

Problematika 3D měření

Roman Novotný

Bakalářská práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Roman Novotný**
Osobní číslo: **T15127**
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Technologická zařízení**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Problematika 3D měření**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte rešerši na dané téma (přehled měřící techniky, výrobní profil firmy)
2. Vypracujte výrobní postup pro konkrétní dílce využitím 3D měřící techniky:
3. výkresová dokumentace dílce, 3D model
4. výroba prototypu
5. kontrolní 3D měření (přípravky, program, kalibrace...)
6. korekce chyb, srovnání s matematickým modelem
7. výstupní kontrola

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Libuše Sýkorová, Ph.D.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

2. ledna 2017

Termín odevzdání bakalářské práce:

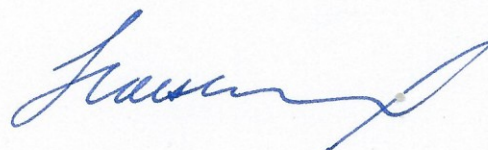
19. května 2017

Ve Zlíně dne 26. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, 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 ¹⁾;
- 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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ 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 ³⁾ 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 19.5.2017

.....

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

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

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

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

²⁾ *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 vzdělávacího zařízení (školní dílo).*

³⁾ *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 problematikou 3D měření, s důrazem především na měření ve strojírenské výrobě. Teoretická část je zaměřena na popis měřicí techniky a přiblížení principu jakým daná technika funguje. Cílem praktické části je ukázat, jak je 3D měření zapojeno do celého procesu výroby konkrétních výrobků ve společnosti zabývající se strojní výrobou.

Klíčová slova: 3D, měření, strojírenství, souřadnicový stroj, metrologie, výroba

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on the topic of 3D measuring, with special emphasis on measuring within engineering production. The theoretical part is focused on the description of the measuring technology and elaborates on the principles on which the technology operates. The aim of the practical part is to present how 3D measuring may enhance the production process of particular products in an engineering company.

Keywords: 3D, Engineering, Measuring, Coordinate Machine, Metrology, Production

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval své vedoucí bakalářské práce, paní doc. Ing. Libuši Sýkorové, Ph.D. za její ochotu a cenné rady. Firmě FlowTech, že mi umožnila provést všechna potřebná měření pro tvorbu této práce. A také panu Ing. Vlastimilu Adámkovi za odborné konzultace z oblasti 3D měření.

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

Ve Zlíně, dne 19. 5. 2017

.....

Podpis

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 SOUŘADNICOVÉ MĚŘÍCÍ STROJE	12
1.1 TYPY KONSTRUKCÍ CMM.....	14
1.1.1 Stojanový (sloupový) typ	14
1.1.2 Výložníkový typ	14
1.1.3 Portálový typ	15
1.1.4 Mostový typ	15
1.2 PRVKY MECHANICKÉHO SYSTÉMU.....	16
1.3 ODMĚŘOVACÍ SYSTÉMY CMM	17
1.3.1 Závitový hřídel s úhlovým převodníkem.....	18
1.3.2 Lineární induktošyn.....	18
1.3.3 Inkrementální délková stupnice.....	18
1.3.4 Laserinterferometr	18
1.4 SNÍMACÍ SYSTÉM CMM.....	19
1.4.1 Bezdotykové snímací systémy	19
1.4.2 Dotykové snímací systémy	19
1.4.3 Měřící dotek	20
1.5 ŘÍDICÍ SYSTÉM	22
1.6 PRINCIP MĚŘENÍ	22
1.7 CHYBY OVLIVŇUJÍCÍ PŘESNOST MĚŘENÍ	26
2 3D SKENERY	28
2.1 OPTICKÉ SKENERY.....	28
2.2 LASEROVÉ SKENERY.....	29
2.3 MECHANICKÉ 3D SKENERY.....	30
2.4 DESTRUKTIVNÍ 3D SKENERY.....	31
2.5 ULTRAZVUKOVÉ 3D SKENERY	31
3 POČÍTAČOVÁ TOMOGRAFIE – METROTOMOGRAFIE.....	32
3.1 PRINCIP MĚŘENÍ A ZÍSKÁVÁNÍ DAT.....	32
3.2 MOŽNOSTI VYUŽITÍ METROTOMOGRAFIE.....	33
II PRAKTICKÁ ČÁST	34
4 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI	35
5 SPOLEČNOST FLOWTECH	36
6 MĚŘÍCÍ STROJ WENZEL LH 87	39
7 3D MĚŘENÍ V PRAXI	40
7.1 KALIBRACE MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ	41
7.2 MĚŘÍCÍ PROGRAM.....	42
7.3 SOUČÁST 1 – DORAZ	42
7.3.1 Výrobní postup.....	43
7.3.2 Průběh měření	44
7.3.3 Textový výstup měření Součásti 1	46

7.4	SOUČÁST 2 – DESKA.....	48
7.4.1	Výrobní postup.....	48
7.4.2	Průběh měření	49
7.4.3	Textový výstup měření Součásti 2	50
7.5	SOUČÁST 3 – SKLÍČIDLO.....	53
7.5.1	Výrobní postup.....	54
7.5.2	Průběh měření	55
7.5.3	Textový výstup měření Součásti 3	56
7.5.4	Textový výstup druhého měření Součásti 3	59
	ZÁVĚR.....	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	64
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	66
	SEZNAM PŘÍLOH	68

ÚVOD

3D měření hraje důležitou úlohu zejména v odvětvích jako je strojírenství, automobilový a letecký průmysl, zdravotnictví, výzkum, výroba elektroniky, plastů, papíru aj. Jeho prostřednictvím můžeme dostat přesné, celistvé informace o neznámých parametrech měřených objektů, jako např. shodnost výrobků s výrobní dokumentací, nebo rozměry úplně neznámých předmětů, to vše v poměrně krátkém čase. Možnost 3D měření přímo ve firmách zajišťuje vyšší produktivitu a kvalitu výroby a tím se zvyšuje jejich konkurenceschopnost. V této práci bude pozornost věnována hlavně 3D měření ve strojírenské výrobě. Dnes je jeho neodmyslitelnou součástí, a to jak ve výrobě kusové, tak sériové. My se konkrétněji zaměříme na mezioperační a výstupní kontrolu výrobků ve společnosti FlowTech s.r.o., která se zabývá zejména kusovou, případně opakovanou zakázkovou výrobou se zaměřením především na automotive.

Samotné měření provádíme především na souřadnicových měřících strojích (CMM – Coordinate Measuring Machine), práci s nimi bude také v této práci věnována největší pozornost. Dalšími způsoby jakými můžeme měření provést je použití 3D skenerů nebo počítačových tomografií. Jedná se o zařízení pro zachycení rozměrů, tvarů a textur objektů a následné převedení jejich podoby do digitálního modelu pro další zpracování v počítači. Tyto stroje patří k nejrychleji rozvíjejícím se oblastem strojírenské techniky. Použití konvenčních měřidel je ve velmi omezených případech také možné, z hlediska měřicího času a přesnosti měření však není výhodné, zejména pak u tvarově složitějších součástí. Podrobnějšímu popisu měřicí techniky pro 3D měření a práci s ní se budeme věnovat v první, teoretické části této bakalářské práce. Ve druhé, praktické části se budeme zabývat výrobou součástek dle výkresové dokumentace a především kontrolou kvality zhotovení těchto výrobků. Prostřednictvím souřadnicového měřicího stroje proměříme vyrobené součásti, především jejich tolerované rozměry a následně vyhodnotíme, s jakou přesností byly součástky zhotoveny. Výsledky měření porovnááme s výkresovou dokumentací prostřednictvím měřicího protokolu, ve kterém jsou uvedeny informace jako jmenovitá hodnota rozměru, tolerovaná odchylka, fakticky naměřená hodnota daného rozměru a případně číselná hodnota odchylky od tolerance. Tento protokol by měl být vždy jakýmsi závazným výsledkem celého procesu měření. V případě, že se výsledky měření nebudou shodovat s hodnotami uvedenými ve výsledkové dokumentaci, poskytneme zpětnou vazbu do výroby v podobě prezentace výsledků měření a návrhu možného opatření.

I. TEORETICKÁ ČÁST

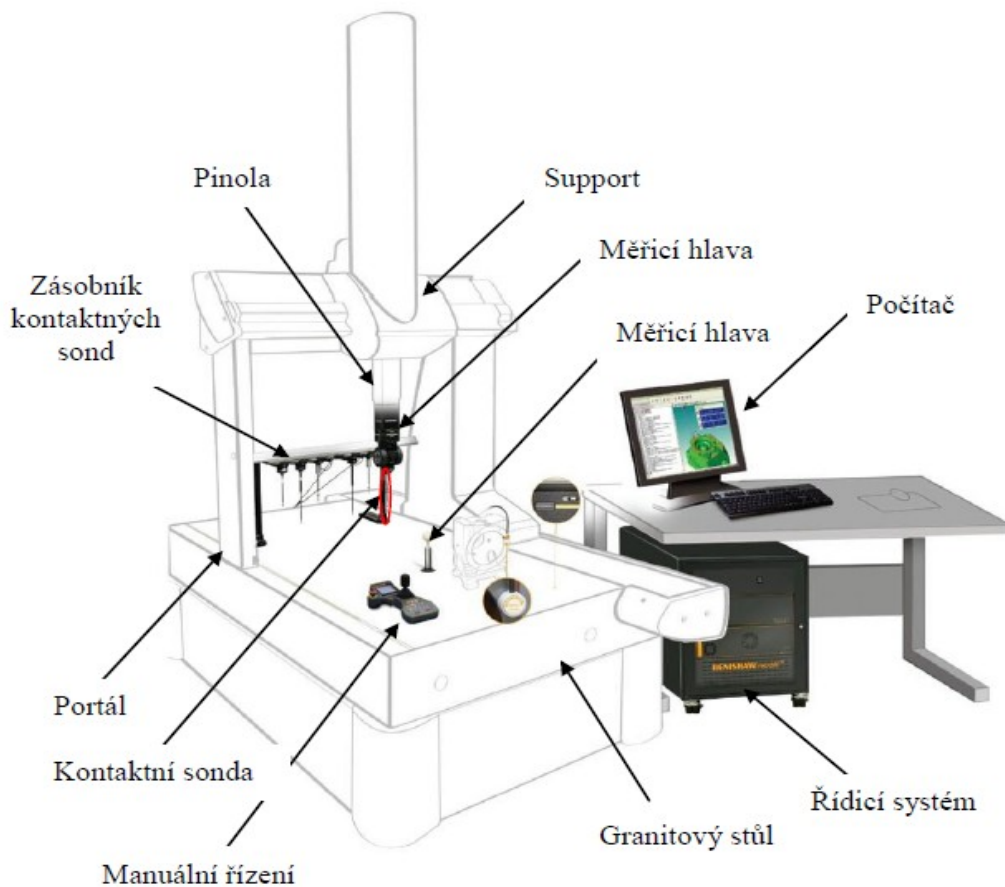
1 SOUŘADNICOVÉ MĚŘÍCÍ STROJE

Díky své flexibilitě umožňují rychlou a hlavně přesnou kontrolu jednoduchých i tvarově složitých výrobků, a tím přispívají k zabezpečení kvality výroby a konkurenceschopnosti produktů. Jejich zavedení je jednou z nejvýznamnějších inovací v oblasti měření a souvisí právě se zpřesňováním a zrychlováním výroby, se kterým musí měřicí resp. kontrolní technika držet krok. K nejvýznamnějšímu rozmachu souřadnicových měřících strojů došlo v šedesátých letech 20. století, s tím jak se mikroprocesory začaly prosazovat v počítačových technologiích. V kombinaci s počítačovými schopnostmi zpracování dat jsou tyto měřicí systémy využívány nejvhodnějším a nejefektivnějším způsobem. Jejich první nasazení bylo omezeno pouze na metrologická střediska a laboratoře. Poměrně rychle se však začaly prosazovat v dílenském prostředí. S tímto přechodem museli výrobci řešit řadu nových problémů, zapříčiněných nepříznivými dílenskými podmínkami, jako je kolísání teploty či chvění. Princip souřadnicového měření spočívá ve stanovení základního bodu v prostoru, vůči kterému vyhodnocujeme polohu dalších bodů na měřené součásti formou souřadnicových rozměrů v kartézské soustavě souřadnic (osy X, Y, Z). Možnost určení základního bodu v kterémkoliv místě pracovního prostoru měřícího stroje je velkou výhodou oproti tradičním metodám. Díky číslicovému způsobu vyhodnocování výsledků je oproti konvenčním způsobům výrazně ulehčeno zdlouhavé odečítání naměřených hodnot z drobných stupnic měřidel. CMM redukuje dobu trvání kontroly o 80-90%.

Souřadnicové měřicí stroje jsou počítačem kontrolované zařízení, které mají složitý měřicí systém a jsou schopny měřit jak v rovině, tak v prostoru dané souřadné soustavy - souřadný systém přístroje, souřadný systém součástky. V dnešní době existuje několik odlišných druhů těchto strojů od řady různých výrobců. Liší se zejména různými stupni automatizace a konstrukčním uspořádáním stroje. Hlavně v závislosti na rozměrech měřených výrobků, nebo s ohledem na přesnost a způsob použití. [1][2]

Každé CMM se skládá z dílčích, vzájemně propojených subsystémů:

- Pohonný systém (mechanická část)
- Odměřovací systém
- Snímací systém (včetně systému pro výměnu snímačů)
- Řídicí systém
- Počítač
- Software



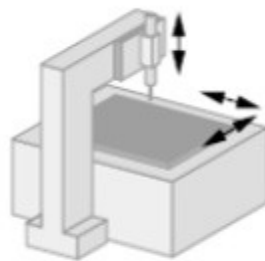
Obrázek 1 – Popis souřadnicového měřicího stroje a jeho částí [2]

1.1 Typy konstrukcí CMM

CMM rozdělujeme podle čtyř základních geometrických uspořádání: [1][2]

1.1.1 Stojanový (sloupový) typ

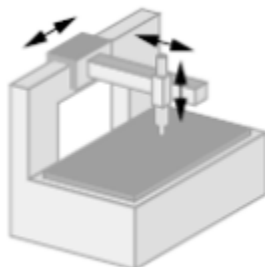
Stroje tohoto typu se vyznačují vysokou přesností v důsledku tuhé konstrukce. Jsou vhodné pro menší rozsahy měření. Výhodou je dobrý přístup k měřenému předmětu. Ten se upíná na stůl, který se pohybuje ve směru osy „x“ a „y“ a měřící pinola se pohybuje ve směru osy „z“. [1] [2]



Obrázek 2 – Stojanový typ CMM [2]

1.1.2 Výložníkový typ

Výložníkový typ měřících strojů je vhodný zejména pro kontrolu dlouhých, úzkých součástí. Dostupnost měřených předmětů je také dobrá. Na rozdíl od stojanového typu se součást upíná na pevný stůl a pohyb ve všech třech osách zajišťuje pinola na výložníku. V ose „y“ se mění vyložení pinoly od vodící plochy – nutnost vyvažování. Z důvodu tuhosti bývá tato osa poměrně krátká. [2]

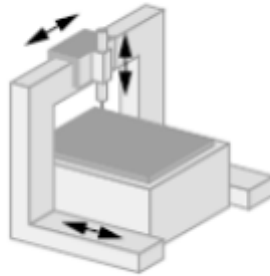


Obrázek 3 – Výložníkový typ CMM [2]

1.1.3 Portálový typ

Jeden z nejrozšířenějších typů CMM pro střední a větší rozsahy měření. Vyznačují se velkou tuhostí, a díky tomu i vysokou přesností. Vyrábí se ve dvojitým provedení:

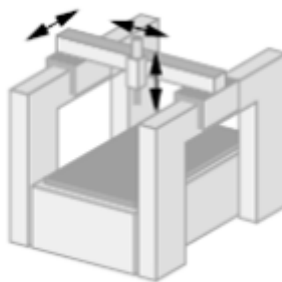
- S pohyblivým portálem – portál se pohybuje nad pevným stolem
- S pevným portálem – stůl se pohybuje ve směru podélné vodorovné osy [2]



Obrázek 4 – Portálový typ CMM [2]

1.1.4 Mostový typ

Je charakteristický svým velkým měřicím rozsahem. Umožňuje měření nadrozměrných výrobků při dodržení vysoké přesnosti měření. Využití nalézá hlavně v automobilovém a leteckém průmyslu. [2]



Obrázek 5 – Mostový typ CMM [2]

Další typy konstrukcí jsou voleny s ohledem na hmotnost měřených těles:

- s pohyblivým stolem
- s pevným stolem
- s pevnou deskou v úrovni podlahy

1.2 Prvky mechanického systému

Rám – jedná se o svařovanou nebo odlitou konstrukci co největší tuhosti (nese ostatní části mechanického systému). U mostových typů je rám nahrazen deskou v podlaze.

Stůl (pracovní deska) – nejčastěji se vyrábí z umělého kamene (granit), přírodního kamene (žula), případně z litinového odlitku. Je ustaven na čtyřech podpěrách. Horní plocha stolu je broušená (vysoké požadavky na rovinnost funkčních ploch). V pracovní ploše jsou otvory se závity, které pomocí šroubů, upínek a upínacích přípravků slouží k upevnění měřených dílců. K vlastnostem materiálu, které jsou vyžadovány patří:

- Vysoká životnost
- Objemová stálost
- Minimální tepelná roztažnost
- Odolnost proti korozi
- Možnost opravy při případném poškození

Most – složená uzavřená konstrukce, jejíž stojiny tvoří normované profily (ČSN 42 6936). Překlad mostu tvoří vedení příčných saní.

Pinola – tyč profilu H, vyrobena buď z duralu nebo litiny, případně z přírodního kamene či keramiky. Může být navrhována ve vertikálním nebo horizontálním provedení. Horizontální pinola musí být navíc opatřena vyvažovacím mechanismem, který minimalizuje chyby způsobené rozdílnou délkou vysunutí pinoly. Ty jsou způsobeny ohybovým namáháním od vlastní hmotnosti.

Sloupy, mostní konstrukce, portály – většinou bývají provedeny jako svařence. Důraz je kladen na dostatečnou tuhost, rozměrovou a tvarovou stálost.

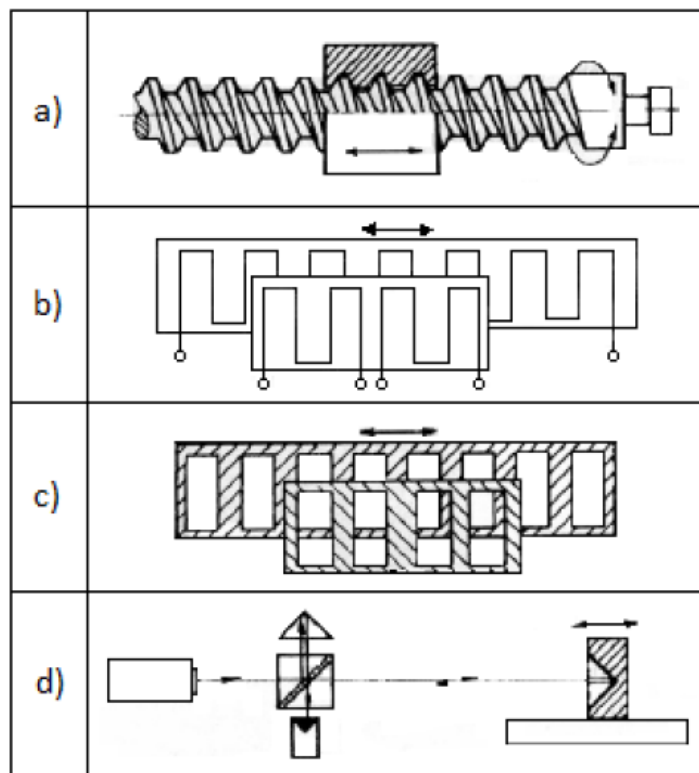
Vedení – u CMM je konstrukce pohyblivých částí provedena tak, aby pohyblivé části mohly lehce realizovat plynulý pohyb bez trhání s maximální přesností i při minimálních rychlostech, které jsou v koncových polohách. Je nezbytné, aby při posuvu pohyblivých částí na vedení docházelo k co nejmenšímu tření a minimálnímu opotřebení. Z těchto důvodů se dnes téměř nepoužívají *kluzná* vedení. Jejich nevýhodou je větší složitost provedení, což vede k prodražení měřicích strojů. Dále pak nutnost mazání – problémy se svodem oleje, jeho těsněním a odvodem tepla. Vhodnější a také častěji používané je uložení na *aerostatickém* vedení s plynným třením. Výhodou je, že je zde potlačen vliv nepřesnosti povrchu, pak také velmi malé tření i za vysokých rychlostí a při absenci maziva. Nedostatkem je

možnost poškození vedení při porušení vrstvy vzduchu, snížená odolnost proti korozi. Obtíže jsou i s čištěním vzduchu. Dalším vhodným vedením, které se hojně využívá, je vedení *valivé*. Pohyb bývá vykonáván za pomoci kuliček nebo válečků. Výhodou jejího použití je velmi malé tření a rovnoměrnost pohybu. Přítomnost maziv nemá praktický vliv na přesnost pohybů a jeho základním účelem je ochrana proti korozi. K nedostatkům valivých vedení patří složitost jejich přesného zhotovení. [1][2]

1.3 Odměrovací systémy CMM

Díky odměrovacím systémům, které tvoří základ měření na souřadnicových strojích, můžeme získat souřadnice nasnímaných bodů v kartézských či polárních souřadnicích v numerickém nebo analogovém tvaru. Do jisté míry ovlivňují výslednou přesnost měření. Podle charakteru předávaných informací máme systém s přírůstkovým, s absolutním nebo s cyklicky absolutním odměřováním. U CMM se nejčastěji používají tyto systémy:

- a) Závitový hřídel s úhlovým převodníkem
- b) Lineární induktosyn
- c) Inkrementální délková stupnice
- d) Laserinterferometr [1][2]



Obrázek 6 – Odměrovací systémy CMM [2]

1.3.1 Závitový hřídel s úhlovým převodníkem

Hřídel se závitem, který má lichoběžníkový profil a malé stoupání. Kvůli zajištění tepelné stability bývají uloženy v olejové lázni. Úhlový převodník má rozlišitelnost 1“. Nevýhodou je chyba reverzibility, způsobená vůlí mezi šroubem a maticí – mrtvý chod při změně směru posuvu. [1][2]

1.3.2 Lineární induktoš

Jedná se o fázové odměřovací zařízení, které předává informaci o poloze, kde se nachází, řídicímu systému spojenému s ovládaným strojem. Základní měřítko je tvořeno vodičem napájeným střídavým proudem. Ten je přichycen k izolační vrstvě na kovovou základnu. Po tomto základu se pohybuje jezdec se dvěma vodivými smyčkami obdobného tvaru. Na nich se indukují dvě napětí fázově posunutá o 90°. Při pohybu jezdce po základním měřítku vznikne přibližně sinusový průběh, jehož interpolací vychází odměřovací krok 1 μm . Výhodou induktošy je jeho odolnost, nevyžaduje přitom zvláštní údržbu. Nevýhodou však je složitá a nákladná výroba. [1][2]

1.3.3 Inkrementální délková stupnice

Mezi souřadnicovými měřicími stroji jde o nejrozšířenější odměřovací systém. Na kovový nebo skleněný podklad je nanášena základní stupnice tak, že se střídají pole propouštějící a nepropouštějící světlo. Po podkladu se pohybuje jezdec, který má čtyři světelně propustná pole, z nichž dvě jsou posunuta o čtvrtinu rozteče. Tento systém umožňuje dosahovat rozlišitelnosti 1 μm . Natočíme-li však jezdce o nepatrný úhel vůči základní stupnici, můžeme dosáhnout rozlišitelnosti 0,1 μm . Pohyb obrazce je převeden na elektrické signály. Výhodou je snadná kalibrace. [1][2]

1.3.4 Laserinterferometr

Jedná se o jen zřídka používané zařízení u CMM. Používá se spíše pro kontrolu jejich přesnosti. Laserinterferometry jsou poměrně drahá a velmi citlivá zařízení s rozlišitelností až 0,01 μm . [1][2]

1.4 Snímací systém CMM

Jak vyplývá již z názvu, jde o systém, který slouží k nasnímání bodů v pracovním prostoru stroje. Ovlivňuje přesnost a možnost automatizace měření. Snímací systém je se zbytkem stroje spojený pinolou. Snímací systémy rozdělujeme jako:

- *Bezdotykové snímací systémy*
- *Dotykové snímací systémy:* a) sonda spínacího typu
b) sonda snímacího typu

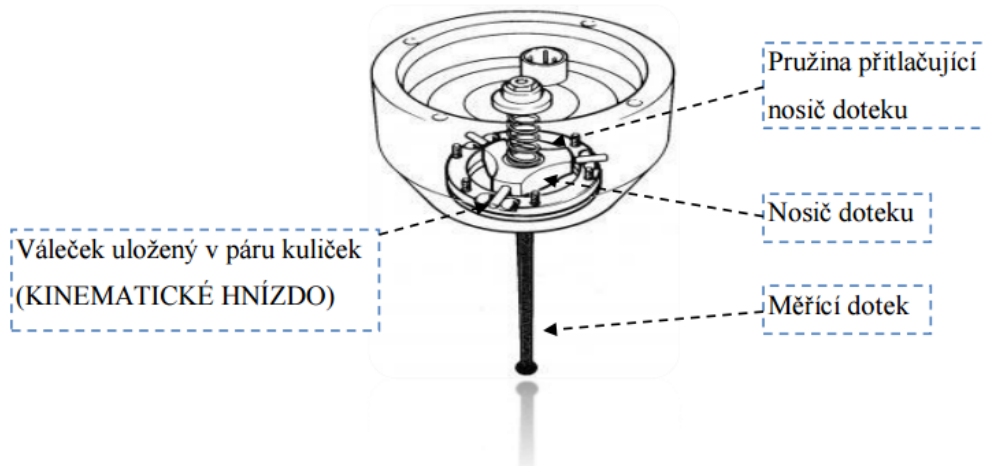
1.4.1 Bezdotykové snímací systémy

CMM s bezdotykovým snímáním se vyrábí jen zřídka. Bezdotykové snímače nevyžadují přímý fyzický kontakt s povrchem dílce. Mezi jejich největší výhody patří menší časová náročnost měření a lepší schopnost vytvoření hustší sítě bodů v obtížně přístupných místech. Využívají různé fyzikální principy snímání. Klasickým představitelem těchto systémů jsou optické systémy. Jsou využívány zejména pro snímání u automatických mikroskopů, které pracují v rovině jako dvouosé měřicí zařízení. Ve specifických aplikacích se také využívají systémy indukční, kapacitní, ultrazvukové, magnetické aj. Pro CMM byl vyvinut systém ve formě laserové měřicí hlavy, řádkové kamery nebo speciálního pneumatického snímače. Jejich nasazení se odvíjí od typu měřených předmětů. [1][2][4]

1.4.2 Dotykové snímací systémy

U souřadnicových strojů bývají dotykové snímací systémy využívány častěji než bezdotykové. Jejich společnou vlastností je, že pro získání informací o rozměrech dílce, je nezbytný fyzický kontakt měřicí hlavy a měřené součástky. V okamžiku nasnímání bodu, dá řídicí software povel k zaregistrování všech souřadnic, a po dokončení měření přepočítá nasnímané hodnoty na požadované veličiny (např. průměr kružnice, souřadnice středu, osová vzdálenost, apod.). [1][2][4]

Systém spínacího typu – funguje tak, že v okamžiku, kdy dojde ke kontaktu měřícího dotyku a měřeného kusu, sonda vydá zvukový signál, následuje okamžité zastavení pohybu a dojde k odečtení aktuálních souřadnic z odměřovacího systému stroje. Pomocí tohoto systému získáváme diskrétní hodnoty – není možné souřadnice snímat spojitě. [2][4][5]



Obrázek 7 – Spínací sonda [6]

Systém snímacího typu – z konstrukčního hlediska jsou složitější. Fungují tak, že snímací hlava pracuje v režimu, při kterém je v neustálém kontaktu s měřeným objektem. Řídicí systém dává povel k vypnutí přitlaku v okamžiku, kdy zaznamená kontakt hrotu a dílce, a následně vyšle povel k zapnutí pohonu pro příslušné osy. Tímto způsobem se zajistí stálý kontakt hrotu a měřeného dílce a umožní se měření v tzv. dynamickém režimu – možnost spojitého měření (kontrola složitějších tvarů). [1][2][5]

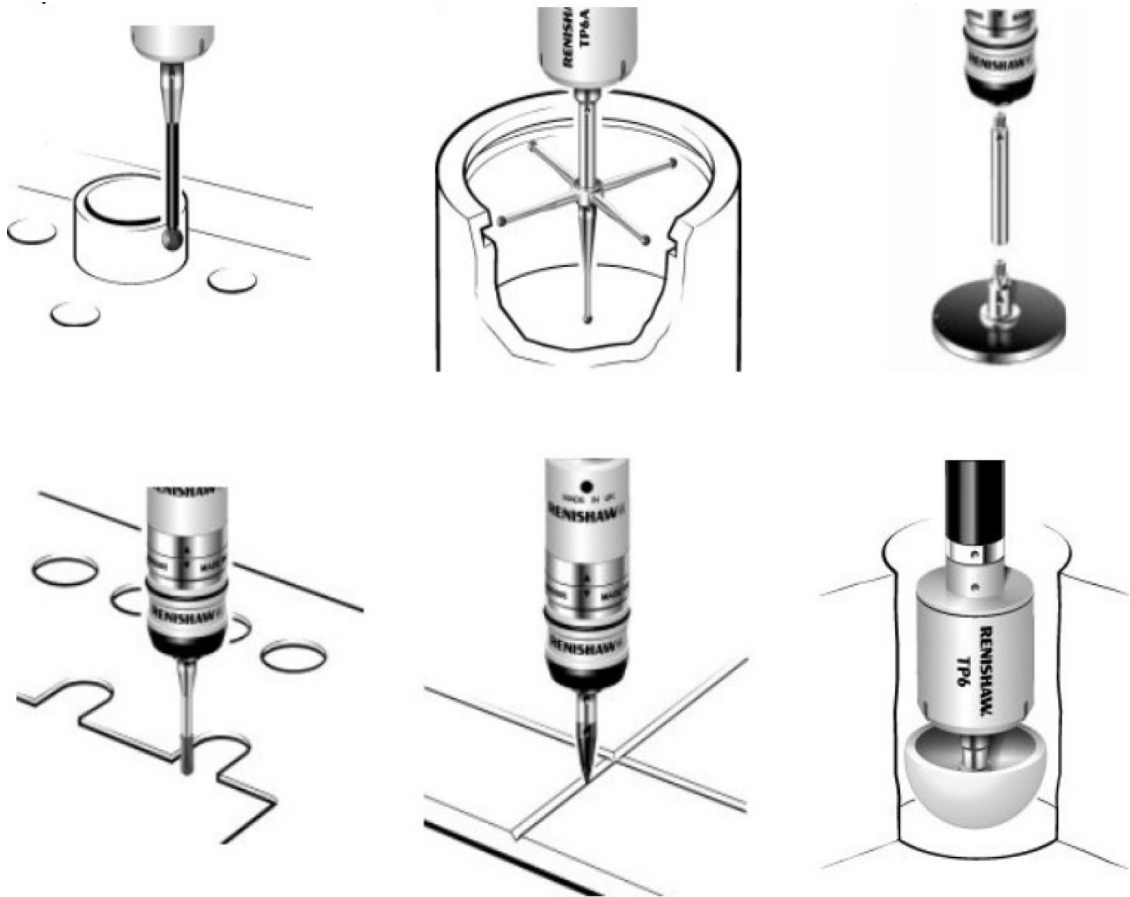
1.4.3 Měřící dotek

Jedná se o součást snímacího systému, který zprostředkovává kontakt mezi dílcem a měřícím strojem. Typ a rozměr dotyku závisí na měřeném prvku. Nejdůležitějšími vlastnostmi dotyku jsou jeho tuhost a jeho dokonalý tvar. Při samotném výběru měřícího dotyku, bychom měli volit dotek s co nejkratší stopkou (možnost průhybu), s co nejmenším počtem nástavců (zdroj nepřesnosti) a s co možná největší kuličkou či jiným tělesem (větší průměr stopky zajistí větší tuhost). Materiál, ze kterého bývá kulička nejčastěji vyrobena, je rubín, v jistých případech se využívá také nitrid křemíku, oxid zirkoničitý nebo diamant.

Ten svými vlastnostmi překonává ostatní materiály, jeho pořízení si ovšem nese své náklady. Stopky bývají vyrobeny z ocele, karbidu wolframu, keramiky či uhlíkových vláken.

Rozdělení měřících dotyků:

- Přímé – nejjednodušší tvar, použití u běžných měření, skládá se ze stopky a dokonalé kuličky
- Hvězdicové – mimo jiné umožňuje snímání složitých prvků nebo otvorů
- Diskové – používá se ke snímání zápchů, drážek apod.
- Dotyky pro speciální účely – válcový dotyk, špička, dutá polokoule aj. [1][2]



Obrázek 8 – Ukázka měřících dotyků [2]

1.5 Řídicí systém

Řídicí systém tvoří mozek celého CMM. Jeho úkolem je zejména koordinace pohybů pohyblivých částí stroje, jako jsou sonda, suport pinoly, pohyb mostu apod. Pohyb musí být zajištěn citlivě, plynule při konstantní síle měření. Při kontaktu měřicího dotyku musí být automaticky zastaven pohyb, systém odměří okamžité souřadnice bodu kontaktu. Mimo řízení pohybů stroje, zpracovává i údaje z měřících sond a formuluje výstupy před odesláním do měřicího softwaru.

Ovládání řídicích pohybů může být:

- Manuální – ovládání páčkami
- Manuální s podporou počítače (řídicího programu)
- Motorizované s podporou počítače (řídicího programu)
- Automatické (přímo kontrolované počítačem)

Podle způsobu vedení dotyku se způsoby řízení rozdělují:

- Řízení od bodu k bodu
- Dráhové řízení
- Tvarové řízení
- Vektorové řízení [2]

1.6 Princip měření

Základním krokem u souřadnicového měření je určení polohy snímaného bodu na povrchu součástky v měřicím prostoru stroje, tzn. stanovení jeho kartézských souřadnic. Tento bod můžeme například zvolit jako výchozí pro měření – počátek souřadného systému měřeného prvku. Vůči němu pak zjišťujeme polohu dalších nasnímaných bodů a geometrických prvků, které tvoří povrch součásti a další informace. Počítačová technika s využitím matematických závislostí generuje povrch součásti na základě nasnímaných bodů a zabezpečuje kontrolu obrobků. Vyhodnocení těchto parametrů je důležité v závislosti na dané konstrukční požadavky výrobků. Tvarové součásti, které nelze rozložit na základní geometrické prvky (přímka, kruhový oblouk, rovina, válcová plocha, kuželová plocha apod.), se zachycují pomocí vhodně volených bodů v minimálním počtu. Dalším způsobem jak proměřit tvarově složitou součást (karoserie automobilů, dutiny forem,

apod.) je spojitě snímání, při kterém měřicí hlava – speciální elektronické zařízení, neztratí kontakt s měřenou součástí. Reaguje na axiální nebo radiální vychýlení. [1][2]

Operátor měřicího stroje musí být dokonale seznámen s parametry a možností daného stroje. V průběhu měření by měl dodržovat několik základních zásad:

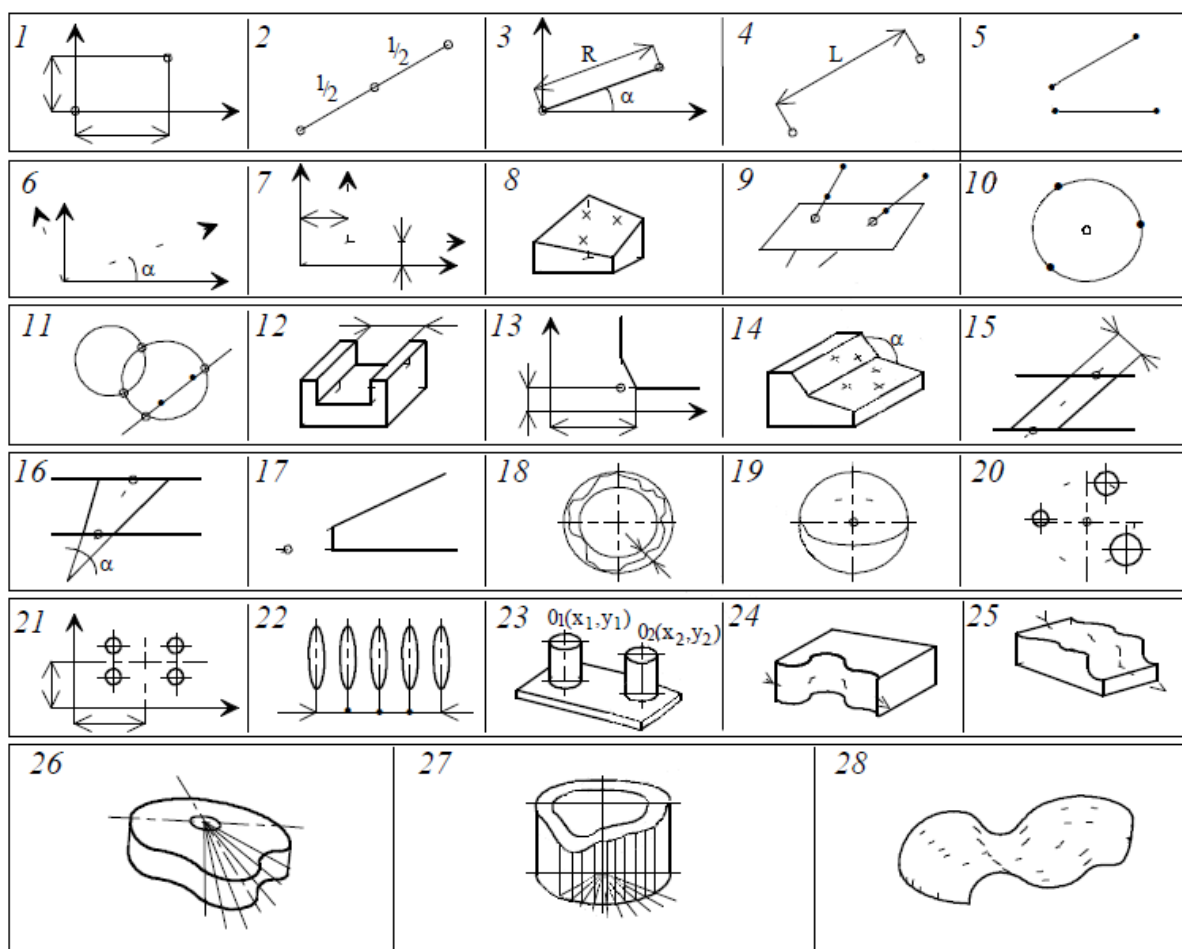
- Ustavení součásti musí být provedeno stabilním způsobem – na co možná největší plochu; zároveň musí jít součást proměřit v jedné poloze
- Měřicí základny by měly korespondovat s konstrukčními
- Je nezbytné v co největší možné míře slučovat měřicí operace
- Volba minimálního počtu měřících dotyků, avšak u větších elementů je vhodné provést o 2 až 3 dotyky více než vyžaduje geometrická definice
- Kruhové a kulové plochy je nutné snímat párovými dvojicemi – diagonálně
- Rozložení snímaných bodů má být rovnoměrné, nejlépe síťovým způsobem; zároveň musí jejich nasnímání trvat co nejkratší dobu
- Směr pohybu snímače před dotykem by měl souhlasit se směrem některé osy
- Body měřeného geometrického prvku je vhodné znázorňovat graficky, aby bylo možné vyloučit hrubé chyby

Postup měření:

- a) Prostudování výkresové dokumentace
- b) Sestavení plánu průběhu měření
- c) Navržení a zhotovení vyrovnání a ustavení objektu
- d) Určení souřadného systému – kartézský nebo polární
- e) Rozložení měřeného objektu na základní geometrické elementy
- f) Nasnímání potřebných bodů – automatický nebo ruční režim
- g) Vyhodnocení charakteristik geometrických elementů a vztahů mezi nimi
- h) Interpretace výsledků v měřicím protokolu [1][2]

Na základě polohy vybraných bodů se určují průsečíky osy symetrie, vzdálenosti, tvary a vzájemná poloha např. při těchto možnostech:

1. Souřadnice bodu v rovině, nebo v prostoru
2. Střed úsečky
3. Polární souřadnice bodu
4. Vzdálenost dvou bodů v obecné poloze
5. Průsečík dvou přímek
6. Poloha pootočené souřadnicové soustavy
7. Poloha posunuté souřadnicové soustavy
8. Obecná poloha roviny dané třemi body
9. Průsečík dvou přímek s rovinou
10. Poloha středu kružnice dané třemi body
11. Průsečíky úsečky s kružnicí a průsečíky dvou kružnic
12. Vzdálenost dvou rovnoběžných ploch
13. Poloha ideální hrany na obrobku se sražením
14. Úhel svírání mezi dvěma plochami
15. Šířka a střed šikmé drážky
16. Symetrála a úhel úkosové drážky
17. Úhel klínu
18. Úchylky kruhovitosti
19. Střed kulové plochy
20. Souřadnice středu kružnice, která prochází středy tří kružnic
21. Souřadnice středu čtyř symetrických děr
22. Rozteč více prvků v řadě
23. Poloha válcových čepů
24. Tvarový obrys ve vodorovné rovině
25. Tvarový obrys ve svislé rovině
26. Tvar kotoučové vačky
27. Tvar bubnové vačky
28. Prostorový tvar [1]

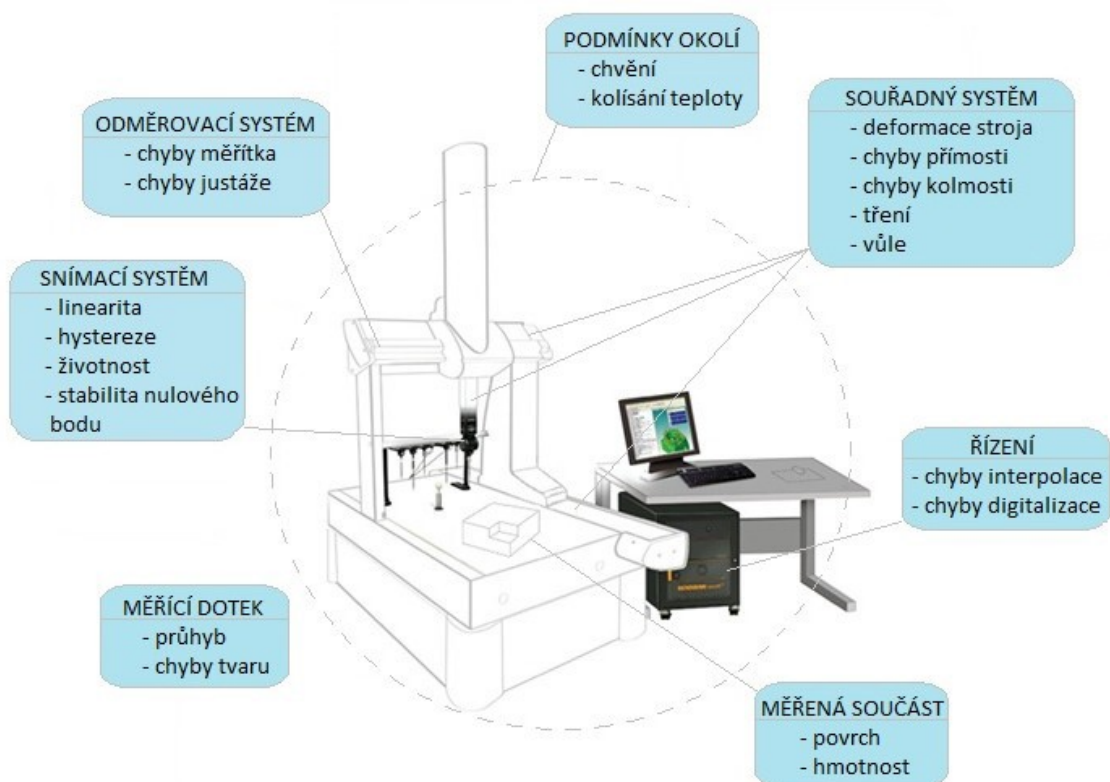


Obrázek 9 – Ukázka možností snímání [1]

1.7 Chyby ovlivňující přesnost měření

Přesnost souřadnicových měřicích strojů je vlastnost, která charakterizuje jeho schopnost dávat údaje shodné se skutečnou hodnotou měřené veličiny. Přesnost je ovlivněna dílčími chybami a nepřesnostmi. Je důležité rozlišovat mezi přesností a správností. Pojem přesnost obsahuje stupeň shody s etanolem. Přesnost se vztahuje ke kvalitě výsledku a odlišuje se od správnosti, která se vztahuje ke kvalitě provedení operace, pomocí které se dosahuje výsledek.

CCM je složitý systém, který se skládá z velkého množství konstrukčních dílů. Ty mohou být zdrojem parciálních chyb měření. Nejvýznamnější z nich jsou zobrazeny na obrázku. [1][2]



Obrázek 10 – Chyby při měření [2]

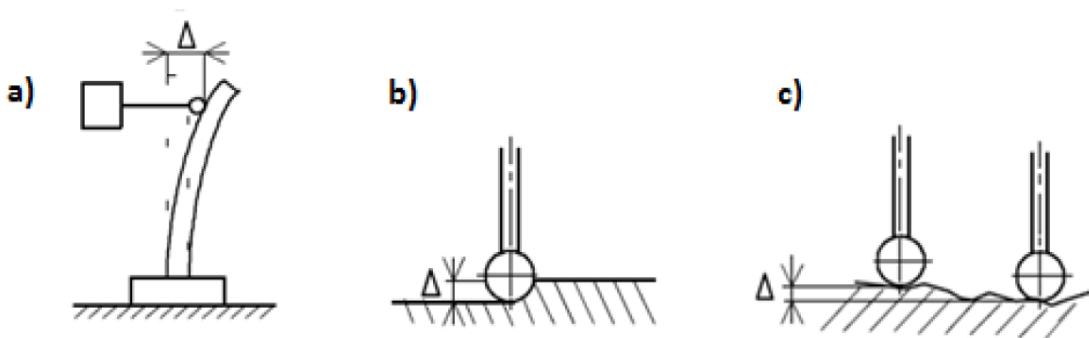
K faktorům, které nejvíce ovlivňují přesnost měření, patří především vliv roztažnosti materiálu měřeného objektu a vliv atmosférických podmínek. Pro lepší představu můžeme uvést, že chybu 1 μm pro měрку $L=1000$ mm způsobí změna jednoho z těchto parametrů o následující hodnotu:

- Teplota materiálu (při $\alpha = 10 \cdot 10^{-6}$) $\Delta\theta = 0,1$ K
- Teplota vzduchu $\Delta T = 1,11$ K
- Barometrický tlak $\Delta p = 3,33$ hPa
- Relativní vlhkost $\Delta\Phi = 10$ %

V souvislosti s využíváním souřadnicových měřicích strojů je nutno si uvědomit, že ani CCM není schopen měřit skutečné hodnoty, ale každé měření v pracovním prostoru stroje je zatíženo chybou. Naměřená hodnota je tedy přibližnou hodnotou skutečné veličiny.

Na přesnost měření má vliv i charakter měřeného objektu. Na obrázku jsou znázorněné chyby, které vznikají při měření:

- a) Deformace poddajných součástí
- b) Deformace poddajného povrchu tělesa součásti
- c) Tvarová úchylka povrchu kontrolovaného předmětu [1][2]



Obrázek 11 – Chyby vzniklé při snímání [2]

2 3D SKENERY

Jedná se o optická zařízení, která slouží k digitalizaci reálné podoby kontrolovaných předmětů. Digitální podoba reálného objektu je tvořena hustou sítí bodů. Výhodou těchto přístrojů je jejich významná produktivita. Jsou vhodné zejména pro snímání vnější geometrie, případně pro kontrolu textury povrchu.

Podle způsobu snímání skenery rozdělujeme:

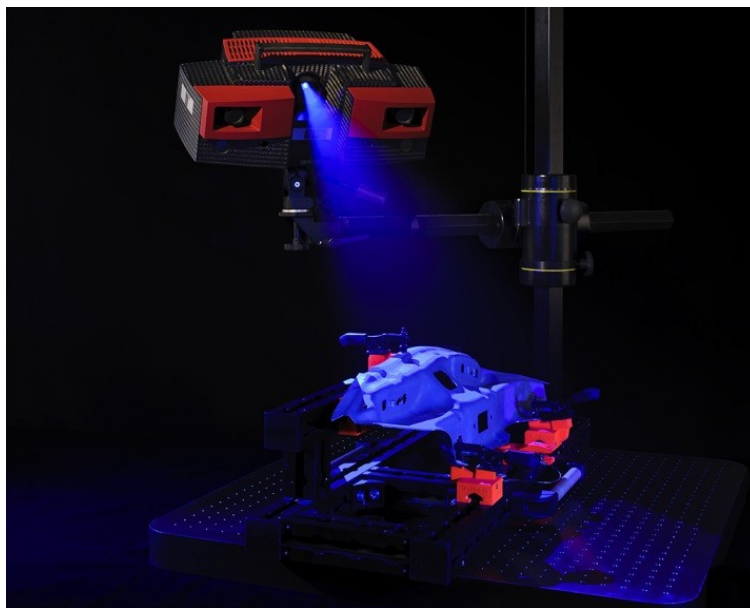
- **Bezdotykové skenery** – při měření nedochází ke kontaktu skener-těleso. Pro digitalizaci využívají metody: triangulace, interferometrie, měření doby letu světla.
- **Dotykové skenery** – nutnost kontaktu speciální sondy s měřeným tělesem.

Podle konstrukce skenery rozdělujeme:

- **Stacionární (pevné)** – jsou vázány na jedno místo. Skenovaný předmět je nezbytné dopravit k nim.
- **Mobilní (přenosné)** – jsou snadno dopravitelné ke skenovanému předmětu. Nabývají obvykle malých rozměrů a jsou po převozu rychle připravené k použití. [2][3]

2.1 Optické skenery

Jsou zařízení, která slouží pro digitalizaci vnějších tvarů a jsou schopná rozpoznat také texturu povrchu kontrolovaných dílů. Činnost optických skenerů spočívá v tom, že pomocí videokamery resp. fotoaparátu s CCD snímačem vytváří 2D snímky kontrolovaného objektu z různých úhlů pohledu. Na součástce jsou nalepeny referenční značky, které slouží ke kvalitnějšímu vystihnutí jeho skutečného tvaru povrchu. Při každém natočení se součástka naskenuje (vyfotí) a data se odešlou do počítače. K natočení měřeného dílu používáme speciální otočný stolek, který můžeme ovládat buď ručně, nebo prostřednictvím polohovacího zařízení vybaveného krokovým motorkem řízeným počítačem. Po získání všech snímků, ze všech stran se data zpracují a pomocí metody aproximace se vytvoří digitalizovaný model. Míru přesnosti modelu ovlivňuje zejména počet získaných snímků při skenování (čím více, tím lépe), barva pozadí za skenovaným objektem (čím více kontrastuje s barvou dílu, tím lépe), a také vhodné a rovnoměrné rozložení referenčních značek vůči tvaru a velikosti kontrolovaného prvku. [2][3]



Obrázek 12 – Optický skener [3]

2.2 Laserové skenery

Jsou zařízení, která jsou založena na bezkontaktním způsobu 3D digitalizace vnějších tvarů kontrolovaných dílů. Systém obsahuje zdroj laserového světla a optický detektor. Laserový paprsek je vyslán kolmo k předmětu. Po odrazu od objektu se vrátí zpět do skeneru, kde se vyhodnotí doba, za kterou paprsek urazí vzdálenost od skeneru k povrchu měřeného objektu a zpět. Díky tomu získáme informaci o rozměru předmětu ve směru letu paprsku. Vyhodnocením úhlu pod jakým se paprsek vrátí zpět, pak získáváme data o zakřivení povrchu. Stejně jako u optických skenerů je nezbytné, aby byl kontrolovaný předmět nasnímán ze všech stran. Rotovat může jak předmět na otočném stolku, tak laserová hlava kolem předmětu. Kvalita digitálního modelu je dána hustotou, s jakou laserový paprsek pokrývá plochu reálného tělesa. Mezi výhody tohoto způsobu skenování patří vysoká přesnost měřené geometrie, a schopnost rozpoznat neprůchozí otvory, prohlubiny a výstupky. Obsluha těchto skenerů je rychlá a snadná. Tento způsob skenování však zachytí jen geometrii povrchu, ne však jeho texturu. Produktivita oproti jiným metodám je menší. Laserové skenery mají problém s naskenováním lesklých a průhledných povrchů. Jejich pořizovací náklady jsou oproti jiným typům skenerů vyšší. [2][3]



Obrázek 13 – Laserové skenery [2]

2.3 Mechanické 3D skenery

Jedná se o ručně ovladatelné, dotykové skenery, které slouží k nasnímání vnějších tvarů skenovaných předmětů. Jejich konstrukce se skládá z ramene se třemi klouby, na jehož konci se nachází kontaktní hrot. Princip skenování pomocí těchto přístrojů spočívá v tom, že naskenujeme jednotlivé body na povrchu objektu pomocí kontaktní sondy. Poloha měřeného bodu je definována výpočetním systémem na základě pozice natočení každého kloubu. Pomocí těchto zařízení můžeme proměřovat i tvarově složitější tělesa. Jejich pořizovací cena je oproti jiným druhům skenerů menší. Nedosahují však takové přesnosti (cca desetiny mm). [2][3]



Obrázek 14 – Mechanický skener [2]

2.4 Destruktivní 3D skenery

Jsou to kontaktní skenery, které slouží ke kontrole vnější i vnitřní geometrie výrobku. Během skenování zničí skenovaný předmět. Velmi zjednodušeně se jedná o frézku s kamerou. Před vlastním skenováním je nutné skenovaný objekt zalít do bloku, a vyplnit všechny jeho dutiny speciálním kontrastním materiálem. Poté je vložen do komory, ze které se odčerpá vzduch, a díky tomu tento materiál dokonale vyplní všechny dutiny. Následuje přemístění do skenovacího zařízení. Zde se upevní na frézovací stůl a pomocí okružovací frézy pro přesné obrábění se postupně odfrézují velmi tenké vrstvičky konstantní tloušťky. Samotné skenování probíhá vždy po odfrézování této vrstvy materiálu. Výsledkem je tedy sada 2D fotek s uloženou informací, v jaké výšce byl snímek pořízen. Naskenovaná data pak zpracuje výpočetní systém, který vytvoří počítačový model. Materiál, ze kterého je předmět vyroben, musí být obrobitelný (např. hliníkové slitiny, plasty, mosaz, zinek, měď, litina a další). K největším výhodám tohoto způsobu patří možnost kontroly a proměření i velmi tvarově složitých předmětů. Hlavní nevýhodou je zničení skenovaného předmětu a poměrně malá produktivita práce v porovnání s jinými metodami, zvláště u rozměrnějších objektů. Pro zvýšení efektivity této metody je výhodné skenovat více součástí současně. Materiály, ze kterých jsou součásti vyrobeny, však musí být shodné. [2][3]

2.5 Ultrazvukové 3D skenery

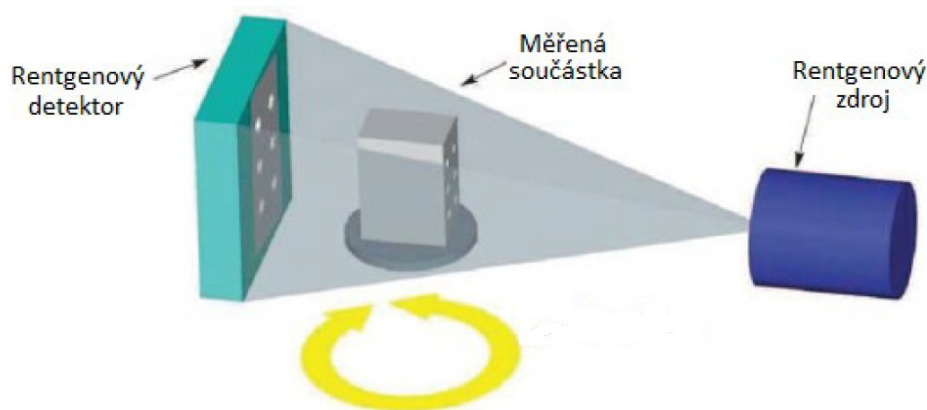
Tento způsob digitalizace funguje na principu bezkontaktního snímání povrchu objektu ultrazvukovou sondou, která má tvar pistole s kovovým hrotem. Pistole se přikládá ke skenovanému povrchu, stiskem spouště pak dojde k vysílání ultrazvukového signálu. Ten je pomocí speciální konstrukce s ultrazvukovými čidly dekodován do prostorových souřadnic. Nevýhodou tohoto zařízení je poměrně malá přesnost. Dnes se tento typ skeneru v praxi využívá jen minimálně. [2][3]

3 POČÍTAČOVÁ TOMOGRAFIE – METROTOMOGRAFIE

Počítačová tomografie, je známý pojem z oblasti medicíny. Označení metrotomografie se užívá spíše v průmyslu. Pro oblast průmyslového měření se jedná o poměrně novou technologii, jejíž využití bylo z důvodu nedostatečné přesnosti ještě donedávna omezeno na kontrolu materiálu. Moderní měřicí stroje slučující metrologii a tomografii dokážou s vysokou přesností snímání získat z jednoho měřicího cyklu informace o vnější geometrii, objemu součástky i kvalitě materiálu. Vysoce přesná data o měřené součástce získáváme díky kombinaci přesných polohovacích mechanismů, odměřovacích systémů, rentgenového detektoru s vysokým rozlišením a velmi výkonnou výpočetní technikou. To i bez porušení měřené součásti. [1][2][3]

3.1 Princip měření a získávání dat

Měřený díl se umístí na otočný stůl v pracovním prostoru měřicího stroje mezi rentgenovým zářičem a snímačem. Dílec je polohován s vysokou přesností ve třech kolmých osách tak, aby jeho obraz zabral co největší pole detektoru. Během snímání je měřený objekt natočen o 360° kolem vertikální osy, a v jednotlivých krocích (např. 1000 kroků na otáčku) jsou nasnímány 2D obrazy, tzv. rentgenogramy. Tyto snímky dále zpracovává výkonný výpočetní systém. Rentgenové záření procházející vzduchem ztrácí pouze minimální intenzitu, proto je nasnímaný bod světlý. Pokud je v cestě záření např. ocelová deska, paprsek ztrácí intenzitu, a ke snímači se dostane záření s výrazně nižší energií a snímáný bod je tmavý. Případná zvětšující se tloušťka materiálu, kterou musí paprsek proniknout, má také vliv na snižování intenzity rentgenového záření vystupujícího za objektem. Výstupem ze snímání je kromě rentgenogramu počítačový model kontrolovaného prvku. [1][2]



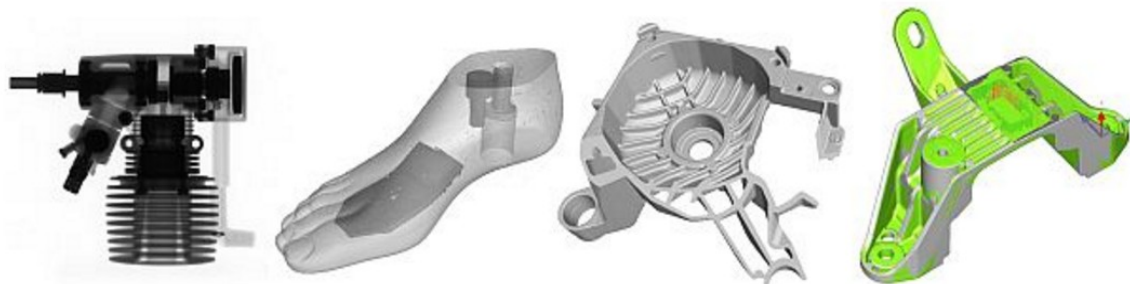
Obrázek 15 – Princip počítačové tomografie [2]

3.2 Možnosti využití metrotomografie

Metrotomografie nalézá uplatnění zejména v oblasti testování nových výrobků, prototypů a součástek, které prostě není možné kontrolovat jiným způsobem. Mezi hlavní oblasti využití metrotomografie patří:

- Testování kvality spojů v sestavách bez demontáže
- Analýza porézности
- Analýza poruch a defektů
- Inspekce materiálu
- Měření vnějších i vnitřních prvků
- Reverzní inženýrství
- Porovnávání jmenovité geometrie s reálnou

Použití počítačových tomografií je omezeno zejména rozměry měřeného prvku, jednak v závislosti na velikosti měřicího stroje, ale také v závislosti na materiálu z jakého je daný prvek vyroben. Čím větší hustotu materiál má, tím se úměrně zmenšuje tloušťka materiálu, kterou záření projde. Ideální je využít tento způsob měření pro plastové a hliníkové díly. Při určité tloušťce je však možné proměřovat díly z oceli, mědi a dalších slitin. Naopak značnou výhodou je kontrola v oblastech, ve kterých by měření jiným způsobem nebylo možné. Jedná se např. o velmi tvarově složité díly vyráběné vstřikováním nebo odléváním do vícedílných forem. Rentgenovým snímáním získáváme informace o celém objemu součástky nezávisle na její složitosti. [1][2]



Obrázek 16 –3D modely získané počítačovou tomografií [2]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ CÍLŮ PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem praktické části bakalářské práce bude určit optimální výrobní postup pro tři konkrétní dílce a hlavně prostřednictvím souřadnicového měřicího stroje zkontrolovat kvalitu jejich výroby. Dílce mají charakter strojních součástí.

Podrobněji:

- Výrobní profil firmy využívající 3D měření
- Model, výkresová dokumentace vybraných součástí
- Stanovení výrobního-technologického postupu těchto součástí
- Kontrola na souřadnicovém měřicím stroji
- Kalibrace měřicího zařízení
- Tvorba měřicího programu
- Prezentace výsledků prostřednictvím měřicího protokolu
- Srovnání výsledků s výkresovou dokumentací a případné sjednání nápravy

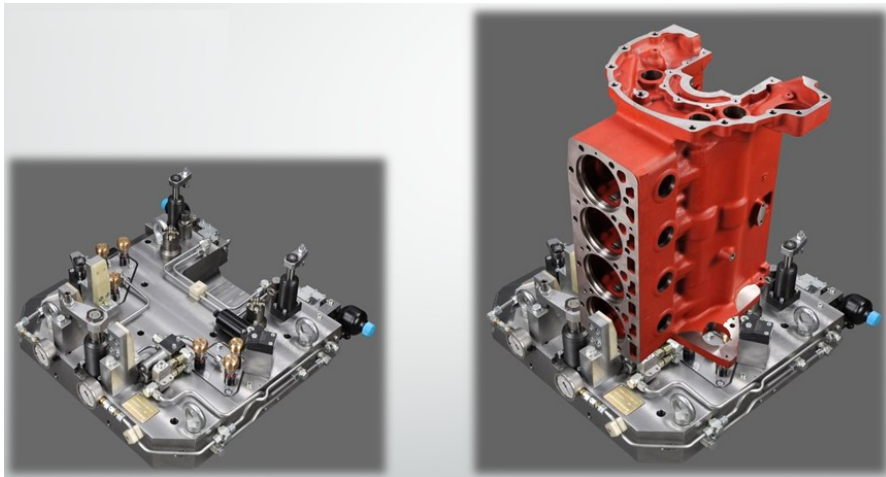
Výkresová dokumentace, měřicí programy a měřicí protokoly budou pro přehlednost uvedeny mezi Přílohami.

5 SPOLEČNOST FLOWTECH

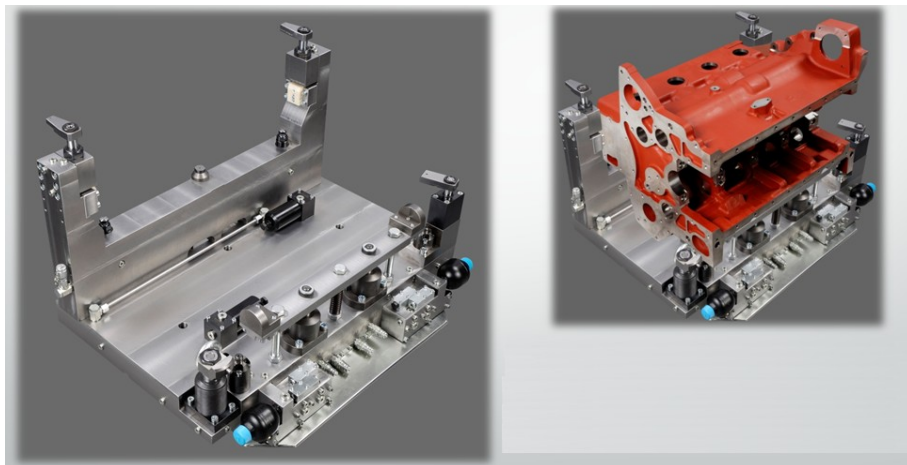
Společnost FLOWTECH s.r.o. je moderní nástrojárnou, která vznikla v devadesátých letech dvacátého století transformací resp. oddělením od ZPS. Zabývá se konstrukcí a výrobou strojních sestav, celků a samostatných strojních dílů pro průmyslové využití. Tyto výrobky nemají charakter spotřebního zboží a mají vysoké nároky na přesnost zhotovení. Firma zaměstnává okolo devadesátky zaměstnanců. Její roční obrat činí přibližně osmdesát miliónů korun.

Zaměření výroby:

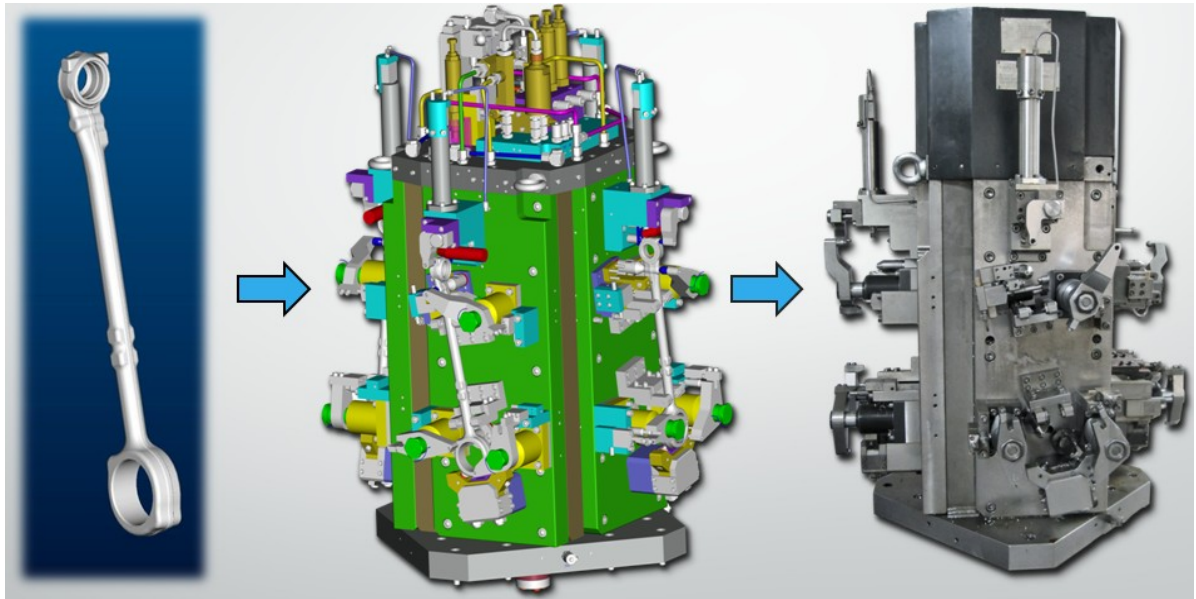
- Upínací přípravky (50%) – pro obrábění (např. automobilových součástí)



Obrázek 17 – Hydraulický upínací přípravek (OP1)

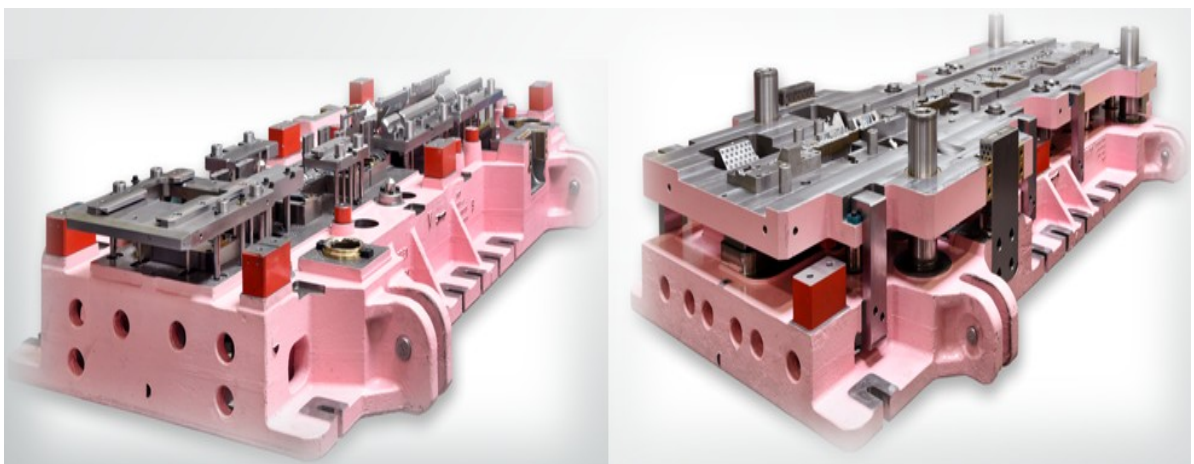


Obrázek 18 – Hydraulický upínací přípravek (OP2)



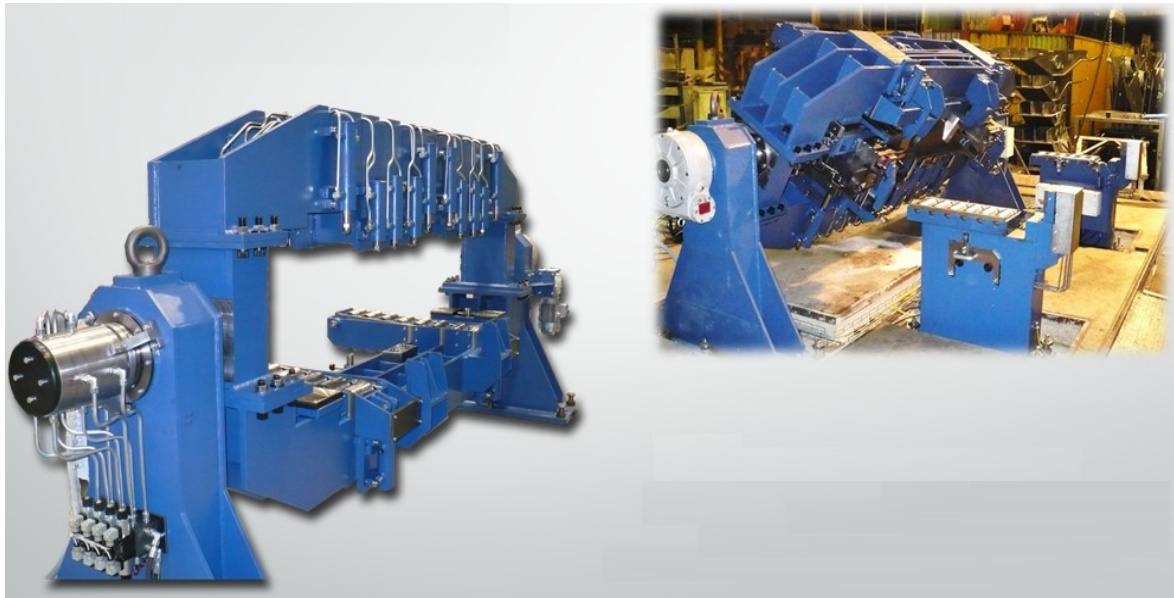
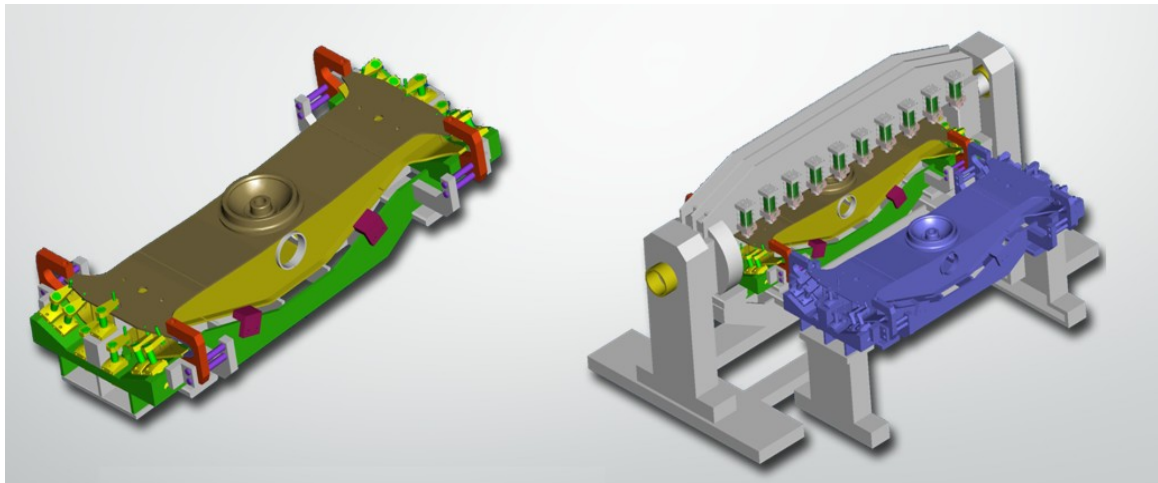
Obrázek 19 – Upínací věž

- Postupové lisovací nástroje (30%) – kombinované nástroje pro stříhání a tváření plechů



Obrázek 20 – Postupový lisovací nástroj

- Jednoúčelové stroje a montážní celky (15%) – manipulační, svařovací apod.



Obrázek 21 – Jednoúčelové svařovací zařízení

- Samostatné strojní díly (5%) – pro obráběcí stroje

Při výše zmíněném zaměření výroby je nezbytností existence kvalitně vybaveného metrologického oddělení. FlowTech mimo jiné disponuje klimatizovanou laboratoří se souřadnicovým 3D měřicím strojem od německého výrobce Wenzel - LH87.

6 MĚŘÍCÍ STROJ WENZEL LH 87

Jedná se o 3D souřadnicový měřicí stroj portálové konstrukce s pohyblivým portálem. Je určen pro kontrolu výrobků malých a středně velkých rozměrů. Řízení je řešeno velmi jednoduše, buďto joystickem, nebo pomocí CNC programu. Aktuální poloha je snímána pomocí lineárního odměřování. Základní deska a vodící plochy jsou vyrobeny z přírodního tvrdého kamene – granit. Je vybaven elektromotory pro pohon všech os. Tento stroj je celosvětově velmi oblíbený. Má optimální poměr cena/výkon.

Parametry stroje:

- Řízení ve 3 osách
- Vnější rozměry: 1470x1980x2900 [mm]
- Měřicí rozsah os: X=800; Y=1000; Z=700 [mm]
- Rozměry základové desky: 1040x1780 [mm]
- Tloušťka základové desky: 250 [mm]
- Upínací závity: 30 x M10
- Hmotnost: 2000 [kg]
- Nosnost stroje: 800 [kg]
- Software: Metrosoft CM 3.80 SP
- Přesnost: $U_1=2,0 + (L/350)$, $U_3=2,5 + (L/250)$ [μm]
- Spínací sonda: TP200
- Měřicí hlava: RENISHAW PH10M (750 poloh s krokem 7,5°)



Obrázek 22 – CMM WENZEL LH 87

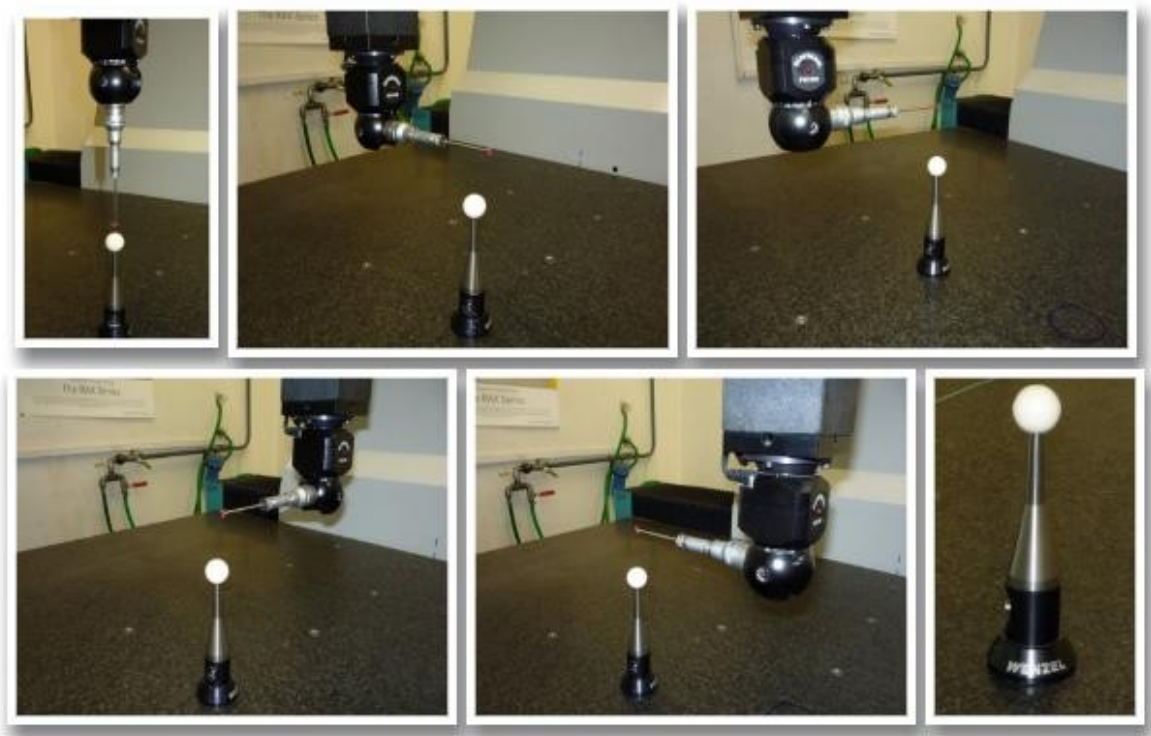


Obrázek 23 – Detail měřicí hlavy

7.1 Kalibrace měřícího zařízení

Prvním důležitým krokem je kalibrace souřadnicového měřícího stroje. Tu je nutno provést minimálně vždy po opětovném zapnutí stroje, a také při úpravě či výměně měřícího doteku. Nejedná se o nijak složitý úkon. Do jedné z upínacích děr se závitem ukotvíme speciální etalon (kalibr) dokonale kulového tvaru. Spustíme výrobcem vytvořený kalibrační program. A sonda na základě tohoto kalibračního programu nasnímá 8 bodů ležících na povrchu této koule. Kalibraci pak na základě informací získaných z nasnímaných bodů zajistí samotný metrologický software stroje. Toto je však zapotřebí opakovat pro všechny polohy natočení měřící hlavy, které jsme definovali, že budou pro dané měření zapotřebí. Dostaneme-li však později ke kontrole úplně odlišný dílec, a zjistíme, že námi již dříve kalibrovaná natočení nebudou pro další měření dostatečující, můžeme nová natočení kalibrovat i dodatečně, ale pouze v případě, že se po celou dobu měření nezmění poloha kalibru. V opačném případě musíme kalibraci provést zároveň i pro všechna dříve již kalibrovaná natočení. Mimo jiné tímto prakticky eliminuje tvar a velikost měřícího doteku.

Nám by pro všechna tři měření mělo stačit kalibrovat 5 základních poloh sondy. Jedná možná vertikální poloha (rovnoběžně s osou Z), a čtyři horizontální polohy vzájemně pootočené o 90° (rovnoběžně s osami X a Y).

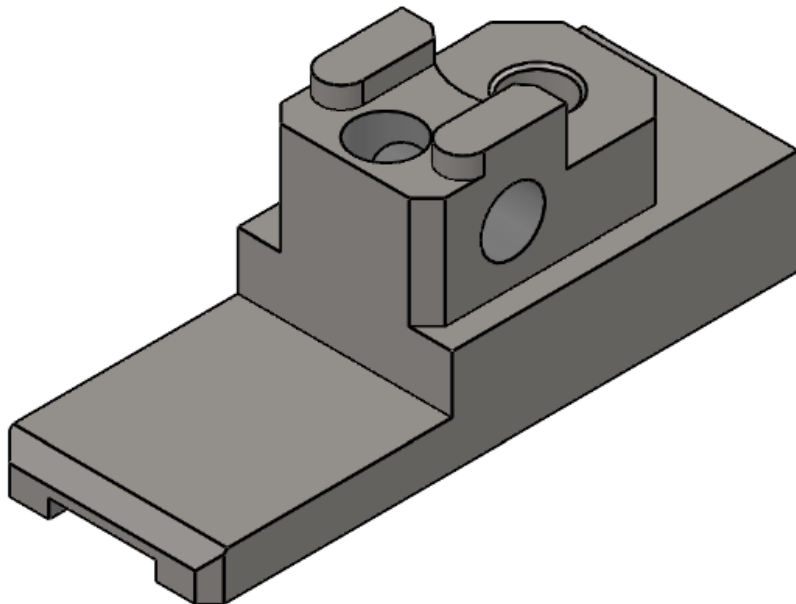


Obrázek 25 – Kalibrace ve všech polohách

7.2 Měřicí program

Měření prostřednictvím měřicího programu se provádí nejen v sériové výrobě, ale i v takových případech, kdy je pravděpodobné, že se bude v budoucnu opakovat. Měřicí program je prakticky množina všech jednotlivých, na sebe navazujících, přímočarých pohybů sondy mezi snímanými a přejezdovými body, jejichž polohu definuje operátor měřicího stroje. Měření podle programu je přesnější a v některých případech i rychlejší. Jednak díky tomu, že můžeme naprogramovat přejezdovou rychlost a vzdálenost od tělesa, ve které sonda zpomalí, ale hlavně díky schopnosti programu přepočítat ideální trajektorii pohybu vzhledem ke snímanému geometrickému tvaru – sonda přijíždí kolmo. Existenci měřicího programu plně doceníme při každém dalším měření. My si jej vytvoříme pro všechny tři případy. Uvedeny budou v rámci Příloh 2, 5 a 8.

7.3 Součást 1 – Doraz

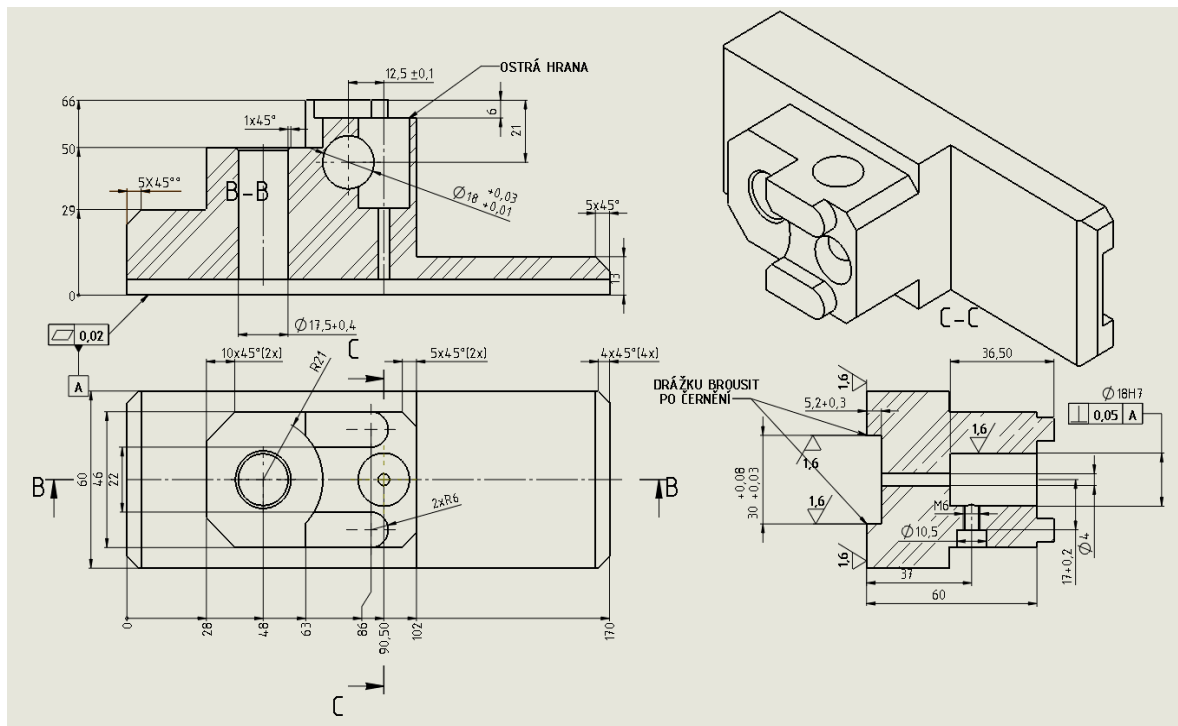


Obrázek 26 – Model Součásti 1 – Doraz

7.3.1 Výrobní postup

Po prostudování výkresové dokumentace byl zvolen následující výrobní postup:

1. Volba materiálu – rozměry: min. 70x65x174 [mm].
2. Frézování kvádrů na rozměry 66,2x60,2x170,2 se sražením 4x45°.
3. Ojehlení a úprava ostrých hran a otřepů vzniklých při obrábění.
4. Vyrovnání kolmostí – úhlování stěn kvádrů na brusce rovných ploch.
5. Obrábění na obráběcím centru – výrobu základního tvaru zhotovíme na 3 upnutí pomocí NC programů. U vybraných rozměrů s přídavkem na broušení.
6. Ojehlení a úprava ostrých hran a otřepů vzniklých při obrábění (mimo vyžadovanou ostrou hranu u otvoru) – provede nástrojář.
7. Černění – povrchová úprava.
8. Zhotovení průchozí díry $\varnothing 18 +0,01/+0,03$ (elektro-erozivního obrábění).
9. Broušení šířky a hloubky drážky – dobroušení provedeme na brusce rovných ploch.
10. Dobroušení slepé díry $\varnothing 18H7$ na planetové brusce pro otvory.
11. Konečná úprava výrobku – provede nástrojář.
12. Kontrola kvality výroby prostřednictvím souřadnicového měřicího stroje.



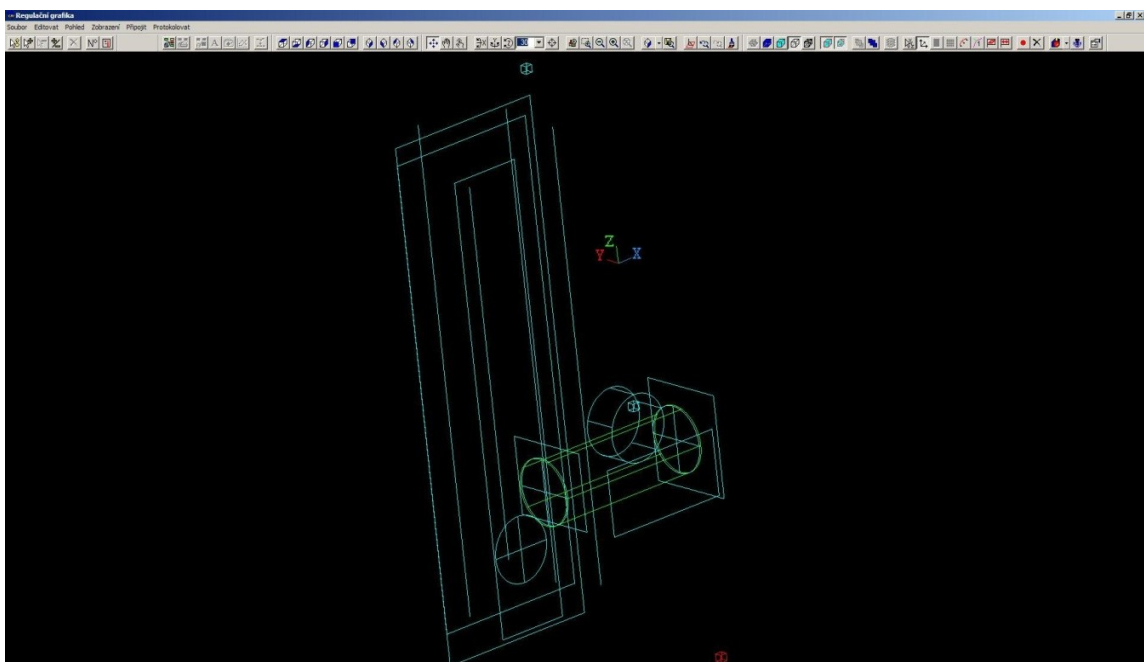
Obrázek 27 – Náhled výkresové dokumentace Součásti 1

- Výkres Součásti 1 – Doraz je uveden jako Příloha 1

7.3.2 Průběh měření

Existuje několik základních zásad resp. kroků, společných pro všechna měření, kterých bychom se měli vždy držet. V první řadě se jedná o prostudování modelu, a výkresové dokumentace výrobku; měli bychom si předem ujasnit, co a jak vlastně budeme měřit. Musíme zajistit čistotu, jak v pracovním prostoru měřicího stroje, tak na povrchu měřeného objektu – očištění a odmaštění kontaktních ploch jednak od nečistot a mazu, ale případně také od vrypů a povrchových nerovností pomocí brusného kamene, je-li to možné. Musíme si také dát pozor, aby byl měřený díl dokonale upnut. Je nezbytné, aby se dílec při kontaktu s měřicí sondou v žádném směru nevychýlil, a během měření nezměnil svoji polohu – zároveň však musíme brát v úvahu požadavky měření. Tyto zásady platí pro všechna měření, chceme-li dostat pravdivé informace o rozměrech měřených dílců.

Poté co součást řádně očištíme a vhodně upneme, zvolíme a nasnímáme v libovolném místě na jejím povrchu plochu, přímku a bod. Většinou jej volíme v závislosti na údajích ve výkresu. Tím stanovíme souřadný systém, ve kterém se budeme v průběhu tohoto konkrétního měření pohybovat – polohu jeho počátku a natočení. Dále můžeme přejít ke tvorbě měřicího programu (Příloha 2), a k samotnému nasnímání bodů, definující jednotlivé geometrické prvky, které udávají tvar daného součásti. Veškerý pohyb sondy řídíme prostřednictvím joysticku. Pak už pouze prostřednictvím metrologického softwaru vyhodnotíme naměřené hodnoty, a výsledky uspořádáme do měřicího protokolu (Příloha 3). Kromě něj dostaneme ještě jeho textový výstup, zmíněný níže.



Obrázek 28 – Nasnímané geometrické prvky v programu Metrosoft – Součást 1

Popis textového výstupu měření

Označení prvku operátorem – název vyhodnocovaného prvku, daný operátorem.

Číslo a označení vyhodnocených entit – pořadové číslo a název prvku daný softwarem.

Nominální hodnota – vyžadovaná hodnota, teoreticky ideální, zadáno ve výkrese.

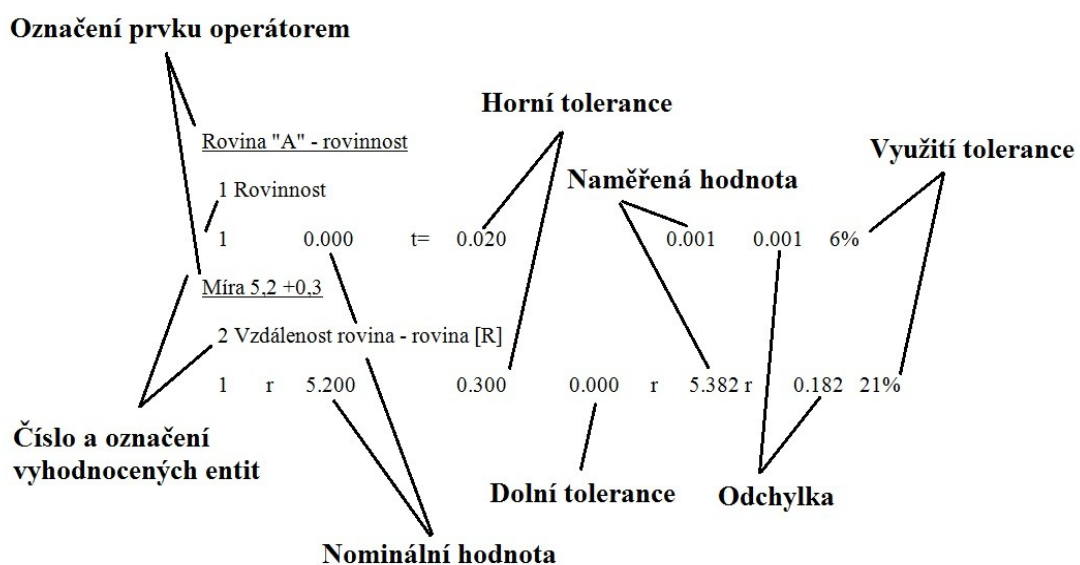
Horní tolerance – maximální dovolená odchylka na horní hranici tolerančního pole, zadáno ve výkrese.

Dolní tolerance – maximální dovolená odchylka na spodní hranici tolerančního pole, zadáno ve výkrese.

Naměřená hodnota – fakticky změřená hodnota měřeného rozměru.

Odchylka – rozdíl mezi nominální a naměřenou hodnotou.

Využití tolerance – procentuální využití daného tolerančního pole.



Obrázek 29 – Popis textového výstupu protokolu

7.3.3 Textový výstup měření Součásti 1

Rovina "A" - rovinnost

1 Rovinnost

0.000 t= 0.020 0.001 0.001 6%

Míra 5,2 +0,3

2 Vzdálenost rovina - rovina [R]

1 r 5.200 0.300 0.000 r 5.382 r 0.182 21%

Míra 30 +0,03/+0,08

3 Vzdálenost přímka - přímka [R]

1 r 30.000 0.080 0.030 r 30.069 r 0.069 57%

Díra 18H7/poloha/kolmost ku "A"

4 Průměr

1 P 18.000 H7 0.018 0.000 P 18.007 0.007 22%

9 Vektorová pozice [Z]

1 Z 90.500 0.300 -0.300 Z 90.534 Z 0.034 11%

5 Tolerance pravoúhlosti 30.500

1 0.000 t= 0.050 0.009 0.009 18%

Díra 18 +0,01/+0,03

6 Vektorová pozice [Y Z]

1 Y 21.000 0.200 -0.200 Y -20.973 Y -0.027 -13%

Z -12.500 0.100 -0.100 Z -12.506 Z -0.006 -6%

Díra 17,5 +0,4

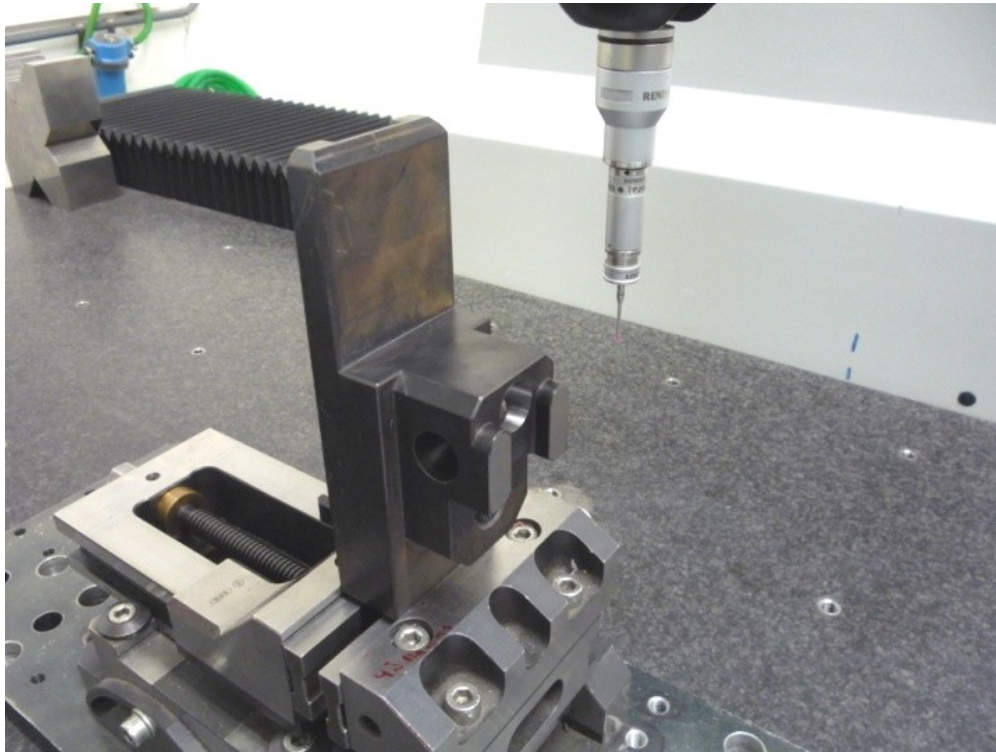
7 Průměr

1 P 17.500 0.400 0.000 P 17.715 0.215 8%

Míra 17 +0,2

8 Vektorová pozice [X]

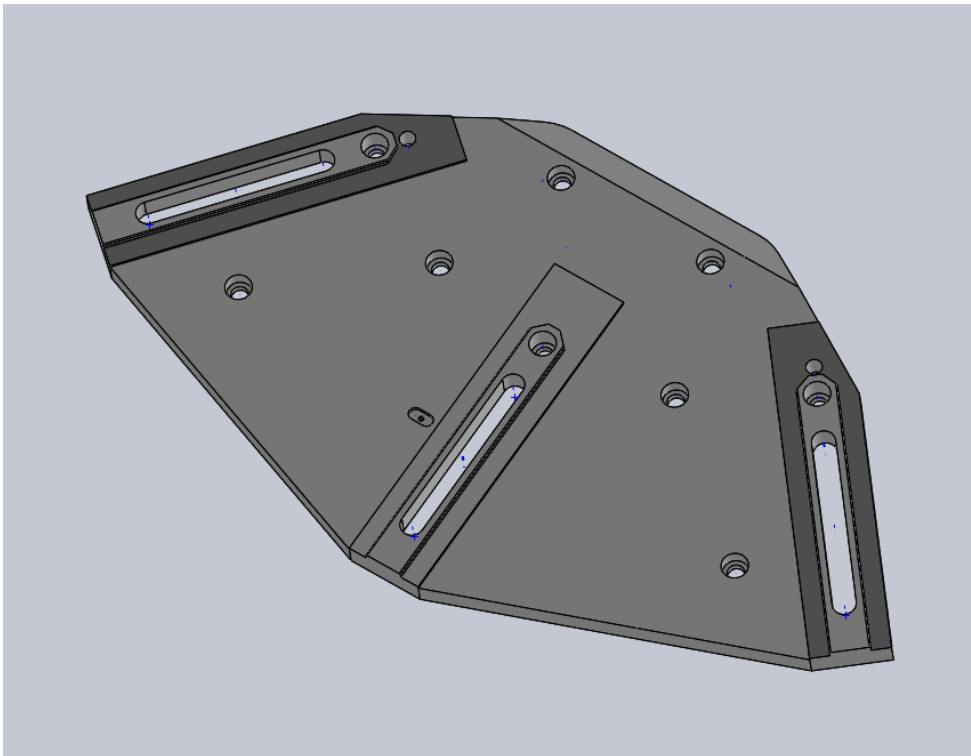
1 X 17.000 0.200 0.000 X 17.091 X 0.091 9%



Obrázek 30 – Součást 1 – Doraz v pracovním prostoru stroje

Výsledky měření nám ukázaly, že první součást – Doraz, je vyrobená v tolerancích uvedených ve výkresové dokumentaci. Není tedy důvod výrobek dál upravovat a je možné jej uvolnit pro montáž či expedici. Měřicí protokol je vhodné uložit spolu se stručným popisem měření či obrázkem (způsob upnutí, umístění souřadného systému, program apod.) pro případné budoucí využití.

7.4 Součást 2 – Deska

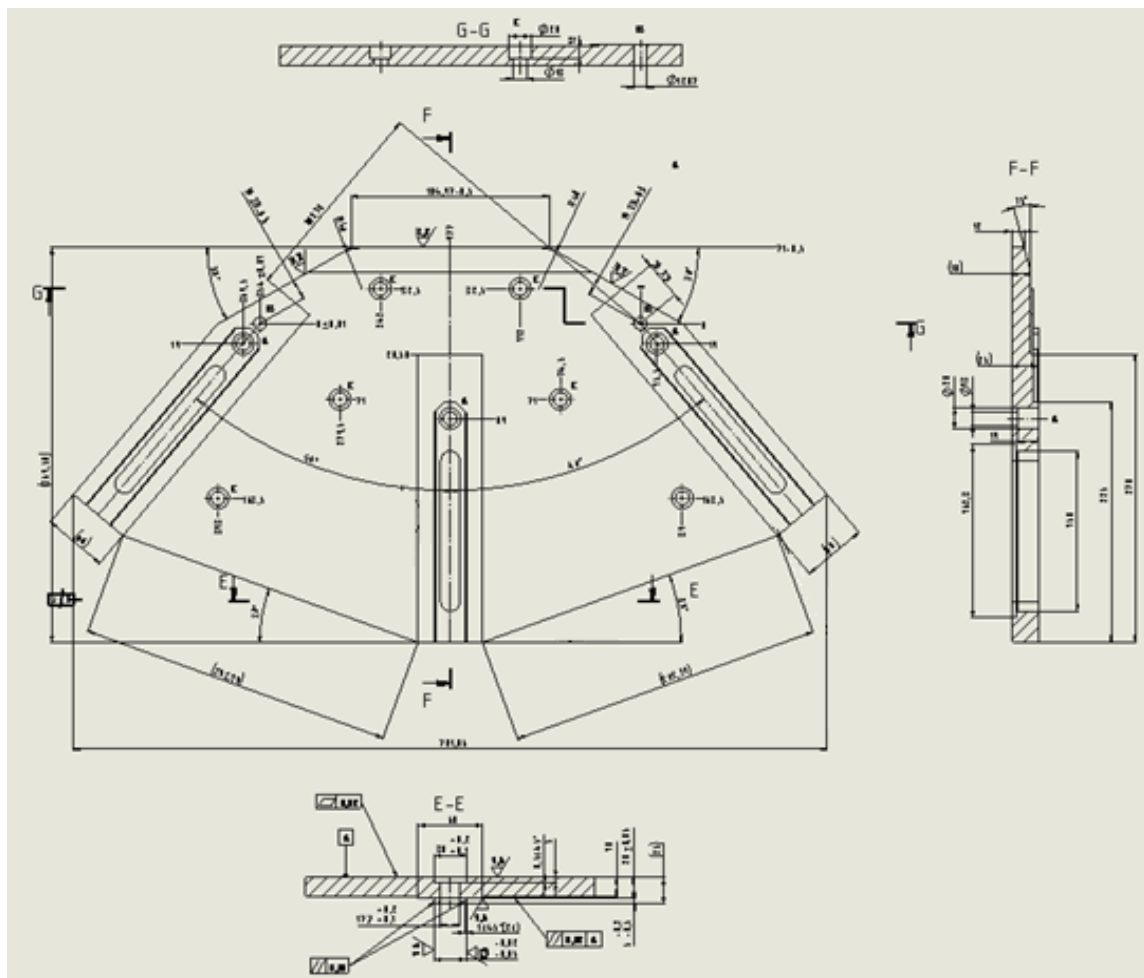


Obrázek 31 – Model Součásti 2 – Deska

7.4.1 Výrobní postup

Po prostudování výkresové dokumentace byl zvolen následující výrobní postup:

1. Volba materiálu – rozměry min.: 705x375x30 mm.
2. Frézování kvádrů na rozměry: 702x370x25,5 mm.
3. Obrábění na obráběcím centru – hrubování základního tvaru, na dvě upnutí pomocí NC programu.
4. Ojehlení a úprava ostrých hran vzniklých při obrábění – provede nástrojář.
5. Žihání ke snížení vnitřních pnutí.
6. Broušení vedení a po přepnutí i spodní plochy – bruska rovinných ploch.
7. Obrábění na obráběcím centru – dokončovací práce na vedení a přesných otvorech $\varnothing 12H7$
8. Konečná úprava výrobku – provede nástrojář.
9. Kontrola kvality výroby prostřednictvím souřadnicového měřicího stroje.

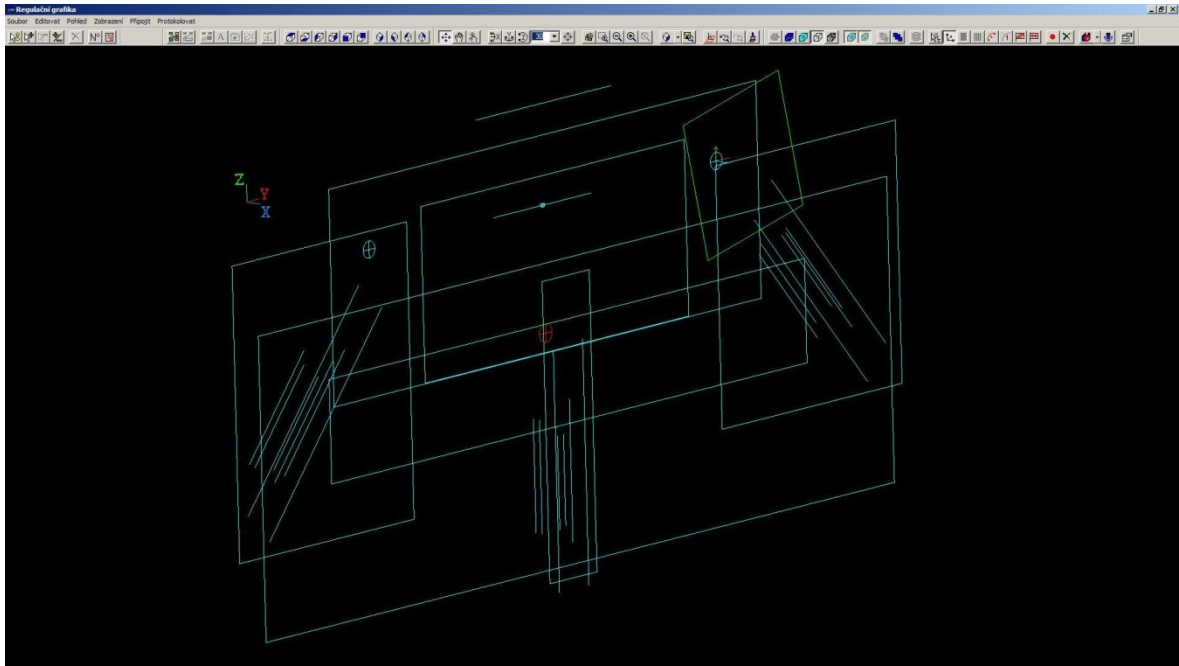


Obrázek 32 – Náhled výkresové dokumentace Součást 2

- Výkres Součásti 2 – Doraz najdeme jako Příloha 4

7.4.2 Průběh měření

- Odmaštění a očištění dílce
- Vhodné a pevné upnutí – volíme upnutí do svěráku s měkkými čelistmi ve vertikální poloze
- Určíme souřadný systém – snímáme rovinu, přímku a bod
- Snímání bodů definující geometrické prvky, kterými je dán tvar dílce a přejezdových bodů – tvorba programu (Příloha 5)
- Vyhodnocování výsledků – tvorba měřícího protokolu (Příloha 6)



Obrázek 33 – Nasnímané geometrické prvky v programu Metrosoft – Součást 2

7.4.3 Textový výstup měření Součásti 2

Rovinnost "A"

38 Rovinnost

1	0.000	t=	0.020	0.007	0.007	37%
---	-------	----	-------	-------	-------	-----

Díry 12H7 - 2x

39 Průměr

1	P	12.000	H7	0.018	0.000	P	12.007	0.007	-25%
---	---	--------	----	-------	-------	---	--------	-------	------

40 Vektorová pozice [Y Z]

1	Y	0.000	0.010	-0.010	Y	0.000	Y	0.000	0%
	Z	0.000	0.010	-0.010	Z	0.000	Z	0.000	0%

41 Průměr

1	P	12.000	H7	0.018	0.000	P	12.007	0.007	-24%
---	---	--------	----	-------	-------	---	--------	-------	------

42 Vektorová pozice [Y Z]

1	Y	-354.000	0.010	-0.010	Y	-354.017	Y	-0.017	-169%
	Z	0.000	0.010	-0.010	Z	0.000	Z	0.000	0%

Míra 20+/-0,05/rovnoběžnost ku "A" - 3x

43 Vektorová pozice [X]

1	X	20.000	0.050	-0.050	X	19.996 X	-0.004	-7%
---	---	--------	-------	--------	---	----------	--------	-----

46 Tolerance rovnoběžnosti

1		0.000	t= 0.020			0.009	0.009	44%
---	--	-------	----------	--	--	-------	-------	-----

44 Vektorová pozice [X]

1	X	20.000	0.050	-0.050	X	19.999 X	-0.001	-2%
---	---	--------	-------	--------	---	----------	--------	-----

47 Tolerance rovnoběžnosti

1		0.000	t= 0.020			0.009	0.009	44%
---	--	-------	----------	--	--	-------	-------	-----

45 Vektorová pozice [X]

1	X	20.000	0.050	-0.050	X	20.001 X	0.001	2%
---	---	--------	-------	--------	---	----------	-------	----

48 Tolerance rovnoběžnosti

1		0.000	t= 0.020			0.012	0.012	61%
---	--	-------	----------	--	--	-------	-------	-----

Míra 5 -0,2/-0,5

49 Vzdálenost rovina - rovina [R]

1	r	5.000	-0.200	-0.500	r	4.671 r	-0.329	14%
---	---	-------	--------	--------	---	---------	--------	-----

Míra 30 -0,02/-0,05/rovnoběžnost - 3x

50 Vzdálenost přímka - přímka [R]

1	r	30.000	-0.020	-0.050	r	29.960 r	-0.040	-36%
---	---	--------	--------	--------	---	----------	--------	------

51 Tolerance rovnoběžnosti 225.000

1		0.000	t= 0.010			0.004	0.004	37%
---	--	-------	----------	--	--	-------	-------	-----

52 Vzdálenost přímka - přímka [R]

1	r	30.000	-0.020	-0.050	r	29.960 r	-0.040	-31%
---	---	--------	--------	--------	---	----------	--------	------

53 Tolerance rovnoběžnosti 225.000

1		0.000	t= 0.010			0.002	0.002	18%
---	--	-------	----------	--	--	-------	-------	-----

54 Vzdálenost přímka - přímka [R]

1 r 30.000 -0.020 -0.050 r 29.964 r -0.036 -8%

55 Tolerance rovnoběžnosti 225.000

1 0.000 t= 0.010 0.001 0.001 10%

Míra 17,7 +0,1/+0,2 - 3x

56 Vzdálenost přímka - přímka [R]

1 r 17.700 0.200 0.100 r 17.838 r 0.138 -25%

57 Vzdálenost přímka - přímka [R]

1 r 17.700 0.200 0.100 r 17.839 r 0.139 -23%

58 Vzdálenost přímka - přímka [R]

1 r 17.700 0.200 0.100 r 17.840 r 0.140 -20%

Míra 30 +0,1/+0,2 - 3x

59 Vzdálenost přímka - přímka [R]

1 r 30.000 0.200 0.100 r 30.172 r 0.172 44%

60 Vzdálenost přímka - přímka [R]

1 r 30.000 0.200 0.100 r 30.171 r 0.171 42%

61 Vzdálenost přímka - přímka [R]

1 r 30.000 0.200 0.100 r 30.176 r 0.176 52%

Míra 71 -0,5

62 Vektorová pozice [Z]

1 Z 71.000 0.000 -0.500 Z 70.767 Z -0.233 7%

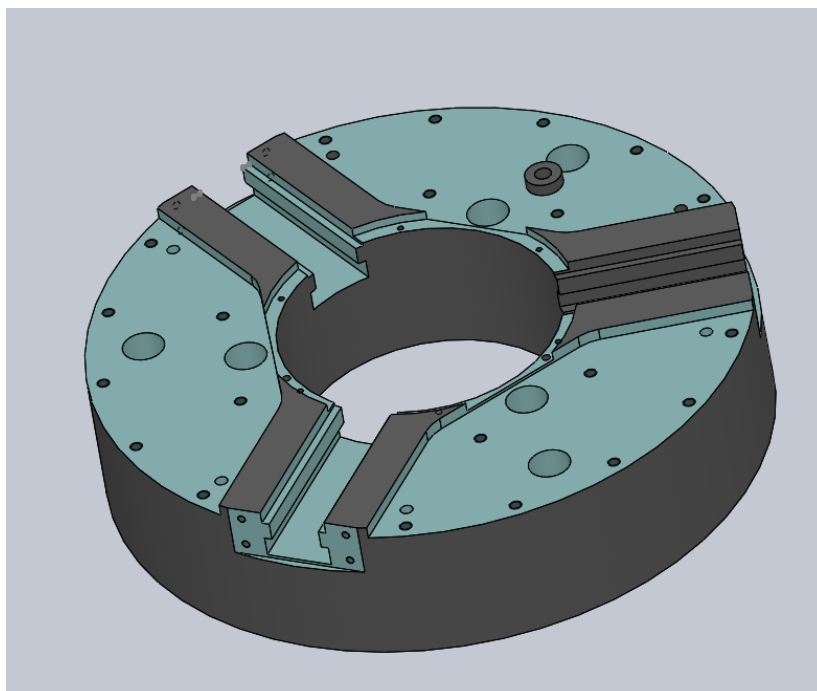
Výsledky měření druhé součásti jsou opět prezentovány jednak textovým výstupem uvedeným výše a také v měřícím protokolu (Příloha 6). Měření nám ukázalo, že je poloha jedné z děr Ø12H7(5) posunutá v jednom směru o 0,007 mm nad horní toleranci. Všechny ostatní rozměry jsou potom vyrobeny v rámci tolerancí uvedených ve výkresové dokumentaci.

Vzhledem k charakteru neshodně vyrobeného rozměru, funkci vyrobené desky a samotné díry byla deska po konzultaci s konstruktérem přípravku uvolněna bez dalších úprav pro následnou montáž. V případě problémů při montáži bude doporučeno díru nepatrně uvolnit.



Obrázek 34 – Součást 2 – Deska v pracovním prostoru stroje

7.5 Součást 3 – Sklíčidlo



Obrázek 35 – Model Součásti 3 – Sklíčidlo

7.5.1 Výrobní postup

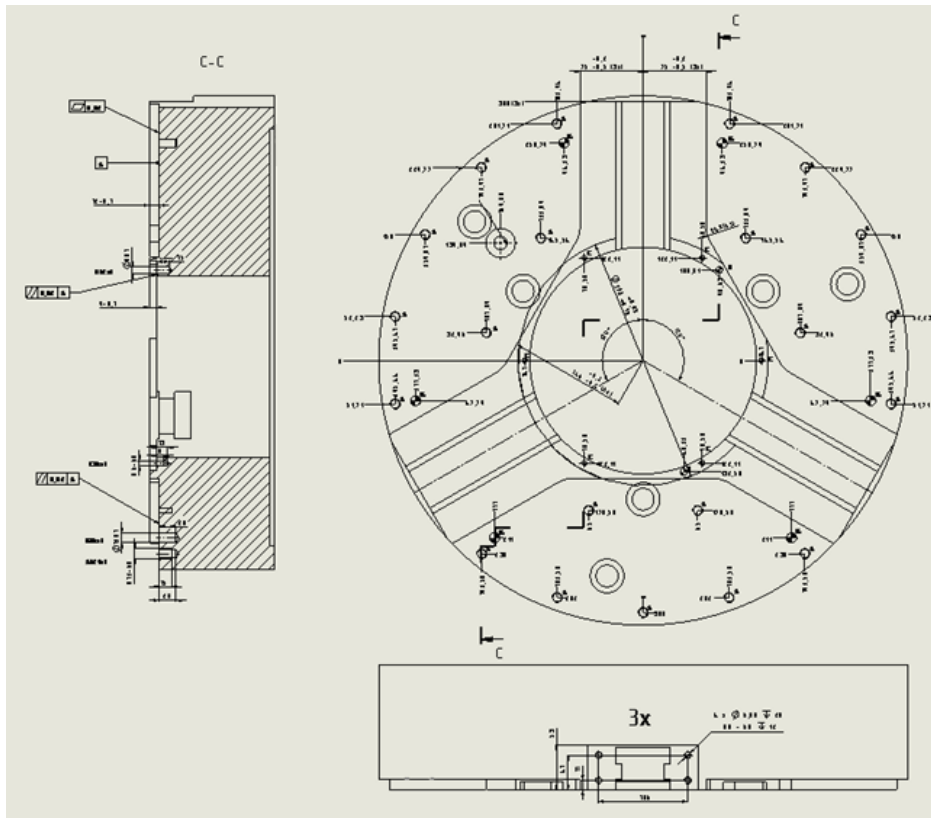
Na rozdíl od předchozích měřených výrobků, které jsme vyráběli od „A“ po „Z“ (Doraz, Deska) je charakter této součásti trochu odlišný. Celá sestava sklíčidla byla zakoupena od výrobce FORKARDT již jako hotový, smontovaný celek, a my pomocí obrábění pouze upravujeme jeho hlavní těleso pro vlastní potřebu – jde zejména o frézová a vrtání na horní ploše sklíčidla, která je v modelu barevně odlišena.

1. Demontáž původní sestavy sklíčidla FORKARDT
2. Obrábění na obráběcím centru – veškeré úpravy zhotovíme na jedno upnutí pomocí NC programu.
3. Ojehlení ostrých hran a otřepů a konečná úprava dílce.
4. Kontrola kvality výroby prostřednictvím souřadnicového měřicího stroje.

Předpokládáme, že rozměry dané výrobcem jsou vyrobeny shodně s přiloženou dokumentací a proměřovat je tedy na 3D měřicím stroji nemá smysl. Naším úkolem bude zkontrolovat rozměry, které byly zhotoveny až dodatečně.



Obrázek 36 – Sklíčidlo FORKARDT



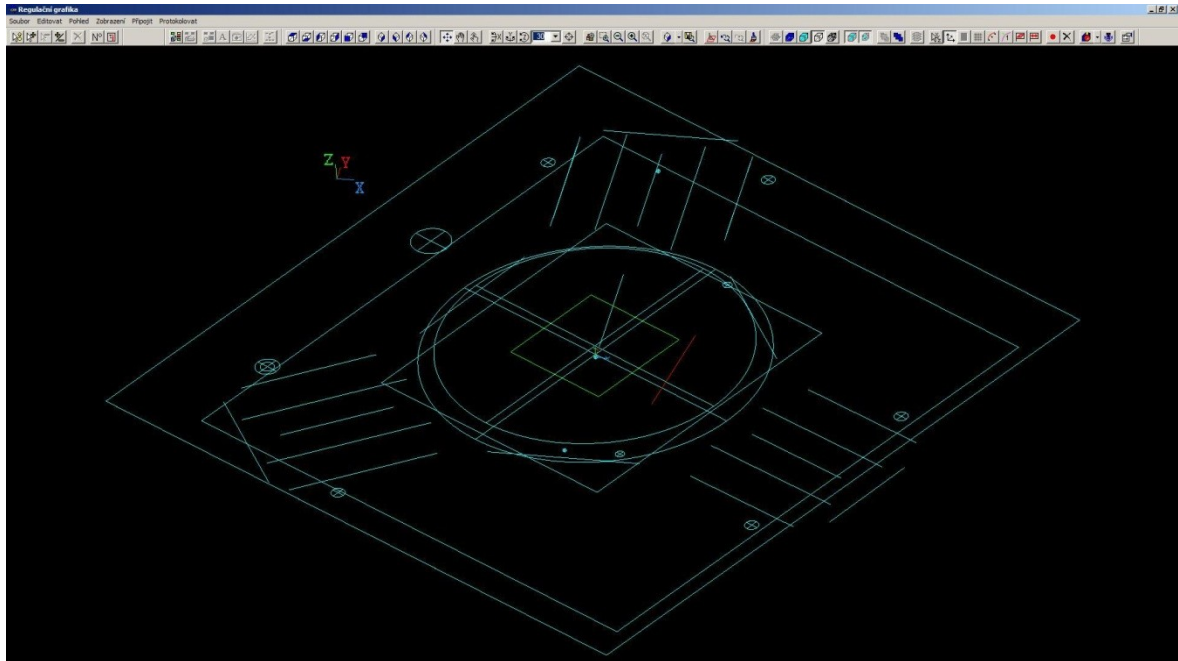
Obrázek 37 – Náhled výkresové dokumentace Součást 3

- Výkres Součásti 3 – Sklíčidlo najdeme mezi přílohami jako Příloha 7

7.5.2 Průběh měření

I přes odlišný charakter této součásti se průběh měření měnit nebude, a základní kroky jsou stejné s měřením předchozích dílců.

- Odmaštění a očištění dílce
- Vhodné a pevné upnutí – sklíčidlo stačí volně umístit na stůl-vysoká hmotnost
- Určíme souřadný systém – snímáme rovinu, přímku a bod
- Snímání bodů definujících geometrické prvky, kterými je dán tvar dílce a přejezdových bodů – tvorba programu (Příloha 8)
- Vyhodnocování výsledků – tvorba měřícího protokolu (Příloha 9)



Obrázek 38 – Nasnímané geometrické prvky v programu Metrosoft – Součást 3

7.5.3 Textový výstup měření Součásti 3

Rovinnost "A", míra 12-0,1

27 Rovinnost

3 0.000 t= 0.020 0.031 0.031 156%

28 Vektorová pozice [Z]

3 Z 12.000 0.000 -0.100 Z 11.963 Z -0.037 26%

Rovnoběžnost ku "A", míra 9-0,1

29 Tolerance rovnoběžnosti

3 0.000 t= 0.020 0.017 0.017 86%

30 Vzdálenost rovina - rovina [R]

3 r 9.000 0.000 -0.100 r 8.960 r -0.040 19%

Průměr 298 +0,05/+0,15

31 Průměr

3	P	298.000	0.150	0.050	P	298.077	0.077	-46%
---	---	---------	-------	-------	---	---------	-------	------

Míra 140 -0,2/-0,5 - 3x

32 Vzdálenost bod - přímka [R]

3	r	140.000	-0.200	-0.500	r	139.686	r	-0.314	24%
---	---	---------	--------	--------	---	---------	---	--------	-----

33 Vzdálenost bod - přímka [R]

3	r	140.000	-0.200	-0.500	r	139.695	r	-0.305	30%
---	---	---------	--------	--------	---	---------	---	--------	-----

34 Vzdálenost bod - přímka [R]

3	r	140.000	-0.200	-0.500	r	139.699	r	-0.301	32%
---	---	---------	--------	--------	---	---------	---	--------	-----

Míra 75 -0,2/-0,5 - 6x

35 Vzdálenost přímka - přímka [R]

3	r	75.000	-0.200	-0.500	r	74.940	r	-0.060	194%
----------	----------	---------------	---------------	---------------	----------	---------------	----------	---------------	-------------

36 Vzdálenost přímka - přímka [R]

3	r	75.000	-0.200	-0.500	r	74.854	r	-0.146	136%
----------	----------	---------------	---------------	---------------	----------	---------------	----------	---------------	-------------

37 Vzdálenost přímka - přímka [R]

3	r	75.000	-0.200	-0.500	r	74.580	r	-0.420	-46%
---	---	--------	--------	--------	---	--------	---	--------	------

38 Vzdálenost přímka - přímka [R]

3	r	75.000	-0.200	-0.500	r	74.730	r	-0.270	54%
---	---	--------	--------	--------	---	--------	---	--------	-----

39 Vzdálenost přímka - přímka [R]

3	r	75.000	-0.200	-0.500	r	74.527	r	-0.473	-82%
---	---	--------	--------	--------	---	--------	---	--------	------

40 Vzdálenost přímka - přímka [R]

3	r	75.000	-0.200	-0.500	r	74.798	r	-0.202	99%
---	---	--------	--------	--------	---	--------	---	--------	-----

Průměr 8H7 - 2x

41 Průměr

3	P	8.000	H7	0.015	0.000	P	8.005	0.005	-35%
---	---	-------	----	-------	-------	---	-------	-------	------

42 Vektorová pozice [X Y]

3	X	90.630	0.010	-0.010	X	90.626	X	-0.004	-44%
	Y	108.010	0.010	-0.010	Y	108.010	Y	0.000	2%

43 Průměr

3	P	8.000	H7	0.015	0.000	P	8.004	0.004	-43%
---	---	-------	----	-------	-------	---	-------	-------	------

44 Vektorová pozice [X Y]

3	X	48.220	0.010	-0.010	X	48.218	X	-0.002	-15%
	Y	-132.500	0.010	-0.010	Y	-132.492	Y	0.008	75%

Průměr 12H7 - 6x

45 Průměr

3	P	12.000	H7	0.018	0.000	P	12.010	0.010	6%
---	---	--------	----	-------	-------	---	--------	-------	----

46 Vektorová pozice [X Y]

3	X	94.230	0.010	-0.010	X	94.244	X	0.014	143%
	Y	258.790	0.010	-0.010	Y	258.779	Y	-0.011	-106%

47 Průměr

3	P	12.000	H7	0.018	0.000	P	12.011	0.011	23%
---	---	--------	----	-------	-------	---	--------	-------	-----

48 Vektorová pozice [X Y]

3	X	-94.230	0.010	-0.010	X	-94.217	X	0.013	133%
	Y	258.790	0.010	-0.010	Y	258.792	Y	0.002	22%

49 Průměr

3	P	12.000	H7	0.018	0.000	P	12.010	0.010	7%
---	---	--------	----	-------	-------	---	--------	-------	----

50 Vektorová pozice [X Y]

3	X	-271.230	0.010	-0.010	X	-271.229	X	0.001	14%
	Y	-47.790	0.010	-0.010	Y	-47.778	Y	0.012	122%

51 Průměr

3	P	12.000	H7	0.018	0.000	P	12.010	0.010	8%
---	---	--------	----	-------	-------	---	--------	-------	----

52 Vektorová pozice [X Y]

3	X	-177.000	0.010	-0.010	X	-177.007	X	-0.007	-68%
	Y	-211.000	0.010	-0.010	Y	-211.007	Y	-0.007	-65%

53 Průměr

3	P	12.000	H7	0.018	0.000	P	12.011	0.011	17%
---	---	--------	----	-------	-------	---	--------	-------	-----

54 Vektorová pozice [X Y]

3	X	177.000	0.010	-0.010	X	176.992	X	-0.008	-81%
	Y	-211.000	0.010	-0.010	Y	-211.022	Y	-0.022	-223%

55 Průměr

3	P	12.000	H7	0.018	0.000	P	12.009	0.009	4%
---	---	--------	----	-------	-------	---	--------	-------	----

56 Vektorová pozice [X Y]

3	X	271.230	0.010	-0.010	X	271.237	X	0.007	66%
	Y	-47.790	0.010	-0.010	Y	-47.806	Y	-0.016	-164%

Po změření třetí součásti-tělesa sklíčidla máme k dispozici opět jak textový výstup, tak měřicí protokol (Příloha 9). Výsledky měření nám ukázaly, že se zde nevyhneme dalším úpravám. V první řadě bude nutné zajistit rovinnost (1), plochu „A“ tedy překopírujeme – budeme obrábět na stejných souřadnicích, jako původně, pouze s většími otáčkami nástroje a pomalejším posuvem. Nesprávně zhotovenou míru 75 -0,2/-0.5 (9,10) je v obou případech nutno opravit. Nápravu sjednáme frézováním stěny vybrání. Díry Ø12H7, jejichž poloha (20, 22, 24, 28, 30) není ve shodě s výkresovou dokumentací, bude nutné zaslepit a vyrobit znovu. Po opravě sklíčidlo znovu proměříme.

7.5.4 Textový výstup druhého měření Součásti 3

Rovinnost "A", míra 12-0,1

27 Rovinnost

3	0.000	t=	0.020	0.011	0.011	56%
---	-------	----	-------	-------	-------	-----

28 Vektorová pozice [Z]

3	Z	12.000	0.000	-0.100	Z	11.963	Z	-0.037	26%
---	---	--------	-------	--------	---	--------	---	--------	-----

Rovnoběžnost ku "A", míra 9-0,1

29 Tolerance rovnoběžnosti

3		0.000	t= 0.020		0.017	0.017	86%
---	--	-------	----------	--	-------	-------	-----

30 Vzdálenost rovina - rovina [R]

3	r	9.000	0.000	-0.100	r	8.960	r	-0.040	19%
---	---	-------	-------	--------	---	-------	---	--------	-----

Průměr 298 +0,05/+0,15

31 Průměr

3	P	298.000	0.150	0.050	P	298.077	0.077	-46%
---	---	---------	-------	-------	---	---------	-------	------

Míra 140 -0,2/-0,5 - 3x

32 Vzdálenost bod - přímka [R]

3	r	140.000	-0.200	-0.500	r	139.686	r	-0.314	24%
---	---	---------	--------	--------	---	---------	---	--------	-----

33 Vzdálenost bod - přímka [R]

3	r	140.000	-0.200	-0.500	r	139.695	r	-0.305	30%
---	---	---------	--------	--------	---	---------	---	--------	-----

34 Vzdálenost bod - přímka [R]

3	r	140.000	-0.200	-0.500	r	139.699	r	-0.301	32%
---	---	---------	--------	--------	---	---------	---	--------	-----

Míra 75 -0,2/-0,5 - 6x

35 Vzdálenost přímka - přímka [R]

3	r	75.000	-0.200	-0.500	r	74.720	r	-0.280	47%
---	---	--------	--------	--------	---	--------	---	--------	-----

36 Vzdálenost přímka - přímka [R]

3	r	75.000	-0.200	-0.500	r	74.778	r	-0.222	85%
---	---	--------	--------	--------	---	--------	---	--------	-----

37 Vzdálenost přímka - přímka [R]

3	r	75.000	-0.200	-0.500	r	74.580	r	-0.420	-46%
---	---	--------	--------	--------	---	--------	---	--------	------

38 Vzdálenost přímka - přímka [R]

3	r	75.000	-0.200	-0.500	r	74.730	r	-0.270	54%
---	---	--------	--------	--------	---	--------	---	--------	-----

39 Vzdálenost přímka - přímka [R]

3 r 75.000 -0.200 -0.500 r 74.527 r -0.473 -82%

40 Vzdálenost přímka - přímka [R]

3 r 75.000 -0.200 -0.500 r 74.798 r -0.202 99%

Průměr 8H7 - 2x

41 Průměr

3 P 8.000 H7 0.015 0.000 P 8.005 0.005 -35%

42 Vektorová pozice [X Y]

3 X 90.630 0.010 -0.010 X 90.626 X -0.004 -44%

Y 108.010 0.010 -0.010 Y 108.010 Y 0.000 2%

43 Průměr

1 P 8.000 H7 0.015 0.000 P 8.004 0.004 -43%

44 Vektorová pozice [X Y]

3 X 48.220 0.010 -0.010 X 48.218 X -0.002 -15%

Y -132.500 0.010 -0.010 Y -132.492 Y 0.008 75%

Průměr 12H7 - 6x

45 Průměr

3 P 12.000 H7 0.018 0.000 P 12.010 0.010 6%

46 Vektorová pozice [X Y]

3 X 94.230 0.010 -0.010 X 94.237 X 0.007 70%

Y 258.790 0.010 -0.010 Y 258.782 Y -0.008 -80%

47 Průměr

3 P 12.000 H7 0.018 0.000 P 12.011 0.011 23%

48 Vektorová pozice [X Y]

3 X -94.230 0.010 -0.010 X -94.223 X 0.007 70%

Y 258.790 0.010 -0.010 Y 258.792 Y 0.002 20%

49 Průměr

3	P	12.000	H7	0.018	0.000	P	12.010	0.010	7%
---	---	--------	----	-------	-------	---	--------	-------	----

50 Vektorová pozice [X Y]

3	X	-271.230		0.010	-0.010	X	-271.229	X	0.001	10%
	Y	-47.790		0.010	-0.010	Y	-47.782	Y	0.008	80%

51 Průměr

3	P	12.000	H7	0.018	0.000	P	12.010	0.010	8%
---	---	--------	----	-------	-------	---	--------	-------	----

52 Vektorová pozice [X Y]

3	X	-177.000		0.010	-0.010	X	-177.007	X	-0.007	-68%
	Y	-211.000		0.010	-0.010	Y	-211.007	Y	-0.007	-65%

53 Průměr

3	P	12.000	H7	0.018	0.000	P	12.011	0.011	17%
---	---	--------	----	-------	-------	---	--------	-------	-----

54 Vektorová pozice [X Y]

3	X	177.000		0.010	-0.010	X	176.992	X	-0.008	-80%
	Y	-211.000		0.010	-0.010	Y	-211.006	Y	-0.006	-60%

55 Průměr

3	P	12.000	H7	0.018	0.000	P	12.009	0.009	4%
---	---	--------	----	-------	-------	---	--------	-------	----

56 Vektorová pozice [X Y]

3	X	271.230		0.010	-0.010	X	271.237	X	0.007	70%
	Y	-47.790		0.010	-0.010	Y	-47.797	Y	-0.007	-70%

Po opravě jsme těleso sklíčidla opět podrobili kontrole. Její průběh je prakticky totožný jako v prvním případě. Mohli jsme však využít již hotového programu (Příloha 8). Tím se samotné měření výrazně urychlilo. Výsledky druhého měření dopadly velmi dobře. Všechny, původně neshodné rozměry se podařilo opravit. My jej tedy můžeme uvolnit pro montáž. I z toho měření máme k dispozici měřící protokol (Příloha 10).

ZÁVĚR

3D měření má v dnešní době nezastupitelnou úlohu a to v celé řadě různých oborů. Existuje několik odlišných způsobů a principů 3D měření, které je možné provést prostřednictvím mnoha lišících se 3D měřících strojů. V teoretické části této práce byly ty nejzákladnější rozebrány a popsány. Nelze jednoznačně říct, že je jeden způsob měření nebo konkrétní měřící stroj obecně nejlepší nebo opačně nejhorší pro všechna měření. Vždy je pouze na individuálním posouzení a konečném uživateli, jak se v závislosti na požadavcích měření, rozhodne měřit. Jelikož jsou však pořizovací náklady 3D měřících strojů stále poměrně značné (statisíce až milióny korun), rozhodně se před jejich pořízením vyplatí hlubší analýza, zda je přímo samotná koupě daného, vlastního stroje nejlepším řešením. Jestli ano, pak jaký typ stroje by byl pro danou aplikaci nejlepší. Kvalitním výběrem se však náklady na pořízení časem vykompenzují.

V praktické části této práce bylo ukázáno, jak je 3D měření využíváno v konkrétní firmě, zabývající se strojní výrobou. Na základě výkresové dokumentace byl navržen optimální postup výroby tří vybraných součástí – doraz, deska, sklíčidlo, ze sestavy mechanického upínacího přípravku. Dle tohoto postupu byly vyrobeny prototypy těchto dílců. Následně byla provedena kontrola kvality výroby prostřednictvím souřadnicového měřícího stroje WENZEL LH 87. Poměrně rychle byly díky němu získány přehledné, přesné informace o rozměrech měřených výrobků, které byly porovnány s jejich teoretickým modelem. Jednu ze součástí – Sklíčidlo bylo nutné po kontrole vrátit do výroby k opravě. Doporučená opatření však dopomohla k odstranění vzniklých nedostatků a tyto součásti mohly být úspěšně zamontovány do sestav a expedovány zákazníkovi. Ze všech měření je k dispozici jako výstup měření měřící protokol.

Je zřejmé, že souřadnicové měřící stroje, stejně jako jakékoli jiné měřící zařízení, samo o sobě neodstraní chyby vzniklé při výrobě. Slouží nám však jako dokonalý nástroj ke zjištění aktuálního stavu, a dopomáhá nám tím k neustálému zvyšování kvality výrobků a tím i ke zvyšování konkurenceschopnosti. Možnost včasného a rychlého odhalení problému nebo závady je k nezaplacení ve všech fázích výroby a nejen tam.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] POKORNÝ, Přemysl. *Souřadnicové měřicí stroje*. Liberec: Technická univerzita, 1999. 76 s. ISBN 80-7083-326-2
- [2] ČEPOVÁ, Lenka, PETŘKOVSKÁ Lenka. *Legislativa ve strojírenské technologii a přesné měření 3D ploch*. VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, 2011, 125 s. ISBN 978-80-248-2514-4
- [3] NAVRÁTIL, Robert. *Technologie skenování ve 3D*. 2016, 138 s. CZ.1.07/3,2, 10/04.0024 [online]. Dostupné z : www.spsks.cz/uploads
- [4] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie, část 1*. VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní, 2004, 110 s.
- [5] KUČERA, Libor. *Měření přesnosti dutiny formy*. Zlín, 2010, 64 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická.
- [6] Kapesní průvodce – *Vysvětlení snímacích technologií souřadnicových měřicích strojů* [online]. Dostupné z: www.renishaw.cz
- [7] ELFMARK, Miroslav. *Inovace metrologického postupu výroby z polymerního materiálu*. Zlín, 2012, 75 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická.
- [8] *Souřadnicová měření ve strojírenské výrobě*. Nejčtenější strojírenský časopis – MM spektrum [online]. www.mmspektrum.com [cit. 11.12.016]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/souradnicova-mereni-ve-strojirenske-vyrobe.html>
- [9] *Souřadnicová měřicí technika*. . Nejčtenější strojírenský časopis – MM spektrum [online]. www.mmspektrum.com [cit. 11.12.016]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/souradnicova-merici-technika.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CMM	Coordinate Measuring Machine
3D	Three Dimensional.
2D	Two Dimensional.
CNC	Computer Numerical Controlled.
CCD	Charge-Coupled Device.
NC	Numerical Controlled.
ČSN	Česká státní norma.
ZPS	Závody přesného strojírenství.
OP 1	První operace.
OP 2	Druhá operace.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1	Popis souřadnicového měřicího stroje.....	13
Obrázek 2	Stojanová typ CMM.....	14
Obrázek 3	Výložníkový typ CMM.....	14
Obrázek 4	Portálový typ CMM.....	15
Obrázek 5	Mostový typ CMM.....	15
Obrázek 6	Odměřovací systémy CMM.....	17
Obrázek 7	Spínací sonda.....	20
Obrázek 8	Ukázka měřících dotyků.....	21
Obrázek 9	Ukázka možností snímání.....	25
Obrázek 10	Chyby při měření.....	26
Obrázek 11	Chyby vzniklé při snímání.....	27
Obrázek 12	Optický skener.....	29
Obrázek 13	Laserové skenery.....	30
Obrázek 14	Mechanický skener.....	30
Obrázek 15	Princip počítačové tomografie.....	32
Obrázek 16	3D modely získané počítačovou tomografií.....	33
Obrázek 17	Hydraulický upínací přípravek (OP 1).....	36
Obrázek 18	Hydraulický upínací přípravek (OP 2).....	36
Obrázek 19	Upínací věž.....	37
Obrázek 20	Postupový lisovací nástroj.....	37
Obrázek 21	Jednoúčelové svařovací zařízení.....	38
Obrázek 22	CMM WENZEL LH 87.....	39
Obrázek 23	Detail měřící hlavy.....	39
Obrázek 24	Model sestavy upínače.....	40

Obrázek 25	Kalibrace ve všech polohách.....	41
Obrázek 26	Model Součásti 1 – Doraz.....	42
Obrázek 27	Náhled výkresové dokumentace Součást 1.....	43
Obrázek 28	Nasnímané geometrické prvky v programu Metrosoft – Součást 1.....	44
Obrázek 29	Popis textového výstupu protokolu.....	45
Obrázek 30	Součást 1 – Doraz v pracovním prostoru stroje.....	47
Obrázek 31	Model Součásti 2 – Deska.....	48
Obrázek 32	Náhled výkresové dokumentace Součást 2.....	49
Obrázek 33	Nasnímané geometrické prvky v programu Metrosoft – Součást 2.....	50
Obrázek 34	Součást 2 – Deska v pracovním prostoru stroje.....	53
Obrázek 35	Model Součásti 3 – Sklíčidlo.....	53
Obrázek 36	Skličidlo FORKARDT.....	54
Obrázek 37	Náhled výkresové dokumentace Součást 3.....	55
Obrázek 38	Nasnímané geometrické prvky v programu Metrosoft – Součást 3.....	56

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkres Součást 1 - Doraz
- Příloha 2 Měřicí program Součást 1 - Doraz
- Příloha 3 Měřicí protokol Součást 1 - Doraz
- Příloha 4 Výkres Součást 2 - Deska
- Příloha 5 Měřicí program Součást 2 - Deska
- Příloha 6 Měřicí protokol Součást 2 - Deska
- Příloha 7 Výkres Součást 3 - Sklíčidlo
- Příloha 8 Měřicí program Součást 3 - Sklíčidlo
- Příloha 9 Měřicí protokol Součást 3 – Sklíčidlo
- Příloha 10 Měřicí protokol z druhého měření Součást 3 – Sklíčidlo