

# Tvorba programu 3D měřicího stroje

Bc. Lukáš Smílek

---

Diplomová práce  
2018

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš Smílek**  
Osobní číslo: **T16621**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**  
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Tvorba programu 3D měřicího stroje**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární řešení na dané téma
2. Hodnocení současného stavu
3. Tvorba technologického postupu měření a CNC kódu
4. Provedení měření a vyhodnocení výsledků

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **okorný Přemysl. Souřadnicové měřicí stroje. Technická univerzita v Liberci, 1999.ISBN 55-002-99**
2. **Kolektiv autorů. Souřadnicové měřicí stroje. Dům techniky ČS VTS Praha, 1990. ISBN 57-413-89**
3. **Další literatura na doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Řezníček, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2018**

Ve Zlíně dne 5. února 2018



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.  
*děkan*



prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: Lukáš Smílek

Obor: *Výrobní inženýrství*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 25. 2018

*Lukáš Smílek*

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:



(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>11</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá tvorbou programu na souřadnicový měřicí stroj. V teoretické části jsou popsány základní pravidla měření a konstrukcí a rozdělením souřadnicových měřících strojů. V praktické části je představen konkrétní stroj, na kterém bylo měření prováděno. Dále se praktická část zabývá tvorbou samotného programu, snímacích systémů a upínacího přípravku.

Klíčová slova: souřadnicový měřicí stroj, snímací systém, snímač

## **ABSTRACT**

This work deals with the creation of a program for a coordinate measuring machine. The theoretical part describes basic rules of measurement and construction and distribution of coordinate measuring machines. In the practical part a specific machine is introduced, on which measurements were performed. The practical part also deals with a creation of the program itself, scanning systems and clamping device.

Keywords: coordinate measuring machine, scanning system, sensor

Děkuji tímto svému vedoucímu práce Ing. Martinovi Řezníčkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Markovi Votavovi za poskytnutí odborných rad.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>12</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ POJMY</b> .....	<b>13</b>
1.1 ZÁKLADNÍ VELIČINY .....	13
1.2 MĚŘENÍ.....	13
1.3 KONTROLA.....	13
1.4 METROLOGIE.....	13
1.4.1 Abbeho princip.....	14
1.4.2 Taylorův princip.....	14
<b>2 GEOMETRICKÉ ELEMENTY</b> .....	<b>15</b>
2.1 BOD.....	15
2.2 PŘÍMKA .....	15
2.3 ROVINA .....	16
2.4 KRUŽNICE .....	16
2.5 VÁLEC.....	17
2.6 KOULE.....	17
2.7 KUŽEL.....	18
<b>3 TOLEROVÁNÍ ROZMĚRŮ A GEOMETRIE</b> .....	<b>19</b>
3.1 TOLEROVÁNÍ ROZMĚRŮ.....	19
3.2 TOLERANCE TVARU A POLOHY .....	20
<b>4 SOUŘADNICOVÉ MĚŘÍCÍ STROJE, HISTORIE, VÝVOJ, TYPY STROJŮ</b> .....	<b>22</b>
4.1 VÝVOJ SOUŘADNICOVÝCH MĚŘÍCÍCH STROJŮ.....	22
4.2 KONSTRUKCE SOUŘADNICOVÝCH MĚŘÍCÍCH STROJŮ.....	24
4.3 TYPY SOUŘADNICOVÝCH MĚŘÍCÍCH STROJŮ .....	26
4.3.1 Portálové souřadnicové stroje .....	26
4.3.2 Mostové souřadnicové stroje.....	27
4.3.3 Stojanové souřadnicové stroje.....	27
4.3.4 Výložníkové souřadnicové stroje.....	28
4.4 SENZORY CMM .....	29
4.4.1 Dotykové senzory.....	29
4.4.2 Spínací snímací systémy .....	29
4.4.3 Měřicí snímací systém.....	30
4.4.4 Snímače .....	31
<b>5 POŽADAVKY NA PŘESNOST A OPAKOVATELNOST MĚŘÍCÍHO STROJE</b> .....	<b>33</b>

5.1	PŘESNOST MĚŘÍČÍHO STROJE .....	33
5.2	PŘEJÍMACÍ ZKOUŠKA .....	33
5.3	CHYBY MĚŘENÍ .....	34
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>STROJ ZEISS MMZ-T.....</b>	<b>38</b>
7.1	SKENOVACÍ HLAVA VAST GOLD .....	39
<b>8</b>	<b>MĚŘENÁ SOUČÁST .....</b>	<b>40</b>
8.1	KONTROLNÍ POZICE .....	40
8.2	UPNUTÍ SOUČÁSTI .....	41
8.3	VYTVOŘENÍ PŘÍPRAVKU PRO AUTOMATIZOVANÝ PRŮBĚH.....	42
8.4	SNÍMACÍ SYSTÉM.....	44
<b>9</b>	<b>ZÁKLADNÍ NASTAVENÍ.....</b>	<b>47</b>
9.1	URČENÍ ZÁKLADNÍHO SYSTÉMU .....	47
9.2	DEFINOVÁNÍ BEZPEČNOSTNÍHO KVÁDRU.....	49
<b>10</b>	<b>TVORBA MĚŘÍČÍHO PROGRAMU .....</b>	<b>50</b>
10.1	ELEMENTY SNÍMANÉ NÁSTROJEM 20006.....	50
10.1.1	Element rovina pozice 6.....	50
10.1.2	Element válec pozice 13.....	51
10.1.3	Element rovina pozice 5.....	51
10.1.4	Element válec pozice 12 reference B .....	52
10.1.5	Element rovina pozice 10, reference C .....	52
10.1.6	Element válec pozice 11, reference D.....	53
10.1.7	Element rovina pozice 9.....	54
10.2	ELEMENTY SNÍMANÉ NÁSTROJEM 20015.....	54
10.2.1	Element válec pozice 16.....	54
10.2.2	Element rovina pozice 1, reference A .....	55
<b>11</b>	<b>TVORBA CHARAKTERISTIK A MĚŘÍČÍHO PROTOKOLU .....</b>	<b>56</b>
11.1	CHARAKTERISTIKY POUŽÍVAJÍCÍ ZÁKLADNU A .....	56
11.1.1	Charakteristika pozice 7 .....	56
11.1.2	Charakteristika pozice 9 .....	56
11.1.3	Charakteristika pozice 14.....	57
11.1.4	Charakteristika pozice 17 .....	57
11.2	CHARAKTERISTIKY POUŽÍVAJÍCÍ ZÁKLADNU B.....	58
11.2.1	Charakteristika pozice 10.....	58
11.2.2	Charakteristika pozice 15 .....	59
11.3	CHARAKTERISTIKY POUŽÍVAJÍCÍ ZÁKLADNU C.....	59
11.3.1	Charakteristika pozice 4.....	59
11.3.2	Charakteristika pozice 6.....	60

11.4	CHARAKTERISTIKY VYHODNOCOVÁNY BEZ ZÁKLADNY .....	60
11.4.1	Charakteristika pozice 1 .....	61
11.4.2	Charakteristika pozice 2 .....	61
11.4.3	Charakteristika pozice 3 .....	62
11.4.4	Charakteristika pozice 5 .....	62
11.4.5	Charakteristika pozice 8 .....	63
11.4.6	Charakteristika pozice 11 .....	63
11.4.7	Charakteristika pozice 12 .....	64
11.4.8	Charakteristika pozice 13 .....	64
11.4.9	Charakteristika pozice 16 .....	65
<b>12</b>	<b>REÁLNÉ MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ .....</b>	<b>66</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>70</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>76</b>

## ÚVOD

Ve výrobě jakékoliv součásti je velmi důležité dodržení požadované kvality. Nástrojem pro udržení kvality vyrobených součástí je kontrola. Kontrolu lze provádět několika způsoby např. vizuální kontrolou, kontrolou kalibrem a měřením. Věda zabývající se základními principy měření a pravidly je metrologie.

Každý měřený element je složen ze standardních geometrických elementů a obecných tvarových ploch. Pro správné měření je důležité vědět, jak jsou jednotlivé elementy definovány. Měřený rozměr, popřípadě geometrie na součásti musí být tolerovány. Buď jsou předepsány všeobecnou tolerancí, nebo jsou zapsány přímo na výkrese.

Se stále vzrůstajícími požadavky na kvalitu a přesnost vyráběných dílů, je potřeba mít nástroj, kterým zaručíme hlídání důležitých rozměrů. Dříve se důležité rozměry a geometrie měřily pomocí různých měřidel a úchylkoměrů. Aby bylo možné změřit díl komplexně, byly sestrojeny první souřadnicové stroje. Těmito stroji lze velmi přesně kontrolovat geometrické tolerance a rozměry.

První souřadnicové stroje vycházely z obráběcích strojů. Konstrukce souřadnicových strojů se liší dle dané měřicí aplikace. Dle konstrukce se odvíjí i přesnost stroje. Na každém měřicím stroji musí být provedena přejímací zkouška.

Při měření na souřadnicovém měřicím stroji je zapotřebí vytvořit měřicí program, snímací systémy a vhodné upnutí součásti na pracovní desku stroje. Jako výstup programu je měřicí protokol.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**



## 1 ZÁKLADNÍ POJMY

Tato kapitola se zabývá základní definicí pojmů týkajících se měření a metrologie.

### 1.1 Základní veličiny

Rozlišujeme základní veličiny, které nejsou definovány v návaznosti na již známé veličiny, a odvozené veličiny, které jsou odvozeny ze základních veličin. Pro základní veličiny jsou definovány základní jednotky, ze kterých se odvozují jednotky pro odvozené veličiny. Velkým pokrokem bylo, když Generální konference pro míry a váhy doporučila v roce 1960 všeobecné používání mezinárodně domluvené soustavy jednotek SI (Système International d'Unités).

### 1.2 Měření

Proces experimentálního získávání jedné nebo více hodnot veličiny, které mohou být důvodně přiřazeny veličině. Měření se nepoužívá pro jmenovité vlastnosti. Měření v sobě obsahuje porovnání veličin a zahrnuje zjišťování počtu entit. Měření předem předpokládá popis veličiny přiměřený určenému použití výsledku měření, popis postupu měření a kalibrovaného měřicího systému pracujícího v souladu se specifikovaným postupem měření, včetně podmínek měření. [1] Další definicí měření je, že to je porovnání známé veličiny s naměřenou. Může být prováděno pomocí jednoduchých měřících přístrojů, jako jsou posuvná měřidla, mikrometry nebo na souřadnicových strojích.

### 1.3 Kontrola

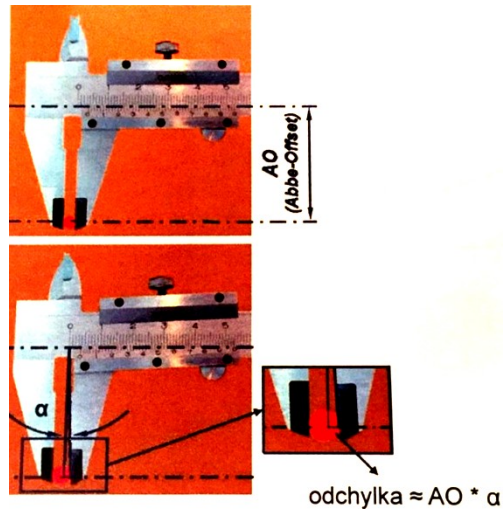
Kontrola je porovnání určité vlastností předmětu s jeho očekávanou vlastností (např. rozměr, barva). Toto porovnání se může provádět měřením nebo kontrolou kalibrem. Kontrola kalibrem je zjišťování zda měřený rozměr na součásti přesahuje nebo nedosahuje tolerančního pole. Hodnota odchylky se nezjišťuje.

### 1.4 Metrologie

Věda o měření a jeho aplikaci. Metrologie zahrnuje veškeré teoretické a praktické aspekty měření, jakékoliv nejistoty měření a obory použití. [1]

### 1.4.1 Abbeho princip

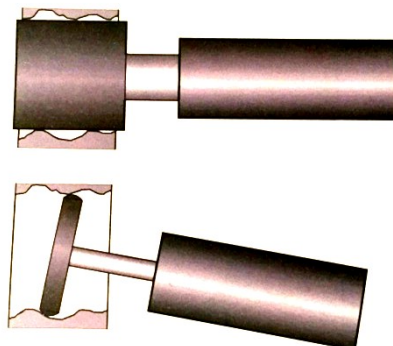
Aby bylo délkové měření správné, musí být délka a referenční stupnice použita pro měření uspořádána v jedné ose za sebou.



Obr. 1. Abbeho princip vysvětlený na měření posuvným měřidlem [3]

### 1.4.2 Taylorův princip

Dobrá strana kalibru se dotýká součástí v mnoha bodech. Podle Tayolora je součást v toleranci, když dobrá strana pasuje do součásti bez vyvinutí síly. Součást je označena jako dobrá. Zmetková strana kalibru se dotýká součásti pouze ve dvou bodech. Podle Tayolora je součást v toleranci, když zmetková strana nepasuje v žádném místě. Součást není v toleranci, když zmetková strana v některém místě nepasuje. Součást je v tom případě označena jako zmetek.



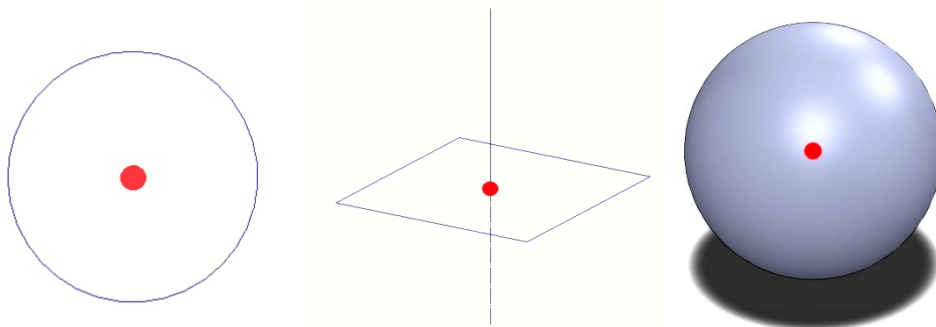
Obr. 2. Taylorův princip [3]

## 2 GEOMETRICKÉ ELEMENTY

Každý díl jde charakterizovat pomocí standardních geometrických elementů a obecných tvarových ploch.

### 2.1 Bod

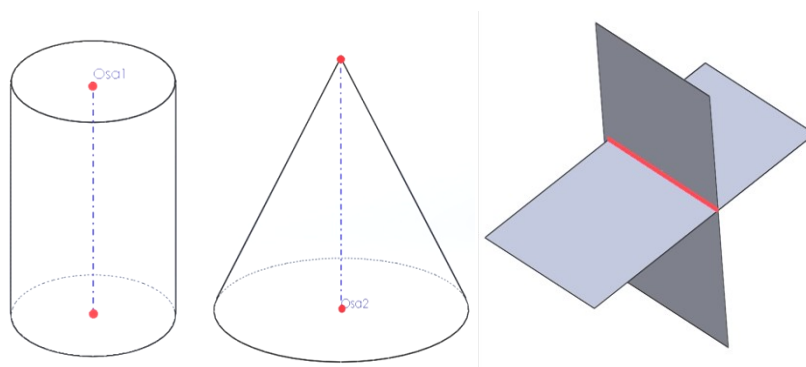
Bod nemá žádný prostorový rozměr a žádný směr. Bod v prostoru je jednoznačně určen pomocí tří souřadnic  $(x,y,z)$ . Bod může vzniknout konstrukcí jako střed kružnice - koule a průsečík přímky a roviny.



Obr. 3. Bod v geometrických útvarech

### 2.2 Přímka

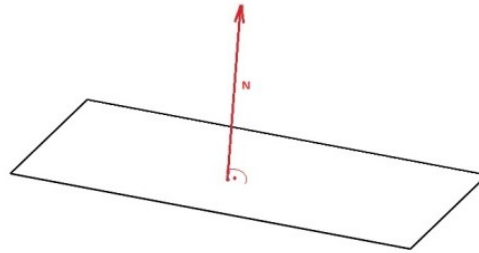
Přímka je rovná line. Je určena dvěma body. Matematicky je popsána pomocí dvou bodů, nebo pomocí jednoho bodu a směru. Přímka může vzniknout konstrukcí jako osa válce, kužele a průsečnice dvou rovin.



Obr. 4. Přímka v geometrických útvarech

### 2.3 Rovina

Rovina je plocha s nekonečnou rozlohou a každý bod na rovině má stejný směr normály. Rovina je definována třemi body. Body, ze kterých je rovina vypočtena nesmí ležet na jedné přímce. Normála se používá pro určení směru roviny. Normála roviny je kolmá ke každé libovolné přímce roviny.



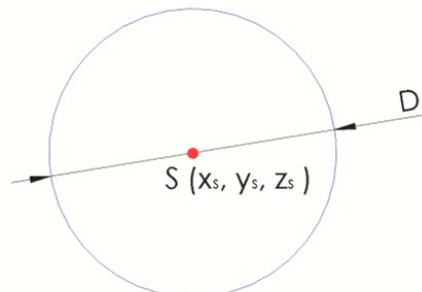
Obr. 5. Rovina

### 2.4 Kružnice

Kružnice je definována jako uzavřená linie. Její body mají stejnou vzdálenost  $r$  od pevného bodu. Kružnice je charakterizována polohou středu a normálou středu kružnice ve směru roviny, ve které kružnice leží. Poloha středu je učena:

- X souřadnicí středu
- Y souřadnicí středu
- D průměrem

Kružnice je jednoznačně určena třemi body na obvodu kružnice. Poloha středu je vypočtena z těchto bodů. Poloměr je pak vzdálenost od středu k těmto bodům.



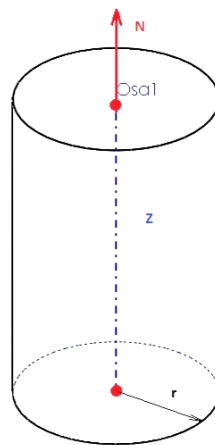
Obr. 6. Kružnice

## 2.5 Válec

Válec má nekonečnou válcovou plochu. Body na plášti válce mají stejnou kolmou vzdálenost od osy válce. Válec je charakterizován:

- D průměrem válce
- směrem osy válce
- výškou válce

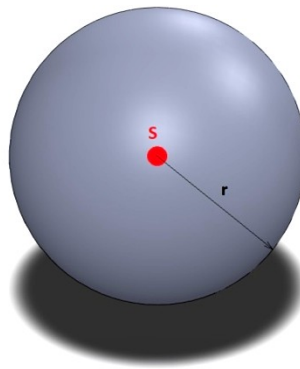
Válec je jednoznačně určen pěti body na plášti válce. Z těchto bodů se vypočte osa válce. Body nesmějí ležet na jedné přímce ani na kružnici. Matematicky je válec popsán pomocí bodu na ose válce, směru osy a poloměru.



Obr. 7. Válec

## 2.6 Koule

Koule je prostorové těleso. Body na povrchu koule mají stejnou vzdálenost  $r$  od středu. Koule je charakterizována středem a poloměrem  $r$ . Koule je jednoznačně určena pomocí čtyř bodů na povrchu. Z těchto bodů je vypočten střed. Body pro výpočet koule nesmějí ležet na jedné přímce. Matematicky je koule popsána pomocí středu a poloměru.



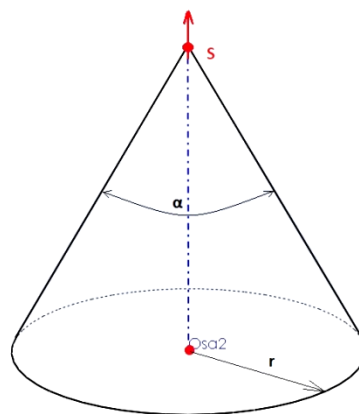
Obr. 8. Koule

## 2.7 Kužel

Kužel má nekonečnou kuželovou plochu. Kužel je charakterizován:

- vrcholem kužele  $S$
- osou kužele a směrem osy kužele
- vrcholovým úhlem kužele

Kužel je jednoznačně určen pomocí šesti bodů na plášti kužele. Z těchto bodů se vypočte vrchol kužele, osa kužele a vrcholový úhel kužele. Body, ze kterých je vypočten kužel, nesmějí ležet na jedné přímce nebo kružnici. Kužel je matematicky popsán pomocí směru osy kužele, pomocí vrcholu kužele a vrcholového úhlu kužele.



Obr. 9. Kužel

### 3 TOLEROVÁNÍ ROZMĚRŮ A GEOMETRIE

Při tvorbě výkresové dokumentace konstruktér definuje jmenovité geometrické elementy součásti. Dále určuje přípustné odchylky pro rozměr, tvar a polohu geometrických elementů na součásti. Velikost odchylky reálné geometrie od jmenovité udávají tolerance rozměru, tvaru a polohy. Body získané z měřících strojů jsou změřené elementy. Dalším zpracováním změřených elementů jsou určeny geometrické elementy.

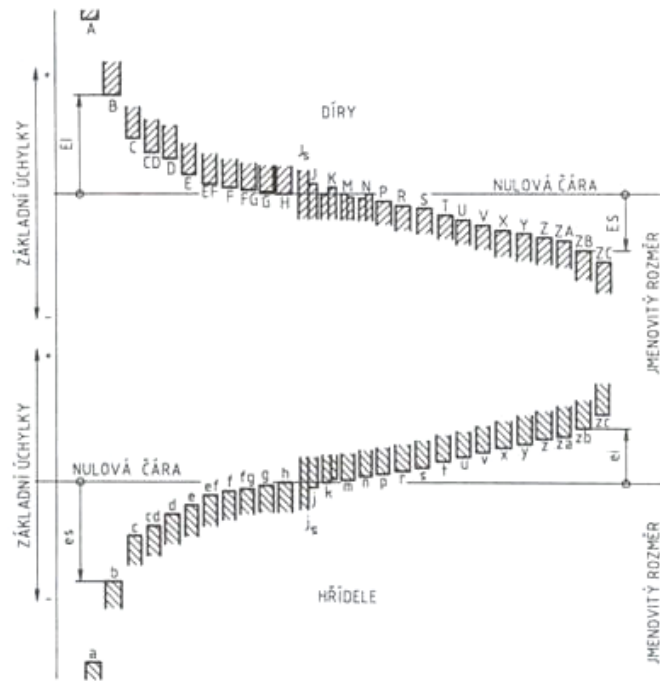
#### 3.1 Tolerování rozměrů

Při výrobě součásti nemohou být jmenovité rozměry přesně dodrženy. Proto konstruktér definuje přípustné odchylky v závislosti na funkčnost součásti a hospodárnost výroby. Odchylky definují mezní hodnoty, mezi kterými mohou být naměřené rozměry součásti. V lícovací soustavě ISO jsou toleranční pole pro díru a hřídel definovány zadáním značek. Tyto značky se skládají ze základní tolerance IT a ze stupně přesnosti.

Tab. 1. Základní toleranční stupně IT

ISO řada IT	pro měřidla a kalibry						
	01	0	1	2	3	4	
	<i>úzké tolerance</i>						
ISO řada IT	obecné strojírenství						
	5	6	7	8	9	10	11
	<i>střední tolerance</i>						
ISO řada IT	pro tváření						
	12	13	14	15	16	17	18
	<i>široké tolerance</i>						

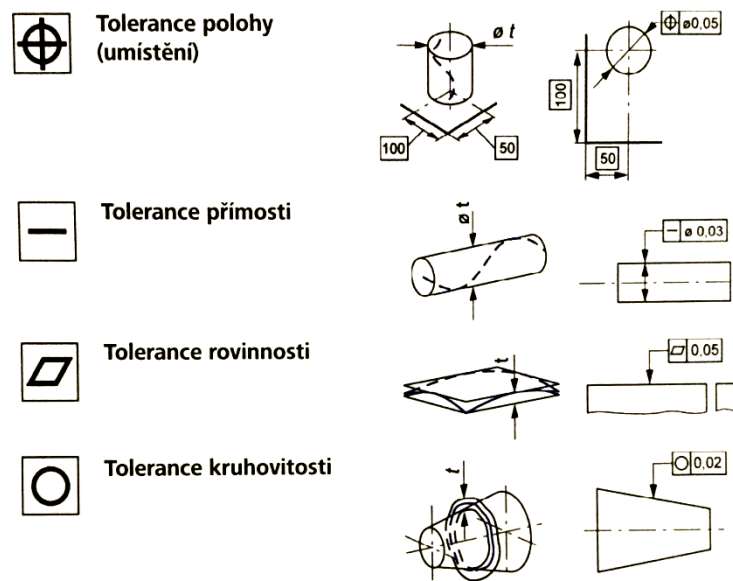
Základní tolerance IT označuje polohu tolerančního pole a stupeň přesnosti určuje šířku tolerančního pole. Pro standardizování tolerancí se používá lícovací soustava jednotného hřídele a jednotné díry. Kvůli přehlednosti se všechny tolerance nezapisují na výkres, proto se využívají všeobecné tolerance ISO 2768.



Obr. 10. ISO toleranční pole pro hřídel a díru [5]

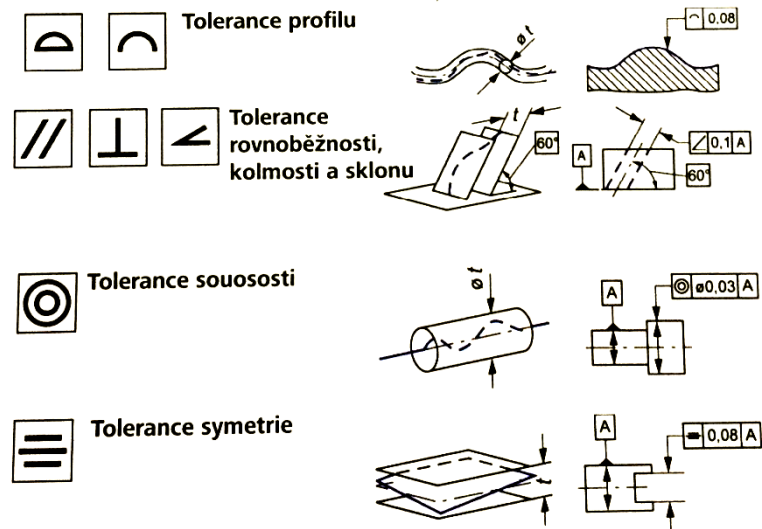
### 3.2 Tolerance tvaru a polohy

Na výkresech jsou předepsány různé tolerance tvaru a polohy. Tolerance polohy se dělí na tolerance směru, polohy a házení. Tolerance tvaru slouží pro tolerování úchytky tvaru na geometrickém elementu. Tolerance polohy slouží pro tolerování úchytky polohy geometrického elementu.



Obr. 11. Příklady značení a definování tolerancí tvaru a polohy [3]





Obr. 12. Příklady značení a definování tolerancí tvaru a polohy [3]

Geometrické tolerance mohou být předepsány buď k jedné nebo k více základnám. Ideální tvar plochy je definován výkresovou dokumentací. Základny jsou definovány jako teoreticky přesný prvek, ke kterému vztahujeme geometrické tolerance geometrického prvku. Jako základnu lze použít rovinu, přímku-osu, bod-střed.

## 4 SOUŘADNICOVÉ MĚŘÍCÍ STROJE, HISTORIE, VÝVOJ, TYPY STROJŮ

Souřadnicové měřicí stroje představují jednu z nejvýznamnějších inovací v oblasti měření ve strojírenství. [2]

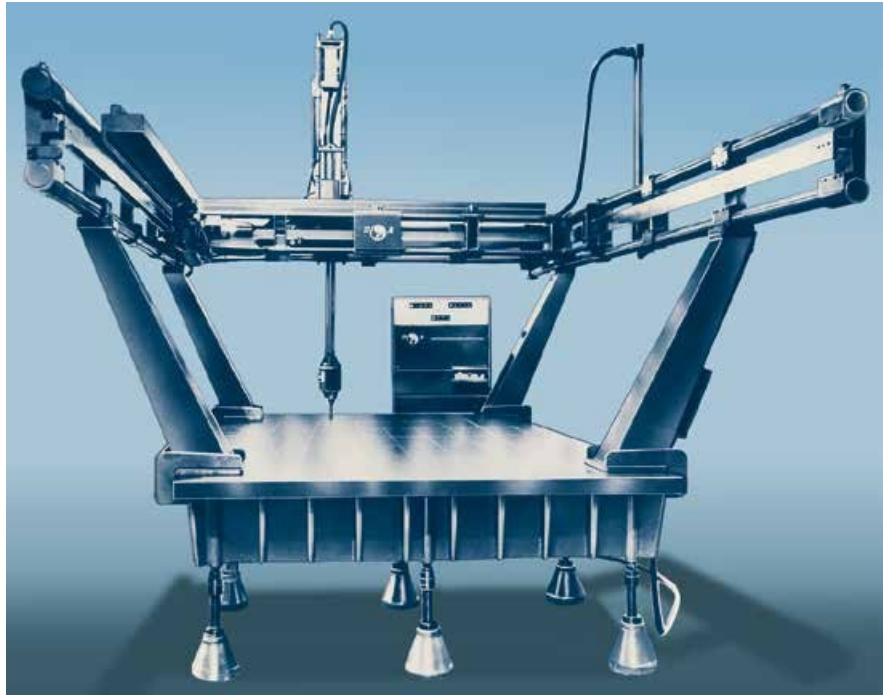
### 4.1 Vývoj souřadnicových měřících strojů

V současné době je možné vyrábět i velmi malé konstrukční díly. Tento pokrok ve výrobní technice byl umožněn vývojem přesných a efektivních měřících zařízení a metrologických postupů. Zavedení měrových laboratoří, používání posuvných měřidel, třmenových mikrometrů, číselníkových úchylkoměrů a velmi přesných kalibrů zlepšilo přesnost měření a kontrolu kvality produktů. Aby bylo možné spolehlivě měřit součásti se stále přísnějšími tolerancemi, musí být dodrženo Zlaté pravidlo měřicí techniky, které zformuloval profesor Georg Berndt: „Nejistota měření nemá překročit 1/10 povolené tolerance.“.

Souřadnicová měřicí technika je založena na již dříve zavedené jednosouřadnicové (lineární) měřicí technice. Přesnost byla později výrazně zvýšena uplatněním Abbeho komparačního principu.

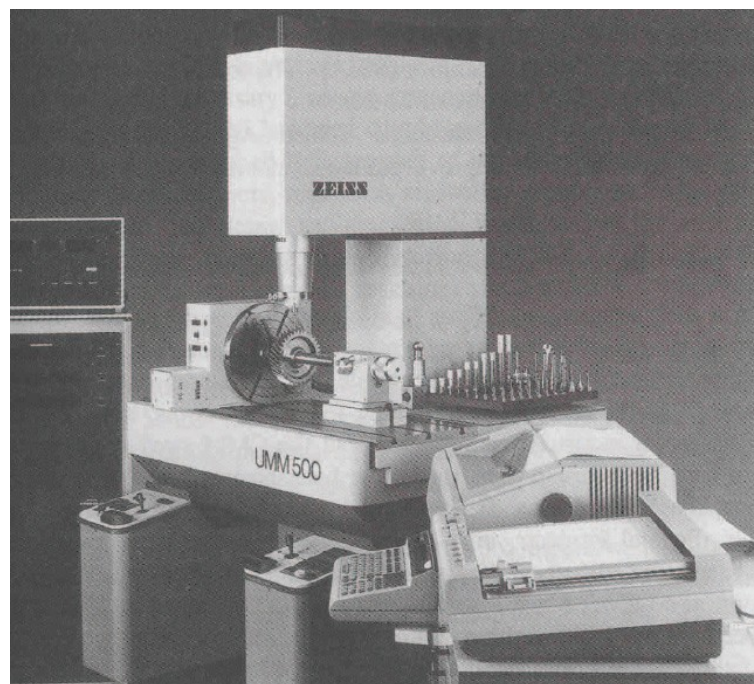
První souřadnicové měřicí stroje vznikly ze souřadnicových vyvrtávaček, které již měly přestavitelné souřadné osy v měřených polohách. Stroje byly určeny pro kontrolu výkonosti stále více automatizovaných strojů.

Firma Moore vyvinula v roce 1956 měřicí stroj na základě souřadnicové vyvrtávačky. Významný výrobce obráběcích strojů firma Ferranti vyvinula v roce 1957 Ferranti 2D. Firma Sheffield, která prodávala stroje Ferranti do Severní Ameriky, vyvinula později vlastní stroj s názvem Cordax. Tyto stroje měly indikaci souřadnic ve všech třech osách. První SMS se spínací hlavou představila firma DEA v roce 1967.



Obr. 13. První souřadnicový stroj se spínací hlavou od firmy DEA 1967 [3]

V roce 1973 následovala spínací hlava firmy Renishaw. Ve stejném roce byl představen firmou Carl Zeiss stroj UMM 500. Stroj měl 3D snímací hlavu, která měla až pět snímačů. Přesnost stroje byla  $1/10 \mu\text{m}$ .

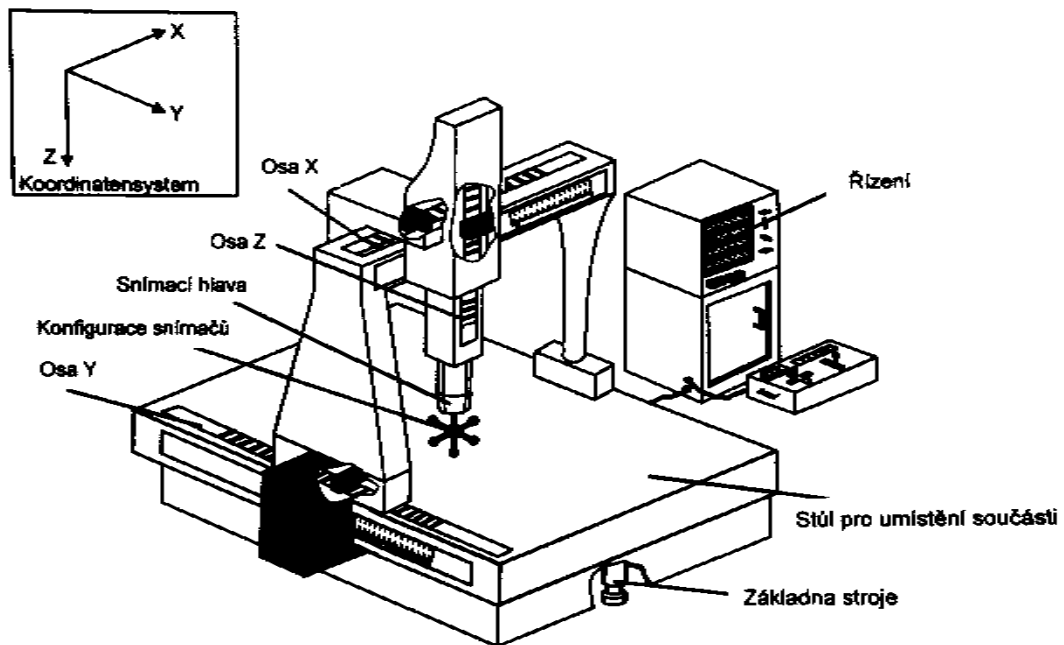


Obr. 14. Carl Zeiss UMM500 1973 [3]

## 4.2 Konstrukce souřadnicových měřících strojů

Všechny souřadnicové měřící stroje bez ohledu na konstrukci mají společné komponenty nutné pro provádění měření. Jsou to tyto komponenty:

- a) vedení os
- b) snímací hlava
- c) počítač se softwarem
- d) řízení
- e) stůl stroje
- f) přídatná zařízení



Obr. 15. Schéma komponentů CMM stroje [3]

Vedení os s měřítky je základ pro souřadný systém. Snímací hlava má buď dotykový, nebo optický senzor. Počítač se softwarem slouží pro zpracování a dokumentaci naměřených údajů. Pomocí řízení se regulují pohony stroje a zpracovávají signály z hlavy a lineárních odměřovacích systémů. Pro upnutí měřené součásti slouží stůl stroje. Stroj může být také vybaven přídatným zařízením v podobě otočného stolu, zásobníku na výměnu konfigurace snímačů nebo otočnou snímací hlavou pro snímací systém.

Osy souřadnicového měřícího stroje slouží pro pojezd senzorů. Musejí být dostatečně přesné, maximálně tuhé a musejí dobře tlumit chvění. Pomocí lineárních odměřovacích systémů v každé ose souřadnicového měřícího stroje je určena poloha bodů snímaných

daným snímacím systémem v souřadnicovém systému. Lineární odměřovací systémy se skládají ze ztělesněné míry a senzoru pro určení polohy nebo změny polohy.

Stůl stroje slouží pro umístění měřené součásti. U dotykových souřadnicových měřících strojů je obvykle vyroben z granitu a je opatřen drážkami nebo závitů pro připevnění přípravků a pro upnutí měřeného dílu. Optické souřadnicové měřící stroje mají většinou skleněnou desku.

Řízení souřadnicového stroje musí splňovat celou řadu funkcí, zejména řízení os a snímání objektu, programování, řízení průběhu měření, záznam a vyhodnocení dat. Z hlediska řízení se rozlišují:

- a) CNC řízené souřadnicové měřící stroje, které umožňují plně automatický průběh měření
- b) ručně ovládané souřadnicové měřící stroje s počítačem řízeným vyhodnocováním a protokolováním naměřených dat

Počítač umožňuje souřadnicovému stroji analyzovat zjištěné výsledky a dospět k obsáhlé informaci o úchylnkách a rozměru, tvaru a polohy snímaných standardních geometrických elementů. To je možné pouze s použitím počítače s vhodným měřícím softwarem. Počítač zajišťuje následující úlohy:

- a) průběh programu měření
- b) korekci systematických vlivů na výsledek měření
- c) transformaci měřených hodnot ze souřadného systému stroje do libovolného souřadného systému součásti
- d) výpočet náhradních elementů, konstrukce a přepočtu funkcí a volných tvarových ploch
- e) vyhodnocení a zobrazení výsledků

Měřící software má klíčový význam pro použitelnost a efektivnost současných souřadnicových měřících strojů. Významné funkce je rozhraní CAD systémů, programování na CAD modelu, tvorba programu měření, automatické rozpoznání elementů, automatizace průběhů.

### 4.3 Typy souřadnicových měřících strojů

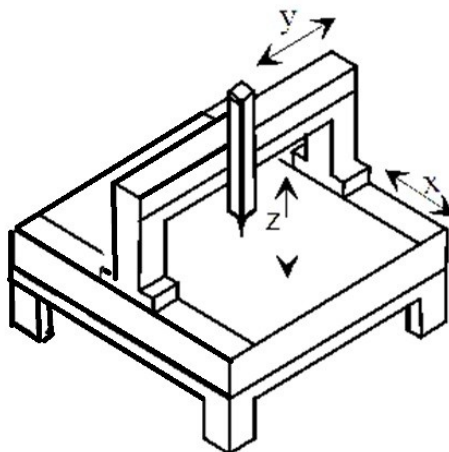
Měřítkem pro rozdělení souřadnicových strojů je velikost měřicího rozsahu, přesnosti a oblast použití. Mezi základní konstrukční typy CMM patří:

- a) portálový
- b) mostový
- c) stojanový
- d) výložníkový

Některé měřicí úlohy jsou natolik specifické, že se v praxi používá konstrukce kombinující více konstrukčních typů. U většiny CMM se využívá kartézský souřadný systém, ale lze se setkat konstrukcí využívající sférické nebo válcové souřadné systémy.

#### 4.3.1 Portálové souřadnicové stroje

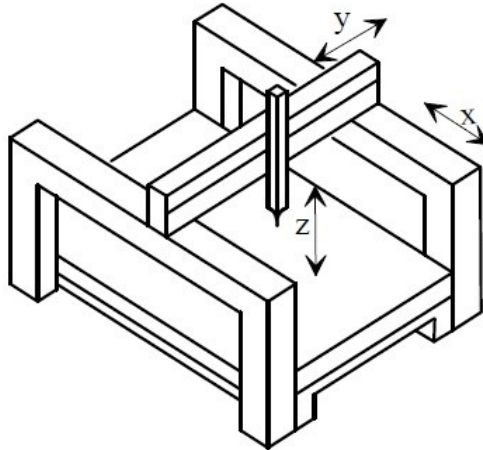
U portálového typu stroje tvoří základnu stůl, na které se pohybuje portál (osa Y). Na portálu se pohybuje osa X s pinolou (osa Z). U portálových strojů s pohyblivým stolem tvoří portál a lože stroje jeden celek. Pohyb ve směru Y je zajišťován pomocí stolu. Portálové stroje jsou nejrozšířenějším typem souřadnicových měřících strojů. Tato konstrukce umožňuje splnit širokou škálu měřících úloh a při tom dodržet vysokou přesnost měření. Stroje s malým až středním rozsahem mají vysokou tuhost a díky tomu malé odchylky měření. Nevýhodou tohoto typu je omezená přípustnost v důsledku pohybujícího se portálu.



Obr. 16. Portálový typ CMM [2]

### 4.3.2 Mostové souřadnicové stroje

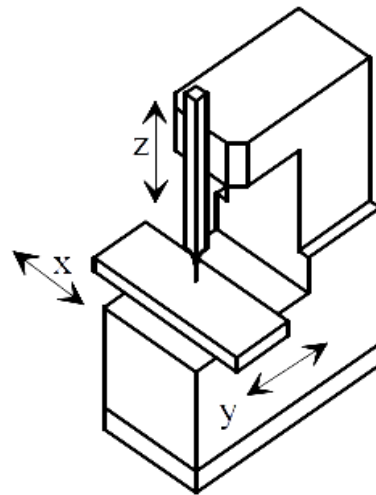
U mostové konstrukce nejsou pohyblivé části umístěny na společném stole stroje. Na pohyblivém mostu (osa Y) se pohybuje osa X s pinolou (osa Z). Mostový typ se používá pro měření velmi rozměrných obrobků v těžkém strojírenství a v automobilovém průmyslu.



Obr. 17. Mostový typ CMM [2]

### 4.3.3 Stojanové souřadnicové stroje

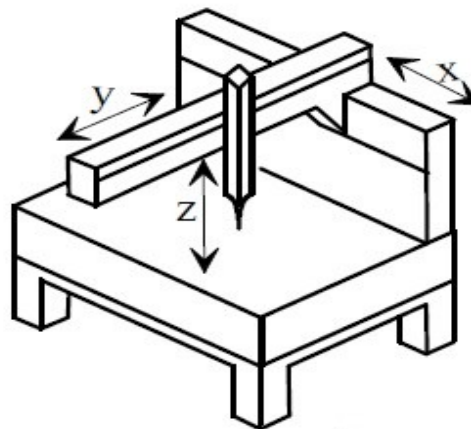
Na stojanovém stroji se na stole, který představuje základnu stroje, pohybuje stojan (osa Y) s výškově přestavitelným ramenem (osa Z). Stojanové souřadnicové stroje se díky velkému měřicímu rozsahu používají především pro kontrolu plechových dílů, odlitků a ocelových dílců v automobilovém průmyslu. Celková konstrukce je podřízena tomu, aby byla zajištěna maximální přístupnost k měřenému objektu.



Obr. 18. Stojanový (sloupový) typ CMM [2]

#### 4.3.4 Výložníkové souřadnicové stroje

Stroje výložníkové konstrukce mají lože s pohyblivým stolem (osa Y) a s pohyblivým stojanem (osa X) s pinolou (osa Z). Výložníkové souřadnicové měřicí stroje jsou vhodné pouze pro malé měřicí rozsahy, jelikož přečnávající část stojanu může mít vzhledem k tuhosti jen malou délku. Velká podstava a malá hmotnost stojanu umožňují velká zrychlení a vysoké rychlosti u těchto strojů. Výložníkové měřicí stroje mají malé nejistoty měření díky uspořádání odměřovacích systémů s optimálním dodržení Abbeho komparačního principu. Používají se proto především pro přesná měření kalibrů a vzorových dílů.



Obr. 19. Výložníkový typ CMM [2]



## 4.4 Senzory CMM

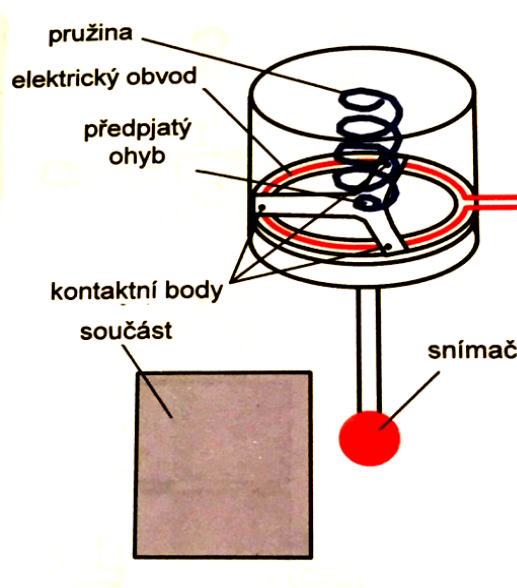
Senzory na CMM snímají měřený objekt. Na základě signálu senzoru a polohy os jsou určeny měřené body na objektu. Volba vhodného senzoru pro měření je velice důležitým úkolem. Výběr je ovlivňován podmínkami na měřené součásti, chemickým složením měřené součásti, tuhostí součásti, přesností a efektivností měření.

### 4.4.1 Dotykové senzory

Při měření dotykovým snímačem je snímač v kontaktu s měřeným povrchem součásti. Snímač je umístěn ve snímací hlavě, která při kontaktu se součástí vytváří elektrický signál, pomocí kterého je odečtena poloha pomocí lineárních odměřovacích systémů. Snímací systém je tvořen snímací hlavou a snímačem, popřípadě konfigurací snímačů. Snímací systémy jsou děleny na optické-bezdotykové a mechanické-dotykové. Nejpoužívanější jsou dotykové snímací systémy. Dotykové snímací systémy se dále dělí na spínací a měřicí.

### 4.4.2 Spínací snímací systémy

Spínací snímací systém zaznamenává naměřené hodnoty pouze jednostupňově. Při otevření popřípadě zavření elektrického kontaktu jsou odečteny polohy os stroje. Spínací element je proveden jako pružinou předpjaté třibodové uložení ve formě elektrického kontaktu. Při kontaktu snímače se součástí se vyklopením otevře kontakt.



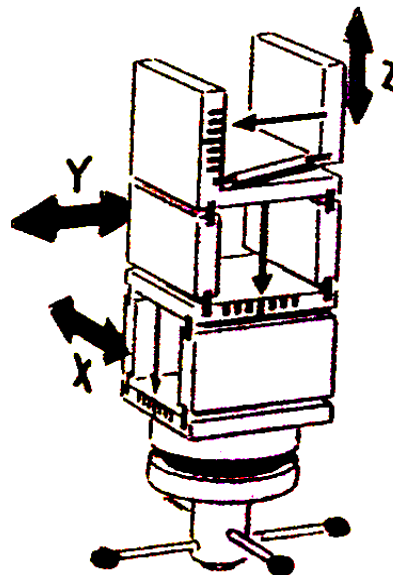
Obr. 20. Schéma spínacího snímacího systému [3]



Obr. 21. Spínací systém od firmy Renishaw TP200 [6]

#### 4.4.3 Měřicí snímací systém

Měřicí snímací systém je vybavena třemi navzájem kolnými pružinovými paralelogramy sesouhlasenými s osami stroje. Jednotlivé osy mají odměřovací systém, těmi se určuje velikost vychýlení paralelogramu. Tento systém je schopen měřit zadanou součást skenováním, to znamená, že snímač je neustále v kontaktu s měřeným povrchem.



Obr. 22. Schéma měřicí snímací hlavy [3]



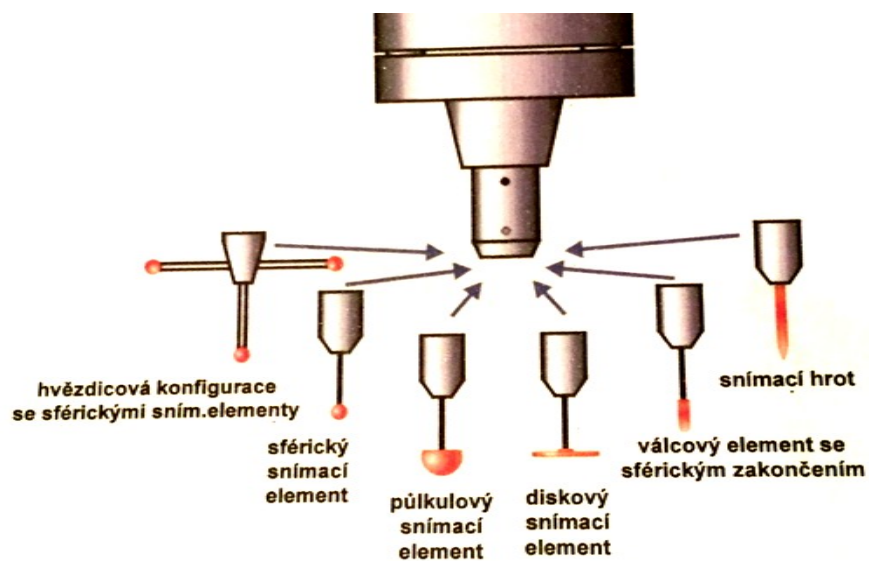
Obr. 23. Měřicí snímací systém od firmy ZEISS VAST XTR [3]

#### 4.4.4 Snímače

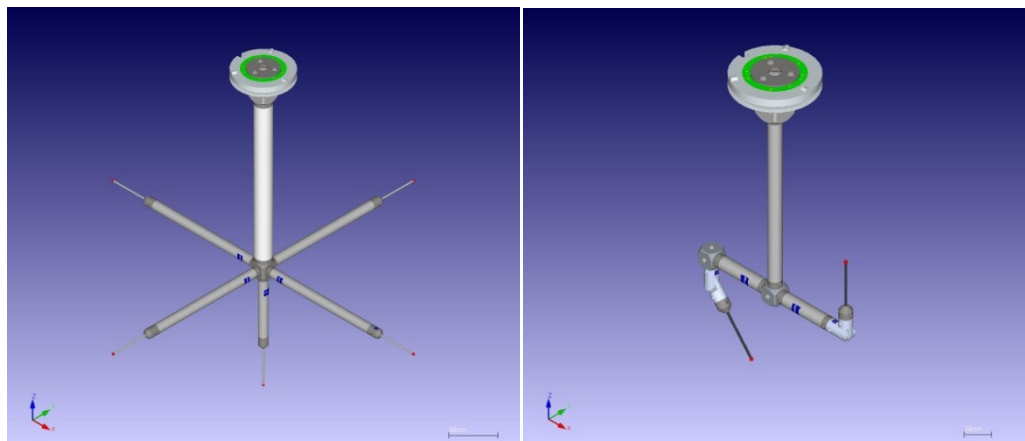
Snímače pro dotykové měření mohou mít různé snímací elementy (velikost, tvar). Při složitějších aplikacích lze jednotlivé snímače sestavovat do různých konfigurací. Mezi nejčastěji používané snímací elementy patří:

- a) sférický element
- b) diskový element
- c) válcový element

Nejčastější sestavou snímačů je hvězdicová konfigurace.



Obr. 24. Příklady snímacích elementů [3]



Obr. 25. Příklady konfigurace snímačů

## 5 POŽADAVKY NA PŘESNOST A OPAKOVATELNOST MĚŘÍCIHO STROJE

Nejdůležitější vlastností měřících strojů je přesně a opakovatelně změřit daný rozměr. Přesnost je definována jako schopnost dávat údaje shodné se skutečnou měřenou veličinou. Určuje stupeň přiblížení naměřených hodnot hodnotám skutečným.

### 5.1 Přesnost měřícího stroje

Přesnost určuje stupeň přiblížení naměřených hodnot k hodnotám skutečným. Přesnost souřadnicového stroje je ovlivněna těmito komponenty stroje:

- a) vedením
- b) uložením v ložiscích a pohonech
- c) lineárním odměřovacím systémem os
- d) snímací hlavou

Přesnost těchto komponentů je dále ovlivněna jejich tepelnou roztažností a atmosférickými podmínkami, v kterých se nachází. Určité nepřesnosti při pohybu stroje lze kompenzovat početní korekcí, která je nahrána v řídicím systému každého stroje. Výrobce vždy uvádí maximálně přípustné chyby.

### 5.2 Přejímací zkouška

Souřadnicový měřicí stroj má odchylky jako všechny stroje a přístroje. Aby bylo možné zjistit velikost těchto odchylek, provádí se na stroji speciální kontrolní postup, který se nazývá přejímací zkouška. Přejímací zkouška je definována v normě DIN EN ISO 10360. Při přejímací zkoušce jsou kontrolovány tyto vlastnosti:

- a) chyba snímání P
- b) chyba indikace E při měření rozměru

Uvádějí se vždy maximální přípustné chyby MPE. Pomocí chyby snímání P se v podstatě popisuje chování snímacího systému. Výrobce uvádí maximální dovolenou hodnotu chyby snímání  $P_{MPE}$ . Pomocí chyby indikace CMM při měření rozměru, je E popsáno jako přesnost geometrie souřadnicového měřícího stroje. Maximální dovolená chyba indikace  $E_{MPE}$  je vyjádřena formou vzorce:  $E_{MPE}=A+L/K$ . Kde L je měřená délka, A a K jsou konstanty.

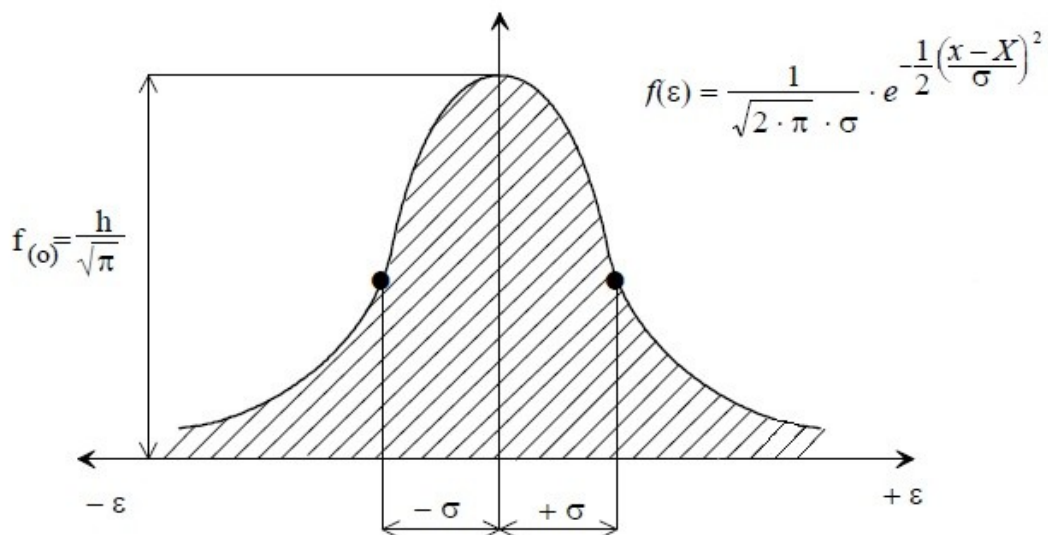
### 5.3 Chyby měření

Jako každý stroj tak i měřicí stroj je zatížen chybou. Naměřené hodnoty se pouze ke skutečným přibližují.

Matematicky lze chyby měření vyjádřit:

$$\Delta = x - X \quad \text{kde: } \Delta - \text{chyba měření; } x - \text{naměřená hodnota; } X - \text{skutečná hodnota} \quad (1.10)$$

Při měření se objevují tři druhy chyb: chyby systematické, náhodné a hrubé. Systematické chyby se objevují pravidelně, jestliže známe konvenčně pravou hodnotu lze u nich uplatnit korekci. Výskyt náhodných chyb je opravdu náhodný, náhodnou chybu nelze zjistit jedním měřením. Výskyt náhodných chyb se s počtem měření řídí danými zákonitostmi. Hrubá chyba je způsobena špatným měřením (volba špatné metody, únava pozorovatele atd.) Jestliže se jednotlivá měření stejné veličiny provedou opakovaně a výsledky se seřadí do intervalů, pak lze sestavit histogram relativních četností měřené veličiny. Zákonitost četností v intervalech má zvláštnosti v tom, že interval obsahující střední hodnotu  $X$  (aritmetický průměr měření) má největší absolutní ( $n_i$ ) a relativní ( $f_i = n_i/n$ ) četnost. Absolutní i relativní četnosti pak klesají n napravo i nalevo od intervalu  $x$ . Po proložení histogramu dostaneme Gausovu křivku. Na ose  $x$  máme skutečnou chybu  $\varepsilon$  a na ose  $y$  funkci  $f(\varepsilon)$ .



Obr. 26. Gausova křivka [2]

Hodnoty  $+\sigma$ ,  $-\sigma$  jsou směrodatné odchylky. Rozptyl je definován jako čtverec směrodatné odchylky  $\sigma^2$ . Pravá hodnota měřené veličiny  $X$  lze vyjádřit pomocí odchylek  $v$  (2.10). Při výpočtech vycházíme z toho, že součet odchylek ve skupině měření je roven nule.

$$v_i = x_i - \bar{x} = x_i - \left( X + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \right) = (\varepsilon_i + X) - X - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i = \varepsilon_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \quad (2.10)$$

Součet čtverců odchylek:

$$v_i^2 = \left( \varepsilon_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \right)^2 \quad (3.10)$$

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \cdot \frac{n-1}{n} \quad (4.10)$$

↓

$$n \sum_{i=1}^n v_i^2 = (n-1) \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \quad (5.10)$$

↓

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 - s^2 \quad (6.10); s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (7.10)$$

Parametr  $s$  z rovnice (7.10) je výběrová směrodatná odchylka a vyjadřuje variaci výsledků téže měřené veličiny pro sérii  $n$  měření. Pokud v rovnici vyjadřující Gaussovu křivku nahradíme exponent výrazem:

$$t = \frac{\bar{x} - X}{\bar{s}} = \frac{\bar{x} - X}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (8.10)$$

$$k_{\alpha,n} = t \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (9.10)$$

$$\text{výsledek měření} = \bar{x} \pm k_{\alpha,n} \quad (10.10)$$

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 6 CÍLE PRÁCE

Cílem této práce je seznámit s problematikou 3D měřících strojů a tvorbou technologického postupu měření pro konkrétní součást. Tato práce se věnuje:

- představení stroje, na kterém je díl měřen
- rozboru měřeného dílu, včetně definování měřených pozic
- tvorbě přípravku pro upnutí
- vytvoření měřícího programu a nástrojů v měřícím programu Calypso
- vyhodnocení reálných výsledků

## 7 STROJ ZEISS MMZ-T

S měřicím rozsahem až 14,8 m<sup>3</sup> je řada MMZ-T největším portálovým měřicím strojem od firmy Carl Zeiss. Otevřená konstrukce umožňuje snadné nakládání jeřábem. MMZ-T je obzvlášť robustní. Pracovní prostor stroje je na vzduchových měších, které pomáhají kompenzovat setrvačné pohyby při měření. U každého dílu stroje je dbáno na vysokou tuhost a tepelnou stabilitu. Zajímavostí u tohoto stroje je ochrana proti kolizi pinoly s obrobkem pomocí optické brány a schopnost přepočítat teplené kompenzace na měřeném dílu. MMZ-T je vybaveno aktivní skenovací hlavou VAST GOLD. MMZ-T využívá měřicího software Calypso. Chyba měření je  $2,5 + L / 400$ . Měřicí rozsah v xyz je 2100/4400/1600 mm. Celková hmotnost stroje je 16 250 kg a maximální hmotnost obrobku 10 000 kg. Stroj, na kterém bylo prováděno měření, byl vybaven opozicovanou pracovní deskou od firmy Renishaw a zásobníkem pro deset snímacích systémů.



Obr. 27. Zeiss MMZ-T

## 7.1 Skenovací hlava VAST GOLD

Skenovací hlava VAST GOLD může nést snímací systémy do délky 800 mm a hmotnosti 600g. Díky speciální funkci vyvažování snímacích systémů lze použít i asymetrické konfigurace. Oproti ostatním skenovacím hlavám se VAST GOLD vyznačuje vysokou skenovací rychlostí až 200 mm/s. Hlava je vybavena ochranným límcem, který zabrání případné kolizi s měřenou součástí.

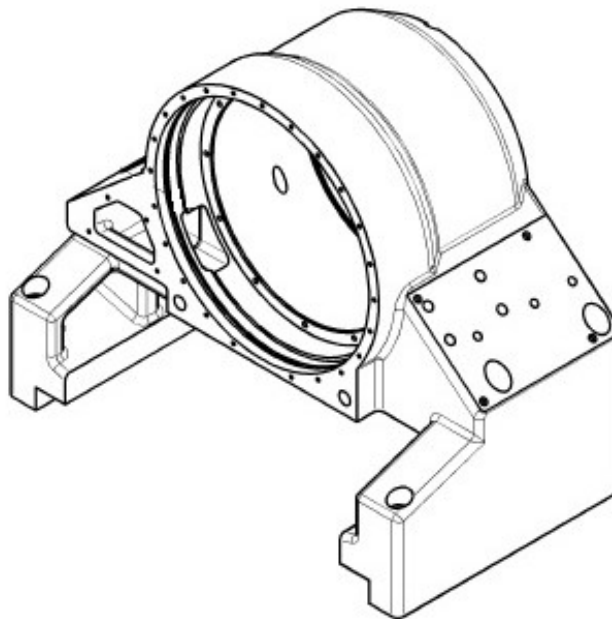


Obr. 28. VAST GOLD [3]

Snímací síla může být přizpůsobena geometrii snímače. Síla lze nastavit v rozmezí 50 až 1000 milinewtonů. Dalším prvkem je VAST navigátor, který s pomocí softwaru Calypso generuje vhodné dráhy a přejezdy.

## 8 MĚŘENÁ SOUČÁST

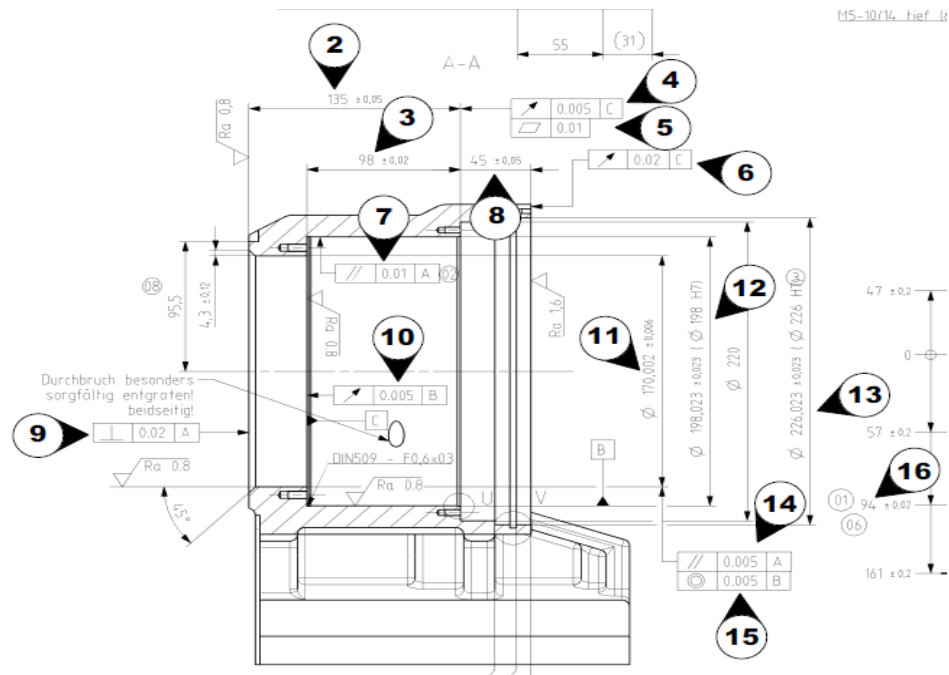
Měřená součást je obráběná na CNC centrech. Polotovarem je odlitek z tvárné litiny. Na součásti jsou obráběny jak rovinné, tak válcové plochy. Součást je prvkem velmi složité a na přesnost náchylné sestavy. To se promítá u velmi přísně předepsaných geometrických i rozměrových tolerancí. Rozměry, které nejsou výkresem součásti definovány, určuje všeobecná norma ISO 2768 – fH . Součást má základní rozměry 412mm x 243mm x 339mm. Hmotnost součásti je 40,53 kg.



Obr. 29. Měřená součást

### 8.1 Kontrolní pozice

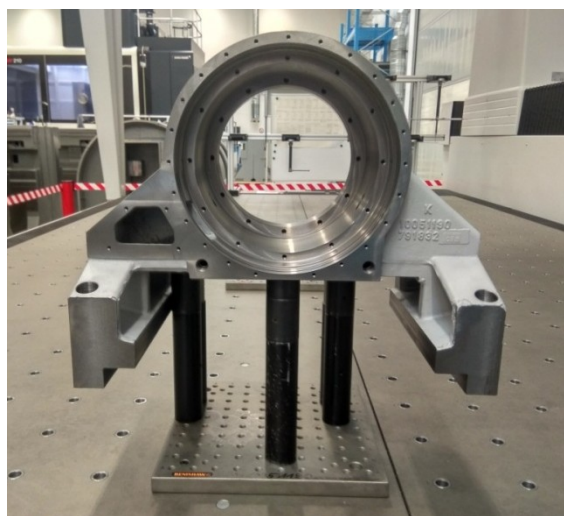
Požadavkem zákazníka bylo provést měření u všech rozměrů, jejichž tolerance je menší jak 0,05 mm. Všechny ostatní rozměry měly být kontrolovány při vzorkování prvního kusu. Po dodání výkresu byly pozice patřičně zaznačeny a očíslovány. Na výkrese součásti tak bylo vybráno 17 měřených pozic.



Obr. 30. Zaznačení kontrolních pozic na výkrese

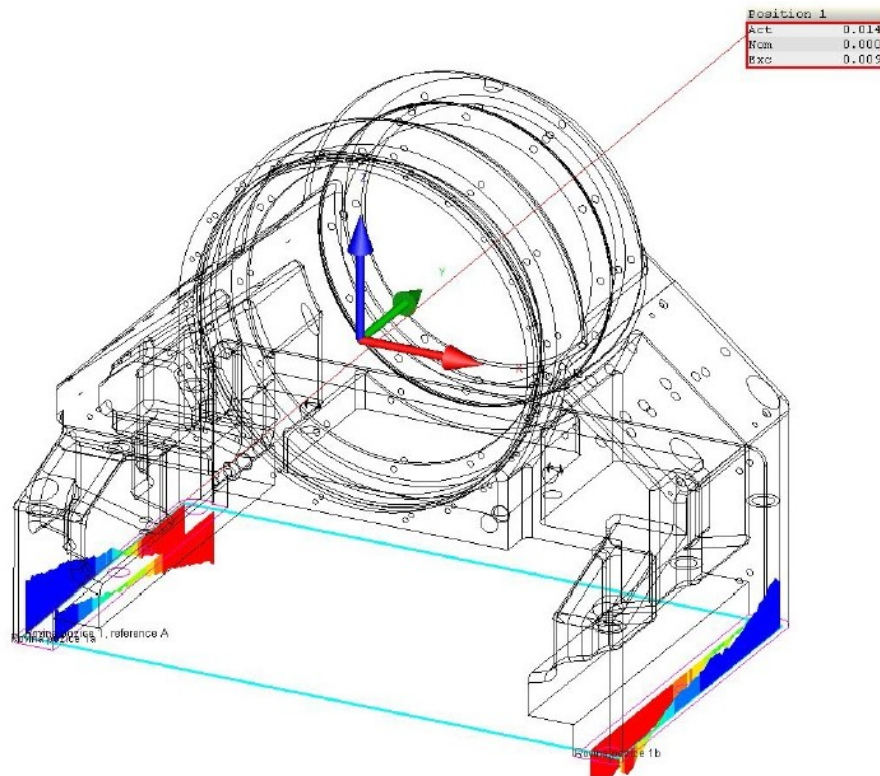
## 8.2 Upnutí součásti

Při upínání měřené součásti je potřeba dodržovat určitá pravidla. Díly se měří buď dle specifikace výkresu, nebo v takzvaném volném stavu. Pro ustanovení součásti by měly být použity obrobené plochy, u kterých se dá předpokládat rozměrová stálost. Nejčastěji se součásti měří ve volném stavu, to znamená, že díl je položen na tři body. Tyto body by měly být voleny tak, aby se díl co nejméně deformoval a my nezanášeli chybu upínání do měření.



Obr. 31. Upnutí součásti pomocí dílu od firmy Renishaw

Dále musí být upnutí takové, že umožní měření všech kontrolních pozic. Přípravek pro tento konkrétní díl byl sestaven z dílu ze stavebnice Renishaw, která je určena speciálně pro upevnění dílu pro měření. Aby bylo možné přípravek použít a výsledky měření prohlásit za objektivní, je potřeba provést několik zkušebních měření a sledovat jestli nedochází k nevhodným deformacím, které by mohly ovlivnit výsledky.



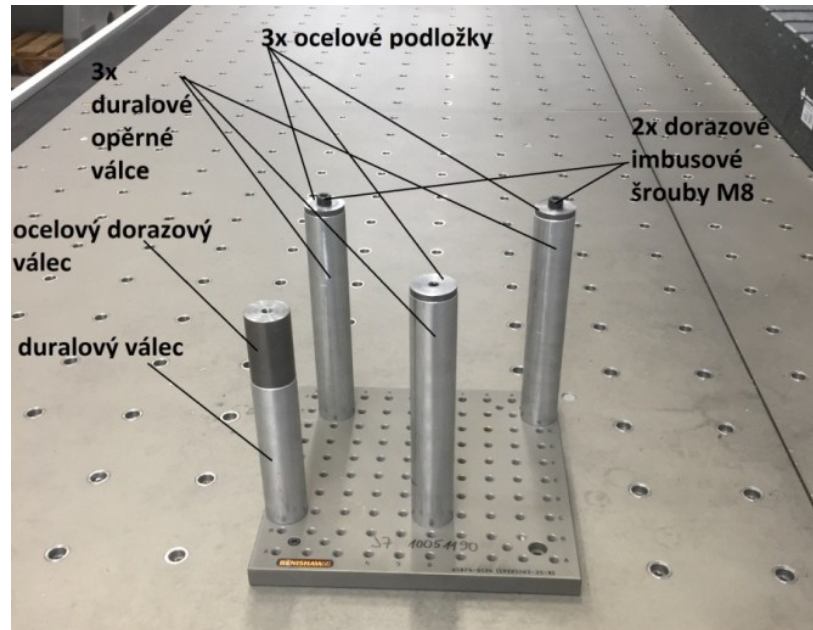
Obr. 32. Příklad nevhodného upnutí, které se promítlo do deformace měřené roviny

### 8.3 Vytvoření přípravku pro automatizovaný průběh

V průběhu tvorby měřicího programu, se objevil požadavek, aby měřicí program byl prováděn v automatizovaném režimu. Aby program mohl být spuštěn v automatizovaném režimu je potřeba dodržet několik bodů. Nejprve musí být program dokonale odladěn na reálných kusech. Dalším bodem je zajištění opakovatelného upnutí dílu. To znamená, že operátor kus usazuje pořád na stejné místo na stroji, které je přesně definované.

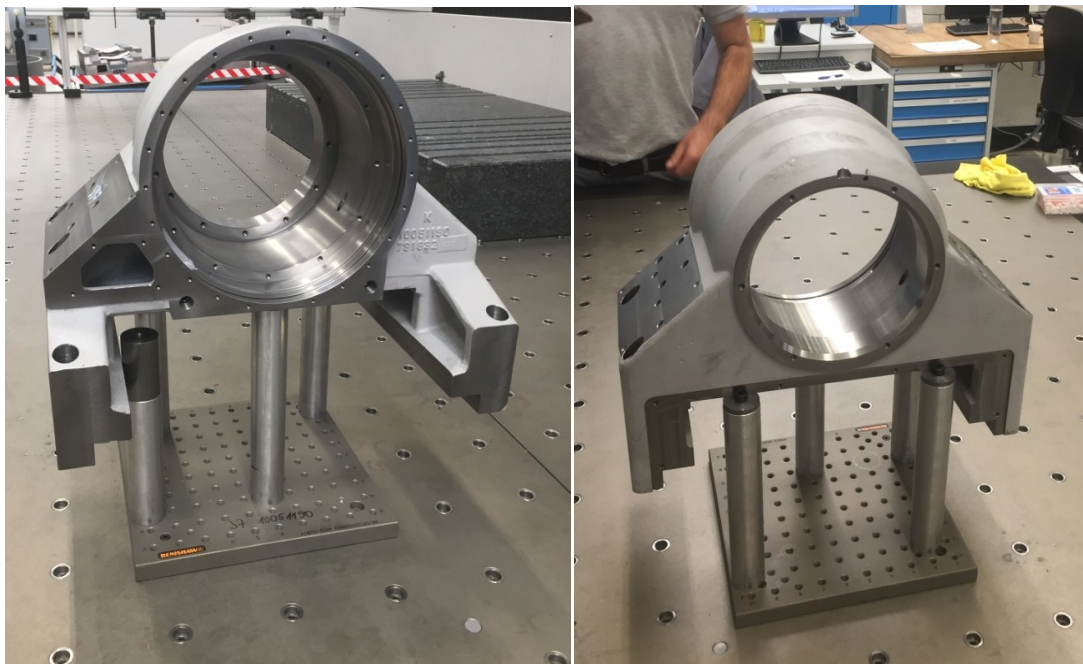
Aby byl přípravek, co nejjednodušší byl vytvořen z duralových a ocelových válců, celková filozofie měla být velice podobná stavebnici Renishaw.





Obr. 33. Schéma přípravku

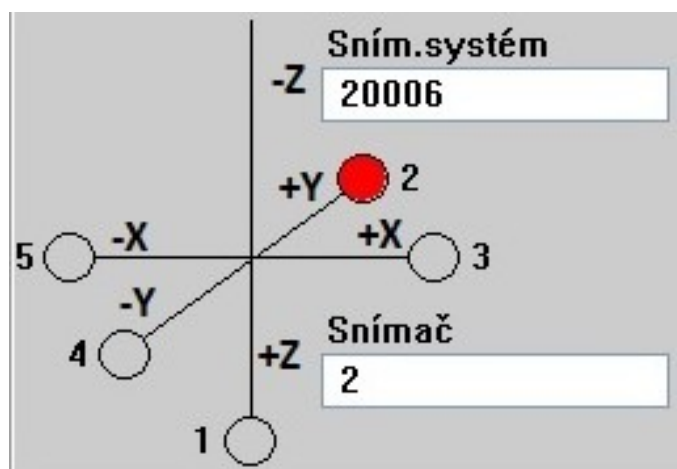
Přípravek se skládá ze čtyř duralových válců. Protože je dural náchylný na opotřebení, jsou na nich podložky vytvořené z ocelových válců, které se přímo dotýkají měřeného dílu. Jako dorazy zde slouží imbusové šrouby M8 s hlavou, zašroubované do opěrných válců, a duralový válec s ocelovým prodloužením. Pro celý tento komplet je využita deska Renishaw. Tato deska má v sobě indexované otvory M8, to znamená, že každý válec má svoji definovanou pozici.



Obr. 34. Upevnění dílu na přípravek s plně definovanou polohou

## 8.4 Snímací systém

Pro správné změření jednotlivých elementů na měřené součásti, je zapotřebí mít vhodný snímací systém. Snímací systém musí být dostatečně tuhý a musí mít vhodnou velikost kuličky. Při volbě velikosti kuličky se musí brát v potaz, že kulička funguje jako takzvaný mechanický filtr. Konstrukce snímacího systému musí být taková, aby měření neprobíhalo dřikem nástroje, ale pouze povrchem kuličky. Každá snímací hlava má definované maximální rozměry a hmotnost snímacího systému. U hlavy VAST GOLD je maximální délka snímacího systému 800 mm a maximální hmotnost 800g.



Obr. 35. Označení jednotlivých snímačů na nástroji

Při konstrukci nástrojů pro měření tohoto dílu, byl kladen důraz na to, aby nástroje byly použitelné i pro měření jiných dílů. Nástroje byly nejprve vytvořeny v programu Stylus manager od firmy ZEISS, který pracuje s knihovnou normalizovaných součástí pro snímací systémy od firem ZEISS a Renishaw. Po sestavení byly nástroje kalibrovány a z výsledků kalibrace bylo rozhodnuto o jejich použití. Byly vytvořeny dva snímací systémy, kterými bylo provedeno celé měření dané součásti. Nástroje dostaly číselné označení 20006 a 20015 pro lepší evidování.



**230 0 1**

Pořadové číslo sestavy doteků celkově (číslování vzestupně od 001)

Délka použitého základního prodloužení (thermofit) pouze v ose Z-

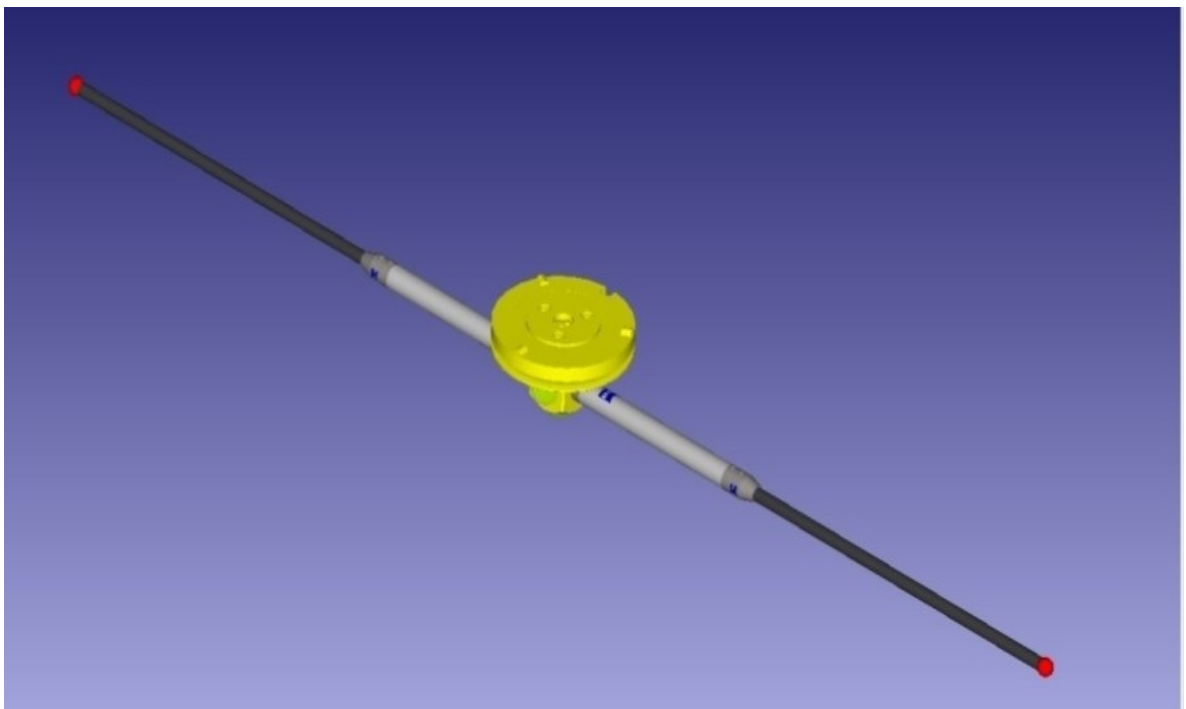
- Bez prodloužení = 0
- Prodloužení 50mm = 1
- Prodloužení 100mm = 2
- Prodloužení 150mm = 3
- Prodloužení 200mm = 4

Číslo typu sestavy dle počtu použitých doteků na celé sestavě

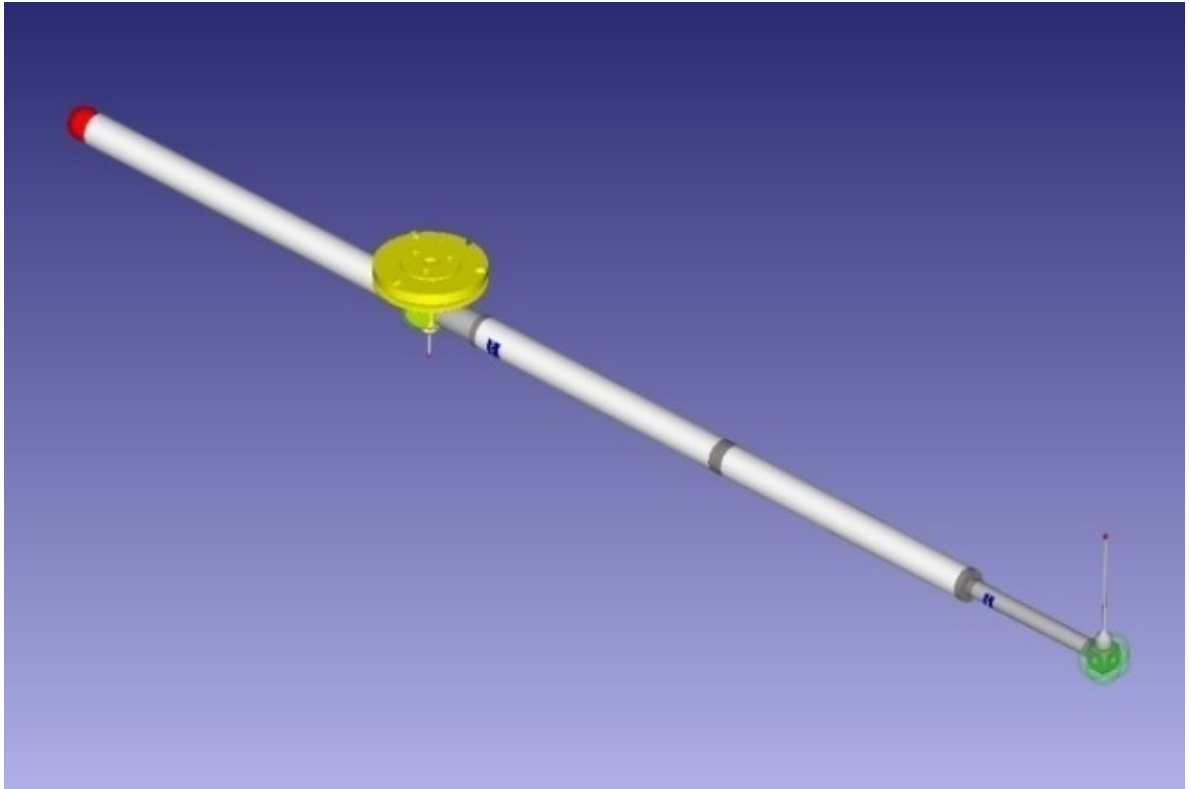
- Jednoduchá sestava s dotekem pouze v Z- = 1
- Sestava typu L nebo T = 2
- Sestava typu kříž nebo T + 1 dotek = 3
- Sestava typu hvězdice bez doteku č.1 = 4
- Sestava typu plná hvězdice = 5

Obr. 36. Pokyn pro číselné označení nástrojů

Nástroj 20006 je tvořen dvěma doteky s karbonovým prodloužením a základním prodloužením z thermofitu. Nástroj má dotek 2 v +Y a 4 v -Y.



Obr. 37. Nástroj 20006



Obr. 38. Nástroj 20015

U nástroje 20015 jsou použity tři thermofitové prodloužení. Nástroj má dva doteky. Dotek 1 v  $-Z$  a 2 v  $+Y$ . Ve směru  $-Y$  bylo přidáno protizávaží pro lepší vyvážení.

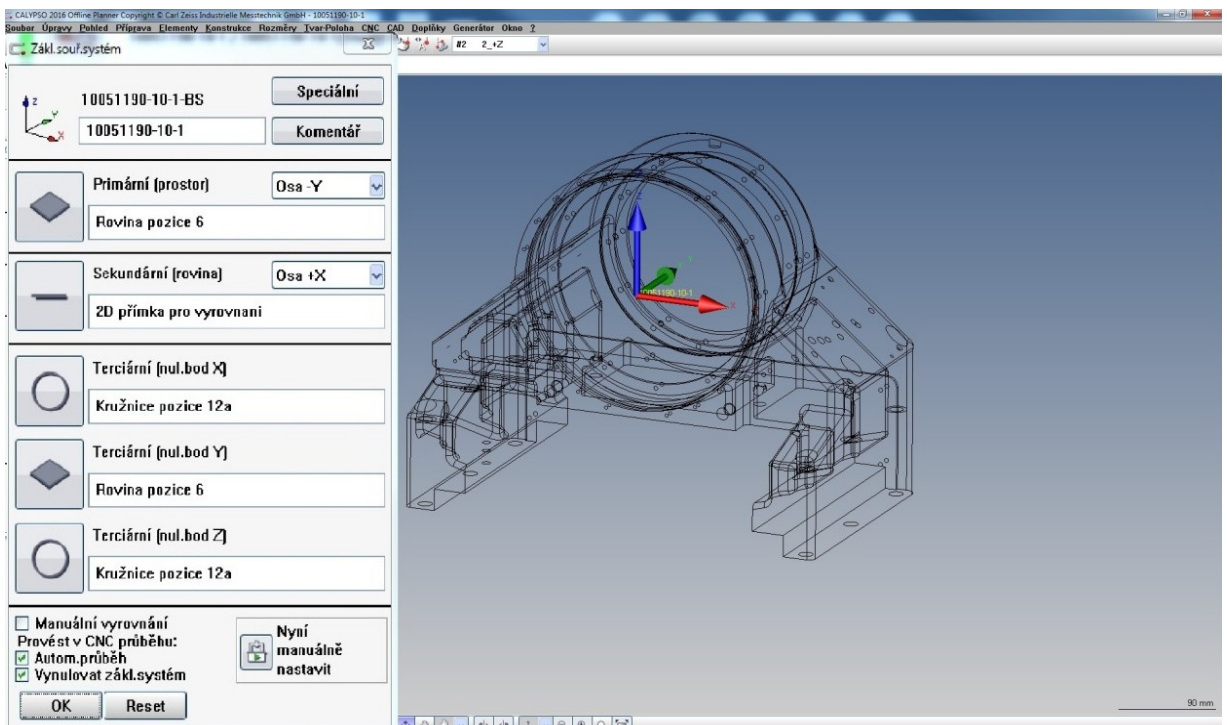
## 9 ZÁKLADNÍ NASTAVENÍ

Jak již bylo uvedeno, stroje ZEISS používají pro svoje ovládání software Calypso. Tento software je velice podobný CAM programům s tím rozdílem, že se stroj v něm přímo ovládá. V softwaru Calypso lze pracovat jak s 3D modelem, tak i bez něj. Je také možnost pracovat i v takzvaném offline režimu, ve kterém veškeré kroky systém nasimuluje a vyhodnotí případné kolize.

Každý program má stromovou strukturu a je tvořen nasnímanými elementy a z nich jsou vyhodnocovány charakteristiky. Pro lepší přehlednost programu byly názvy elementu popisovány podle kontrolních pozic. Jako výstup programu je měřicí protokol. Protokol může obsahovat nejen číselné hodnoty odchylek a rozměrů, ale i jejich grafické znázornění.

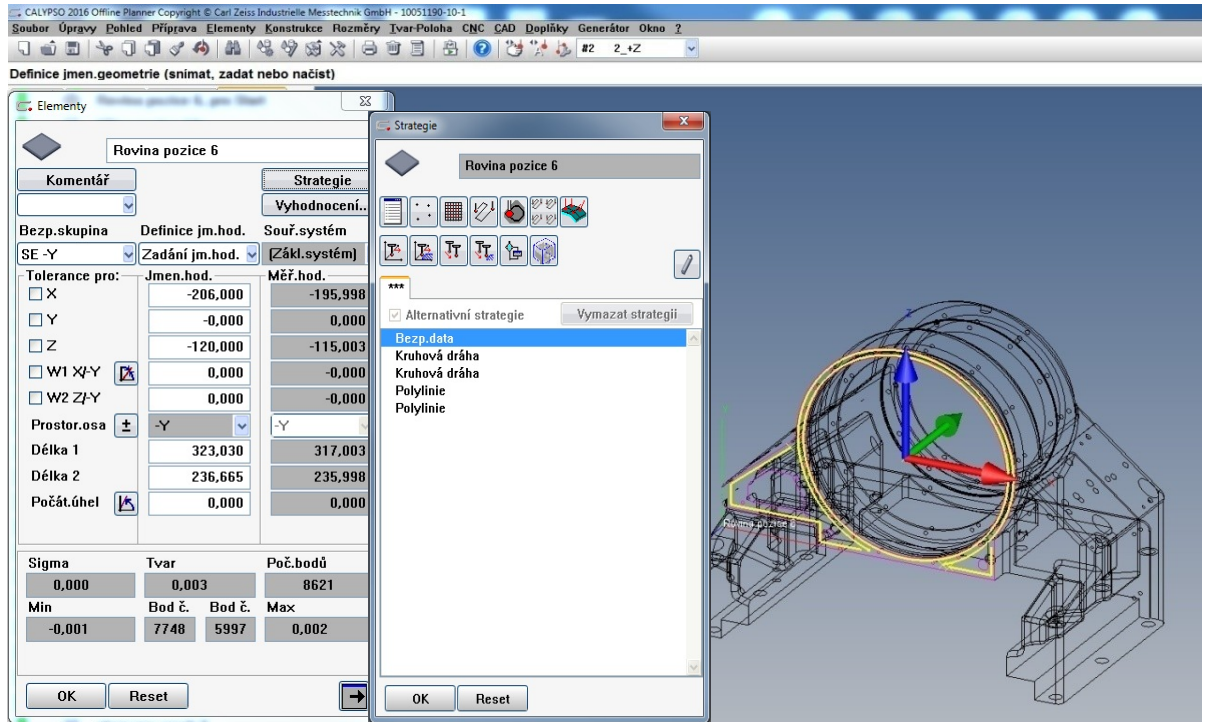
### 9.1 Určení základního systému

Při určení základního souřadného systému na měřeném dílu určíme, v jaké poloze bude na pracovní desce stroje. Pro definování souřadného systému byly vybrány základní geometrické elementy na součásti. Základní systém by měl být volen z elementů, které patří mezi kontrolní pozice, popřípadě je definován z výkresové dokumentace.



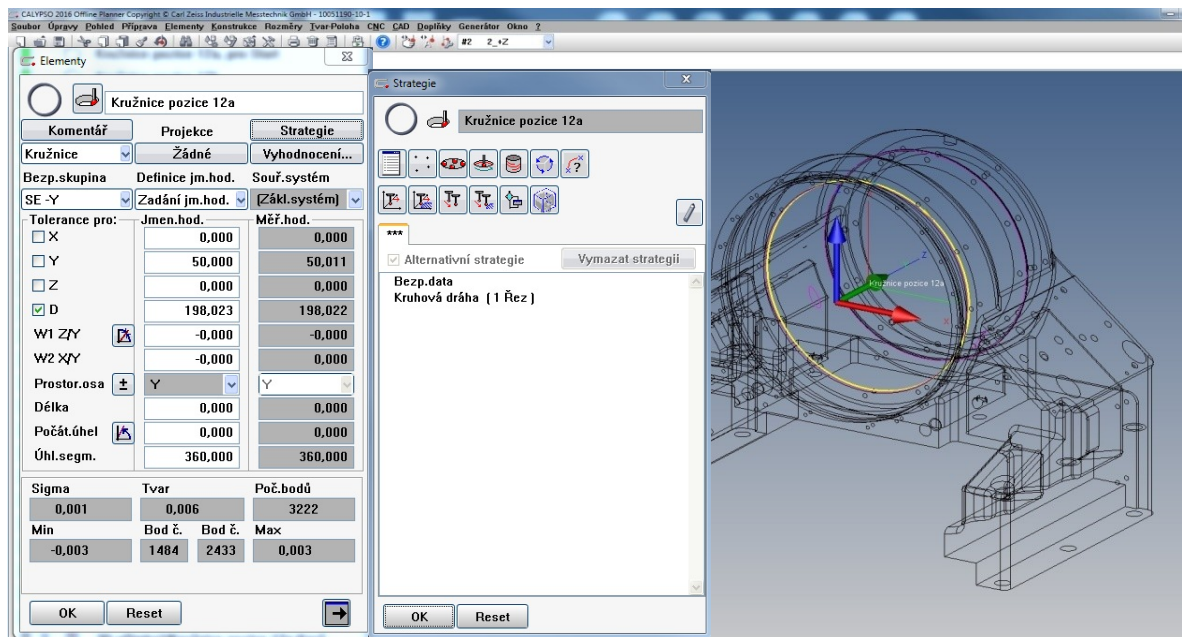
Obr. 39. Základní systém

Nejprve byl vložen 3D model měřené součásti, dále byly definovány elementy využitě pro souřadný systém. Rovina pozice 6 určuje směr osy  $-Y$ . Pro definování osy  $+X$  byla použita 2D přímka.



Obr. 40. Rovina pozice 6 pro tvorbu základního systému

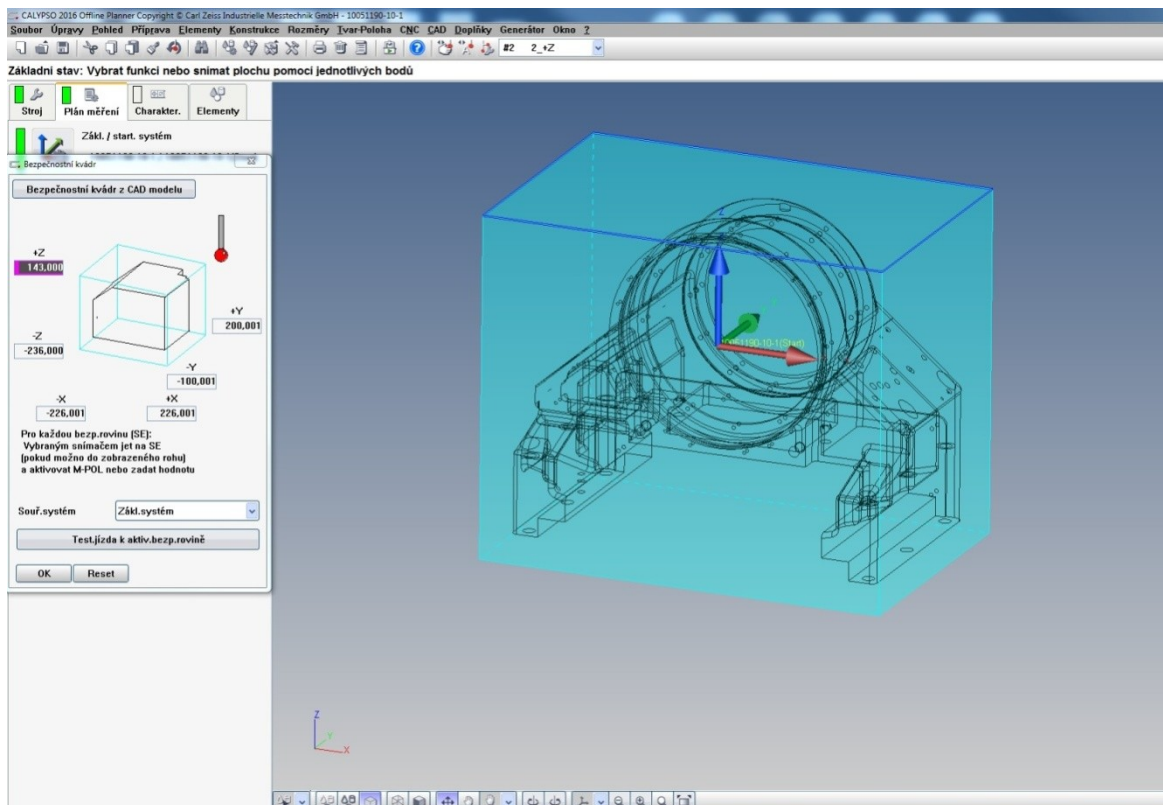
Jako nulový bod v X a Z byla vybrána Kružnice pozice 12a. Pro nulový bod v ose Y byla opět použita Rovina pozice 6.



Obr. 41. Kružnice pozice 12a pro tvorbu základního systému

## 9.2 Definování bezpečnostního kvádru

Dalším důležitým krokem při tvorbě programu je definování bezpečnostního kvádru. Bezpečnostní kvádr je prostor kolem součásti, ve kterém se snímací sonda pohybuje sníženou rychlostí, mimo něj používá rychloposuv. Bezpečnostní kvádr lze vytvořit z CAD modelu, ale i zadáním jednotlivých XYZ souřadnic. U měřeného dílu bylo použito definování kvádru z CAD modelu. Byla nastavena vzdálenost 20 mm. To znamená, že 20 mm je nejmenší vzdálenost od kvádru k CAD modelu.



Obr. 42. Bezpečnostní kvádr



## 10 TVORBA MĚŘÍCÍHO PROGRAMU

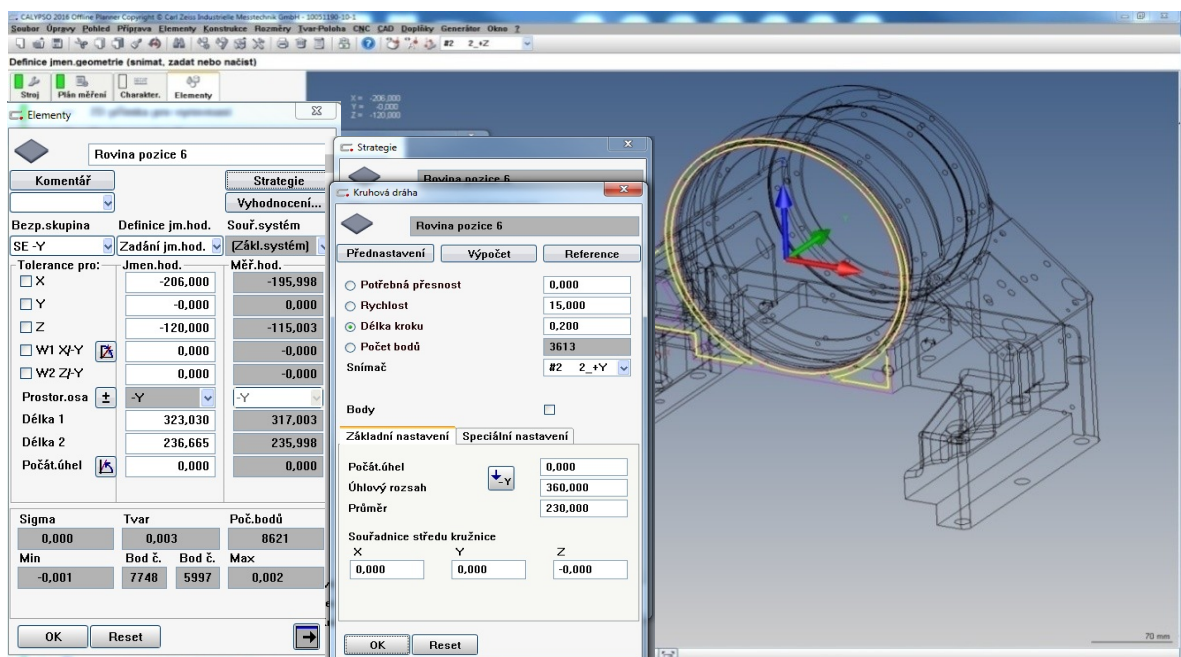
Základním stavebním prvkem každého programu jsou měřené elementy. U elementu je potřeba definovat velké množství parametrů, aby bylo možné měření vůbec provést. Nejprve určíme snímací systém a číslo doteku, kterým provedeme měření elementu. Dále určíme v jakém směru má nástroj najíždět a vyjíždět z elementu. U každého elementu musíme nadefinovat dráhu, po které snímač provede měření. V každé dráze nastavíme optimální rychlost snímání a krok (délka kdy je sejmuto bod). Tyto hodnoty jsou u každého elementu rozdílné, pro určení orientačních parametrů lze využít VAST Navigator, který bere v potaz velikost elementu, druh snímače a nadefinovanou toleranci charakteristiky.

### 10.1 Elementy snímané nástrojem 20006

Nástrojem 20006 je měřena většina měřených elementů. Konstrukce tohoto nástroje umožňuje snímání elementu pouze jedním dotekem snímače. Vzhledem k přesnosti měření je to výhodné, protože pracujeme pouze s chybou jednoho snímače.

#### 10.1.1 Element rovina pozice 6

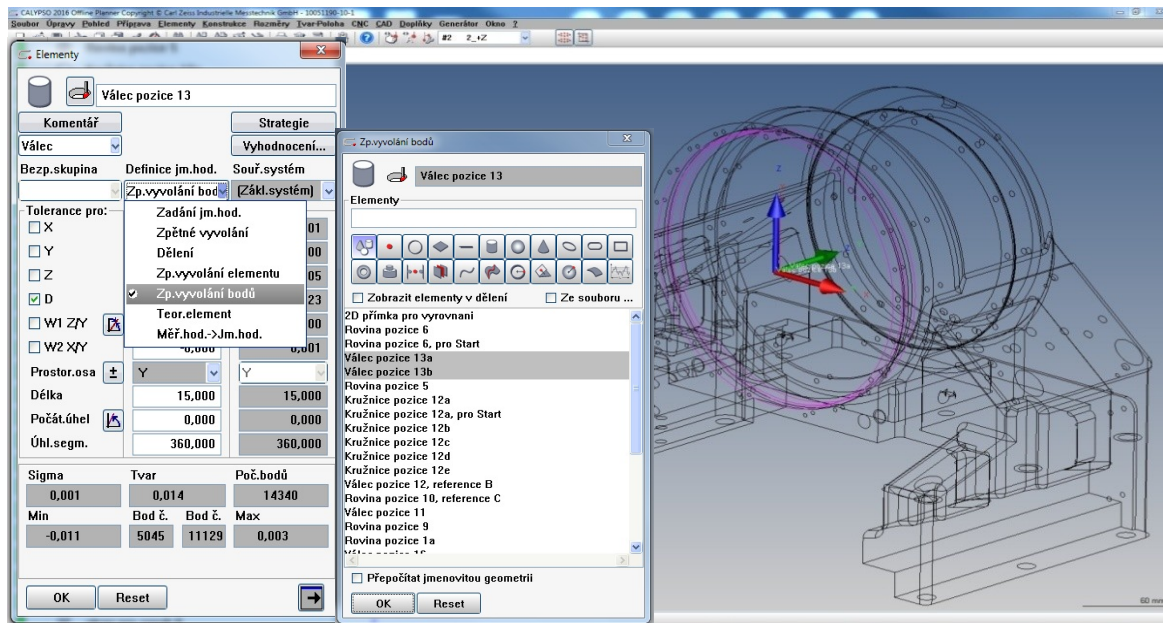
Tento element je změřen snímacím systémem 20006 a snímačem 2 ve směru +Y. Dráhy měření se skládají z kruhových drah a přímek. Rychlost je nastavena na 15 mm/s a délka kroku 0,2mm.



Obr. 43. Element rovina pozice 6

### 10.1.2 Element válec pozice 13

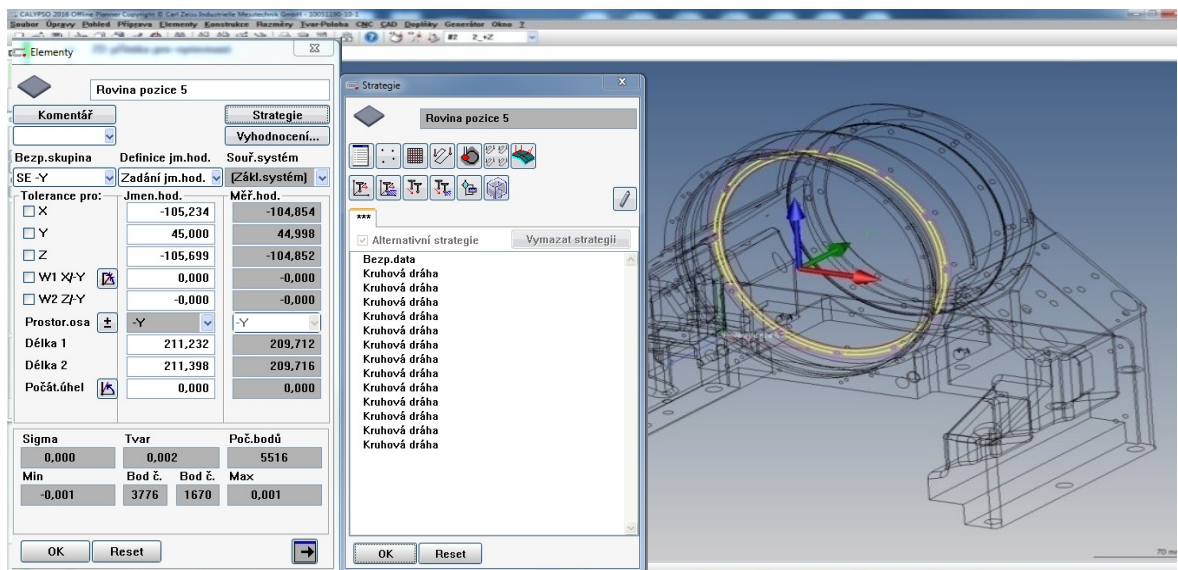
Protože ve válci pozice 13 je osazení a otvor, byl element složen ze dvou válců. V každém válci byly vytvořeny dvě kruhové dráhy. Použit byl nástroj 20006 dotek 2 +Y. Strategie byly provedeny rychlostí 5 mm/s a krokem 0,2 mm.



Obr. 44. Element válec pozice 13

### 10.1.3 Element rovina pozice 5

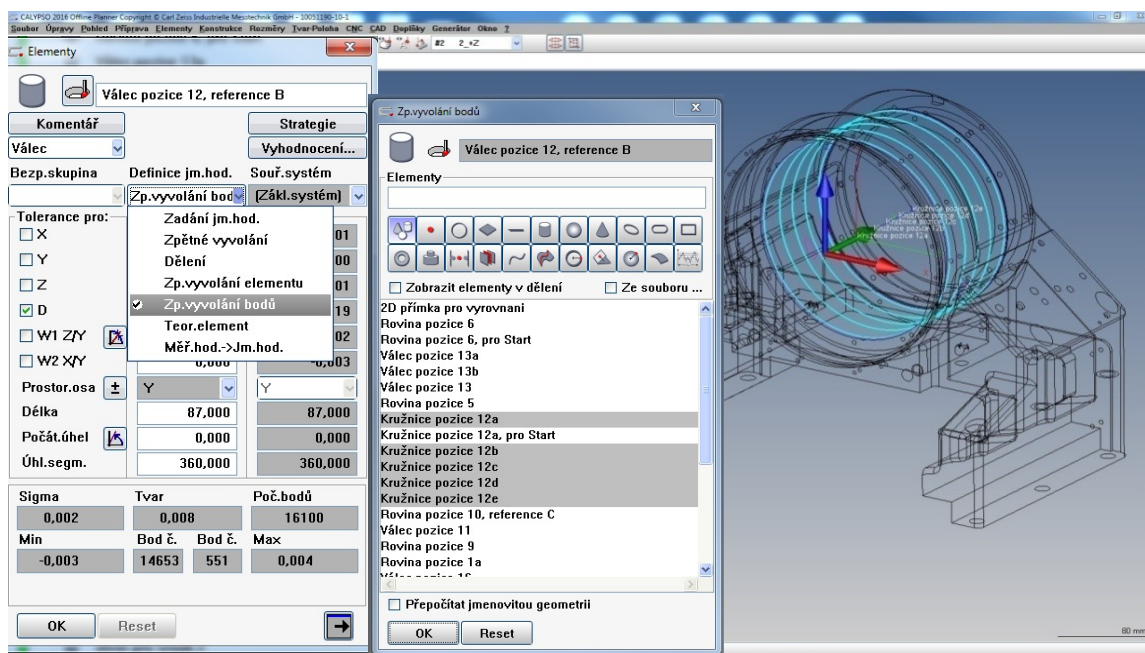
Pro měření elementu pozice 5 byl použit nástroj 20006 dotek 2 +Y. Jako dráhy pro měření byly použity kružnice a kruhové výseče. Rychlost byla 15 mm/s a krok 0,2 mm.



Obr. 45. Element rovina pozice 5

### 10.1.4 Element válec pozice 12 reference B

Tento element je na výkrese definován, jako základna B. Válec je pro přesnější měření složen z pěti kružnic. U tohoto elementu je využita funkce zpětného vyvolání bodů, která umožní z těchto kružnic složit válec. Další možnost by bylo element změřit rovnou jako válec z kruhových drah, ale to by nebylo možné sledovat chování kružnic v jednotlivých hloubkách. Rychlost je u všech kružnic nastavena na 5 mm/s a délka kroku 0,2 mm. Kružnice byly změřeny snímacím systémem 20006 a snímačem 2 ve směru +Y.

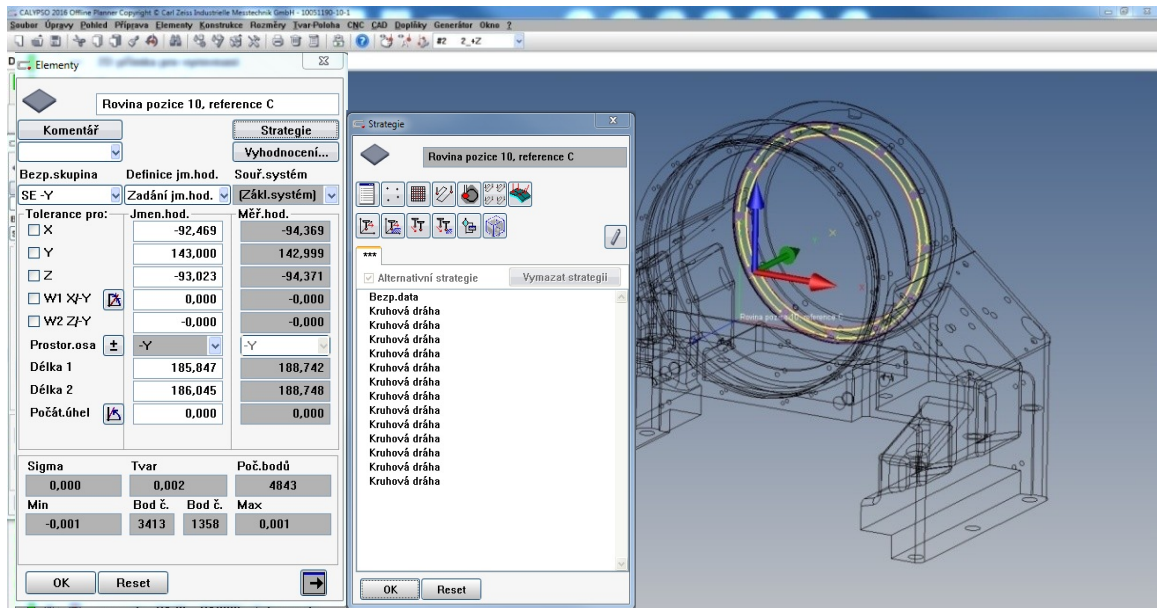


Obr. 46. Element válec pozice 12

### 10.1.5 Element rovina pozice 10, reference C

Další referencí dle výkresové dokumentace je rovina pozice 10. Jedná se o čelo uvnitř válce. Opět zde byla použita kombinace kruhové dráhy a kruhových výsečí. Rychlost snímání byla 15 mm/s a délka kroku 0,2 mm. Element byl změřen nástroje 20006 do-tekem 2 +Y.

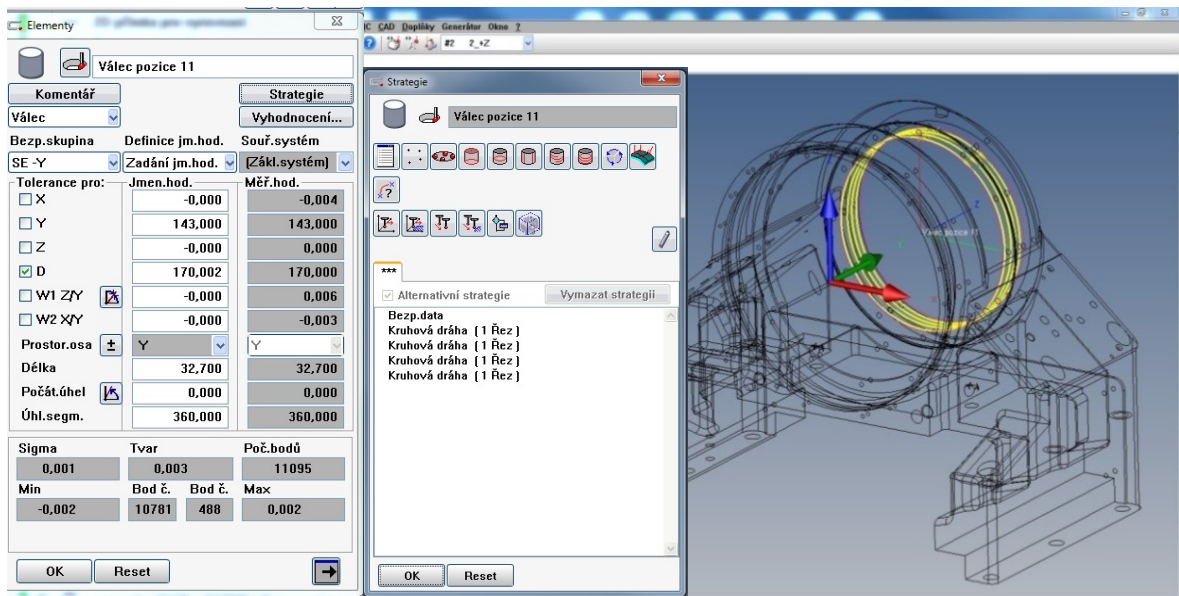




Obr. 47. Element rovina pozice 10

### 10.1.6 Element válec pozice 11, reference D

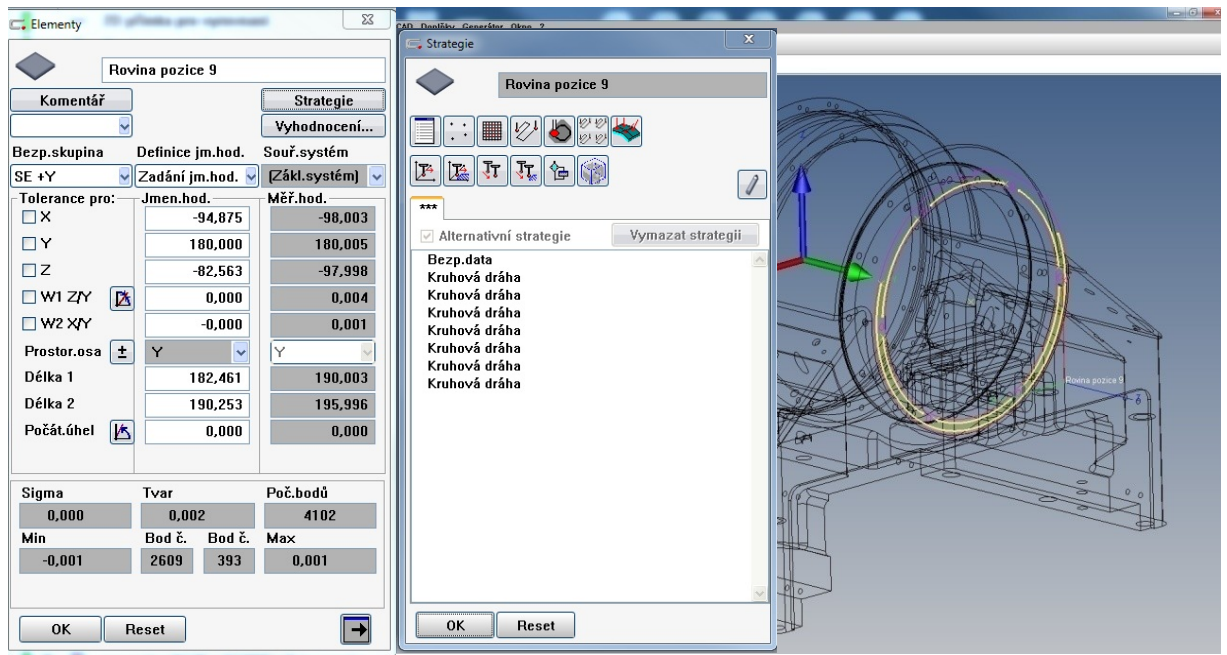
Reference D je na výkrese definována jako válec. Element byl měřen pomocí čtyř kružnic. Rychlost snímání byla nastavena na 5 mm/s a krok 0,2 mm. Kružnice byly nasnímány nástrojem 20006 a dotekem 2 +Y.



Obr. 48. Element válec pozice 11

### 10.1.7 Element rovina pozice 9

Rovina pozice 9 je zadní čelo válce, proto byly opět použity kruhové dráhy a výseče. Element byl změřen nástrojem 20006 dotykem 4 –Y, rychlostí 15 mm/s a krokem 0,2 mm.



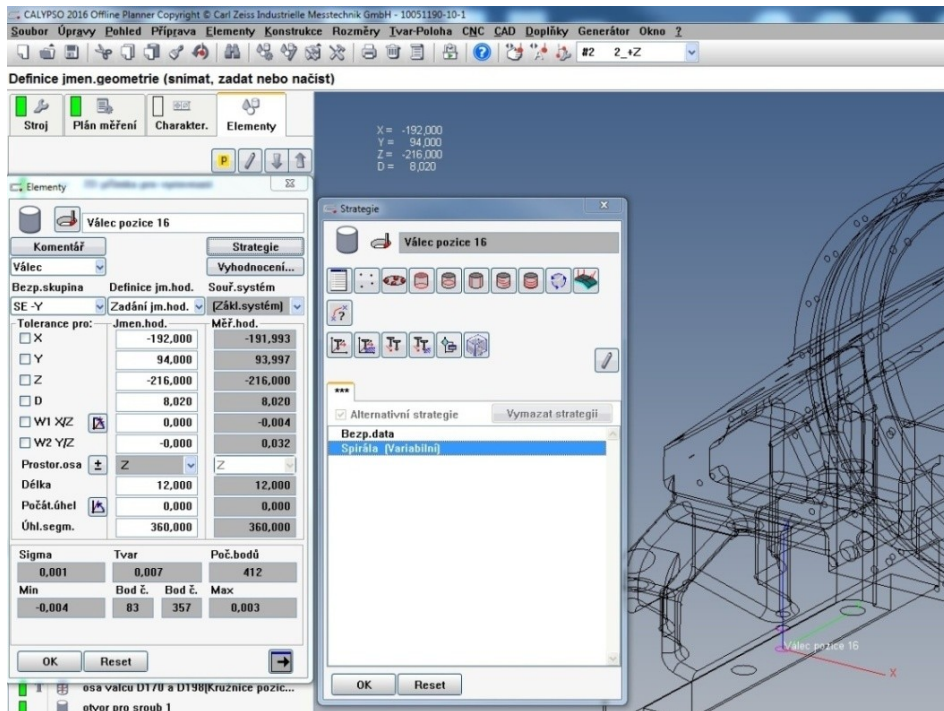
Obr. 49. Element rovina pozice 9

## 10.2 Elementy snímané nástrojem 20015

Nástrojem 20015 jsou měřeny všechny elementy ve spodní části součásti. Změření těchto elementů umožňuje zalomení nástroje ve směru 2+Y +Z.

### 10.2.1 Element válec pozice 16

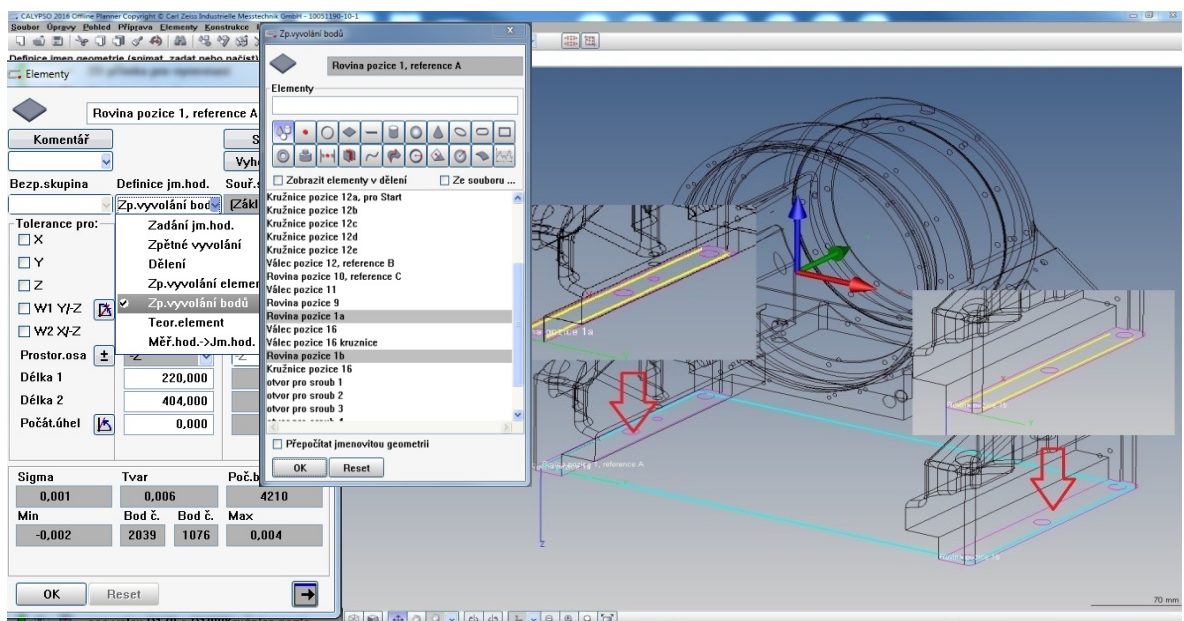
Válec pozice 16 je element, který leží ve spodní části součásti. Proto musel být tento element měřen nástrojem 20015 dotekem 2 +Y +Z. Tento válec byl měřen pomocí spirály rychlostí 5 mm/s a krokem 0,2 mm.



Obr. 50. Element válec pozice 16

### 10.2.2 Element rovina pozice 1, reference A

Rovina 1 je podle výkresu definována, jako základna A. Jedná se o dvě roviny ve spodní části součásti. Proto tento element byl složen ze dvou rovin. Pro měření rovin byly použity dráhy z přímek. Jako nástroj byl použit 20015 a dotyk 2 +Y. Snímací rychlost 15 mm/s a krok 0,2 mm.



Obr. 51. Element rovina pozice 1

## 11 TVORBA CHARAKTERISTIK A MĚŘÍCÍHO PROTOKOLU

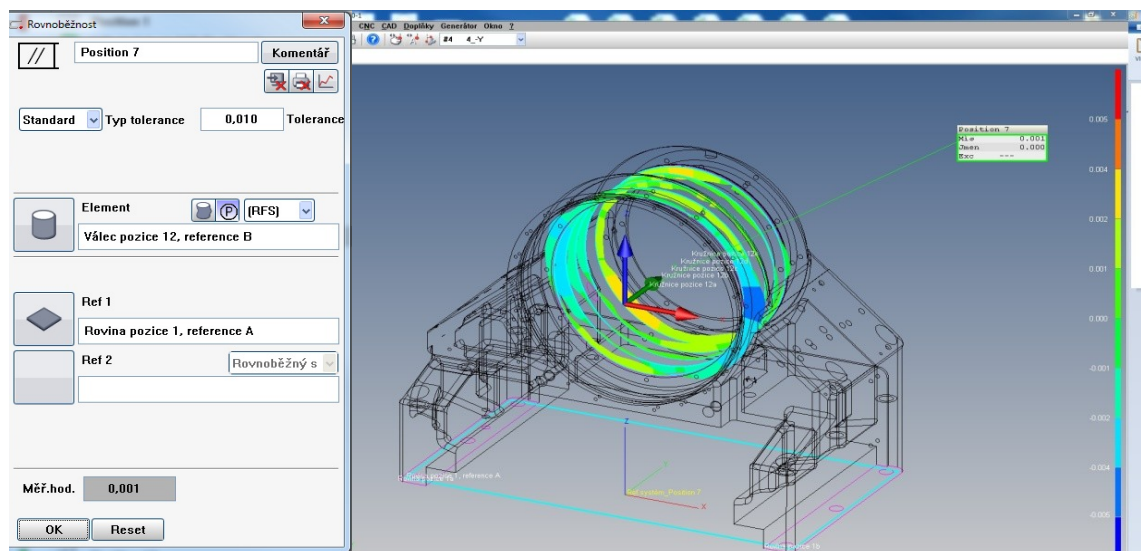
Po vytvoření všech potřebných elementů lze začít tvořit měřicí charakteristiky. Měřicí charakteristiky vytvoří vztah mezi vybranými elementy a vyhodnotí je v patřičném geometrickém, nebo rozměrovém předpisu. V softwaru Calypso lze také ke každé charakteristice vytvořit grafické znázornění průběhu odchylky. Všechny charakteristiky i s grafkami lze vložit do měřicího protokolu ve formátu pdf. Pro všechny kontrolní pozice byly vytvořeny charakteristiky.

### 11.1 Charakteristiky používající základnu A

Základna A je definována jako rovina. Je měřena jako element rovina pozice 1 nástrojem 20015.

#### 11.1.1 Charakteristika pozice 7

Charakteristika pozice 7 je rovnoběžnost osy válce pozice 12 (reference B) a roviny 1 (reference A). Díky tomu, že válec byl měřen, jako samostatné kružnice lze vidět, která z nich nejvíce ovlivňuje tvorbu osy a tím celkový výsledek. Tolerance je zde nastavena na 0,010 mm.

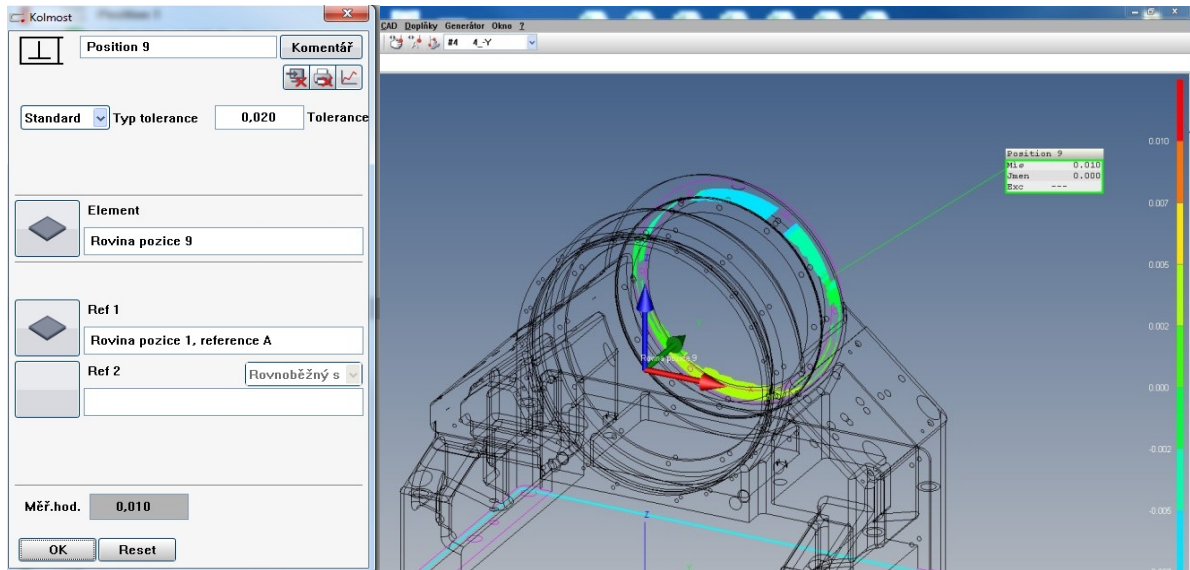


Obr. 52. Charakteristika pozice 7

#### 11.1.2 Charakteristika pozice 9

Měření pozice 9 je definováno jako kolmost pozice 9 a roviny pozice 1 (reference A). Kolmost je tolerována 0,020 mm.

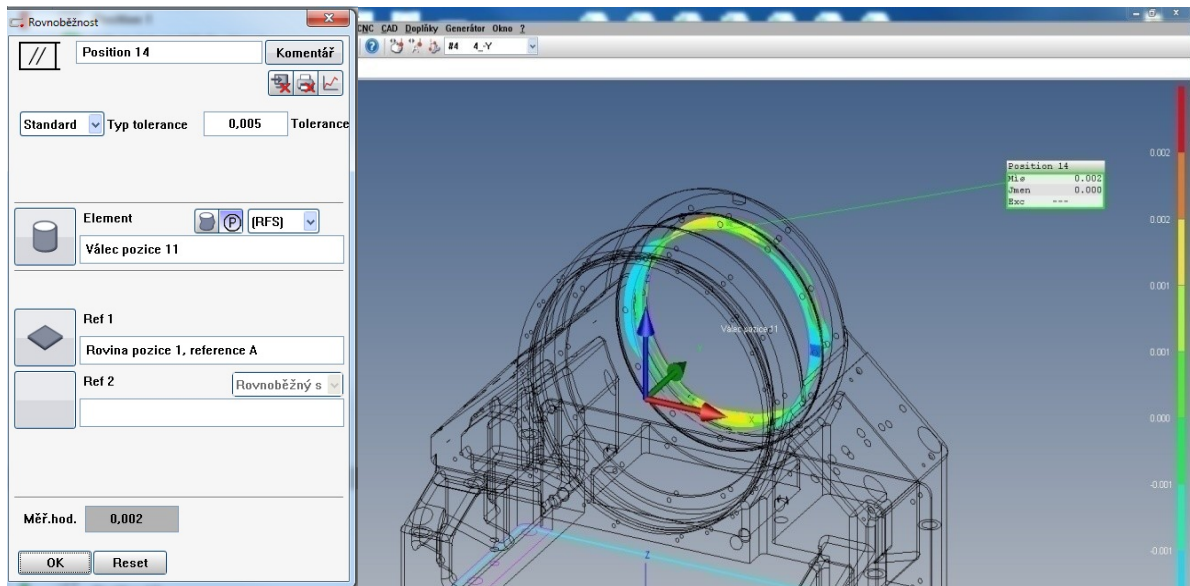




Obr. 53. Charakteristika pozice 9

### 11.1.3 Charakteristika pozice 14

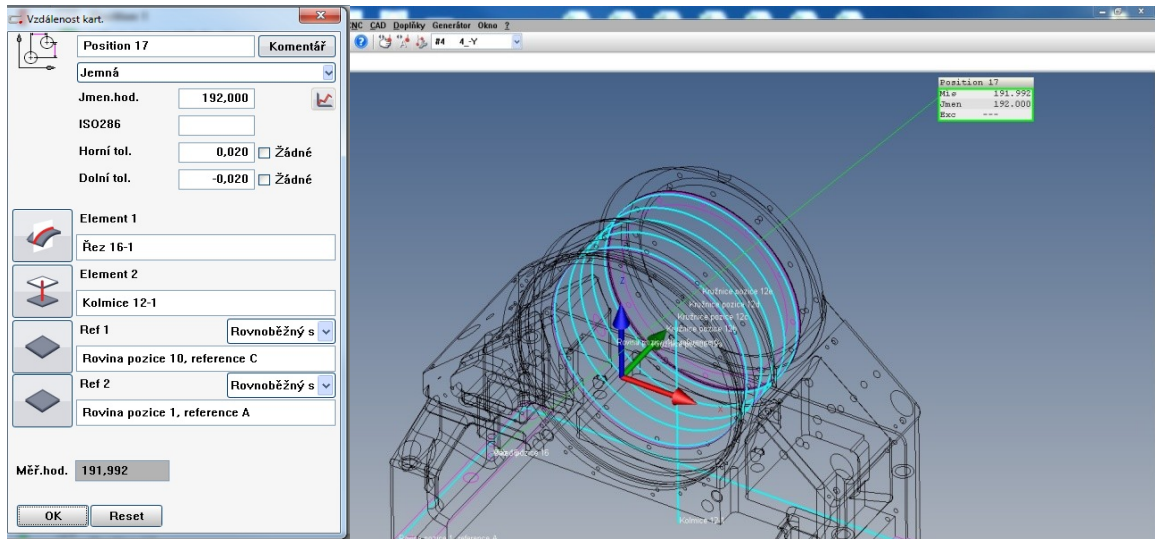
Pozice 14 je definována jako rovnoběžnost osy válce pozice 11 a roviny pozice 1 (reference A). Tolerance charakteristiky je 0,005mm.



Obr. 54. Charakteristika pozice 14

### 11.1.4 Charakteristika pozice 17

Pozice 17 je na výkrese definována jako vzdálenost osy válce pozice 16 od počátku. Pro vyhodnocení je zde využít řez válcem pozice 16 a kolmice vytvořená z válce pozice 12 (reference B) a rovinou pozice 1 (reference A). Tolerance rozměru je  $192 \pm 0,020\text{mm}$ .



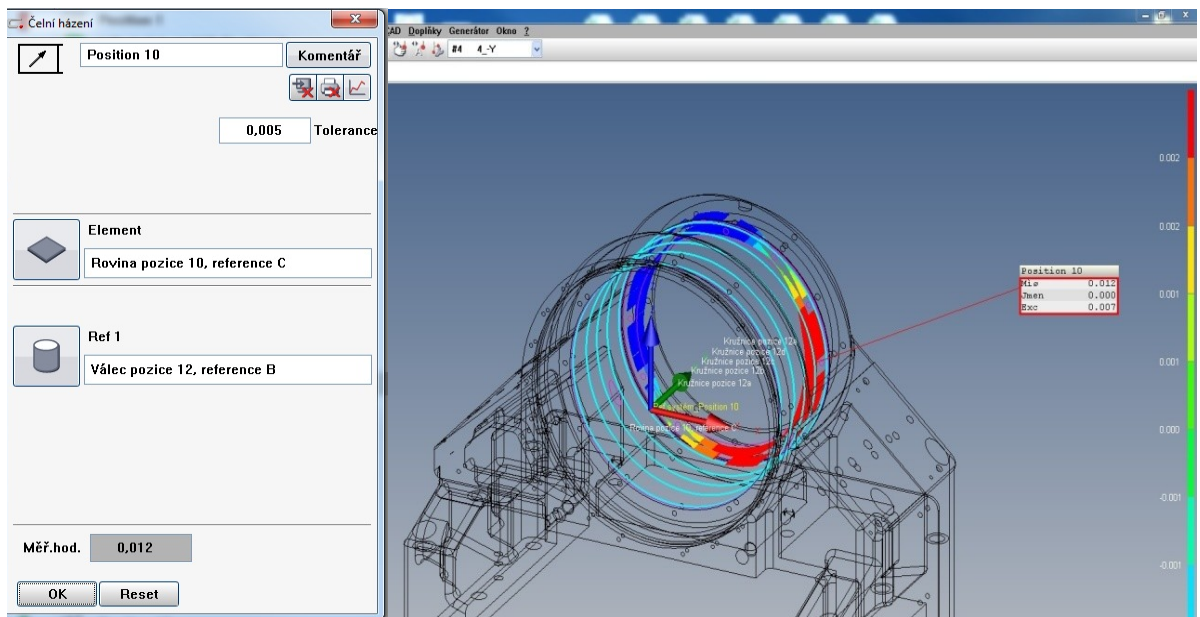
Obr. 55. Charakteristika pozice 17

## 11.2 Charakteristiky používající základnu B

Základna B je definována jako válec pozice 12. Pro jeho měření válce je použit nástroj 20006.

### 11.2.1 Charakteristika pozice 10

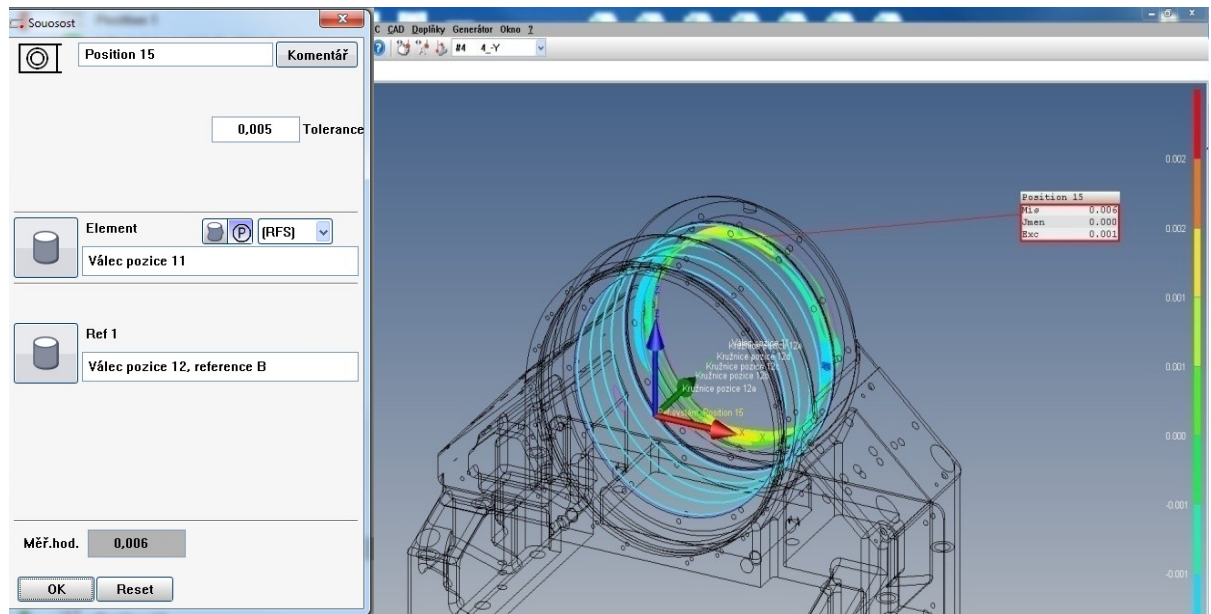
U pozice 10 vyhodnocujeme čelní házení roviny 10 (reference C) k válci pozice 12 (reference B). Charakteristika je tolerována 0,005 mm.



Obr. 56. Charakteristika pozice 10

### 11.2.2 Charakteristika pozice 15

Pozice 15 je přepsána jako sousost dvou válců a to válce pozice 11 k válci pozice 12 (reference B). Sousost má toleranci 0,005mm.



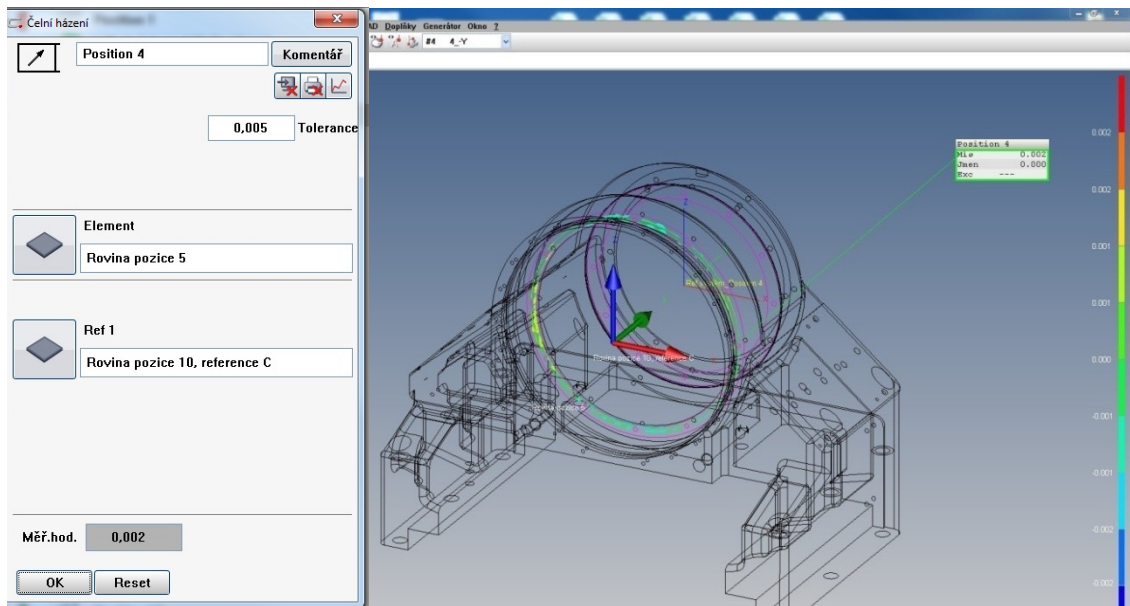
Obr. 57. Charakteristika pozice 15

## 11.3 Charakteristiky používající základnu C

Základna C je na výkrese definována jako rovina čela válce. Měřena je jako rovina pozice 10, nástrojem 20006.

### 11.3.1 Charakteristika pozice 4

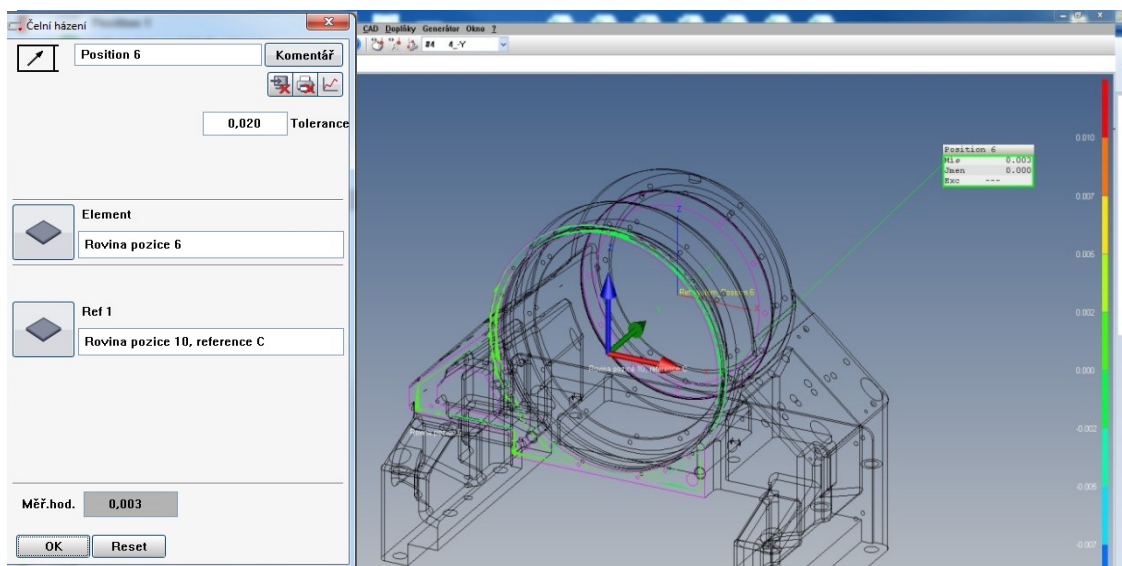
U této charakteristiky je na výkrese definováno čelní házení roviny pozice 5 k rovině pozice 10 (reference C). Tolerance je nastavena na 0,005 mm.



Obr. 58. Charakteristika pozice 4

### 11.3.2 Charakteristika pozice 6

Pozice 6 je nadefinována jako čelní házení roviny pozice 6 k rovině pozice 10 (reference C) s tolerancí 0,020 mm.



Obr. 59. Charakteristika pozice 6

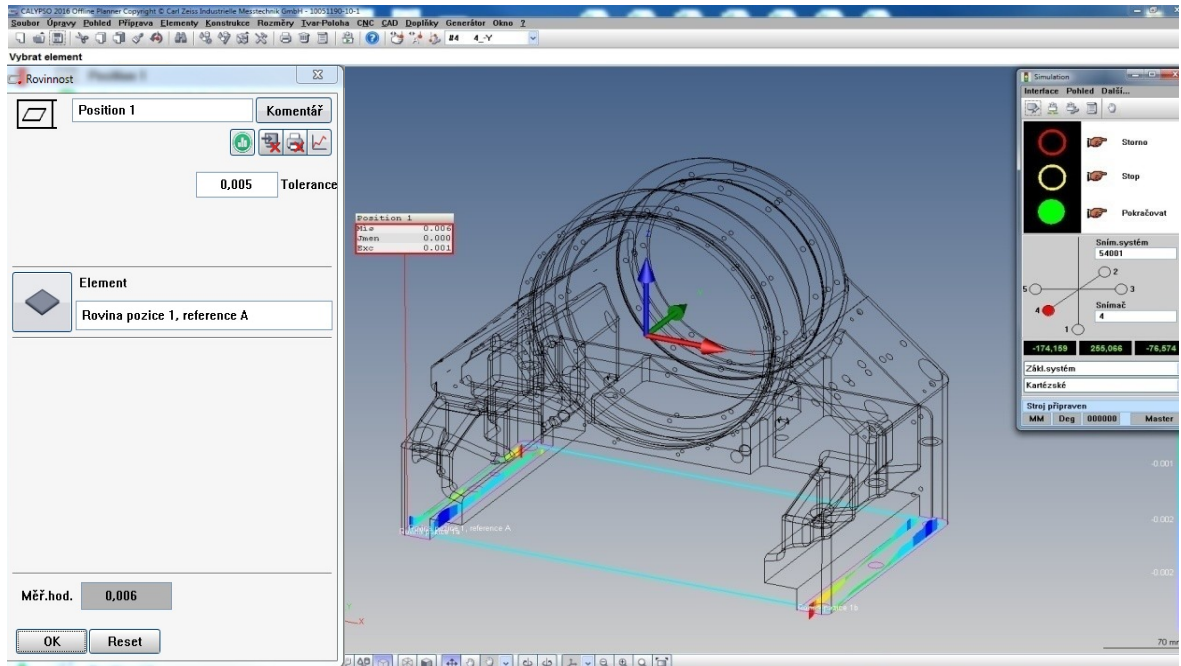
## 11.4 Charakteristiky vyhodnocovány bez základny

U těchto charakteristik probíhá vyhodnocení bez definovaných základny. Buď se vyhodnocují vůči ideální geometrii, nebo k jiným elementům.



### 11.4.1 Charakteristika pozice 1

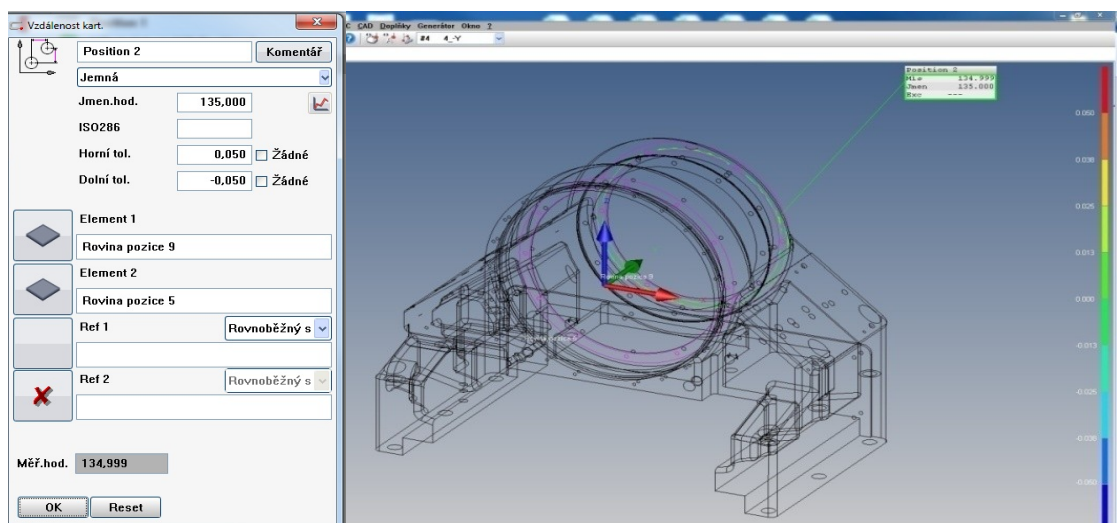
Charakteristika pozice 1 je definována na výkrese, jako rovinnost spodní roviny. Proto byla vybrána charakteristika typu rovinností a jako element pozice 1. Dle výkresu byla tolerance nastavena na 0,005 mm.



Obr. 60. Charakteristika pozice 1

### 11.4.2 Charakteristika pozice 2

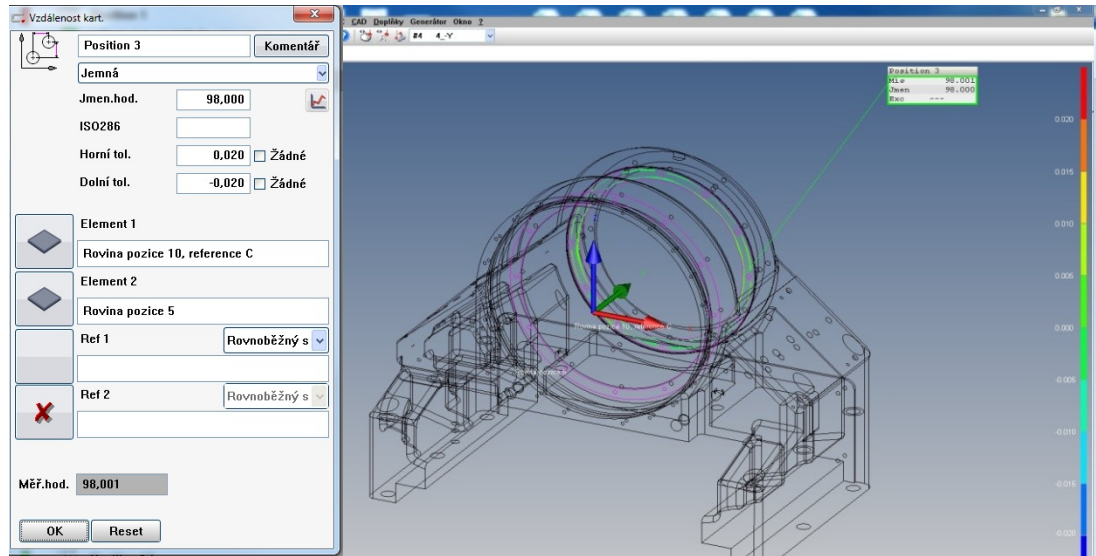
Pozice 2 je definována jako vzdálenost roviny pozice 9 a roviny pozice 5, nominál je nastaven na  $135 \pm 0,050$  mm.



Obr. 61. Charakteristika pozice 2

### 11.4.3 Charakteristika pozice 3

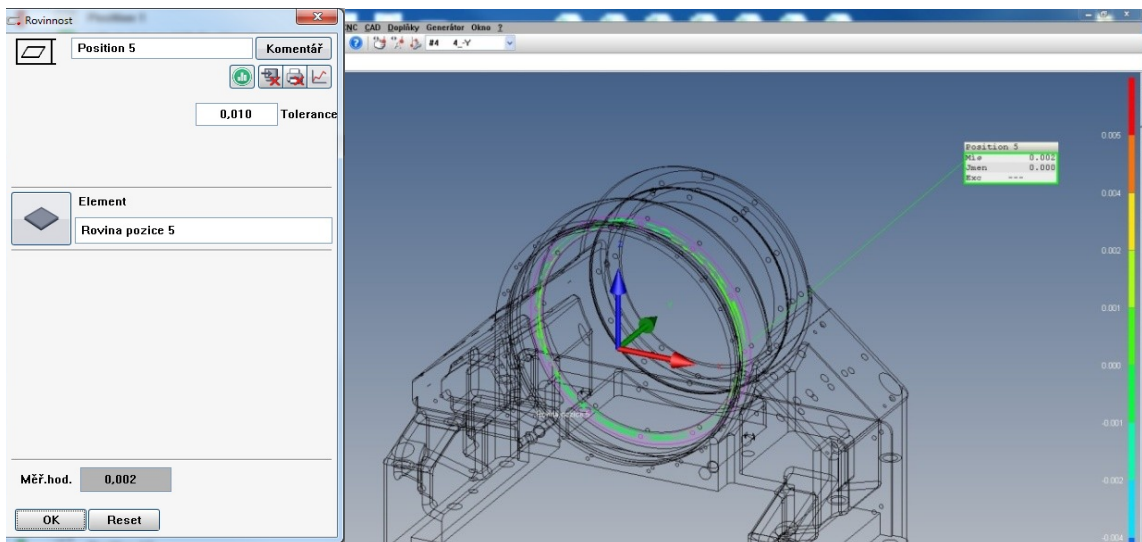
Pozice 3 je opět definována jako vzdálenost dvou elementů a to roviny pozice 10 a roviny pozice 5. Nominál je nastaven na  $98 \pm 0,020$  mm.



Obr. 62. Charakteristika pozice 3

### 11.4.4 Charakteristika pozice 5

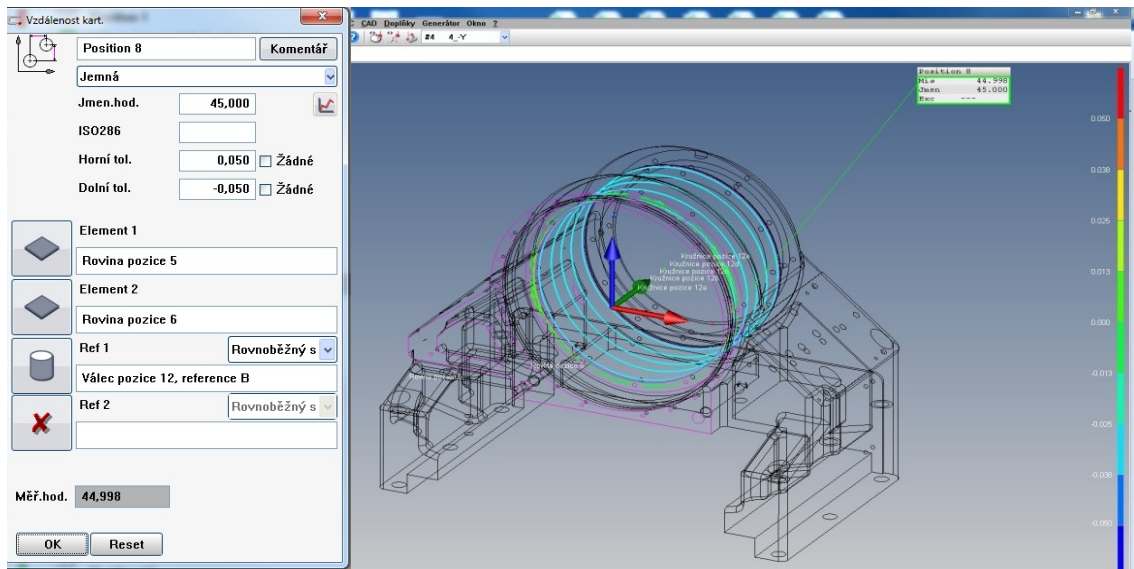
V charakteristice pozice 5 je vyhodnocována rovinnost elementu roviny pozice 5. Tolerance je zde nastavena na 0,010 mm.



Obr. 63. Charakteristika pozice 5

### 11.4.5 Charakteristika pozice 8

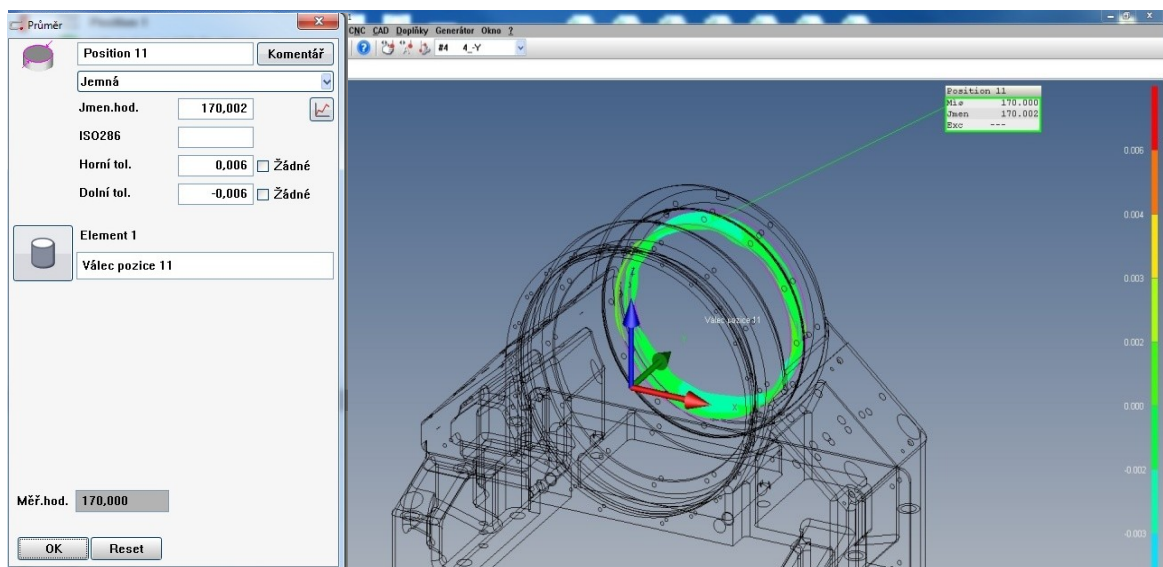
Pozice 8 je definována jako rozměr roviny pozice 5 a roviny pozice 6. Tolerovaný rozměr je  $45 \pm 0,050$  mm.



Obr. 64. Charakteristika pozice 8

### 11.4.6 Charakteristika pozice 11

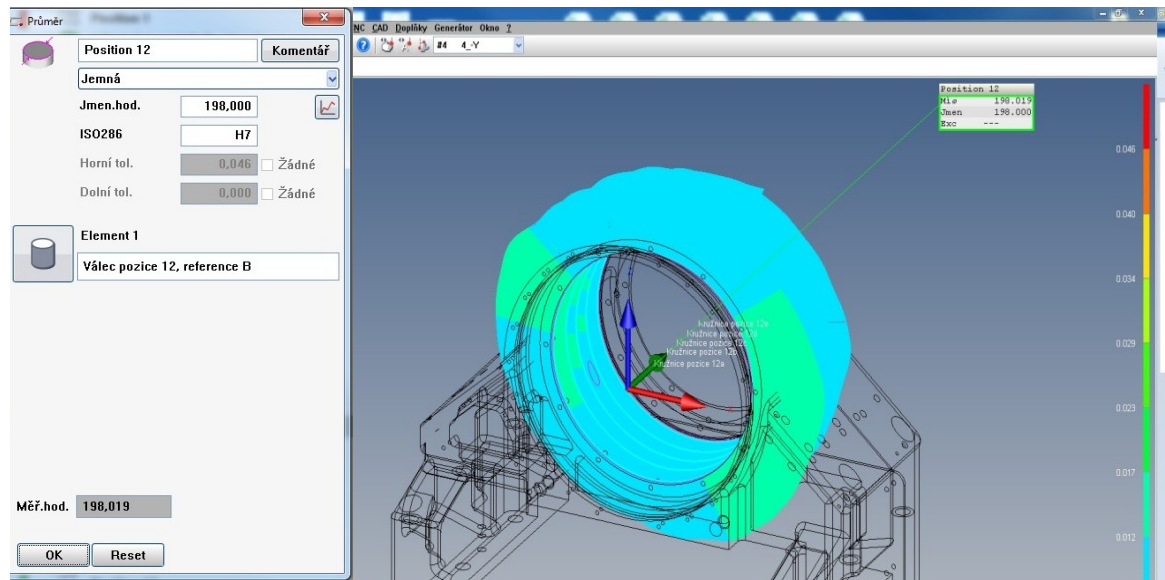
Pozice 11 je definována jako průměr. Pro vyhodnocení charakteristiky je vybrán element válec pozice 11. Charakteristika vyhodnotí průměr po celé hloubce válce. Průměr je tolerován  $170,002 \pm 0,006$  mm.



Obr. 65. Charakteristika pozice 11

### 11.4.7 Charakteristika pozice 12

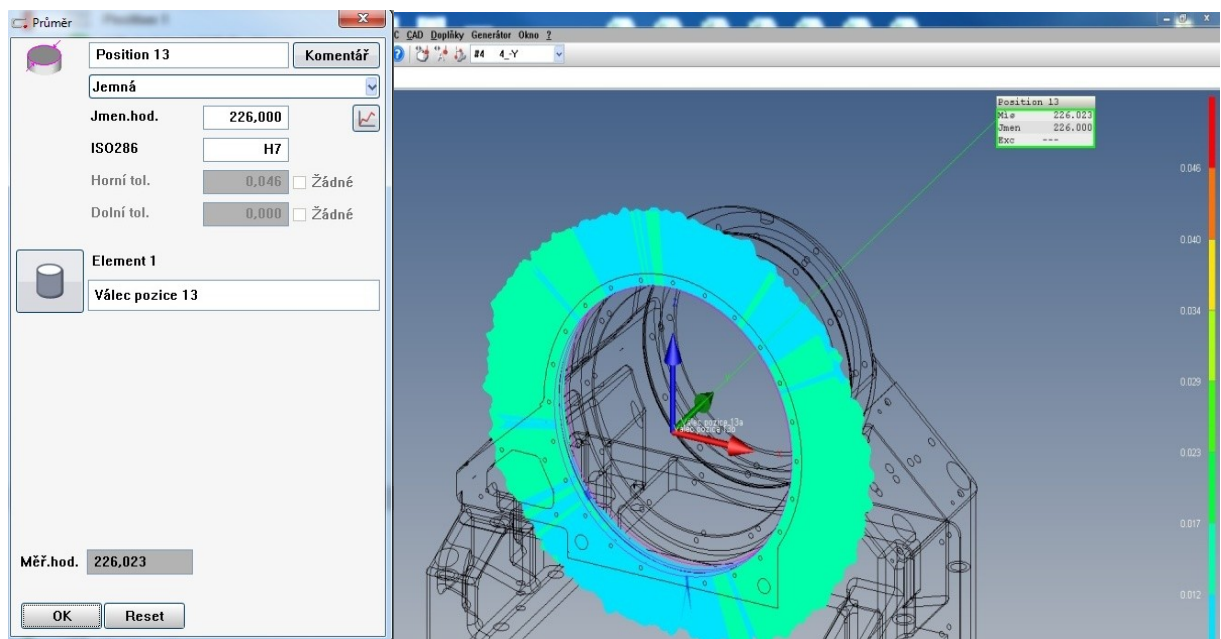
U charakteristiky pozice 12 je opět použit průměr. Tentokrát se jedná o vyhodnocení průměru válce pozice 12 (reference B).



Obr. 66. Charakteristika pozice 12

### 11.4.8 Charakteristika pozice 13

V charakteristice pozice 13 je vyhodnocení průměru vnějšího válce. U této charakteristiky se využívá element válec pozice 13. Průměr je tolerován 226mm H7.

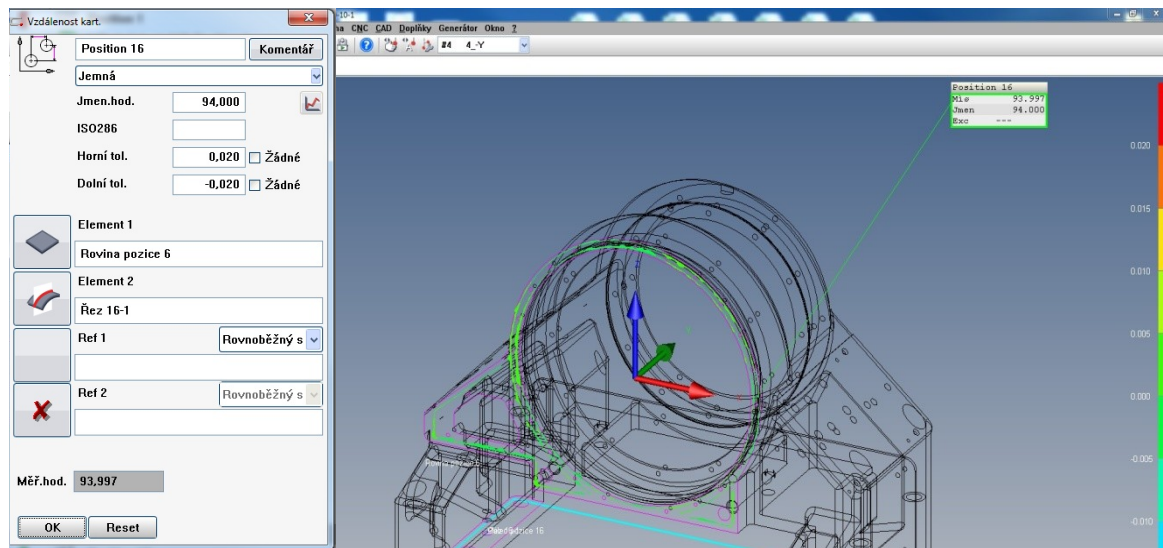


Obr. 67. Charakteristika pozice 13



### 11.4.9 Charakteristika pozice 16

Charakteristika pozice 16 je vzdálenost roviny pozice 6 a osy válce pozice 16. Protože válec má poměrně krátkou osu a mohlo by dojít ke zkreslení výsledku, je zde využito řez válcem a ten je použit k vyhodnocení vzdálenosti. Vzdálenost je tolerována rozměrem  $94 \pm 0,020\text{mm}$ .

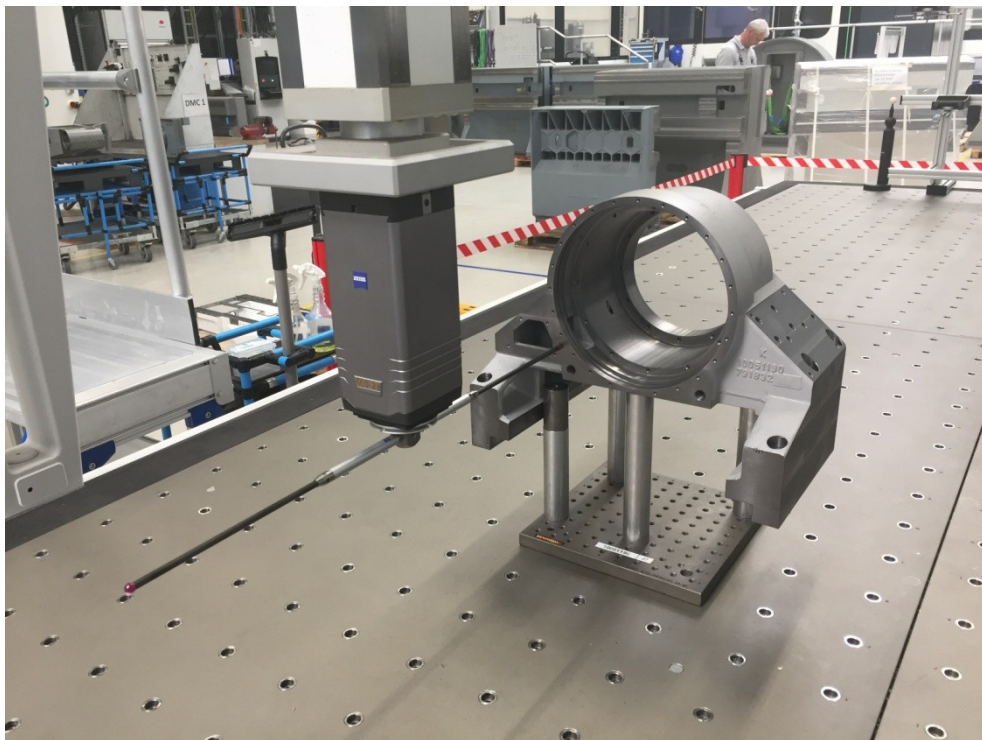


Obr. 68. Charakteristika pozice 16

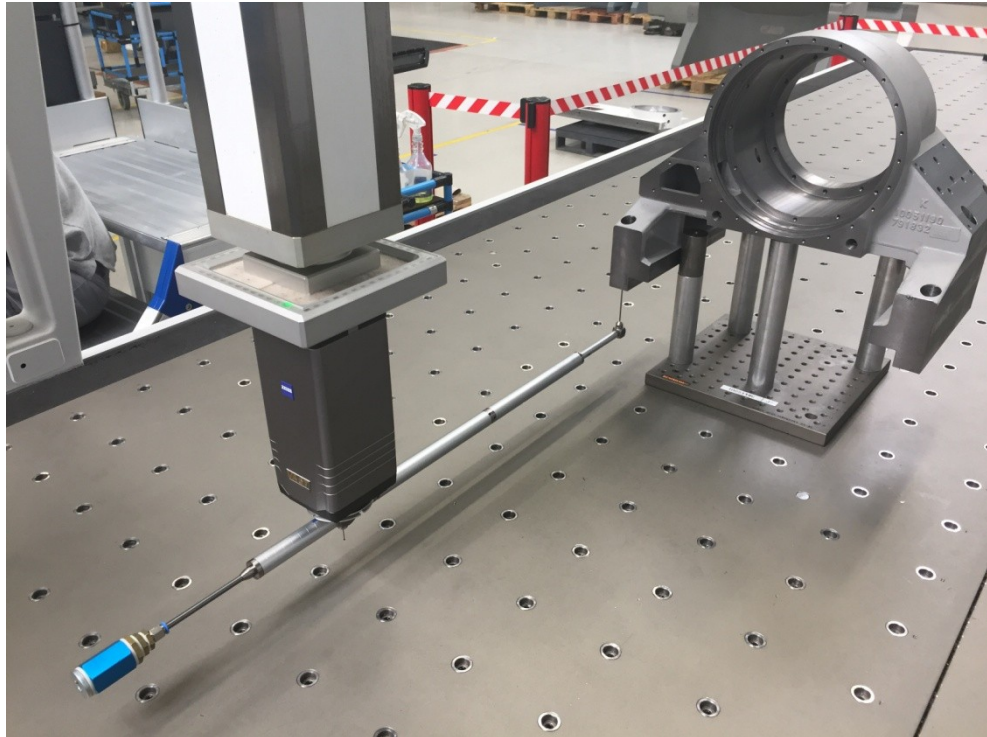
## 12 REÁLNÉ MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Dalším krokem po tvorbě programu je jeho odladění na reálném díle. Při odladění se program pouští po jednotlivých elementech a se sníženou rychlostí posuvu na ovládacím panelu. Důležité je sledovat správné nastavení nájezdových a objezdových drah a případně předejít kolizi. Další problém může být v případě, jestliže reálný díl plně neodpovídá 3D modelu. Také naprogramované měřicí dráhy mohou být na reálném díle nevhodné, proto je nutné pečlivě sledovat nástroj při měření daného elementu. Nástroj musí dané elementy snímat pouze kuličkou, jakmile se nástroj dotkne jinou svojí součástí, musí být program zastaven a upraven. Měřená součást musí být dokonale očištěna, aby případná nečistota neovlivnila měření. Program lze považovat za odladěný, až po několika měřeních.

Při měření tohoto konkrétního dílu se drobně lišil 3D model od reálného kusu. Proto byly nutné korekce měřících drah. Protože jsou u dílu měřeny spodní plochy, bylo zapotřebí přidat bezpečné mezipolohy pro nájezd nástroje 20015, aby nedošlo ke kolizi s pracovní deskou, nebo přípravkem.



Obr. 69. Měření elementu nástrojem 20006



Obr. 70. Měření elementu nástrojem 20015

Po korektním změření všech elementů a následném vyhodnocení charakteristik je vytvořen měřicí protokol. V měřicím protokolu bylo zadáváno: jméno operátora, sériové číslo součásti, název součásti, datum a čas měření.

ZEISS Calypso						Plan Name: 10051190-10-1    Operator: Smilek    Time: 8:37:54 am    Date: October 19, 2017    ZEISS				
Measurement Plan: 10051190-10-1 Drawing No.: 10051190, Gehäuse Werkstückträger Operator: Smilek		Date: October 19, 2017 Time: 8:37:54 am CMM: C32Bit		Order: 8166660/2 Incremental Part Number: 135		Actual	Nominal	Upper Tol.	Lower Tol.	Deviation
	Position 1	0.006	0.000	0.005	0.001					0.006
	Position 2	134.993	135.000	0.050	-0.050					-0.007
	Position 3	97.995	98.000	0.020	-0.020					-0.005
	Position 4	0.004	0.000	0.005						0.004
	Position 5	0.003	0.000	0.010						0.003
	Position 6	0.005	0.000	0.020						0.005
	Position 7	0.001	0.000	0.010						0.001
	Position 8	44.998	45.000	0.050	-0.050					-0.002
	Position 9	0.011	0.000	0.020						0.011
	Position 10	0.006	0.000	0.005	0.001					0.006
	Position 11	169.998	170.002	0.006	-0.006					-0.004
	Position 12	198.011	198.000	0.046	0.000					0.011
	Position 13	226.023	226.000	0.046	0.000					0.023
	Position 14	0.004	0.000	0.005						0.004
	Position 15	0.008	0.000	0.005	0.003					0.008
	Position 16	94.006	94.000	0.020	-0.020					0.006
	Position 17	191.999	192.000	0.020	-0.020					-0.001

Obr. 71. Měřicí protokol

Při vyhodnocování jednotlivých rozměrů, byla zadavatelem dovolena odchylka 2  $\mu\text{m}$ . Z výsledků měření 100 dílů vyplynulo, že pozice 1,10,15 jsou vždy v horní části tolerance, nebo přes ni.

Pozice 1 je definována jako rovinnost základny A. Z grafických výstupů bylo zjištěno, že směr odchylky pozice 1 je u každého kusu nepatrně jiný. Po konzultaci s technologií bylo zjištěno, že při přeupínání součásti v obráběcích strojích docházelo k překročení utahovacího momentu a nedůslednému očištění upínacích prvků. To mělo za následek deformace obráběné plochy po odepnutí součásti.

Další pozicí, u které docházelo k překročení tolerance, byla pozice 10. Pozice 10 je definována jako čelní házení s tolerancí 0,005 mm. Zde byl zjištěn vždy stejný směr odchylky, to znamená, že proces při výrobě této pozice je stabilní a lze případně provést kompenzace při obrábění. Přesto je tolerance 0,005 mm příliš přísně nastavená. Momentálně se jedná s konstrukčním oddělením buď o jiném vyhodnocení této charakteristiky, nebo o zvýšení tolerance.

Poslední problémovou pozicí byla pozice 15. Pozice 15 je definována jako sousost válců s tolerancí 0,005 mm. U této pozice je problém, že výška jednotlivých válců je výrazně jiná a to může výsledek výrazně ovlivnit. Proto i u této pozice bude změněno vyhodnocení, popřípadě tolerance.



## ZÁVĚR

Tato práce se zabývala problematikou 3D souřadnicových strojů a měřením na nich. V teoretické části práce byly popsány základní pojmy a principy, využívané při práci s měřicími přístroji. Jsou zde definovány geometrické elementy, z kterých jsou měřené prvky složeny a princip tolerování rozměrů a geometrii. Dále je zde popsána historie a konstrukce 3D souřadnicových strojů. Praktická část práce se zabývá tvorbou NC programu pro 3D měřicí stroj pro danou součást, a to včetně přípravku pro upnutí.

Měřicí program byl vytvořen pro stroj Zeiss MMZ-T. Tyto stroje využívají pro naprogramování software Calypso. Součást, na které bylo měření provedeno, byla analyzována z hlediska kontrolních pozic. Tyto pozice byly zaznačeny do výkresové dokumentace. Dalším krokem bylo určení vhodného upínacího přípravku, který nebude danou součást deformovat. Po určení optimální polohy upínacích bodů, byl vytvořen přípravek, který umožní přesně definovanou pozici na měřicím stroji. To umožnilo zrychlení procesu upínání a následného ručního vyrovnání v softwaru. Poté byly vytvořeny snímací systémy, které umožní snímání všech kontrolovaných elementů. Snímací systémy byly konstruovány v softwaru Stylus. Následně byly snímací nástroje sestaveny z normalizovaných dílů. Pro snadnější orientaci byly nástroje zaznačeny číselným kódem. Toto číselné označení v sobě nese informace o jeho konstrukci.

Prvním krokem při programování bylo určení základního souřadného systému, pro určení polohy dílu na stroji. Pro správné určení drah stroje při objezdech, bylo zapotřebí určit bezpečnostní kvádr. Dále byly u jednotlivých elementů určeny strategie snímání. Ve strategii byl definován nástroj, kterým je měření provedeno. Dále je zde definována rychlost snímání a její dráha. Po naprogramování všech elementů byly vytvořeny jednotlivé charakteristiky. Charakteristiky odpovídají kontrolním pozicím. U každé charakteristiky je nastavena tolerance z výkresové dokumentace. Dále jsou v charakteristikách vybrány elementy, kterých se daná geometrická nebo rozměrová tolerance týká. Z jednotlivých charakteristik je vytvořen měřicí program. Pro charakteristiky zastupující geometrické tolerance jsou vytvořeny grafické výstupy pro snadnější analýzu.

Protože měření a kontrola spadají do nepřímých nákladů, je velmi důležité, aby měření trvalo co nejkratší dobu, ale zároveň bylo pořád objektivní. Dobu měření dílu lze ovlivnit omezením zbytečných výměn nástroje a konstrukcí přípravků definující polohu měřeného dílu.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ŠINDELÁŘ, Václav. *Mezinárodní metrologický slovník: informativní český překlad*. Přeložil Zdeněk TŮMA. Praha: Ústav pro normalizaci a měření, 1985.
- [2] POKORNÝ, Přemysl. *Souřadnicové měřicí stroje*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1998. ISBN 80-7083-326-2.
- [3] Zeiss: průmyslová metrologie [online]. Praha [cit. 2018-02-22]. Dostupné z [http://www.zeiss.cz/industrial-metro-logy/cs\\_cz/home.html](http://www.zeiss.cz/industrial-metro-logy/cs_cz/home.html)
- [4] ŠINDELÁŘ, Václav a Zdeněk TŮMA. *Metrologie, její vývoj a současnost*. Praha: Česká metrologická společnost, 2002, 384 s.
- [5] HOWARTH, Preben. *Metrologie v kostce:...s doplňky a poznámkami: projekt Euro-met č. 595. V české mutaci 1. vyd.* Praha: Sdělovací technika, 2002, 64 s. ISBN 80-86645-01-0.
- [6] Renishaw: *Sondy a software pro souřadnicové měřicí stroje a modernizace strojů* [online]. Praha [cit. 2018-02-22]. Dostupné z <http://www.renishaw.cz/cs/renishaw-zvysovani-efektivnosti-vyroby-a-zdravotni-pece--1030>
- [7] ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. *Strojírenská metrologie I. 3. vyd.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 183 s. ISBN 978-80-214-4010-4.
- [8] TŮMOVÁ, Olga. *Metrologie a hodnocení procesů. 1. vyd.* Praha: BEN – technická literatura, 2009, 232 s. ISBN 978-80-7300-249-7.
- [9] BUCHER, Jay L. *The Metrology Handbook. 2nd ed.* Milwaukee, Wisconsin: American Society for Quality, Quality Press, 2012, 542 s. ISBN 978-0-87389-838-6.
- [10] BUCHER, Jay L. *The Quality Calibration Handbook: Developing and Managing a Calibration Program.* Milwaukee, Wisconsin: American Society for Quality, Quality Press, 2006, 197 s. ISBN 0-87389-704-8.
- [11] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie: část 1. 1. vyd.* Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2006, 104 s. ISBN 80-248-0671-1.
- [12] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [13] *Flexible measuring systems: Dovolené chyby přesnosti dle DIN 863.* [online]. [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: <http://www.f-m-s.dk/DIN862+863.pdf>

- [14] PETŘKOVSKÁ, Lenka a Lenka ČEPOVÁ. Strojírenská metrologie. [online]. Ostrava, 2011 [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: <http://www.346.vsb.cz/Petrkovska,%20Cepova%20%20strojirenska%20metrologie.pdf>
- [15] PERNIKÁŘ, Jiří. Strojírenská metrologie II: použitelnost kontrolních prostředků, vhodnost kontrolních procesů, přihlednutí k nejistotám měření : 1. vyd. 2003. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 180 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214- 3338-8.
- [16] Normy řady ISO 9000. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví [online]. 2005 [cit. 2018-02-22]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/normy-serie-iso-9001-a-jejich-aplikace>
- [17] BOROVIČKA, Milan, Alexander JANÁČ a Augustín GÖRÖG. Metrológia. 1. vyd. Bratislava: Vadavateľstvo STU, 2005, 120 s. ISBN 80-227-2198-0.
- [18] NĚMEČEK, Pavel. Metrologické minimum: vibrodiagnostika. Praha: Spectris, 2007, 75 s. ISBN 978-80-239-9275-5.
- [19] TICHÁ, Šárka a Ivan MRKVICA. Vybrané kapitoly ze strojírenské metrologie: učební text. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012, 1CD-ROM. ISBN 978- 80-248-2709-4.
- [20] TICHÁ, Šárka. Strojírenská metrologie: část 2. Základy řízení jakosti. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2008, 86 s. ISBN 80-248-1209-0.

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. Abbeho princip vysvětlený na měření posuvným měřidlem [3] .....	14
Obr. 2. Taylorův princip [3] .....	14
Obr. 3. Bod v geometrických útvarech .....	15
Obr. 4. Přímka v geometrických útvarech .....	15
Obr. 5. Rovina.....	16
Obr. 6. Kružnice.....	16
Obr. 7. Válec.....	17
Obr. 8. Koule .....	18
Obr. 9. Kužel.....	18
Obr. 10. ISO toleranční pole pro hřídel a díru [5] .....	20
Obr. 11. Příklady značení a definování tolerancí tvaru a polohy [3] .....	20
Obr. 12. Příklady značení a definování tolerancí tvaru a polohy [3] .....	21
Obr. 13. První souřadnicový stroj se spínací hlavou od firmy DEA 1967 [3] .....	23
Obr. 14. Carl Zeiss UMM500 1973 [3] .....	23
Obr. 15. Schéma komponentů CMM stroje [3] .....	24
Obr. 16. Portálový typ CMM [2] .....	26
Obr. 17. Mostový typ CMM [2] .....	27
Obr. 18. Stojanový (sloupový) typ CMM [2] .....	28
Obr. 19. Výložníkový typ CMM [2] .....	28
Obr. 20. Schéma spínacího snímacího systému [3].....	29
Obr. 21. Spínací systém od firmy Renishaw TP200 [6].....	30
Obr. 22. Schéma měřící snímací hlavy [3] .....	30
Obr. 23. Měřící snímací systém od firmy ZEISS VAST XTR [3].....	31
Obr. 24. Příklady snímacích elementů [3].....	31
Obr. 25. Příklady konfigurace snímačů .....	32
Obr. 26. Gausova křivka [2] .....	34
Obr. 27. Zeiss MMZ-T .....	38
Obr. 28. VAST GOLD [3].....	39
Obr. 29. Měřená součást .....	40
Obr. 30. Zaznačení kontrolních pozic na výkrese .....	41
Obr. 31. Upnutí součásti pomocí dílu od firmy Renishaw .....	41
Obr. 32. Příklad nevhodného upnutí, které se promítlo do deformace měřené roviny.....	42

Obr. 33. Schéma přípravku .....	43
Obr. 34. Upevnění dílu na přípravek s plně definovanou polohou.....	43
Obr. 35. Označení jednotlivých snímačů na nástroji .....	44
Obr. 36. Pokyn pro číselné označení nástrojů .....	45
Obr. 37. Nástroj 20006 .....	45
Obr. 38. Nástroj 20015 .....	46
Obr. 39. Základní systém.....	47
Obr. 40. Rovina pozice 6 pro tvorbu základního systému.....	48
Obr. 41. Kružnice pozice 12a pro tvorbu základního systému.....	48
Obr. 42. Bezpečnostní kvádr.....	49
Obr. 43. Element rovina pozice 6 .....	50
Obr. 44. Element válec pozice 13 .....	51
Obr. 45. Element rovina pozice 5 .....	51
Obr. 46. Element válec pozice 12 .....	52
Obr. 47. Element rovina pozice 10 .....	53
Obr. 48. Element válec pozice 11 .....	53
Obr. 49. Element rovina pozice 9 .....	54
Obr. 50. Element válec pozice 16 .....	55
Obr. 51. Element rovina pozice 1 .....	55
Obr. 52. Charakteristika pozice 7 .....	56
Obr. 53. Charakteristika pozice 9 .....	57
Obr. 54. Charakteristika pozice 14 .....	57
Obr. 55. Charakteristika pozice 17 .....	58
Obr. 56. Charakteristika pozice 10 .....	58
Obr. 57. Charakteristika pozice 15 .....	59
Obr. 58. Charakteristika pozice 4 .....	60
Obr. 59. Charakteristika pozice 6 .....	60
Obr. 60. Charakteristika pozice 1 .....	61
Obr. 61. Charakteristika pozice 2 .....	61
Obr. 62. Charakteristika pozice 3 .....	62
Obr. 63. Charakteristika pozice 5 .....	62
Obr. 64. Charakteristika pozice 8 .....	63
Obr. 65. Charakteristika pozice 11 .....	63

---

Obr. 66. Charakteristika pozice 12 .....	64
Obr. 67. Charakteristika pozice 13 .....	64
Obr. 68. Charakteristika pozice 16 .....	65
Obr. 69. Měření elementu nástrojem 20006 .....	66
Obr. 70. Měření elementu nástrojem 20015 .....	67
Obr. 71. Měřicí protokol .....	67

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Základní toleranční stupně IT .....	19
---	----

## SEZNAM PŘÍLOH

P I: Měřicí protokol strana 1

P II: Měřicí protokol strana 2

P III: Měřicí protokol grafiky strana 3












P IV: Měřicí protokol grafiky strana 4

P V: Sestava přípravku






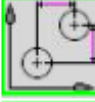
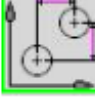
P VI: Výřez z výkresu součásti



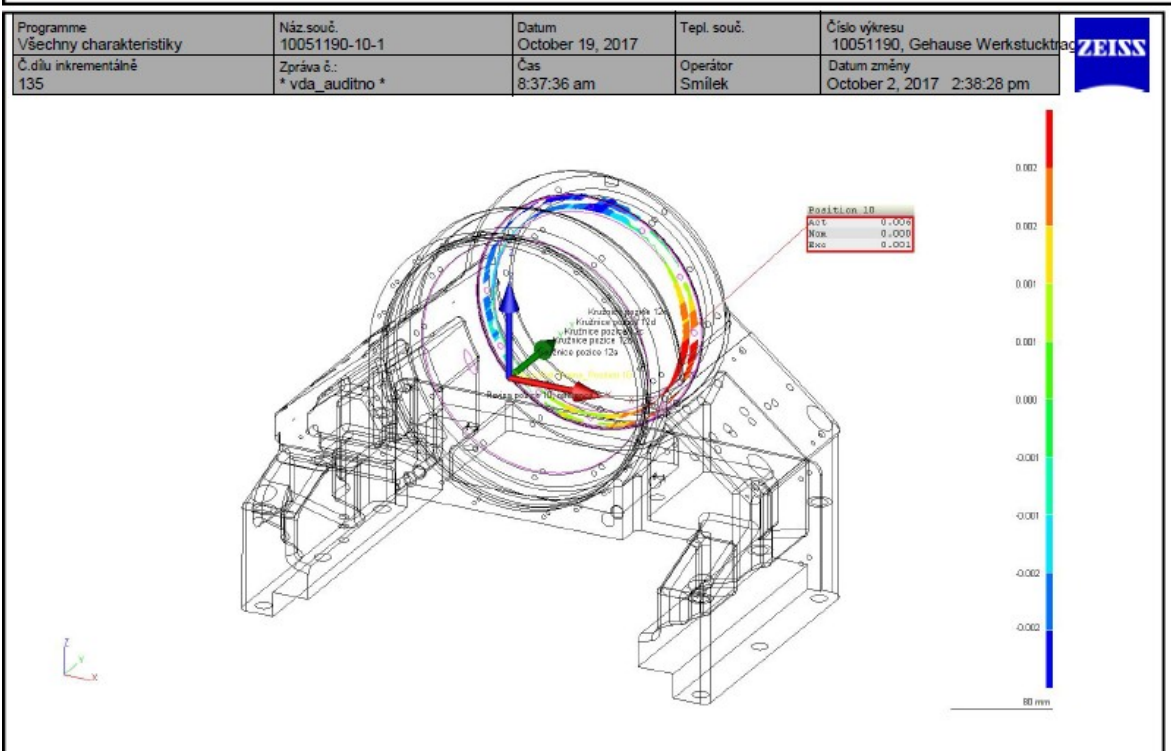
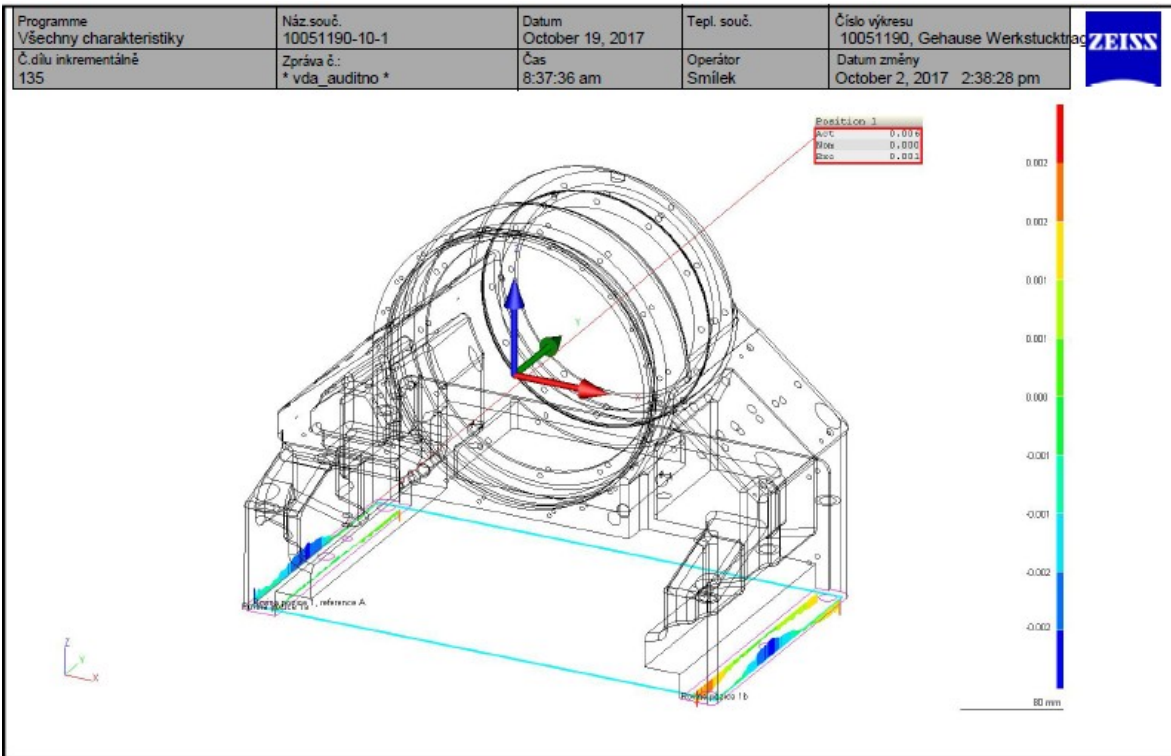
# PŘÍLOHA P I: MĚŘÍCÍ PROTOKOL STRANA 1

		Actual	Nominal	Upper Tol.	Lower Tol.	Deviation	
<b>ZEISS Calypso</b>							
							
Measurement Plan 10051190-10-1		Date October 19, 2017		Order 8166660/2			
Drawing No. 10051190, Gehäuse Werkstückträger		Time 8:37:54 am		Incremental Part Number 135			
Operator Smílek		CMM C32Bit					
	Position 1	0.006	0.000	0.005		0.001	0.006
	Position 2	134.993	135.000	0.050	-0.050	-	-0.007
	Position 3	97.995	98.000	0.020	-0.020	-	-0.005
	Position 4	0.004	0.000	0.005		---	0.004
	Position 5	0.003	0.000	0.010		-	0.003
	Position 6	0.005	0.000	0.020		-	0.005
	Position 7	0.001	0.000	0.010			0.001
	Position 8	44.998	45.000	0.050	-0.050	-	-0.002
	Position 9	0.011	0.000	0.020		---	0.011
	Position 10	0.006	0.000	0.005		0.001	0.006

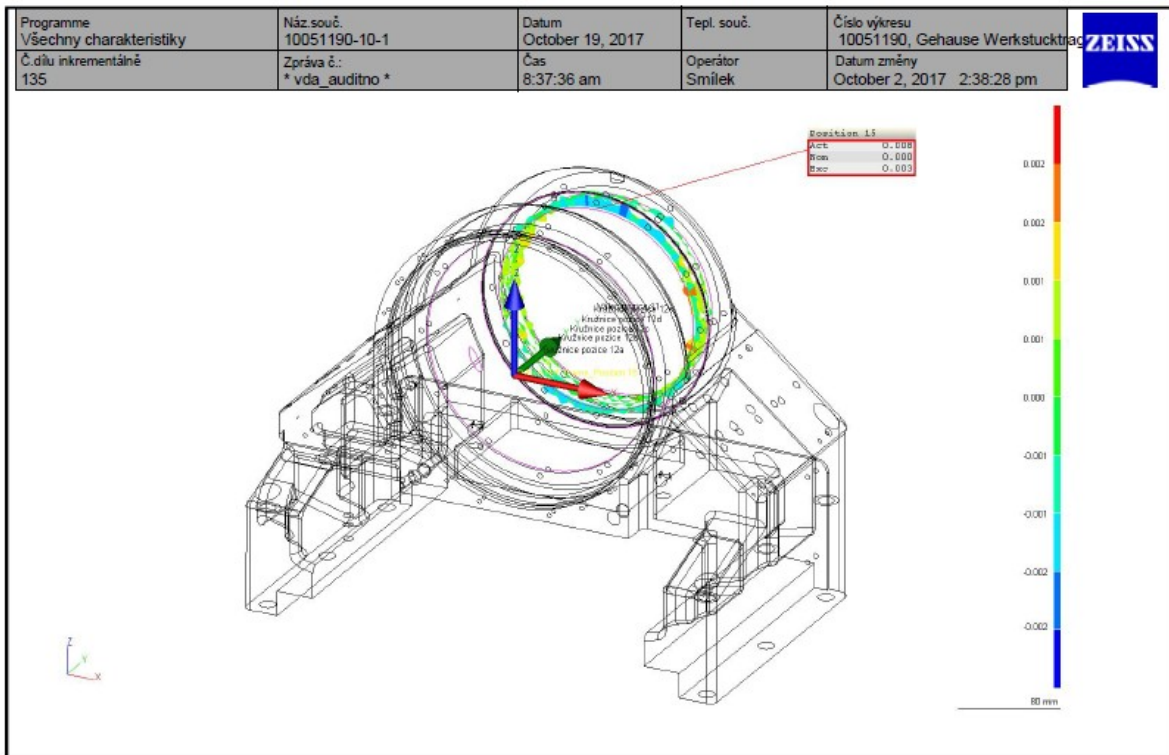
## PŘÍLOHA P II: MĚŘÍCÍ PROTOKOL STRANA 2

Plan Name 10051190-10-1		Operator Smílek		Time 8:37:54 am		Date October 19, 2017		ZEISS	
	Actual	Nominal	Upper Tol.	Lower Tol.	Deviation				
	Position 11 169.998	170.002	0.006	-0.006	---		-0.004		
	Position 12 198.011	198.000	0.046	0.000	---		0.011		
	Position 13 226.023	226.000	0.046	0.000			0.023		
	Position 14 0.004	0.000	0.005	---		0.004			
	Position 15 0.008	0.000	0.005	---		0.003 0.008			
	Position 16 94.006	94.000	0.020	-0.020	-		0.006		
	Position 17 191.999	192.000	0.020	-0.020			-0.001		

# PŘÍLOHA P III: MĚŘÍCÍ PROTOKOL GRAFIKY STRANA 3



# PŘÍLOHA P IV: MĚŘÍCÍ PROTOKOL GRAFIKY STRANA 4



## PŘÍLOHA P V: SESTAVA PŘÍPRAVKU

Č.	Typ
1	základní deska
2	6x stavěcí šroub M8 - 20
3	3x duralový válec Ø65mm - 220mm
4	1x duralový válec Ø65mm - 140mm
5	1x ocelový válec Ø65mm - 60mm
6	3x ocelový válec Ø65mm - 5mm
7	2x imbusový šroub M8 - 12

