

Problematika 3D měření v praxi

Bc. Petr Hrabica

Diplomová práce
2020

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr Hrabica**
Osobní číslo: **T18591**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **Kombinovaná**
Téma práce: **Problematika 3D měření v praxi**

Zásady pro vypracování

1. zpracujte rešerši na dané téma
2. vypracujte výrobní postup pro konkrétní dílce využitím 3D měřicí techniky ZEISS
3. výkresová dokumentace dílce, 3D model
4. výroba prototypu
5. kontrolní 3D měření (přípravky, program, kalibrace...)
6. optimalizace a vyhodnocení výsledků

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

Seznam doporučené literatury:

1. Maňková, I. *Progresivní technologie*. Viena, Košice 2000. ISBN 80-7099-430-4.
2. Kocman, K., Prokop, J. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: CERM, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
3. Pokorný, Přemysl. *Souřadnicové měřicí stroje*. Liberec: Technická univerzita, 1999. 76 s. ISBN 80-7083-326-2

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Libuše Sýkorová, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Ve Zlíně dne 10. února 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové 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.

Prohlašuji,

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá problematikou 3D měření na souřadnicových měřicích strojích. V teoretické části jsou popsány základní pravidla měření, tolerance a typy jednotlivých souřadnicových strojů. V praktické části je popsána tvorba měřicího programu, stroj na kterém je měření provedeno a výsledky tohoto měření.

Klíčová slova: 3D měření, souřadnicový měřicí stroj, Calypso

ABSTRACT

This thesis deals with the issue of 3D measurements on coordinate measuring machines. The theoretical part describes the basic measurement rules, tolerances and types of individual coordinate machines. The practical part describes the creation of the measuring program, the machine on which the measurement is made and the results of this measurement.

Keywords: 3D measurement, coordinate measuring machine, Calypso

Na tomto místě bych rád poděkoval své vedoucí práce doc. Ing. Libuši Sýkorové, Ph.D. za její odborné vedení, ochotu, pomoc a užitečné rady při vypracování této diplomové práce.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 METROLOGIE.....	11
1.1 MĚŘIDLA.....	11
1.1.1 Etalon	11
1.1.2 Kontrolní měřidla	11
1.1.3 Pracovní měřidla	11
1.2 MĚŘENÍ.....	12
2 ZÁKLADNÍ GEOMETRICKÉ ELEMENTY	13
2.1 BOD.....	13
2.2 ROVINA	13
2.3 PŘÍMKA	14
2.4 KRUŽNICE	14
2.5 KOULE.....	15
2.6 VÁLEC.....	15
2.7 KUŽEL	16
3 TOLERANCE.....	17
3.1 TOLEROVÁNÍ ROZMĚRŮ.....	17
3.1.1 Zapisování tolerancí ve výkresech	18
3.2 GEOMETRICKÉ TOLERANCE	19
3.2.1 Zapisování geometrických tolerancí	20
4 SOUŘADNICOVÉ MĚŘÍCÍ STROJE (SMS)	21
4.1 VYUŽITÍ SMS.....	21
4.2 KONSTRUKCE SMS	21
4.3 TYPY KONSTRUKCÍ SMS	23
4.3.1 Mostové souřadnicové měřicí stroje	23
4.3.2 Výložníkové souřadnicové měřicí stroje.....	24
4.3.3 Portálové souřadnicové měřicí stroje	24
4.3.4 Stojanové souřadnicové měřicí stroje	25
4.4 SNÍMACÍ SYSTÉM SMS	26
4.4.1 Bezdotykový snímací systém	26
4.4.2 Dotykový snímací systém	26
4.4.2.1 Systémy měřicího typu	26
4.4.2.2 Systémy spínacího typu	27
4.4.3 Měřicí dotyky	28
4.4.3.1 Měřicí kuličky	28
4.4.3.2 Dřík měřicího dotyku.....	29
4.4.3.3 Typy dotyků.....	30
5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE	32

II PRAKTICKÁ ČÁST	33
6 WOCO STV	34
7 ZEISS CONTURA G2	35
7.1 ZEISS RDS.....	36
7.2 ZEISS VAST XXT	37
8 KALIBRACE DOTEKŮ	38
9 MĚŘENÁ SOUČÁST	43
9.1 VÝROBA SOUČÁSTI.....	43
9.1.1 Vysokotlaké lití	44
9.2 VÝROBNÍ POSTUP SOUČÁSTI	45
9.3 VÝROBNÍ VÝKRES SOUČÁSTI	46
10 TVORBA MĚŘÍČÍHO PROGRAMU	47
10.1 UPNUTÍ SOUČÁSTI	47
10.2 ZÁKLADNÍ NASTAVENÍ	48
10.2.1 Prostředí Calypso	48
10.2.2 Snímací systém.....	50
10.2.3 Souřadný systém	50
10.2.4 Bezpečnostní kvádr	51
10.3 MĚŘENÉ ELEMENTY	52
10.3.1 Rovina A	54
10.3.2 Kružnice B	54
10.3.3 Kružnice 9	55
10.3.4 Válec	56
10.3.5 Rovina 4	56
10.3.6 Závit	57
10.3.7 2D přímka.....	58
10.3.8 Kolmice	59
10.3.9 Symetrie	60
10.4 CHARAKTERISTIKY	61
10.4.1 Průměr	62
10.4.2 Rovnoběžnost.....	63
10.4.3 Rovinnost	64
10.4.4 Kolmost	65
10.4.5 Poloha.....	65
10.4.6 Souřadný systém	66
10.5 REÁLNÉ MĚŘENÍ A VÝSTUP MĚŘENÍ.....	67
ZÁVĚR	73
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	75
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	78
SEZNAM OBRÁZKŮ	79
SEZNAM TABULEK.....	82

SEZNAM PŘÍLOH.....	83
---------------------------	-----------

ÚVOD

Při výrobě jakékoliv součásti je potřeba zaručit její vysokou kvalitu. Pro zajištění kvality výroby je nutná kontrola všech výrobků. Kontrola může být buď vizuální, pomocí kalibrů nebo měřením. Tyto kontroly mohou probíhat přímo na pracovišti. Pro dokonalejší a důkladnější kontrolu se do firem zavádějí měřicí laboratoře, které dokáží odhalit i ty nejmenší známky nepřesností nebo různých mikro poškození.

Se stále zvyšujícími se požadavky zákazníka na přesnost a kvalitu výroby součástí se čím dál více využívají souřadnicové měřicí stroje. Tyto stroje dokáží měřit téměř všechny typy výrobků s velkou přesností. Aby bylo možné měřit na souřadnicovém měřicím stroji, je potřeba vytvořit program, pomocí kterého se bude stroj orientovat a dokáže tak změřit požadovanou součást.

Pro tvorbu programu je důležité definovat ustavení součásti tak, aby nedocházelo k její deformaci. Dále je potřeba brát ohled na to, aby součást byla vhodně upnuta tak, aby se na jedno upnutí změřilo co nejvíce požadovaných rozměrů. Po ustavení je nutno definovat souřadný systém a dále definovat elementy, podle kterých má být provedeno měření. Pro co nejpřesnější měření by se měly doteky kalibrovat pomocí kalibrační koule. Výstupem každého měření by měl být protokol o měření, který musí obsahovat hlavičku a naměřené hodnoty včetně jejich tolerancí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 METROLOGIE

Metrologie je technický a vědní obor, který se zabývá zajišťováním shodnosti a správnosti měření. Obsahem metrologie jsou hlavně měřící jednotky (soustava jednotek a jejich realizace pomocí etalonů), vlastnosti měření, vlastnosti měřících přístrojů a měřidel.[1][9]

1.1 Měřidla

1.1.1 Etalon

Etalon slouží k reprodukci a uchování jednotek. Slouží také k předání hodnot těchto jednotek na méně přesná měřidla. Primární etalon je označený takový etalon, který má nejvyšší metrologickou kvalitu pro danou veličinu a jeho hodnota je přejímána bez odkazu na jiné etalony stejné veličiny. Hodnota sekundárního etalonu se získá porovnáním s primárním etalonem stejné veličiny.[1][7]

1.1.2 Kontrolní měřidla

Slouží pouze ke kontrolním účelům, nepoužívají se pro provozní měření. Musí mít vždy o řád vyšší přesnost než měřidla, která jsou pro danou metodu měření použita v provozu.

1.1.3 Pracovní měřidla

Pracovní měřidla se dělí na stanovená a nestanovená. Nestanovená (pracovní) slouží k měření na výkonných pracovištích, mají vliv na množství a kvalitu výroby, na bezpečnost a ochranu životního prostředí. Musí být opakovaně kalibrována, buď příslušným pracovníkem metrologického pracoviště, nebo externími pracovníky, kteří mají své etalony řádně navázané. Kalibrační lhůtu si určuje zpravidla uživatel.

Stanovená měřidla jsou ta měřidla, která ministerstvo průmyslu a obchodu stanoví vyhláškou k povinnému ověření s ohledem na jejich význam. Stát, který garantuje finanční toky, vydává seznam těchto měřidel seřazených podle oborů a veličin a stanovuje jejich ověření. Ověření měřidel musí realizovat nezávislý orgán. Rozdíl mezi kalibrací a ověřením je ten, že u stanovených měřidel stanoví stát, že se skutečná hodnota může vyskytovat v určitých stanovených mezích. Tyto nejistoty zákazník nemůže ověřit jednoduchým způsobem (prodejní váhy).[1][7]

1.2 Měření

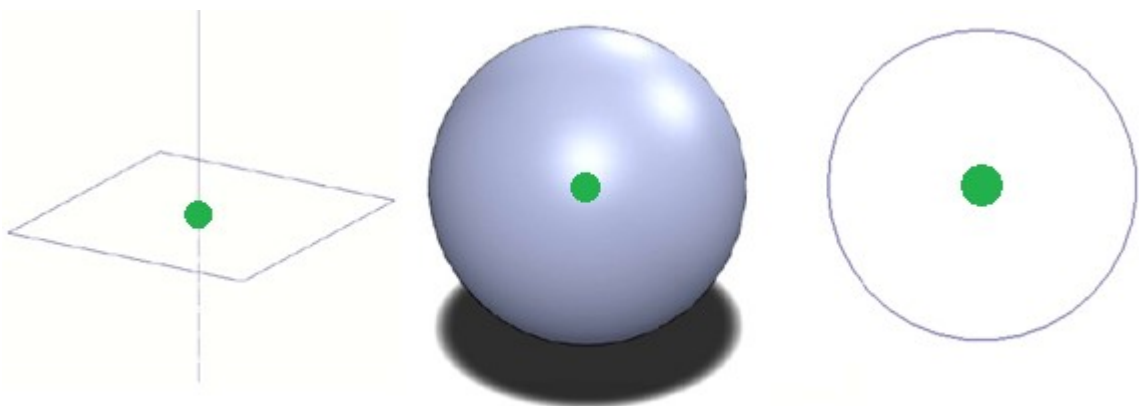
Proces experimentálního získávání jedné nebo více hodnot veličiny, které mohou být důvodně přiřazeny veličině. Měření se nepoužívá pro jmenovité vlastnosti. Měření v sobě obsahuje porovnání veličin a zahrnuje zjišťování počtu entit. Měření předem předpokládá popis veličiny přiměřený určenému použití výsledku měření, popis postupu a kalibrovaného měřicího systému pracujícího v souladu se specifikovaným postupem měření, včetně podmínek měření. [2] Další definice měření je porovnání naměřené hodnoty se známou hodnotou. Měření může být realizováno pomocí ručních přístrojů, například posuvných měřidel, nebo pomocí složitých, počítačem řízených souřadnicových strojů.[9][13]

2 ZÁKLADNÍ GEOMETRICKÉ ELEMENTY

Tato kapitola se zabývá popisem základních geometrických elementů.

2.1 Bod

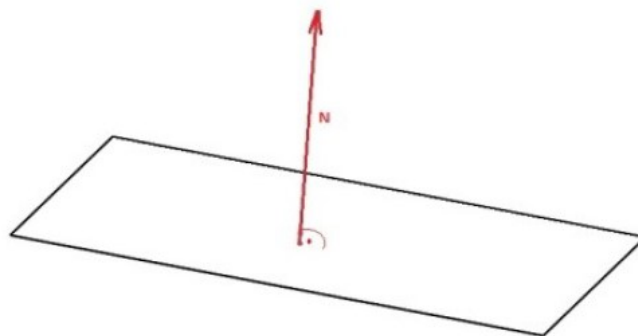
Bod je nejzákladnější geometrický element. V prostoru nemá žádný směr a žádný rozměr. Jeho polohu v prostoru určují souřadnice (x,y,z) . Může vzniknout pomocí souřadnic, nebo konstrukčně z jiných elementů, například průsečík roviny a přímky, střed kružnice nebo koule.



Obr. 1. Bod

2.2 Rovina

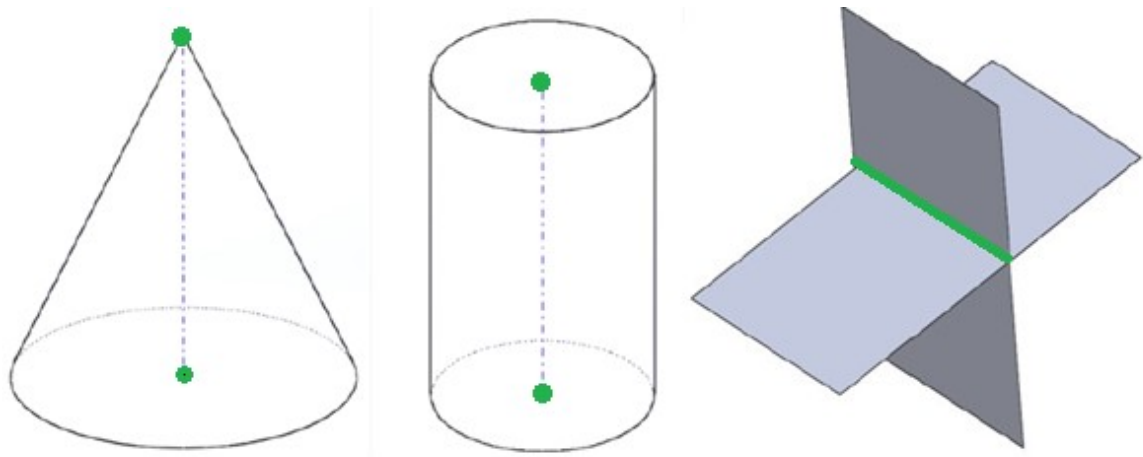
Nekonečně velká plocha tvořená minimálně třemi body. Body nesmí ležet na jedné přímce. Každý bod má stejný směr normály. Normála roviny je kolmá k libovolným přímkám roviny.



Obr. 2. Rovina

2.3 Příímka

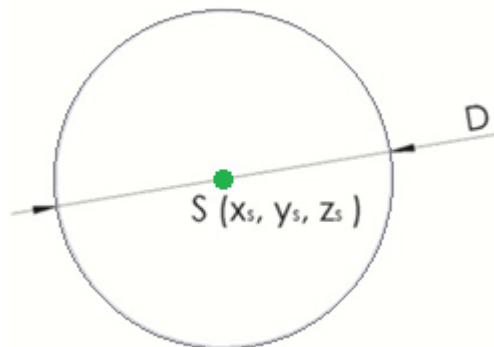
Dokonale pímá linie, která je tvořena minimálně dvěma body. Může být definována také pomocí jednoho bodu a směru v souřadnicovém systému. Vznikat může také jako průsečnice dvou rovin.



Obr. 3. Příímka

2.4 Kružnice

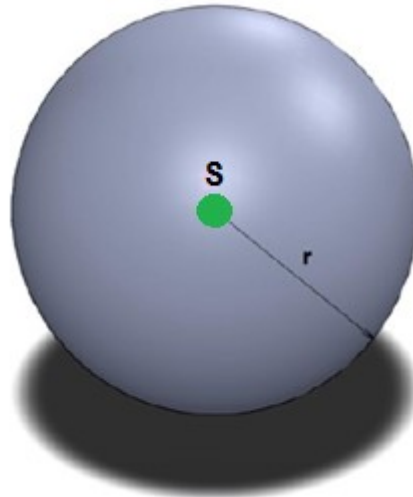
Kružnice je plochá zakřivená uzavřená linie. Každý bod na obvodu kružnice má stejnou vzdálenost od středu kružnice. Střed kružnice se určuje pomocí souřadnic (X, Y) . Kružnice je tvořena minimálně třemi body na jejím obvodu, nebo určením jejich středu a průměru, případně poloměru.



Obr. 4. Kružnice

2.5 Koule

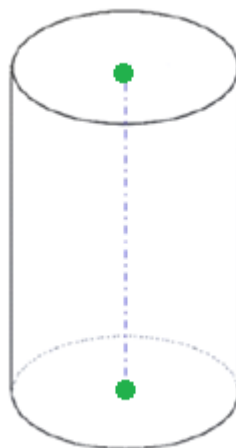
Na rozdíl od kružnice je koule prostorový element. Podobně však jako kružnice má svůj střed, který je určen pomocí souřadnic (X,Y,Z) , a povrch tvořený minimálně čtyřmi body. Každý bod je ve stejné vzdálenosti od středu koule.



Obr. 5. Koule

2.6 Válec

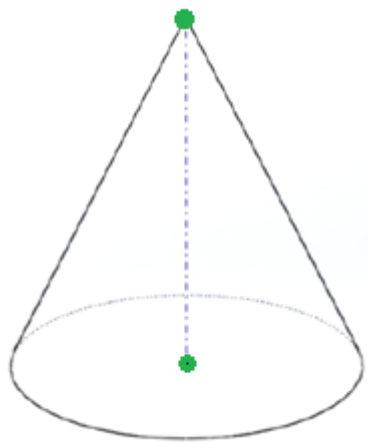
Prostorové těleso, které se skládá z pláště a dvou podstav, které tvoří kružnice. Válec je určen minimálně devíti body na jeho plášti. Definovat se může pomocí průměru podstavy a vzdálenosti středů podstav ve směru jejich osy.



Obr. 6. Válec

2.7 Kužel

Má nekonečnou kuželovou plochu. Je charakterizován vrcholem kužele, průměrem podstavy a vrcholovým úhlem kužele. Je určen minimálně šesti body na povrchu pláště kužele. Matematicky je pak popsán pomocí směru osy, vrcholového úhlu a vrcholu.



Obr. 7. Kužel

3 TOLERANCE

Skutečné rozměry vyrobených součástí se vždy liší od jmenovitých rozměrů, které jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci pomocí kót. Pro zajištění souladu mezi konstrukcí a výrobou se zavádí tolerování rozměrů, to znamená meze, ve kterých se daný rozměr musí vyrobit.[16]

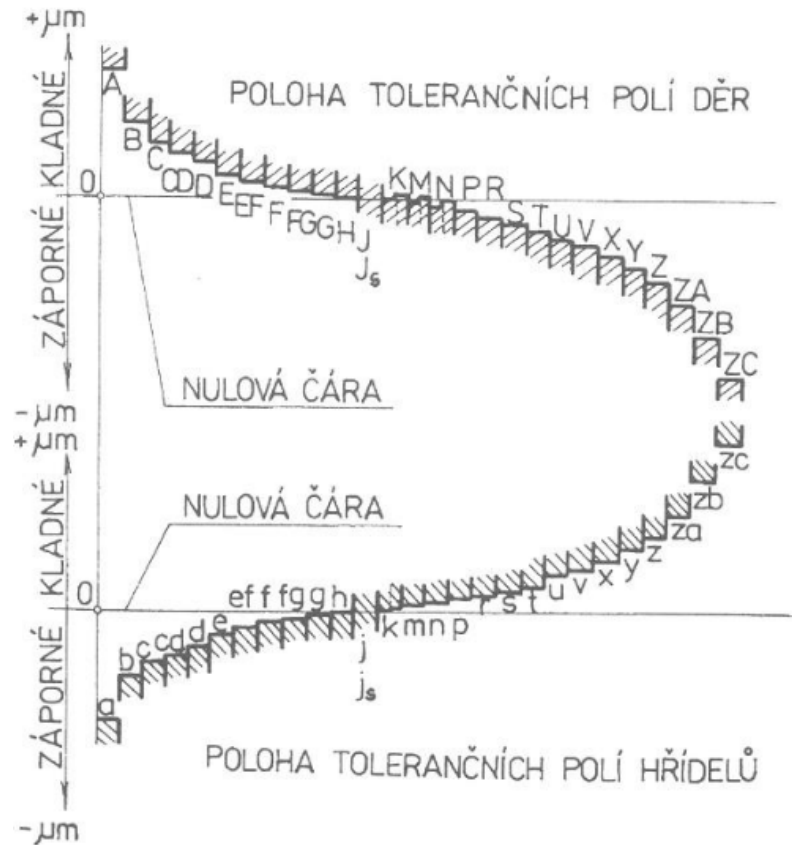
3.1 Tolerování rozměrů

Dovolené odchylky od jmenovitých rozměrů udává zpravidla konstrukce. Konstruktor stanoví mezní hodnoty daných rozměrů s ohledem na funkčnost těchto rozměrů dané součásti. Aby se vyhovělo požadavkům na přesnost výrobku, zavedla ISO soustava celkem 20 stupňů přesnosti. Kterákoliv tolerance této soustavy se označuje značkou „IT“ s připojeným stupněm přesnosti.[17]

Tabulka 1 – Stupně přesnosti IT

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

Pro uložení hřídele a díry se stanoví 28 tolerančních polí dle ISO, jejichž polohy vzhledem k nulové čáře jsou značeny písmeny latinské abecedy. Z těchto polí se určí, zda bude uložení s vůlí, přechodné nebo s přesahem.[16]



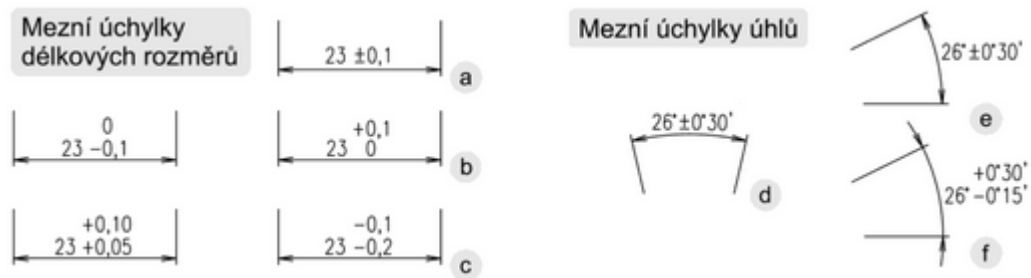
Obr. 8. Toleranční pole [16]

3.1.1 Zapisování tolerancí ve výkresech

Funkční rozměry součástí, které vyžadují vyšší přesnost při výrobě, vyžadují předepsat konkrétní tolerance ve výkresové dokumentaci. Může být provedeno pomocí:

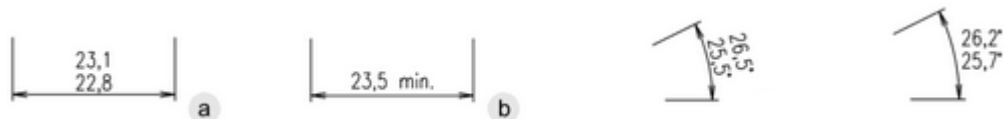
- Mezních úchylek
- Mezních rozměrů
- Tolerančních značek

Mezní úchytky jsou číselně vyjádřené hodnoty zapisované těsně za jmenovitým rozměrem, definují maximální dovolenou nepřesnost výroby dané součásti. Mezní úchytky se zapisují jako symetrické (obr. 9. a d. e.) nulové (obr. 9. b) nebo kladné a záporné (obr. 9. c).[6]



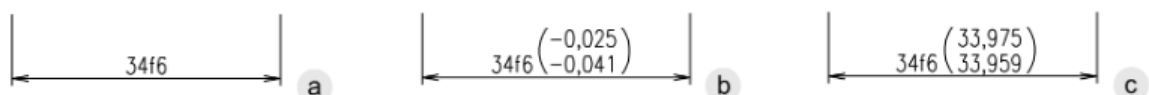
Obr. 9. Mezní úchytky [6]

Mezní rozměry určují maximální a minimální dovolený rozměr součásti (obr. 10.a). Další možnost je omezení rozměru v jednom směru (obr. 10.b). Tato metoda se používá u rozměrů, které jsou kontrolovány pomocí kalibrů. Mezní rozměry se předepisují vzestupně nad sebe bez jmenovitého rozměru a se stejným počtem desetinných míst.[6]



Obr. 10. Mezní rozměry [6]

Toleranční značky se zapisují za jmenovitý rozměr (obr. 11.a). V kusové výrobě se mohou zapsat v závorce za toleranční značkou i číselné mezní úchytky (obr. 11.b). u některých případech lze za toleranční značku zapsat mezní rozměry (obr. 11.c).[6]



Obr. 11. Toleranční značky [6]

3.2 Geometrické tolerance

Na správné funkci součásti se kromě přesnosti rozměrů významně podílí geometrický přesný tvar funkčních ploch součásti. Geometrické tolerance definují přípustné odchylky skutečných tvarů a poloh od tvarů a poloh teoreticky přesných. Předepisují se pouze v případě, jsou-li podstatné z hlediska požadavků na funkci součásti.[6]

Geometrické tolerance se dělí do 4 skupin:

- Tvaru
- Směru
- Polohy

- Házení

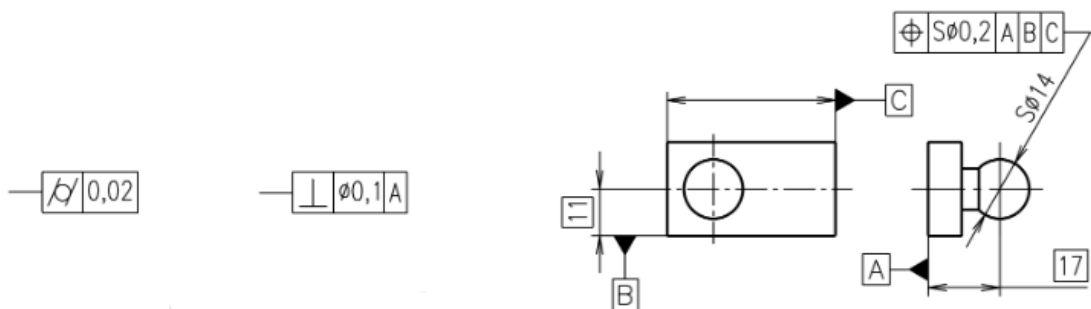
Geometrické tolerance		Značka
Tvaru	Přímosti	—
	Rovinnosti	
	Kruhovitosti	
	Válcovitosti	
	Tvaru profilu	
	Tvaru plochy	
Směru	Rovnoběžnosti	//
	Kolmosti	⊥
	Sklonu	
Polohy	Umístění	⊕
	Soustřednosti a souososti	⊙
	Souměrnosti	≡
Házení	Kruhového	
	Celkového	

Obr. 12. Geometrické tolerance [6]

3.2.1 Zapisování geometrických tolerancí

Požadované tolerance se na výkrese zapisují v pravoúhlých rámečcích rozdělených na dvě nebo více polí.[6] Jednotlivá pole obsahují:

- Značku tolerance
- Hodnotu tolerance v milimetrech
- Písmeno dané základny, pokud se jedná o toleranci vztáženou k základním prvku.



Obr. 13. Zapisování geometrických tolerancí [6]

4 SOUŘADNICOVÉ MĚŘÍCÍ STROJE (SMS)

Souřadnicový měřicí stroj je takové zařízení, které má svoji vlastní příměrnou desku a doplnění měřicím mechanismem. Měřicí mechanismus je vždy vybaven měřicím dotekem, kterým se skenuje kontrolovaná součást a poloha je identifikována a zobrazena na číselném ukazateli hodnot. Souřadné osy souřadnicového měřicího stroje jsou navzájem kolmé a současně kolmé a rovnoběžné s příměrnou deskou.[12]

4.1 Využití SMS

Rychlost měření na souřadnicových měřicích strojích umožňuje zvyšovat počet kontrolovaných kusů v dávce a tím usnadnit statistické vyhodnocování výroby. Souřadnicové měřicí stroje jsou čím dál spolehlivější a přitom se snižuje jejich citlivost na rušivé vlivy výrobních provozů, tudíž je možné je zařadit přímo do výrobních prostorů. Tím se vytvoří podmínky pro stoprocentní kontrolu důležitých součástí.[3][10]

Každý souřadnicový měřicí stroj musí umožňovat různé provozní režimy, které jsou závislé na vybavení SMS. Lze je rozlišit na tři základní druhy:

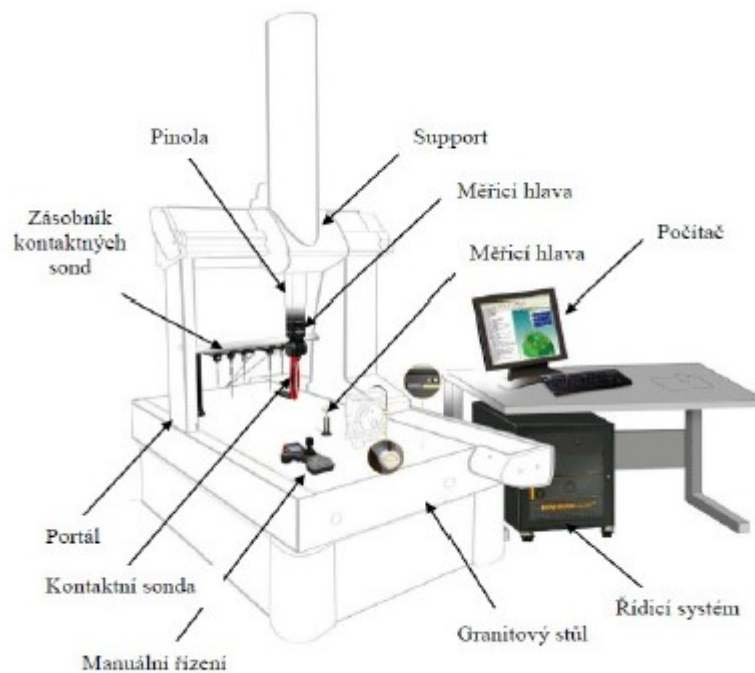
Ruční režim – operátor si kontrolovanou součást přivolá. Stroj pracuje v ručním řízení, takže operátor musí dotekem najíždět pomocí ovládacích páček a ručně vytvářet body nutné ke změření součásti. [3][10]

Poloautomatický režim – součást se přiřadí na SMS automaticky podle řídicího programu a operátor spustí kontrolní program a zvolí automatické vytištění protokolu o měření. Operátor odesílá hlášení o chybě a případně specifikuje příčiny chyb. [3][10]

Automatický režim – součást se přiřadí na SMS automaticky podle řídicího programu, také měřicí program je spuštěn automaticky, včetně protokolu o měření a hlášení o chybách. [3]

4.2 Konstrukce SMS

Každý typ souřadnicového měřicího stroje je složen z komponentů, které jsou nutné pro provádění měření.



Obr. 14. Souřadnicový měřicí stroj [4]

Pracovní deska (stůl) – nejčastěji se vyrábí z umělého kamene (granit) nebo z kamene přírodního (žula). V krajních případech lze použít litinový odlitek. Deska je ustavena na čtyřech základních podpěrách. Horní plocha pracovní desky je broušená. V pracovní ploše jsou otvory se závity. Pomocí těchto závitů, šroubů a upínek se připevňuje k pracovní ploše měřený kus. Na koncích desky je obvykle upevněno seřizovatelné vedení, po kterém pojíždí most.[3]

Most – tvoří složené uzavřené konstrukce, jehož stojny tvoří různé profily (ČSN 426936). Překlad mostu slouží k vedení příčných saní.[3]

Sloupy, mostní konstrukce, portály – velká většina vyrobena ze svařenců. Musí mít dostatečnou tuhost a rozměrovou a tvarovou stálost.

Pinola – litinová nebo duralová tyč profilu H. Případně může být keramická nebo z přírodního kamene. Pinoly se navrhují v horizontálním nebo vertikálním směru. U horizontálního směru je nutné vyvážení, které eliminuje chyby způsobené rozdílnou délkou vysunutí pinoly. Vyvážení je obvykle mechanické, pomocí dvou souměrných závaží.

Vedení – pohyblivé části musí být konstruovány tak, aby se části mohly lehce pohybovat s maximální přesností, plynule bez trhavých pohybů i za minimálních rychlostí. Pohyblivé části se ukládají na vedení s co nejmenším třením, s minimálním opotřebením a maximální

tuhostí celého zařízení. Z těchto důvodů se dnes téměř nevyužívají kluzná vedení. Velká nevýhoda kluzného vedení je složitost celého provedení a tím prodražení celého stroje. Další nevýhodou je těsnění a odvod tepla oleje. Vhodnější řešení je aerostatické vedení s plynným třením. Výhoda tohoto řešení je velmi nízké tření v minimálních i maximálních rychlostech. Nedostatkem je snížená odolnost proti korozi a problémy s čistěním vzduchu. Nejvhodnějším a často používaným vedením je vedení valivá. Bývají na válečkách nebo kuličkách. Mají velmi malé tření, vysokou tuhost a vysokou rovnoměrnost pohybu, která je u SMS jednou z podmínek pro přesné měření. Nevýhodou je složitá výroba této konstrukce.[10][12]

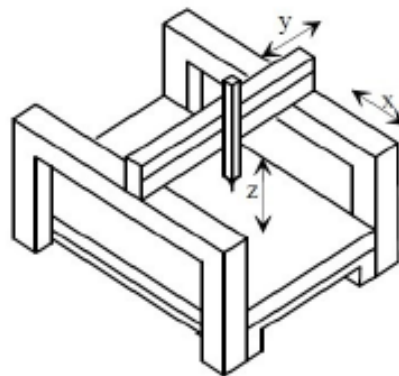
4.3 Typy konstrukcí SMS

V současné době existuje více druhů SMS a jsou uspořádány do skupin podle různých hledisek. S ohledem na hmotnost měřené součásti se dělí na SMS s pohyblivým stolem, s pevným stolem a s pevnou deskou v úrovni podlahy. S ohledem na přístupnost do měřicího prostoru se SMS dělí na:

- Mostové
- Výložníkové
- Portálové
- Stojanové

4.3.1 Mostové souřadnicové měřicí stroje

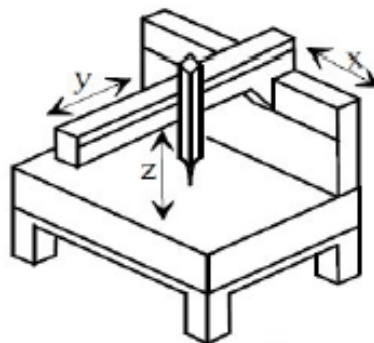
Jsou charakteristické svým velkým měřicím rozsahem. Umožňují měření nadrozměrných součástí při dodržení velké přesnosti měření. Využívá se hlavně v leteckém a automobilovém průmyslu. U mostové konstrukce jsou nepohyblivé části umístěny na společném stole stroje. Pohyblivý je pouze most s pinolou.[3]



Obr. 15. Mostový typ [3]

4.3.2 Výložníkové souřadnicové měřicí stroje

Tento typ měřících strojů je vhodný pro kontrolu úzkých a dlouhých součástí. Na rozdíl od stojanového typu se měřený výrobek upíná na nepohyblivý stůl a pohybuje se pouze výložník s pinolou, která zajišťuje pohyby v ose y a v ose z . Typ tohoto SMS je vhodný pro menší součásti. [3]

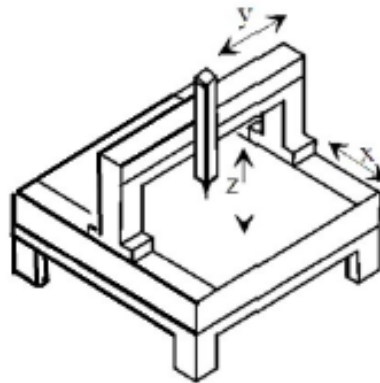


Obr. 16. Výložníkový typ [3]

4.3.3 Portálové souřadnicové měřicí stroje

Je jedním s nejrozšířenějších typů SMS pro větší rozsahy měření. Vyznačují se velkou přesností díky tuhosti své konstrukce. Vyrábí se ve dvojitým provedení. S pohyblivým portá-

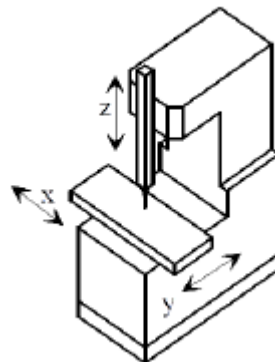
lem a s pevným portálem. Základnu u provedení s pohyblivým portálem tvoří nepohyblivý stůl, na kterém se pohybuje portál a na něm se pohybuje pinola. U provedení s pevným portálem se stůl pohybuje v ose x a pinola v ose y a v ose z. Nejčastěji se používá typ s pohyblivým portálem.[3]



Obr. 17. Portálový typ [3]

4.3.4 Stojanové souřadnicové měřicí stroje

Stroje tohoto typu mají vysokou přesnost díky své tuhé konstrukci. Jsou velmi vhodné pro menší rozsahy měření. Tento typ je konstruován tak, aby byla zajištěna maximální přístupnost k měřenému výrobku. Na stole, který představuje základnu stroje, se pohybuje stojan a výškově nastavitelné rameno. [3]



Obr. 18. Stojanový typ [3]

4.4 Snímací systém SMS

Snímacího systému je potřeba k nasbírání dat z fyzického modelu do systému měřícího stroje. Pro tento systém je velmi důležitá pinola. Snímací systémy se dělí na bezdotykové a dotykové, dotykové mají sondy spínacího systému a sondy snímacího systému.

4.4.1 Bezdotykový snímací systém

Souřadnicové měřící stroje s bezdotykovým snímacím systémem se téměř nevyrábí. Bezdotykové snímání nepotřebuje přímý fyzický kontakt s měřeným objektem. Mezi výhody těchto systémů patří časová nenáročnost měření. Další výhodou je schopnost vytvořit hustou síť bodů i v těžko přístupných oblastech. Největším zástupcem těchto systémů jsou optická měřidla. Pro SMS se používá systém ve formě laserové měřící hlavy, nebo pneumatického snímače, popřípadě také řádkové kamery. Použití jednotlivých typů je určeno podle typu měřených objektů. [4][5]

4.4.2 Dotykový snímací systém

Souřadnicové měřící stroje s dotykovým snímacím systémem mají větší uplatnění než stroje s bezdotykovým systémem. Informace o tvaru, poloze a rozměrech snímaného objektu se získá fyzickým kontaktem měřící hlavy s měřeného objektu. Řídící počítač na povel obsluhy zaregistruje v okamžiku doteku souřadnice snímaného bodu a provede výpočet požadovaných geometrických veličin. Nevýhodou je, že při snímání nelze zaručit konstantní měřící síla, což vede k chybám měření. [5][8]

Současné souřadnicové měřící stroje mají elektro kontaktní snímací systémy, které se dělí na:

- Systémy měřícího typu
- Systémy spínacího typu

4.4.2.1 Systémy měřícího typu

Jsou složité na konstrukci. Představují minimalizované souřadnicové měřící stroje, které mají vazbu na měřící systémy jednotlivých souřadnic. Snímací hlava pracuje jak ve statickém, tak i v dynamickém režimu (scanning). Dotyk je v neustálém kontaktu s měřeným objektem díky elektronické regulaci pohonů ve zpětné vazbě na vlastní regulační systém pohybu pinoly. [5][8][11]



Obr. 19. Snímací senzory [15]

4.4.2.2 Systémy spínacího typu

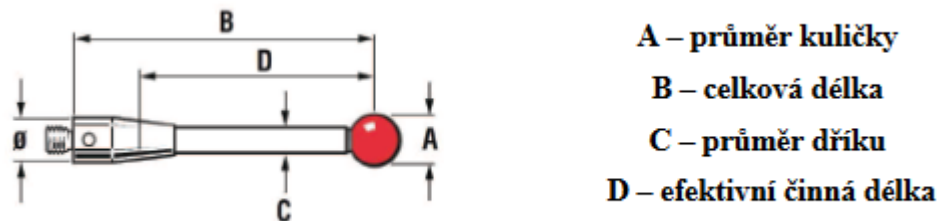
Princip spočívá v tom, že v okamžiku dotyku hlava vyšle signál k zastavení pohybu, systém odečte aktuální souřadnice a zároveň zazní zvuková signalizace. Systémy pracují v dynamickém režimu a s jejich pomocí se získají diskrétní hodnoty. U tohoto typu není možné souřadnice snímat spojitě (scanning). [5][8][11]



Obr. 20. Spínací senzor [14]

4.4.3 Měřicí dotyky

Snímací dotyky jsou součástí měřicího systému, který je v přímém kontaktu s měřeným objektem a způsobí sepnutí mechanismu sondy. Vygenerovaný signál umožňuje zaznamenat souřadnice snímaného bodu. Typ a rozměr dotyku závisí na měřeném objektu. Tuhost dotyku a dokonalý tvar měřicí kuličky jsou nejdůležitější vlastnosti měřicího dotyku. [4][8]



- A – průměr kuličky**
- B – celková délka**
- C – průměr dříku**
- D – efektivní činná délka**

Obr. 21. Měřicí dotek [4]

Aby bylo zaručeno co nejpřesnější měření, musí se respektovat zásady a pravidla při výběru dotyku.

- Volit co nejkratší dřík (omezení průhybu dotyku).
- Volit co nejmenší počet prodlužovacích nástavců (každý nástavec znásobuje chybu měření).
- Pokud možno, volit větší průměr kuličky (čím je větší průměr kuličky, tím je větší průměr dříku a dojde ke zvýšení celkové tuhosti dotyku).[4]

4.4.3.1 Měřicí kuličky

Měřicí kuličky se vyrábí v mnoha průměrech dle výrobce. Vyrábí se také z odlišných materiálů. Každý z materiálů má specifickou oblast použití.

Rubín – nejrozšířenější a nejpoužívanější materiál pro výrobu měřicích kuliček. Požívá se pro velkou oblast měření, nicméně pro dva typy měření se doporučuje použít jiné materiály. Prvním je skenování hliníkových materiálů. Při skenování hliníkových materiálů se může hliník usazovat na kuličce a způsobit tak nepřesnost měření. V tomto případě se doporučuje použít nitrid křemíku. Druhým případem je skenování litinových materiálů. U tohoto případu dochází k vzájemnému působení obou materiálů a povrch kuličky se může opotřebovat otěrem. Zde se doporučuje použít kuličky z oxidu zirkoničitého.[4]

Nitrid křemíku – má spoustu společných vlastností jako rubín. Je to velmi tvrdý materiál, je odolný proti opotřebení. Nitrid křemíku má výraznou míru opotřebení otěrem při měření ocelových materiálů.[4]

Oxid zirkoničitý – keramický materiál s velkou pevností a obdobnou tvrdostí a odolností vůči opotřebení jako má rubín. Díky svým povrchovým vlastnostem se doporučuje pro měření litinových materiálů.[4]

Diamant – předchozí materiály překonává ve všech oblastech a poskytuje nejpřesnější měření. Vynikající tvrdost a dokonale hladký povrch diamantové kuličky udržuje opotřebení způsobené třením na minimum. Kuličky z diamantového materiálu jsou vhodné téměř pro všechny aplikace v oblasti měření.[4]



Obr. 22. Měřicí kuličky [4]

4.4.3.2 Dřík měřicího dotyku

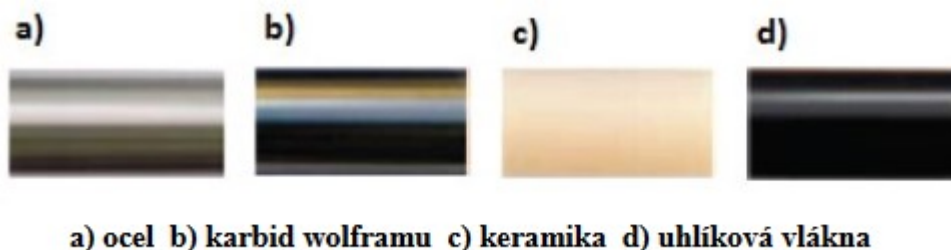
Dřík měřicího dotyku spojuje měřicí kuličku a měřicí hlavu. Aby bylo zajištěno co nejpřesnější měření, musí být dřík dostatečně tuhý, aby se neprohýbal. Pro dosažení tuhosti je dřík vyráběn z několika materiálů.

Ocel – ocelové dříky jsou vyrobeny z nemagnetické nerezové oceli, používají se pro dotyky s hrotem nebo kuličkou, která má průměr vyšší než 2 mm a délky do 30 mm. Tím se zaručí optimální poměr tuhosti a hmotnosti dotyku.[4]

Karbid wolframu – díky vlastnostem tohoto materiálu lze dosáhnout požadované tuhosti i při malém průměru dříku. Je možno použít pro kuličky o průměru menším než 1 mm a o délce do 50 mm.[4]

Keramika – keramické dříky zajišťují dostatečnou ochranu sondy v případě kolizí. Při kontaktu se dřík roztříští a ochrání snímací hlavu. Při průměru nad 3 mm a délce nad 30 mm poskytují stejnou tuhost jako ocelové dříky.[4]

Uhlíková vlákna – ideální řešení pro dříky určené pro vysoce přesné sondy založené na tenzometrickém principu. Má minimální koeficient tepelné roztažnosti a velmi dobře tlumí vibrace.[4]



Obr. 23. Typy dříků [4]

4.4.3.3 Typy dotyků

Složitější součásti mohou mít těžko dosažitelná místa, proto existuje několik typů měřících dotyků.

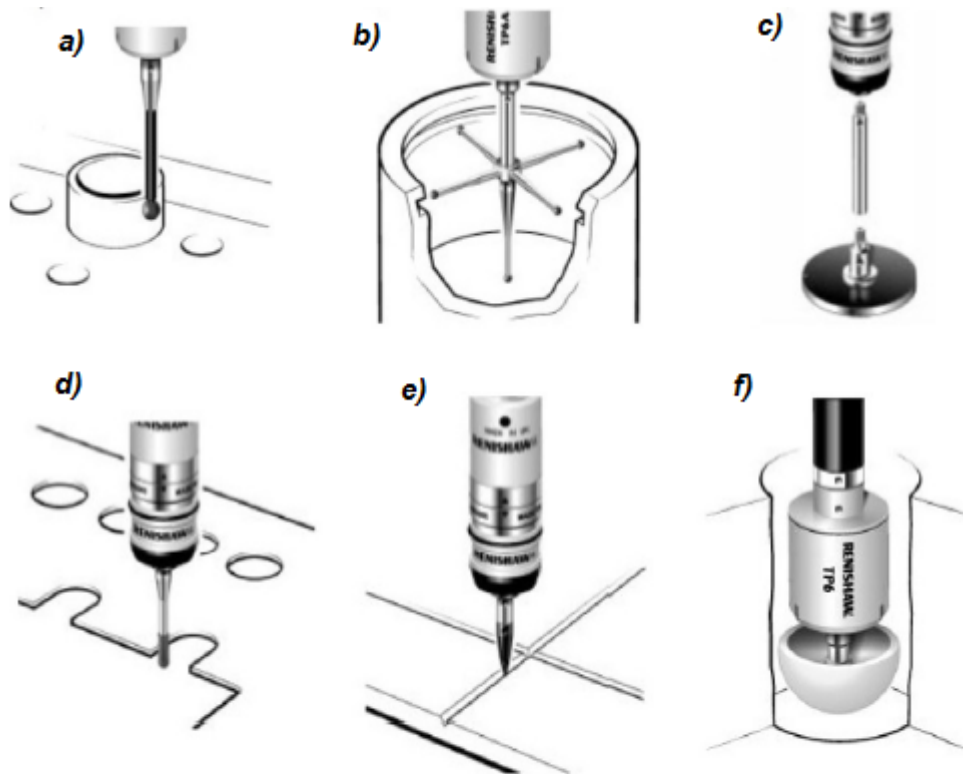
Přímý dotyk – jedná se o nejjednodušší tvar, skládá se z měřicí kuličky a dříku.

Hvězdicový dotyk – složený dotyk ze čtyř až pěti kuliček pevně připevněných ke středovému dříku. Umožňuje snímání složitých prvků nebo otvorů.

Diskový dotyk – slouží ke snímání drážek nebo zápichů, kde nelze použít přímý nebo hvězdicový dotyk. Měření probíhá pomocí obvodu disku, nebo spodní plochou.

Dotyky pro speciální účely

- Válcový dotyk
- Špička
- Dutá keramická polokoule



a) přímý b) hvězdicový c) diskový d) válcový e) špičkový
f) dutá keramická polokoule

Obr. 24. Typy doteků [14]

5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE

Na základě vypracované literární rešerše byly stanoveny následující body pro náplň praktické části diplomové práce:

1. Vypracujte výrobní postup výrobku
2. Vypracujte výkresovou dokumentaci a 3D model součásti
3. Vytvořte program pro měření součásti
4. Vyhodnoťte výsledky měření

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 WOCO STV

Společnost WOCO byla založena v roce 1956 Franzem Josefem Wolfem. Dnes sídlí v Bad Soden – Salmunsteru v Německu. WOCO má výrobní a obchodní zastoupení ve více než 10 zemích světa a zaměstnává více než 3000 zaměstnanců. V roce 1993 byla v České republice založena pobočka společnosti WOCO – WOCO STV.

WOCO STV má sídlo i výrobní závod ve Vsetíně. Společnost je rozdělena na dvě divize:

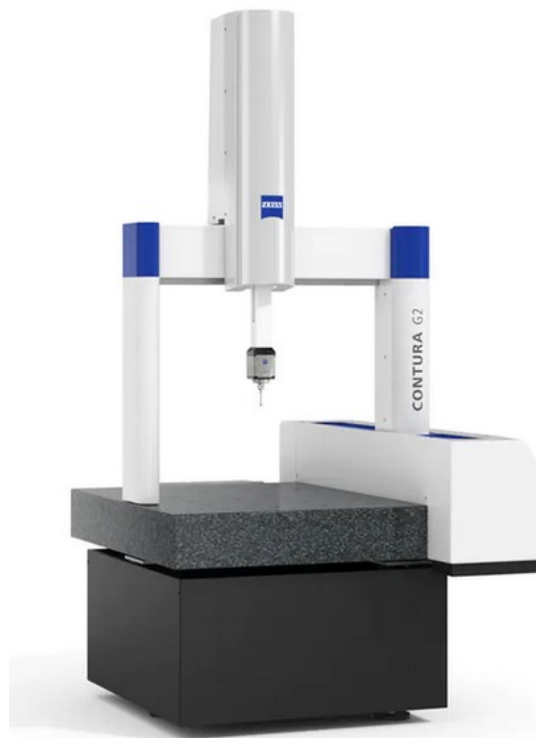
- a) Výroba a montáž akuatorů – vodní ventily, řídicí dózy pro turbodmychadla, řídicí systémy, součásti pro klimatizace a další.
- b) Výroba gumových dílů pro automobilový a stavební průmysl – těsnění, membrány, průchodky a další.

WOCO STV patří k největším zaměstnavatelům v okrese Vsetín. Zaměstnává více než 900 zaměstnanců. Kromě výroby stávajících dílů se společnost podílí i na vývoji nových projektů ve spolupráci se zákazníky. Mezi zákazníky patří například Audi, Bentley Motors, Ford, Volvo a další. WOCO STV je držitelem certifikátu ISO TS 16949, ISO 50001, ISO 14001 a každoročně úspěšně absolvuje zákaznické certifikace.

7 ZEISS CONTURA G2

ZEISS CONTURA je portálový typ souřadnicového měřicího stroje od firmy Carl Zeiss AG. Podle konstrukční velikosti se na stroji ZEISS CONTURA používají keramická vedení nebo vedení technologii CARAT pro vysokou tuhost, nízkou tepelnou roztažnost a minimální pohybuující se hmotnost. Vzduchová ložiska ve všech třech osách zajišťují konstantní stabilitu při zrychlení i při vysoké pojezdové rychlosti. Stroj má sklokeramická měřítka s plovoucím uložením, která mají minimální, téměř nulovou teplotní roztažnost a nevyžadují žádných přídavných teplotních čidel a matematických kompenzací. Stroj se dodává volitelně s pevným pasivním senzorem, s flexibilní otočnou hlavou RDS nebo s aktivní skenovací hlavou. Systém je řízen pomocí ovládacího panelu nezávislého na počítači. Progressivní joystick slouží pro snadné a přesné ovládání všech osových pohybů. V CNC režimu lze variabilně nastavit rychlost. [18]

Měřicí rozsah stroje v jednotlivých osách x,y,z je 700,700,600 mm. Hmotnost stroje je 1278 kg a maximální hmotnost obrobku 560 kg. Stroj je vybaven zásobníkem pro 6 snímačů. Chyba měření je $1,8 + \frac{L}{300} [\mu m]$. Tato chyba platí při dodržení teplotního rozsahu 18 – 22°C. Stroj Zeiss Contura G2 je vybaven systémem pasivního tlumení vibrací.



Obr. 25. ZEISS CONTURA G2 [18]

7.1 ZEISS RDS

Otočná polohovací hlava RDS se hodí zejména pro měření složitých dílů, jejichž prvky vyžadují měření s více snímači s odlišnou prostorovou orientací. Natáčí se s krokem 2,5 stupně a může snímat v 20 736 polohách, čímž dosahuje přístupu ke každému měřenému prvku. Základ tvoří vodorovně a svisle uspořádané osy otáčení s rozsahem otáčení plus/minus 180 stupňů. S hlavou RDS-CAA pro spínací a měřicí senzory se dosahuje velmi krátké doby kalibrace. Stačí kalibrovat jen několik prostorových úhlových poloh. Při programování se hlava RDS snadno polohuje pomocí joysticků na ovládacím panelu, což výrazně snižuje programovací časy. K dispozici jsou konstrukční typy pro stroje ve standardní, kompaktní a multisenzorové konfiguraci.[20]



Obr. 26. Polohovací hlava Zeiss RDS[20]

7.2 ZEISS VAST XXT

V celé řadě měřicích aplikací může uživatel využít kombinace flexibility otočné hlavy se schopností skenování. VAST XXT je pro takové měřicí úlohy ideální. V porovnání se spínacími senzory zvyšuje VAST XXT provozní bezpečnost a přesnost měření. Přidává také funkci skenování a tím poskytuje informace o tvaru měřených prvků. Kompaktní a lehká konstrukce skenovacích senzorů na otočné hlavě vyžaduje různé sensorové moduly. VAST XXT pokrývá se třemi moduly rozsah typické délky snímačů pro tuto konstrukci senzoru. Na tento senzor se mohou připevnit boční snímače do délky 65 milimetrů. Hodí se také pro pevnou instalaci.[19]



Obr. 27. Spínací senzor VAST XXT[19]

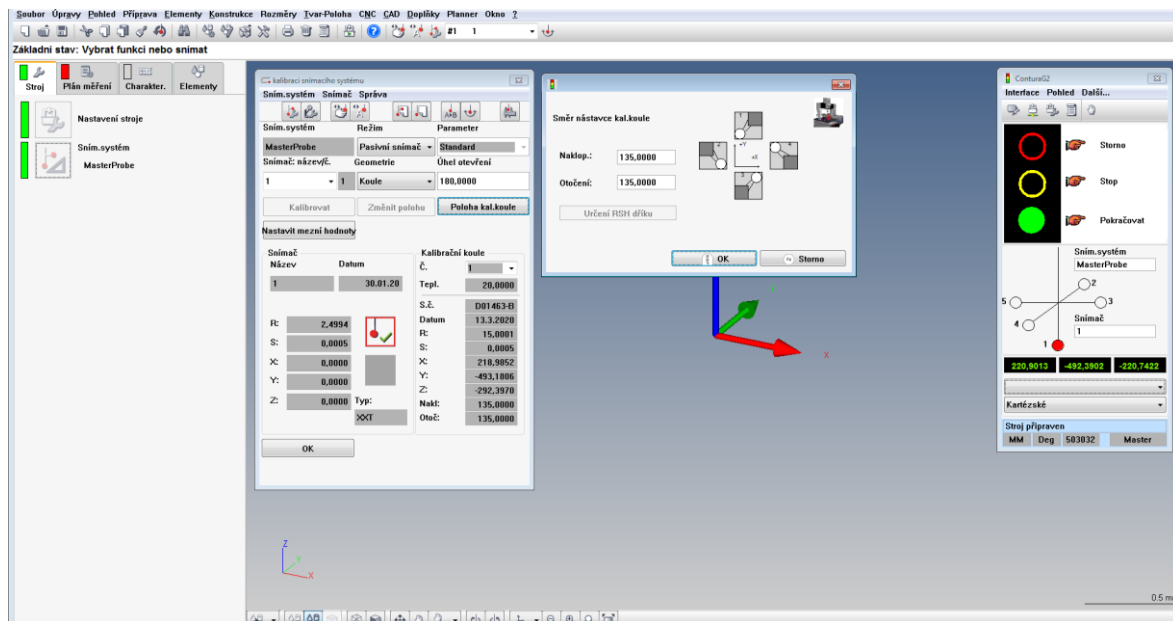
8 KALIBRACE DOTEKŮ

Pro zamezení chyby měření způsobené doteky se provádí jejich kalibrace. Kalibrací se zjistí aktuální stav doteků a zkalibrují se polohy, ve kterých dané doteky měří. Kalibrace se provádí pomocí keramické kalibrační koule. Nejprve se koule řádně očistí a připevní na pracovní desku. Poté se nasadí snímač MasterProbe, který je určen ke kalibraci doteků.



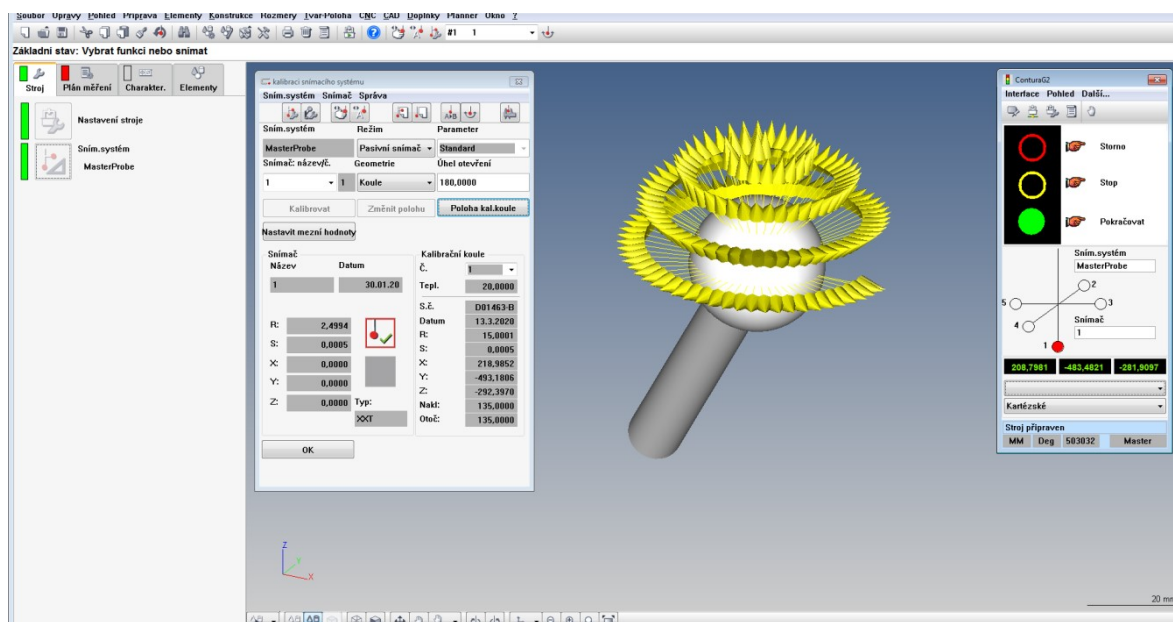
Obr. 28. Kalibrační koule

V prostředí Calypso se přejde do záložky „Stroj“ a vybere se ikona MasterProbe. V otevřeném okně se vybere příkaz „Poloha kal. koule“. Zde se nastavuje poloha koule. V mém případě je to poloha č.2. polohu potvrdím „OK“ a pak znovu „OK“. Manuálně se dotknu dotekem MasterProbe kalibrační koule a stroj se přepne do automatického režimu.



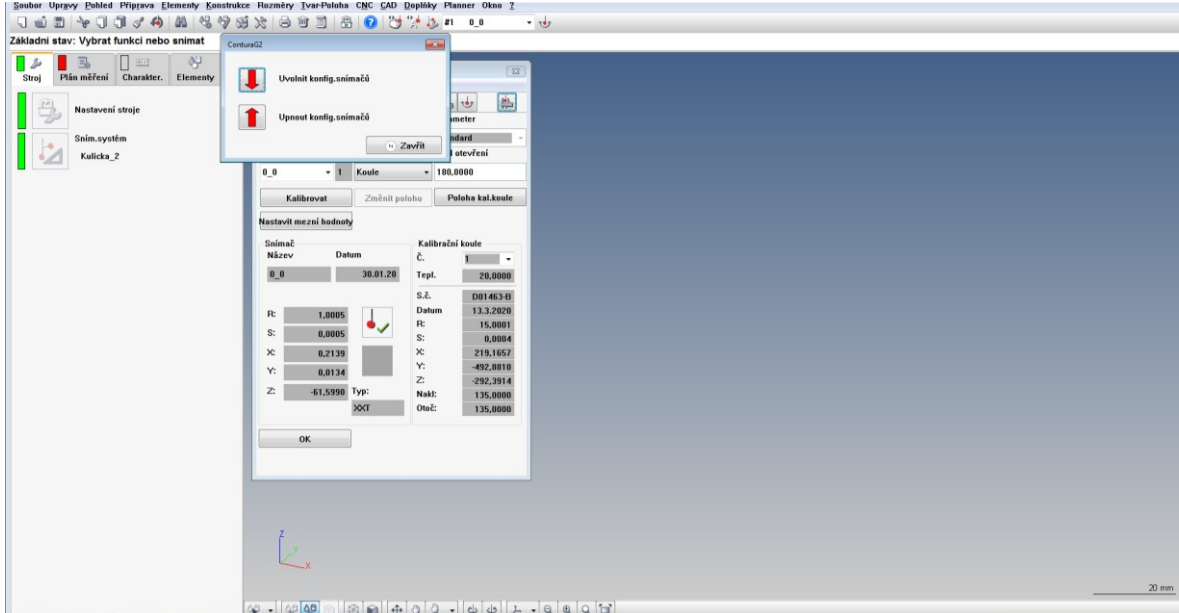
Obr. 29. Nastavení polohy koule

Po dokončení kalibrace MasterProbe se musí zkontrolovat hodnota v poli „S“ – tvar koule (obr. 30). Maximální přípustná hodnota je 0,0007mm. Jestliže je naměřená hodnota větší, musí se koule znovu očistit a provést měření znovu. Jestliže je hodnota menší než 0,0007mm, je kalibrace MasterProbe dokončena a je možno provést kalibrace jednotlivých doteků a jejich poloh.

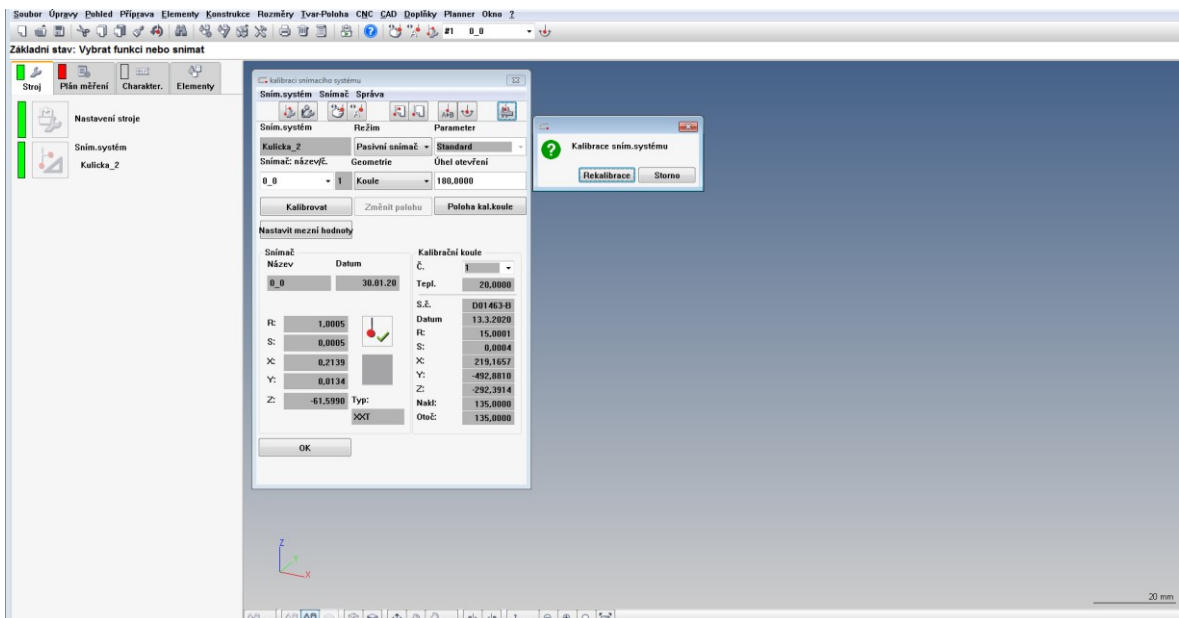


Obr. 30. Snímané body a hodnota tvaru koule

Po dokončení kalibrace MasterProbe se manuálně vymění dotek na původní, je nutné dotek v programu Calypso upnout (obr. 31) následně použít příkaz „Rekalibrace“ a potvrdit „OK“ (obr. 32)

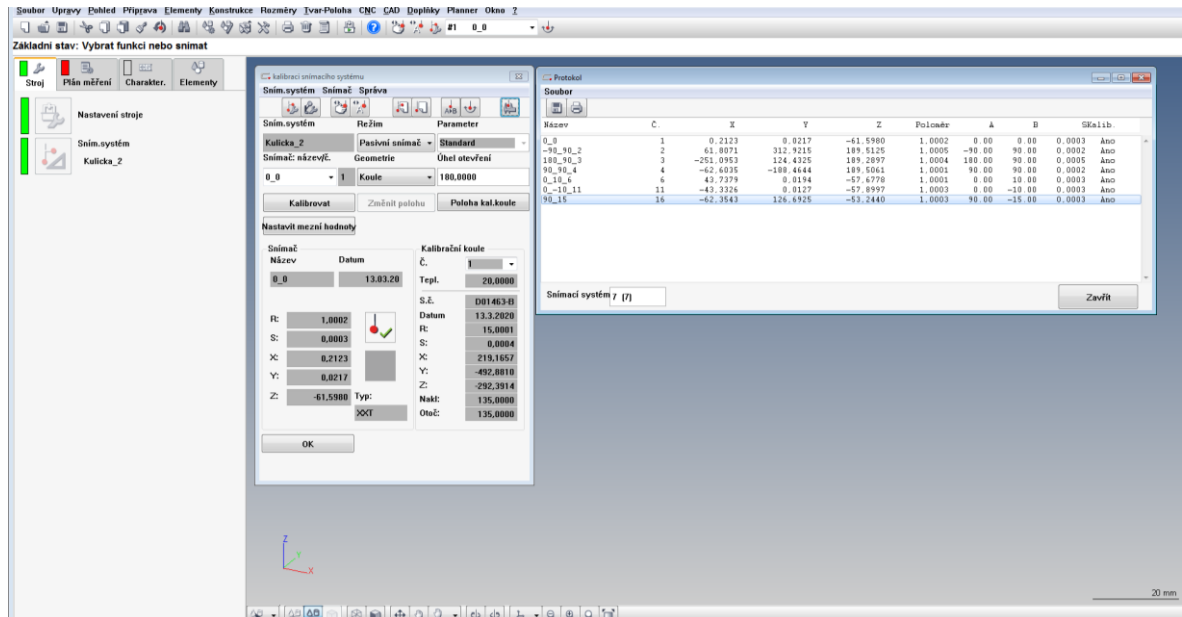


Obr. 31. Uvaznutí snímače



Obr. 32. Rekalibrace

Po dokončení všech výše uvedených kroků probíhá samotná kalibrace doteků a jejich poloh. Stroj má v paměti všechny údaje o kalibrační kouli z předchozího snímání MasterProbe. Pomocí těchto údajů je schopen zcela automaticky provést kompletní kalibraci všech nainstalovaných doteků a veškerých poloh, v nichž jsou jednotlivé doteky nainstalovány. Po dokončení kalibrace všech doteků a jejich poloh systém vygeneruje protokol s údaji o každém z doteků a všech poloh (obr. 33).

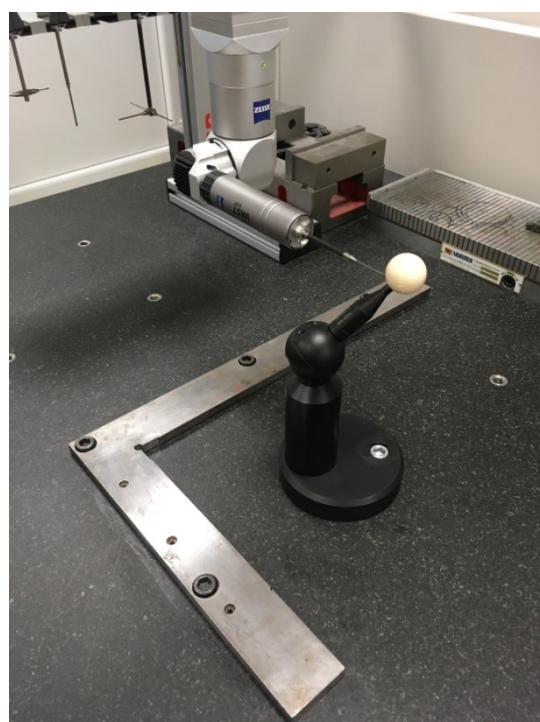


Obr. 33. Výsledek kalibrace

Pro tuto práci byl využit dotek s kuličkou o průměru 2mm a polohy 2 a 4. Obě tyto polohy mají hodnotu tvaru 0,0002mm a je možné s nimi dále měřit.

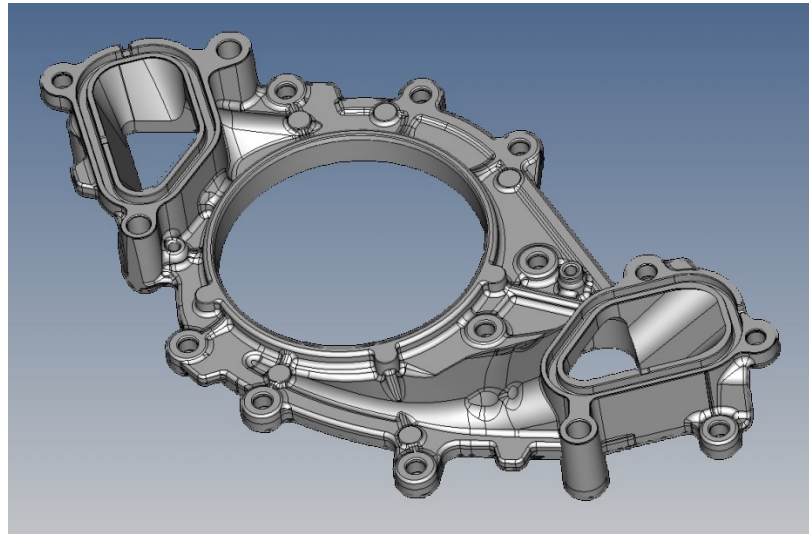


Obr. 34. Kalibrace polohy č.2



Obr. 35. Kalibrace polohy č.4

9 MĚŘENÁ SOUČÁST



Obr. 36. Měřená součást

Měřený díl je po sestavení součástí výrobku, který je k nalezení v motorech Audi SQ7 TDI, konkrétně verze 4,0 V8 Biturbo z roku 2016. V motoru slouží jako důležitá součást oběhu chlazení celého motorového prostoru.



Obr. 37. Motor Audi SQ7 4.0 V8

9.1 Výroba součástí

Součást je vyrobena z materiálu AlSi12Cu1(Fe), tedy ze slitin hliníku, křemíku, mědi a železa. Jelikož se jedná o tvarově komplikovanou součást, byla pro její výrobu vhodně

vybrána výroba pomocí metody tlakového lití. Technologie tlakového lití je nejdůležitějším a nejpopulárnějším procesem používaným pro výrobu tvarově složitých odlitků ze slitin hliníku a dalších neželezných kovů. Jedná se o efektivní a efektivní metodu pro výrobu tvarově složitých odlitků, které vyžadují velkou rozměrovou přesnost, dokonce i u tenkostěnných odlitků. Dosahuje se také výborné jakosti povrchu. U těchto odlitků je možno odstranit přídavky na obrábění a šetřit tak spotřebu materiálu. Princip metody spočívá ve vstřikování roztavené slitiny do dutiny kovové formy pod tlakem až 250 MPa. Za takových podmínek je možno vyrábět složité výrobky s tloušťkou stěn i 1-2 mm. U rozměrů lze dosáhnout přesnosti až 0,3%. Odlévaný materiál je během plnění zatěžován pouze tlakem okolí, který v závislosti na odvodu vzduchu narůstá. Po ukončení plnění formy je pak odlévaný materiál vystaven vysokému statickému tlaku. Tlak u konce plnění umožňuje zatečení materiálu i do neužších míst a díky tomu dochází ke kompletnímu zaplnění prostoru formy.[22]

9.1.1 Vysokotlaké lití

Princip metody vysokotlakového lití spočívá v tom, že se roztavený materiál vtlačuje do dutiny kovové formy pomocí tlaku pístu tlakového stroje. Podle velikosti stroje lze vyvodit tlaky od 2 do 500 MPa. Plnění dutiny formy roztaveným materiálem při vysokotlakém lití se provádí ve čtyřech fázích:

1. Fáze

V čase 0 až t_1 : naplnění plnicí komory tlakového lícího stroje potřebným množstvím tekutého kovu – tlak na kov ještě nepůsobí.[23]

2. Fáze

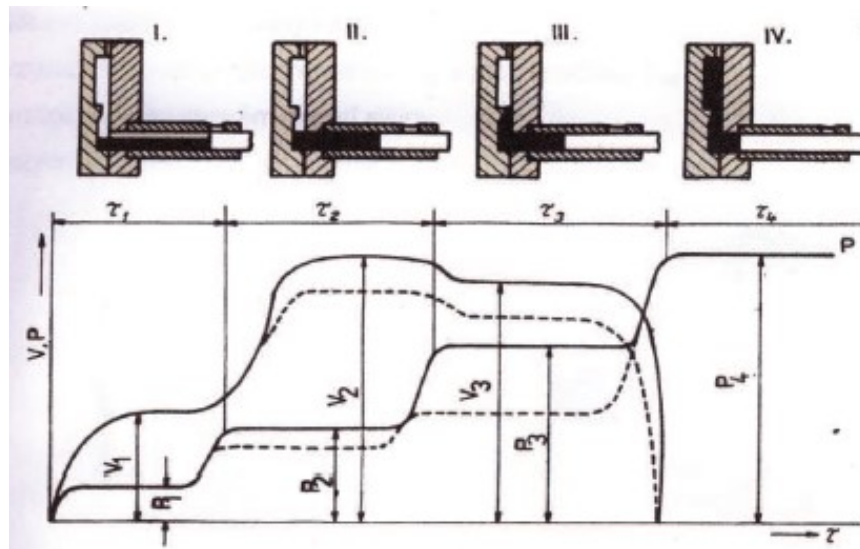
V čase t_1 až t_2 : tzv. hrubé plnění – dochází k naplnění dutiny formy tekutým kovem - vtokovým systémem prochází velké množství kovu vysokou rychlostí, nastává velké tření a část pohybové energie proudu taveniny se mění v teplo, teplota se zvyšuje.[23]

3. Fáze

V čase t_2 až t_3 : doplňování kovu do formy – v této fázi je forma pouze doplňována ve všech detailech působením hydrodynamického tlaku proudícího kovu. Hodnota tlaku vzrůstá rychleji a dosáhne maxima.[23]

4. Fáze

V čase t_3 až t_4 : po úplném vyplnění formy kovem přestává působit dynamický účinek a po dobu tuhnutí (chlazení) na kov působí pouze hydrostatický tlak.[23]

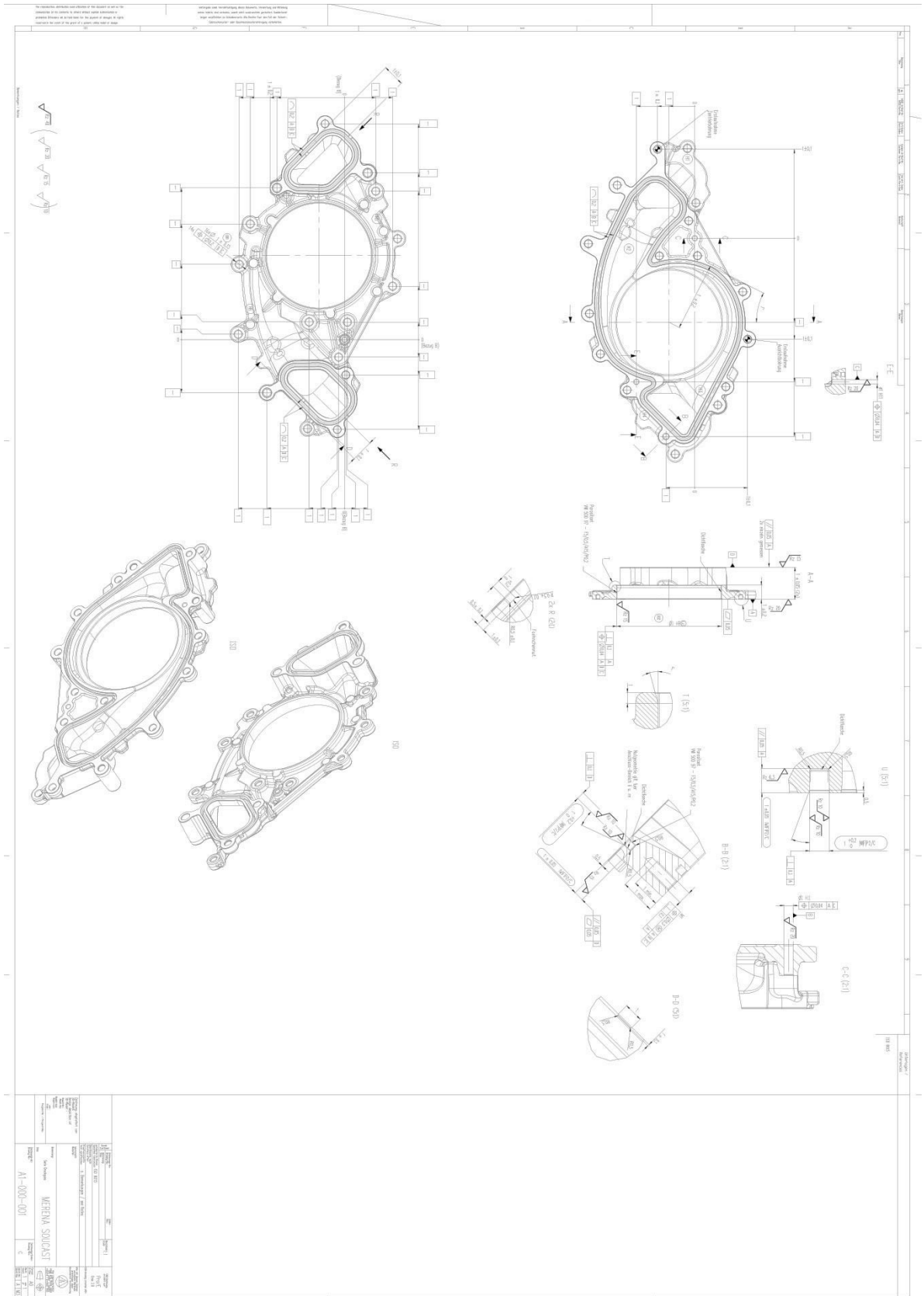


Obr. 38. Vysokotlaké lití

9.2 Výrobní postup součásti

- 1) Provedení výše zmíněného tlakového lití včetně chlazení a vyhození z formy.
- 2) Odstranění vtokových zbytků pomocí střižníku
- 3) Frézování válce, fréza nástrčná válcová čelní $d = 30\text{mm}$
- 4) Frézování dvou vrchních rovin, fréza nástrčná válcová čelní $d = 30\text{mm}$
- 5) Frézování drážky, fréza válcová čelní $d = 3\text{ mm}$
- 6) Otočení součásti
- 7) Frézování vrchní roviny, fréza nástrčná válcová čelní $d = 30\text{mm}$
- 8) Frézování drážky, fréza válcová čelní $d = 3\text{ mm}$
- 9) Frézování závitu, závitová fréza M6x1
- 10) Vystružování středících děr, výstružník 4,2H11

9.3 Výrobní výkres součásti



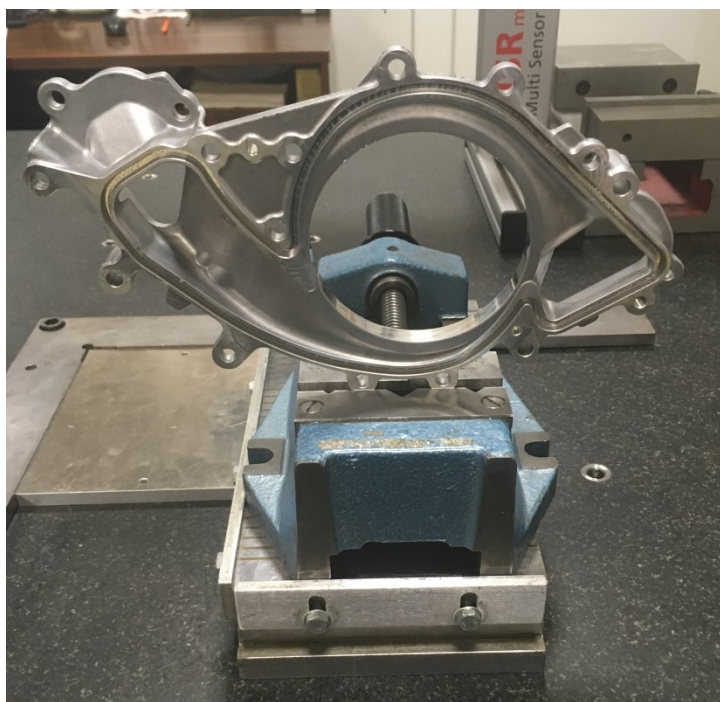
10 TVORBA MĚŘÍCÍHO PROGRAMU

Tato kapitola je zaměřena především na tvorbu měřicího programu, ale také na základní nastavení systému včetně upnutí měřené součásti. Samotný měřicí program je rozdělen na měřené elementy a měřené charakteristiky.

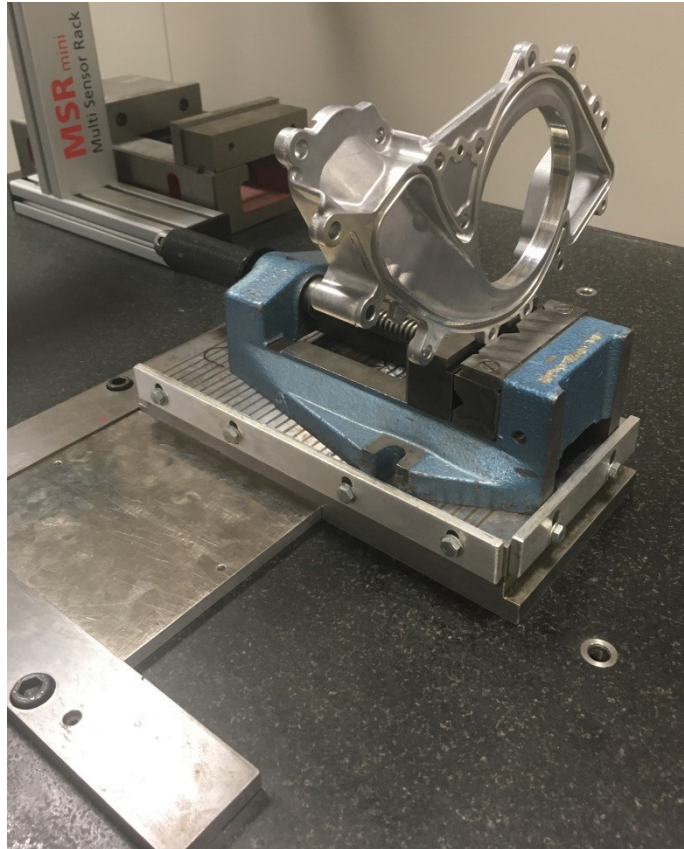
10.1 Upnutí součásti

Při upínání součástí by měla být dodržena určitá pravidla. Pro ustavení by se měly používat obrobené plochy pro jejich rozměrovou stálost. Dalším pravidlem, pokud výkres neurčí jinak, je nutné upnout součást ve volném stavu. Kdyby se toto pravidlo nedodrželo, tak by deformace způsobená upnutím zanášela chybu do měření. Dalším pravidlem je upnutí součásti tak, aby bylo možné změřit co nejvíce rozměrů na jedno upnutí a omezilo se tak zanesení dalších nepřesností měření.

U měřené součásti bylo nutné měřit z obou stran a použití upínek, podpor a různých stavebnic by vyžadovalo minimálně dva programy, tudíž dvě upnutí a tím by mohla vzniknout nepřesnost měření. Z toho důvodu bylo použito klasického svěráku, se kterým byla součást pevně upnuta, a bylo možné změřit na jedno upnutí celou součást.



Obr. 39. Upnutí součásti

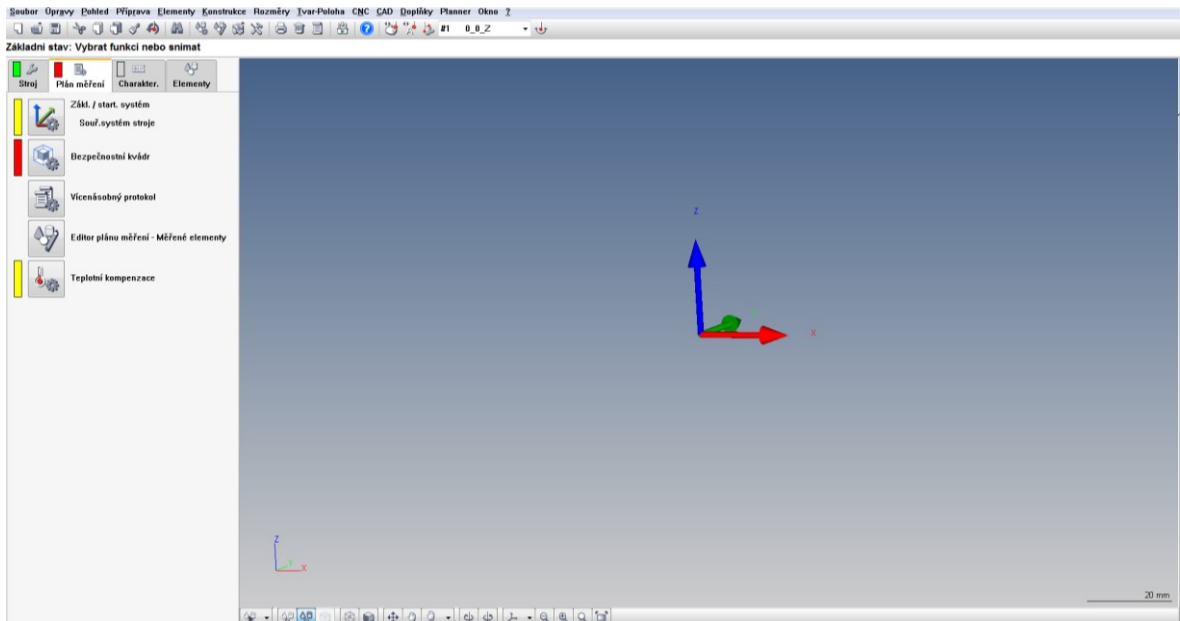


Obr. 40. Upnutí součásti

10.2 Základní nastavení

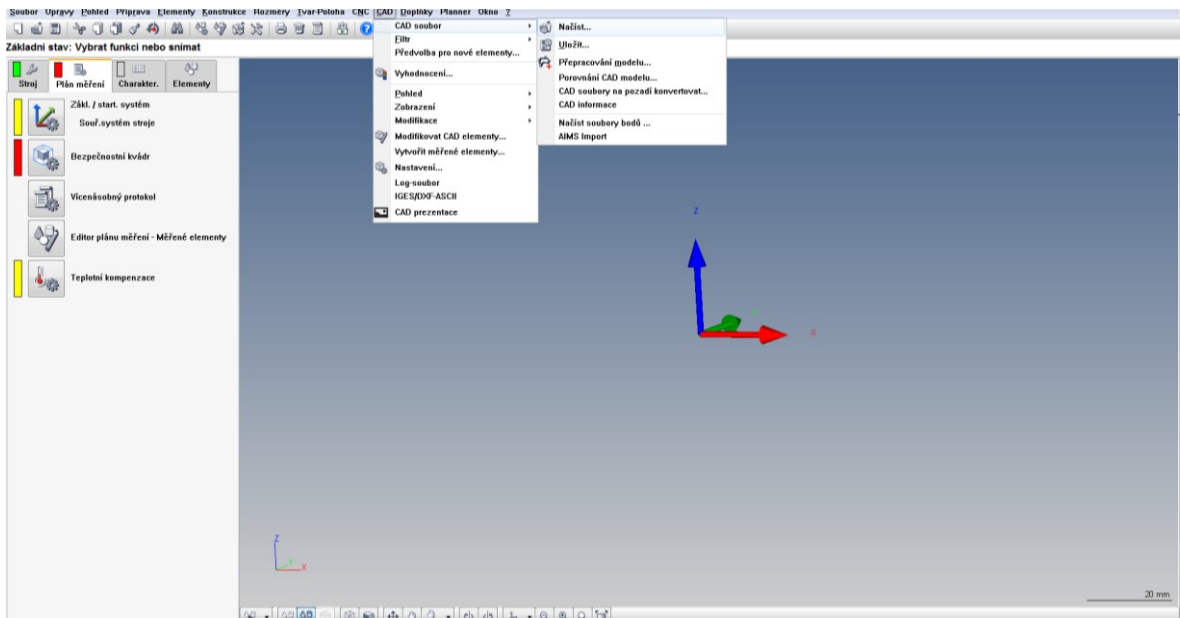
10.2.1 Prostředí Calypso

Společnost ZEISS využívá pro všechny své stroje software Calypso. Prostředí tohoto software je velmi podobné jiným CAM programům. Software je přímo propojený se strojem a lze tak pomocí něj ovládat stroj v reálném čase. Calypso dokáže pracovat s 3D modelem součásti, ale i bez něj. Calypso má velmi přehledné prostředí, přehledné ikony a jednoduché příkazy.



Obr. 41. Prostředí programu Calypso

Vložení 3D modelu je velmi snadné. Software podporuje soubory ve formátu STEP. To znamená, že 3D model je možno vytvořit v jakémkoliv CAM programu a uložit jej ve formátu STEP a následně otevřít v prostředí Calypso.



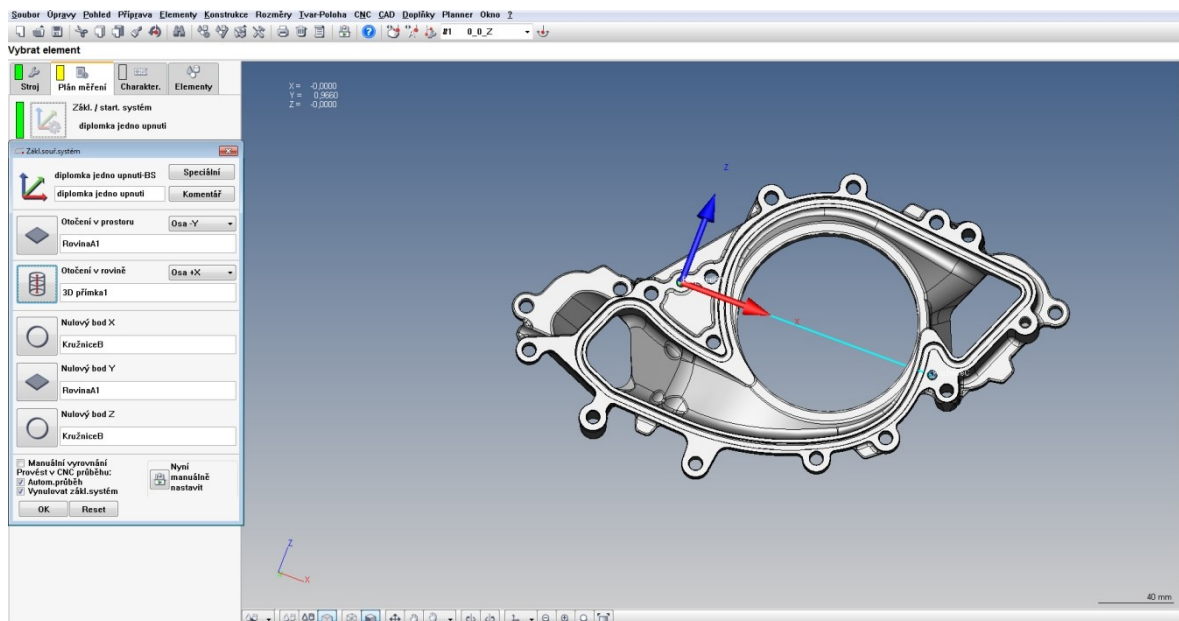
Obr. 42. Vložení CAD modelu

10.2.2 Snímací systém

Pro zajištění vysoké přesnosti měření je zapotřebí zvolit správný snímací systém. Systém musí být dostatečně tuhý a musí mít vhodnou velikost kuličky. Veškeré snímané body jsou sejmuty pomocí kuličky, a v případě, že by byla kulička nesprávně zvolena a došlo by ke kontaktu součásti s dřikem, systém by vyhodnotil tento krok jako chybu a zastavil by se. Všechny kuličky musí být kalibrovány, aby nedocházelo k chybě měření způsobené opotřebením kuličky.

10.2.3 Souřadný systém

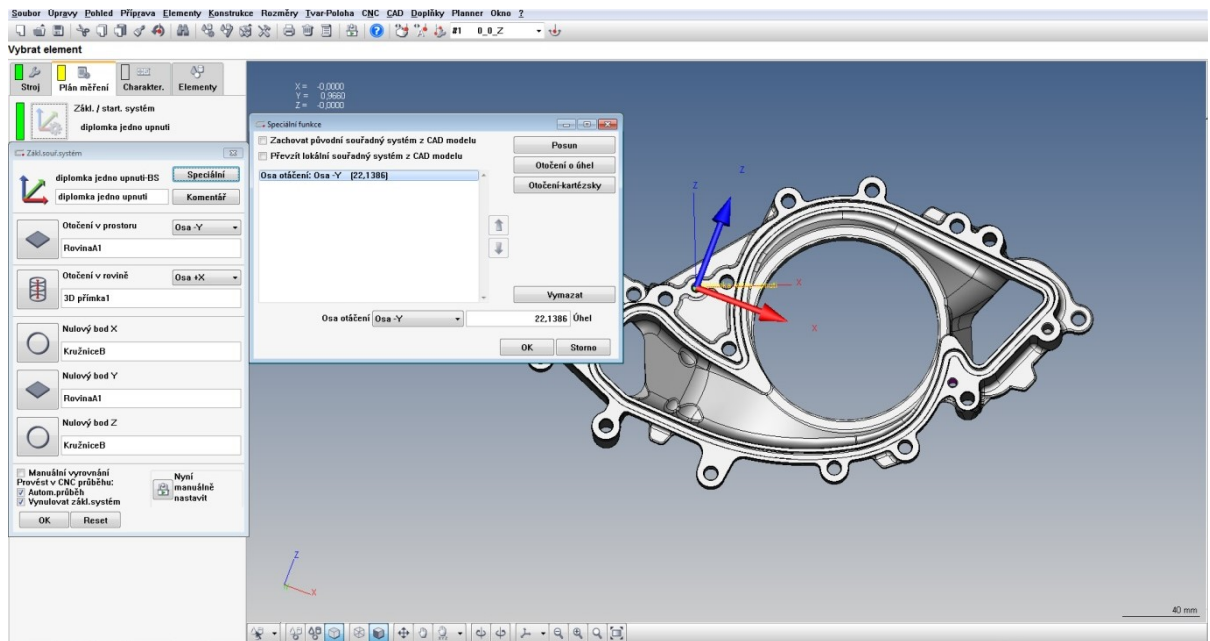
Aby bylo možné vytvořit program pro změření součásti, musí být nejprve vytvořen souřadný systém (nulový bod). Podle tohoto bodu si systém ustaví součást ve svém virtuálním prostředí a nedojde tak k chybám měření. Při každém spuštění nového programu je nulový bod v souřadnicích nulového bodu stroje. Úkolem uživatele je tento bod přemístit pomocí elementů do místa, kde má být umístěn souřadný systém součásti.



Obr. 43. Souřadný systém

Souřadný systém se může umístit kdekoli na součásti. Měl by být umístěn tak, aby byla zajištěna vysoká přesnost měření a aby bylo měření výhodné. V případě součásti použité pro diplomovou práci mě k umístění souřadného systému napověděl výkres součásti. Pro měření pozic děr bylo nutné umístit souřadný systém do středící díry, která má souřadnice

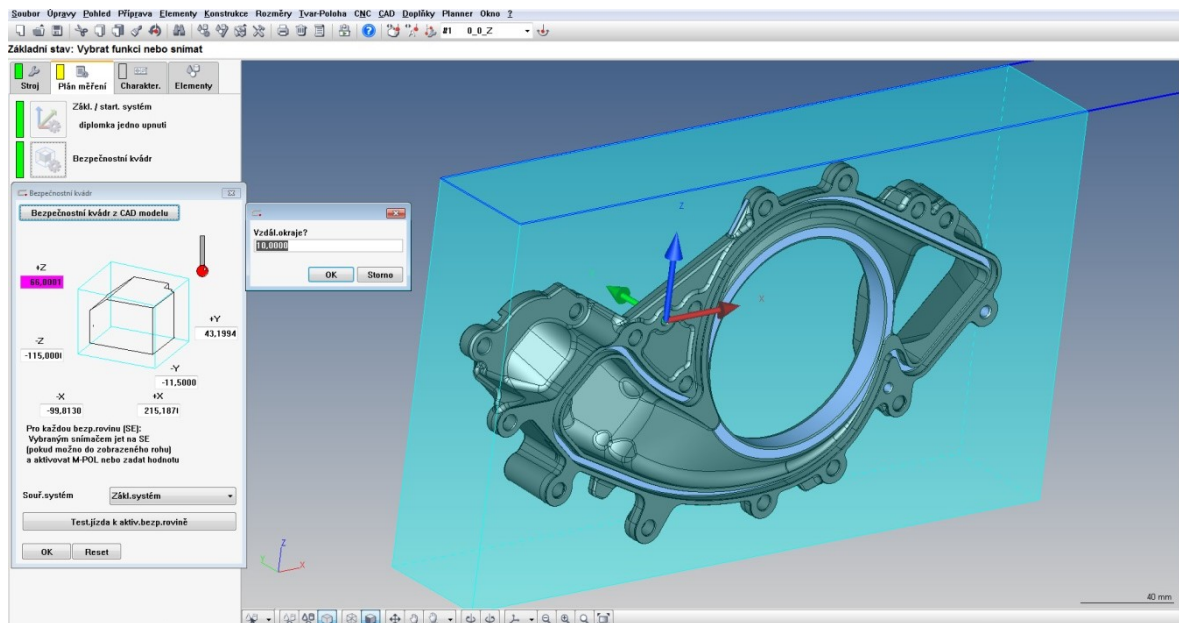
pozice $x=0$ $z=0$. Z obrázku výše je patrné, že souřadný systém je na místě, jak říká výkres. Jenomže je celý systém otočený o neznámý úhel a to by v případě měření pozic děr znamenalo problém. Bylo nutné z výkresu zjistit vzdálenost druhé díry a pomocí goniometrických funkcí spočítat úhel otočení. Ten byl $22,1386^\circ$. Poté pomocí záložky „speciální“ bylo nutné otočit souřadný systém o daný úhel.



Obr. 44. Otočení souřadného systému

10.2.4 Bezpečnostní kvádr

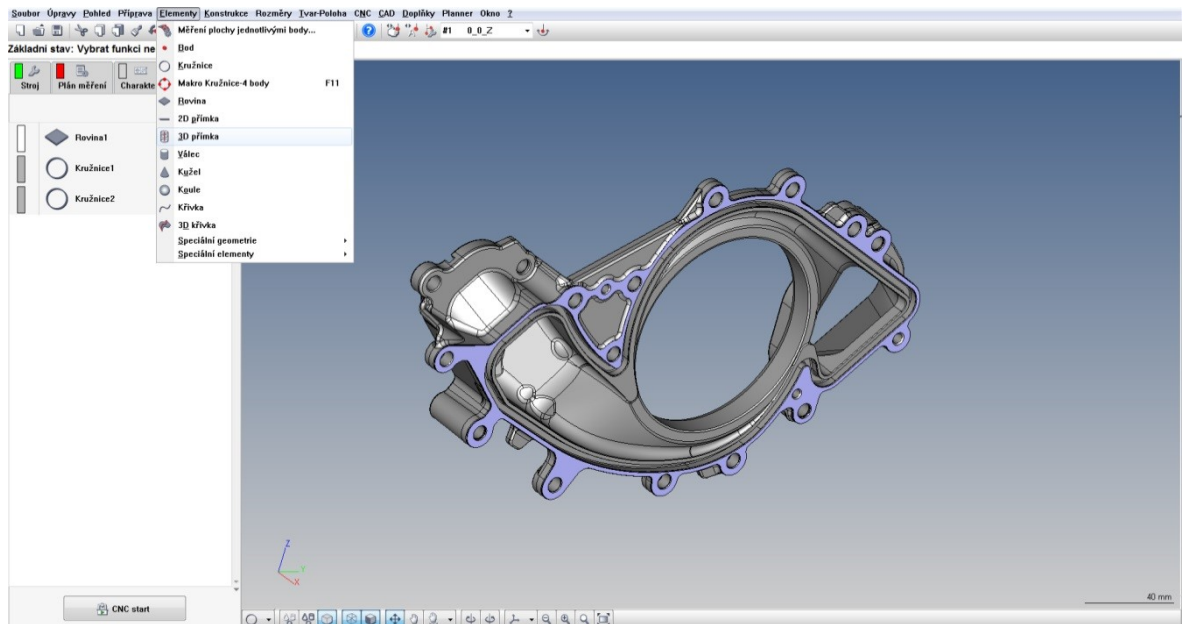
Když je vytvořený souřadný systém je nutné stroji definovat v jaké oblasti se daná součást nachází a v jaké oblasti musí stroj dbát zvýšené pozornosti a kde se nesmí otáčet a měnit snímače. Tato oblast se definuje pomocí bezpečnostního kvádrů. Kvádr lze definovat dvěma způsoby. Buďto manuálně pomocí joysticku uživatel definuje 2 body. První v pravém horním zadním rohu kvádrů a druhý v levém dolním předním rohu kvádrů. Pomocí těchto bodů se vytvoří kvádr, ve kterém musí být součást celým svým objemem. Druhý způsob je vytvoření bezpečnostního kvádrů pomocí 3D modelu. V tomto případě se jen definuje vzdálenost od okraje 3D modelu.



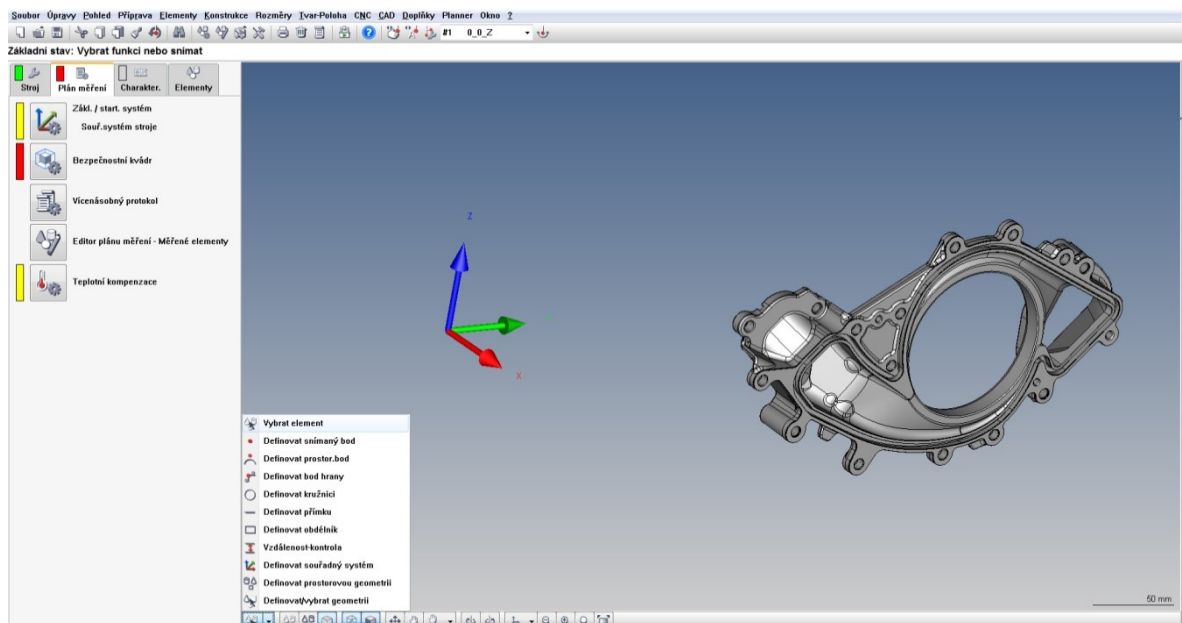
Obr. 45. Bezpečnostní kvádr

10.3 Měření elementy

Elementy jsou základním prvkem měřicího programu. U každého elementu se definuje velké množství parametrů, pomocí kterých je měření možné provést. V první řadě se musí definovat snímací systém a číslo doteku, pomocí kterého se daný element bude měřit. Dále je nutno určit směr příjezdu a odjezdu doteku. Poté se definuje dráha, počet bodů, rychlost, popřípadě úhlový rozsah měření. V každém elementu je možné nastavit vyhodnocení základních rozměrů. S 3D modelem lze elementy vytvářet dvěma způsoby. První způsob je konstrukce elementů přímo z 3D modelu (obr. 47), kde si uživatel vybere z 3D modelu daný tvar (rovina, válec, kružnice) a poté definuje měřené body. Druhý způsob je konstrukce elementu ze stromu (obr. 46), kdy si uživatel vybere přesný typ daného elementu (3D přímka, drážka) a poté upravuje umístění a snímanou dráhu, popřípadě zpětně vyvolá daný element z jiných.



Obr. 46. Konstrukce elementu ze stromu

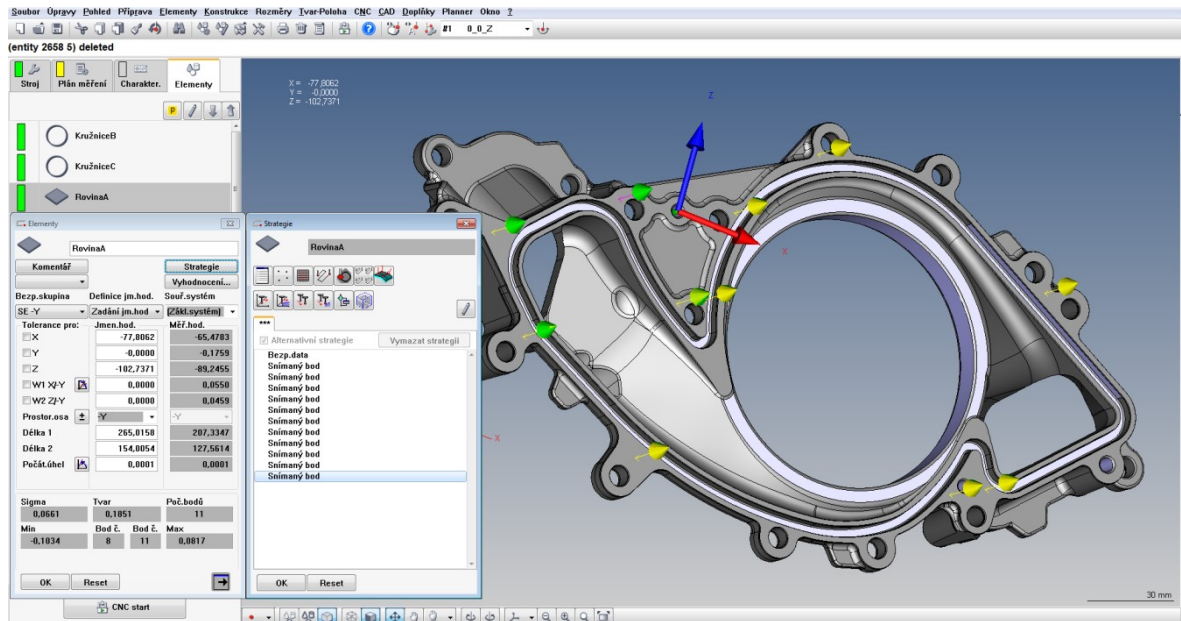


Obr. 47. Konstrukce elementu z 3D modelu

U této měřené součásti bylo vytvořeno celkem 56 elementů. Pro tuto práci bylo vybráno 6 základních elementů pro znázornění jejich tvorby a následné úpravy. S pomocí těchto elementů je schopen uživatel vytvořit základní programy pro měření součástí.

10.3.1 Rovina A

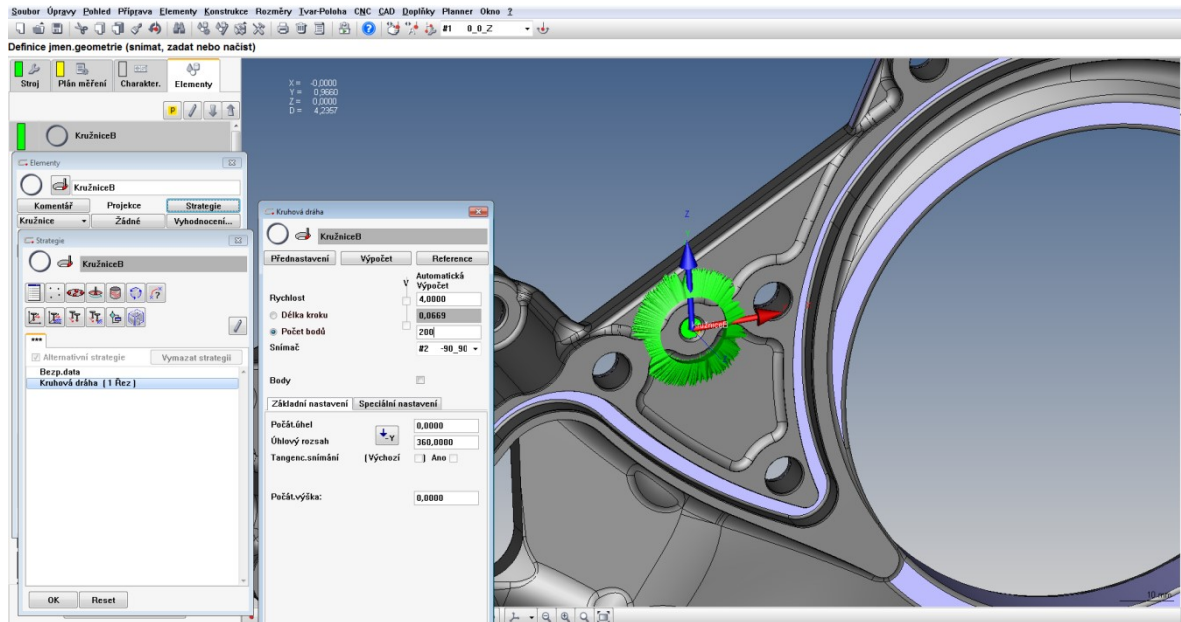
Rovina A je podle výkresu definována jako referenční rovina se základnou A. Příjezd a odjezd k této rovině se pohybuje v ose Y. Po vytvoření elementu bylo zapotřebí definovat body. To umožnil příkaz „Strategie“. Tuto rovinu tedy definuje 11 snímaných bodů po celé její ploše.



Obr. 48. Konstrukce roviny A

10.3.2 Kružnice B

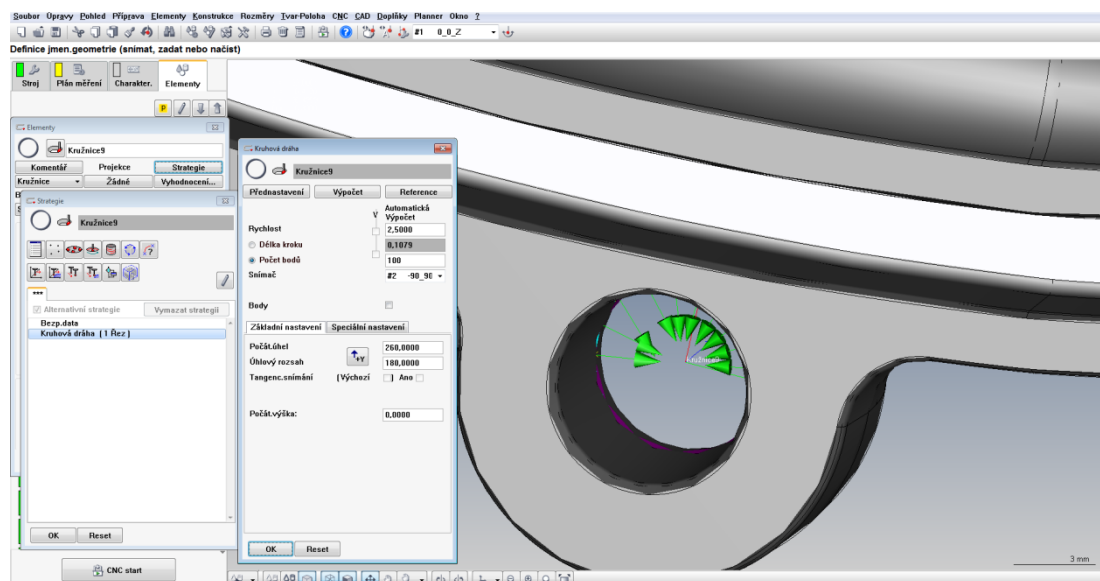
Kružnice B je na výkresu definována jako referenční prvek pro výpočet umístění ostatních děr. Stejně jako kružnice C je tvořena elementem kružnice a ve strategii je vyhodnocena pomocí kruhové dráhy 200 body. Jelikož v nabídce kruhové dráhy není označeno pole „Body“ jedná se o scan daného elementu.



Obr. 49. Konstrukce kružnice

10.3.3 Kružnice 9

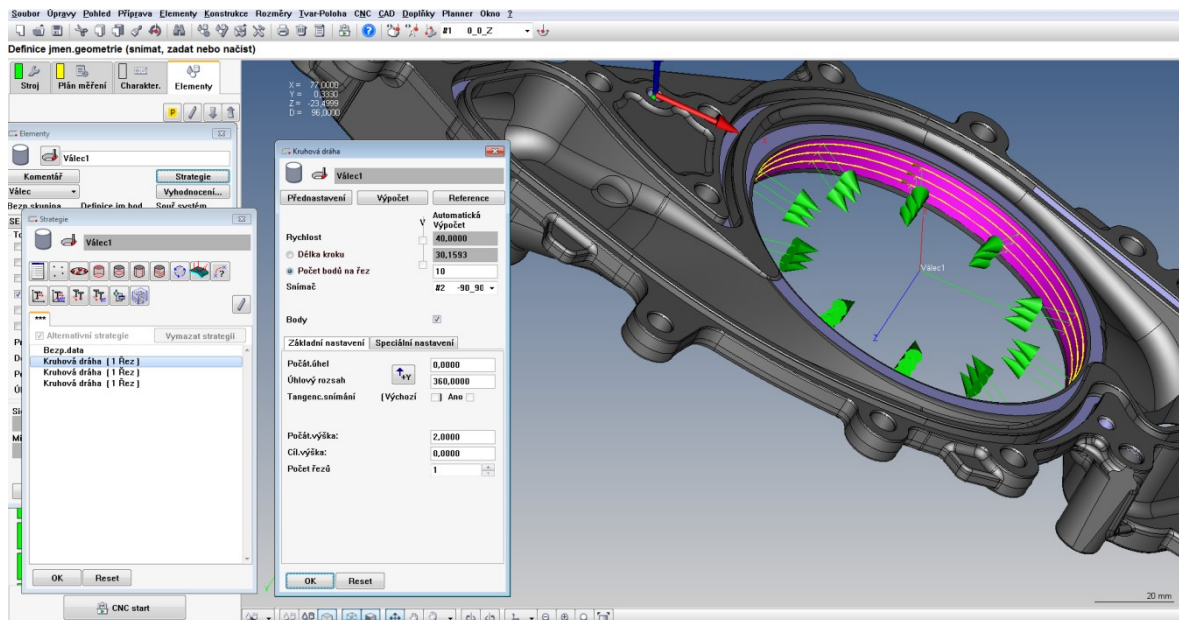
Tento element je díra pro šroub číslo 9 z celkového počtu 16 děr. Jelikož se při programování vyskytl problém s nedostatkem místa díky upínání, bylo zapotřebí upravit snímanou dráhu aby nedošlo ke kolizi snímače a svěráku. Proto jsem upravil rozsah z 360° na 180°. Bylo nutné zadat počáteční úhel dráhy a následně úhlový rozsah. To všechno se odehrává v příkazu „Strategie“ a konkrétněji v příkazu „Kruhová dráha“ (obr. 50). Systém si dokáže vypočítat průměr z nasnímaných bodů z poloměru.



Obr. 50. Úprava dráhy kružnice

10.3.4 Válec

Element „Válec“ lze vytvořit mnoha způsoby. Lze ho tedy vytvořit pomocí spirály, přímek na průměru, zpětným vyvoláním minimálním počtem 9 bodů, zpětným vyvoláním elementů – kružnic. Pro tento konkrétní případ byla použita varianta zpětného vyvolání elementů, tedy kružnic. Při stanovení metody rozhodoval požadavek pracovníka kvality, který chtěl zjistit hodnotu průměru v několika hladinách. Bylo tedy nutné vytvořit 3 kružnice v různých hladinách. Každá kružnice je vyhodnocena pomocí 10 bodů. Na rozdíl od předchozích kružnic byly tyto vyhodnoceny body místo scanu. Aby se kružnice nevyhodnocovaly jako scan, je potřeba zatrhnout pole „Body“ v příkazu „Kruhová dráha“. Poté bylo nutné nastavit počáteční výšku, neboli hladinu, ve které se má daná kružnice nacházet. Opět všechna nastavení ohledně snímání se nachází pod příkazem „Strategie“ (obr. 51).

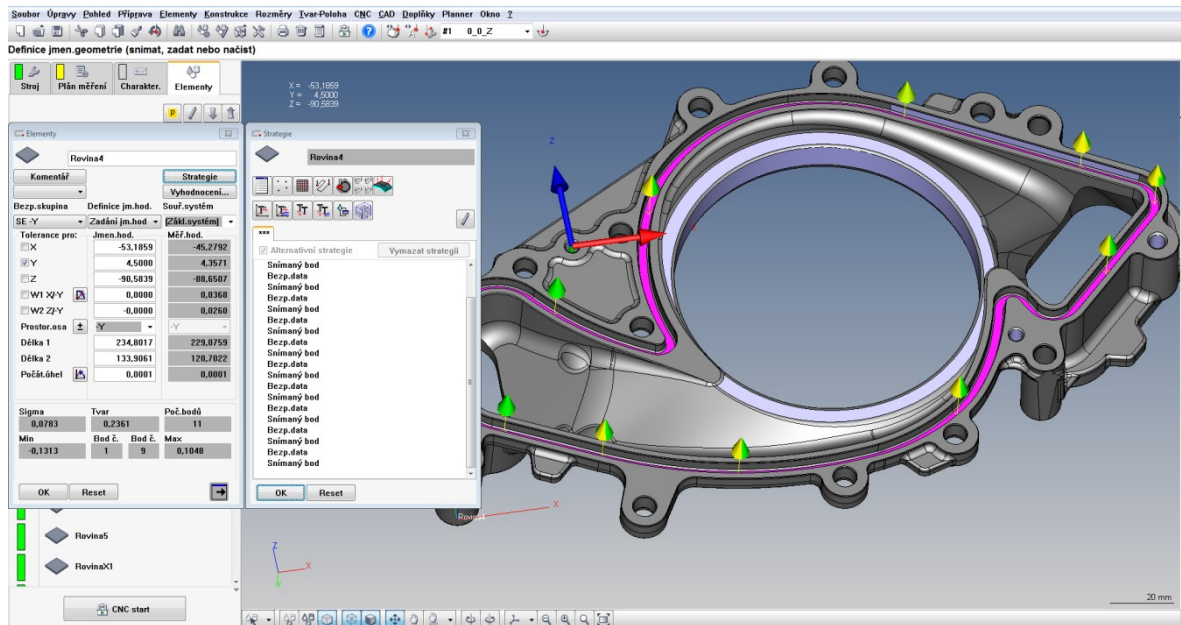


Obr. 51. Konstrukce válce

10.3.5 Rovina 4

Pro tento typ roviny bylo nutné upravit strategii vyhodnocení. Jelikož se jedná o rovinu umístěnou na dně drážky, bylo nutné upravit dráhu snímání tak, aby nedošlo ke kolizi. Stroj je naprogramovaný tak, aby se pohyboval po nejkratších vzdálenostech. Po každém sejmutém bodu odjede snímací systém do výšky 2mm a přesune se k dalšímu bodu po nejkratší dráze. V tomto případě by to znamenalo náraz snímacího systému do měřeného dílu. Pro odstranění problému je nutné nastavit strategii dráhy tak, aby po každém sejmutém bodu stroj odjel do bezpečné vzdálenosti. To zajišťuje příkaz „Bezp.data“. Když se za kaž-

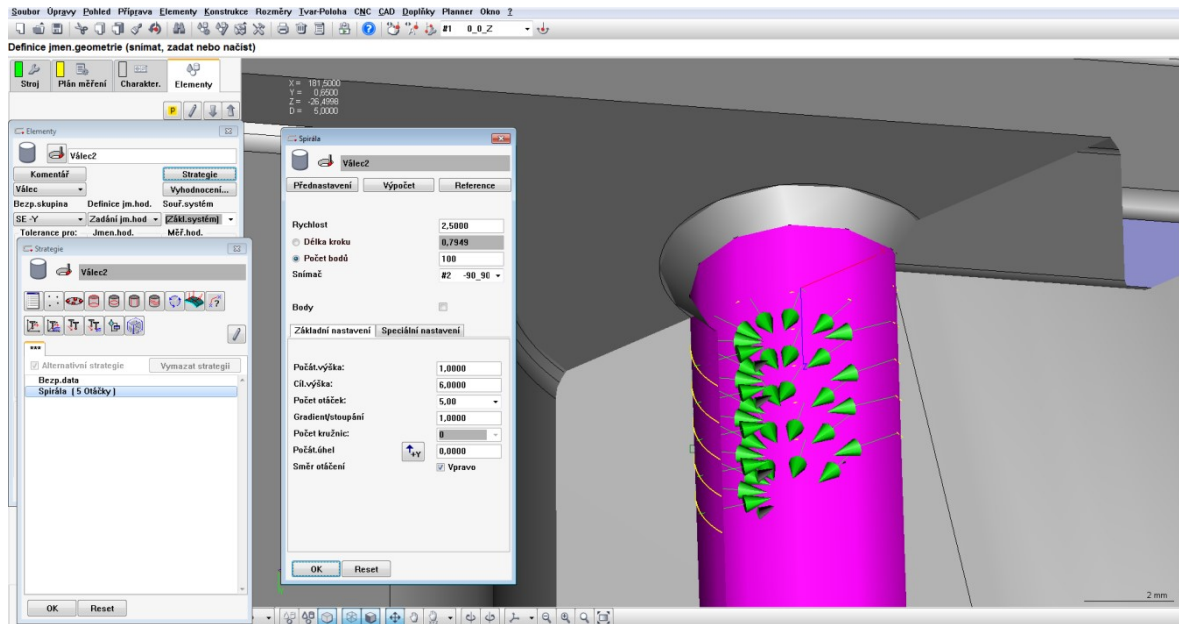
dý bod vloží tento příkaz, stroj odjede na okraj bezpečnostního kvádru a přejede tak kolicím s měřeným dílem.



Obr. 52. Rovina s odjezdy

10.3.6 Závít

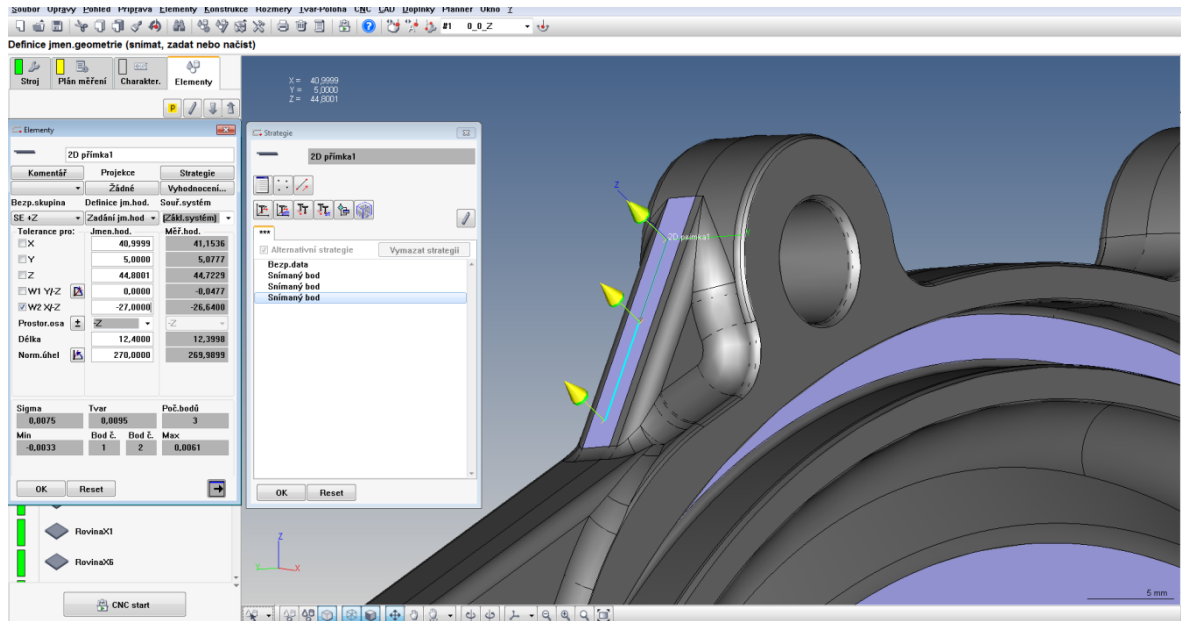
Pro měření závitu se využívá elementu válce se strategií dráhy pomocí spirály. K měření stačí znát pouze stoupání závitu. Spirála se vytváří v příkazu „Strategie“ pomocí ikony spirály. V nastavení je nutné definovat počet otáček, gradient a směr stoupání, počáteční a cílovou výšku a počet bodů. V tomto případě se jedná o závit se stoupáním 1mm a závit se vyhodnocuje v délce 5 mm.



Obr. 53. Konstrukce závitu

10.3.7 2D přímka

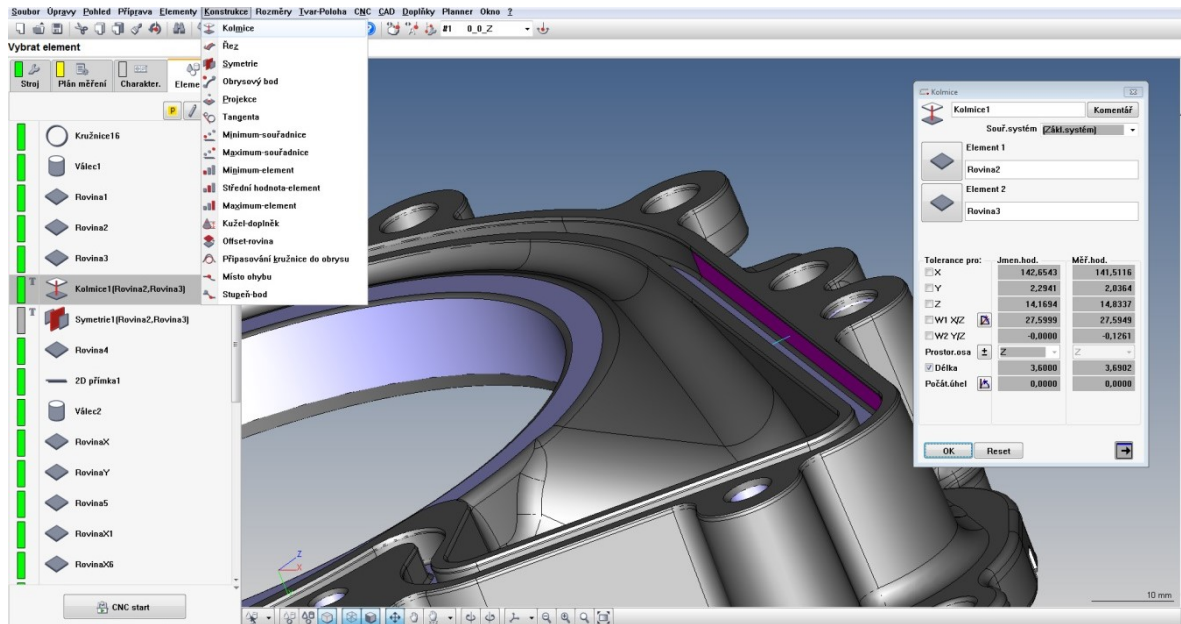
Přímka je definována pomocí 3 bodů. Na měřené součásti je zapotřebí k měření úhlu 27° . Díky tomu, že daný rozměr patří mezi základní (délka, průměr, úhel) lze uvažovat o vytvoření charakteristiky přímo z elementu. Na rozdíl od vyhodnocení průměru se musí při vyhodnocení úhlů a délek brát ohled na souřadný systém. Souřadný systém byl nastaven tak, že umožňuje použít charakteristiku přímo z elementu. Ta se vytvoří tak, že se rozklikne daný element, který nese charakteristiku (rozměr) a v poli „Tolerance pro:“ se vybere daná charakteristika. Pro tento případ platí řádek „W2 X/-Z“ (obr. 54). „W“ značí úhel a „X/-Z“ umístění úhlu v rovině. Před potvrzením elementu je potřeba zkontrolovat jmenovitý rozměr ve sloupci „Jmen.hod“. Může se stát, že se jmenovitá hodnota 3D modelu liší od jmenovitého rozměru daného výkresem. Odchylka bývá v řádu tisícín milimetru.



Obr. 54. Měření úhlu pomocí přímký

10.3.8 Kolmice

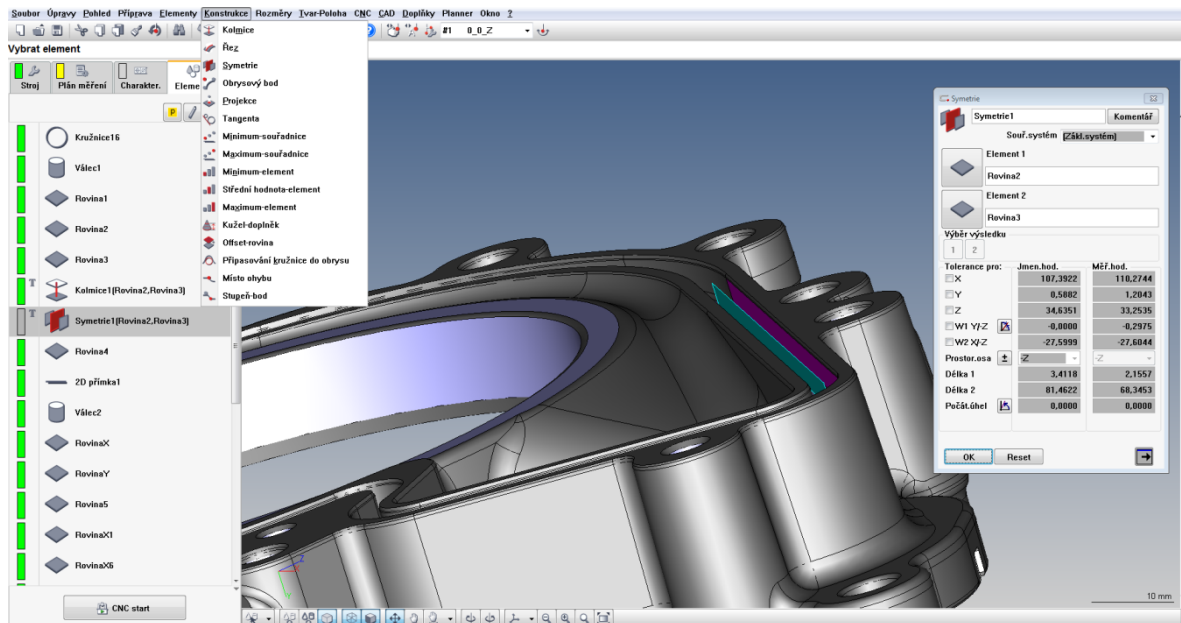
Kolmice patří mezi elementy, které je nutno vytvořit z řádku „Konstrukce“. Postup je velmi jednoduchý. Po použití příkazu „Kolmice“ je zapotřebí definovat 2 elementy, mezi kterými je nutno vytvořit kolmici. Je-li tvořena kolmice za účelem zjištění vzdálenosti obou elementů, lze použít charakteristiku přímo z elementu. Ve sloupci „tolerance pro:“ se může vybrat řádek „X“, „Y“ nebo „Z“. Záleží to na otočení souřadného systému vůči kolmici. Elegantnější způsob vyhodnocení je řádek „Délka“. Je to vzdálenost kolmice bez ohledu na souřadný systém (obr. 55).



Obr. 55. Tvorba kolmice

10.3.9 Symetrie

Symetrie je další z elementů, které je nutno vytvořit z řádku „Konstrukce“. Stejně jako u předchozí kolmice se i zde definují 2 elementy, mezi kterými se má vytvořit element symetrický. Symetrii bylo nutné vytvořit pro další měření, konkrétně kolmosti danou výkresem.

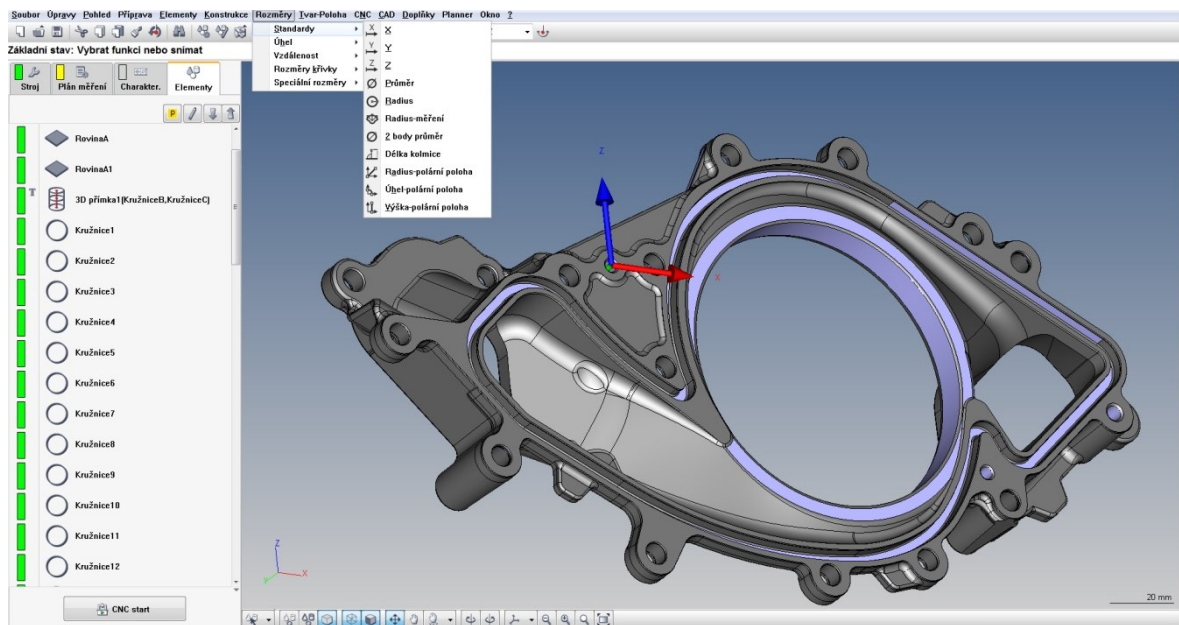


Obr. 56. Příkaz „Symetrie“

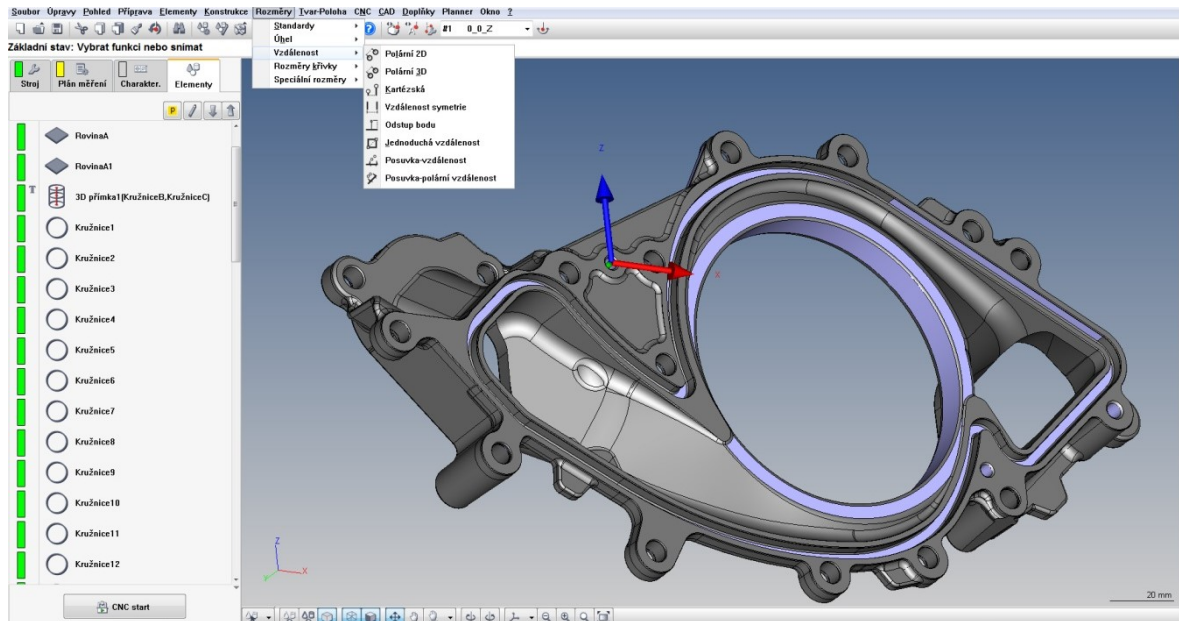
10.4 Charakteristiky

Po vytvoření potřebných elementů nastává čas pro vytváření měřících charakteristik. Tyto charakteristiky tvoří vztah mezi elementy a vyhodnocují tyto elementy v geometrickém nebo rozměrovém předpisu. Lze také vytvořit grafické znázornění skutečného tvaru. Všechny charakteristiky se vygenerují do závěrečného protokolu o měření. U měřené součásti bylo vytvořeno 73 charakteristik. Pro znázornění byly do této práce vybrány základní charakteristiky.

Stejně jako u elementů lze charakteristiky vytvářet několika způsoby. Prvním je vytvoření charakteristiky přímo z elementu, jak je popsáno v předchozí podkapitole. Druhý způsob je vytvoření charakteristiky ze záložky „Rozměry“, která se nachází v horní liště. Zde se nachází všechny rozměrové charakteristiky jako standardy (obr. 57), úhly, nebo vzdálenosti (obr. 58).

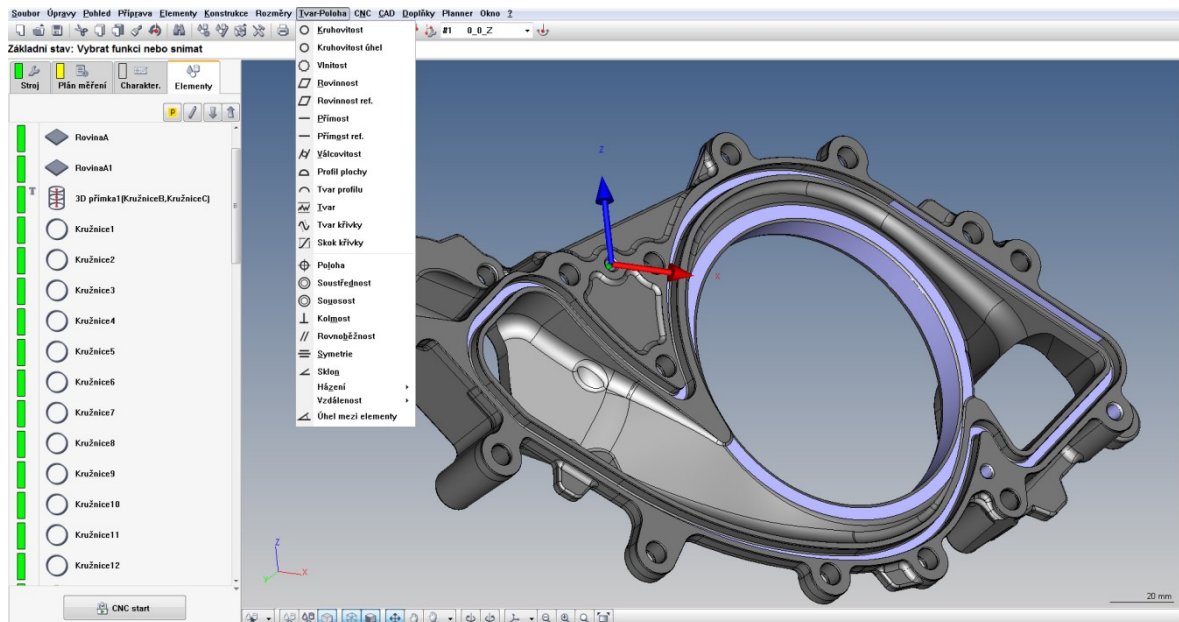


Obr. 57. Rozměry - Standardy



Obr. 58. Rozměry - Vzdálenosti

Pro vytvoření charakteristik typu geometrických tvarů a poloh slouží záložka „Tvar-Poloha“, která se rovněž nachází v horní liště. V této záložce se nachází veškeré charakteristiky geometrických tvarů a poloh vytvořených elementů (obr. 59).

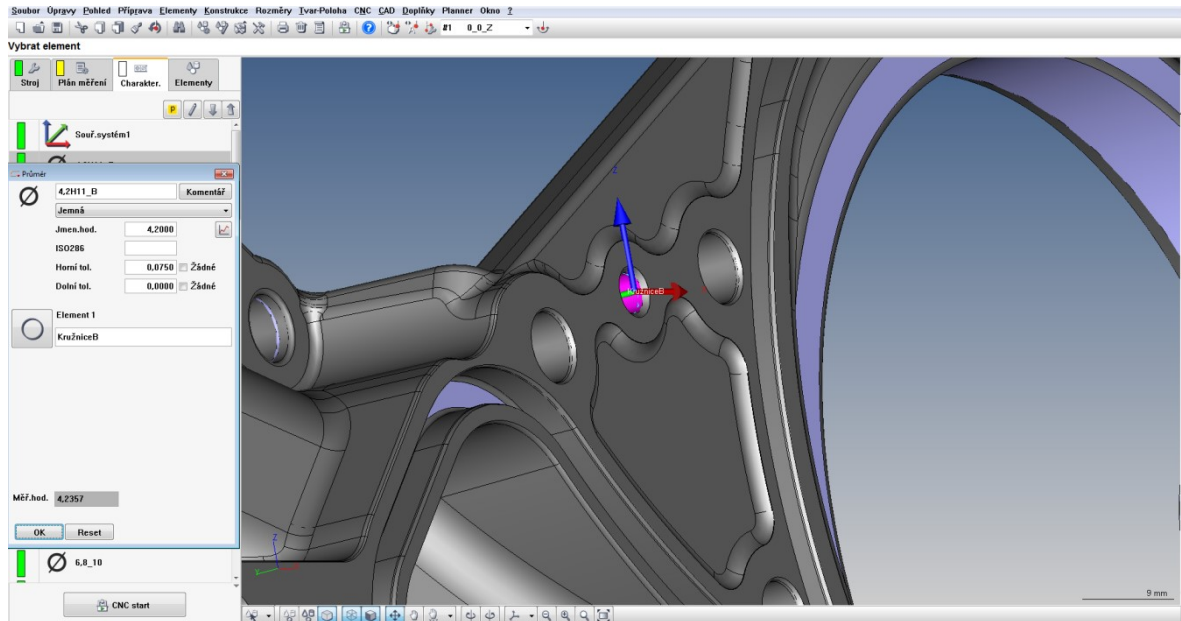


Obr. 59. Tvar a poloha

10.4.1 Průměr

Charakteristika průměru se může vytvořit přímo z elementu, nebo ze záložky Rozměry, Standardy. Po otevření charakteristiky musí uživatel vybrat element, ze kterého se má vy-

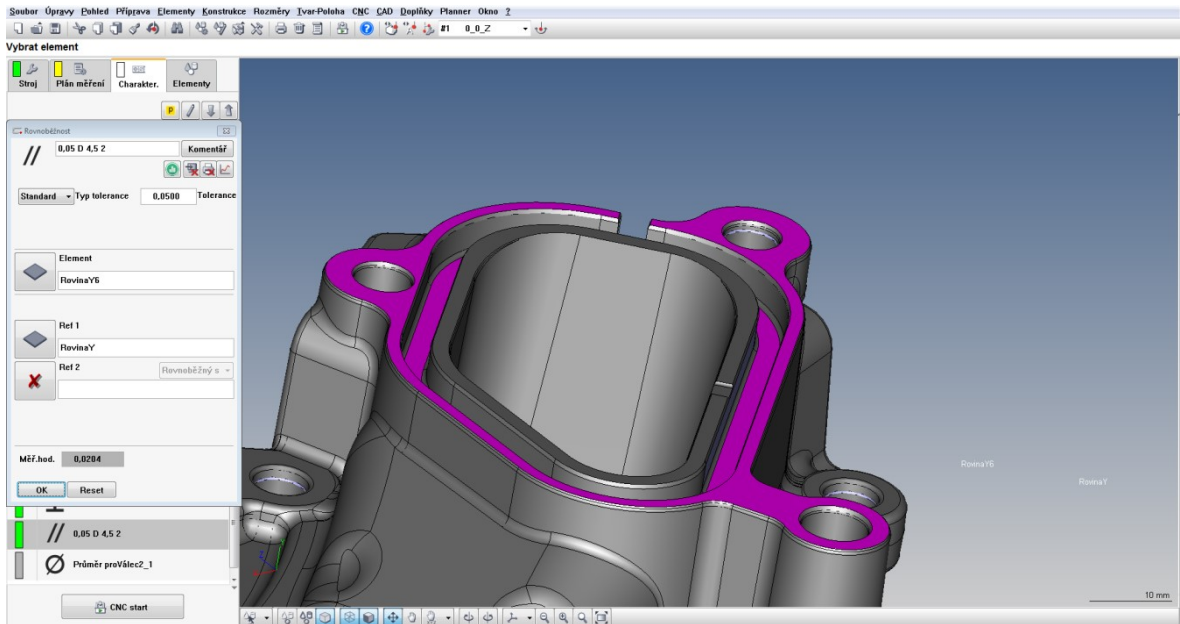
tvořit hodnota dané charakteristiky. Poté musí definovat jmenovitý rozměr a meze tolerance.



Obr. 60. Průměr

10.4.2 Rovnoběžnost

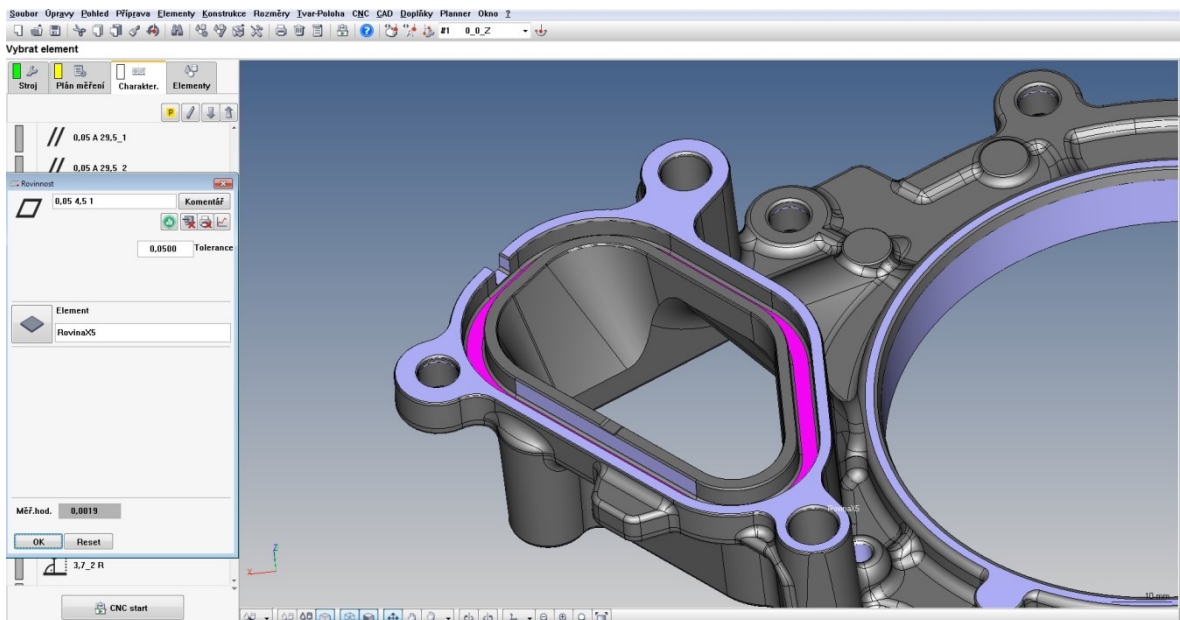
Jedná se o geometrickou toleranci směru dvou přímek nebo ploch. Tato charakteristika se vytvoří v záložce Tvar-Poloha. Uživatel definuje dva elementy a sice tolerovaný element a referenční element. Referenční element je ten, na který se váže základna ve výkresové dokumentaci. Na obrázku níže (obr. 61) je zjišťována hodnota rovnoběžnosti dvou ploch dle výkresu. Je zapotřebí vybrat dva elementy, které mají být vůči sobě rovnoběžné a definovat maximální toleranci.



Obr. 61. Rovnoběžnost

10.4.3 Rovinnost

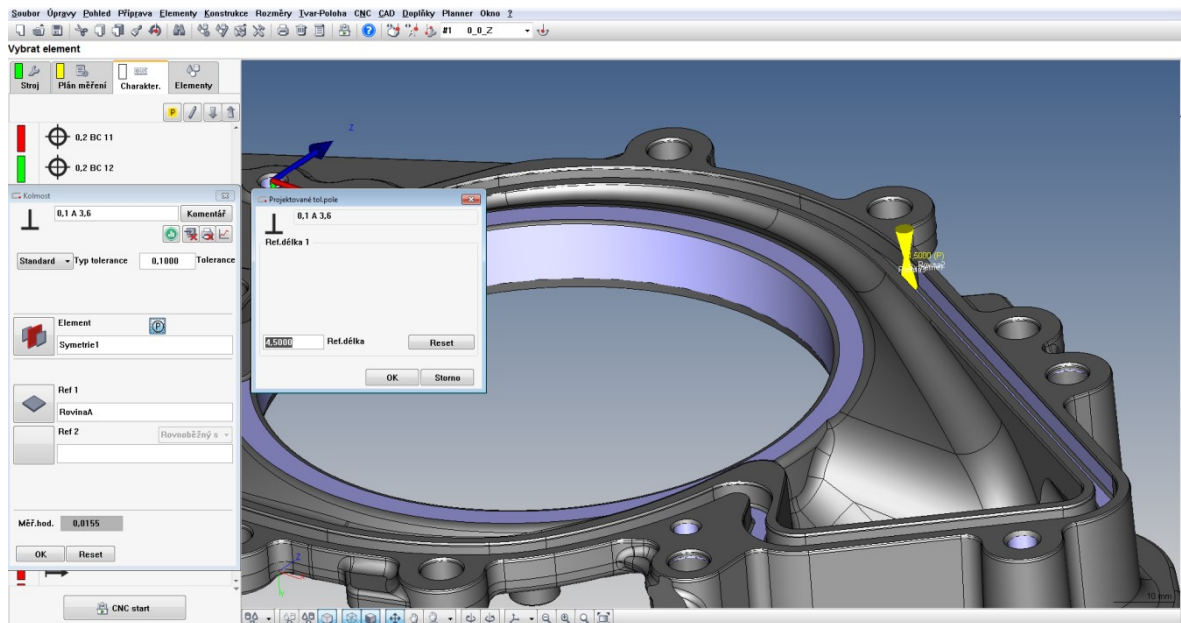
Rovinnost určuje geometrickou odchylku tvaru dané plochy (roviny). V prostředí Calypso ji lze nalézt v záložce „Tvar-Poloha“. U této charakteristiky uživatel musí definovat element, na kterém se má charakteristika vyhodnotit a její toleranci.



Obr. 62. Rovinnost

10.4.4 Kolmost

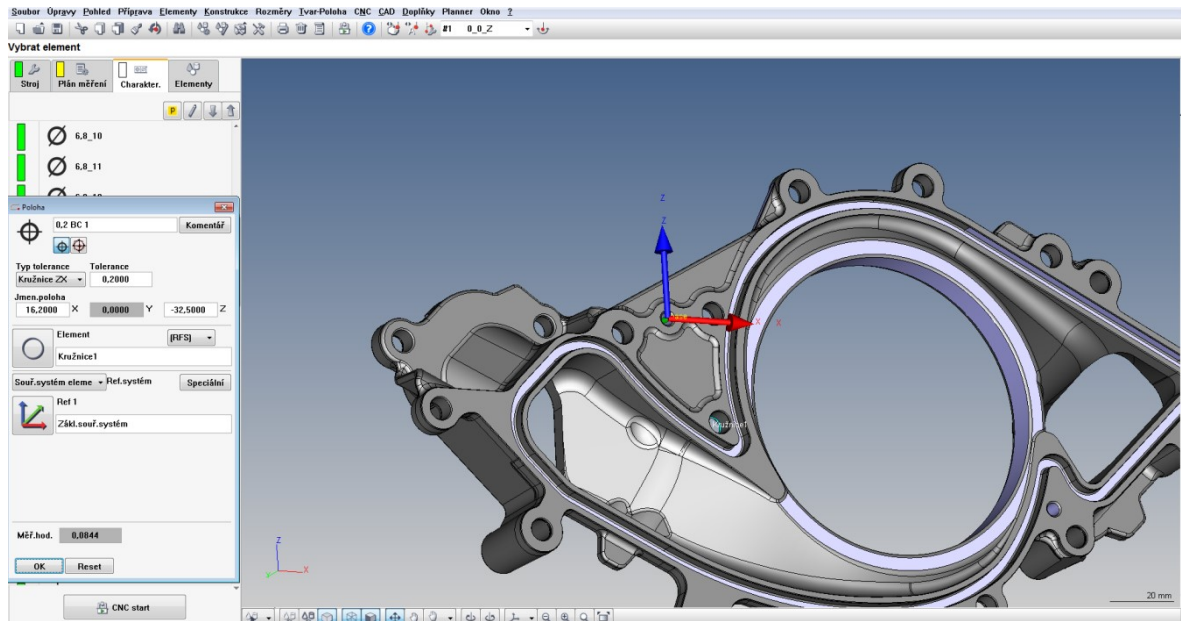
Kolmost se podobně jako rovnoběžnost skládá ze dvou elementů. Tato charakteristika zjišťuje, jak jsou na sebe dva elementy kolmé. Je tedy nutné vybrat tolerovaný element a referenční element. U kolmosti je navíc nutné definovat referenční délku kolmice. Ta se definuje proto, aby se kolmost vyhodnocovala z určité délky a nedocházelo k nepřesnosti měření. Na obrázku níže (obr. 63) je vidět charakteristika kolmosti a nastavení referenční délky. Výkresová dokumentace říká, že se má kolmost vyhodnocovat v délce 4,5mm a tuto délku bylo nutné zadat do pole „Ref.délka“.



Obr. 63. Kolmost

10.4.5 Poloha

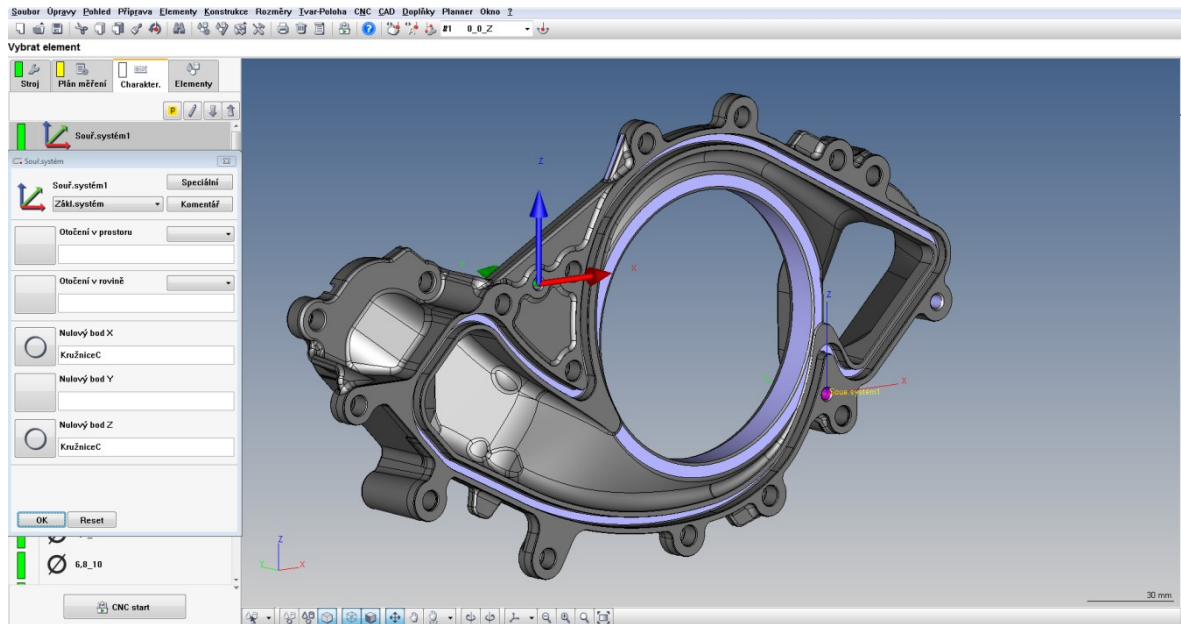
Pomocí této charakteristiky lze vyhodnotit polohu daných elementů. V mém případě se jednalo o polohu děr pro šrouby. Poloha je definována pomocí souřadnic na výkrese. Tyto souřadnice se musí uvést v poli „Jmen.poloha“. Dále se musí definovat element, podle kterého se má určit poloha a souřadný systém, ze kterého se určí souřadnice tolerančního pole.



Obr. 64. Poloha děr

10.4.6 Souřadný systém

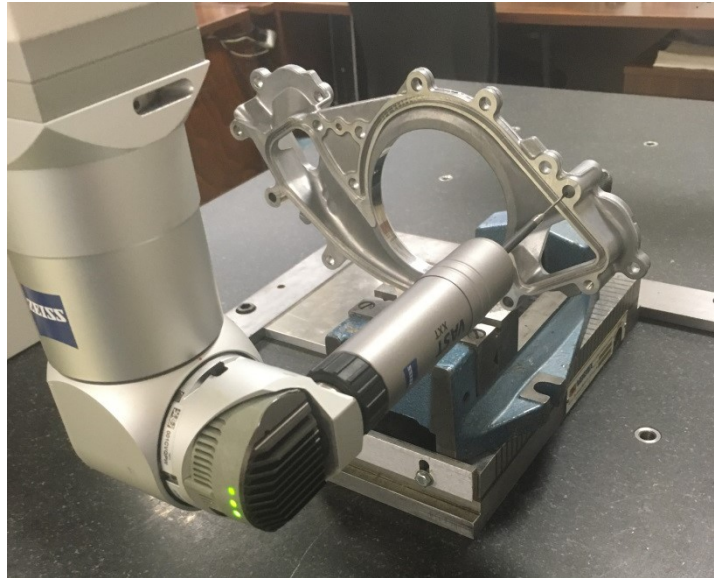
Mezi charakteristiky nepatří pouze rozměry a geometrické odchylky. V systému Calypso si může uživatel vytvořit do charakteristik více souřadných systémů. Tyto souřadné systémy vycházejí ze základního systému. Jejich účelem je zjednodušit vyhodnocení elementů. V této práci jsem využil pomocný souřadný systém pro vyhodnocení polohy díry, ve které je umístěn základní systém. Kdyby v charakteristice byla tato díra a jako souřadný systém by byl nastaven základní systém, naměřená hodnota by byla 0,000mm. Střed naměřené díry je totožný se středem základního systému. Proto bylo nutné vytvořit pomocný souřadný systém do druhé ustavovací díry (obr. 65). Následně je postup stejný jako v podkapitole 10.4.5. jen s tím rozdílem, že jako souřadný systém jsem nevybral základní, ale pomocný souřadný systém ve druhé ustavovací díře.



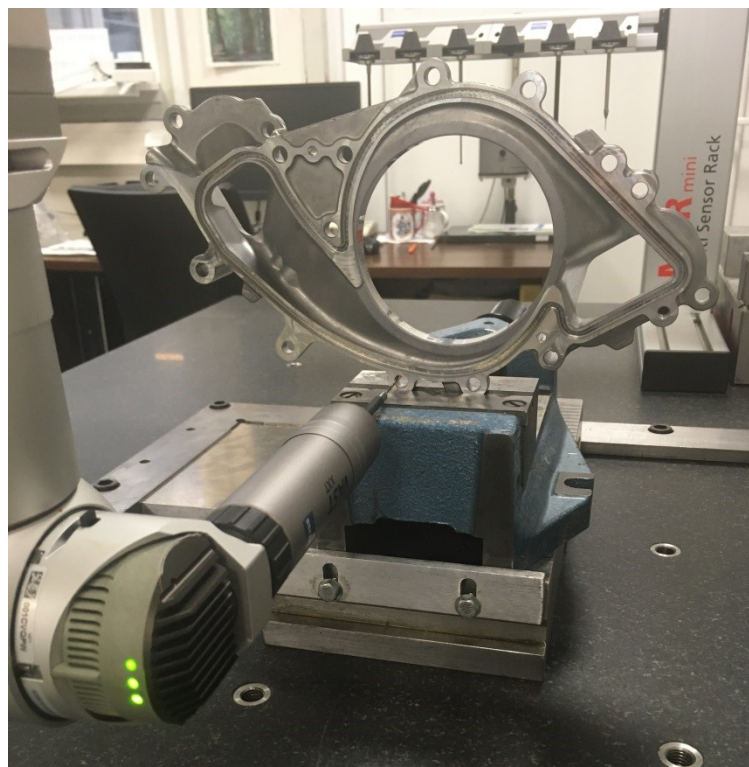
Obr. 65. Souřadný systém 2

10.5 Reálné měření a výstup měření

V případě, že jsou vytvořeny všechny elementy a veškeré charakteristiky, je možné spustit program a provést reálné měření. První měření probíhá se sníženou rychlostí a uživatel musí sledovat dráhy a snímané body, aby nedošlo ke kolizi. Dále musí dbát na to, aby se body snímaly pouze kuličkou a ničím jiným. V případě, že se měřené součásti dotkne například dřík doteku, je nutno neprodleně zastavit průběh a upravit dráhy. Může se stát, že se reálná součást liší od 3D modelu natolik, že je nutné upravit dráhy a snímané body. měřená součást musí být dokonale očištěna, aby nečistoty nezpůsobily nepřesnosti měření.



Obr. 66. Měření roviny – poloha 2



Obr. 67. Měření díry – poloha 2





Obr. 68. Měření roviny – poloha 4



Obr. 69. Měření drážky – poloha 4

Po změření všech elementů a vyhodnocení všech charakteristik dokáže systém Calypso vygenerovat protokol o měření ve formátu PDF. Ve společnosti WOCO STV se tento protokol nepoužívá a je nahrazen interním protokolem ve formátu XLSX. Každý takový protokol má vyplněnou hlavičku, ve které se nachází jméno operátora, datum a čas měření, číslo součásti, název programu a počet měřených kusů. Bohužel pro tuto práci společnost WOCO STV neudělila souhlas se zveřejněním všech rozměrů a jejich hodnot. Proto jsem musel upravit protokol tak, aby byly skryty nominální hodnoty, a jsou viditelné pouze naměřené odchylky jednotlivých rozměrů.

Protokol o měření:

		Measurement report							
WOCO s.r.o. Javornice 2389 75011 Vavřín Czech republic 	Measurement Plan	Datum	Order	Report No.					
	Merena součást	27.3.20	Hrablova						
	Drawing No.	Time	Part No.	Remark					
	A0-000-001	15:19:01	1ks						
Operator	CMM								
Hrablova	Zeiss -Contura G2								
		NOK_U - Over Tol.		NOK_L - Under Tol.					
Characteristic	Actual	Nominal	Upper Tol	Lower Tol	Deviation	Part	Result	Over Tol.	Under Tol.
Pozice 1	0.0366	0	0.075	0			OK		
Pozice 2	0.0365	0	0.075	0			OK		
Pozice 3	0.0070	0	0.04	0			OK		
Pozice 4	0.0370	0	0.04	0			OK		
Pozice 5.1	-0.0037	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 5.2	-0.0031	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 5.3	-0.0026	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 5.4	-0.0047	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 5.5	0.0251	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 5.6	0.0716	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 5.7	0.0129	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 5.8	-0.0081	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 5.9	-0.0182	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 5.10	0.0033	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 5.11	-0.0080	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 5.12	0.0153	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 5.13	-0.0009	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 5.14	-0.0051	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 5.15	-0.0039	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 5.16	0.0121	0	0.15	-0.15			OK		
Pozice 6.1	0.0719	0	0.2	0			OK		
Pozice 6.2	0.0373	0	0.2	0			OK		
Pozice 6.3	0.2356	0	0.2	0			NOK_U	0.0356	
Pozice 6.4	0.1033	0	0.2	0			OK		
Pozice 6.5	0.1609	0	0.2	0			OK		
Pozice 6.6	0.1431	0	0.2	0			OK		
Pozice 6.7	0.2034	0	0.2	0			NOK_U	0.0034	
Pozice 6.8	0.2521	0	0.2	0			NOK_U	0.0521	
Pozice 6.9	0.1561	0	0.2	0			OK		
Pozice 6.10	0.1924	0	0.2	0			OK		
Pozice 6.11	0.1598	0	0.2	0			OK		
Pozice 6.12	0.1013	0	0.2	0			OK		
Pozice 6.13	0.1542	0	0.2	0			OK		
Pozice 6.14	0.0269	0	0.2	0			OK		
Pozice 7	0.0047	0	0.1	-0.1			OK		
Pozice 8	-0.0815	0	0.1	-0.1			OK		
Pozice 9	0.0367	0	0.1	-0.1			OK		
Pozice 10	0.0984	0	0.1	-0.1			OK		
Pozice 11	0.0422	0	0.054	0			OK		
Pozice 12	0.0278	0	0.04	0			OK		
Pozice 13	0.0066	0	0.1	0			OK		
Pozice 14	0.0420	0	0.05	0			OK		
Pozice 15	0.0896	0	0.2	0			OK		
Pozice 16	0.0163	0	0.1	0			OK		
Pozice 17	0.0110	0	0.05	-0.05			OK		
Pozice 18	0.2201	0	0.05	0			NOK_U	0.1701	
Pozice 19	0.3610	0	0.5	-0.5			OK		
Pozice 20	0.0525	0	0.1	0			OK		
Pozice 21	0.1124	0	0.4	0			OK		
Pozice 22.1	-0.0463	0	0.05	-0.05			OK		
Pozice 22.2	-0.0357	0	0.05	-0.05			OK		

1

Pozice 23.1	0,0418	0	0,05	0		OK		
Pozice 23.2	0,0371	0	0,05	0		OK		
Pozice 24	-0,0364	0	0,2	-0,2		OK		
Pozice 25.1	0,0827	0	0,2	0		OK		
Pozice 25.2	0,0792	0	0,2	0		OK		
Pozice 26.1	-0,0228	0	0,05	-0,05		OK		
Pozice 26.2	-0,0245	0	0,05	-0,05		OK		
Pozice 27.1	0,0134	0	0,1	0		OK		
Pozice 27.2	0,0234	0	0,1	0		OK		
Pozice 28.1	0,1194	0	0,05	0		NOK U	0,0694	
Pozice 28.2	0,0208	0	0,05	0		OK		
Pozice 29.1	0,0019	0	0,05	0		OK		
Pozice 29.2	0,0130	0	0,05	0		OK		
Pozice 30.1	0,0761	0	0,1	-0,1		OK		
Pozice 30.2	-0,0072	0	0,1	-0,1		OK		
Pozice 31.1	0,0897	0	0,2	0		OK		
Pozice 31.2	0,0726	0	0,2	0		OK		
Pozice 32	-0,0610	0	0,1	-0,1		OK		
Pozice 33	0,0577	0	0,1	-0,1		OK		
Pozice 34	0,1022	0	0,19	0		OK		
Pozice 35	0,1618	0	0,2	-0,2		OK		
Pozice 36	0,0812	0	0,2	-0,2		OK		

Po vygenerování měřicího protokolu bylo zjištěno, že hodnoty pozic 6.3, 6.7, 6.8, 18, 28.1 jsou vyšší, než dovoluje jejich tolerance.

Pozice číslo 6 je definována jako poloha umístění děr. Jelikož se jedná o polohu díry pro šroub a mohlo by dojít ke špatnému zašroubování protikusu, bylo nutné oslovit technologa ve výrobě. Po diskuzi s technologi bylo stanoveno, že odchylka není velká a šroub je v díře uložen s dostatečnou vůlí, která tuto odchylku zmírní. Není tedy nutné upravovat součást ani jinak měnit program.

Pozice číslo 18 je definována jako rovnoběžnost dvou ploch. Naměřená hodnota přesahuje maximální dovolenou hodnotu o 0,17mm. Zde bylo nutné změnit strategii vyhodnocení obou ploch. U obou ploch byly přidány snímané body na celkový počet 20 bodů na plochu a obě plochy důkladněji očištěny. Po opakovaném měření byla snížena odchylka na 0,08mm, což je 0,03mm přes toleranci. Po konzultaci s technologi tato pozice nevyžaduje další úpravy, protože se jedná o rovnoběžnost drážky, ve které je umístěno gumové těsnění a tato odchylka nemá vliv na těsnost měřeného dílu.

Poslední problémová pozice je pozice číslo 28. Ta je rovněž definována jako rovnoběžnost dvou ploch. Stejně jako u předchozí pozice byla tato odchylka konzultována s technologi a podobně jako u pozice 18 není třeba dalších změn. Také zde se jedná o rovnoběžnost drážky pro gumové těsnění a odchylka nemá vliv na konečnou funkčnost výrobku.

ZÁVĚR

Tato práce je zaměřena na problematiku 3D měření na souřadnicových strojích v praxi. Teoretická část je rozdělena na čtyři hlavní kapitoly. První kapitola obsahuje základní pojmy metrologie a samotného měření. Ve druhé kapitole jsou znázorněny základní geometrické elementy, které se hmotně využívají pro tvorbu měřicího programu. Třetí kapitola je zaměřena na čtení výkresové dokumentace. Zde jsou blíže popsány rozměrové tolerance a také jejich zapisování do výkresu. Dále jsou zde popsány geometrické tolerance tvaru, směru, házení a polohy. I u těchto tolerancí je popsáno jejich zapisování do výkresové dokumentace. Poslední kapitola je z celé teoretické části nejrozsáhlejší. Popisuje souřadnicové měřicí stroje. Zde je k nalezení využití těchto strojů a základní části jednotlivých strojů, které společně tvoří souřadnicový měřicí stroj. V této kapitole jsou dále popsány základní typy konstrukcí souřadnicových strojů a jejich využití v praxi. Dále jsou zde popsány druhy snímacích systémů, materiály a typy jednotlivých doteků.

Praktická část se zabývá především tvorbou měřicího programu. První kapitola praktické části pojednává o společnosti, v níž bylo měření prováděno. V další kapitole je blíže popsán stroj, pomocí kterého bylo měření realizováno. Jsou zde uvedeny podrobné informace o stroji Zeiss Contura G2, jako například jeho měřicí rozsah, hmotnost, maximální hmotnost výrobku nebo chyba měření. Kapitola se dále dělí na dvě podkapitoly. V jedné je popsána otočná polohovací hlava Zeiss RDS, která byla pro měření použita. Ve druhé podkapitole jsou uvedeny informace o spínacím systému VAST XXT, který byl rovněž použit pro měření dané součásti a který plní funkci jak spínacích tak i snímacích systémů. Následující kapitola je zaměřena na kalibraci jednotlivých doteků, které byly při měření použity. Zde je podrobněji uveden návod na kalibraci doteků a jejich poloh za pomoci kalibrační koule a doteku MasterProbe. V další kapitole jsou uvedeny informace o měřené součásti. Je zde výkresová dokumentace, 3D model, informace o způsobu výroby a všech dokončovacích metod pro výrobu měřené součásti. Poslední kapitola pojednává od samotné tvorbě měřicího programu dané součásti. Při tvorbě měřicího programu byl použit software Calypso. Samotné měření probíhalo na již zmíněném stroji Zeiss Contura G2. Prvním krokem bylo nutné definovat upnutí součásti tak, aby se součást při upínání nedeformovala a byla zajištěna automatizace měření. Po nalezení vhodného upnutí bylo potřeba definovat souřadný systém pro určení polohy dílu na stroji. Dalším krokem bylo definování bezpečnostního kvádru, který zajišťuje bezpečnou oblast v okolí součásti. Jakmile byly splněny výše uvedené podmínky, bylo možné definovat elementy, například kružnice, rovina, apod. Bez

elementů by nebylo možné jakéhokoliv měření, protože zajišťují kontakt doteku s měřenou součástí. Z elementů se dále vytváří charakteristiky, například průměr, délka, apod. Charakteristiky jsou důležité pro výstup z měření. Pomocí charakteristik se vytváří protokol s naměřenými hodnotami. Po naměření všech potřebných elementů a vytvoření všech charakteristik byl vygenerován protokol o měření s naměřenými hodnotami. Výsledky měření ukázaly, že měřená součást je na několika pozicích mimo toleranci. Všechny tyto odchylky byly konzultovány s technologem, který stanovil, že naměřené odchylky jsou minimální a na výslednou funkci součásti a celé soustavy nemají vliv. Nebylo tedy nutné nijak upravovat program ani výkres součásti.

Z ekonomického hlediska je velmi důležité, aby měření trvalo co nejkratší dobu, a zároveň bylo objektivní. Dobu měření lze optimalizovat několika způsoby. Nejčastěji se měření optimalizuje zkrácením drah odjezdů, lepším uspořádáním elementů tak, aby nedocházelo k zbytečně dalekým přejezdům mezi elementy. Dále pak vhodnou konstrukcí přípravku pro upínání a omezením zbytečných výměn nástroje. Někdy také dochází k optimalizaci měření tím způsobem, že se změří pouze funkční rozměry. V tomto případě se doba potřebná na změření jednoho kusu několikanásobně zkrátí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] TŮMOVÁ, Olga. Metrologie a hodnocení procesů. 1. Vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 232 s. ISBN 978-80-7300-249-7.
- [2] ŠINDELÁŘ, Václav. Mezinárodní metrologický slovník: informativní český překlad. Přeložil Zdeněk TŮMA. Praha: Ústav pro normalizaci a měření, 1985.
- [3] POKORNÝ, Přemysl. *Souřadnicové měřicí stroje*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1998. ISBN 80-7083-326-2.
- [4] ČEPOVÁ, Lenka a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch: studijní opora*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011. ISBN 978-80-248-2514-4.
- [5] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie, část 1*. VŠB – TU Ostrava, fakulta strojírení, 2004, 110s.
- [6] KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. *Technické kreslení. 2., opr. vyd.* Brno: Computer Press, 2007. Učebnice (Computer Press). ISBN 978-80-251-1887-0.
- [7] HANSEN, H.N., K. CARNEIRO, H. HAITJEMA a L. DE CHIFFRE. Dimensional Micro and Nano Metrology. *CIRP Annals* [online]. 2006, 55(2), 721-743 [cit. 2020-01-04]. DOI: 10.1016/j.cirp.2006.10.005. ISSN 00078506. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1660277306000065>
- [8] WECKENMANN, A, G PEGGS a J HOFFMANN. Probing systems for dimensional micro- and nano-metrology. *Measurement Science and Technology* [online]. 2006, 17(3), 504-509 [cit. 2020-01-09]. DOI: 10.1088/0957-0233/17/3/S08. ISSN 0957-0233. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/0957-0233/17/i=3/a=S08?key=crossref.6793f6b3a8fa45322074db69ca2b57c4>
- [9] HANSEN, Hans Norgaard, Guido TOSELLO, Stefania GASPARIN a Leonardo De CHIFFRE. Dimensional metrology for process and part quality control in micro manufacturing. *International Journal of Precision Technology* [online]. 2011, 2(2/3) [cit. 2020-03-02]. DOI: 10.1504/IJPTECH.2011.039455. ISSN 1755-2060. Dostupné z: <http://www.inderscience.com/link.php?id=39455>

- [10] Computer-Aided Metrology-CAM. GROUS, Ammar. *Applied Metrology for Manufacturing Engineering* [online]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2011, 2013-03-07, s. 395-452 [cit. 2020-03-02]. DOI: 10.1002/9781118622551.ch7. ISBN 9781118622551. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/9781118622551.ch7>
- [11] SWORNOWSKI, Pawel J. High-Speed Scanning of Critical Structures in Aviation Using Coordinate Measurement Machine and the Laser Ultrasonic. *Scanning* [online]. 2012, 34(6), 387-394 [cit. 2020-03-02]. DOI: 10.1002/sca.21021. ISSN 01610457. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/sca.21021>
- [12] ZAIMOVIC-UZUNOVIC, Nermina, Samir LEMES, Dzenana TOMASEVIC a Josip KACMARCIK. Flatness Measurement on a Coordinate Measuring Machine. KARABEGOVIĆ, Isak, ed. *New Technologies, Development and Application II* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2020, 2020-04-24, s. 165-172 [cit. 2020-03-02]. Lecture Notes in Networks and Systems. DOI: 10.1007/978-3-030-18072-0_19. ISBN 978-3-030-18071-3. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-18072-0_19
- [13] BREZINA, I. Coordinate measuring machines and systems. *Measurement* [online]. 1997, 20(4) [cit. 2020-03-02]. DOI: 10.1016/S0263-2241(97)00037-7. ISSN 02632241. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263224197000377>
- [14] <https://www.renishaw.cz/cs/spinaci-dotekove-sondy--6652>
- [15] <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/senzory/vast-xt-gold.html>
- [16] http://www.sossoukyjov.cz/data/file/Technicka_dokumentace/VY_32_INOVACE_2b/VY_32_INOVACE_2b08.pdf
- [17] <http://www.mitcalc.com/doc/tolerances/help/cz/tolerances.htm>
- [18] <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/systemy/bridge-type-cmms/contura.html>
- [19] <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/senzory/vast-xxt.html>
- [20] <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/senzory/rds.html>
- [21] GRÍGEROVÁ, Tatiana, Ivan LUKÁČ a Rudolf KOŘENÝ. Zlívárenstvo neželezných kovov. Bratislava: Alfa, 1988. Edícia hutníckej literatúry.
- [22] LEIS, W.: Giessen im CCT. Symposium 2003. Aalen, 2003

- [23] ČECH, J., BAŘINOVA, D., ZEMČIK, L. Experimental and simulated evaluation of the quality of pressure and squeeze castings. ARCHIVES OF FOUNDRY 2002. Katowice, Poland, 2002, str.25 - 33.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SMS	Souřadnicový měřicí stroj
ISO	International Organization of Standardization
CAM	Computer Aided Machine
CAD	Computer Aided Design
3D	Three Dimensional space (trojrozměrný prostor)
MPa	Megapascal
d	Průměr

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Bod</i>	13
<i>Obr. 2. Rovina</i>	13
<i>Obr. 3. Přímka</i>	14
<i>Obr. 4. Kružnice</i>	14
<i>Obr. 5. Koule</i>	15
<i>Obr. 6. Válec</i>	15
<i>Obr. 7. Kužel</i>	16
<i>Obr. 8. Toleranční pole [16]</i>	18
<i>Obr. 9. Mezní úchylky [6]</i>	19
<i>Obr. 10. Mezní rozměry [6]</i>	19
<i>Obr. 11. Toleranční značky [6]</i>	19
<i>Obr. 12. Geometrické tolerance [6]</i>	20
<i>Obr. 13. Zapisování geometrických tolerancí [6]</i>	20
<i>Obr. 14. Souřadnicový měřicí stroj [4]</i>	22
<i>Obr. 15. Mostový typ [3]</i>	24
<i>Obr. 16. Výložníkový typ [3]</i>	24
<i>Obr. 17. Portálový typ [3]</i>	25
<i>Obr. 18. Stojanový typ [3]</i>	25
<i>Obr. 19. Snímací senzory [15]</i>	27
<i>Obr. 20. Spínací senzor [14]</i>	27
<i>Obr. 21. Měřicí dotek [4]</i>	28
<i>Obr. 22. Měřicí kuličky [4]</i>	29
<i>Obr. 23. Typy dříků [4]</i>	30
<i>Obr. 24. Typy doteků [14]</i>	31
<i>Obr. 25. ZEISS CONTURA G2 [18]</i>	35
<i>Obr. 26. Polohovací hlava Zeiss RDS[20]</i>	36
<i>Obr. 27. Spínací senzor VAST XXT[19]</i>	37
<i>Obr. 28. Kalibrační koule</i>	38
<i>Obr. 29. Nastavení polohy koule</i>	39
<i>Obr. 30. Snímané body a hodnota tvaru koule</i>	39
<i>Obr. 31. Upnutí snímače</i>	40
<i>Obr. 32. Rekalibrace</i>	40

<i>Obr. 33. Výsledek kalibrace</i>	41
<i>Obr. 34. Kalibrace polohy č.2</i>	42
<i>Obr. 35. Kalibrace polohy č.4</i>	42
<i>Obr. 36. Měřená součást</i>	43
<i>Obr. 37. Motor Audi SQ7 4.0 V8</i>	43
<i>Obr. 38. Vysokotlaké lití</i>	45
<i>Obr. 39. Upnutí součásti</i>	47
<i>Obr. 40. Upnutí součásti</i>	48
<i>Obr. 41. Prostředí programu Calypso</i>	49
<i>Obr. 42. Vložení CAD modelu</i>	49
<i>Obr. 43. Souřadný systém</i>	50
<i>Obr. 44. Otočení souřadného systému</i>	51
<i>Obr. 45. Bezpečnostní kvádr</i>	52
<i>Obr. 46. Konstrukce elementu ze stromu</i>	53
<i>Obr. 47. Konstrukce elementu z 3D modelu</i>	53
<i>Obr. 48. Konstrukce roviny A</i>	54
<i>Obr. 49. Konstrukce kružnice</i>	55
<i>Obr. 50. Úprava dráhy kružnice</i>	55
<i>Obr. 51. Konstrukce válce</i>	56
<i>Obr. 52. Rovina s odjezdy</i>	57
<i>Obr. 53. Konstrukce závitů</i>	58
<i>Obr. 54. Měření úhlu pomocí přímky</i>	59
<i>Obr. 55. Tvorba kolmice</i>	60
<i>Obr. 56. Příkaz „Symetrie“</i>	60
<i>Obr. 57. Rozměry - Standardy</i>	61
<i>Obr. 58. Rozměry - Vzdálenosti</i>	62
<i>Obr. 59. Tvar a poloha</i>	62
<i>Obr. 60. Průměr</i>	63
<i>Obr. 61. Rovnoběžnost</i>	64
<i>Obr. 62. Rovinnost</i>	64
<i>Obr. 63. Kolmost</i>	65
<i>Obr. 64. Poloha děr</i>	66
<i>Obr. 65. Souřadný systém 2</i>	67

<i>Obr. 66. Měření roviny – poloha 2</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 67. Měření díry – poloha 2</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 68. Měření roviny – poloha 4</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 69. Měření drážky – poloha 4</i>	<i>70</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 – Stupně přesnosti IT</i>	17
--	----

SEZNAM PŘÍLOH

PI Výkresová dokumentace