23
4.1.3 Odchyly středů kružnic 3 (9) .....	24
4.1.4 Odchyly středů kružnic 4 (10) .....	26
4.1.5 Odchyly středů kružnic 5 (11) .....	27
4.1.6 Odchyly středů kružnic 6 (12) .....	29
4.2 Měření souososti .....	30
4.2.1 Souosost válce A, ref. válec B – měření v jedné poloze CMM bodovou metodou ...	32



4.2.2	Souosost válce B, ref. válec A – měření v jedné poloze CMM bodovou metodou ...	32
4.2.3	Souosost válce A, ref. válec B – měření v jedné poloze CMM scanningem .....	33
4.2.4	Souosost válce B, ref. válec A – měření v jedné poloze CMM scanningem .....	34
4.2.5	Souosost válce A, ref. válec B – měření v různých polohách CMM bodovou metodou .....	35
4.2.6	Souosost válce B, ref. válec A – měření v různých polohách CMM bodovou metodou .....	36
4.2.7	Souosost válce A, ref. válec B – měření v různých polohách CMM scanningem.....	37
4.2.8	Souosost válce B, ref. válec A – měření v různých polohách CMM scanningem.....	37
4.3	Minimální měřitelná hodnota souososti.....	38
4.3.1	MMHS válce A, ref. válec B – měření v jedné poloze CMM bodovou metodou .....	40
4.3.2	MMHS válce B, ref. válec A – měření v jedné poloze CMM bodovou metodou .....	41
4.3.3	MMHS válce A, ref. válec B – měření v jedné poloze CMM scanningem .....	41
4.3.4	MMHS válce B, ref. válec A – měření v jedné poloze CMM scanningem .....	42
4.3.5	MMHS válce A, ref. válec B – měření v různých polohách CMM bodovou metodou .	42
4.3.6	MMHS válce B, ref. válec A – měření v různých polohách CMM bodovou metodou .	43
4.3.7	MMHS válce A, ref. válec B – měření v různých polohách CMM scanningem.....	43
4.3.8	MMHS válce B, ref. válec A – měření v různých polohách CMM scanningem.....	44
4.4	Měření válcovitosti .....	44
4.4.1	Válcovitost válce A – měření v jedné poloze CMM scanningem.....	44
4.4.2	Válcovitost válce A – měření v různých polohách CMM scanningem .....	46
4.4.3	Válcovitost válce B – měření v jedné poloze CMM scanningem.....	46
4.4.4	Válcovitost válce B – měření v různých polohách CMM scanningem.....	47
5.	Zhodnocení, závěr .....	49
5.1	Interpretace naměřených výsledků, porovnání s teoretickými předpoklady .....	49
5.1.1	Zhodnocení odchylek středů kružnic od 3D přímky.....	49
5.1.2	Zhodnocení souososti.....	50
5.1.3	Zhodnocení minimální měřitelné hodnoty souososti.....	53
5.1.4	Zhodnocení válcovitosti.....	55
5.2	Technicko-ekonomické zhodnocení .....	56
5.3	Závěr .....	57

## **Seznam zkratk**

ZČU – Západočeská univerzita v Plzni

FST – Fakulta strojní

KTO – Katedra technologie obrábění

CMM – Coordinate Measuring Machine

MMHS – minimální měřitelná hodnota souososti

A ref. B – souosost válce A k referenčnímu válci B

B ref. A – souosost válce B k referenčnímu válci A

## **Cíl práce**

Cílem této diplomové práce je, jak název napovídá, zjistit vliv metodiky měření a vyhodnocení úchylek tvaru a polohy pomocí CMM na reálně dosažitelnou nejistotu měření a opakovatelnost výsledků.

Prakticky to znamená provést měření dvou souosých válců poměrně krátké délky umístěných relativně daleko od sebe. A to bodovou metodou a scanningem v jedné poloze i ve více polohách měření na CMM. Z těchto naměřených hodnot je třeba provést vyhodnocení souososti a stanovit minimální hodnotu souososti, která bude zaručovat opakovatelnost měření. Takto stanovenou hodnotu souososti porovnat s hodnotou 0,005 mm, která se občas vyskytuje ve výkresech. Dále jako doplňkové vyhodnocení se vyhodnotí válcovitost obou válců.

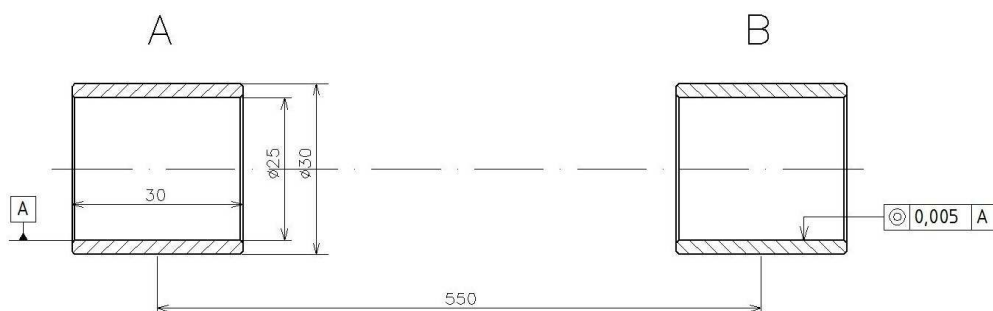
V teoretické části uvést základní rozdělení souřadnicových měřících strojů a rozbor jejich částí. Popsat způsoby měření, vliv matematických metod vyhodnocování a filtrace na rozměry a vybrané úchyly tvaru. Dále popsat význam délky vztažného a měřeného prvku k jejich vzájemné vzdálenosti.

Výsledek této diplomové práce by mohl sloužit pro vnitřní využití ve firmě Carl Zeiss, spol. s r. o., případně studentům jako zdroj informací při studiu metrologie.

## 1. Úvod a definice problému

V praxi se občas stává, že autor výkresu předepíše přesnější hodnotu tolerance, než je potřeba. Takový požadavek může být nejen obtížně vyrobitelný, a tudíž drahý, ale také problematicky změřitelný.

Problém, který je řešen v této diplomové práci, je zobrazen na *obr. 1-1*. Jedná se o dvě válcové plochy navzájem souosé o relativně krátké délce umístěné poměrně daleko od sebe, kde je předepsaná velmi malá tolerance souososti. Typickou součástí, kde se takovýto problém vyskytuje, je například uložení ložisek v převodovkové skříni. Hodnota tolerance souososti, která se na výkresech občas objeví, bývá 0,005 mm. Nejen že při výrobě lze této hodnoty obtížně dosáhnout, ale je problematické ji i změřit.



*obr. 1-1: Definice problému*

Úkolem této diplomové práce je především stanovit minimální měřitelnou hodnotu souososti zadané součásti na souřadnicovém měřicím stroji. Proto jsou v teoretické části DP uvedeny jednotlivé konstrukce souřadnicových měřicích strojů a jejich základní prvky. Dále pak druhy snímacích systémů a základní pravidla při měření na souřadnicových měřicích strojích. V následující kapitole jsou popsány způsoby měření, matematické metody pro vyhodnocování geometrických elementů, vlivy matematických metod a filtrace na vyhodnocení rozměrů a vybrané úchyly tvaru. Nakonec je popsán význam délky vztažného a měřeného prvku k jejich vzájemné vzdálenosti.

Praktická část obsahuje měření reálné součásti s vyhodnocením. Nejprve je vyhodnoceno měření odchylek středů kružnic od 3D přímky, poté samotné vyhodnocení souososti. Dále pak vyhodnocení minimální měřitelné hodnoty souososti a nakonec i válcovitosti. V následující kapitole jsou interpretovány naměřené a vyhodnocené výsledky z kapitoly předcházející, které jsou porovnány s teoretickými předpoklady. Na konci této kapitoly je uvedeno technicko-ekonomické zhodnocení a závěr.

## 2. Teoretický rozbor měření souřadnicového měřicího stroje

### 2.1 Konstrukce CMM

Požadavky zákazníků na tvarově složité součásti si vynutily nejen vývoj nových technologií výroby, ale i vývoj souřadnicových měřicích strojů (CMM). Z jejich vývoje vzešly charakteristické koncepce dle požadavků na velikost měřených součástí a na měřicí přesnost. [1, 2]

#### 2.1.1 Koncepce CMM

Konstrukci CMM můžeme rozdělit na čtyři základní typy (koncepce) – stojanové, výložníkové, portálové a mostové. [1, 2]

- **Stojanový typ** – má velké rozsahy měření, ovšem umožňuje přístup k měřené součásti pouze z jedné strany. Z důvodu tuhosti soustavy je osa Y poměrně krátká, naopak osa X může být velmi dlouhá, proto je tento typ CMM vhodný pro měření dlouhých součástí. [1, 2] Použití nalezne například v automobilovém průmyslu. Pro měření ze všech stran mohou být dva stojany umístěné proti sobě. Typickým příkladem CMM stojanového typu je produkt firmy Carl Zeiss – PRO T na obr. 2-1. [3]



obr. 2-1: PRO T [3]



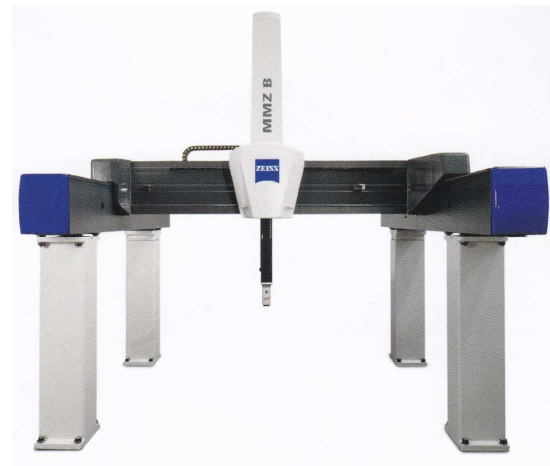
obr. 2-2: DURAMAX [3]

- **Výložníkový typ** – má velmi dobrý přístup k měřené součásti. Je vhodný jak do výroby, tak do laboratoří na rychlé proměření součástí. [1, 2] Typickým příkladem CMM výložníkového typu je produkt firmy Carl Zeiss – DURAMAX na obr. 2-2. [3]

- **Portálový typ** – určen pro střední a velké rozsahy měření. Díky portálu má dobrou tuhost a vysokou přesnost měření. Nevýhodou může být horší přístup k měřené součásti. Vyrábí se ve dvou variantách – s pevným, anebo pohyblivým portálem. Varianta s pevným portálem sice vyžaduje pohyblivý stůl, zato má větší tuhost. [1, 2] Nevýhodou pohyblivého stolu je, že se musí pohybovat těžký stůl s měřenou součástí. Typickým příkladem CMM s pohyblivým portálem je produkt firmy Carl Zeiss – ACCURA na obr. 2-3. [3]



obr. 2-3: ACCURA [3]



obr. 2-4: MMZ B [3]

- **Mostový typ** – používá se pro měření velkých součástí. Robustní konstrukce zaručuje vysokou tuhost, a tedy i dobrou přesnost měření. Tyto CMM najdou uplatnění zejména v automobilovém nebo leteckém průmyslu pro měření karoserií automobilů, resp. částí draku letounů. [1, 2] Typickým příkladem CMM mostového typu je produkt firmy Carl Zeiss – MMZ B na obr. 2-4. [3]

### 2.1.2 Základní prvky CMM

Mezi základní mechanické prvky CMM můžeme řadit – rám, stůl, stojan (portál, most), a pinolu.

- **Rám** – většinou se jedná o svařenec, který musí vyhovovat vysokým nárokům na tuhost i při dynamickém zatížení nebo při asymetrickém zatížení. Musí být postaven na podlaze odizolované od okolních vibrací, nebo alespoň vybaven antivibračními podložkami. Rozměrné konstrukce CMM rám jako takový nemají, funkci rámu nahrazuje přímo odizolovaná podlaha. [1]

- **Stůl** – na stůl se ustavují měřené součásti, buď přímo, nebo pomocí upínacího prvku. U stolu není tak extrémní nárok na rovinnost, ale musí zajistit velmi dobrou přímost a rovinnost pro vodící dráhy. Vyroben je nejčastěji z granitu.

Požadavky na materiál stolu jsou: [1]

- a) vysoká životnost a trvanlivost
  - b) časová stálost
  - c) odolnost proti korozi
  - d) minimální teplotní roztažnost
- **Stojan, portál, most** – většinou bývají vyrobeny z hliníkových slitin nebo keramiky. Pohyblivé části musí být co nejlehčí a přitom ale dostatečně tuhé, aby se minimalizovaly dynamické síly, které negativně ovlivňují přesnost měřícího stroje. Musí také zachovávat rozměrovou a tvarovou stabilitu. [1]
  - **Pinola** – vyrábí se jako vertikální nebo horizontální s čtvercovým nebo kruhovým průřezem. Může být vyrobena z oceli, keramiky nebo hliníkové slitiny. Rameno musí být dimenzováno tak, aby nedocházelo díky vlastní hmotnosti a hmotnosti snímací hlavy k průhybu při vyložení. Průhyb je možné kompenzovat vyvažovacím zařízením. [1]

U portálových měřících strojů do určité velikosti se při pohybu ve všech třech osách používají vzduchová ložiska, která zaručují pohyb prakticky bez tření. Vzduchová mezera mezi jednotlivými prvky bývá 6 – 8  $\mu\text{m}$ . [4] U ostatních souřadnicových měřících strojů se pohyb uskutečňuje většinou pomocí systému valivých ložisek, tzv. valivých hnízd.

## 2.2 Konstrukce snímacích systémů

Přesnost měření součástí ovlivňuje snímání jednotlivých bodů. Snímací systémy lze dělit na dotykové a bezdotykové a na snímací systémy s pevnou a otočnou hlavou.

**Bezdotykové systémy** – použití naleznou při měření poddajných součástí. Vyskytují se u některých mikroskopů. U CMM se pro snímání používá laserová měřící hlava nebo řádkovací kamera. [2]

Jako reprezentanty bezdotykových senzorů (snímačů) lze uvést:

- Optický senzor **ViSCAN** (obr. 2-5) pro 2D obrazovou analýzu, který je vybaven optickou hlavou. Je schopen měřit dvourozměrné prvky i o velmi malé velikosti, ale také měkké materiály. Měřený objekt je umístěn kolmo k rovině CCD kamery, která je vybavena automatickým ostřením. [3]
- Dalším optickým senzorem je **LineScan** (obr. 2-6), který je schopen celoplošně zachytit tvar do množiny bodů, a následně ho porovnat s existujícím CAD modelem pomocí vyhodnocovacího softwaru. Množiny bodů je také možné použít pro tvorbu CAD modelu z hotové součásti. Body jsou snímány řádkovacím laserem. [3]



obr. 2-5: ViSCAN [3]

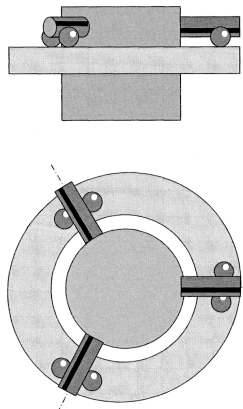


obr. 2-6: LineScan [3]

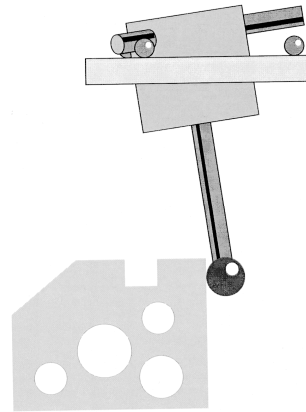
**Dotykové (kontaktní) snímače** – CMM jsou vybaveny doteky většinou ve tvaru koule. V okamžiku doteku snímače s měřenou součástí počítač sejme souřadnice a provede výpočet požadovaných geometrických veličin. U CMM se používají snímací systémy, které se dělí na systémy spínacího a měřícího typu. [1, 2]

- Systémy spínacího typu – jsou systémy, kterými se dají snímat pouze jednotlivé body, nelze s nimi provádět spojitě snímání (scanning). Konstrukce systému spínacího typu je zobrazena na obr. 2-7 a 2-8. Jedná se o třibodové uložení snímače složené ze tří válečků a tří párů kuliček. Při dotyku s měřenou součástí dojde k rozpojení jednoho z uložení, díky kterému dojde k zastavení stroje a sejmutí bodu. V okamžiku sejmutí bodu se ozve zvukový signál. Takováto konstrukce umožňuje opakovatelnou základní polohu dotyku, navíc tvoří nulovou polohu pro signalizaci vychýlení měřícího dotyku. [1, 2] Spínací systémy mohou být vybaveny pizosenzorem, který sejme bod ještě než dojde k rozpojení kontaktů.





obr. 2-7: Systém spínacího typu [5]



obr. 2-8: Systém spínacího typu [5]

- Systémy měřicího typu – jsou oproti systémům snímacího typu konstrukčně složitější. Těleso dotyku je ve snímací hlavě uloženo v trojitém paralelogramu. Tento systém může pracovat jak ve statickém, tak v dynamickém režimu. U statického režimu je vždy dosaženo stavu, kdy je indukční systém v nulové poloze a snímá správné hodnoty. Dojde tedy ke kontaktu dotyku se součástí, při němž se přeruší kontakt. Pomocí zpětné vazby dojde k ustálení snímače a sejmutí bodu. Při dynamickém režimu dochází k neustálému kontaktu dotyku se součástí, což je zajištěno zpětnou vazbou elektronické regulace pohonů na vlastní regulační systém pohybu stroje. Dynamický režim nabízí zkrácení měřicích časů a měření složitých tvarů. [1, 2]

Jako reprezentanty dotykových senzorů (snímačů) lze uvést:

- Spínací bodový senzor **RST-P** (obr. 2-9) pro dynamické snímání jednotlivých bodů. [3]
- Integrovaný dynamický systém **DT DynaTouch** (obr. 2-9), který je určen pro měření jednotlivých bodů. [3]
- Pasivní scannovací senzor **VAST XXT** (obr. 2-9), který je umístěn v otočné hlavě. Je schopen snímat měřenou součást scanningem. Otočná hlava umožňuje měření vyžadující různé úhlové polohy snímačů. Díky malé hmotnosti lze použít v otočné hlavě. [3]
- A dále pak senzory **VAST gold** (obr. 2-9) a **VAST XT gold** (obr. 2-9). Jedná se o pevné hlavy s aktivním scanningem určené jak pro bodovou metodu, tak scanning. Rychlosti scannování dosahují vysokých hodnot. Délka snímače může dosahovat v případě VAST gold až 800 mm s hmotností do 600g. [3]



obr. 2-9: RST-P, VAST XXT, DT DynaTouch, VAST XT gold, VAST gold [3]

Pasivní scanning je kontinuální snímání povrchu při vyvození přítláčné síly pružinovým paralelogramem. Dochází tak k měnícím se přítláčným silám, což způsobuje s narůstající dynamikou měření pokles přesnosti. Oproti tomu aktivní scanning je kontinuální snímání povrchu při vyvození konstantní přítláčné síly. Dynamické vlivy jsou tím potlačeny a výsledek měření je přesnější. [4]

### 2.3 Měření pomocí souřadnicového měřícího stroje

Měření pomocí CMM spočívá v tom, že se snímají jednotlivé body nebo dráhy, které se zaznamenávají v PC, kde se dále vyhodnocují pomocí vhodnému softwaru.

Samotnému měření předchází sestavení plánu průběhu měření, který musí obsahovat dokumentaci, upínky, přípravky, apod. V plánu měření je i zahrnuta strategie měření, ze které vyplývají požadavky na přesnost výsledků měření a optimální postup jak k daným přesnostem dojít. [2]

Při sestavování plánu průběhu měření je nutné dodržovat zásady, které eliminují chyby v měření. Především by měla být součást na pracovní desce ustavena tak, aby měření proběhlo pokud možno při jednom ustavení. Zároveň je vhodné, když je součást postavena na pracovní desce o co největší vzdálenosti mezi třemi ustavujícími body. Měřící základy by měly být totožné se základnami konstrukčními. Dále by snímané body měly být rovnoměrně rozloženy na měřeném povrchu. Sled snímání jednotlivých bodů by měl být volen tak, aby nedocházelo ke zbytečným přejezdům. Počet snímaných bodů by měl být volen o něco větší, než je nutné z geometrické definice. Naměřené body daného geometrického prvku je vhodné

znázorňovat graficky, výsledek měření je tak zřejmý a hrubé chyby nebo trendy se snadněji odhalí. Nakonec by měla být vyhodnocena dosažená nejistota měření, která se porovná s požadovanou hodnotou. [2]

### 3. Strategie měření

#### 3.1 Strategie měření – snímání bodů geometrických elementů

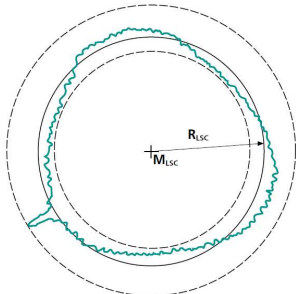
Jak je již uvedeno v podkapitole 2.2, snímání bodů lze provádět dotykově i bezdotykově. U dotykové metody je kontakt zprostředkován nejčastěji rubínovou kuličkou o průměrech již od 0,3 mm do 8 mm, ale i více. [6, 7] Dotykové měření se provádí buď bodově, kdy je hodnota sejmuta v okamžiku styku rubínové kuličky se součástí, anebo scanningem, kdy je rubínová kulička se součástí v neustálém kontaktu. U scanningu kulička snímá povrch po určité dráze, kde krok snímaných hodnot bývá nastavitelný. Další možností, jak sejmout hodnoty, je bezdotykově. Zde je povrch snímán optickým senzorem, výhodou oproti dotykové metodě jsou nulové deformace součástí (lze měřit např. i velmi měkké materiály) a kratší měřicí časy. Nevýhodou bývá menší přesnost měření. [8]

#### 3.2 Matematické metody pro vyhodnocení geometrických elementů

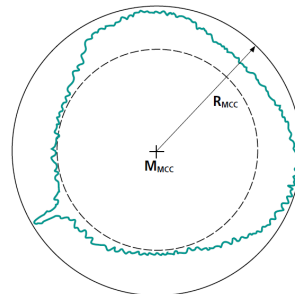
Geometrické elementy mohou být vyhodnocovány různými matematickými metodami. Zde jsou tyto matematické metody popsány. Grafické zobrazení těchto metod je použito z vyhodnocování kruhovitosti.

- **Metoda nejmenších čtverců** – jedná se o metodu, pro kterou platí, že součet čtverců odchylek mezi měřenými body a proloženým elementem (přímka, kružnice,...) je nejmenší. Tato metoda se v metrologii většinou upřednostňuje, jelikož vytváří věrohodnou funkci oproti ostatním matematickým metodám. [9] Tato matematická metoda je zobrazena na *obr. 3-1*.
- **Opsaný prvek** – je definovaný jako geometrický tvar o nejmenší možné velikosti (např. kružnice o nejmenším průměru), který je možné zakreslit okolo sejmutého profilu. Geometrický tvar sejmutého profilu se dotýká minimálně ve třech bodech. Tato matematická metoda je zobrazena na *obr. 3-2*.
- **Vepsaný prvek** – je definovaný jako geometrický tvar o největší možné velikosti (např. kružnice o největším průměru), který je možné zakreslit do sejmutého profilu. Geometrický tvar sejmutého profilu se dotýká minimálně ve třech bodech. Tato matematická metoda je zobrazena na *obr. 3-3*.

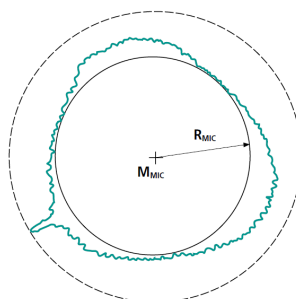
- **Minimální zóna** – jedná se o vzdálenost mezi dvěma paralelními geometrickými tvary obklopujícími na dotyk sejmутý profil. Tato vzdálenost má být co nejmenší. U kruhovitosti se jedná o radiální vzdálenost mezi dvěma soustřednými kružnicemi, které jsou vně a uvnitř sejmутého profilu. Tato matematická metoda je zobrazena na obr. 3-4.



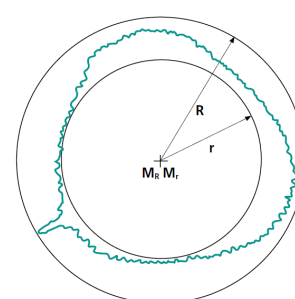
obr. 3-1: Kruhovitost metodou nejmenších čtverců [10]



obr. 3-2: Minimální opsaná kružnice [10]



obr. 3-3: Maximální vepsaná kružnice [10]

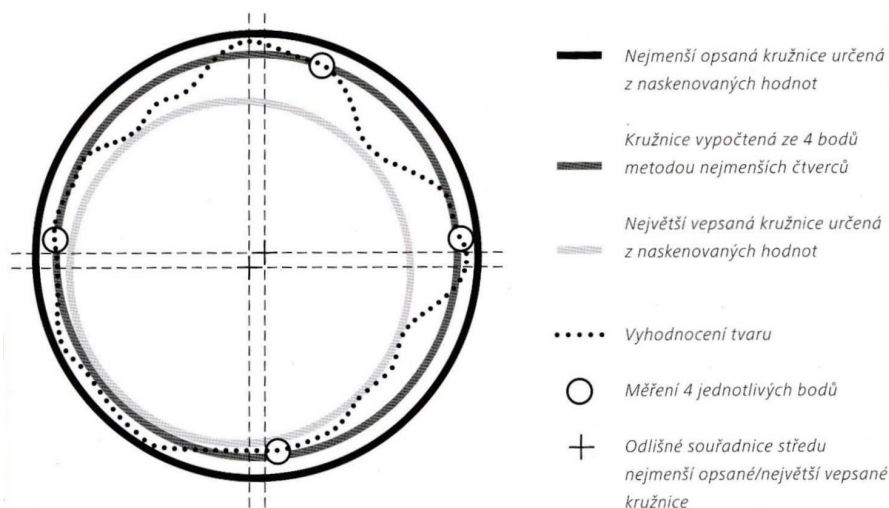


Obr. 3-4: Minimální zóna [10]

### 3.3 Vliv matematické metody a filtrace na vyhodnocení rozměrů

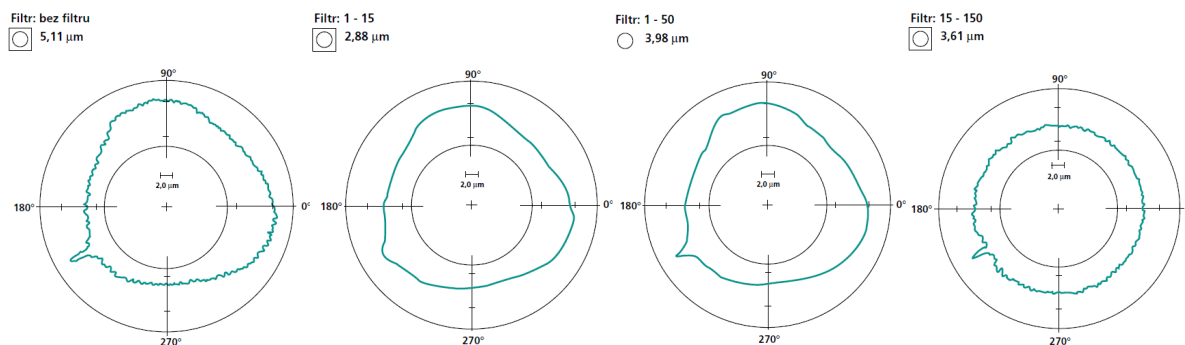
Praktická část této diplomové práce se zabývá souosostí, válcovitostí, a tudíž i kruhovitostí, proto je následující vyhodnocování rozměrů popsáno a zobrazováno na kruhovitosti.

Vyhodnocení průměru měřené díry/hřídele závisí nejen na matematické metodě, kterou je vyhodnocován, ale také na metodě snímání měřených hodnot. Pokud bude kružnice vyhodnocována jako opsaná a hodnoty budou snímány bodovou metodou, kružnice bude mít menší průměr oproti kružnici snímané scanningem. V případě vyhodnocení kružnice vepsané tomu bude naopak (při měření díry se kružnice vyhodnocuje jako vepsaná, při měření hřídele jako opsaná). Důvodem tohoto problému je fakt, že scanning je schopen sejmout v měřené dráze veškeré extrémní hodnoty, což bodovou metodou není možné. Stejně tak je tomu u metody minimální zóny.



obr. 3-5: Vliv matematické metody na vyhodnocení průměru [4]

Sejmutý profil v sobě vždy zahrnuje vliv vlnitosti a tvaru. Všechny tři typy nerovností je třeba vyhodnocovat odděleně. Nastavením vhodné hodnoty filtru lze od sebe oddělit jednotlivé typy nerovností, a určit tak rozhraní mezi vlnitostí a ještě kratšími vlnami a rozhraní mezi vlnitostí a ještě delšími složkami vln. [11] Vzhledem k tomu, že na CMM se kontakt mezi strojem a součástí zprostředkovává rubínovou kuličkou o průměrech v řádech jednotek milimetrů, drsnost se zde neprojevuje. Zde je uvedena filtrace pro průměr, resp. pro kruhovitost. Analogicky lze aplikovat např. pro přímost nebo rovinnost.



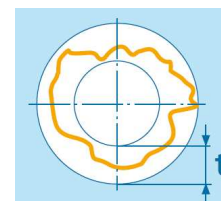
obr. 3-6: Vliv filtrace na vyhodnocení průměru [10]

V závislosti na všech těchto faktorech vyhodnocení průměru závisí i poloha jeho středu.

### 3.4 Vliv matematické metody a filtrace na vybrané úchytky tvaru

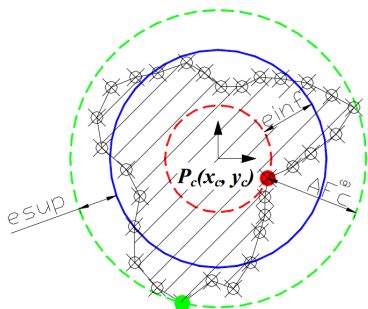
#### 3.4.1 Kruhovitost

Kruhovitost tvoří toleranční zóna  $t$ , která je mezi dvěma soustřednými kružnicemi. Sejmuté hodnoty musí být v jakémkoli radiálním řezu mezi těmito soustřednými kružnicemi. [10] Názorně je kruhovitost zobrazena na obr. 3-7.

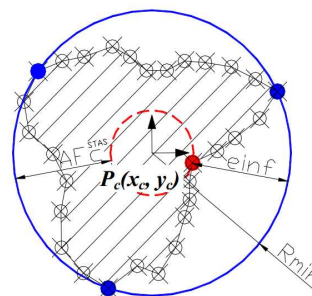


obr. 3-7: Kruhovitost [10]

K vyhodnocování kruhovitosti je možné použít matematické metody, které jsou částečně popsány v podkapitole 3.3. Každou metodou lze dojít k rozdílné hodnotě  $t$  ( $AF_c$ ). Kruhovitost vyhodnocená metodou nejmenších čtverců je graficky znázorněna na obr. 3-8. Zde se na základě sejmutých hodnot určí průměr, od kterého jsou zjišťovány nejmenší a největší soustředné kružnice dotýkající se sejmutého profilu. Kruhovitost vyhodnocená minimální opsanou kružnicí je graficky znázorněna na obr. 3-9, kde je ze sejmutých hodnot vyhodnocen průměr, a od něj je zjišťována největší soustředná kružnice uvnitř sejmutého profilu. [9]

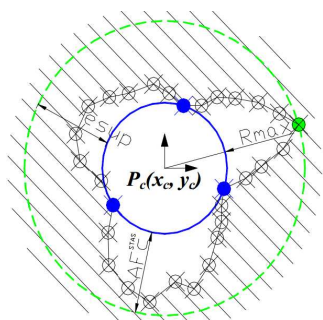


obr. 3-8: Kruhovitost metodou nejmenších čtverců [9]

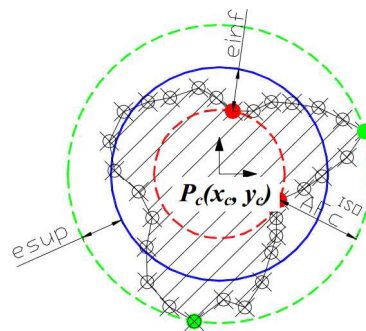


obr. 3-9: Kruhovitost pomocí minimální opsané kružnice [9]

Maximální vepsanou kružnicí je kruhovitosť vyhodnocována na obr. 3-10, kde ze sejmutých hodnot je vyhodnocen průměr, a od něj je zjišťována nejmenší soustředná kružnice vně sejmutého profilu. Poslední matematickou metodou je minimální zóna viz obr. 3-11, kde jsou zjišťovány soustředné kružnice obklopující sejmutý profil, jejíž radiální vzdálenost je nejmenší. [9]



obr. 3-10: Kruhovitost pomocí maximální vepsané kružnice [9]

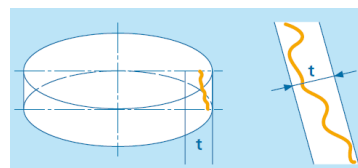


obr. 3-11: Kruhovitost pomocí minimální zóny [9]

Na hodnotu kruhovitosti nemá vliv jen matematická metoda vyhodnocení. Velký vliv má i filtrace spolu s metodou snímání součásti. Tato problematika je již popsána v podkapitole 3.3.

### 3.4.2 Přímost povrchové přímky válce

Přímost je definována jako zóna ohraničená rovnoběžnými přímkami ve vzdálenosti  $t$ , kde povrch linie válce musí ležet mezi těmito přímkami. [10] Názorně je přímost zobrazena na obr. 3-12.



obr. 3-12: Přímost [10]

Vliv matematické metody vyhodnocení a filtrace je analogický jako v případě kruhovitosti, ovšem aplikovaný na přímce.

### 3.4.3 Rovnoběžnost povrchové přímky válce

Jedná se o toleranční zónu, ve které leží povrchové linie tolerovaného válce. Jsou ohraničeny dvěma rovnoběžnými přímkami ve vzdálenosti  $t$ , které jsou zároveň rovnoběžné se vztaznou osou. [10] Názorně je rovnoběžnost zobrazena na obr. 3-13.

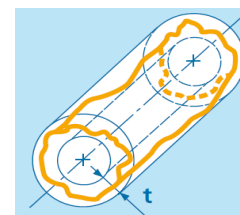


obr. 3-13: Rovnoběžnost [10]

Vliv matematické metody vyhodnocení a filtrace je analogický jako v případě kruhovitosti, ovšem aplikovaný na přímce.

### 3.4.4 Válcovitost

Válcovitost tolerovaného pláště tvoří toleranční zóna  $t$  mezi dvěma koaxiálními válci. Tolerance válcovitosti ohraničují odchylky kruhovitosti, přímosti povrchových přímek a rovnoběžnosti. [10] Názorně je válcovitost zobrazena na obr. 3-14.



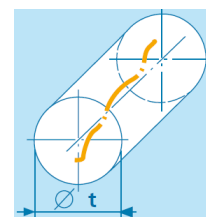
obr. 3-14: Válcovitost [10]

Vzhledem k tomu, že válcovitost je dána odchylkami kruhovitosti, přímosti povrchových přímek a rovnoběžnosti, vliv matematických metod vyhodnocení a filtrace je závislý na způsobu vyhodnocení těchto odchylek. Tyto úchyly jsou popsány v oddílech 3.4.1 – 3.4.3.

## 3.5 Vybrané úchyly polohy v prostoru – význam délky vztažného a měřeného prvku k jejich vzájemné vzdálenosti

### 3.5.1 Souosost

Jedná se o toleranční zónu ohraničenou válcem o průměru  $t$ , kde osa tohoto válce je totožná s osou vztažnou. Skutečná osa tolerovaných elementů musí ležet uvnitř toleranční zóny. [10] Názorně je válcovitost zobrazena na obr. 3-15.



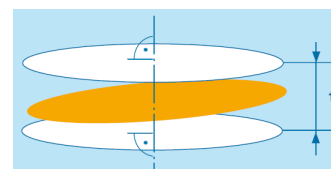
obr. 3-15: Souosost [10]



Problém vztažného a měřeného prvku sousosti je řešen v praktické části této diplomové práce. Jak již bylo napsáno v úvodu, jedná se o dvě válcové plochy navzájem sousé o poměrně krátké délce umístěné relativně daleko od sebe. Na *obr. 4-14* je názorně vidět problém při měření sousosti vztažného a měřeného prvku. Čím menší bude vzdálenost  $l_A$  mezi měřenými řezy 1(7) a 3(9), tím více se projeví nejistota sousosti na délce  $L$ .

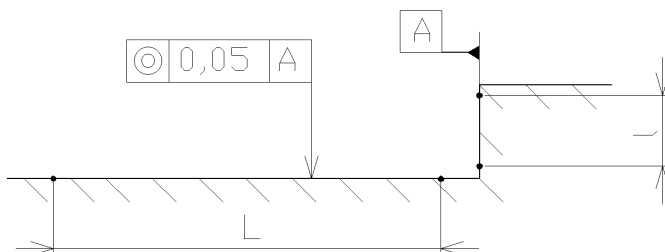
### 3.5.2 Kolmost

Zde se jedná o toleranční zónu mezi dvěma rovnoběžnými rovinami o vzdálenosti  $t$  kolmé ke vztažné ose. Tolerované čelní plochy vždy leží mezi těmito rovinami. [10] Názorně je kolmost zobrazena na *obr. 3-16*.



*obr. 3-15: Kolmost[10]*

Problém vztažného a měřeného prvku sousosti se dá analogicky aplikovat i na kolmost. Pokud základna bude velmi krátká ve srovnání se vztažnou kolmicí, resp. pokud vzdálenost měřených bodů  $l$  bude podstatně menší, než vzdálenost měřených bodů  $L$ , nejistota měření bude vysoká.



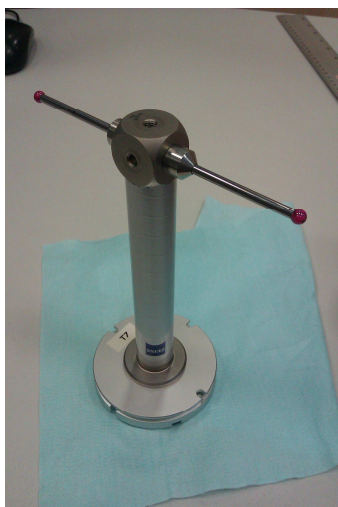
*obr. 3-16: Problém vztažného a měřeného prvku kolmosti*

### 3.6 Vyjmutí extrémních hodnot z vyhodnocení

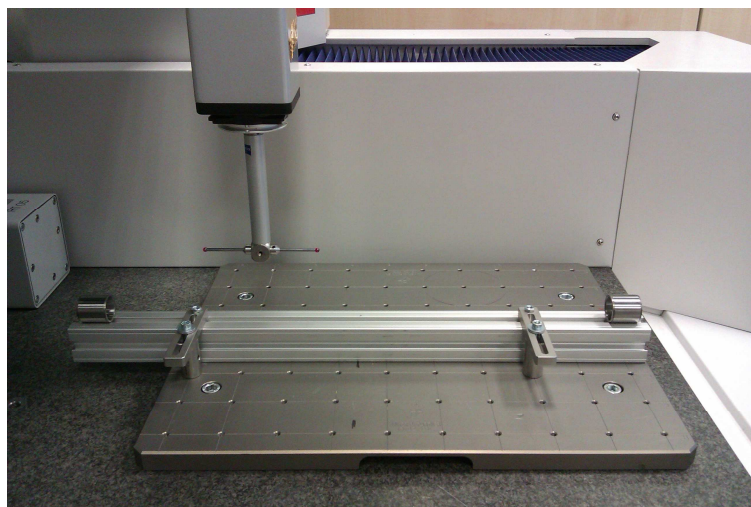
Aby bylo možné výsledky měření statisticky vyhodnotit, je potřeba provést měření několikrát. Běžně se provádí třicet i více náměrů. Čím vícekrát je měření opakováno, tím věrohodnější data jsou k dispozici pro vyhodnocení. Vlivem náhodné chyby se může stát, že některá z naměřených hodnot není srovnatelná s ostatními naměřenými hodnotami. V takovém případě je třeba tuto extrémní hodnotu vyloučit z vyhodnocovacího procesu.

## 4. Měření reálné součásti

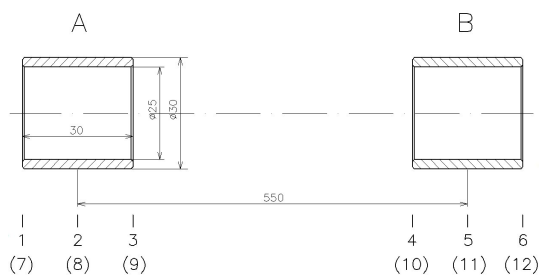
Měření se uskutečnilo na portálovém měřícím souřadnicovém stroji *PRISMO 5* s pevnou scannovací hlavou *VAST gold*. Maximální dovolená délková chyba tohoto měřicího stroje je  $u=2,0+L/350$  [ $\mu\text{m}$ ]. Snímač byl vybaven rubínovou kuličkou o průměru 5 mm (*obr. 4-1*) a jako řídicí program byl použit program CALYPSO, kde pro vyhodnocení výsledků byla použita matematická metoda nejmenších čtverců. Měřenou součástí byly dva ložiskové kroužky přilepené na hliníkový profil (*obr. 4-2*), které simulovaly měřenou součást.



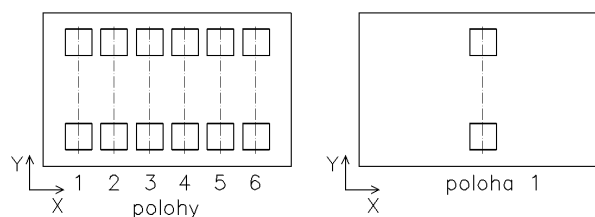
obr. 4-1: Snímač



obr. 4-2: Měřená součást při měření



obr. 4-3: Schéma měření



obr. 4-4: Polohy součásti na CMM

Měření těchto dvou elementů (válců A a B) probíhalo tak, že se v každém z nich sejmuly hodnoty ve třech řezech (kružnicích). Měření se uskutečnilo dvěma různými strategiemi: **bodovou metodou** a **scannovací metodou**, kde díky většímu množství sejmutých bodů lze dosáhnout věrohodnějších výsledků. V případě bodové metody bylo sejmuto 8 bodů v každé kružnici rovnoměrně rozdělených po 45°. Jednotlivé kružnice válce A a válce B jsou označeny 1–3, resp. 4–6 (*obr. 4-3*). Scannovací metoda snímala rychlostí 5 mm/s, kde celkový počet sejmutých bodů byl 1634. Jednotlivé kružnice jsou označeny číslicemi 7–9, resp. 10–12 (*obr. 4-3*). Přestože kružnice v případě bodové metody a scanningu jsou identické, jsou označeny pokaždé jinak. Je to z důvodu měřicího programu. Díky tomu

program ví, kdy snímá bodovou metodou, a kdy scanningem. Měření a následné vyhodnocení probíhalo v **jedné poloze** a v **různých polohách** pro zjištění nepřesností vlivem přeupínání měřené součásti. V jedné poloze bylo provedeno 50 náměrů (viz přílohy 1- 50). Různých poloh bylo 6, přičemž v každé poloze bylo provedeno 5 náměrů, celkem tedy 30 náměrů (viz přílohy 51–80). Jednotlivé polohy jsou znázorněny na obr. 4-4.

Ze sejmutých hodnot v jednotlivých kružnicích byly programem vypočítány **průměry** a **středů** daných **kružnic**. Ze středů jednotlivých kružnic bylo možné každým válcem proložit 3D přímkou, tedy osu daného válce. Odchyšky středů kružnic od 3D přímky v jednotlivých souřadnicích X a Z jsou vyjádřeny v podkapitole 4.1. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v přílohách 1–80.

**Souosost** byla vypočítána programem z naměřených hodnot výše popsaných. Vyhodnocena byla souosost měřená **v jedné poloze bodovou metodou, v jedné poloze scanningem, v různých polohách bodovou metodou a v různých polohách scanningem**. Přičemž každé vyhodnocení se uskutečnilo dvojím způsobem. Jednou byla vyhodnocena souosost **válce A k referenčnímu válci B** (A ref. B), a podruhé souosost **válce B k referenčnímu válci A** (B ref. A). Jednotlivé souososti jsou vyjádřeny v podkapitole 4.2. Spočítané hodnoty souososti jsou uvedeny v přílohách 1–80.

Pro určení **minimální měřitelné hodnoty souososti (MMHS)** byly použity výše popsané naměřené hodnoty. Vycházelo se ze vztahu pro opakovatelnost  $C_g$ , jejíž hodnota byla stanovena koeficientem 1,33, což je číslo zaručující opakovatelnost měření. Z tohoto vztahu byly získány minimální hodnoty tolerance, díky kterým se určila minimální měřitelná hodnota souososti. MMHS byla vyhodnocena stejně jako u souososti **v jedné poloze bodovou metodou, v jedné poloze scanningem, v různých polohách bodovou metodou a v různých polohách scanningem**. Přičemž každé vyhodnocení se uskutečnilo dvojím způsobem. Jednou byla vyhodnocena souosost **válce A k referenčnímu válci B**, a podruhé souosost **válce B k referenčnímu válci A**. U stanovení minimálních hodnot souososti je nutné poznamenat, že získané hodnoty platí pouze pro měřicí stroj o dané maximální dovolené délkové chybě a pro danou měřenou součást o daných rozměrech. Jednotlivé minimální měřitelné hodnoty souososti jsou vyjádřeny v podkapitole 4.3.

Z naměřených dat, resp. z vypočtených průměrů kružnic lze provést vyhodnocení **válcovitosti** válců A a B. Pro válec A byly použity náměry z kružnic 7–9, pro válec B čísla kružnic 10–12. Vyhodnocena byla válcovitost **v jedné poloze scanningem a v různých**

**polohách scanningem.** Válcovitost tedy byla získána pouze z dat naměřených scanningem. Vyhodnocení válcovitosti jen z osmi naměřených bodů v každé kružnici by bylo nedostatečné a výsledky nepřesné. Jednotlivé válcovitosti jsou vyjádřeny v podkapitole 4.4. Spočítané hodnoty válcovitosti jsou uvedeny v *přílohách 1–80*.

#### 4.1 Měření odchylek středů kružnic od 3D přímky

V jednotlivých kružnicích (řezech) byly sejmuty hodnoty buď bodovou metodou, nebo scanningem. Ze středů jednotlivých kružnic byla válci proložena 3D přímka (osa válce). Následující histogramy znázorňují stabilitu odchylek středů kružnic od 3D přímky v souřadnicích X a Z. V tabulkách jsou uvedeny průměry naměřených hodnot, rozpětí a výběrové směrodatné odchylky pro jednotlivé varianty měření.

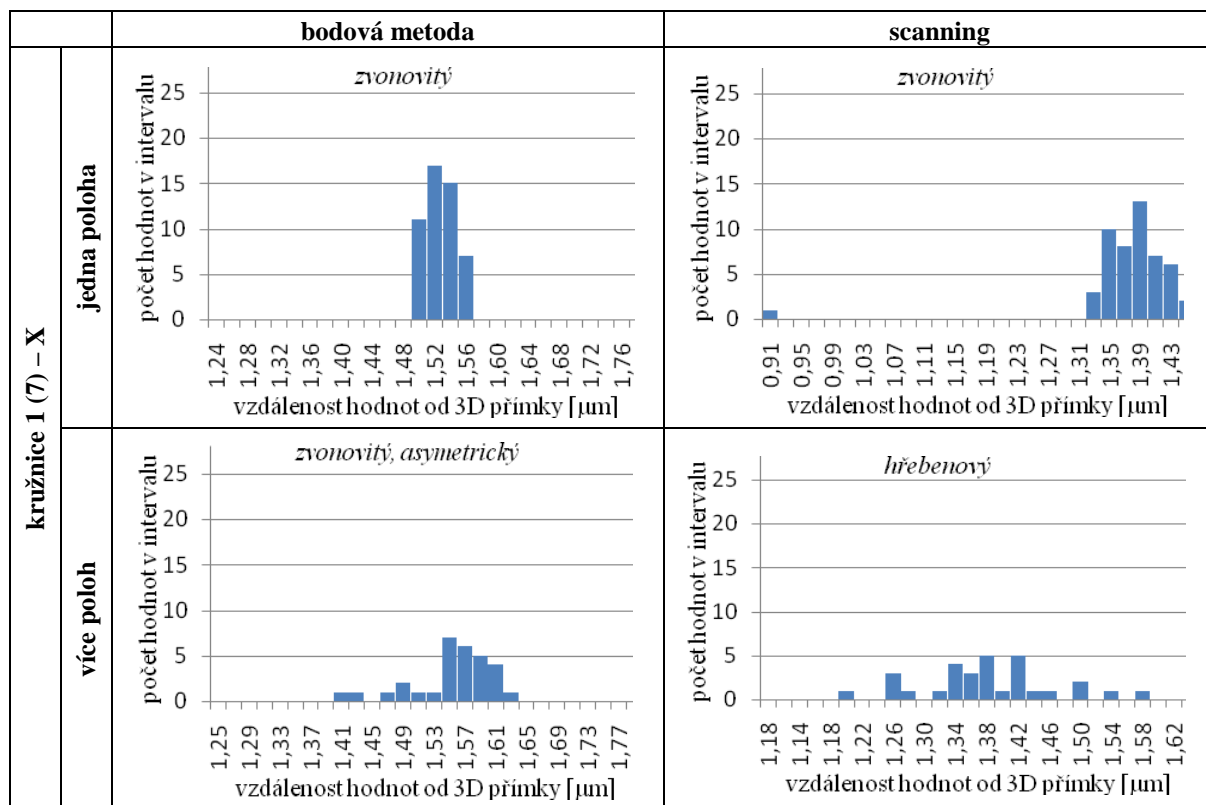
Aby histogramy mezi sebou byly porovnatelné, musí být u všech stejná hodnota intervalu (šířka sloupce). Jako neoptimálnější hodnota intervalu použitelná pro všechny histogramy je 0,02  $\mu\text{m}$ . Při této hodnotě se u několika málo histogramů vyskytly pouze 4 sloupce, přičemž minimální počet sloupců pro histogramy je 5. Ovšem kdyby byla použita menší hodnota intervalu, vyskytlo by se zde velké množství histogramů s mělkou charakteristikou. Z tohoto důvodu byla použita hodnota intervalu 0,02  $\mu\text{m}$ . Je tedy třeba nebrat histogramy o čtyřech sloupcích příliš v úvahu, ale chápat je jen informativně.

##### 4.1.1 Odchylky středů kružnic 1 (7)

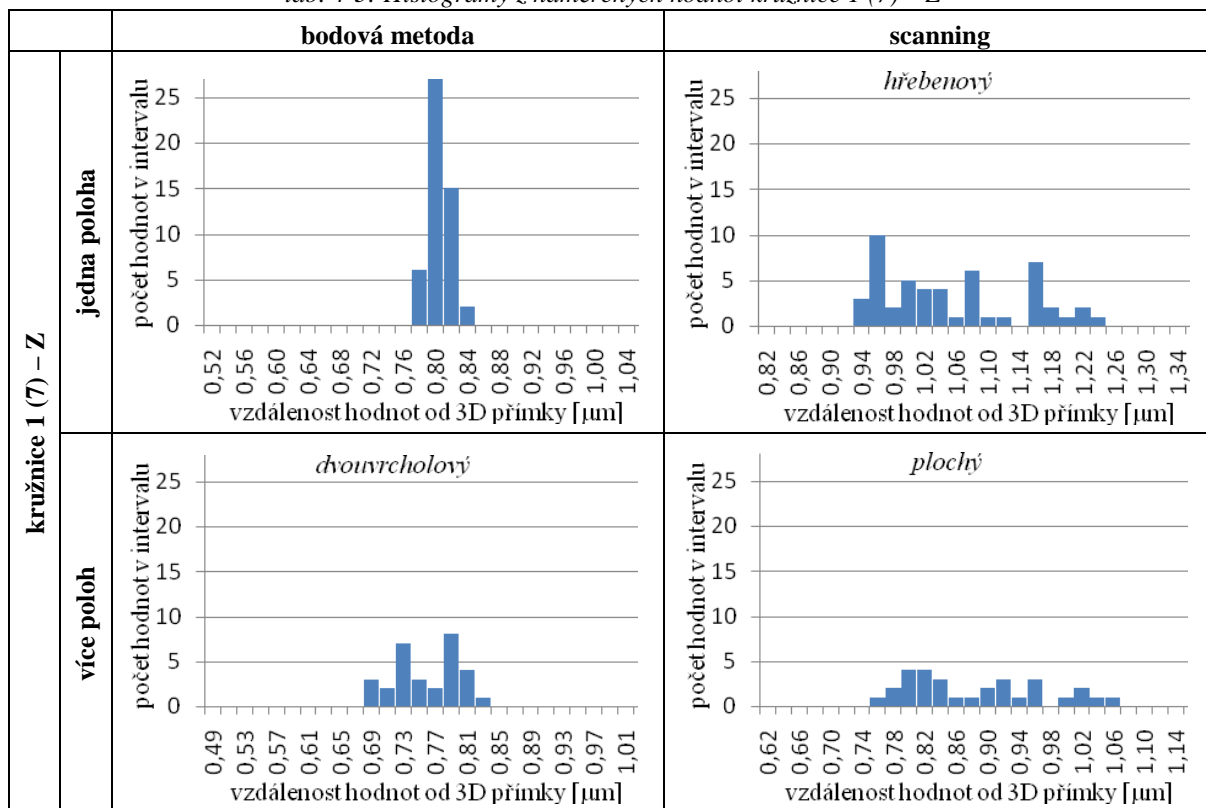
tab. 4-1: Spočítané hodnoty kružnice 1 (7)

		bodová metoda			scanning		
		průměr hodnot	rozpětí	výběrová směrodatná odchylka	průměr hodnot	rozpětí	výběrová směrodatná odchylka
		$\bar{X}$ [ $\mu\text{m}$ ]	R [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\bar{X}$ [ $\mu\text{m}$ ]	R [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]
kružnice 1 (7) – X	jedna poloha	1,54	0,07	0,019	1,38	0,55	0,075
	více poloh	1,56	0,22	0,054	1,39	0,38	0,086
kružnice 1 (7) – Z	jedna poloha	0,82	0,06	0,014	1,06	0,31	0,089
	více poloh	0,77	0,14	0,040	0,90	0,30	0,087

tab. 4-2: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 1 (7) – X



tab. 4-3: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 1 (7) – Z



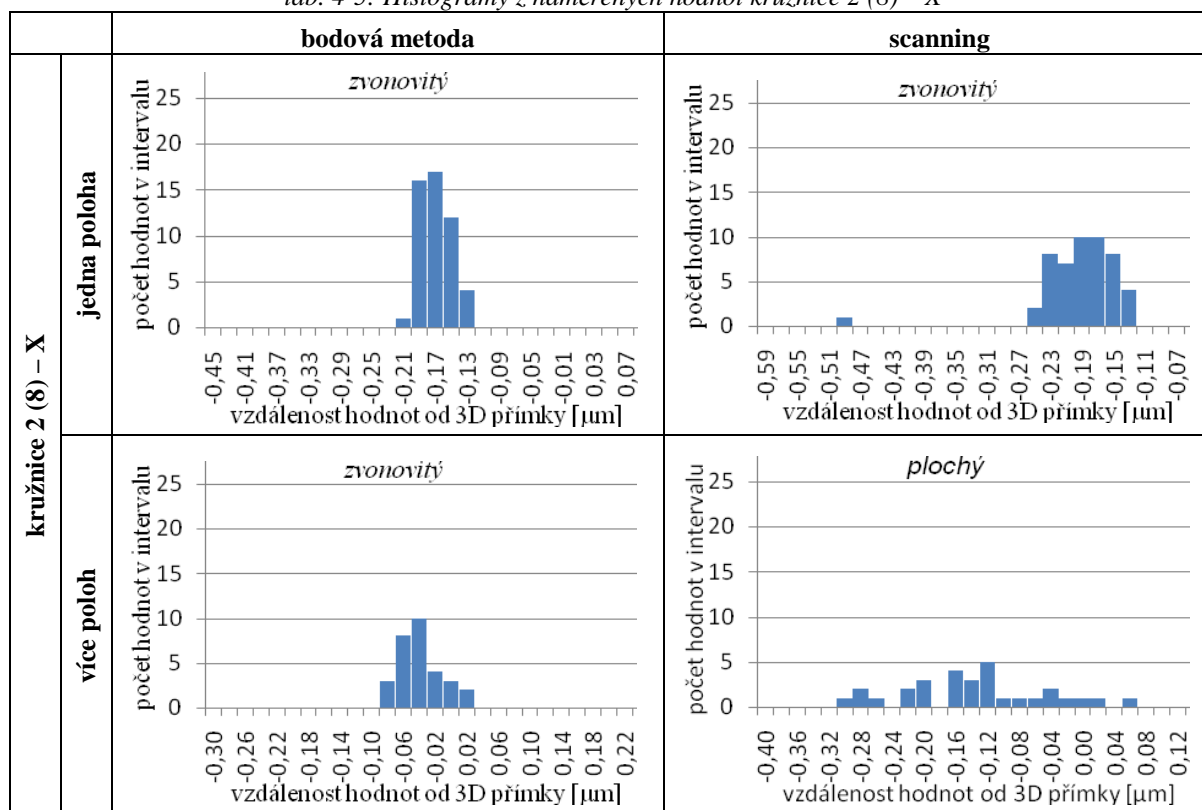
V tab. 4-1 jsou uvedeny průměry naměřených hodnot, rozpětí a výběrové směrodatné odchylky. Dále jsou uvedeny histogramy jednotlivých variant měření pro kružnici 1, resp. 7, v tab. 4-2 pro osu X a v tab. 4-3 pro osu Z. U každého histogramu je uveden jeho tvar (pokud je definovatelný).

#### 4.1.2 Odchyly středů kružnic 2 (8)

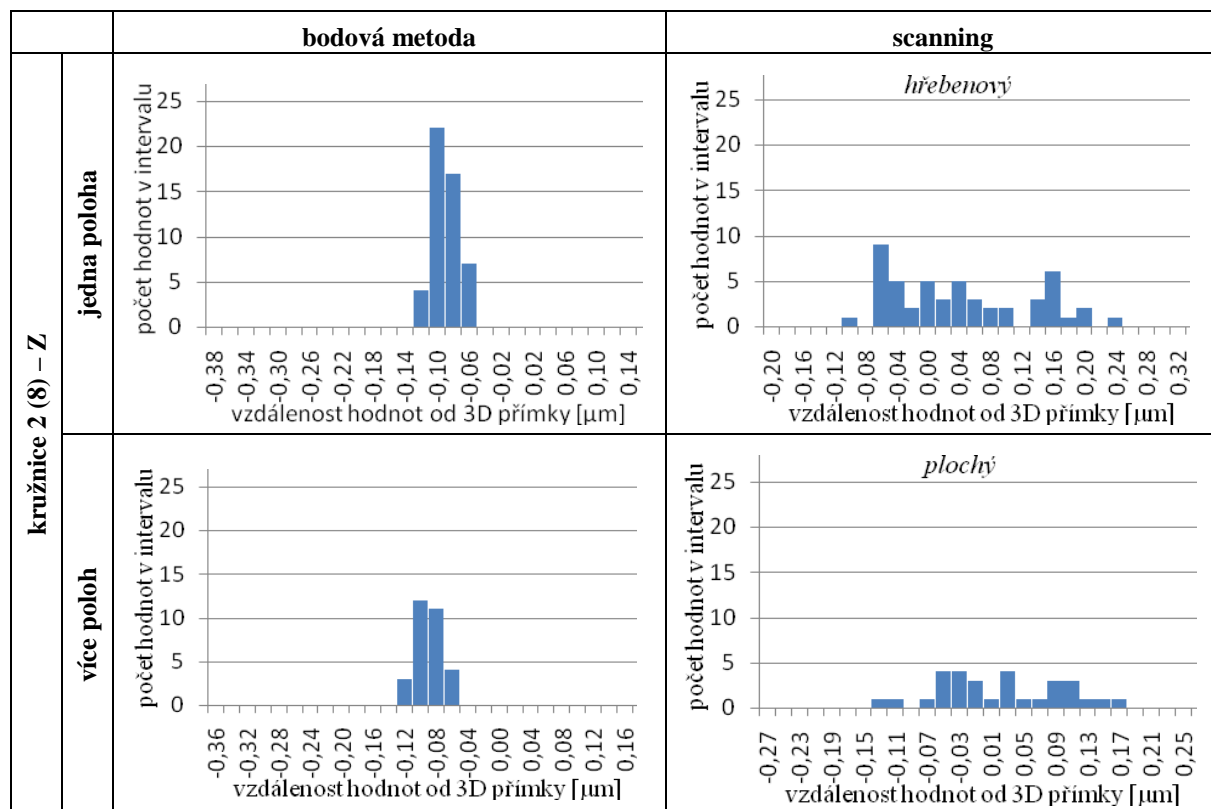
tab. 4-4: Spočítané hodnoty kružnice 2 (8)

		bodová metoda			scanning		
		průměr hodnot	rozpětí	výběrová směrodatná odchylka	průměr hodnot	rozpětí	výběrová směrodatná odchylka
		$\bar{X}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R$ [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\bar{X}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R$ [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]
kružnice 2 (8) – X	jedna poloha	-0,16	0,07	0,019	-0,18	0,35	0,052
	více poloh	-0,03	0,10	0,027	-0,13	0,35	0,091
kružnice 2 (8) – Z	jedna poloha	-0,08	0,06	0,014	0,05	0,32	0,089
	více poloh	-0,08	0,06	0,015	0,03	0,29	0,078

tab. 4-5: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 2 (8) – X



tab. 4-6: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 2 (8) – Z



V tab. 4-4 jsou uvedeny průměry naměřených hodnot, rozpětí a výběrové směrodatné odchylky. Dále jsou uvedeny histogramy jednotlivých variant měření pro kružnici 1, resp. 7, v tab. 4-5 pro osu X a v tab. 4-6 pro osu Z. U každého histogramu je uveden jeho tvar (pokud je definovatelný).

#### 4.1.3 Odchytky středů kružnic 3 (9)

tab. 4-7: Spočítané hodnoty kružnice 3 (9)

		bodová metoda			scanning		
		průměr hodnot	rozpětí	výběrová směrodatná odchylka	průměr hodnot	rozpětí	výběrová směrodatná odchylka
		$\bar{X}$ [μm]	R [μm]	$s_x$ [μm]	$\bar{X}$ [μm]	R [μm]	$s_x$ [μm]
kružnice 3 (9) – X	jedna poloha	-1,40	0,09	0,023	-1,66	0,26	0,040
	více poloh	-1,56	0,17	0,040	-1,63	0,53	0,114
kružnice 3 (9) – Z	jedna poloha	-0,71	0,07	0,017	-0,76	0,34	0,096
	více poloh	-0,67	0,12	0,035	-0,63	0,27	0,075

tab. 4-8: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 3 (9) – X

kružnice 3 (9) – X		bodová metoda		scanning	
		zvonovitý		zvonovitý	
jeden poloh	jedna poloha				
	více poloh				

tab. 4-9: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 3 (9) – Z

kružnice 3 (9) – Z		bodová metoda		scanning	
		zvonovitý		hřebenový	
jeden poloh	jedna poloha				
	více poloh				



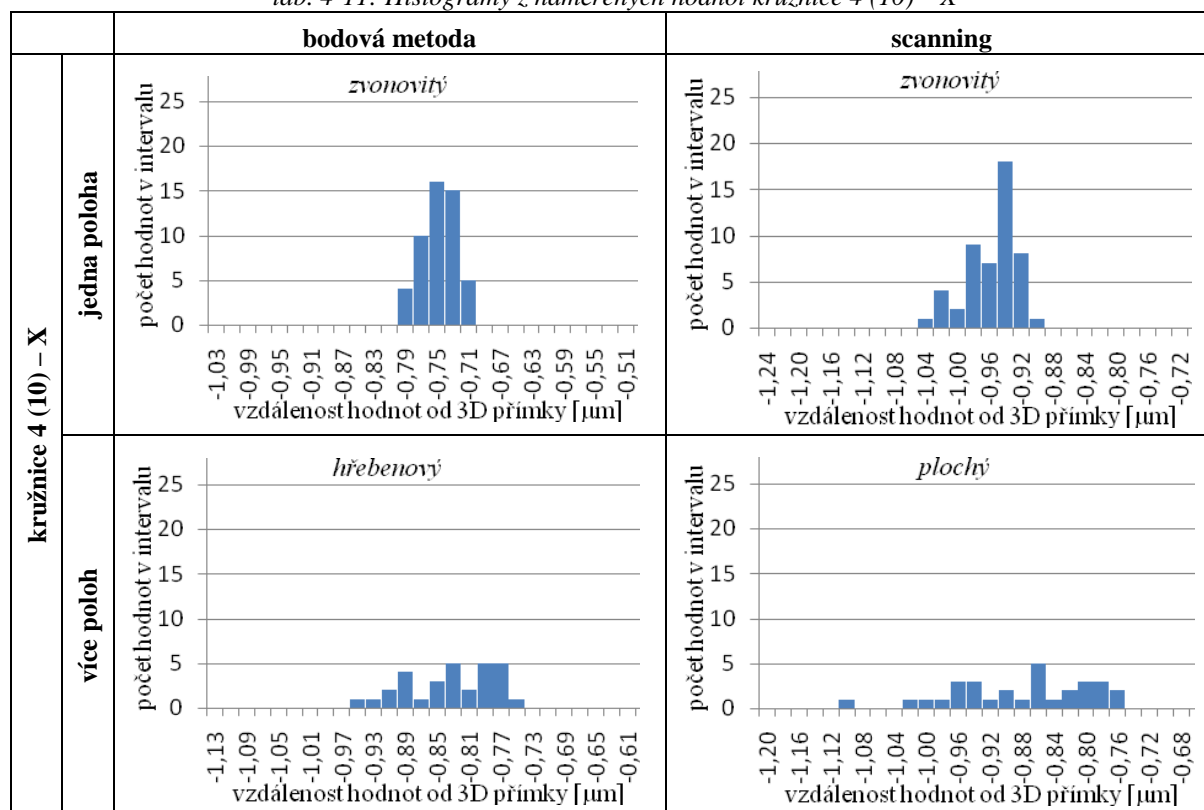
V tab. 4-7 jsou uvedeny průměry naměřených hodnot, rozpětí a výběrové směrodatné odchylky. Dále jsou uvedeny histogramy jednotlivých variant měření pro kružnici 1, resp. 7, v tab. 4-8 pro osu X a v tab. 4-9 pro osu Z. U každého histogramu je uveden jeho tvar (pokud je definovatelný).

#### 4.1.4 Odchyly středů kružnic 4 (10)

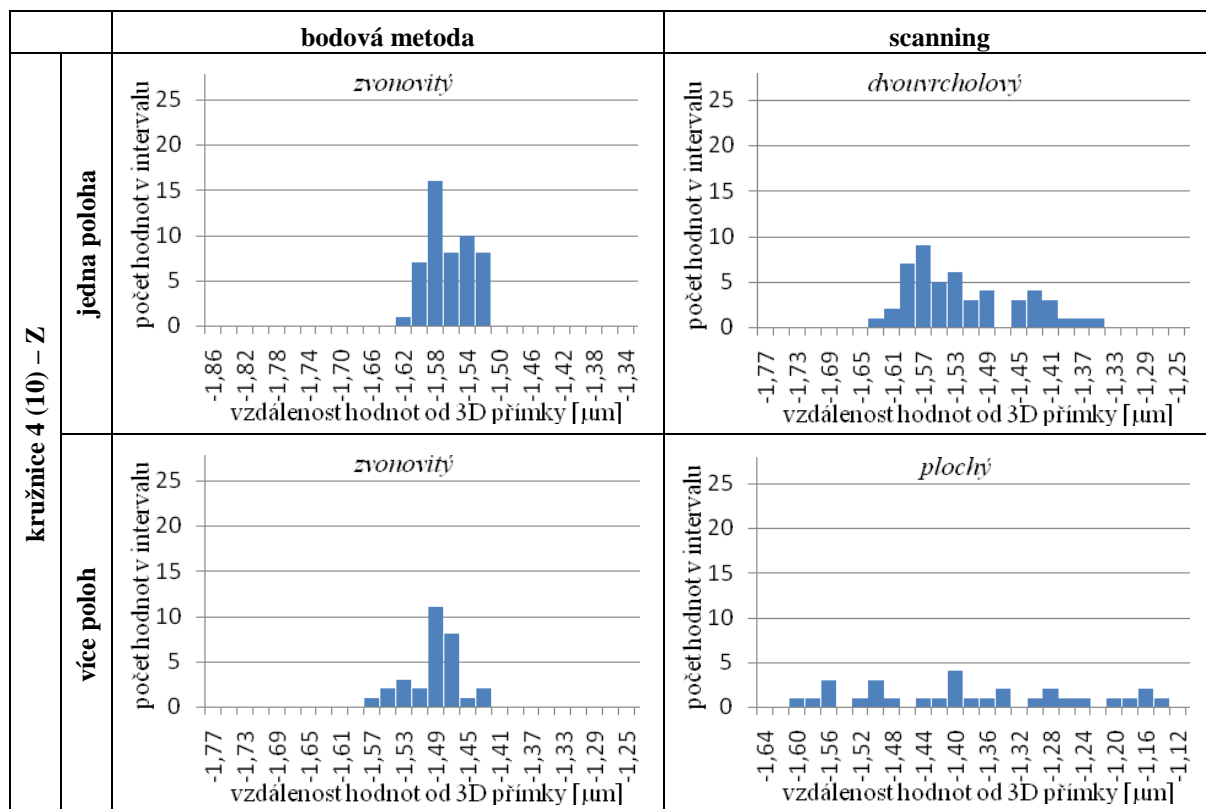
tab. 4-10: Spočítané hodnoty kružnice 4 (10)

		bodová metoda			scanning		
		průměr hodnot	rozpětí	výběrová směrodatná odchylka	průměr hodnot	rozpětí	výběrová směrodatná odchylka
		$\bar{X}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R$ [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\bar{X}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R$ [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]
kružnice 4 (10) – X	jedna poloha	-0,74	0,08	0,021	-0,95	0,13	0,031
	více poloh	-0,82	0,19	0,053	-0,87	0,34	0,086
kružnice 4 (10) – Z	jedna poloha	-1,55	0,09	0,025	-1,51	0,27	0,070
	více poloh	-1,48	0,13	0,031	-1,37	0,46	0,140

tab. 4-11: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 4 (10) – X



tab. 4-12: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 4 (10) – Z



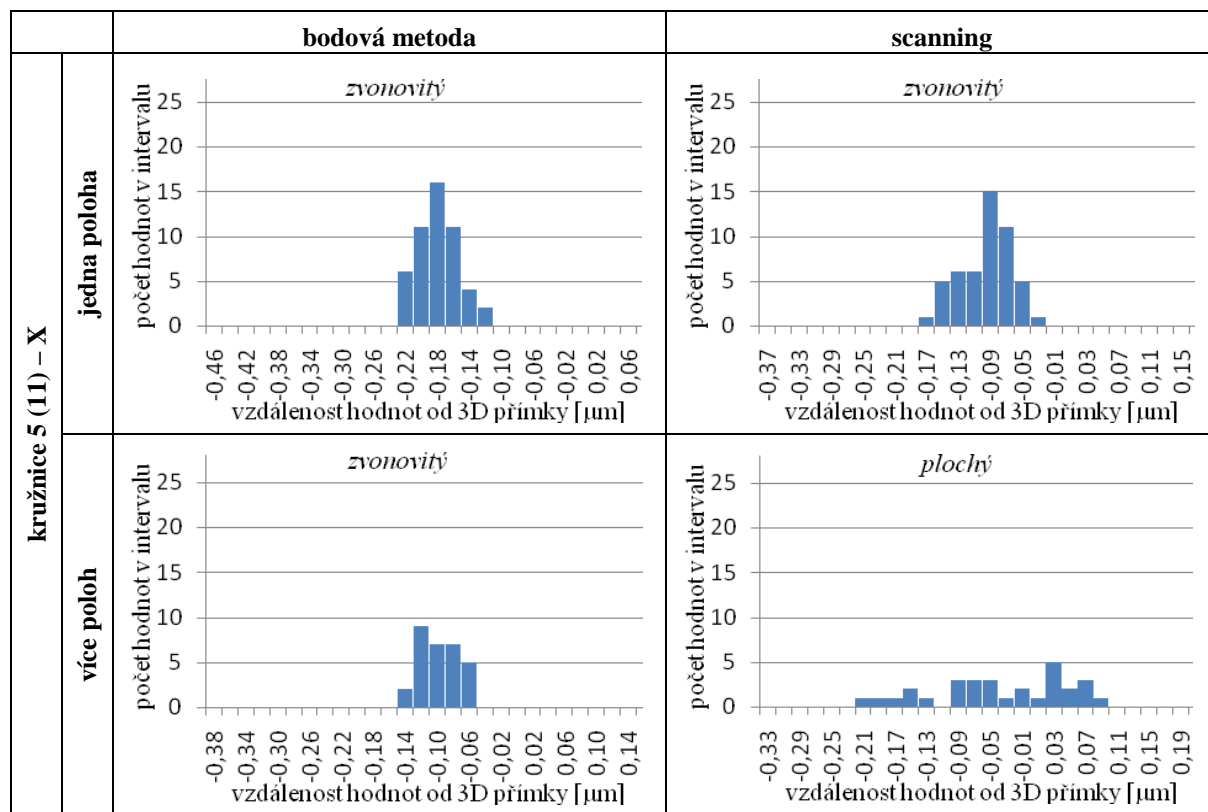
V tab. 4-10 jsou uvedeny průměry naměřených hodnot, rozpětí a výběrové směrodatné odchylky. Dále jsou uvedeny histogramy jednotlivých variant měření pro kružnici 1, resp. 7, v tab. 4-11 pro osu X a v tab. 4-12 pro osu Z. U každého histogramu je uveden jeho tvar (pokud je definovatelný).

#### 4.1.5 Odchylky středů kružnic 5 (11)

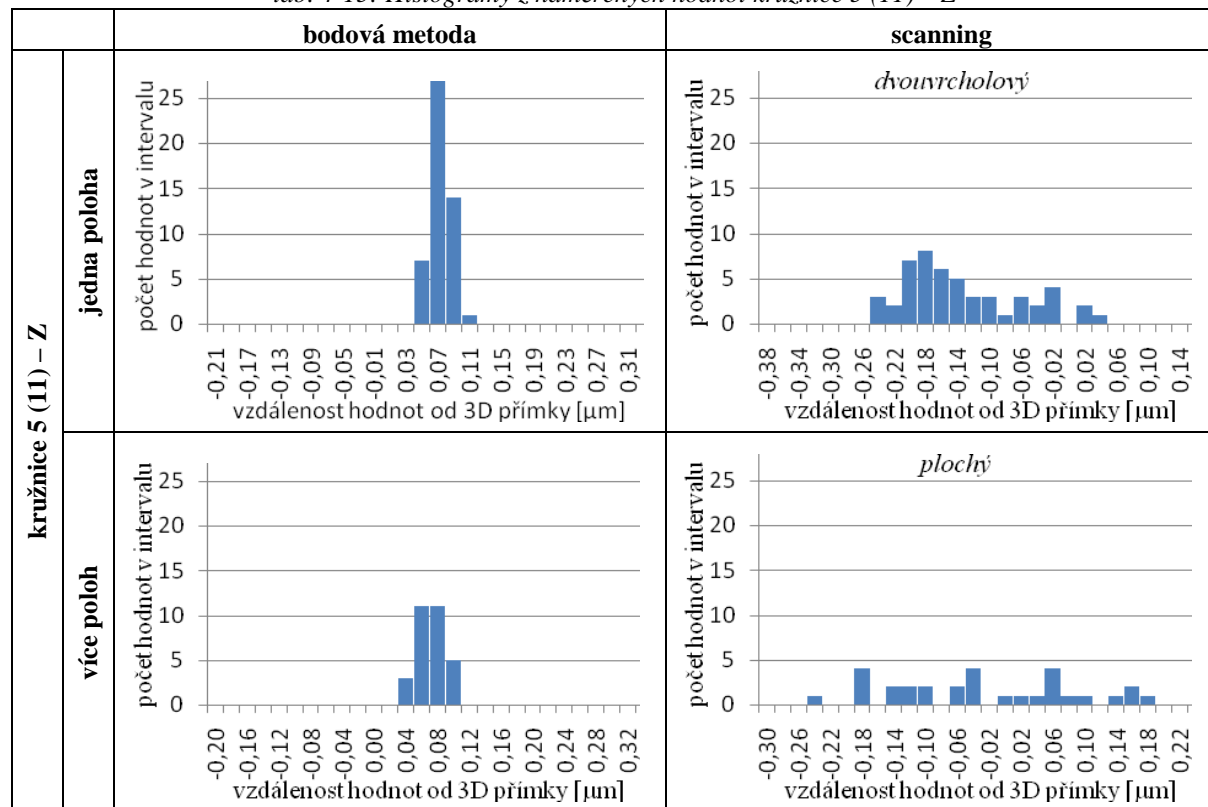
tab. 4-13: Spočítané hodnoty kružnice 5 (11)

		bodová metoda			scanning		
		průměr hodnot	rozpětí	výběrová směrodatná odchylka	průměr hodnot	rozpětí	výběrová směrodatná odchylka
		$\bar{X}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R$ [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\bar{X}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R$ [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]
kružnice 5 (11) – X	jedna poloha	-0,17	0,09	0,024	-0,09	0,14	0,032
	více poloh	-0,09	0,08	0,023	-0,03	0,30	0,083
kružnice 5 (11) – Z	jedna poloha	0,08	0,06	0,013	-0,12	0,28	0,075
	více poloh	0,08	0,06	0,017	-0,02	0,42	0,118

tab. 4-14: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 5 (11) – X



tab. 4-15: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 5 (11) – Z



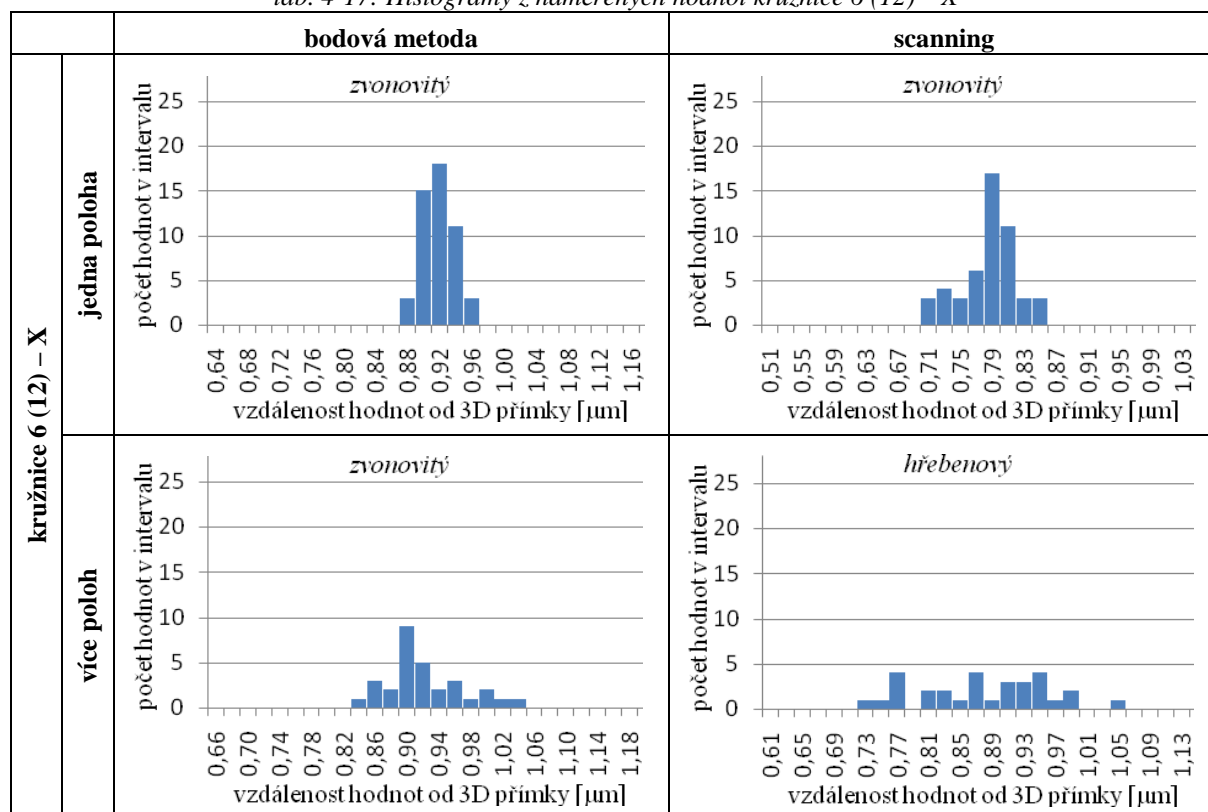
V tab. 4-13 jsou uvedeny průměry naměřených hodnot, rozpětí a výběrové směrodatné odchylky. Dále jsou uvedeny histogramy jednotlivých variant měření pro kružnici 1, resp. 7, v tab. 4-14 pro osu X a v tab. 4-15 pro osu Z. U každého histogramu je uveden jeho tvar (pokud je definovatelný).

#### 4.1.6 Odchyly středů kružnic 6 (12)

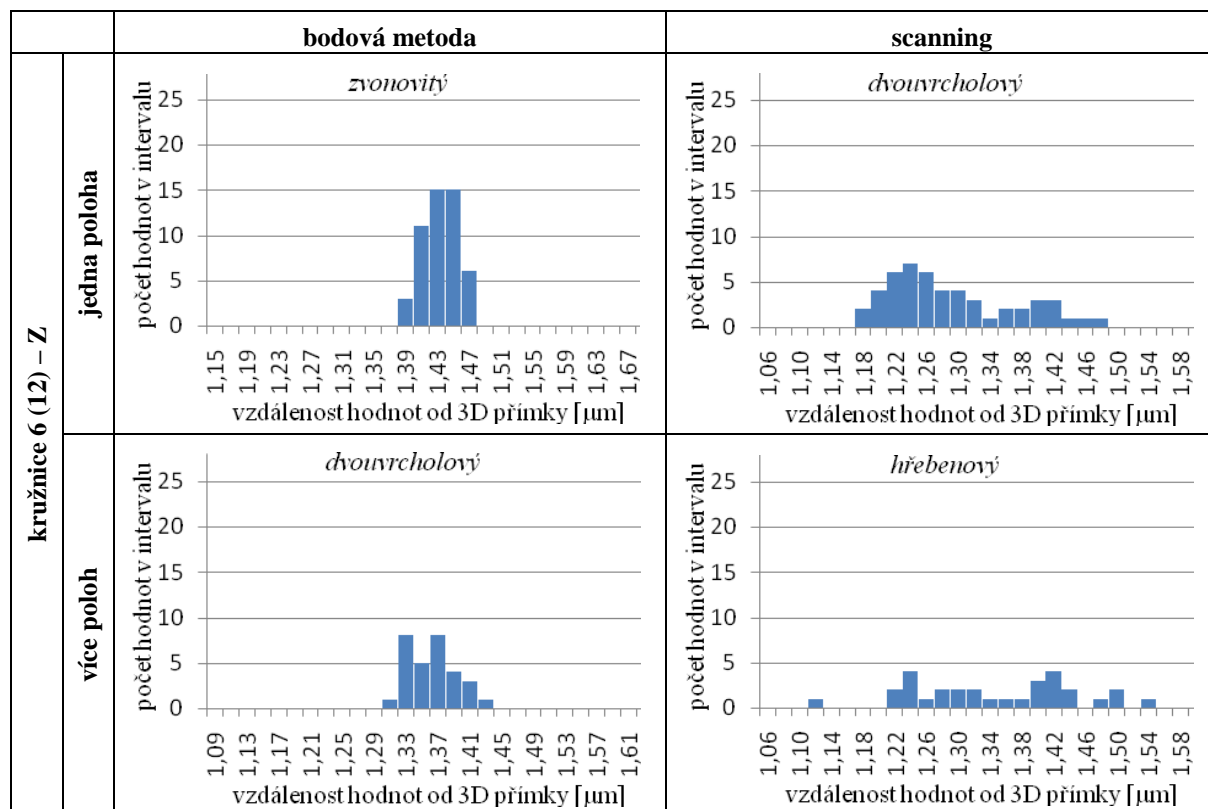
tab. 4-16: Spočítané hodnoty kružnice 6 (12)

		bodová metoda			scanning		
		průměr hodnot	rozpětí	výběrová směrodatná odchylka	průměr hodnot	rozpětí	výběrová směrodatná odchylka
		$\bar{X}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R$ [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\bar{X}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R$ [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]
kružnice 6 (12) – X	jedna poloha	0,93	0,08	0,020	0,80	0,14	0,035
	více poloh	0,93	0,20	0,048	0,89	0,32	0,081
kružnice 6 (12) – Z	jedna poloha	1,44	0,09	0,022	1,30	0,30	0,080
	více poloh	1,37	0,12	0,029	1,36	0,41	0,100

tab. 4-17: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 6 (12) – X



tab. 4-18: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 6 (12) – Z



V tab. 4-16 jsou uvedeny průměry naměřených hodnot, rozpětí a výběrové směrodatné odchylky. Dále jsou uvedeny histogramy jednotlivých variant měření pro kružnici 1, resp. 7, v tab. 4-17 pro osu X a v tab. 4-18 pro osu Z. U každého histogramu je uveden jeho tvar (pokud je definovatelný).

## 4.2 Měření sousosti

Sousost byla vyhodnocována v jedné poloze bodovou metodou, v jedné poloze scanningem, v různých polohách bodovou metodou a v různých polohách scanningem. Vyhodnocení se uskutečnilo dvojím způsobem. Jednou byla vyhodnocena sousost válce A k referenčnímu válci B, a podruhé sousost válce B k referenčnímu válci A. Celkem tedy bylo provedeno 8 vyhodnocení sousosti, kde byl spočítán průměr  $\bar{X}$  (1), rozpětí  $R$  (2) a výběrová směrodatná odchylka  $s_x$  (3) naměřených hodnot. V případě vyhodnocení sousosti v různých polohách ještě průměr průměrů  $\bar{\bar{X}}$  (4) a průměr rozpětí  $\bar{R}$  (5) jednotlivých poloh měření.

Použité vzorce:

- **průměr naměřených hodnot**

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

kde:  $\bar{X}$  je průměr souboru hodnot [mm]  
 $X_i$  soubor hodnot [mm]  
 $n$  počet hodnot souboru [-]

- **rozpětí naměřených hodnot**

$$R = MAX - MIN \quad (2)$$

kde:  $R$  je rozpětí souboru hodnot [ $\mu\text{m}$ ]  
 $MAX$  maximální hodnota ze souboru hodnot [ $\mu\text{m}$ ]  
 $MIN$  minimální hodnota ze souboru hodnot [ $\mu\text{m}$ ]

- **výběrová směrodatná odchylka souboru hodnot**

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (3)$$

kde:  $s_x$  je výběr. směrodatná odchylka souboru hodnot [mm]  
 $\bar{X}$  průměr souboru hodnot [mm]  
 $X_i$  soubor hodnot [mm]  
 $n$  počet hodnot souboru [-]

- **průměr průměrů naměřených hodnot**

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{X} \quad (4)$$

kde:  $\bar{\bar{X}}$  je průměr průměrů souboru hodnot [mm]  
 $\bar{X}$  průměr souboru hodnoty [mm]  
 $n$  počet hodnot souboru [-]

- **průměr rozpětí naměřených hodnot**

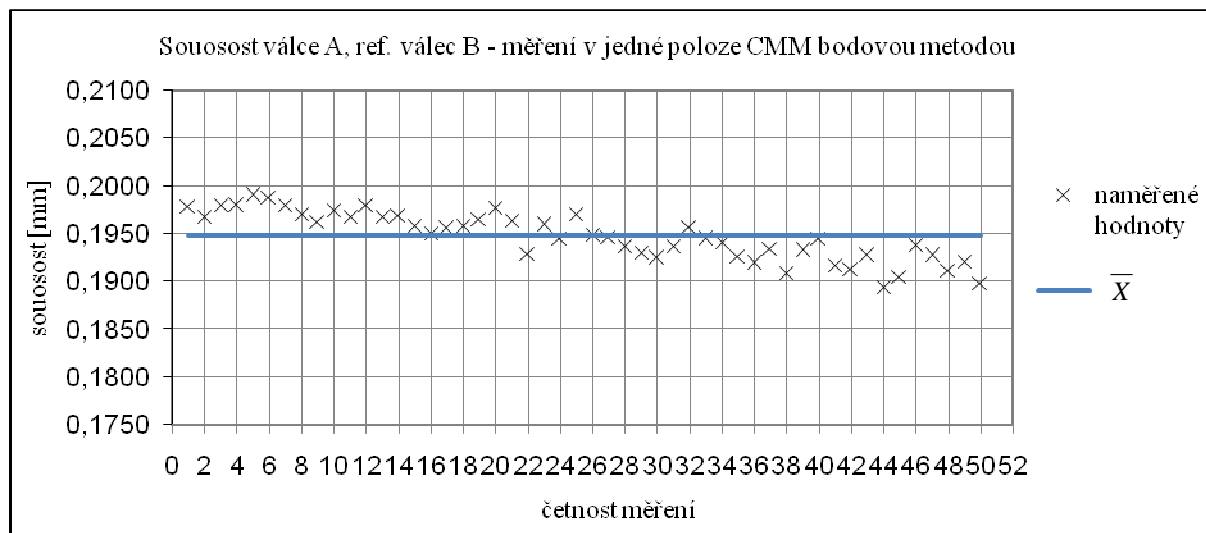
$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad (5)$$

kde:  $\bar{R}$  je průměr rozpětí souboru hodnot [mm]  
 $R_i$  rozpětí souboru hodnot [mm]  
 $n$  počet hodnot souboru [-]

#### 4.2.1 Souosost válce A, ref. válec B – měření v jedné poloze CMM bodovou metodou

tab. 4-19: Spočítané hodnoty

Souosost válce A, ref. válec B – měření v jedné poloze CMM bodovou metodou		
průměr hodnot [mm]	$\bar{X}$	0,1947
rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$R$	9,60
výběrová směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$	2,516



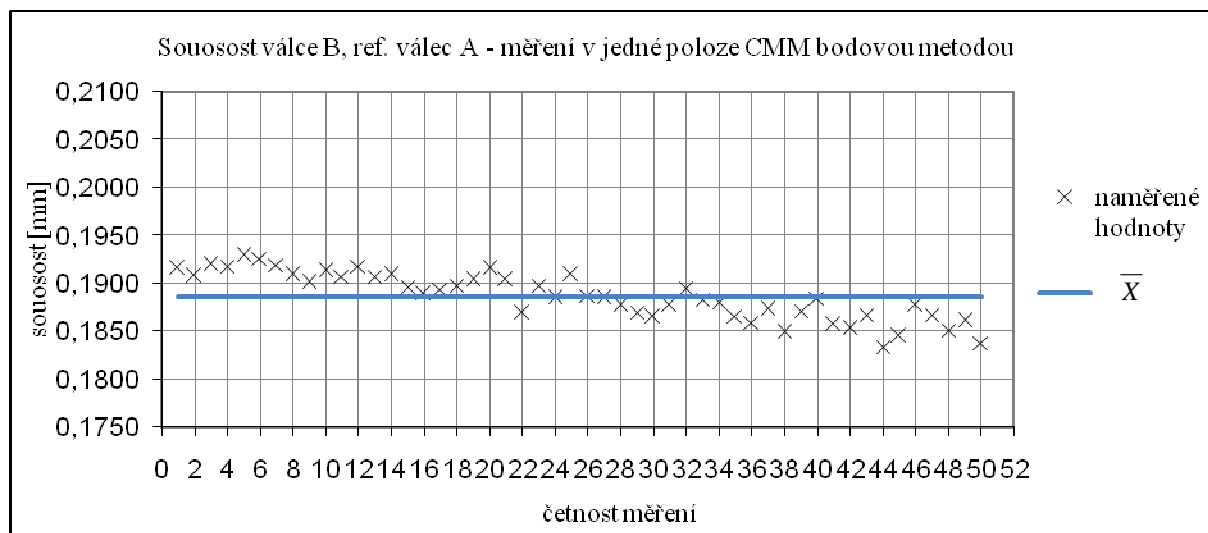
obr. 4-5: Graf naměřených hodnot

Při měření souososti válce A vzhledem k válci B při jedné poloze CMM bodovou metodou byl zjištěn průměr naměřených hodnot 0,1947 mm, rozpětí 9,60  $\mu\text{m}$  a výběrová směrodatná odchylka 2,516  $\mu\text{m}$

#### 4.2.2 Souosost válce B, ref. válec A – měření v jedné poloze CMM bodovou metodou

tab. 4-20: Spočítané hodnoty

Souosost válce B, ref. válec A – měření v jedné poloze CMM bodovou metodou		
průměr hodnot [mm]	$\bar{X}$	0,1887
rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$R$	9,50
výběrová směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$	2,474



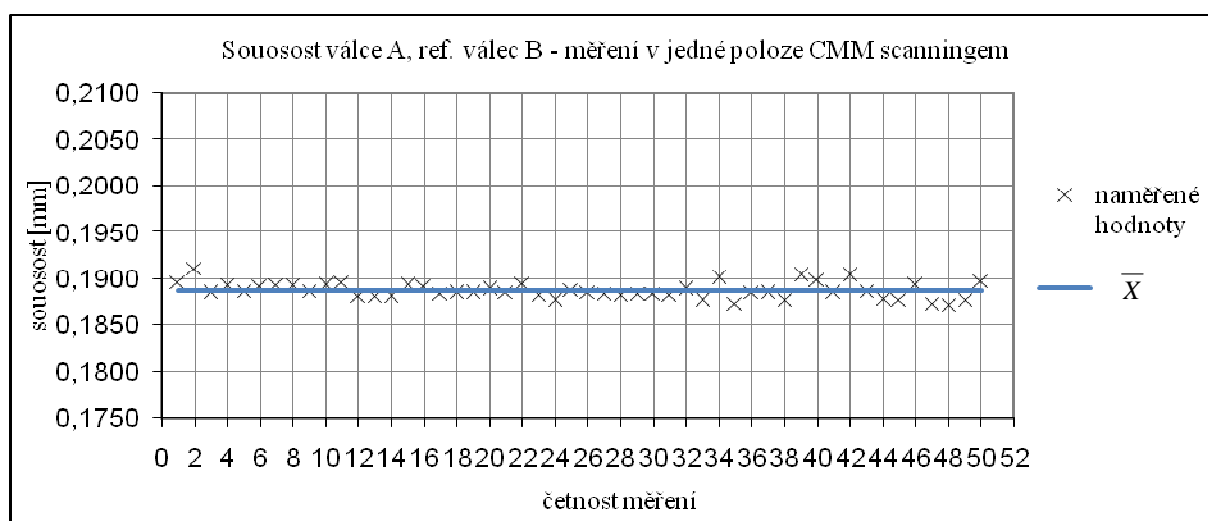
obr. 4-6: Graf naměřených hodnot

Při měření sousososti válce B vzhledem k válci A při jedné poloze CMM bodovou metodou byl zjištěn průměr naměřených hodnot 0,1887 mm, rozpětí 9,50  $\mu\text{m}$  a výběrová směrodatná odchylka 2,474  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.3 Souosost válce A, ref. válec B – měření v jedné poloze CMM scanningem

tab. 4-21: Spočítané hodnoty

Souosost válce A, ref. válec B – měření v jedné poloze CMM scanningem		
průměr hodnot [mm]	$\bar{X}$	0,1888
rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$R$	3,90
výběrová směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$	0,834



obr. 4-7: Graf naměřených hodnot

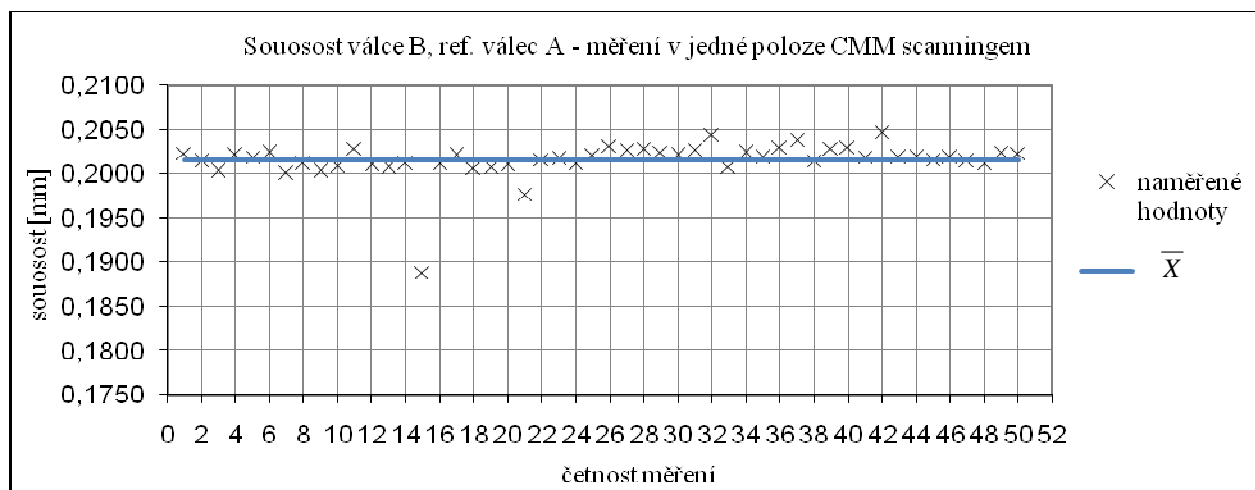


Při měření sousostnosti válce A vzhledem k válci B při jedné poloze CMM scanningem byl zjištěn průměr naměřených hodnot 0,1888 mm, rozpětí 3,90  $\mu\text{m}$  a výběrová směrodatná odchylka 0,834  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.4 Sousost válce B, ref. válec A – měření v jedné poloze CMM scanningem

tab. 4-22: Spočítané hodnoty

Sousost válce B, ref. válec A – měření v jedné poloze CMM scanningem		
průměr hodnot [mm]	$\bar{X}$	0,2016
rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$R$	15,90
výběrová směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$	2,178



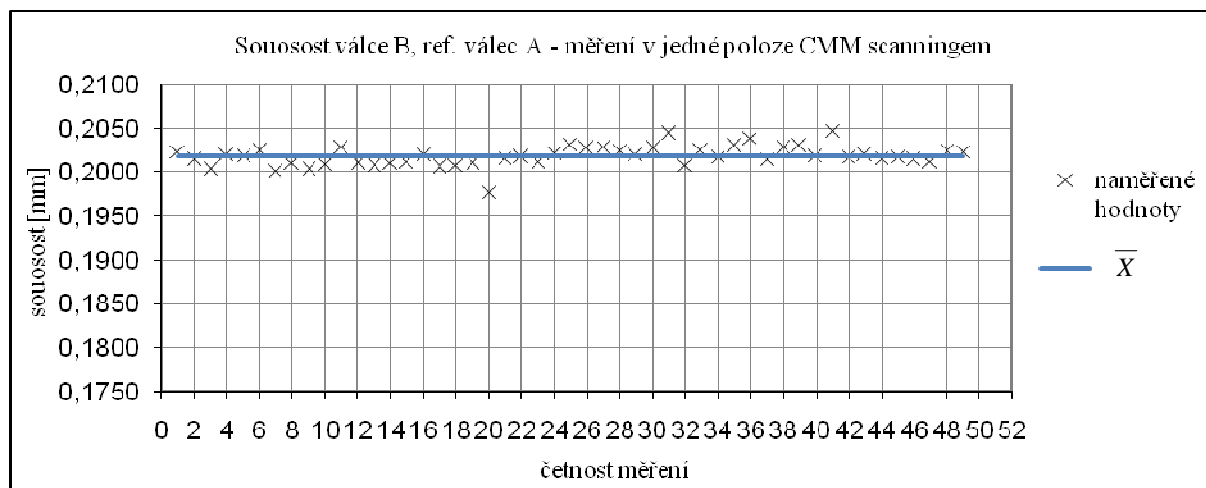
obr. 4-8: Graf naměřených hodnot

Při měření sousostnosti válce B vzhledem k válci A při jedné poloze CMM scanningem byl zjištěn průměr naměřených hodnot 0,2016 mm, rozpětí 15,90  $\mu\text{m}$  a výběrová směrodatná odchylka 2,178  $\mu\text{m}$ .

Naměřená hodnota z měření 15 je velmi odlišná oproti ostatním hodnotám, došlo tak pravděpodobně v důsledku nahodilé chyby. Jelikož by tato hodnota negativně ovlivnila vyhodnocení, musí být z měření vyloučena. Celkový počet měření v tomto případě bude 49. Díky této korekci se sledované hodnoty výrazně změnilly, jak je vidět v tab. 4-23 a obr. 4-9.

tab. 4-23: Spočítané hodnoty

Sousost válce B, ref. válec A – měření v jedné poloze CMM scanningem		
průměr hodnot [mm]	$\bar{X}$	0,2018
rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$R$	7,00
výběrová směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$	1,174



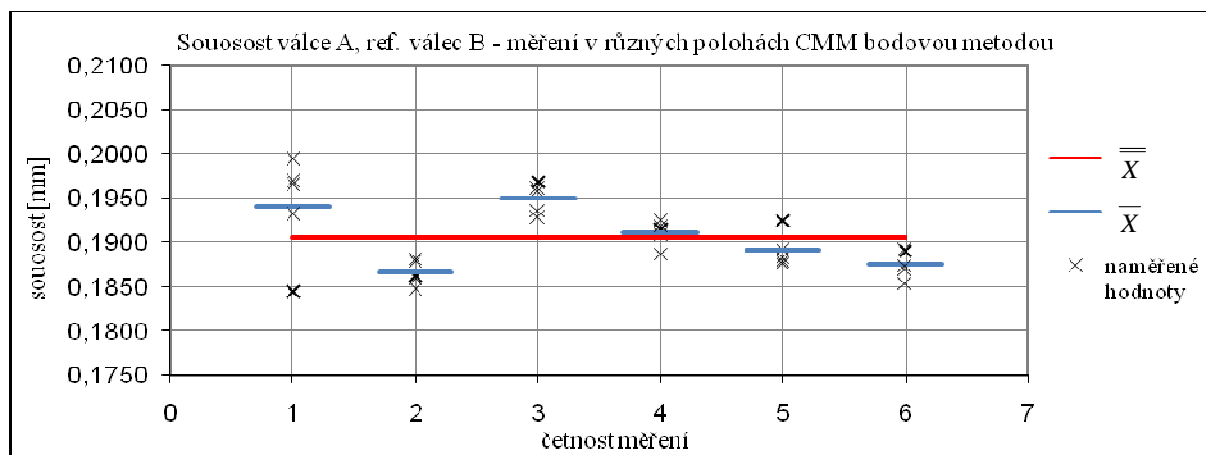
obr. 4-9: Graf naměřených hodnot

Průměr naměřených hodnot se s hodnotou 0,2018 mm prakticky nezměnil, ovšem rozpětí kleslo o více než polovinu na 7,00  $\mu\text{m}$  a výběrová směrodatná odchylka klesla také o polovinu na 1,174  $\mu\text{m}$ . Při vyhodnocování v kapitole 5 jsou použity hodnoty po korekci.

#### 4.2.5 Souosost válce A, ref. válec B – měření v různých polohách CMM bodovou metodou

tab. 4-24: Spočítané hodnoty

Souosost válce A, ref. válec B – měření v různých polohách CMM bodovou metodou		polohy					
		1	2	3	4	5	6
průměr hodnot [mm]	$\bar{X}$	0,1941	0,1866	0,1950	0,1912	0,1891	0,1876
průměr průměrů [mm]	$\overline{\bar{X}}$	0,1906					
rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$R$	14,90	3,50	4,10	3,90	4,80	3,90
průměr rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$\overline{R}$	5,85					
výběrová směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$	5,802	1,453	1,740	1,491	1,977	1,610



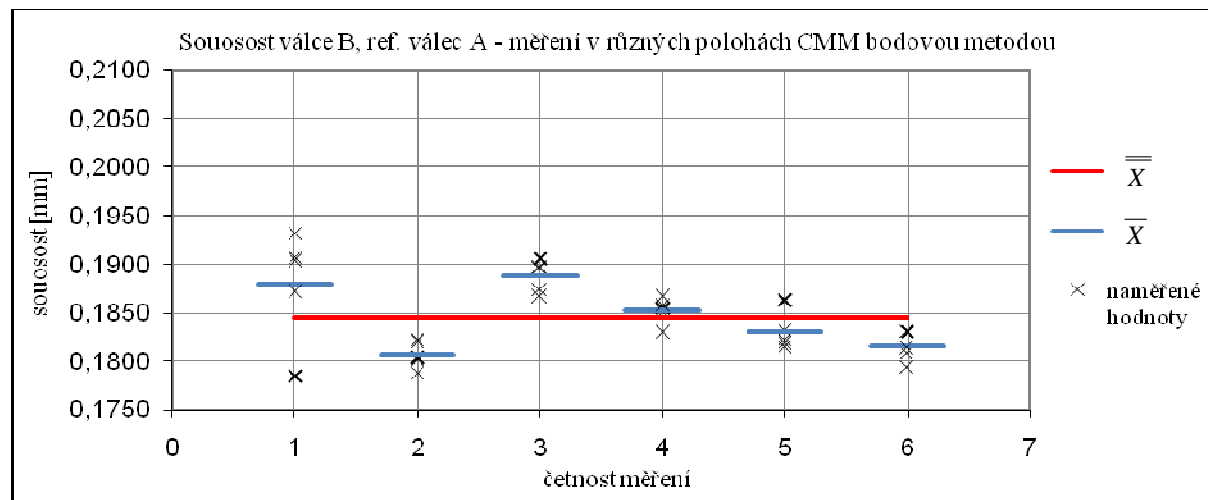
obr. 4-10: Graf naměřených hodnot

Měřením souososti válce A vzhledem k válci B v různých polohách CMM bodovou metodou byl zjištěn průměr průměrů naměřených hodnot z jednotlivých poloh 0,1906 mm. Průměr rozpětí z jednotlivých poloh měření vyšel 5,85  $\mu\text{m}$ . Výběrové směrodatné odchylky z jednotlivých poloh měření se pohybují od 1,453  $\mu\text{m}$  do 5,802  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.6 Souosost válce B, ref. válec A – měření v různých polohách CMM bodovou metodou

tab. 4-25: Spočítané hodnoty

Souosost válce B, ref. válec A – měření v různých polohách CMM bodovou metodou		polohy					
		1	2	3	4	5	6
průměr hodnot [mm]	$\bar{X}$	0,1880	0,1807	0,1888	0,1852	0,1830	0,1815
průměr průměrů [mm]	$\overline{\bar{X}}$	0,1845					
rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$R$	14,70	3,40	4,00	3,70	4,80	3,70
průměr rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$\bar{R}$	5,72					
výběrová směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$	5,716	1,392	1,695	1,390	1,953	1,550



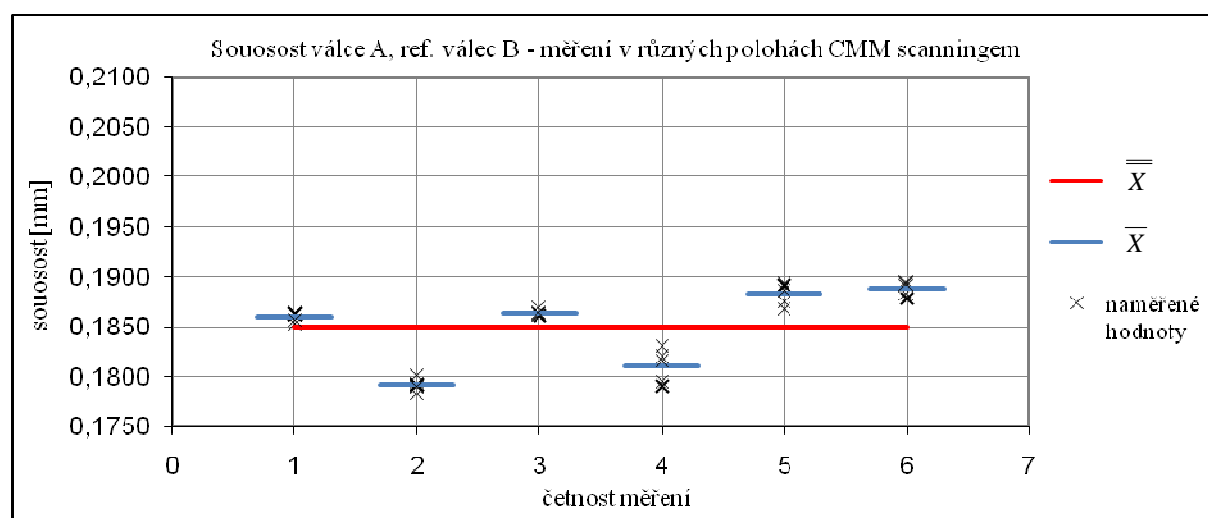
obr. 4-11: Graf naměřených hodnot

Měřením souososti válce B vzhledem k válci A v různých polohách CMM bodovou metodou byl zjištěn průměr průměrů naměřených hodnot z jednotlivých poloh 0,1845 mm. Průměr rozpětí z jednotlivých poloh měření vyšel 5,72  $\mu\text{m}$ . Výběrové směrodatné odchylky z jednotlivých poloh měření se pohybují od 1,390  $\mu\text{m}$  do 5,716  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.7 Souosost válce A, ref. válec B – měření v různých polohách CMM scanningem

tab. 4-26: Spočítané hodnoty

Souosost válce A, ref. válec B – měření v různých polohách CMM scanningem		polohy					
		1	2	3	4	5	6
průměr hodnot [mm]	$\bar{X}$	0,1860	0,1791	0,1864	0,1810	0,1882	0,1888
průměr průměrů [mm]	$\overline{\bar{X}}$	0,1849					
rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$R$	1,10	1,80	0,80	4,00	2,40	1,70
průměr rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$\overline{R}$	1,97					
výběrová směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$	0,456	0,643	0,329	1,691	1,050	0,723



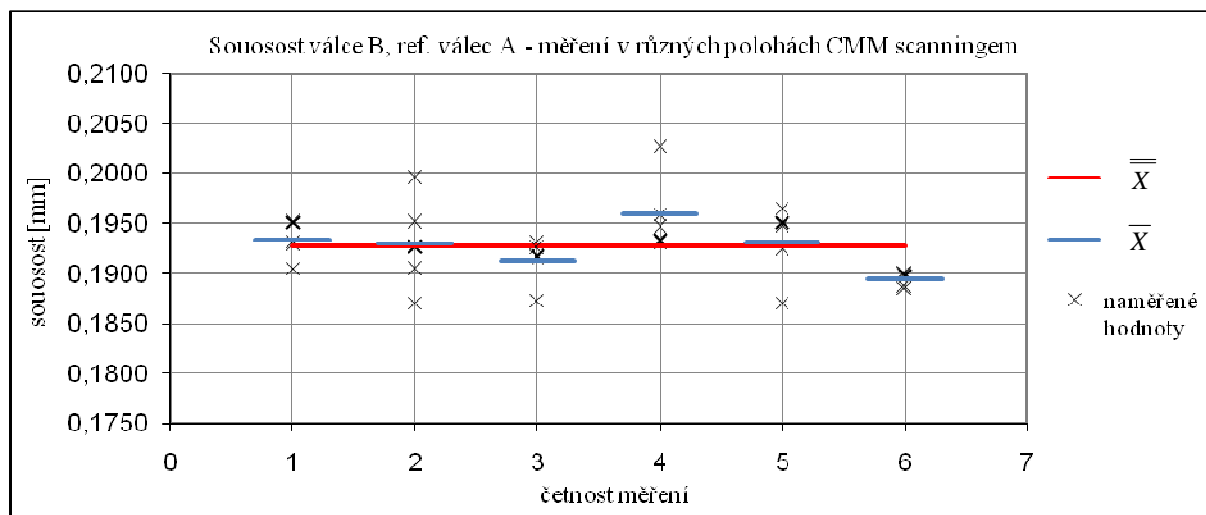
obr. 4-12: Graf naměřených hodnot

Měřením souososti válce A vzhledem k válci B v různých polohách CMM scanningem byl zjištěn průměr průměrů naměřených hodnot z jednotlivých poloh 0,1849 mm. Průměr rozpětí z jednotlivých poloh měření vyšel 1,97  $\mu\text{m}$ . Výběrové směrodatné odchylky z jednotlivých poloh měření se pohybují od 0,329  $\mu\text{m}$  do 1,691  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.8 Souosost válce B, ref. válec A – měření v různých polohách CMM scanningem

tab. 4-27: Spočítané hodnoty

Souosost válce B, ref. válec A – měření v různých polohách CMM scanningem		polohy					
		1	2	3	4	5	6
průměr hodnot [mm]	$\bar{X}$	0,1934	0,1929	0,1912	0,1959	0,1931	0,1894
průměr průměrů [mm]	$\overline{\bar{X}}$	0,1927					
rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$R$	4,60	12,50	5,70	9,60	9,50	1,60
průměr rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$\overline{R}$	7,25					
výběrová směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$	1,902	4,730	2,271	3,929	3,735	0,760



obr. 4-13: Graf naměřených hodnot

Měřením souososti válce B vzhledem k válci A v různých polohách CMM scanningem byl zjištěn průměr průměrů naměřených hodnot z jednotlivých poloh 0,1927 mm. Průměr rozpětí z jednotlivých poloh měření vyšel 7,25  $\mu\text{m}$ . Výběrové směrodatné odchylky z jednotlivých poloh měření se pohybují od 0,760  $\mu\text{m}$  do 4,730  $\mu\text{m}$ .

### 4.3 Minimální měřitelná hodnota souososti

Pro výpočet reálně měřitelné hodnoty souososti na výše uvedené součásti za zmíněných podmínek je v této diplomové práci zavedena tzv. minimální měřitelná hodnota souososti (MMHS). Při jejím výpočtu se vycházelo ze vzorce pro opakovatelnost  $C_g$  (6), která byla stanovena hodnotou 1,33, což je hodnota zaručující opakovatelnost měření. Z tohoto vztahu byla spočítána minimální výrobní tolerance  $T$  (6). Při výpočtu byly použity výběrové směrodatné odchylky z hodnot odchylek středů kružnic od 3D přímky, které byly spočítány v podkapitole 4.1. Minimální výrobní tolerance byly spočítány v souřadnicích X a Z v kružnicích 1(7) a 3(9), resp. 4(10) a 6(12). Minimální měřitelné hodnoty souososti v jednotlivých souřadnicích  $MMHS_{X,Z}$  byly získány proložením přímky skrz limitní hodnoty výrobních tolerancí v okrajových kružnicích daného válce a odečtením hodnoty souososti na protějším válci. Graficky to dobře znázorňují obr. 4-14 a 4-15. Výpočet je proveden přes vzorec (7). Výsledné MMHS (8) bylo dosaženo přepočítáním souřadnicových hodnot do prostoru.

MMHS byla vyhodnocena v jedné poloze bodovou metodou, v jedné poloze scanningem, v různých polohách bodovou metodou a v různých polohách scanningem, přičemž každé vyhodnocení se uskutečnilo dvojím způsobem. Jednou byla vyhodnocena souosost válce A k referenčnímu válci B a podruhé souosost válce B k referenčnímu válci A. Celkem tedy bylo

provedeno 8 vyhodnocení MMHS. Výpočet jednotlivých MMHS je proveden v oddílech 4.3.1 až 4.3.8.

Použité vzorce:

- **opakovatelnost** → **minimální výrobní tolerance při opakovatelnosti  $C_g$  1,33**

$$C_g = \frac{0,2 \times T}{6 \times s_x} \rightarrow T = \frac{6 \times C_g \times s_x}{0,2} = HMR - DMR \quad (6)$$

kde:	$C_g$	je opakovatelnost	[-]
	$T$	max. výrobní tolerance při $C_g$ 1,33	[ $\mu\text{m}$ ]
	$s_x$	výběr. směrodatná odchylka souboru hodnot	[ $\mu\text{m}$ ]
	$HMR$	horní mezní rozměr měřené hodnoty	[ $\mu\text{m}$ ]
	$DMR$	dolní mezní rozměr měřené hodnoty	[ $\mu\text{m}$ ]

- **minimální měřitelná hodnota sousosti v souřadnicích**

$$MMHS_{X,Z} = \frac{L \times \left( \frac{T_{1,4(7,10)}}{2} + \frac{T_{3,6(9,12)}}{2} \right)}{l_{A,B}} \quad (7)$$

kde:	$MMHS_{XZ}$	je minimální měřitelná hodnota sousosti v souřadnicích	[ $\mu\text{m}$ ]
	$L$	vzdálenost středů válců	[ $\mu\text{m}$ ]
	$T_{1,4(7,10)}$	průměry výr. tolerancí v daných kružnicích	[ $\mu\text{m}$ ]
	$T_{3,6(9,12)}$	průměry výr. tolerancí v daných kružnicích	[ $\mu\text{m}$ ]
	$l_{A,B}$	vzdálenost kružnic 1,3 (válec A), resp. 4,6 (válec B)	[ $\mu\text{m}$ ]

- **minimální měřitelná hodnota sousosti**

$$MMHS = \sqrt{MMHS_X^2 + MMHS_Z^2} \quad (8)$$

kde:	$MMHS$	je minimální měřitelná hodnota sousosti	[ $\mu\text{m}$ ]
	$MMHS_X$	minimální měřitelná hodnota sousosti v souřadnici X	[ $\mu\text{m}$ ]
	$MMHS_Z$	minimální měřitelná hodnota sousosti v souřadnici Z	[ $\mu\text{m}$ ]



#### 4.3.2 MMHS válce B, ref. válec A – měření v jedné poloze CMM bodovou metodou

tab. 4-29: Spočítané hodnoty

MMHS válce B, ref. válec A - měření v jedné poloze CMM bodovou metodou		výběrová směrodatná odchylka	tolerance	minimální měřitelné hodnoty sousosti			
		$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS_{x,z}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS_{x,z}$ [mm]	$MMHS$ [mm]
kružnice 4	X	0,022	0,87	23	34	0,023	0,034
kružnice 6	X	0,020	0,82				
kružnice 4	Z	0,024	0,96	25		0,025	
kružnice 6	Z	0,021	0,84				

Při měření sousosti válce B vzhledem k válci A v jedné poloze CMM bodovou metodou byla zjištěna minimální měřitelná hodnota sousosti v souřadnici X 0,023 mm, a v souřadnici Z 0,025 mm. Po přepočítání souřadnicových hodnot do prostoru vyšla reálná MMHS 0,034 mm.

#### 4.3.3 MMHS válce A, ref. válec B – měření v jedné poloze CMM scanningem

tab. 4-30: Spočítané hodnoty

MMHS válce A, ref. válec B - měření v jedné poloze CMM scanningem		výběrová směrodatná odchylka	tolerance	minimální měřitelné hodnoty sousosti			
		$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS_{x,z}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS_{x,z}$ [mm]	$MMHS$ [mm]
kružnice 7	X	0,075	2,99	58	103	0,058	0,103
kružnice 9	X	0,031	1,26				
kružnice 7	Z	0,074	2,97	85		0,085	
kružnice 9	Z	0,081	3,22				

Při měření sousosti válce A vzhledem k válci B v jedné poloze CMM scanningem byla zjištěna minimální měřitelná hodnota sousosti v souřadnici X 0,058 mm, a v souřadnici Z 0,085 mm. Po přepočítání souřadnicových hodnot do prostoru vyšla reálná MMHS 0,103 mm.



#### 4.3.4 MMHS válce B, ref. válec A – měření v jedné poloze CMM scanningem

tab. 4-31: Spočítané hodnoty

MMHS válce B, ref. válec A - měření v jedné poloze CMM scanningem		výběrová směrodatná odchylka	tolerance	minimální měřitelné hodnoty sousosti			
		$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS_{x,z}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS_{x,z}$ [mm]	$MMHS$ [mm]
kružnice 10	X	0,034	1,34	39	77	0,039	0,077
kružnice 12	X	0,038	1,53				
kružnice 10	Z	0,056	2,24	66		0,066	
kružnice 12	Z	0,064	2,54				

Při měření sousosti válce B vzhledem k válci A v jedné poloze CMM scanningem byla zjištěna minimální měřitelná hodnota sousosti v souřadnici X 0,039 mm, a v souřadnici Z 0,066 mm. Po přepočítání souřadnicových hodnot do prostoru vyšla reálná MMHS 0,077 mm.

#### 4.3.5 MMHS válce A, ref. válec B – měření v různých polohách CMM bodovou metodou

tab. 4-32: Spočítané hodnoty

MMHS válce A, ref. válec B - měření v různých polohách CMM bodovou metodou		výběrová směrodatná odchylka	tolerance	minimální měřitelné hodnoty sousosti			
		$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS_{x,z}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS_{x,z}$ [mm]	$MMHS$ [mm]
kružnice 1	X	0,054	2,16	52	66	0,052	0,066
kružnice 3	X	0,040	1,60				
kružnice 1	Z	0,040	1,59	41		0,041	
kružnice 3	Z	0,035	1,40				

Při měření sousosti válce A vzhledem k válci B v různých polohách CMM bodovou metodou byla zjištěna minimální měřitelná hodnota sousosti v souřadnici X 0,052 mm, a v souřadnici Z 0,041 mm. Po přepočítání souřadnicových hodnot do prostoru vyšla reálná MMHS 0,066 mm.

#### 4.3.6 MMHS válce B, ref. válec A – měření v různých polohách CMM bodovou metodou

tab. 4-33: Spočítané hodnoty

MMHS válce B, ref. válec A - měření v různých polohách CMM bodovou metodou		výběrová směrodatná odchylka	tolerance	minimální měřitelné hodnoty sousosti			
		$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS_{X,Z}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS_{X,Z}$ [mm]	$MMHS$ [mm]
kružnice 4	X	0,053	2,11	55	64	0,055	0,064
kružnice 6	X	0,048	1,91				
kružnice 4	Z	0,031	1,24	33		0,033	
kružnice 6	Z	0,029	1,15				

Při měření sousosti válce B vzhledem k válci A v různých polohách CMM bodovou metodou byla zjištěna minimální měřitelná hodnota sousosti v souřadnici X 0,055 mm, a v souřadnici Z 0,033 mm. Po přepočítání souřadnicových hodnot do prostoru vyšla reálná MMHS 0,064 mm.

#### 4.3.7 MMHS válce A, ref. válec B – měření v různých polohách CMM scanningem

tab. 4-34: Spočítané hodnoty

MMHS válce A, ref. válec B - měření v různých polohách CMM scanningem		výběrová směrodatná odchylka	tolerance	minimální měřitelné hodnoty sousosti			
		$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS_{X,Z}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS_{X,Z}$ [mm]	$MMHS$ [mm]
kružnice 7	X	0,086	3,44	110	141	0,110	0,141
kružnice 9	X	0,114	4,53				
kružnice 7	Z	0,087	3,48	89		0,089	
kružnice 9	Z	0,075	2,98				

Při měření sousosti válce A vzhledem k válci B v různých polohách CMM scanningem byla zjištěna minimální měřitelná hodnota sousosti v souřadnici X 0,110 mm, a v souřadnici Z 0,089 mm. Po přepočítání souřadnicových hodnot do prostoru vyšla reálná MMHS 0,141 mm.

#### 4.3.8 MMHS válce B, ref. válec A – měření v různých polohách CMM scanningem

tab. 4-35: Spočítané hodnoty

MMHS válce B, ref. válec A - měření v různých polohách CMM scanningem		výběrová směrodatná odchylka	tolerance	minimální měřitelné hodnoty sousosti			
				$s_x$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS_{x,z}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$MMHS$ [ $\mu\text{m}$ ]
kružnice 10	X	0,086	3,42	92	161	0,092	0,161
kružnice 12	X	0,081	3,25				
kružnice 10	Z	0,140	5,59	132		0,132	
kružnice 12	Z	0,100	4,00				

Při měření sousosti válce B vzhledem k válci A v různých polohách CMM scanningem byla zjištěna minimální měřitelná hodnota sousosti v souřadnici X 0,092 mm, a v souřadnici Z 0,132 mm. Po přepočítání souřadnicových hodnot do prostoru vyšla reálná MMHS 0,161 mm.

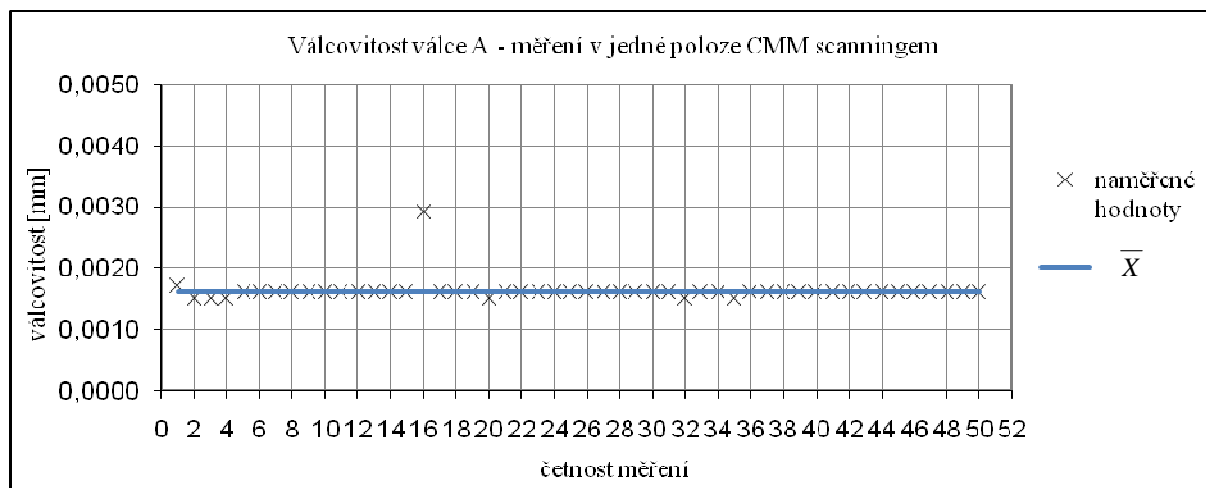
#### 4.4 Měření válcovitosti

Válcovitost byla vyhodnocována v jedné poloze scanningem a v různých polohách scanningem. Vyhodnocení se uskutečnilo stejně jako u sousosti dvojitým způsobem. Jednou byla vyhodnocena sousost válce A k referenčnímu válci B, a podruhé sousost válce B k referenčnímu válci A. Celkem tedy byly provedeny 4 vyhodnocení válcovitosti, kde byl spočítán průměr  $\bar{X}$  (1), rozpětí  $R$  (2) a výběrová směrodatná odchylka  $s_x$  (3) naměřených hodnot. V případě vyhodnocení sousosti v různých polohách ještě průměr průměrů  $\overline{\bar{X}}$  (4) a průměr rozpětí  $\overline{R}$  (5) jednotlivých poloh měření.

##### 4.4.1 Válcovitost válce A – měření v jedné poloze CMM scanningem

tab. 4-36: Spočítané hodnoty

Válcovitost válce A – měření v jedné poloze CMM scanningem		
průměr hodnot [mm]	$\bar{X}$	0,0016
rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$R$	1,40
výběrová směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$	0,189



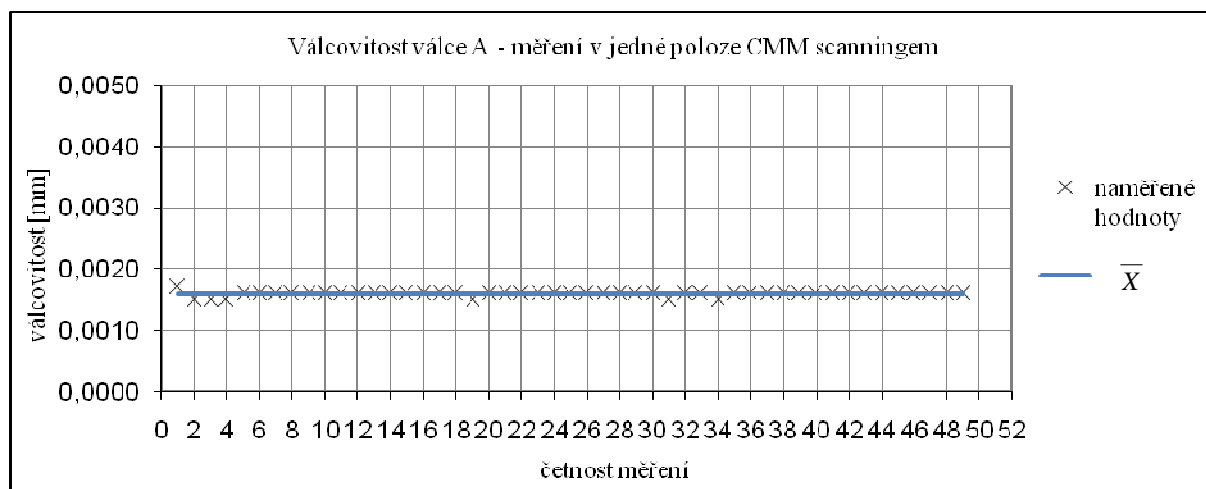
obr. 4-16: Graf naměřených hodnot

Při měření válcovitosti válce A při jedné poloze CMM scanningem byl zjištěn průměr naměřených hodnot 0,0016 mm, rozpětí 1,40  $\mu\text{m}$  a výběrová směrodatná odchylka 0,189  $\mu\text{m}$ .

Naměřená hodnota z měření 16 je velmi odlišná ve srovnání s ostatními hodnotami. Došlo pravděpodobně k nahodilé chybě při měření. Jelikož by tato hodnota negativně ovlivňovala vyhodnocení, musí být z měření vyloučena. Celkový počet měření v tomto případě bude 49. Díky této korekci došlo ve sledovaných hodnotách ke značným změnám, jak je vidět v tab. 4-38 a obr. 4-18.

tab. 4-37: Spočítané hodnoty

Válcovitost válce A – měření v jedné poloze CMM scanningem		
průměr hodnot [mm]	$\bar{X}$	0,0016
rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$R$	0,20
výběrová směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$	0,037



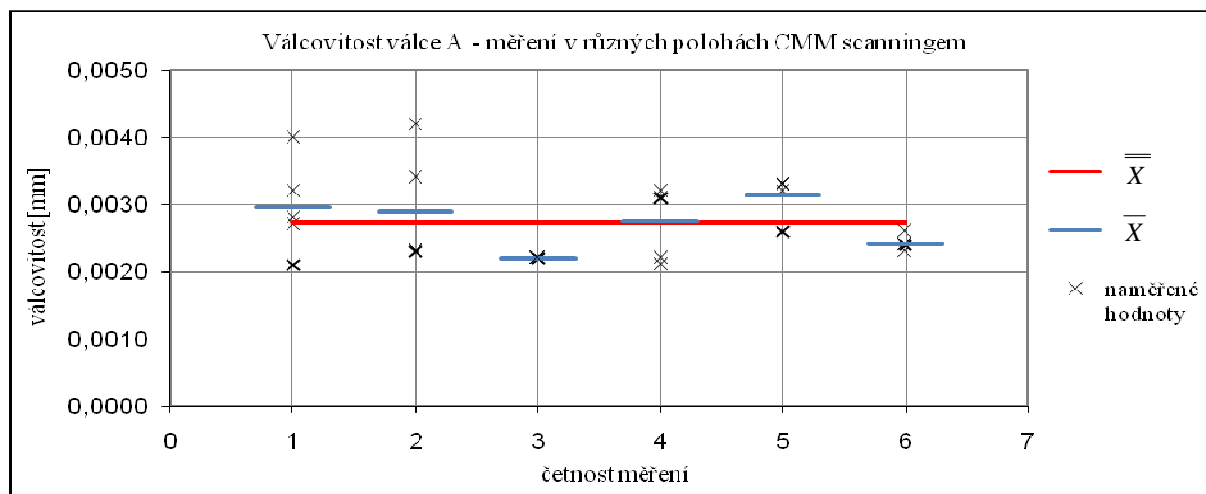
obr. 4-17: Graf naměřených hodnot

Průměr naměřených hodnot se nezměnil a zůstal na hodnotě 0,0016 mm, ovšem rozpětí dramaticky pokleslo na hodnotu 0,20 μm, stejně tak výběrová směrodatná odchylka klesla na 0,037 μm. Při vyhodnocování v kapitole 5 jsou použity hodnoty po korekci.

#### 4.4.2 Válcovitost válce A – měření v různých polohách CMM scanningem

tab. 4-38: Spočítané hodnoty

Válcovitost válce A – měření v různých polohách CMM scanningem		polohy					
		1	2	3	4	5	6
průměr hodnot [mm]	$\bar{X}$	0,0030	0,0029	0,0022	0,0027	0,0031	0,0024
průměr průměrů [mm]	$\bar{\bar{X}}$	0,0027					
rozpětí [μm]	$R$	1,90	1,90	0,00	1,10	0,70	0,30
průměr rozpětí [μm]	$\bar{R}$	0,98					
výběrová směrodatná odchylka [μm]	$s_x$	0,702	0,869	0,000	0,541	0,305	0,110



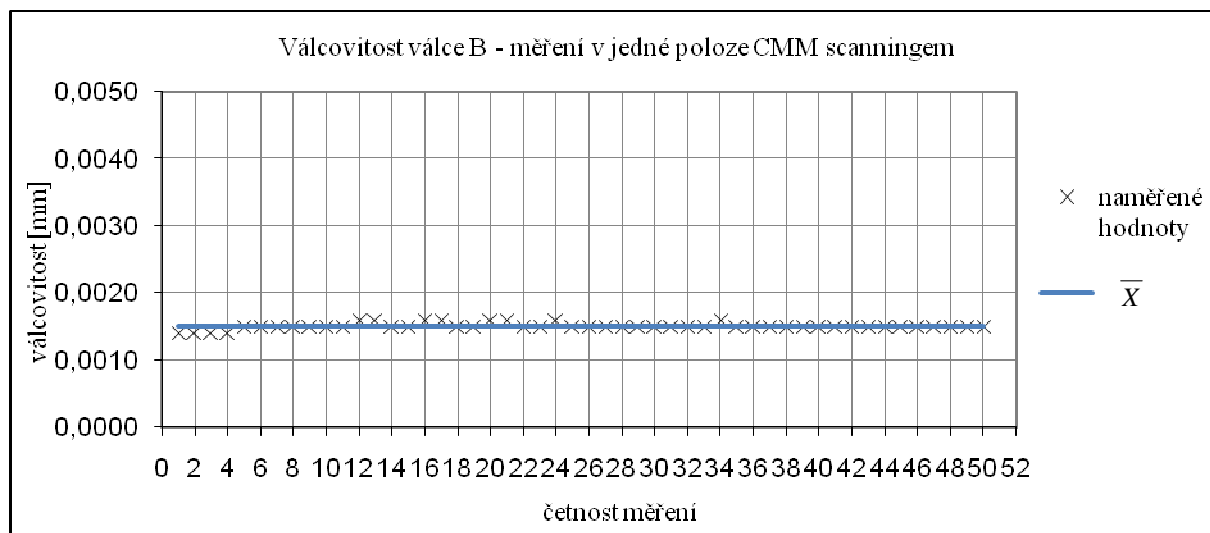
Obr. 4-18: Graf naměřených hodnot

Měřením válcovitosti válce A v různých polohách CMM scanningem byl zjištěn průměr průměrů naměřených hodnot z jednotlivých poloh 0,0027 mm. Průměr rozpětí z jednotlivých poloh měření vyšel 0,98 μm. Výběrové směrodatné odchylky z jednotlivých poloh měření se pohybují od 0,000 μm do 0,869 μm.

#### 4.4.3 Válcovitost válce B – měření v jedné poloze CMM scanningem

tab. 4-39: Spočítané hodnoty

Válcovitost válce B – měření v jedné poloze CMM scanningem		
průměr hodnot [mm]	$\bar{X}$	0,0015
rozpětí [μm]	$R$	0,20
výběrová směrodatná odchylka [μm]	$s_x$	0,049



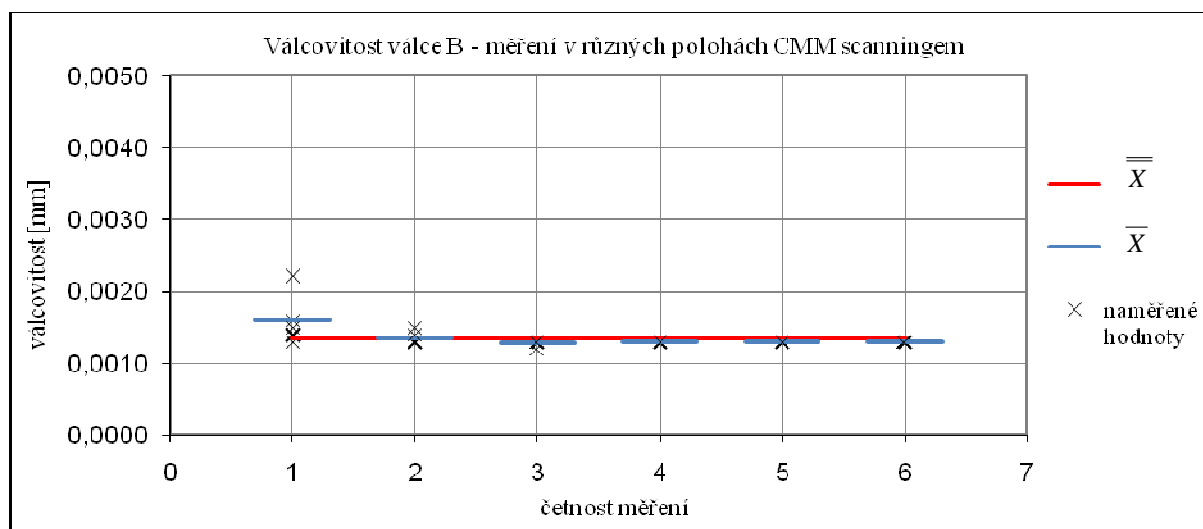
obr. 4-19: Graf naměřených hodnot

Při měření válcovitosti válce B v jedné poloze CMM scanningem byl zjištěn průměr naměřených hodnot 0,0015 mm, rozpětí 0,20  $\mu\text{m}$  a výběrová směrodatná odchylka 0,049  $\mu\text{m}$ .

#### 4.4.4 Válcovitost válce B – měření v různých polohách CMM scanningem

tab. 4-40: Spočítané hodnoty

Válcovitost válce B – měření v různých polohách CMM scanningem		polohy					
		1	2	3	4	5	6
průměr hodnot [mm]	$\bar{X}$	0,0016	0,0014	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013
průměr průměrů [mm]	$\overline{\bar{X}}$	0,0014					
rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$R$	0,90	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00
průměr rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$\overline{R}$	0,20					
výběrová směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$	0,354	0,089	0,045	0,000	0,000	0,000



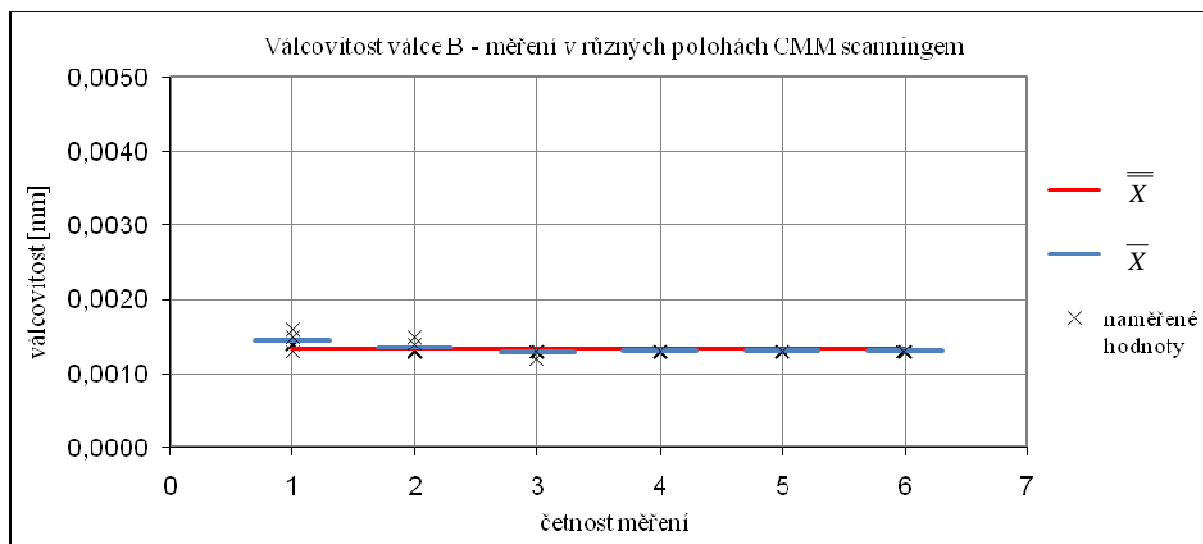
obr. 4-20: Graf naměřených hodnot

Měřením válcovitosti válce B v různých polohách CMM scanningem byl zjištěn průměr průměrů naměřených hodnot z jednotlivých poloh 0,0014 mm. Průměr rozpětí z jednotlivých poloh měření vyšel 0,20  $\mu\text{m}$ . Výběrové směrodatné odchyly z jednotlivých poloh měření se pohybují od 0,000  $\mu\text{m}$  do 0,354  $\mu\text{m}$ .

Jedna z naměřených hodnot v *poloze 1* je velmi odlišná ve srovnání s ostatními hodnotami. Došlo pravděpodobně k nahodilé chybě při měření. Jelikož by tato hodnota negativně ovlivňovala vyhodnocení, musí být z měření vyloučena. Počet měření v *poloze 1* je 4, celkový počet měření pak 29. Díky této korekci došlo ve sledovaných hodnotách ke značným změnám, jak je vidět v *tab. 4-42* a *obr. 4-22*.

tab. 4-41: Spočítané hodnoty

Válcovitost válce B – měření v různých polohách CMM scanningem		polohy					
		1	2	3	4	5	6
průměr hodnot [mm]	$\bar{\bar{X}}$	0,0015	0,0014	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013
průměr průměrů [mm]	$\bar{X}$	0,0013					
rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$R$	0,30	0,20	0,10	0,00	0,00	0,00
průměr rozpětí [ $\mu\text{m}$ ]	$\bar{R}$	0,10					
výběrová směrodatná odchylka [ $\mu\text{m}$ ]	$s_x$	0,129	0,089	0,045	0,000	0,000	0,000



obr. 4-21: Graf naměřených hodnot

Průměr průměrů naměřených hodnot se nepatrně změnil na hodnotu 0,0013 mm, ovšem průměr rozpětí naměřených hodnot klesl o polovinu na hodnotu 0,10  $\mu\text{m}$ , výběrová směrodatná odchylka v *poloze 1* klesla prakticky o třetinu na 0,129  $\mu\text{m}$ . Při vyhodnocování v kapitole 5 jsou použity hodnoty po korekci.

## 5. Zhodnocení, závěr

### 5.1 Interpretace naměřených výsledků, porovnání s teoretickými předpoklady

V této kapitole jsou naměřené a vyhodnocené výsledky porovnány s teoretickými předpoklady. Na základě tohoto porovnání jsou vyzdvíženy extrémy, kterých bylo při měření dosaženo. Dále je zde uvedeno doporučení pro zapisování minimálních měřitelných hodnot souosostí pro tuto součást za daných podmínek. Následující podkapitoly a oddíly logicky navazují na podkapitoly a oddíly z kapitoly 4.

#### 5.1.1 Zhodnocení odchylek středů kružnic od 3D přímky

Vyhodnocení odchylek polohy středů kružnic od 3D přímky probíhalo formou histogramů. Největší stabilita odchylek (nejmenší počet intervalů) se dá očekávat u vyhodnocení v jedné poloze bodovou metodou. Zde se budou vyskytovat pravděpodobně histogramy zvonovitého tvaru při normálním rozdělení. O něco menší stabilita odchylek bude u *bodové metody v různých polohách*, kde bude zanesena určitá chyba různými polohami. Lze teoreticky předpokládat zvonovitý tvar histogramu, ovšem o něco plošší. Menší stabilita odchylek se dá čekat u *scanningu v jedné poloze*, protože scanning sejme podstatně více bodů, tedy i více odlišných hodnot. Nejmenší stabilita odchylek pak bude u *scanningu v různých polohách*, kde se projeví zanesená chyba přeupínáním součásti. Zde pak bude tvar histogramů převážně plochého tvaru.

Největší stability odchylek bylo dosaženo dle očekávání v *jedné poloze bodovou metodou*. Ve všech případech byl tvar histogramu zvonovitý. Zvonovitý tvar byl naznačen i v těch případech, kdy pro věrohodné vyhodnocení nebyl dostatek sloupců v histogramu. Rozpětí naměřených hodnot v tomto případě bylo od 0,08  $\mu\text{m}$ . Jen o málo horší stabilita odchylek byla zjištěna u *bodové metody ve více polohách*. Vyskytoval se převážně zvonovitý tvar histogramů, dále pak hřebenový a dvouvrcholový. Zvonovitý tvar byl naznačen i v jednom případě, kdy nelze věrohodně stanovit typ z důvodu malého počtu sloupců. U *scanningu v jedné poloze* byla odchylka středů kružnic dle předpokladů o něco větší. Tvary histogramů byly převážně zvonovité. V poslední variantě u *scanningu v různých polohách* byla stabilita odchylek nejmenší. Zde se vyskytují dle očekávání především ploché histogramy. Rozpětí naměřených hodnot v tomto případě je až 0,54  $\mu\text{m}$ .



Z jednotlivých variant a jejich vyhodnocení histogramy lze v řadě případů najít souvislost, ovšem ne ve všech případech. Hodnota intervalu  $0,02 \mu\text{m}$  není ideální pro všechny histogramy, je to ale prakticky jediná možná hodnota, která umožňuje porovnání všech histogramů, nebo alespoň většiny z nich. Hodnoty jsou ovšem značně rozdílné, a to přináší extrémní. Na straně jedné je tu u některých histogramů malý počet sloupců, a na straně druhé se objevují histogramy velmi plochého typu. Z obou případů lze jen těžko věrohodně určit jejich tvar. Přes všechny tyto nedostatky je nutné zmínit, že hodnota intervalu  $0,02 \mu\text{m}$  je velmi malá. Pokud se vezme v úvahu maximální dovolenou délkovou chybu měřicího stroje  $u=2,0+L/350 [\mu\text{m}]$ , tak se dá říci, že hodnoty vyjádřené histogramy jsou velmi přesné a jejich rozdíly zanedbatelné.

### 5.1.2 Zhodnocení sousosti

Zhodnocení sousosti bylo provedeno zvlášť pro měření sousosti válce *A* k referenčnímu válci *B* (*A ref. B*) a válce *B* k referenčnímu válci *A* (*B ref. A*). U obou variant byly porovnány hodnoty z měření sousosti válců v *jedné poloze CMM bodovou metodou*, v *jedné poloze CMM scanningem*, ve *více polohách CMM bodovou metodou* a ve *více polohách CMM scanningem*.

Porovnávání hodnot z měření sousosti *A ref. B* a *B ref. A* mezi sebou nemá význam, není mezi nimi žádný vztah. V tomto případě součást představuje hliníkový profil s dvěma nalepenými ložiskovými kroužky a rozdíl sousostí je dán tím, jak přesně se tyto dva ložiskové kroužky podařilo nalepit. Význam by to mělo v případě, pokud by byly měřeny dva válce vyrobené při stejné technologické operaci. Pak by sousosti v porovnání *A ref. B* a *B ref. A* měly být za předpokladu stejné metody a stejného počtu poloh měření na CMM teoreticky identické. Rozdíl sousostí by pak byl dán například změnou vyložení nástroje.

Výsledky sousosti z *jedné polohy* se dají očekávat přesnější než výsledky z *více poloh* měření na CMM. Při měření ve více polohách se díky přeupínání přípravku s měřenou součástí zanáší určitá nepřesnost. Přesnější výsledky sousosti se proto dají očekávat z měření v *jedné poloze*, stejně jako v oddílu 5.1.1.

Porovnání metod snímání jednotlivých hodnot *bodově* nebo *scanningem* se dají očekávat věrohodnější výsledky *scanningem*, jelikož bodová metoda není schopna zachytit všechny extrémní hodnoty. V případě vyhodnocení metodou nejmenších čtverců ovšem není jednoznačné, jaká metoda bude vykazovat lepší výsledky.

V následujících tabulkách (tab. 5-1 a 5-2) je souhrn naměřených hodnot souosostí v jedné poloze CMM bodovou metodou, v jedné poloze CMM scanningem, ve více polohách CMM bodovou metodou a ve více polohách CMM scanningem. Pro každou variantu jsou uvedeny průměry, rozpětí a výběrové směrodatné odchylky naměřených hodnot. V případě měření ve více polohách CMM jsou uvedeny ještě průměry průměrů a průměry rozpětí naměřených hodnot souosostí.

tab. 5-1: Porovnání naměřených hodnot souosostí A ref. B

Vyhodnocení výsledků měření souosostí				bodová metoda			scanning			
				jedna poloha	různé polohy		jedna poloha	různé polohy		
A ref. B	průměr hodnot / průměr průměrů hodnot [mm]	polohy	1	$\bar{x} / \bar{X}$	0,1947	0,1906	0,1888	1	0,1849	
			2					0,1941		0,1860
			3					0,1866		<b>0,1791</b>
			4					0,1950		0,1864
			5					0,1912		0,1810
			6					0,1891		0,1882
	rozpětí hodnot / průměr rozpětí hodnot [μm]	polohy	1	$R / \bar{R}$	9,60	5,85	3,90	1	1,97	
			2					<b>14,90</b>		1,10
			3					3,50		1,80
			4					4,10		<b>0,80</b>
			5					3,90		4,00
			6					4,80		2,40
	výběrová směrodatná odchylka [μm]	polohy	1	$s_x$	2,516	0,834	0,834	1	0,456	
			2					<b>5,802</b>	0,643	
			3					1,453	<b>0,329</b>	
			4					1,740	1,691	
			5					1,491	1,050	
			6					1,977	0,723	
		6								

Při porovnání výsledků (měření souosostí A ref. B viz tab. 5-1) z měření bodovou metodou a scanningem byly výsledky následující: V případě porovnání hodnot z jedné polohy CMM vyšly všechny hodnoty nižší ve prospěch scanningu oproti bodové metodě. A to jak pro průměr, tak pro rozpětí a výběrovou směrodatnou odchylku naměřených hodnot. Stejně tak při porovnání hodnot z více poloh CMM vyšla většina hodnot nižší u scannovací metody, případně vyšly velmi podobně.

Pokud budou porovnávány naměřené hodnoty z jedné polohy a z různých poloh měření na CMM, tak se teoretický předpoklad nepotvrdil. Při porovnání naměřených hodnot u bodové metody vyšly, až na výjimky, nižší hodnoty ve prospěch různých poloh měření, nikoli ve prospěch jedné polohy. Rovněž tomu je tak i u scanningu, zde je také většina naměřených hodnot nižší z měření v různých polohách CMM.

tab. 5-2: Porovnání naměřených hodnot souosostí B ref. A

Vyhodnocení výsledků měření souosostí				bodová metoda			scanning		
				jedna poloha	různé polohy		jedna poloha	různé polohy	
B ref. A	průměr hodnot / průměr průměrů [mm]	polohy	1	0,1887	0,1880	0,1845	0,2018	0,1934	0,1927
			2		0,1807			0,1929	
			3		0,1888			0,1912	
			4		0,1852			0,1959	
			5		0,1830			0,1931	
			6		0,1815			0,1894	
	rozpětí hodnot / průměr rozpětí hodnot [μm]	polohy	1	9,50	14,70	5,72	7,00	4,60	7,25
			2		3,40			12,50	
			3		4,00			5,70	
			4		3,70			9,60	
			5		4,80			9,50	
			6		3,70			1,60	
	výběrová směrodatná odchylka [μm]	polohy	1	2,474	5,716	1,174	1,902		
			2		1,392		4,730		
			3		1,695		2,271		
			4		1,390		3,929		
			5		1,953		3,735		
			6		1,550		0,760		

Při porovnání výsledků (měření souosostí B ref. A viz tab. 5-2) z měření *bodovou metodou* a *scanningem* byly výsledky následující: V případě porovnání hodnot z jedné polohy CMM byly naměřené hodnoty nižší bodovou metodou. To ovšem neplatí u rozpětí naměřených hodnot, zde hodnoty vyšly naopak. Stejně tak tomu bylo u výběrových směrodatných odchylek. V případě porovnání hodnot z různých poloh CMM vyšly nižší hodnoty ve prospěch bodové metody. Taktéž tomu bylo u průměrů rozpětí naměřených hodnot a ve většině případů i u výběrových směrodatných odchylek.

Podobně jako v tab. 5-1 se u naměřených hodnot z *jedné polohy* a z *různých poloh* měření na CMM teoretický předpoklad nepotvrdil. Ve většině případů při porovnání naměřených hodnot u bodové metody vyšly nižší hodnoty ve prospěch různých poloh měření. Podobně je tomu u scanningu, zde jsou také průměry hodnot souosostí a hodnoty rozpětí nižší z měření v různých polohách CMM, pouze u výběrových směrodatných odchylek je tomu převážně naopak.

Důvodů, proč některé hodnoty souosostí vyšly nižší z bodové metody resp. ze scanningu, může být více. Jednak je to způsobeno povahou vyhodnocování (v případě metody nejmenších čtverců nelze jednoznačně říci, která hodnota bude menší, a která nikoli), jednak

to může být způsobeno nepřesnostmi při měření. V případě porovnání měření sousosti v jedné poloze a v různých polohách se teoretický předpoklad nepotvrdil. Proč tomu tak bylo, může být předmětem dalšího zkoumání.

V tab. 5-1 a 5-2 jsou zvýrazněny extrémní hodnoty, kterých bylo dosaženo při měření. Hodnoty ze všech průměrů sousostí se pohybují od **0,1791 mm** do **0,2018 mm**. Ovšem minimální resp. maximální naměřená hodnota sousosti ze všech měření v různých variantách je **0,1783 mm** resp. **0,2047 mm**. Minimální hodnota rozpětí z jednotlivých variant měření byla spočítána z naměřených hodnot sousosti a je **0,80 μm**, naopak maximální hodnota vyšla **14,90 μm**. Stejně tak minimální hodnota výběrové směrodatné odchylky vyšla **0,329 μm** a její maximální hodnota **5,802 μm**.

### 5.1.3 Zhodnocení minimální měřitelné hodnoty sousosti

V podkapitole 4.3 byl proveden výpočet minimální měřitelné hodnoty sousosti z naměřených hodnot. V následující tabulce jsou shrnuty jednotlivé výsledky. K těmto výsledkům je spočítán faktor 10, neboli hodnota udávající minimální měřitelnou hodnotu sousosti, při které bude měřidlo o řád přesnější než měřený rozměr.

tab. 5-3: Porovnání naměřených hodnot MMHS

Minimální měřitelné hodnoty sousosti (MMHS)			v souřadnicích	v prostoru	faktor 10
			[mm]	[mm]	[mm]
MMHS válce A, reference válec B - měření v jedné poloze CMM bodovou metodou	kružnice 1	X	0,023	0,029	0,29
	kružnice 3	X			
	kružnice 1	Z	0,017		
	kružnice 3	Z			
MMHS válce B, reference válec A - měření v jedné poloze CMM bodovou metodou	kružnice 4	X	0,023	0,034	0,34
	kružnice 6	X			
	kružnice 4	Z	0,025		
	kružnice 6	Z			
MMHS válce A, reference válec B - měření v jedné poloze CMM scanningem	kružnice 7	X	0,058	0,103	1,03
	kružnice 9	X			
	kružnice 7	Z	0,085		
	kružnice 9	Z			
MMHS válce B, reference válec A - měření v jedné poloze CMM scanningem	kružnice 10	X	0,039	0,077	0,77
	kružnice 12	X			
	kružnice 10	Z	0,066		
	kružnice 12	Z			

MMHS válce A, reference válec B - měření v různých polohách CMM bodovou metodou	kružnice 1	X	0,052	0,066	0,66
	kružnice 3	X			
	kružnice 1	Z	0,041		
	kružnice 3	Z			
MMHS válce B, reference válec A - měření v různých polohách CMM bodovou metodou	kružnice 4	X	0,055	0,064	0,64
	kružnice 6	X			
	kružnice 4	Z	0,033		
	kružnice 6	Z			
MMHS válce A, reference válec B - měření v různých polohách CMM scanningem	kružnice 7	X	0,110	0,141	1,41
	kružnice 9	X			
	kružnice 7	Z	0,089		
	kružnice 9	Z			
MMHS válce B, reference válec A - měření v různých polohách CMM scanningem	kružnice 10	X	0,092	0,161	<b>1,61</b>
	kružnice 12	X			
	kružnice 10	Z	0,132		
	kružnice 12	Z			

Ze spočítaných hodnot MMHS pro jednotlivé varianty měření lze vyčíst několik trendů a závislostí. A to zdali je součást měřena v *jedné poloze* CMM bez přeupínání, nebo zda dochází k přeupínání do *různých poloh* pracovní desky na CMM, a tím je do měření zanášena nepřesnost. Výsledky z výše uvedené tabulky ukazují, že MMHS z různých poloh měření oproti stejné poloze jsou přibližně dvakrát horší.

Stejně tak významná je metoda měření, neboli měření *bodovou metodou* a *scanningem*. Výsledky MMHS bodovou metodou vycházejí menší než scannovací metodou, a to jak v případě měření v *jedné poloze*, tak v různých polohách CMM. Scanning oproti bodové metodě dokáže díky daleko většímu počtu bodů zachytit veškeré vlivy. A to je důvod, proč výsledky scannovací metody jsou o něco horší, zato ale věrohodnější. Výsledky z výše uvedené tabulky ukazují, že MMHS ze scanning oproti bodové metodě jsou přibližně dvakrát horší.

Navíc k těmto výsledkům je spočítán faktor 10, což je hodnota udávající minimální měřitelnou hodnotu souososti, při které je měřidlo o řád přesnější než měřený rozměr. Na základě provedených výpočtů v podkapitole 4.3, a ze spočítaných faktorů k jednotlivým hodnotám lze doporučit pro tuto konkrétní součást na měřícím stroji o zmíněné maximální dovolené délkové chybě **minimální hodnotu souososti 1,61 mm**.

#### 5.1.4 Zhodnocení válcovitosti

Zhodnocení válcovitosti bylo provedeno zvlášť pro válec A, a pro válec B. Válcovitost byla vyhodnocena pouze scanningem, bodovou metodou by hodnoty válcovitosti byly dosti nepřesné. Tudíž porovnání naměřených hodnot bude provedeno pouze mezi hodnotami, které byly naměřeny v *jedné poloze* a v *různých polohách* CMM. Výsledky jsou uvedeny v *tab. 5-4*.

Výsledky válcovitosti z *jedné polohy* CMM se dají očekávat přesnější, než výsledky z *různých poloh* měření na CMM. Při měření ve více polohách dochází k přeupínání přípravku s měřenou součástí, a tak se zanáší určitá nepřesnost měření.

Naměřené hodnoty válcovitostí *válce A* odpovídají předpokladům. Průměr těchto hodnot je v případě jedné polohy přibližně poloviční ve srovnání s hodnotami z různých poloh měření. Taktéž rozpětí hodnot válcovitostí je dle očekávání v případě jedné polohy menší, přibližně pětkrát. Stejně tak výběrové směrodatné odchylky jsou, až na jednu výjimku, z různých poloh měření vyšší než z hodnot měřených v jedné poloze.

Oproti tomu naměřené hodnoty válcovitostí *válce B* tak přesvědčivé nejsou. Hodnoty válcovitostí získané z jedné polohy a z různých poloh měření jsou prakticky totožné. Rozpětí a výběrové směrodatné odchylky těchto hodnot jsou v prvních dvou polohách dle očekávání, tedy v případě jedné polohy jsou hodnoty nižší. V dalších polohách je tomu naopak.

Stejně jako v případě souososti, i zde u válcovitosti jsou v *tab. 5-4* vyznačeny extrémní hodnoty, kterých bylo dosaženo při měření. Hodnoty ze všech průměrů válcovitostí se pohybují od 0,0013 mm do 0,0030 mm. Ovšem minimální resp. maximální naměřená hodnota válcovitosti ze všech měření v různých variantách je 0,0012 mm resp. 0,0042 mm. Minimální hodnota rozpětí z jednotlivých variant měření byla spočítána z hodnot válcovitosti a činí 0,00  $\mu\text{m}$ , naopak maximální hodnota vyšla 1,90  $\mu\text{m}$ . Stejně tak minimální hodnota výběrové směrodatné odchylky vyšla 0,000  $\mu\text{m}$  a její maximální hodnota 0,869  $\mu\text{m}$ .

Přestože hodnoty válcovitosti nekopírovaly ve všech případech očekávané výsledky, je třeba podotknout, že rozdíly hodnot jsou prakticky minimální, často v desetinách mikromilimetrů. Dá se tedy říci, že válcovitost obou válců je velmi dobrá.

tab. 5-4: Porovnání naměřených hodnot válcovitostí

Porovnání naměřených hodnot válcovitostí				válec A		válec B		
				jedna poloha	různé polohy	jedna poloha	různé polohy	
průměr hodnot / průměr průměrů hodnot [mm]	polohy	1	$\bar{x} / \bar{X}$	0,0016	0,0027	0,0015	0,0015	
		2					0,0029	0,0014
		3					0,0022	<b>0,0013</b>
		4					0,0027	<b>0,0013</b>
		5					0,0031	<b>0,0013</b>
		6					0,0024	<b>0,0013</b>
rozpětí hodnot / průměr rozpětí hodnot [μm]	polohy	1	$R / \bar{R}$	0,20	0,98	0,20	0,30	
		2					<b>1,90</b>	0,20
		3					<b>0,00</b>	0,10
		4					1,10	<b>0,00</b>
		5					0,70	<b>0,00</b>
		6					0,30	<b>0,00</b>
výběrová směrodatná odchylka [μm]	polohy	1	$s_x$	0,037	0,049	0,049	0,129	
		2					<b>0,869</b>	0,089
		3					<b>0,000</b>	0,045
		4					0,541	<b>0,000</b>
		5					0,305	<b>0,000</b>
		6					0,110	<b>0,000</b>

## 5.2 Technicko-ekonomické zhodnocení

V této diplomové práci je měřena součást, na které je především proměřována sousost a stanovena její doporučená hodnota. Nejedná se například o návrh změny strategie měření sériových výrobků, kde by bylo možné uspořit čas měření, a úsporu nákladů tak časově i finančně vyjádřit. Určitou úsporu nákladů lze přesto nalézt, i když nepřímo.

Znalost reálně měřitelných hodnot sousostí, které jsou stanoveny v této diplomové práci, jsou důležité jak pro konstruktéra, tak pro technologa. Pokud tomu tak není, může se stát, že konstruktér napíše do výkresu nereálnou hodnotu sousosti. Nebo také hodnotu sousosti, která neodpovídá požadavkům. Je-li hodnota příliš velká, dochází ve výrobě ke snížení kvality a vyššímu počtu reklamací. Je-li příliš malá, firma začne mít velké procento neshodných výrobků. Je potom zbytečně nucena k nákupu drahých výrobních strojů, který tento problém stejně nemusí vyřešit. Proto je důležité mít představu, jaké hodnoty sousosti je možné ve výrobě dosáhnout. A na základě tohoto povědomí stanovit hodnotu sousosti takovou, která je při výrobě z technického pohledu ještě přijatelná, a z ekonomického pohledu cenově únosná. Jinými slovy není třeba vyrábět součásti s vyšší přesností než jsou požadavky zákazníka. Výroba součástí s vyšší přesností než je požadavek zákazníka vede k vyšším

nákladům. [12] V neposlední řadě lze uspořit peníze i tím, že díky správně zvolené hodnotě souososti firma nebude plýtvat časem při řešení problémů s neshodnými výrobky a reklamacemi.

Měření probíhalo na portálovém měřicím souřadnicovém stroji *PRISMO 5* s pevnou scannovací hlavou *VAST gold*. Z výsledků měření je zřejmé, že souosost je možné měřit velmi dobře i bodovou metodou. Pro méně náročného zákazníka by byla tedy alternativa pořízení systému DT Dyna Touch, který je pochopitelně levnější. Otázkou je, zda by se tato úspora vyplatila, scannovací hlava dává daleko více možností při měření zejména 3D ploch. Vždy záleží na konkrétním požadavku zákazníka, jaké součásti hodlá měřit a s jakou přesností. Může se také stát, že firma souřadnicový měřicí stroj vůbec nevlastní a nevyplatil by se jí, pak přichází v úvahu zakázkové měření v externí firmě.

### 5.3 Závěr

V teoretické části této diplomové práce byly uvedeny jednotlivé konstrukce souřadnicových měřicích strojů včetně jejich základních prvků. Byly popsány druhy snímacích systémů a základní pravidla při měření na souřadnicových měřicích strojích. Poté způsoby měření, dále pak matematické metody vyhodnocování geometrických elementů, vlivy těchto metod a filtrace na vyhodnocení nejen rozměrů, ale i vybraných úchylek tvaru. Na závěr teoretické části je popsán význam délky vztažného a měřeného prvku k jejich vzájemné vzdálenosti.

V praktické části se uskutečnilo měření dvou souosých válců o poměrně krátké vzdálenosti umístěných relativně daleko od sebe. Z naměřených hodnot byly vyhodnoceny odchylky středů kružnic od 3D přímky pomocí histogramů. Následně byla z naměřených hodnot vyhodnocena souosost. Dále byla spočítána minimální měřitelná hodnota souososti pomocí odchylek středů kružnic od 3D přímky a vztahu pro opakovatelnost měření. Aby byla splněna podmínka, že měřidlo má být alespoň o jeden řád přesnější než měřený rozměr, byla navíc spočítána **minimální měřitelná hodnota souososti**, která splňuje tzv. **faktor 10**. Nejméně příznivá hodnota souososti vyšla **1,61 mm**. Nakonec byla vyjádřena i hodnota válcovitostí obou válců, jejichž výsledky převážně odpovídají předpokladům.

Odchylky středů kružnic, souososti i minimální měřitelné hodnoty souososti se vyhodnocovaly z několika metod měření. Měření probíhalo bodovou metodou a scanningem v jedné poloze i ve více polohách. Navíc souosost se vyhodnocovala z válce A k referenčnímu válci B (A ref. B) a naopak válce B k referenčnímu válci A (B ref. A). Souososti válce



A ref. B a B ref. A za stejných podmínek spolu v tomto případě nesouvisí. Naměřené hodnoty z jedné polohy měření na CMM jsou přesnější oproti hodnotám z více poloh měření. Zde se díky přeupínání součásti zanesla určitá nepřesnost. Bodová metoda je díky daleko menšímu počtu sejmutých hodnot oproti scanningu méně věrohodná, nesejme totiž veškeré extrémní hodnoty jako scanning. Díky tomu bodovou metodou lze naměřit lepší výsledky (v tomto případě sousosti) než scanningem. Válcovitost válců A a B byla provedena pouze z naměřených dat scanningem. Obecně se dá říci, že na měření základních geometrických či prostorových tvarů postačuje, nebo je dokonce vhodná, bodová metoda měření, u tvarově složitých součástí a 3D ploch je scanning téměř nepostradatelný.

Nejméně příznivá **minimální měřitelná hodnota sousosti** splňující podmínku **faktoru 10** byla spočítána na **1,61 mm**, což je naprosto nesrovnatelná hodnota s hodnotou **0,005 mm**, která je na výkresech občas vídána. Ani jedna minimálně měřitelná hodnota sousosti z reálně naměřených hodnot této hodnoty nedosahuje, nejmenší naměřená MMHS činí **0,029 mm**.

Nutno podotknout, že naměřené a vyhodnocené hodnoty sousosti se vztahují na konkrétní součást při konkrétní maximální dovolené délkové chybě měřidla  $u=2,0+L/350$  [ $\mu\text{m}$ ]. Dávají ovšem představu, jakých hodnot sousostí lze v této problematice dosáhnout.

## Seznam zdrojů a použité literatury

- [1] BREZINA, Igor. *Súradnicové meracie stroje a ich skúšanie*. Praha: Vydavateľství Úřadu pro normalizaci a měření, 1987. ISBN 59-099-86.
- [2] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie část 1*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-2480-671-1.
- [3] Interní dokumentace společnosti Carl Zeiss spol. s r.o. - *Katalog produktů: Průvodce výrobky Carl Zeiss IMT*
- [4] Interní dokumentace společnosti Carl Zeiss spol. s r.o. - *Portálové měřicí stroje*
- [5] Interní dokumentace společnosti Carl Zeiss spol. s r.o.
- [6] Styli with ruby sphere. *Carl Zeiss* [online]. 1999 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <[https://www.probes.zeiss.com/ZEISS\\_EU/en/Catalog/P/1298/1416/916/995/996.aspx](https://www.probes.zeiss.com/ZEISS_EU/en/Catalog/P/1298/1416/916/995/996.aspx)>
- [7] Ruby sphere. *Carl Zeiss* [online]. 1999 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <[https://www.probes.zeiss.com/ZEISS\\_EU/en/Catalog/P/1298/1416/916/917/925/926.aspx](https://www.probes.zeiss.com/ZEISS_EU/en/Catalog/P/1298/1416/916/917/925/926.aspx)>
- [8] Dotykové, nebo bezdotykové měření struktury povrchu?. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2005, č. 6 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/dotykovne-nebo-bezdotykovne-mereni-struktury-povrchu.html>>
- [9] MANOLACHE, DANIEL-SILVIU. EVALUATION OF FORM DEVIATIONS USING GENETIC ALGORITHMS: CIRCULARITY PROBLEM. In: *Department of Industrial and Manufacturing Engineering, I.M.S.T. Faculty University POLITEHNICA of Bucharest* [online]. 2010 [cit. 2013-05-13]. ISBN 1790-5117 ISSN 978-960-474-178-6. Dostupné z: <<http://www.wseas.us/e-library/conferences/2010/Bucharest/ECC/ECC-20.pdf>>
- [10] Úchylky tvaru a polohy dle DIN ISO. *HOMMEL CS s.r.o.* [online]. 1999 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <<http://www.hommel-etamic.cz/sites/default/files/download/HOMMEL-CS-plakat-drsnost-uchylky-tvaru.pdf>>
- [11] Měříte správně strukturu povrchu?. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, č. 10 [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/merite-spravne-strukturu-povrchu.html>>

- [12] ZÍDKOVÁ, Helena a František ZVONEČEK. *Jakost - styl života pro třetí tisíciletí*. 2. vydání. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2003. ISBN 80-7043-243-8.
- [13] STANĚK, Jiří a Jiří NĚMEJC. *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2005. ISBN 80-7043-363-9.

## Seznam obrázků

- obr. 1-1: Definice problému
- obr. 2-1: PRO T
- obr. 2-2: DURAMAX
- obr. 2-3: ACCURA
- obr. 2-4: MMZ B
- obr. 2-5: ViSCAN
- obr. 2-6: LineScan
- obr. 2-7: Systém spínacího typu
- obr. 2-8: Systém spínacího typu
- obr. 2-9: RST-P, VAST XXT, DT  
DynaTouch, VAST XT gold,  
VAST gold
- obr. 3-1: Kružnice metodou nejmenších  
čtverců
- obr. 3-2: Minimální opsaná kružnice
- obr. 3-3: Maximální vepsaná kružnice
- obr. 3-4: Minimální zóna
- obr. 3-5: Vliv matematické metody na  
vyhodnocení průměru
- obr. 3-6: Vliv filtrace na vyhodnocení  
průměru
- obr. 3-7: Kruhovitost
- obr. 3-8: Kruhovitost metodou nejmenších  
čtverců
- obr. 3-9: Kruhovitost pomocí minimální  
opsané kružnice
- obr. 3-10: Kruhovitost pomocí maximální  
vepsané kružnice
- obr. 3-11: Kruhovitost pomocí minimální  
zóny
- obr. 3-12: Přímost
- obr. 3-13: Rovnoběžnost
- obr. 3-14: Válcovitost
- obr. 3-15: Souosost
- obr. 3-16: Kolmost
- obr. 3-17: Problém vztažného a měřeného  
prvku kolmosti
- obr. 4-1: Snímač
- obr. 4-2: Měřená součást při měření
- obr. 4-3: Schéma měření
- obr. 4-4: Polohy součásti na CMM
- obr. 4-5: Graf naměřených hodnot
- obr. 4-6: Graf naměřených hodnot
- obr. 4-7: Graf naměřených hodnot
- obr. 4-8: Graf naměřených hodnot
- obr. 4-9: Graf naměřených hodnot
- obr. 4-10: Graf naměřených hodnot
- obr. 4-11: Graf naměřených hodnot
- obr. 4-12: Graf naměřených hodnot
- obr. 4-13: Graf naměřených hodnot
- obr. 4-14: MMHS válce A, ref. válec B

obr. 4-15: MMHS válce B, ref. válec A

obr. 4-19: Graf naměřených hodnot

obr. 4-16: Graf naměřených hodnot

obr. 4-20: Graf naměřených hodnot

obr. 4-17: Graf naměřených hodnot

obr. 4-21: Graf naměřených hodnot

obr. 4-18: Graf naměřených hodnot

## **Seznam tabulek**

- tab. 4-1: Spočítané hodnoty kružnice 1 (7)
- tab. 4-2: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 1 (7) – X
- tab. 4-3: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 1 (7) – Z
- tab. 4-4: Spočítané hodnoty kružnice 2 (8)
- tab. 4-5: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 2 (8) – X
- tab. 4-6: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 2 (8) – Z
- tab. 4-7: Spočítané hodnoty kružnice 3 (9)
- tab. 4-8: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 3 (9) – X
- tab. 4-9: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 3 (9) – Z
- tab. 4-10: Spočítané hodnoty kružnice 4 (10)
- tab. 4-11: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 4 (10) – X
- tab. 4-12: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 4 (10) – Z
- tab. 4-13: Spočítané hodnoty kružnice 5 (11)
- tab. 4-14: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 5 (11) – X
- tab. 4-15: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 5 (11) – Z
- tab. 4-16: Spočítané hodnoty kružnice 6 (12)
- tab. 4-17: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 6 (12) – X
- tab. 4-18: Histogramy z naměřených hodnot kružnice 6 (12) – Z
- tab. 4-19: Spočítané hodnoty
- tab. 4-20: Spočítané hodnoty
- tab. 4-21: Spočítané hodnoty
- tab. 4-22: Spočítané hodnoty
- tab. 4-23: Spočítané hodnoty
- tab. 4-24: Spočítané hodnoty
- tab. 4-25: Spočítané hodnoty
- tab. 4-26: Spočítané hodnoty
- tab. 4-27: Spočítané hodnoty
- tab. 4-28: Spočítané hodnoty
- tab. 4-29: Spočítané hodnoty
- tab. 4-30: Spočítané hodnoty
- tab. 4-31: Spočítané hodnoty
- tab. 4-32: Spočítané hodnoty
- tab. 4-33: Spočítané hodnoty
- tab. 4-34: Spočítané hodnoty
- tab. 4-35: Spočítané hodnoty
- tab. 4-36: Spočítané hodnoty
- tab. 4-37: Spočítané hodnoty

tab. 4-38: Spočítané hodnoty

tab. 4-39: Spočítané hodnoty

tab. 4-40: Spočítané hodnoty

tab. 4-41: Spočítané hodnoty

tab. 5-1: Porovnání naměřených hodnot  
souosostí A ref. B

tab. 5-2: Porovnání naměřených hodnot  
souosostí B ref. A

tab. 5-3: Porovnání naměřených hodnot  
MMHS

tab. 5-4: Porovnání naměřených hodnot  
válcovitostí

## **Seznam příloh**

příloha 1: Protokol z měření č. 101	příloha 25: Protokol z měření č. 125
příloha 2: Protokol z měření č. 102	příloha 26: Protokol z měření č. 126
příloha 3: Protokol z měření č. 103	příloha 27: Protokol z měření č. 127
příloha 4: Protokol z měření č. 104	příloha 28: Protokol z měření č. 128
příloha 5: Protokol z měření č. 105	příloha 29: Protokol z měření č. 129
příloha 6: Protokol z měření č. 106	příloha 30: Protokol z měření č. 130
příloha 7: Protokol z měření č. 107	příloha 31: Protokol z měření č. 131
příloha 8: Protokol z měření č. 108	příloha 32: Protokol z měření č. 132
příloha 9: Protokol z měření č. 109	příloha 33: Protokol z měření č. 133
příloha 10: Protokol z měření č. 110	příloha 34: Protokol z měření č. 134
příloha 11: Protokol z měření č. 111	příloha 35: Protokol z měření č. 135
příloha 12: Protokol z měření č. 112	příloha 36: Protokol z měření č. 136
příloha 13: Protokol z měření č. 113	příloha 37: Protokol z měření č. 137
příloha 14: Protokol z měření č. 114	příloha 38: Protokol z měření č. 138
příloha 15: Protokol z měření č. 115	příloha 39: Protokol z měření č. 139
příloha 16: Protokol z měření č. 116	příloha 40: Protokol z měření č. 140
příloha 17: Protokol z měření č. 117	příloha 41: Protokol z měření č. 141
příloha 18: Protokol z měření č. 118	příloha 42: Protokol z měření č. 142
příloha 19: Protokol z měření č. 119	příloha 43: Protokol z měření č. 143
příloha 20: Protokol z měření č. 120	příloha 44: Protokol z měření č. 144
příloha 21: Protokol z měření č. 121	příloha 45: Protokol z měření č. 145
příloha 22: Protokol z měření č. 122	příloha 46: Protokol z měření č. 146
příloha 23: Protokol z měření č. 123	příloha 47: Protokol z měření č. 147
příloha 24: Protokol z měření č. 124	příloha 48: Protokol z měření č. 148



příloha 49: Protokol z měření č. 149  
příloha 50: Protokol z měření č. 150  
příloha 51: Protokol z měření č. 21  
příloha 52: Protokol z měření č. 22  
příloha 53: Protokol z měření č. 23  
příloha 54: Protokol z měření č. 24  
příloha 55: Protokol z měření č. 25  
příloha 56: Protokol z měření č. 26  
příloha 57: Protokol z měření č. 27  
příloha 58: Protokol z měření č. 28  
příloha 59: Protokol z měření č. 29  
příloha 60: Protokol z měření č. 30  
příloha 61: Protokol z měření č. 31  
příloha 62: Protokol z měření č. 32  
příloha 63: Protokol z měření č. 33  
příloha 64: Protokol z měření č. 34

příloha 65: Protokol z měření č. 35  
příloha 66: Protokol z měření č. 36  
příloha 67: Protokol z měření č. 37  
příloha 68: Protokol z měření č. 38  
příloha 69: Protokol z měření č. 39  
příloha 70: Protokol z měření č. 40  
příloha 71: Protokol z měření č. 41  
příloha 72: Protokol z měření č. 42  
příloha 73: Protokol z měření č. 43  
příloha 74: Protokol z měření č. 44  
příloha 75: Protokol z měření č. 45  
příloha 76: Protokol z měření č. 46  
příloha 77: Protokol z měření č. 47  
příloha 78: Protokol z měření č. 48  
příloha 79: Protokol z měření č. 49  
příloha 80: Protokol z měření č. 50

## **PŘÍLOHY č. 1 - 80**

### **Protokoly z měření**