

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Kontrola a měření tvarových ploch

Checking and Measurement of Free Form Surface

Student: Bc. Pavel Fojtík

Vedoucí diplomové práce: Ing. Lenka Petřkovská, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Fojtík**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **2303T002 Strojírenská technologie**
Specializace: **20 Strojírenská technologie**
Téma: **Kontrola a měření tvarových ploch**
Checking and Measurement of Free Form Surfaces

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Metody měření tvarových ploch.
3. Rozbor měření ploch zadané součásti.
4. Výuková podpora měření 3D ploch.
5. Zhodnocení a rozbor dosažených výsledků návrhu.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČEPOVÁ, L.; PETŘKOVSKÁ, L. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch*. Ostrava : Katedra obrábění a montáže FS VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2011, s. 100. ISBN 978-80-248-2514-4.
- [2] PETŘKOVSKÁ, L., ČEPOVÁ L. *Metrologie a řízení kvality*. Ostrava : VŠB-TUO, 2011.
- [3] LUIGI, COCCO. *Modern Metrology Concerns*. InTech, Rijeka, Croatia. 2012. ISBN 978-953-51-0584-8.
- [4] CHRISTOPH, R.; NEUMANN, H. J. *Multisenzorová suřadnicová měřicí technika*. 4. vydání. Uh. Hradiště : L. V. Print, Uherské Hradiště. 2008.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lenka Petřková, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014




Ing.et Ing.Mgr. Jana Petřová, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.

beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).

souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.

bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

beru na vědomí, že odevzdáním své 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 předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Pavel Fojtík

Adresa trvalého pobytu autora práce: Tichá 242

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. FOJTÍK, P. Kontrola a měření tvarových ploch: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 54 stran.

Vedoucí práce: Ing. Lenka Petřkovská, Ph.D.

V diplomové práci je navržen a realizován postup programování měření tvarových ploch na 3D souřadnicovém měřicím stroji. Součást se skládá ze tří tvarových ploch, půlkoule, část plochy válce a jehlan. Předmětem měření jsou dvě shodné součásti vyrobeny dvěma metodami frézování. Třiosým a pětiosým frézováním. Nejprve je práce zaměřena na problematiku souřadnicových strojů, jejich základní rozdělení, z čeho se stroje skládají. Probrali volbu měřicích doteků a jejich využití. Dále je vypracován program pro měření jednotlivých ploch pomocí softwaru Metrosoft Quartis R6 a na závěr zhodnoceno srovnáním výsledků.

ANNOTATION OF THESIS

Bc. Fojtík, P. Checking and Measurement of Free Form Surface. Ostrava VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and assembly, 2014, 54 pages.

This head: Ing Lenka Petřkovská, Ph.D

The thesis deals with implemented the programming procedure contoured surfaces 3D coordinate measuring machine. The component consists of three shaped areas, half sphere, other areas cylinders and pyramids. The object of measurement are two identical part produced by two methods milling. Three-axis milling and five-axis milling. First, it is focused on the issue of coordinate machines, their basic division of what the machines are composed. Discuss the choice of styli and their use. It is developed for measuring individual program areas using the software Metrosoft Quartis R6 and finally assessed by comparing the results.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucí mé diplomové práce Ing. Lence Petřkovské, Ph.D za ochotu, trpělivost a vedení při psaní mé diplomové práce a autorizovanému servisnímu zástupci firmy Wenzel p. Luboši Blažkovi za cenné rady.

Tato práce byla řešena v rámci projektu ESF OPVK „Systém vzdělávání pro personální zabezpečení výzkumu a vývoje v oblasti moderního trendu povrchového inženýrství – integrity povrchu“, reg.č. CZ.1.07/2.3.00/20.0037.

Obsah

Seznam použitého značení	8
1 Metody měření tvarových ploch.....	9
1.1 Historie a vývoj SMS.....	9
1.2 Typy SMS	11
1.3 Konstrukce SMS.....	14
1.4 Snímací technologie SMS	16
1.5 Typy doteků.....	18
1.6 Výběr doteků	19
1.7 Přesnost měření dotyku	21
1.8 Geometrické tolerance	21
2 Rozbor měření ploch zadané součásti.....	24
2.1 Popis stroje	25
3 Postup měření zadané součásti.....	29
3.1 Programování paletového souřadného systému stroje.....	29
3.2 Postup programování jednotlivých řezů	32
3.3 Postup programování zadaných tvarových ploch	39
4 Vyhodnocení tvarových ploch.....	47
4.1 Vyhodnocení tvarové plochy půlkoule	47
4.2 Vyhodnocení tvarové plochy části válce.....	49
4.3 Vyhodnocení tvarové plochy stěn jehlanu	51
5 Závěr.....	53
6 Použitá literatura.....	54

Seznam použitého značení

Značka	Veličina	Rozměr
L	Délka, šířka	mm
M	Hnací moment	Nm
m	Hmotnost	g
MPE_e	Nejistota měření	μm
MPE_p	Dolní mez nejistoty	μm
MPE_{thp}	Horní mez nejistoty	μ

1 Metody měření tvarových ploch

Souřadnicové měřicí stroje vykazují jednu z nejvýznamnějších inovací v oblasti měření ve strojírenství. Konstrukce souřadnicových měřících strojů byla vynucena potřebou měření karoserií v leteckém průmyslu a automobilovém a potřebou měření u NC strojů ve strojírenství. Princip souřadnicového měření je v tom, že určíme základní bod v prostoru a polohy následujících bodů na měřené součásti měříme formou souřadnicových parametrů v osách X, Y, Z. Výběr určení základního bodu v jakémkoliv místě pracovního prostoru měřicího stroje je významnou výhodou oproti konvenčním metodám. Ve srovnání s klasickými způsoby měření, kde zaznamenávání naměřených hodnot z podrobných stupnic je nejen časově náročné, ale i namáhavé, představuje číslíkový způsob zaznamenávání výsledků u souřadnicových měřících strojů posunutí metod měření vpřed. Mimo to je většina číslíkových souřadnicových měřících strojů (dále SMS) přizpůsobena tak, že je možno připojit k nim přístroje pro záznam naměřených hodnot, které automaticky ukládá naměřené body. Záznam výsledku slouží jako podklad o provedeném měření, ale může být též dokladem pro statistické metody vyhodnocování měření. Jak NC stroj vyrábí výrobky, tak SMS podobným způsobem kontroluje. Pracuje velice rychle - měřicí časy snižuje asi o 80 %. SMS jsou obzvláště ideální pro rozměrovou kontrolu součástí vyhotovených na frézkách, vrtáčkách a vyvrtávačkách. Spolupráce SMS s počítačovou technikou představuje prostředek pro účinné zvyšování a udržování kvality v mnoha typech výroby při tváření i obrábění. [6]

1.1 Historie a vývoj SMS

V současném období ekonomické krize, která má celosvětový dopad na všechny oblasti lidské tvorby a života obecně, je těžké předvídat budoucnost SMS. SMS produkty však již dlouho dominují kontrolám kvality ve výrobní oblasti (kontrola součástí) a pokud by zde došlo k nějaké významnější technologické inovaci, tak i přesto zůstane SMS hlavním prostředkem pro hodnocení kvality v tomto směru. [6]

Současný trend je přesun SMS měření na výrobní úroveň a mnoho nových výrobků přišlo v posledních letech na trh speciálně se zaměřením na tuto oblast. Souřadnicový měřicí stroj se objevil na počátku 60. let a průmyslové odvětví se zaměřením na souřadnicové měření byl na světě. První souřadnicový měřicí stroj byl 3D zařízení s jednoduchým zobrazením polohy stroje X, Y, Z. Počátky tohoto odvětví se datují až do dvacátých let 19. Století. Označování SMS stroje se stalo průmyslovým standardním zkratkou pro 3D měřicí stroje. První SMS zařízení bylo asi od italské firmy DEA (Digital Electronic Automation), která předtím představila portálový rám jako SMS s pevnou sondou v roce 1950. Asi ve stejné době firma Ferranti Metrology ze Skotska dodala na trh svůj úhlový SMS s pevnými sondami. DEA tvrdí, že představil jejich SMS jen několik měsíců před Ferranti. [6]

Pak je možné, že Ferranti dost pravděpodobně zavedlo první SMS s DCC v roce 1959 v Anglii, zatímco DEA tvrdí, že přivedla na trh první CNC SMS. Dalším dodavatelem je americká firma Shelton Metrology, který postavil SMS se vzduchovým ložiskem v 60-tých letech. LK Tool, firma také z Velké Británie již dlouho dobu tvrdila, že vyrábí první mostový SMS, který se stal standardní konfigurací pro souřadnicové měřicí stroje v pozdějších letech. Portalové SMS, konzolové SMS, mostové SMS, SMS horizontální ramena, SMS posuvný stůl, pevné mostové SMS a SMS kloubová ramena se staly jednotlivými nastaveními pro souřadnicové měřicí stroje. Pokud vezmeme vznik jednotlivých společností chronologicky, pak dle začátku tohoto odvětví (dle dostupných údaj by shrnutí vypadalo asi následovně: [6]

1819 - Firma Kern & Co, Farau Švýcarsko. Je to jeden z předchůdců dnešního Leica Geosystems AG spolu s firmou, která vstoupila do života, asi 100 let později v Heerbrugg, Švýcarsko.

1834 - Společnost Brown & Sharpe, USA

1868 - Ernst Leitz, Wetzlar, Německo

1912 - CE Johansson, Eskilstuna, Švédsko

1918 - Wild Heerbrugg, Heerbrugg, Švýcarsko

1934 - Sheffield Gage Corporation, Dayton, USA

1944 - TESA SA, Švýcarsko

1964 - DEA, Itálie - ve stejném roce vychází Alpha - první souřadnicový měřicí stroj

na světě - Ferranti Metrology, Skotsko

1986 - ROMER SARL, Francie

1992 - Hexagon AB, Švédsko, Hexagon Metrology je součástí Hexagon Measurement

Technologies, což je obchodní oblast Hexagon Group. ÚAD Rešerše souřadnicových měřicích strojů SMS LIST 12 a měřicích ramen CMMs

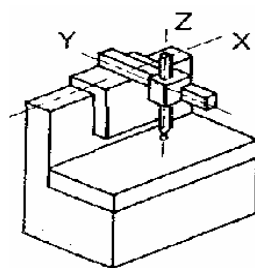
Následující vývoj do současnosti byl zajišťován vzájemným slučováním, kupováním, spoluprací jednotlivých společností. Sledování tohoto vývoje by bylo časově obtížné a jednotlivé provedení by bylo nad rámec této práce. Z uvedeného je vidět, že každá z vyspělých zemí světa si vytvořila svůj SMS průmysl. Největší rozšíření SMS přišlo od firem z Velké Británie. Firma Ferranti Metrology začala s SMS průmyslem ve Velké Británii a po krátkém období dala licenci ke své technologii firmě Bendix, která byla jako zmocněnec za Ferranti CMM v USA. Bendix SMS se stala největším dodavatelem SMS se svým systémem Cordax v průběhu 60. a 70. let, později jako Sheffield. Cordax SMS byl jako první úhlový ruční SMS s pevnými sondami. Když byla technologie více dostupná, tak pak systém přecházel na dotykové sondy od společnosti Renishaw. Sheffield Metrology je nyní součástí skupiny Hexagon Metrology. [6]

1.2 Typy SMS

SMS je zařízení, které má svoji vlastní měřicí desku s měřicím mechanismem. Měřicí mechanismus je pokaždé vybaven měřicím dotekem, který "snímá" kontrolovanou součást a jehož polohu je možno identifikovat buď opticky, nebo nejčastěji na číslicovém ukazateli. Souřadné osy SMS jsou vzájemně kolmé a současně kolmé, rovnoběžné s měřicí deskou. SMS je více typů a mohou být uspořádány do skupin na základě rozdílných hledisek. Snaha o maximální přístupnost do měřicího prostoru ovlivnila řešení SMS tak, že se dnes používají tato konstrukční uspořádání [7]:

Výložníkový typ

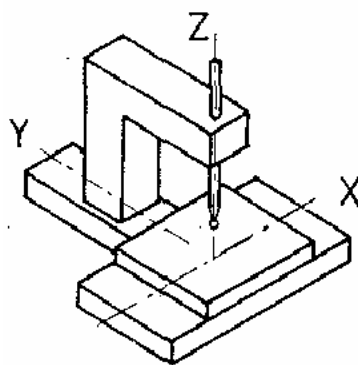
Mezi největší výhody patří výborná přístupnost k měřené součásti, s kterou je možné manipulovat v ose X,Y,Z. Tento typ (Obr. 1.1) má většinou kratší rozsah souřadnice, totožné se směrem ramena osy Y. Může mít někdy velký rozsah v podélném směru osy X. Některé konstrukce mají často dva výložníky proti sobě, pak se jedná o zdvojený výložníkový typ. [7]



Obr. 1.1 – Výložníkový typ

Stojanový typ

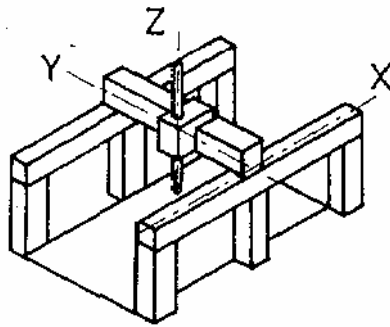
Vyznačuje relativně malými rozsahy měření z důvodu zachování dobré tuhosti konstrukce. Obvykle jde o laboratorní souřadnicové měřicí stroje, kde při dobré přístupnosti k měřenému objektu se dosahuje i nejlepší přesnosti. Tyto stroje jsou někdy vybavené i dělicím stolem, což umožňuje měřit ve válcových souřadnicích. (Obr. 1.2) [7]



Obr. 1.2 – Stojanový typ

Mostový typ

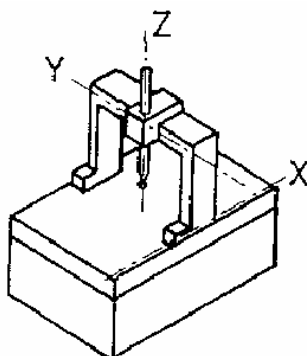
Používá se pro extrémní rozsah měření např. více než dvacet metrů v ose X. Přesnost měření je nižší, přístupnost k měřeným objektům dobrá. Tuhost konstrukce vzhledem k používanému rozsahu měření musí být dimenzována mohutnými nosníky a sloupy. (Obr. 1.3). Uplatnění těchto typů souřadnicových strojů je především v automobilovém a leteckém průmyslu. [7]



Obr. 1.3 – Mostový typ

Portálový typ

má použití pro střední a velké rozsahy měření. Vyznačuje se dobrou tuhostí a relativní vysokou přesností měření. Nevýhodou je zhoršený přístup k měřenému objektu. Tento typ má dvě varianty (pevný portál nebo pohyblivý portál). Pevný portál je tužší a vyžaduje pohyblivý stůl. U pohyblivého portálu je tomu naopak. Portálový typ je nejvíce rozšířený v praxi. (Obr. 1.4) [7]



Obr. 1.4 – Portálový typ

1.3 Konstrukce SMS

Na průměrné desky, které tvoří základ SMS i na vodící plochy jsou kladeny vysoké požadavky v dosažení rovinnosti a kolmosti. Minimální úchylka rovinnosti vodících ploch, které jsou broušeny na speciálních bruskách, bývá kolem 0,002 mm/m, lapováním je možno dosáhnout až 0,005 mm/m. Velmi často se změny geometrické přesnosti, které vznikají u ocelových a litinových konstrukcí vylučují použití kamene. Používají se nejčastěji granit a diabas. Měřicí rozsah SMS je dán hodnotami jednotlivých souřadnic X, Y, Z. Je to prostor, který při měření obsáhne měřicí hlavice. Většinou jsou však rozměry obrobků, které se může měřit na SMS menší. Cejchováním snímací hlavice a dotyků se zmenšuje také měřicí rozsah. [7]

Materiály jako jsou uhlíková vlákna nebo keramika jsou cenově výhodné. Základna se sloupovou sondou dlouhou 2 m má dovolenou odchylku méně než 0,0005 mm. Ocel a hliník mají podobnou tuhost, ale ocel má menší koeficient roztažnosti. K minimalizaci dynamických chyb a zvýšení vlastní frekvencí se používají metody konečných prvků. [7]

Pracovní deska

Používá se granitová deska, jako alternativa slouží litinový odlitek. Pracovní deska je ustavena na základních čtyřech podpěrách. Měřicí plocha pracovní desky je broušená. V pracovní ploše jsou otvory se závity, které nám slouží k připevnění měřicí součástí na měřicí plochu. Vedení, po kterém pojíždí most je umístěno na koncích desky. [7]

Most

Most je složená konstrukce, jehož stojiny tvoří profily ČSN 42 6936. [7]

Pinola

Duralová nebo litinová tyč H profilu. Vyvažování pinoly se provádí pomocí dvou souměrných závaží, mechanickým způsobem. [7]

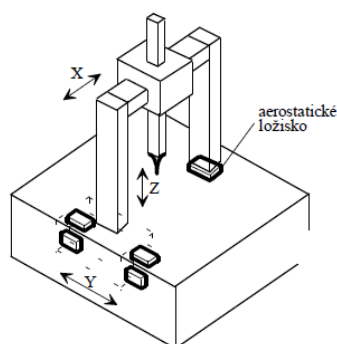
Vedení

Konstrukce pohyblivých částí SMS je provedena tak, aby se pohyblivé části mohly lehce posouvat bez trhavých pohybů a s maximální přesností i při minimálních rychlostech, které se používáme v konečných polohách. Pohyblivé části se nasazují na vedení s minimálním opotřebením, s co nejmenším třením a maximální tuhosti celého zařízení. Kluzné vedení se v dnešní době vůbec nepoužívá právě z těchto důvodů. Nevýhodou kluzného vedení je složitější provedení, což vede k zvýšení ceny SMS. Mezi problémy také patří svod oleje, jeho těsnění a odvod tepla. [7]

Častěji používané a vhodnější je uložení na aerostatickém vedení s plynným třením. Velkou předností tohoto vedení je v tom, že nejsou problémy s odváděním oleje. Výhodou je velmi malé tření i při vysokých rychlostech. Aerostatická ložiska mají tuhosti cca 1000 MN/m. Problémy nastávají i s čištěním vzduchu. Další nedostatek je poškození vedení a snížená odolnost proti korozi. [7]

Nejpoužívanějším vedením a také nejvhodnějším pro SMS jsou valivá vedení, která bývají na valečkách nebo kuličkách. K výhodám patří malé tření, vysoká rovnoměrnost pohybů, která je u SMS rozhodující pro přesná měření, vysoká tuhost při kvalitním zakrytí. Mazání na valivých vedeních nemá vliv na přesnost pohybů. Hlavním účelem mazání je ochrana proti korozi. Nevýhodou je jejich složitost výroby. [7]

Větší přesnosti dosáhneme uspořádáním aerostatických ložisek na všech osách. Například Y-ová osa má pět aerostatických ložisek, každé ložisko zachytává jeden ze šesti možných stupňů volnosti, tedy jeden stupeň zůstává volný, Y-ový bod. Taková kinematická struktura zajistí, že most může mít jednu orientaci minimalizující opakovatelné chyby. (Obr. 1.5)[7]



Obr. 1.5 - Uložení aerostatických ložisek

1.4 Snímací technologie SMS

Spínací dotykové senzory.

Jednoduché spínací snímací systémy pracují na principu soustavy tří bodů. Dotkne-li se snímací dotek měřené součásti, vytvoří se spouštěcí signál k přečtení systému odměřování SMS. Měřený bod se získá ze souřadnic měřicího stroje a vztahuje se na střed snímací koule. Ta je přes pevný dřík připevněna na trojbodovém uložení, u kterého funguje každý ze tří bodů jako spínač. Pokud se snímač vychýlí z jakéhokoliv směru, rozpojí se alespoň jeden ze snímačů. To se dále zpracuje jako spínací signál. [1]

Nevýhoda tohoto systému je hlavně v tom, že rozdílné snímací síly závislé na směru snímání vedou k různému prohnutí snímačů a tím k různému chování při snímání, které je závislé na směru (trojúhelníková charakteristika), což se dá jen složitě korigovat. Vysoce kvalitní snímací systémy používají k převodu mechanického signálu na elektrický převodník, jako např. piezoelektrické prvky nebo roztažné měřicí pásy. Pomocí nich se dá dosáhnout snímání, které je nezávislé na směru. [1]

Za nimi umístěná elektronika se stará o to, aby bylo možné pracovat s velmi malými snímacími silami. Nejistota měření ovlivněna senzorem je menší. Soustava tří bodů se vychýlí teprve po zjištění snímacího bodu. Tím jsou v osách přípustné poměrně velké brzdné dráhy. Celková nevýhoda všech spínacích systému senzorů spočívá v tom, že SMS musí být ke zjištění měřeného bodu v kontaktu s měřeným objektem potom zase odjet od objektu. Tím jsou pro každý měřený bod nutné časy pro snímání ve vteřinách. [1]

Třiosé skenování

Mezi největší výhody třiosého kontaktního skenování je vyšší rychlost, oproti datovému záznamu dotekovým spínačem. Třiosé skenování pracuje jinak než spínací dotekové snímání. Neustále zaznamenává data, když dotek provádí „skenování“ při kontaktu s povrchem měření (standardní je 2000 – 6000 bodů za sekundu). Veškerý pohyb během třiosého skenování zajišťují osy X, Y a Z stroje. [1]

Tenhle typ systému je vhodný v případech, kdy jsou k definování jednotlivých prvků zapotřebí velký objem dat, ale také kdy maximální výkon není nejvyšší prioritou. Mezi hlavní příklady patří vrtání válců u automobilů, odebírání vzorků listů vrtulí nebo profilů aerodynamických ploch. V těchto případech musíme nasnímat velké množství dat k přesnému výsledku. [1]

Pětiosé skenování

Jedná se o novou technologii SMS, která nabízí vysokou rychlost a přesnost, čímž zvyšuje výkon kontroly až padesátkrát. Pětiosá technologie provádí identické operace, jaké se obvykle používají s konvenčními spínacími dotekovými nebo třiosými skenovacími sondami, ale vyznačuje se větší úsporou času, který hraje u měření jednu hlavních rolí. V případech, kde se požadují pouze jednoduché dotekové body, mohou být snímány „za letu“ při vysoké rychlosti pomocí nekonečně polohové dvouosé servomotorové hlavice. [1]

Pro řadu bodů okolo vývrtu se osy hlavice otočí do žádané polohy, poté hlavice „vytásí“ dotek a sejme měřené body. Tato nová technika lze také použít ke snímání velmi rychlých bodů na povrchu forem a rovném povrchu. [1]

Osy stroje vedou hlavicí souběžně s povrchem a sonda s „dotekovým snímáním“ se vysune, aby snímala body bez snížení rychlosti stroje (i když v mnoha aplikacích může být skenování rychlejší). Nejmodernější součásti jsou navrhované pomocí počítače (CAD), kde mají projektanti větší možnosti k vytváření složitých forem. Kontrola hotových součástí trvá příliš dlouho pomocí spínacích dotekových sond nebo i třiosého skenování. [1]

Právě tady je pětiosé skenování nejideálnější se svou schopností zaznamenávat velké objemy přesných požadovaných kontrolních dat. Při pokusu použít tradiční tříosé skenování při vysoké rychlosti dochází k velkým dynamickým chybám vlivem deformaci rámu stroje při zátěži pohybu. [1]



Obr. 1.6 - Pětiosé skenování

1.5 Typy doteků

Přímé doteky

Jsou nejjednodušší a nejvíce používanější typ doteků. Vhodný pro většinu snímacích metod. Jemné doteky s malými kuličkami se vyrábějí s přímým nebo kónicky se zužujícím dříkem. Doteky s kónickými dříky mají vyšší tuhost a jsou používané pro měření dobře přístupných míst měřené součástí. Doteky mohou mít kuličky z keramiky, nitridu křemíku, oxidu zirkoničitého, rubínu nebo z karbidu wolframu. Držáky a dříky doteků se vyrábějí z různých materiálů – nerezové oceli, titanu, karbidu wolframu, keramiky, uhlíkových vláken. [2]

Hvězdicové doteky

Hvězdicové doteky jsou vícehraté konfigurace doteků s pevně umístěnými doteky. Lze je používat k měření tvarů, zejména otvorů a skloněných povrchů, které jsou obtížně dosažitelné přímým dotekem. Tento typ doteků rozšiřuje možnosti měřicího systému a umožňuje měření různých prvků na dílci bez nutnosti výměny doteku. [2]

Na trhu jsou k dispozici samostatně dodávané středy hvězdic v různých velikostech. Můžeme si sestavit hvězdicí dle vlastních představ. Materiál kuličky je z rubínu, nitridu křemíku nebo oxidu zirkoničitého. Každý hrot hvězdicového doteku vyžaduje samostatnou kvalifikaci stejným způsobem jako přímý dotek s jednou kuličkou. Hvězdicové doteky nejsou doporučeny používat na obráběcích strojích. [2]

Diskové doteky

Diskové doteky jsou „řezy“ vysoce kulovitých kuliček. Jsou vhodné pro snímání zápichů a drážek v otvorech, které jsou nedostupné pro hvězdicové doteky. Měření „sférickou plochou“ diskového doteku je v podstatě totožné jako měření prostřednictvím rovniku velké kuličky doteku. Ke kontaktu s měřeným dílcem dochází na malé ploše povrchu takové kuličky. Z toho důvodu tenčí disky vyžadují pečlivé úhlové parametry, aby byl zajištěn optimální kontakt povrchu disku se snímaným prvkem. [2]

Doteky s hrotem

Tyto doteky nejsou doporučeny pro měření v rovině XY. Jsou určeny pro měření plochy závitů, rysek a měření specifických bodů. Použití doteků se zaobleným hrotem umožňuje přesnější kvalifikaci doteků a je vhodné pro přesnější měření než použití doteků s ostrým hrotem. Doteky s hrotem lze také využít pro stanovení polohy malých otvorů. Doteky s hrotem nejsou doporučeny používat na obráběcích strojích. [2]

1.6 Výběr doteků

Všeobecné poznámky k výběru doteku:

- Nechejte doteky krátké. Čím tužší a kratší dotek, tím větší přesnost.
- Vybírejte si největší možnou kuličku, protože zvyšujete vůli stopky a snižujete vliv kvality povrchu součástí.

- Používejte malý počet spojů, protože vytvářejí potenciální body ohybu a vychýlení, které záporně ovlivňují přesnost.
- Hvězdicové doteky umožňují použití až 5 hrotů v bloku a jsou vhodné při měření vnitřních prvků, drážek pojistných kroužků ve vývrtech. Kromě výše uvedených všeobecných rysů by se měly vzít do úvahy následující tři oblasti:

Kvalita kuličky doteku:

- K dosažení dobré přesnosti se většina SMS dodává s kuličkami doteku kvality pět. Při výměně doteku je nezbytné, aby se nevybíraly kuličky nižší kvality (kvalita 10), protože běžně způsobují ztrátu až 15 % z celkové přesnosti stroje.

Výběr doteku, Materiály kuliček doteků:

- **Rubín** je materiál průmyslového standardu, je velice tvrdý a odolný proti opotřebení. Používá se ve většině aplikací.
- **Nitrid křemíku** je lepší než rubín v případech, kdy se skenuje hliník v cyklu těžkého provozu, protože odolává adheznímu otěru.
- **Oxid zirkoničitý** při skenování šedé litiny v cyklu těžkého provozu je tento materiál odolnější k „opotřebení otěrem“.

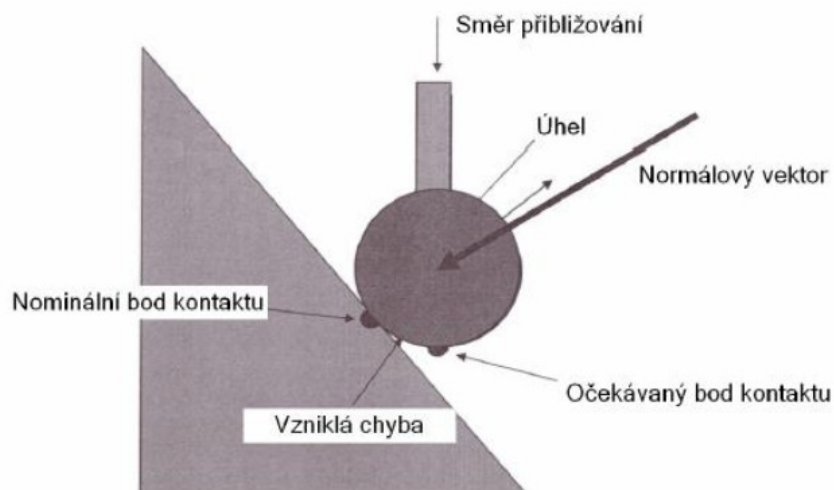
Materiály stopky doteku:

- **Ocel** - Většina doteků s průměrem kuličky větším než 2 mm a délkou až 30 mm používá nerezové nemagnetické ocelové stopky. Jednodílná konstrukce poskytuje optimální poměr hmotnosti k tuhosti. Je to nejběžnější volba.
- **Karbid wolframu** - Pokud je průměr kuličky menší než 1 mm nebo je hrot až 50 mm dlouhý, tento materiál má nejlepší tuhost.

- **Keramika** - Pokud je průměr kuličky větší než 3 mm nebo je délka hrotu přes 30 mm, tento materiál má tuhost nerezové oceli, ale je to lehčí volba než karbid wolframu.
- **Uhlíková vlákna** - Tato speciálně vyvinutá jakost uhlíkového vlákna je lehká a také nabízí vynikající tuhost v případě požadavku na velmi dlouhé stopky. [3]
-

1.7 Přesnost měření dotyku

Výsledky měření jsou závislé na schopnosti doteku sondy dosáhnout k měřenému prvku a na přesnosti odečtení bodu kontaktu. K nepřesnosti může dojít například se vznikem tzv. kosinové chyby při kontaktu doteku s měřeným dílcem, jak naznačuje obrázek



Obr. 1,7 – Kosinova chyba

1.8 Geometrické tolerance

Na správné funkci součásti se kromě přesnosti rozměrů a kvality povrchu vehementně podílí geometricky tvar funkčních ploch.

Tolerance tvaru:

- Přímosti - Každá skutečná přímka, která má ležet v rovině rovnoběžné s průmětnou, ve které je přímost označena, musí ležet mezi dvěma rovnoběžkami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance přímosti „t“.
- Rovinnosti – toleranční prsto je omezen dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance roviny.
- Kruhovitosti – Toleranční pole je omezeno v dané rovině průřezu dvěma soustřednými kružnicemi vzdálenými od sebe o šířku mezikruží rovnou toleranci kruhovitosti.
- Válcovitosti – Toleranční prostor je omezen dvěma souosými válci vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance válcovitosti
- Tvaru profilu – Toleranční pole tvaru profilu je omezeno v rovině dvěma čarami ekvidistantními ke jmenovitému tvaru profilu.
- Tvaru plochy - Toleranční pole tvaru plochy je omezeno v prostoru dvěma plochami ekvidistantními ke jmenovitému tvaru plochy. [5]

Tolerance směru

- Rovnoběžnosti - Toleranční prostor je omezen dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance rovnoběžnosti a rovnoběžnými se základní rovinou.
- Kolmosti - Toleranční prostor je omezen dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance kolmosti a kolmými k základní vztažné ose.
- Sklonu - Toleranční prostor je omezen dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance sklonu a svírající se základní rovinou nebo se základní přímkou jmenovitý úhel. [5]

Tolerance polohy:

- Umístění - Je-li hodnota tolerance předznamenána značkou průměru, je toleranční prostor omezen kružnicí o průměru rovném toleranci umístění.
- Souososti - Je-li hodnota tolerance předznamenána značkou průměru, je toleranční prostor omezen válcem o průměru rovném toleranci souososti a jeho osa se shoduje se základní osou.
- Souměrnosti - Toleranční prostor je omezen dvěma rovnoběžnými rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance rovnoběžnosti a rovnoběžnými se základní rovinou. [5]

Tolerance házení:

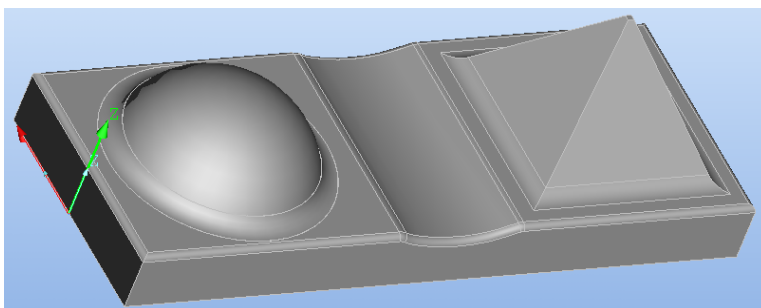
- Obvodového házení - Toleranční pole v kterékoliv rovině kolmé k ose je omezeno dvěma soustřednými kružnicemi vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance házení v kterékoliv radiální poloze ve válci, jehož osa je totožná se základní osou. [5]

2 Rozbor měření ploch zadané součásti

Metody obrábění byly zvoleny řádkování pro segment tvaru jehlanu, přičemž jednotlivé strany byly frézovány rozdílnými způsoby. Dokončovací metoda pro půlkouli byla aplikována metoda frézování spirálová. Taky plocha mezi oběma útvary byla frézována metodou řádkování.

Řádkování je velice oblíbená strategie, pro dokončování horizontálních ploch, které se rovněž někdy říká Cik-Cak nebo Rastr. Tato strategie odstraní materiál z modelu s využitím paralelních řad, které kopírují osu X nebo Y, v ose Z tato strategie kopíruje tvar modelu.

Spirálové obrábění určuje krok nástroje vzhledem k 3D povrchu modelu, což umožňuje důslednost jak u plochých oblastí, tak u strmých bočních stěn. Spirálové dokončování je ideální pro HSM (High Speed Machining - vysokorychlostní obrábění), kde by nástrojové dráhy měly být co nejvíce plynulé s minimální změnou směru. Z takového důvodu obsahuje tato strategie jedinečný algoritmus, který zabezpečí eliminování všech ostrých pohybů. [10]



Obr. 2.1 – Měřená součást

Stěna jehlanu č. 1 – Frézováno zespodu jednosměrně – vodorovně

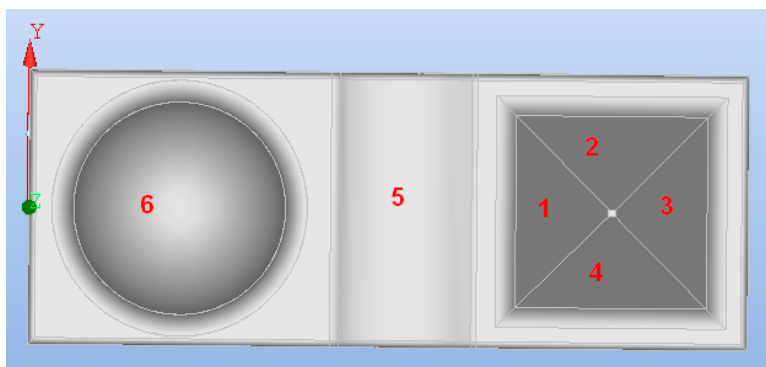
Stěna jehlanu č. 2 - Frézováno shora dolů – svisle

Stěna jehlanu č. 3 – Frézováno shora oboustranně – vodorovně

Stěna jehlanu č. 4 – Frézováno zespodu nahoru – svisle

Plocha části válce č. 5 - Frézováno oboustranně – vodorovně

Plocha půlkoule č. 6 - Frézováno Spirálově



Obr. 2.2 – Měřená součást

2.1 Popis stroje

Měření proběhlo na souřadnicovém měřicím stroji Wenzel LH65 X3M (Obr. 2.3). Měřicí rozsah:

$X = 650 \text{ mm}$, $Y = 1000 \text{ mm}$, $Z = 500 \text{ mm}$.

Vybavení: Měřicí software Metrosoft Quartis R6, PC Fujitsu Celsius M470 s Win 7 Professional, Otočná hlava Renishaw PH10M, Skenovací sonda SP25M s modulem SM25-1, Výměník FCR25, Digitální řídicí kontrolér WPC 2040.

Nejistota měření dle DIN EN ISO 10360 - 2:

$$MPE_e = 1,6 + L / 350$$

$$MPE_p = 1,6 \text{ } \mu\text{m}, \quad MPE_{thp} = 2,2 \text{ } \mu\text{m}$$



Obr. 2.3 – Souřadnicový měřicí stroj Wenzel LH65 X3M

Základní deska, portál a pinola jsou vyrobeny z černého granitu, zaručující stejnou teplotní roztažnost ve všech osách. Vedení osy Y je integrováno přímo do základní desky. Váha pinoly je vyvažována pneumatickým válcem. Pro hladký provoz bez opotřebení jsou jako základní prvky pojezdových drah použita vzduchová ložiska. Měřicí plocha základní desky opracována v souladu s německou normou DIN 876/0. Pojezdové dráhy osy X a Y jsou zabezpečeny vlnovcem, který ho zakrývá. Mezi vybavení patří aktivní tlumení vnějších vibrací, s teplotní kompenzací a optickým odměřováním vysokého rozlišení. Výhodou je snadná údržba díky rozvržení jednotlivých dílů. (Obr. 2.3) [8]

Otočná hlava Renishaw PH10M

Hlavice PH10M může nést dlouhé prodlužovací nástavce a kompletní sondy. Automatický spoj s vysokou opakovatelností umožňuje rychlou výměnu sondy nebo prodlužovacího nástavce bez nutnosti provést novou kalibraci. Může být umístěn v 720 opakovatelných polohách, což zajišťuje přístup k nejobtížněji dostupným prvkům obrobku. [9]

V tabulce jsou zaznamenány hlavní parametry otočné hlavy Renishaw PH10M.

Délka	117 mm
Šířka	62 mm
Hmotnost	620 g
Montáž sondy	Automatický spoj (více vodičový)
Montáž hlavice	Stopka PH10M vhodná pro SMS
Vhodný řídicí systém	PHC10-3
Opakovatelnost polohy	0,4 μm (0,00002 palce) ve vzdálenosti 62 mm
Celkový počet poloh	720
Max. doporučený hnací moment	0,45 Nm

Tab. 2.1 – Parametry otočné hlavy Renishaw PH10M [9]



Obr. 2.4 – Otočná hlava Renishaw PH10M, [9]

Souřadnicové měřicí stroje firmy Wenzel často používají k programování software Metrosoft Quartis, v našem případě sérii R6. Software má veškeré funkce pro správu souborů a nastavení společně na jednom místě – ovládací ploše. Zde se nachází přehledně uspořádané funkce, které nejsou přiřazeny konkrétnímu měřicímu průběhu. Správa a měřicí úlohy jsou na hladině obsluhy uspořádaný odděleně. To zaručuje přehledný systém obsluhy. Vlastní měřicí funkce jsou přehledně rozloženy. To umožňuje plnou koncentraci na vlastní měření. [8]

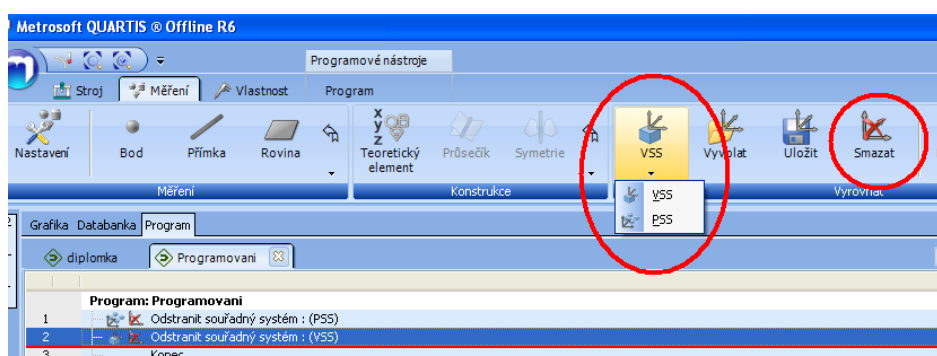
3 Postup měření zadané součástí

Body měřené součástí se snímaly spínacím dotykovým modem, kdy je každý bod snímán jednotlivě ve třech osách. Stroj Wenzel LH65 X3M nabízí možnost skenování jednotlivých bodů, pro naše účely nasnímání objemu dat se zvolila metoda dotyková. Jako první proběhne kalibrace stroje pomocí kalibrační koule, která je součástí vybavení stroje. Měřená součást se upevnila ve svěráku a programoval se paletový souřadný systém (PSS). PSS slouží k nastavení souřadného systému stroje na určenou polohu upevněné součásti. Poloha se zvolila na čelní straně součástí viz. obr. 2.1 a 2.2. Pro každou tvarovou plochu je naprogramován vlastní výrokový souřadný systém (VSS), z důvodů přesnosti odečtení hodnot ve třech osách k jejich vztažnému VSS. Po naprogramování PSS a VSS se naprogramují trajektorie měřených bodů a nasnímají se měřené body součásti vyrobeny tříosým frézováním. Součást se vymění a následuje měření součásti vyrobené pětiosým frézováním.

3.1 Programování paletového souřadného systému stroje

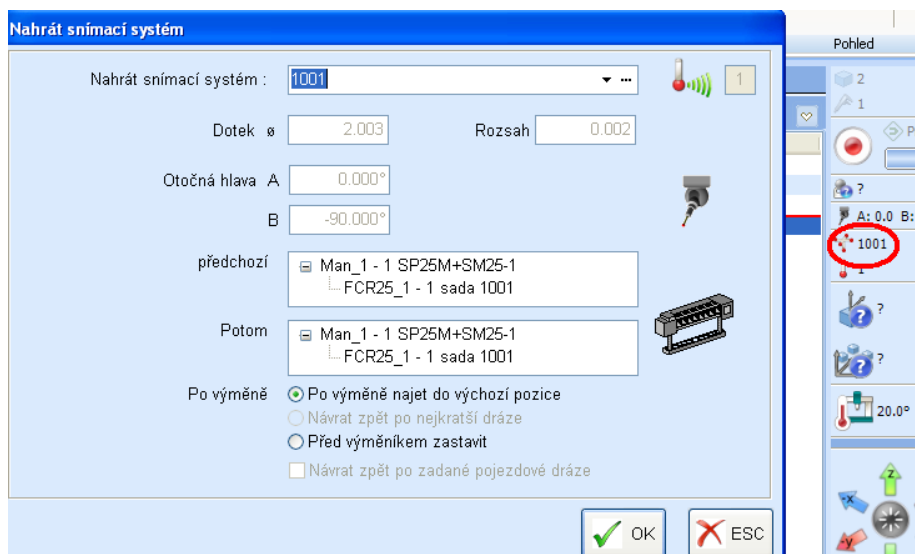
Paletový souřadný systém slouží k nastavení souřadného systému stroje na místo měřené součástí, které si předem zvolíme. Nastavení se provádí pomocí funkcí softwaru Metrosoft Quartis R6 a manuálního ovládání stroje.

Součást se upevní pomocí svěráku na měřicí plochu stroje. Vytvoří se nový program. Stroj může mít nastavené paletové a výrokové souřadné systémy, proto se pro začátek vymažou (Obr. 3.1).



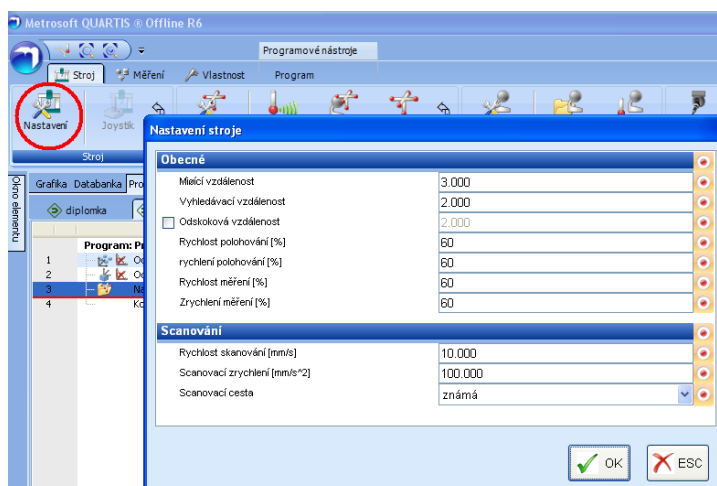
Obr. 3.1 – Výrokový a paletový souřadný systém

Dále je nahrán snímací systém, dotek, kterým bude snímat jednotlivé měřicí body. Zvolí se měřicí dotek označený 1001, který je pro velikost, orientaci a metodu měření dostačující.



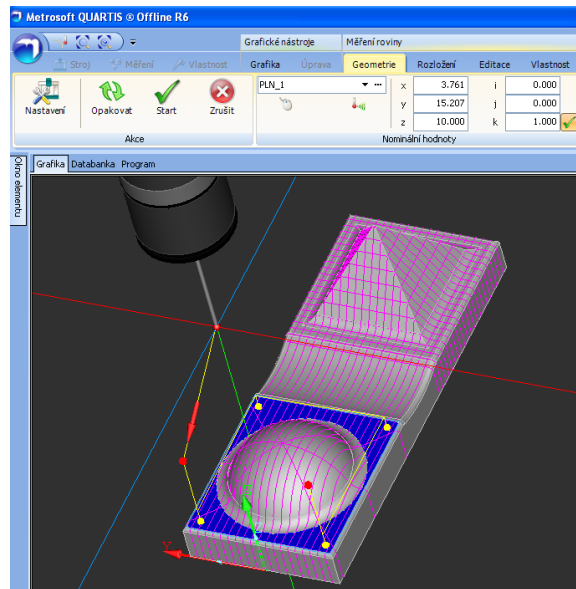
Obr. 3.2 – Změna měřicího doteku

Pro další postup je důležité si nastavit parametry měření stroje, jako například odskoková vzdálenost, která má nemalý vliv na měření. Při najetí měřicího doteku na součást nasníká bod, odskočí do bezpečné polohy a postupuje na další měření. Nastaví se minimálně 2 mm, při menší vzdálenosti může dojít ke kolizi měřicího doteku a součástí, zejména při složitějším přejezdu profilu součástí. Pro úsporu času měření je možné nastavit rychlosti polohování a měření. (Obr. 3.3)



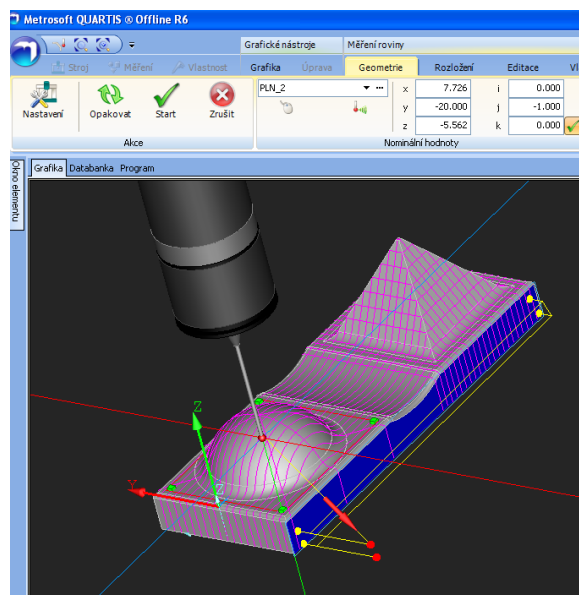
Obr. 3.3 – Nastavení stroje

Vybere se záložka měření a příkaz Rovina. Pro nasnívání bodu se využije manuálního ovládání (Obr. 3.4). Nasnívá se plocha kolem půl koule, která určí posunutí souřadného systému v ose Z. V záložce měření se nastaví primární směr.



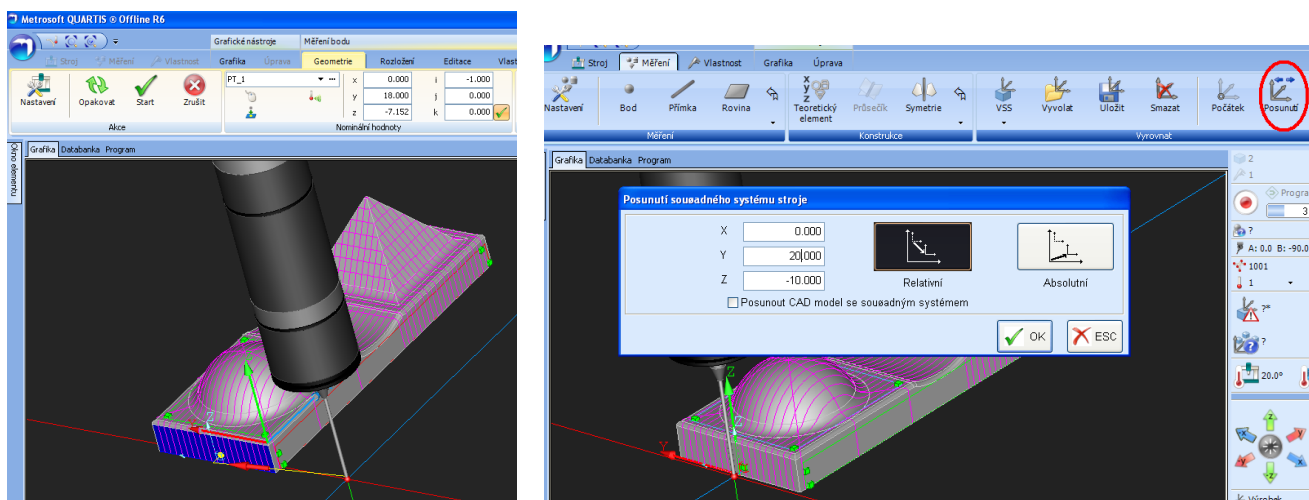
Obr. 3.4 – Snímání roviny kolem půlkoule

Pro určení souřadného systému v ose Y se nasnívá rovina z pravého boku součásti ve směru zleva do prava (Obr. 3.5). Pro kterou platí sekundární směr.



Obr. 3.5 – Snímání přímky na levém boku součásti

K dokončení souřadného systému musíme nasnímat bod z čelní strany součástí. Záložka měření, příkaz bod a přiřadíme k němu počáteční bod (Obr. 3.6). Pomocí příkazu posunutí si přesuneme souřadný systém do požadované polohy (Obr. 3.7). Uložíme paletový souřadný systém.



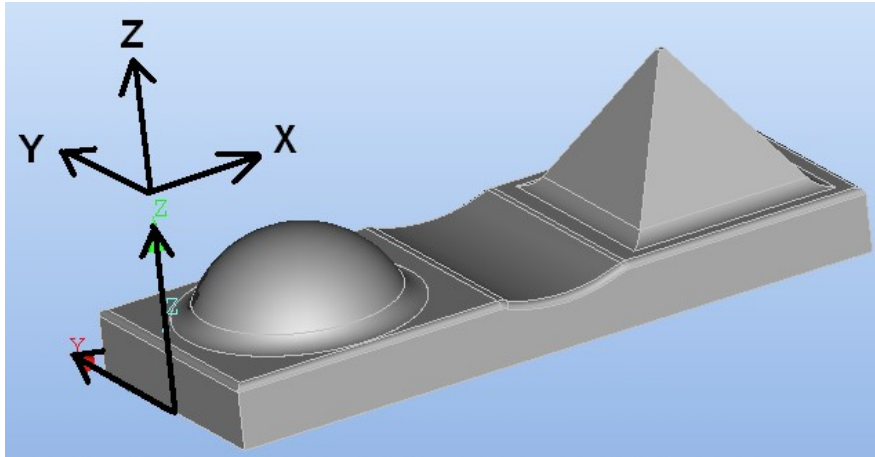
Obr. 3.6 a 3.7 – Nasnímaní bodu z čela součástí. Posunutí VSS.

Program: Programování	
1	Odstranit souřadný systém : (PSS)
2	Odstranit souřadný systém : (VSS)
3	Nahrát snímací systém :: 1001
4	Nastavení stroje
5	Měření (Rovina): PLN_1
6	Určit primární směr : (VSS): PLN_1
7	Měření (Rovina): PLN_2
8	Určit sekundární směr : (VSS): PLN_2
9	Měření (Bod): PT_1
10	Určit nulový bod : (VSS): PT_1
11	Posunutí souřadného systému stroje (VSS)
12	Konec

Obr. 3.8 - Vypracovaný program paletového souřadného systému

3.2 Postup programování jednotlivých řezů

Naprogramování řezů na tvary součástí slouží k nastavení polohy měřicích bodů, které se budou potřebovat při vlastním snímání jednotlivých tvarů. Jako první se nastaví řezy v podélném směru X, následně v příčném řezu Y a nakonec řezy půlkoule dle následujícího postupu.

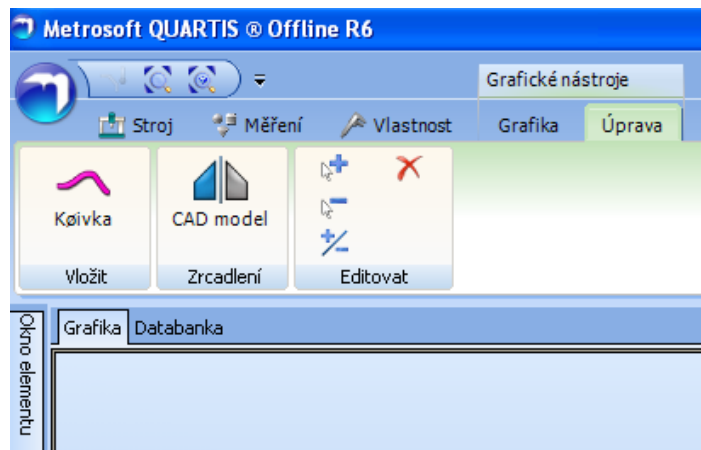


Obr. 3.9 - Souřadnicový systém součásti

Příprava trajektorií na součásti pro měřicí body pomocí řezů.

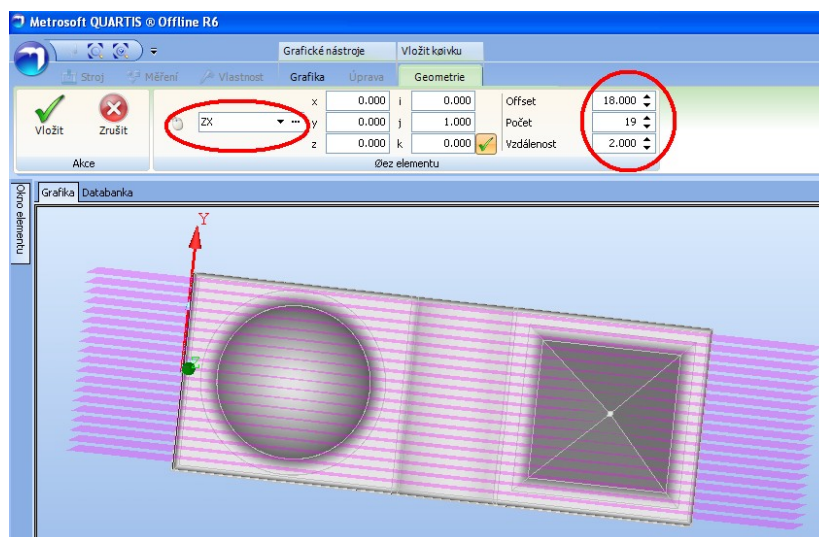
1, Podélné řezy – ve směru X rovinou XZ. Podélné řezy se využijí při měření, jak pro těleso jehlanu, tak i pro válcovou část součástí (rádius).

Vybere se záložka Úpravy – Křivka. (Obr. 3.10)



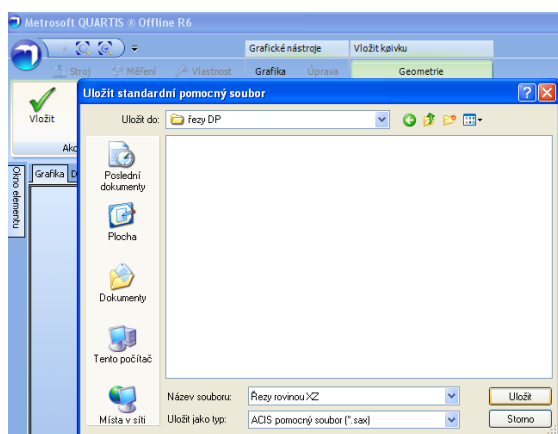
Obr. 3.10 – Panel nástrojů

Vloží se řezná rovina XZ a zadáme offset (vzdálenost rovin od polohy první vygenerované roviny XZ, která je umístěna ve středu souřadného systému), počet rovin, a vzdálenost rovin od sebe dle vizuální potřeby. Potvrdíme tlačítkem Vložit. Poté nám program nabídne uložení vzniklé trajektorie řezů (Obr. 3.11).

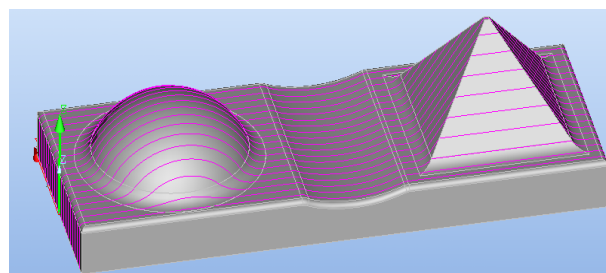


Obr. 3.11 – Nastavení řezných rovin XZ

Dále se uloží vzniklé trajektorie řezů (Obr. 3.12).



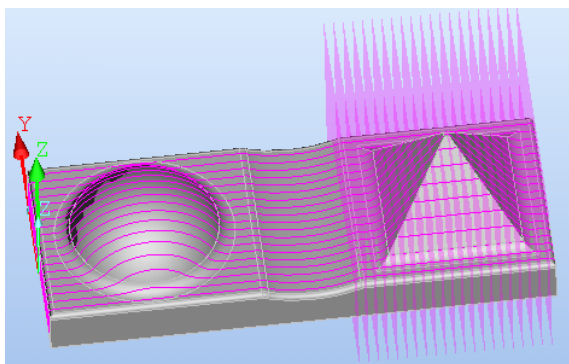
Obr. 3.12 – Uložení řezu



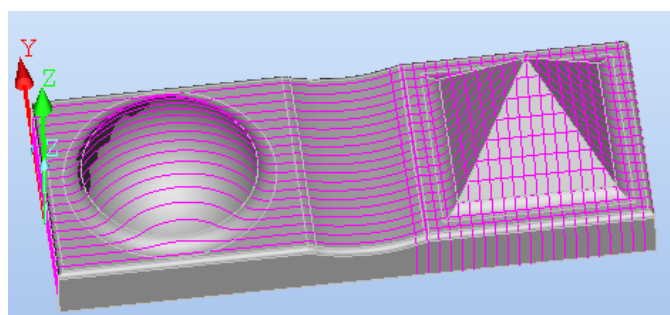
Obr. 3.13 – Řezy rovinou XZ

2, Příčné řezy – ve směru Y rovinou YZ

Opakuje se stejný postup jako u podélných řezů. Vybereme záložku Úpravy – Křivka. Vloží se řezná rovina YZ a zadá se offset, počet rovin, a vzdálenost rovin od sebe dle vizuální potřeby (Obr. 3.14). Roviny se naprogramují na těleso jehlanu, u kterého se bude potřebovat při měření příčné trajektorie řezu. Potvrdí se tlačítkem Vložit, následně se řezy uloží.



Obr. 3.14 – Řezné roviny YZ



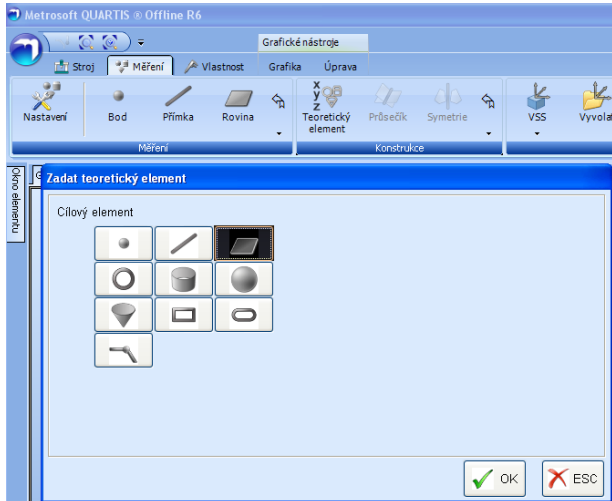
Obr. 3.15 – Trajektorie řezu XZ, YZ

3, Řezy na kouli

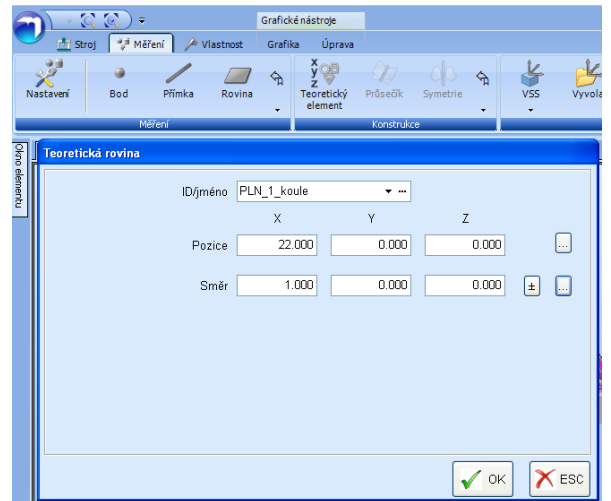
Na tělese se vytvoří tři řezy, které poslouží pro vytvoření měřicí trajektorie. Všechny řezy budou procházet těžištěm koule.

A, Řez těžištěm rovinou XZ – Směr (1,0,0).

Vybere se záložka Měření – Teoretický element – Rovina. Pojmenuje se rovina PLN_1_koule a zadá se její hodnoty. Pozice $X = 22$ (vzdálenost těžiště od souřadného systému ve směru X), $Y = 0$, $Z = 0$. Hodnoty pozice jsou stejné u všech čtyřech rovin. Směr se zadá $X = 1$, $Y = 0$, $Z = 0$. (Obr. 3.16 a 3.17)

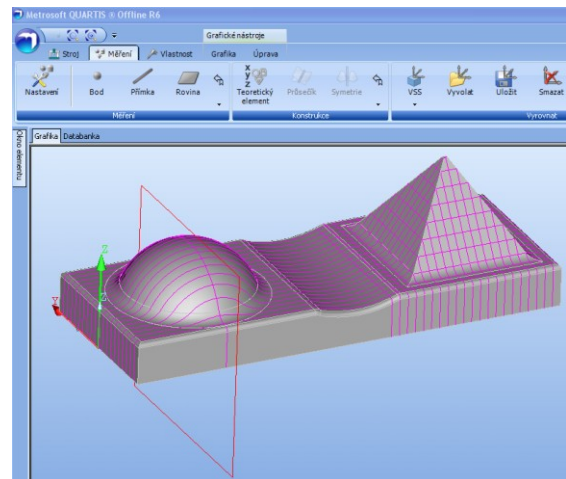
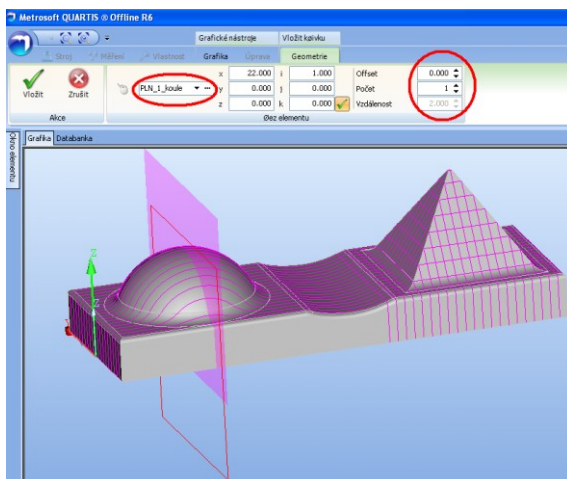


Obr. 3.16 – Panel nástrojů



Obr. 3.17 – Teoretický element - rovina

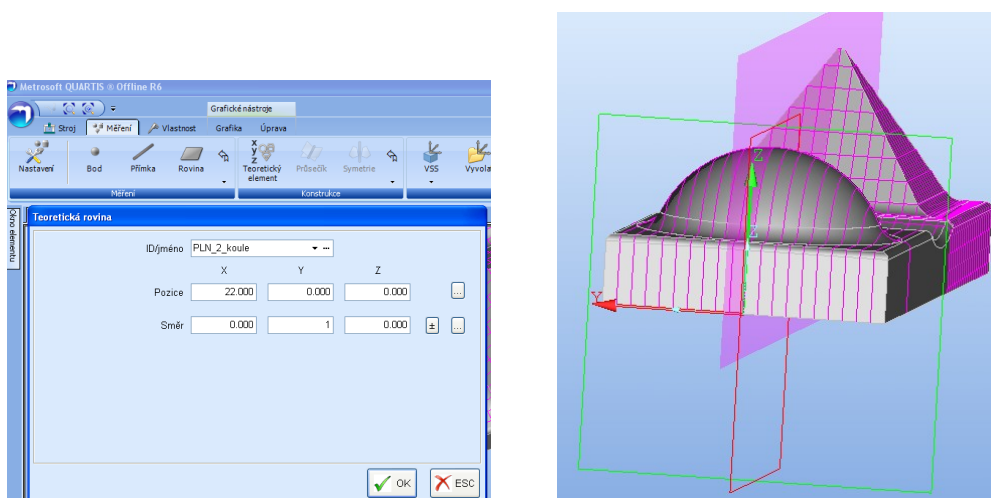
Dále podobným způsobem jako v předcházejících řezech, záložka Úprava – Křivka. Vybereme námi definovanou rovinu PLN_1_koule a zadáme hodnoty offsetu (0), počet rovin (1). (Obr. 3.18 a 3.19)



Obr. 3.18 a 3.19 - Řez rovinou PLN_1_koule

B, Řez těžištěm rovinou YZ – Směr (0,1,0).

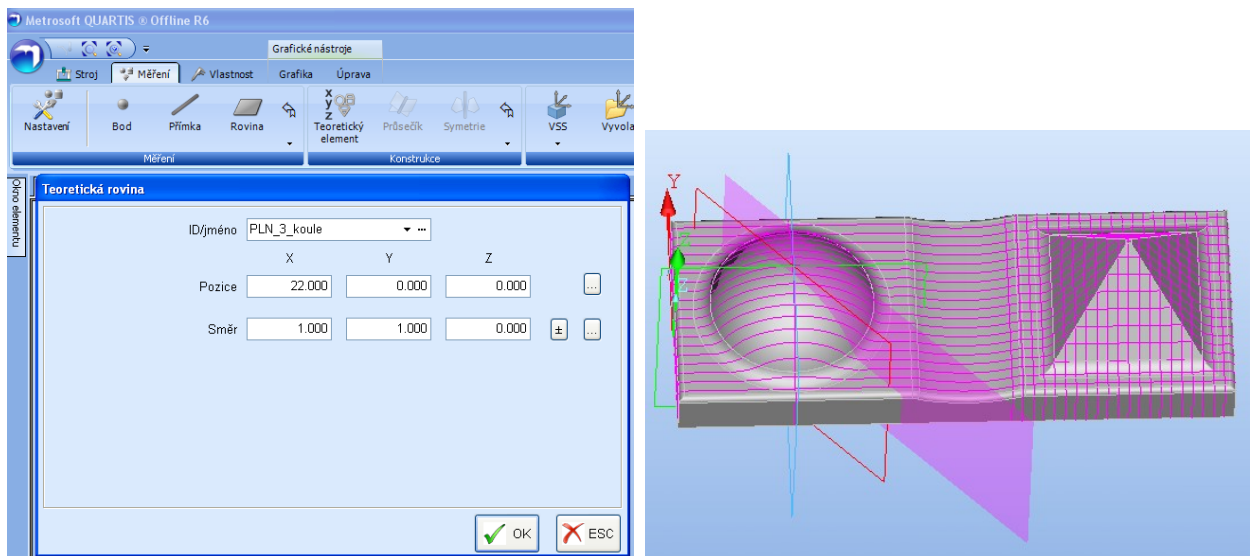
Řez rovinou YZ se aplikoval v bodě 1. Pro kontrolu, jestli řez opravdu prochází těžištěm koule, se vybere záložka Měření – Teoretický element – Rovina, obr. č. Pojmenuje se rovina PLN_2_koule a zadají se její hodnoty. Pozice $X = 22$ (vzdálenost těžiště od souřadného systému ve směru X), $Y = 0$, $Z = 0$. Směr se zadá $X = 0$, $Y = 1$, $Z = 0$, obr. č. Potvrdí se a zvolí záložka Úprava – Křivka. Vybere se námi definovaná rovina PLN_2_koule a zadají se hodnoty offsetu (0), počet rovin (1) a potvrdí se – Vložit. (Obr. 3.20 a 3.21)



Obr. 3.20 a 3.21 – Řez rovinou YZ

C, Řez těžištěm rovinou – Směr (1,1,0)

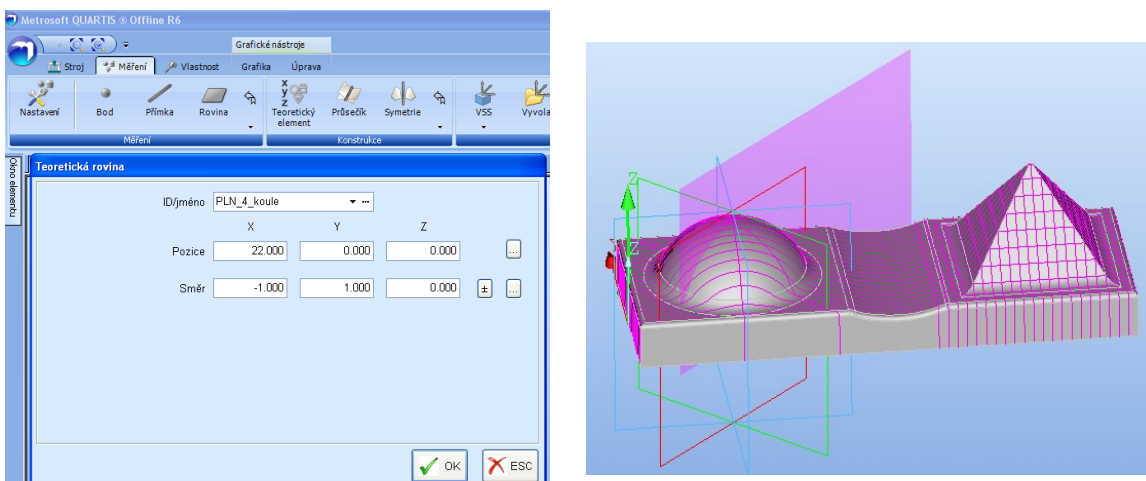
Vybere se záložka Měření – Teoretický element – Rovina, obr. č. Pojmenuje se rovina PLN_3_koule a zadají se její hodnoty. Pozice $X = 22$ (vzdálenost těžiště od souřadného systému ve směru X), $Y = 0$, $Z = 0$. Směr se zadá $X = 1$, $Y = 1$, $Z = 0$, obr. č. Potvrdí se a zvolí záložka Úprava – Křivka. Vybere se námi definovaná rovina PLN_3_koule a zadá se hodnoty offsetu (0), počet rovin (1) a potvrdí se – Vložit. (Obr. 3.22 a 3.23)



Obr. 3.22 a 3.23 - Řez těžištěm rovinou – Směr (1,1,0)

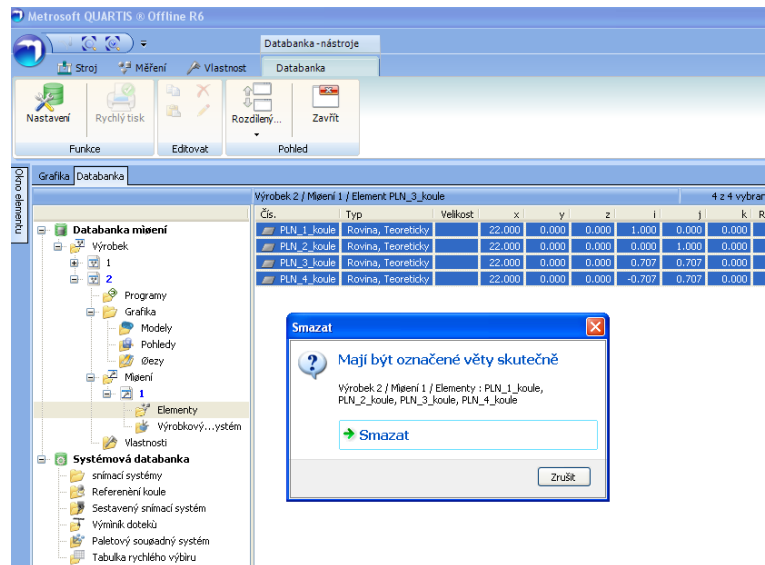
D, Řez těžištěm rovinou – Směr (-1,1,0)

Vybere se záložka Měření – Teoretický element – Rovina, obr č. Pojmenuje se rovina PLN_4_koule a zadá se její hodnoty. Pozice X = 22 (vzdálenost těžiště od souřadného systému ve směru X), Y = 0, Z = 0. Směr se zadá X = -1, Y = 1, Z = 0. Potvrdí se a zvolí záložka Úprava – Křivka. Vybere se námi definovaná rovina PLN_4_koule a zadá se hodnoty offsetu (0), počet rovin (1) a potvrdí se – Vložit. (Obr. 3.24 a 3.25)



Obr. 3.24 a 3.25 - Řez těžištěm rovinou - Směr (-1,1,0)

Na závěr programování řezů, se vymažou v Databance měření pomocné roviny, které se potřebovaly k vytvoření trajektorii neboli Teoretické elementy, roviny PLN_1_koule, PLN_2_koule, PLN_3_koule, PLN_4_koule.

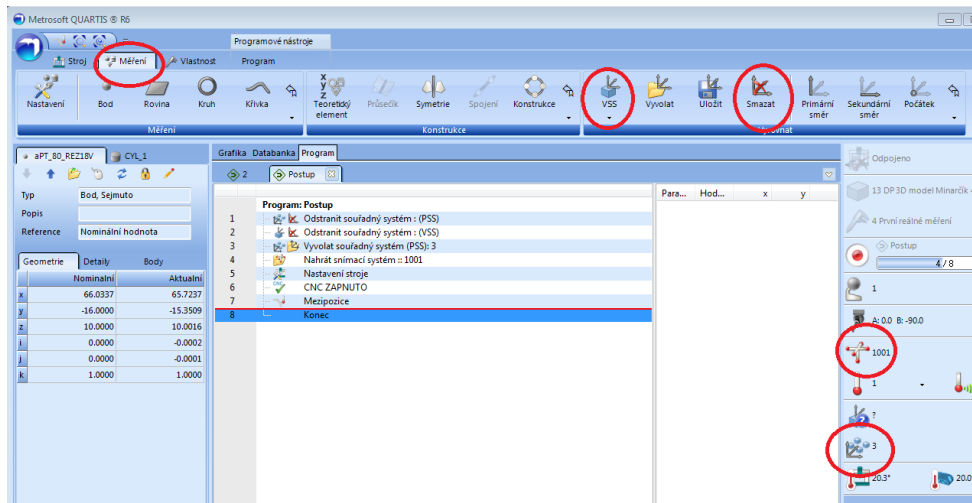


Obr. 3.26 - Databanka

Databanka měření neboli správa dat má mnoho výhod jako např. jisté a strukturované ukládání dat, automatické zálohování dat, zpětné sledování měření, kopírování a vkládání analogicky jako Microsoft Windows Průzkumník.

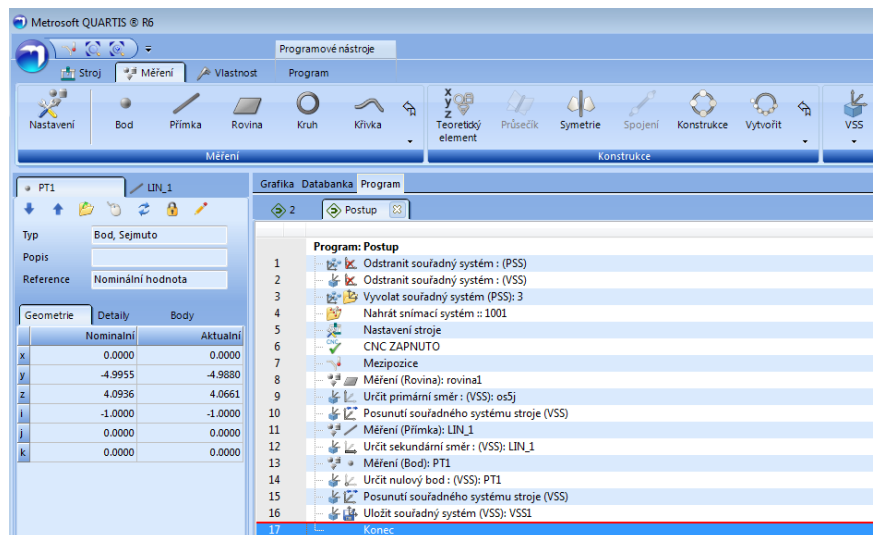
3.3 Postup programování zadaných tvarových ploch

Pro každou tvarovou plochu je naprogramován vlastní výrobový souřadný systém, z důvodů přesnosti odečtení hodnot ve třech osách a k vztažnému VSS. Pro začátek se programuje totožně jako u programování paletového souřadného systému. Odstraní se souřadné systémy a vyvolá se naprogramovaný paletový souřadný systém č. 3. Nastaví se parametry, které se týkají SMS. Snímací dotek, nastavení stroje, automatické snímání stroje a mezipozici nastavení polohy snímacího doteku. (Obr. 3.27)



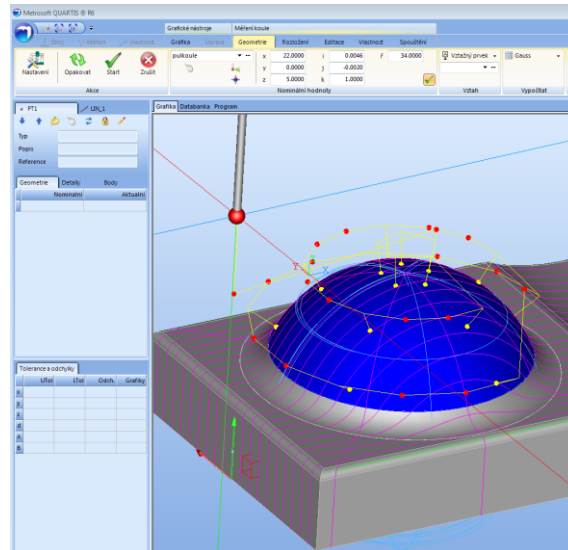
Obr. 3.27 – Pracovní plocha softwaru

Pokračuje se příkazem měření roviny, kterou se nasnímá plocha kolem půlkoule, určí se primární směr. Pomocí měření přímkou se nasnímá libovolný počet bodu z pravé strany součástí a určí se sekundární směr. Pro určení souřadného systému v ose X se určí příkazem měření bodu na čelní straně součástí a nastaví se nulový bod neboli počátek. Výrobkový souřadný systém se uloží jako VSS1.



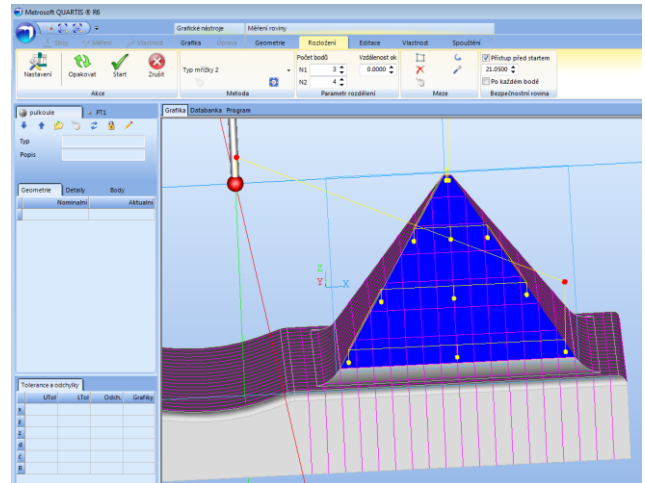
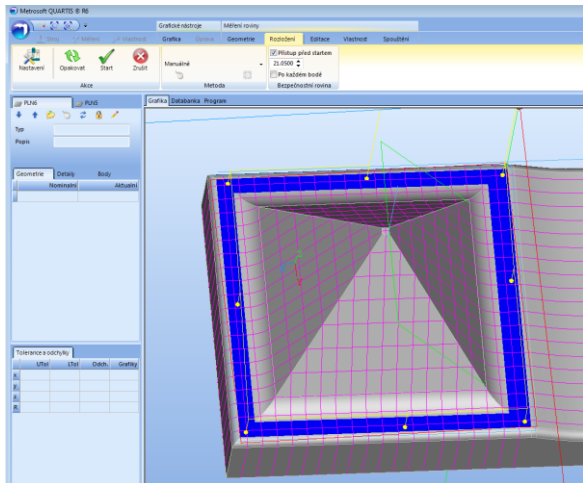
Obr. 3.28 – Strom postupu programu

Další programování se týká nastavení výrokového souřadného systému VSS2 pro měření půlkoule. Použije se příkaz měření koule, nastaví se geometrie, rozložení, počet snímaných bodů a zvolí se start. Posuneme souřadný systém do středu nasnímané koule, v ose X=20mm. Uloží se jako VSS2. (Obr. 3.29)



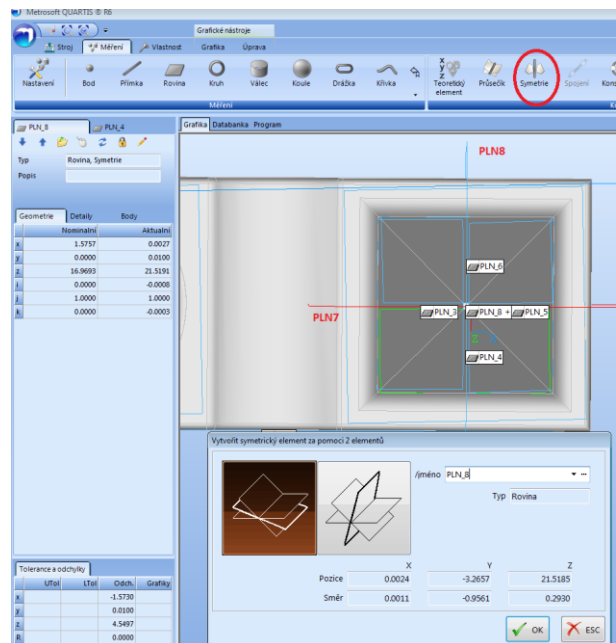
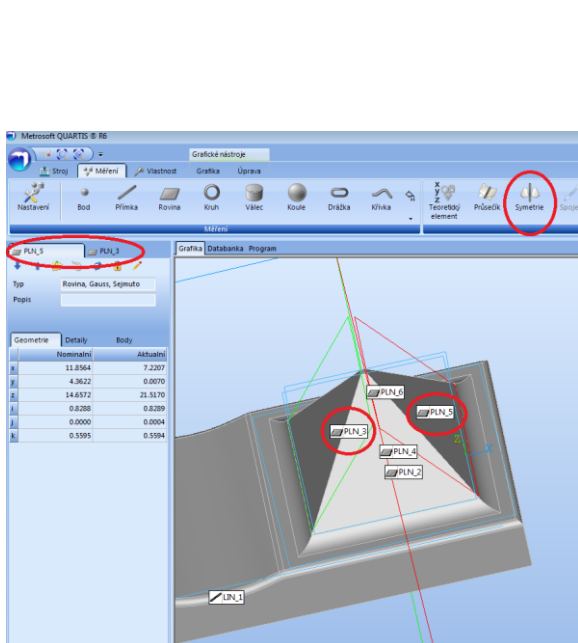
Obr. 3.29 – Snímání půlkoule

Výrokový souřadnicový systém pro měření tvarové plochy jehlanu se musí nasnímat každou plochu zvlášť plus podstavnou plochu kolem jehlanu. Zvolí se příkaz měření roviny. Nastaví se počet bodu, jejich rozložení, název roviny PLN2 a nasnímá se. Obdobným způsobem naprogramujeme ostatní roviny, názvy postupně PLN3, PLN4, PLN5, podstava PLN2. Musí se dát pozor na přejezd měřicího doteku kolem jehlanu, aby nedošlo ke kolizi. Taktéž u přejezdu mezi jednotlivými rovinami jehlanu. Nastavují se mezipozice. Mezipozice je vyjetí doteku do bezpečné polohy mezi měřicími doteky. (Obr. 3.30 a 3.31)



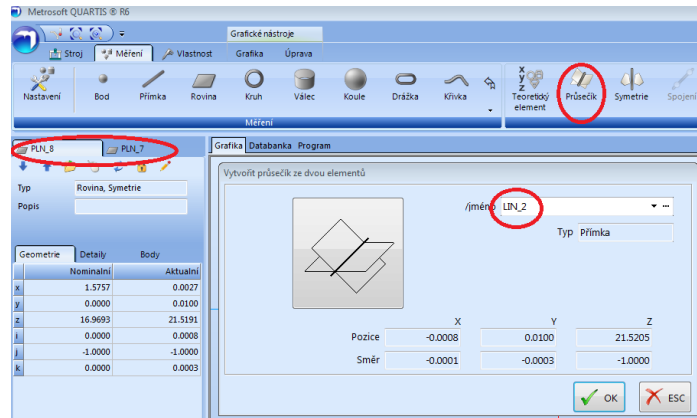
Obr. 3.30 a 3.31 – Snímání ploch jehlanu

Jako další krok se zvolí příkaz měření symetrie. Tady je třeba si dát pozor at' v panelu elementů, který se nachází vlevo pracovní plochy, máme nastavené roviny protilehlých stěn jehlanu tzn. PLN3 a PLN5. Mezi těmito rovinami nám příkazem symetrie vznikne nová rovina PLN7, která prochází středem jehlanu. Obdobně se nastaví i symetrii mezi rovinami PLN4, PLN6, vznikne rovina PLN8, která taky prochází středem jehlanu, ale pootočená o 90°. (Obr. 3.32 a 3.33)



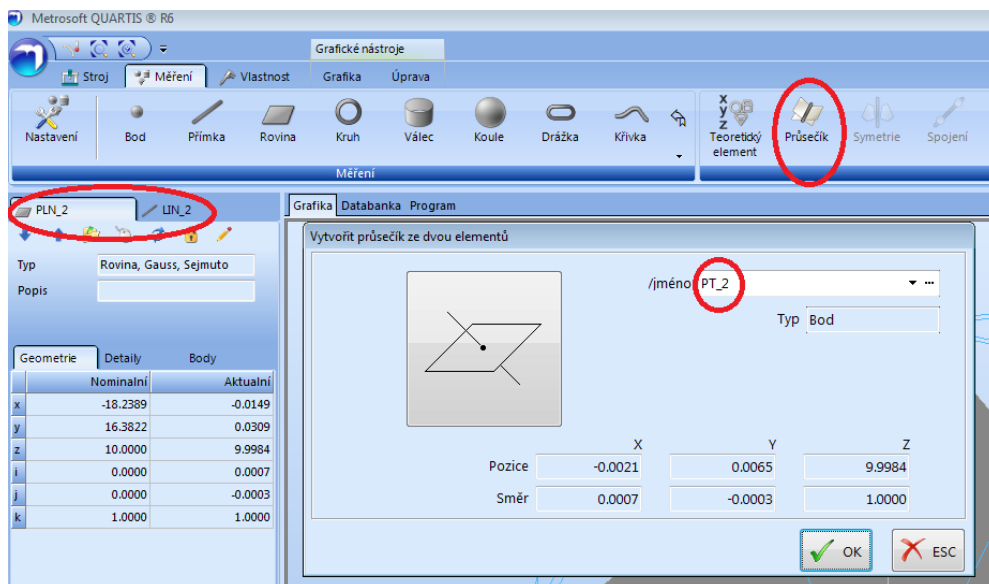
Obr. 3.32 a 3.33 – Nastavení rovin jehlanu

Použije se příkaz měření průsečík. V panelu elementů se musí mít vybrané vytvořené roviny symetrií PLN7, PLN8. V průsečíku těchto rovin se vytvoří přímka LIN2, osa jehlanu. (Obr. 3.34)



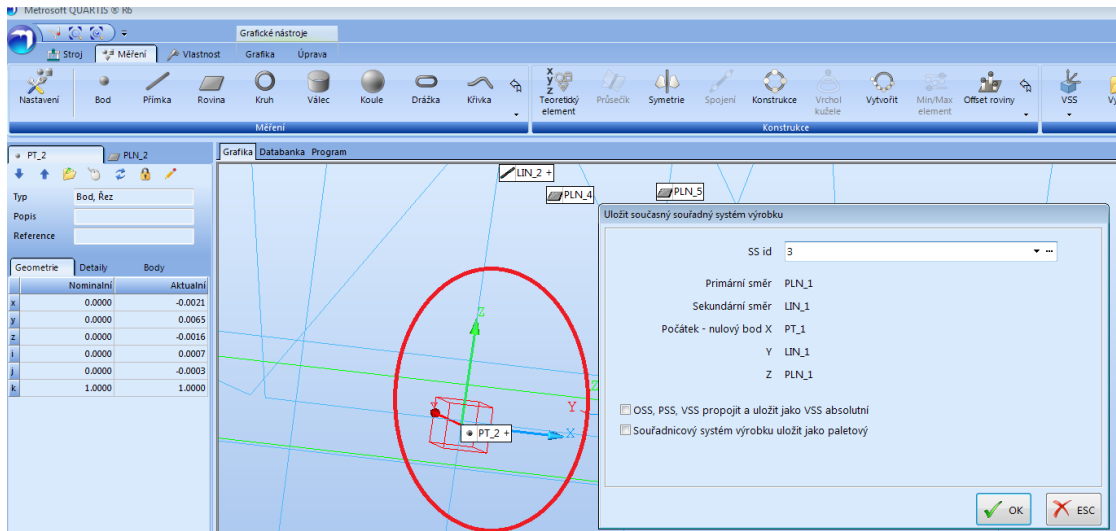
Obr. 3.34 – Nastavení symetrie

Po vygenerování osy jehlanu se vytvoří přímka. Potřebuje se bod, který bude ležet v ose jehlanu a na rovině podstavy PLN2. (Obr. 3.35)



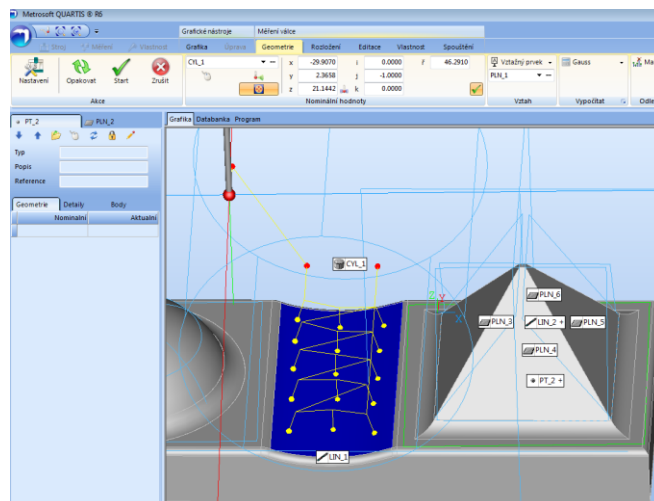
Obr. 3.35 – Průsečík

Zvolí se příkaz měření průsečík a v panelu elementů se nastaví přímka LIN2 a rovina podstavy PLN2, potvrdí se, vznikne bod PT2. Po té se posune výrobní souřadný systém na místo bodu PT2. Uloží se VSS3. (Obr. 3.36)



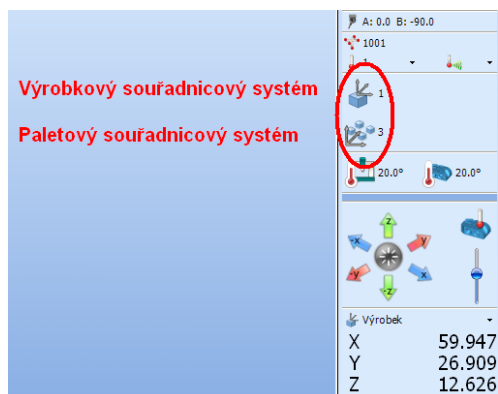
Obr. 3.36 – VSS jehlan

Poslední tvarová plocha, pro kterou se naprogramuje výrobní souřadný systém, je část válce. Zvolí se příkaz měření válec a nasnímají se jednotlivé body. Přidělí se nulový bod, počátek a pomocí posunutí se nastaví poloha souřadného systému. Uloží se VSS4. (Obr. 3.37)



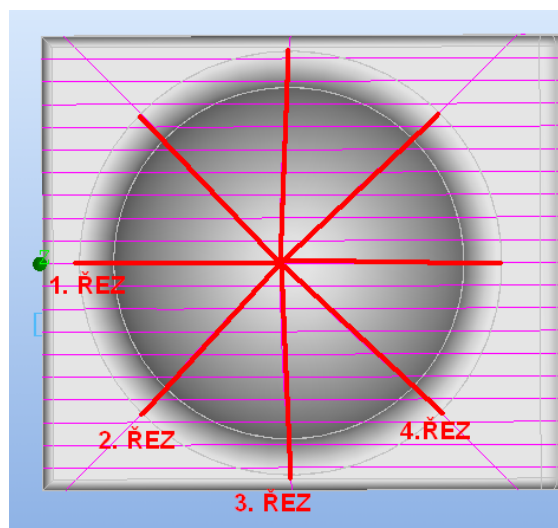
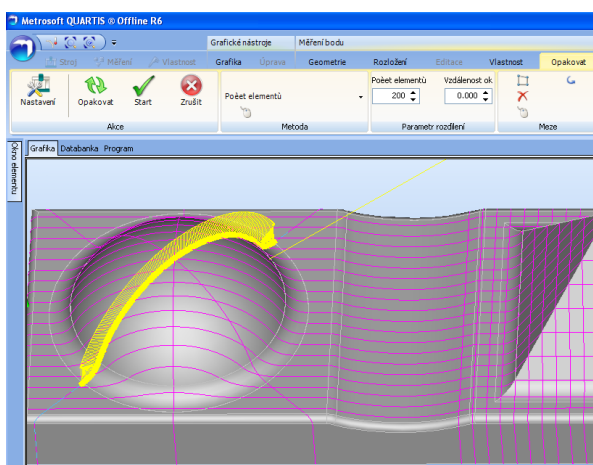
Obr. 3.37 – Snímání válcové části

Každé tvarové ploše se naprogramoval vlastní výrobní souřadný systém, který před každým snímáním plochy, půlkoule, části válce, jehlanu se vyvolá příkazem pomocí panelu nástrojů. Pro každou tvarovou plochu se navrhl výrobní souřadný systém z důvodu, že každá plocha byla obráběna samostatně a z důvodů přesnějšího odečítání souřadnic X. Y. Z snímaných bodů. (Obr. 3.38)



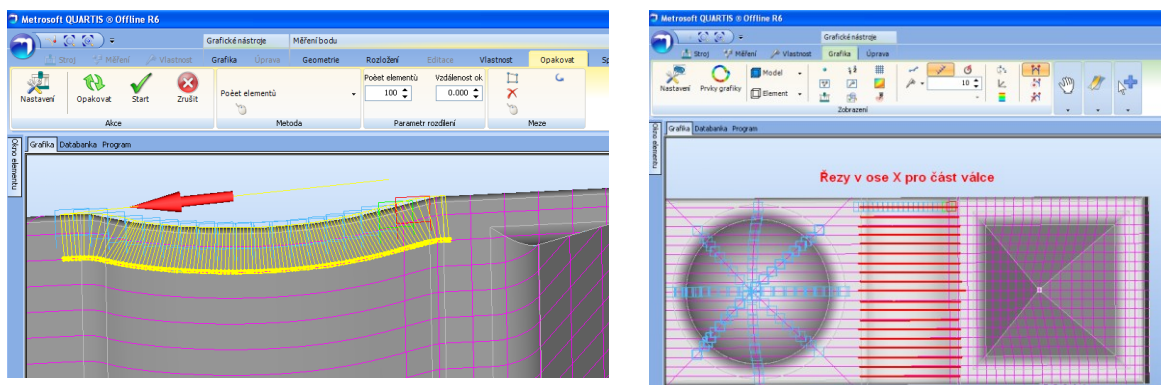
Obr. 3.38 – Nastavení souřadnicových systémů

Po vytvoření všech výrobních souřadnicových systémů se nasnímají jednotlivé měřicí body tvarových ploch. Na půlkouli se vytvořily čtyři řezy, které poslouží jako trajektorie měřených bodů. Změní se snímací modul na dotekový a vyvolá se VSS2. Použije se příkaz měření bodů, nastaví se trajektorie a počet bodů. Postupně jí nasnímají všechny čtyři řezy. Body se pojmenují, aby se pro závěrečné vyhodnocení nemusely složitě hledat. (Obr. 3.39 a 3.40)



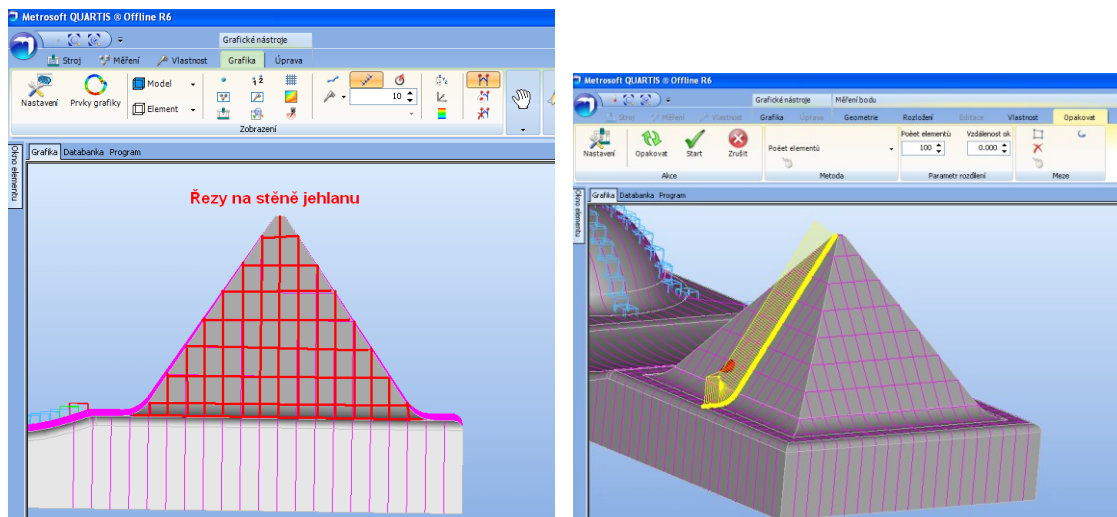
Obr. 3.39 a 3.40 – Znárodnění řezu a snímání měřicích bodů na půlkouli

Podobným způsobem se pokračuje u tvarové plochy části válce. Použijí se řezy v ose X. (Obr. 3.41 a 3.42)



Obr. 3.41 a 3.42 – Znáznornění řezu a snímání měřicích bodů na části válce

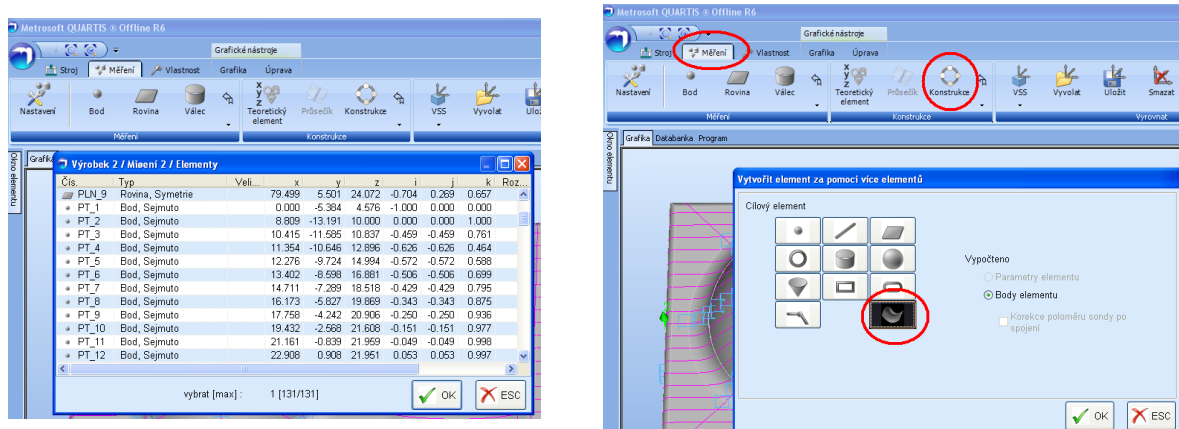
Jehlan se nasnímá v ose X, Y, každá plocha zvlášť. Po nasnímání řezu, se nastaví mezipozice, vyhneme se tak případným kolizím měřicího doteku se součásti. (Obr. 3.43 a 3.44)



Obr. 3.43 a 3.44 – Znáznornění řezu a snímání měřicích bodů na stěně jehlanu

4 Vyhodnocení tvarových ploch

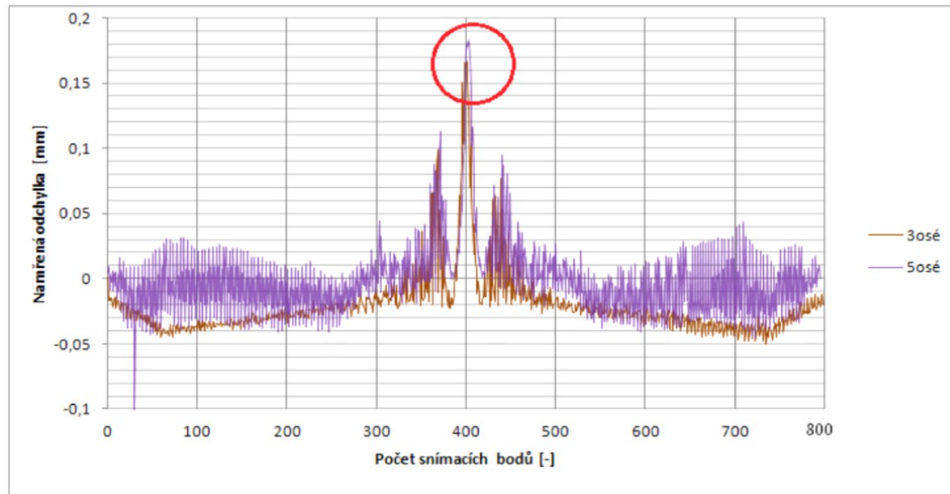
Cílem práce je porovnat dvě totožně součásti, tvarové plochy, které jsou vyráběny dvěma způsoby. Třiosým a pětiosým frézováním. Pro vyhodnocení se použije vygenerování termální mapy. Nejprve se musí nasnímané body nasimulovat v plochu. Příkaz měření konstrukce, obalová plocha. Vybere se nasnímané body a potvrdí se. V panelu grafika pomocí prvků grafiky se vygeneruje termální mapa. Software nabízí i výstup ve formě protokolu, kde je možnost si ověřit odchylku každého naměřeného bodu zvlášť. Pro velké množství dat se nerealizuje. (Obr. 4.1 a 4.2)



Obr. 4.1 a 4.2 – Nastavení obalové plochy

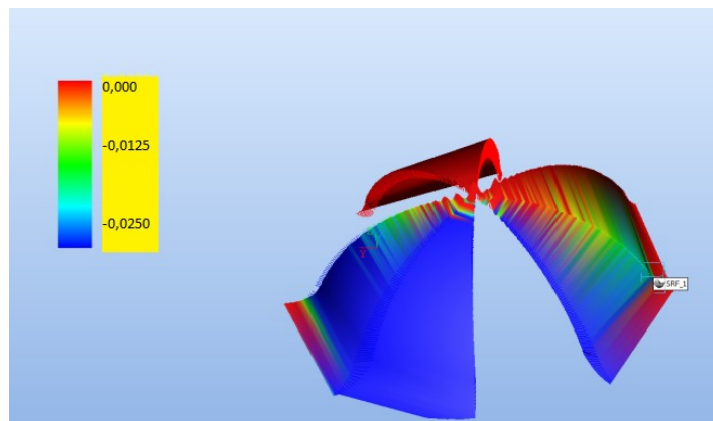
4.1 Vyhodnocení tvarové plochy půlkoule

Na měřenou plochu půlkoule byly naprogramovány čtyři řezy, na nichž bylo naměřeno 200 bodů, (tzn. 4x200 bodů). Po přejetí snímacího dotyku bylo možné vygenerovat grafické zobrazení neboli termální mapy. Toto zobrazení barevně znázorňuje výskyt odchylek, které vznikly při procesu frézování na experimentálních vzorcích. Je možné porovnat vzorky vyrobené pětiosým a třiosým obráběním. K přesnějšímu porovnání nám program nabízí vygenerování protokolu, jehož součástí jsou všechny odchylky naměřených bodů. Po vyhotovení grafu se může, že v případě 3osého frézování došlo k výraznějšímu podřezání součásti. V obou případech na vrcholu koule došlo během frézování k výraznějším nerovnostem, což potvrzuje graf zobrazující odchylky. (Graf 4.1)



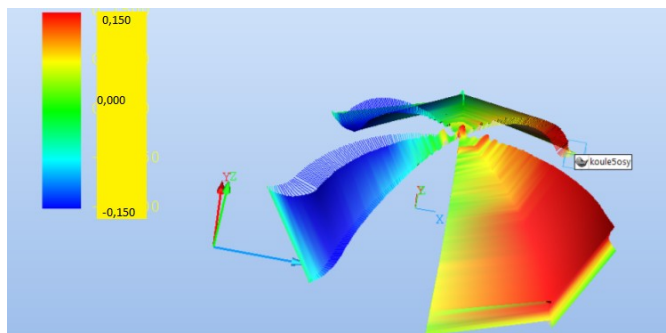
Graf 4.1 – Odchylky bodů půlkoule, vyrobeny tříosým a pětiosým frézováním.

Na obr. 4.3 je znázorněna plocha půlkoule vyrobená tříosým frézováním. Odchylky se pohybují ve větší části v minusových hodnotách. Vzdálenější plocha nabírá hodnoty nula a kladné. Plocha vlevo je naopak v minusových hodnotách kolem $-0,025$ mm, což znamená podřezání tvarové plochy půlkoule. V nejvyšších polohách půlkoule jdou vidět výkyvy odchylek.



Obr. 4.3 – Termální mapa půlkoule vyrobená tříosým frézováním

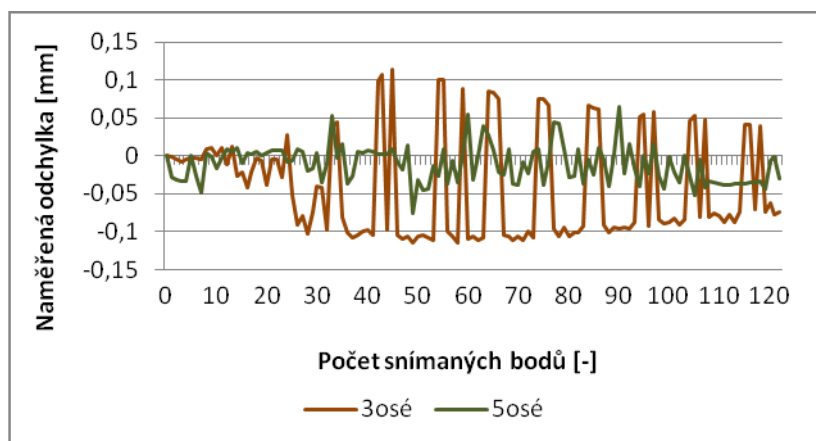
Obrázek 4.4 ukazuje povrch půlkoule obráběna pětiosým frézováním. Odchyly, jsou oproti tříosé metodě frézování rovnoměrněji rozmístěny a to v hodnotách od 0,150 mm až -0,150 mm, ale o řád výše.



Obr. 4.4– Termální mapa půlkoule vyrobená pětiosým frézováním

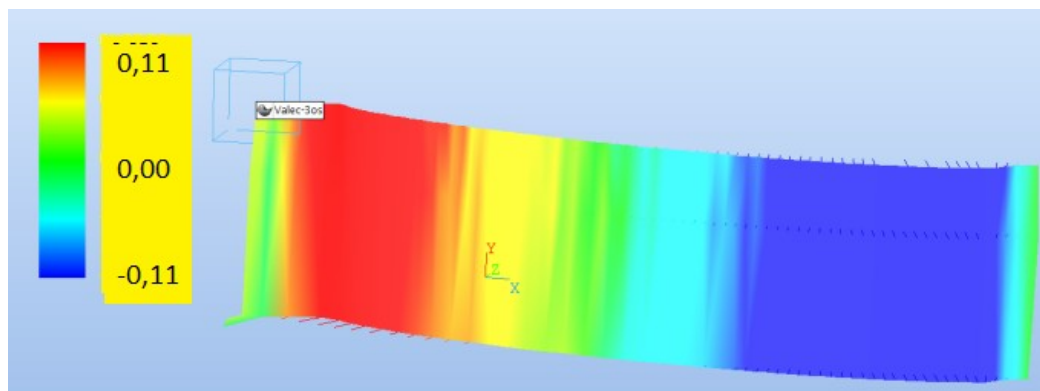
4.2 Vyhodnocení tvarové plochy části válce

Také u tvarové plochy části válce bylo provedeno srovnání tříosého a pětiosého obrábění. Bylo naměřeno 120 bodů. Při vyhodnocení, dle grafu můžeme vidět, že větší odchyly bodů vykazuje 3osé frézování, než pětiosé.



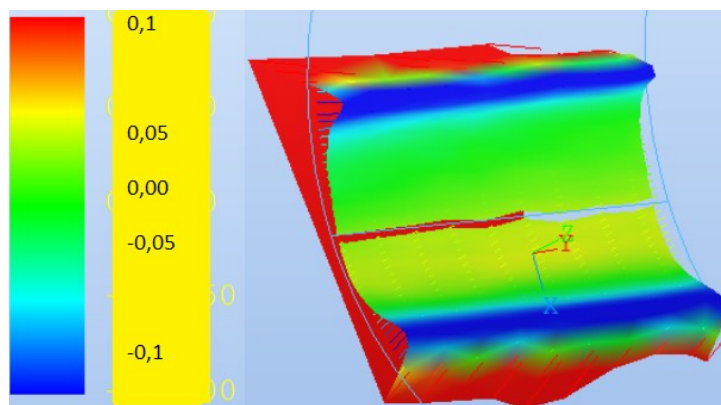
Graf č. 2 – Odchyly tvarové plochy části válce

Na obrázku 4.5 je jasně vidět část plochy válce obráběn tříosým frézováním. Půlka plochy je v minusových hodnotách a půlka v plusových. To může být zapříčiněno špatným upnutím součásti při obrábění. Odchyłky se pohybují od 0,11 mm do - 0,11 mm.



Obr. 4.5– Termální mapa půlkoule vyrobená tříosým frézováním

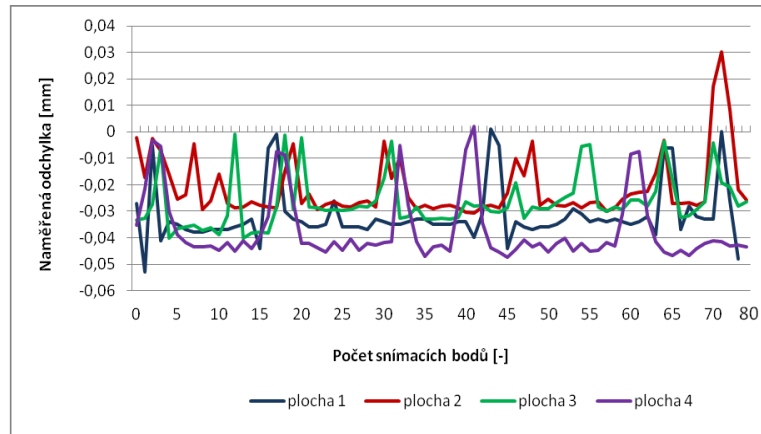
Při pohledu na obrázek 4.6 je vidět rozmezí odchylek mezi 0,05 mm až -0,05 mm pětiosého frézování součástí. Výjimkou jsou nájezdy na tvarovou plochu části válce, které se pohybují kolem -0,1 mm.



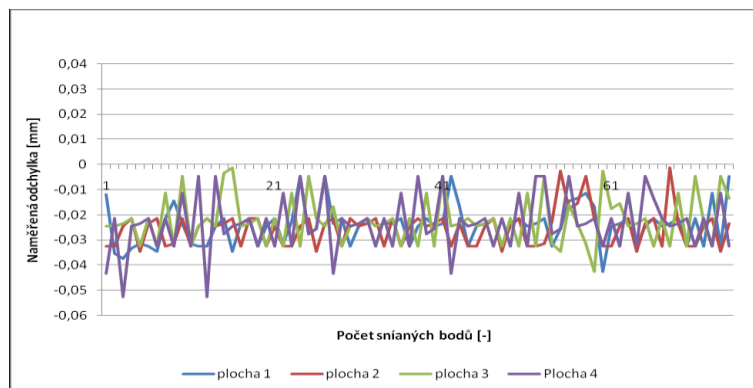
Obr. 4.6 – Termální mapa půlkoule vyrobená pětiosým frézováním

4.3 Vyhodnocení tvarové plochy stěn jehlanu

V případě jehlanu bylo naměřeno na každé stěně 80 bodů. Podle termální mapy je vidět, že odchylky jsou ve stejných místech podobné u všech stěn jehlanu. V dolní části dosahují nižších hodnot, než v horní části.

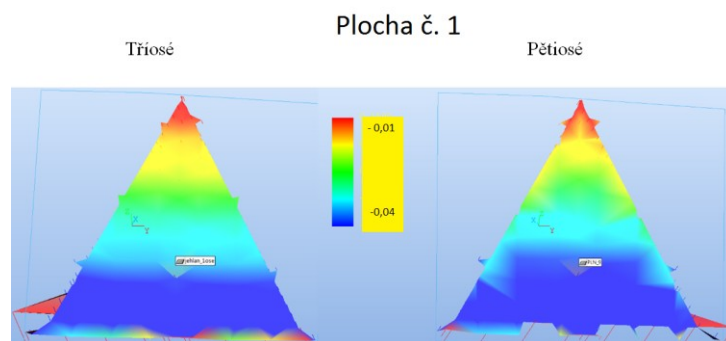


Graf č. 3 – Odchylky stěn jehlanu tříosým frézováním



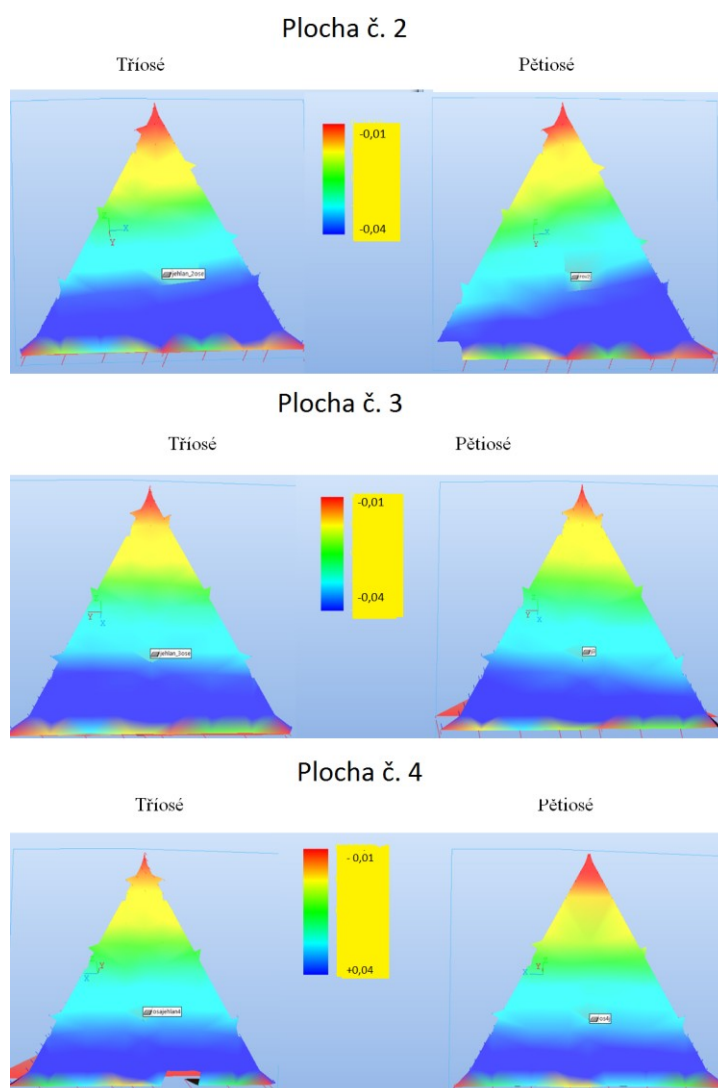
Graf č. 2 - Odchylky stěn jehlanu pětiosým frézováním

Na obrázku 4.7 je znázorněna plocha č. 1 obráběna tříosým a pětiosým frézováním. Na patní části vykazuje nejnižší hodnoty odchylky a to kolem -0,03 až -0,04 mm. V horní části kolem -0,01 mm. Při srovnání metody obrábění vychází tříosé a pětiosé frézování téměř totožně.



Obr. 4.7 – Stěna č. 1 obráběna třiosým, pětiosým frézováním.

Při pohledu na obrázek 4.8 u ploch č. 2, č. 3, č. 4 je vidět podobné rozvržení odchylek jako u plochy č. 1, při obrábění třiosém a pětiosém frézování. Odchytky se pohybují v rozmezí -0,01 mm až -0,04 mm.



Obr. 4.8 – Plochy č. 2,3,4 obráběny třiosým a pětiosým frézováním.

5 Závěr

Práce se zabývá problematikou měření tvarových ploch pomocí souřadnicových měřicích strojů. Rozlišuje různé typy jako třeba výložníkový, stojanový, portálový, mostový. Dále se práce zaměřuje na popis jednotlivých částí souřadnicových strojů, rozdělení snímacích doteků a jejich vhodnost použití z hlediska materiálů. V posledních letech prochází souřadnicové měřicí stroje progresi měření. Mezi novinky měření patří skenování tvaru součástí, které nám nabízí snímat velký objem dat pro přesnější měření. Skenování rozdělujeme na pětiosé a tříosé.

Pro náš předmět diplomové práce se zvolila metoda spínací, snímání jednotlivých bodů. Jedná se o dvě součásti vyrobeny dvěma metodami obrábění, tříosým frézováním a pětiosým. Součást se skládá se tří tvarových ploch. Půlkoule, část válcové tvarové plochy a jehlanu. Jednotlivé tvarové plochy, byly frézovány rozdělnými způsoby. Půlkoule byla frézovaná spirálově, část tvarové plochy válce řádkováním a jehlan vodorovným a svislým frézováním.

Základem bylo navrhnout postup programování jednotlivých tvarových ploch. Postupně se navrhl paletový souřadný systém a pro každou tvarovou plochu vlastní výrobní souřadný systém, z důvodů přesnějšího měření. Následovalo v off-line režimu vypracovat jednotlivé trajektorie měřicích bodů a naprogramovat je. Po úspěšném vytvoření se nasnímalý jednotlivé body obou součástí a provedli jejich vyhodnocení pomocí grafů a termálních map odchylek.

Z výsledků měřených bodů půlkoule vyšlo, že pomocí obrábění metodou tříosého frézování došlo k podřezání oproti použití pětiosého frézování. Na vrcholu půlkoule se objevily totožné nerovnosti z důvodu špatné volby použití nástroje, volby materiálu nebo nedostatečného upnutí součástí.

Při vyhodnocení části tvarové části válce se v případě tříosého frézování prokázaly vyšší hodnoty odchylek oproti frézování pětiosého. Za zmínku stojí při nájezdu a výjezdu nástroje při pětiosým frézování došlo k podřezání tvarové části válce.

U jehlanu se rozdělilo vyhodnocení na čtyři plochy. Při srovnání jednotlivých ploch se prokázalo velmi podobné rozvržení odchylek na místech ploch a také jejich podobné hodnoty. Při srovnání metod frézování byly vykázaný podobné hodnoty pětiosého a tříosého frézování.

6 Použitá literatura

- [1] Ralf Christoph, Hans Joachim Neumann. *Multisenzorová souřadnicová měřicí technika*, Prima Bilavčík, s.r.o., Uherské Hradiště, 2008
- [2] Zbyněk Lysý, *Management kalibrace souřadnicového stroje*, VUT Brno, 2012
- [3] Čepová, L.; Petřkovská, L. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch*. Ostrava, Katedra obrábění a montáže FS VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011
- [4] Luigi, Cocco. *Modern Metrology Concerns*, InTech, Rijeka, Croatia, 2012. ISBN 978-953-51-0584-248-2514-4
- [5] Petřkovská, L., Čepová L. *Metrologie a řízení kvality*. Ostrava: VŠB-TUO, 2011
- [6] David Dolák, *Rešerže souřadnicových měřicích strojů CMM a měřicích ramen CMMs*, VUT Brno, 2010
- [7] [online],[cit.2014-05-10] Dostupné z:
http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf
- [8] [online],[cit.2014-05-10] Dostupné z: <http://www.brtservis.cz/cs/wenzel.html>
- [9] [online],[cit.2014-05-10] Dostupné z:
<http://www.renishaw.cz/cs/delici-hlavice-ph10-se-servopohonem--6684#ElementMediaList12390>
- [10] [online],[cit.2014-05-10] Dostupné z:
<http://www.cam-pro-solidworks.cz/cnc-programovani-v-solidworks/3d-frezovani/>