

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## **ALTERNATIVNÍ MĚŘENÍ ÚCHYLEK TVARU A POLOH PRO POTŘEBY VSTUPNÍ KONTROLY**

ALTERNATIVE MEASUREMENT OF SHAPE AND POSITION DEVIATIONS FOR NEEDS OF  
INCOMING INSPECTION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ALEŠ JAŠA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. OSKAR ZEMČÍK, CSc.**

BRNO 2008

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá možností, jak urychlit kontrolu nakupovaných dílců na vstupní kontrole ve firmě Bosch Diesel s.r.o. a případně i ušetřit za nákup nových strojů při rozšiřování výroby, aniž by utrpěla kvalitativní stránka samotné kontroly a bylo vše dle požadavku normy pro automobilový průmysl ISO/TS 16949. Veškerá praktická část byla zpracována na základě měření prováděných v měřicích laboratořích vstupní kontroly a oddělením QMM1.2 a výsledky byly vyhodnoceny statistickým softwarem od firmy Q-DAS qs-STAT ME 6.

### **Klíčová slova**

Úchylka tvaru, měření, způsobilost, vstupní kontrola

## **ABSTRACT**

This thesis deals with a possibility how to make a check of purchased components faster at the incoming inspection of the Bosch Diesel s.r.o. (Co., Ltd) and perhaps even how to save investment in new machines during expanding of production without quality compromises during the check itself, so that everything would proceed according to ISO/TS 16949 standard, valid for an automotive industry. The whole practical part has been elaborated on the basis of measurements done at the incoming inspection measuring laboratories and in cooperation with QMM1.2 department. The results have been evaluated by statistical software qs-STAT ME 6 by Q-DAS company.

### **Key words**

Formdeviation, measuring, capability, incoming inspection

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Jaša, Aleš. *Alternativní měření úchylek tvaru a poloh pro potřeby vstupní kontroly*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. s., příloh. Vedoucí práce Ing. Zemčík Oskar, CSc.

### Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma ALTERNATIVNÍ MĚŘENÍ ÚCHYLEK POLOH A TVARU PRO POTŘEBY VSTUPNÍ KONTROLY vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 15.05.2008

  
.....  
Aleš Jaša

## **Poděkování**

Děkuji tímto panu Ing. Oskaru Zemčíkovi, CSc., panu Zdeňku Pohankovi, panu Miroslavu Kružíkovi a kolektivu vstupní kontroly za pomoc, cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

**OBSAH**

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah.....	7
Úvod.....	8
1 Geometrické tolerance.....	10
1.1 Kruhovitost.....	11
1.1.1 Způsoby vyhodnocování kruhovitosti.....	11
1.2 Přímost.....	12
1.2.1 Způsoby vyhodnocování přímosti.....	13
1.3 Rovinnost.....	14
1.4 Rovnoběžnost.....	15
1.4.1 Tolerance rovnoběžnosti.....	15
1.5 Házení.....	15
1.5.1 Tolerance kruhového obvodového házení.....	16
1.5.2 Tolerance kruhového čelního házení.....	16
2 Způsobilost měřicích a kontrolních procesů.....	17
2.1 Metoda 1.....	18
2.2 Metoda 3.....	19
3 Vyhodnocování parametrů způsobilosti.....	19
3.1 Vyhodnocení hodnot $C_g$ a $C_{gk}$ pomocí etalonu.....	19
3.1.1 Kruhoměr – Formtester MMQ44 CNC.....	20
3.1.2 Kruhoměr – Závěr.....	23
3.1.3 Třísouřadnicový měřicí stroj (3D) - PRISMO.....	23
3.1.3 Třísouřadnicový měřicí stroj - Závěr.....	25
3.2 Vyhodnocení hodnot $C_g$ , $C_{gk}$ a %GRR pomocí dílu z výroby.....	26
3.2.1 Kruhoměr – Formtester MMQ44 CNC.....	28
3.2.1 Kruhoměr – Závěr.....	28
3.2.3 Třísouřadnicový měřicí stroj (3D) - PRISMO.....	28
3.2.4 Třísouřadnicový měřicí stroj (3D) - Závěr.....	31
Závěr.....	32
Seznam použitých zdrojů.....	33
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	34
Seznam příloh.....	35

## ÚVOD

Firma Bosch Diesel, s.r.o. Jihlava, Česká republika kompletuje vysokotlaká vstřikovací čerpadla pro vznětové motory ze součástí, které ve větší míře jsou dodávány externími dodavateli z různých zemí a kontinentů. O kvalitativní stránku těchto nakupovaných jednotlivých komponentů, se stará oddělení - vstupní kontrola (PUQ), kde mimochodem dochází i k měření vybraných rozměrů na dodávaných dílcích (vzorky A,B,C,D a sériové dílce).

S rostoucím požadavkem na zvyšování kvality nakupovaných dílců roste i požadavek na kvalitnější měřicí zařízení (ať už jsou to komunální měřidla nebo automatické měřicí stroje). Pokud vynecháme, že se zvyšující se kvalitou roste i pořizovací cena měřicích zařízení, musíme brát v potaz, že některá kontrolní měření vyžadují více času, což je z kvantitativního požadavku výroby nežádoucí.

Problémem u firmy Bosch je standard v měření úchylek tvaru, poloh, směru a házení, které se převážně měří na specializovaných měřidlech určených pro



Obr. 1 Mahr kruhoměr  
Formtester MMQ44 CNC

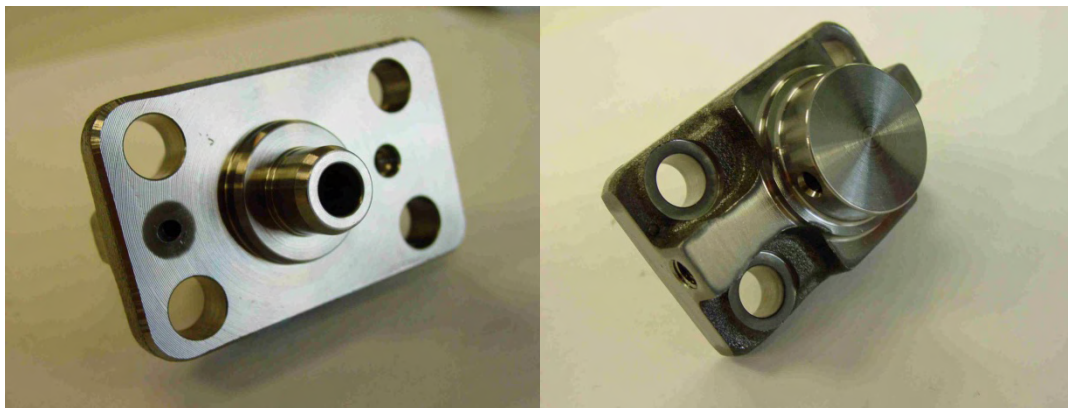


Obr. 2 Zeiss 3D  
Prismo 5

tato měření (Formtester-kruhoměr) u kterých jejich výrobci deklarují určitou přesnost a opakovatelnost výsledků měření. Přitom některé tolerance zmíněných úchylek by bylo schopno změřit i měřidlo s nižší přesností a opakovatelností výsledků měření (Prismo-třísouřadnicový měřicí stroj), u kterého potřebné informace pro provádění těchto měření nejsou běžně dokládány. Úkolem této bakalářské práce je proto zjistit, jaké nejmenší maximální tolerance zmíněných úchylek lze měřit na 3D-Prismu od firmy Zeiss.

Změna měřicího stroje z Formtesteru na Prismo by mohla být provedená tam, kde na kontrolovaném dílci jsou již třísouřadnicovým strojem (dále jen 3D) vyhodnocovány některé další (délkové) rozměry. Díky této změně vyhodnocování výsledků, by odpadlo přeupínání měřených dílců ze stroje na stroj a nové vyrovnávání měřeného dílce, které u kruhoměru značně prodlužuje čas měření. Navíc by se eliminoval čas čekání na samotné měření na kruhoměru, protože se málokdy stane, že je stroj volný a neměří se na něm již jiné dílce. Výhoda by též vznikla i při navyšování výroby (tím pádem nakupování většího množství dílců), protože by odpadla potřeba, přikupovat další kruhoměry, které jsou díky pomalejší schopnosti předávat operátorovi výsledky, více vytížené jak třísouřadnicové stroje, na kterých je stále určitá volná kapacita (vytíženost třísouřadnicových strojů dle dřívějšího časového měření vychází přes 60 %).

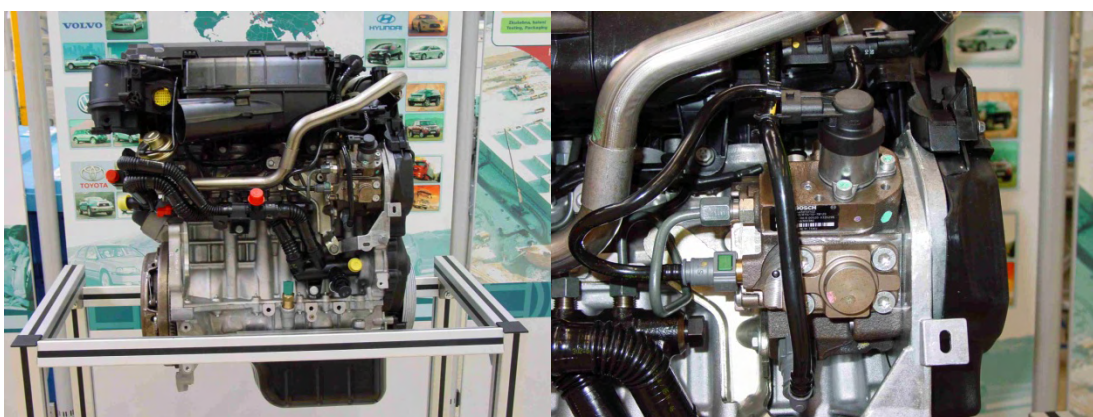
Jelikož vstupní kontrolou protéká denně velké množství jednotlivých dílců určených ke kontrole, bude tato práce pojednávat konkrétně o jednom komponentu čerpadla CP1H Zylinderkopf F 01M 100 558, který se nachází v systému CRS (Common Rail Systém). Tento díl dodává do jihlavského závodu pět dodavatelů. Jsou to: A.Berger GmbH&CoKG, Burgmaier HighTech, Kratzer GmbH&CoKG, Oberndörfer GmbH, Robert Bosch GmbH. Dodávaný díl je obrobek (polotovár výkovek), který se ve firmě Bosch kalí, brousí a posléze montuje.



Obr. 3 Zylinderkopf F 01M 100 558

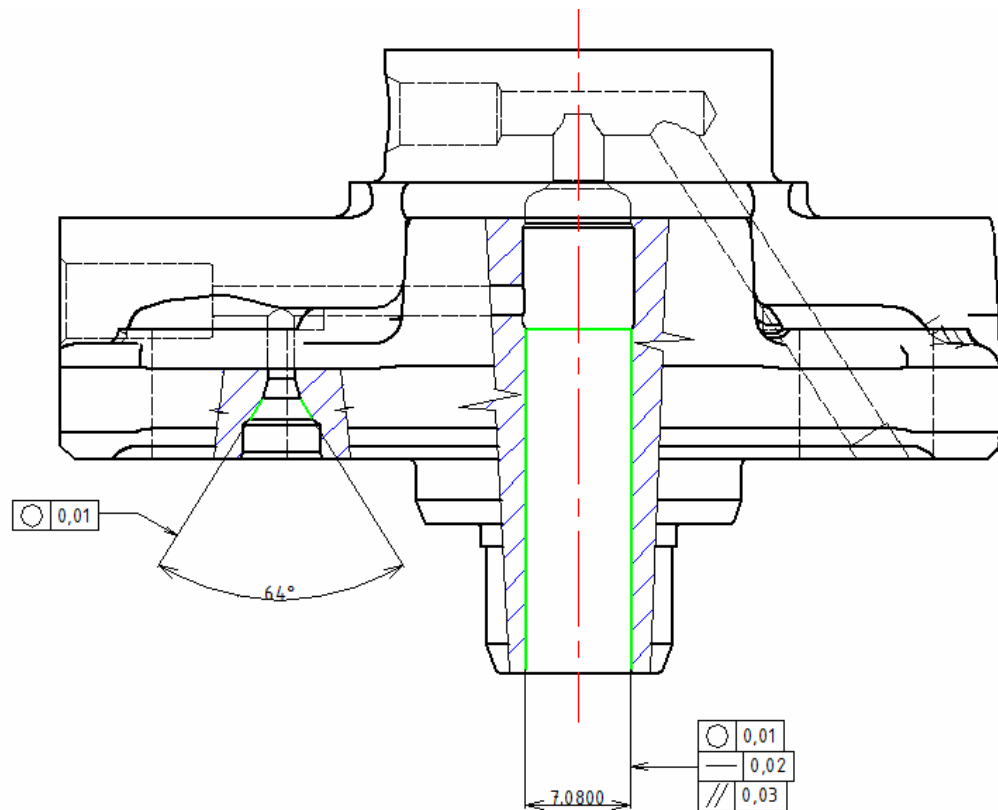


Obr. 4 Common Rail čerpadlo CP1H



Obr. 5 Umístění čerpadla v motoru

Na zmiňovaném dílci se na vstupní kontrole krom vybraných délkových rozměrů kontrolují i geometrické tolerance, které jsou na tomto dílci zastoupeny úchylkami tvaru kruhovitostí a přímostí, úchylkou polohy rovnoběžností a úchylkou házení (čelního), které je už měřeno třísouřadnicovým strojem.



Obr. 6 Zylinderkopf F 01M 100 558

## 1 GEOMETRICKÉ TOLERANCE [ 1 ]

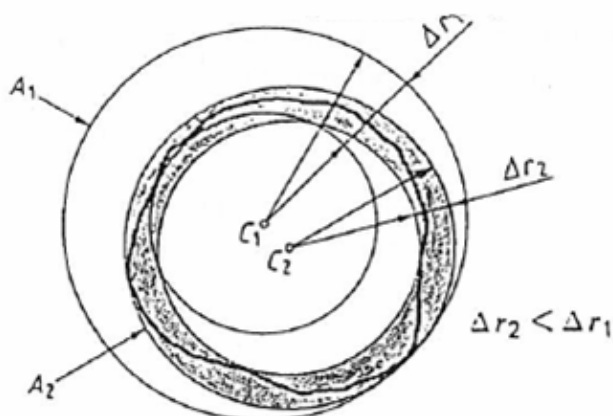
Geometrické tolerance určují úchylku tvaru, směru nebo polohy prvku bez vztahu k rozměrům prvku. Uplatňují se nezávisle na skutečných místních rozměrech prvků a mohou dosahovat největších hodnot bez ohledu na to, je-li prvek na maximu materiálu nebo ne.

### 1.1 Kruhovitost [ 1 ]

Kruhovitost je určena polohou dvou soustředných kružnic tak, aby vzdálenost mezi nimi byla nejmenší. Přitom jedna z obou kružnic je kružnicí obalovou (vepsanou pro profil díry, opsanou pro profil hřídele), druhá je s ní soustředná a dotýká se povrchu (obr.1.1). Z více takových kružnic se vybírají ty, jejichž radiální vzdálenost je nejmenší. Obrázek 1.1 ukazuje dvě možné polohy středů soustředných kružnic a jejich nejmenší vzdálenost. Střed  $C_1$  kružnice  $A_1$  náleží prvním dvěma soustředným kružnicím. Střed  $C_2$  kružnice  $A_2$  náleží druhým dvěma soustředným kružnicím.

Odpovídající radiální vzdálenost:  $\Delta r_2 < \Delta r_1$

Správná poloha soustředných kružnic je ta, která je označena  $A_2$ . Radiální vzdálenost  $r_2$  smí být nejvýše rovna předepsané tolerance kruhovitosti.



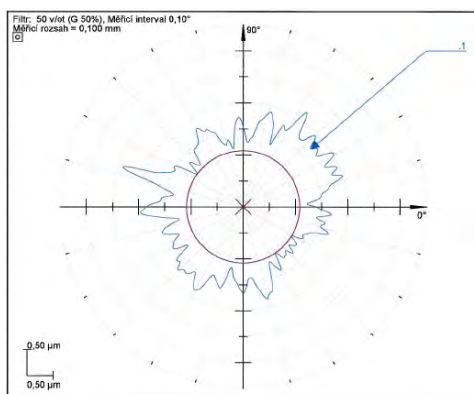
Obr. 1.1 Obalová kružnice [2.]

#### 1.1.1 Způsoby vyhodnocování kruhovitosti [ 3 ]

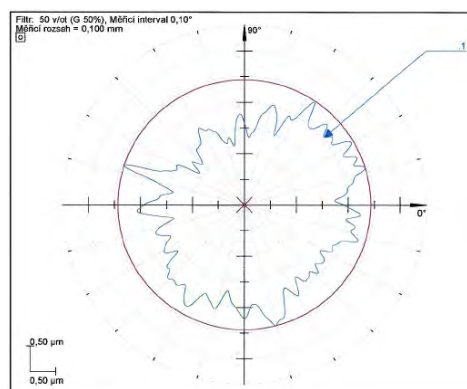
Pro kruhová měření je k dispozici několik metod vyhodnocení:

1. **MIC (Maximum Inscribed Circle)** - Referenční kružnice je maximální kružnice vepsaná do daného profilu (obr.1.2).
2. **MCC (Minimum Circumscribed Circle)** – Referenční kružnice je minimální kružnice opsaná změřeného profilu (obr.1.3).
3. **MZC (Minimum Zone Circles)** – Reference je tvořena dvěma soustřednými kružnicemi, které plně zahrnou zachycený profil při co nejmenším rozdílu poloměrů (obr.1.4).
4. **LSC (Minimum Circumscribed Circle)** - Tato referenční kružnice prochází profilem vypočtená metodou „součtu nejmenších čtverců vzdálenosti“.

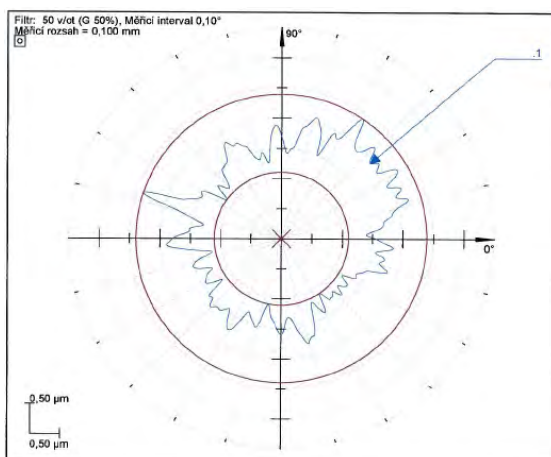
Metoda LSC je jen nepatrně ovlivněna výbočky profilu. Výsledky mají proto dobrou opakovatelnost, hlavně co se týče polohy referenční kružnice a středu profilu. V případě přerušení profilu, která jsou větší než  $180^\circ$ , se používá výhradně metoda LSC (obr.1.5).



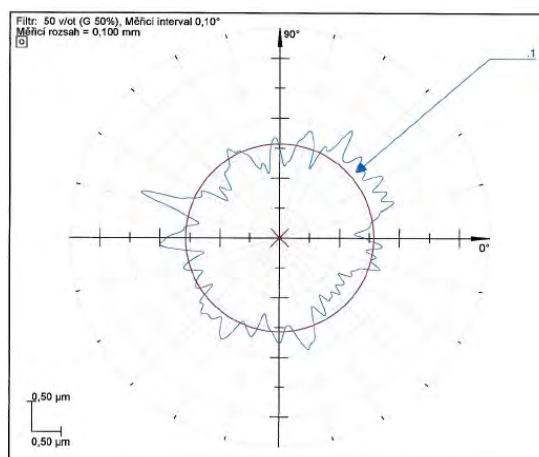
Obr. 1.2 Reference MIC  
(Maximum Inscribed Circle)



Obr. 1.3 Reference MCC  
(Minimum Circumscribed Circle)



Obr. 1.4 Reference MZC  
(Minimum Zone Circles)

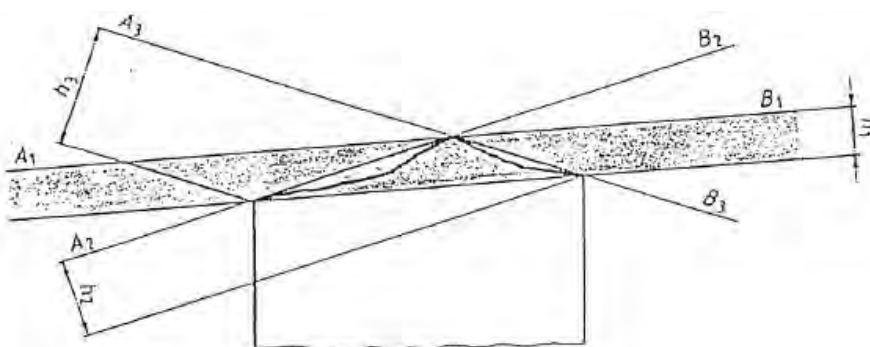


Obr. 1.5 Reference LSC  
(Lest Squares Circle)

## 1.2 Přímost [ 1 ]

Přímost jednotlivého tolerovaného prvku je považována za správnou, jestliže vzdálenost každého bodu skutečného prvku od obalové přímky ideálního geometrického tvaru je nejvýše rovna hodnotě předepsané tolerance. Směr obalové přímky je takový, aby největší vzdálenost mezi ní a skutečným profilem (čarou) byla nejmenší (obr.1.6). Obrázek ukazuje tři možné směry obalové přímky:

Směr:	$A_1 - B_1$	$A_2 - B_2$	$A_3 - B_3$
Vzdálenost:	$h_1$	$h_2$	$h_3$
Z obrázku 1.6 vyplývá:	$h_1$	$<$	$h_2$
		$<$	$h_3$



Obr. 1.6 Obalová přímka [2.]

Zvláštními případy úchylky přímosti jsou **vypuklost** a **vydutost**.



Obr. 1.7 Vypuklý (konvexní) profil [2.]

**Vypuklost** je úchylka přímosti, při níž se vzdálenost bodů skutečného profilu od obalové přímky zmenšuje od okrajů do středu (obr.1.7).



Obr. 1.8 Vydutý (konkávní) profil [2.]

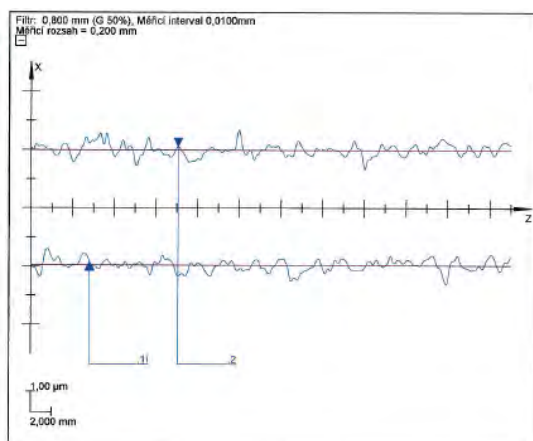
**Vyduťost** je úchylka přímosti, při níž se vzdálenost bodů skutečného profilu od obalové přímky zvětšuje od okrajů do středu (obr.1.8).

### 1.2.1 Způsoby vyhodnocování přímosti [3]

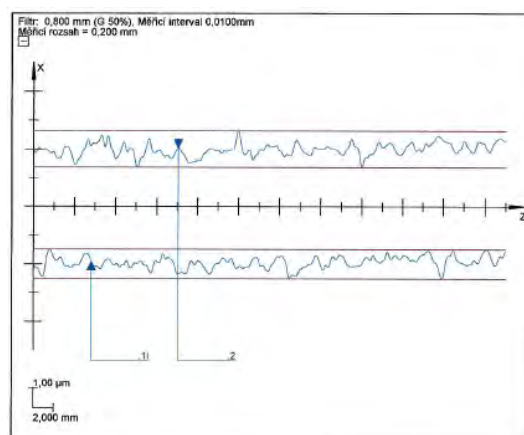
Pro přímočará měření jsou k dispozici tyto metody vyhodnocení:

**1. LSS (Least Square Straight Line)** - Referenční přímka je přímka profilem vypočtená metodou „součtu nejmenších čtverců vzdáleností“. Výsledkem je stabilní a jednoznačná čára. Tato metoda je standardní referenční metodou (obr.1.9).

**2. MZS (Minimum Zone Straight Lines)** – Vypočtou se dvě rovnoběžné referenční přímky s co nejmenším odstupem, které sevřou daný profil. Jelikož se tato metoda opírá jen o několik extrémních bodů profilu, jsou poloha a směr střední čáry relativně nejisté. Tato metoda je vhodná zejména pro určení úchylky přímosti u nepřerušovaných a nevypuklých profilů (obr.1.10).



Obr. 1.9 Reference LSS  
(Lest Square Straight Line)

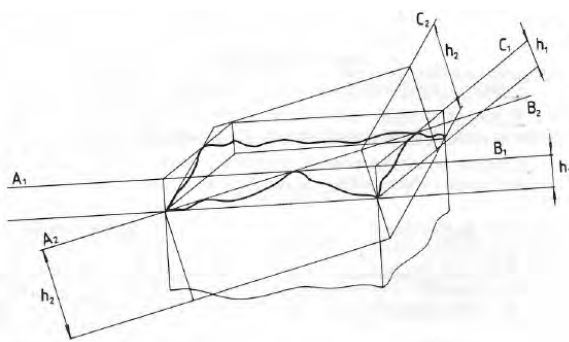


Obr. 1.10 Reference MZS  
(Minimum Zone Straight Lines)

### 1.3 Rovinnost [ 1 ]

Rovinnost jednotlivého tolerovaného prvku je považována za správnou, jestliže vzdálenost každého bodu skutečného prvku od obalové roviny ideálního geometrického tvaru je nejvýše rovna hodnotě předepsané tolerance (obr.1.11). Obrázek ukazuje dva možné směry obalové roviny:

Směr:	$A_1 - B_1 - C_1$	$A_2 - B_2 - C_2$	$A_3 - B_3 - C_3$
Vzdálenost:	$h_1$	$h_2$	$h_3$
Z obrázku 1.3.1 vyplývá:	$h_1$	$< h_2$	$< h_3$



Obr. 1.11 Obalová rovina [2.]

Správný směr obalové roviny ideálního tvaru je směr  $A_1 - B_1 - C_1$ , vzdálenost  $h_1$  smí být nejvýše rovna předepsané toleranci rovinnosti.

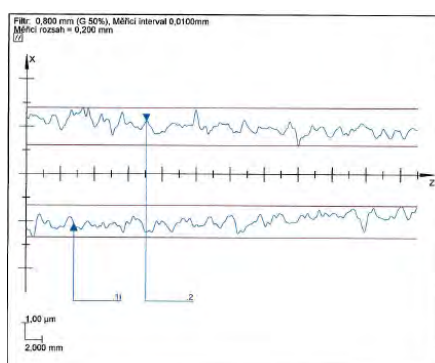
## 1.4 Rovnoběžnost [ 1 ]

Rovnoběžnost je odchylka od ideální rovnoběžné polohy dvou elementů.

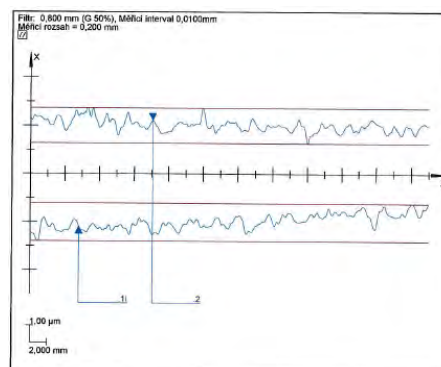
### 1.4.1 Tolerance rovnoběžnosti [ 1 ]

Rovnoběžnost může být předepsána tolerancí rovnoběžnosti:

- dvou přímek (nejčastěji os)
  - Je-li hodnota tolerance rovnoběžnosti os předepsána značkou průměru, je toleranční pole válcové o průměru rovném předepsané toleranci rovnoběžnosti os v prostoru  $t$  a jeho osa je rovnoběžná se základní osou.
  - Je-li předepsána tolerance bez značky průměru, zjišťuje se úchylka rovnoběžnosti ve směru příslušné kóty, k níž je předpis tolerance rovnoběžnosti připojen. Toleranční pole je omezeno dvěma rovinami vzdálenými od sebe o předepsanou toleranci  $t$  a rovnoběžnými se základní osou.
- přímky s rovinou
  - Toleranční pole je omezeno dvěma rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance rovnoběžnosti  $t$  a rovnoběžnými se základní rovinou.
- roviny s přímkou
  - Toleranční pole je omezeno dvěma rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance rovnoběžnosti  $t$  a rovnoběžnými se základní přímkou.
- dvou rovin
  - Toleranční pole je omezeno dvěma rovinami vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance rovnoběžnosti  $t$  a rovnoběžnými se základní rovinou.



Obr. 1.12 Reference LSS  
(Least Square Straight Line )



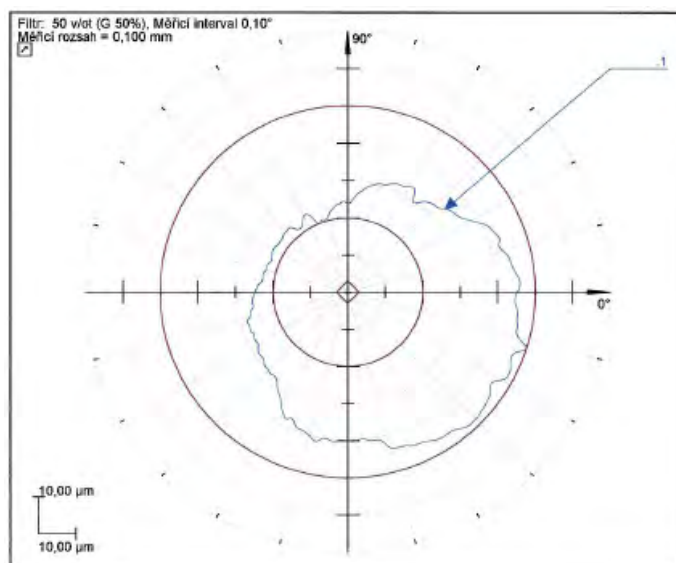
Obr. 1.13 Reference MZS  
( Minimum Zone Straight Lines )

## 1.5 Házení [ 1 ]

Tolerance házení zahrnuje tvar tolerované plochy i polohu bodů tolerované plochy vzhledem k základnímu prvku respektive k základně. V některých normách je tolerance házení zařazena mezi souhrnné tolerance tvaru a polohy, protože zahrnuje toleranci sousostí, válcovitosti o kolmosti resp. sklonu.

### 1.5.1 Tolerance kruhového obvodového házení [ 1 ]

Kruhovým obvodovým házením se projevuje úchylna kruhovitosti profilu posuzovaného průřezu společně s úchylnou soustřednosti. Kruhové házení nezahrnuje úchylny tvaru a polohy tvořících čar rotační plochy. Toleranční pole v kterékoliv rovině kolmé k ose je ohraničeno dvěma soustřednými kružnicemi vzdálenými od sebe o hodnotu předepsané tolerance  $t$ . Střed y obou kružnic omezujících toleranční pole leží na základní ose.

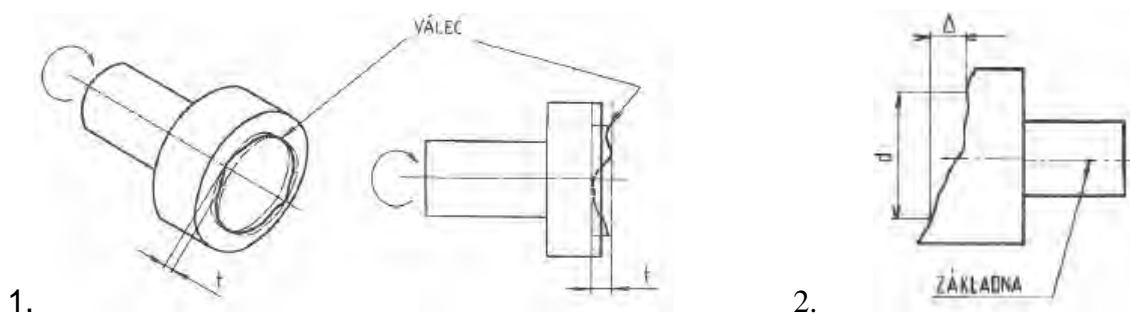


Obr. 1.14 Grafické vyhodnocení obvodového házení

### 1.5.2 Tolerance kruhového čelního házení [ 1 ]

Při jmenovitém rovinném tvaru čela se čelní házením projevuje úchylna (vzdálenost) bodů, ležících na průsečnici čelní plochy s válcovou plochou řezu, od geometrické (jmenovité) roviny společně s úchylnou kolmosti čela k základně. Kruhové čelní házení v sobě nezahrnuje celou úchylnu rovinnosti posuzované plochy.

Toleranční pole je ohraničeno na určitém průměru  $d$ , vzdálenými od sebe o předepsanou toleranci  $t$ . Obě kružnice leží na válci průměru  $d$ , jehož osa je totožná se základní osou.



Obr. 1.15 Toleranční pole kruhového čelního házení (1.)

Úchylna kruhového čelního házení (2.)

## 2 ZPŮSOBILOST MĚŘÍCÍCH A KONTROLNÍCH PROCESŮ [ 4 ]

Pro zjištění možnosti měření nejmenší možné maximální úchylky tvaru respektive polohy, je potřeba provést několikanásobné měření a vyhodnocení dle technické statistiky dle sešitu 10 (Způsobilost měřících a kontrolních procesů – Qualitätssicherung in der Bosch-Gruppe).

Sešit 10 odpovídá požadavkům MSA (Measurement System Analysis, DaimlerChrysler, Ford a GM; březen 2002).

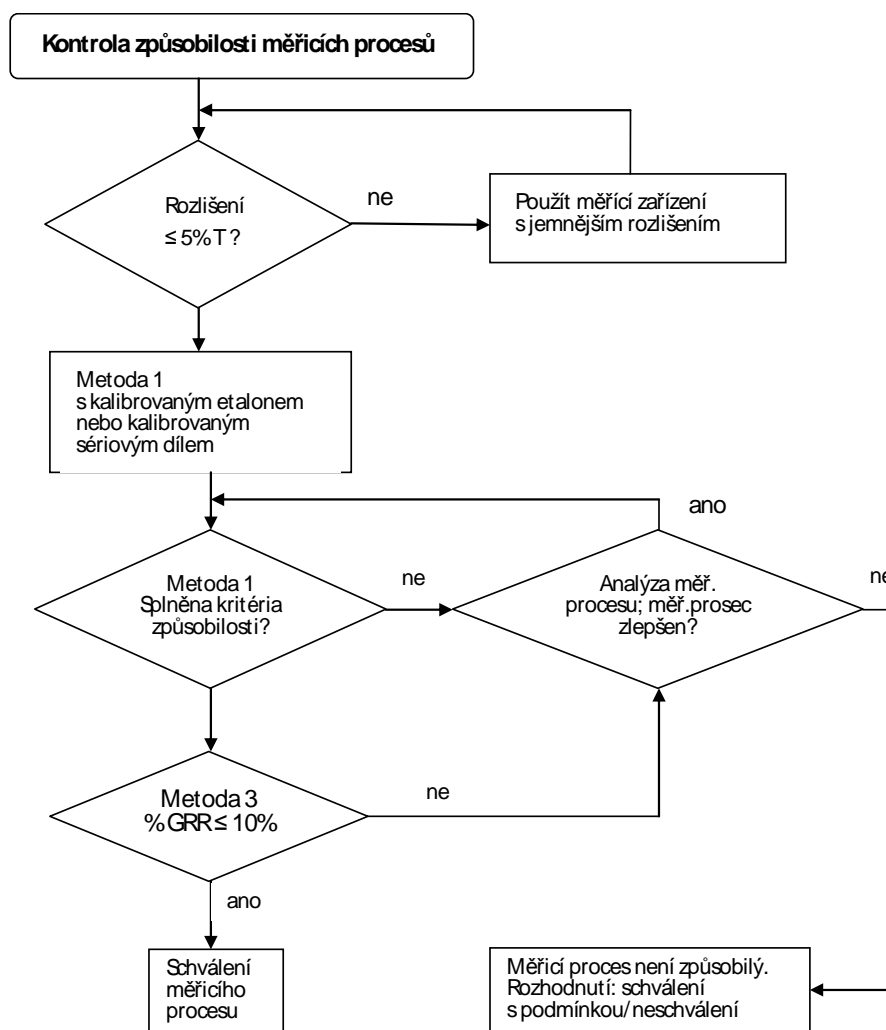
Kontrola způsobilosti a sledování stálosti měřících procesů má zajistit, aby měřící zařízení mohlo v místě nasazení měřit kvalitativní parametr s dostatečně malým rozptylem naměřených hodnot (vzhledem k toleranci parametru). K tomuto účelu je stanoveno 5 metod.

Pro provádění měření a kontrol jsou obvykle potřeba opakovatelně měřitelné etalony a objekty z výroby. Výsledky měření a kontrol jsou vždy zatíženy určitou nespolehlivostí. Pokud se měřící proces ukáže nezpůsobilým, je nutné vyšetřit příčiny tohoto stavu, aby bylo možné provést nápravná opatření.

V rámci tohoto procesu musí být vyšetřovány systematické a nahodilé odchylky měření, vliv měřeného objektu a lidského činitele. Měřící proces může být rovněž ovlivněn pomocnými prostředky pro měření, upínacími přípravky a rovněž strategií měření a podmínkami okolního prostředí.

Statická vyhodnocování musí být prováděna pomocí vhodného statického software.

Způsobilost musí být prokazována měřením v místě měřícího zařízení a statickým vyhodnocením. Prokazování způsobilosti má smysl pouze pro měřící a zkušební zařízení, která jsou používána pro měření nebo vyhodnocování stejných parametrů u dostatečně velkých dávek dílů ( $N \geq 25$ ).



Obr. 2.1 Postupový diagram [1]

## 2.1 Metoda 1 [ 4 ]

Cíl: Kontrola způsobilosti měřícího procesu z hlediska rozptylu a umístění naměřených hodnot v tolerančním poli parametru.

Popis metody:

Metoda 1 je realizována především s kalibrovaným etalonem, jehož referenční hodnota  $x_m$  se nachází pokud možno uprostřed tolerančního rozsahu parametru měřeného měřícím zařízením. Etalon musí být měřen za opakovatelných podmínek  $n \geq 25$ -krát v definovaných měřících bodech (tyto body musí být dokumentovány).

Vyhodnocení: z naměřených hodnot je stanovena standardní odchylka  $s$  a odchylka od referenční hodnoty (správné hodnoty)  $\bar{x} - x_m$ . Nakonec jsou vypočteny koeficienty způsobilosti  $C_g$  a  $C_{gk}$  ( $C_g \geq 1,33$  a  $C_{gk} \geq 1,33$ ).

## 2.2 Metoda 3 [ 4 ]

Cíl: kontrola způsobilosti měřicího procesu sériových dílů z hlediska rozložení rozptylu (Streuverhaltens) v případech, kdy měřící proces není ovlivňován lidským činitelem.

Popis metody:

Metoda je vhodná pro kontrolu způsobilosti měřících procesů, které nejsou ovlivňovány manipulacemi zkušební technika (např. měřící automaty). Kontrola se provádí s 25 opakovatelně měřitelnými náhodně vybranými sériovými díly, jejichž parametry se pokud možno nachází uvnitř tolerančního rozsahu.

Pokud nejsou k dispozici vhodné objekty, není možné provést kontrolu dle této metody a je nutné aplikovat dokumentované zvláštní postupy.

Měřené objekty musí být měřeny za opakovatelných podmínek v definovaných měřících bodech (2 řady měření).

Výsledky měření jsou dokumentovány.

## 3 VYHODNOCOVÁNÍ PARAMETRŮ ZPŮSOBILOSTI

Pro výpočet potřebných statistických parametrů byl použit vyhodnocovací program qs-STAT ME 6 od firmy Q-DAS.

### 3.1 Vyhodnocování hodnot $C_g$ a $C_{gk}$ pomocí etalonu

Měření, jenž je zapotřebí pro získání potřebných hodnot, bylo prováděno ve Standardních měřících laboratořích (třída jakosti 3) vstupní kontroly PUQ5 (vzorkování) a PUQ-I (sériová kontrola).

K měření byl použit kalibrační normál Prüfzylinder JMR 9 N5 (Bosch-válec), vyroben na zakázku firmou Mahr GmbH.



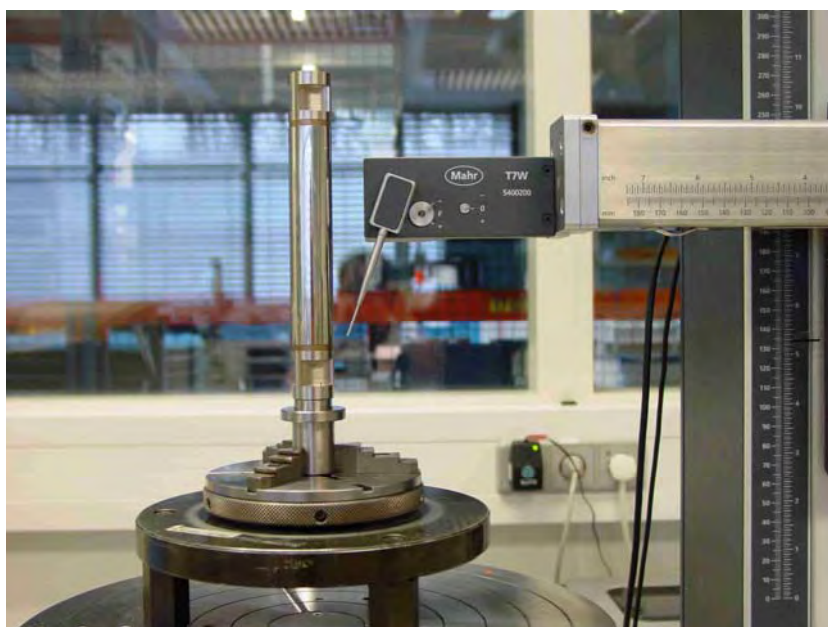
Obr. 3.2 Prüfzylinder JMR 9 N5  
(Bosch-válec)

### 3.1.1 Kruhoměr – Formtester MMQ44 CNC (firma Mahr)

Měření se provádělo na dvou Formtesterch stejného typu, aby byla možnost stanovit, který z těchto dvou strojů je způsobilejší předávat správnější výsledky a následně díky tomuto zjištění provádět na tomto stroji porovnávací měření s třísouřadnicovým strojem.

Pro měření na kalibračním normálu byly použity dva typy měřících doteků, které se v největší míře používají na vstupní kontrole.

Snímací raménko 7028294 o průměru kuličky 1,5 mm a snímací raménko 5400210 o průměru kuličky 3 mm, jehož výsledky slouží jen pro kontrolu, aby bylo možno provést srovnání a případně si udělat závěr o chybě, která větší kulička představuje samotnou filtrací tohoto elementu (měření tímto snímacím raménkem bylo prováděno pouze na jednom stroji).

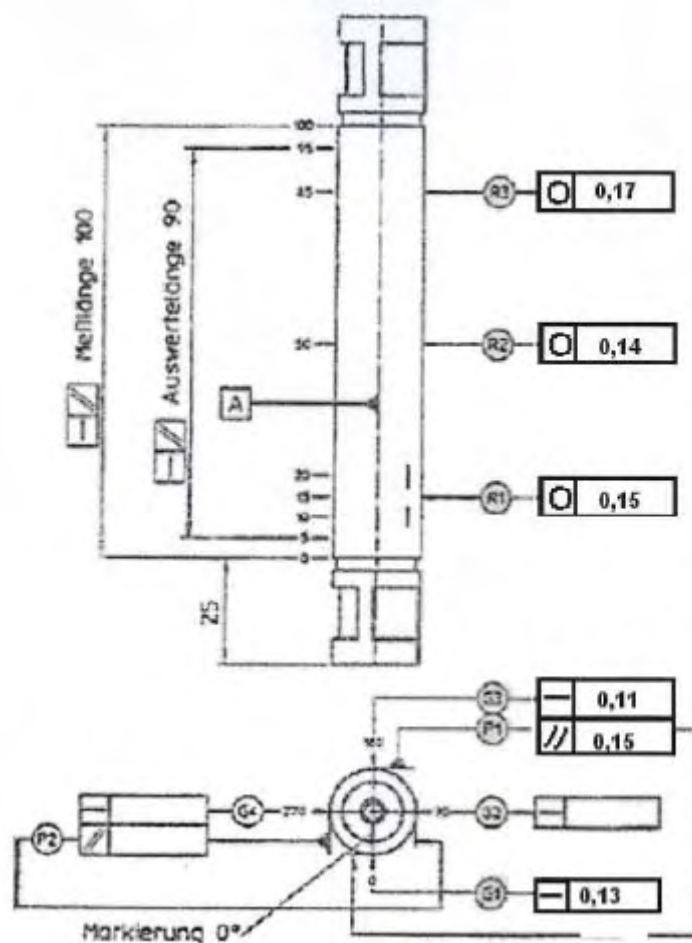


Obr. 3.3 Kruhoměr - Kalibrační normál (Bosch-válec)

K měření normálu (Bosch-válec) byl použit program vytvořený oddělením QMM1.2 (Třída jakosti 1 = Precizní měřicí laboratoř - kalibrace).

1. Měřená kruhovitost R3 (dle kalibračního protokolu pro válec 0,00017 mm)
2. Měřená přímost G1 (dle kalibračního protokolu pro válec 0,00013 mm)
3. Měřená rovnoběžnost P1 (dle kalibračního protokolu pro válec 0,00015 mm)

Podmínky měření jsou uvedeny v tabulce 3.1 .

Obr. 3.4 Definovaná měřicí místa na etalonu a jejich hodnoty v  $\mu\text{m}$ 

Tab. 3.1 Podmínky měření

úchylka	rychlost měření	měřicí interval	filtr	Gaussův filtr	reference
<b>Kruhovitost (R3)</b>	30°/s	0,10°	500 v/ot.	50%	MZC
<b>Přímost (G1)</b>	5,0 mm/s	0,01 mm	0,25 mm	50%	LSS
<b>Rovnoběžnost (P1)</b>	5,0 mm/s	0,01 mm	0,25 mm	50%	LSS

Každý jednotlivý výsledek, který je uveden kvůli přehlednosti v níže vytvořených tabulkách je vypočten jak již bylo uvedeno softwarem qs-STAT ME 6 od firmy Q-DAS z minimálního potřebného počtu 25-ti naměřených hodnot pro vyhodnocení statisticky vypovídající hodnoty. Protokoly z jednotlivých měření nejsou z důvodu jejich velkého počtu doloženy, ale samotné výsledky lze vyčíst z protokolů vyhodnocování způsobilosti (přílohy 4a až 4i).

Z níže vytvořených tabulek lze vyčíst způsobilosti  $C_g$  a  $C_{gk}$  pro jednotlivé kruhoměry (snímače) a zároveň nejmenší možné geometrické tolerance  $T_{min}$  ( $C_g$ ) a  $T_{min}(C_{gk})$ , které lze na nich měřit.

Pro účel vyhodnocení jednotlivých úchylek byly použity známé hodnoty etalonu (obr. 3.4) a tolerance dílce, pro který je vypracovaná tato práce (obr. 6).

Při průběhu měření bylo prováděno monitorování okolního prostředí (příloha 2) digitálním termohygrobarometrem COMMETER D4130 od firmy COMET (obr. 3.5), aby byla možnost si vytvořit závěr o stálosti měřicích laboratorních podmínkách.



Obr. 3.5 COMMETER

Tab. 3.2 Ukazatelé způsobilosti

kruhovitost	snímač	$C_g$	$C_{gk}$	$T_{\min (C_g)}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T_{\min (C_{gk})}$ [ $\mu\text{m}$ ]
PUQ5	7028294	26,27	25,98	0,51	0,62
	5400210	18,57	18,17	0,72	0,93
PUQ-I	7028294	19,25	18,05	0,69	1,31

Tab. 3.3 Ukazatelé způsobilosti

kruhovitost	snímač	$C_g$	$C_{gk}$	$T_{\min (C_g)}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T_{\min (C_{gk})}$ [ $\mu\text{m}$ ]
PUQ5	7028294	45,90	44,78	0,58	1,07
	5400210	44,71	44,00	0,59	0,91
PUQ-I	7028294	51,54	51,13	0,52	0,67

Tab. 3.4 Ukazatelé způsobilosti

kruhovitost	snímač	$C_g$	$C_{gk}$	$T_{\min (C_g)}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T_{\min (C_{gk})}$ [ $\mu\text{m}$ ]
PUQ5	7028294	26,64	25,88	1,50	2,35
	5400210	18,72	18,11	2,13	3,10
PUQ-I	7028294	39,25	39,04	1,02	1,18

### 3.1.2 Kruhoměr - závěr

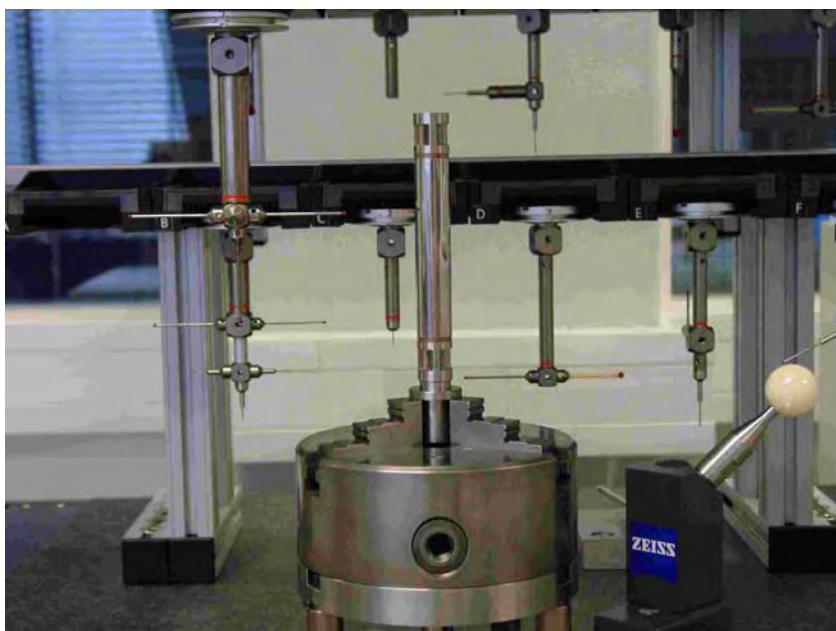
Oba kruhoměry jsou měřidla, která jsou schopna měřit geometrické rozměry s předepsanou maximální povolenou úchylkou (kruhovitost 0,01 mm, přímost 0,02 mm, rovnoběžnost 0,03 mm), protože výsledky vyhodnocení  $C_{gk}$  jsou větší jak minimální požadovaná hodnota ( $C_{gk} \geq 1,33$ ).

Z tabulek je ale zřejmé, že pro budoucí porovnávání výsledků kruhoměru s třísouřadnicovým strojem nebude vhodné používat pro kruhovitosť kruhoměr na PUQ-I a pro rovnoběžnost kruhoměr na PUQ5, protože nespĺňujú požadavek o jeden (minimálně) řád přesnějšího měřicího stroje.

### 3.1.3 Třísouřadnicový měřicí stroj (3D) – PRISMO (firma ZEISS)

Měření se provádělo na dvou třísouřadnicových strojích ve dvou laboratořích. První stroj se nachází v měřicí laboratoři PUQ5 (PRISMO 5) a druhý stroj je v provozu v měřicí laboratoři PUQ-I (PRISMO 7).

PRISMO 5 je navíc vybavené otočným stolem, což umožňuje o několik metod měření více jak na PRISMU 7.



Obr. 3.6 3D - Kalibrační normál (Bosch-válec)

Podmínky měření byly připodobněny podmínkám měření na kruhoměru dle přepočtu:

### **Kruhovitost**

#### **Kruhoměr**

rychlost otáčení =  $30^\circ/\text{s}$

měřicí interval =  $0,10^\circ \Rightarrow 1 \text{ ot.} = 360^\circ \times 10 = 3600 \text{ bodů/ot.}$  (3.1)

filtr = 500 v/ot. Gauss 50%

#### **Třísouřadnicový měřicí stroj**

$O_{\text{válcce}} = \pi \times D = \pi \times 20 = 62,83 \text{ mm}$  (3.2)

Rychlost měření =  $O_{\text{válcce}} / t = 62,83 / 12 = 5 \text{ mm/s}$  (3.3)

dle doporučení firmy Zeiss se pro přesné měření úchylek poloh a tvaru volí rychlost 2,5 mm/s.

měřicí interval =  $O_{\text{válcce}} / 3600 = 62,83 / 3600 = 0,01745 \text{ mm}$  (3.4)

filtr = 500 v/ot.

### **Přímot ≡ Rovnoběžnost**

#### **Kruhoměr ≡ Třísouřadnicový měřicí stroj**

rychlost měření = 5 mm/s

měřicí interval = 0,1 mm

filtr = 0,2500mm Gauss 50%

Tab. 3.5 Podmínky měření

úchylnka	rychlost měření	měřicí interval	filtr	Gaussův filtr	reference
<b>Kruhovitost (R3)</b>	2,5 mm/s	0,0175 mm	500 v/ot.	50%	MZC
<b>Přímmost (G1)</b>	5,0 mm/s	0,01 mm	0,25 mm	50%	LSS
<b>Rovnoběžnost (P1)</b>	5,0 mm/s	0,01 mm	0,25 mm	50%	LSS

Z důvodu výstupu nezpůsobitelných výsledků kruhovitosti (tab. 3.6, metoda 1.), bylo použito několik dalších rozdílných měřících metod, aby se zjistilo, zda některá z nich nebudou vhodnější pro naše měření.

1. metoda – skenování,  $v = 2,5$  mm/s
2. metoda – skenování,  $v = 1$  mm/s
3. metoda – skenování,  $v = 0,5$  mm/s
4. metoda – skenování,  $v = 1$  mm/s, bez odjíždění
5. metoda – skenování,  $v = 2$  mm/s, horizontálně (osa snímače kolmá na rovinu YZ)
6. metoda – 50 bodů

Tab. 3.6 Ukazatelé způsobilosti

kruhovitost	metoda	$C_g$	$C_{gk}$	$T_{\min(Cg)}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T_{\min(Cgk)}$ [ $\mu\text{m}$ ]
PUQ5	1.	5,16	-1,39	2,58	15,28
	2.	4,45	1,06	2,99	10,61
	3.	2,18	0,41	6,10	14,19
	4.	1,91	0,45	6,96	14,60
	5.	5,12	-0,89	2,60	14,34
	6.	4,08	1,18	3,26	10,36

### 3.1.4 Třísouřadnicový stroj - závěr

Jednotlivé výsledky dokazují, že jsou drobné rozdíly ve způsobu měření na třísouřadnicovém stroji a pomáhají při volbě, k jaké metodě se má operátor v budoucnu přiklánět.

Hodnoty však také značí, že měření pro dané tolerance je nezpůsobitelné (proto měřena pouze kruhovitost) a je potřeba z důvodu moc malé geometrické tolerance na etalonu (hodnoty jsou příliš vzdálené vycházejícím hodnotám na dodávaných dílech) vytvořit dílenský etalon, který by se svými hodnotami přibližoval měřeným dílcům.

### 3.2 Vyhodnocování hodnot $C_g$ , $C_{gk}$ a %GRR pomocí dílu z výroby

Byl vybrán díl ze série (Zylinderkopf F 01M 100 558), který splňuje, že jeho drsnost má periodický průběh a tudíž by neměl být problém s rozdílným eliminováním silně se vychylujících výšek a hloubek stop drsnosti od standardu měřeného povrchu u jednotlivých softwarů (3D vs. Kruhoměr). Prvkem na tomto obrobku, který bude sloužit k ověřování měření, je válec o průměru 7,08 mm (obr.3.8).

Vyrovnaní: 1. v prostoru za válec (průměr 7,08 mm)

2. natočení v rovině za válec (průměr 7,08 mm) a kužel (64°)

Tab. 3.7 Podmínky měření

úchylnka	rychlost měření	měřicí interval	filtr	Gaussův filtr	reference
<b>Kruhovitost</b>	10°/s	0,1°	50 v/ot.	50%	MZC
<b>Přímost</b>	0,5 mm/s	0,01 mm	0,8 mm	50%	LSS
<b>Rovnoběžnost</b>	0,5 mm/s	0,01 mm	0,8 mm	50%	LSS

Místa měření: pro kruhovitost

1. - 2 mm
2. -12 mm
3. -22 mm

pro přímost:

1. 0° (-2 mm až -22 mm)
2. 180° (-2 mm až -22 mm)

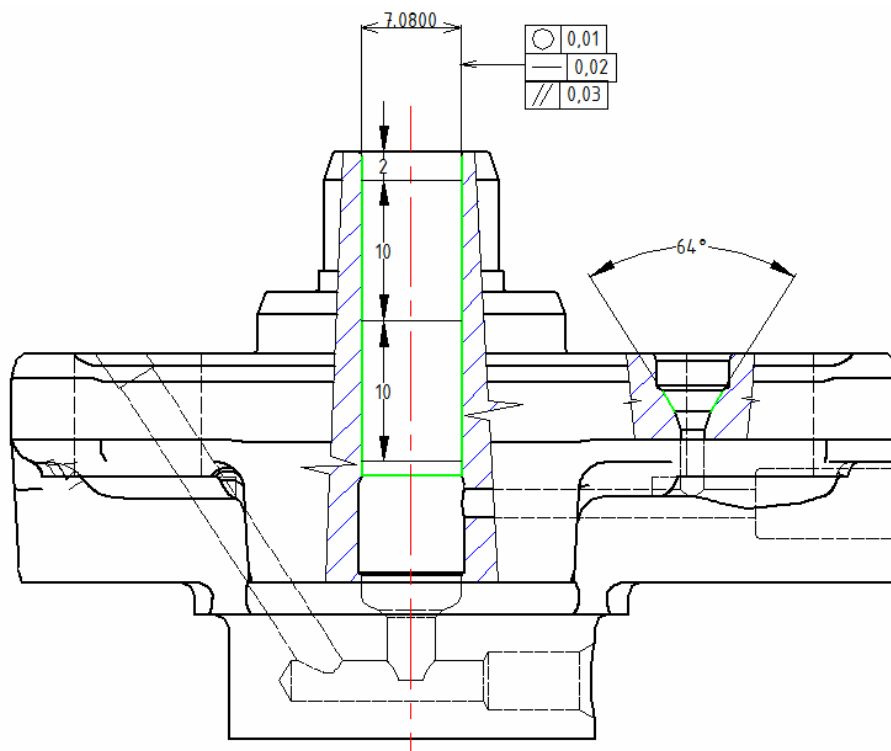
pro rovnoběžnost: 1. 0° (ref.180°)



Obr. 3.7 Kruhoměr MFU 100

Na tomto dílci bylo provedeno měření na oddělení MMQ1.2 (precizní měřicí laboratoř – kalibrace) na kruhoměru MFU 100 od firmy Mahr (obr.3.7), kde byly stanoveny výsledky jednotlivých geometrických tolerancí úchylek tvaru a polohy (tab. 3.8).

Každá ze tří měřených úchylek, která na tomto průměru bude sloužit k ověřování měření, byla 25-krát změřená a průměrnou hodnotou byly stanoveny výsledky úchylek od požadovaného tvaru a polohy (příloha 3).



Obr. 3.8 Měřicí místa

Tab. 3.8 Hodnoty změřeného dílce (kontrolní dílec)

kruhovitost	poloha měření	Výsledná hodnota [μm]
kruhovitost	-2 mm	1,950
	-12 mm	2,718
	-22 mm	3,616
přímot	0°	2,800
	180°	2,603
rovnoběžnost	0° - 180°	2,940

### 3.2.1 Kruhoměr – Formtester MMQ44 CNC (firma Mahr)

Měření dílu z výroby se na kruhoměru provedlo jen pro informaci, která se změnila jeho způsobilost, oproti měření prováděnému na o řád přesnějším etalonu.

Tab. 3.9 Ukazatelé způsobilosti (snímač 7028294)

kruhovitost	Hloubka měření	$C_g$	$C_{gk}$	$T_{\min(Cg)}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T_{\min(Cgk)}$ [ $\mu\text{m}$ ]
PUQ5	-2 mm	6,72	6,55	1,98	2,23
	-12 mm	10,55	8,85	1,26	2,87
	-22 mm	4,94	4,38	2,69	3,83

Tab. 3.10 Ukazatelé způsobilosti (snímač 7028294)

přímost	Poloha měření	$C_g$	$C_{gk}$	$T_{\min(Cg)}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T_{\min(Cgk)}$ [ $\mu\text{m}$ ]
PUQ5	0°	21,64	20,22	1,23	2,54
	180°	33,73	29,91	0,79	3,05

Tab. 3.11 Ukazatelé způsobilosti (snímač 7028294)

rovnoběžnost	Poloha měření	$C_g$	$C_{gk}$	$T_{\min(Cg)}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T_{\min(Cgk)}$ [ $\mu\text{m}$ ]
PUQ5	0°-180°	31,36	28,39	1,27	4,11

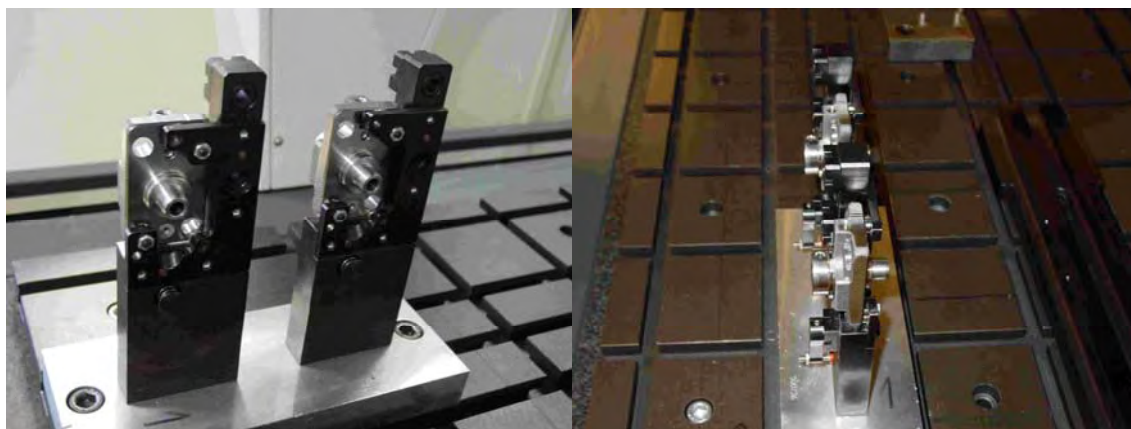
### 3.2.2 Kruhoměr – závěr

Dle výsledků je zřejmé, že u kruhoměru roste způsobilost s kvalitou obrobené plochy. Velký vliv při vyhodnocení výsledků na dílcích s různou technologií obrábění a rozdílnou kvalitou povrchu má i průměr kuličky snímacího raménka, která působí jako filtr.

### 3.2.3 Třísouřadnicový měřicí stroj – PRISMO (firma ZEISS)

Metoda srovnávacího měření byla přizpůsobena měření (dévkové rozměry) a upínání sériových dílců na PUQ-I, aby případně mohla být aplikována i v praxi.

Snímání jednotlivých prvků pro vyhodnocení geometrických tolerancí se provádělo skenováním rychlostí 0,5 mm/s snímačem s osou kolmou na rovinu YZ (průměry kuliček: 2 mm; 1,5 mm a 0,5 mm). Volba průměrů kuliček snímačů byla odvozena od průměrů kuliček používaných při měření těchto elementů na kruhoměru a taktéž dévkovými a průměrovými možnostmi standardně používaných snímačů pro 3D. Přítlačná síla doteku byla nastavena na 0,2 N.



Obr. 3.9 3D – upínání dílce

Tab. 3.12 Ukazatelé způsobilosti (snímač průměr 2 mm)

kruhovitost	Hloubka měření	$C_g$	$C_{gk}$	$T_{\min(C_g)}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T_{\min(C_{gk})}$ [ $\mu\text{m}$ ]
PUQ5	-2 mm	6,67	6,60	1,99	2,10
	-12 mm	7,33	6,03	1,81	3,59
	-22 mm	8,91	8,91	1,49	1,49
PUQ-I	-2 mm	7,68	3,63	1,73	7,01
	-12 mm	2,21	1,08	6,02	11,11
	-22 mm	13,16	6,71	1,01	5,91

Tab. 3.13 Ukazatelé způsobilosti (snímač průměr 2 mm)

přímost	Poloha měření	$C_g$	$C_{gk}$	$T_{\min(C_g)}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T_{\min(C_{gk})}$ [ $\mu\text{m}$ ]
PUQ5	0°	17,82	15,89	1,49	3,65
	180°	20,10	20,01	1,32	1,41
PUQ-I	0°	7,89	7,24	3,37	5,03
	180°	14,72	14,42	1,81	2,21

Tab. 3.14 Ukazatelé způsobilosti (snímač průměr 2 mm)

rovnoběžnost	Poloha měření	$C_g$	$C_{gk}$	$T_{\min(Cg)}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T_{\min(Cgk)}$ [ $\mu\text{m}$ ]
PUQ5	0°-180°	10,12	2,00	3,94	28,02
PUQ-I	0°-180°	11,18	1,52	3,57	29,49

Tab. 3.15 Ukazatelé způsobilosti (snímač průměr 1,5 mm)

kruhovitost	Hloubka měření	$C_g$	$C_{gk}$	$T_{\min(Cg)}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T_{\min(Cgk)}$ [ $\mu\text{m}$ ]
PUQ5	-2 mm	5,16	3,67	2,58	5,48
	-12 mm	4,17	2,92	3,19	6,17

Tab. 3.16 Ukazatelé způsobilosti (snímač průměr 0,5 mm)

kruhovitost	Hloubka měření	$C_g$	$C_{gk}$	$T_{\min(Cg)}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$T_{\min(Cgk)}$ [ $\mu\text{m}$ ]
PUQ-5	-2 mm	5,99	3,70	2,22	6,04
PUQ-I	-2 mm	5,83	4,33	2,28	4,86

Tab. 3.17 Ukazatel způsobilosti (snímač průměr 2 mm)

kruhovitost	Hloubka měření	%GRR
PUQ5	-2 mm	5,09
	-12 mm	3,17
	-22 mm	5,16
PUQ-I	-2 mm	7,78
	-12 mm	7,11
	-22 mm	7,00

Tab. 3.18 Ukazatel způsobilosti (snímač průměr 2 mm)

přímost	Poloha měření	%GRR
PUQ5	0°	1,47
	180°	1,34
PUQ-I	0°	1,25
	180°	1,06

Tab. 3.19 Ukazatel způsobilosti (snímač průměr 2 mm)

rovnoběžnost	Poloha měření	%GRR
PUQ5	0°-180°	1,50
PUQ-I	0°-180°	1,85

Tab. 3.20 Ukazatel způsobilosti (snímač průměr 0,5 mm)

kruhovitost	Hloubka měření	%GRR
PUQ5	-2 mm	3,98
	-12 mm	3,06

### 3.2.4 Třísouřadnicový měřicí stroj – Závěr

Měření a výpočty prokázaly, že třísouřadnicové měřicí stroje jsou způsobilé ( $C_{gk} \geq 1,33$ ) dle metody 1 (Bosch sešit 10) k měření dodávaného dílce Zylinderkopf F 01M 100 558.

Nedostačující výsledek kruhovitosti  $C_{gk}$  na PRISMU 7 (PUQ-I) je pro použití vstupní kontroly akceptovatelný, protože posunutí výsledného pásma je do plusu (zhoršuje výsledek) a proto nedojde při měření série k uvolnění dílce se špatnou kruhovitostí. Při překročení povolené tolerance se však nedá výsledek brát jako vypovídající a je potřeba provést kontrolní měření na kruhoměru.

Další ověření způsobilosti měřicího procesu bylo provedeno metodou 3 (Bosch sešit 10) na 25 náhodně vybraných sériových dílcích. Každý dílec byl změřen 2x a samotné vyhodnocení bylo opět provedeno softwarem od firmy Q-DAS. I tato metoda prokázala, že měření dílce Zylinderkopf na 3D je způsobilé, protože ukazatel %GRR je vždy menší jak 10%.

**Měření geometrických tolerancí na tomto sériově dodávaném dílci, lze měřit na třísouřadnicových strojích vstupní kontroly.**

## ZÁVĚR

Úkolem této bakalářské práce bylo zjistit, zda a zároveň jaké nejmenší maximální geometrické tolerance je možné měřit na třísouřadnicových měřicích strojích vstupní kontroly.

Praktická část se zabývala konkrétně jedním dílcem Zylinderkopf F 01M 100 558, který je ukázkovým příkladem, proč tato práce byla vlastně zpracována. Díky ní je možno doporučit, aby byl zvážen, případně upraven dosavadní měřicí postup, který je vytvořen pro tento dílec. Touto změnou se urychlí strávená doba kontrolních dávek dílců Zylinderkopf na vstupní kontrole a zároveň se urychlí kontrola i ostatních dílců, na kterých se provádí měření geometrických tolerancí, protože se uvolní kapacita kruhoměru. Samozřejmě stojí za zvážení, zda by nebylo vhodné projít i měřicí postupy ostatních dílců kontrolované na vstupní kontrole (kde se měří geometrické tolerance) a přizpůsobit je novému vědění. Tyto úpravy ve standardní metodice provádění vstupní kontroly, by mohly vést k ještě většímu zrychlení provádění vstupní kontroly. Pro toto rozhodování by sloužily vypočítané minimální tolerance  $T_{\min (Cgk)}$  z tabulek ukazatelů způsobilosti vypracované v této práci.

Výsledkem této práce je poznání, které dává vstupní kontrole větší možnosti při výběru měřicího zařízení z hlediska kvality a kvantity vystupujících výsledků z těchto posuzovaných měřicích systémů.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

- [ 1 ] FRANTIŠEK DRASTÍK, Přesnost strojních součástí podle mezinárodních norem, tolerování rozměrů a geometrických vlastností, vydal MONTANEX, a.s., Ostrava, 1996. ISBN 80-85780-18-6
- [ 2 ] ISO 1101, NormMaster 4.1, T-Systems Enterprise Services GmbH
- [ 3 ] MAHR, Návod k obsluze (3754498)
- [ 4 ] Robert Bosch GmbH, Způsobilost měřících a kontrolních procesů, vydání 01.2003

**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

$C_g$	[-]	koeficient způsobilosti měřicího procesu bez zohlednění systematické odchylky
$C_{gk}$	[-]	koeficient způsobilosti měřicího procesu se zohledněním systematické odchylky
$\bar{x}$	[-]	aritmetická střední hodnota
$x_m$	[-]	referenční hodnota etalonu
$D$	[mm]	průměr válce
$O_{\text{válce}}$	[mm]	obvod válce
$t$	[s]	čas měření
$v$	[mm s <sup>-1</sup> ]	rychlost měření
ISO		označení mezinárodních technických norem (angl. International Organisation for Standardization)
PUQ5		oddělení vstupní kontroly - vzorkování
PUQ-I		oddělení vstupní kontroly – sériová kontrola
QMM1.2		oddělení kvality (angl. Quality Management and Methods)
%GRR	[-]	celková velikost rozptylu měřicího procesu vztažená k toleranci parametru

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Výtah z normy ISO 1101
- Příloha 2 Měřicí prostředí
- Příloha 3 Protokol k pracovnímu etalonu
- Příloha 4 Protokoly qs-STAT – Metoda 1 (Etalon)
- Příloha 5 Protokoly qs-STAT – Metoda 1 (Pracovní etalon)
- Příloha 6 Protokoly qs-STAT – Metoda 3 (Pracovní etalon)