

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A  
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND  
ROBOTICS

## HODNOCENÍ PŘESNOSTI A ZPŮSOBILOSTI SOUŘADNICOVÉHO STROJE PIONEER DEA

THE EVALUATION OF ACCURACY AND ELIGIBILITY COORDINATE MACHINES PIONEER DEA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARTIN HRDLIČKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ PERNIKÁŘ, CSc.

BRNO 2015



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2014/15

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Martin Hrdlička

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Hodnocení přesnosti a způsobilosti souřadnicového stroje PIONEER DEA**

v anglickém jazyce:

### **The evaluation of accuracy and eligibility coordinate machines PIONEER DEA**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přesnost měření je kvalitativní pojem, který vyjadřuje těsnost shody mezi naměřenou hodnotou a skutečnou, pravou, hodnotou veličiny. Při hodnocení přesnosti měřidla je nutné pomocí metod matematické statistiky vyjádřit systematické složky chyb i rozptyl výsledků při opakovaném měření, preciznost za daných podmínek.

Cíle bakalářské práce:

Práce by měla pomocí metodiky mezinárodního slovníku termínů v metrologii vyjádřit nejistotu měření a pro vytypovaný výrobek určit způsobilost kontrolního procesu.



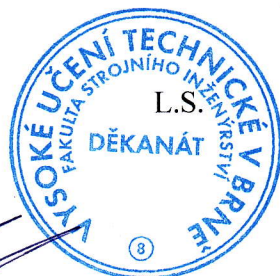
Seznam odborné literatury:


- [1] ČECH, J., PERNIKÁŘ, J., PODDANÝ, K. Strojírenská metrologie I. 4. přepracované vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 176s. ISBN 80-214-3070-2
- [2] VDA 5 – Způsobilost kontrolních procesů. Česká společnost pro jakost. Praha, 2004. ISBN 80-02-01656-4. 112 s. Německý originál ISSN 0943-9412
- [3] PERNIKÁŘ, J. – TYKAL, M.: Strojírenská Jakost metrologie II, akademické nakladatelství CERM, s.r.o, Brno 2006. 180 s., ISBN 80-214-3338-8
- [4] CHUDÝ, V. – PALENČÁR, R. – KUREKOVÁ, E. – HALAJ, M.: Meranie technických veličín. Bratislava, STU 1999, 489 s., ISBN 80-227-1275-2
- [5] TNI 01 0115 Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)


Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.

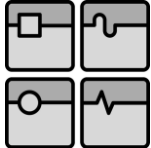
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 20.11.2014



  
doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
Ředitel ústavu

  
doc. Ing. Jaroslav Katoický, Ph.D.  
Děkan

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá přesností a způsobilostí souřadnicového měřicího stroje Pioneer Dea. Cílem práce je vyjádřit pomocí metodiky mezinárodního slovníku termínů v metrologii nejistotu měření a pro vytypovaný výrobek určit způsobilost kontrolního procesu. Pro vyhodnocení způsobilosti kontrolního prostředku je využita metoda koeficientů  $c_g$  a  $c_{gk}$ . Dále je vypočtena nejistota měření a pomocí ukazatele způsobilosti  $g_{pp}$  je kontrolní proces pro vytypovanou součást vyhodnocen.

## Klíčová slova

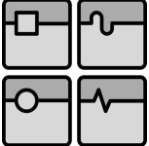
Metrologie, měřicí prostředek, způsobilost kontrolního procesu, chyby měření, nejistota měření.

## Abstract

This bachelor thesis deals with the accuracy and the qualification of coordinate measuring instrument Pioneer Dea. A target of the thesis is to represent measurement uncertainty using a method of International Vocabulary of Basis and General Terms in Metrology, and for the selected product to determine a qualification of the check process. The evaluation of the qualification of the measuring instrument is performed via method of coefficients  $c_g$  and  $c_{gk}$ . In addition there are calculated measurement uncertainty and via qualification indicator  $g_{pp}$  the check process of the selected product is evaluated.

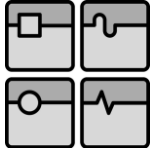
## Key words

Metrology, measurement instrument, control process capability, measurement errors, measurement uncertainty.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

## **Bibliografická citace**

HRDLIČKA, M. *Hodnocení přesnosti a způsobilosti souřadnicového stroje PIONEER DEA*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 43 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

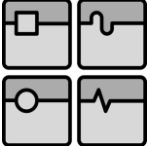
## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Pernikáře, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. května 2015

.....

Martin Hrdlička

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval doc. Ing. Jiřímu Pernikářovi, CSc. za vedení mé bakalářské práce, poskytnuté rady, zkušenosti a vstřícný přístup.

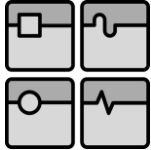
## Obsah

Úvod .....	11
<b>1 Základní pojmy a definice .....</b>	<b>13</b>
1.1 Metrologie .....	13
1.2 Definice pojmů v oblasti měření .....	13
1.2.1 Chyby měření .....	14
1.3 Nejistota měření .....	16
1.3.1 Druhy nejistot.....	16
1.3.2 Zdroje nejistot.....	17
<b>2 Způsobilost kontrolního procesu .....</b>	<b>19</b>
2.1 Stanovení nejistoty měření.....	19
2.2 Použitelnost kontrolního prostředku .....	20
2.2.1 Hodnocení způsobilosti měřicích prostředků .....	21
2.2.2 Hodnocení způsobilosti pomocí metodiky $c_g$ a $c_{gk}$ .....	22
2.3 Důkaz způsobilosti kontrolního procesu.....	25
2.4 Stanovení shody a neshody s tolerancemi.....	25
<b>3 Aplikace hodnocení způsobilosti kontrolního procesu.....</b>	<b>29</b>
3.1 Vytypovaná součást.....	29
3.2 Měřicí prostředek .....	30
3.3 Kontrolní měření .....	31
3.4 Použitelnost kontrolního prostředku DEA Pioneer .....	32
3.5 Hodnocení způsobilosti kontrolního prostředku koeficienty $c_g$ a $c_{gk}$ .....	34
3.6 Stanovení nejistoty měření.....	35
3.6.1 Standardní nejistota typu A .....	35
3.6.2 Standardní nejistota typu B .....	35
3.7 Vyhodnocení způsobilosti kontrolního procesu .....	37
<b>Závěr .....</b>	<b>39</b>
<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>40</b>
<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>41</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>42</b>



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Large empty rectangular area for the main content of the page.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## Úvod

Požadavky zákazníků na přesnost výrobků stále rostou. Výrobky je třeba nejen přesně vyrobit, ale také přesně změřit pro stanovení shody či neshody s tolerancemi. Bezchybné měření bohužel není možné a každé měření je tak zatížené chybou. Proto je důležité pro určitý výrobek s danými tolerancemi zajistit dostačující kontrolní proces, který bude způsobilý pro měření těchto tolerancí.

Předmětem této bakalářské práce je vyjádření nejistoty měření, posouzení způsobilosti souřadnicového měřicího stroje a vyhodnocení způsobilosti kontrolního procesu pro vytypovaný výrobek. Toto téma jsem si zvolil z důvodu zájmu o strojírenskou metrologii a možnosti přístupu k souřadnicovému měřicímu stroji.

První kapitola je věnována definicím základních pojmů používaných v metrologii. Kapitola druhá popisuje postup pro určení způsobilosti kontrolního procesu a dále je tento postup ve třetí kapitole použit v praxi pro kontrolní proces zahrnující souřadnicový měřicí stroj DEA Pioneer a vytypovaný výrobek.

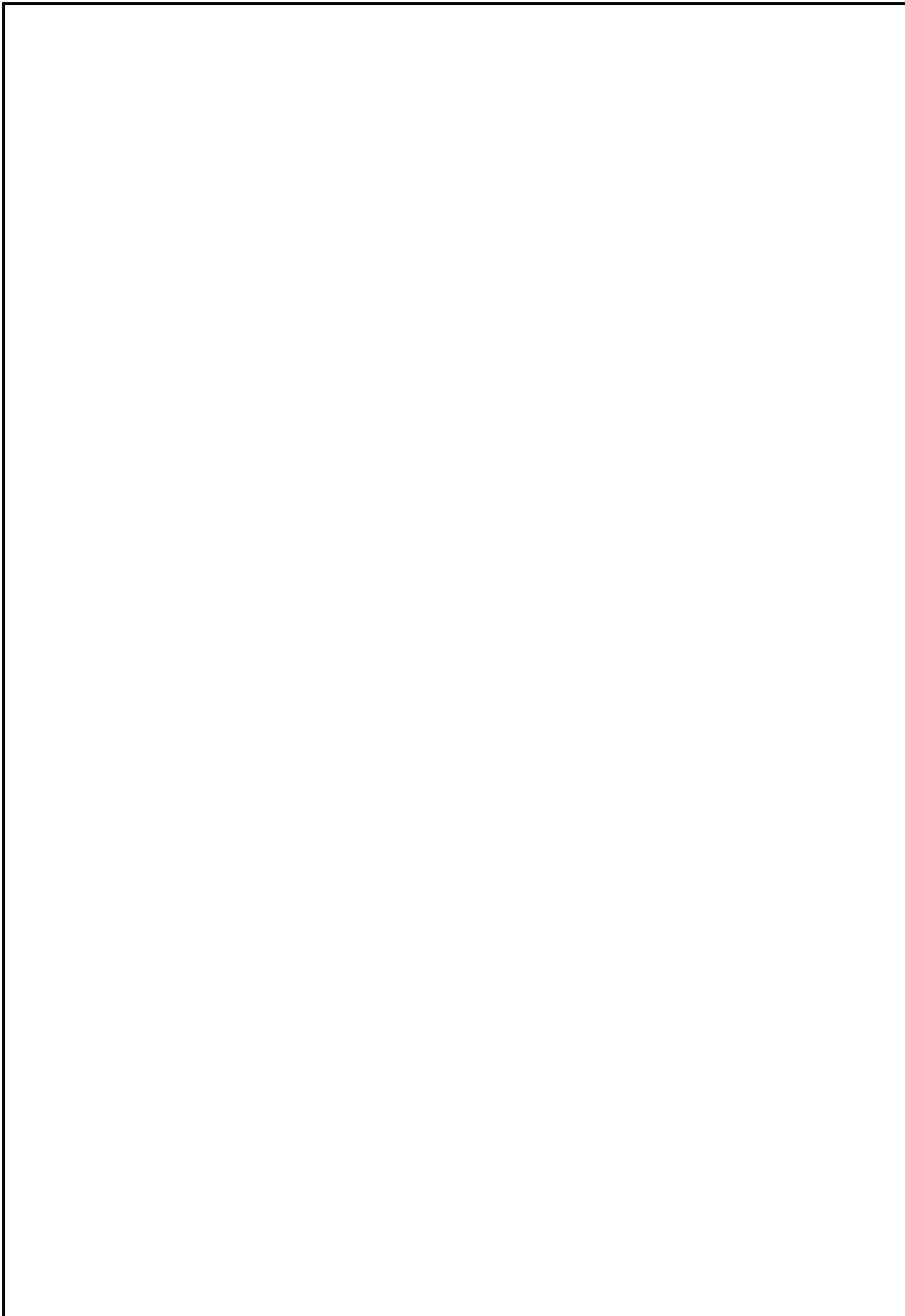


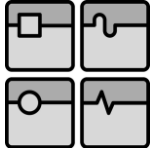
Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Str. 12



	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## 1 Základní pojmy a definice

V odborných kruzích je nezbytné používat správné terminologie při vzájemné komunikaci. Definice najdeme v platných normách a předpisech, například uvedme Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny.

### 1.1 Metrologie

Metrologie je obecně věda o měření, tvoří základnu jednotného a přesného měření prakticky ve všech vědních oborech. Metrologii můžeme rozdělit do tří částí:

- **Metrologie vědecká** pomáhá při studiu základních přírodních zákonů a zároveň využívá nových poznatků pro zvyšování přesnosti experimentálních činností. Z hlediska vědeckého se vědecká metrologie pohybuje na nejvyšší úrovni.
- **Metrologie legální** shrnuje normy, zákony a vyhlášky zabývající se problematikou měření.
- **Metrologie praktická** se zabývá praktickou činností při aplikaci měřicích postupů v dané oblasti

[1]

### 1.2 Definice pojmů v oblasti měření

**Měření** je proces, při kterém se experimentálně získává hodnota nebo více hodnot přiřazených k měřené veličině.

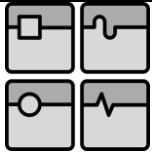
**Metoda měření** určuje logickou posloupnost činností užitých při měření.

**Postup měření** podrobně popisuje jednotlivé principy a metody měření, které mohou obsahovat libovolný výpočet k získání výsledku měření.

**Výsledek měření** je soubor získaných hodnot přiřazených měřené veličině společně s další dostupnou relevantní informací. Touto informací se zpravidla rozumí nejistota měření. Výsledek měření by měla být teoreticky absolutně přesná hodnota (pravá hodnota) kterou ovšem nelze získat, protože neexistují absolutně přesná měřidla a nejsme schopni vytvořit ideální podmínky pro měření.

**Naměřená hodnota veličiny** reprezentuje výsledek měření. Je to hodnota získaná většinou jako aritmetický průměr vypočítaný z jednotlivých měření za podmínek opakovatelnosti. Pokud jde o nepřímá měření, jednotlivé hodnoty se získávají ze vstupních veličin.

**Pravá hodnota veličiny** je skutečná hodnota, která je ve shodě s definicí veličiny. Pravá hodnota se považuje za nepoznatelnou a měřením se k ní lze pouze blížit, proto je v praxi zastupována konvenční hodnotou.



**Konvenční hodnota** je taková hodnota, která svojí přesností (nejistotou) vyhovuje danému účelu použití. V praxi je pak používána jako referenční hodnota veličiny (např. etalonů) pro další kalibrace a zastupuje tak pravou hodnotu veličiny.

**Přesnost měření** je těsnost shody mezi naměřenou hodnotou veličiny a pravou hodnotou veličiny měřené

[2]

### 1.2.1 Chyby měření

Každý výsledek měření je zatížen chybou, která může být způsobena lidským faktorem, nepřesným měřidlem, nesprávně zvolenou metodou měření a dalšími faktory.

**Absolutní chyba** vyjadřuje rozdíl mezi výsledkem měření a konvenčně pravou hodnotou měřené veličiny:

$$\Delta = X_m - X_p, \quad (1)$$

kde  $X_m$  je výsledek měření,

$X_p$  je (konvenčně) pravá hodnota měřené veličiny

Pravou hodnotu měřené veličiny není možné získat, proto se nahrazuje konvenčně pravou hodnotou, která se pravé hodnotě dostatečně blíží. Konvenčně pravá hodnota se měří několikanásobně přesnější metodou.

[3]

**Relativní chyba** se vyjadřuje jako podíl chyby měření a konvenčně pravé hodnoty měřené veličiny:

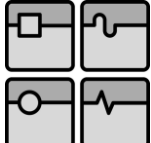
$$\Delta_r = \frac{X_m - X_p}{X_p}, \quad (2)$$

tuto chybu je možné vyjádřit v procentech:

$$\Delta_p = \frac{X_m - X_p}{X_p} \cdot 100 [\%] \quad (3)$$

Při provedení nejméně 5 měření za podmínek opakovatelnosti se z pravidla výsledky těchto měření řídí zákonem normálního rozdělení, tento zákon platí i u chyby měření.

[3]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

**Celková chyba měření** se obecně skládá ze dvou složek:

- **Systematická chyba**  $\Delta_s$  je složka celkové chyby, která se při opakovaném měření nemění nebo se mění předvídatelným způsobem. Je to střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření stejné veličiny při zachování podmínek opakovatelnosti, od které se odečte pravá hodnota veličiny. Systematickou chybu lze redukovat pomocí korekce. Korekce má hodnotu systematické chyby, ale s opačným znaménkem. Systematickou chybu nelze odstranit úplně, protože střední hodnotu měřené veličiny můžeme pouze odhadnout a pravou hodnotu nahradit referenční hodnotou.

Příčiny vzniku systematických chyb mohou být například:

- Chyba obsluhy
- Chyba metody měření
- Chyba měřicího vybavení
- Chyba zapříčiněná okolním prostředím

[3]

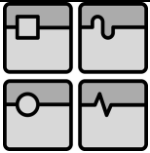
- **Náhodná chyba měření**  $\delta$  se při opakovaných měření mění nepředvídatelným způsobem. Je rovna výsledku měření minus střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření při zachování podmínek opakovatelnosti. Hodnota náhodné chyby jednoho měření může nabývat maximálně  $\pm 3s$  (směrodatná odchylka). Zredukovat tuto chybu lze mnohanásobným měřením za podmínek opakovatelnosti.

**Celková chyba** se pak vypočte:

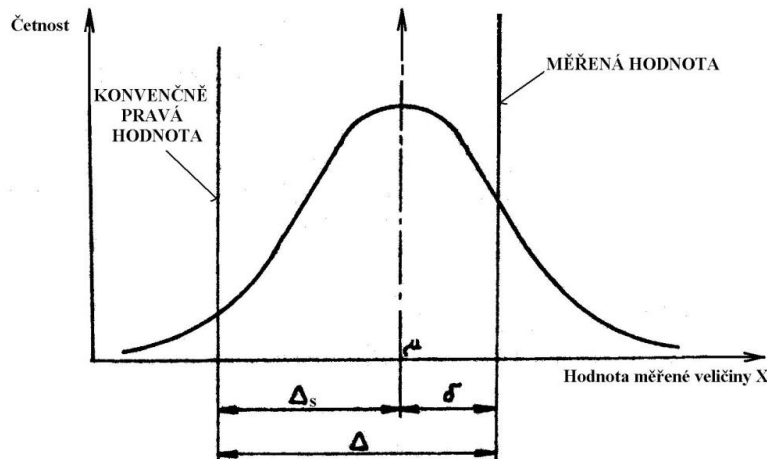
$$\Delta = \Delta_s + \delta, \quad (4)$$

kde  $\Delta_s$  je systematická chyba,  
 $\delta$  je chyba náhodná.

[3]



Grafické vyjádření náhodné a systematické chyby je znázorněno na obr. 1.



Obr. 1 Grafické vyjádření chyby měření [3]

### 1.3 Nejistota měření

U každého výsledku měření je důležité uvádět hodnotu nejistoty měření. Tato hodnota znázorňuje, jak moc se k pravé hodnotě blížíme.

Máme-li naměřenou hodnotu  $Y$  a výslednou nejistotu měření  $U$ , pak v intervalu  $(Y - U; Y + U)$ , jehož středem je výsledek měření, leží hledaná pravá (skutečná) hodnota měřené veličiny s danou pravděpodobností (většinou 95%).

#### Definice nejistoty měření:

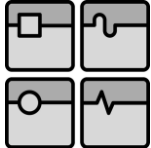
Nejistota měření je parametr, pomocí kterého jsme schopni vyhodnotit výsledek měření. Charakterizuje rozsah hodnot, v němž leží pravá hodnota měřené veličiny, obecně s danou pravděpodobností.

Pravou neboli skutečnou hodnotu měřené veličiny nelze určit, neboť neexistuje dokonale přesné měřidlo, ani nelze zrealizovat ideální podmínky pro měření. Proto se hodnota reálného měření veličiny k pravé hodnotě více či méně blíží. Pro definování přesnosti výsledku měření je tedy nutné informovat o nejistotě měření.

[3, 4]

#### 1.3.1 Druhy nejistot

Základním typem nejistoty měření je standardní nejistota. Je to kvantitativní charakteristika nejistoty a značí se písmenem  $u$ . Standardní nejistota je vyjádřena pouze hodnotou směrodatné odchylky.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 17
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Standardní nejistota se dělí na dva základní druhy podle typu vyhodnocení:

- **Standardní nejistota typu A ( $u_A$ )** - tato nejistota se získává z opakovaného měření stejné veličiny a výpočtem směrodatné odchylky z naměřených hodnot. U této metody se považují příčiny nejistoty za neznámé. S rostoucím počtem měření hodnota této nejistoty klesá.
- **Standardní nejistota typu B ( $u_{B_i}$ )** - je nejistota, která se získává jinak než statistickou analýzou série naměřených hodnot. Ke zjištění používáme všechny známé zdroje nejistoty. Je určena pravděpodobností, se kterou mohou jednotlivé zdroje nejistot nabývat hodnot mezi svými krajními hodnotami. Tato nejistota není závislá na počtu měření.
- **Kombinovaná standardní nejistota ( $u_c$ )** - vzniká sloučením standardní nejistoty typu A a typu B. Pravděpodobnost, že skutečná hodnota měřené veličiny leží v intervalu daném touto nejistotou, je 68 %. Taková pravděpodobnost není moc dostačující.
- **Rozšířená standardní nejistota ( $U$ )** - je charakterizována intervalem s větší pravděpodobností pokrytí skutečné hodnoty. Vypočítá se vynásobením kombinované nejistoty s koeficientem  $k$ . Hodnota koeficientu  $k=2$  pro normální rozdělení odpovídá 95% pokrytí. Díky tomuto parametru lze prokázat shodu nebo neshodu dílu se stanovenými tolerancemi.

[3, 4]

### 1.3.2 Zdroje nejistot

Při určování nejistoty měření je nejdůležitější vzít v potaz všechny možné jevy, které mohou mít vliv na výsledek měření. Tyto jevy přispívají k nejistotě měření a jsou důvodem, kvůli kterému nemůže být výsledek měření charakterizován pouze jedním číslem. Tyto jevy se nazývají zdroje nejistot a patří mezi ně:

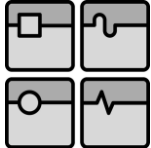
- zdroje pocházející z použitého vybavení – použité měřidlo, jeho rozlišení, vnitřní tření v přístrojích
- okolní prostředí a jeho změny – teplota, tlak, vlhkost, magnetické pole, chvění
- metoda měření – interakce s měřeným předmětem, počet měřených bodů
- operátor – psychický stav, kvalifikace, zručnost, pečlivost
- měřený objekt – povrch, materiál, způsob uchycení

[3, 4]



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

A large empty rectangular box with a black border, occupying the majority of the page below the header.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 19
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## 2 Způsobilost kontrolního procesu

Pro vyhodnocení způsobilosti kontrolního procesu byla využita metodika VDA 5, tuto metodiku lze použít pouze na vyhodnocení geometrických veličin.

Metodika VDA 5 popisuje tyto postupy:

- zjištění nejistoty měření
- stanovení použitelnosti kontrolních prostředků
- důkaz způsobilosti kontrolních procesů a doporučení pro mezní hodnoty
- přihlídnutí k nejistotě měření při hodnocení výsledku měření ve vztahu ke shodě nebo neshodě se stanovenou tolerancí

[4]

### 2.1 Stanovení nejistoty měření

- **Standardní nejistota typu A ( $u_A$ )** se vypočte z naměřených hodnot opakovaných měření. Výpočet této nejistoty je založen na níže uvedených vztazích:

$$\text{- Aritmetický průměr měření: } \bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

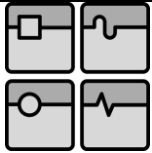
$$\text{- Výběrová směrodatná odchylka: } s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

$$\text{- Výběrová směrodatná odchylka aritmetického průměru (nejistota typu A): } u_A = s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

Kde  $x_i$  - výsledek i-tého měření,  
n - počet měření

- **Standardní nejistota typu B ( $u_{B_i}$ )** se zjišťuje následujícím postupem:
  - Odhad maximální odchylky od měřené hodnoty  $\pm z_{max}$ , velikost  $\Delta z_{max}$  je třeba zvolit tak, aby její překročení bylo nepravděpodobné.
  - Určí se rozdělení pravděpodobnosti, které nejlépe vystihuje výskyt hodnot v intervalu  $\pm z_{max}$ , nejčastěji se využívá normální rozdělení nebo rovnoměrné rozdělení.
  - Vypočítají se nejistoty typu B pro jednotlivé zdroje ze vztahu:

$$u_{B_i} = \frac{\Delta z_{max}}{\chi} \quad (8)$$



- **Kombinovaná standardní nejistota ( $u_c$ )** - je výsledek sloučení nejistot typu A a B pomocí tohoto vztahu:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + \sum_{i=1}^n A_i^2 \cdot u_{B_i}^2} \quad (9)$$

Kde  $u_A$  - nejistota typu A,

$u_{B_i}$  - nejistoty typu B jednotlivých zdrojů

$A_i$  - koeficienty citlivosti jednotlivých nejistot typu B

Jelikož je převážně využíváno pouze přímé měření (neexistují vzájemné závislosti mezi vstupními veličinami nebo je lze vzhledem k jejich velikostem zanedbat), platí mezi vstupní a výstupní veličinou lineární vztah, proto lze předchozí vztah zjednodušit takto:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + \sum_{i=1}^n u_{B_i}^2} \quad (10)$$

- **Rozšířená standardní nejistota ( $U$ )** se vypočítá vynásobením koeficientu rozšíření  $k$  a kombinované standardní nejistoty. Hodnota koeficientu  $k=2$  pro normální rozdělení odpovídá 95% pokrytí skutečné hodnoty:

$$U = k \cdot u_c \quad (11)$$

[3, 4]

## 2.2 Použitelnost kontrolního prostředku

Část hodnocení způsobilosti kontrolního procesu je věnována použitelnosti kontrolního prostředku pro danou měřicí úlohu. Pro vyhodnocení kontrolního prostředku je třeba vysvětlit základních pojmů:

**Rozlišitelnost** je schopnost indikačního zařízení, která uvádí nejmenší rozlišitelný rozdíl mezi dvěma údaji. Měřidlo musí mít dostatečnou rozlišitelnost, která umožní důvěryhodně detekovat změny měřeného znaku. Pokud měřidlo nemá dostatečnou rozlišitelnost, je nutné zvolit měřidlo s větší rozlišitelností. Míra rozlišitelnosti se stanoví podle vzorce:

$$\%RE = \frac{RE}{T} \cdot 100 \% \quad , \quad (12)$$

Kde RE je rozlišení měřidla,

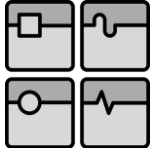
T je tolerance měřeného rozměru

%RE je míra rozlišení (rozlišitelnost) měřidla

%RE  $\leq$  5 % rozlišení vhodné,

%RE  $>$  5 % rozlišení nevhodné.

[4]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 21
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

**Nejmenší kontrolovatelná tolerance  $T_{min}$**  v závislosti na mezní hodnotě způsobilosti  $G_{pp}$ :

$$T_{min} = \frac{6 \cdot u_{PM}}{G_{pp}}, \quad (13)$$

Kde  $u_{PM}$  je standardní nejistota kontrolního prostředku  
 $G_{pp}$  je mezní hodnota pro kontrolní proces

Standardní nejistota kontrolního prostředku  $u_{PM}$  se stanoví z kalibračního listu nebo se určí přiřazením konstanty závislé na určitém typu rozdělení k největšímu rozsahu změn (např. největší dovolená chyba).

Mezní hodnota pro kontrolní proces  $G_{pp}$  je závislá na daném stupni tolerance (doporučuje se volit hodnota 0,2 až 0,4).

Kontrolní prostředek je pro daný kontrolní proces vhodný, jestliže je tolerance měřeného rozměru  $T \geq T_{min}$ .

[4]

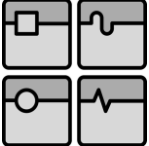
### 2.2.1 Hodnocení způsobilosti měřicích prostředků

Přesnost měřidla je jeho schopnost udávat za stanovených podmínek výstupní signály blízké pravé hodnotě měřené veličiny. Pro hodnocení přesnosti měřidla je třeba vyloučit všechny okolní vlivy, které nemají s hodnoceným měřidlem žádnou souvislost.

Mezi veličiny hodnotící jakost měřidla patří:

- **Pravdivost měření** (strannost) vyjadřuje rozdíl mezi přijatou referenční hodnotou a střední hodnotou výsledků zkoušek. Strannost je míra systematické chyby. Pro vyčíslení strannosti je třeba získat konvenčně pravou hodnotu znaku, který představuje většinou referenční etalon. Na strannost negativně působí tyto vlivy:
  - Chyba etalonu
  - Opotřebením měřidla
  - Nesprávná kalibrace
  - Vliv prostředí
  - Vliv operátora

[2, 3]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 22
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- **Preciznost měření za podmínek opakovatelnosti** (opakovatelnost) vyjadřuje těsnost shody mezi výsledky po sobě následujících měření téže měřené veličiny za podmínek opakovatelnosti. Mezi podmínky opakovatelnosti patří stejný postup měření, personál, měřicí systém, pracovní podmínky a místo. Měření se musí provádět na stejném nebo podobném objektu v krátkém časovém úseku. Před hodnocením opakovatelnosti je třeba zaručit konzistentnost variability vlastního systému. Systém musí být zvládnut. Preciznost je kvantifikována pomocí parametru rozptylu výsledků měření. Pokud je rozptyl příliš velký, je třeba provést rozbor příčin a jejich odstranění. Nejčastěji mezi příčiny patří měřidlo a variabilita polohy měřeného objektu v měřidle.

[2, 3]

- **Preciznost měření za podmínek reprodukovatelnosti** (reprodukovatelnost) hodnotí jakost měřicího systému z hlediska variability výsledků měření. Mezi podmínky reprodukovatelnosti patří různá místa, obslužný personál, měřicí systémy a opakování měření na stejném nebo obdobném objektu.

[2, 3]

- **Stálost** umožňuje předvídat chování měřidla v budoucnosti. Stálost ovlivňují děje, které způsobují nestabilitu. Mezi tyto děje patří například změna teploty, opotřebení, koroze atd.

[3]

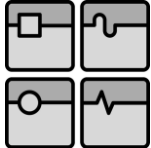
- **Linearita** měřidla se analyzuje výběrem hodnot z celého rozsahu měřidla. Porovnáním hodnot průměrů výsledků měření jednotlivých kusů s konvenčně pravou hodnotou zjišťujeme míru nelinearity měřidla. Nelinearita je způsobována především těmito vlivy:

- Měřidlo není kalibrováno v celém rozsahu
- Opotřebení měřidla
- Konstrukční znaky měřidla

[3]

### 2.2.2 Hodnocení způsobilosti pomocí metodiky $c_g$ a $c_{gk}$

Tato metoda hodnotí přesnost měřidla z hlediska strannosti a opakovatelnosti. Takto se hodnotí především měřicí zařízení, u kterých nedochází k ovlivňování výsledku měření obsluhou. Jsou to především měřicí automaty a absolutní měřidla. Postup této metody je založen na opakovaném měření kontrolního etalonu, který představuje konvenčně pravou hodnotu.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 23
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Při použití této metody je nutné dodržet tyto podmínky:

- Nejméně 30 opakování měření kontrolního etalonu
- Měření provádí jedna osoba
- Měření se provádí jedním měřidlem
- Měření se provádí jedním postupem
- Během měření jsou zachovány stejné podmínky
- Měření probíhá v krátkém časovém intervalu

[3]

**Opakovatelnost** se vypočítá dle následujícího vztahu:

$$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} \quad (14)$$

Kde T je tolerance měřeného rozměru,  
 $s_g$  je výběrová směrodatná odchylka výsledků měření kontrolního etalonu.

$$T = HMR - DMR, \quad (15)$$

Kde HMR je horní mezní rozměr,  
DMR je dolní mezní rozměr.

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2}, \quad (16)$$

Kde n je počet měření za podmínek opakovatelnosti (min. 30)  
 $x_i$  je výsledek i-tého měření  
 $\bar{x}_g$  je výběrový průměr výsledků měřeného etalonu

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (17)$$

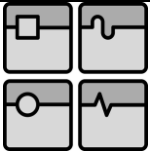
**Strannost měření** je dána vztahem:

$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 \cdot s_g}, \quad (18)$$

Kde  $x_m$  je hodnota kontrolního etalonu.

Výsledky indexů  $c_g$  a  $c_{gk}$  určují, zda výsledek měření kontrolního etalonu leží s 99,73% pravděpodobností ve zvoleném pásmu tolerance měřidla, která je stanovena jako 20 % šířky tolerance měřeného rozměru.

[3]



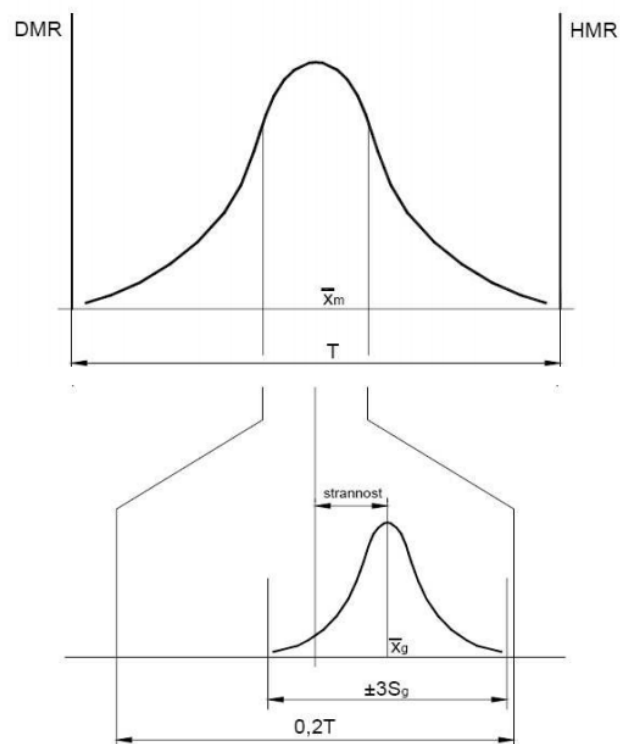
## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

V tabulce tab. 1 jsou zobrazeny mezní hodnoty pro schválení nebo zamítnutí měřidla.

Tolerance [mm]	Mezní hodnoty [-]	Vyhovuje
$T > 0,05$	$C_g, C_{gk} \geq 1,33$	ANO
$T \leq 0,05$	$C_g, C_{gk} \geq 1$	ANO
$T \leq 0,05$	$C_g, C_{gk} < 1$	NE

Tab. 1 Mezní hodnoty pro schválení nebo zamítnutí měřidla

Zobrazení strannosti vzhledem k toleranci je na obr. 2.



Obr. 2 Znáznornění strannosti vzhledem k toleranci

[3]

### 2.3 Důkaz způsobilosti kontrolního procesu

K určení způsobilosti kontrolního procesu slouží ukazatel způsobilosti  $g_{pp}$ , který se vypočte podle vztahu:

$$g_{pp} = \frac{2 \cdot U}{T}, \quad (19)$$

Kde  $U$  je rozšířená nejistota měření,  
 $T$  je tolerance měřeného rozměru.

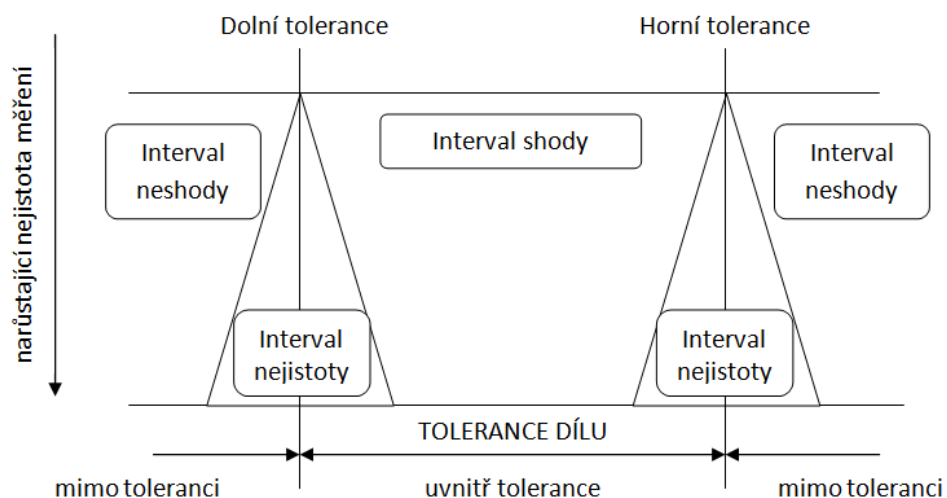
Hodnota ukazatele  $g_{pp}$  odpovídá zúžené toleranci pro oblast shody. Pokud ukazatel způsobilosti nepřesáhne mezní hodnotu  $g_{pp} \leq G_{pp}$ , pak je kontrolní proces hodnocen jako způsobilý.

[4]

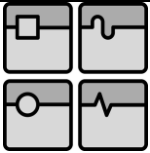
### 2.4 Stanovení shody a neshody s tolerancemi

Interval shody je roven toleranci zmenšené o rozšířenou nejistotu měření  $U$ . Pokud se nachází interval mimo toleranci zvětšený o rozšířenou nejistotu měření  $U$ , jde o interval neshody. Na obr. 3 je znázorněn interval shody, neshody, a nejistoty.

[4]



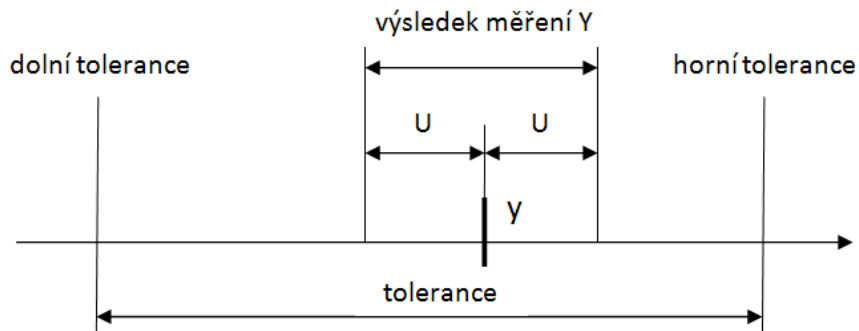
Obr. 3 Interval shody, neshody a nejistoty [4]



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Shoda** je prokázána, pokud výsledek měření  $Y$  (měřená hodnota  $y$  včetně rozšířené nejistoty  $U$ ) leží uvnitř tolerance. Tato situace je znázorněna na obr. 4.

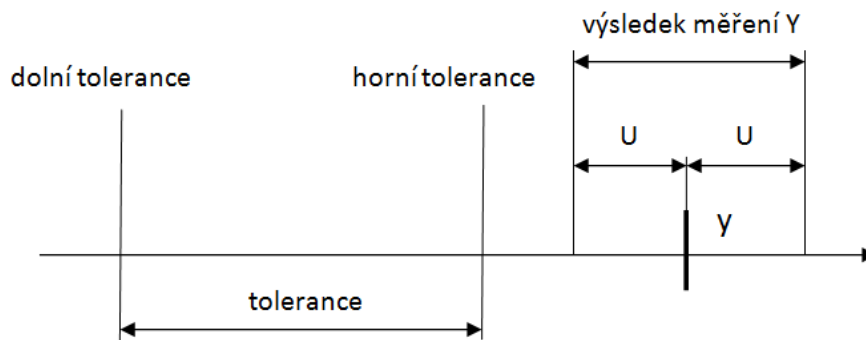
[4]



Obr. 4 Důkaz shody s tolerancí [4]

**Neshoda** s tolerancí je jednoznačně prokázána, pokud výsledek měření  $Y$  (naměřená hodnota  $y$  včetně rozšířené nejistoty měření  $U$ ) leží mimo toleranci. Znázorněno na obr. 5.

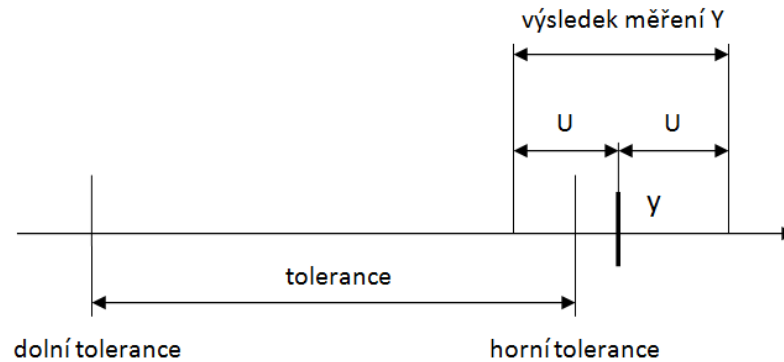
[4]



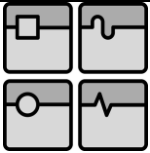
Obr. 5 Důkaz neshody s tolerancí [4]

Pokud obsahuje výsledek měření  $Y$  (naměřená hodnota včetně rozšířené nejistoty měření  $U$ ) jednu z tolerančních mezí, nelze prokázat shodu ani neshodu s tolerancí, viz obr. 6.

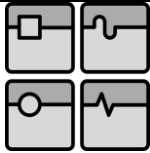
[4]



Obr. 6 Shodu nebo neshodu nelze prokázat [4]



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

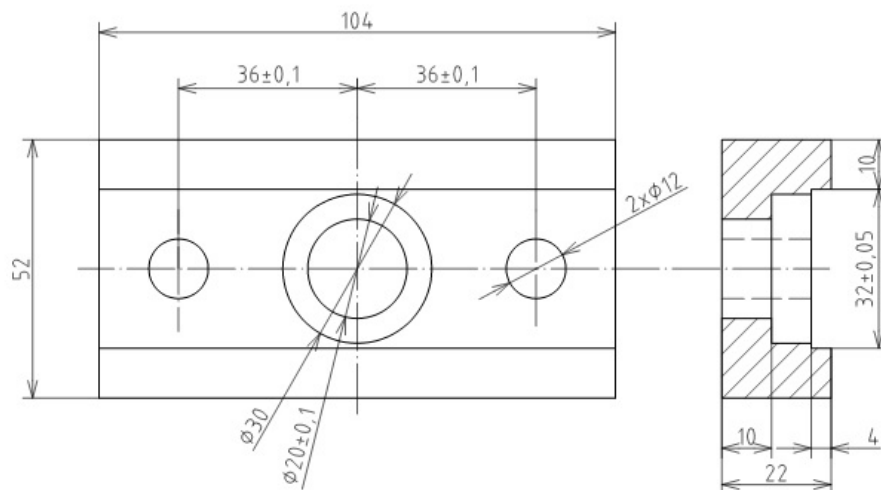


### 3 Aplikace hodnocení způsobilosti kontrolního procesu

Předchozí poznatky byly využity k hodnocení způsobilosti kontrolního procesu, který zahrnoval měření vytypovaného výrobku souřadnicovým měřicím strojem. Použitý kontrolní prostředek byl hodnocen z hlediska opakovatelnosti a strannosti. Vycházelo se z opakovaného měření kontrolního etalonu, který představoval konvenčně pravou hodnotu.

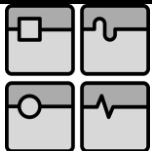
#### 3.1 Vytypovaná součást

Součást, pro kterou se způsobilost kontrolního procesu určovala, je zobrazena na obr. 7.



Obr. 7 Vytypovaná součást

Způsobilost kontrolního procesu byla hodnocena pro rozměr s nejmenší tolerancí, tedy pro rozměr  $\text{Ø}32 \pm 0,05$  mm. Součást je vyrobena frézováním a vrtáním. Drsnost obrobeného měřeného povrchu je předepsána na 1,6 Ra.



### 3.2 Měřicí prostředek

Pro měření byl použit portálový měřicí přístroj od firmy Hexagon Metrology s modelovým označením DEA Pioneer (Obr. 8).



Obr. 8 Portálový měřicí stroj DEA Pioneer

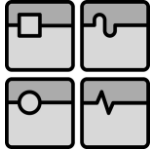
Jedná se o model s maximálním poměrem výkonu a ceny. Technické specifikace stroje jsou uvedeny v tabulce tab. 2.

Měřicí rozsah [mm]			Maximální přípustná chyba $MPE_E$ [ $\mu\text{m}$ ]	Maximální rychlost [mm/s]	Maximální zrychlení [ $\text{mm/s}^2$ ]
X	Y	Z	2,8+3,5L/1000	520	1732
500	600	400			

Tab. 2 Technické specifikace SMS DEA Pioneer, L je hodnota měřeného rozměru v mm.

Stroj je vybaven manuální otočnou snímací hlavou, ke které byla dodána základní sada dotyků s ocelovým dříkem a rubínovou kuličkou.

Programové vybavení stroje PC-DMIS bohužel v použité verzi neumožňuje využití 3D modelu součástí. Programování CNC módu probíhá pouze pomocí přednastavených prvků (bod, přímka, otvor atd.)

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 31
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

### 3.3 Kontrolní měření

Pro měření byl zvolen dotek o průměru kuličky 4mm a délce dřívku 20mm. Maximální přípustná chyba stroje je předepsaná právě pro tento dotek, proto byl vyhodnocen jako nejvhodnější. Před samotným měřením se provedla kalibrace pomocí kalibrační koule o průměru  $\varnothing 19,0492\text{mm}$  (Obr. 9).



Obr. 9 Kalibrační koule

**Princip měření** - měření délky vybraného kontrolního etalonu.

**Metodika měření** – ověření strannosti a opakovatelnosti měření souřadnicového měřicího stroje pomocí kontrolního etalonu, který zastupuje měřenou součást. Pracovní etalon byl kontrolován softwarem PC-DMIS a SMS DEA Pioneer.

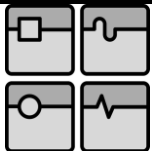
**Počáteční podmínky měření** – měření probíhalo v klimatizované měřicí místnosti, teplota klimatizace byla nastavena na teplotu  $20^{\circ}\text{C}$ .

Naměřené teploty:

- Teplota souřadnicového stroje v osách X, Y, Z:  $20,2^{\circ}\text{C}$ ;  $19,9^{\circ}\text{C}$ ;  $20,5^{\circ}\text{C}$
- Teplota měřeného etalonu:  $20,8^{\circ}\text{C}$

Tyto teploty byly zadány do systému PC-DMIS pro korekci i s koeficientem teplotní roztažnosti etalonu  $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$ .

**Kontrolní etalon** - byly použity koncové měrky značky MITUTOYO. Pro rozměr 32 mm byly spojeny tzv. nasáváním dvě měrky o rozměrech 30 mm a 2 mm.



**Postup měření** - měřky se v držáku umístily na granitovou měřicí desku tak, aby se stroj při snímání bodu pohyboval v ose X i Y. Poté se provedlo prvotní ruční vyrovnaní souřadnicového systému, které bylo následně nahrazeno naprogramovaným vyrovnaním pomocí CNC módu. Program se skládá z bloků a vět, které popisují průběh měření ploch etalonu. Plochy byly snímány pomocí 6 bodů. Provedlo se 30 měření kontrolního etalonu za podmínek opakovatelnosti. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze A.

### 3.4 Použitelnost kontrolního prostředku DEA Pioneer

Použitelnost měřicího prostředku je kontrolována podle postupu popsaného v podkapitole 2.2. Vypočte se míra rozlišitelnosti (str. 17, vzorec 12), dále pak nejmenší kontrolovatelná tolerance (str. 18, vzorec 13). Standardní nejistota kontrolního prostředku  $u_{PM}$  se získá dosazením maximálního možného rozsahu (maximální dovolené chyby přístroje garantované výrobcem  $MPE_E$ ) a konstanty přiřazeného normálního rozdělení do vztahu uvedeného na str. 16, vzorec 8. Rozlišení stroje činilo 0,001mm.

#### Výpočty:

- **Míra rozlišitelnosti**

$$RE = 0,001 \text{ mm}$$

$$T = 0,1 \text{ mm}$$

$$\%RE = \frac{RE}{T} \cdot 100\% = \frac{0,001}{0,1} \cdot 100\% = 1\%$$

**Míra rozlišení  $\%RE \leq 5\%$  » rozlišení je vhodné.**

- **Nejmenší kontrolovatelná tolerance  $T_{min}$**

$$T = 0,1 \text{ mm}$$

$$G_{pp} = 0,2$$

$$L = 32 \text{ mm}$$

Konstanta norm. rozdělení  $\chi = 3$

$$MPE_E = 2,8 + 3,5 \cdot L / 1000 = 2,912 \text{ } \mu\text{m}$$

$$u_{PM} = \frac{MPE_E}{\chi} = \frac{2,912}{3} = 0,971 \text{ } \mu\text{m}$$

$$T_{min} = \frac{6 \cdot u_{PM}}{G_{pp}} = \frac{6 \cdot 0,000971}{0,2} = 0,029 \text{ mm}$$

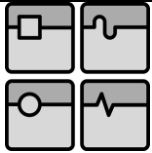
**$T \geq T_{min}$  » kontrolní prostředek je použitelný.**

Zhodnocení kontrolního prostředku je shrnuto v tabulce tab. 2.

Vyhodnocení kontrolního prostředku					
Zdroj nejistoty	Označení nejistoty	Typ nejistoty	Odhad odchylek	Typ rozdělení ( $\chi$ )	Nejistota [ $\mu\text{m}$ ]
Měřidlo	$u_{PM}$	B	2,912	normální (3)	0,971
Použitelnost kontrolního prostředku					
Míra rozlišení %RE [%]				1%	
Míra rozlišení %RE $\leq$ 5% rozlišení je vhodné?				<b>ANO</b>	
Nejmenší kontrolovatelná tolerance $T_{min}$ [mm]				0,029	
Kontrolní prostředek je použitelný? $T \geq T_{min}$				<b>ANO</b>	

Tab. 2 Použitelnost kontrolního prostředku.

Z výpočtu použitelnosti kontrolního prostředku jasně vyplývá, že pro experiment je použito měřidlo s dostatečnou rozlišitelností. Vybrané měřidlo je zásadně způsobilé pro kontrolu vybrané součásti. **Dále lze přejít k určení způsobilosti stroje.**



### 3.5 Hodnocení způsobilosti kontrolního prostředku koeficienty $c_g$ a

#### $c_{gk}$

Postupy výpočtu koeficientů  $c_g$  a  $c_{gk}$  jsou popsány v kapitole 2.2.2. Při výpočtu se vycházelo z příslušných vztahů, uvedených na str. 20 - 21, vzorce 14 -18. Výpočet byl proveden v tabulkovém procesoru Microsoft Excel. Použité naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze A,  $T = 0,1$  mm,  $x_m = 32$  mm. Dále jsou uvedeny výsledky výpočtů:

$$\bar{x}_g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 31,99923 \text{ mm}$$

$$s_g = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_g)^2} = 0,00043 \text{ mm}$$

$$c_g = \frac{0,2 \cdot T}{6 \cdot s_g} = 7,749$$

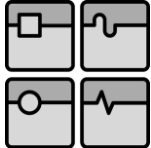
$$c_{gk} = \frac{0,1 \cdot T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 \cdot s_g} = 7,155$$

Vyhodnocení způsobilosti měřidla je uvedeno v tabulce tab. 4.

Tolerance [mm]	Mezní hodnoty [-]	Vyhovuje
0,1 > 0,05	$c_g, c_{gk} \geq 1,33$	ANO

Tab. 4 Vyhodnocení způsobilosti měřidla

Pomocí ukazatelů se prokázalo, že výsledek měření etalonu leží s 99,73% pravděpodobností ve zvoleném pásmu tolerance měřidla, šířka tolerance měřidla se stanovila na 20 % šířky tolerance měřeného rozměru.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 35
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

### 3.6 Stanovení nejistoty měření

#### 3.6.1 Standardní nejistota typu A

Standardní nejistota typu A ( $u_A$ ) byla získána ze série měření kontrolovaných rozměrů. Měření bylo provedeno 30x. Vztahy pro odhad standardní nejistoty typu A jsou uvedeny na str. 16, vzorce 5, 6, 7.

$$u_A = s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n - 1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,079 \mu\text{m}$$

#### 3.6.2 Standardní nejistota typu B

S ohledem na využitou techniku a na prostředí, byly uvažovány tyto zdroje nejistoty:

- vliv kontrolního prostředku
- vliv odchylky teploty od referenční teploty
- vliv rozdílu teplot souřadnicového stroje a měřeného etalonu
- vliv nekulovitosti snímače

Nebyly uvažovány vlivy způsobené operátorem, protože měření probíhalo v CNC módu přístroje. Tím byla zaručena stejná měřicí síla, stejné body dotyku sondy a rychlost najíždění snímacího dotyku.

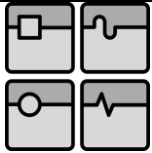
Pro odhad standardní nejistoty typu B ( $u_B$ ) byli uvažováni tito přispěvatelé:

- **Vliv kontrolního prostředku ( $u_{PM}$ )** - hodnota byla získána při výpočtu nejmenší kontrolovatelné tolerance  $T_{\min}$ . Vycházelo se ze vztahu uvedeného na str. 16, vzorec 8 a maximální dovolené chyby přístroje garantované výrobcem  $MPE_E$ .

$$u_{PM} = \frac{MPE_E}{\chi} = \frac{2,912}{3} = 0,971 \mu\text{m}$$

- **Vliv odchylky teploty od referenční teploty ( $u_{\Delta 20}$ )** - referenční teplota je  $20^\circ\text{C}$ , kontrolní místnost je klimatizována, maximální odchylka od referenční teploty okolí činila  $0,8^\circ\text{C}$ . Etalon je zhotoven z oceli s koeficientem teplotní roztažnosti  $\alpha = 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$ . Pro výpočet se uvažoval model rovnoměrného rozdělení  $\chi = \sqrt{3}$ . Použil se vztah:

$$u_{\Delta 20} = \frac{\Delta T_{20} \cdot \alpha \cdot L}{\chi} = \frac{0,8 \cdot 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,032}{\sqrt{3}} = 0,17 \mu\text{m}$$



- **Vliv rozdílu teplot souřadnicového stroje a měřeného etalonu** – pro výpočet této složky nejistoty je potřeba znát koeficient roztažnosti měřicího stroje a měřeného etalonu. Výrobce uvádí koeficient roztažnosti stroje  $\alpha_1 = 10,5 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$  Materiál měřeného etalonu je ocel s koeficientem tepelné roztažnosti  $\alpha_2 = 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$ . Byl zvolen model rovnoměrného rozdělení. Nejprve se určila průměrná hodnota roztažnosti obou materiálů, tedy  $\alpha = 11 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$ . Teplota souřadnicového stroje  $t_1 = 20,2^\circ C$  a teplota etalonu  $t_2 = 20,8^\circ C$ . Pro výpočet nejistoty se použil vztah:

$$u_{\Delta T} = \frac{L \cdot \alpha \cdot (|t_1 - t_2|)}{\chi} = \frac{0,032 \cdot 11 \cdot 10^{-6} \cdot |20,8 - 20,2|}{\sqrt{3}} = 0,12 \mu m$$

- **Vliv kulovitosti snímače ( $u_s$ )** - měření bylo prováděno přímým dotekem o jmenovitém průměru rubínové kuličky 4mm, tento dotek spadá do třídy přesnosti 5. Pro tuto třídu platí hodnota kruhovitosti 0,13  $\mu m$ . Pro výpočet se využije vztah:

$$u_s = \frac{\Delta z_{max}}{\chi} = \frac{0,13}{\sqrt{3}} = 0,075 \mu m$$

- **Vliv etalonu (koncové měřky) ( $u_e$ )** - Byly použity koncové měřky s třídou přesnosti 1, v kalibračním listu těchto měrek je udána chyba u měřky 2mm  $+0,12 \mu m$  a u měřky 30mm  $-0,15 \mu m$ . Při spojení dvou měrek nasáváním vzniká chyba až 0,2  $\mu m$ . Součtem těchto chyb získáme celkovou chybu etalonu 0,22  $\mu m$ .

$$u_e = \frac{\Delta z_{max}}{\chi} = \frac{0,22}{3} = 0,073 \mu m$$

#### a) Standardní kombinovaná nejistota $u_c$

Standardní kombinovaná nejistota se stanoví podle vztahu uvedeného na str. 17, vzorec 9.

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + \sum_{i=1}^n u_{B_i}^2} = \sqrt{0,079^2 + 0,971^2 + 0,17^2 + 0,12^2 + 0,075^2 + 0,073^2} \\ = 1,002 \mu m$$

#### b) Rozšířená standardní nejistota ( $U$ )

Rozšířená standardní nejistota se vypočítá dle vztahu uvedeného na str. 17, vzorec 11.

$$U = k \cdot u_c = 2 \cdot 1,002 = 2 \mu m$$

### 3.7 Vyhodnocení způsobilosti kontrolního procesu

Pro určení způsobilosti kontrolního procesu je třeba vypočítat hodnotu ukazatele způsobilosti  $g_{pp}$  podle vztahu uvedeného na str. 22, vzorec 19. Pokud platí podmínka  $g_{pp} \leq G_{pp}$  je proces způsobilý.

$$g_{pp} = \frac{2 \cdot U}{T} = \frac{2 \cdot 0,002}{0,1} = 0,04$$

$$g_{pp} \leq G_{pp}$$

$$0,04 \leq 0,2$$

Kontrolní proces je pro měření dané součásti zásadně způsobilý. Vyhodnocení způsobilosti kontrolního procesu je shrnuto v tabulce tab. 5.

Zdroj nejistoty	Označení nejistoty	Typ nejistoty	Odhad odchylek	Typ rozdělení ( $\chi$ )	Hodnota nejistoty [ $\mu\text{m}$ ]
Variabilita mezi měřeními	$u_A$	A	Výpočet	normální (3)	0,079
Kontrolní prostředek	$u_{PM}$	B	2,912 $\mu\text{m}$	normální (3)	0,971
Odchylna od ref. teploty	$u_{\Delta 20}$	B	0,8 °C	rovnoměrné ( $\sqrt{3}$ )	0,17
Teplota stroje a etalonu	$u_{\Delta T}$	B	0,6 °C	rovnoměrné ( $\sqrt{3}$ )	0,12
Kulovitost snímače	$u_S$	B	0,13 $\mu\text{m}$	rovnoměrné ( $\sqrt{3}$ )	0,075
Etalon	$u_e$	B	0,22 $\mu\text{m}$	normální (3)	0,073
<b>Standardní kombinovaná nejistota (<math>u_c</math>)</b>					1
<b>Standardní rozšířená nejistota (U)</b>					2
<b>Kontrolní proces</b>					
<b>Index způsobilosti kontrolního procesu (<math>g_{pp}</math>)</b>					0,04
<b>Je kontrolní proces způsobilý? <math>g_{pp} \leq 0,2</math></b>					<b>ANO</b>

Tab. 5 Vyhodnocení způsobilosti kontrolního procesu

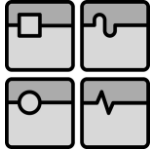
Kontrolní proces je pro měření dané součásti zásadně způsobilý.

Na konečný výsledek měření měl největší vliv kontrolní prostředek. Za daných podmínek bude při výsledku měření etalonu  $Y$  hledaná pravá hodnota délky ležet v intervalu  $\langle 31,997; 32,001 \rangle$  s 95% pravděpodobností. Výsledek lze interpretovat takto:  $Y = (31,999 \pm 0,002)\text{mm}$ .



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

A large empty rectangular box with a black border, occupying the majority of the page below the header.

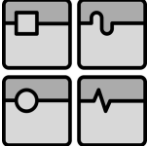
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 39
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## Závěr

Cílem práce bylo vyjádřit nejistotu měření pomocí metodiky mezinárodního slovníku pojmů v metrologii a pro vytypovaný výrobek určit způsobilost kontrolního procesu.

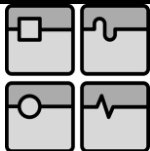
V první části práce byly popsány základní pojmy týkající se metrologie, chyby měření, nejistoty měření a její složky. Druhá kapitola se zabývala způsobilostí kontrolního procesu, byl zde popsán postup pro stanovení nejistoty měření, ověření způsobilosti kontrolního prostředku a hodnocení způsobilosti kontrolního procesu. Tyto postupy byly následně využity pro praxi ve třetí kapitole.

Hodnocený kontrolní proces zahrnoval souřadnicový měřicí stroj portálového typu DEA Pioneer a frézovanou součást, pro kterou se způsobilost procesu vyhodnocovala. Součást byla zastoupena koncovou měrkou. Vyhodnotila se použitelnost měřidla z hlediska rozlišitelnosti a nejmenší kontrolovatelné tolerance, měřidlo bylo vhodné pro měření daného rozměru. Koncová měrka zastupující součást byla 30x změřena za podmínek opakovatelnosti pomocí CNC programu, naměřené hodnoty se použily pro vyhodnocení způsobilosti měřidla pomocí koeficientů  $c_g$  a  $c_{gk}$ , které dokázaly, že je měřidlo způsobilé. Následoval výpočet nejistoty měření, do kterého byly zahrnuty nejvýznamnější vlivy. Největší vliv na nejistotu měření mělo měřidlo. Pomocí nejistoty měření byl vypočítán ukazatele způsobilosti  $g_{pp}$ , který prokázal, že zvolený kontrolní proces je způsobilý pro měření dané součásti.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 40
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## Seznam použité literatury

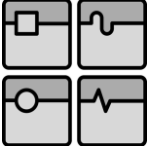
- [1] ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. *Strojírenská metrologie*. 4. přeprac. vyd., 2. v nakl. CERM. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 176 s. : il. ISBN 8021430702.
- [2] TNI 01 0115: 2009 Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM). Praha: Český normalizační institut, 2009. 90 s.
- [3] PERNIKÁŘ, Jiří, TYKAL, Miroslav. *Strojírenská metrologie II*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 180 s. : il. ISBN 8021433388.
- [4] VDA 5 – *Způsobilost kontrolních procesů*. Česká společnost pro jakost. Praha, 2004. ISBN80-02-01656-4. 112 s. Německý originál ISSN 0943-9412
- [5] Hexagon Metrology. [online]. 2015 [cit. 2015-04-20]. Dostupný z WWW: [http://www.hexagonmetrology.cz/DEA-PIONEER\\_915.htm#.VWN4hk-8PGd](http://www.hexagonmetrology.cz/DEA-PIONEER_915.htm#.VWN4hk-8PGd)



## Seznam použitých zkratk a symbolů

**Označení:****Význam:**

$\alpha$	- součinitel teplotní roztažnosti materiálu
$\chi$	- konstanta pro daný model rozdělení
$C_g$	- ukazatel pro opakovatelnost měřidla
$C_{gk}$	- ukazatel pro strannost měřidla
DMR	- dolní mezní rozměr tolerance
$G_{PP}$	- mezní hodnota ukazatele kontrolního procesu
$g_{PP}$	- ukazatel způsobilosti kontrolního procesu
HMR	- horní mezní rozměr tolerance
IT	- stupeň přesnosti
k	- koeficient rozšíření
L	- hodnota měřené délky
$l_1, l_2$	- velikosti koncových měrek
$MPE_E$	- největší dovolená chyba měřidla
n	- počet měření
SMS	- souřadnicový měřicí stroj
s	- výběrová směrodatná odchylka
t	- standardní referenční teplota
$\Delta t$	- teplotní rozdíl od standardní referenční teploty
$S_g$	- výběrová směrodatná odchylka výsledků měření kontrolního etalonu
T	- tolerance měřeného rozměru
$T_{min}$	- nejmenší kontrolovatelná tolerance
U	- rozšířená standardní nejistota měření
$U_A$	- standardní nejistota typu A
$U_B$	- standardní nejistota typu B
$U_C$	- kombinovaná standardní nejistota měření
$U_{PM}$	- nejistota kontrolního prostředku
$U_{\Delta 20}$	- nejistota odchylky teploty od referenční teploty
$U_{\Delta T}$	- nejistota rozdílu teplot měřidla a etalonu
$U_s$	- nejistota kulovitosti snímače
$U_e$	- nejistota etalonu
$\bar{x}$	- aritmetický průměr výsledků zkoušky
$\bar{x}_g$	- aritmetický průměr výsledků měření kontrolního etalonu
$x_i$	- výsledek i-tého měření
$x_m$	- hodnota nastavného kusu (etalonu)
$x_r$	- konvenčně pravá hodnota
Y	- výsledek měření
y	- hodnota získaná měřením
$Z_{max}$	- maximální rozsah změn od měřené veličiny

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 42
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## Seznam příloh

PŘÍLOHA A – Vyhodnocení způsobilosti měřidla

## Příloha A – Vyhodnocení způsobilosti měřidla

Vyhodnocovací protokol						
Základní informace						
Měřicí přístroj:	SMS DEA Pioneer	Měřená součást:	Vodítko			
Číslo měřidla:	00033	Výkres:	324-003-01			
Rozměr:	32 ± 0,05 mm	Tolerance:	0,1 mm			
Kontrolní etalon:	32 mm					
Kontrolní měření (koncová měrka)						
Číslo měření	Naměřené hodnoty [mm]					
1 - 6	31,999	31,999	32,000	32,000	31,999	31,999
7 - 12	31,999	31,999	31,999	31,999	31,999	31,999
13 - 18	31,999	31,999	31,999	31,999	32,000	31,999
19 - 24	32,000	31,999	32,000	31,999	31,999	31,999
25 - 30	32,000	31,999	32,000	31,999	31,999	31,999
Aritmetický průměr výsledků měření kontrolního etalonu		$\bar{x}_g = 31,99923 \text{ mm}$				
Výběrová směrodatná odchylka výsledků měření kontrolního etalonu		$s_g = 0,00043 \text{ mm}$				
Opakovatelnost měřidla		$c_g = 7,749$				
Strannost měřidla		$c_{gk} = 7,155$				
Vyhodnocení způsobilosti měřidla						
			Toleranční pole			
Rozhodnutí o měřidle			T ≤ 0,05 [mm]	T ≥ 0,05 [mm]		
Vyhovuje: <b>ANO</b>			$C_g; C_{gk} \geq 1$	$C_g; C_{gk} \geq 1,33$		
Vyhovuje podmíněně: <b>NE</b>			$C_g; C_{gk} < 1$	$C_g; C_{gk} < 1,33$		
Nevyhovuje: <b>NE</b>						
Datum: 11.3.2015		Vyhodnotil: Martin Hrdlička				
Míra spolehlivosti = 99,73 %						
Musí být provedeno minimálně 30 měření						