

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FS – Ústav technologie obrábění projektování a metrologie



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Možnosti ověřování přesnosti frézovacích strojů

Vypracoval: Jakub Svoboda

Vedoucí práce: Ing. Lubomír Štajnochr

2015/2016

Prohlášení

*Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma **Možnosti ověřování přesnosti frézovacích strojů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, které jsou uvedeny v příloze.*

Dne:

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce, panu Ing. Lubomíru Štajnochrovizovi ochotný přístup, předávání zkušeností a cenné metodické rady, které mi poskytl při konzultacích bakalářské práce.

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi ověřování přesnosti frézovacích strojů. První část se zabývá aktuálními metodami ověřování přesnosti frézovacích strojů. Dále návrhem a vytvořením modelu obrobku pro ověření přesnosti obráběním. Závěrečná část je zaměřena na hodnocení testovaného obrobku.

Annotation

This thesis works with the possibilities of verifying of the accuracy of milling machines. The first part itself deals with current methods of verifying of the accuracy of milling machines. The next one is concerned with designing and creating of a model of the workpiece which should verify the accuracy by machining. The final section focuses on the evaluation of the test workpiece.

Obsah

1 ÚVOD	7
2 METODY OVĚŘOVÁNÍ PŘESNOSTI FRÉZOVACÍCH STROJŮ	8
2.1 Měření geometrie stroje dle Schlesingera	8
2.1.1 Vodorovnost, rovinnost, kolmost	8
2.2 Ballbar Renishaw	8
2.2.1 Historie ballbaru	8
2.2.2 Systém ballbar QC20-W	9
2.2.3 Test	10
2.2.4 Snímání dat (testování 360°)	10
2.2.5 Snímání dat (testování 220°)	11
2.3 Samocentrovatelná hlava MT-check	12
2.3.1 Rotční osy a víceosé pohyby	12
2.3.2 Lineární osy a prostorová přesnost	15
2.4 Laser Tracer	16
2.4.1 Funkce systému	17
2.4.2 Snížení doby kalibrace	18
2.5 Kontrola přesnosti na obrobku	18
3 MĚŘENÍ PŘESNOSTI OBRÁBĚNÍM	19
3.1 3D modely testovaných obrobků	19
3.2 Metody ověření přesnosti	21
3.2.1 Kruhové plochy	21
3.2.2 Čtvercové plochy	22
3.2.3 Odstupňování v ose z	22
3.2.4 Rovinné plochy	23
3.2.5 Vnější a vnitřní drážka	24
3.2.6 Úhlová plocha	25
4 HODNOCENÍ TESTOVANÉHO OBROBKU	25
4.1 Souřadnicové měřicí stroje	26
4.1.1 Typy konstrukcí	27

5 ZÁVĚR.....	28
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	29
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	31

1 Úvod

Pracovní přesnost číslicově řízených frézovacích strojů je ovlivněna chybami polohování, chybami přímosti, pravoúhlosti, úhlovými chybami a chybami vyplývajícími z poddajnosti strojů, nástrojů a obrobků. Pro každou osu existuje šest chyb (chyba polohování, chyba horizontální osy, chyba vertikální osy, sklon nebo úklon osy, vybočení či odklon a rotace či natočení osy). Na tříosém obráběcím stroji naměříme 18 chyb plus tři chyby pravoúhlosti. [1]

Kvalita vyráběných součástí do značné míry závisí na přesnosti stroje, tudíž problémy se strojem vedou nevyhnutelně k nevyhovujícím výsledkům kontrol, zmetkovitosti a neočekávaným prostojům stroje. Z těchto důvodů vzniká zásadní potřeba kontrolovat přesnost stroje a průběžně znát jeho skutečný stav. [1]

2 Metody ověřování přesnosti frézovacích strojů

2.1 Měření geometrie stroje dle Schlesingera

V roce 1932 pan Schlesinger vydal první knihu popisující doporučené metody měření přesnosti obráběcích strojů. Právě tato kniha se stala systematickou základnou nové disciplíny, která až do dnešních dnů čerpá z její technické geniality a preciznosti. Základy těchto měřících metod zůstaly zachovány dodnes. [2]

2.1.1 Vodorovnost, rovinnost, kolmost

Prvním úkonem je kontrola a seřízení ustavení stroje z hlediska vodorovnosti za pomoci velmi přesných libel. Pokud stroj není usazen vodorovně a není zachována vodorovnost při pohybech lineárních os v rámci celého zdvihu, nemá smysl pokračovat dále. Při ustavování stroje se pracuje zejména s kotevními prvky, kterými je spodní lože spojeno se základy výrobní haly. Každý stroj musí být pečlivě ukotven, a to jak z důvodu geometrické přesnosti, tak z důvodu správného dynamického chování stroje za pohybu a stability obrábění obecně. Dalším úkolem je kontrola rovinnosti upínací plochy stolu stroje či palety s kolmostí osy frézovacího vřetena k této ploše. Dále se provádí kontrola kolmosti v jednotlivých souřadných rovinách a test obvodového házení vřetena na trnu. [2] [13]

2.2 BallbarRenishaw

2.2.1 Historieballbaru

Měřící zařízení ballbar se zrodilo v USA na základě práce Jamese B. Bryana v LawrenceLivermoreNationalLaboratory, který v roce 1984 obdržel americký patent na „Teleskopické magnetické testovací zařízení s kuličkou a tyčinkou“ (TelescopingMagneticBall Bar Test Gage). Společnost Renishawplc začala vyrábět svůj první ballbar, zařízení QC10 Mk1, v roce 1991. Dalším rokem uvedla na trh zařízení QC10 Mk2, které používá sériové rozhraní místo interní desky do PC jako u typu Mk1. [4]

Do října 2009 byl vyráběn QC10, kdy byl nahrazen systémem QC20-W. Konstrukce nového systému zahrnuje zcela nový snímač Renishaw, bezdrátovou

technologii Bluetooth a zdokonalené funkce pro testování a analýzu. Systémy ballbarRenishaw používají tisíce uživatelů obráběcích strojů po celém světě. Většina předních výrobců originálních zařízení (OEM), jejich distributoři a nezávislí poskytovatelé služeb v oblasti kalibrace a koncoví uživatelé je považují za nepostradatelné a důležité přístroje. [4]

2.2.2 Systémballbar QC20-W

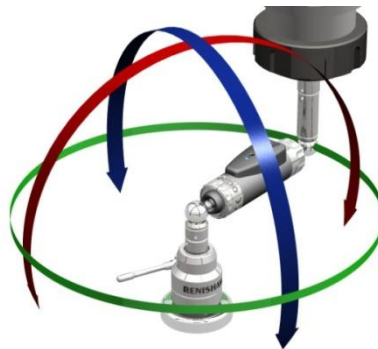
Systém ballbar QC20-W společnosti Renishaw je složen z velmi přesného teleskopického lineárního snímače a dvojice přesných kuliček na obou koncích a z přesných magnetických držáků, z nichž jeden (nastavitelný) je připevněný ke stolu stroje a druhý k vřetenu stroje nebo tělu vřetena. Za provozu jsou kuličky snímače kinematically vedeny v magnetických miskách. Díky tomuto uspořádání je ballbar schopen měřit i velmi malé změny poloměru naprogramované kruhové dráhy kolem držáku umístěného na pracovním stole stroje. Naměřená data jsou odeslána do počítače, ve kterém software Renishaw vypočítá celkové hodnoty přesnosti (kruhovitost, odchylka kruhovitosti) v souladu s mezinárodními normami jako je ISO 230-4 a ASME B5.54, nebo s vlastními analytickými protokoly společnosti Renishaw. Data jsou zobrazena graficky a také v číselném formátu jakožto pomůcka a podpora pro diagnostiku. [4]



Obr. 1. Ballbar QC20-W [5]

2.2.3 Test

Teoreticky platí, že pokud na CNC stroji naprogramujete kruhovou dráhu a přesnost polohování stroje byla dokonalá, pak by kruhová dráha stroje přesně odpovídala naprogramované kruhové dráze. V praxi ale mnoho faktorů u geometrie stroje, řídicího systému a také opotřebování způsobuje, že se poloměr kruhu a jeho tvar od naprogramovaného kruhu bude lišit. Pokud bychom mohli přesně změřit skutečnou kruhovou dráhu a srovnat ji s naprogramovanou dráhou, získali bychom měřítko přesnosti obráběcího stroje. Toto je základem veškerého testování teleskopickým systémem ballbar a systému ballbar QC20-W společnosti Renishaw. [6]



Obr. 2. Konstrukce renishaw QC20-W [6]

2.2.4 Snímání dat (testování 360°)

Laboratorní test vyžaduje, aby obráběcí stroj projel dráhu dvou po sobě jdoucích kružnic. Jednu ve směru a druhou proti směru hodinových ručiček. V praxi je přidán doplňkový oblouk před a za testovací kružnici, který umožní zrychlení a pak zpomalení obráběcího stroje. Pomocí prodlužovacích tyčí lze vybrat testovací poloměr tak, aby odpovídal velikosti stroje a citlivosti na specifické problémy (např. kružnice s velkým poloměrem jsou lepší ke zdůraznění chyb geometrie stroje, zatímco menší kružnice jsou citlivější na nepřesnosti serv nebo zpoždění). Záznam dat je zobrazen na obrazovce živě, takže mnoho chyb nebo problémů lze detekovat v průběhu testování a případně zastavit

test bez plýtvání časem (to je důležité, pokud provádíte test velkého poloměru s pomalým přísunem). [6]



Obr. 3. Testování 360° [6]

2.3.5 Snímání dat (testování částečného oblouku 220°)

Před uvedením systému QC20-W na trh znamenalo testování v rovinách kolmých na standardní testovací rovinu X-Y použití speciálních testovacích přípravků a přemístování středového závěsu. Nyní můžete provádět testy ve 3 ortogonálních rovinách bez přesouvání středového čepu. Tajemství spočívá ve schopnosti systému QC20-W přejet po dráze omezeného oblouku (220 °) ve dvou z těchto rovin. Toto vede k modifikované analýze testu pro daný oblouk, ale stále také dosahuje celkové hodnoty kruhovitosti pro daný test. Pokud všechny tři testy provedete okolo jednoho bodu, bude možné použít zprávu volumetrické diagnostiky (novinka u systému Ballbar 20), což poskytuje další informace a navíc také rychleji než u předchozích systémů. [6]



Obr. 4. Testování 220° [6]

2.3 Samocentrovatelná hlava MT - check

Samocentrovatelná hlava slouží k rychlé kalibraci a diagnostice přesnosti obráběcích strojů. V zásadě jde o zařízení schopné stanovit polohu středu přesné koule ve třech vzájemně kolmých směrech. Základ hlavy tvoří tři vysoce přesné, kapacitní snímače lineárního přestavení, prostorově orientované po 120°. Součástí instalace aparatury na obráběcí stroj je provedení krokovacího algoritmu. Tento algoritmus slouží k přepočtu odchylek měřených zmíněnými kapacitními snímači do souřadného systému obráběcího stroje. Z výše popsaného principu měření vyplývá poměrně široké spektrum aplikací. Jmenovitě jde o měření vybraných parametrů geometrické přesnosti tříosých až pětiosých obráběcích strojů včetně dynamických měření pohybu při součinnosti lineárních a rotačních os. V neposlední řadě je přístroj perspektivní i pro nestandardní aplikace v oblasti výzkumu a vývoje. [7]



Obr. 5. Samocentrovatelná hlava v kontaktu s měřící koulí [7]

2.3.1 Rotační osy a víceosé pohyby

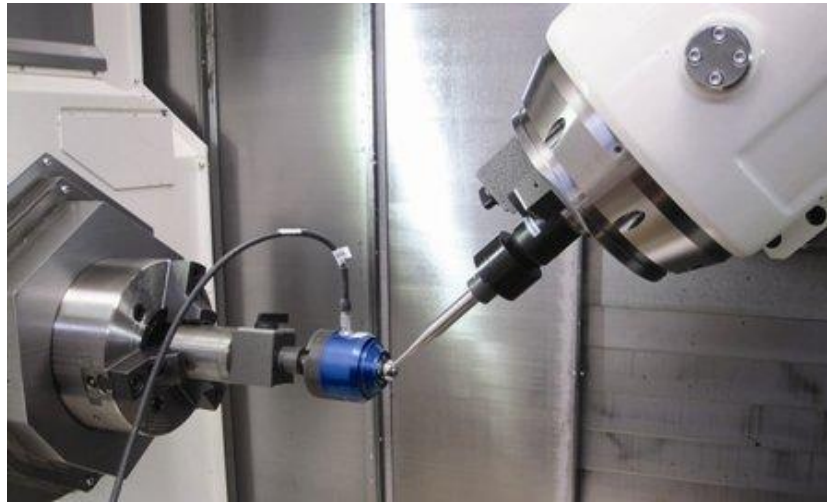
Komplexní diagnostika přesnosti rotačních os včetně testování součinnosti rotačních a lineárních os je realizována v uspořádání „samocentrovatelná hlava a jedna přesná koule“. Koule je zpravidla unášena rotační osou (umístěna např. excentricky na rotačním stole) a samocentrovatelná hlava (upnutá do vřetena) sleduje pohyb koule pomocí pohybů os lineárních. Měření může být koncipováno jako statické nebo dynamické. [7]

Statické měření spočívá v inkrementálním polohování koule v rámci rozsahu pohybu rotační osy. Samocentrovatelná hlava pak s vysokou přesností určuje prostorovou odchylku polohy středu koule v dílčích pozicích měření. Výrobce udávaná nejistota měření se pohybuje pod hranicí 0,6 μm . Test je určen pro kalibraci kinematických parametrů rotačních os. Výstupem jsou odchylky od žádané polohy promítnuté do souřadného systému stroje. Dalším zpracováním získaných dat v pokročilém softwaru, jež je součástí aparatury, jsou vypočteny korekční hodnoty pro softwarovou kompenzaci kinematických odchylek rotační osy. Jedná se o odchylku skutečného středu otáčení a odchylku kolmosti rotační osy k příslušné lineární ose. Naměřená data mohou být zobrazena v lineárním grafu, buď jako odchylky ve směru X , Y a Z , nebo jako odchylky v jednotlivých rovinách souřadného systému stroje, případně lze data zobrazit v polárním grafu. Po zavedení těchto kompenzačních konstant do řídicího systému stroje je vhodné ověřit jejich funkčnost opakovaným měřením. [7]

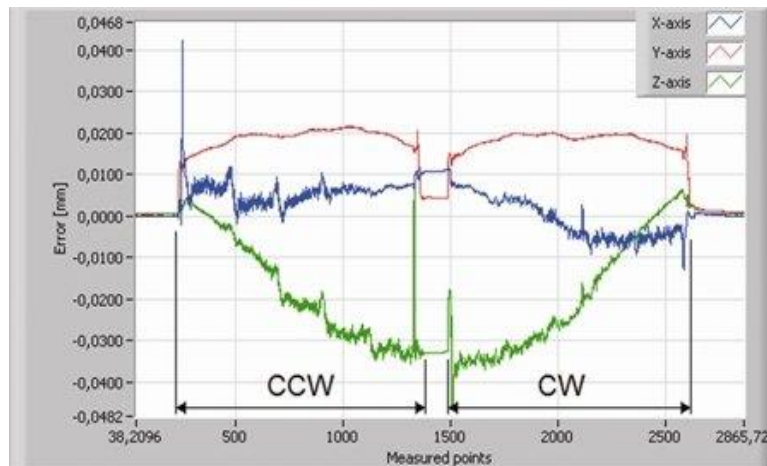
Dynamické měření, též označované jako „followtheball“, je efektivním nástrojem pro ověření kinematické přesnosti víceosých pohybů u CNC strojů, například v rámci přejímacích zkoušek. Sledována je přesnost držení polohy bodu v prostoru při souvisle řízeném, víceosém pohybu. Postup zkoušky a vyhodnocení výsledků jsou v souladu s normou ISO 10791-6. Norma definuje testy přesnosti pohybu tvořené interpolací tří až pěti strojních os. Vždy jde o součinnost alespoň jedné rotační a dvou lineárních os. Zkoušky jsou aplikovatelné na stroje s kolébkou a otočným stolem, stroje s dvouosými otočnými frézovacími hlavami, kombinaci výše jmenovaných či další multifunkční obráběcí stroje. [7]

Data mohou být zaznamenávána s frekvencí vzorkování až 6,5 kHz, což umožňuje jejich pokročilé zpracování v přidruženém softwaru. Obdobně jako ze statického měření lze vyhodnotit korekce kinematických odchylek rotační osy a zobrazit data v lineárních a polárních grafech. Dále je software schopen provést FFT analýzu a stanovit tak parametry vibrací (frekvence, amplituda) vyskytujících se na stroji během testu. Analyzováno může být kmitání do frekvence 500 Hz. Výsledky jsou znázorněny graficky, zvláště pro směry X , Y a Z souřadného systému stroje. Díky FFT analýze lze posuzovat celkový stav stroje, respektive odhalit původ možných problémů s přesností stroje. Příklad dynamického měření, včetně zobrazených výsledků je znázorněn na Obr. 6. Jde o měření součinnosti os

X , Z a B na multifunkčním soustružnickém centru s frézovacím vřetenem. Za povšimnutí stojí ostré špičky spojené s rozjezdem a zastavením pohybových os. Špičky jsou přítomny především ve směru X a Z , tedy ve směru pohybu lineárních os. Skokové odchylky ve směru Y jsou pak způsobeny spínáním a vypínáním brzdy na ose B . [7]



Obr. 6. Dynamické měření odchylky pohybu při součinnosti X , Z a B [7]



Obr. 7. Příklad vyhodnocení odchylek ve směru X , Y a Z [7]

2.3.2 Lineární osy a prostorová přesnost

V kombinaci s kalibrovaným měřícím artefaktem a samocentrovatelnou hlavou, lze měřit prostorovou přesnost a kalibrovat lineární osy. Měřící artefakt se skládá z dutého

profilu, vyrobeného z uhlíkových vláken, na kterém jsou v přímce upevněny keramické koule o průměru 22 mm. Poloha koulí je známa z kalibračního měření s nejistotou $(1,0+0,001.L) \mu\text{m}$, kde L je vzdálenost konkrétní koule od první koule na artefaktu. Proces ustavení aparatury na stroj obsahuje vytvoření transformační matice, která slouží k přepočtu odchylek do souřadného systému stroje. Poté je nutné určit pozici a orientaci artefaktu v pracovním prostoru testovaného stroje. To se provádí najetím samocentrovatelné hlavy na tři vybrané kuličky na artefaktu v ručním režimu ovládání stroje. Software poté vygeneruje měřicí partprogram, který realizuje automatické polohování stroje na všechny kuličky artefaktu. Aparaturu lze využít pro testování jednotlivých lineárních os či pro zkoušku diagonálního přestavení nebo komplexní ověření volumetrické přesnosti. Postup zkoušek a vyhodnocení výsledků je v souladu s příslušnými normami ze souboru ISO 230. Ze získaných prostorových odchylek polohy jednotlivých koulí lze vyhodnotit odchylky polohování, přímočarosti pohybu jednotlivých os či vůle v mechanismech polohování. [7]



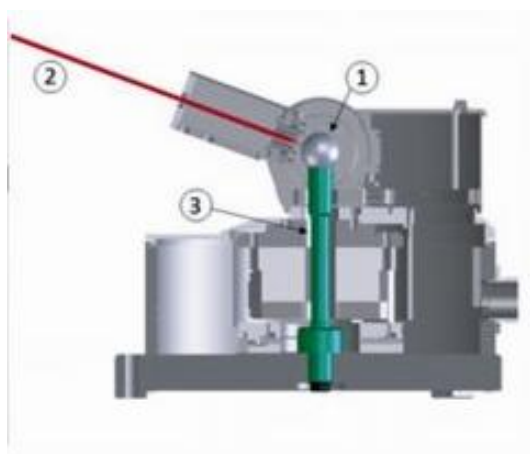
Obr.8. Samocentrovatelná hlava v kombinaci s měřícím artefaktem [7]

2.4 Lasertracer

Měřicí přístroj Laser Tracer využívá jedinečné délky laserové vlny, díky tomu je nabízena jednoduchá, rychlá a flexibilní metoda s bezkonkurenční přesností. Tato metoda je ideálním nástrojem pro kalibraci souřadnicových měřících strojů a obráběcích strojů (v rozsahu délek od 3 cm do 30m). [8] [9]



Obr.9. Laser Tracer [9]



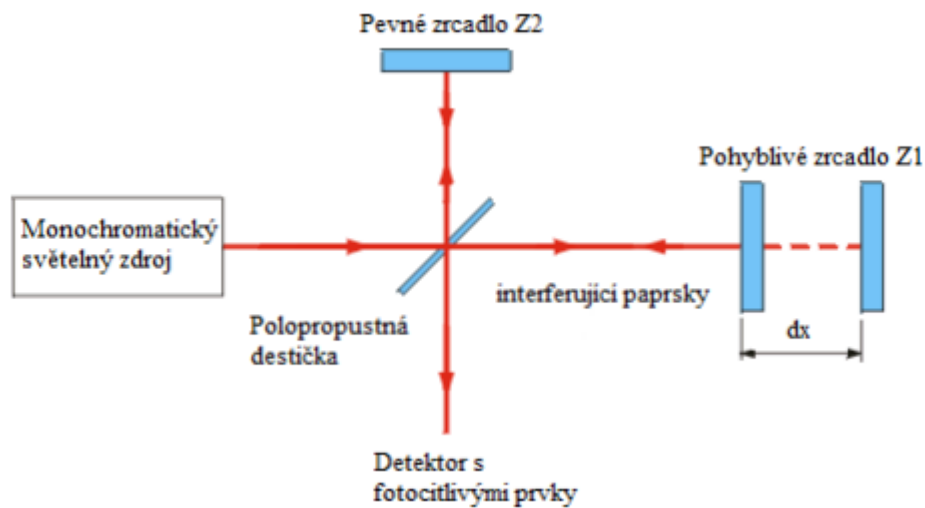
- 1) přesná referenční koule
- 2) měřící paprsek interferometru
- 3) pevný čep

Obr. 10. Laser Tracer - řez [9]

Doba komplexního mapování nepřesnosti stroje (přímosti, kolmosti, polohy, rozteče, apod.) přístrojem Laser Tracer trvá přibližně jednu až tři hodiny. Provedení kontroly nevyžaduje žádné speciální nastavení nebo polohování kalibračních pomůcek, což je velkou výhodou a po krátké instruktáži jí zvládne každá obsluha kontrolovaného zařízení. [8] [9]

2.4.1 Funkce systému

Funkce systému je jednoduchá, reflexní poloha se upevní na kontrolovaný stroj nebo element (sondu) a Laser Tracer je postupně umístěn do několika předdefinovaných poloh vně pracovního prostoru stroje. Stroj (přístroj) se v každé poloze pohybuje po předem stanovené dráze. Měřicí paprsek automaticky sleduje reflexní polohu. Výsledky jsou stanoveny a vyhodnoceny během jedné až tří hodin, všechny geometrické úchytky stroje, které lze využít pro kompenzaci nebo korekce vlastností zařízení. Software měřidla se ovládá snadno a zajišťuje nejen interpretaci, ale i dokumentaci výsledných měření. Software je pro snadnou manipulaci uložen ve dvou lehkých přepravných boxech. [9] [14]



Obr. 11. Princip funkce interferometru [8]

2.4.2 Snížení doby kalibrace

Nová verze přístroje „On thefly“ má zajistit výrazné snížení kalibrační doby a zvýšení kmitočtu vzorkování. Laser Tracer má zabudovanou elektroniku, která dostává data z řídicí jednotky stroje a srovnává je s průběhem interferometrického měření. To umožňuje plynulé měření pohybu stroje s vyšší přesností. Takto je možné v porovnání se statickým měřením redukovat dobu měření, například ze dvou na jednu hodinu. [9]

2.5 Kontrola přesnosti na obrobku

Kontrola přesnosti obráběcího stroje na obrobku spočívá v tom, že se navrhne a po sléze obrobí testovací obrobek, který by měl být tvarově navržený tak, aby z jeho proměření byl patrný celkový aktuální stav stroje. Tvary obráběných ploch se budou lišit v závislosti na tom, jaký stroj budeme chtít kontrolovat a kolik bude mít pohyblivých os.

V projektu HSC a víceosé obrábění byl navržen, ve více verzích modifikován a modelován díl pro kontrolu pracovní přesnosti pětiosých frézovacích a vyvrtávacích obráběcích center, kde bylo hlavním cílem zvýšení přesnosti a produktivity obrábění tvarově složitých dílů. [3]



Obr. 12. Výroba lopatkového kola kompresoru [3]

3 Ověření přesnosti obráběním

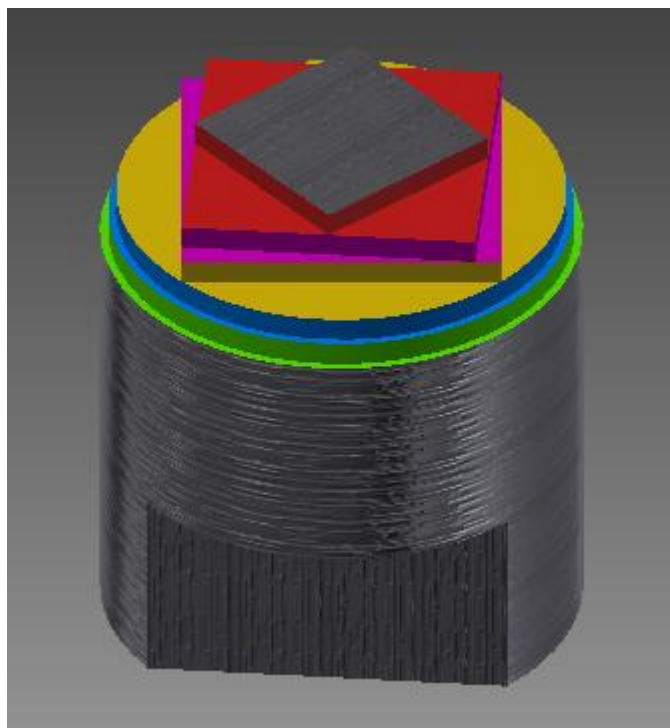
Jako metodu ověřování přesnosti frézovacích strojů jsem dle zadání zvolil metodu ověření na obrobku. Testované obrobky jsem nejprve navrhl a poté vytvořil jejich 3D modely. Pro co nejvíce vypovídající výsledky měření se všechny plochy testovaného obrobku budou nejprve obrábět nahrubo se stejným přídávkem na dokončení, abychom eliminovali vliv tloušťky třísky na výsledné měření. Obrábět se také bude jedním nástrojem (stopková fréza o průměru 12mm) za konstantních řezných podmínek.

3.1 3D modely testovaných obrobků

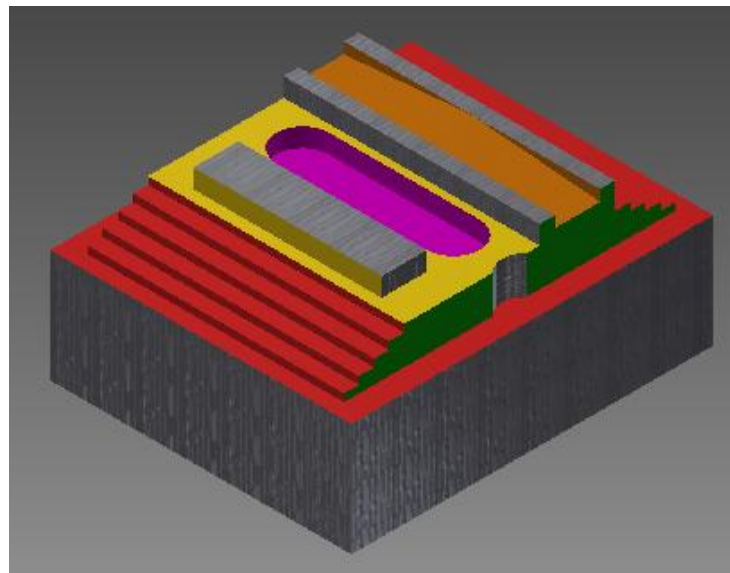
Hlavní snahou při vytváření testovaných obrobků bylo, aby se takzvaně z minima vytěžilo maximum. Tudiž aby se s co nejkratším časem a minimálním úběrem třísky, vytvořilo co nejvíce měřitelných ploch, které budou vypovídat co nejvíce informací o aktuálním stavu stroje.

Modely testovaných obrobků jsem vytvářel v programu Autodesk Inventor (verze 2015). Program jsem volil z důvodu, že již dříve jsem v něm vytvářel modely, na kterých jsem si osvojil základní funkce tohoto programu.

Po zvážení jsem vytvořil dva finální modely obrobků, které se liší jak polotovarem, tak tvarem obráběných ploch.



Obr. 13. Testovaný obrobek - model 2.3



Obr. 14. Testovaný obrobek - model 1.4

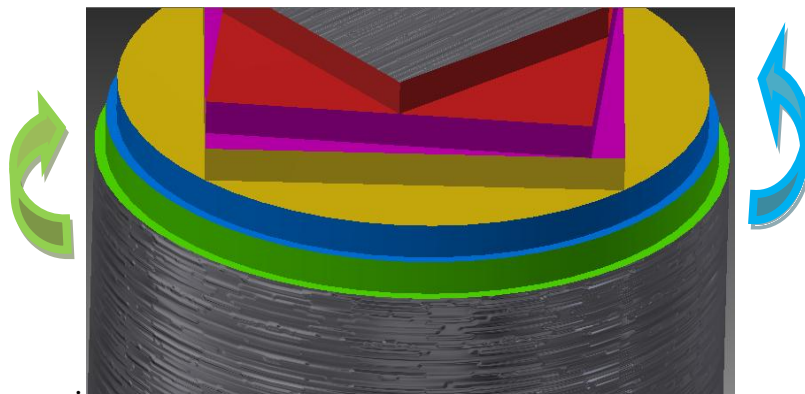
3.2 Metody ověření přesnosti

V této kapitole si popíšeme průběh obrábění jednotlivých ploch, a co přesně se na daných plochách bude měřit. Dále bych chtěl zdůraznit podmínky programování jednotlivých drah nástroje a řezné podmínky, které byly navrženy tak, aby pro každou společně měřenou plochu byly naprosto totožné, a tudíž výsledky měření co nejvíce vypovídající o stavu stroje s co nejmenším dopadem vedlejších vlivů. To znamená, stejná rychlost, stejné posuvy, stejná hloubka třísky, atd., pro každé společně měřené plochy.

Jednou z myšlenek také bylo vytvořit kompaktní program, tudíž ručně napsaný s vyvarováním se veškerých cyklů, který by se společně s polotovarem daly poslat do různých strojírenských podniků a bez větších úprav pustit na tamních strojích. Výsledné vzorky by byly zaslány zpět k vyhodnocení.

3.2.1 Kruhové plochy

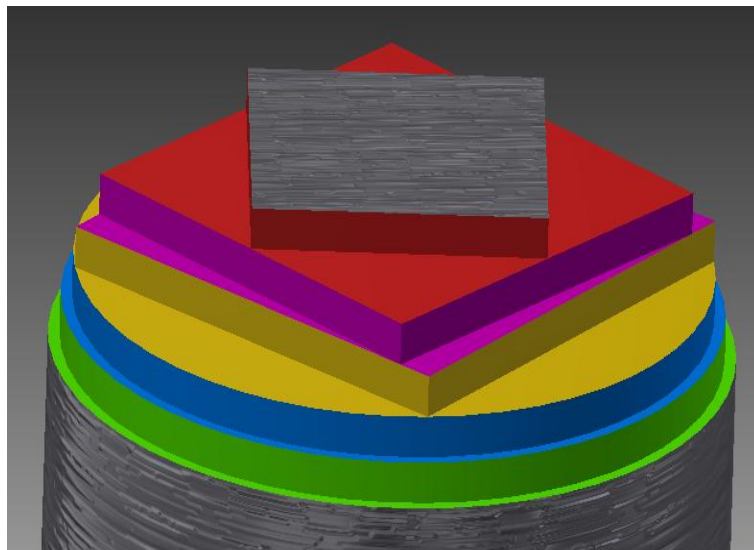
V této části budeme pozorovat chování stroje při kruhové interpolaci (např. hystereze posuvových osách x a y). Dále vlivy sousledného a nesousledného frézování na parametry kruhovitosti. Pro test kruhovitosti jsem zvolil dvě kruhové plochy, kdy v případě zeleně označené plochy pojede nástroj po dráze ve směru hodinových ručiček a v případě modře označené plochy pojede nástroj po dráze protisměru hodinových ručiček (viz. Obr.14)



Obr. 15. Detail modelu 2.3 - kruhové plochy

3.2.2 Čtvercové plochy

Na těchto plochách se bude kontrolovat interpolační systém stroje. Kde spodní, žlutě označený, čtverec má základnu rovnoběžnou s osou pohybu x (viz. Obr.12), tudíž při obrábění tohoto čtverce bude fréza v pohybu vždy jen po jedné ose. Na těchto plochách se bude měřit kolmost a rovnoběžnost ploch v ose x a y . Prostřední, růžově označený, čtverec je pootočený o malý úhel vůči čtverci spodnímu (žlutému) (viz. Obr.15). Zde bude rychlost posuvu v jedné či druhé ose velmi malá oproti druhé, v závislosti na obráběné straně čtverce (jednou posuv v ose $x \gg y$, podruhé $y \gg x$). Zde se zkontroluje, zda bude zachována plynulost posuvu při malé rychlosti. Horní, červeně označený, čtverec je o 45° pootočen vůči čtverci spodnímu (žlutému) (viz. Obr.15). V tomto případě bude rychlost posuvu v ose x a y totožná.

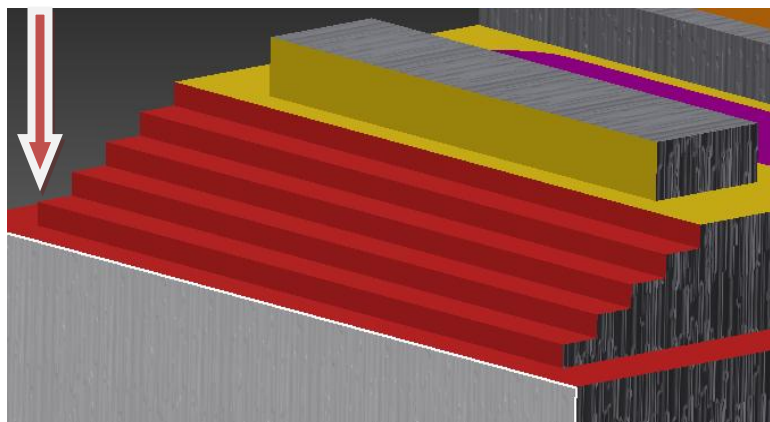


Obr. 16. Detail modelu 2.3 - čtvercové plochy

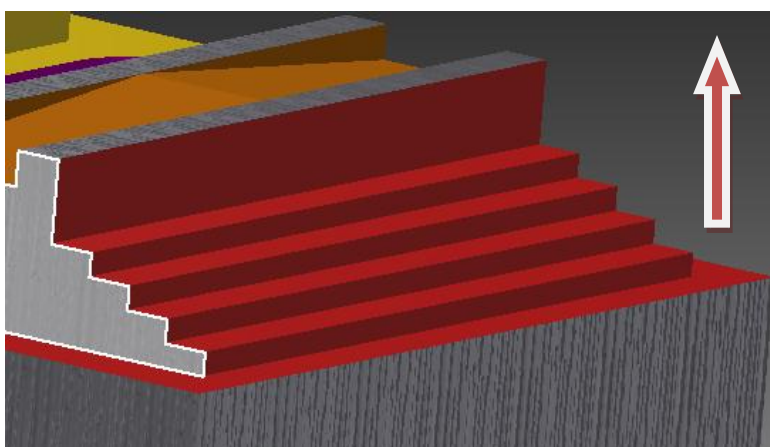
3.2.3 Odstupňování v ose z

V této části se přesouváme k obrábění druhého modelu (model 1.4), kde budeme za pomoci červeně označených „schodů“ (viz. Obr. 17) kontrolovat přesnost polohování v ose z . Kdy z levé strany obrobku bude pohyb frézy směrem do plusových souřadnic v ose z . Z pravé strany obrobku tomu bude právě naopak, pohyb frézy směrem do minusových souřadnic v ose z . Poté budou naměřeny hodnoty z obou obrobených částí a bude

vyhodnocena přesnost polohování, v obou směrech. Jednotlivé „schody“ jsou odstupňované tak, aby se zkontrolovaly i mezipolohy stoupání polohovacího šroubu.



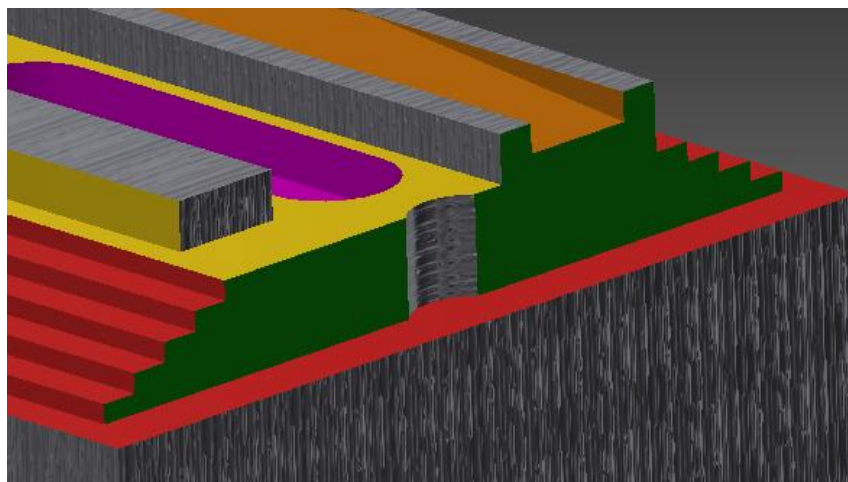
Obr. 17. Detail modelu 1.4 - levá strana



Obr. 18. Detail modelu 1.4 - pravá strana

3.2.4 Rovinné plochy

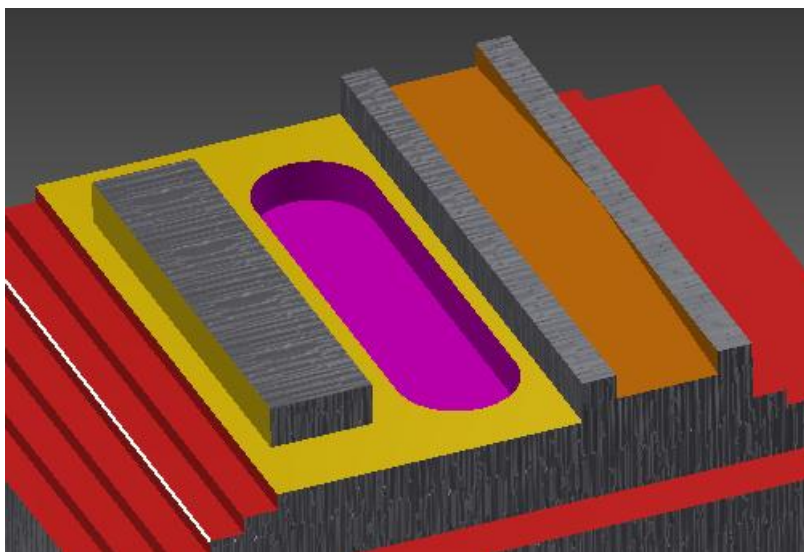
Na zeleně označené ploše (viz. Obr. 19) budou kontrolovány vlivy nájezdů obráběcí frézy z levé a pravé strany směrem k odebrání třísky materiálu. Nástroj přijede kolmo k obráběné ploše a začne obrábět z jedné strany, v polovině dráhy se zastaví a v kolmé ose zajede kousek směrem do materiálu, poté se vrátí a pokračuje v obrábění až na konec plochy. Tímto se obrátil směr najetí k odebíranému materiálu v druhé polovině dráhy nástroje a bylo eliminováno případné odpružení nástroje.



Obr. 19. Detail modelu 1.4 - rovinné plochy

3.2.5 Vnější a vnitřní drážka

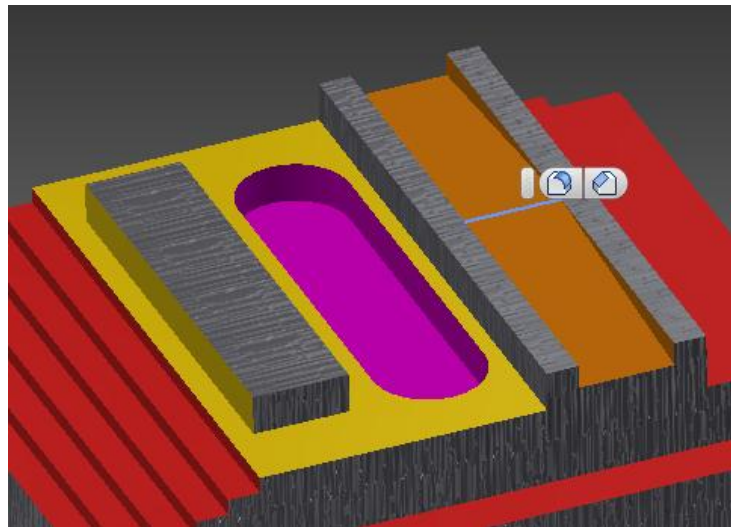
Zde se budou obrábět dvě drážky stejné šířky. A to vnější, žlutě označená a vnitřní, fialově označená, drážka (viz. Obr. 20). Následně se obě drážky proměří a vyhodnotí se vlivy odpružení nástroje na vnitřním a vnějším obrábění.



Obr.20. detail modelu 1.4 - drážky

3.2.6 Úhlová plocha

Oranžově označená plocha (viz. Obr. 21.), je plocha s malým stoupajícím úhlem, která se přesně v polovině své délky láme a pod stejným úhlem klesá, až do svého konce. Na této ploše bude měřena poloha špičky, která by v ideálním případě měla být přesně v polovině obráběné plochy a následně bude vyhodnocena přesnost polohování v ose z pod malým úhlem.



Obr. 21. Detail moelu 1.4 - úhlová plocha

4 Hodnocení testovaného obrobku

K vyhodnocení rozměrů testovaného obrobku jsem vybral metodu měření na souřadnicovém měřicím stroji. Tato metoda je výhodná, jak z hlediska vysoké přesnosti měření, tak značné efektivity. Touto metodou lze změřit všechny potřebné rozměry v krátkém čase na jedno upnutí obrobku. Navíc vzhledem k dostupnosti stroje přímo ve školních prostorách se tato metoda jevila jako ideální již od počátku.

4.1 Souřadnicové měřicí stroje

Princip souřadnicového měření spočívá v tom, že stanovíme základní bod v prostoru, polohy dalších bodů na součásti měříme formou souřadnicových rozměrů v osách x , y , z . Velkou výhodou je oproti konvenčním metodám možnost určení základního bodu v kterémkoliv místě pracovního prostoru měřicího stroje.

V porovnání s tradičními způsoby měření, kde odečítání naměřených hodnot ze stupnic je velice zdlouhavé a namáhavé, představuje číslicový způsob vyhodnocení výsledků u souřadnicových měřicích strojů velký krok vpřed. Mimo toho je většina číslicových souřadnicových měřicích strojů uzpůsobena tak, že k nim lze připojit zařízení pro záznam naměřených hodnot, které registruje naměřené body automaticky. Záznam výsledků slouží jako doklad o provedení měření, který může taktéž sloužit jako podklad pro statistické metody vyhodnocování měření.

Souřadnicový měřicí stroj kontroluje výrobky podobným způsobem, jak je číslicově řízený stroj vyrábí. Měřicí časy redukuje až o 80% oproti jiným metodám.

Souřadnicový měřicí stroj ve spojení s počítačovou technikou představuje prostředek pro zvyšování jakosti ve všech druzích výroby při obrábění i tváření. [11] [12]

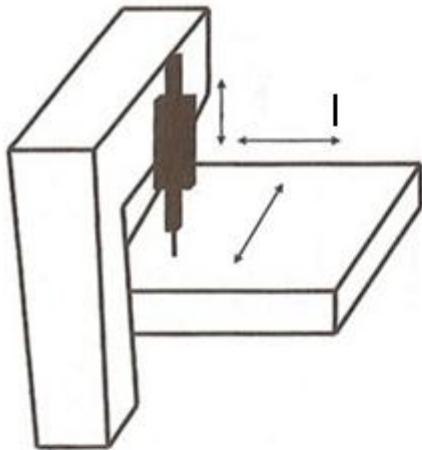


Obr.22. SMS - ZEISS PRISMO navigator

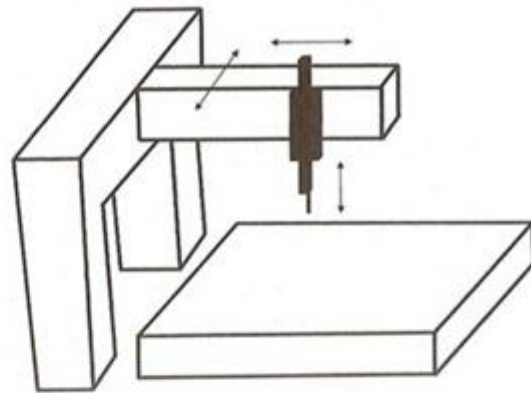
4.1.1 Typy konstrukcí

Každý souřadnicový měřicí stroj má svoji vlastní průměrnou desku doplněnou měřícím mechanismem. Měřící mechanismus je vybaven měřícím dotekem, který se dotýká kontrolované součásti a jehož polohu je možno identifikovat opticky nebo na číslcovém ukazateli. Souřadné osy jsou navzájem kolmé a současně kolmé a rovnoběžné s průměrnou deskou. [11]

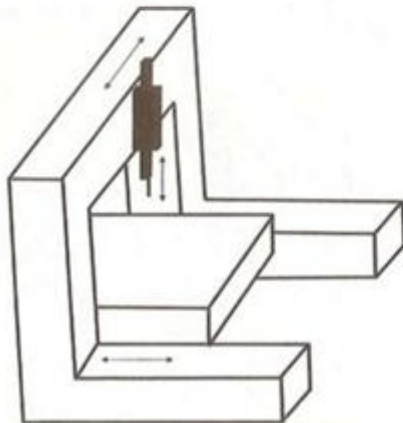
Na obrázcích níže jsou znázorněna konstrukční uspořádání souřadnicových měřících strojů.



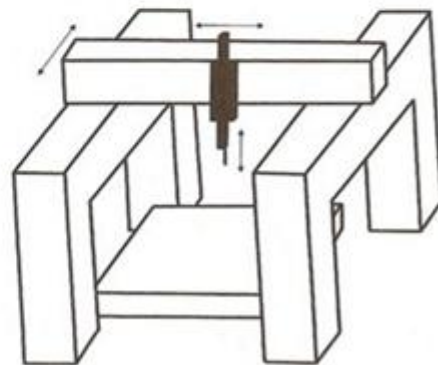
Obr. 23. Výložníkový SMS [10]



Obr. 24. Stojanový SMS [10]



Obr. 25. Portálový SMS [10]



Obr. 26. Mostový SMS [10]

5 Závěr

V teoretické části této bakalářské práce byly představeny stávající metody ověřování frézovacích strojů. Zvláště bylo poukázáno na měřicí sadu Renishaw, která se především díky své jednoduchosti a rychlosti použití stala nepoužívanější metodou. Dále byla navržena kontrola přesnosti obrábění na obrobku. V praktické části jsou pak návrhy dvou testovacích obroků, podmínky a strategie obrábění, aby se za co možná nejkratší čas obrábění a s minimálním úběrem materiálu, dalo vyhodnotit co nejvíce informací týkajících se přesnosti obrábění stroje. V poslední řadě byla navržena metoda hodnocení testovaného obrobku souřadnicovým měřicím strojem.

Seznam použité literatury

- [1] Nedoma, P. Hodnocení výrobní přesnosti CNC strojů. Zlín: Universita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická 2005. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Sed'
- [2] MISAM Obráběcí stroje a nástroje. *Www.misam.cz* [online]. [cit. 2016-07-15].
Dostupné z: <http://www.misam.cz/clanky/2011-03-22-kontrola-geometricke-presnosti-petiosych-stroju/>
- [3] MM Průmyslové spektrum. *Www.mmspektrum.com* [online]. [cit. 2016-07-15].
Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vyzkum-strojirenske-vyrobní-techniky-a-technologie-1-cast.html>
- [4] Renishaw. *Www.renishaw.com* [online]. 2016 [cit. 2016-07-15]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/teleskopicke-systemy-ballbar--6813>
- [5] Direstindustry. *Www.directindustry.com* [online]. 2016 [cit. 2016-07-15]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/renishaw>
- [6] Renishaw. *Www.renishaw.com* [online]. 2016 [cit. 2016-07-15]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/teorie-a-praxe-testovani--6818>
- [7] MM Průmyslové spektrum. *Www.mmspektrum.com* [online]. [cit. 2016-07-15].
Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/samocentrovatelna-hlava-sikovny-pomocnik-se-sirokym-zaberem.html>
- [8] MALÝ, P. Měření geometrické přesnosti obráběcích strojů zařízením Laser Tracer. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 42 s.
Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Knobloch, MSc.
- [9] MM Průmyslové spektrum. *Www.mmspektrum.com* [online]. [cit. 2016-07-15].
Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-dimenze-kalibrace-stroju.html>
- [10] SLIDE PLAYER. *Www.slideplayer.cz* [online]. [cit. 2016-07-15]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2283897/>
- [11] Kocnam K, Prokop J. Technologie obrábění. CERM, Brono, 2001 ISBN 80-214 1996-2
- [12] MM Průmyslové spektrum. *Www.mmspektrum.com* [online]. [cit. 2016-07-15].
Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/souradnicova-merici-technika.html>

- [13] ERAZIM, Karel. Kontrola přesnosti obráběcích strojů. 2. přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1961, 339 s. Řada strojírenské literatury.
- [14] SCHWENKE, H., R. SCHMITT, P. JATZKOWSKI a C. WARMANN. On-the-fly calibration of linear and rotary axes of machine tools and CMMs using a tracking interferometer. CIRP Annals - Manufacturing Technology [online]. 2009, vol. 58, issue 1, s. 477-480 [cit. 2016-07-15].

Seznam obrázků

Obr. 1. Ballbar QC20-W	9
Obr. 2. Konstrukce ranishaw QC20-W	10
Obr. 3. Testování 360°	11
Obr. 4. Testování 220°	11
Obr. 5. Samocentrovatelná hlava v kontaktu s měřicí koulí	12
Obr. 6. Dynamické měření ochylky pohybu při součinnosti X, Z a B	14
Obr. 7. Příklad vyhodnocení odchylek ve směru X, Y a Z	14
Obr. 8. Samocentrovatelná hlava v kombinaci s měřícím artefaktem	15
Obr. 9. Laser Tracer	16
Obr. 10. Laser tracer - řez	16
Obr. 11. Princip funkce interferometru	17
Obr. 12. Výroba lopatkového kola kompresoru	18
Obr. 13. Testovaný obrobek - model 2.3	20
Obr. 14. Testovaný obrobek - model 1.4	20
Obr. 15. Detail modelu 2.3 - kruhové plochy	21
Obr. 16. Detail modelu 2.3 - čtvercové plochy	22
Obr. 17. Detail modelu 1.4 - léva strana	23
Obr. 18. Detail modelu 1.4 - pravá strana	23
Obr. 19. Detail modelu 1.4 - rovinné plochy	24
Obr. 20. Detail modelu 1.4 - drážky	24
Obr. 21. Detail modelu 1.4 - úhlová plocha	25
Obr. 22. SMS - ZEISS PRISMO navigator	26
Obr. 23. Výložníkový SMS	27
Obr. 24. Stojanový SMS	27
Obr. 25. Portálový SMS	27
Obr. 26. Mostový SMS	27