České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Bakalářská práce

Vojtěch Vácha

Návrh systému periodických zkoušek souřadnicových měřicích strojů v RBCB

Proposal of system reverefication tests of CMMs at RBCB

Praha 2016

Vedoucí práce: Ing. Libor Beránek, Ph.D.

Vysoká škola: ČVUT v Praze Fakulta: strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro Vojtěcha Váchu

obor Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Název: Návrh systému periodických zkoušek souřadnicových měřicích strojů v RBCB

Název anglicky: Proposal of system for reverification tests of CMMs at RBCB

Zásady pro vypracování:

1. Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM).
2. Analýza rozměrových a geometrických specifikací součástí kontrolovaných na CMM.
3. Návrh artefaktu pro realizaci periodických zkoušek.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Libor Beránek, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 25. 4. 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 1. 7. 2016

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne: 25.4.2016 Vácha

Diplomant

Vedoucí ústavu

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Děkan

V Praze dne 25. 4. 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Návrh systému periodických zkoušek souřadnicových měřicích strojů v RBCB“ vypracoval samostatně. Veškerou použitou literaturu a podkladové materiály uvádím v přiloženém seznamu literatury.

V Praze dne: ……. ……....

Vojtěch Vácha

Poděkování:

Děkuji panu Ing. Liboru Beránkovi, Ph.D., vedoucímu mé bakalářské práce a panu Ing. Jiřímu Markovi, konzultantovi z firmy Robert Bosch v Českých Budějovicích, za odborné vedení, trpělivý přístup při poskytování rad a za čas, který mi věnovali.

Abstrakt:

Tato práce se zabývá ověřováním způsobilosti souřadnicových měřicích strojů pomocí přejímacích, periodických zkoušek a návrhem periodické zkoušky pro laboratoř ve společnosti Robert Bosch v Českých Budějovicích. První část práce představuje společnost, laboratoř a její vybavení. Poukazuje také na potřebu nové periodické zkoušky. Další část práce se věnuje analýze systému norem ČSN EN ISO 10 360, která definuje postupy a podmínky kontroly způsobilosti souřadnicových měřicích strojů. Třetí část přináší přehled artefaktů a etalonů používaných pro periodické a přejímací zkoušky. Poslední část je zaměřená na samotný návrh artefaktu pro realizaci periodické zkoušky.

Klíčová slova:

Periodické a přejímací zkoušky, CMM, způsobilost, artefakt pro CMM, ISO 10 360

Abstract:

This work deals with verifying the accuracy of CMMs using acceptance, periodic tests and periodic testing proposal for the laboratory of Robert Bosch in České Budějovice. The first part introduces the company, the laboratory and its equipment. It also shows the need for a new periodic tests. Another part is devoted to analysis of the system standards ČSN EN ISO 10360, which defines the procedures and conditions for accuracy checks CMMs. The third part provides an overview of artifacts and standards used for periodic and acceptance testing. The last part is focused on the design artifact for the realization of periodical tests.

Key words:

Periodic and acceptance tests, CMM, accuracy, artifact for CMM, ISO 10 360

Obsah

Seznam symbolů a zkratek 1
1. Úvod 2
2. Robert Bosch v Českých Budějovicích (RBCB) 3
2.1 Historie a výrobní program 3
2.2 Členění metrologie v RBCB 3
2.2.1 QMM11 4
3. Periodické a přejímací zkoušky 7
3.1 Systém norem ISO 10360 7
3.2 Environmentální a metrologické požadavky 9
3.3 ČSN EN ISO 10360 - 2 10
3.3.1 Chyba při měření délky s nulovou vzdáleností odsazení hrotu E_0 12
3.3.2 Chyba při měření délky pro vzdálenost 150 mm odsazení hrotu snímacího doteku od osy pinoly E_{150} 13
3.3.3 Opakované rozpětí chyby při měření délky R_0 14
3.4 ČSN EN ISO 10 360 - 4 14
3.4.1 Principy a postupy 15
3.5 ČSN EN ISO 10360 - 5 16
3.5.1 Terminologie 16
3.5.2 Uspořádání jednotlivého doteku 17
3.5.3 Pevné složené sondy a složené doteky snímacích systémů 18
3.5.4 Kloubový snímací systém 19
4. Přehled artefaktů a etalonů pro CMM 20
4.1 Kobastep 20
4.2 Ball bar 21
4.3 Ball plate a hole plate 21
4.4 CMM check od společnosti Zeiss 22
4.5 Easicheck od společnosti Torus group 23
4.6 Systém MCG od společnosti Renishaw 23
5. Návrh periodických zkoušek 25
5.1 Analýza představitele a návrh artefaktu 25
5.2 Popis výroby 27
6. Závěr 29
Seznam zdrojů 30
Seznam obrázků 33
Seznam tabulek 34
Seznam příloh 35

Seznam symbolů a zkratek

CMM – coordinate measuring machine

ISO – international organizaton for standardization

RBCB – Robert Bosch v Českých Budějovicích

MPE – maximum permissible error

QMM – quality metrology management

NOx – oxidy dusíku

GPS – geometrical product specifications

CMS - coordinate measuring systém

MCG – machine checking gauge

1. Úvod

Zajištění kvality v průmyslové produkci patří dnes mezi jeden z nejdůležitějších úkolů. Bez schopnosti ověřovat bezchybnost výroby může být podnik těžko konkurenceschopný. Rozměrová kontrola hraje v hodnocení kvality výrobků velmi významnou úlohu. K tomu účelu byly vytvořeny souřadnicové měřicí stroje (CMMs). Výrobci dnes nabízejí CMMs v mnoha různých typech. Jednotlivá CMM se liší dle typu snímání: na kontaktní a bezkontaktní. Můžeme je dělit dle konstrukčního řešení na konzolové, mostové, portálové a sloupové.

Naměřené hodnoty ovlivňuje celá řada okolností. Mezi nejdůležitější vlivy patří okolní prostředí, měřená součást, strategie měření, obsluha stroje a samotný měřicí stroj. To vše nám může zkreslit výsledky měření. Všechny nežádoucí vlivy je třeba eliminovat. Teplotu prostředí můžeme eliminovat použitím snímačů teploty a následnou korekcí výsledků. Chyby z měření součástí, které jsou náchylné k deformaci, můžeme eliminovat pomocí správného upnutí. Tato práce se zabývá odhalováním chyb, které generuje samotný stroj. Pokud stroj není v pořádku a vnáší chyby do naměřených hodnot, pak je zbytečná snaha eliminovat ostatní vlivy a kontrolovat výrobky.

Proces ověřování způsobilosti CMMs se nazývá periodická nebo přejímací zkouška. Přejímací zkouška se provádí pouze jednou, když výrobce předává CMM zákazníkovi. Má za cíl verifikovat technický stav CMM udávaný výrobcem. Periodická zkouška, jak už název prozrazuje, se provádí v určitých intervalech a má prokázat, že stroj je stále způsobilý a je v souladu se specifikacemi udávané výrobcem. Tyto zkoušky definují normy řady ČSN EN ISO 10 360 – 1 až ČSN EN ISO 10 360 – 10.

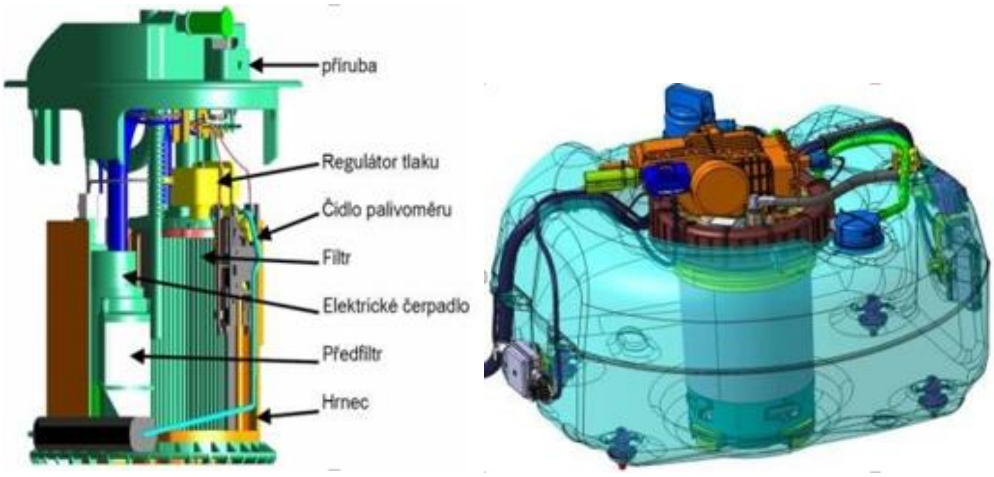
Jako hlavní cíl této bakalářské práce bude návrh systému periodických zkoušek pro společnost Robert Bosch v Českých Budějovicích. Tohoto cíle chci dosáhnout pomocí rozboru systému norem ČSN EN ISO 10 360. Dále pak analýzou rozměrových a geometrických specifikací součástí kontrolovaných v laboratoři v RBCB. Dalším postupem je zmapování dostupných artefaktů pro ověřování způsobilosti CMM. Posledním krokem bude návrh optimálního řešení.

2. Robert Bosch v Českých Budějovicích (RBCB)

2.1 Historie a výrobní program

Společnost Robert Bosch v Českých Budějovicích vznikla roku 1992 jako společný podnik stuttgartského koncernu Bosch a českobudějovického Motoru Jikov. Už v roce 1995 se stal Bosch jediným vlastníkem podniku. V dnešní době firma zaměstnává přes 3500 zaměstnanců.

Hlavní činností podniku je výroba a vývoj komponentů pro automobilový průmysl. Výrobní program je ve společnosti RBCB rozsáhlý. Vyrábí se zde nádržový čerpadlový modul, modul pro redukci NOx, sací modul, zpětné vedení paliva, škrtící klapka. Některé výrobky vidíme na obrázku 1. [1]



Obrázek 1: Nádržový čerpadlový modul (vlevo), modul pro redukci NOx (vpravo)

2.2 Členění metrologie v RBCB

Společnost klade velký důraz na vysokou kvalitu výrobků. Pro zajištění daných standardů kvality je potřeba sbírat data. O to se v RBCB starají 3 laboratoře označené QMM11, QMM71, QMM81. Tyto laboratoře zajišťují rozměrovou kontrolu výrobků.

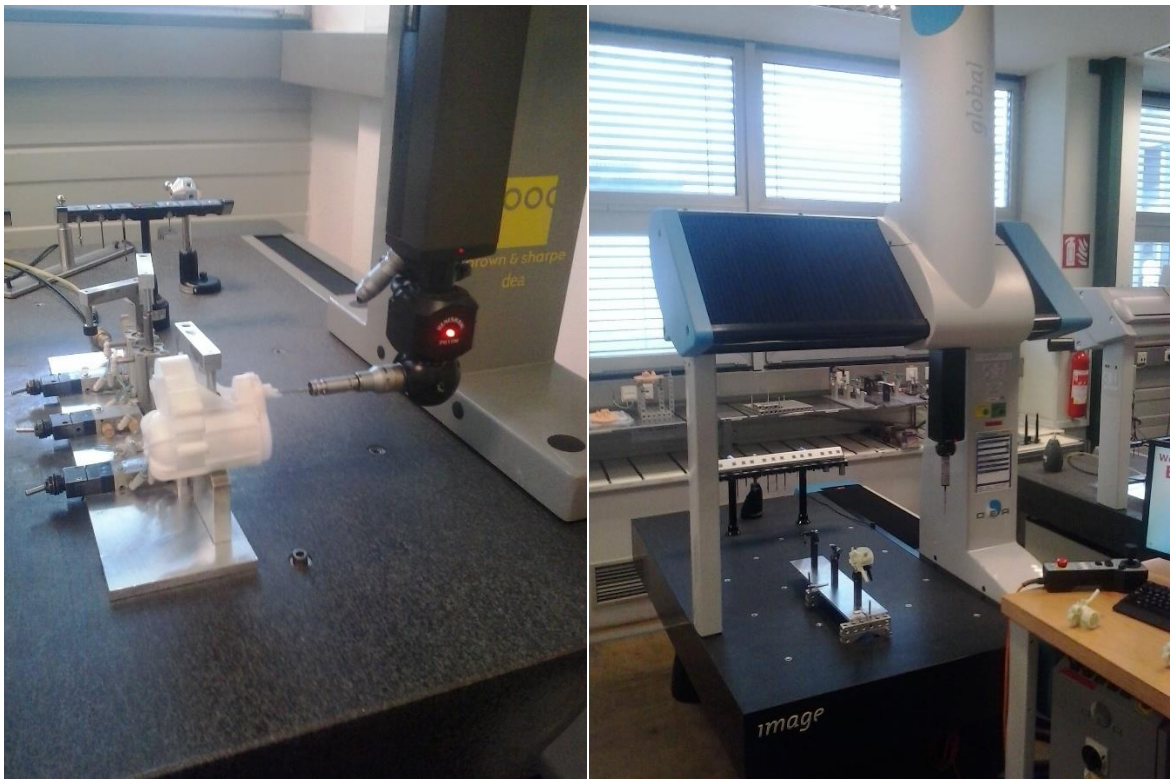
QMM71 ověřuje nové výrobky a dává zpětnou vazbu vývoji a výrobě. Zajišťuje také měření reklamací. Tato laboratoř je vybavena čtyřmi CMMs.

Laboratoř QMM81 je vybavena počítačovou tomografií. Může tedy provádět rozměrovou kontrolu i v těžko přístupných místech pro jiné technologie. Zde se také provádí nedestruktivní zkoušky vnitřní struktury výrobků.

V laboratoři QMM11 se provádí kontrola sériově vyráběných dílů a měří se zde díly vyrobené technologií vstřikování plastů po opravách forem. Pro tuto laboratoř je vytvářen artefakt, a proto se jí budu podrobněji věnovat.

2.2.1 QMM11

Laboratoř QMM11 je vybavena třemi CMM od firmy Hexagon Metrology – Dea. Konkrétně se jedná o Dea Mistral, Dea Global Silver a Dea Global Image. Všechny mají $MPE_E = 2,3 + L/300$ µm a $MPE_L = 2,3$ µm. Rozsahy strojů jsou také shodné, a to v ose X = 700 mm, v ose Y = 700 mm a v ose Z = 500 mm. Dea Mistral a Dea Global Silver pracují v režimu snímání diskrétních bodů a Dea Global Image snímá body v režimu skenování. CMM můžeme vidět na obrázku 2. Všechny stroje mají kloubový snímací systém, který je od společnosti Renishaw a Hexagon metrology.



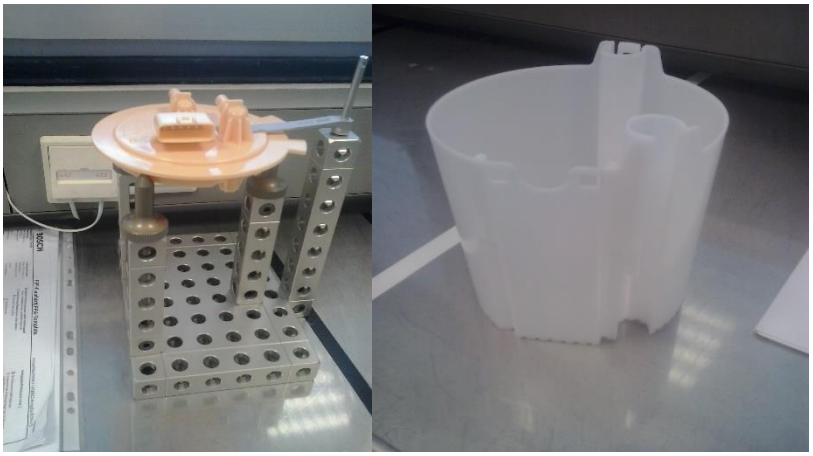
Obrázek 2 Dea mistral (vlevo) a Dea global image (vpravo)

Ověřování způsobilosti strojů formou kalibrací zajišťuje společnost Hexagon Metrology a je vykonávána jednou za rok. Cílem kalibrací je prokázat, že stroje vyhovují specifikovaným maximálním chybám MPE_E a MPE_L. Laboratoř ovšem nemá informace, jak se stroj chová v čase a tedy zda jsou naměřené hodnoty správné nebo jsou zatížené chybou stroje. Může se stát, že stroj začne měřit špatně již týden po provedení kalibrace a laboratoř to zjistí až při další kalibraci. Tento fakt je motivací pro vytvoření periodické zkoušky.

Zkouška souřadnicového měřicího stroje probíhá dle normy ISO 10 360 - 2. Hexagon Metrology provádí pouze jednu ze tří zkoušek obsažené v normě. Provádí zkoušku chyby indikace zkušební délky pomocí snímací hlavy bez odsazení hrotu. Neprovádí zkoušku reprodukovatelnosti ani zkoušku chyby indikace zkušební délky s pomocí snímací hlavy s definovaným odsazením hrotu. Toto zjištění může vnášet nedůvěru do výsledků kalibrace. Normy ISO 10 360 – 2, 4 a 5 kontrolují způsobilost CMMs v laboratoři, a proto jsem se na tyto normy zaměřil v další kapitole.

V laboratoři je zaveden třísměnný provoz. To znamená, že na stroje dohlíží více pracovníků. Při případných kolizích není ověřována způsobilost stroje, pouze se provede kvalifikace snímacího systému. Všechny zmíněné okolnosti nutí QMM11, aby byla vytvořena periodická zkouška, která by umožňovala rychle zjišťovat způsobilost strojů. Po poradě s vedoucím laboratoře panem Ing. Markem jsme se rozhodli vytvořit periodickou zkoušku pomocí artefaktu, který bude simulovat reálně měřené úlohy.

Měřených dílů v laboratoři je kolem 200 typů. Díly jsou vyráběné z plastu a pro velkou variabilitu, se obtížně dají zařadit do nějakých skupin. Rozhodl jsem se tedy, že udělám ukázku typických měřených dílů. Díly se samozřejmě objevují v různých variantách. Komponenty můžeme vidět na obrázcích 3 a 4. Na obrázku číslo 3, vlevo vidíme flanch. Součást typu příruby. Na tomto typu výrobku jsou nejmenší šířky tolerančních polí a největší množství geometrických specifikací. Z těchto důvodů jsem ho vybral jako představitele pro návrh artefaktu. Na třetím obrázku vpravo je součást typu hrnec. Čtvrtý obrázek vlevo ukazuje filter housing. Hrnec, flanch a filter housing jsou komponenty pro nádržový čerpadlový modul, který je znázorněn na obrázku 1. Na čtvrtém obrázku vpravo je pumpen tregr. Tento díl patří mezi nejvíce vyráběné. Pumpen tregr je komponent do systému DNOx, který odbourává NOx ve výfukových plynech.



Obrázek 3 Flanch (vlevo) a hrnec (vpravo)

Obrázek 4 Filter Housing (vlevo) a pumpen tregr (vpravo)

3. Periodické a přejímací zkoušky

Pokud chceme používat souřadnicovou měřící techniku v běžné praxi, musíme získávat pravidelné informace o technickém stavu stroje. Tyto informace dostaneme pomocí periodických a přejímacích zkoušek. Přejímací zkouška je soubor úkonů, dohodnutých v rámci dodavatelsko-odběratelského vztahu, zajišťující verifikaci technického stavu CMM udávaného výrobcem. Přejímací zkouška se provádí dle postupů a specifikací výrobce. Periodická zkouška se provádí podle stejných specifikací jako přejímací zkouška, ale podle postupů uživatele. Má za cíl ověřit, že technický stav odpovídá požadavkům uživatele. V dnešní době je vytvořen systém norem ČSN EN ISO 10360, které definují postupy a podmínky zkoušek.

3.1 Systém norem ČSN EN ISO 10360

Mezinárodní organizace pro normalizace (ISO) je celosvětovým svazem národních normalizačních organizací. Tato organizace vytváří normy. Tvorbu norem obvykle zajišťují technické komise ISO. V této práci se zaměřím na normu ČSN EN ISO 10360. Norma specifikuje podmínky a postupy přejímacích a periodických zkoušek pro CMM. Tato norma má 10 částí. První až sedmá část má společný název Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM). Osmá až desátá část nese společné pojmenování Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích systémů (CMS). Připravují se také části o počítačové tomografii a kloubových ramenech CMM. [2]

Jednotlivé části normy ČSN EN ISO 10360 [9]:

- Část 1: Slovník
- Část 2: Souřadnicové a měřící stroje používané pro měření délkových rozměrů
- Část 3: Souřadnicové a měřící stroje s osou otočného stolu jako čtvrtou osou
- Část 4: Souřadnicové a měřící stroje používané v režimu skenování
- Část 5: Souřadnicové a měřící stroje používající snímací systém s několika doteky
- Část 6: Odhad chyb při výpočtu prvků přiřazených metodou nejmenších čtverců
- Část 7: Souřadnicové a měřící stroje vybavené video snímacími systémy
- Část 8: Souřadnicové a měřící stroje s optickými snímači vzdálenosti
- Část 9: Souřadnicové a měřící stroje se složenými snímacími systémy
- Část 10: Laserový indikátor pro měření vzdáleností od bodu k bodu

První část je slovník. Definuje terminologii, která je používaná v ostatních částí normy. Norma obsahuje termíny týkající se snímacího systému, otočného stolu, činnosti CMM, zkušebních těles, chyby CMM a dalších pro tento text méně významných oblastí. [2]

Druhá část je o souřadnicových měřicích strojích používaných pro měření délkových rozměrů. Tato část se zabývá přejímacími a periodickými zkouškami pro ověření způsobilosti CMM, které jsou používány pro měření lineárních rozměrů. Tyto zkoušky lze použít jen pro kartézské CMM. Této části normy bude věnovaná větší pozornost v následujících kapitolách. [3]

Třetí část normy ČSN EN ISO 10360 se zaměřuje na přejímací a periodické zkoušky pro CMM s otočným stolem jako čtvrtou osou. Zkoušky jsou navrženy tak, aby odhalily chybu osy, která je spojena s otočným stolem. [4]

Čtvrtá část normy definuje přejímací zkoušky, periodické zkoušky a mezikontrolu pro posouzení způsobilosti technického stavu CMM, který provádí extrakci bodů skenováním. Zkoušky definované v této normě se mohou realizovat za předpokladu, že stroj dokáže skenovat s jakýmkoliv typem dotykového snímacího systému. Tato část bude podrobněji popsaná v další části práce. [5]

Pátá část v pořadí se zabývá zkouškami ověřujícími způsobilost snímacího systému s jednotlivým a složeným systémem. Tato část normy bude popsána v dalších kapitolách. [6]

Hodnocením technického stavu softwaru CMM se zabývá šestá část normy ČSN EN ISO 10360. Software přiřazené prvky přizpůsobuje souboru dat, který máme z měření reálného prvku. Díky tomu získáváme informace o přiřazených prvcích. Ty můžeme popsat tvarem, polohou, rozměrem a orientací. Tyto informace využíváme k hodnocení součásti a k dalším výpočtům. Kvalita získaných informací o prvcích závisí na softwaru. Princip zkoušky je v aplikaci softwaru na soubory referenčních dat a srovnávání získaných výsledků s referenčními výsledky. Tímto docílíme u zkoušky nezávislosti na měřicím systému. [7]

Souřadnicovým měřicím strojům vybaveným zobrazovacím snímacím systémem je věnována sedmá část normy. Tato část normy je svou strukturou totožná s druhou částí. Zkoušky se zaměřují na chyby indikace kalibrační zkoušky délky a na chyby v zobrazovacím snímacím systému. Zkoušku lze použít pro CMM kartézského typu, který používá zobrazovací snímací systém libovolného druhu a pracuje v režimu snímání diskrétních bodů. [8]

Osmá část normy hovoří o periodických a přejímacích zkouškách pro souřadnicové měřicí stroje s optickými snímači vzdálenosti. Norma je podobná druhé a páté části. Z toho vychází i podobnost metodiky zkoušek. [9]

Devátá část je zaměřena na CMM s vícenásobnými doteky. Tato část je analogií k páté části. Norma zde specifikuje zkoušky CMM různých konstrukcí, které používají vícenásobný snímací systém kontaktním i bezkontaktním způsobem. [10]

Doposud poslední část se zabývá ověřováním způsobilosti laserovými trackery pro měření vzdáleností mezi dvěma body. [11]

3.2 Environmentální a metrologické požadavky

Mezi environmentální podmínky zařazujeme vlhkost vzduchu, vibrace a teplotní podmínky. Tyto vlivy nám mohou zkreslit výsledek měření, a proto je třeba definovat mezní hodnoty dovolených environmentálních podmínek. V případě přejímacích zkoušek specifikuje podmínky výrobce. U periodický zkoušek je to uživatel. Toto obecně platí pro všechny části normy.

Uživatel si v obou případech může zvolit environmentální podmínky, ty však musí ležet uvnitř definovaných hodnot uvedených v datovém listu. Uživatel je také zodpovědný za dodržení daných podmínek. Pokud nedodrží podmínky, nemůže být požadováno dodržení mezních hodnot chyby měření.

Výrobce, ve své příručce, uvádí dle jakých postupů, má být CMM provozován. Tyto postupy jsou v případě zkoušky nutné dodržet. Tabulka číslo 1 shrnuje tyto postupy. [3]

Tabulka 1 Provozní podmínky

Spuštění stroje a cyklus zahřátí	Teplotní stabilita snímacího systému
Konfigurace, čištění snímacího systému doteků	Umístění a počet senzorů teplot
Kvalifikace snímacího systému	Hmotnost systému snímacího dotek

3.3 ČSN EN ISO 10360 - 2

Druhá část normy 10360 stanovuje přejímací a periodické zkoušky pro ověření způsobilosti CMM, které měří lineární rozměry. Norma zavádí tři zkoušky a definuje environmentální a provozní podmínky za jakých mají zkoušky probíhat. Zkoušku chyby indikace kalibrované zkušební délky pomocí snímací hlavy bez odsazení snímacího dotyku, zkoušku chyby indikace kalibrované zkušební délky pomocí snímací hlavy s definovaným odsazením snímacího hrotu a zkoušku reprodukovatelnosti měření kalibrované zkušební délky.

Principem zkoušek je stanovení chyby, při měření délky bez odsazení hrotu snímacího doteku E_0 , chyby při měření délky s definovaným odsazením hrotu E_L a zjištění opakovaného rozpětí chyb při měření délky R_0. Žádná chyba nesmí přesáhnout maximální dovolenou chybu. Pro E_0 je dovolená mez $E_{0,MPE}$, pro E_L je to $E_{L,MPE}$ a pro R_0 je to $R_{0,MPL}$.

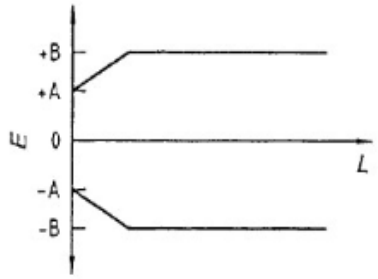
Provede se měření kalibrované zkušební délky v pěti různých délkách a každé měření se třikrát zopakuje. Pokud A je bod na začátku zkušební délky a B je bod na konci zkušební délky pak měření musí probíhat v pořadí A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3 nebo B_1A_1, B_2A_2, B_3A_3. Žádná jiná pořadí nejsou možná. Poté se vypočtou indikované hodnoty délky a ty se porovnají s kalibrovanými hodnotami.

Před komplexnější zkouškou je vhodné provést zkoušku snímacího systému, která prokáže, že snímací systém je v souladu s uváděnými specifikacemi.

Výsledky zkoušek E_0, E_{150} a R_0 se zaznamenávají do následujících diagramů odpovídající hodnotě $E_{0,MPE}$, $E_{150,MPE}$, $R_{O,MPL}$. Způsobilost CMM je ověřena, pokud jsou chyby v rozpětí maximální dovolené chyby. [3]

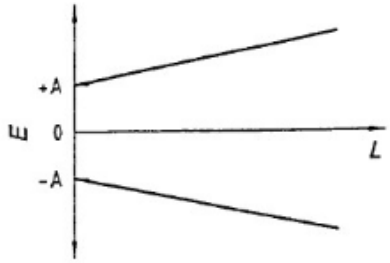
Norma uvádí tři grafy, do kterých je možno zaznamenávat výsledky zkoušek. Grafy se liší podle způsobu výpočtu. Jednotlivé grafy se vzorci vidíme na obrázcích jedna až tři. Kde A je kladná konstanta uváděná v mikrometrech. Tuto konstantu dodává výrobce. K je bezrozměrná konstanta rovněž udávaná výrobcem. L je měřený rozměr v milimetrech. B je největší dovolená chyba MPE_E v mikrometrech. Tuto konstantu poskytuje výrobce. [2]

Pro graf a) se maximální chyba stanoví dle vztahu [2]: MPE= ± minimum (A + L/K) a B



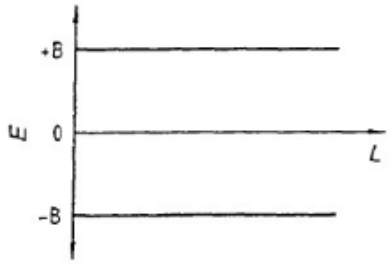
Obrázek 5 Graf a) [2]

Pro graf b) se maximální chyba stanoví dle vztahu [2]: MPE= ± (A+L/K)



Obrázek 6 Graf b) [2]

Pro graf c) se maximální chyba stanoví dle vztahu [2]: MPE= ± B



Obrázek 7 Graf c) [2]

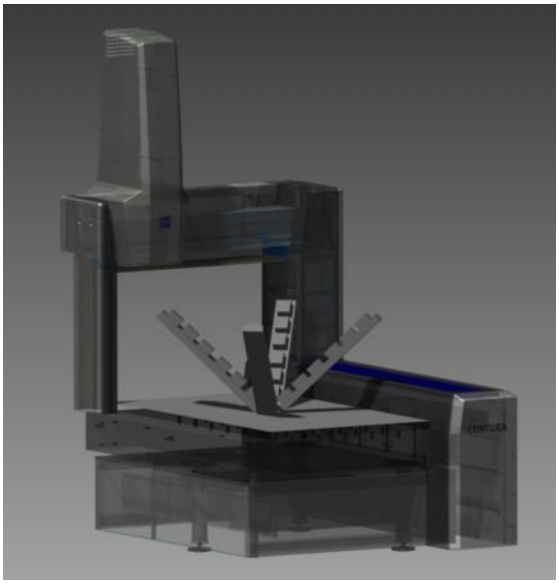
3.3.1 Chyba při měření délky s nulovou vzdáleností odsazení hrotu E_0

Tato zkouška vyžaduje, aby vzdálenost mezi osou pinoly a snímacím dotykem byla co nejmenší, v ideálním případě nulová. Pokud typ CMM, měřící přímka nebo zkušební artefakt vyžaduje nenulové odsazení hrotu doteku, musíme použít co nejmenší možné odsazení snímacího doteku. Tato zkouška se provádí na zkušebním tělese, jehož délka je minimálně 66% měřícího rozsahu CMM. Každá z pěti kalibrovaných délek pro jednu polohu se musí lišit svou délkou.

Celkově musí být provedeno 105 měření. Pět kalibrovaných délek se umístí do sedmi odlišných poloh v celém měřicím objemu CMM. Každá délka se změří třikrát. Polohy v měřícím objemu jsou popsány v tabulce 2, kde první čtyři polohy jsou diagonály v měřicím objemu CMM, které se musí se dodržet a zbylé tři si uživatel může zvolit sám.

Tabulka 2 Orientace v měřicím objemu [3]

Poloha číslo	Orientace v měřicím objemu	Požadovaný nebo zvolený
1	Podél diagonály prostoru z bodu (1, 0, 0) k bodu (0, 1, 1)	Požadovaný
2	Podél diagonály prostoru z bodu (1, 1, 0) k bodu (0, 0, 1)	Požadovaný
3	Podél diagonály prostoru z bodu (0, 1, 0) k bodu (1, 0, 1)	Požadovaný
4	Podél diagonály prostoru z bodu (0, 0, 0) k bodu (1, 1, 1)	Požadovaný
5	Rovnoběžně s osou stroje z bodu $(0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$ k bodu $(1, \frac{1}{2}, \frac{1}{2})$	Zvolený
6	Rovnoběžně s osou stroje z bodu $(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2})$ k bodu $(\frac{1}{2}, 1, \frac{1}{2})$	Zvolený
7	Rovnoběžně s osou stroje z bodu $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$ k bodu $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 1)$	Zvolený
Pro specifikace v této tabulce se zobrazují protilehlé rohy v měřicího objemu s (0, 0, 0) a (1, 1, 1) v souřadnicích (X, Y, Z)		



Obrázek 8 Polohy artefaktu

CMM s velkým poměrem os je takové, které má nejdelší osu trojnásobně větší než střední osu. Pro takové stroje jsou vhodná další dvě měření. Artefakt, který se skládá z pěti kalibrovaných délek, se umístí diagonálně do roviny kolmé na nejdelší osu zhruba doprostřed.

Výrobce udává, jaký snímací systém, má být pro zkoušku použit. Pokud tak neučiní, může si uživatel zvolit snímací systém z dodávaných systémů. Tento systém se montuje a kvalifikuje dle obvyklých postupů.

3.3.2 Chyba při měření délky pro vzdálenost 150 mm odsazení hrotu snímacího doteku od osy pinoly E_{150}

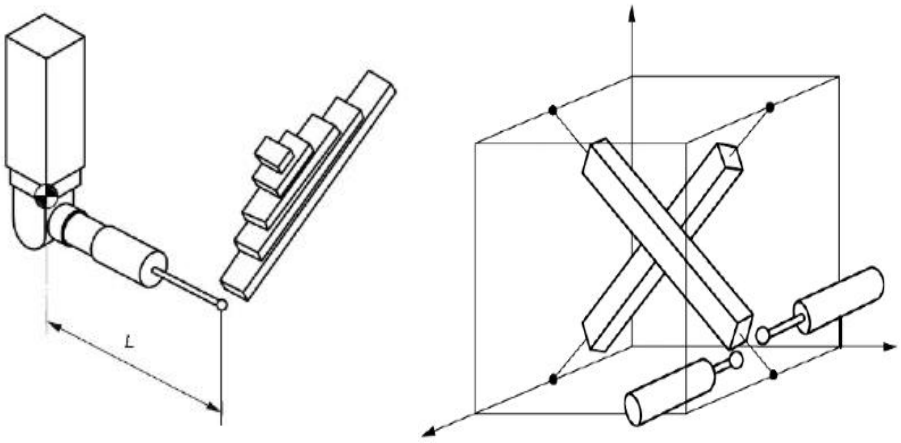
Tato zkouška se provádí podobně jako zkouška s nulovým odsazením hrotu. Montáž a kvalifikace snímacího systému je stejná jako u zkoušky E_0. Odsazení hrotu doteku od osy pinoly je 150 mm s tolerancí plus mínus 15 mm. Toto odsazení musí být kolmé na měřící přímku.

Uživatel si volí jednu nebo dvě z orientací snímacího doteku. Orientace jsou +X a X pro polohy 1A a 1B, a +Y a –Y pro polohy 2A a 2B. A volí si také jednu nebo dvě z poloh zkušební délky uvedené v tabulce 3. Osa pinoly je v tomto případě osa Z.

Tabulka 3 Orientace v měřicím objemu pro E150 [3]

Číslo pozice	Orientace v měřicím objemu
1A	v YZ – rovině diagonálně z bodu ($\frac{1}{2}$, 0, 0) k bodu ($\frac{1}{2}$, 1, 1)
1B	v YZ – rovině diagonálně z bodu ($\frac{1}{2}$, 0, 1) k bodu ($\frac{1}{2}$, 1, 0)
2A	v XZ – rovině diagonálně z bodu (0, $\frac{1}{2}$, 0) k bodu (1, $\frac{1}{2}$, 1)
2B	v XZ – rovině diagonálně z bodu (0, $\frac{1}{2}$, 1) k bodu (1, $\frac{1}{2}$
Pro specifikace v této tabulce se zobrazují protilehlé rohy v měřicího objemu s (0, 0, 0) a (1, 1, 1) v souřadnicích (X, Y, Z)	

Pro každou kombinaci polohy snímacího systému a zkoušené délky se měří pět kalibrovaných délek třikrát. Z toho plyne, že pro dvě kombinace je nutné udělat 30 měření. [3]



Obrázek 9 Odsazení hrotu snímacího systému (vlevo) a možné polohy zkušební délky a orientace snímacího systému [3]

3.3.3 Opakované rozpětí chyby při měření délky R_0

Pro každou sadu tří opakovaných měření se vypočte R_0, přičemž se vyhodnotí rozpětí tří opakovaných měření délek.

3.4 ČSN EN ISO 10 360 - 4

Čtvrtá část normy se zabývá CMM, které extrahují body v režimu snímání. Stanovuje periodické a přejímací zkoušky pro ověřování těchto strojů. Tato zkouška může být používána pouze na strojích, které mohou pro skenování použít libovolný typ dotykového snímacího systému.

V normě se pracuje s chybou indikace snímání T_{ij}. Tato chyba nesmí překročit maximální dovolenou chybu MPE_{Tij}. Chyba i dovolená mez se udávají v mikrometrech. Dále stanovuje dobu zkoušení τ. Ta nesmí překročit nejdelší dovolenou dobu MPE τ. Doby jsou uváděny v sekundách.

Pro účely této zkoušky je definován snímací dotek. Snímací dotek musí být kulový s jmenovitým průměrem zaoblením špičky 3 mm. Úchylka tvaru špičky snímacího doteku bude výrazně ovlivňovat naměřené hodnoty. Tento vliv se musí zahrnout při prokazování shody nebo neshody se specifikacemi.

Zkoušky lze použít pro skenování na předem definované dráze pro sejmutí velké hustoty bodů (HP), na předem definované dráze pro sejmutí malé hustoty bodů (LP), na předem nedefinované dráze pro sejmutí velké hustoty bodů (HN), na předem nedefinované dráze pro sejmutí velké malé bodů (LN). HP a HN má velký význam, když vyhodnocujeme úchylky tvaru. LP a LN je důležité pokud chceme optimalizovat rychlosti snímání.

3.4.1 Principy a postupy

Principem zkoušky je zjistit zda je CMM schopné měření při maximální dovolené chybě snímání při skenování, $MPE_{Tij,}$ určením rozsahu hodnot radiální vzdálenosti R na zkušební kouli a maximální dovolené době zkoušky skenován MPEτ , pozorováním doby po kterou zkouška trvá.

Měřicí zařízení je ocelová zkušební koule, která má průměr 25 mm, drsnost povrchu Ra nepřesahující 0,05 μm a tvrdost nejméně 800 HV. Jako zkušební koule se nesmí použít referenční koule používaná pro kvalifikaci snímacího systému. Střed a poloměr zkušební koule se určí skenováním zkušební koule ve čtyřech cílových skenovacích rovinách. Průměr a tvar koule musí být kalibrován akreditovanou laboratoří, protože ovlivňují výsledky testů.

Před samotnou zkouškou se musí zkušební koule důkladně očistit. Na kouli nesmí zůstat žádný zbytkový film. Upevnění zkušební koule by mělo být dostatečně tuhé, aby byly eliminovány chyby způsobené ohybem. Dále se pak zaznamená měření čtyř korigovaných linií na povrchu zkušební koule. První skenovací rovina je na rovníku. Druhá skenovací rovina je rovnoběžná s první a je posunutá o 8 mm. Třetí a čtvrtá skenovací rovina je kolmá na první a druhou. Třetí rovina prochází pólem. Čtvrtá rovina je rovnoběžná s třetí a posunutá o 8 mm.

Každá skenovací posloupnost musí začínat i končit na pomocné poloze. Ta je definovaná bodem, který leží alespoň 10 mm od zkušební koule. Z tohoto bodu by měl snímací dotek dosáhnout koule po normále k povrchu. Doba zkoušky skenování τ je tedy od pomocného bodu první skenovací posloupnosti až do pomocného bodu na konci čtvrté skenovací posloupnosti.

Výsledky se získají následujícím postupem. Nejdříve se vypočítá střed koule metodou nejmenších čtverců při použití všech skenovaných bodů. Poté se pro každý bod vypočítá radiální vzdálenost R. Dále se vypočítá chyba snímání T_{ij}, jako řada vyčíslených radiálních vzdáleností. Na závěr se spočítá největší absolutní rozdíl mezi libovolnou jednotlivou vyčíslenou řadou vzdáleností R a polovinou certifikované hodnoty průměru kalibrační koule. [5]

3.5 ČSN EN ISO 10360 - 5

Tato část normy se zabývá zkouškami, které mají prokázat způsobilost snímacího systému. Zkoušku lze použít pro snímací systémy s jednotlivým dotekem, složené doteky spojené se sondou CMM, kloubový snímací systém, systém s opakovatelnou výměny sondy, systém s opakovatelnou výměnou doteku a složené sondy. Mezi další požadavky pro použití zkoušky patří režim snímání diskrétních bodů a kulový nebo polokulový snímací dotek. Postupy uvedené normou by měly odhalit chyby měření, které mohou nastat při měření konkrétních výrobků.

Jako měřící zařízení se používá zkušební koule, která má průměr mezi 10 mm a 50 mm. Artefakt musí mít kalibrovaný tvar. Chyba tvaru zkušebního tělesa by neměla být větší než 20% chyby tvaru složeného doteku. Norma neumožňuje použít referenční kouli jako zkušební těleso.

3.5.1 Terminologie

Terminologií a definicí pojmů se zabývá první část normy, avšak kvůli jednoznačnému výkladu se několik termínů tykajících se snímacího systému, definuje v této části. Jedná se o chybu tvaru doteku, chybu rozměru, hodnoty polohy složeného doteku a jejich největší dovolené hodnoty. Existuje mnoho kombinací chyb. K orientaci nám slouží indexy. První písmeno v indexu definuje, o jakou chybu se bude jednat. F značí chybu tvaru, S chybu rozměru a L hodnotu polohy. Druhé písmeno udává, zda se jedná o dotykový nebo bezdotykový snímací systém. Třetí písmeno říká, o jaký snímací systém se jedná. E značí kloubový snímací systém používající empirickou kvalifikaci. Při empirické kvalifikaci musí být parametry měření pro každý snímací systém s kloubovým systémem získány měřením referenční koule. I je kloubový systém používající odvozenou kvalifikaci. Metoda odvozené kvalifikace je založena na získání měřícího parametru pomocí interpolace, extrapolace nebo jiným relevantním modelem. M je pevný složený dotekový snímací systém a N je pevný složený systém sondy. Značení jednotlivých pojmů můžeme vidět v tabulce 4.

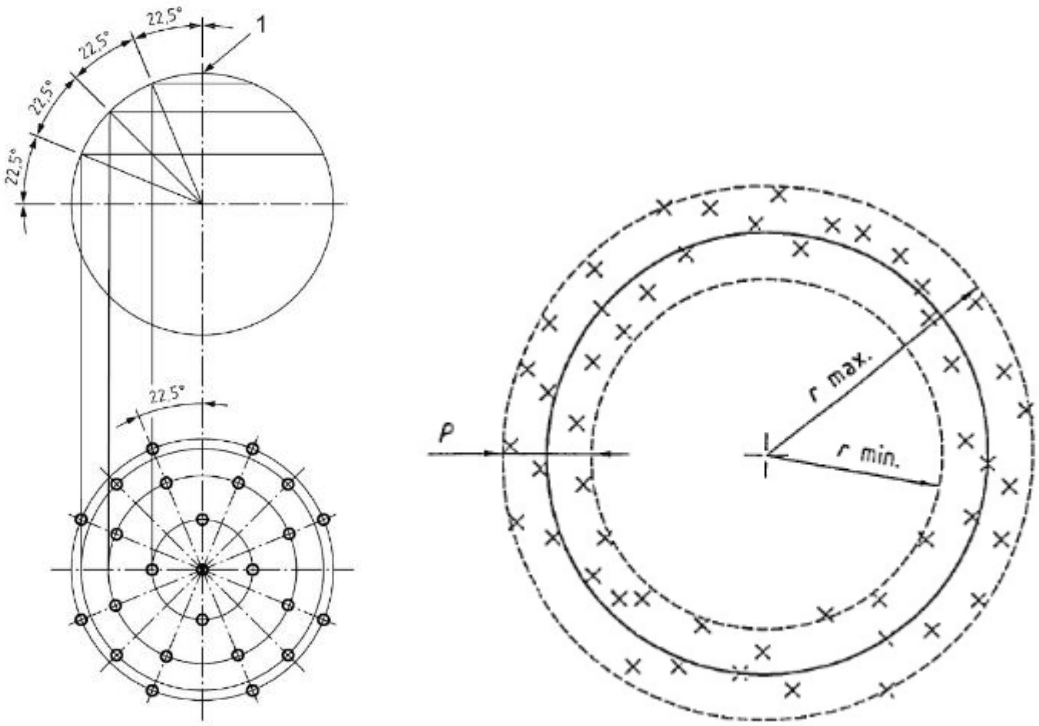
Tabulka 4 Chyby a hodnoty [6]

P_{FTE}	Chyba tvaru složeného doteku
P_{FTI}	
P_{FTM}	
P_{FTN}	
P_{STE}	Chyba rozměru složeného doteku
P_{STI}	
P_{STM}	
P_{STN}	
P_{LTE}	Hodnota polohy složeného doteku
P_{LTI}	
P_{LTM}	
P_{LTN}	
P_{FTU}	Chyba tvaru jednotlivého doteku
P_{STU}	Chyba rozměru jednotlivého doteku
$P_{FTE, MPE}$	Největší dovolená chyba tvaru složeného doteku
$P_{FTI, MPE}$	
$P_{FTM, MPE}$	
$P_{FTN, MPE}$	
$P_{STE, MPE}$	Největší dovolená chyba rozměru složeného doteku
$P_{STI, MPE}$	
$P_{STM, MPE}$	
$P_{STN, MPE}$	
$P_{LTE, MPL}$	Největší dovolená mez hodnoty polohy složeného doteku
$P_{LTI, MPL}$	
$P_{LTM, MPL}$	
$P_{LTN, MPL}$	
$P_{FTU, MPE}$	Největší dovolená chyba tvaru jednotlivého doteku

3.5.2 Uspořádání jednotlivého doteku

Při tomto postupu se snímá 25 bodů ze zkušební koule. Délka doteku může výrazně zkreslit výsledky zkoušky, a proto výrobce definuje délky, které jsou způsobilé pro zkoušku. Nejčastěji si uživatel volí jednu délku z těchto hodnot: 20 mm, 30 mm, 50 mm, 100 mm. Uživatel si zvolí jednu délku a s ní provede zkoušku. Orientace doteku musí být paralelně k pinole.

Naměřené body musí být rovnoměrně rozprostřeny přes nejmenší oblast koule. Uživatel si rozmístění měřených bodů může zvolit sám, avšak norma nabízí rozložení bodů. Jeden bod leží na pólu. Tento bod je definován ve směru hřídele doteku. Čtyři body jsou 22,5° pod pólem. Dalších osm bodů je umístěno 45° pod pól a pootočeny o 22,5° vzhledem k předchozí skupině bodů. Další čtyři body jsou 67,5° pod pólem a pootočeny o 22,5°. Posledních osm bodů leží na rovníku a jsou znovu pootočeny o 22,5°. Toto uspořádání můžeme vidět na obrázku 10 vlevo.



Obrázek 10 Rozložení bodů (vlevo) a chyba tvaru (vpravo) [6]

Z naměřených 25 hodnot je vypočtena Gaussova související koule. Pro každé z 25 měření je vypočtena Gaussova radiální vzdálenost R. Z rozdílu $R_{MAX} - R_{MIN}$ získáme tvar koule. Absolutní hodnota této vzdálenosti je pak chyba tvaru jednotlivého doteku P_{FTU}. Na obrázku 10 vpravo pak vidíme graficky znázorněnou chybu tvaru.

3.5.3 Pevné složené sondy a složené doteky snímacích systémů

Principem této zkoušky je měření tvaru, rozměru a umístění zkušební koule pěti různými pevnými doteky. Každý dotek nasnímá 25 bodů, celkem bude nasnímáno 125 bodů. Volba délek doteků je znovu dána výrobcem jako u měření jednotlivým dotekem. Každý z pěti doteků musí mít jiný jmenovitý průměr doteku, ale stejnou délku doteku. Snímací systém doteků je pro zkoušku konstruován jako hvězda, tedy jeden dotek paralelně s pinolou

a čtyři kolmo na osu pinoly a s 90° rozestupem. Poté je postup stejný jako u zkoušky s jedním dotekem.

Naměřené hodnoty můžeme rozdělit do pěti skupin po 25 bodech od každého doteku. Ke každé skupině je dopočítána vhodná koule metodou nejmenších čtverců. Poté se vypočítá rozsah středu všech pěti koulí. Největší hodnota je pak hodnota polohy snímacího systému. Podobně jako u jednoho doteku se ze všech 125 bodů vypočte chyba tvaru složeného doteku.

3.5.4 Kloubový snímací systém

Tato zkouška je velmi podobná zkoušce se složenými doteky. 25 bodů se extrahuje v pěti rozdílných úhlových polohách. Postupy a vyhodnocení jsou tedy totožné jako u zkoušky složenými doteky. [6]

4. Přehled artefaktů a etalonů pro CMM

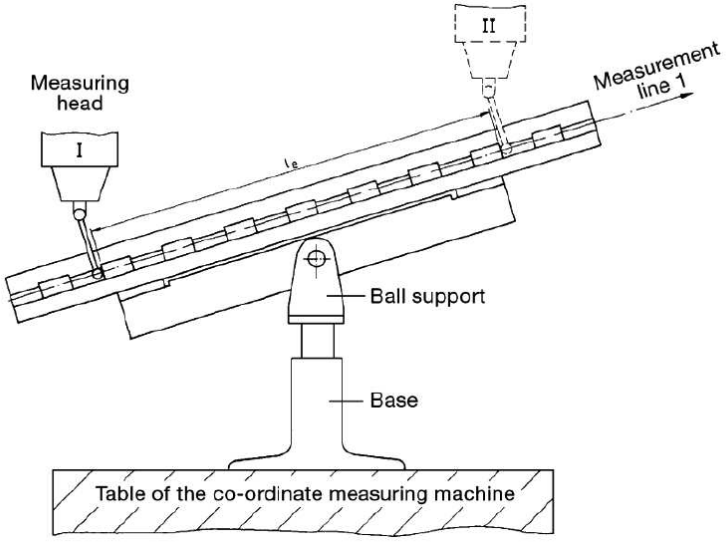
Pokud chceme zjišťovat způsobilost souřadnicového měřícího stroje, potřebujeme k tomu vhodný artefakt, který nám bude představovat daný rozměr nebo specifikaci. Hlavním požadavkem na artefakty je, aby co nejlépe představovaly danou míru. Významným požadavkem na materiál, z kterého je artefakt vyroben, je koeficient délkové teplotní roztažnosti. Čím menší koeficient je, tím je těleso stabilnější při kolísání teploty okolí. Dalšími požadavky jsou tvrdost, hmotnost, chemická stálost a další více či méně významné vlastnosti.

V dnešní době máme řadu odlišných měřících zařízení a artefaktů, které lze použít pro ověření technického stavu CMM. Tyto artefakty jsou většinou určené pro měření délkových rozměrů. Vyhodnocení geometrických specifikací tedy neřeší. V tom bude navrhovaný artefakt odlišný.

4.1 Kobastep

Kobastep je artefakt, který využívá koncové měrky. Ty jsou naskládány v řadě po určitém kroku. Nejčastěji je to 20 mm. Schématický náčrt je na obrázku 11. Zde je vidět kobastep umístěn na otočném stojánku pro dosažení různých poloha, a proto můžeme provést periodickou zkoušku dle normy ČSN EN ISO 10360-2. Lze také zkontrolovat způsobilost jednotlivých os a to natočením do polohy rovnoběžně s kontrolovanou osou.

Měření probíhá mezi jednotlivými koncovými měrkami. Body lze snímat jak z vnitřních tak i z vnějších ploch. [12]



Obrázek 11 Kobastep [12]

4.2 Ball bar

Ball bar se skládá ze dvou přesných koulí spojených tuhým dříkem. Jsou dodávány v nejrůznějších délkách a mohou být i nastavitelné. Parametr přesnosti je zde kruhovitost, protože délka je tady definována jako vzdálenost středu koulí. Je plno různých ball barů, ale všechny jsou založeny na stejném principu. Různí se v délce, materiálu, konstrukci.

Mezi hlavní výhody ball baru patří nízká cena, nízká váha a jednoduchá manipulovatelnost. Nevýhodou je, že kalibrace není přímo sledovatelná, protože není založená na reálné ploše, ale na vypočítané.

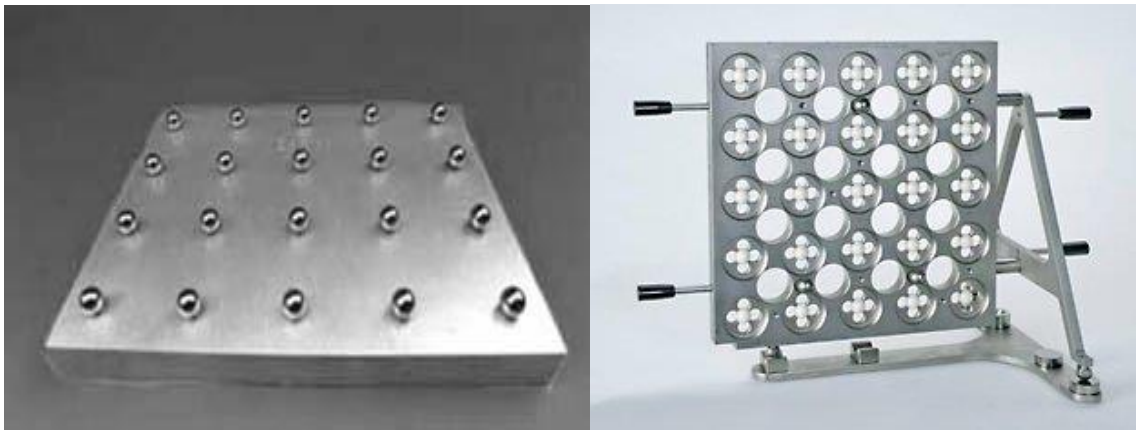
Pokud máme k dispozici různé délky, můžeme provést zkoušku dle normy 10360 - 2. Zkoušku dle normy 10360 - 5 lze provést, pokud je koule větší než 10 mm a zároveň menší než 50 mm. [13] [14]

Obrázek 12 Ball bar [14]

4.3 Ball plate a hole plate

Ball plate je deska, na níž jsou přesné koule. Vytvoření tohoto tělesa je relativně levné a konstrukce může být řešena namontováním koulí na starý povrch. Koule mohou být vyrobeny z různých materiálů. Velice výhodné je použít keramiku. Keramika má nízký koeficient teplotní délkové roztažnosti a díky tomu se částečně eliminuje chyba měření způsobena kolísáním teplot. Těleso je stabilní a velice robustní. Nevýhodou je, že toto těleso je velmi těžké. Je s ním tedy složitá manipulace a artefakt vlastní vahou může způsobovat chyby. Další problém je stejný jako u ball baru. Plochy koulí jsou vypočítány. Ball plate vidíme na obrázku 13 vlevo.

Hole plate je deska, která obsahuje mnoho otvorů. Výhodou tohoto tělesa je nižší hmotnost a relativně jednoduchá výroba. Hole plate je na obrázku 13 vpravo. [13]



Obrázek 13 Ball plate (vlevo) a Hole plate (vpravo) [13]

4.4 CMM check od společnosti Zeiss

Zeiss nabízí hned několik konstrukčních řešení artefaktů. Některé se zaměřují na provedení zkoušek snímacího systému, některé zase na ověření CMM při měření lineárních rozměrů a na dalších je možné provést obě zkoušky. Tato řešení se skládají z více prvků, a proto nám dají naměřené výsledky kvalitnější informace o způsobilosti stroje.

Na obrázku 14 vlevo vidíme probe check což je artefakt, který nám umožňuje provést zkoušky snímacího systému. Probec check se skládá z keramické koule o průměru 30 mm a kroužku. Vše je uloženo v robustním obalu, který zabraňuje ohybu. Na tomto artefaktu lze provádět zkoušky dle normy ČSN EN ISO 10360-5.

Obrázek 14 Probe check (vlevo) a CMM check (vpravo)[15]

Obrázek 14 vpravo nám představuje CMM check. Je to artefakt, který uživateli umožňuje provádět periodické zkoušky. Těleso obsahuje 3 keramické koule o průměru 30 mm, kroužek o průměru 30 mm, dvě paralelní koncové měrky a flick standard. Flick standard je válec, který má na sobě dva ploché leštěné řezy velké 10 µm a 250 µm, které mají za úkol odhalit chybu citlivosti snímání. Tento artefakt je velice univerzální. [15]

4.5 Easicheck od společnosti Torus group

Společnost Torus nabízí tři verze easichecku a to pro standardní a velké CMM, pro malé CMM a pro optické CMM. Vzhledem k tématu práce zde představím easicheck pro standardní a velké CMM. Tento artefakt obsahuje keramickou kouli o průměru 30 mm, kroužek o průměru 50 mm, kužel, paralelní koncové měrky. Easicheck můžeme vidět na obrázku 15. [16]

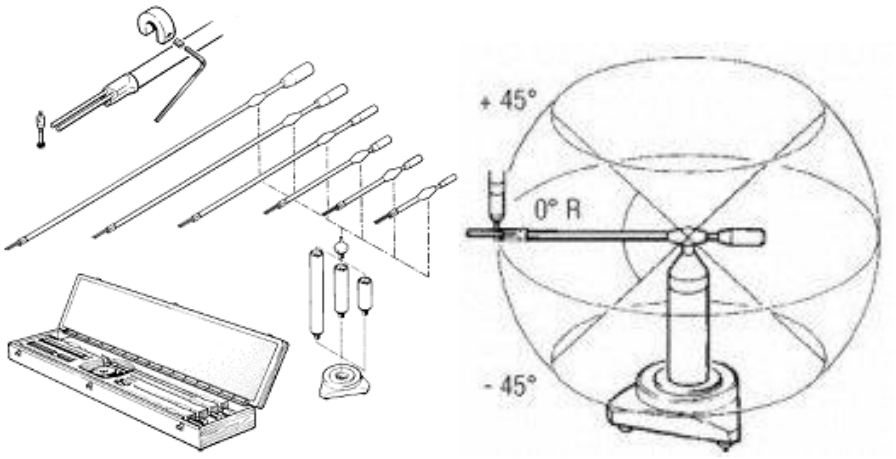
Obrázek 15 Easicheck [16]

4.6 Systém MCG od společnosti Renishaw

Ověřování způsobilosti CMM může probíhat i pomocí jiných zařízení než jsou ztělesněné míry jako v předchozích odstavcích. Odlišný přístup nám přináší společnost Renishaw se svým systémem MCG. Jedná se vlastně o ball bar, který je na rozdíl od klasického ball baru kinematicky spřažen se snímacím systémem CMM. Dotek sondy je zasunut do jedné strany ball baru a druhá strana je na pevno ukotvena ve stojanu. Sonda se pohybuje po sférické dráze a snímá v různých místech radiální hodnoty. Opakováním postupu snímání se ověřuje opakovatelnost systému.

Výhodou tohoto systému je, že různé velikosti ramen pokryjí velký měřicí objem. Konfigurace můžeme vidět na obrázku číslo 16. Další výhody jsou nízká hmotnost, nenáročná manipulace, jednoduché a rychlé použití. Systém nemusíme ustavovat do přesně definovaných poloh. Do jednotlivých poloh si najede stroj sám.

Mezi nevýhody můžeme zařadit méně tuhou konstrukci oproti standartním artefaktům. Tento systém není vhodný pro manuální nebo starší CMM. [13] [17]



Obrázek 16 Konfigurace systému MCG (vlevo) a Systém MCG (vpravo) [17]

5. Návrh periodických zkoušek

V předchozích kapitolách jsem popsal klasické i moderní pojetí artefaktů a systémů používaných pro periodické a přejímací zkoušky. Také jsem popsal systém norem, které podrobně definují podmínky a postupy periodických a přejímacích zkoušek. Po rozboru těchto informací jsem došel k závěru, že nejlepší řešení pro konkrétní pracoviště je výroba artefaktu na základě analýzy výrobků, které jsou v laboratoři měřeny. Ověření stroje pomocí takového artefaktu nám dá kvalitnější informace, protože artefakt simuluje konkrétní úlohy, které jsou měřeny na příslušném stroji. Mezi další výhody patří rychlost provedení zkoušky. Artefakt se pouze upne do přípravku a spustí se program. To znamená, že zkouška z hlediska opakovatelnosti je velice vhodná. Nemusí se tedy manipulovat s těžkými etalony jako je například ball plate ani složitě nastavovat polohy jako například u ball baru. Na druhou stranu je toto řešení svázáno s konkrétními výrobky. Artefakt musí být samozřejmě kalibrován akreditovanou laboratoří, a tím včleněn do řetězce metrologické návaznosti. Tento artefakt může sloužit pouze k periodickým zkouškám. Pro přejímací zkoušky musí uživatel použít postupy a artefakty, které mu zvolí výrobce. Většinou dle normy ČSN EN ISO 10 360.

Pro potřebu získávání informací o způsobilosti CMM v RBCB, a to konkrétně v laboratoři QMM11 jsem tedy provedl analýzu výkresové dokumentace vybraného představitele. Na základě analýzy jsem navrhnul materiál a vytvořil návrh artefaktu, který bude používán pro periodické zkoušky.

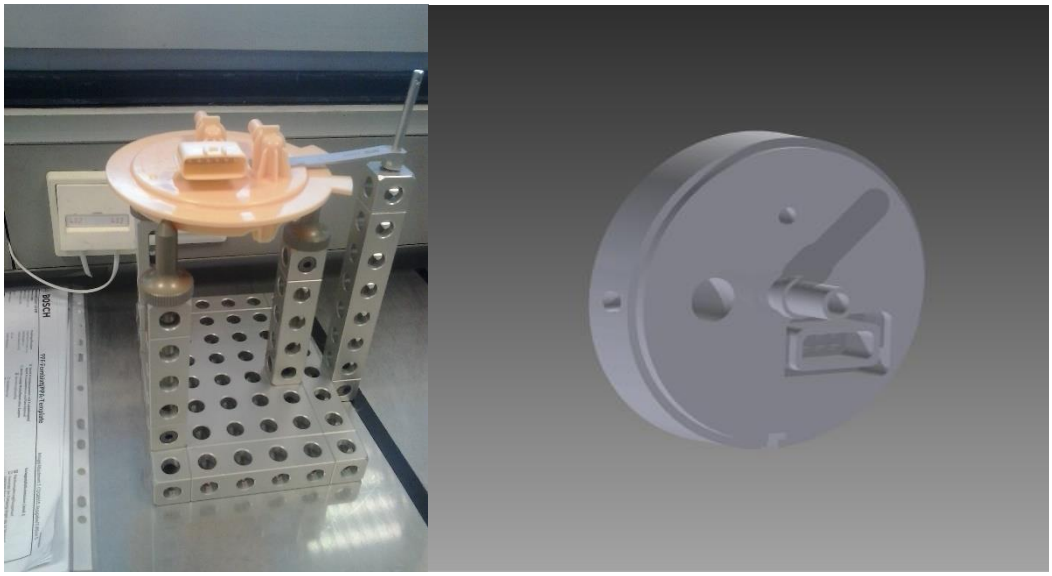
5.1 Analýza představitele a návrh artefaktu

Výrobní program společnosti RBCB je široký. Vyrábí se zde asi 300 různých dílů. Laboratoř QMM11 měří asi 200 dílů, avšak mnoho z těchto dílů jsou jen variace na určitý typ dílu a měřící úlohy jsou si tedy podobné. Dle složitosti, šíře tolerančního pole, množství a různorodosti specifikací jsem zvolil představitele. Tím je součást typu flanch. Je to příruba na nádržový čerpadlový modul. Součást je vyráběna technologií vstřikováním plastů.

Tato součást obsahuje 200 specifikací. Největší průměr součásti je 133,98 mm a výška je 53,7 mm. Součást obsahuje dva válce ve tvaru L a kapsu s piny. Množství jednotlivých geometrických specifikací na součásti, vidíme v tabulce číslo 5. Z tabulky zjišťujeme, že nejčastěji je předepisována tolerance polohy. Hodnoty tolerance polohy se na výkresové dokumentaci pohybují od 0,2 mm až po 1,2 mm. Další častá specifikace je souosost. Zde se tolerance pohybují od 0,15 mm až do 0,3 mm.

Tabulka 5 Množství GPS specifikace

Poloha	47x	Rovinnost	1x
Kolmost	3x	Kruhovitost	1x
Souosost	10x	Tvar profilu	2x
Souměrnost	9x	Tvar plochy	6x



Obrázek 17 Představitel (vlevo) a návrh artefaktu (vpravo)

Na základě tvaru součásti, specifikací a tolerancí jsem vytvořil návrh artefaktu. Kvůli jiné technologii výroby jsem musel některé prvky konstrukčně vyřešit jinak. Jako například narovnat válec místo původního řešení kde má válec 90° nebo zapustit kapsu. Při tvorbě návrhu jsem se snažil zachovat zásady technologičnosti konstrukce a návrh konstruovat s ohledem na technologie, kterými bude těleso vyráběno.

Artefakt obsahuje dvě díry po obvodu o průměru 10 mm a dva otvory v ploše o průměru 8 mm a 20 mm. Na otvorech se může měřit průměr, polohy středů a může se vyhodnocovat válcovitost, kruhovitost a souosost. Dalším prvkem je válec. Válec má vnitřní průměr 10 mm a vnější 15 mm a 6 mm od vrchní plochy má vnější průměr 19 mm. Na válci lze měřit jak z vnější tak i z vnitřní strany. Na válci lze vyhodnocovat kolmost, souosost, poloha, válcovitost a kruhovitost. Dalším prvkem na artefaktu je kapsa s řadou obdélníkových výstupků. Tento prvek má simulovat kapsu s piny, která je na reálné součásti. Zde můžeme vyhodnocovat polohy jednotlivých výstupků, souměrnost, tvar profilu a tvar plochy.

Očekávaná doba periodické zkoušky s tímto artefaktem je 30 minut. Z tohoto důvodu nebude složité zkoušku zařadit mezi běžné úkoly laboratoře. QMM11 kvalifikuje snímací systémy jednou týdně. Během těchto kvalifikací by tedy mohla být prováděna periodická zkouška. Periodická zkouška se také může provádět po kolizích nebo jiných výjimečných situacích kdy může být narušena způsobilost CMM.

5.2 Popis výroby

Materiál, z kterého bude artefakt vyroben, je invar. Invar je slitina 65% železa a 35% niklu. Jeho hlavní vlastností je nízký koeficient teplotní roztažnosti. To je velice důležité, protože změny délky tělesa způsobené kolísáním teplot můžou výrazně ovlivňovat výsledky měření. Konkrétní složení polotovaru vidíme v tabulce 6. Délková teplotní roztažnost polotovaru tyče je $\alpha = 1{,}7\ [10^{-6}\ K^{-1}]$ a to mezi 20°C a 100°C. Délková teplotní roztažnost polotovaru disku je $\alpha = 1{,}6\ [10^{-6}\ K^{-1}]$ a to mezi 20°C a 100°C. [18]

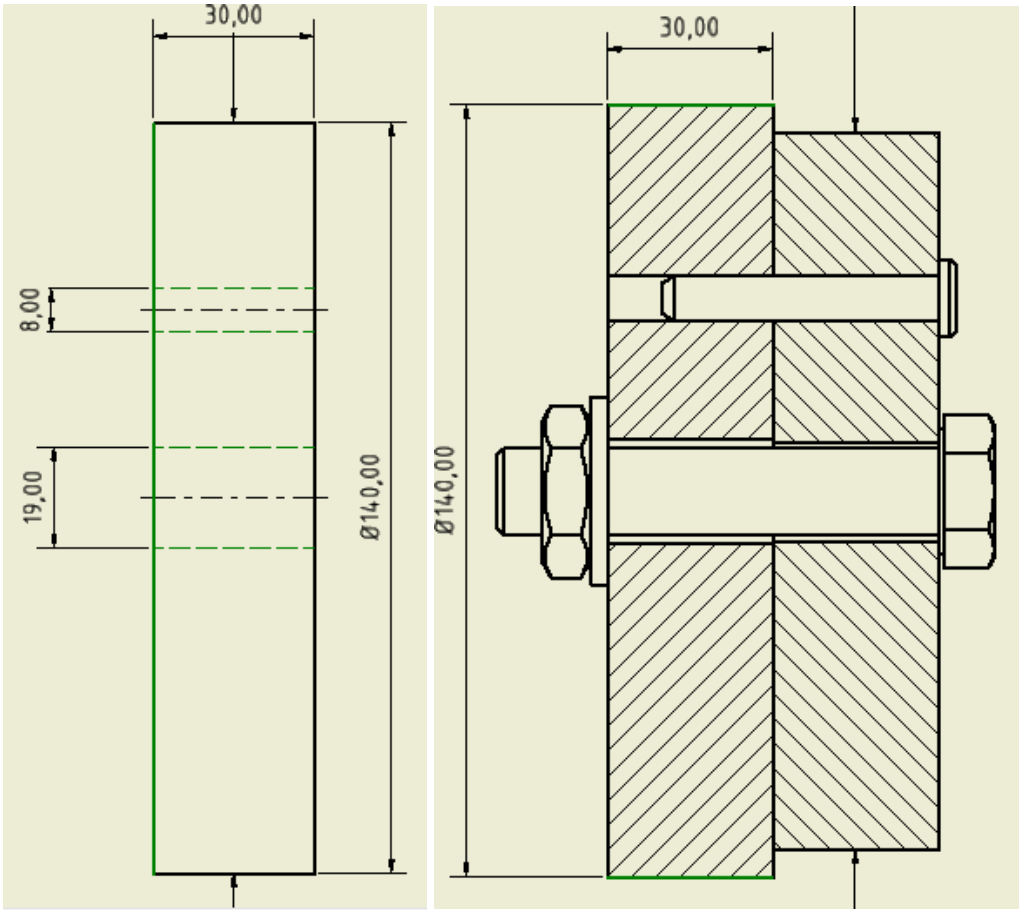
Tabulka 6 Složení polotovaru disku

% C	% Si	% Mn	% Ni	% Fe
0,047	0,14	0,40	35,94	63,473

Tabulka 7 Složení polotovaru tyč

% C	% Si	% Mn	% Ni	% Fe
0,042	0,16	0,40	36,17	63,228

Artefakt bude vyroben ze dvou částí, které budou spojeny nalisováním. Tento způsob výroby je nutný vzhledem k nákladům spojeným s pořízením materiálu. Z polotovaru disku o průměru 140 mm a výšce 30 mm bude vytvořena spodní část. Druhý díl bude vyráběn z polotovaru tyče o průměru 20 mm a délce 415 mm. Díly budou soustruženy, frézovány a broušeny pro dosažení vyšší přesnosti. V době odevzdání této práce není artefakt ještě vyroben, a proto je technologický postup zjednodušený. Problémy spojené s výrobou budou řešeny přímo u stroje. Disk bude na soustruhu upínán dle obrázku 18. Bude zapotřebí přípravku pro soustružení obvodu. Dále se upne do frézky za pomocí sklíčidla. Vyfrézuje se kapsa s výstupky. K upnutí do brusky se využije magnetických vlastností materiálu. Druhý díl bude soustružen a následně broušen. Polotovar se upne za průměr 20 mm, osoustruží se a poté upíchne. Dále bude broušen na kulato. Následně budou díly do sebe nalisovány a vnitřní průměr bude vystružen kvůli lepší kvalitě díry.



Obrázek 18 Upínání disku

Kalibraci součásti provede Český metrologický institut a na základě kalibrace budou přepsány hodnoty ve výkresové dokumentaci. Cílem tedy není vyrobit artefakt přesně dle výkresové dokumentace, ale po přesném měření upravit výkres podle naměřených hodnot.

6. Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce bylo vytvořit návrh periodické zkoušky pro laboratoř QMM11 ve společnosti Robert Bosch v Českých Budějovicích.

Provedl jsem rozbor normy ČSN EN ISO 10 360, která se zabývá přejímacími a periodickými zkouškami CMM. Zaměřil jsem se na druhou, čtvrtou a pátou část, protože tato zkouška ověřuje způsobilost strojů, které jsou v QMM11. Pravidelné ověřování CMM v laboratoři je prováděno jednou ročně dle normy ČSN EN ISO 10 360 – 2 firmou Hexagon Metrology. Tato kalibrace je jediným periodickým ověřováním CMM v laboratoři QMM11. Hexagon metrology provádí pouze jednu ze tří zkoušek definovaných normou. To byla hlavní motivace pro vytvoření periodické zkoušky. Po konzultaci s vedoucím laboratoře Ing. Markem jsme definovali podmínky zkoušky. Zkouška musí být rychlá, snadno proveditelná a musí být schopná podat informace, jak se stroj chová při měření reálných aplikací. Tyto parametry zkoušky dle ČSN EN ISO 10 360 nesplňují.

Dále jsem postupoval rozborem jednotlivých artefaktů, které se používají pro ověřování CMM. Od klasických etalonů používaných pro zkoušky ČSN EN ISO 10 360 – 2 až po moderní řešení. Na konci jsem dospěl k závěru, že nejvhodnějším řešením pro laboratoř QMM11 bude vytvoření nového artefaktu na základě součástí, které měří.

Z toho důvodu jsem zvolil výrobek flanch jako představitele. Tato součást obsahuje veškeré úlohy, které se v laboratoři měří. Po analýze tohoto dílu jsem přistoupil k samotnému návrhu artefaktu. Artefakt jsem navrhl tak, aby pojmul veškeré úlohy měřené na představiteli, a zároveň jsem se řídil možnostmi jiné výrobní technologie.

Seznam zdrojů

[1] *Bosch Česká republika* [online]. [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: http://www.bosch.cz/cs/cz/our_company_7/locations_7/menu_robert_bosch_spol_sro_ceske_budejovice/budejovice_menu_vyrobni_program/budejovice_vyrobni_program.html

[2] *ČSN EN ISO 10 360-1. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM) : Část 1: Slovník*. Praha: Český normalizační ústav, 2001.

[3] *ČSN EN ISO 10 360-2. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM) : Část 2: Souřadnicové měřicí stroje používané pro měření lineárních rozměrů*. Praha: Český normalizační ústav, 2010.

[4] *ČSN EN ISO 10 360-3. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM) : Část 3: Souřadnicové měřicí stroje s osou otočného stolu jako čtvrtou osou*. Praha: Český normalizační ústav, 2001.

[5] *ČSN EN ISO 10 360-4. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM) : Část 4: Souřadnicové měřicí stroje používané v režimu měření skenováním*. Praha: Český normalizační ústav, 2001.

[6] *ČSN EN ISO 10 360-5. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM) : Část 5: Souřadnicové měřicí stroje používající snímací systém s jednotlivým a složeným snímacím dotekem*. Praha: Český normalizační ústav, 2001.

[7] *ČSN EN ISO 10 360-6. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM) : Část 6: Odhad chyb při výpočtu prvků přiřazených metodou nejmenších čtverců*. Praha: Český normalizační ústav, 2002.

[8] *ČSN EN ISO 10 360-7. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM) :Část 7: Souřadnicové*

měřicí stroje vybavené zobrazovacími snímacími systémy. Praha: Český normalizační ústav, 2002.

[9] *ČSN EN ISO 10 360-8. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích systémů (CMS) - Část 8: Souřadnicové měřicí stroje s optickými snímači vzdálenosti*. Praha: Český normalizační ústav, 2014.

[10] *ČSN EN ISO 10 360-9. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích systémů (CMS) - Část 9: Souřadnicové měřicí stroje s vícenásobnými snímacími systémy*. Praha: Český normalizační ústav, 2014.

[11] *ČSN EN ISO 10 360-9. Geometrical product specifications (GPS) -- Acceptance and reverification tests for coordinate measuring systems (CMS) -- Part 10: Laser trackers for measuring point-to-point distances*. Geneva: International Organization for Standardization, 2016.

[12] PWM group LLC [online]. *Measurment and standards. 2011* [cit. 2016-06-16] Dostupné z: http://www.pmargage.com/catalog.shtml#msbrochure

[13] *Measurement Good Practice Guide No. 42: CMM Verification* [online]. London: National Physical Laboratory, 2011 [cit. 2016-06-16]. 1368-6550. Dostupné z: http://www.npl.co.uk/publications/cmm-verification

[14] *Coordinate Measuring Machine Calibration Equipment* [online]. [cit. 2016-06-16]. Dostupné z: https://www.precisionballs.com/CMMCalibrationEquipmentDirectory3.php

[15] *Zeiss: Calibration Artifacts* [online]. [cit. 2016-06-16]. Dostupné z: https://taster.zeiss.de/en/Machine-Accessories/Calibration-Artifacts/category-383.html

[16] *Torus group: Torus measurement systems* [online]. [cit. 2016-06-24]. Dostupné z: http://www.torus-group.com/measurement/inspection/cmm/easicheck-cmm-artefact/

[17] *Renishaw: Systémy MCG* [online]. [cit. 2016-06-17]. Dostupné z: http://www.renishaw.cz/cs/systemy-mcg--6674

[18] EDITOR, K.H.J. Buschow. *Concise encyclopedia of magnetic & superconducting materials*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2005. ISBN 9780080457659.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Nádržový čerpadlový modul (vlevo), modul pro redukci NOx (vpravo) 3
Obrázek 2 Dea mistral (vlevo) a Dea global image (vpravo)..... 4
Obrázek 3 Flanch (vlevo) a hrnec (vpravo) 6
Obrázek 4 Filter Housing (vlevo) a pumpen tregr (vpravo)..... 6
Obrázek 5 Graf a) [2] 11
Obrázek 6 Graf b) [2]..... 11
Obrázek 7 Graf c) [2] 11
Obrázek 8 Polohy artefaktu..... 12
Obrázek 9 Odsazení hrotu snímacího systému (vlevo) a možné polohy zkušební délky a orientace snímacího systému [3] 14
Obrázek 10 Rozložení bodů (vlevo) a chyba tvaru (vpravo) [6]..... 18
Obrázek 11 Kobastep [12] 20
Obrázek 12 Ball bar [14]..... 21
Obrázek 13 Ball plate (vlevo) a Hole plate (vpravo) [13]..... 22
Obrázek 14 Probe check (vlevo) a CMM check (vpravo)[15]..... 22
Obrázek 15 Easicheck [16] 23
Obrázek 16 Konfigurace systému MCG (vlevo) a Systém MCG (vpravo) [17]..... 24
Obrázek 17 Představitel (vlevo) a návrh artefaktu (vpravo) 26
Obrázek 18 Upínání disku..... 28

Seznam tabulek

Tabulka 1 Provozní podmínky 10
Tabulka 2 Orientace v měřicím objemu [3] 12
Tabulka 3 Orientace v měřicím objemu pro E150 [3] 13
Tabulka 4 Chyby a hodnoty [6] 17
Tabulka 5 Množství GPS specifikace 26
Tabulka 6 Složení polotovaru disku 27
Tabulka 7 Složení polotovaru tyč 27

Seznam příloh

Příloha 1 Výrobní výkres artefaktu 32