

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie



Nasazení CMM technologií v rámci kontroly kvality v malém a  
středním podniku

Diplomová práce

**Autor:** Bc. Jan Urban

**Studijní obor:** Výrobní a materiálové inženýrství

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

**Praha 2015**

Vysoká škola: ČVUT v Praze  
Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Fakulta: strojní  
Akademický rok: 2014/2015

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro **Bc. Jana Urbana**

obor Výrobní a materiálové inženýrství

Název: Nasazení CMM technologií v rámci kontroly kvality v malém a středním podniku

Název anglicky: CMM technology within the quality control in small and medium-sized enterprise

## Zásady pro vypracování:

1. Analýza výrobního programu společnosti z pohledu rozměrů a požadované přesnosti.
2. Analýza měřidel a systému kontroly kvality.
3. Volba výrobních představitelů, analýza způsobilosti stávajících kontrolních procesů.
4. Návrh a ekonomické vyhodnocení využití CMM technologií.

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

Datum zadání diplomové práce: 10. 4. 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 19. 6. 2015

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 diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.*

Zadání diplomové práce převzal dne: 14. 4. 2015

  
.....  
Diplomant

  
.....  
Vedoucí ústavu



  
.....  
Děkan

V Praze

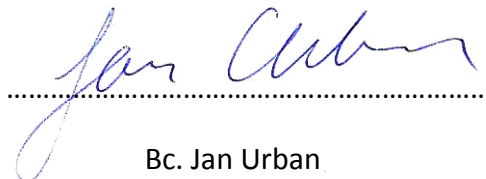
dne 8. 10. 2014



**Čestné prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně za použití dostupné literatury a podkladových materiálů, které uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne 15. 6. 2015



Bc. Jan Urban



**Poděkování:**

Touto formou děkuji Ing. Ivovi Jemelíkovi, asistentce výrobního ředitele paní Petře Lenochové a celému výrobnímu kolektivu společnosti KBHCZ s.r.o. za vytvoření podmínek pro realizaci této diplomové práce, za jejich ochotu a pomoc při řešení jednotlivých bodů mé práce a za poskytnutí přístupu k potřebným informacím

Současně děkuji Ing. Liborovi Beránkovi, Ph.D. za cenné a podmětné připomínky při zpracování této práce.

Velký dík také patří mé rodině za psychickou a finanční podporu během celého mého studia.



**Anotace:**

Práce se zabývá porovnáním způsobilosti měřidel v procesu kontroly kvality, na pracovišti disponující komunálními měřidly, s pracovištěm vybaveným souřadnicovou měřicí technikou. Pozornost je zaměřena na analýzu výroby z hlediska rozměrů a dosahované přesnosti, analýzu měřidel a systému kontroly, volbě výrobního představitele a na stanovení způsobilosti používaných měřidel. Vyhodnocení obou způsobů rozměrové kontroly je provedeno nástroji popisné statistiky. Cílem práce je ekonomické zhodnocení využití souřadnicové měřicí techniky a její návrh ve stávajícím oddělení kontroly kvality.

**Klíčová slova:** Měření, kontrola, kvalita, CMM, způsobilost měřidel



## **Anotation**

This master thesis aims on the comparison of eligibility of measuring devices in quality control proces, in a workplace equipped with common measuring devices and in a workplace equipped with a coordinate measuring device. The attention is aimed on production analysis in terms of dimensions and reachable accuracy, measuring devices analysis and control system, choice of produciton representative and determination of eligibility of used measuring devices. Evaluation of both ways of dimension control is done with descriptive statistics utilities. The aim of this master thesis is economical consideration of usage of coordinate measuring device and its placement in the current quality control department.

**Key words:** Measuring, control, quality, CMM, eligibility of measuring devices



## Obsah

1. Úvod.....	10
2. Představení společnosti KBHCZ s.r.o. ....	11
3. CMM technologie .....	14
3.1. Princip činnosti CMM technologií .....	14
3.2. Druhy souřadnicové měřicí techniky .....	15
3.3. Sensorika souřadnicových měřicích strojů.....	22
3.4. Náklady na pořízení CMM technologie.....	27
4. Analýza měření .....	28
4.1. Proces měření .....	28
4.2. Charakteristika chyb.....	30
5. Pravidla o prokazování shody a neshody se specifikacemi .....	34
6. Způsobilost procesu a měřidla.....	37
6.1. Cíl statistické regulace procesu .....	37
6.2. Způsobilost procesu v případě kvantitativního znaku jakosti.....	37
7. Současný stav výroby a kontroly v KBHCZ s.r.o. ....	40
7.1. Stroje používané ve výrobě s ohledem na dosahovanou přesnost .....	40
8. Výrobní program.....	46
8.1. Volba výrobního představitele.....	46
9. Srovnání způsobilosti a variability měřidel při kontrole vybraných charakteristik se CMM .....	54
9.1. Realizace měření v měrovém středisku KBHCZ s.r.o.....	54
9.2. Realizace měření v měrovém středisku na FS ČVUT .....	55
9.3. Vyhodnocení výsledků měření.....	56
10. Ekonomické zhodnocení výsledků práce .....	66
11. Závěr .....	68





Použitá literatura .....	70
Seznam obrázků .....	72
Seznam tabulek.....	74
Seznam použitých zkratk .....	74



## 1. Úvod

V posledních letech se díky rozvoji CNC obráběcích strojů a nástrojových materiálů zvyšují požadavky na geometrickou přesnost. S tímto trendem začali nejdříve výrobci z oblastí automobilového a leteckého průmyslu. Postupně se ale tento způsob kontroly dostával i do ostatních odvětví strojírenského průmyslu. S tím ale souvisí ekonomická stránka věci. Moderní měřicí zařízení jsou velmi nákladné a pořízení vč. následné údržby se celkově pohybuje v řádech statisíců, či jednotek milionů korun. Podnik tím ale získá velmi přesný měřicí stroj pro měření téměř všech geometrických specifikací. V hromadné, velkosériové a sériové výrobě mají tyto zařízení jednoznačně pozitivní přínos, jak po stránce technické, tak i po stránce ekonomické. U malosériové a kusové výroby v malých a středních podnicích je nasazení této měřicí technologie už do jisté míry diskutabilní. Hlavním důvodem bývá nedostatečná sériovost a velké množství typů dílů, které se mohou vyrábět v několika dalších modifikacích. Tento stav pro nasazení CMM technologií není úplně optimální. Právě problematikou nasazení CMM technologií se zabývá tato diplomová práce, jejímž cílem bude zhodnotit technický a ekonomický přínos pro malý či střední podnik s kusovou či malosériovou výrobou. Získání dat pro vyhodnocení této diplomové práce poskytla společnost KBHCZ s.r.o. v Přerově.



## 2. Představení společnosti KBHCZ s.r.o.



Obrázek 1 - Sídlo společnosti KBHCZ s.r.o.

Společnost KBHCZ se sídlem v Přerově, je středně velká společnost, která je sesterskou firmou společnosti KBH Produktions - Automation, sídlící ve Wiesbadenu v Německu založená v roce 1978. Česká pobočka vznikla v roce 1995 a momentálně na těchto dvou pracovištích pracuje okolo sta zaměstnanců, kteří se zabývají vývojem, konstrukcí a zhotovením různých zařízení pro automatizaci a transportních systémů.

### Výrobní program:

Typickými představiteli výrobního programu tohoto výrobce, jsou různé speciální transportní a manipulační systémy. Největší uplatnění nacházejí ve vícesměnném provozu zejména ve spojených strojních komplexech. Nejčastěji se jedná o tyto výrobní celky:

- Transportní systémy
  - Různé typy válečkových dopravníků
  - Různé typy řetězových dopravníků
  - Různé typy paletových dopravníků
  - Speciální dopravníky



Obrázek 2 - Paletový řetězový dopravník

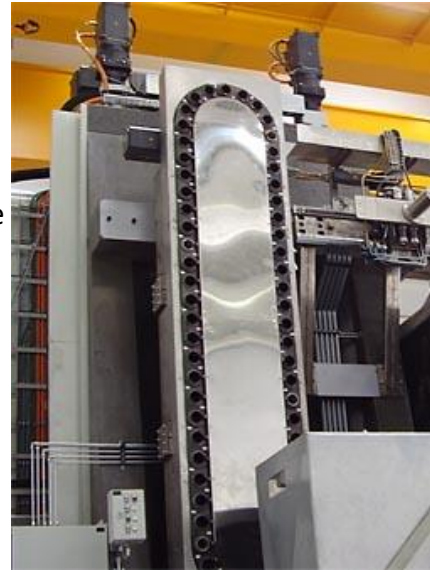


- Manipulační systémy
  - Portálový zakladač
  - Horizontální překladač
  - Zařízení pro manipulaci s paletami
  - Zásobníky nástrojů pro obráběcí stroje
  - Sdružování strojů
  - Třídící zásobníky
- Speciální strojírenství
  - Rovnací stroje různé typy hřídelí
  - rovnací stroje pro převodovky
  - montážní automaty
  - montážní lisy
  - podávací zásobníky
  - speciální frézovací zařízení

Téměř všechna výroba se dá označit za zakázkovou kde rozměry, funkce a vlastnosti výrobku jsou konstruovány na základě požadavků zákazníka.

Automatizace je odvětví, které se neustále vyvíjí, proto se společnost KBH soustředí také na vývoj této techniky v závislosti na aktuálních vývojových trendech. To zajišťuje připravenost výroby tohoto výrobního programu na nové požadavky, které jsou na výrobky kladeny. Mnoho techniky od tohoto výrobce dnes již spolehlivě funguje v řadě podniků, s velmi náročným provozem, za účelem zvyšování produktivity výroby, rychlosti a v neposlední řadě také kvality výrobků.

Jelikož se výrobky firmy KBH používají ve velmi náročných provozech a mnoho dílů podléhá běžnému opotřebení, je nutné zajišťovat jejich servis. Právě servis těchto



**Obrázek 3 - Automatický zásobník pro výměnu nástrojů**



**Obrázek 4 - Rovnací stroj pro klikové hřídele**



## Nasazení CMM technologií v rámci kontroly kvality v malém a středním podniku

strojů je další oblastí působení této firmy. Zahrnuje výrobu náhradní dílů, pravidelnou kontrolu a v některých případech i kompletní renovaci použitého zařízení, které třeba již nesplňují kapacitní požadavky, nebo je zkrátka jen zastaralé.



### **3. CMM technologie**

Souřadnicová měřicí technika (Coordinate Measuring Maschine ve zkr. CMM) patří dnes již neodmyslitelně k moderním metodám kontroly jakosti nejen ve strojírenském, ale i v elektrotechnickém, potravinářském a dokonce i farmaceutickém průmyslu. Svou nezastupitelnou roli si získaly díky své flexibilitě, rychlosti a sofistikovanosti. V dnešní době je můžeme najít ve výrobě, jako kontrolní měřicí zařízení, nebo ve specializovaných laboratořích pro vysoce přesné měření. Tím, jak se vyvíjejí CNC obráběcí stroje, rostou i požadavky na výslednou přesnost výrobku. Právě CMM hraje v kontrole stále přesnějších výrobků nezastupitelnou roli.

#### **3.1. Princip činnosti CMM technologií**

Princip souřadnicového měření je založen na nasnímání bodů a následné určení jeho koordinátu (souřadnice os x, y a z) k počátku CMM.

Postup měření se obecně dělí do několika kroků:

1. Analýza výkresové dokumentace
2. Určení souřadnicového systému, ve kterém se měření provádí (kartézský, sférický,...)
3. Rozložení měřené součástky na základní geometrické elementy
4. Navržení vhodné metody základního vyrovnání součástky (zavedení lokálního souřadnicového systému)
5. Změření vybraných geometrických elementů pro základní vyrovnání a následné aplikování na geometrických elementech jedné z metody vyrovnání.
6. Změření ostatních geometrických elementů (porovnáním s ostatními elementy se určí např. rozměry, geometrické tvary a odchylky apod.)
7. Interpretace výsledků v měřicím protokolu.

Parametry, popisující skutečný povrch obrobku v ideálním tvaru, se vypočítají pomocí softwaru z naměřených hodnot souřadnic. Tyto parametry, se také dají využít pro kontrolu obrobku, nebo jestli geometrický tvar vyrobeného obrobku vyhovuje konstrukčním požadavkům.

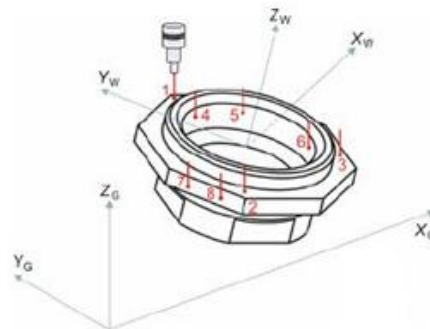


### 3.2. Druhy souřadnicové měřicí techniky

Rozdělení souřadnicových měřicích strojů lze provést z několika hledisek. Zde je použito hledisko uspořádání souřadného systému.

#### 3.2.1. Kartézsky uspořádané CMM

V současné době se v oblasti strojírenství, obzvláště pak v leteckém či automobilovém průmyslu, nejvíce využívá kartézských CMM, poskytující univerzální využití při kontrole tvarově složitých součástí. Měření je realizováno v kartézském souřadném systému skládajícího se ze tří navzájem kolmých os. K tomuto účelu je tento CMM vybaven velmi přesným odečítáním vzdáleností ve všech osách, které je plně kontrolované počítačem. Základní konstrukční principy jsou popsány v normě ISO 10360 - 1. [2]

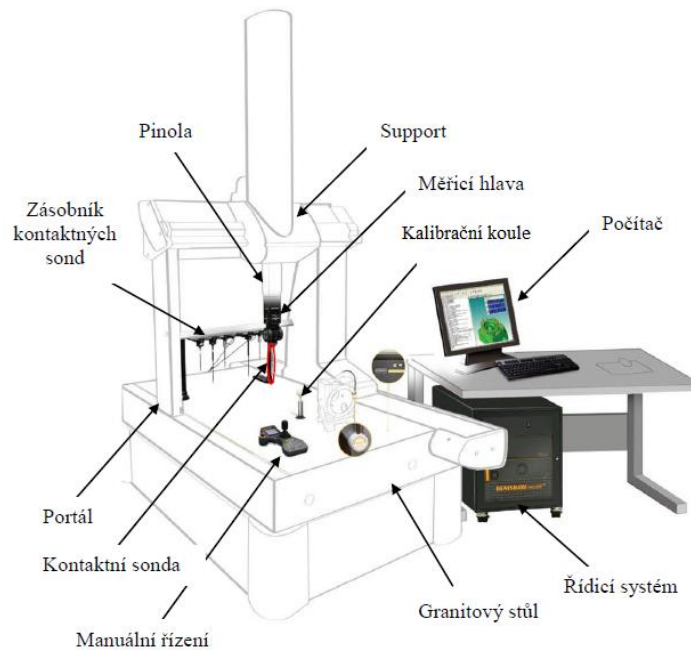


Obrázek 5 - Souřadné systémy stroje a součásti

Každý CMM se skládá z dílčích, navzájem propojených subsystémů (viz obrázek 6.).

Jedná se o:

- Odměrovací systém
- Snímací systém vč. Systému pro výměnu snímačů
- Řídicí systém
- Počítač
- Software



**Obrázek 6 - Základní konstrukční prvky CMM [2]**

Podle normy ISO 10360 – 1 se kartézské CMM rozdělují na tyto základní druhy:

- Stojanový typ
- Výložníkový typ
- Portálový typ
- Mostový typ

### **3.2.1.1. Stojanový typ**

Stroje této konstrukce (viz obr. 7) jsou ideální např. pro měření automobilových dílů během montáže. Základem je nosný sloup, na kterém je posuvně upevněné horizontální rameno, na jehož konci je umístěna snímací hlava. Pro měření velkých součástí z obou stran se využívá dvou synchronně pracujících strojů této konstrukce. Rychlost a přesnost měření sloupového CMM závisí na velikosti měřené součásti. Nevýhodou tohoto stroje je nízká dynamická tuhost a s tím související omezená



**Obrázek 7 – Stojanová konstrukce CMM[3]**





přesnost. Výhodou těchto strojů je jednoduchá polohovatelnost snímacího systému okolo výrobku.

Během vývoje se odstranil problém s nevyvážeností ramene přidáním závaží na zadní stranu, čímž se vyváženost podstatně zlepšila. Proti průhybu ramene se pak zavedla korekční mapa, která eliminuje vliv průhybu při vysunutí výpočtovým zásahem do vyhodnocení měřených charakteristik. [1]

### 3.2.1.2. Výložníkový typ

Konstrukce (viz obr. 8.) se skládá z pohyblivého konzolového ramene, na kterém je umístěn pojezd s pinolou. Stroj vyniká zejména tím, že při polohování snímacího systému je v pohybu minimum hmotnosti, čímž můžeme dosáhnout vysokých rychlostí měření. Další výhodou, je velký manipulační prostor, který je otevřen ze tří stran. Nevýhodou této konstrukce je pak vznik ohybových momentů, způsobených pohybem osy Z po výložníku směrem ke své vnější



Obrázek 8 - CMM výložníkové konstrukce Zeiss Duramax [4]

krajní poloze. Tato nevýhoda je již dnes částečně odstraněna zavedením korekcí do řídicího softwaru stroje. Výložníková konstrukce tedy poskytuje relativně malé měřicí rozsahy s vysokou přesností. Ta je dána zejména díky respektování Abbeho principu. To znamená, že odměřování je umístěno přímo v osách stroje. Díky své jednoduché konstrukci a nenáročné údržbě, je tento stroj vhodný i do výrobních prostor jako kontrolní stanoviště. [1]

### 3.2.1.3. Portálový typ

Tento typ (viz obr. 9) je určen zejména pro měření součástí velkých objemů (pozn. literatura uvádí více než 10 m<sup>3</sup>). Základem je masivní konstrukce, která má zajistit omezení ohybových momentů vyvolaných



Obrázek 9 – CMM portálového typu Zeiss MMZB [5]



hmotností stroje, vznikající díky své velikosti, což by negativně ovlivňovalo výsledky měření. Aby se zabránilo natáčení portálu při jeho pohybu, je stroj vybaven duálním pohonem. To znamená, že na každé straně portálu je jedna pohonná jednotka. Výhodou této konstrukce je velký měřicí objem a volný přístup operátora ke všem částem v objemu stroje. Základní nevýhodou je nižší dosahovaná přesnost v porovnání s menšími stroji portálové či výložníkové konstrukce. Své místo má především ve výrobních závodech zabývajících se produkcí např. velkých přesných odlitků či obrobků. Dále se může využívat pro měření rozměrných dílů, jako jsou např. díly leteckého nebo energetického průmyslu.<sup>[1]</sup>

#### **3.2.1.4. Mostový typ**

V současné době jde o nejrozšířenější konstrukci kartézských CMM. Stroj (viz obr. 10) je dodáván ve dvou variantách a to s pohyblivým mostem a pevným stolem, anebo s pevným mostem a pohyblivým stolem. Právě pohyblivý stůl a pevný most částečně odstraňuje nedostatek ve formě drobných odchylek od přesné dráhy, při pohybu mostu po pracovní desce. Tyto odchylky jsou u pohyblivého mostu odstraňovány sestavením korekční mapy stroje. Další nevýhodou je omezená velikost měřených výrobků. Maximální velikost měřeného výrobku je limitována velikostí stroje, který může mít rozměry až 2000 mm x 4200 mm x 1500 mm v závislosti na výrobci.



**Obrázek 10 – Mostový CMM  
Zeiss Prismo Navigator  
s pohyblivým mostem [6]**

Tuto velikost jsme schopni nepatrně zvětšit vhodnou volbou konfigurace snímacího systému. Předností této konstrukce, je pak velmi dobrá dosahovaná přesnost, která může dosahovat hodnot až  $0,5 + L/500 \mu\text{m}$  a tímto předurčuje tyto stroje spíše do laboratorního prostředí k velmi přesnému měření.<sup>[1]</sup>



### 3.2.2. Nekartézsky uspořádané CMM

Souřadnicové měřicí stroje nekartézského typu pracují s ostatními druhy souřadných systémů, jako jsou např. cylindrické, sférické, atd. V dnešní době jsou dostupné následující druhy těchto CMM.

#### 3.2.2.1. Měřicí ramena

Měřicí ramena jsou hojně používaná díky své mobilitě. Skládají se většinou ze základny, která slouží k upnutí k pracovní ploše nebo k rozměrnému výrobku, dvou prodloužení vyrobených většinou z uhlíkového kompozitu a sloužících ke spojení snímací hlavy a základny. Všechny tyto části spojuje celkem šest kloubů, ve kterých jsou umístěny snímače úhlové polohy, které zajišťují popis snímacího doteku v měřicím prostoru.



Obrázek 11 - Měřicí rameno vybavené dotykovým snímačem [7]

Měřicí ramena pracují s tzv. sférickým souřadným systémem, jelikož při natažení celého ramene můžeme pohybem ve všech směrech opsat polokouli. Nevýhodou těchto CMM je jejich omezená přesnost, která je způsobena množstvím zapojených uhlových snímačů v celé sestavě. Každý z těchto senzorů má svou vlastní chybu a při zapojení do série se sčítají chyby všech šesti snímačů. Přesnost tedy není srovnatelná s klasickými kartézskými CMM, ale i přesto dosahuje hodnot opakovatelnosti od 0,1 do 0,6 mm v závislosti na délce ramene a podmínkách měření. Tyto měřidla se používají hlavně díky své velké výhodě a tím je mobilita. Rameno lze odepnout od pracovní desky a přenést jinam, kde se dá celkem rychle a pohodlně nainstalovat. Ukázku měřicího ramene můžeme vidět na obrázku 11. <sup>[1]</sup>

#### 3.2.2.2. Laser-trackery

Laser-tracker je vysoce přesný, přenosný laserový přístroj pro tzv. velkoobjemovou metrologii. Spadá do kategorie optických CMM a umožňuje efektivní měření rozměrově objemných dílů přímo ve výrobním prostředí, které by šli jen velmi obtížně



měřit klasickými dotykovými metodami. Laser-tracker se skládá ze stojanu, optické hlavičky a kontroléru. Výhodou je jeho mobilita, přijatelná přesnost a rychlost skenování. Nevýhodou je zřejmě potřeba neustálého vizuálního kontaktu kontroléru s optickou hlavičkou.

Celý systém odměřování funguje na principu interferometru a současným odměřováním dvou úhlových údajů. Právě dva úhlové údaje a jedna hodnota vzdálenosti z interferometru, nám stačí pro sledování pohybu bodu ve sférických souřadnicích. V praxi celý systém funguje tak, že se od kontroléru, který je složený ze soustavy zrcadel, odráží laserový paprsek zpět do optické hlavy. Při dotyku kontroléru s měřeným bodem se odečtou hodnoty úhlů natočení optické hlavy a vzdálenosti kontroléru. Všechny odečtené body se pak dále vyhodnocují stejným způsobem jako u všech typů CMM. Ukázka laser - trackeru je na obrázku 12. [8]



Obrázek 12 - Laser tracker [9]

### 3.2.2.3. Kamerové systémy

Kamerové systémy jsou nasazovány tam, kde je požadována zejména rychlost a jednoduchost použití. Dnes se již výhradně používají zařízení obsahující dva a více kamerových snímačů. Každá z kamer snímá objekt z jiného úhlového pohledu. To slouží k získání informace o hloubce nebo vzdálenosti od měřeného objektu. Nespornou výhodou je rychlost a komfortnost měření. Naopak nevýhodou je problematika měření



Obrázek 13 – Manuální kamerový systém z produkce Hexagon Metrology – typ WLS 400M [10]

lesklých povrchů, kde mohou nastávat nežádoucí odrazy či lomy světelných paprsků, které negativně ovlivňují výsledky snímání. Další nevýhodou je nutnost zaměření



snímání na hrany a ostré přechody. Plynulé přechody ploch tento systém rozeznává jen velmi ztěžka.

Přesnost měření kamerovým systémem, závisí na typu snímání a to vč. takových vlastností jako je ohnisková vzdálenost, rozlišení a uspořádání kamerových snímačů. Při správné volbě těchto parametrů je toto zařízení schopné měřit s přesností 0,5 mm. Proto tyto systémy nacházejí využití zejména při „Reverse Engineeringu“. V posledních letech se těmito kamerovými systémy osazují i robotická ramena, a to zejména ve velkých výrobních linkách. Ukázku tohoto zařízení můžeme vidět na obrázku 13. <sup>[1]</sup>

### 3.2.3. Multisenzorové CMM

Požadavky moderního strojírenství a nároky na ekonomickou výhodnost CMM zařízení vedly ke vzniku tzv. multisenzorových souřadnicových měřicích strojů. Tyto stroje mohou být jak kartézského, tak i nekartézského uspořádání. Hlavní charakteristickým znakem těchto strojů je možnost pracovat s více než jedním snímacím systémem. V drtivé většině se jedná o kombinaci dotykového a optického snímání. Standardně se jedná o kombinaci kamerového snímání a dotykové sondy. Není ale výjimkou spojení optické sondy a rentgenové tomografie. Proto jsou tyto stroje nasazeny u výrobků menších a přesných rozměrů. Jako každý stroj založený na optickém principu extrakce bodů nastává i zde problém s měřením lesklých povrchů. Klíčovým prvkem pro tento typ hybridního stroje je unikátní kalibrační proces, který zajišťuje, že oba snímací systémy mají společný nulový bod. To umožňuje plynulou spolupráci obou snímacích systémů.



Obrázek 14 – Multisenzorový CMM Carl Zeiss O-Inspect [11]

Mezi nejčastěji měřené díly na tomto stroji bývají díly z plastových materiálů. Měření dílů z jiných materiálů na tomto stroji při vhodné kontuře povrchu lze rovněž realizovat. Nevýhodou je velikostní omezení měřených dílů. Výhodou těchto strojů je komplexnost celého procesu měření a vhodnost pro měření velmi malých rozměrů. Tyto CMM dosahují dobré opakovatelnosti, a proto jsou vhodné do metrologických



laboratoří. Ukázkou typického zástupce multisenzorového stroje s kartézským uspořádáním můžeme vidět na obrázku 14.

Dva druhy snímací techniky lze upevnit i na nekartézsky uspořádané měřicí stroje. Většinou se jedná o použití na měřicích ramenech. Zde je možné nainstalovat např. dotykovou sondu a systém

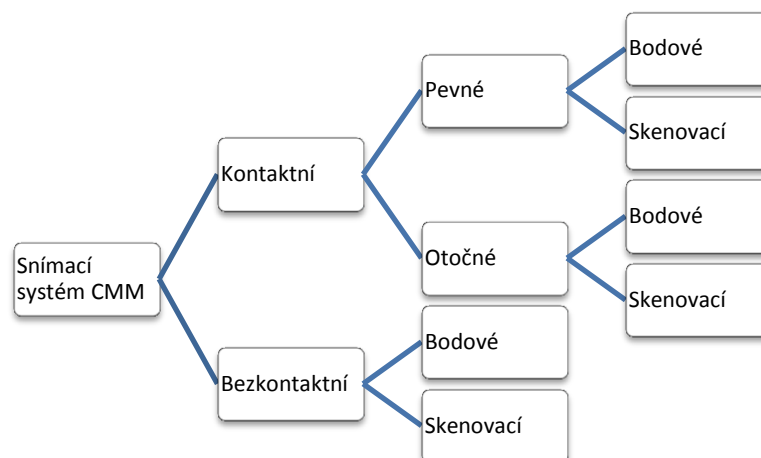


Obrázek 15 – Multisenzorové měřicí rameno Metris [12]

laserového skenování povrchu. Spojení multisenzorové techniky a měřicích ramen ale nedosahuje takové přesnosti, jako v předešlém případě. Proto je tato kombinace používána zejména pro reverzní inženýrství a pro měření součástí, které nelze přemístit k přesnějšímu souřadnicovému měření. Ukázkou ramene vybaveného multisenzorovým snímacím systémem znázorňuje obrázek 15. <sup>[1]</sup>

### 3.3. Senzorika souřadnicových měřicích strojů

Nedílnou součástí CMM stroje je snímací systém. Proto je při pořizování nového stroje věnována velká pozornost právě volbě tohoto systému. Každá snímací technika je určena na určitou aplikaci souřadnicového měření. Nevhodné zvolení může mít za následek citelné negativní dopady na přesnost a opakovatelnost. Snímací systémy se rozdělují do skupin dle schématu na obrázku 16.



Obrázek 16 – druhy snímací techniky



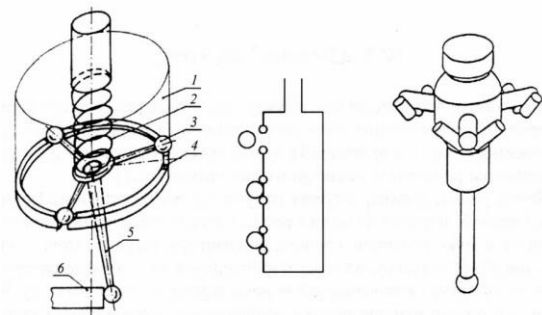
### 3.3.1. Pevné snímací systémy

Funkce dotykových snímacích systémů je založena na fyzickém dotyku mezi měřeným objektem a snímací sondou. Z tohoto dotyku se odečtou signály, které se dále zpracovávají. Ve chvíli, kdy se snímač dotkne měřeného objektu, software upozorní obsluhu o kontaktu a provede zápis aktuálních souřadnic. Po ukončení procesu snímání se souřadnice vyhodnocují jako geometrické veličiny. U CMM jsou nejrozšířenější elektro-kontaktní systémy, které se dále rozdělují na dva základní podsystémy: <sup>[2]</sup>

- Spínací snímací systémy (kontaktní sonda)
- Měřicí snímací systémy (skenovací sonda)

#### 3.3.1.1. Spínací dotykové senzory

Základní jednoduché spínací systémy fungují na principu soustavy tří bodů (viz obr 17.). Při dotyku snímací kuličky s povrchem měřeného objektu se vytvoří signál k přečtení systému odměřování



Obrázek 17 – Schéma spínacího snímacího systému

CMM. Naměřený bod získáme ze základních souřadnic měřicího stroje a vztahuje se na střed snímací koule, která je upevněna na trojbodovém uložení, kde funguje každý ze tří bodů jako spínač. Nevýhodou tohoto systému je, že rozdílné působící snímací síly závislé na směru snímání, vedou k různému prohnutí snímačů, což způsobuje nestálé chování při snímání, které je závislé na směru. <sup>[13]</sup>

Modernější snímací systémy používají k převodu mechanického signálu elektrické převodníky, např. piezoelektrické prvky, nebo roztažné měřicí pásy, díky kterým se dá dosáhnout extrakce bodů, která není závislá na směru. Za nimi umístěná elektronika zajišťuje, aby se pracovalo s velmi malými silami, tudíž nejistota ovlivněná senzory je menší. Nevýhodou všech spínacích senzorů je, že CMM musí být v kontaktu s měřeným objektem, aby se zjistil jeden měřený bod, a pro další měřený bod musí poodjet od



objektu a znovu se dotknout. Tím vznikají delší časy pro změření celého předmětu. Díky těmto negativním vlastnostem jsou tyto systémy, i přes značnou modernizaci, zastaralé a málo používané. <sup>[13]</sup>

### 3.3.1.2. Měřicí snímací systémy

Měřicí snímací systémy (nebo také aktivní skenovací systémy) byly vyvinuty na základě požadavků na rychlejší snímání bodů a lepší opakovatelnost měření. Tato technologie umožňuje jak bodové snímání, tak i skenování po určitém nastaveném kroku. To ve výsledku znamená zvýšení přesnosti a rychlosti měření. Díky tomu je dnes nejpoužívanějším snímacím systémem. Většina dostupných pevných skenovacích systémů disponují ochranou proti kolizi a variabilním nastavením snímací síly v závislosti na použitém doteku. Všechny systémy tohoto typu jsou vhodné pro zavěšení jednoduchých doteků, ale i složitých konfigurací, které mohou vážit i více než 500 g. To umožňuje nasazení v širokém spektru reálných aplikací strojírenského průmyslu. Typickými zástupci této konstrukce jsou snímací systémy řady Vast od společnosti Carl Zeiss, SP 80 od Renishaw a LSP-X3 od Hexagon Metrology. Některé tyto systémy znázorňuje obrázek 18. <sup>[1]</sup>



Obrázek 18 – Pevný skenovací systém Vast společnosti Carl Zeiss [14] a SP80 od společnosti Renishaw [15]

Vývojovým trendem dnešní doby je přidání rotační osy do konstrukce aktivního snímacího systému. Tato rotační osa nabízí možnost přesného úhlového polohování konfigurace snímačů během procesu měření. To umožňuje zjednodušení používaných





konfigurací. Představitelem tohoto snímacího systému je produkt Vast XTR od společnosti Carl Zeiss (viz obr. 19).<sup>[16]</sup>

Všechny tyto systémy disponují výbornou opakovatelností, která se pohybuje v řádech desetin mikrometru.



Obrázek 19 – Polohovatelný skenovací systém Vast XTR společnosti Carl Zeiss

### 3.3.1.3. Indexovatelné snímací systémy

Rostoucí složitost vyráběných dílů vedla k vývoji indexovatelných (polohovatelných) snímacích systémů. Vycházelo se z teorie, že nejpřesnější naměřené hodnoty dosáhneme při nájezdu doteku kolmo k povrchu měřené součásti. Díky možnosti polohování snímacího doteku, můžeme používat jednodušší konfigurace snímačů, což nám snižuje časovou potřebu na jejich kvalifikaci. Konstrukce tohoto snímacího systému ani neumožňuje zavěšení doteků těžších, než několik desítek gramů. Nevýhodou těchto snímacích systémů je horší opakovatelnost, v porovnání s pevnými systémy. Proto se využívají



Obrázek 20 – Indexovatelná snímací hlava Renishaw Renscan [17]



zejména při aplikacích, kde není efektivní nasazení pevných systémů. Ukázkou indexovatelného snímacího systému můžeme vidět na obrázku 20.

### 3.3.2. Optické snímací systémy

Optické snímače pro souřadnicové měřicí stroje jsou zařízení, založené na bezkontaktním způsobu snímání. Tyto systémy rozšiřují možnost nasazení CMM v dalších průmyslových aplikacích. Používají se tedy zejména v situacích, kdy je vyžadována přesná kontrola součásti, ale není z např. rozměrových a tvarových důvodů možné měřit danou součást dotykovým způsobem.

Obecně se dají optické snímací systémy rozdělit na dva základní druhy a to podle technologie snímání povrchu součásti. Buď je použit snímač s CCD senzorem a diodovým nasvícením, které jsou dnes již v mnoha parametrech překonány senzory s CCD senzorem a laserovým nasvícením. Pro obě skupiny ale platí stejný princip snímání triangulační metodou. Problémem při měření optickými senzory je snímání lesklých povrchů, kde nastávají negativní odrazy světelných paprsků.

Jako typické příklady optických systémů použitelné na stacionárních CMM bych uvedl zástupce produktové řady společnosti Carl Zeiss LineScan a ViScan a ze zástupců firmy Hexagon Metrology HP-C-VE Vision Sensor a HP-L laserový skener. Viz obrázek 21.



Obrázek 21 – Optické snímací systémy: Zleva Zeiss LineScan, Zeiss ViScan, Hexagon HP-L a Hexagon HP-C-VE Vison Sensor [18] [19]



### **3.4. Náklady na pořízení CMM technologie**

Je třeba si uvědomit, že zavedení CMM technologií do výroby vyžaduje určitou investici v řádech statisíců až milionů korun. Za pořizovací cenu však kupující obdrží vybraný stroj, výpočetní techniku, instalaci, softwarovou licenci a školení obsluhujícího personálu. Pokud vedení podniku začne uvažovat o nákupu této technologie, mělo by přesně vědět, jak provést její začlenění do výroby. Nesmíme opomenout i na vybavení místnosti, kde bude CMM umístěn. Zde by měl být dostupný kvalitní tlakový vzduch, který většina strojů potřebuje pro své pohony, řízená cirkulace vzduchu s regulací teploty atd. Právě s přihlédnutím na nákladnost celé investice, je důležité dobře zvážit přínos a využitelnost této technologie, aby kupujícímu zajistila podstatnou přidanou hodnotu, kterou nabízí.



## 4. Analýza měření

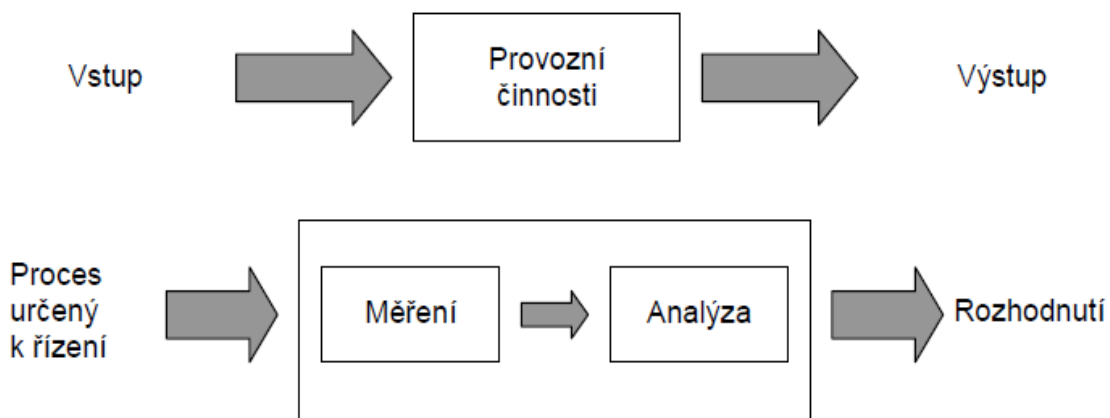
### 4.1. Proces měření

Aby bylo možné efektivně řídit libovolný výrobní proces, je třeba znát:

- a) Jak vypadá ideální proces a jak by se tento měl chovat
- b) Co může analyzovaný proces ovlivňovat
- c) Jak se stávající proces chová

Specifikace a technické požadavky nám definují, jaký by měl být výstup z výrobního procesu. Zhodnocení výsledků nebo výstupních parametrů, nám pak dává informaci o tom, jak se proces chová. Tuto činnost označujeme jako kontrola a zabývá se vyšetřováním parametrů procesu rozpracovaných dílů nebo dokončených výrobků, za pomoci vhodných etalonů a měřícího zařízení. To umožňuje pozorovateli potvrdit nebo vyvrátit předpoklad, že proces pracuje stabilizovaným způsobem a s přijatelnou variabilitou. Tato kontrolní činnost je již sama procesem. <sup>[20]</sup>

Měření a analýza jsou rovněž procesem, kde měřící zařízení je jen pouze částí celého procesu měření. Operátor proto musí vědět, jak toto zařízení správně používat a jak nadále vyhodnocovat výsledky. Vedení pak má odpovědnost za zajištění jasné provozní definice, etalony, výcvik operátorů a podporu celého procesu. Oproti tomu má operátor povinnost monitorovat a řídit proces měření tak, aby zajistil stabilní a správné výsledky. Obrázek procesu kontroly a měření zobrazuje obrázek 22. <sup>[20]</sup>



Obrázek 22 – Obecné schéma procesu <sup>[20]</sup>



Všeobecně platí pravidlo, že každá naměřená hodnota se bude lišit od ostatních i za nejpečlivějšího dodržení podmínek, za kterých byla měřena. Hodnoty se ale budou lišit i od hodnoty, kterou by měly reprezentovat. Chyby, které mohou, nastat dělíme na: <sup>[20]</sup>

- Hrubé
- Vymezitelné
- Náhodné

Hrubé chyby jsou obvykle způsobeny osobou (chybný odečet, nepozornost, neznalost), měřicím zařízením (závada, nedostatečná tuhost měřicí soustavy, vůle, nečistoty), okolními vlivy (otřesy, teplotní šoky, nestabilita el. napětí). Pokud je příčina chyby známa, je možné takovou hodnotu bezprostředně vyloučit. Někdy je nutné celou sérii měření opakovat. Pro vyloučení některých hodnot, je nutné použít některý z testů odlehlých hodnot. Test odlehlé hodnoty se ale může požit pouze v případě, je-li zjištěna příčina odlehlosti a je realizováno opatření, aby se taková příčina již neopakovala. <sup>[20]</sup>

Pro stanovení dalších chyb je nutné pracovat s etalonem, který je představitelem měřené hodnoty a jeho hodnota není ve skutečnosti známa. Referenční hodnota reprezentující etalon, je také výsledkem opakovaných měření a je platná za dodržení určitých podmínek. Tuto hodnotu pak nazýváme jako konvenčně pravou. <sup>[20]</sup>

Příčiny variability není možné postihnout a tedy ani eliminovat. Měření je proto nutné opakovat a musí se odhadnout parametry, které charakterizují soubor, z něhož byly naměřené hodnoty získány. <sup>[20]</sup>

Za předpokladu normálního rozdělení naměřených hodnot je nutno pracovat s výběrovými charakteristikami:

- Aritmetickým průměrem nebo mediánem, jako nejlepšími možnými odhady parametrů charakterizujících polohu souboru na číselné ose <sup>[20]</sup>
- Výběrovou směrodatnou odchylkou nebo výběrovým rozpětím, jako odhady parametrů charakterizujících rozptýlení hodnot okolo hodnoty charakterizující polohu. <sup>[20]</sup>



## 4.2. Charakteristika chyb

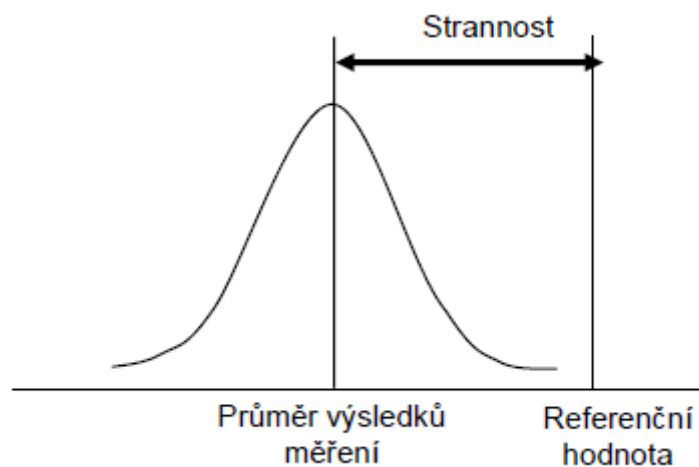
Jednotlivé druhy chyb je možné posuzovat jako odchylky charakterizující:

- Strannost
- Opakovatelnost
- Reprodukovatelnost
- Stabilitu (časovou, teplotní)
- Linearitu
- Reverzibilitu

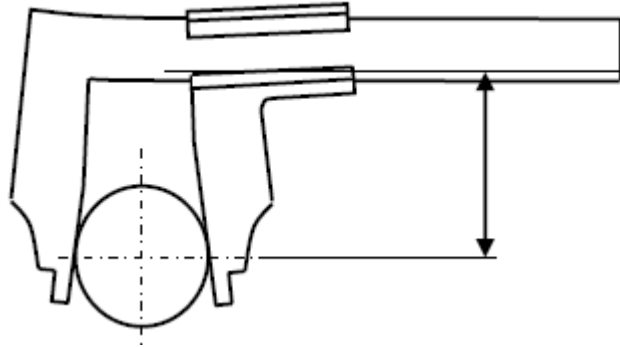
### 4.2.1. Strannost (vychýlení)

Je rozdíl mezi pozorovaným průměrem měření a referenční hodnotu měření provedených na jednom znaku jakosti celého dílu. Dá se říci, že strannost představuje celkovou systematickou chybu měření. <sup>[20]</sup>

Strannost je možné eliminovat kalibrací. Někdy může být příčinou operátor. Nejčastěji se jedná o chybu v odečítání, zejména u analogových měřidel (označuje se jako paralakční chyba), o snahu zaokrouhlovat nahoru nebo dolů, nebo o deformaci způsobenou neúměrnou měřicí silou (viz obrázek 24.). Neméně často se na strannosti podílí seřízení přístroje, nebo jeho opotřebením. Grafické znázornění strannosti můžeme vidět na obrázku 23. <sup>[20]</sup>



Obrázek 23 – Grafické znázornění měřených hodnot [20]

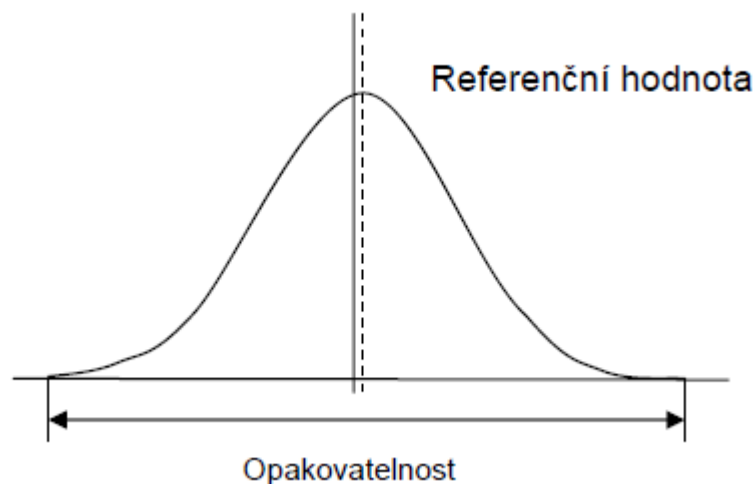


Obrázek 24 – Deformace posuvného měřítka způsobená neúměrnou měřicí silou. (toto je možné i u mikrometru i dalších měřidel) [21]

#### 4.2.2. Opakovatelnost

Opakovatelnost je běžně označována jako variabilita operátora. Jde o variabilitu výsledků měření několika po sobě jdoucích zkouškách, provedené v krátké době jedním měřidlem, stejným operátorem, na stejném dílu a za konstantních a definovaných podmínek. [7]

Opakovatelnost je někdy možné zlepšit do určité míry zajištěním stability podmínek měření (potlačením vibrací, teplotní stálost, stálá měřicí síla). Nelze ji eliminovat, jelikož je totiž vyvolána náhodnými příčinami. Grafické znázornění opakovatelnosti je uvedeno na obrázku 25. [20]

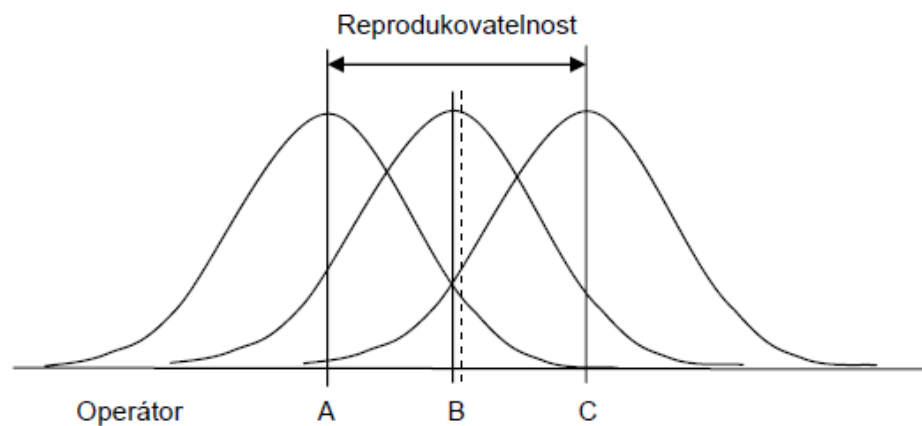


Obrázek 25 – Grafické znázornění opakovatelnosti naměřených hodnot [20]



### 4.2.3. Reprodukovatelnost

Reprodukovatelnost je běžně označována jako variabilita mezi operátory. Jedná se o variabilitu průměrů měření provedených různými operátory, při použití stejného měřidla a při měření stejného znaku u jednoho dílu. Je nutné, aby operátoři dodržovali stejné podmínky. U reprodukovatelnosti nelze eliminovat individuální vlivy. To platí hlavně pro ruční přístroje, které operátoři přímo ovlivňují používáním. Naopak toto neplatí pro automatizované měřicí procesy, u nichž operátor není hlavním zdrojem vzniku variability. Grafické znázornění reprodukovatelnosti je na obrázku 26. <sup>[20]</sup>

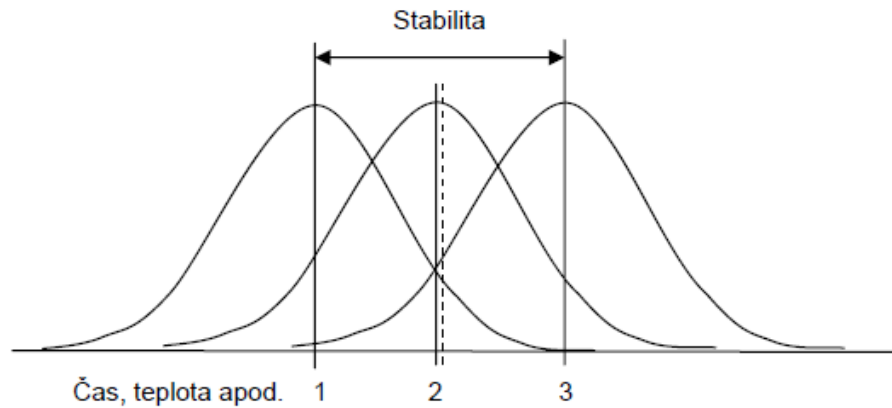


Obrázek 26 – Grafické znázornění reprodukovatelnosti měření [20]

### 4.2.4. Stabilita

Stabilitou, nebo také stálostí, se rozumí udržení nastavené hodnoty na pevné úrovni. Stabilitu měřidla může omezovat počet měření (opakování), pokud je malá, je nutno včas znovu kalibrovat. V některých případech je to záležitostí času, někdy teploty, případně dalších vlivů. Zvláště výkyvy teploty, mohou vnést do měření nekontrolovatelné vlivy. Grafické znázornění stability je na obrázku 27. <sup>[20]</sup>





Obrázek 27 – Grafické znázornění stability měření [20]

#### 4.2.5. Linearita

Linearita je změna strannosti v provozním rozsahu. Je záležitostí některých typů měřidel (např. indukčních snímačů délek), kdy se zvyšující rozlišovací schopností, rapidně klesá pracovní rozsah. Tento rozsah může, ale nemusí mít lineární průběh. Pokud se měření provádí v jednom místě rozsahu, výsledky se projeví jako strannost. [20]

#### 4.2.6. Reverzibilita

Reverzibilita je schopnost vratnosti procesu do předcházejícího stavu a vyjadřuje změnu strannosti v závislosti na smyslu měření. Je záležitostí hlavně měřidel s mechanickým převodem, kde se výrazněji projevuje např. tření. Pokud se měření provádí stejným postupem jako předešlé, obvykle se neprojeví. Pokud se hodnota tzv. „loví“, projeví se jako jedna z příčin horší opakovatelnosti. [20]



## **5. Pravidla o prokazování shody a neshody se specifikacemi**

Smluvní vztah mezi dodavatelem a odběratelem ve strojírenském průmyslu je vždy závislý na jisté míře důvěry. Dodavatel věří, že za výrobky dostane v řádném termínu zapláceno, a odběratel věří, že za vynaložené finanční prostředky obdrží kvalitní výrobky splňující jeho požadavky. Toto je základ řádného smluvního vztahu. K tomu, aby toto pravidlo fungovalo, musí mít dodavatel nastaven systém kontroly tak, aby výrobky, které vyrábí, byly z pohledu shody se specifikacemi v takových hodnotách, jak bylo dohodnuto s odběratelem. V dnešní době podvodných praktik, je na tento problém kladen velký důraz. Svůj vliv na to má i stále větší dostupnost moderních měřicích systémů, které mohou dodané vadné díly rychle a spolehlivě identifikovat. Postupem času se tak tyto systémy stávají standardem v oblasti kontroly strojírenské výroby. Problematiku prokazování shody se specifikacemi řeší norma ČSN EN ISO 14253-1.

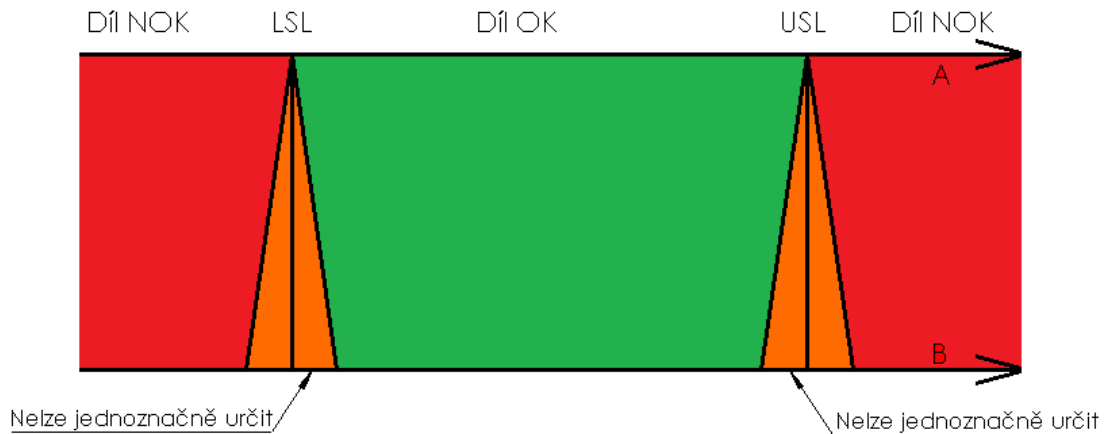
Pokud se stane, že dodáme zákazníkovi díl, který nevyhovuje dohodnutým požadavkům, zákazník tyto výrobky odmítne převzít a vrátí je s největší pravděpodobností zpět výrobcí. Výrobnímu podniku tak vzniká nejen finanční škoda, která mimochodem zdaleka není tím nejzávažnějším problémem. Nejvýznamnější utrpenou újmou je totiž poškození pověsti dobrého a spolehlivého výrobce. Pověst nespolehlivého výrobce má totiž negativní vliv při vyjednávání s dalšími potenciálními odběrateli a přispívá k neúspěchu v celém procesu získávání zákazníků. Tato újma je tedy mnohem závažnější a velmi špatně se finančně vyhodnocuje.

Z pohledu designéra je výrobek považován za rozměrově funkční, pokud se nachází v přesně stanoveném tolerančním poli. Toleranční pole má určitou šířku danou horní (USL) a dolní (LSL) hranicí tolerance. Horní tolerance je maximální dovolený rozměr, který může výrobek mít. Dolní tolerance je pak minimálním rozměrem, který je u vyhodnocované charakteristiky výrobku akceptovatelný. Tuto oblast znázorňuje přímka A na obrázku 28.

Při měření předmětů je nutné sledovat, jestli se kontrolovaný rozměr nenachází blízko tolerančních hranic. Pokud tomu tak je, nastává problém. Zde pak závisí na velikosti variability kontrolního procesu, která nám oblast, kde můžeme zaručit



přesnost výrobku, zmenší právě o tuto hodnotu nejistoty. Tento jev popisuje přímka B na obrázku 28, kde zelená oblast označuje díl v pořádku, červená vadný díl a oranžová díl, u kterého díky variabilitě nejsme schopni určit, zda vyhovuje či ne.<sup>[21]</sup>



**Obrázek 28 – Nejistota měření – zmenšuje pole shody i pole neshody [21]**

Věnujme se nyní jen přímce B na obrázku 28. Zde je vidět, že pole, kde jsme schopni zaručit 100% funkčnost, se zmenšilo a to o hodnotu variability použitého měřidla. Tato oblast je označena zeleně. O oblasti označenou červenou barvou můžeme jistě tvrdit, že daný výrobek, který se rozměrově nachází v tomto intervalu, je nevyhovující a zákazníkovi ho tedy dodat nemůžeme.

O oranžově označeném úseku pak můžeme říci, že nevíme, jestli je výrobek shodný se specifikacemi nebo ne. V tomto případě nastanou dvě možnosti řešení. V prvním případě se stane, že výrobek vyhodnotíme jako vadný a odešleme ho na likvidaci nebo na opravu. Přitom však může být zcela v pořádku. Podnik se pak připravuje o náklady vynaložené na opravu, nebo v případě likvidace o náklady na celou výrobu vadného kusu.

V druhém případě nastane situace, kdy výrobek projde rozměrovou kontrolou, avšak při montáži se může stát, že díl není montáže schopný, jelikož velmi těsně nevyhovuje požadovaným specifikacím. Vinu na tom mají právě použitá měřidla, která mají vysokou variabilitu a nejsou schopna toto rozlišit. Podnik si pak zvyšuje náklady tím, jak musí výrobek neustále opravovat. Tato situace dále omezuje i výslednou montáž konečného výrobku. To například může i v krajním případě dopadnout



nesplněním koncového termínu montáže, což je případ, který je od odběratele sankcionován. Další problém může nastat, pokud takovýto díl odesílám přímo spolupracujícímu odběrateli, kterému způsobí takovéto montážní problémy. To pak může mít dalekosáhlejší následky, jako je poškození pověsti dobrého a spolehlivého výrobce, což je ztráta, která se velmi těžko vyčísluje. Pověst dobrého výrobce, je totiž souhrn kladných referencí od zákazníků. Pokud o ni podnik přijde, připravuje se o významnou konkurenční výhodu, která například komplikuje vyjednávací pozici při získávání nových zakázek.



## 6. Způsobilost procesu a měřidla

### 6.1. Cíl statistické regulace procesu

Pokud se v daném procesu objeví nějaké zvláštní příčiny nadměrné variability, je potřeba vyvolat signál tak, aby tyto zdroje mohly být identifikovány, odstraněny a mohla být následně přijata opatření zamezující jejich opakovanému výskytu. Současně se požaduje, aby nedocházelo k vyvolání zbytečného signálu v případě, že zvláštní zdroje kolísání nejsou v procesu měření přítomny. Jestliže v procesu nepůsobí žádné zvláštní vymezené příčiny, považuje se proces za statisticky zvládnutý. Tento stav znamená, že se v čase nemění ani poloha těžiště procesu, ani jeho variabilita a že je proces predikovatelný. Chování takového procesu je třeba porovnat s požadavky, které jsou na něj kladeny. Je tedy zapotřebí srovnat přirozené kolísání procesu s tím, jak je povoleno technickými předpisy či mezními hodnotami. <sup>[20]</sup>

### 6.2. Způsobilost procesu v případě kvantitativního znaku jakosti

Tato způsobilost udává vztah mezi přirozeným kolísáním procesu, které pramení z náhodných příčin a technickým zadáním. Způsobilost procesu lze kvantifikovat pomocí ukazatelů způsobilosti. <sup>[20]</sup>

#### 6.2.1. Ukazatele způsobilosti procesu:

Ukazatele způsobilosti procesu je možné dělit na:

- Krátkodobé – založené na měřeních získaných z jediného provozního cyklu a určené pouze k ověření, že proces může pracovat ve statisticky zvládnutém stavu. <sup>[7]</sup>
- Předběžné – založené na měřeních před vlastním náběhem sériové výroby v období, kdy se provádí analýza procesu a kdy se odstraňují nejčastější zvláštní příčiny variability, potřebný rozsah měření se obvykle pohybuje okolo 25 podskupin <sup>[7]</sup>
- Dlouhodobé – založené na měření uskutečněných po delším časovém období po náběhu sériové výroby za běžných provozních podmínek a tím zohledňující variabilitu procesu v bohatším spektru tohoto období. <sup>[7]</sup>



Všechny vypočtené hodnoty ukazatelů způsobilosti jsou statistikami (náhodnými veličinami) a proto je pro ně možno stanovit rozdělení pravděpodobností a tedy i konfidenční intervaly

Je důležité upozornit, že stanovení ukazatelů způsobilosti předpokládá nejen to, že proces je statisticky zvládnutý, ale že sledovaný znak jakosti (náhodná veličina) má normální rozdělení. Oba tyto předpoklady je nutné před výpočtem ukazatelů ověřit. [20]

Postup výpočtu ukazatelů způsobilosti v případě nenormálního rozdělení znaků jakosti je odlišný a musíme jej důsledně dodržovat, neboť v opačném případě může docházet k významným chybám. [20]

### 6.2.2. Hodnocení způsobilosti měřidla pomocí koeficientu $C_g$ a $C_{gk}$

Pro měření se používají dva způsoby výpočtu, které byly navrženy firmami Bosch a Ford. Oba tyto způsoby uvažují, že rozptyl měřidla může být jen částí rozptylu parametru charakterizující celý proces. V obou způsobech je možné vztáhnout způsobilost měřidla k rozptylu procesu, nebo k požadované šíři tolerančního pole. V případě této diplomové práce je vztaženo určení koeficientů způsobilosti k šíři tolerančního pole. [22]

#### 1. metoda: šířka pásma 15% (Ford) [22]

$$C_g = 0,15 \cdot \frac{T}{(6 \cdot s_a)} \quad (1)$$

Pro způsobilá měřidla je požadováno splnění nerovnosti:

$$C_{gk} = \frac{((X_r + 0,075 \cdot T) - \bar{x})}{3 \cdot s_a} \quad (2)$$

$C_g > 1$  – uvažující pouze opakovatelnost

$$C_{gk} = \frac{(\bar{x} - (X_r - 0,075 \cdot T))}{3 \cdot s_a} \quad (3)$$

$C_{gk} > 1$  – uvažující opakovatelnost a strannost



2. metoda: šířka pásma 20% (Bosch) <sup>[22]</sup>

$$C_g = 0,20 \cdot \frac{T}{(6 \cdot s_a)} \quad (4)$$

Pro způsobilá měřidla je požadováno splnění nerovnosti:

$$C_{gk} = \frac{((X_r + 0,1 \cdot T) - \bar{x})}{3 \cdot s_a} \quad (5)$$

**$C_g > 1,33$  – uvažující pouze opakovatelnost**

$$C_{gk} = \frac{(\bar{x} - (X_r - 0,1 \cdot T))}{3 \cdot s_a} \quad (6)$$

**$C_{gk} > 1,33$  – uvažující opakovatelnost a strannost**

Pro posouzení koeficientů  $C_{gk}$  se volí menší hodnota.

Podobně jako koeficient způsobilosti měřidla můžeme vyhodnotit i koeficient způsobilosti procesu  $C_p$  nebo stroje  $C_m$ . Obě metody jsou po matematickém vyčíslení totožné. Proto je v této práci použita pouze metoda dle Forda, která počítá s 15% tolerančního pole.



## 7. Současný stav výroby a kontroly v KBHCZ s.r.o.

### 7.1. Stroje používané ve výrobě s ohledem na dosahovanou přesnost

Výrobní program společnosti je velmi pestrý. Nachází se v něm jednoduché ale i složité díly. Jako příklad jednoduchých dílů bych mohl uvést různé čepy, a mezi složité díly bych mohl uvést různé domky pro uložení ložisek, držáky nástrojů pro CNC stroje atd. Téměř všechny díly použité pro konstrukci strojů, které společnost KBH realizuje, pocházejí z vlastní výroby. Při výrobě je kladen maximální důraz na přesnost a kvalitu výroby. Tomu odpovídají obráběcí stroje, podílející se na výrobě součástí. V dřtivé většině se jedná o CNC stroje s řízením od společnosti Heidenhain. Tvorba CNC programů probíhá přímo ve výrobě operátorem obráběcího zařízení na základě výkresové dokumentace.

Základní pilíř výroby tvoří 4 CNC frézovací centra, 2 CNC soustruhy, 3 Brusky a 1 horizontální vyvrtávačka, rovněž s CNC řízením. Pro různé dokončovací operace a úpravy výrobků je ve výrobě klasický soustruh a několik vrtaček. Nástroje se používají dle technologických požadavků, většinou se ale jedná o nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami. Pouze tam, kde to technologické podmínky nedovolují, se stále ještě používají monolitní nástroje. Parametry jednotlivých strojů jsou uvedeny v následujícím přehledu.

#### CNC frézka Traveler 430

Jedná se o vertikální frézovací centrum s pevným pracovním stolem o rozměru 1300 x 500 mm. Stroj pochází z vlastní výroby. Hlavní nosné i funkční části stroje jsou vyrobeny z granitu. To zajišťuje minimální vliv vibrací a teplotní



Obrázek 29 – Vertikální frézovací centrum Traveler

roztáhnosti na proces obrábění a tedy i na výslednou přesnost výrobků. Dráhy pohonů stroje jsou odměřovány pohony s následnou kontrolou pravítky. V případě tohoto stroje je použit motor pohonu značky Siemens. Jde tedy o přesné zařízení, které má rozlišovací schopnost +/- 10 µm. Stroj je znázorněn na obrázku 29.





### **CNC frézka Sprinter**

Tento stroj je podobný jako předešlý a opět pochází z vlastní produkce. Jde ale o upravenou verzi pro sériovou výrobu. Stroj je vybaven dvěma otočnými stoly o rozměru cca 500 x 500 mm. To umožňuje obrábění na jednom stole a současně vyjímání nebo upínání polotovaru na stole druhém. Po dokončení pracovního cyklu obrábění je provedeno otočení pracovních stolů a tím je provedena výměna hotového výrobku za nový polotovar. Stroj je podobné konstrukce jako Traveler. Základním nosným prvkem je lože a jiné nosné části z granitu. Opět disponuje dobrou tuhostí, s minimálním vlivem tepelné roztažnosti a vibrací na proces obrábění. Rozlišovací schopnost stroje je rovněž stejná. Odměrování je realizováno pohonnými jednotkami od společnosti Siemens s následnou verifikací pravítky. Deklarovaná přesnost je +/- 10 µm. Ukázka stroje je na obrázku 30.



Obrázek 30 – Vertikální frézovací centrum Sprinter

### **CNC frézka MAS MCV 754 Quick**

Jde o nejnovější vertikální frézovací centrum ve výrobě společnosti KBH z produkce firmy Kovosvit MAS. Stroj je tuhé konstrukce, jejímž základním prvkem je litinové lože. Je vybaven přímým odměrováním s deklarovanou přesností 12 µm a opakovatelností nastavení polohy 10 µm. Stroj je vybaven moderním řídicím systémem Heidenhain iTNC530. Ukázka stroje je na obrázku 31.



Obrázek 31 – Vertikální frézovací centrum MAS MCV 754 Quick



### **CNC Frézka Bridgeport VMC 760**

Tento stroj je nejmenší CNC frézovací centrum. V současné době se na něm dělají méně náročné a dokončovací technologické operace. Hlavním konstrukčním prvkem je litinové lože. Odečítání vzdáleností je zde řešeno pomocí pohonných jednotek. Dosahovaná přesnost se u tohoto stroje, vzhledem ke svému stáří, pohybuje okolo  $\pm 50 \mu\text{m}$ . Ukázka tohoto stroje je na obrázku 32.



**Obrázek 32 – Vertikální frézka Bridgeport VMC 760**

### **Horizontální vyvrtávačka WHV 110**

Jde o největší obráběcí stroj ve výrobě KBHCZ. Stroj je celkem starý, ale byla na něm provedena částečná modernizace. Ta přinesla i CNC řídicím systém společnosti Heidenhain. Nejčastěji se na tomto stroji obrábějí tvrdokovy. Tomu odpovídá i použití nástrojů s výměnnými destičkami. Monolitní nástroje se používají jen výjimečně. Vyvrtávačka má deklarovanou přesnost  $\pm 10 \mu\text{m}$ . Vzhledem ke stáří obráběcího stroje se ale skutečná přesnost odhaduje na cca  $50 \mu\text{m}$ . Ukázka tohoto zařízení je na obrázku 33.



**Obrázek 33 – Horizontální vyvrtávačka WHV 110**

### **CNC soustruhy**

Ve výrobě se používají dva CNC soustruhy. Starší soustruh je typu M400 CNC s číslicovým řízením firmy Fanuc. Do tohoto soustruhu lze upnout polotovary o maximálním průměru 60 mm. Odečítání vzdáleností posuvů je u tohoto stroje realizováno pohony a deklarovaná přesnost je na průměr  $5 \mu\text{m}$  a na délku  $100 \mu\text{m}$ . Druhý z CNC soustruhů je Masturn 50 z produkce firmy MAS Kovosvit. Je vybaven řídicím systémem firmy Heidenhain. Odečítání vzdáleností posuvů je u tohoto stroje realizováno pravítky a jeho deklarovaná přesnost je  $\pm 50 \mu\text{m}$ . Oba stroje si můžeme prohlédnout na obrázku 34. Vlevo je stroj Masturn 50 a vpravo M 400 CNC.



Obrázek 34 – CNC soustruhy ve výrobě KBHCZ – Vlevo MAS Masturn 50, Vpravo Fanuc M 400 CNC

## Brusky

Výroba firmy KBHCZ také realizuje výrobu na několika bruskách, na kterých se ve větší části provádějí dokončovací nebo opravné technologické operace. U některých výrobků má tato technologie obrábění zásadní vliv na výslednou přesnost. Jsou zde využívány zařízení typu univerzální hrotové brusky produkce firmy TOS Hostivař a to typ BHU 32/1000, která dosahuje přesnosti v jednotkách  $\mu\text{m}$ . Dalším zařízením je rovinná segmentová bruska od společnosti Podhrázký Praha. Bruska je vybavena upínacím magnetem o rozměru 300 x 1500 mm a vzhledem ke svému stáří, dosahuje přesnosti  $\pm 10 \mu\text{m}$ . Posledním brousícím zařízením, je horizontální rovinná bruska BRH 20 z produkce ZVL. Bruska je po modernizaci, je vybavena magnetickým upínáním obrobků a dosahuje přesnosti v jednotkách  $\mu\text{m}$ . Ukázky jednotlivých strojů můžete vidět na obrázku 35.



Obrázek 35 - Univerzální hrotová bruska BHU 32/1000 (vlevo nahoře), segmentová rovinná bruska (vpravo nahoře), Univerzální rovinná bruska ZVL (dole)



## Oddělení kontroly kvality

V tomto oddělení pracují již několik let dva stálí operátoři, kteří mají v oblasti metrologie a kontroly jakosti celkem bohatou praxi. Vybavení pracoviště je z pohledu vybavenosti zastaralé, což jistě snižuje efektivitu práce a zajisté, i přes praxi obou operátorů, nedostatečné hodnoty opakovatelnosti měření. Jedinou výhodou, kterou vidím v provozu tohoto oddělení je jeho nenákladný provoz. Podle slov obou operátorů, však vybavení tohoto oddělení plně dostačuje požadovaným aplikacím. Přehled nejpoužívanějších měřidel a jejich přibližných nákladů na údržbu je uveden v příloze 1.

Jak je patrné z tabulky, tak nepoužívanější měřidla jsou mikrometry a posuvná měřidla. Jejich kalibraci a kontrolu správné funkčnosti dříve zajišťovala odborná firma, která u mikrometrů vyčistila mikrometrický šroub a ověřila jejich přesnost. U posuvných měřitek pak ověřila přesnost a v případě opotřebovaných čelistí těchto měřidel provedla jejich přebroušení. Dnes mikrometry čistí pracovníci oddělení kontroly. Posuvná měřítka, která již pro toto oddělení nevyhovují, se v případě malých odchylek předávají pro orientační kontrolu operátorům CNC obráběcích strojů a na jejich místa se kupují nové. V případě velkých odchylek se rovnou pořizují nové.



Obrázek 36 – Sady kalibrů pro kontrolu otvorů v oddělení kontroly

Dalšími měřidly ve výbavě oddělení kontroly, je velké množství kalibračních trnů a matek, včetně kalibrů určených ke kontrole metrických závitů (viz obrázek 36). Tyto kalibry mají doposud nezjištěnou životnost, protože do této doby nebyla nutná jejich výměna. Zhruba každý rok procházejí kontrolou jedním z operátorů tohoto oddělení, který za pomoci sady koncových měrek a komparátoru ověřuje jejich přesnost.

Jelikož se zde vyrábí také nemalé množství výrobků, které jsou tepelně zpracované, je zde ve výbavě také Rockwellův tvrdoměr. Toto zařízení je využíváno



méně často, aby vyžadovalo nějaké zvlášť vysoké náklady na údržbu, avšak občas se musí pořídit nový indentor.

K dispozici zde dříve byla i souřadnicová měřicí technika, konkrétně stroj Zeiss Numerex (viz obrázek 37). Stroj je umístěn v samostatném uzavřeném boxu, který má zajištěn i odtah s filtrem z důvodu prašnosti, což je dobrým předpokladem pro funkčnost stroje. Na tomto pracovišti se dříve kontrolovaly výrobky složitějších rozměrů a provádělo se zde i ověřování kalibrů. V současné době je stroj mimo provoz z důvodu nefunkční Z-ové osy. Vedení výroby momentálně přemýšlí o koupi nového CMM stroje, ostatně cílem této práce je právě zhodnocení koupě nového CMM.



**Obrázek 37 – CMM Zeiss Numerex**

Za podotknutí ještě stojí, že oddělení kontroly zároveň slouží jako expedice a příjem zboží, což podle mého, velmi negativně ovlivňuje výsledky jejich práce v oblasti měření.



## **8. Výrobní program**

Výrobní program je v této společnosti zaměřen na oblast transportní a manipulační techniku, kterou firma dodává na základě požadavků zákazníka tzv. na klíč. Paleta vyráběných dílů je díky tomuto zaměření velmi pestrá. Ve výrobě tedy můžeme najít díly malých rozměrů, jako jsou drobné hřídelky pro pohon dopravníků, středních, což nejčastěji bývají různé domky pro uložení ložisek nebo různé formy držáků, až po ty velké, jako jsou základní konstrukční prvky zajišťující stabilitu a nosnost celé sestavy. V období, kdy není výrobní kapacita výroby plně vytížena, se firma věnuje i kooperační činnosti s partnerskými výrobci.

### **8.1. Volba výrobního představitele**

Každá výroba, ať se již jedná o malosériovou, středně-sériovou nebo velkosériovou, je do značné míry organizačně komplikovaná. Ve výrobě je třeba dbát na to, abychom dosáhli maximální produktivity, minimálních nákladů na výrobu, ale s maximální přesností. Pokud si dáme za cíl dosáhnout maximální kvality v již fungující výrobě, je třeba současný stav důkladně analyzovat a porovnat s nově navrhovanými technologiemi kontroly jakosti. Výsledky této analýzy pomohou objektivně zhodnotit přínos nasazení nových technologií do výroby.

K tomuto účelu slouží volba výrobního představitele, nebo představitelů. Tato volba má svá pravidla, která je třeba pro přesné výsledky dodržovat. Tyto pravidla nastavují určitá kritéria vymezující, o jaký typ výrobků se má jednat. Obecně platí pravidlo, že má jít o výrobky, které mají největší podíl na tržbách podniku, největší zastoupení použitých technologií při jejich výrobě atd. K objektivní volbě výrobního představitele se využívá P-Q diagramů, které jsou brány jako jeden ze základních nástrojů k analýze výrobního programu pro účely zavádění nových technologií, rozšiřování výroby, k optimalizaci výroby atd. Postupu volby výrobního představitele se budu věnovat v následujících kapitolách.

#### **8.1.1. P-Q diagramy a jeho druhy**

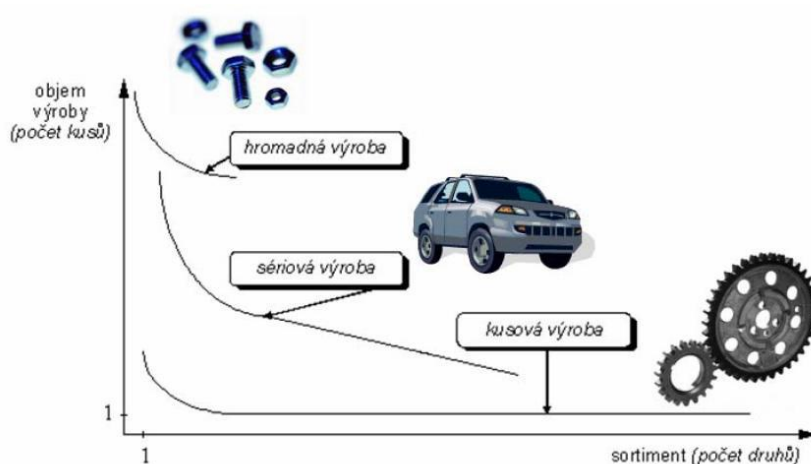
P-Q diagram, který můžete vidět na obrázku 38, zobrazuje závislost produktů (výrobků) na vyráběném množství (sériovosti). Nezabývá se pouze zobrazením podílu počtu vyráběných kusů na celkový objem výroby, ale projevuje se zde i sériovost a



opakovatelnost jednotlivých typů výrobků. Právě sériovost a opakovatelnost značně ovlivňují nejen použitou výrobní technologii, ale i otázky produktivity a hospodárnosti výroby, plánování výroby a v neposlední řadě systém kontroly jakosti konečných produktů. Jiný systém kontroly jakosti bude u výroby kusové a jiný systém kontroly bude u výroby hromadné. [23]

Pokud se zaměříme na samotný P-Q diagram, můžeme si všimnout, že se na obrázku nachází více křivek. Vysvětlení je jednoduché, existují totiž dva základní tvary křivek P-Q diagramu, a to diagram s mělkou a s hlubokou křivkou. Samozřejmostí jsou i stavy nacházející se mezi těmito dvěma křivkami. V této práci ale budu vycházet ze základních křivek P-Q diagramu.

Diagram s mělkou křivkou znázorňuje sériovost a opakovatelnost v kusové až malosériové výrobě. Není zde nikterak zásadní rozdíl mezi počtem vyráběných kusů různých typů a druhů. Diagram s hlubokou křivkou znázorňuje velkosériovou až hromadnou výrobu. U těchto typů provozů je velmi výrazný rozdíl v počtu vyráběných kusů u jednotlivých výrobků a bude se zde přistupovat zcela jinak k plánování, k optimalizaci výroby a k zavádění nových výrobních i kontrolních technologií, než v případě křivky mělké. [23]



Obrázek 38 – P-Q diagram a jeho druhy

Vzájemná vazba veličin v P-Q diagramu umožňuje řešit metodiku zpracování technologického projektu zejména v následujících otázkách:

- Výběr představitelů výrobků nebo součástkových souborů



- Volby koncepce technologie výroby (strojů, výrobního zařízení a jeho vybavení, atd.)
- Koncepce specializačních struktur a jejich dispozičního řešení
- Toků materiálu nebo vztahů jednotlivých prvků výrobního systému atd.<sup>[23]</sup>

Principu P-Q diagramu lze využít v souvislosti s jinými faktory, které ovlivňují volbu technologií ve výrobě. Jedním takovým je vztah „hmotnost – sortiment“. Jedná se o tzv. P-G diagram a pomáhá stanovit rozměry, nosnost, výkon a počet jednotlivých výrobních technologií výrobního procesu.<sup>[23]</sup>

Struktura výrobního sortimentu tvoří, dle dosavadních zkušeností získaných pomocí P-G diagramů, tři váhově, rozměrově, technologicky a časově rozdílné skupiny:

- Skupina A – Tuto skupinu tvoří součástky charakteru základových a nosných prvků. Jde především o materiálově, technologicky a časově náročné součástky.
- Skupina B – Tuto skupinu tvoří součástky všeobecného charakteru, jako jsou hřídele, čepy, ozubená kola s menšími nároky všech tří výše jmenovaných faktorů.
- Skupina C – Do této skupiny bychom mohli zařadit všechny součásti charakteru normalizovaných, unifikovaných a typizovaných součástí. Jedná se tedy např. o spojovací materiál, jako jsou šrouby, čepy, atd.<sup>[23]</sup>

### **8.1.2. Postup volby výrobního představitele**

Jak již bylo naznačeno, výběr výrobního představitele se provede za pomoci P-Q diagramu. Abychom mohli do tohoto diagramu zapisovat data, je nutné si výrobu rozdělit. Rozdělení by mělo proběhnout vždy z nějakého hlediska. Pokud si jako hlavní hledisko vezmeme kritérium tvaru, rozdělení bude např. následující:

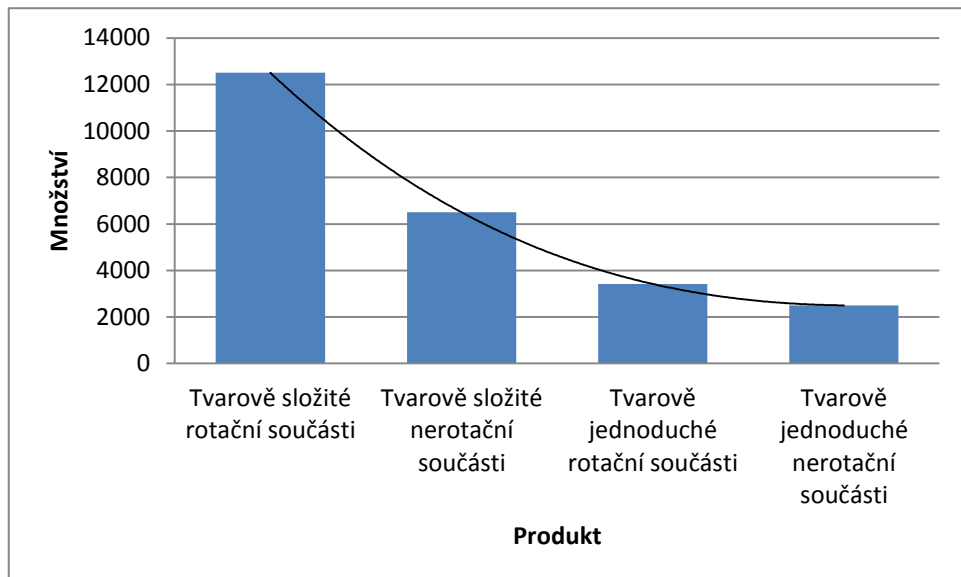
- Tvarově jednoduché rotační součásti
- Tvarově složité rotační součásti
- Tvarově jednoduché nerotační součásti
- Tvarově složité nerotační součásti





K takto rozdělené výrobě pak přiřadíme počet vyrobených součástí jednotlivých skupin a seřadíme je od skupiny výrobků s největším zastoupením ve výrobním programu, až po výrobky s nejmenším zastoupením ve výrobním programu. Vznikne nám pak graf, který bude mít mělkou nebo hlubokou křivku, kde na prvním místě bude výrobní představitel zastupující největší podíl výroby z hlediska tvaru vyráběné součásti.

Tento postup můžeme aplikovat na různá kritéria, ať už se jedná o hledisko hmotnostní, materiálové, nebo také o podíl výrobních technologií na výrobě produktů. Právě hledisko podílu technologií na výrobě, se považuje za jedno z nedůležitějších hledisek při optimalizaci výrobního či kontrolního procesu. Příklady P-Q diagramu pro volbu výrobního představitelů můžeme vidět na obrázku 39.



Obrázek 39 – Příklad P-Q diagramu

### 8.1.3. Volba výrobních představitelů z výrobního programu KBHCZ s.r.o.

Ve výrobě KBHCZ s.r.o. je volba výrobního představitele velmi složitá. Po provedené analýze výrobního programu jsem zjistil, že je zde sériovost naprosto minimální. Pokud se výrobky opakují, tak jsou shodné pouze tvarově a nikoli rozměrově. Toto je dáno zaměřením na manipulační a dopravní techniku, která je řešena vždy na základě požadavků, ze strany zákazníka. Dalším významným vlivem na volbu výrobního představitele pro tuto práci měla skutečnost, že časová rezerva na



výrobu celé sestavy je minimální a nepočítá s odvezením součástí do měrového střediska, kde bylo realizováno měření na CMM.

Z tohoto důvodu byly pro srovnání efektivity současného stavu měrového oddělení s případným vybavením tohoto oddělení CMM strojem voleny takové součásti, které reprezentují výrobu ve společnosti KBHCZ a současně zde byla dostatečná časová rezerva pro realizaci měření v Praze. Proto nebyly zcela dodrženy zásady pro volbu výrobního představitele a vybral jsem takové výrobky, které jsou součástmi manipulační techniky, u kterých je přísný požadavek na geometrické specifikace. Výrobky jsou menších rozměrů z důvodu bezproblémové dopravy do měrového střediska v Praze na ČVUT. Jde o díly dopravníků, které společnost KBHCZ vyrábí v různých provedeních. Ukázku vybraných dílů můžeme vidět na obrázku 40. Jedná se dvě hřídele, na které jsou umístěny při montáži ložiska, domek pro ložisko a vodící kolo.



Obrázek 40 – Zvolené výrobky pro srovnání měřicího procesu v KBHCZ

#### **8.1.4. Současný nákladový stav výroby z hlediska dosahovaných neshod se specifikacemi**

Náklady na odstranění neshod se specifikacemi nebyly do počátku tvorby této práce nijak monitorovány. Po provedení analýzy výroby tak nebylo z čeho čerpat data a



vytvořit si srovnávací základnu pro výsledky celé práce. V součinnosti s vedením podniku jsem tedy podnikl, vzhledem k časové omezenosti, jednoměsíční záznam odhalených výrobků, které neprošly výstupní kontrolou. Do záznamu se uvádělo, jakou dobu si odhadem vyžádá oprava jednoho neshodného dílu. Díky tomuto sběru dat, pak získám alespoň základní informaci, jaké finanční náklady jsou vynaloženy na odstranění těchto odhalených vad. Tyto náklady pak mohu srovnat se stavem, kdy je měrové středisko vybaveno CMM technikou. Získaná data a jejich vyčíslení znázorňuje tabulka 1.

Počet výskytu "zmetků" v měsíci Leden 2015			
Datum	Počet výskytů neshod	Celkový čas na opravu (odhad) [min]	Průměrný čas na opravu 1Ks [min]
5.1.2015	4	236	59
6.1.2015	5	120	30
7.1.2015	6	240	60
8.1.2015	2	200	100
9.1.2015	2	60	30
12.1.2015	3	60	20
13.1.2015	2	90	45
14.1.2015	3	60	20
15.1.2015	3	215	71,7
16.1.2015	2	204	102
19.1.2015	4	150	37,5
20.1.2015	2	320	160
21.1.2015	3	60	20
22.1.2015	1	45	45
23.1.2015	2	80	40
26.1.2015	2	60	30
27.1.2015	2	90	45
28.1.2015	7	315	45
29.1.2015	2	60	30
30.1.2015	1	45	45
celkem	58	2710	
Průměr		135,5	51,76
Přepoččet na hodiny		45,17	
Průměr v hodinách		2,26	0,86

Tabulka 1 - Vyhodnocení časových nákladů na odstranění neshod se specifikacemi



Po vyhodnocení si můžeme všimnout, že výroba za měsíc leden strávila necelých 45,5 hodiny na opravách. Samozřejmě se dá namítat, že 45,5 hodiny není nijak závažné číslo, ale pokud tuto hodnotu vynásobíme průměrnými náklady na provoz stroje a průměrnými náklady na zaměstnance, provádějícího opravu dílů, dostaneme náklady na opravu těchto součástí. Tento propočet můžeme vidět v tabulce 2. Nutno ale podotknout, že tento sběr dat, je pouze informativní a nepodává úplně přesný údaj o časové náročnosti. Důvodem je nevhodná organizace oddělení kontroly, které funguje i jako expedice. Jak mi bylo přiznáno, tak se čas od času přihodilo, že z výroby dorazilo značné množství výrobků ke kontrole a zároveň dorazil i dopravce pro vyzvednutí nebo předání zboží. Kvůli této organizaci nebyly některé údaje o výskytu „zmetků“ zapsány v tabulce. Proto lze očekávat, že skutečné časové a s tím spojené i finanční náklady na opravu budou vyšší, než které jsou zde vypočtené.

Náklady na zaměstnance	180 Kč/hod
Náklady na provoz obr. Stroje	400 Kč/hod
Celkové hodinové náklady [Kč]	580
Počet hodin strávených opravami	45,17 hod/měsíc
<b>Měsíční náklady</b>	<b>26 199 Kč</b>
<b>Roční náklady</b>	<b>314 383 Kč</b>

Tabulka 2 – Nákladový propočet

Z výsledků v tabulce 2 je zřetelné, že ročně firma vynaloží cca 314 000 Kč na opravu neshod. Jak jsem již ale upozornil, tak se bude jednat o minimální výši těchto nákladů. Proto bych spíše počítal s tím, že skutečná výše těchto nákladů může dosahovat až dvojnásobku vypočtené hodnoty, tedy až 600 000 Kč za jeden rok.

Dosud jsem věnoval pozornost jen nákladům na opravu dílů, které oddělení kontroly odhalí. Druhá situace, která ale z hlediska nákladů může nastat, je, že kontrola vyhodnotí díl jako vyhovující, i když tomu tak ve skutečnosti není. To pak způsobí velké komplikace při montáži, kde většinou takovýto výrobek „nepasuje“ do sestavy. To má ve většině případů za následek pozastavení celého montážního procesu, zejména z důvodu návaznosti, dokud se vadný díl neopraví, popř. nevyrobí znovu. Všechny tyto faktory mají významný vliv na zvyšování finanční náročnosti výroby. Problém



s prodloužením doby montáže navíc může překročit nasmlouvaný termín předání vyrobené sestavy zákazníkovi a s tím související sankce, což znamená další vynaložené finance navíc. Při velmi optimistickém odhadu se budou tyto náklady pohybovat ve stejné nákladové hladině jako náklady vynaložené na opravu odhalených vadných dílů, tedy v úrovni pohybující se okolo 600 000 Kč.



## **9. Srovnání způsobilosti a variability měřidel při kontrole vybraných charakteristik se CMM**

Pro získání dat k vyhodnocení vhodnosti nasazení CMM techniky do výroby bylo nejprve provedeno měření za použití stávajícího vybavení měrového oddělení společnosti KBH. Následně bylo provedeno měření na CMM v měrovém středisku na Fs ČVUT v Praze. Na základě znalostí měřených hodnot a šíře tolerančního pole lze provést analýzu opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidel (GRR). Za pomoci vypočtených statistických hodnot, jako je směrodatná odchylka, rozpětí, atd. a za předpokladu dodržení náhodného pořadí při měření, mohou pomocí metod popisné statistiky vyhodnotit, s jakou přesností daná měřidla ve srovnání se CMM měří. Tyto výsledky pomůžou odhalit přibližný počet dílů, které s největší pravděpodobností nebudou správně vyhodnoceny, neboť měřidlo při jejich kontrole nedosahuje způsobilosti. Způsobilost je zde počítána metodikou dle Forda. Tato metodika nám říká, že šest směrodatných odchylek musí být menší nebo rovno 15% tolerančního pole. Pokud se šest směrodatných odchylek rovná 15% tolerančního pole, pak je koeficient  $C_g$  roven jedné.

Četnost měřených hodnot, u kterých je předpoklad náhodného výběru, kopíruje křivku Gaussova normálního rozdělení. Právě šíře této křivky znázorňuje variabilitu celého procesu a můžeme tyto dva odlišné systémy měření porovnat.

### **9.1. Realizace měření v měrovém středisku KBHCZ s.r.o.**

V měrovém středisku v sídle KBHCZ byly všechny charakteristiky změřeny komunálními měřidly dle následujícího postupu:

- 1) Ve výkresové dokumentaci se číselně označily měřené charakteristiky, aby byly jednoznačně rozlišitelné a nezaměnitelné s jinými.
- 2) Každá součást se měřila 3 krát, každým z operátorů. Kde bylo velmi důležité dodržet následující postup, aby byla zaručena náhodnost celého procesu:
  - a. Každý z operátorů měřil nezávisle na sobě, bez přítomnosti jiného operátora, který danou součást měřil také, aby nedošlo k ovlivnění výsledků mezi operátory



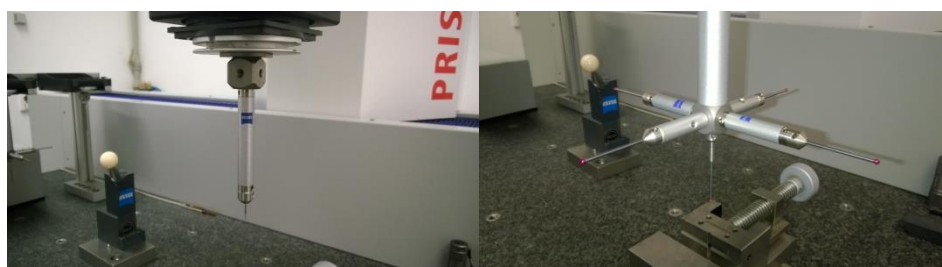
- b. Operátor nesměl opakovat měření jedné součásti hned po dokončení prvního měřicího cyklu. Toto opatření sleduje zamezení ovlivnění výsledků zaokrouhlováním ve vztahu k předešlým naměřeným hodnotám. Měření bylo rozvrženo na tři opakování v průběhu celého dne, kdy v jednom opakování se měřila každá součást pouze jednou.
  - c. Operátor nesměl měřit vybrané součásti vždy ve stejném pořadí.
  - d. Po změření jednoho cyklu se operátor věnoval činnosti, kterou běžně během své pracovní doby vykonával.
  - e. Výsledky každého měřicího cyklu byl zapisován vždy na prázdný papír, aby operátor neměl možnost zjistit předchozí výsledek.
  - f. Na splnění podmínek dohlížel pracovník vedení výroby
- 3) Dohlížející pracovník pak přepsal změřené hodnoty do jednoho připraveného hodnotícího archu.

## 9.2. Realizace měření v měrovém středisku na FS ČVUT

Na fakultě strojní ČVUT probíhalo měření v měrovém středisku Carl Zeiss na CMM Prismo (viz obr. 41). Jde o mostovou konstrukci CMM s aktivním skenovacím systémem VAST. Celý proces měření probíhal na základě mnou vytvořených plánů měření v softwarovém prostředí Calypso 5.6. Jako upínací prvek během měření byl zvolen svěrák, který byl pevně upnut k pracovní desce stolu. K měření byly vytvořeny dvě konfigurace doteků (viz obr. 42) a to z důvodu měření několika menších rozměrů kde byl zapotřebí dotek s kuličkou o průměru 0,8 mm. Celý proces měření probíhal ve třech opakováních, dle připraveného plánu měření.



Obrázek 41 – CMM Prismo v měrovém středisku ČVUT



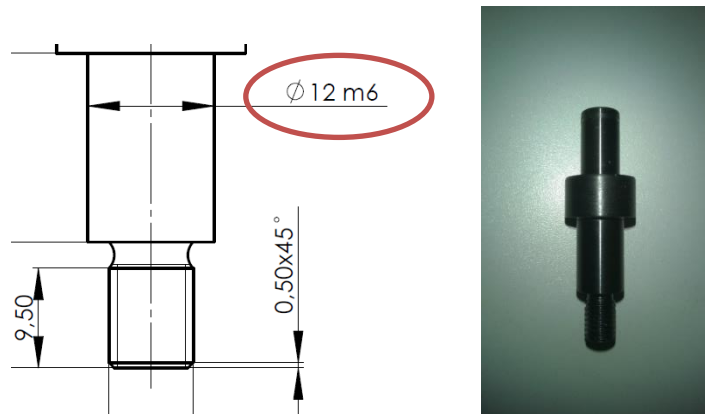
Obrázek 42 – Použité konfigurace snímačů



### 9.3. Vyhodnocení výsledků měření

#### Vyhodnocení charakteristiky č. 1

Jako první vyhodnocenou charakteristiku jsem zvolil průměr na hřídeli, kterou můžeme vidět na obrázku 43. Jde o průměr, který je tolerovaný třídou m6, kde šíře tolerančního pole je dle normy 0,011 mm.



Obrázek 43 – Znárodnění charakteristiky 1

#### Z měření byly zjištěny následující údaje:

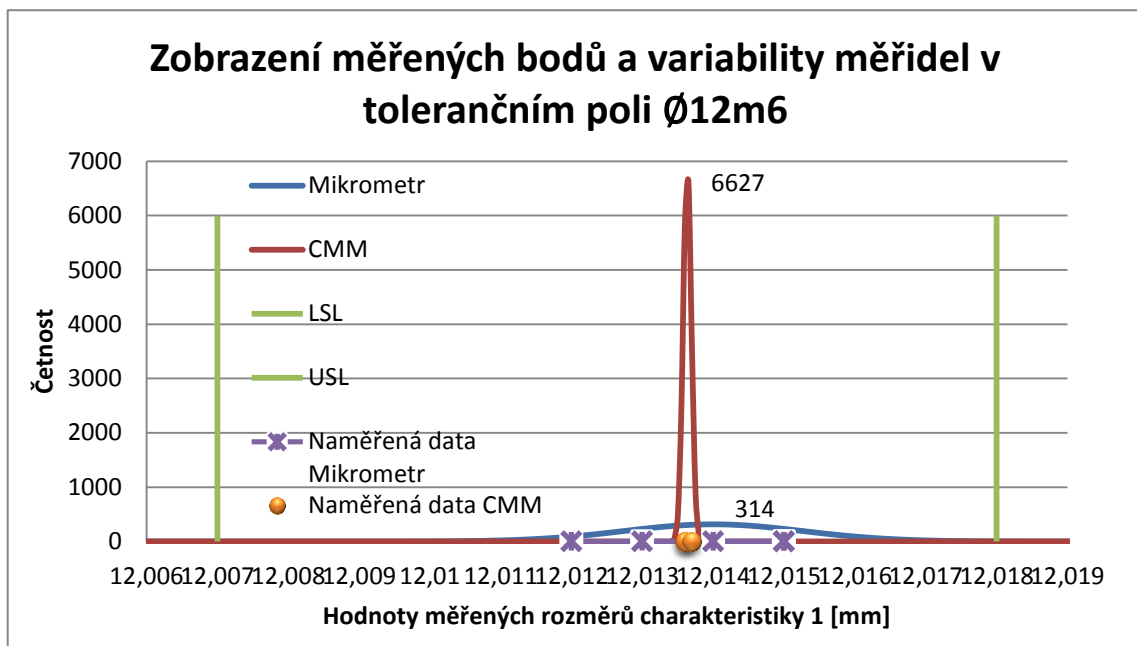
Naměřené hodnoty		Statistické charakteristiky			Toleranční pole	
Komunální měřidla	CMM		Komunální měřidla	CMM	LSL	USL
12,012	12,0136	Minimum	12,0120	12,0136	12,007	12,018
12,015	12,0136	Maximum	12,0150	12,0137	Šíře tol. Pole	0,011
12,015	12,0137	Rozpětí	0,00300	0,00010		
12,014		Výb. Směr. odchylka	0,00126	0,00006		
12,013		Koeficient způsobilosti	0,2174	4,7631		
12,015						

Tabulka 3 – Naměřená a vypočtená data charakteristiky 1 – průměr 12m6





Z vypočítaného koeficientu způsobilosti, který pro použitelnost měřidla musí být větší než 1, mohu usoudit, že měřidlo, v tomto případě mikrometr, není pro měření této charakteristiky vhodné. Výsledek je ovlivněn velikostí tolerančního pole a zkušenostmi operátora. U takto přesného požadavku je dosažení hranice způsobilosti za použití mikrometru téměř nerealné.



Obrázek 44 - Zobrazení měřených bodů a variability měřidel v tolerančním poli průměru 12m6

Z obrázku 44 si můžeme všimnout značného rozdílu variability mezi komunálními měřidly a CMM. Všimněme si čísel v grafu, ty znamenají maximální počet výskytů měřených hodnot jednotlivého rozměrového údaje dle Gaussova rozdělení. Tento počet výskytů ovlivňuje směrodatná odchylka měřícího procesu a pomocí těchto údajů se dá jednoduchým dosazením do trojčlenky vypočítat procentuální rozdíl ve variabilitě obou měření. Tento rozdíl je 95,25 %.

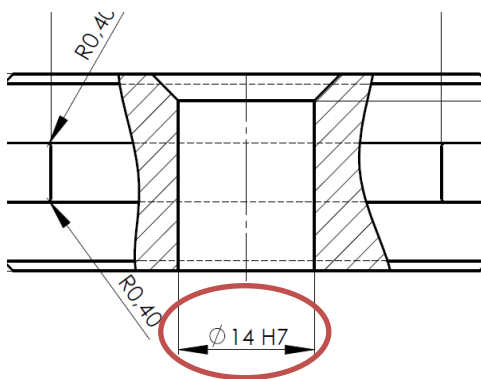
Daleko zajímavějším údajem, je podíl dílů, nacházejících se mimo oblast 15% tolerančního pole, kde je měřidlo způsobilé. Pokud dosadím střední hodnotu, směrodatnou odchylku a hranice tohoto zúženého pásma tolerančního pole do funkce normálního rozdělení, zjistím, že v případě mikrometru, bude s největší pravděpodobností 38,45% dílů chybně vyhodnoceno. Příčinou je značný počet výskytů měřených hodnot mimo 15% pásmo tolerančního pole. Naopak CMM bude s největší



pravděpodobností způsobilý pro vyhodnocení všech měřených součástí při kontrole tohoto rozměru.

### Vyhodnocení charakteristiky č. 2

Jako druhou vyhodnocovanou charakteristiku (viz obr. 45) jsem zvolil průměr otvoru vodícího kola, který je tolerován toleranční třídou H7, kde je dle normy šíře tolerančního pole 0,018 mm.



Obrázek 45 – Znázornění charakteristiky 2

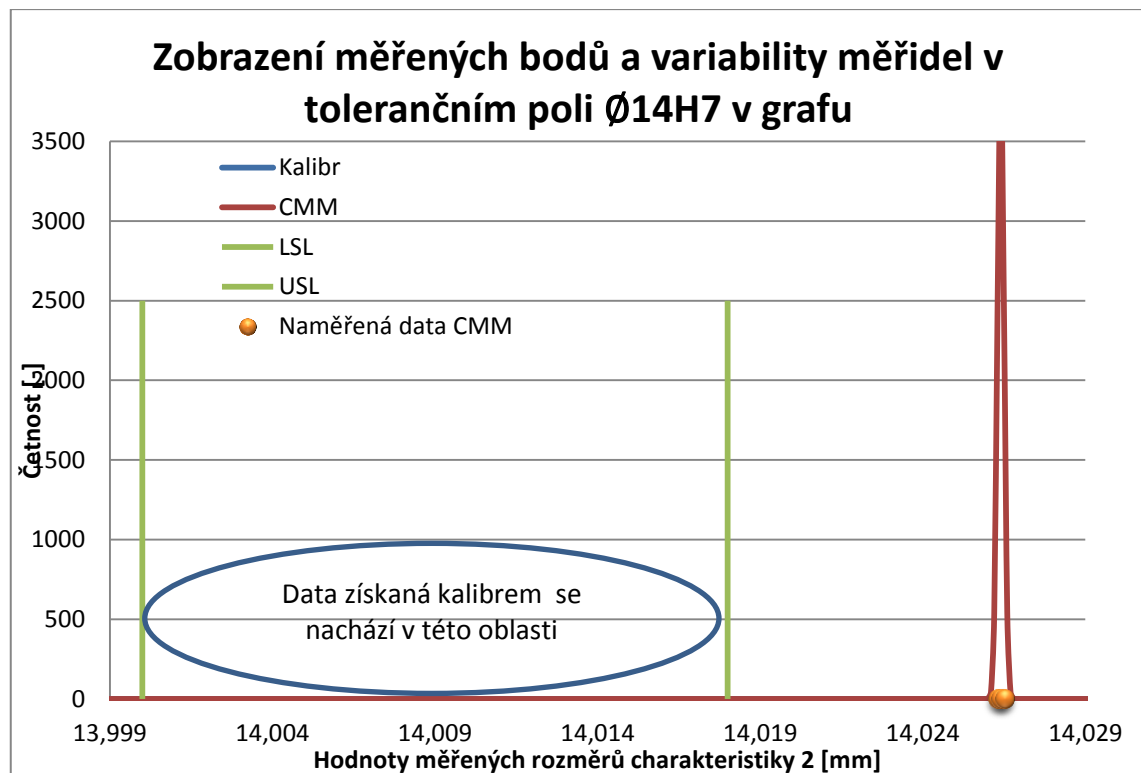
### Z měření byly zjištěny následující údaje:

Naměřené hodnoty		Statistické charakteristiky			Toleranční pole	
Komunální měřidla	CMM		Komunální měřidla	CMM	LSL	USL
Kalibr OK	14,0263	Minimum	Nelze stanovit	14,0263	14,000	14,018
Kalibr OK	14,0264	Maximum	Nelze stanovit	14,0265		
Kalibr OK	14,0265	Rozpětí	Nelze stanovit	0,00020	Šíře tol. Pole	0,018
Kalibr OK		Výb. Směr. odchylka	Nelze stanovit	0,00010		
Kalibr OK		Koeficient způsobilosti	Nelze stanovit	4,5000		
Kalibr OK						

Tabulka 4 - Naměřená a vypočtená data charakteristiky 2 – průměr 14H7



Z tabulky 4 si můžeme všimnout, že nastal problém se srovnáním měřidel za případu, kdy se při měření použil kalibr. Ten neposkytuje číselné hodnoty, nýbrž jen údaj, jestli rozměr je v pořádku či nikoli. U CMM pak můžeme pozorovat velmi dobrou způsobilost měřidla při vyhodnocování tohoto rozměru. Z naměřených dat je již teď patrné, že operátoři měrového střediska KBHCZ označili tento rozměr za vyhovující, kdežto CMM technika naměřila hodnoty, které specifikacím již nevyhovují. Lépe tuto situaci znázorní graf na obrázku 46.



Obrázek 46 - Zobrazení měřených bodů a variability měřidel v tolerančním poli průměru 14H7

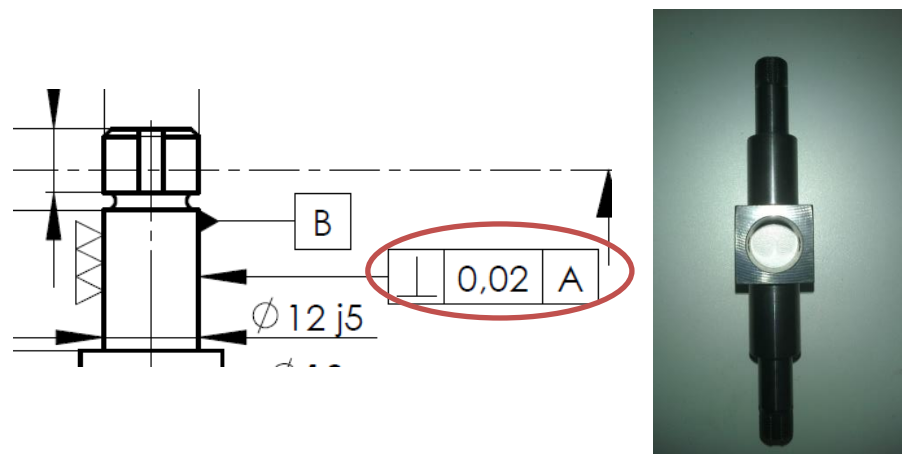
Na obrázku 46 je názorně vidět, že skutečně došlo k označení součásti pomocí CMM jako nevyhovující, kdežto v měrovém oddělení KBHCZ díl kontrolou prošel. To může znamenat, že zaměstnanci tohoto oddělení neprováděli kontrolu s požadovanou pečlivostí, nebo že použitý kalibr není zcela v pořádku a může vykazovat známky opotřebení. U souřadnicové měřicí techniky si můžeme všimnout velmi nízké variability, což potvrzuje vypočtený koeficient způsobilosti. Tento koeficient nám zaručuje, že s největší pravděpodobností bude toto měřidlo způsobilé pro všechny měřené součásti. V případě kalibru toto určit nelze, jelikož neposkytuje číselné



výsledky. S přihlédnutím k naměřeným údajům, však lze usoudit, že efektivita měření tímto kalibrem bude při kontrole přesných rozměrů velmi nízká.

### Vyhodnocení charakteristiky č. 3

Jako třetí vyhodnocovanou charakteristiku jsem zvolil geometrickou toleranci kolmosti přesné válcové plochy na centrální otvor čtyřhranu hřídele. Tolerance kolmosti je zde 0,02 mm. Specifikaci znázorňuje obrázek 47.



Obrázek 47 – Ukázka charakteristiky č. 3

### Z měření byly zjištěny následující údaje:

Naměřené hodnoty	
Komunální měřidla	CMM
0,030	0,0112
0,028	0,0112
0,031	0,0114
0,029	
0,030	
0,025	

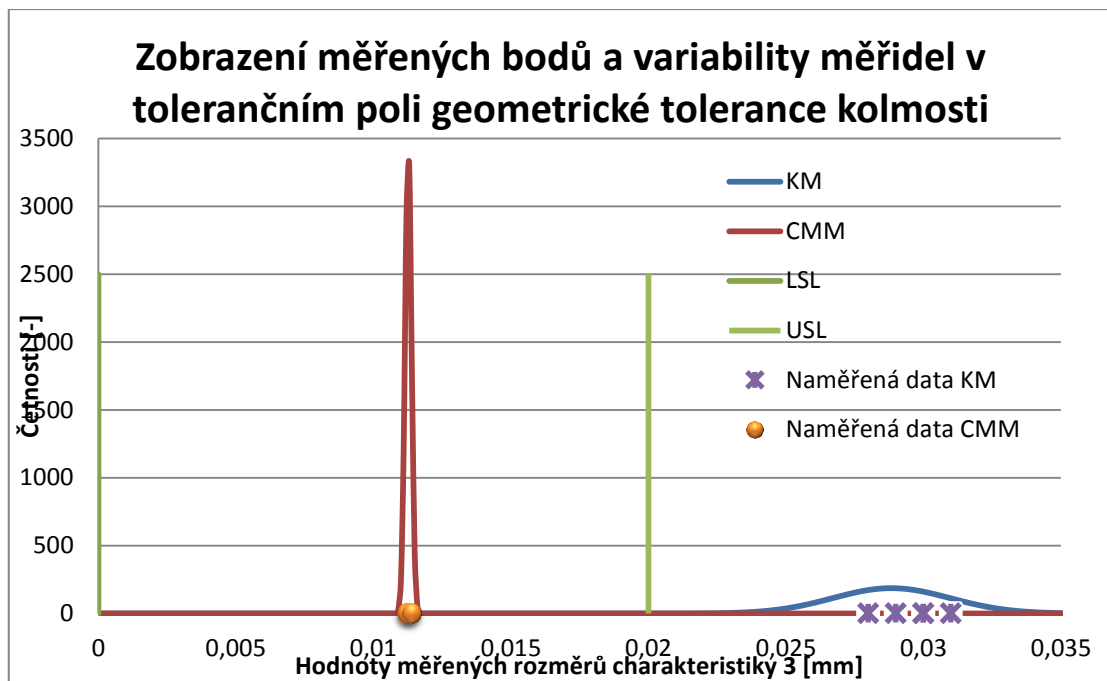
Statistické charakteristiky		
	Komunální měřidla	CMM
Minimum	0,0250	0,0112
Maximum	0,0310	0,0114
Rozpětí	0,00600	0,00020
Výb. Směr. odchylka	0,00214	0,00012
Koeficient způsobilosti	0,2340	4,3301

Toleranční pole	
LSL	0,00
USL	0,02
Šíře tol. Pole	0,02

Tabulka 5 - Naměřená a vypočtená data charakteristiky 3 – Kolmost



Vypočtené koeficienty v tabulce 5 znázorňují, značnou nezpůsobilost použitého komunálního měřidla ve vyhodnocení geometrických tolerancí. Právě při vyhodnocení geometrických tolerancí těmito měřidly hraje velkou roli zručnost operátora, provádějícího měření. Od toho se odvíjí variabilita výsledků. Překonání podmínky způsobilosti, za použití komunálních měřidel, je proto zejména díky velmi špatné opakovatelnosti téměř nemožné. Rozdílnost měřených hodnot demonstruje graf na obrázku 48.



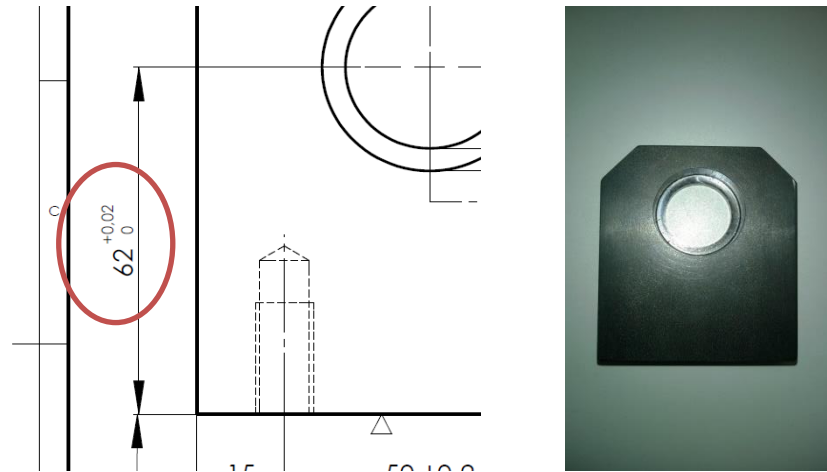
Obrázek 48 - Zobrazení měřených bodů a variability měřidel v tolerančním poli geometrické tolerance kolmosti

Obrázek 48 ukazuje, že se oběma způsoby měření došlo k rozdílným závěrům. Operátoři měrového střediska tuto charakteristiku označili za nevyhovující, kdežto na CMM vyšla v toleranci s dostatečnou rezervou. To naznačuje, že zvolený způsob měření této specifikace ve společnosti KBH nebyl příliš vhodný, což potvrzuje i vypočtený koeficient způsobilosti. Hodnota koeficientu 0,23 znamená, že při měření této charakteristiky bude s největší pravděpodobností chybně vyhodnoceno 34,9% měřených dílů. V případě použití CMM stroje, budou tímto měřidlem správně identifikovány téměř všechny kontrolované díly. To potvrzuje i vypočtená hodnota způsobilosti CMM.



#### Vyhodnocení charakteristiky č. 4

Jako čtvrtou charakteristiku jsem vybral polohu otvoru domku pro uložení ložisek. Tuto charakteristiku znázorňuje obrázek 49.



Obrázek 49 – Znázornění charakteristiky 4

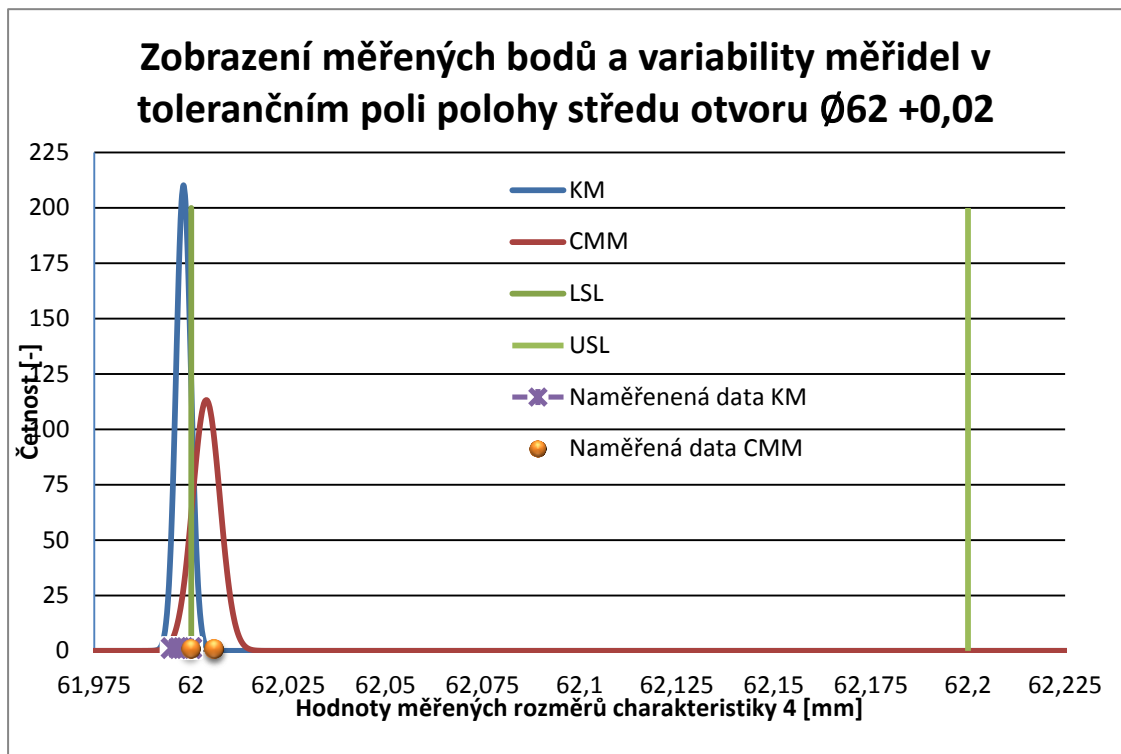
#### Z měření byly zjištěny následující údaje:

Naměřené hodnoty		Statistické charakteristiky			Toleranční pole	
Komunální měřidla	CMM		Komunální měřidla	CMM	LSL	USL
61,998	61,9998	Minimum	61,9950	61,9998	62,00	62,20
62,000	62,0059	Maximum	62,0000	62,0059	Šíře tol. Pole	0,2
61,997	62,0059	Rozpětí	0,00500	0,00610		
62,000		Výb. Směr. odchylka	0,00190	0,00352		
61,995		Koeficient způsobilosti	2,6352	1,4197		
61,998						

Tabulka 6 - Naměřená a vypočtená data charakteristiky 3 – poloha



Z výpočtů v tabulce 6 si můžeme všimnout, že koeficient způsobilosti komunálních měřidel, vychází tentokrát lépe než způsobilost CMM. Je zapotřebí ale podotknout, že rozpětí měřených hodnot je na CMM techniku příliš velké, i v případě porovnání s předešlými charakteristikami. S největší pravděpodobností se bude jednat o chybu, kterou jsem způsobil nevhodným vyhodnocením měřené charakteristiky. Na této chybě mohu demonstrovat, jak jednoduché je při tvorbě programů udělat chybu a jak se tato chyba může projevit ve výsledcích. Proto je nanejvýše důležité, aby tvorbu plánů měření na CMM prováděla proškolená obsluha s určitými odbornými znalostmi. Grafické znázornění výsledků můžeme vidět na obrázku 50.



Obrázek 50 - Zobrazení měřených bodů a variability měřidel v tolerančním poli polohy středu otvoru  $\varnothing 62 + 0,02$  mm

Z obrázku 50 si navíc můžeme všimnout, že operátoři opět naměřili díl jako vadný. Výsledky CMM však naznačují, že díl by mohl být v pořádku. Dvě ze tří měření na CMM to potvrzují. Nicméně pro vyhodnocení správnosti měření, by bylo k předpokládané chybě v programu na CMM provést měření znovu. I přes významnou chybu, je i tak CMM způsobilé pro kontrolu tohoto rozměru. Hranici způsobilosti v tomto případě překročila i kontrola v měrovém oddělení KBHCZ.



## **Celkové zhodnocení výsledků měření**

Výsledky měření ukazují, že použití komunálních měřidel při vyhodnocování velmi přesných rozměrů, není tak efektivní a nesplňuje požadavky na způsobilost měřidel. Souřadnicová měřicí technika toto bez větších problémů splňuje.

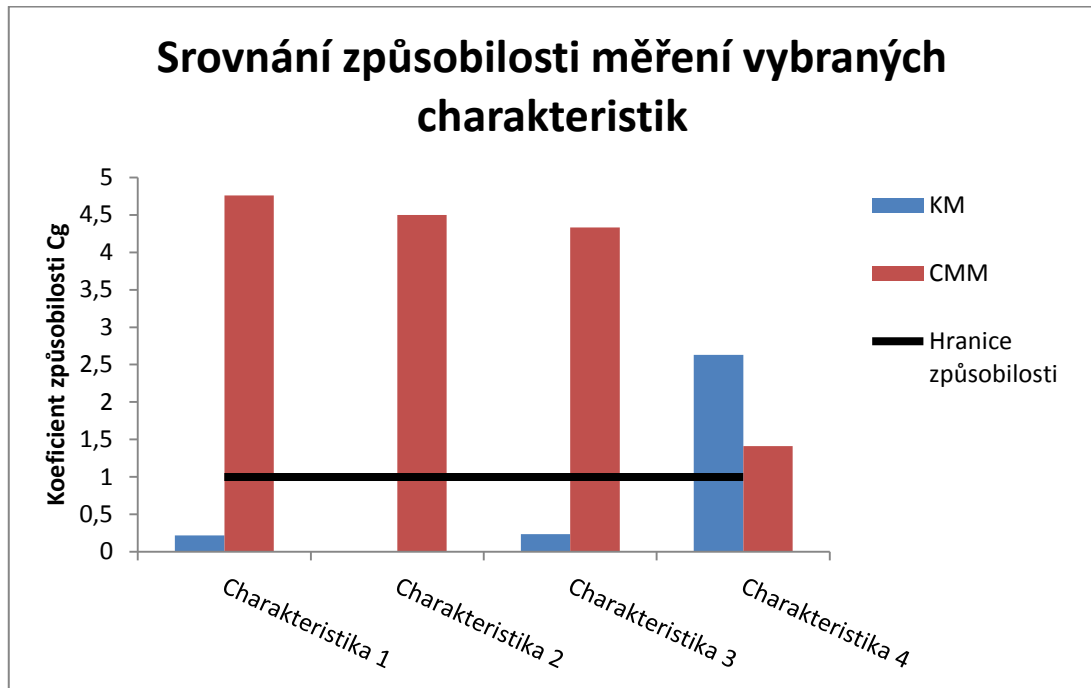
Sledování způsobilosti měřidel má svůj význam. Největším přínosem tohoto sledování je ekonomické zhodnocení kontrolního procesu výroby. Pokud používáme měřidla, která nevyhovují požadavkům na způsobilost, můžeme si tím zvýšit náklady na výrobu produktů. Toto navýšení nákladů je zapříčiněno tím, že nezpůsobilá měřidla nejsou schopny zcela přesně určit, zda je rozměr vyhovující specifikacím, či nikoli. Pokud se vrátím k výsledkům charakteristiky 1, tak vyšlo, že 38,45% měřených dílů, bude s největší pravděpodobností chybně vyhodnoceno. Leží totiž mimo zúžené pásmo tolerančního pole, dle teorie o výpočtu způsobilosti měřidel. To znamená, že u tohoto počtu měření nejsem schopen garantovat správnost výsledku a v případě, že by se rozměr nacházel poblíž toleranční meze, nemohu zaručit správnost a tedy i funkčnost výrobku. To pro mne, jako pro výrobce znamená, že daný díl musím vyřadit ze zakázky a buď ho opravit, nebo zlikvidovat. Obojí ale nese finanční náklad navíc, což není z hlediska rentability výroby žádoucí. Další případ může nastat, pokud proces kontroly vadný výrobek neodhalí. V takovém případě mohou nastat problémy při montáži, kde dochází k potřebným opravám a celkovému zdržení termínu zhotovení celé sestavy. Daleko závažnější problém může nastat, pokud tento díl dodám zákazníkovi, kterému způsobí stejné komplikace. Nastane-li tato situace, riskuji poškození dobrého jména výrobce, což mi může zkomplikovat pozici na trhu před konkurencí. Toto poškození je finanční škoda, která se velmi špatně vyhodnocuje a je příčinou zániku značné části výrobců nejen v České republice.

Výsledky rovněž ukázaly, že variabilita stávajících měřidel je velmi vysoká. Z celkových 51 charakteristik byla měřidla způsobilá jen v 5 případech. U souřadnicové měřicí techniky jsem způsobilosti měřidla dosáhl v 39 případech. Zde ale stojí za podotknutí, že v případě měření zkušenějším operátorem, bude výsledek zajisté lepší. Srovnání způsobilostí čtyř vybraných charakteristik je uvedeno na obrázku 51. Na tomto obrázku je názorně vidět, jak si u výše vyhodnocovaných charakteristik vedly





jednotlivé metody měření i mezi sebou. V některých případech však operátoři měrového oddělení dosáhli hranice způsobilost. To bylo většinou následkem kombinace jednoduše měřeného rozměru a případné větší pečlivosti. Nicméně se dá vyzorovat, že proces měření za použití CMM metody bude vždy způsobilejší a pro měření velmi přesných rozměrů vhodnější, než kontrola běžnými měřidly. Přehled všech vypočtených způsobilostí je uveden v příloze 2.



Obrázek 51 – Srovnání způsobilosti měření vybraných charakteristik

Výsledky experimentu lze shrnout následovně. Pokud by došlo k vybavení měrového střediska souřadnicovou měřicí technikou, dojde tím k poklesu variability celého měřicího procesu. S tím by souvisel i významný pokles počtu neoprávněně vyřazených dílů z výrobního programu a nevyhovujících dílů, které projdou kontrolou a následně působí problémy u montáže či u dodavatele. Obě tyto situace ovlivňují objem vynaložených nákladů na výrobu.

Vybavení pracoviště CMM technikou je přínosem i z hlediska univerzality tohoto stroje. Výroba společnosti KBHCZ je velmi členitá a CMM stroj se jí může bez jakýchkoli problémů přizpůsobit, to platí i při změně výroby. Došlo by tím i ke zvýšení celkové efektivity chodu měrového oddělení, která je za stávajícího stavu velmi nízká.



## **10. Ekonomické zhodnocení výsledků práce**

Náklady na výrobu jsou nejdůležitější veličinou, kterou by vedení každého podniku mělo podrobně sledovat. Jak již bylo uvedeno výše, tak současný stav výroby využívá z větší části CNC obráběcí stroje. Výrobky z těchto strojů jsou ale kontrolovány měřidly, které nejsou k měření přesných specifikací, dosahované na těchto strojích, způsobilé. To má za následek snížení efektivity celé výroby.

Nynější oddělení kontroly disponuje zhruba dvěma sty kusy běžných druhů komunálních měřidel, které ale nejsou kontrolovány tak, jak výrobci těchto měřidel předepisují. Svědčí o tom i výsledky měření vybraných součástí, které zde byly kontrolovány. V případě, že by se tyto měřidla udržovala, tak je předepsáno výrobcem, hodnoty způsobilosti by se zvětšily. To samozřejmě vyžaduje investici, která by si dle dostupných informací u společností zajišťující údržbu, vyžádala roční náklady ve výši 34 000 Kč. Stále by ale setrval stav, že variabilita dosud používaných měřidel by byla dosti vysoká a pro kontrolu velmi přesných součástí nevhodná.

V případě, že by oddělení kontroly bylo vybaveno CMM technikou, tak by hodnota variability výrazně klesla a měrové oddělení by mohlo fungovat mnohem efektivněji. To by zajistilo způsobilost celého měřicího procesu a snížil by se jak počet chybně identifikovaných nevyhovujících dílů, tak i vadných dílů, které kontrola nedokázala odhalit. Jednou z dalších výhod nasazení této technologie, i s ohledem na široké spektrum vyráběných součástí, vidím v bezproblémovém přizpůsobení měřicího procesu, při změně výroby, aniž by se zhoršila variabilita.

Pokud bych nasazení CMM technologie měl nastínit v číslech, tak pořizovací cena CMM od společnosti Carl Zeiss řady DuraMax, který bych pro kontrolu kvality v KBHCZ navrhoval, je 50 000 €. V přepočtu na české koruny je to při aktuálním kurzu zhruba 1 366 000 Kč. V této ceně je započten stroj, výpočetní technika, licence softwaru, instalace a školení pracovníků. Roční údržba této techniky přijde na 35 000 Kč a její výše je srovnatelná s předpokládanými náklady na údržbu současných měřidel (viz příloha 1). V povědomí by se mělo uvažovat také s náklady na zařízení místa, kde by byl stroj instalován. V případě oddělení kontroly v KBHCZ však toto není nutné, jelikož takovéto místo již mají zařízení a dříve tam CMM již fungoval.



Dle výsledků provedeného srovnání jsem zjistil, že zavedení CMM techniky sebou tedy nesou jistou úroveň úspory vynaložených nákladů na výrobu. U chybně vyhodnocených dílů jsem se dospěl k předpokládaným nákladům v úrovni 600 000 Kč, za stávajícího stavu kontroly. Při nasazení CMM do procesu kontroly, pak tyto náklady klesnou až o 68%. To by výrobě ročně ušetřilo náklady ve výši 408 000 Kč. Ten samý případ by nastal v situaci neodhalených dílů, které následně způsobily komplikace. Zde jsem nastínil předpoklad, že výše nákladů, spojené s tímto problémem dosahuje rovněž hladiny až 600 000 Kč za rok. I zde by CMM technika dokázala uspořit až 68% nákladů. Celková roční úspora pak tedy může být až 816 000 Kč ročně. Jak již bylo uvedeno, tak pořízení stroje vyjde na 1 366 000 Kč, což znamená návratnost investice nejpozději do dvou let. Jedná se spíše ale o zpřesněný odhad, jelikož sledování nákladů nebylo v průběhu jednoměsíčního sledování zcela zaznamenáno. Proto se skutečná doba návratnosti může mírně lišit. Pro získání přesné doby návratnosti, je zapotřebí dlouhodobějšího přesného sledování nákladovosti. Uvážím-li životnost stroje, který při dodržení servisních pokynů výrobce dosahuje životnosti 10 i více let, jedná se i z ekonomického hlediska o výhodnou investici.

Často se stává, že rozhodnutí o nákupu ovlivňuje strach kupující společnosti z nedostatečného využití kapacity pořizované technologie. Tuto obavu může v tomto případě zmírnit nabídka zakázkového měření spolupracujícím výrobním společností v okolí sídla firmy, která CMM techniku pořizuje. To sníží jak nákladovost celé investice, tak i dobu návratnosti. Pokud bude firma provádět toto měření objektivně a s vysokou pečlivostí kvalifikovaným personálem, může si tím zajistit celkem významný finanční přínos i do budoucna.

Závěrem bych tedy nasazení souřadnicové měřicí techniky doporučil, jelikož by kvalitu výroby celého výrobního sortimentu dostala na vyšší úroveň. Zároveň bych ale doporučil detailnější sledování celého procesu výroby, zejména z hlediska nákladů. To by poskytlo možnost detailnějších investičních propočtů.



## 11. Závěr

Tato diplomová práce se věnovala nasazením souřadnicové měřicí techniky do reálného oddělení kontroly kvality. V první části jsem stručně představil firmu KBHCZ s.r.o., která velmi ochotně poskytla všechny podklady pro tvorbu této práce. Uvedl jsem historii společnosti a jejich výrobní zaměření.

Následně jsem představil CMM techniku, její princip a možnosti, které do výroby přináší. Dále bylo nastíněno základní rozdělení CMM techniky s rozdělením dle jednotlivých typ. Ve stručnosti byla popsána funkčnost uvedených konstrukčních provedení. Nemalou pozornost jsem věnoval i dostupné senzorce. Snímací systémy jsem rozdělil na kontaktní a bezkontaktní. U většiny snímačů byly uvedeny aktuální vývojové trendy, kterým se vývoj těchto systémů ubírá.

V další kapitole jsem se věnoval analýze systémů měření. Popsal jsem základní předpoklady, které musím proces měření splňovat. Provedl jsem definici, jakých chyb se můžeme v měření dopustit a jak mohou výslednou variabilitu a celý proces měření ovlivnit. Velká pozornost byla věnována přehlednému rozdělení charakteristik chyb, jako jsou strannost, reprodukovatelnost, opakovatelnost, atd.

Následně jsem svou pozornost přenesl na pravidla prokazování shody a neshody se specifikacemi. Velmi podrobně jsem představil a vysvětlil graf, kdy součást vyhovuje požadovaným specifikacím a to z pohledu designéra a z pohledu pracovníka kontroly. Rovněž bylo vysvětleno, co všechno může způsobit velmi vysoká variabilita měření celému výrobnímu programu a jaké škody může takto vysoká variabilita způsobit z hlediska nákladů

S vyhodnocením nákladů měřicího procesu úzce souvisí stanovení způsobilosti měřidel pomocí koeficientu způsobilosti měřidla. Nastínil jsem podmínky, které musí měřidlo splňovat, aby bylo způsobilé. Byly uvedeny dvě metody, vedoucí ke stanovení způsobilosti. Nemalá pozornost byla věnována také rozdělení způsobilosti měřidla z hlediska času.

Další kapitola již byla věnována analýze současnému stavu výroby ve společnosti KBHCZ. Cílem bylo zjistit, jaké technologie se při výrobě používají a jaké dosahují



přesnosti. Touto analýzou bylo zjištěno, že základním pilířem celé výroby jsou CNC obráběcí stroje. Následně jsem podobnou analýzu provedl i v oddělení kontroly kvality, kde bylo cílem zjistit, jak probíhá měření dílů, jestli jsou zařazeny mezioperační kontroly, jaké měřidla se k měření využívají a jaké jsou náklady na jejich údržbu.

Po provedení analýzy výroby jsem se zaměřil na spektrum vyráběných součástí. Cílem kapitoly bylo provést analýzu vyráběných součástí, a vysvětlit podstatu výběru výrobních představitelů. Pomocí P-Q diagramu jsem vysvětlil, jak se výběr výrobního představitele provádí a jaké parametry musí splňovat. Dále naznačen postup, který by měl být dodržen při tomto výběru. Zde jsem také provedl určení součástí, které byly následně podrobeny měření. V této kapitole je uvedeno také vyčíslení přibližných nákladů, které jsou spojené se stávajícím stavem výroby z hlediska oprav chybně vyhodnocených dílů, či dílů, které prošly kontrolou a způsobily problémy např. při montáži. Údaje byly získány na základě jednoměsíčního sledování časů, který daný pracovník strávil při řešení tohoto problému. Ke stanovení částky byly použity dostupné informace o průměrných hodinových sazbách.

Po určení těchto nákladů jsem přistoupil k realizaci samotného srovnávacího měření. Vybraní představitelé byli nejdříve změřeni, dle předem stanovené metodiky v měrovém středisku v sídle společnosti KBHCZ a následně byli přepraveni do měrového střediska Carl Zeiss na FS ČVUT, kde bylo provedeno měření na CMM. Výsledkem bylo srovnání variability a způsobilosti mezi jednotlivými systémy měření a ekonomické zhodnocení zavedení tohoto systému měření do výroby ve společnosti KBHCZ.

V poslední části této práce jsem již provedl zpracování získaných dat a jejich vyhodnocení. Bylo zjištěno, že variabilita a způsobilost dosud používaných měřidel je značně vysoká a není tedy vhodná pro měření přesných výrobků. Výsledky dále ukázaly výhodnost zavedení souřadnicové měřicí techniky. Zvýší se tím efektivita kontroly produktů a sníží se tím vícenáklady na odstranění odhalených, ale i neodhalených problémů ve stávající výrobě. Nákladovost byla stanovena na 1 366 000 Kč a doba návratnosti vychází přibližně na dva roky.



## Použitá literatura

- [1] BOSCH, John A. *Coordinate measuring machines and systems*. New York: M. Dekker, 1995, xi, 444 p. ISBN 08-247-9581-4.
- [2] ČEPOVÁ, Lenka a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Legislativa ve strojírenské metrologii a přesné měření 3D ploch: studijní opora*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2011, 125 s. ISBN 978-80-248-2514-4.
- [3] Coordinate measuring machine: horizontal arm. *Direct Industry* [online]. 2015 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/carl-zeiss-industrielle-messtechnik-gmbh/coordinate-measuring-machines-cmm-horizontal-arm-5693-52339.html>
- [4] SagnesAS: Zeiss Duramax. *SagnesAS* [online]. 2015 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://sagne-mecanique.com/index.php/9-news/23-zeiss-duramax>
- [5] Carl Zeiss: Průmyslová měřicí technika. *Carl Zeiss* [online]. 2015 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: [http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs\\_cz/produkty/systemy/large-cmms/mmz-b.html](http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/produkty/systemy/large-cmms/mmz-b.html)
- [6] Metrology Direct. *Metrology Direct* [online]. 2015 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.measureshop.biz/en/measuring-systems/cmms/high-accuracy-bridge-type-cmm.html>[http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs\\_cz/produkty/systemy/large-cmms/mmz-b.html](http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/produkty/systemy/large-cmms/mmz-b.html)
- [7] HEXAGON METROLOGY. *Hexagon metrology: Rameno Romer* [online]. 2014. vyd. [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: [http://www.hexagonmetrology.cz/Novinky\\_86.htm?id=5087#.VRmwnnmJjIU](http://www.hexagonmetrology.cz/Novinky_86.htm?id=5087#.VRmwnnmJjIU)
- [8] PROKOP, Martin. Co je laser tracker a jak se s ním měří?. TOPMES S.R.O. [online]. 2013 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z: [http://www.topmes.cz/O\\_firme/Docs/ke\\_stazeni/09\\_Co\\_je\\_laser\\_tracker.pdf](http://www.topmes.cz/O_firme/Docs/ke_stazeni/09_Co_je_laser_tracker.pdf)
- [9] Measure tridimensionnelle : api laser tracker 3. HELLOPRO.FR. *HelloPro.fr* [online]. 2013 [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://www.hellopro.fr/mesure-tridimensionnelle-api-laser-tracker-3-2016624-491963-produit.html>
- [10] *Justmetrology: Metrology product news* [online]. 2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <https://justmetrology.wordpress.com/category/metrology-product-news/>
- [11] MSP METROLOGY. *Multisensor Measuring Machines Zeiss-O-Inspect 322* [online]. 2014 [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://mspmetrology.com/msp/products/93/Multisensor-Measuring-Machines-Zeiss-O-Inspect-322-442>



- [12] Nikon: *Nikon metrology features* [online]. 2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://blog.nikonmetrology.com/blog/nikon-metrology-features-mca-ii-portable-scanning-cmm-arm-at-the-international-motorsports-industry-show/>
- [13] CHRISTOPH, Ralf a Hans Joachim NEUMANN. Multisenzorová souřadnicová měřicí technika. Uherské Hradiště: L.V. Print, 2008, 106 s.
- [14] *Direct Industry* [online]. 2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/carl-zeiss-industrielle-messtechnik-gmbh/cmm-touch-probes-3d-5693-556271.html>
- [15] *Thome Präzision* [online]. 2015. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.thome-precision.com/Renishaw-SP80.html>
- [16] MM průmyslové spektrum: Senzorová hlava Zeiss VAST XTR gold. *MM průmyslové spektrum*. 2012, (9): 1 str. Dostupné také z: <http://www.mmspektrum.com/navsteva/senzorova-hlava-zeiss-vast-xtr-gold.html>
- [17] Gerald Geake: Technical Illustration. *Gerald Geake* [online]. 2014 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://www.geraldgeake.co.uk/images/renscan\\_lg.jpg](http://www.geraldgeake.co.uk/images/renscan_lg.jpg)
- [18] Carl Zeiss: Industrial metrology. *Carl Zeiss* [online]. 2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs\\_cz/produkty/senzory.html](http://www.zeiss.cz/industrial-metrology/cs_cz/produkty/senzory.html)
- [19] Hexagon Metrology: Bezkontaktní snímače. *Hexagon Metrology* [online]. 2015 [cit. 2015-05-18]. Dostupné z: [http://www.hexagonmetrology.cz/Bezkontaktni-snimace\\_533.htm#.VVpNVXmJmT](http://www.hexagonmetrology.cz/Bezkontaktni-snimace_533.htm#.VVpNVXmJmT)
- [20] FABIÁN, F., V. HORÁLEK, V. CHMELÍK, J. CHODOUNSKÝ, J. KRÁL, J. KŘEPELA a J. MICHÁLEK. ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST. *Statistické metody řízení jakosti*. první. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007.
- [21] ČSN EN ISO 14253 - 1. *Geometrické požadavky na výrobky: Pravidla rozhodování o prokazování shody a neshody se specifikacemi*. Vydání první. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [22] PETRAŠOVÁ, Ivana. *Analýza systémů měření (MSA)*. 4. vydání. Praha 1: Česká společnost pro jakost, 2011, ISBN 978-80-02-02326-5.
- [23] ZELENKA, Antonín, Mirko KRÁL. ČVUT FS. *Projektování výrobních systémů*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 1995. ISBN 80-01-01302-2.



## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Sídlo společnosti KBHCZ s.r.o. ....	11
Obrázek 2 - Paletový řetězový dopravník .....	11
Obrázek 3 - Automatický zásobník pro výměnu nástrojů.....	12
Obrázek 4 - Rovnací stroj pro klikové hřídele .....	12
Obrázek 5 - Souřadné systémy stroje a součásti .....	15
Obrázek 6 - Základní konstrukční prvky CMM [2] .....	16
Obrázek 7 – Stojanová konstrukce CMM[3] .....	16
Obrázek 8 - CMM výložníkové konstrukce Zeiss Duramax [4].....	17
Obrázek 9 – CMM portálového typu Zeiss MMZB [5] .....	17
Obrázek 10 – Mostový CMM Zeiss Prismo Navigator s pohyblivým mostem [6].....	18
Obrázek 11 - Měřicí rameno vybavené dotykovým snímačem [7].....	19
Obrázek 12 - Laser tracker [9].....	20
Obrázek 13 – Manuální kamerový systém z produkce Hexagon Metrology – typ WLS 400M [10].....	20
Obrázek 14 – Multisenzorový CMM Carl Zeiss O- Inspect [11] .....	21
Obrázek 15 – Multisenzorové měřicí rameno Metris [12] .....	22
Obrázek 16 – druhy snímací techniky .....	22
Obrázek 17 – Schéma spínacího snímacího systému .....	23
Obrázek 18 – Pevný skenovací systém Vast společnosti Carl Zeiss [14] a SP80 od společnosti Renishaw [15] .....	24
Obrázek 19 – Polohovatelný skenovací systém Vast XTR společnosti Carl Zeiss .....	25
Obrázek 20 – Indexovatelná snímací hlava Renishaw Renscan [17] .....	25
Obrázek 21 – Optické snímací systémy: Zleva Zeiss LineScan, Zeiss ViScan, Hexagon HP- L a Hexagon HP-C-VE Vison Sensor [18] [19] .....	26
Obrázek 22 – Obecné schéma procesu <sup>[20]</sup> .....	28
Obrázek 23 – Grafické znázornění měřených hodnot [20].....	30
Obrázek 24 – Deformace posuvného měřítka způsobená neúměrnou měřicí silou. (toto je možné i u mikrometru i dalších měřidel) [21] .....	31
Obrázek 25 – Grafické znázornění opakovatelnosti naměřených hodnot [20].....	31
Obrázek 26 – Grafické znázornění reprodukovatelnosti měření [20] .....	32
Obrázek 27 – Grafické znázornění stability měření [20] .....	33





Obrázek 28 – Nejistota měření – zmenšuje pole shody i pole neshody [21] .....	35
Obrázek 29 – Vertikální frézovací centrum Traveler .....	40
Obrázek 30 – Vertikální frézovací centrum Sprinter .....	41
Obrázek 31 – Vertikální frézovací centrum MAS MCV 754 Quick .....	41
Obrázek 32 – Vertikální frézka Bridgeport VMC 760.....	42
Obrázek 33 – Horizontální vyvrtávačka WHV 110 .....	42
Obrázek 34 – CNC soustruhy ve výrobě KBHCZ – Vlevo MAS Masturn 50, Vpravo Fanuc M 400 CNC .....	43
Obrázek 35 - Univerzální hrotová bruska BHU 32/1000 (vlevo nahoře), segmentová rovinná bruska (vpravo nahoře), Univerzální rovinná bruska ZVL (dole).....	43
Obrázek 36 – Sady kalibrů pro kontrolu otvorů v oddělení kontroly .....	44
Obrázek 37 – CMM Zeiss Numerex.....	45
Obrázek 38 – P-Q diagram a jeho druhy.....	47
Obrázek 39 – Příklad P-Q diagramu .....	49
Obrázek 40 – Zvolené výrobky pro srovnání měřicího procesu v KBHCZ.....	50
Obrázek 41 – CMM Prismo v měrovém středisku ČVUT .....	55
Obrázek 42 – Použité konfigurace snímačů.....	55
Obrázek 43 – Znázornění charakteristiky 1 .....	56
Obrázek 44 - Zobrazení měřených bodů a variability měřidel v tolerančním poli průměru 12m6.....	57
Obrázek 45 – Znázornění charakteristiky 2 .....	58
Obrázek 46 - Zobrazení měřených bodů a variability měřidel v tolerančním poli průměru 14H7.....	59
Obrázek 47 – Ukázka charakteristiky č. 3 .....	60
Obrázek 48 - Zobrazení měřených bodů a variability měřidel v tolerančním poli geometrické tolerance kolmosti.....	61
Obrázek 49 – Znázornění charakteristiky 4 .....	62
Obrázek 50 - Zobrazení měřených bodů a variability měřidel v tolerančním poli polohy středu otvoru $\varnothing 62 + 0,02$ mm.....	63
Obrázek 51 – Srovnání způsobilosti měření vybraných charakteristik.....	65



## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Vyhodnocení časových nákladů na odstranění neshod se specifikacemi....	51
Tabulka 2 – Nákladový propočet .....	52
Tabulka 3 – Naměřená a vypočtená data charakteristiky 1 – průměr 12m6 .....	56
Tabulka 4 - Naměřená a vypočtená data charakteristiky 2 – průměr 14H7.....	58
Tabulka 5 - Naměřená a vypočtená data charakteristiky 3 – Kolmost .....	60
Tabulka 6 - Naměřená a vypočtená data charakteristiky 3 – poloha .....	62

## Seznam použitých zkratk

CMM	[-]	Souřadnicový měřicí stroj
LSL	[mm]	Dolní mezní rozměr
USL	[mm]	Horní mezní rozměr
$C_g$	[-]	Koeficient způsobilosti měřidla
$C_{gk}$	[-]	Koeficient způsobilosti procesu
T	[mm]	Šíře tolerančního pole
$X_r$	[mm]	Výběrový průměr výsledků měření kontrolního etalonu
$\bar{x}$	[mm]	Výběrový aritmetický průměr
$S_a$	[mm]	Směrodatná odchylka
$C_p$	[-]	Způsobilost procesu
$C_m$	[-]	Způsobilost stroje
GRR	[-]	Analýza opakovatelnosti a reprodukovatelnosti měřidla



Nasazení CMM technologií v rámci kontroly kvality v malém a středním podniku  
Příloha 1 – přehled nejpoužívanějších měřidel v KBHCZ a jejich náklady na údržbu

Příloha 1 - Přehled nejužívanějších měřidel a přibližné náklady na jejich údržbu

Typ měřidla	počet měřidel	Rozlišovací schopnost	Údržba		náklady na pořízení nového měřidla	průměrná životnost	Způsob údržby / kalibrace	Perioda kalibrace/ čištění
			Náklady na údržbu za 1ks	Celk. náklady na údržbu				
Posuvná měřítka - digitální	15	10 µm	350,00 Kč	5 250,00 Kč	od 2500 Kč/ks	cca 1 rok	Nekalibrují se	0
Posuvná měřítka - klasická	10	50 µm	200,00 Kč	2 000,00 Kč	od 550 Kč/ks	cca 1 rok	Nekalibrují se	0
úhlooměry	10	0,1°	350,00 Kč	2 500,00 Kč	od 5200 Kč/ks	není známa - zatím se používají původní	Nekalibrují se	0
Mikrometr	20	0,5 µm	250,00 Kč	5 000,00 Kč	od 800 Kč/ks	není známa - zatím se používají původní	Čištění mikrometrického šroubu dříve odbornou firmou dnes operátorem	1-2 x /rok
Dutinoměry	10	0,5 µm	400,00 Kč	4 000,00 Kč	od 350 Kč/ks	není známa - zatím se používají původní	Nekalibrují se	0
Kalibrační trny	50	dána typem kalibru	20,00 Kč	1 000,00 Kč	od 500 Kč/ks	není známa - zatím se používají původní	Kalibrace prováděna operátorem na komparátoru	1-2x/rok
Kalibrační kroužky	20	dána typem kroužku	25,00 Kč	500,00 Kč	od 500 Kč/ks	není známa - zatím se používají původní	Kalibrace prováděna operátorem na komparátoru	1-2x/rok
Kalibrační matky (s metrickým závitem)	30	dána typem kroužku	25,00 Kč	700,00 Kč	od 1000 Kč/ks	není známa - zatím se používají původní	Kontrolní měření operátorem zda kalibr vyhovuje	1-2x/rok
Kalibrační trn - Závitový	15	dána typem kalibru	20,00 Kč	300,00 Kč	od 1000 Kč/ks	není známa - zatím se používají původní	Kontrolní měření operátorem zda kalibr vyhovuje	1-2x/rok
Rockwellův tvrdoměr	1	0,5 HRC	5 000,00 Kč	5 000,00 Kč	od 60 000 Kč	není známa - zatím se používají původní	Výměna vnikacího tělíska	1x za 2-3 roky
Číselníkový úchylkoměr	5	0,01 mm	800,00 Kč	4 000,00 Kč	od 2900 Kč/ks	není známa - zatím se používají původní	Čištění vnitřní mechaniky	1-2x/rok
Sada koncových měrek	3	-----	1 000,00 Kč	4 000,00 Kč	od 11 000 Kč/ sada	není známa - zatím se používají původní	Čištění měrek dříve odbornou firmou dnes operátorem	1-2x/rok
			celkem	34 250,00 Kč				

Zdroje nákladů na údržbu a na pořízení nových měřidel:

<http://www.mbcaltibr.cz/>

<http://www.bo-import.cz/>

<http://www.mitutoyo.cz/>



Nasazení CMM technologií v rámci kontroly kvality v malém a středním podniku  
Příloha 2 - Statistické výsledky měření

Komunální měřidla		měřeno		2.2.2015												
Platte		teplota		21°C												
13200-0125-028																
Měrové.stř. KBH																
Char. číslo	Jmen. hodnota	Tolerance		Šíře tol. Pole	Operátor 1			Operátor 2			Statistické hodnoty				koef Cg	Způsob. Měřidla
		horní	dolní		Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Min	Max	Rozpětí	Směr. Odch		
1	80,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	79,8500	79,8900	79,8700	79,9000	79,8400	79,8800	79,8400	79,9000	0,0600	0,0232	0,3237494	Ne
2	50,0000	0,2000	-0,2000	0,4000	50,1100	50,1000	50,0900	50,0800	50,0900	50,1000	50,0800	50,1100	0,0300	0,0105	0,9534626	Ne
3	15,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	14,9500	14,9100	14,9300	14,9600	14,9200	14,9500	14,9100	14,9600	0,0500	0,0197	0,3814107	Ne
4	62,0000	0,2000	0,0000	0,2000	61,9980	62,0000	61,9970	62,0000	61,9950	61,9980	61,9950	62,0000	0,0050	0,0019	2,6352314	Ano
5	29,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	29,0800	29,0500	29,0900	29,1000	29,0800	29,0500	29,0500	29,1000	0,0500	0,0207	0,3616821	Ne
6	37,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	---	---	---	---	---	---
7	90,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	89,9800	90,0000	89,9900	89,9600	89,9500	89,9900	89,9500	90,0000	0,0500	0,0194	0,3864405	Ne
8	5,7000	0,1500	-0,1500	0,3000	5,6750	5,6750	5,6850	5,7000	5,6700	5,6700	5,6700	5,7000	0,0300	0,0116	0,6474988	Ne
9	20,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	18,7000	18,8000	18,8000	18,8500	18,9000	18,7500	18,7000	18,9000	0,2000	0,0707	0,106066	Ne
10	10,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	10,2100	10,2300	10,2000	10,2400	10,2100	10,2300	10,2000	10,2400	0,0400	0,0155	0,4841229	Ne
11	15,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	15,1000	15,0000	15,0000	15,0500	15,0000	15,0600	15,0000	15,1000	0,1000	0,0418	0,1792843	Ne
12	20,0000	0,0000	-0,1000	0,1000	19,9300	19,9200	19,9100	19,9200	19,9400	19,9100	19,9100	19,9400	0,0300	0,0117	0,2138497	Ne
13	M10	0,1500	-0,1500	0,3000	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	---	---	---	---	---	---
14	0,0000	0,0000	0,0200	0,0200	0,0020	0,0030	0,0020	0,0040	0,0050	0,0030	0,0020	0,0050	0,0030	0,0012	0,4276995	Ne

CMM		měřeno		5.2.2015									
Platte		teplota		20°C									
13200-0125-028													
Měrové.stř. FS ČVUT													
Stroj: Zeiss Prismo													
Char. číslo	Jmen. hodnota	Tolerance		Šíře tol. Pole	Nameřené hodnoty			Statistické hodnoty				koef Cg	Způsob. Měřidla
		horní	dolní		Měření 1	Měření 2	Měření 3	Min	Max	Rozpětí	Směr. Odch		
1	80,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	79,8721	79,8702	79,8696	79,8696	79,8721	0,0025	0,0013	5,746606	Ano
2	50,0000	0,2000	-0,2000	0,4000	50,1127	50,1123	50,1123	50,1123	50,1127	0,0004	0,0002	43,30127	Ano
3	15,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	14,8535	14,8538	14,8533	14,8533	14,8538	0,0005	0,0003	29,80198	Ano
4	62,0000	0,2000	0,0000	0,2000	61,9998	62,0059	62,0059	61,9998	62,0059	0,0061	0,0035	1,419714	Ano
5	29,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	29,0796	29,0802	29,0803	29,0796	29,0803	0,0007	0,0004	19,81015	Ano
6	37,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	37,0117	37,0122	37,0122	37,0117	37,0122	0,0005	0,0003	25,98076	Ano
7	90,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	89,9994	90,0000	90,0000	89,9994	90,0000	0,0006	0,0003	21,65064	Ano
8	5,7000	0,1500	-0,1500	0,3000	5,6640	5,6642	5,6642	5,6640	5,6642	0,0002	0,0001	64,95191	Ano
9	20,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
10	10,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	9,7220	9,7212	9,7207	9,7207	9,7220	0,0013	0,0007	11,43739	Ano
11	15,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	14,9421	14,9295	14,9416	14,9295	14,9421	0,0126	0,0071	1,051207	Ano
12	20,0000	0,0000	-0,1000	0,1000	19,8970	19,8973	19,8972	19,8970	19,8973	0,0003	0,0002	16,36634	Ano
13	M10	0,1500	-0,1500	0,3000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
14	0,0000	0,0000	0,0200	0,0200	0,0129	0,0130	0,0128	0,0128	0,0130	0,0002	0,0001	5	Ano

Poznámky:

měřidlo je způsobilé pokud Cg ≥ 1,0000  
 Útako označených charakteristik není dána šíře tol. pole výkresovou dokumentací a je volena 0,3 mm (Uvedené koef. Cg platí pouze pro šíři tol. Pole 0,3 mm)  
 Nemeřeno pro nedostatečnou vypovídací hodnotu, či pro velmi malý rozměr, kde by přesnost měření nedosahovala pož. Hodnot. Zde je nutné použít jinou metodu měření



## Nasazení CMM technologií v rámci kontroly kvality v malém a středním podniku

### Příloha 2 - Statistické výsledky měření

Komunální měřidla		měřeno	2.2.2015													
Welle		teplota	21°C													
13200-0126-030																
Měrové.stř. KBH																
Char. číslo	Jmen. hodnota	Tolerance		Šíře tol. Pole	Operátor 1			Operátor 2			Statistické hodnoty				koef Cg	Způsob. Měřidla
		horní	dolní		Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Min	Max	Rozpětí	Směr. Odd.		
1	130,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	130,140	130,150	130,150	130,120	130,150	130,130	130,1200	130,1500	0,0300	0,0126	0,5929271	Ne
2	52,5000	0,1500	-0,1500	0,3000	52,600	52,500	52,650	52,650	52,560	52,600	52,5000	52,6500	0,1500	0,0572	0,1312227	Ne
3	52,5000	0,1500	-0,1500	0,3000	52,700	52,650	52,600	52,550	52,530	52,540	52,5300	52,7000	0,1700	0,0683	0,1097496	Ne
4	28,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	28,000	28,050	28,050	28,030	28,010	28,050	28,0000	28,0500	0,0500	0,0223	0,3365339	Ne
5	28,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	28,100	28,050	28,050	28,040	28,050	28,040	28,0400	28,1000	0,0600	0,0226	0,3321056	Ne
6	10,2000	0,1500	-0,1500	0,3000	10,300	10,350	10,400	10,320	10,400	10,370	10,3000	10,4000	0,1000	0,0413	0,1815461	Ne
7	10,2000	0,1500	-0,1500	0,3000	10,350	10,300	10,350	10,350	10,340	10,310	10,3000	10,3500	0,0500	0,0225	0,3331962	Ne
8	8,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	8,400	8,450	8,500	8,400	8,500	8,500	8,4000	8,5000	0,1000	0,0492	0,1525643	Ne
9	8,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	8,450	8,350	8,300	8,350	8,450	8,400	8,3000	8,4500	0,1500	0,0606	0,1238584	Ne
10	18,000	0,0180	0,0000	0,0180	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	---	---	---	---	---	---
11	M12x1	0,1500	-0,1500	0,3000	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	---	---	---	---	---	---
12	12,0000	0,0030	-0,0020	0,0050	12,000	11,998	11,999	11,999	11,998	12,000	11,9980	12,0000	0,0020	0,0009	0,1397542	Ne
13	12,0000	0,0030	-0,0020	0,0050	12,002	12,001	12,003	12,001	12,002	12,003	12,0010	12,0030	0,0020	0,0009	0,1397542	Ne
14	18,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	17,980	17,980	17,990	17,990	17,990	17,980	17,9800	17,9900	0,0100	0,0055	1,3693064	Ano
15	18,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	18,050	18,060	18,050	18,040	18,050	18,050	18,0400	18,0600	0,0200	0,0063	1,1858541	Ano
16	5,7000	0,1500	-0,1500	0,3000	5,770	5,780	5,800	5,750	5,750	5,700	5,8000	5,7000	0,1000	0,0343	0,2186425	Ne
17	25,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	25,110	25,100	25,080	25,110	25,080	25,080	25,0800	25,1100	0,0300	0,0151	0,4981584	Ne
18	25,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	25,100	25,110	25,090	25,070	25,100	25,100	25,0700	25,1100	0,0400	0,0138	0,5441072	Ne
19	0,0000	0,0200	0,0000	0,0200	0,030	0,028	0,031	0,029	0,030	0,025	0,0250	0,0310	0,0060	0,0021	0,2339755	Ne
20	0,0000	0,0200	0,0000	0,0200	0,002	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002	0,0020	0,0030	0,0010	0,0005	0,9682458	Ne
21	3,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	3,030	3,010	3,020	3,030	3,000	3,010	3,0000	3,0300	0,0300	0,0121	0,6192921	Ne

CMM		měřeno	10.2.2015													
Welle		teplota	22°C													
13200-0126-030																
Měrové.stř. FS ČVUT		Stroj: Zeiss Prismo														
Char. číslo	Jmen. hodnota	Tolerance		Šíře tol. Pole	Nameřené hodnoty			Statistické hodnoty				koef Cg	Způsob. Měřidla			
		horní	dolní		Měření 1	Měření 2	Měření 3	Min	Max	Rozpětí	Směr. Odd.					
1	130,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	130,1026	130,1019	130,1025	130,1019	130,1026	0,0007	0,0004	19,81015	Ano			
2	52,5000	0,1500	-0,1500	0,3000	52,5869	52,5874	52,5873	52,5869	52,5874	0,0005	0,0003	28,34734	Ano			
3	52,5000	0,1500	-0,1500	0,3000	52,5304	52,5294	52,5303	52,5304	52,5304	0,0010	0,0006	13,61762	Ano			
4	28,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	28,0558	28,0556	28,0558	28,0556	28,0558	0,0002	0,0001	64,95191	Ano			
5	28,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	28,0150	28,0144	28,0154	28,0144	28,0154	0,0010	0,0005	14,90099	Ano			
6	10,2000	0,1500	-0,1500	0,3000	10,2298	10,2289	10,2319	10,2289	10,2319	0,0030	0,0015	4,871774	Ano			
7	10,2000	0,1500	-0,1500	0,3000	9,9937	9,9925	9,9940	9,9925	9,9940	0,0015	0,0008	9,449112	Ano			
8	8,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	8,0567	8,0557	8,0590	8,0557	8,0590	0,0033	0,0017	4,432261	Ano			
9	8,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	8,1338	8,1327	8,1322	8,1322	8,1338	0,0016	0,0008	9,162708	Ano			
10	18,000	0,0180	0,0000	0,0180	18,0066	18,0072	18,0074	18,0066	18,0074	0,0008	0,0004	1,080865	Ano			
11	M12x1	0,1500	-0,1500	0,3000	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
12	12,0000	0,0030	-0,0020	0,0050	11,9998	12,0018	12,0022	11,9998	12,0022	0,0024	0,0013	0,097214	Ne			
13	12,0000	0,0030	-0,0020	0,0050	12,0034	12,0037	12,0037	12,0034	12,0037	0,0003	0,0002	0,721688	Ne			
14	18,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	17,9845	17,9848	17,9849	17,9845	17,9849	0,0004	0,0002	36,02883	Ano			
15	18,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	18,0478	18,0487	18,0487	18,0478	18,0487	0,0009	0,0005	14,43376	Ano			
16	5,7000	0,1500	-0,1500	0,3000	5,7732	5,7751	5,7752	5,7732	5,7752	0,0020	0,0011	6,655174	Ano			
17	25,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	25,0526	25,0522	25,0520	25,0520	25,0526	0,0006	0,0003	24,54951	Ano			
18	25,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	25,0617	25,0617	25,0618	25,0617	25,0618	0,0001	0,0001	129,9038	Ano			
19	0,0000	0,0200	0,0000	0,0200	0,0112	0,0112	0,0114	0,0112	0,0114	0,0002	0,0001	4,330127	Ano			
20	0,0000	0,0200	0,0000	0,0200	0,0114	0,0102	0,0110	0,0102	0,0114	0,0012	0,0006	0,818317	Ne			
21	3,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Poznámky:

měřidlo je způsobilé pokud Cg ≥ 1,0000  
 Útako označených charakteristik není dána šíře tol. pole výkresovou dokumentací a je volena 0,3 mm (Uvedené koef. Cg platí pouze pro šíři tol. Pole 0,3 mm)  
 Nemeřeno pro nedostačnou vypovídací hodnotu, či pro velmi malý rozměr, kde by přesnost měření nedosahovala pož. Hodnot. Zde je nutné použít jinou metodu měření  
 Nevyhodnocuje se



Nasazení CMM technologií v rámci kontroly kvality v malém a středním podniku  
Příloha 2 - Statistické výsledky měření

Komunální měřidla		měřeno 2.2.2015														
Stift		teplota 21°C														
13200-0125-038																
Měrové stf. KBH																
Char. Číslo	Jmen. hodnota	Tolerance		Šíře tol. Pole	Operátor 1			Operátor 2			Statistické hodnoty				koef Cg	Způsob. Měřidla
		horní	dolní		Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Min	Max	Rozpětí	Směr. Odd.		
1	9,6	0,15	-0,15	0,3000	9,550	9,600	9,570	9,570	9,580	9,600	9,5500	9,6000	0,0500	0,0194	0,386441	Ne
2	10	0,005	-0,003	0,0080	10,000	10,000	10,001	10,000	10,000	10,010	10,0000	10,0100	0,0100	0,0040	0,049742	Ne
3	18	0,15	-0,15	0,3000	17,990	17,980	17,990	17,990	17,990	17,980	17,9800	17,9900	0,0100	0,0052	1,452369	Ano
4	12	0,018	0,007	0,0110	12,012	12,015	12,015	12,014	12,013	12,015	12,0120	12,0150	0,0030	0,0013	0,217407	Ne
5	M8	0,15	-0,15	0,3000	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	---	---	---	---	---	---
6	57	0,15	-0,15	0,3000	57,150	57,160	57,190	57,180	57,160	57,190	57,1500	57,1900	0,0400	0,0172	0,435439	Ne
7	30	0,15	-0,15	0,3000	30,050	30,100	30,150	30,100	30,060	30,160	30,0500	30,1600	0,1100	0,0450	0,166598	Ne
8	12	0,15	-0,15	0,3000	12,000	12,050	12,100	12,040	12,090	12,020	12,0000	12,1000	0,1000	0,0390	0,192371	Ne
9	9,5	0,15	-0,15	0,3000	10,300	10,100	10,200	10,250	10,110	10,150	10,1000	10,3000	0,2000	0,0797	0,094118	Ne
10	17	0,15	-0,15	0,3000	17,010	17,050	17,000	17,000	17,040	17,050	17,0000	17,0500	0,0500	0,0243	0,30877	Ne
11	14	0,2	0,1	0,3000	14,130	14,100	14,160	14,150	14,090	14,140	14,0900	14,1600	0,0700	0,0279	0,269119	Ne
12	1,1	0,15	-0,15	0,3000	1,110	1,110	1,110	1,130	1,110	1,140	1,1100	1,1400	0,0300	0,0133	0,564277	Ne
13	0,5	0,15	-0,15	0,3000	0,550	0,510	0,490	0,500	0,550	0,520	0,4900	0,5500	0,0600	0,0253	0,296464	Ne

CMM		měřeno 12.2.2015											
Stift		teplota 21°C											
13200-0125-038													
Měrové stf. FS ČVUT													
Stroj: Zeiss Prismo													
Char. Číslo	Jmen. hodnota	Tolerance		Šíře tol. Pole	Nameřené hodnoty			Statistické hodnoty				koef Cg	Způsob. Měřidla
		horní	dolní		Měření 1	Měření 2	Měření 3	Min	Max	Rozpětí	Směr. Odd.		
1	9,6	0,15	-0,15	0,3000	9,5733	9,5727	9,5722	9,5722	9,5733	0,0011	0,0006	13,61762	Ano
2	10	0,005	-0,003	0,0080	9,9980	10,0007	10,0005	9,9980	10,0007	0,0027	0,0015	0,13294	Ne
3	18	0,15	-0,15	0,3000	17,9908	17,9908	17,9906	17,9906	17,9908	0,0002	0,0001	64,95191	Ano
4	12	0,018	0,007	0,0110	12,0136	12,0136	12,0137	12,0136	12,0137	0,0001	0,0001	4,76314	Ano
5	M8	0,15	-0,15	0,3000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
6	57	0,15	-0,15	0,3000	57,0462	57,0468	57,0467	57,0462	57,0468	0,0006	0,0003	23,33141	Ano
7	30	0,15	-0,15	0,3000	30,1055	30,1057	30,1059	30,1055	30,1059	0,0004	0,0002	37,5	Ano
8	12	0,15	-0,15	0,3000	12,0868	12,0653	12,0657	12,0653	12,0868	0,0215	0,0123	0,609796	Ne
9	9,5	0,15	-0,15	0,3000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
10	17	0,15	-0,15	0,3000	16,9097	16,9263	16,9246	16,9097	16,9263	0,0166	0,0091	0,821206	Ne
11	14	0,2	0,1	0,3000	14,0061	14,0232	14,0235	14,0061	14,0235	0,0174	0,0100	0,75298	Ne
12	1,1	0,15	-0,15	0,3000	---	---	---	---	---	---	---	---	---
13	0,5	0,15	-0,15	0,3000	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Poznámky:

měřidlo je způsobilé pokud Cg z 1,0000  
 Utakto označených charakteristik není dána šíře tol. pole výkresovou dokumentací a je volena 0,3 mm (Uvedené koef. Cg platí pouze pro šíři tol. Pole 0,3 mm)  
 Nemeřeno pro nedostačnou vypovídací hodnotu, či pro velmi malý rozměr, kde by přesnost měření nedosahovala pož. Hodnot. Zde je nutné použít jinou metodu měření



Nasazení CMM technologií v rámci kontroly kvality v malém a středním podniku  
Příloha 2 - Statistické výsledky měření

Komunální měřidla		měřeno	2.2.2015													
Kolben		teplota	21°C													
13200-0125-043																
Měrové.stř. KBH																
Char. Číslo	Jmen. hodnota	Tolerance		Šíře tol. Pole	Operátor 1			Operátor 2			Statistické hodnoty				koef Cg	Způsob. Měřidla
		horní	dolní		Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 1	Měření 2	Měření 3	Min	Max	Rozpětí	Směr. Odd.		
1	50,0000	-0,0250	-0,0410	0,0160	49,970	49,960	49,965	49,960	49,970	49,950	49,9500	49,9700	0,0200	0,0076	0,05275	Ne
2	50,0000	-0,0250	-0,0410	0,0160	49,960	49,965	49,965	49,950	49,960	49,960	49,9500	49,9650	0,0150	0,0055	0,07303	Ne
3	40,2000	0,0000	-0,0620	0,0620	40,180	40,170	40,160	40,160	40,180	40,170	40,1600	40,1800	0,0200	0,0089	0,173295	Ne
4	20,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	19,980	19,975	19,980	19,970	19,980	19,980	19,9800	19,9800	0,0100	0,0042	1,792843	Ano
5	7,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	6,890	6,900	6,880	6,900	6,900	6,860	6,8600	6,9000	0,0400	0,0160	0,468141	Ne
6	6,0000	0,2000	0,0000	0,2000	6,120	6,110	6,110	6,100	6,120	6,120	6,1000	6,1200	0,0200	0,0082	0,612372	Ne
7	14,0000	0,0180	0,0000	0,0180	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	kalibr ok	---	---	---	---	---	
8	2,7000	0,1500	-0,1500	0,3000	2,910	2,610	2,930	2,650	2,800	2,900	2,6100	2,9300	0,3200	0,1397	0,053681	Ne
9	1,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	1,060	1,040	0,990	1,050	0,950	1,080	0,9500	1,0800	0,1300	0,0488	0,153843	Ne

CMM		měřeno	12.2.2015
Kolben		teplota	21°C
13200-0125-043			

Měrové stř. FS ČVUT		Stroj: Zeiss Prismo											
Char. Číslo	Jmen. hodnota	Tolerance		Šíře tol. Pole	Nameřené hodnoty			Statistické hodnoty				koef Cg	Způsob. Měřidla
		horní	dolní		Měření 1	Měření 2	Měření 3	Min	Max	Rozpětí	Směr. Odd.		
1	50,0000	-0,0250	-0,0410	0,0160	49,9647	49,9650	49,9651	49,9647	49,9651	0,0004	0,0002	1,921538	Ano
2	50,0000	-0,0250	-0,0410	0,0160	49,9650	49,9658	49,9672	49,9650	49,9672	0,0022	0,0011	0,359211	Ne
3	40,2000	0,0000	-0,0620	0,0620	40,1454	40,1454	40,1474	40,1454	40,1474	0,0020	0,0012	1,342339	Ano
4	20,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	19,9692	19,9689	19,9686	19,9686	19,9692	0,0006	0,0003	25	Ano
5	7,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	6,8994	6,8990	6,8986	6,8986	6,8994	0,0008	0,0004	18,75	Ano
6	6,0000	0,2000	0,0000	0,2000	6,1082	6,1087	6,1087	6,1082	6,1087	0,0005	0,0003	17,32051	Ano
7	14,0000	0,0180	0,0000	0,0180	14,0263	14,0264	14,0265	14,0263	14,0265	0,0002	0,0001	4,5	Ano
8	2,7000	0,1500	-0,1500	0,3000	2,7251	2,7262	2,7262	2,7251	2,7262	0,0011	0,0006	11,80944	Ano
9	1,0000	0,1500	-0,1500	0,3000	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Poznámky:

měřidlo je způsobilé pokud Cg ≥

1,0000

Útarkto označených charakteristik není dána šíře tol. pole výkresovou dokumentací a je volena 0,3 mm (Uvedené koef. Cg platí pouze pro šíři tol. Pole 0,3 mm)

Neměřeno pro nedostatečnou vypovídací hodnotu, či pro velmi malý rozměr, kde by přesnost měření nedosahovala pož. Hodnot. Zde je nutné použít jinou metodu měření