

# Měření na souřadnicovém stroji Durumax

Miroslav Schöfr

---

Bakalářská práce  
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miroslav Schöfr**

Osobní číslo: **T14608**

Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Měření na souřadnicovém stroji Durumax**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma.
2. Naprogramujte CNC kód pro měření zadaného dílu
3. Provedte měření dílu
4. Vyhodnoťte měření

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Vojtěch Šenkeřík**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**30. ledna 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**22. května 2015**

Ve Zlíně dne 9. února 2015

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



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

## 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 užít 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, považují 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 22.5.2015

.....

---

<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 nevydělečně 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>3)</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). Odpírá-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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá měřením na souřadnicovém měřicím stroji a vytvořením programu pro měření vybraného dílu. V teoretické části jsou obecně popsány souřadnicové měřicí stroje a možnosti jejich použití. Praktická část obsahuje podrobný popis přístroje Duramax od společnosti Zeiss. Součástí praktické části je stručný postup při tvorbě programu v softwaru Calypso.

Klíčová slova: kalibrace, měření, souřadnicový měřicí stroj, vyhodnocení

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis follows up with measurement on coordinate measuring machine and creation program to measure the selected component. The theoretical part contains general description of coordinate measuring machines and their application. The practical part contains detailed description of Duramax machine from Zeiss corporation. The practical part also includes brief process of making program in Calypso software.

Keywords: calibration, coordinate measuring machine, evaluating, measurement

Děkuji svému vedoucímu práce panu Ing. Vojtěchu Šenkeříkovi za odborné rady a poskytnutý čas, který mi při vypracování bakalářské práce věnoval. Dále bych chtěl poděkovat panu Jiřímu Stárkovi za poskytnutí možnosti vytvořit program pro praktickou část bakalářské práce na zařízení v jeho firmě.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně dne 21. května 2015

## Obsah

TEORETICKÁ ČÁST.....	10
<b>1 HISTORIE.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 HISTORIE SOUŘADNICOVÝCH MĚŘÍCÍCH STROJŮ .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 HISTORIE SPOLEČNOSTI ZEISS .....</b>	<b>11</b>
<b>2 MĚŘENÍ .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 ZÁKLADNÍ POJMY .....</b>	<b>13</b>
2.1.1 VELIČINA .....	13
2.1.2 MĚŘENÍ.....	13
2.1.3 METROLOGIE.....	13
2.1.4 MĚŘENÁ VELIČINA .....	13
2.1.5 MĚŘICÍ PRINCIP .....	13
2.1.6 POSTUP MĚŘENÍ.....	14
2.1.7 VÝSLEDEK MĚŘENÍ.....	14
<b>2.2 PROSTŘEDKY PRO MĚŘENÍ .....</b>	<b>14</b>
2.2.1 MĚŘIDLO.....	14
2.2.2 MĚŘICÍ SYSTÉM.....	14
2.2.3 ETALONY .....	14
<b>2.3 GEOMETRICKÉ PRVKY .....</b>	<b>15</b>
<b>3 SOUŘADNICOVÝ MĚŘICÍ STROJ .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1 TYPY KONSTRUKCÍ.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2 KONSTRUKCE.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3 SNÍMACÍ HLAVA.....</b>	<b>19</b>
3.3.1 MECHANICKÉ SNÍMACÍ HLAVY .....	19
3.3.2 TŘÍOSÉ KONTAKTNÍ SKENOVÁNÍ.....	19
3.3.3 PĚTIOSÉ MĚŘENÍ.....	20
<b>3.4 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VÝBĚR DOTEKU.....</b>	<b>20</b>
3.4.1 KULOVITOST KULIČKY .....	21
3.4.2 PRŮHYB DOTEKU.....	22
3.4.3 TEPLTNÍ STABILITA .....	23
3.4.4 MATERIÁL KULIČKY.....	23
3.4.5 OSTATNÍ FAKTORY .....	24
<b>4 POROVNÁNÍ S JINÝMI DRUHY MĚŘENÍ.....</b>	<b>25</b>
<b>4.1 KONTUROGRAF .....</b>	<b>25</b>
<b>4.2 OPTICKÁ ZAŘÍZENÍ.....</b>	<b>26</b>
<b>4.3 POČÍTAČOVÁ TOMOGRAFIE .....</b>	<b>27</b>
<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>28</b>
<b>5 POSTUP VLASTNÍHO ŘEŠENÍ.....</b>	<b>29</b>
<b>6 PŘÍSTROJ DURAMAX.....</b>	<b>30</b>
<b>6.1 TECHNICKÉ SPECIFIKACE .....</b>	<b>30</b>



6.1.1	ROZMĚRY STROJE.....	31
6.1.2	PRACOVNÍ PROSTOR .....	31
6.1.3	MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ.....	32
6.1.4	OVLÁDACÍ PANEL.....	32
6.1.5	CHYBA MĚŘENÍ A TEPLOTNÍ PODMÍNKY STROJE .....	32
<b>6.2</b>	<b>PRINCIP MĚŘENÍ.....</b>	<b>33</b>
6.2.1	SOUŘADNÝ SYSTÉM.....	33
6.2.2	MANUÁLNÍ A AUTOMATICKÉ MĚŘENÍ .....	34
6.2.3	SKENOVÁNÍ.....	34
6.2.4	USTAVENÍ SOUČÁSTI .....	34
<b>6.3</b>	<b>KALIBRACE.....</b>	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>POPIS VYBRANÉ SOUČÁSTI A JEJÍ USAZENÍ.....</b>	<b>36</b>
7.1	UPNUTÍ DO SVĚŘÁKU .....	36
7.2	TVORBA ZAKLÁDACÍHO PŘÍPRAVKU .....	37
7.3	URČENÍ BEZPEČNOSTNÍHO KVÁDRU .....	39
<b>8</b>	<b>TVORBA PROGRAMU.....</b>	<b>40</b>
8.1	KALIBRACE SNÍMACÍHO SYSTÉMU .....	40
8.2	ZÁKLADNÍ SOUŘADNÝ SYSTÉM PROGRAMU .....	40
8.3	SNÍMÁNÍ ELEMENTŮ .....	41
8.3.1	SEZNAM ELEMENTŮ.....	41
8.3.2	STRATEGIE ELEMENTU VÁLCE KOLMÉ VSUVKY .....	43
8.3.3	STRATEGIE ELEMENTU ROVINA ŠIKMÉ VSUVKY.....	43
8.3.4	STRATEGIE ELEMENTU VÁLCE ŠIKMÉ VSUVKY .....	44
8.4	VYHODNOCOVÁNÍ STATISTIK .....	45
8.4.1	NEMĚŘENÉ ROZMĚRY .....	45
<b>9</b>	<b>OPTIMALIZACE PROGRAMU .....</b>	<b>46</b>
<b>10</b>	<b>DISKUZE NAMĚŘENÝCH HODNOT .....</b>	<b>47</b>
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>48</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>49</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>50</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>51</b>

## ÚVOD

Měření součástí a kontrola kvality jsou v dnešní době jednou z důležitých operací při výrobě, ať už mluvíme o jakémkoliv odvětví výroby. Postupem času bylo kvůli přesným tolerancím a požadavkům zákazníků potřeba měřit přesněji a co nejvíce omezit lidský faktor a jeho náchylnost k chybám. Proto se začali vyrábět souřadnicové měřicí stroje.

Pomáhají při měření jednoduchých rozměrů, ale i geometrických tolerancí a náročně dostupných rozměrů, které bychom bez těchto moderních strojů změřili jen těžko a mnohdy jen za pomoci různých pomůcek a přípravků pro měření.

V první části se práce zabývá krátkou historií souřadnicových měřicích strojů a historií společnosti Zeiss, která je výrobcem stroje, který používáme při měření v praktické části. Dále se práce snaží seznámit se základními pojmy měření a prvky, které můžeme na těchto strojích měřit. Teoretická část také obsahuje popis různých konstrukcí a používaných snímacích hlav. Zajímavostí je porovnání s různými typy měřicích přístrojů.

Praktická část přibližuje vlastnosti a rozměry stroje Duramax, na kterém je vytvořen program. Postup při vytváření programu je popsán v několika krocích. Na začátek je důležité stanovit usazení výrobku v měřicím prostoru. Práce obsahuje popis elementů, které musely být vytvořeny pro změření všech potřebných rozměrů. Poslední částí tohoto bloku je kompletní optimalizace programu pro plynulý chod.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 HISTORIE

### 1.1 Historie souřadnicových měřicích strojů

Začátek výroby souřadnicových měřicích strojů je datován do 50. let 20. století. V těchto letech představilo hned několik firem z více zemí světa své první náznaky souřadnicových strojů, které známe z dnešní doby.

Nejžhavějšími kandidáty na toto pomyslné prvenství je italská firma DEA, která vycházela z portálového rámu, a skotská firma Ferranti Metrology.

V 70. letech byla zavedena dotyková sonda společností Renishaw. Jejím vynálezcem byl spoluzakladatel této společnosti Sir David McMurtry, který tímto vyřešil požadavek na kontrolu specifických rozměrů u letadel.



Obr. 1 Stroj pro měření dílů letadel

### 1.2 Historie společnosti ZEISS

Jelikož je tato Bakalářská práce určena pro stroj DURAMAX od firmy ZEISS, která sídlí v Německu, bude se dále věnovat postupu vývoje souřadnicových měřicích strojů u této



Obr. 2 Jeden z prvních přístrojů společnosti Zeiss

firmy. Společnost ZEISS je známá především jako výrobce kvalitních mikroskopů a optických zařízení, ale pro měření své výroby používala výhradně své vlastní kontrolní přístroje. Z těchto důvodů vznikla v roce 1919 samostatná část firmy, která se postupem let stala jednou z nejvýznamnějších v oblasti souřadnicové měřicí techniky. Na tříosouřadnicovém měřicím stroji začala pracovat laboratoř pod vedením Klause Herzoga v roce 1972 a jejich úspěch s názvem UMM 500 (Universal Measurement Machine) byl představen v roce 1973 ve švýcarském Curychu na veletrhu Microtecnic. Toto specializované oddělení od roku 1977 vystupovalo pod názvem Průmyslová měřicí technika kvůli změnám v metrologické oblasti. Díky těmto začátkům koncept pod názvem ZEISS 3D měření významně podpořil souřadnicovou měřicí techniku. Průlom do počítačového prostředí přinesla 80. léta. V tomto období se metrologie rozdělila na dva směry, z nichž pro nás ten důležitější se zabýval přesunem souřadnicových měřicích přístrojů na výrobní linky. Jako dodavatel stojanových měřicích strojů pro měření karoserie se firma zapsala po roce 1994, ve kterém se sloučila s firmou Stiefelmayer GmbH. Po několika letech výroby souřadnicových měřicích strojů a komunikace se svými zákazníky začala firma vyrábět přístroje pro měření součástí v menším měřítku. Stroj F25 měl schopnost měřit v řádu nanometrů pro měření mikrosoučástek. Současný vrchol je počítačový tomograf, který nám poskytuje možnost nahlédnout i do nitra součástí.



Obr. 3 Tomograf společnosti Zeiss

## **2 MĚŘENÍ**

### **2.1 Základní pojmy**

#### **2.1.1 Veličina**

Vlastnost jevu, tělesa nebo látky, která má velikost, jež může být vyjádřena jako číslo a reference. Referencí může být měřicí jednotka, postup měření, referenční materiál nebo jejich kombinace. [8]

#### **2.1.2 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. [8]

#### **2.1.3 Metrologie**

Věda o měření a jeho aplikaci. Metrologie zahrnuje veškeré teoretické a praktické aspekty měření, jakékoliv nejistoty měření a obory použití. [8]

#### **2.1.4 Měřená veličina**

Veličina, která má být měřena. Specifikace měřené veličiny vyžaduje znalost druhu veličiny, popis stavu jevu, tělesa nebo látky nesoucích veličinu, včetně jakékoliv relevantní složky zahrnutých chemických entit. Měření včetně měřicího systému a podmínek, za kterých je měření prováděno, může měnit, jak těleso nebo látku tak, že veličina, která je měřena se může lišit od měřené veličiny, jak je definována. V takovém případě je nutná odpovídající korekce. [8]

#### **2.1.5 Měřicí princip**

Měřicí metoda. Generický popis logického organizování činností použitých při měření. Metody měření mohou být kvalifikovány různými způsoby. [8]

### 2.1.6 Postup měření

Podrobný popis měření podle jednoho nebo více měřících principů a dané metody měření založeny na modelu měření a zahrnující jakýkoliv výpočet k získání výsledku měření. [8]

### 2.1.7 Výsledek měření

Soubor hodnot veličiny přiřazený měřené veličině společně s jakoukoliv další dostupnou relevantní informací. [8]

## 2.2 Prostředky pro měření

### 2.2.1 Měřidlo

Měřicí přístroj. Zařízení používané k měření buď samotné, nebo ve spojení s jedním nebo více přídavnými zařízeními. [8]

### 2.2.2 Měřicí systém

Sestava jednoho nebo více měřidel a často dalších zařízení, včetně jakýchkoliv činidel a zdrojů, sestavena a přizpůsobena k poskytování informace používané ke generování naměřených hodnot veličiny ve specifikovaných intervalech pro veličiny specifických druhů. [8]

### 2.2.3 Etalony

Standard měření. Realizace definice dané veličiny, se stanovenou hodnotou veličiny a přidruženou nejistotou měření, používána jako reference. [8]



Obr. 4 Johansonovy kostky

## 2.3 Geometrické prvky

Pro určování geometrických prvků je důležité stanovit souřadnicový systém součásti. Tímto se určí poloha výrobku v pracovním prostoru stroje. Nejjednodušší geometrické prvky, jako je bod, přímka, kružnice slouží pro konstrukci náročnějších geometrických obrazců.

Pokud správně určíme body, pak můžeme sestavovat různé konstrukce [1]:

- souřadnice bodu v rovině nebo v prostoru
- střed úsečky v rovině
- polární souřadnice bodu
- vzdálenost (rozteč) dvou bodů v obecné poloze v rovině
- průsečík dvou přímek v rovině
- poloha pootočené souřadnicové soustavy v rovině
- poloha posunuté souřadnicové soustavy v rovině
- obecná poloha roviny dané třemi body
- průsečíky dvou přímek s rovinou
- poloha středu kružnice dané třemi body
- průsečíky úsečky s kružnicí a průsečíky dvou kružnic
- šířka drážky
- poloha ideální hrany na obrobku se sražením
- úhel dvou ploch
- střed a šířka šikmé drážky
- symetrála a úhel úkosové drážky
- úhel klínu
- úchylky kruhovitosti
- střed kulové plochy
- souřadnice středu kružnice, která prochází středy tří kružnic
- souřadnice středu čtyř symetricky rozložených děr
- dělení (rozteče)
- poloha válcových čepů
- tvarový obrys ve vodorovné rovině
- tvarový obrys ve svislé rovině



- tvar kotoučové vačky
- tvar bubnové vačky
- prostorový tvar

### 3 SOUŘADNICOVÝ MĚŘICÍ STROJ

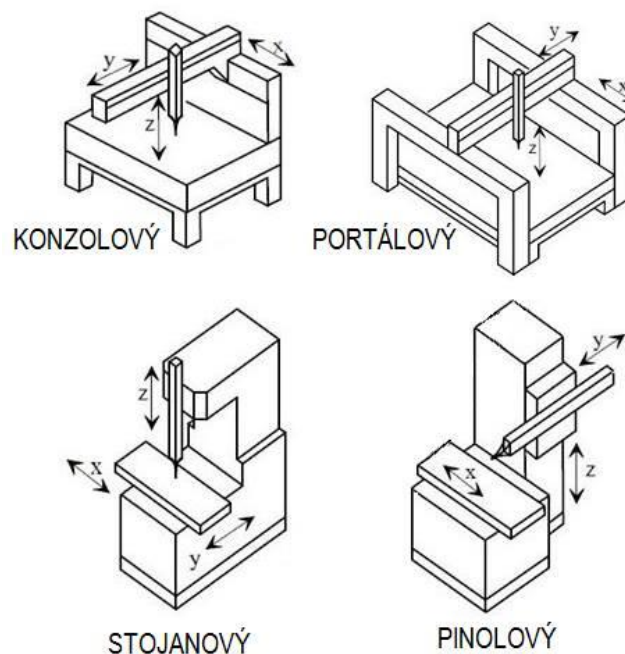
#### 3.1 Typy konstrukcí

Jedná se o přístroje, které mají svou vlastní měřicí desku a jsou vybaveny měřicím mechanismem. Tento mechanismus obsahuje měřicí dotyk pro detekování součásti a jeho poloha se nejčastěji detekuje pomocí číslicového ukazatele. Deska je rovnoběžná a kolmá vzhledem k osám, které jsou na sebe navzájem kolmé. Souřadnicové měřicí přístroje jsou rozděleny do několika kategorií podle velikosti stroje:

- konzolové
- portálové
- sloupové
- pinolové

Další rozdělení může být podle způsobu použití:

- nejpřesnější měření v laboratořích
- měření ve výrobě



Obr. 5 Typy konstrukcí souřadnicových měřicích strojů

### 3.2 Konstrukce

Každý souřadnicový stroj obsahuje průměrnou desku. U této desky jsou vysoké požadavky na rovinnost a kolmost. Často se používá kámen kvůli jeho lepším změnám geometrických přesností. Měřicí rozsah stroje je určen velikostí pracovního prostoru. Uložení pohyblivých částí stroje je prováděno tak, aby bylo tření co nejmenší a tuhost stroje co největší. Všechny pohyblivé části se musí pohybovat plynule a s maximální přesností. V posledních letech se upustilo od používání kluzných ložisek kvůli problémům s odvodem oleje. Z tohoto důvodu je výhodnější používání aerostatických ložisek s plynným třením, jejichž výhodou je nízké tření při vyšších rychlostech. Jejich nevýhodou je ale vyšší náchylnost ke korozi a problémy s čištěním vzduchu. Další možností je použití valivých ložisek. Ta mají v případě dobrého zakrytování vysokou tuhost. Výhodou je i velmi malé tření. Tato ložiska se mažou většinou z důvodu ochrany proti korozi. Konstrukce, která spojuje hlavní části souřadnicových měřicích strojů, musí také vykazovat dostatečnou tuhost.

### 3.3 Snímací hlava

#### 3.3.1 Mechanické snímací hlavy

Jedná se o pevné snímací doteky, které jsou připevněny do snímacího systému v předem připravených konfiguracích. Jejich tvary jsou nejčastěji koule, válec a talířek. Základní princip je odeslání elektrického signálu při doteku se součástí. Tento mechanismus slouží k získání souřadnic X, Y a Z.



Obr. 6 Mechanická  
snímací hlava

#### 3.3.2 Tříosé kontaktní skenování

Tříosé skenování nabízí výrazné výhody, co se týká rychlosti oproti datovému záznamu dotekovým spínačem. Toto skenování funguje jinak než spínací dotekové snímání tím, že neustále zaznamenává data, když dotek provádí skenování při kontaktu s povrchem měření. Standardně zaznamenává 2000 až 6000 bodů za sekundu. Veškerý pohyb během tříosého skenování zajišťují osy X, Y a Z stroje. Tento typ systému je vhodný v případech, kdy jsou k definování formy prvků zapotřebí velké objemy dat, ale kdy maximální výkon není nejvyšší prioritou. Dobrým příkladem je odebrání vzorků listů vrtulí, profilů aerodynamických ploch nebo vrtání válců u automobilů. V těchto případech neposkytuje několik dotykových bodů dostatek informací k přesnému měření formy.[1]

### 3.3.3 Pětiosé měření

U konvenčních metod měření provádí souřadnicový měřicí stroj všechny pohyby potřebné pro získání údajů povrchu. Zrychlení způsobuje v konstrukci stroje setrvačné deformace, které zase způsobují chyby měření. Výrobci metrologických systémů strávili roky snahou vyvinout techniky, které by zredukovaly tyto dynamické chyby. Existuje ale horní hranice rychlosti daná tuhostí stroje a servo pohonu, za níž nelze provést spolehlivé měření. Systém RenScan5 tuto hranici prolomil díky použití indexovatelné hlavice, která se během měření pohybuje po dvou rotačních osách. Souřadnicový měřicí stroj tak může provádět úlohy, k nimž byl zkonstruován – pohybovat se během měření konstantní rychlostí v jednom vektoru. Protože je hlavice mnohem lehčí a dynamičtější než souřadnicový měřicí stroj a má výrazně lepší šířku pásma, dokáže rychle reagovat na změny tvaru dílce, aniž by docházelo ke vzniku škodlivých dynamických chyb, což má za výsledek daleko vyšší rychlost skenování ploch a tedy i kratší cykly měření.[1]



Obr. 7 Pětiosá měřicí hlava

## 3.4 Faktory ovlivňující výběr doteku

Při vyhodnocování potřebné přesnosti měření souřadnicového měřicího stroje se běžně používá poměr nepřesnosti souřadnicového měřicího stroje k toleranci rozměru nejméně 1 : 5 (ideální je poměr 1 : 10, ale v mnoha případech se může ukázat jako příliš nákladný pro praktické využití). Díky tomuto poměru máme zajištěno měření s malou nepřesností. V případě, že dokážeme udržet poměr 1 : 5 na nejmenší toleranci, není pochybnosti o přesnosti měření. [5]

Velký vliv na přesnost měření má případná změna dotyku na sondě, která může výrazně změnit přesnost měření a způsobit rozdíly ve výsledcích. Pro zajištění přesnosti je potřeba doteky kalibrovat. Bohužel nestačí pouze roční (popřípadě dvouroční) kalibrace měřicího stroje. Naším cílem je zjistit reálnou přesnost, tudíž je lepší doteky kalibrovat interně v mnohem menším intervalu. Vždy záleží na vytíženosti stroje.

### 3.4.1 Kulovitost kuličky

Kuličky jsou vyráběny ze syntetického rubínu a ve většině případů má tvar koule. Faktor, který ovlivňuje nepřesnost souřadnicového měřicího stroje je kulovitost kuličky. Z důvodu špatné kulovitosti můžeme až o 10 % snížit přesnost stroje. Posuzujeme maximální odchylku kuličky od imaginární koule. Přesnost kuliček dělíme do několika tříd, z nichž je nejpoužívanější Grad 5 a Grad 10. Lepší přesnost zajišťují kuličky označené Grad 5. Horší přesnost vykazují kuličky označené Grad 10. Rozdíl mezi těmito kuličkami je kromě přesnosti také v ceně. Pokud chceme snížit náklady a rozhodneme se pro kuličku Grad 10, můžeme tím ohrozit poměr 1 : 5. Nejlepší přesnost vykazují kuličky s označením Grad 3.

Stupeň přesnosti kuličky nejsme schopni určit z výsledků měření a ani z vizuální stránky. Řešením tohoto problému je používání pouze kuličky označené Grad 5. Tyto kuličky jsou sice finančně nákladnější, ale zajistí nám požadovanou přesnost a nemusíme se bát, že kontrola uvolní díly, které by mohly zapříčinit následnou reklamaci ze strany zákazníka. V opačném případě můžeme označovat kusy odpovídající výkresové dokumentaci jako zmetky. Číslo  $MPE_p$  určíme pomocí 25 měření kalibrační koule. Chybu sondy popisuje norma ČSN EN ISO 10360-2: [12]



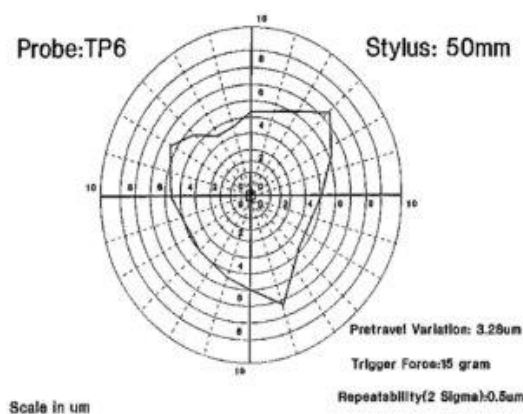
Obr. 8 Měřicí dotyk ve tvaru kuličky

- Odsazení hrotu snímacího doteku od osy pinoly –  $L$  – vzdálenost (pravoúhla k ose pinoly) mezi hrotem snímacího doteku a referenčním bodem.

- Chyba při měření -  $E_L$  = chyba indikace měření kalibrované zkušební délky pomocí souřadnicového měřicího stroje s odsazením hrotu snímacího doteku od osy pinoly L při jednobodovém snímání (nebo ekvivalentním snímání) na každém konci kalibrované zkušební délky.
- Opakovaný rozsah chyby při měření délky -  $R_O$  = rozsah (největší hodnota minus nejmenší hodnota) při třech opakovaných měřeních chyby délky pomocí souřadnicového měřicího stroje s nulovou vzdáleností odsazení hrotu snímacího doteku od osy pinoly.
- Maximální dovolená chyba při měření délky -  $E_{L,MPE}$  = extrémní hodnota chyby při měření délky  $E_L$  odpovídající specifikaci.

### 3.4.2 Průhyb doteku

Na průhyb doteku má vliv délka snímače. Čím delší bude délka snímače, tím bude větší chyba při měření dotekem. Proto je doporučeno používat kratší a tužší doteky pokud to velikost a umístění měřeného objektu na součásti dovolí. Tuto chybu způsobuje síla doteku, kterou je potřeba vyvinout, aby dotek zaznamenal měřený bod. Tato síla musí překonat odpor spínacího mechanismu sondy.



Obr. 9 Průhyb doteku

Trojúhelníkové kinematické uspořádání většiny sond má za následek různou velikost síly vyžadované k vygenerování spínacího signálu v různých směrech. V některých místech musí dojít k větší deformaci doteku. Pomocí empirických testů se určuje vliv průhybu na přesnost měření. Větší přejezd doteku je zapříčiněn nižší tuhostí. Důležitá je správná konstrukce a volba materiálu dřívku. Karbid wolframu je nejtěžší materiál používaný pro konstrukci. Kvůli jeho velké hmotnosti se málokdy používá na dlouhé doteky. Při konstrukci snímacího systému se snažíme použít co nejméně spojů a používat co nejjednodušší systémy.

Každý spoj sníží tuhost sestavy. V některých případech se bohužel nedá vyhnout složitým konstrukcím snímacích systémů. Pokud je nutno takto složitý systém sestavit, nesmíme zapomínat na tuhost celé sestavy a její maximální hmotnost. [12]

### 3.4.3 Teplotní stabilita

Jelikož je teplotní růst závislý na délce, je důležité používat materiály s nízkým koeficientem tepelné roztažnosti. Těchto znalostí se využívá při výběru materiálu nástavce. Nejčastěji se používá materiál, který je tuhý, lehký a nemění délku se změnami teploty. Těmto vlastnostem odpovídá uhlíkové vlákno. Na spoje mezi nástavci se používá titan, který má nejlepší kombinaci pevnosti stability a měrné hmotnosti.

### 3.4.4 Materiál kuličky

Nejčastěji se používá syntetický rubín. Může být však použit i jiný materiál, pokud si to okolnosti vyžadují. Odlišnosti jsou při rozdílném způsobu měření. Pokud měříme bod, kulička je v kontaktu s povrchem jen na malou chvíli. V případě scanu povrchu je kulička po celou dobu v kontaktu se součástí a po jejím povrchu klouže. Při kontaktu kuličky s povrchem může docházet k deformaci kuličky otěrem nebo k nanášení nečistot na kuličku. Jedná se o dva rozdílné druhy opotřebení:

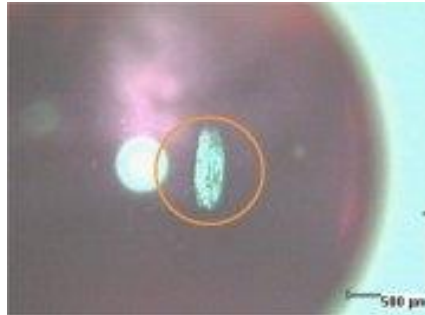
- Abrazivní otěr – dochází k němu při skenování litinových výrobků, důsledkem poškrábání kuličky a tím se tvoří malé plošky



Obr. 10 Abrazivní otěr na kuličce



- Adhezivní otěr – vzniká chemickou reakcí mezi kuličkou a povrchem, důsledkem je nabalování materiálu na kuličku



Obr. 11 Adhezivní otěr na kuličce

### 3.4.5 Ostatní faktory

- přípojovací závit doteků
- typ doteku
- typ hrotu doteku
- velikost kuličky



Obr. 12 Velikosti kuliček

## 4 POROVNÁNÍ S JINÝMI DRUHY MĚŘENÍ

Jak už jsme si ukázali, tak souřadnicový měřicí stroj je bezesporu velkým pomocníkem při kontrole výroby jakýchkoliv tvarů součástí ať už ve specializované laboratoři, nebo v některých případech přímo u stroje. Otázkou tedy zůstává, jestli je tato technologie nahraditelná jinými stroji.

### 4.1 Konturograf

Jako doplňkové přístroje se používají konturografy. Jedná se o relativně rychlé a přesné doměření rozměrů, které na souřadnicovém stroji změříme obtížně, tudíž bychom například zbytečně zatěžovali stroj měřením, které můžeme jinde provést rychle a jednoduše. Bohužel tyto přístroje načítají jen profil součásti a navíc jen v jednom určeném místě, takže nemohou souřadnicové stroje nahradit.



Obr. 13 Konturograf společnosti Zeiss

## 4.2 Optická zařízení

Ve velké hojnosti se používají různá optická zařízení, ať už s rotující čtvrtou osou, nebo bez ní. U tohoto typu měření je největší výhodou rychlost, jakou je přístroj schopen změřit všechny potřebné rozměry. Naopak přesnost je menší než u souřadnicového stroje, chyba měření je od  $1,6 + L/200$  mikrometru. Samozřejmě záleží i na šikovnosti programátora, který určuje jakou sílu a typ bude mít světlo nebo na správném zaostření hran, abychom odstranili tzv. šum na hranách součásti. V dnešní době už se tyto přístroje vyrábí i s dotykovou hlavou, takže se může velice jednoduše přepnout mezi kamerou a dotykem. Tato funkce dělá z optických přístrojů velice komplexní zařízení. Společnost ZEISS má řadu těchto přístrojů označenou pod názvem O-INSPECT.



Obr. 14 Zařízení O-Inspect

### 4.3 Počítačová tomografie

Nejnovější možností alternativního měření je počítačová tomografie. Využívá rentgenového záření, které je na rozdíl od použití v lékařství ve stacionární poloze a otáčí se součást. Část tohoto záření se při průchodu dílem pohltí a dopadá na detektor. Podle síly dopadajícího záření se určuje tloušťka stěn, vady materiálů a celkové rozměry. Měření na tomto přístroji je poměrně zdlouhavé, jelikož pořizujeme 2D snímky, které nám software zpracovává do výsledného 3D obrazce. Tyto přístroje jsou v dnešní době velmi nákladné a vyžadují profesionální obsluhu. Jejich uplatnění je například při kontrole plastových výrobků vstříkovací metodou. Společnost ZEISS samozřejmě figuruje i v tomto odvětví a její modelové řady nesou název Metronom. Pravděpodobně se jedná o hudbu budoucnosti.



Obr. 15 Tomograf společnosti Zeiss

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 POSTUP VLASTNÍHO ŘEŠENÍ

V praktické části bakalářské práce bude popsán postup při tvorbě programu od samotného začátku až po několik měření.

Úvodem je krátké seznámení se strojem, pomocí kterého budeme měřit vybraný díl. Jedná se o souřadnicový měřicí stroj Duramax. Montážní celek, který je předmětem měření, je vyroben ve firmě *Star Technik*. Celá sestava nese název Palivová přípojka a interně je značena číslem 06-0011. Tento díl byl vybrán z důvodu nutnosti vytvoření programu ve firmě ve chvíli, kdy bylo potřeba zadat díl pro měření do praktické části bakalářské práce. Nejdůležitější charakteristiky měření jsou tolerance tvaru polohy, které nám zajišťují návaznost na ostatní díly u zákazníka.

Před samotným měřením byl navržen přípravek pro pevné ustavení součásti v měřicím prostoru. Z důvodu naléhavosti na výsledky byla první měření provedena pomocí upnutí ve svěráku.

Následovala fáze, při které musely být určeny všechny elementy, které bylo potřeba měřit pro vyhodnocování. Elementy byly určovány na modelu. Práce s modelem byla použita z důvodu názornosti programu pro operátora při potřebě upravit nebo zjistit průběh měření a vyhodnocování. Z výkresové dokumentace byly určeny charakteristiky, které budou vyhodnocovány.

Cílem praktické bakalářské práce bylo tedy vytvořit kompletní měřicí program pro měření dílu 06-0011. Následně provést jeho optimalizaci pomocí postupného měření a upravování strategií elementů.

## 6 PŘÍSTROJ DURAMAX

Zařízení DURAMAX je produktem firmy ZEISS, která figuruje v několika odlišných průmyslových odvětvích. Přístroj, který je popisován, patří v portfoliu společnosti ZEISS do skupiny průmyslové metrologie. Z řady výrobků nazvané MaxLine, které jsou určeny pro dílenské měření přímo u výrobního stroje je DURAMAX rozměrově nejmenší.



Obr. 16 Přístroj DuraMax

### 6.1 Technické specifikace

DURAMAX je souřadnicový měřicí stroj, který má díky své velikosti a jednoduchosti měření primárně nahradit měření kalibry a jinými měřidly přímo u stroje. Důležitou součástí tohoto zařízení je výkonný počítač, který má nainstalovaný program potřebný pro měření. V případě společnosti ZEISS se jedná o software CALYPSO.

### 6.1.1 Rozměry stroje

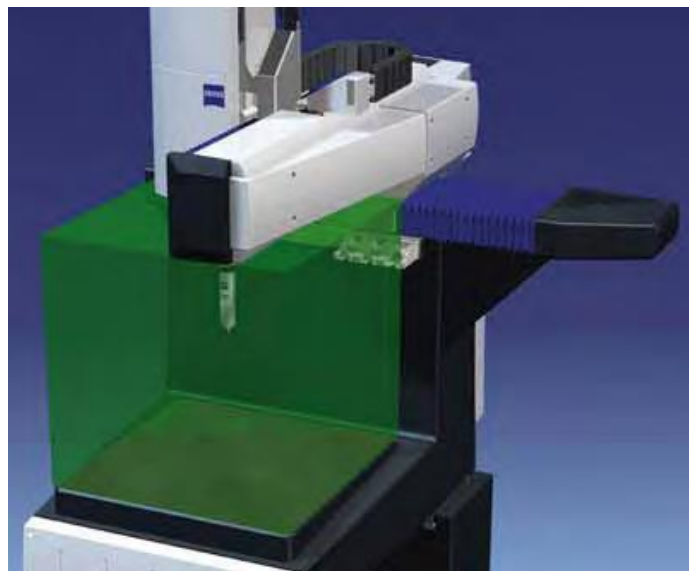
Přístroj má ve variantě s podstavcem rozměry:

- Šířka 1090 mm
- Délka 1170 mm
- Výška 2480 mm

Díky těmto rozměrům by neměl být problém s umístěním stroje i do výrobního procesu. Musíme však počítat také s prostorem pro výpočetní zařízení.

### 6.1.2 Pracovní prostor

I přes menší velikost stroje je jeho pracovní prostor o velikosti  $500 \times 500 \times 500$  mm dostatečně velký pro měření malých a středně velkých součástí. Velkou výhodou je možnost vkládání dílu ze tří stran kolem stroje. Součástí tohoto prostoru je i zásobník se snímacími systémy. V základním vybavení stroje je jeden zásobník se třemi tzv. parkovacími polohami pro talířky se snímacím systémem. Počet zásobníků je možné zvýšit a záleží jen na různorodosti výroby a počtu požadovaných měřicích snímačů. Spodní strana pracovního prostoru je ohraničena měřicí plochou, která je vyrobena z šedé litiny a je na ní 25 závitových otvorů velikosti M10. Maximální hmotnost měřené součásti je 100 kg.



Obr. 17 Pracovní prostor přístroje



### 6.1.3 Měřicí zařízení

Stroj používá skenovací hlavu VAST XXT TL3, která dokáže snímat až 500 bodů za sekundu. Talířek, na kterém je připevněn snímací systém, má průměr 25 mm. Maximální délka snímače pro tuto hlavu je 150 mm, minimální průměr kuličky 0,3 mm a nosnost 15 g. Rychlost, kterou dokáže stroj pohybovat touto hlavou při CNC režimu je až 300 mm/s se zrychlením  $1 \text{ m/s}^2$  pro pohyb ve směru některé z os a  $1,7 \text{ m/s}^2$  pro vektorový směr. Při manuálním režimu je maximální rychlost pojezdu  $100 \text{ m/s}^2$ .

### 6.1.4 Ovládací panel

Další nedílnou součástí, která je potřeba hlavně pro manuální měření, je ovládací panel. Ten je v našem případě propojen se strojem pomocí kabelu a usazen do kovového držáku.

Nejpoužívanější funkce:

- ovládání rychlosti pomocí potenciometru
- určení pozice ovládacího panelu vzhledem ho stroji
- červené tlačítko pro okamžité zastavení stroje
- levý joystick pro pohyb v ose Z
- pravý joystick pro pohyb v osách X a Y
- displej, který oznamuje používaný snímač



Obr. 18 Ovládací panel

### 6.1.5 Chyba měření a teplotní podmínky stroje

Maximální chyba při měření délky je závislá na teplotě v místnosti, kdy při 18–22 °C odpovídá chyba  $2,4 + L/300$  mikrometru. Tento teplotní rozsah nás zajímá z důvodu klimatizované teploty místnosti. Při vyšších teplotách se maximální chyba zvětšuje. Maximální

dovolená chyba skenování je 3,8 mikrometru. Teplotní stabilita stroje je v rozmezí od 18 °C do 30 °C. Teplota by se v místnosti neměla měnit skokově a nejlépe by se měla držet na ustálené hodnotě. Výrobek, který chceme měřit, by měl mít totožnou teplotu jako je teplota v místnosti, proto je lepší ho před samotným měřením nechat chvíli v místnosti aklimatizovat pro vyrovnání teploty.

Hodnoty kolísání teploty:

- za den – 5 °C
- za hodinu – 2 °C
- prostorově – 1 °C na metr

## 6.2 Princip měření

### 6.2.1 Souřadný systém

Základní výhodou měření na souřadnicovém měřicím stroji je určení souřadného systému, od kterého se následně odvíjí celý průběh měření, což je vlastnost, kterou na ručních měřidlech nelze specifikovat. Stroj tento souřadný systém přepočítá vůči nulovému bodu stroje, který je v levém horním rohu přístroje pokud stojíme čelem ke stroji a souřadnému systému stroje. Hodnota X narůstá doprava, hodnota Y narůstá od nás a hodnota Z narůstá směrem nahoru od nulového bodu.

Bez souřadného systému není možné měřit v CNC režimu. Můžeme ho určit hned po definování elementů potřebných pro jeho úplnost. Druhou variantou je určení souřadného systému až po definování všech elementů. Důležitá je v obou případech správná definice, ať už čerpáme z výkresové dokumentace nebo určujeme libovolně zvolený souřadný systém.

Natočení, nulový bod a směry os můžeme ovlivňovat pomocí pěti vlastností:

- primární – naklopení
- sekundární – rotace
- terciální
  - nulový bod X
  - nulový bod Y
  - nulový bod Z

### 6.2.2 Manuální a automatické měření

Samotné měření probíhá pomocí doteku snímače, který musí být správně zkalibrován. Programovat postup měření můžeme dvěma způsoby. První způsob je manuální sejmutí potřebných tvarů přímo na vzorovém kusu. Tím druhým a přívětivějším způsobem je naprogramování potřebného průběhu měření na CAD modelu a následném manuálním vyrovnání pro určení pozice výrobku v měřicím prostoru.

### 6.2.3 Skenování

Nejčastějším určením geometrických obrazců je skenování tvaru, nebo potřebný počet bodů pro určení tvaru. Při měření pomocí skenování je důležité zhodnotit potřebu tohoto měření. Kulička při tomto měření klouže po povrchu součásti a tím se může opotřebit. Pokud existuje možnost výskytu nečistot na dílu, hrozí riziko, že se některá z těchto nečistot nabalí na kuličku a tím zkreslí nejen právě probíhající měření, ale může mít vliv i na několik dalších měření. Také záleží na toleranci a velikosti daného rozměru. Pokud potřebujeme vyhodnotit geometrickou toleranci je většinou lepší elementy nasnímat pomocí skenování, protože je výsledkem přesnější měření.

### 6.2.4 Ustavení součásti

Ustavení součásti v pracovním prostoru sice není součástí měření, ale je důležitým krokem přípravy měření. Na trhu je mnoho ustavovacích zařízení, které můžeme volně položit na desku, nebo přišroubovat k závitovým dířům. Můžeme vybírat od obyčejných svěráků až po magnetické desky. Celý tento sortiment je nabízen v několika potřebných velikostech. Toto jsou univerzální ustavovací zařízení. V některých případech se může stát, že na upnutí složité, nebo příliš rozměrné součásti budeme potřebovat speciální zařízení. Tato zařízení mohou být vyráběna na zakázku, nebo ve vlastním vývojovém centru.

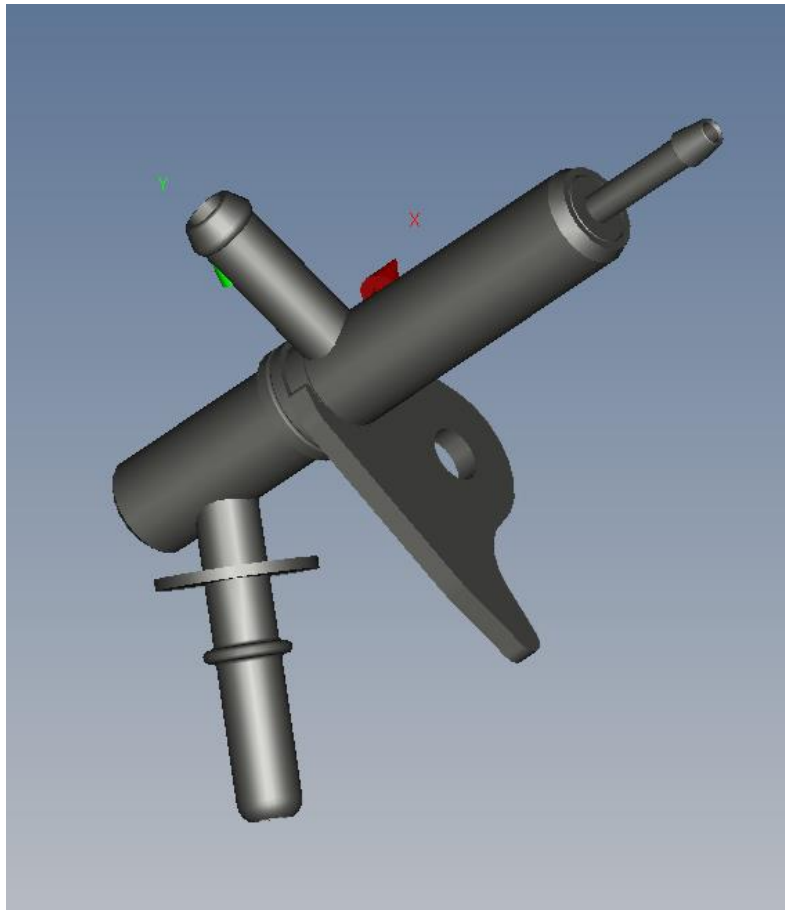
## 6.3 Kalibrace

Kalibrace snímačů probíhá na kalibrační kouli, která slouží jako etalon. Tuto kouli je potřeba upnout na měřicí desku do jedné z připravených závitových děr. Důležité je správně určit snímač na snímacím systému, který chceme zkalibrovat. Po určení polohy kalibrační koule stroj provede kalibraci námi zvoleného snímače a vypíše výsledek tohoto kroku. Tento úkon musíme provést u každého snímače, který obsahuje snímací systém a u všech sníma-

cích systémů, které budeme používat při měření. Pro automatizaci kalibrace je nutné kalibrační kouli upnout vždy na stejné místo, a pokud je koule sklopena pod určitým úhlem, tak zachovat i velikost a směr tohoto úhlu. V opačném případě si pomůžeme zaměřením polohy kalibrační koule.

## 7 POPIS VYBRANÉ SOUČÁSTI A JEJÍ USAZENÍ

Tato sestava je tvořena z pěti samostatných dílů. Všechny díly jsou vyrobeny pomocí rotačního obrábění. Nosný prvek celé sestavy je těleso, do kterého lisujeme koncovku, plech, vsuvku a t-vsuvku. Celá sestava následně putuje na pájení. Posledním krokem je pokovování součástí. Výkres sestavy je součástí přílohy.

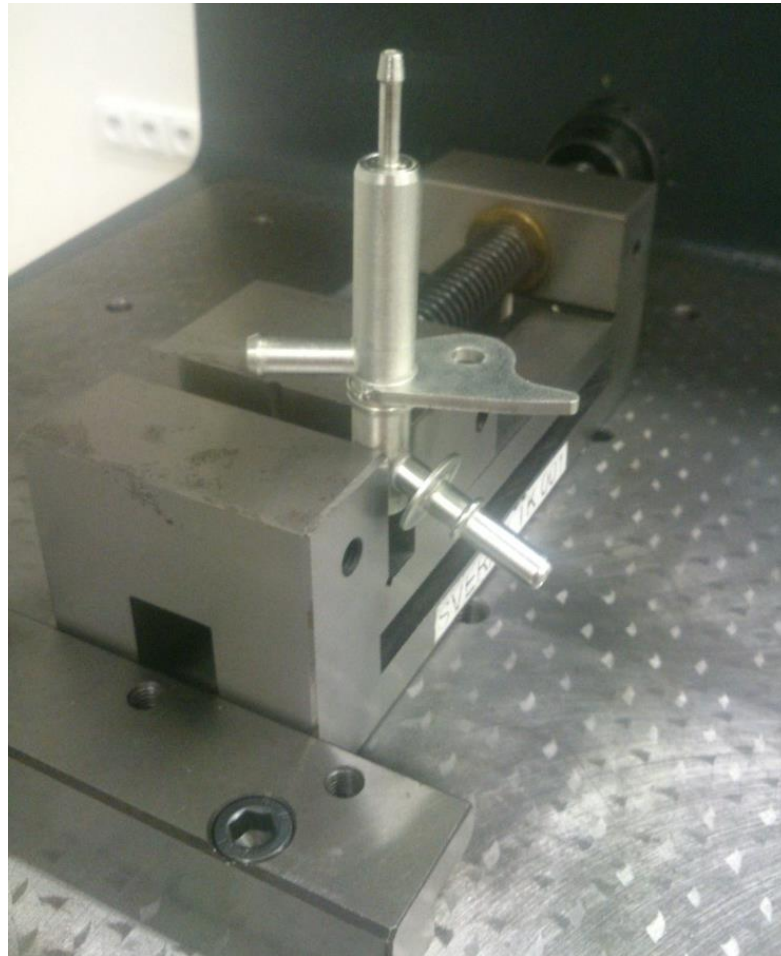


Obr. 19 Model dílu

### 7.1 Upnutí do svěráku

Pro jednoduchost při zakládání dílce do měřicího prostoru je potřeba správně vyřešit měřicí přípravek. Při tvorbě programu a prvním měření byl díl upnut do svěráku. Tato možnost upínání je jednoduchá. V tomto případě nastal problém při opakování měření. Není totiž možné součást umístit do svěráku vždy do stejného místa a pod stejným úhlem. Operátor by

musel před každým měřením provést manuální vyrovnání součásti. Tato operace by zbytečně prodloužila čas potřebný pro měření. Jako řešení tohoto problému se nabízí navrhnout a vyrobit zakládací přípravek. Tento přípravek by měl zajistit jednoznačnost při zakládání výrobku. Přípravek následně musíme umístit vždy na stejné místo v měřicím prostoru, k čemuž nám pomáhají dvě vodící lišty připevněné na desku. Samozřejmě by měl přípravek umožňovat měření všech popřípadě většiny rozměrů potřebných pro vyhodnocování.

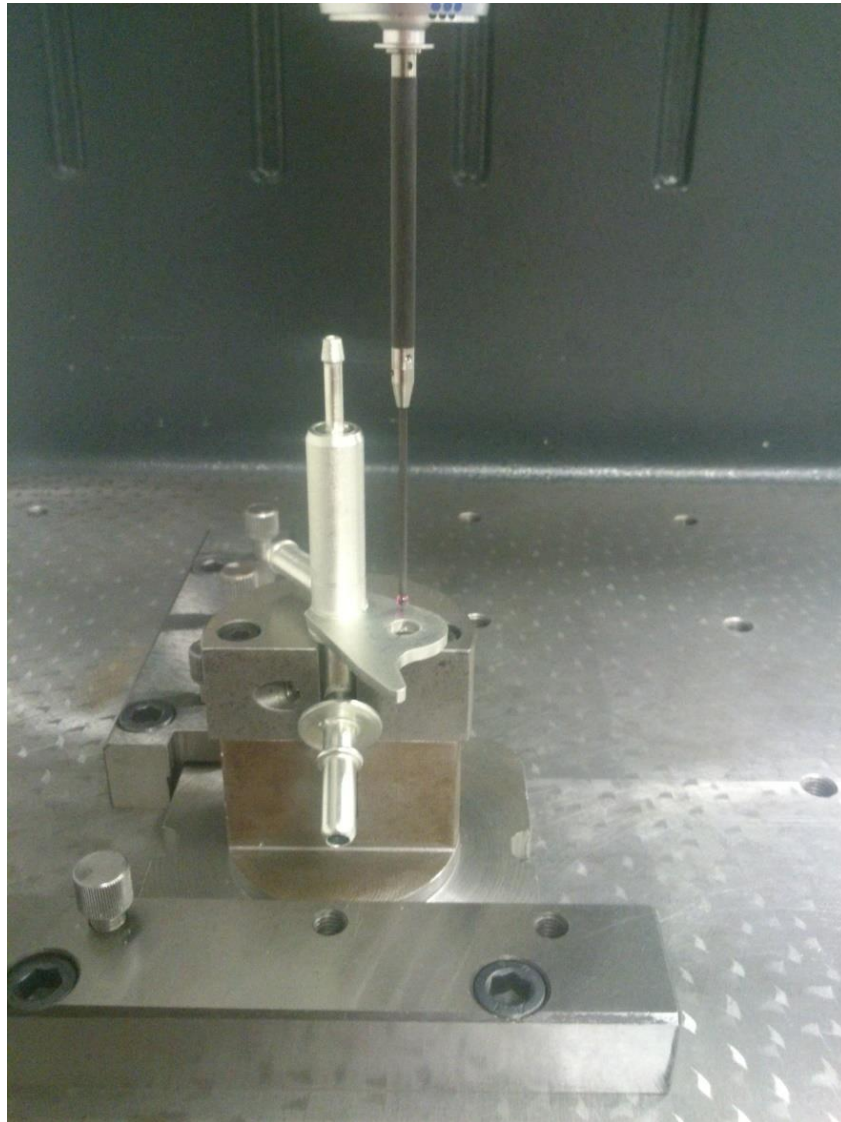


Obr. 20 Upnutí dílu do svěráku

## 7.2 Tvorba zakládacího přípravku

Přípravek byl vytvořen na jednom z oddělení naší firmy, a proto nebylo potřeba vytvářet žádný výkres. Nejdůležitějším rozměrem byla díra, která musela mít minimálně průměr tělesa sestavy a být hluboká tak, aby se do ní dal vsunout i podobný díl. Výsledkem je průchozí díra o průměru 13 mm. Přesné ustavení součásti je docíleno pomocí stavěcího šroubu M3×5 s vnitřním šestihranem. Výšky, ve které je díl upnut, docílíme dosednutím průměru 15 na

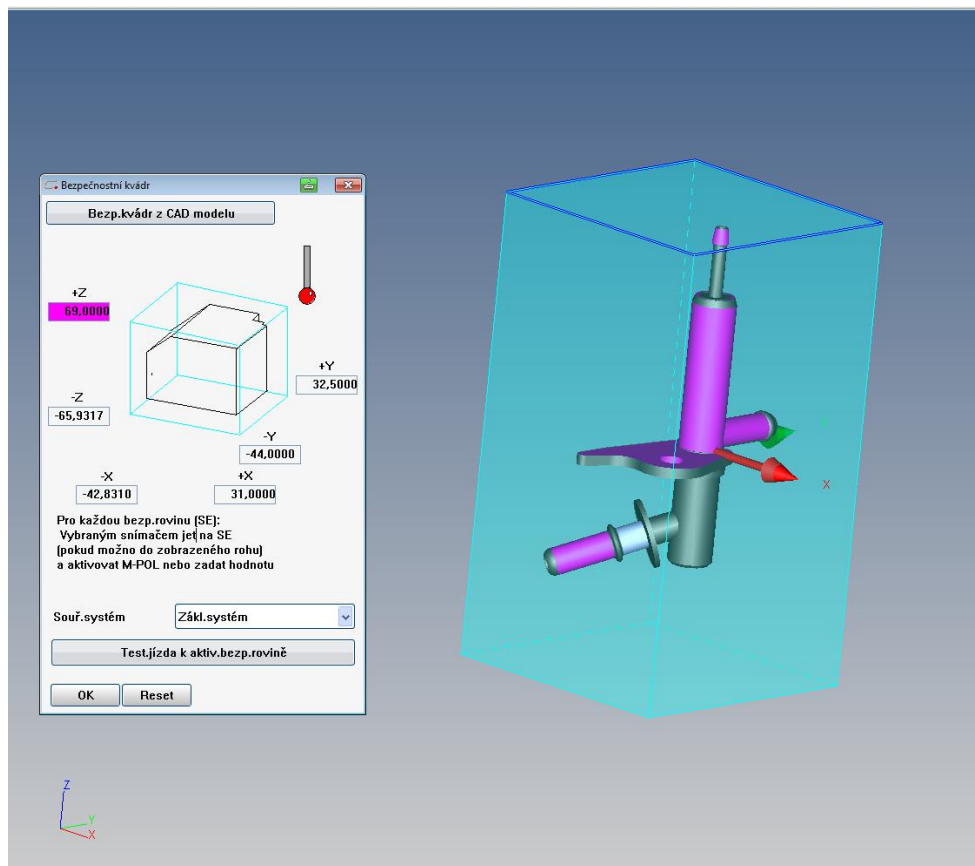
horní rovinu přípravku. Abychom mohli díl vsunout do díry, bylo potřeba odfrézovat část materiálu. Zbýlý materiál má délku 41 mm. Celý přípravek je složen ze dvou částí. Vrchní válec má průměr 65 mm a je vysoký 25 mm. Spodní část přípravku je vyrobena z polotovaru 100×100, z tohoto tvaru zůstává spodních 10 mm pro založení do stroje. Zbytek je odsoustružen na průměr 60 mm. Obě části jsou spojeny pomocí dvou šroubů M5×40 s vnitřním šestihranem. Celková výška přípravku je 74,5 mm.



Obr. 21 Upnutí dílu do přípravku

### 7.3 Určení bezpečnostního kvádru

Každý program musí mít svůj bezpečnostní kvádr. Jedná se o oblast kolem dílu, která nám signalizuje, že se v této oblasti může vyskytnout překážka. V této oblasti je snižena rychlost pohybu sondy. Pro tento díl byl díky práci s modelem vytvořen bezpečnostní kvádr, který je odsazen 10 mm od krajů součásti. Ve směru osy Y je bezpečnostní kvádr roztažen tak, aby pokryl i tvar přípravku. Stejný krok proběhl i ve směru osy X; v obou směrech od základního souřadného systému.



Obr. 22 Bezpečnostní kvádr



## 8 TVORBA PROGRAMU

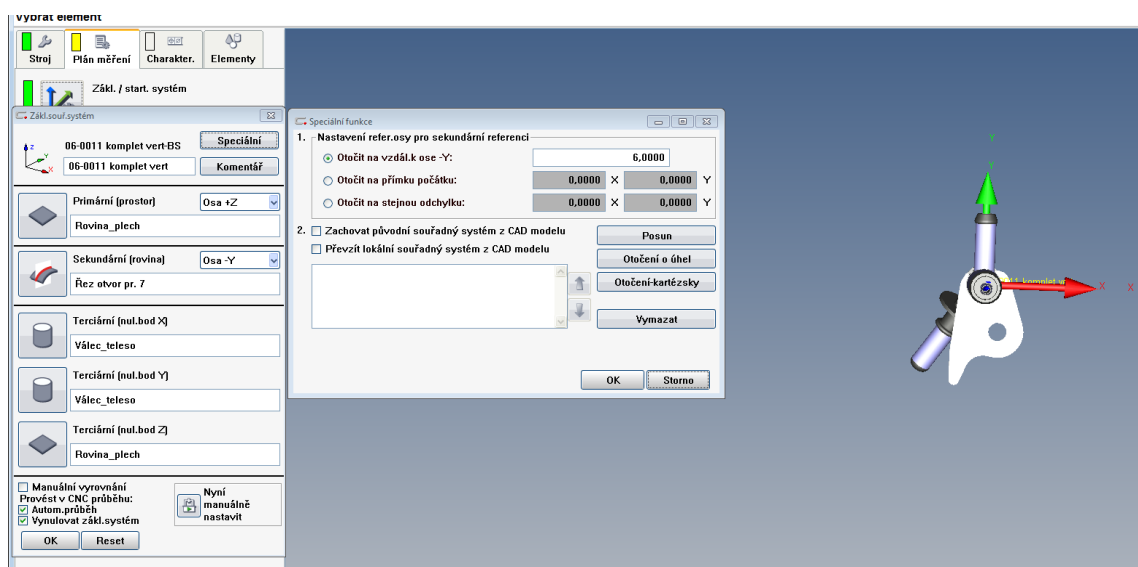
Pro dostatečné a rychlé snímání elementů byl použit pouze jeden snímací systém. Tento systém obsahuje jeden měřicí dotek o průměru 3 mm. Délka celého snímacího systému je 120 mm.

### 8.1 Kalibrace snímacího systému

Před vytvořením programu a prvním měřením byl zkalibrován snímací systém. Pro zaměření kalibrační koule byl použit snímač Master\_probe. Směrodatná odchylka snímače, který je používán pro měření, je 0,0003 mm.

### 8.2 Základní souřadný systém programu

V programu byl vytvořen souřadný systém tak, aby odpovídal výkresové dokumentaci a kopíroval základny součásti, které slouží pro vyhodnocování tolerancí tvaru polohy. Jako primární charakteristiku jsme využili element Rovina\_plechu, který je na výkrese základnou A. Sekundární charakteristika obsahuje element Řez\_otvor pr.7, jenž reprezentuje základnu B. Pro určení nulového bodu pro osy X a Y byl použit element Válec\_těleso, který je základnou C. Nulový bod osy Z je určen elementem Rovina\_plech. Celý souřadný systém bylo následně potřeba posunout tak, aby odpovídal výkresové dokumentaci. Tohoto cíle bylo dosaženo pomocí speciálních vlastností při určování souřadného systému a to přesně otočením na vzdálenost k ose -Y o 6 mm. Takto vytvořený souřadný systém je úplný a plně odpovídá výkresové dokumentaci.



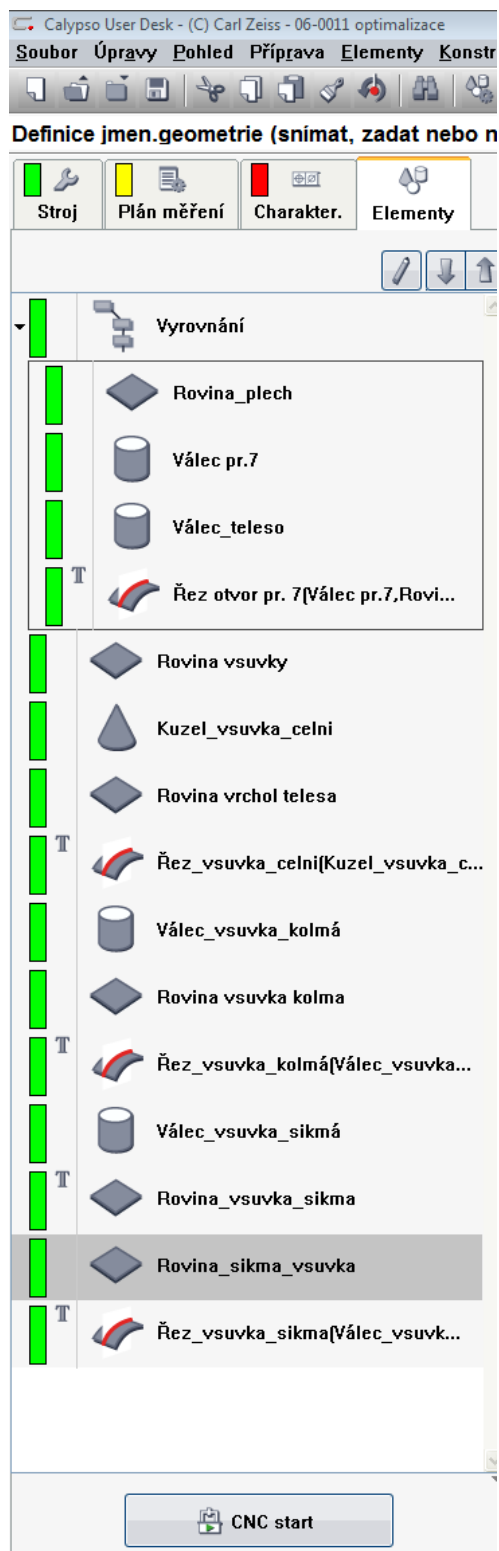
Obr. 23 Základní souřadný systém

### 8.3 Snímání elementů

Do čistého programu se nahrál model součásti, který byl uložen s příponou `.ste`. Pro tvorbu programu byl využit tento model. Všechny potřebné elementy byly definovány s jeho pomocí. Při primárním určení elementů nebyl kladen velký důraz na určování strategií měření, snímání elementů a dalších doplňujících informací. Tyto vlastnosti budou upraveny po vytvoření programu a několika použitích pro správnou optimalizaci. Pokud by se vytvářel program pomocí snímání bodů nebo se následně přidával element, je potřeba se řídit minimálním počtem bodů, které je potřeba nasnímat pro určení elementu. Pro snímání roviny a kružnice jsou potřeba alespoň 3 body. Přímkou snímáme alespoň dvěma body a samotný bod reprezentuje sám sebe.

#### 8.3.1 Seznam elementů

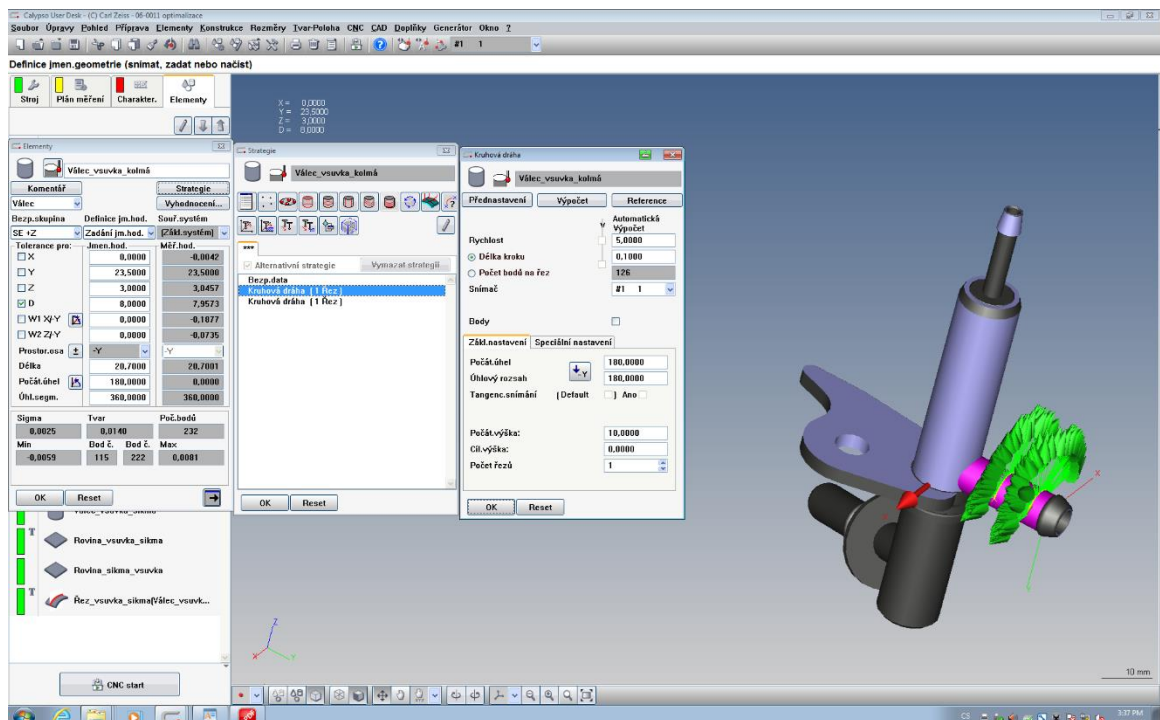
- `Rovina _plech` – snímání polylinie po ploše
- `Válec pr. 7` – snímání dvou kružnic ve výškách 1 mm a 2 mm
- `Válec pr. 12,8` – snímání dvou kružnic ve výškách 10 mm a 45 mm
- `Řez otvor pr. 7` – teoretický element vytvořený jako průsečík roviny plechu s osou válce
- `Rovina vsuvky` – snímání čtyřmi body
- `Kužel_vsvuka_celni` – snímání dvou kružnic
- `Roviny_vrchol_tělesa` – snímáno polylinií
- `Řez_vsvuka_celni` – Teoretický element vytvořený jako průsečík roviny vsuvky a kužele
- `Válec_vsvuka_kolmá` – snímání dvou půlkružnic ve výškách 2 mm a 10 mm
- `Rovina vsuvka kolma` – rovina snímána pomocí 4 bodů
- `Řez_vsvuka_kolmá` – teoretický element vytvořený jako průsečík osy elementu válce kolmé vsuvky a elementu roviny kolmé vsuvky
- `Válec_vsvuka_šikmá` – snímání dvou půlkružnic ve výškách 12 mm a 15 mm
- `Rovina_vsvuka_sikma` – teoreticky vytvořený element
- `Rovina_šikmá_vsvuka` – snímání kruhovou dráhou a úhlovém rozsahu 200°.
- `Řez_vsvuka šikmá` – teoretický element vytvořený jako průsečík elementu roviny šikmé vsuvky a elementu válce šikmé vsuvky



Obr. 24 Seznam elementů

### 8.3.2 Strategie elementu válec kolmé vsuvky

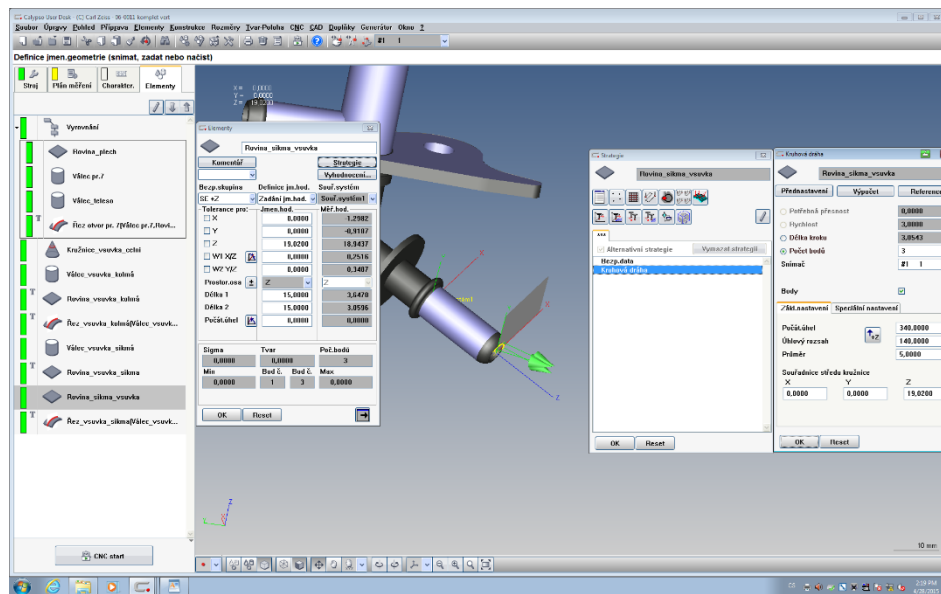
Tento element je v programu nazván Válec\_vsuvka\_kolmá. Jeho tvar byl měřen pomocí dvou kruhových drah. Jelikož je v programu použit pouze jeden snímač, pomocí kterého nejsme schopni změřit kruhové dráhy v rozsahu  $360^\circ$ , bylo ty dráhy měřeny v rozsahu  $180^\circ$ . Aby nemusel snímač přejíždět po naměření první dráhy na opačnou stranu vsuvky má druhá dráha opačný úhlový směr pro zkrácení času měření.



Obr. 25 Strategie měření kolmé vsuvky

### 8.3.3 Strategie elementu rovina šikmé vsuvky

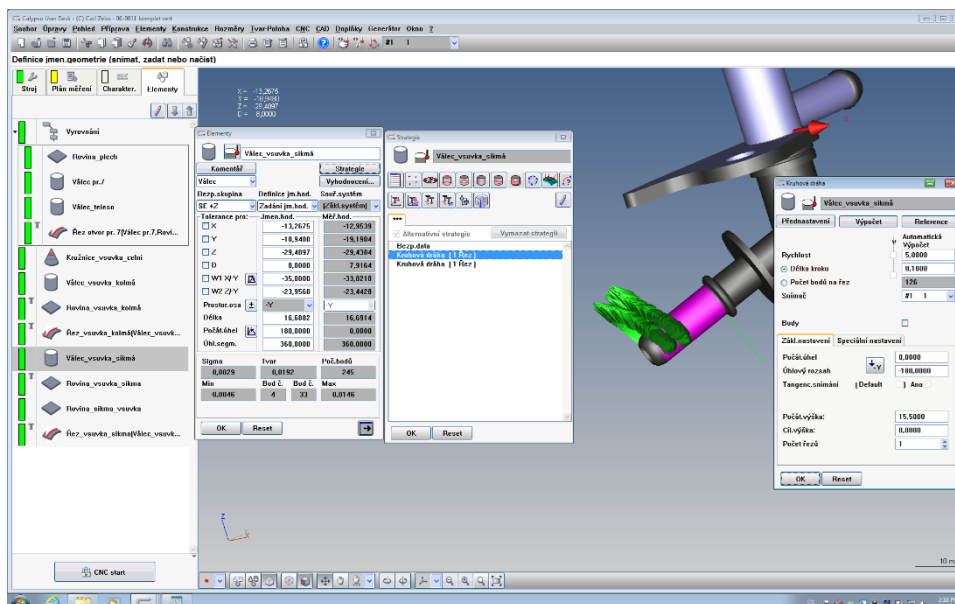
V programu je tento element nazván Rovina\_sikma\_vsuvka a je měřen pouze 3 body roviny. Z důvodu malé plochy pro měření bylo potřeba stanovit pomocný souřadný systém, ke kterému jsou vztaženy body měření. Tímto postupem je zajištěno správné najetí na element.



Obr. 26 Element Rovina\_sikma\_vsuvky

### 8.3.4 Strategie elementu válce šikmé vsuvky

Element je v programu pojmenován Válec\_vsuvky\_sikmá. Strategii měření tohoto element jsou dvě kruhové dráhy velice blízko u sebe, což může zkreslit výsledek. Tato vzdálenost je zapříčiněna špatnou dostupností měřené vsuvky, kdy nám její část zakrývá plech nad ní. Úhlový rozsah je 180° a opět je použito opačných směrů kruhových drah.



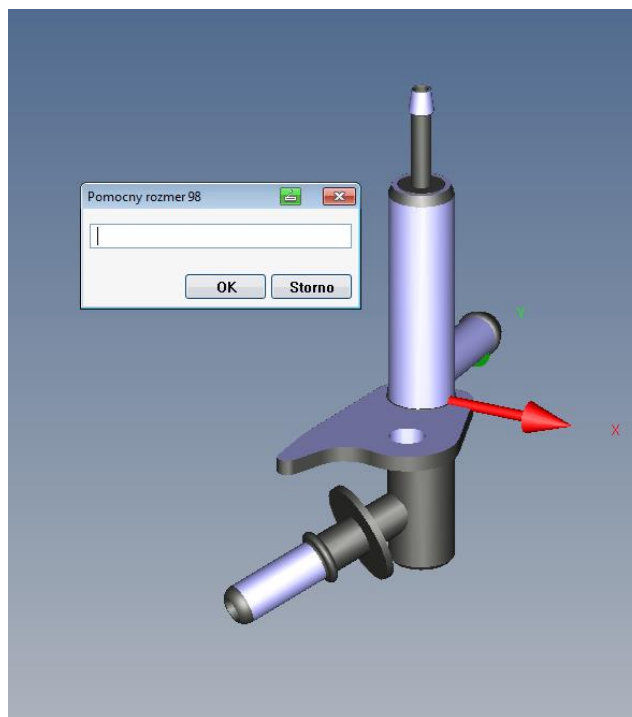
Obr. 27 Element Válec\_vsuvky\_sikma

## 8.4 Vyhodnocování statistik

Poslední částí při tvorbě programu je určení rozměrů a tolerancí, které chceme ve výsledném protokolu vyhodnotit. Průměry jsou určovány jednoduše už v samotném elementu, kde se zaškrtně „dropdown“ potřebné charakteristiky a zapíše se její tolerance. Délkové rozměry jsou určeny pomocí charakteristiky kartézské vzdálenosti. Na úhly byl použit prvek úhel mezi elementy. Pro definování tolerancí tvaru polohy pomohl správně nastavený souřadný systém, ke kterému byly tyto tolerance vyhodnocovány.

### 8.4.1 Neměřené rozměry

Jelikož se v případě vybraného dílu jedná o montážní celek, byly některé rozměry vynechány. Jedná se o pomocné rozměry 98 mm, 78 mm, 33 mm, které nejsme schopni kvůli tvaru zakládacího přípravku změřit. Tyto rozměry byly do programu vloženy pomocí ručního doměření. Průměr 2,6 mm nemůže být změřen, protože používaný snímač má průměr 3 mm. Žádný z naší firmou používaných snímacích systému nemá parametry k naměření tohoto rozměru, proto bylo rozhodnuto, že se tento průměr bude kontrolovat pomocí kalibru. Rozměry T-vsuvky jsou kontrolovány pro tento samostatný díl ještě před nalisováním do sestavy, a tudíž je kvůli jejich náročnému snímání nemusíme nutně zařadit do výsledného protokolu. Hodnota 8 mm je jako SPC znak kontrolována 100%.



Obr. 28 Ruční zadávání hodnoty

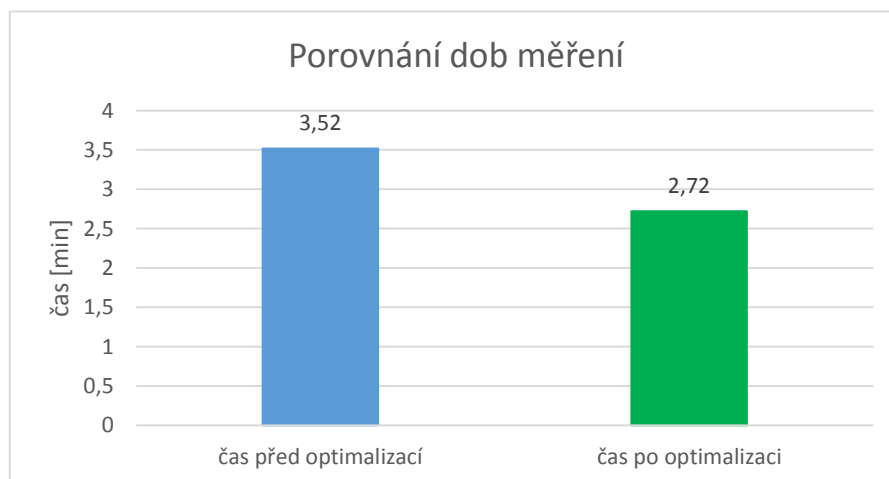
## 9 OPTIMALIZACE PROGRAMU

Po provedení několika měření byly zjištěny chyby, které bylo potřeba opravit pro zkrácení doby měření. Nejvíce se opakující chybou bylo hlášení programu Calypso o špatné rychlosti měření. Tento problém nastává, pokud stroj nemá dostatečný počet naměřených bodů pro výpočet. Software automaticky přeměří problémový element znovu s menší rychlostí. U všech elementů, které vykazovali tuto chybu, byla postupným snižováním nalezena optimální rychlost pro plynulý chod programu.

Rychlost měření se může ovlivnit najížděním na element a správně sestaveným pořadím elementů tak, aby se sonda nevracela stále na stejné místo a nedělala několik zbytečných objezdů. Elementy byly seřazeny podle plynulosti měření. Jediné elementy, které stroj měří automaticky přednostně, jsou elementy pro výpočet souřadného systému. Dále byly aktualizovány objezdy a odjezdy sondy při měření.

Na závěr byla do programu přidána parkovací poloha snímacího systému. Před tímto krokem sonda vyjela mimo bezpečnostní kvádr a zůstala na své pozici. Parkovací poloha byla určena tak, aby operátor při výměně součásti nemohl sondu poškodit.

Před optimalizací a po ní byl změřen průběh měření. Průměrná doba měření pomocí prvního programu byla 3 minuty a 31 vteřin. Po úpravě seznamu elementů a jejich strategií, ať už zrychlení nebo zpomalení měření, jsme se dostali na průměrnou dobu měření 2 minuty a 43 vteřin. Do času nebyla započítána doba pro doměření hodnot pomocí posuvného měřidla. Toto měření by mělo zabrat maximálně jednu minutu. Z tohoto výsledku bylo usouzeno, že celá optimalizace proběhla správně a podařilo se zkrátit dobu měření o 48 vteřin, což odpovídá 22,75 % původního času měření.



Obr. 29 Porovnání dob měření

## 10 DISKUZE NAMĚŘENÝCH HODNOT

Průběh celého programu byl zopakován třikrát na stejném výrobku ve dvou různých variantách postupu měření.

Poprvé byl díl usazen a třikrát po sobě změřen bez jakéhokoliv manipulace. Maximální rozdíl naměřených hodnot jednotlivých měření byl do 1 mikrometru. Tímto krokem byla ověřena opakovatelnost měření.

Pak následovalo měření, kdy jsme díl vždy vytáhli z přípravku a znovu jej upnuly. Maximální rozdíl naměřených hodnot jednotlivých měření byl do 1 setiny milimetru. Pomocí tohoto měření bylo zjištěno, že i lehce odlišné upnutí výrobku do přípravku nebude mít velký vliv na výsledky měření.

Ve všech měřeních byly až na jeden rozměr všechny v pořádku. Vždy se jednalo o polohu čelní vsuvky. V případě tohoto dílu se však nejedná o kus, který by byl prodán zákazníkovi. Součást byla vybrána z kusů, které jsou označeny jako zmetky. Avšak s polohou čelní vsuvky bývají potíže nejčastější. Většinou nastává problém při sesypávání součástí do jedné bedny před odjezdem na pájecí linku.

Z celkového pohledu bylo měření úspěšné a program se dá považovat za kompletní. Protokoly jsou součástí přílohy.

ZEISS		Merici protokol ZEISS Calypso				Star Technik, s.r.o.		
Náz souč.	Program_Miroslav_Schofr			Operátor:	Schoefer Miroslav ml.		Nadrazní 418	
Číslo výkresu	06-0011			Datum	21 Mai 2015		696 32 Zdanice	
				Čas	14:51:11		Poznámka:	
Name	ID	Aktual	Nominal	pos Tol	neg Tol	Dif	<-!->	
■ Otvor pr.7	D	7.0382	7.0000	0.2000	-0.2000	0.0382		
■ Kolmost A	Kol	0.0300	0.0000	0.2000		0.0300		
■ Rovinnost B	Rov	0.0235	0.0000	0.2000		0.0235		
■ Poloha_telesa	Po2d	0.0185	0.0000	0.2000		0.0185		
	X	6.0000	6.0000			0.0000		
	Y	-17.9908	-18.0000			0.0092		
■ Poloha vsuvka kolmá	Po3d	0.1081	0.0000	0.5000		0.1081		
	X	0.0084	0.0000			0.0084		
	Y	27.5180	27.5000			0.0180		
	Z	3.0492	3.0000			0.0492		
■ Poloha vsuvka sklmá	Po2d	0.1896	0.0000	0.5000		0.1896		
	Y	-41.0341	-41.0000			-0.0341		
	Z	-35.9115	-36.0000			0.0885		
■ Poloha vsuvka celní	Po2d	0.3882	0.0000	0.1000		0.3882	0.2892	
	X	0.0527	0.0433			0.0084		
	Y	-0.2579	-0.0635			-0.1944		
■ Vzdálenost 20	DistKart	20.0048	20.0000	0.2500	-0.2500	0.0048		
■ Průměr_Válec_teleso	D	12.8210	12.8000	0.1000	-0.1000	0.0210		
■ Průměr_Válec_vsuvka_kolmáD		7.9572	8.0000	0.0000	-0.1000	-0.0428		
■ Průměr_Válec_vsuvka_sklmáD		7.8983	7.8900	0.0500	-0.0500	0.0083		
■ Úhel 20°	W	19.7017	20.0000			-0.2983		
■ Vzdálenost 36	DistKart	35.9115	36.0000	0.3000	-0.3000	-0.0885		
■ Vzdálenost 3	DistKart	3.0492	3.0000	0.1000	-0.1000	0.0492		
■ Vzdálenost 27.5	DistKart	27.5385	27.5000	0.1000	-0.1000	0.0385		
■ Úhel 35°	W1	-34.4721	-35.0000			0.5279		
■ Vzdálenost X_Válec pr.7	X	6.0000	6.0000	0.0500	-0.0500	0.0000		
■ Vzdálenost Y_Válec pr.7	Y	-17.9908	-18.0000	0.1000	-0.1000	0.0092		
■ Pomocny rozmer 98	ResEle	98.0300	98.0000	0.1000	-0.2500	0.0300		
■ Pomocny rozmer 78	ResEle	78.0300	78.0000	0.1000	-0.2000	0.0300		
■ Pmocy rozmer 33.9	ResEle	34.0200	33.9000	0.1800	-0.1800	0.1200		
■ Pomocny rozmer 48.32	ResEle	48.4300	48.3200	0.2000	-0.2000	0.1100		
■ prumer 2.6	ResEle	2.5500	2.6000	0.1000	-0.1000	-0.0500		

Obr. 30 Ukázkový protokol měření



## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit program, který se bude dále používat pro každodenní měření dané součásti.

Teoretická část práce měla přiblížit problematiku souřadnicových měřicích strojů, jejich základní vlastnosti a možnosti jejich nahrazení, ať už úplně nebo alespoň částečné doměření.

V praktické části je popsán přístroj Duramax, na kterém probíhá měření součásti. Ještě před samotným programováním bylo potřeba vymyslet usazení výrobku. Program byl vytvořen na 3D modelu. Stanovení souřadného systému proběhlo manuálně a všechny ostatní elementy byly určeny pomocí nahraného modelu. V tomto kroku nebyl kladen velký důraz na objezdy a strategie měření. Tyto vlastnosti se specifikovaly až v optimalizaci programu. Některé rozměry, které kvůli tvaru přípravku není možné měřit, jsou po konzultaci o jejich jednoduchosti doměřeny pomocí posuvného měřidla. Dále nastal problém s rozměry, u kterých byl problém v průběhu měření. Jelikož se u nich jednalo o rozměry samotného dílu, který se měří ještě před montáží, bylo rozhodnuto, že nemusí být obsaženy ve výsledném měření. Celý program byl vytvořen v prostředí Calypso od společnosti Zeiss.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Pokorný 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] Kolektiv autorů. Souřadnicové měřicí stroje. Dům techniky ČS VTS Praha, 1987.  
ISBN 60-898-87
- [4] Chmelík V. Měření přesnosti hlavic SMS. ČS VTS České Budějovice, 1985
- [5] Informace od společnosti Renishaw. Dostupné z <http://www.renishaw.cz/cs/renishaw-zvysovani-efektivnosti-vyroby-a-zdravotni-pece--1030>
- [6] Informace od společnost Zeiss. Dostupné z [http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs\\_cz/home.html](http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/home.html)
- [7] NENÁHLO Č. 2011. Souřadnicová měřicí technika. MM průmyslové spektrum.  
3/2011: strana 42
- [8] TNI 01 0115, Mezinárodní metrologický slovník, vydání 2009
- [9] Historie společnosti Zeiss. Dostupné z [http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs\\_cz/o-nas/historie.html](http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/o-nas/historie.html)
- [10] Historie souřadnicových měřících strojů. Dostupné z <http://www.coord3-cmm.com/50-years-of-coordinate-measuring-machine-industry-developments-and-history/>
- [11] Historie souřadnicových měřících strojů. Dostupné  
z [http://www.hexagonmetrology.com/History\\_122.htm#.VL0iuS7O72V](http://www.hexagonmetrology.com/History_122.htm#.VL0iuS7O72V)
- [12] Průvodce výběrem doteku. Dostupné z <http://www.renishaw.cz/cs/pruvodce-pro-vyber-doteku-pro-souradnicovy-merici-stroj--10927>

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Stroj pro měření dílů letadel .....	11
Obr. 2 Jeden z prvních přístrojů společnosti Zeiss .....	11
Obr. 3 Tomograf společnosti Zeiss .....	12
Obr. 4 Johansonovy kostky .....	14
Obr. 5 Typy konstrukcí souřadnicových měřicích strojů .....	17
Obr. 6 Mechanická snímací hlava .....	19
Obr. 7 Pětiosá měřicí hlava .....	20
Obr. 8 Měřicí dotyk ve tvaru kuličky .....	21
Obr. 9 Průhyb doteku .....	22
Obr. 10 Abrazivní otěr na kuličce .....	23
Obr. 11 Adhezivní otěr na kuličce .....	24
Obr. 12 Velikosti kuliček .....	24
Obr. 13 Konturograf společnosti Zeiss .....	25
Obr. 14 Zařízení O-Inspect .....	26
Obr. 15 Tomograf společnosti Zeiss .....	27
Obr. 16 Přístroj DuraMax .....	30
Obr. 17 Pracovní prostor přístroje .....	31
Obr. 18 Ovládací panel .....	32
Obr. 19 Model dílu .....	36
Obr. 20 Upnutí dílu do svěráku .....	37
Obr. 21 Upnutí dílu do přípravku .....	38
Obr. 22 Bezpečnostní kvádr .....	39
Obr. 23 Základní souřadný systém .....	40
Obr. 24 Seznam elementů .....	42
Obr. 25 Strategie měření kolmé vsuvky .....	43
Obr. 26 Element Rovina_sikma_vsuvky .....	44
Obr. 27 Element Válec_vsuvka_sikma .....	44
Obr. 28 Ruční zadávání hodnoty .....	45
Obr. 29 Porovnání dob měření .....	46
Obr. 30 Ukázkový protokol měření .....	47

## **SEZNAM PŘÍLOH**

P 1: VÝKRES SESTAVY

P 2: PRVNÍ MĚŘENÍ SOUČÁSTI BEZ PŘEUPNUTÍ

P 3: DRUHÉ MĚŘENÍ SOUČÁSTI BEZ PŘEUPNUTÍ

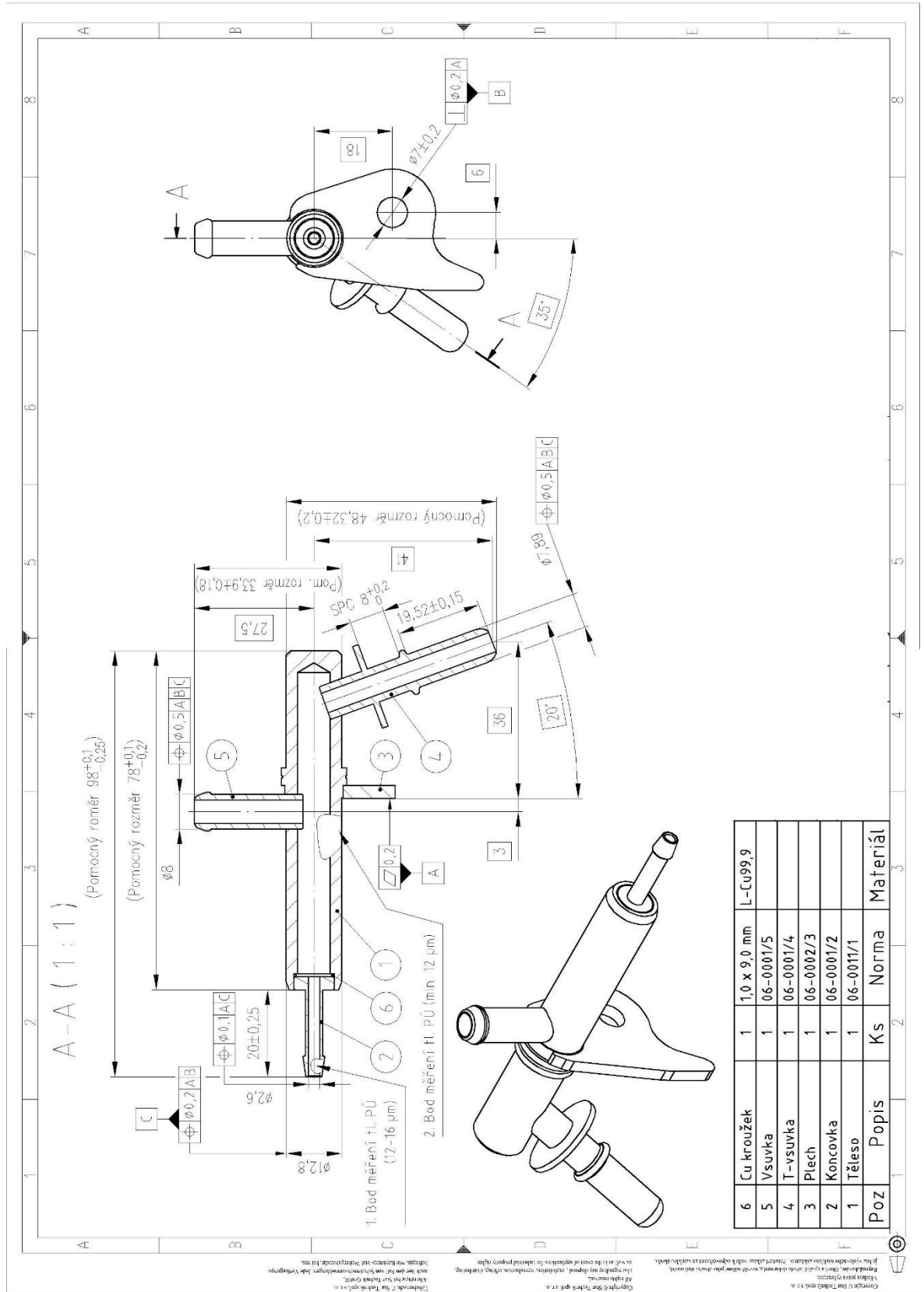
P 4: TŘETÍ MĚŘENÍ SOUČÁSTI BEZ PŘEUPNUTÍ

P 5: PRVNÍ MĚŘENÍ S PŘEUPNUTÍM

P 6: DRUHÉ MĚŘENÍ S PŘEUPNUTÍM

P 7: TŘETÍ MĚŘENÍ S PŘEUPNUTÍM

# PŘÍLOHA P 1: VÝKRES SESTAVY



## PŘÍLOHA P 2: PRVNÍ MĚŘENÍ SOUČÁSTI BEZ PŘEUPNUTÍ

ZEISS		Merici protokol ZEISS Calypso				Star Technik, s.r.o.		
Náz.souč.	Program_Miroslav_Schofr							
Číslo výkresu	06-0011	Operátor:	Schofr Miroslav ml.			Nadrazni 418		
		Datum	21 Mai 2015			696 32 Zdanice		
		Čas	14:44:40					
		Poznámka:						
Name	ID	Aktual	Nominal	pos Tol	neg Tol	Diff	<-- -->	
■ Otvor pr.7	D	7.0388	7.0000	0.2000	-0.2000	0.0388	-	
■ Kolmost A	Kol	0.0306	0.0000	0.2000		0.0306	-	
■ Rovinnost B	Rov	0.0215	0.0000	0.2000		0.0215	-	
■ Poloha_telesa	Po2d	0.0167	0.0000	0.2000		0.0167	-	
	X	6.0000	6.0000			0.0000		
	Y	-17.9917	-18.0000			0.0083		
■ Poloha vsuvka kolmá	Po3d	0.1071	0.0000	0.5000		0.1071	-	
	X	0.0108	0.0000			0.0108		
	Y	27.5192	27.5000			0.0192		
	Z	3.0488	3.0000			0.0488		
■ Poloha vsuvka sikmá	Po2d	0.1872	0.0000	0.5000		0.1872	-	
	Y	-41.0334	-41.0000			-0.0334		
	Z	-35.9126	-36.0000			0.0874		
■ Poloha vsuvka celní	Po2d	0.3899	0.0000	0.1000		0.3899	0.2899	
	X	0.0529	0.0433			0.0097		
	Y	-0.2582	-0.0635			-0.1947		
■ Vzdálenost 20	DistKart	19.9997	20.0000	0.2500	-0.2500	-0.0003	-	
■ Průměr_Válec_teleso	D	12.8213	12.8000	0.1000	-0.1000	0.0213	-	
■ Průměr_Válec_vsuvka_kolmá	D	7.9573	8.0000	0.0000	-0.1000	-0.0427	-	
■ Průměr_Válec_vsuvka_sikmá	D	7.8984	7.8900	0.0500	-0.0500	0.0084	-	
■ Úhel 20°	W	19.7045	20.0000			-0.2955		
■ Vzdálenost 36	DistKart	35.9126	36.0000	0.3000	-0.3000	-0.0874	--	
■ Vzdálenost 3	DistKart	3.0488	3.0000	0.1000	-0.1000	0.0488	--	
■ Vzdálenost 27,5	DistKart	27.5434	27.5000	0.1000	-0.1000	0.0434	--	
■ Uhel 35°	W1	-34.4767	-35.0000			0.5233		
■ Vzdálenost X_Válec pr.7	X	6.0000	6.0000	0.0500	-0.0500	0.0000		
■ Vzdálenost Y_Válec pr.7	Y	-17.9917	-18.0000	0.1000	-0.1000	0.0083	-	
■ Pomocny rozmer 98	ResEle	98.0300	98.0000	0.1000	-0.2500	0.0300	--	
■ Pomocny rozmer 78	ResEle	78.0300	78.0000	0.1000	-0.2000	0.0300	--	
■ Pmocny rozmer 33,9	ResEle	34.0200	33.9000	0.1800	-0.1800	0.1200	--	
■ Pomocny rozmer 48,32	ResEle	48.4300	48.3200	0.2000	-0.2000	0.1100	--	
■ prumer 2,6	ResEle	2.5500	2.6000	0.1000	-0.1000	-0.0500	--	

# PŘÍLOHA P 3: DRUHÉ MĚŘENÍ SOUČÁSTI BEZ PŘEUPNUTÍ

ZEISS		Merici protokol ZEISS Calypso				Star Technik, s.r.o.	
Náz.souč.	Program_Miroslav_Schofr						
Číslo výkresu	06-0011	Operátor:	Schofr Miroslav ml.		Nadrazni 418		
		Datum	21 Mai 2015		696 32 Zdanice		
		Čas	14:48:00				
		Poznámka:					
Name	ID	Aktual	Nominal	pos Tol	neg Tol	Diff	<-- -->
■ Otvor pr.7	D	7.0382	7.0000	0.2000	-0.2000	0.0382	-
■ Kolmost A	Kol	0.0302	0.0000	0.2000		0.0302	-
■ Rovinnost B	Rov	0.0238	0.0000	0.2000		0.0238	-
■ Poloha_telesa	Po2d	0.0186	0.0000	0.2000		0.0186	-
	X	6.0000	6.0000			0.0000	
	Y	-17.9907	-18.0000			0.0093	
■ Poloha vsuvka kolmá	Po3d	0.1072	0.0000	0.5000		0.1072	-
	X	0.0083	0.0000			0.0083	
	Y	27.5197	27.5000			0.0197	
	Z	3.0491	3.0000			0.0491	
■ Poloha vsuvka sikmá	Po2d	0.1885	0.0000	0.5000		0.1885	-
	Y	-41.0335	-41.0000			-0.0335	
	Z	-35.9119	-36.0000			0.0881	
■ Poloha vsuvka celní	Po2d	0.3889	0.0000	0.1000		0.3889	0.2889
	X	0.0523	0.0433			0.0090	
	Y	-0.2578	-0.0635			-0.1943	
■ Vzdálenost 20	DistKart	20.0104	20.0000	0.2500	-0.2500	0.0104	-
■ Průměr_Válec_teleso	D	12.8212	12.8000	0.1000	-0.1000	0.0212	-
■ Průměr_Válec_vsuvka_kolmá	D	7.9572	8.0000	0.0000	-0.1000	-0.0428	-
■ Průměr_Válec_vsuvka_sikmá	D	7.8984	7.8900	0.0500	-0.0500	0.0084	-
■ Úhel 20°	W	19.7052	20.0000			-0.2948	
■ Vzdálenost 36	DistKart	35.9119	36.0000	0.3000	-0.3000	-0.0881	-
■ Vzdálenost 3	DistKart	3.0491	3.0000	0.1000	-0.1000	0.0491	-
■ Vzdálenost 27,5	DistKart	27.5475	27.5000	0.1000	-0.1000	0.0475	-
■ Uhel 35°	W1	-34.4742	-35.0000			0.5258	
■ Vzdálenost X_Válec pr.7	X	6.0000	6.0000	0.0500	-0.0500	0.0000	
■ Vzdálenost Y_Válec pr.7	Y	-17.9907	-18.0000	0.1000	-0.1000	0.0093	-
■ Pomocny rozmer 98	ResEle	98.0300	98.0000	0.1000	-0.2500	0.0300	--
■ Pomocny rozmer 78	ResEle	78.0300	78.0000	0.1000	-0.2000	0.0300	--
■ Pmocny rozmer 33,9	ResEle	34.0200	33.9000	0.1800	-0.1800	0.1200	--
■ Pomocny rozmer 48,32	ResEle	48.4300	48.3200	0.2000	-0.2000	0.1100	--
■ prumer 2,6	ResEle	2.5500	2.6000	0.1000	-0.1000	-0.0500	-

# PŘÍLOHA P 4: TŘETÍ MĚŘENÍ SOUČÁSTI BEZ PŘEUPNUTÍ

ZEISS		Merici protokol ZEISS Calypso				Star Technik, s.r.o.	
Náz.souč.	Program_Miroslav_Schofr						
Číslo výkresu	06-0011	Operátor:	Schofr Miroslav ml.		Nadrazni 418		
		Datum	21 Mai 2015		696 32 Zdanice		
		Čas	14:51:11				
		Poznámka:					
Name	ID	Aktual	Nominal	pos Tol	neg Tol	Diff	<-- -->
■ Otvor pr.7	D	7.0382	7.0000	0.2000	-0.2000	0.0382	-
■ Kolmost A	Kol	0.0300	0.0000	0.2000		0.0300	-
■ Rovinnost B	Rov	0.0235	0.0000	0.2000		0.0235	-
■ Poloha_telesa	Po2d	0.0185	0.0000	0.2000		0.0185	-
	X	6.0000	6.0000			0.0000	
	Y	-17.9908	-18.0000			0.0092	
■ Poloha vsuvka kolmá	Po3d	0.1061	0.0000	0.5000		0.1061	-
	X	0.0084	0.0000			0.0084	
	Y	27.5180	27.5000			0.0180	
	Z	3.0492	3.0000			0.0492	
■ Poloha vsuvka sikmá	Po2d	0.1896	0.0000	0.5000		0.1896	-
	Y	-41.0341	-41.0000			-0.0341	
	Z	-35.9115	-36.0000			0.0885	
■ Poloha vsuvka celní	Po2d	0.3892	0.0000	0.1000		0.3892	0.2892
	X	0.0527	0.0433			0.0094	
	Y	-0.2579	-0.0635			-0.1944	
■ Vzdálenost 20	DistKart	20.0048	20.0000	0.2500	-0.2500	0.0048	-
■ Průměr_Válec_teleso	D	12.8210	12.8000	0.1000	-0.1000	0.0210	-
■ Průměr_Válec_vsuvka_kolmá	D	7.9572	8.0000	0.0000	-0.1000	-0.0428	-
■ Průměr_Válec_vsuvka_sikmá	D	7.8983	7.8900	0.0500	-0.0500	0.0083	-
■ Úhel 20°	W	19.7017	20.0000			-0.2983	
■ Vzdálenost 36	DistKart	35.9115	36.0000	0.3000	-0.3000	-0.0885	-
■ Vzdálenost 3	DistKart	3.0492	3.0000	0.1000	-0.1000	0.0492	-
■ Vzdálenost 27,5	DistKart	27.5385	27.5000	0.1000	-0.1000	0.0385	-
■ Uhel 35°	W1	-34.4721	-35.0000			0.5279	
■ Vzdálenost X_Válec pr.7	X	6.0000	6.0000	0.0500	-0.0500	0.0000	
■ Vzdálenost Y_Válec pr.7	Y	-17.9908	-18.0000	0.1000	-0.1000	0.0092	-
■ Pomocny rozmer 98	ResEle	98.0300	98.0000	0.1000	-0.2500	0.0300	--
■ Pomocny rozmer 78	ResEle	78.0300	78.0000	0.1000	-0.2000	0.0300	--
■ Pomocny rozmer 33,9	ResEle	34.0200	33.9000	0.1800	-0.1800	0.1200	--
■ Pomocny rozmer 48,32	ResEle	48.4300	48.3200	0.2000	-0.2000	0.1100	--
■ prumer 2,6	ResEle	2.5500	2.6000	0.1000	-0.1000	-0.0500	-



# PŘÍLOHA P 5: PRVNÍ MĚŘENÍ S PŘEUPNUTÍM

ZEISS		Merici protokol ZEISS Calypso				Star Technik, s.r.o.		
Náz.souč.	Program_Miroslav_Schofr			Operátor:	Schoefr Miroslav ml.			
Číslo výkresu	06-0011	Datum	21 Mai 2015		Nadrazni 418			
		Čas	14:54:52		696 32 Zdanice			
		Poznámka:						
Name	ID	Aktual	Nominal	pos Tol	neg Tol	Diff	<-- -->	
■ Otvor pr.7	D	7.0382	7.0000	0.2000	-0.2000	0.0382	-	
■ Kolmost A	Kol	0.0294	0.0000	0.2000		0.0294	-	
■ Rovinnost B	Rov	0.0219	0.0000	0.2000		0.0219	-	
■ Poloha_telesa	Po2d	0.0180	0.0000	0.2000		0.0180	-	
	X	6.0000	6.0000			0.0000		
	Y	-17.9910	-18.0000			0.0090		
■ Poloha vsuvka kolmá	Po3d	0.1071	0.0000	0.5000		0.1071	-	
	X	0.0080	0.0000			0.0080		
	Y	27.5189	27.5000			0.0189		
	Z	3.0495	3.0000			0.0495		
■ Poloha vsuvka sikmá	Po2d	0.1891	0.0000	0.5000		0.1891	-	
	Y	-41.0343	-41.0000			-0.0343		
	Z	-35.9119	-36.0000			0.0881		
■ Poloha vsuvka celní	Po2d	0.3905	0.0000	0.1000		0.3905	0.2905	
	X	0.0528	0.0433			0.0095		
	Y	-0.2585	-0.0635			-0.1950		
■ Vzdálenost 20	DistKart	20.0010	20.0000	0.2500	-0.2500	0.0010	-	
■ Průměr_Válec_teleso	D	12.8212	12.8000	0.1000	-0.1000	0.0212	-	
■ Průměr_Válec_vsuvka_kolmá	D	7.9574	8.0000	0.0000	-0.1000	-0.0426	-	
■ Průměr_Válec_vsuvka_sikmá	D	7.8985	7.8900	0.0500	-0.0500	0.0085	-	
■ Úhel 20°	W	19.7016	20.0000			-0.2984		
■ Vzdálenost 36	DistKart	35.9119	36.0000	0.3000	-0.3000	-0.0881	-	
■ Vzdálenost 3	DistKart	3.0495	3.0000	0.1000	-0.1000	0.0495	-	
■ Vzdálenost 27,5	DistKart	27.5479	27.5000	0.1000	-0.1000	0.0479	-	
■ Uhel 35°	W1	-34.4787	-35.0000			0.5213		
■ Vzdálenost X_Válec pr.7	X	6.0000	6.0000	0.0500	-0.0500	0.0000		
■ Vzdálenost Y_Válec pr.7	Y	-17.9910	-18.0000	0.1000	-0.1000	0.0090	-	
■ Pomocny rozmer 98	ResEle	98.0300	98.0000	0.1000	-0.2500	0.0300	--	
■ Pomocny rozmer 78	ResEle	78.0300	78.0000	0.1000	-0.2000	0.0300	--	
■ Pomocny rozmer 33,9	ResEle	34.0200	33.9000	0.1800	-0.1800	0.1200	--	
■ Pomocny rozmer 48,32	ResEle	48.4300	48.3200	0.2000	-0.2000	0.1100	--	
■ prumer 2,6	ResEle	2.5500	2.6000	0.1000	-0.1000	-0.0500	-	

# PŘÍLOHA P 6: DRUHÉ MĚŘENÍ S PŘEUPNUTÍM

ZEISS		Merici protokol ZEISS Calypso				Star Technik, s.r.o.		
Náz.souč.	Program_Miroslav_Schofr			Operátor:	Schofr Miroslav ml.			
Číslo výkresu	06-0011	Datum	21 Mai 2015		Nadrazni 418			
		Čas	14:58:42		696 32 Zdanice			
		Poznámka:						
Name	ID	Aktual	Nominal	pos Tol	neg Tol	Diff	<-- -->	
■ Otvor pr.7	D	7.0381	7.0000	0.2000	-0.2000	0.0381	-	
■ Kolmost A	Kol	0.0300	0.0000	0.2000		0.0300	-	
■ Rovinnost B	Rov	0.0223	0.0000	0.2000		0.0223	-	
■ Poloha_telesa	Po2d	0.0167	0.0000	0.2000		0.0167	-	
	X	6.0000	6.0000			0.0000		
	Y	-17.9917	-18.0000			0.0083		
■ Poloha vsuvka kolmá	Po3d	0.1058	0.0000	0.5000		0.1058	-	
	X	0.0082	0.0000			0.0082		
	Y	27.5183	27.5000			0.0183		
	Z	3.0489	3.0000			0.0489		
■ Poloha vsuvka sikmá	Po2d	0.1912	0.0000	0.5000		0.1912	-	
	Y	-41.0349	-41.0000			-0.0349		
	Z	-35.9110	-36.0000			0.0890		
■ Poloha vsuvka celní	Po2d	0.3882	0.0000	0.1000		0.3882	0.2882	
	X	0.0533	0.0433			0.0100		
	Y	-0.2574	-0.0635			-0.1939		
■ Vzdálenost 20	DistKart	20.0026	20.0000	0.2500	-0.2500	0.0026	-	
■ Průměr_Válec_teleso	D	12.8211	12.8000	0.1000	-0.1000	0.0211	-	
■ Průměr_Válec_vsuvka_kolmá	D	7.9575	8.0000	0.0000	-0.1000	-0.0425	-	
■ Průměr_Válec_vsuvka_sikmá	D	7.8983	7.8900	0.0500	-0.0500	0.0083	-	
■ Úhel 20°	W	19.7013	20.0000			-0.2987		
■ Vzdálenost 36	DistKart	35.9110	36.0000	0.3000	-0.3000	-0.0890	-	
■ Vzdálenost 3	DistKart	3.0489	3.0000	0.1000	-0.1000	0.0489	-	
■ Vzdálenost 27,5	DistKart	27.5480	27.5000	0.1000	-0.1000	0.0480	-	
■ Uhel 35°	W1	-34.4655	-35.0000			0.5345		
■ Vzdálenost X_Válec pr.7	X	6.0000	6.0000	0.0500	-0.0500	0.0000		
■ Vzdálenost Y_Válec pr.7	Y	-17.9917	-18.0000	0.1000	-0.1000	0.0083	-	
■ Pomocny rozmer 98	ResEle	98.0300	98.0000	0.1000	-0.2500	0.0300	--	
■ Pomocny rozmer 78	ResEle	78.0300	78.0000	0.1000	-0.2000	0.0300	--	
■ Pmocny rozmer 33,9	ResEle	34.0200	33.9000	0.1800	-0.1800	0.1200	--	
■ Pomocny rozmer 48,32	ResEle	48.4300	48.3200	0.2000	-0.2000	0.1100	--	
■ prumer 2,6	ResEle	2.5500	2.6000	0.1000	-0.1000	-0.0500	-	

# PŘÍLOHA P 7: TŘETÍ MĚŘENÍ S PŘEUPNUTÍM

ZEISS		Merici protokol ZEISS Calypso				Star Technik, s.r.o.	
Náz.souč.	Program_Miroslav_Schofr						
Číslo výkresu	06-0011	Operátor:	Schofr Miroslav ml.		Nadrazni 418		
		Datum	21 Mai 2015		696 32 Zdanice		
		Čas	15:02:17				
		Poznámka:					
Name	ID	Aktual	Nominal	pos Tol	neg Tol	Diff	<-- -->
■ Otvor pr.7	D	7.0381	7.0000	0.2000	-0.2000	0.0381	-
■ Kolmost A	Kol	0.0296	0.0000	0.2000		0.0296	-
■ Rovinnost B	Rov	0.0237	0.0000	0.2000		0.0237	-
■ Poloha_telesa	Po2d	0.0174	0.0000	0.2000		0.0174	-
	X	6.0000	6.0000			0.0000	
	Y	-17.9913	-18.0000			0.0087	
■ Poloha vsuvka kolmá	Po3d	0.1080	0.0000	0.5000		0.1080	-
	X	0.0091	0.0000			0.0091	
	Y	27.5173	27.5000			0.0173	
	Z	3.0503	3.0000			0.0503	
■ Poloha vsuvka sikmá	Po2d	0.1885	0.0000	0.5000		0.1885	-
	Y	-41.0340	-41.0000			-0.0340	
	Z	-35.9121	-36.0000			0.0879	
■ Poloha vsuvka celní	Po2d	0.3932	0.0000	0.1000		0.3932	0.2932
	X	0.0528	0.0433			0.0095	
	Y	-0.2599	-0.0635			-0.1964	
■ Vzdálenost 20	DistKart	20.0029	20.0000	0.2500	-0.2500	0.0029	-
■ Průměr_Válec_teleso	D	12.8210	12.8000	0.1000	-0.1000	0.0210	-
■ Průměr_Válec_vsuvka_kolmá	D	7.9571	8.0000	0.0000	-0.1000	-0.0429	-
■ Průměr_Válec_vsuvka_sikmá	D	7.8984	7.8900	0.0500	-0.0500	0.0084	-
■ Úhel 20°	W	19.7028	20.0000			-0.2972	
■ Vzdálenost 36	DistKart	35.9121	36.0000	0.3000	-0.3000	-0.0879	--
■ Vzdálenost 3	DistKart	3.0503	3.0000	0.1000	-0.1000	0.0503	---
■ Vzdálenost 27,5	DistKart	27.5641	27.5000	0.1000	-0.1000	0.0641	---
■ Úhel 35°	W1	-34.4902	-35.0000			0.5098	
■ Vzdálenost X_Válec pr.7	X	6.0000	6.0000	0.0500	-0.0500	0.0000	
■ Vzdálenost Y_Válec pr.7	Y	-17.9913	-18.0000	0.1000	-0.1000	0.0087	-
■ Pomocny rozmer 98	ResEle	98.0300	98.0000	0.1000	-0.2500	0.0300	---
■ Pomocny rozmer 78	ResEle	78.0300	78.0000	0.1000	-0.2000	0.0300	---
■ Pomocny rozmer 33,9	ResEle	34.0200	33.9000	0.1800	-0.1800	0.1200	---
■ Pomocny rozmer 48,32	ResEle	48.4300	48.3200	0.2000	-0.2000	0.1100	---
■ prumer 2,6	ResEle	2.5500	2.6000	0.1000	-0.1000	-0.0500	--