

# Kalibrace digitálního výškoměru Mitutoyo

Bc. Ladislav Paďour

---

Diplomová práce  
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ladislav Paďour**  
Osobní číslo: **T11609**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Konstrukce technologických zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Kalibrace digitálního výškoměru Mitutoyo**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerži na dané téma
2. Nastudujte možnosti měření
3. Proveďte kalibraci
4. Navrhněte metody měření pro dané měřidlo

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. SILNÝ, František a Jozef SKÁKALA. Metrologie hmotnosti: přesné vážení v laboratořích. Přel. ze slov. 1. vyd. Praha: VÚNM, 1976, 275 s.
2. KNAP, Radovan. Nejistoty měření. Zlín, 2002. 60 listů. Vedoucí práce František Hruška.
3. CHUDÝ, Vladimír. Meranie technických veličín. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 1999, 688 s. ISBN 8022712752.

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Martin Řezníček**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**8. února 2013**

Termín odevzdání diplomové práce:

**10. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*



  
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: .....

Obor: .....

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá měřením délek pomocí digitálního výškoměru.

V teoretické části jsou popsány chyby a nejistoty měření. Je zde také popsáno rozdělení měřidel.

V praktické části se řeší popis digitálního výškoměru, výroba dílce pro měření a kalibrace.

Jsou zde také popsány parametry výškoměru a jeho rozměry. Naměřené hodnoty jsou patřičně vyhodnoceny.

Klíčová slova: měření délek, výškoměr, kalibrace, graf, chyba

## **ABSTRACT**

This thesis deals with measuring lengths using a digital altimeter.

The theoretical part describes the mistakes and measurement uncertainty. It also describes the division of gauges.

The practical part describes functions of digital altimeter, manufacture of part for measurement and calibration.

There are also described parameters and dimensions of altimeter. All measured values are appropriately evaluated

Keywords: Length measurement, altimeter, calibration, graph, mistake

Děkuji Ing. Martinu Řezníčkovi za vstřícný a ochotný přístup při vedení mojí diplomové práce, za poskytnutý čas, velmi cenné rady a připomínky.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 CHYBY VZNIKAJÍCÍ BĚHEM MĚŘENÍ</b> .....	<b>12</b>
1.1 ABSOLUTNÍ CHYBA MĚŘENÍ.....	12
1.2 RELATIVNÍ CHYBA MĚŘENÍ.....	12
1.3 SYSTEMATICKÁ CHYBA .....	13
<b>2 NEJISTOTY</b> .....	<b>14</b>
2.1 STANDARDNÍ NEJISTOTA TYPU A.....	14
2.2 STANDARDNÍ NEJISTOTA TYPU B.....	14
2.2.1 Standardní nejistota Typu B – chyba měřidla .....	15
2.2.2 Standardní nejistota Typu B – chyba metrologa .....	15
2.3 KOMBINOVANÁ STANDARDNÍ NEJISTOTA .....	15
2.4 ROZŠÍŘENÁ STANDARDNÍ NEJISTOTA.....	16
<b>3 ZÁKLADNÍ DEFINICE DLE ČSN ISO 230-2</b> .....	<b>17</b>
<b>4 MĚŘENÍ</b> .....	<b>25</b>
4.1 MĚŘENÍ DÉLEK .....	25
4.1.1 Rozdělení délkových měřidel.....	25
4.1.2 Koncové měrky .....	26
4.1.3 Definice koncových měrek dle ČSN EN ISO 3650 .....	28
4.1.4 Kalibrace měrek .....	30
4.2 MĚŘIDLA PRO ABSOLUTNÍ MĚŘENÍ DÉLEK .....	31
4.2.1 Délkoměry .....	31
4.2.2 Posuvná měřítka a výškoměry .....	31
4.2.3 Mikrometrická měřidla.....	32
4.3 PEVNÁ A MEZNÍ MĚŘIDLA (KALIBRY) .....	34
<b>5 OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>35</b>
5.1 FYZIKÁLNÍ PODSTATA PROCESU OBRÁBĚNÍ .....	35
5.2 SOUSTRUŽENÍ.....	37
5.2.1 Hrotové soustruhy .....	37
5.2.2 Čelní soustruhy.....	37
5.2.3 Číslicově řízené soustruhy (NC a CNC stroje) .....	38
5.3 FRÉZOVÁNÍ .....	38
5.3.1 Konzolové frézky FA, FB, FD .....	38
5.3.2 Stolové frézky FC .....	38
5.3.3 Nástrojažské frézky FN .....	39
5.3.4 Rovinné frézky FR .....	39
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>41</b>
<b>6 VÝROBA DÍLCE</b> .....	<b>42</b>
6.1 VÝROBNÍ POSTUP .....	42
<b>7 TYP A PARAMETRY DIGITÁLNÍHO VÝŠKOMĚRU</b> .....	<b>46</b>
<b>8 KALIBRACE DIGITÁLNÍHO VÝŠKOMĚRU MITUTOYO</b> .....	<b>47</b>



8.1	PŘÍPRAVA MĚŘENÍ.....	49
8.2	FUNKCE NASTAVENÍ NULOVÉHO BODU.....	49
8.2.1	Nulový bod ABS .....	50
8.2.2	Nulový bod INC.....	50
8.2.3	Nulový bod ABS offset.....	51
8.3	FUNKCE NASTAVENÍ DOTYKU.....	52
8.3.1	Typ dotyku .....	52
8.3.2	Zadání průměru dotyku .....	53
8.4	VYHODNOCENÍ DAT.....	53
<b>9</b>	<b>MĚŘENÍ VYBRANÝCH ROZMĚRŮ DÍLCE .....</b>	<b>57</b>
9.1	VÝŠKA (NAHORU) .....	58
9.2	VÝŠKA (DOLŮ) .....	58
9.3	KRUŽNICE (VNITŘNÍ).....	60
9.4	KRUŽNICE (VNĚJŠÍ) .....	62
9.5	ŠÍŘKA (VNITŘNÍ) .....	64
9.6	ŠÍŘKA (VNĚJŠÍ).....	65
9.7	MĚŘENÍ MAXIMÁLNÍ VÝŠKY .....	67
9.7.1	Maximální výška (dolů).....	67
9.8	MĚŘENÍ MINIMÁLNÍ VÝŠKY .....	68
9.8.1	Minimální výška (nahoru).....	68
9.9	MĚŘENÍ MAX. – MIN. ....	70
9.9.1	Max. – min. (nahoru) .....	70
9.10	ROZTEČ .....	72
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>77</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>79</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>81</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>82</b>

## ÚVOD

První zmínky o metrologii v českých zemích se datují už k roku 1268, kdy byly stanoveny tzv. Královské míry. Toto stanovení bylo nařízeno králem Přemyslem Otakarem II.

Metrologie je obor, který se zabývá měřením. Jde nejen o vlastní měření, ale i o poznatky, které se týkají tohoto zajímavého oboru. Základem jednotného a přesného měření v oblastech vědy, průmyslu a hospodářství je metrologie.

Metrologie má velký význam v řadě lidských činností souvisejících s jejich potřebami a jejich dalším rozvojem. Je to účinný nástroj pro další vědní obory, pro vlastní produkci, pro výzkum a samozřejmě i vývoj.

Ve své diplomové práci jsem se rozhodl pracovat s přístrojem, který doposud nebyl použit v laboratořích metrologie. Zmiňovaný přístroj dlouho v laboratořích metrologie stál a nebyl vůbec používán. Jedná se o výškoměr, který byl vyroben společností Mitutoyo. Přístroj je možno použít pro měření různých veličin, např. měření výšky, průměru, hloubky, rozteče, šířky.

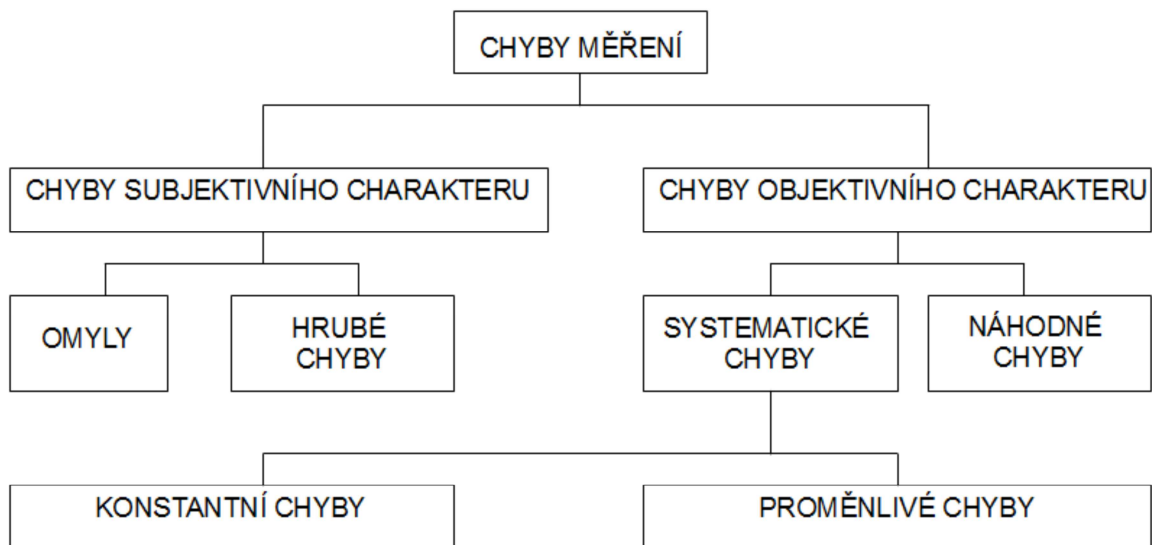
Výškoměr je určen pro měření výšky od základní desky. Tento přístroj je nepostradatelnou měřicí pomůckou ve strojírenství. Odečtení výškoměrem naměřené hodnoty může být analogové nebo digitální. V případě této diplomové práce se jedná o výškoměr digitální.

V teoretické části se budu věnovat chybám, nejistotám měření, měření, rozdělení měřidel a obrábění.

Cílem mé diplomové práce je zprovoznění přístroje a seznámení se s jednotlivými funkcemi přístroje. Dalším dílčím cílem bude zjištění chyby, se kterou přístroj měří. Dále bude vytvořen dílec, na kterém budou provedena měření pomocí jednotlivých funkcí digitálního výškoměru. V této práci budou také popsány jednotlivé funkce přístroje.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 CHYBY VZNIKAJÍCÍ BĚHEM MĚŘENÍ



Obr. 1 Klasifikace chyb v měření [1]

## 1.1 Absolutní chyba měření

Je rozdílem mezi výsledkem měření a pravou hodnotou veličiny, která je měřena.

Jelikož není v praxi možné pravou hodnotu měřené veličiny získat, je nahrazována tzv.

konvenčně pravou hodnotou, která se blíží pravé hodnotě s dostatečnou přesností.

Konvenčně pravá hodnota je získána pomocí metod měření, které jsou daleko přesnější.

[1]

$$\Delta = x_m - x_p \quad (1)$$

Kde:  $x_m$  - změřená hodnota měřené veličiny,

$x_p$  - konvenčně pravá hodnota měřené veličiny.

## 1.2 Relativní chyba měření

Je to absolutní chyba měření vyjádřená v procentech.

$$\Delta_r = \frac{x_m - x_p}{x_p} \cdot 100 \quad (2)$$

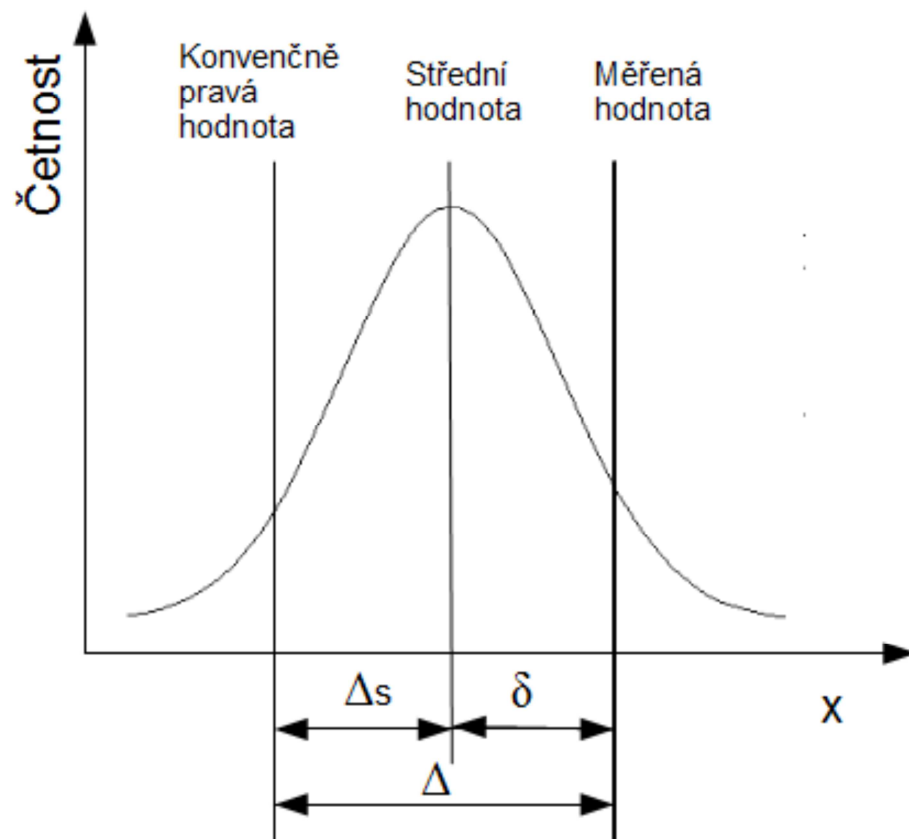
### 1.3 Systematická chyba

Je to střední hodnota, která by vznikla z nekonečného počtu měření téže měřené veličiny, uskutečněných za podmínek opakovatelnosti, od které je odečtena hodnota měřené veličiny. [1]

$$\Delta = \Delta_s + \delta \quad (3)$$

Kde:  $\Delta_s$  - systematická chyba,

$\delta$  - náhodná chyba.



Obr. 2. Chyba měření [1]

## 2 NEJISTOTY

Nejistota měření je parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, které by mohly být důvodně přisuzovány k měřené veličině. Ke každé naměřené hodnotě je nutno uvést nejistotu měření. [3]

### 2.1 Standardní nejistota typu A

Je způsobena chybami náhodnými a příčiny nejsou známy. Je řízena normálním rozdělením. Nejistota se zmenšuje s počtem měření. Značí se „ $u_A$ ” . [3]

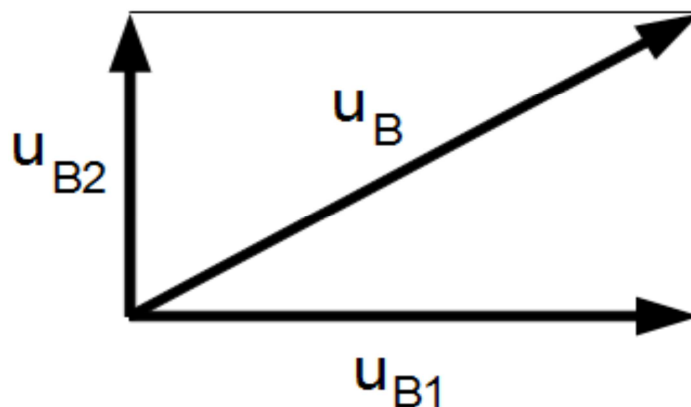
### 2.2 Standardní nejistota typu B

Je způsobena známými a odhalitelnými příčinami vzniku, stanovuje se nestatisticky. Jsou známy druhy:

- $u_{B1}$  - chyba měřidla,
- $u_{B2}$  - chyba metrologa.

K výpočtu výsledné standardní nejistoty Typu B je použit vektorový součet jednotlivých chyb měření. Značí se „ $u_B$ ” . [3]

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2} \quad (4)$$



Obr. 3 Vektorový součet nejistoty Typu B[3]

### 2.2.1 Standardní nejistota Typu B – chyba měřidla

Je určena typem měřidla a jeho rozlišitelností.

$$u_{B1} = \frac{z_j}{k} \quad (5)$$

Kde:  $z_j$  - rozlišitelnost měřidla

$k$  - koeficient pro rovnoměrné rozdělení  $k=\sqrt{3}$  .

### 2.2.2 Standardní nejistota Typu B – chyba metrologa

Je určena zkušeností, kvalifikací a odhadem metrologa.

$$u_{B2} = \frac{z_m}{k} \quad (6)$$

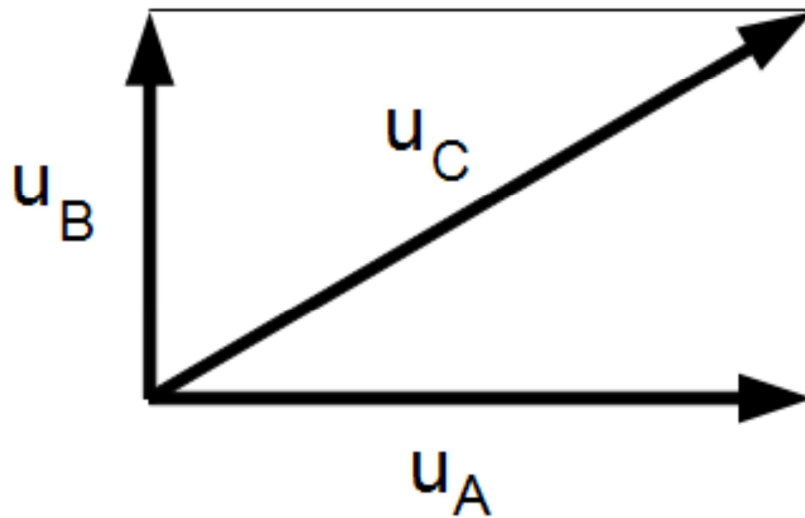
Kde:  $z_m$  - chyba metrologa

$k$  - koeficient pro rovnoměrné rozdělení  $k=\sqrt{3}$  .

## 2.3 Kombinovaná standardní nejistota

Je určena vektorovým součtem nejistoty Typu A a Typu B. Značí se „ $u_c$ “ . [3]

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (7)$$



Obr. 4 Vektorový součet kombinované nejistoty [3]

## 2.4 Rozšířená standardní nejistota

Je vypočtena vynásobením kombinované standardní nejistoty a koeficientu  $k_t$ , který se volí v intervalu 1 až 3, podle požadované nejistoty. [3]

$$u_D = k_t \cdot u_c \quad (8)$$

Kde:

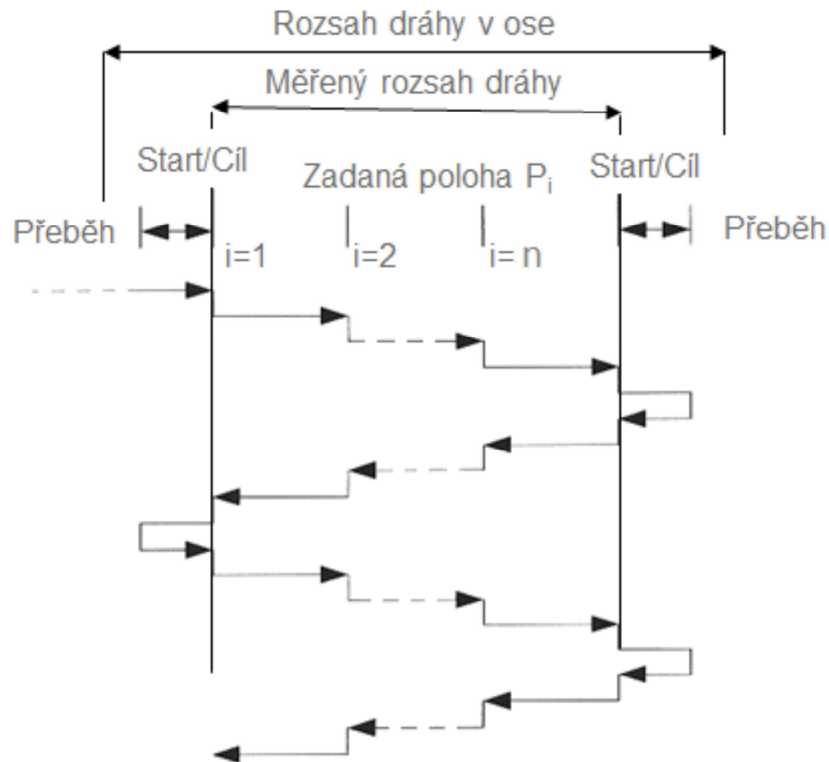
- $u_D$  - rozšířená standardní nejistota,
- $k_t$  - rozšiřující koeficient,
- $u_c$  - kombinovaná standardní nejistota.



### 3 ZÁKLADNÍ DEFINICE DLE ČSN ISO 230-2

**Rozsah dráhy v ose** – největší dráha lineární nebo úhlová, v jejímž rozsahu je možno pohyblivou část pomocí číslíkového řízení přestavovat. [2]

**Měřený rozsah dráhy** – část rozsahu dráhy, která se používá pro měření. Je zvolena tak, aby bylo možno najet jak do první, tak do poslední zadané polohy. [2]



Obr. 5 Dvojchodý lineární bidirekcionální cyklus [2]

**Zadaná poloha  $P_i$  ( $i=1-m$ )** - poloha, do které je naprogramován pohyb nastavované části.

Indexem  $i$  je udána jedna určitá poloha ze všech zadaných poloh v dané ose. [2]

**Skutečná poloha  $P_{ij}$  ( $i=1-m; j=1-n$ )** - měřená poloha, která je dosažena nastavovanou částí při jistém nastavení do  $i$ -té zadané polohy. [2]

**Úchylka polohy; polohová úchylka  $x_{ij}$**  - rozdíl mezi skutečnou polohou, dosaženou nastavovanou částí a zadanou polohou. ( $x_{ij}=P_{ij}-P_i$ ). [2]

**Jednostranný (unidirekcionální)** - výraz se vztahuje k sérii měření, při kterých je

nastavování do zadané polohy v dané ose vykonáno vždy ve stejném smyslu pohybu.

↑ značí, že se jedná o parametr, který je odvozený z měření při nastavení polohy v kladném smyslu.

Symbol ↓ značí, že jde o parametr odvozený z měření při nastavování polohy

v záporném smyslu, např.  $x_{ij} \uparrow$ , nebo  $x_{ij} \downarrow$ . [2]

**Dvoustranný (bidirekcionální)** - výraz se vztahuje k sérii měření, při kterých je

nastavování do zadané polohy v dané ose vykonáno v obou smyslech pohybu. [2]

**Průměrná jednostranná polohová úchylka v poloze  $x_{ij} \uparrow$ , nebo  $x_{ij} \downarrow$**  - aritmetický průměr polohových úchylek zjištěných při sérii  $n$  najetí do polohy  $P_i$  v jednom smyslu. [2]

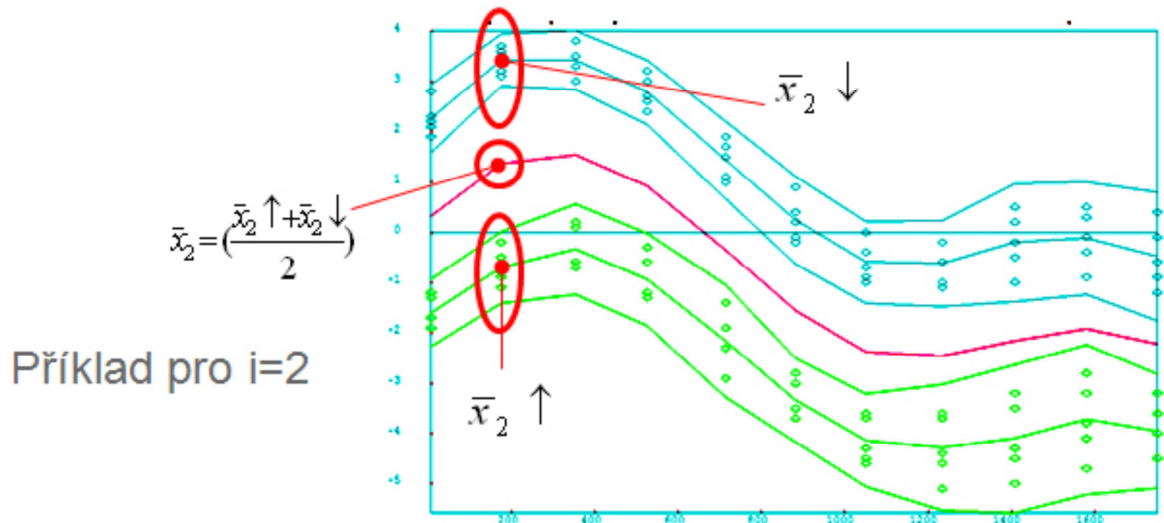
$$\bar{x} \uparrow = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \uparrow \quad (9)$$

$$\bar{x} \downarrow = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \downarrow \quad (10)$$

**Průměrná dvoustranná polohová úchylka v poloze  $x_i$**  - aritmetický průměr průměrných

jednostranných polohových úchylek  $x_i \uparrow$ , nebo  $x_i \downarrow$ , které byly zjištěny při najíždění do polohy  $P_i$  v obou smyslech. [2]

$$\bar{x}_i = \frac{\bar{x}_1 \uparrow + \bar{x}_2 \downarrow}{2} \quad (11)$$



Obr. 6 Diagram průměrných polohových úchylek [2]

**Odhad jednostranné standardní nejistoty nastavení v poloze  $s_i \uparrow$  nebo  $s_i \downarrow$**  - odhad standardní nejistoty polohových úchylek zjištěných při sérii  $n$  najetí do polohy  $P_i$  v jednom smyslu. [2]

$$s_i \uparrow = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} \uparrow - \bar{x}_i \uparrow)^2} \quad (12)$$

$$s_i \downarrow = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} \downarrow - \bar{x}_i \downarrow)^2} \quad (13)$$

**Hranice úchylek** - pro každou zadanou hodnotu  $P_i$  a pro  $n$  (dle ČSN ISO 230-2 je  $n=5$ ) nastavení poloh v každém smyslu se určí hranice úchylek. [2]

$$\bar{x}_i \uparrow \pm 2s_i \uparrow \quad (14)$$

$$\bar{x}_i \downarrow \pm 2s_i \downarrow \quad (15)$$

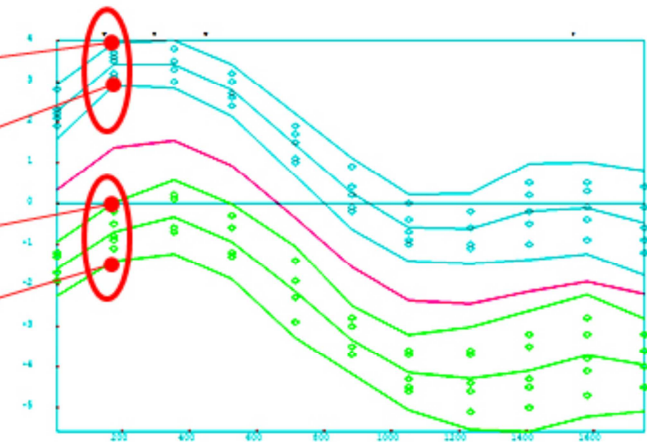
Příklad pro  $i=2$

$$\bar{x}_2 \downarrow +2s_2 \downarrow$$

$$\bar{x}_2 \downarrow -2s_2 \downarrow$$

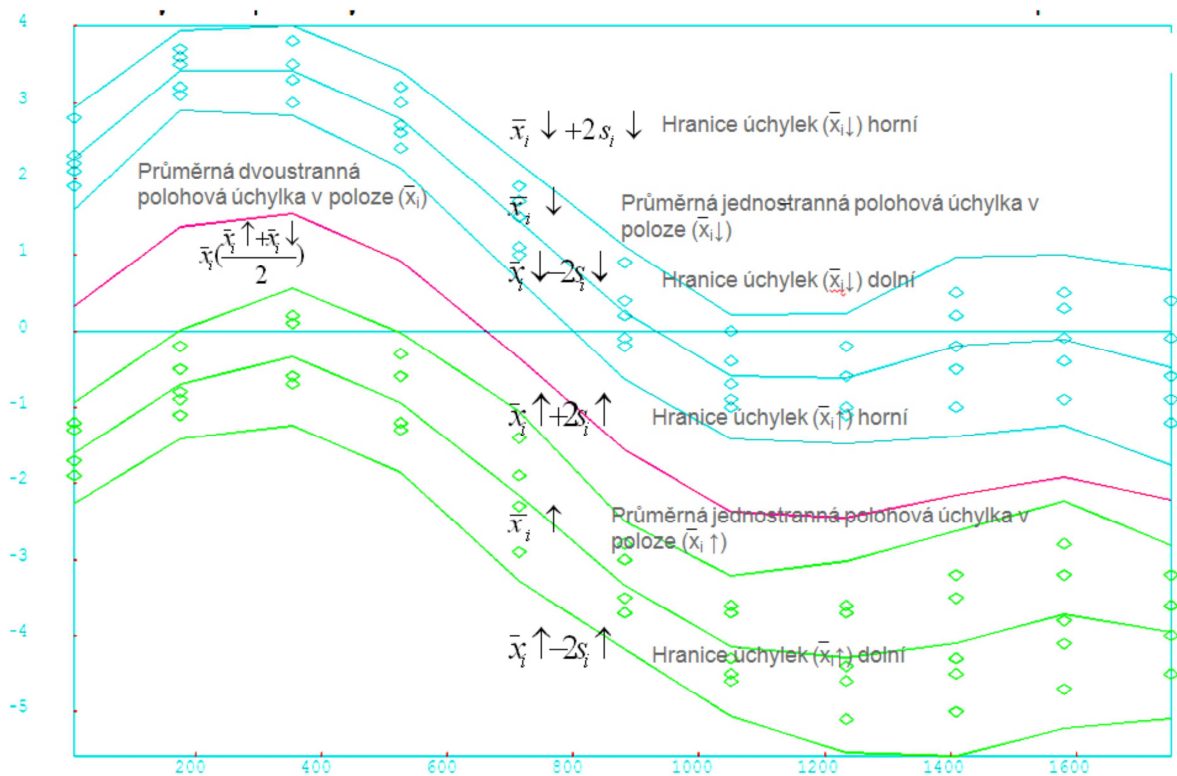
$$\bar{x}_2 \uparrow +2s_2 \uparrow$$

$$\bar{x}_2 \uparrow -2s_2 \uparrow$$



Obr. 7 Diagram hranic úchylek [2]

### Dvoustranná přesnost a opakovatelnost nastavení polohy



Obr. 8 Diagram průměrných polohových úchylek a jejich hranic [2]

### Jednostranná opakovatelnost nastavení polohy v poloze $R_i \uparrow$ , nebo $R_i \downarrow$ - rozsah

odvozený z rozšířené nejistoty jednostranných polohových úchylek v poloze při použití koeficientu rozšíření 2. [2]

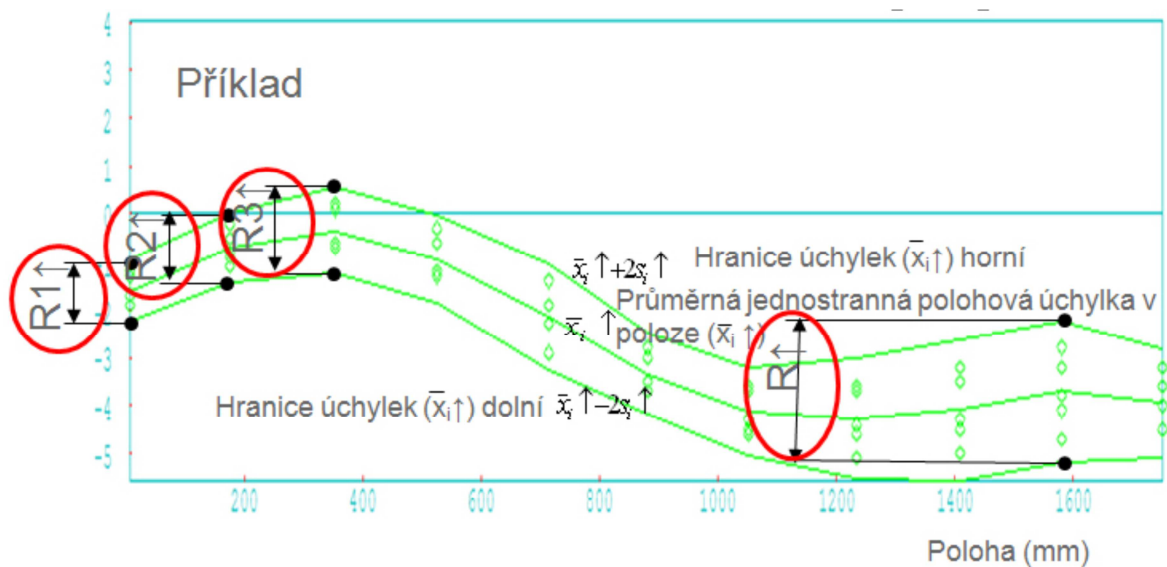
$$R_i \downarrow \pm 4s_i \downarrow \quad (16)$$

$$R_i \uparrow \pm 4s_i \uparrow \quad (17)$$

**Jednostranná opakovatelnost nastavení polohy v ose  $R \uparrow$ , nebo  $R \downarrow$**  - největší hodnota z opakovatelnosti nastavení polohy v kterékoliv poloze  $P_i$  v dané ose. [2]

$$R \uparrow = \max[R_i \uparrow] \quad (18)$$

$$R \downarrow = \max[R_i \downarrow] \quad (19)$$



Obr. 9 Diagram jednostranné opakovatelnosti nastavení v ose [2]

**Jednostranná systematická polohová úchylka v ose  $E \uparrow$  nebo  $E \downarrow$**  - rozdíl mezi největší a nejmenší aritmetickou hodnotou průměrných jednostranných polohových úchylek při nastavování polohy v jednom smyslu, které byly zjištěny v kterékoliv poloze v dané ose. [2]

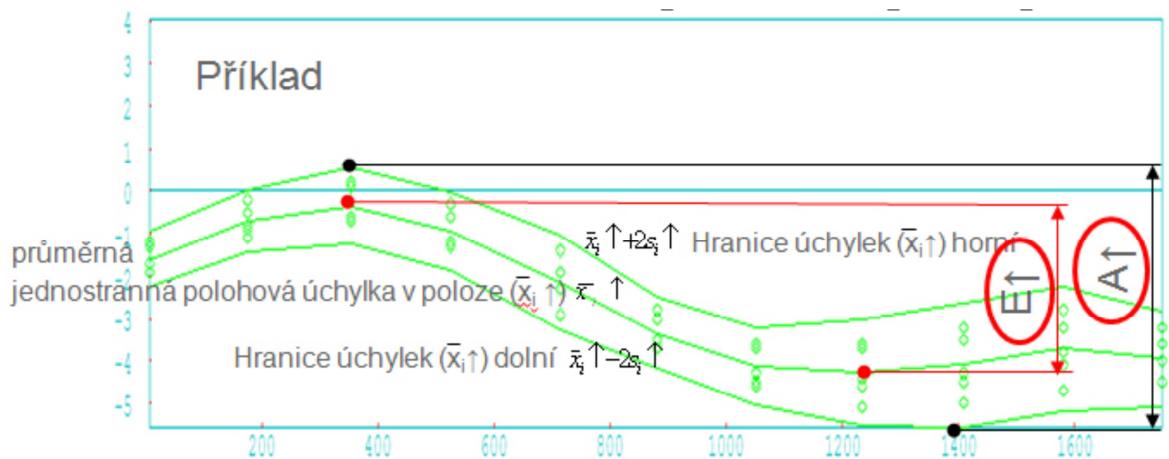
$$E \uparrow = \max[\bar{x}_i \uparrow] - \min[\bar{x}_i \uparrow] \quad (20)$$

$$E \downarrow = \max[\bar{x}_i \downarrow] - \min[\bar{x}_i \downarrow] \quad (21)$$

**Jednostranná přesnost nastavení polohy v ose A ↑ nebo A ↓** - rozsah je odvozen ze spojení jednostranných systematických úchylek a odhadu standardní nejistoty při jednostranném nastavování polohy při použití koeficientu 2. [2]

$$A \uparrow = \max[\bar{x}_i \uparrow + 2s_i \uparrow] - \min[\bar{x}_i \uparrow - 2s_i \uparrow] \quad (22)$$

$$A \downarrow = \max[\bar{x}_i \downarrow + 2s_i \downarrow] - \min[\bar{x}_i \downarrow - 2s_i \downarrow] \quad (23)$$



Obr. 10 Diagram jednostranné systematické polohové úchylky v ose E ↑ a jednostranné přesnosti nastavení polohy v ose A ↑ [2]

**Dvoustranná opakovatelnost nastavení polohy v poloze**

$$R_i = [2s_i \uparrow + 2s_i \downarrow + |B_i|] \quad (24)$$

**Dvoustranná opakovatelnost nastavení polohy v ose R**

$$R = \max[R_i] \quad (25)$$

**Necitlivost v poloze Bi** - rozdíl mezi průměrnými jednostrannými polohovými úchylkami zjištěnými při najíždění do polohy P<sub>i</sub> v obou smyslech. [2]

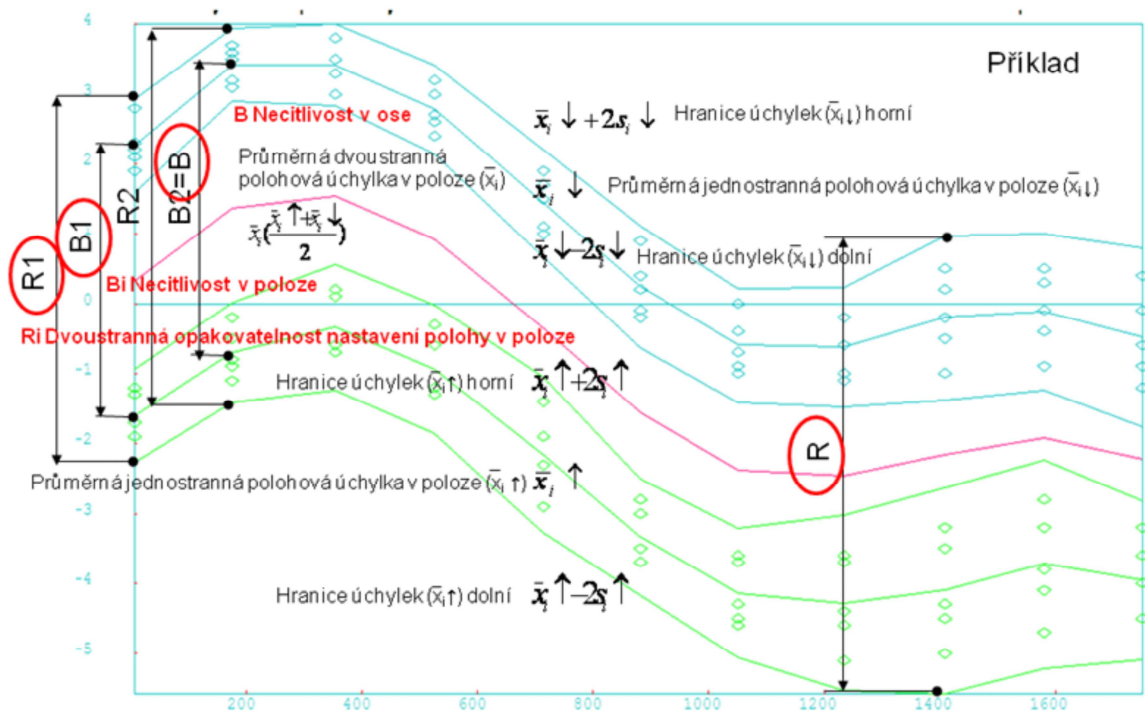
$$B_i = \bar{x}_i \uparrow - \bar{x}_i \downarrow \quad (26)$$

**Necitlivost v ose B** - největší z absolutních hodnot necitlivostí  $|B_i|$  ze všech poloh, které jsou zadány v dané ose. [2]

$$B = \max[|B_i|] \quad (27)$$

**Průměrná necitlivost v ose B** - aritmetický průměr necitlivostí  $B_i$  ze všech poloh, které jsou zadány v dané ose. [2]

$$B = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m B_i \quad (28)$$



Obr. 11 Diagram necitlivostí v ose / poloze, hranic úchylek a opakovatelnosti nastavení polohy v poloze [2]

**Průměrná dvoustranná polohová úchylka v ose M** - rozdíl mezi největší a nejmenší algebraickou hodnotou průměrných dvoustranných polohových úchylek, které byly zjištěny v kterékoliv poloze  $P_i$  v dané ose. [2]

$$M = \max[\bar{x}_i] - \min[\bar{x}_i] \quad (29)$$

**Dvoustranná systematická polohová úchylka v ose E** - rozdíl mezi největší a nejmenší aritmetickou hodnotou průměrných jednostranných polohových úchylek při nastavování polohy v obou směrech, které byly zjištěny v kterékoliv poloze v dané ose. [2]

$$E = \max[\bar{x}_i \uparrow; \bar{x}_i \downarrow] - \min[\bar{x}_i \uparrow; \bar{x}_i \downarrow] \quad (30)$$

**Dvoustranná přesnost nastavení polohy v ose A** - rozsah odvozený ze spojení dvoustranných systematických úchylek a odhadu standardní nejistoty při dvoustranném nastavování polohy při použití koeficientu rozšíření 2. [2]

$$A = \max[\bar{x}_i \uparrow + 2s_i \uparrow; \bar{x}_i \downarrow + 2s_i \downarrow] - \min[\bar{x}_i \uparrow - 2s_i \uparrow; \bar{x}_i \downarrow - 2s_i \downarrow] \quad (31)$$



## 4 MĚŘENÍ

Měření je kvantitativní (číselné) zkoumání vlastností předmětů (jevů, procesů), obvykle prováděno srovnáváním s obecně přijatou jednotkou. Výsledkem měření je tedy číslo, které vyjadřuje poměr veličiny, která je zkoumána k jednotce.

Význam měření je především v tom, že je:

- charakterizována měřená veličina významně přesněji než kvalitativní údaje (např. dlouhý, vysoký, těžký),
- dovoleno měření opakovat a porovnávat,
- možno výsledek zpracovávat matematickými prostředky, zejména ve vědách.

V širším slova smyslu, ve společenských vědách, v ekonomii aj., je měřením rozuměno jakékoliv kvantitativní zkoumání, například dotazníkové šetření, jehož výsledky je možno zpracovat statisticky. [3]

### 4.1 Měření délek

Měření délek je jednou z nejpoužívanějších metrologických operací ve strojírenských podnicích, kde představují až 70 % všech měření. [4]

#### 4.1.1 Rozdělení délkových měřidel

Délková měřidla, která se používají ve strojírenské výrobě rozdělujeme do následujících základních skupin:

- koncové měrky,
- pevná a mezní měřidla (kalibry),
- posuvná měřítka a mikrometrická měřidla,

měřicí přístroje a měřidla s převodem :

- mechanickým, mechanicko – optickým, elektrickým, pneumatickým,

měřicí přístroje optické :

- interferenční komparátory, laser-interferometry, holografie
- měřicí stroje délkové (délkoměry), mikroskopy a profil-projektory,
- měřidla k měření malých děr, měřidla pro měření velkých rozměrů,

- aktivní sledovací měřidla, více-rozměrová měřidla,
- kontrolní a třídící automaty, měřicí stanice, souřadnicové měřicí stroje. [4]

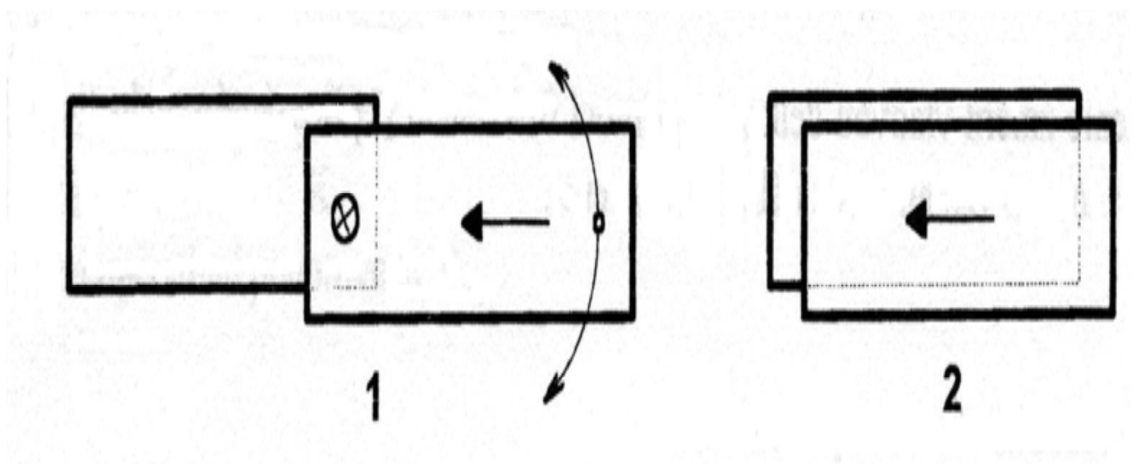
#### 4.1.2 Koncové měrky

Pro koncové měrky je dána norma ČSN EN ISO 3650 z roku 1999 „Geometrické požadavky pro výrobky (GPS) – Etalony délky – Koncové měrky“. Tato norma nahradila ČSN 25 3308, 25 3309, 25 3310.

Koncové měrky byly zavedeny do měřicí techniky poprvé koncem minulého století Švédem C.E.Johanssonem, podle něhož se původně nazývaly (měrky Johanssonovy).

Koncové měrky realizují určitou délku jako vzdálenost přesně broušených a lapovaných koncových ploch. Nejčastější použití měrek je ve tvaru hranolků o průřezu 9x30 mm do jmenovité délky 10,5 mm a 9 x 35 mm nad 10,5 mm délky. Měřicí plochy jsou opracovány s vysokou rozměrovou přesností, drsností povrchu, rovinností a vzájemnou rovinností.

Jednotlivé měrky lze spojit tzv. nasáváním. Očištěné plochy se částečně nasunují na sebe, za stálého tlaku, s případným komíháním se vytlačí vzduch mezi nimi, dokud nezačne působit přitažlivá síla molekul jednotlivých ploch (nasátí). Pak se tangenciálně přisunou plochy tak, aby došlo ke srovnání. [4]



Obr. 12 Postup při nasávání měrek [4]

Správně nasáté měrky s nepoškozenými funkčními plochami jsou u sebe drženy vlivem molekulových přitažlivých sil silou až 1000 N.

Chyba délky zapříčiněná nepřesnostmi ve styku dvou měrek je  $0,1 \div 0,2 \mu\text{m}$ .

Chyba ve spojení měřky s plochou stolku apod. je  $0,2 \div 0,4 \mu\text{m}$ . [4]

Koncové měřky jsou používány :

- jako etalony délky,
- pro nastavení a ověření měřicích prostředků,
- na přímé ověření délkových rozměrů u výrobků v průmyslu.

Pro různé způsoby ověření jsou jednotlivé měřky nebo bloky měrek doplněny příslušenstvím.

Požadavky, které jsou kladeny na materiál koncových měrek:

- vysoká odolnost proti opotřebení, vysoká tvrdost,
- odolnost proti korozi, vysoká stabilita rozměru,
- malý koeficient délkové roztažnosti, dobrá nasávatelnost. [4]

Používaný materiál:

V ČR se nejvíce používá nástrojová ocel ČSN 19 422 (POLDI EK). Nevýhoda tohoto materiálu je nízká odolnost proti korozi. Kvůli tomu je nutno použít při práci s ocelovými měrkami rukavice a po ukončení měření vždy provádět řádnou konzervaci, především funkčních ploch.

*Karbid wolframu (WC)* – je používán pro svou vysokou tvrdost a ošetrivost jako koncová měrka v sestavách kalibrů.

*Oxydokeramika, většinou zirkonoxyd ( $ZrO_2$ )* – prosperuje vynikajícími vlastnostmi - vysokou tvrdostí, ošetrivostí, stálostí rozměru a hlavně 100 % odolností proti korozi. [4]

Přesnost koncových měrek:

Dle ČSN EN ISO 3650 jsou definovány 4 třídy přesností koncových měrek :

- K – kalibrační,
- 0 – používají se téměř výhradně pro etalony,
- 1 – používají se jako etalon i jako pracovní měřidlo,
- 2 – dílenské – slouží k nastavování komparačních měřidel, ke kontrole posuvných a mikrometrických měřidel apod. [4]

Koeficient teplotní délkové roztažnosti ocelových měrek:

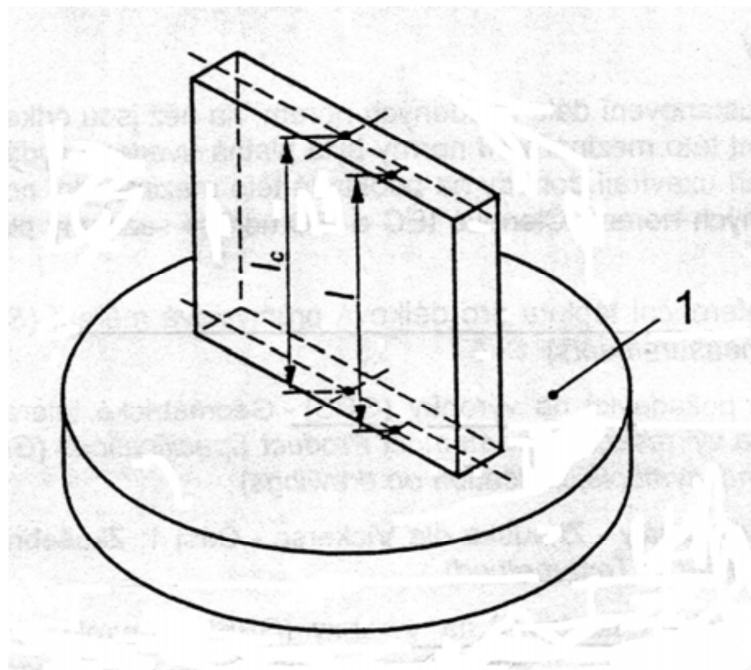
Je udán platnou normou  $(11,5 \pm 1,0) \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  v rozsahu od  $10^\circ$  do  $30^\circ\text{C}$ . Koeficient teplotní délkové roztažnosti je nutno dodat s koncovými měrkami včetně odhadnutí jeho nejistoty pro měrky z oceli i měrky z jiných materiálů. [4]

#### 4.1.3 Definice koncových měrek dle ČSN EN ISO 3650

Koncová měrka – je to ztělesněná míra pravoúhlého průřezu, je vyrobena z materiálu, který je odolný proti opotřebení, s jedním párem rovinných, navzájem rovnoběžných měřicích ploch, mající schopnost přilnutí k měřicím plochám jiných měrek nebo pomocným rovinným destičkám.

Délka koncové měrky  $l$  – je kolmou vzdáleností určitého bodu měřicí plochy měrky a plochy pomocné rovinné destičky ze shodného materiálu a se shodnými povrchovými vlastnostmi, ke které je druhá měřicí plocha měrky přilnuta nasunutím.

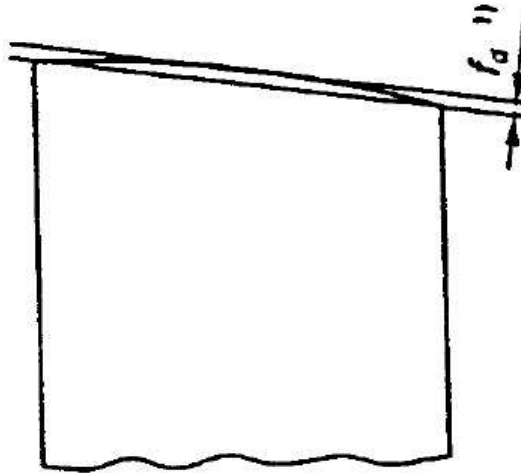
Středová délka koncové měrky  $l_c$  – je to délka koncové měrky, která vychází ze středu volně dostupné měřicí plochy. [4]



Obr. 13 Středová délka  $l_c$  a příklad délky  $l$  v libovolném bodě měřicí plochy koncové měrky, přilnuté na pomocnou rovinnou destičku [4]

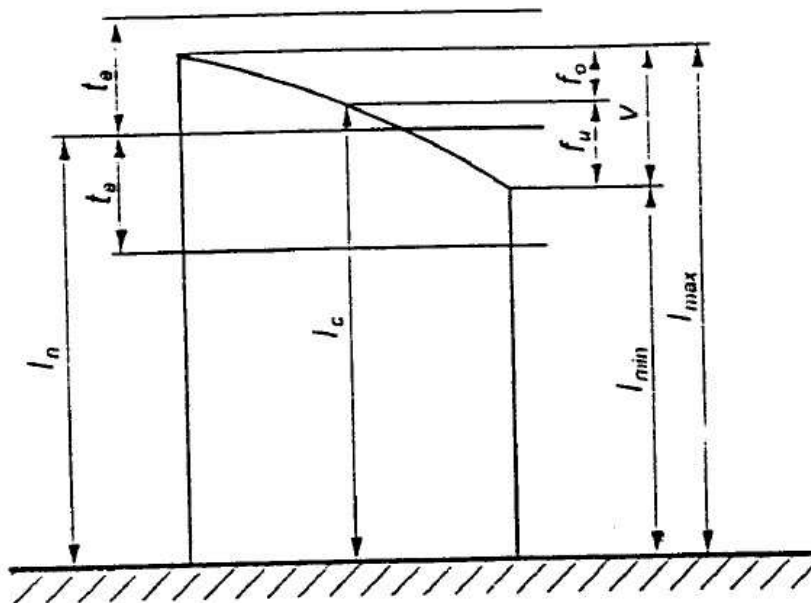
Úchylka délky  $t_e$  od jmenovité délky  $l_n$  v libovolném bodě - algebraický rozdíl  $l - l_n$ .

Úchylka rovinnosti  $f_d$  – je nejmenší vzdáleností mezi dvěma rovnoběžnými plochami, mezi kterými jsou umístěny body měřicí plochy.



Obr. 14 Úchylka rovinnosti  $f_d$  [4]

Rozpětí délky  $v$  – je rozdílem mezi největší délkou koncové měřky  $l_{max}$  a nejmenší délkou  $l_{min}$ . Rozpětí délky se rovná sečtení úchylek  $f_o$  a  $f_u$  od středové délky  $l_c$ .



Obr. 15 Jmenovitá délka  $l_n$ ; středová délka  $l_c$ ; rozpětí délky  $v$  s  $f_o$  a  $f_u$ ; dovolená úchylka  $t_e$  pro délku  $v$  libovolném bodě pocházející z jmenovité délky [4]

*Přilnavost* - schopnost měřicích ploch měrek přilnutí za působení molekulárních sil k jiným měřicím plochám na plochy, které mají stejnou úpravu povrchu. [4]

#### 4.1.4 Kalibrace měrek

Měření koncových měrek je série jednotlivých přenosů délek, jež vycházejí ze základní definice jednotky délky (definice metru) a pokračují interferenčním navázáním vyšší třídy (přednostně třídy K) koncových měrek. Kalibrační list obsahuje vždy výsledky měření a nejistoty, které jsou přiřazeny k měření. [4]

Zkouška přilnavosti: - schopnost měřicích ploch koncových měrek přilnout, je zkoušena pomocí optické destičky, která má zajištěnou úchylku rovinnosti 0,1 m.

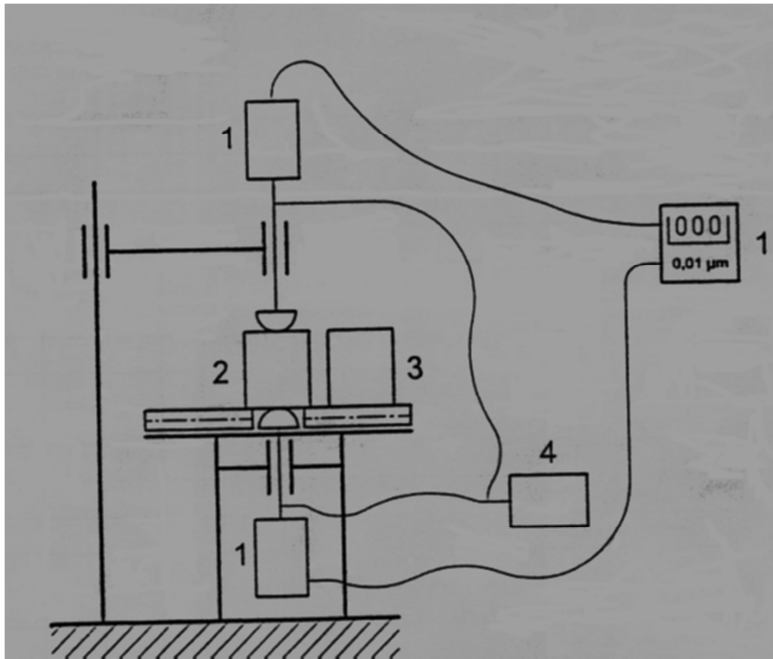
Přilnutou plochu je nutno vždy prohlédnout přes optickou destičku a, nesmí na ní být interferenční pruhy, či barevné nebo lesklé skvrny.

Na koncových měrkách třídy přesnosti 1 a 2 je možno lesklé skvrny a stíny v malém rozsahu připustit. [4]

Porovnávací měření: - přesune středovou délku referenční koncové měrky na zkoušenou koncovou měrku. Referenční koncovou měrku je možno měřit přímo interferenčně, nebo navázat několika porovnávacími měřeními na referenční měrku měřenou interferenčně. [4]

Porovnávací měření je možno použít pro vyšetření rozpětí délky. Rozdíl čtení mezi středem a čtyřmi rohy měřicí plochy asi 1,5 mm od bočních ploch je možno považovat za reprezentativní k ustanovení rozpětí délky. Jestliže byly pro stanovení rozpětí délky použity jiné body než v rozích měřicí plochy, musí se popsat jejich umístění. [4]

V kalibračním listu se musí nacházet výsledky měření, zejména středová délka koncové měrky  $l_c$  nebo úchylka středové délky od jmenovité délky  $l_c - l_n$ , odhadnuté nejistoty měření a návaznost. V kalibračním listu je potřeba mít umístěn koeficient teplotní délkové roztažnosti koncových měrek, který byl použit pro provedení korekcí. [4]



(legenda : 1 – elektrický indikátor délky s vysokou rozlišitelností, 2 – referenční koncová měrka, 3 – kalibrovaná koncová měrka, 4 – zvedací zařízení)

Obr. 16 Příklad zařízení pro porovnávací měření měrek - komparátor pro koncové měrky s jmenovitou délkou do 100 mm [4]

## 4.2 Měřidla pro absolutní měření délek

Měřicí přístroje a měřicí zařízení pro měření délek se rozdělují do tří skupin :

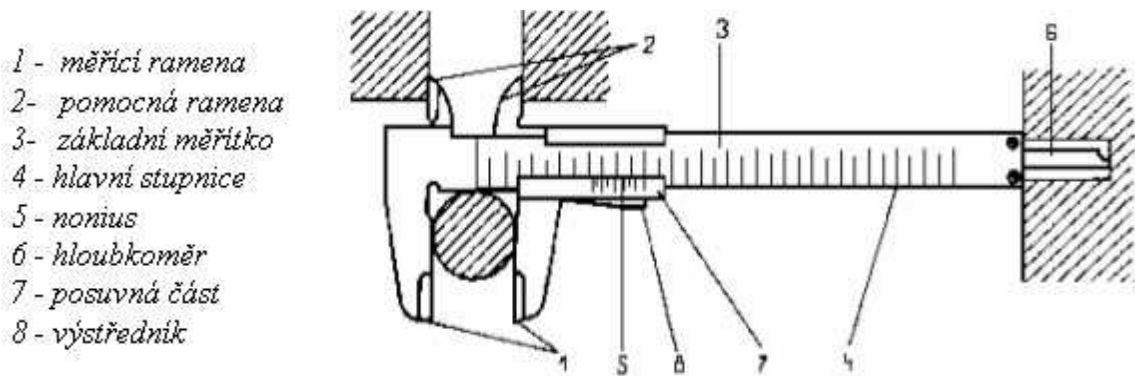
- jednosouřadnicová měřicí technika,
- vícesouřadnicová měřicí technika,
- vícerozměrová měřicí technika. [4]

### 4.2.1 Délkoměry

Klasické délkoměry měří délkové rozměry do rozsahu 100, 300, 500, 1000, 3000 mm a více. Odečítání absolutní hodnoty rozměru bývá většinou optické, kde hodnota dílku je rovna 1  $\mu\text{m}$ . Moderní přístroje bývají digitální. Vertikální délkoměr Abbého a horizontální délkoměr IZA 2 se vyrábí pro rozsahy 100 ÷ 300 mm, s přesností 0,001 mm. [4]

### 4.2.2 Posuvná měřítka a výškoměry

Klasickým posuvným měřítkem je možno měřit vnější i vnitřní rozměry a hloubky. [4]



Obr. 17 Posuvné měřítko [5]

K měření rozteče otvorů, nepřístupných drážek apod. jsou vyráběna měřítka, která mají speciálně upravené měřicí čelisti. Rozsah měřitek je  $0 \div 150$  mm,  $0 \div 200$  mm,  $0 \div 300$  mm a více. U zvláštních měřitek je možno nalézt rozsah pro vnější rozměry až  $1000 \div 3000$  mm. [4]

#### Rozlišitelnosti čtení měřeného rozměru :

- stupnice s noniem 0,1 (0,05; 0,02) mm,
- s kruhovým číselníkem 0,05 (0,01) mm,
- s digitálním odměřováním 0,01 mm. [4]

#### Kontroly přesnosti posuvných měřidel:

1. přesnost základní stupnice :
  - pomocí koncových měrek,
  - horizontálním délkoměrem IZA 2,
2. kolmost pevné čelisti k vodícímu pravítku :
  - vlasovým úhelníkem,
3. rovinnost (přímost) vodícího pravítka :
  - vlasovým pravítkem,
4. rovnoběžnost čelistí :
  - průsvitem. [4]

#### **4.2.3 Mikrometrická měřidla**

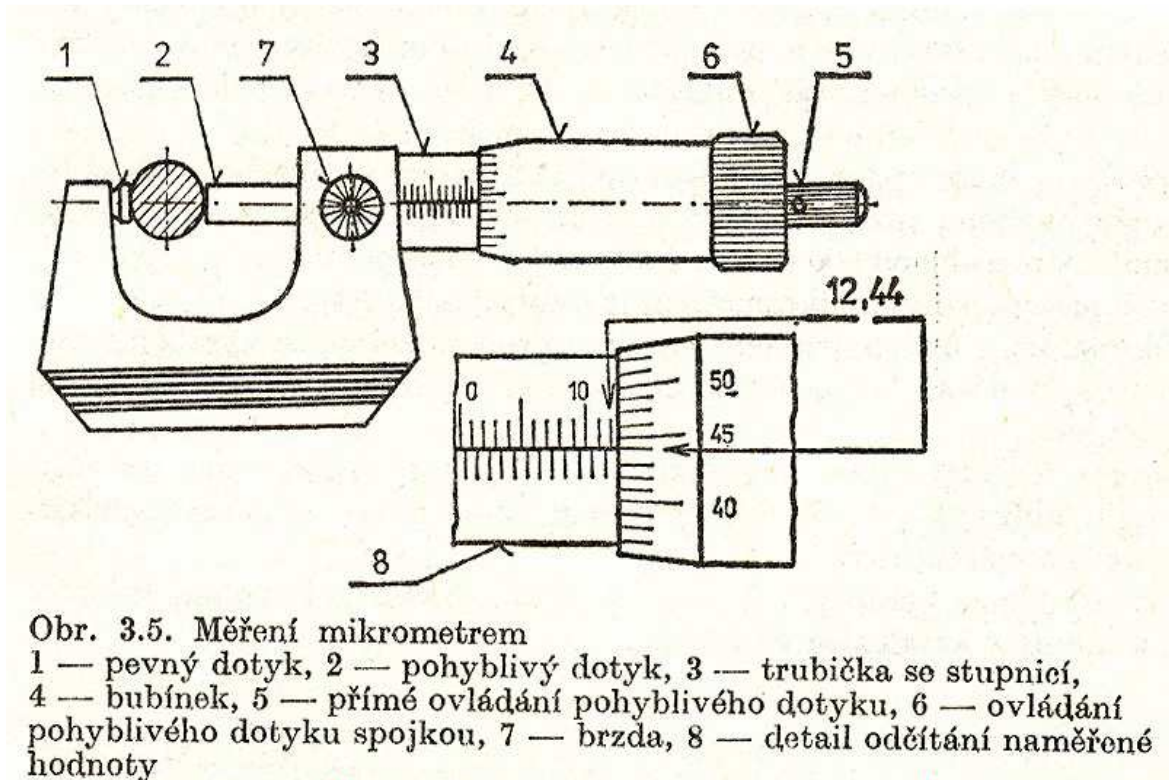
Na trhu se nachází spousta druhů mikrometrických měřidel. Tato měřidla jsou asi o 1 řád přesnější než posuvná měřidla. Základní součástí všech mikrometrických měřidel je mikrometrický šroub s maticí, která má stoupání 0,5; popřípadě 1 mm s délkou 25 mm. Delší



šrouby se nevyrábějí, kvůli výrobě (nemuselo by být dodrženo přesné stoupání) a z důvodů praktických (časová náročnost při měření).

Mikrometrická měřidla mají rozsah :  $0 \div 25$ ,  $25 \div 50$ ,  $50 \div 75$  (mm) atd.

Příkladem mikrometrického měřidla může být třmenový mikrometr. [4]



Obr. 3.5. Měření mikrometrem

1 — pevný dotyk, 2 — pohyblivý dotyk, 3 — trubička se stupnicí, 4 — bubínek, 5 — přímé ovládní pohyblivého dotyku, 6 — ovládní pohyblivého dotyku spojkou, 7 — brzda, 8 — detail odčítání naměřené hodnoty

Obr. 18 Třmenový mikrometr [6]

Jeden dílek stupnice je 0,01 mm. Výjimečně jsou vyráběny stupnice, které jsou doplněny noniem s přesností čtení až 0,001 mm.

*Mikrometry s digitálním odměřováním* jsou vyráběny s přesností 0,001 mm. Tyto mikrometry je také možno napojit na síť sběru dat pro další zpracování.

*Třmenový mikrometr s přesným úchylkoměrem* (mikropasometr) je možno použít po nastavení jmenovité hodnoty jako komparační měřidlo.

Měřicí dotyky jsou různě vytvarovány pro použití např. :

- měření drážek, osazení atd. – kužel, menší průměr,
- měření závitů - hrot a klín,
- měření ozubených kol - talířové dotyky,

- měření hlubokých a úzkých drážek - ploché dotyky atd.

Třídotykové mikrometry, které jsou přesně na díry, je možno vyrobit s mikrometrickou hlavicí klasickou nebo digitální. Měřicí dotyky se rozpínají kuželem, na než shora tlačí mikrometrický šroub.

Existuje velké množství různých typů a velikostí mikrometrických hlavic, klasických i digitálních, které se dají jednoduše vestavět do různých speciálních měřidel nebo přípravků. [4]

### 4.3 Pevná a mezní měřidla (kalibry)

Pevná měřidla, kalibry, měřicí šablony a další speciální měřidla jsou používány v sériové výrobě. Použitím těchto měřidel není možno zjistit skutečný rozměr, ani úchylku od jmenovité hodnoty. Kontrolované kusy jsou jen rozřizeny na dobré, opravitelné anebo neopravitelné.

Kalibry je možno rozdělit na :

- *netoleranční* - zastávají pouze jeden tvar, který je porovnáván s kontrolovaným kusem;
- *toleranční* – jsou opatřeny stranou „dobrou“ - ke kontrole horního nebo dolního mezního rozměru pro hřídele, nebo díry a stranou „zmetkovou“, ke kontrole dolního nebo horního mezního rozměru hřídele, nebo díry. Kontrolovaný rozměr se nachází uvnitř tolerančního pole, pokud dobrá strana kalibru projde a zmetková neprojde.

Kontrola rozměrů, která byla provedena kalibry, je rychlá a spolehlivá, může ji uskutečnit i nekvalifikovaný pracovník. Ke kontrole vnitřních závitů je kalibr v podstatě neocenitelný.

V praxi jsou používány tři druhy kalibrů :

- *dílenské kalibry* - ke kontrole výrobků v provozu;
- *porovnávací kalibry* - ke kontrole dílenských kalibrů, a to :
  - pro kontrolu dobré strany - nové,
  - pro kontrolu dobré strany - opotřebované,
  - pro kontrolu zmetkové strany;
- *přejímací kalibry* - pro přejímací orgány. [4]

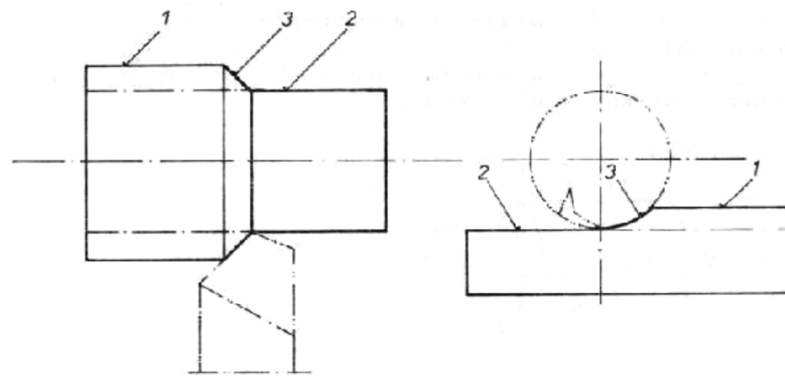
## 5 OBRÁBĚNÍ

Pod pojmem obrábění rozumíme technologický proces, při kterém řezná síla vtlačuje nástroj ve tvaru řezného klínu do povrchu polotovaru a odebírá z něj při vzájemném pohybu polotovaru a nástroje materiál v podobě třísky. [9]

Obráběný předmět nazýváme obrobkem; hranu nástroje, kterou je odřezávána tříska, nazýváme ostřím a vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem, řezným pohybem.

Při obrábění vznikají určité charakteristické plochy.

Jsou to obráběná, obrobená a řezná plocha. [9]



*Obr. 19 Plochy při obrábění [9]*

1 – obráběná plocha; 2 – obrobená plocha; 3 – řezná plocha

Obráběná plocha je část obrobku a řezáním se z ní odstraňuje přebytečný materiál.

Řezná plocha vzniká při obrábění břitem nástroje a tvoří přechod mezi obráběnou a obrobenou plochou.

Obrobená plocha vznikne obráběním obráběné plochy nástrojem. Vytvoří se na povrchu obrobku po odstranění přídavku na obrábění. [9]

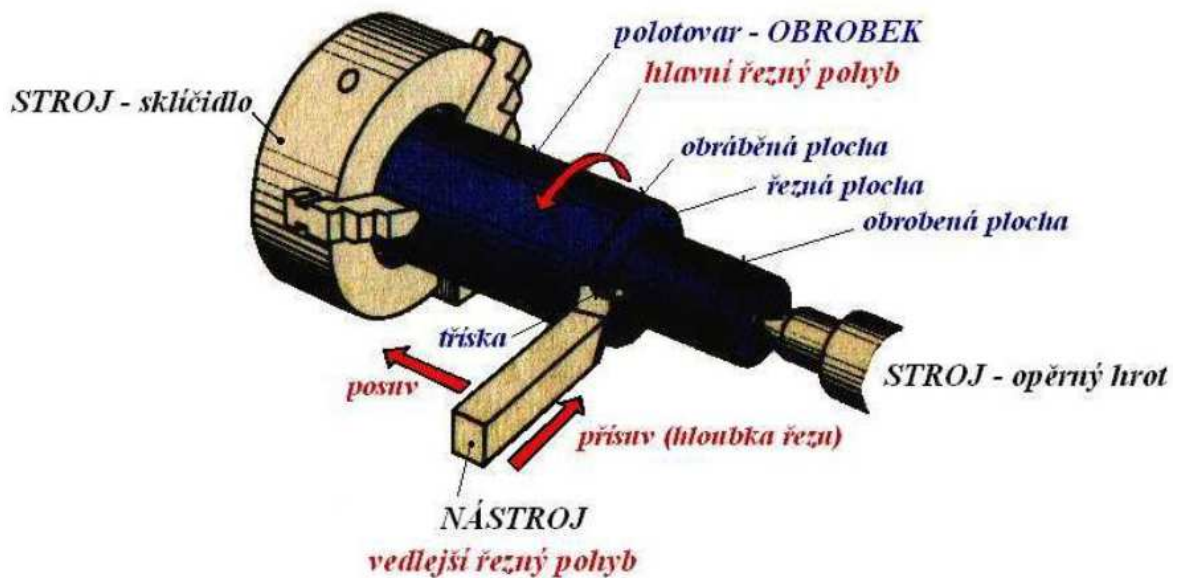
### 5.1 Fyzikální podstata procesu obrábění

Fyzikální podstatou obrábění je řezání, při kterém je oddělováno jisté množství materiálu, tzv. přídavek na obrábění, mechanickým účinkem nástroje, jehož řezná část má tvar klínu a je tvrdší než obráběný materiál. [10]

Proces obrábění lze uskutečnit:

- *řezáním* - nástroj má definovaný počet břitů i tvar břítu,
- *abrazí* - nástroj má břity nedefinovaného počtu a tvaru,
- *erozí* - materiál je odstraňován procesem eroze.

Cílem všech metod obrábění je dát obrobku požadovaný geometrický tvar, rozměr a také dosáhnout odpovídající kvality obrobenej plochy při maximální efektivitě procesu obrábění. [10]



Obr. 20 Soustava stroj – nástroj – obrobek a základní pojmy procesu řezání [10]

Systémově je obrábění technologický proces, jehož hlavními prvky jsou stroj – nástroj – obrobek. Hlavními vstupy do systému jsou – hlavní parametry stroje, který převádí elektrickou energii na mechanickou práci, dále to jsou parametry nástroje – zejména jeho řezivost a parametry polotovaru – obráběného materiálu – zejména jeho obrobiteľnosť. Vzájemnou interakcí výše uvedených hlavních prvků systému dochází odebráním třísek k postupnému přetváření polotovaru ve výrobek, kterému říkáme obrobek, a který je výstupem tohoto technologického procesu. [10]

Metoda (způsob) obrábění je určena druhem nástroje a pracovními pohyby, které se dějí na příslušném obráběcím stroji. [9]

## 5.2 Soustružení

Soustružení je nejrozšířenější způsob třískového obrábění na obráběcích strojích – soustruzích, pomocí nástrojů, kterými jsou nejčastěji soustružnické nože, ale také se využívají vrtáky, záhlubníky, výhrubníky, výstružníky a další. [9]

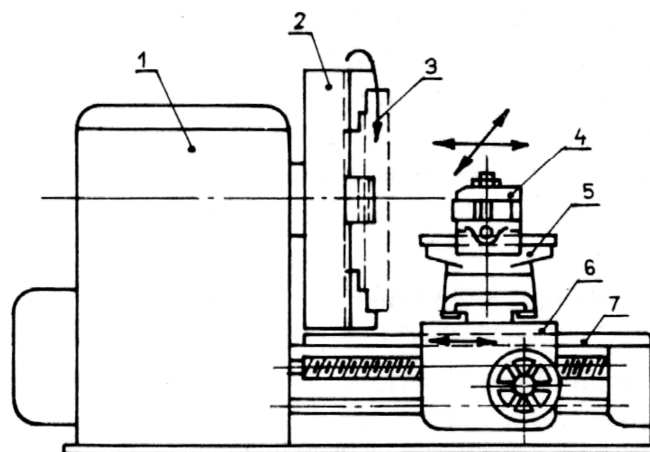
### 5.2.1 Hrotové soustruhy

Jsou určeny k obrábění válcových ploch obrobků upnutých mezi hroty, ve sklíčidle, v lícni desce, na trnech apod. Mohou být:

- *stolní soustruhy* se využívají pro obrábění nejmenších rotačních součástek, např. v hodinářském průmyslu,
- *univerzální soustruhy* jsou nerozšířenějším typem hrotových soustruhů, na kterých lze kromě běžných soustružnických prací také řezat všechny druhy normalizovaných závitů soustružnickým nožem (umožněno vodícím šroubem),
- *produkční soustruhy* nemají vodící šroub, mívají menší otáčkový rozsah a využívají se v sériové výrobě. [9]

### 5.2.2 Čelní soustruhy

Používají se v kusové výrobě k soustružení rozměrných součástí přírubového typu. Obrobek se upíná na lícni desku, lože se suporem tvoří samostatnou část. Nevýhodou čelních soustruhů je namáhavé upínání a ustavování obrobků. [9]



Obr. 21 Čelní soustruh [9]

- 1 – vřeteník, 2 – upínací deska, 3 – obrobek, 4 – nožová hlava, 5 – příčný suport, 6 – podélný suport, 7 -lůžko

Dále jsou svislé, revolverové a automatické soustruhy.

### 5.2.3 Číslíkově řízené soustruhy (NC a CNC stroje)

Obrábění probíhá na základě předem sestaveného programu, který lze přímo u stroje v případě potřeby pružně měnit, opravovat (pružná automatizace). Využívají se proto především v kusové a malosériové výrobě. Vyrábějí se v různých provedeních jako hrotové, revolverové, svislé. [9]

## 5.3 Frézování

Frézování je způsob obrábění, při němž se rotační vícebřitý nástroj - fréza otáčí a obrobek (někdy i nástroj) rovnoměrně posouvá tak, aby jednotlivé zuby frézy postupně přicházely do záběru a odřezávaly třísku.

Frézovací stroje - frézky patří k nejuniverzálnějším obráběcím strojům, protože se na nich mohou obrábět nejen rovinné, ale i tvarové plochy, závity, ozubení i rotační plochy. [9]

### 5.3.1 Konzolové frézky FA, FB, FD

Konzolové frézky jsou nejrozšířenější a jsou určeny k frézování rovinných a tvarových ploch na malých a středně velkých součástech v kusové a malosériové výrobě. Charakteristickým znakem je svisle přestavitelná konzola, s níž lze obrobek nastavit do potřebné polohy se zřetelem k nástroji. Konzolové frézky se vyrábějí ve třech základních řadách označených FA (nejstarší frézky), FB a FD (číslíkově řízené):

- svislé (vertikální) frézky mají vřetenou ve svislé poloze,
- vodorovné (horizontální) frézky mají vřetenou ve vodorovné poloze,
- univerzální frézky umožňují natočit pracovní stůl ve vodorovné rovině o 45° na obě strany. [9]

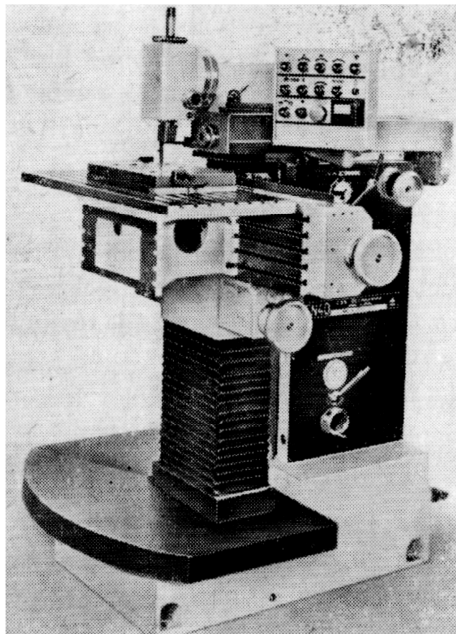
### 5.3.2 Stolové frézky FC

Stolové frézky jsou využívány pro frézování hmotnějších obrobků. Obrobek se pohybuje v podélném a příčném směru, svislý pohyb vykonává nástroj spolu s vřeteníkem. Dodávají se ve vertikálním nebo horizontálním provedení. [9]

Velmi tuhá konstrukce frézek umožňuje výkonné obrábění s vysokou jakostí obrobeného povrchu a geometrickou přesností obrobku. Dokonalou přesnost zajišťuje uložení podélného stolu a příčných saní na tuhém loži. [9]

### 5.3.3 Nástrojařské frézky FN

Nástrojařskými frézky lze přesně frézovat složité tvary obrobků menších rozměrů a hmotností. Je možné na nich vykonávat velký rozsah různých frézovacích prací a frézovat obrobky v různých polohách.



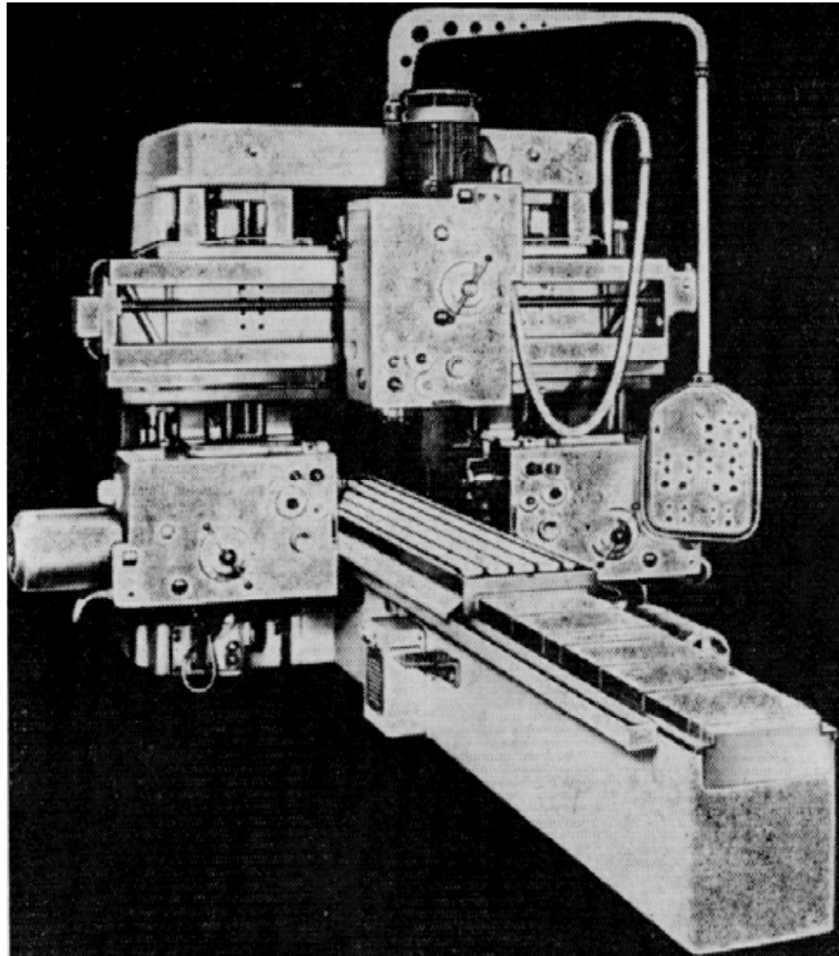
Obr. 22 Nástrojařská frézka FN [9]

Uplatňují se nejen při výrobě nástrojů složitých tvarů, zápustek, kovových modelů, forem, šablon a měřidel především v nářadovněch, ale i v kusové výrobě tvarově složitých součástí. Je možno na nich jak frézovat, vrtat, vyvrtávat, brousit a obrážet, tak i vykonávat práce vyžadující přesné dělení a obrábět různě skloněné tvarové plochy. [9]

### 5.3.4 Rovinné frézky FR

Tyto frézky jsou sestavené z typizovaných stavebnicových dílů, např. loží, stojanů, frézovacích vřeteníků, příčnicků apod.

Na rovinných frézkách se obrábějí velké obrobky s hmotností až 10 000 kg; vykonávají se na nich nejtěžší frézovací práce. Je také možné upnout na stůl frézky větší počet menších obrobků, které jsou obráběny společně. Rovinné frézky se vyznačují vysokou produktivitou, která se dosahuje současným obráběním několika ploch v různých polohách.



*Obr. 23 Rovinná frézka FR [9]*



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 VÝROBA DÍLCE

V první řadě bylo potřeba navrhnout a vyrobit dílec, dle kterého by bylo možné otestovat jednotlivé funkce výškoměru.

Dílec byl vyráběn na CNC fréze v dílnách Ústavu výrobního inženýrství. Dílec byl vytvořen z materiálu certal. Je to slitina uhlíku a hliníku. Vlastnosti certalu jsou znázorněny v následující tabulce.

Tab. 1 Mechanické a fyzikální vlastnosti certalu [8]

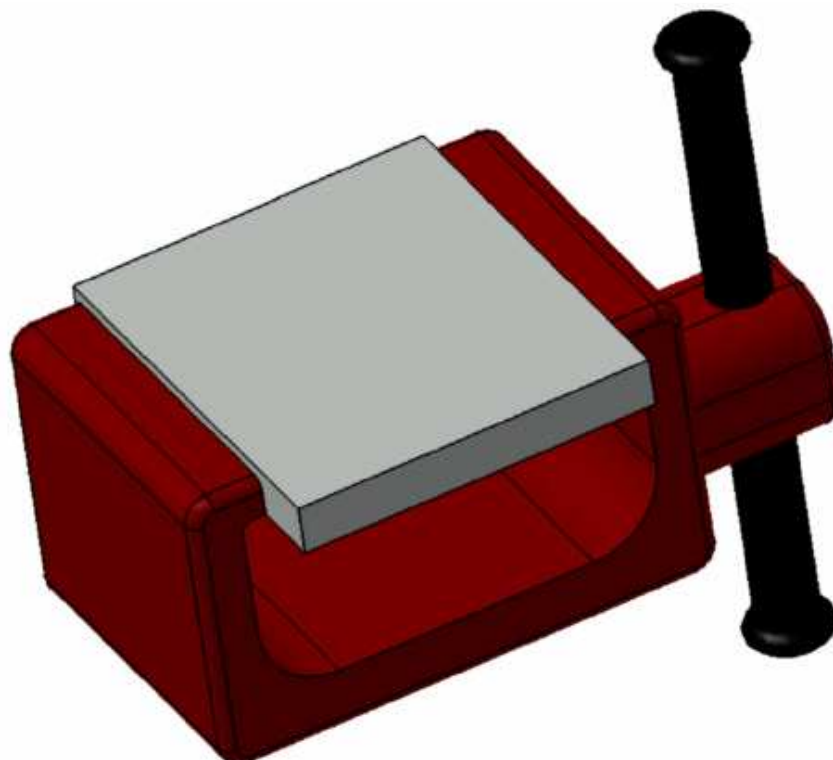
Mechanické vlastnosti <sup>1)</sup>		typické hodnoty
Mez kluzu $R_{p0,2}$	[MPa]	400 - 495
Pevnost v tahu $R_m$	[MPa]	490 - 555
Tažnost $A_{50}$	[%]	6 - 9
Tvrdost HBW	[2,5/62,5]	165 - 170
Fyzikální vlastnosti <sup>1)</sup>		typické hodnoty
Objemová hmotnost	[g/cm <sup>3</sup> ]	2,76
Modul pružnosti	[GPa]	72
Elektrická vodivost	[m/Ω · mm <sup>2</sup> ]	18 - 22
Koeficient tepelné roztažnosti	[K <sup>-1</sup> · 10 <sup>-6</sup> ]	23,6
Tepelná vodivost	[W/m · K]	120 - 150
Specifická tepelná kapacita	[J/kg · K]	862

Výkres dílce je přiložen v příloze.

### 6.1 Výrobní postup

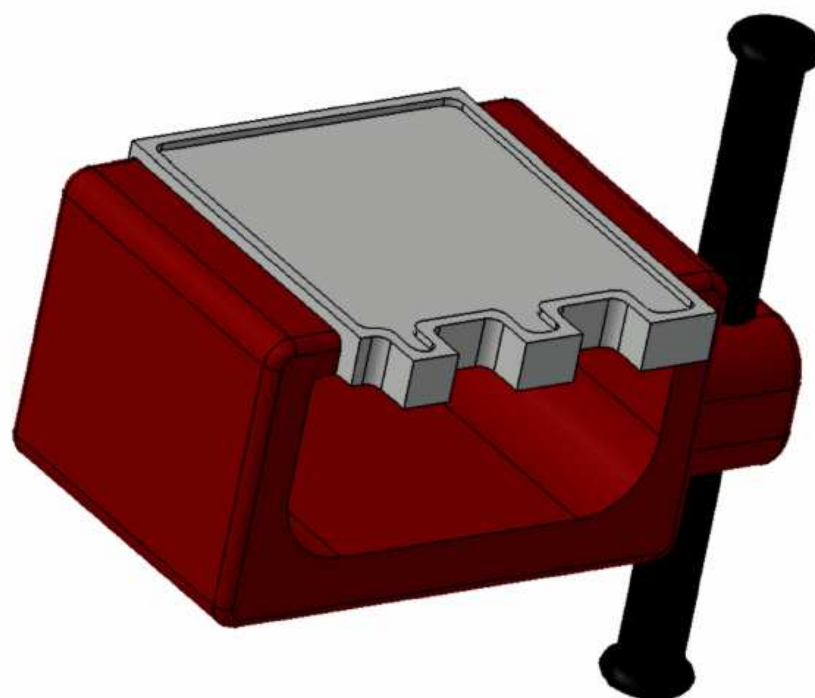
Obrobek byl 3x upnut během výrobního procesu, aby bylo možné vyrobit všechny požadované rozměry. Pro výrobu tohoto dílce bylo třeba navrhnout program pro CNC frézu. Tento program byl tvořen v softwaru NX 8.

Obrobek byl upnut do svěráku (viz následující obrázek). Nejdříve bylo provedeno srovnání povrchu obrobku. Následně bylo provedeno vybrání do hloubky 5 mm. Toto vybrání bylo uděláno z důvodu ochrany okrajových hran a také z důvodu ochrany hran otvorů. Potom byly vyfrézovány jednotlivé zuby s rádiusy. Následující operací bylo vytvoření dalšího zahloubení do hloubky 15 mm. Pro tuto operaci byla jako nástroj použita fréza Ø 10 mm.



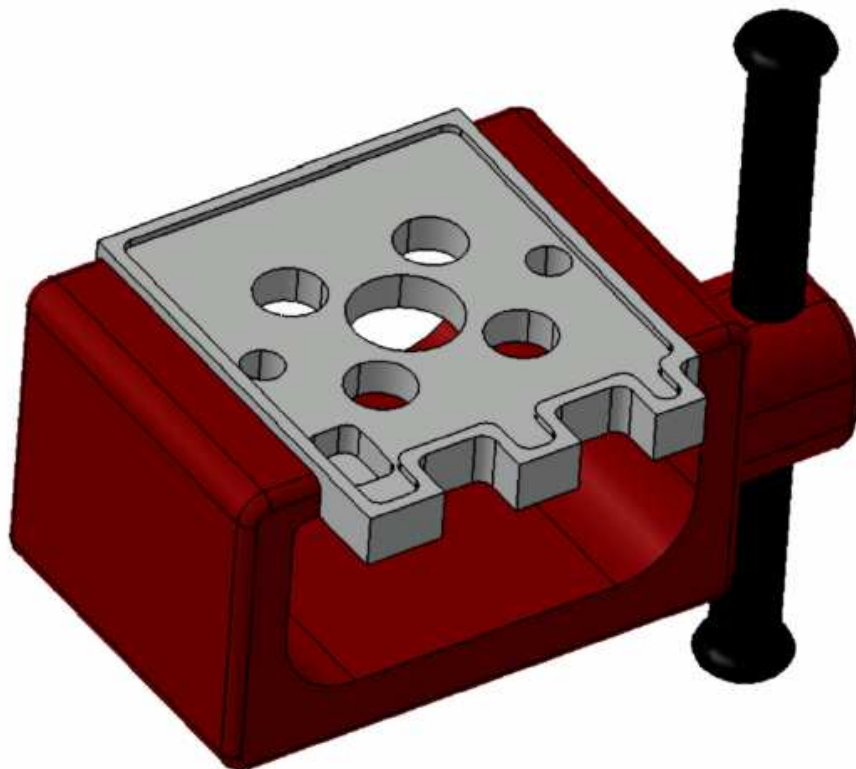
*Obr. 24 První upnutí obrobku*

Po dokončení srovnání, vybrání 5 mm a vyfrézování zubů vypadal obrobek následovně.  
(viz následující obrázek).



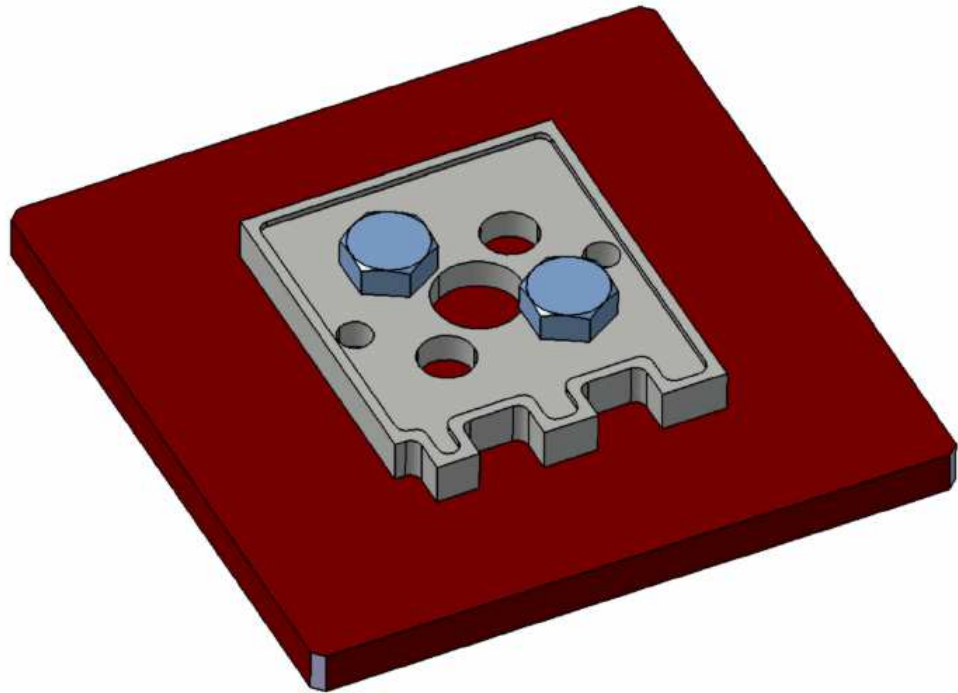
*Obr. 25 Obrobek po vybrání 5 mm a vyfrézování zubů*

Další operací bylo potřeba otočit obrobek a znovu upnout. Opět bylo provedeno srovnání povrchu a vybrání do hloubky 5 mm. Potom bylo potřeba změnit nástroj. Nástroj byl vyměněn za frézu  $\varnothing 20$  mm. Touto frézou byly vyfrézovány 4 díry. Následovala výměna nástroje za frézu s větším průměrem  $\varnothing 35$  mm, čímž byla dokončena největší díra. Poslední operací bylo vystružení dvou děr. Na tyto díry byl použit výstružník  $\varnothing 16H8$ . Výsledek a upnutí obrobku pro provedení těchto operací (viz následující obrázek).



*Obr. 26 Upnutí a obrobení z druhé strany*

Poslední upnutí obrobku bylo zajištěno pomocí šroubů. V tomto případě provedeno srovnání stěn obrobku (viz následující obrázek).



*Obr. 27 Upnutí pomocí šroubů a srovnání stěn*

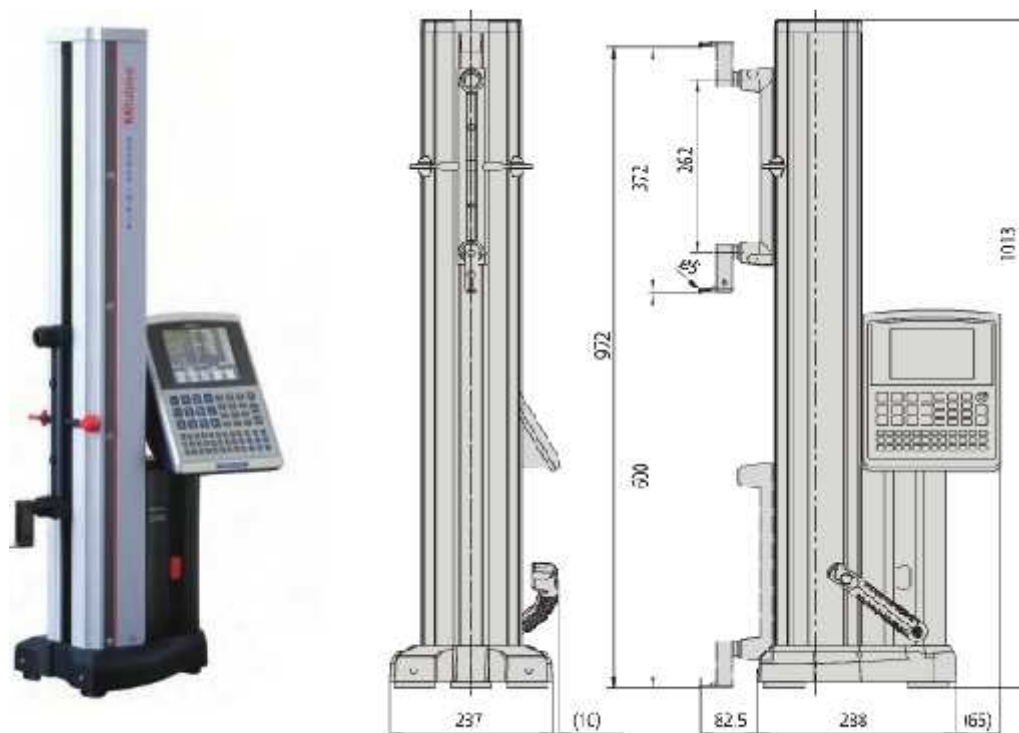
Poslední operací pro dokončení dílce bylo sražení jeho hran. Bylo potřeba srazit jednotlivé ostré hrany. Hrany tohoto obrobku byly sraženy na brusce. Po provedení sražení byl dílec očištěn tlakovým vzduchem a vyleštěn. Hotový dílec je ukázán na následujícím obrázku.



*Obr. 28 Hotový a očištěný dílec*

## 7 TYP A PARAMETRY DIGITÁLNÍHO VÝŠKOMĚRU

Na následujícím obrázku je zobrazen lineární výškoměr Linear Height LH-600D/DG s rozměry. Hlavní rozměry jsou 1013 x 435 x 237 mm.



Obr. 29 Lineární výškoměr Linear Height LH-600D/DG [13]

Na následujícím obrázku je možno najít parametry digitálního výškoměru Mitutoyo.

### Technické parametry

Přesnost	$(1,1 + 0,6L/600) \mu\text{m}$ L = měřená délka (mm)	Kolmost	5 $\mu\text{m}$ (po kompenzaci)
Rozsah posuvu	600 mm/24"	Přimost	4 $\mu\text{m}$ (mechanická)
Rozsah měření	0-972 mm/0-38.6"	Pohon	Manuální/motorický (5-40 mm/s,
Číslíkový krok	0,0001/0,001/0,01/0,1 mm nebo 0.000001/0.00001/0.0001/0.001"	doteku	7 stupňů)
Displej	Grafický LCD 320x240 bodů (s podsvětlením)	Metoda pohybu	Vestavěný kompresor
Podporované jazyky	Angličtina/Němčina/Francouzština/ Španělština/Italština/Holandština// Portugalština/Švédština/Turečtina/ Čeština/Maďarština/Slovinština/ Polština/Tradiční čínština (volitelná)/ Japonština	Kompenzační metoda	Protiváha
		Měřicí síla	1 N
		Počet uložených programů	50 programů (max.)
		Počet uložených hodnot	60 000 (max.)
		Provozní doba na baterii:	cca 5 hodin

Obr. 30 Parametry výškoměru [13]

## 8 KALIBRACE DIGITÁLNÍHO VÝŠKOMĚRU MITUTOYO

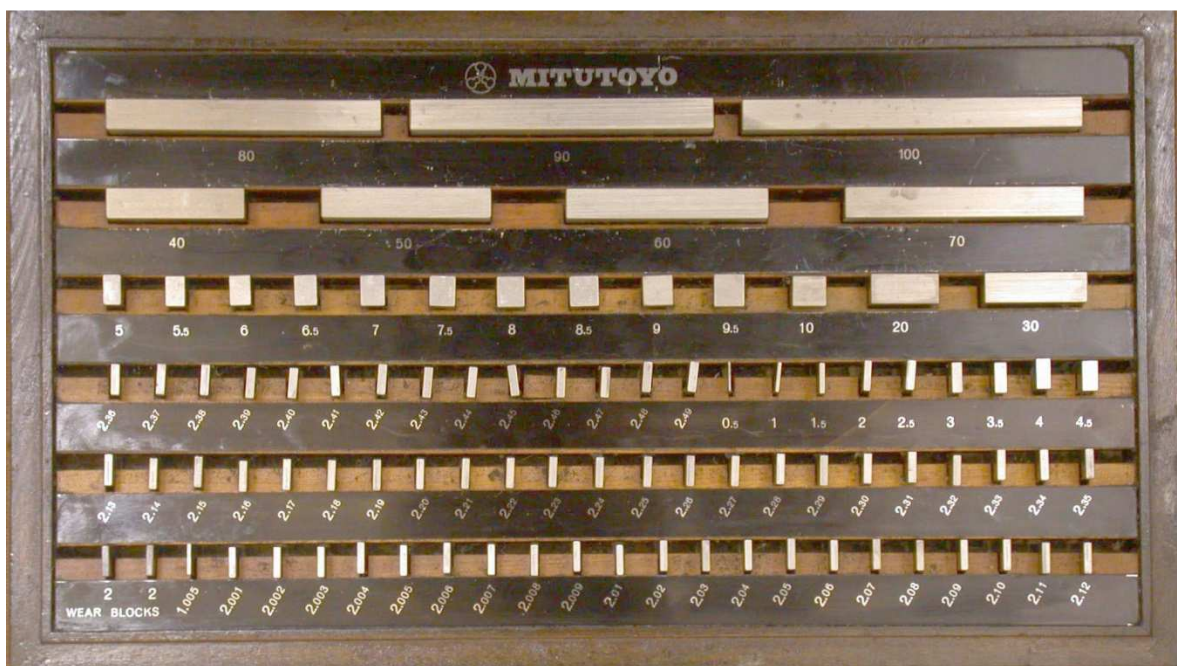
Kalibrace digitálního výškoměru byla provedena pomocí měrek. Měření bylo prováděno od 5 mm výšky a měření se postupně zvyšovalo po 5 mm až na výšku 200 mm.

Různých výšek bylo docíleno pomocí různých velikostí měrek a skládáním měrek na sebe.

Pro toto měření byly použity tyto velikosti měrek:

- 5; 10; 15; 20; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100 [mm].

Během měření bylo potřeba použít rukavice. Jednotlivé měrky byly před každým měřením řádně očištěny lihem. Po očištění byla každá měrka patřičně vysušena a otřena. Před zahájením měření bylo také potřeba očistit lihem pracovní desku stolu, na které probíhalo měření.



Obr. 31 Měrky

Poté bylo spuštěno zařízení (digitální výškoměr Mitutoyo). Pro měření byl využit nástavec pro měření výšky z horní strany.

Přístroj obsahuje standardní a zvláštní příslušenství.

*Standardní příslušenství:*

- kuličkový dotek Ø 5 mm s upínkou (poz. 11),
- kalibrační blok,
- síťový adaptér,
- kryt a akumulátor.

*Zvláštní příslušenství:*

- sada doteků, která obsahuje držák s otvorem M3, talířkový dotek Ø 12 mm, kuličkový dotek s rubínovou kuličkou Ø 1, 2, 3 a 4 mm, prodloužení 10, 20 mm a imbusový klíč.
- kalibrační blok pro průměr doteku



Obr. 32 Příslušenství digitálního výškoměru Mitutoyo



1 – nástavec pro držení doteků, 2 – talířkový dotek Ø 12 mm, 3 – kuličkový dotek s rubínovou kuličkou Ø 4 mm, 4 – kuličkový dotek Ø 3 mm, 5 – kuličkový dotek Ø 2 mm, 6 – kuličkový dotek Ø 1 mm, 7 – držák s otvorem M3, 8 – prodloužení 20 mm, 9 – prodloužení – 10mm, 10 – upínka, 11 – kuličkový dotek 5 mm, 12 - upínka

## 8.1 Příprava měření

Jak už bylo výše uvedeno, bylo potřeba mít připraveny měrky a pracovní desku stolu. Dále bylo potřeba na přístroj instalovat patřičnou upínku s dotekem. V tomto případě měření byla použita upínka (10) a kuličkový dotek Ø 5 mm (poz. 11) na obrázku výše.

Byl spuštěn výškoměr.

Start stroje (postup startu):

- 1) Byl připojen přístroj k elektrické energii.
- 2) Ze zadní strany displeje byl přepnut přepínač z off na on.
- 3) Byl stisknut síťový vypínač (tlačítko vypnout/zapnout).
- 4) Saně byly posunuty do nejvyšší polohy přístroje, pro pořízení referenčního bodu.
- 5) Byl nastaven nulový bod ABS (absolutní referenční bod).

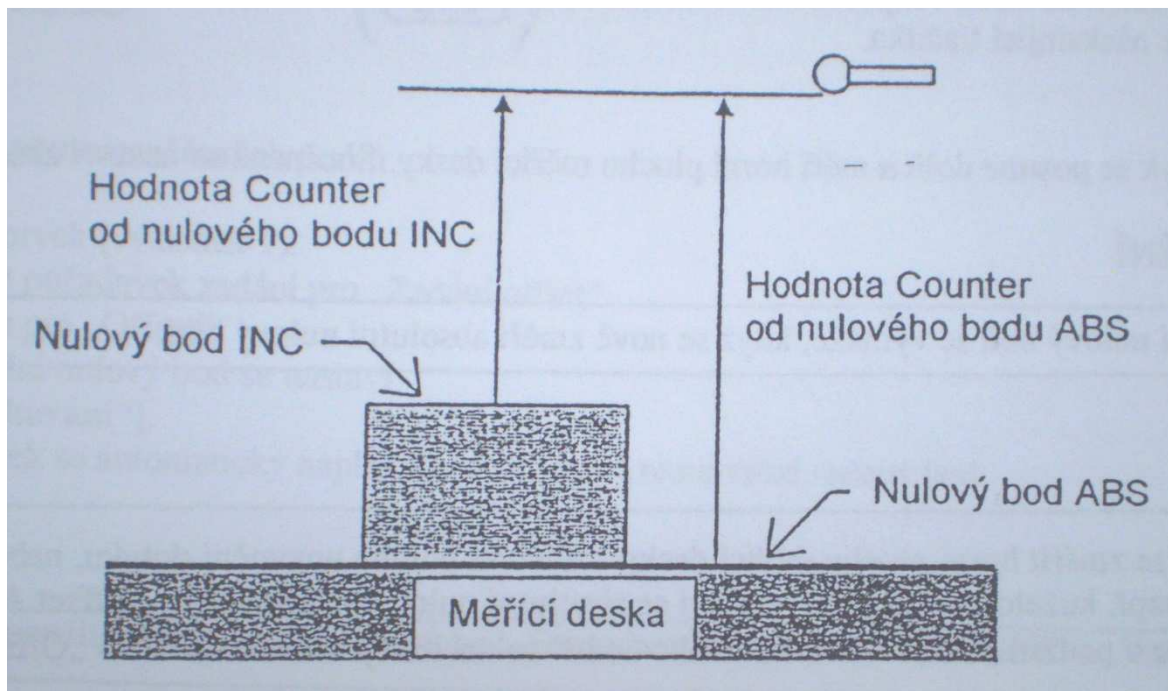
## 8.2 Funkce nastavení nulového bodu

Tato funkce byla použita k nastavení souřadnicového systému nulového bodu, který byl použit jako referenční bod při měření.

Během měření výškoměrem mohou být použity dva různé nulové body: nulový bod ABS a nulový bod INC (uživatelé definovaný inkrementální nulový bod).

Funkce nastavení nulového bodu byla použita k nastavení těchto nulových bodů k účelu měření. Absolutní nulový bod odpovídá referenčnímu bodu měřicího přístroje a je nastaven na měřicí desce, na které je výškoměr instalován.

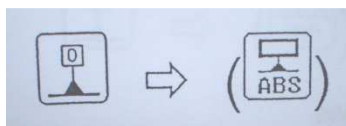
Inkrementální nulový bod je relativní referenční bod, bazírující na absolutním nulovém bodu a je nastaven jako referenční bod na obrobku.



Obr. 33 Nulové body INC a ABS

### 8.2.1 Nulový bod ABS

Vyvolání této funkce bylo provedeno pomocí následujících symbolů.



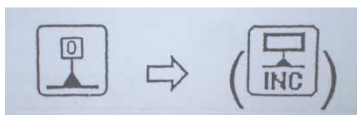
Touto funkcí byla snímána horní plocha měřicí desky, na které byl výškoměr umístěn a byl nastaven absolutní nulový bod. Hodnota Counter je brána jako měřicí bod vzdálenosti od tohoto nulového bodu.

Postup:

- 1) Byl posunut dotyk do bodu bezprostředně nad horní plochu měřicí desky.
- 2) Bylo stisknuto tlačítko pro vyvolání nulového bodu (dotyk byl posunut dolů, a byla měřena plocha měřicí desky a současně byl nastaven nulový bod).

### 8.2.2 Nulový bod INC

Vyvolání této funkce bylo provedeno pomocí následujících symbolů.



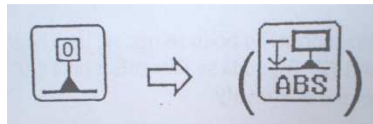
Touto funkcí byl naplněn měřený prvek, který byl zjištěn změřením referenčního bodu na obrobku a byl jím nastaven inkrementální nulový bod. Hodnota Counter je brána, jako měřicí bod vzdálenosti nulového bodu.

Postup:

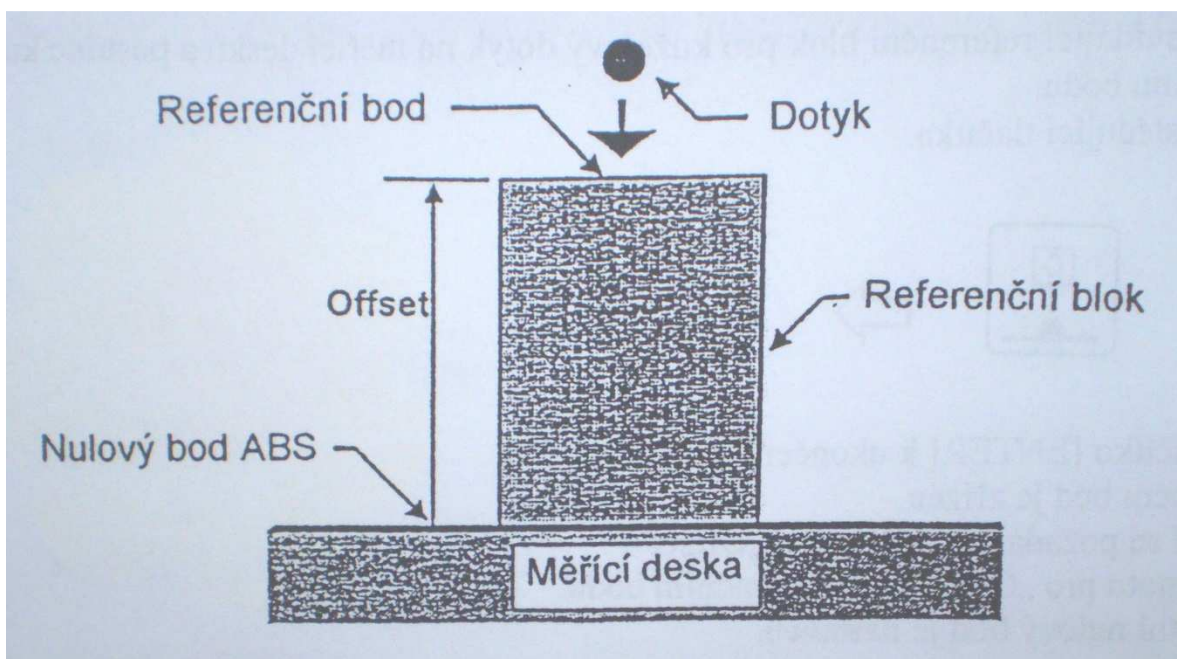
- 1) Bylo stlačeno tlačítko pro vyvolání inkrementálního bodu (byl zobrazen seznam měřených prvků).
- 2) Byl zvolen měřený prvek.
- 3) Byla zadána hodnota pro offset (byl nastaven inkrementální bod).

### 8.2.3 Nulový bod ABS offset

Vyvolání této funkce bylo provedeno pomocí následujících symbolů.



Po měření na referenčním bloku (Johanssonova měrka) byla zadána hodnota pro rozměr offset k tomu, aby byl nastaven absolutní nulový bod. Při této funkci byla tato měřicí deska nastavena použitím referenčního bloku nepřímou, jako absolutní nulový bod. Tato funkce byla využita jako funkce, kdy s dotykem nebylo možno dosáhnout na měřicí desku.



Obr. 34 Dotyk nedosahuje na měřicí desku a použití ABS offset

Postup:

- 1) Byl ustaven referenční blok na měřicí desku a byl posunut dotyk do bodu bezprostředně nad referenční bod.
- 2) Bylo stisknuto tlačítko pro vyvolání nulového bodu ABS offset (dotyk byl posunut dolů a, byl pořízen referenční bod a byl zobrazen požadavek zadání pro Offset).
- 3) Byla zadána hodnota pro Offset na referenčním bodě (byl nastaven absolutní nulový bod).

### 8.3 Funkce nastavení dotyku

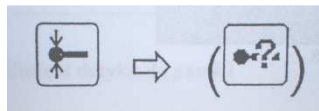
Tyto funkce byly použity k nastavení typu dotyku, jako průměru dotyku. Ke standardnímu kulovému dotyku je možno obdržet více optimálních dotyků pro různé druhy měření.

U tohoto přístroje je možno nastavit následující funkce dotyku:

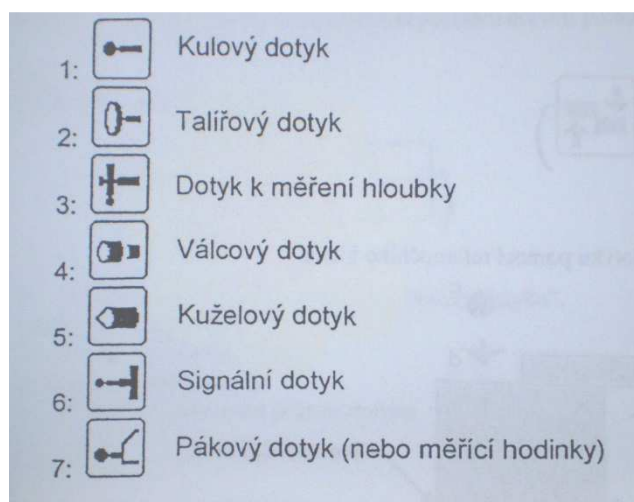
- typ dotyku, průměr dotyku, zadání průměru dotyku, uložení dotyku do paměti, poloha dotyku.

#### 8.3.1 Typ dotyku

Vyvolání této funkce bylo provedeno pomocí následujících symbolů.



Touto funkcí je možno nastavit různé typy dotyků. Níže jsou zobrazeny různé typy dotyků, které je možno během měření využít.



Obr. 35 Typy dotyků

Postup:

- 1) Byl upevněn dotyk na saně.
- 2) Bylo stisknuto tlačítko pro vyvolání typu dotyku.
- 3) Byl použit odpovídající symbol dle typu dotyku, který byl využit.

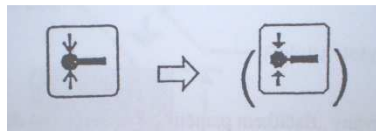
Pro měření v této diplomové práci bylo využito jen kulového dotyku a dotyku k měření hloubky.

### 8.3.2 Zadání průměru dotyku

Tato funkce byla využita k zadání a nastavení průměru dotyku pomocí ovládacího panelu.

Postup:

- 1) Byla stisknuta následující tlačítka.



- 2) Byl zadán průměr dotyku  $\varnothing$  3 mm.

## 8.4 Vyhodnocení dat

Ke statickému vyhodnocení a zpracování naměřených dat při kalibraci digitálního výškoměru byl použit program Minitab 15. Jednotlivá měření byla vyhodnocena do 4 grafů kvůli přehlednosti.

Z naměřených hodnot byla vypočtena chyba způsobená vlivem tepelné roztažnosti. Po korekci chyby teploty byla zjištěna konvenčně pravá hodnota měřky.

$$l = l_o \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (32)$$

Kde:  $l$  - délka měřky

$\alpha$  - koeficient tepelné roztažnosti

$\Delta t$  - rozdíl teplot

Hodnota koeficientu tepelné roztažnosti je  $0,011 [10^{-3} \cdot K^{-1}]$ .

Ideální teplota pro měření je  $20^{\circ}C$ . V laboratoři, kde bylo provedeno měření byla naměřena teplota  $24^{\circ}C$ . Rozdíl teploty byl  $4^{\circ}C$ .

Příklad výpočtu chyby způsobené tepelnou roztažností:

$$l = 0,011 \cdot 4 \cdot 0,01 = 0,00044 \text{ mm} \quad (33)$$

Dále byly spočteny standardní nejistoty typu A a typu B. Také byla spočtena kombinovaná standardní nejistota. Data a výsledky jsou přiloženy v příloze.

Z manuálu bylo zjištěno, že chyba přístroje je 0,003 mm.

Standardní nejistota typu B byla spočtena následujícím způsobem.

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2} \quad (34)$$

V případě jedné měřky byla použita následující rovnice.

$$u_B = \sqrt{l^2 + 0,001_{B2}^2} \quad (35)$$

V případě spojení dvou měrek byla použita následující rovnice.

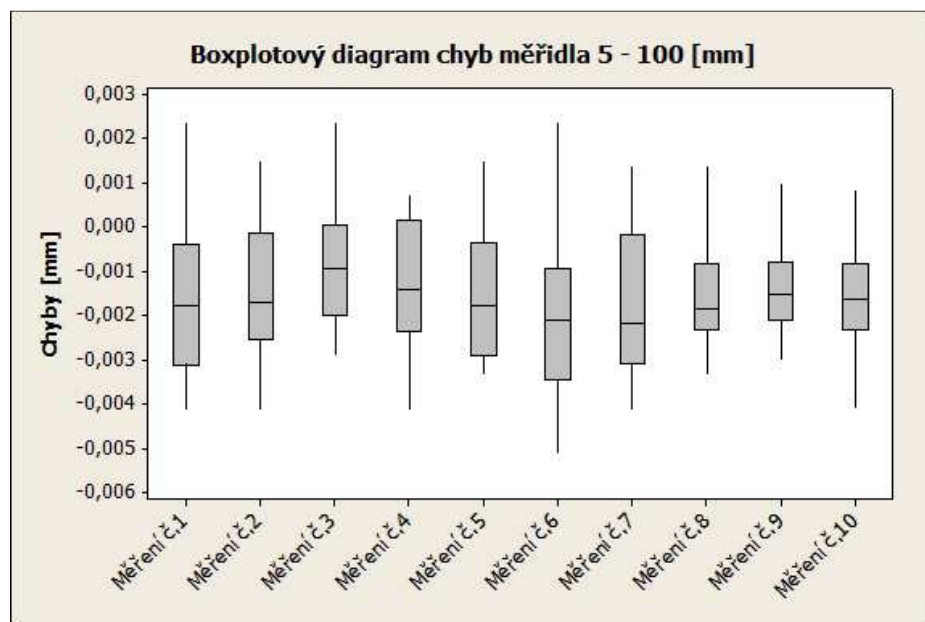
$$u_B = \sqrt{0,003^2 + l^2 + 0,001^2} \quad (36)$$

V případě spojení tří měrek byla použita následující rovnice.

$$u_B = \sqrt{2 \cdot (0,003)^2 + l^2 + 0,001^2} \quad (37)$$

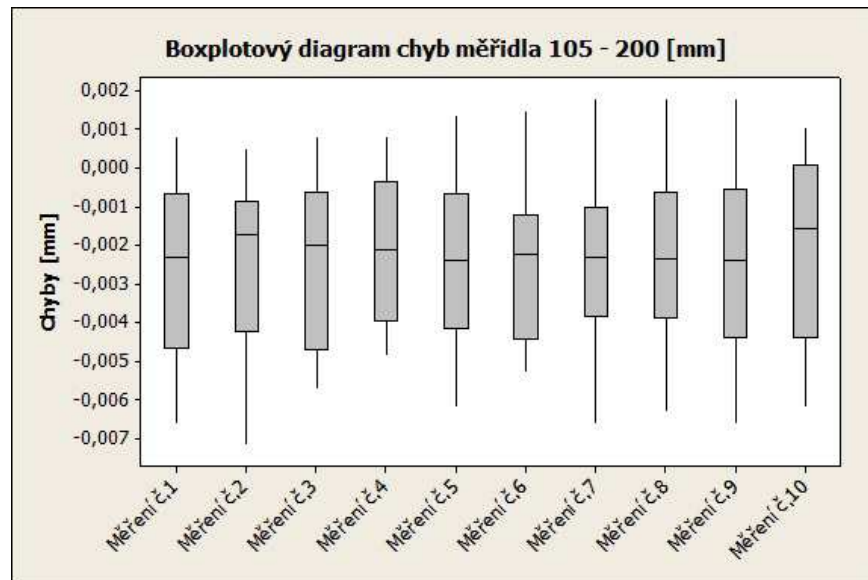
V těchto rovnicích bylo počítáno s chybou přístroje, chybou teploty a s chybou operátora.

Na následujícím obrázku je znázorněn boxplot diagram chyb měřidla 5 – 100 mm. Z grafu je možno vyčíst, že se nevyskytly žádné extrémní nebo vychýlené hodnoty, které by bylo potřeba vyloučit. Je zde také možno vidět chybu přístroje.



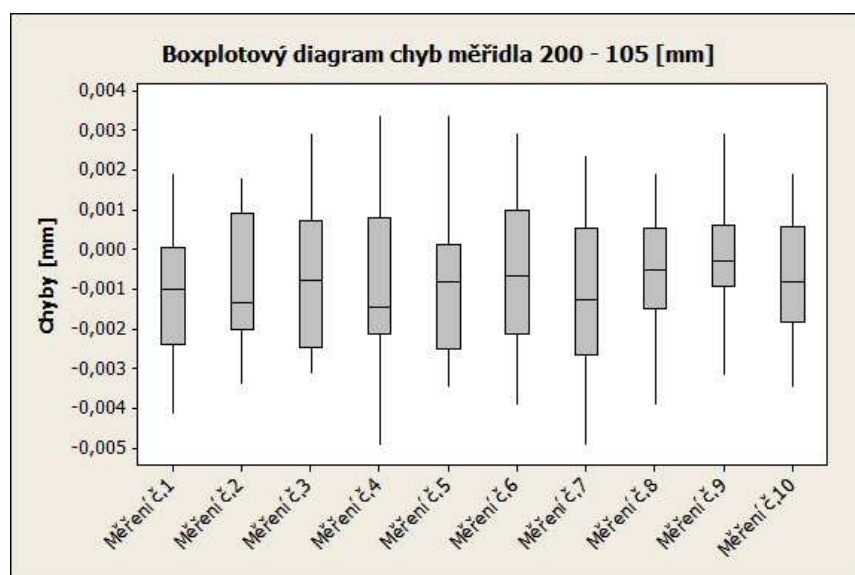
Obr. 36 Boxplot diagram chyb měřidla 5 -100 mm

Na následujícím obrázku je znázorněn boxplot diagram chyb měřidla 105 – 200 mm. Z grafu je možno vyčíst, že se opět nevyskytly žádné extrémní nebo vychýlené hodnoty, které by bylo potřeba vyloučit.



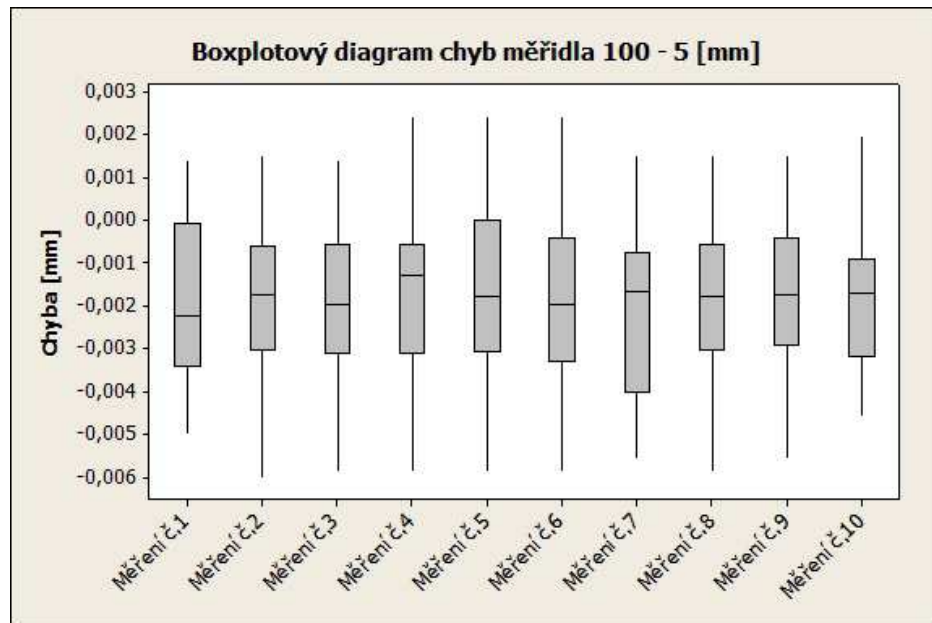
Obr. 37 Boxplot diagram chyb měřidla 105 – 200 mm

Na následujícím obrázku je znázorněn boxplot diagram chyb měřidla 200 - 105 mm. Opět se nevyskytly žádné extrémní nebo vychýlené hodnoty, které by bylo třeba vyloučit.



Obr. 38 Boxplot diagram chyb měřidla 200 - 105 mm

Na následujícím obrázku je znázorněn boxplot diagram chyb měřidla 100 - 5 mm. Opět se nevyskytly žádné extrémní nebo vychýlené hodnoty, které by bylo třeba vyloučit. Je zde také možno vidět chybu přístroje.



Obr. 39 Boxplot diagram chyb měřidla 100 – 5 mm

Měření proběhlo při teplotě 24 °C. Byla provedena korekce teplotní roztažnosti a byla zjištěna konvenčně pravá hodnota. Od této hodnoty byla zjištěna chyba přístroje. Z těchto chyb byly vytvořeny grafy, které ukazují chybu měřidla. Z předchozích grafů lze vidět, že chyba měřidla je opravdu 0,003 mm, která odpovídá stejné hodnotě, jako byla zjištěna pomocí manuálu.



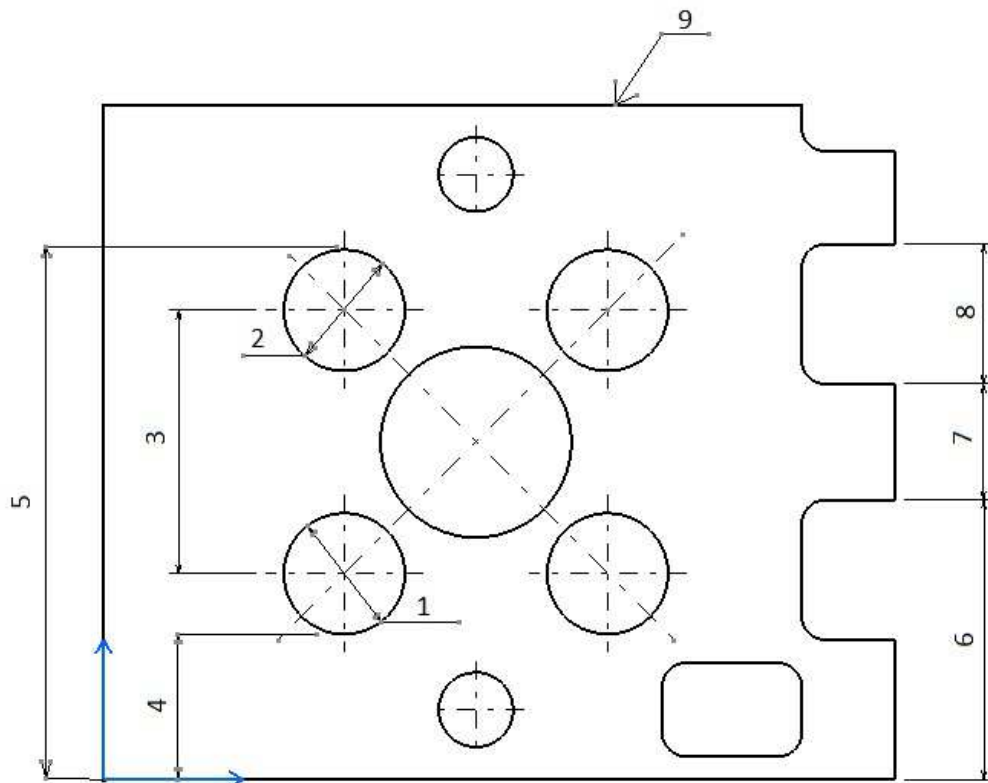
## 9 MĚŘENÍ VYBRANÝCH ROZMĚRŮ DÍLCE

Na vyrobeném dílci byly změřeny jeho hodnoty a srovnány s hodnotami na výkrese dílce, kdy bylo potřeba zkontrolovat přesnost vyrobení dílce. A zároveň byly odzkoušeny jednotlivé funkce měření.

Na výškoměru byly odzkoušeny a naměřeny tyto typy měření:

- výška (nahoru),
- výška (dolů),
- kružnice (vnitřní a vnější),
- šířka (vnitřní a vnější),
- maximální a minimální výška,
- maximální – minimální hodnoty,
- rozteč.

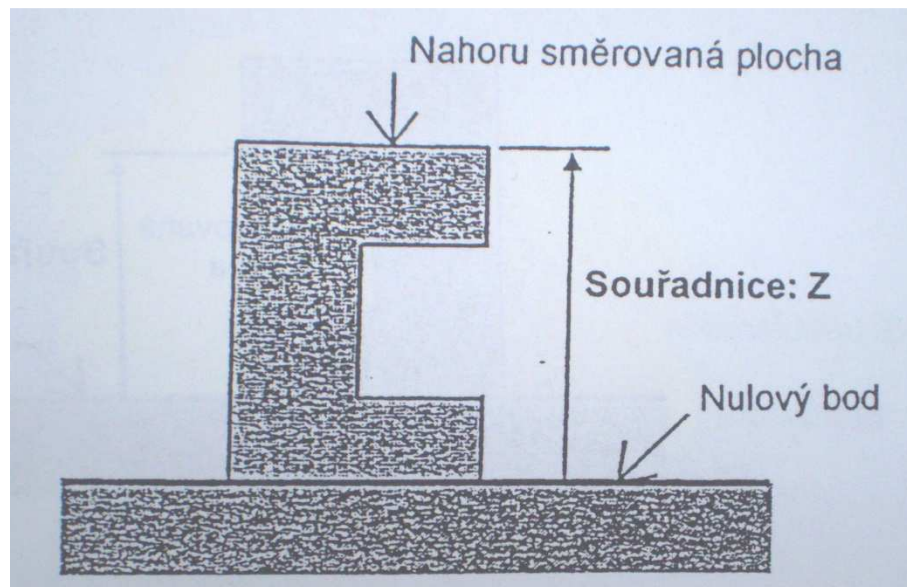
Na následujícím obrázku jsou očíslovány rozměry, které byly na dílci měřeny. Tímto byla také provedena kontrola přesnosti vyrobení dílce. Každé měření bylo provedeno třicetkrát. Výkres dílce s hodnotami je přiložen v příloze.



Obr. 40 Označení měřených hodnot dílce

## 9.1 Výška (nahoru)

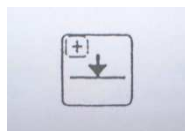
Touto funkcí byla sejmuta plocha, která byla směřována nahoru. Také byla změřena výšková vzdálenost mezi aktuálním nulovým bodem a bodem měření. Tento rozměr nebyl třicetkrát měřen na dílci, protože tato funkce byla použita při kalibraci.



Obr. 41 Výška (nahoru)

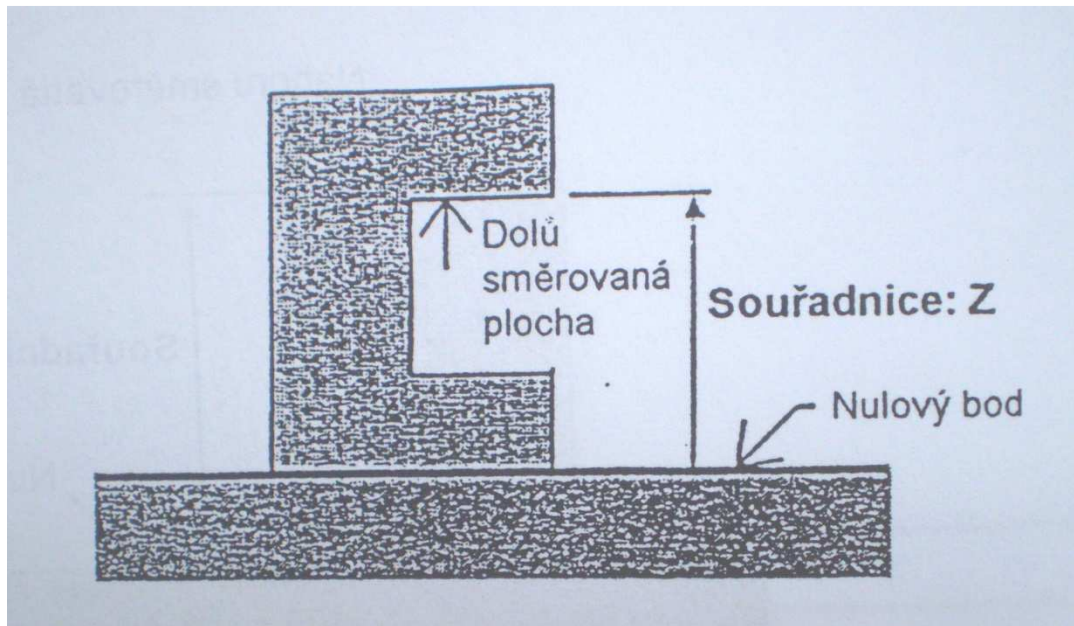
Postup:

- 1) Byl posunut dotyk do bodu bezprostředně nad bodem měření.
- 2) Bylo stisknuto následující tlačítko (dotyk byl posunut dolů, byl změřen bod měření a současně byl zobrazen výsledek).



## 9.2 Výška (dolů)

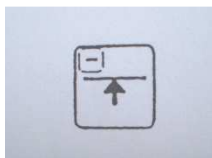
Touto funkcí byla sejmuta plocha, která byla směřována dolů. Zároveň byla změřena výšková vzdálenost mezi aktuálním nulovým bodem a bodem měření. Na obrázku dílce je rozměr označen číslem 6.



Obr. 42 Výška (dolů)

Postup:

- 1) Dotyk byl posunut do bodu bezprostředně pod bodem měření.
- 2) Bylo stisknuto následující tlačítko (dotyk byl posunut nahoru, byl změřen bod měření a byl zobrazen výsledek).

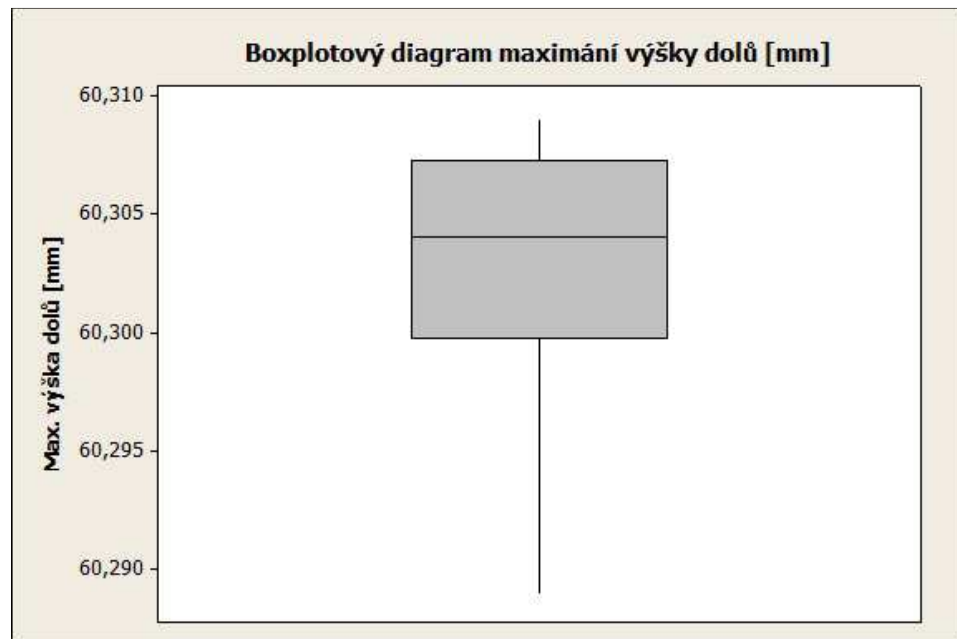


Tab. 2 Max. výška dolů

Max. výška dolů [mm] rozměr (6)									
60,298	60,304	60,308	60,308	60,297	60,303	60,309	60,307	60,302	60,301
60,297	60,307	60,309	60,305	60,297	60,305	60,304	60,309	60,299	60,289
60,305	60,308	60,303	60,309	60,298	60,304	60,307	60,303	60,300	60,307
Aritmetický průměr	60,303		Směr. Odchylka	0,005		Ua	0,001		

U maximální výšky dolů (na dílci rozměr 6) byl z naměřených hodnot vypočten aritmetický průměr  $\bar{x} = 60,303$  mm, s nejistotou měření  $u_a = 0,001$  mm a směrodatnou odchylkou  $s = 0,005$  mm.

Na následujícím obrázku je znázorněn boxplot diagram maximální výšky dolů. Nebyly nalezeny žádné extrémní nebo vychýlené hodnoty, které by bylo třeba vyloučit. Tento rozměr dosahuje chyby 0,3 mm.



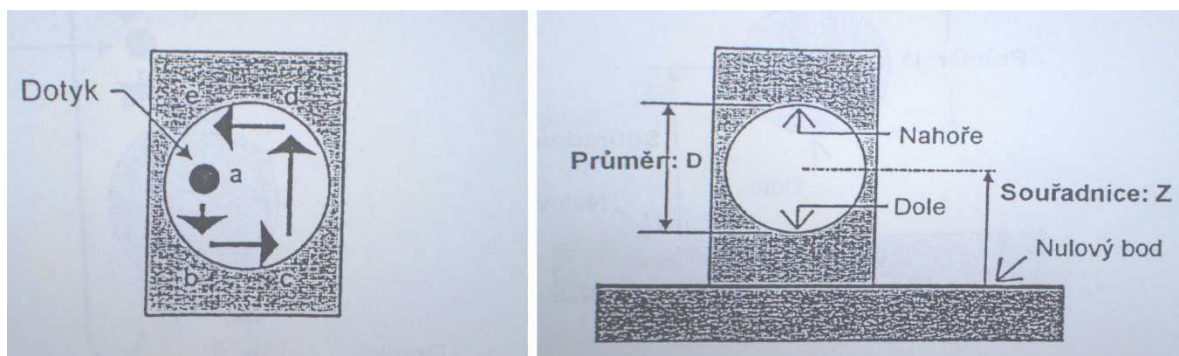
Obr. 43 Boxplot diagram maximální výšky dolů

### 9.3 Kružnice (vnitřní)

Vyvolání této funkce bylo provedeno stisknutím následujícího symbolu.



Touto funkcí bylo zajištěno sejmutí otvoru na dolní a horní straně ke zjištění  $\varnothing D$  a středu otvoru. Na obrázku dílce jsou rozměry označeny číslem 1 a 2.



Obr. 44 Kružnice (vnitřní)

Postup:

- 1) Dotyk byl posunut do bodu (a) v blízkosti dolního bodu začátku měření (b).

- 2) Bylo stisknuto tlačítko pro měření kružnice (vnitřní). Dotyk byl posunut dolů a bylo započato měření od bodu (b).
- 3) Hlavní přístroj byl posunut ke snímání po dolní straně (od b k c). Minimální rozměr dolní plochy byl změřen. Dotyk byl posunut nahoru až k dotyku horního bodu (d).
- 4) Hlavní přístroj byl posunut ke snímání na horní straně (od d k e). Maximální rozměr horní plochy byl změřen a byl zobrazen výsledek.

Tab. 3 Průměr vnitřní

Ø Průměr vnitřní [mm] rozměr (1)									
26,156	26,172	26,214	26,178	26,161	26,160	26,156	26,191	26,220	26,218
26,114	26,046	26,216	26,093	26,175	26,193	26,181	26,114	26,215	26,047
26,211	26,161	26,162	26,173	26,171	26,196	26,185	26,151	26,216	26,172
Aritmetický průměr	26,167			Směr. Odchylka		0,045		Ua	0,009

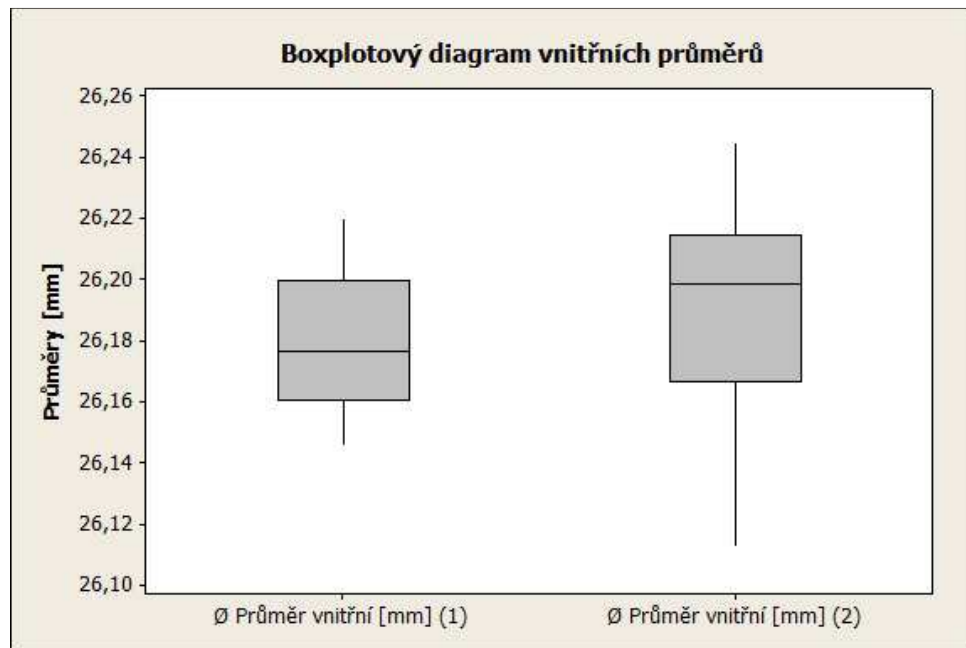
Tab. 4 Průměr vnitřní

Ø Průměr vnitřní [mm] rozměr (2)									
26,210	26,200	26,216	26,163	26,185	26,180	26,150	26,205	26,114	26,203
26,168	26,216	26,214	26,198	26,180	26,193	26,202	26,220	26,245	26,064
26,117	26,150	26,199	26,218	26,113	26,190	26,197	26,201	26,216	26,217
Aritmetický průměr	26,185			Směr. Odchylka s		0,039		Ua	0,010

U průměru vnitřního (na dílci rozměr 1) byl z naměřených hodnot vypočten aritmetický průměr  $\bar{x} = 26,167$  mm s nejistotou měření  $u_a = 0,009$  mm a směrodatnou odchylkou  $s = 0,045$  mm.

U průměru vnitřního (na dílci rozměr 2) byl z naměřených hodnot vypočten aritmetický průměr  $\bar{x} = 26,185$  mm s nejistotou měření  $u_a = 0,01$  a směrodatnou odchylkou  $s = 0,039$  mm.

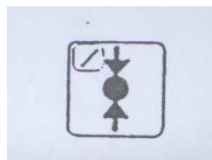
Na následujícím obrázku je znázorněn boxplot diagram vnitřních průměrů. Opět nebyly nalezeny žádné extrémní nebo vychýlené hodnoty, které by bylo třeba vyloučit. Díry byly vyrobeny s chybou 0,1 mm od požadované hodnoty na výkrese.



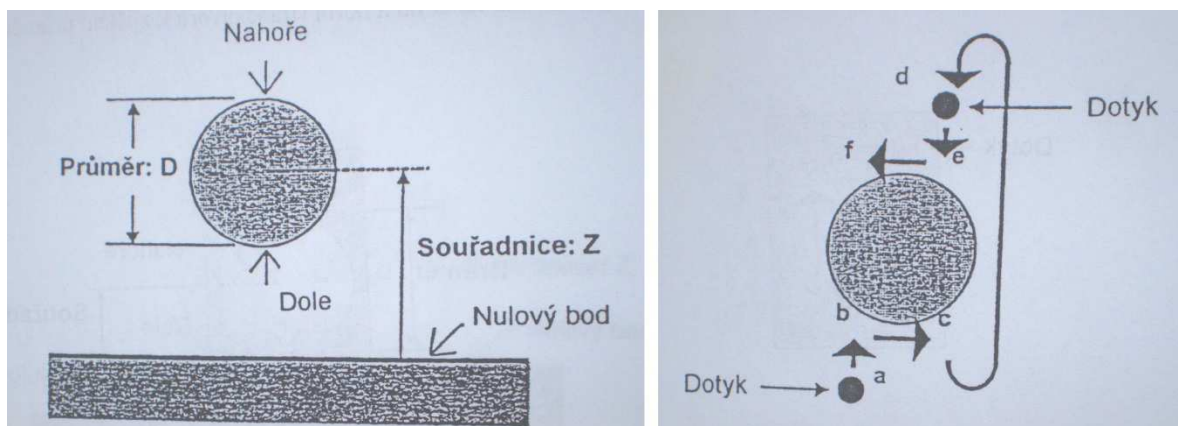
Obr. 45 Boxplot diagram vnitřních průměrů

## 9.4 Kružnice (vnější)

Vyvolání této funkce bylo provedeno stisknutím následujícího symbolu.



Touto funkcí bylo provedeno snímání na dolní a horní straně upínky (10, Obr. 33) k zajištění  $\varnothing D$  a středu.



Obr. 46 Kružnice (vnější)

Postup:

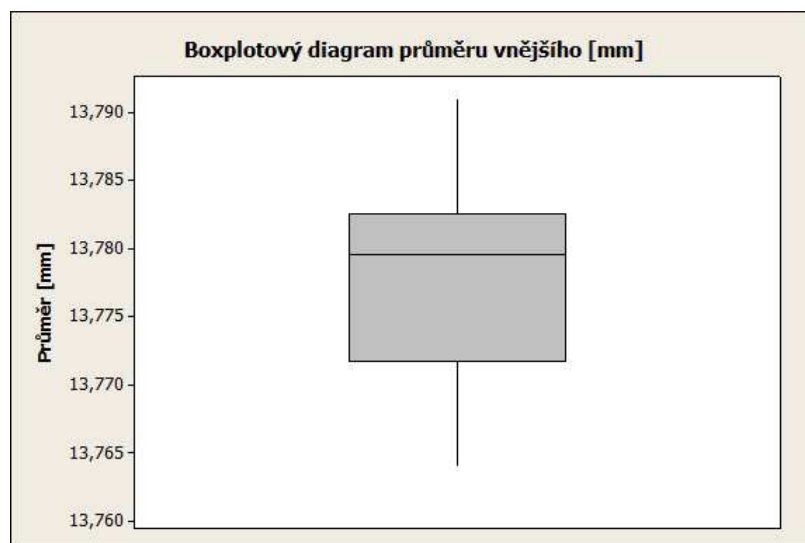
- 1) Dotyk byl posunut do bodu (a) v blízkosti dolního bodu začátku měření (b).
- 2) Bylo stisknuto tlačítko pro měření kružnice (vnější). Dotyk byl posunut nahoru, dokud nebylo dosaženo dolního bodu začátku měření (b).
- 3) Hlavní přístroj byl posunut ke snímání na dolní straně (od b k c). Byl změřen minimální rozměr dolní strany.
- 4) Dotyk byl posunut nad upínku do bodu (d) v blízkosti horního bodu začátku měření (e). Potom bylo stisknuto tlačítko (ENTER). Dotyk byl posunut dolů, dokud nebylo dosaženo horního bodu začátku měření.
- 5) Hlavní přístroj byl posunut ke snímání na horní straně (od e k f). Maximální rozměr horní strany byl změřen a byl zobrazen výsledek.

Tab. 5 Průměr vnější

Ø Průměr vnější [mm] rozměr									
13,781	13,764	13,777	13,781	13,776	13,765	13,781	13,767	13,786	13,791
13,778	13,775	13,781	13,784	13,778	13,779	13,767	13,771	13,769	13,781
13,784	13,780	13,766	13,778	13,885	13,786	13,880	13,772	13,790	13,782
Aritmetický průměr	13,785			Směr. Odchylka	0,027		Ua	0,005	

U průměru vnějšího (rozměr na upínce) byl z naměřených hodnot vypočten aritmetický průměr  $\bar{x} = 13,785$  mm s nejistotou měření  $u_a = 0,005$  a směrodatnou odchylkou  $s = 0,027$  mm.

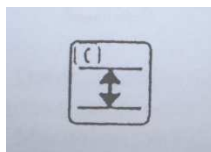
Na následujícím obrázku je znázorněn boxplot diagram vnějšího průměru. Opět nebyly nalezeny žádné extrémní nebo vychýlené hodnoty, které by bylo třeba vyloučit.



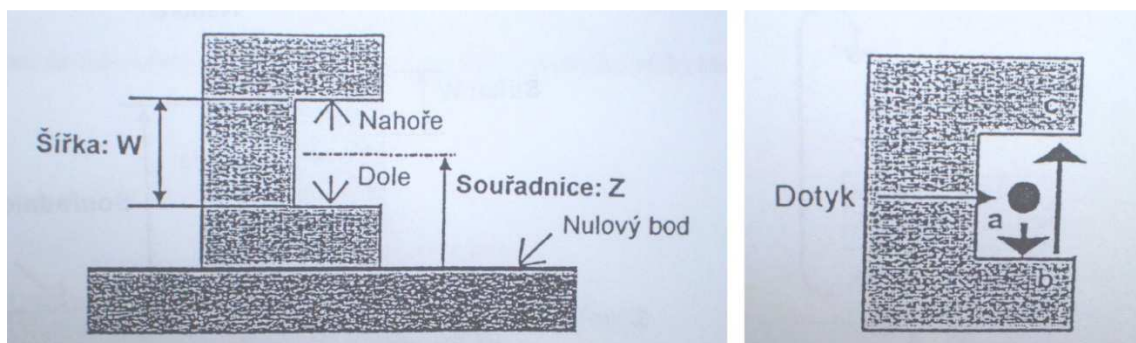
Obr. 47 Boxplot diagram průměru vnějšího

## 9.5 Šířka (vnitřní)

Vyvolání této funkce bylo provedeno stisknutím následujícího tlačítka.



Touto funkcí byla sejmuta horní a dolní plocha ke zjištění vnitřní vzdálenosti a středu. Na obrázku dílce je rozměr označen číslem 8.



Obr. 48 Šířka (vnitřní)

Postup:

- 1) Dotyk byl posunut do bodu (a) v blízkosti dolního bodu měření (b).
- 2) Bylo stisknuto tlačítko pro měření šířky (vnitřní). Dotyk byl posunut dolů, dokud nebylo dosaženo dolního bodu měření (b), poté byl dotyk posunut nahoru, byl změněn horní bod měření (c) a byl zobrazen výsledek.

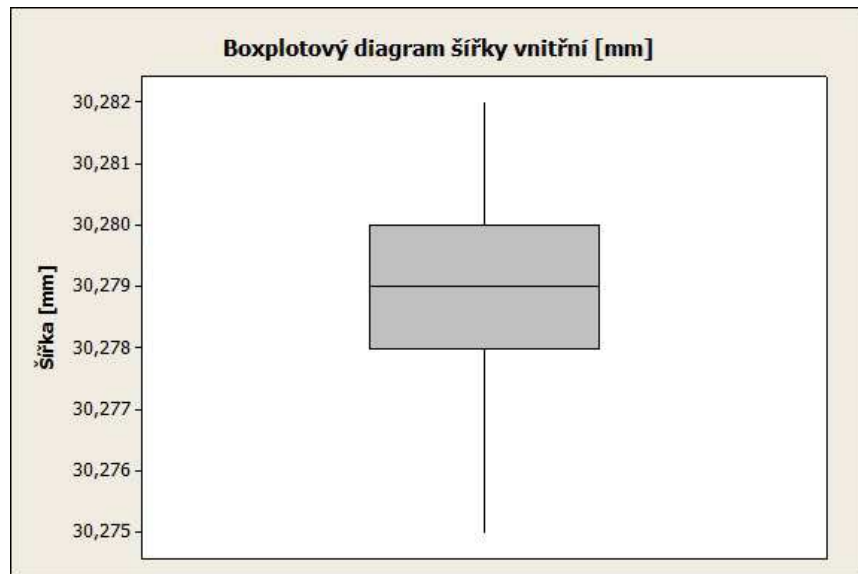
Tab. 6 Šířka vnitřní

Šířka vnitřní [mm] rozměr (8)									
30,278	30,275	30,277	30,274	30,276	30,279	30,278	30,279	30,281	30,279
30,282	30,271	30,280	30,279	30,280	30,278	30,277	30,279	30,282	30,281
30,271	30,281	30,273	30,278	30,279	30,280	30,276	30,282	30,280	30,280
Aritmetický průměr	30,278			Směr. Odchylka		0,003		U <sub>a</sub>	0,001

U šířky vnitřní (na dílci rozměr 8) byl z naměřených hodnot vypočten aritmetický průměr  $\bar{x} = 30,278$  mm s nejistotou měření  $u_a = 0,001$  mm a směrodatnou odchylkou  $s = 0,003$  mm.



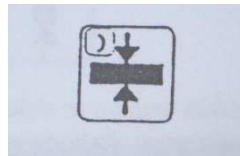
Na následujícím obrázku je znázorněn boxplot diagram šířky vnitřní. Nebyly zjištěny extrémní nebo vychýlené hodnoty, které by bylo potřeba vyloučit. Po srovnání s výkresem je možno vidět, že vnitřní šířka byla vyrobena s přesností 0,02 mm.



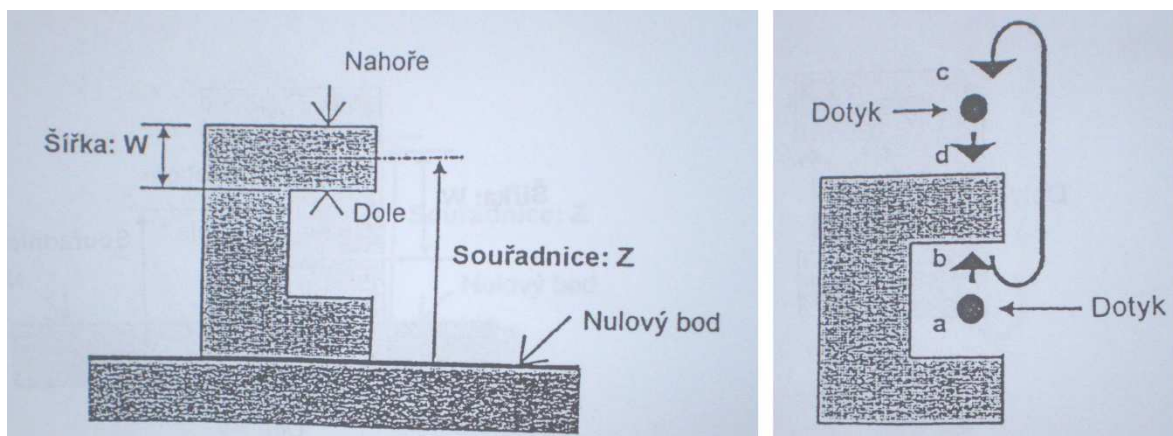
Obr. 49 Boxplot diagram šířky vnitřní

## 9.6 Šířka (vnější)

Vyvolání této funkce bylo provedeno stisknutím následujícího tlačítka.



Pomocí této funkce byl sejmut dolní a horní bod ke zjištění tloušťky a středu. Na obrázku dílce je rozměr označen číslem 7.



Obr. 50 Šířka (vnější)

Postup:

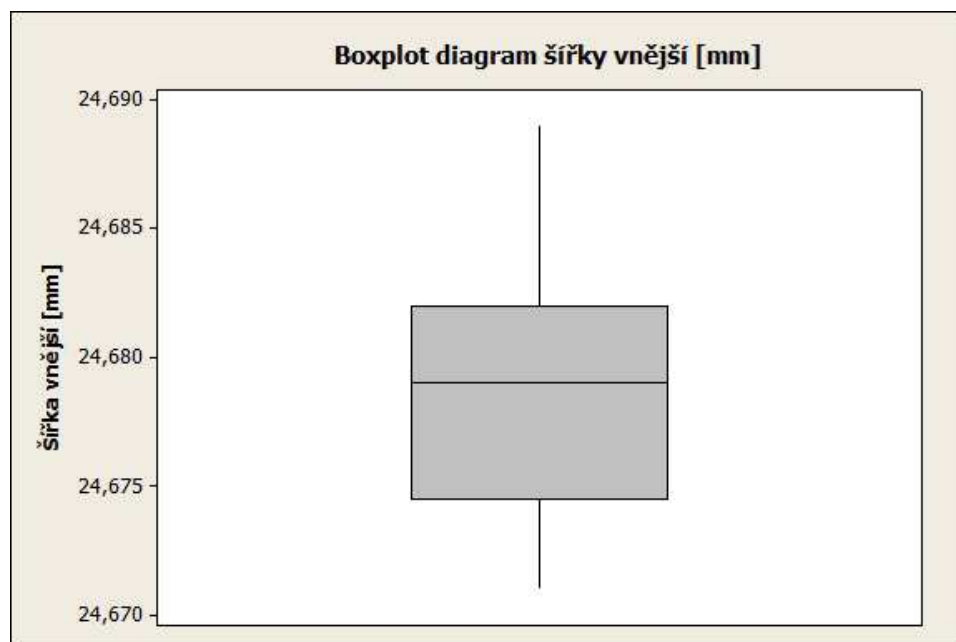
- 1) Dotyk byl posunut do bodu (a) v blízkosti dolního bodu měření (b).
- 2) Bylo stisknuto tlačítko pro měření šířky (vnější). Dotyk byl posunut nahoru k bodu (b), kde byl změřen dolní bod měření.
- 3) Dotyk byl posunut do bodu (c) v blízkosti horního bodu měření (d). Potom byla stlačeno tlačítko (ENTER). Dotyk byl posunut dolů, byl změřen horní bod měření (d) a byl zobrazen výsledek.

Tab. 7 Šířka vnější

Šířka vnější [mm] rozměr (7)									
24,688	24,685	24,682	24,679	24,671	24,676	24,680	24,673	24,679	24,677
24,689	24,687	24,680	24,677	24,672	24,681	24,673	24,681	24,675	24,675
24,684	24,681	24,679	24,676	24,673	24,682	24,671	24,682	24,678	24,671
Aritmetický průměr	24,679			Směr. Odchylka	0,005			U <sub>a</sub>	0,001

U šířky „vnější“ (na dílci rozměr 7) byl z naměřených hodnot vypočten aritmetický průměr  $\bar{x} = 24,679$  mm s nejistotou měření  $u_a = 0,001$  mm a směrodatnou odchylkou 0,005 mm.

Na následujícím obrázku je znázorněn boxplot diagram šířky vnější. Vychýlené hodnoty, které by bylo potřeba vyloučit nebyly nalezeny. Po srovnání s výkresem je možno spatřit, že vnější šířka byla vyrobena s přesností 0,02 mm.



Obr. 51 Boxplot diagram šířky vnitřní

## 9.7 Měření maximální výšky

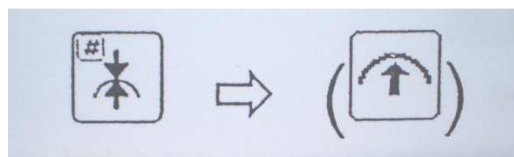
Pro měření maximální výšky je možno využít dva povely:

- měření nahoru směřované plochy,
- měření dolů směřované plochy.

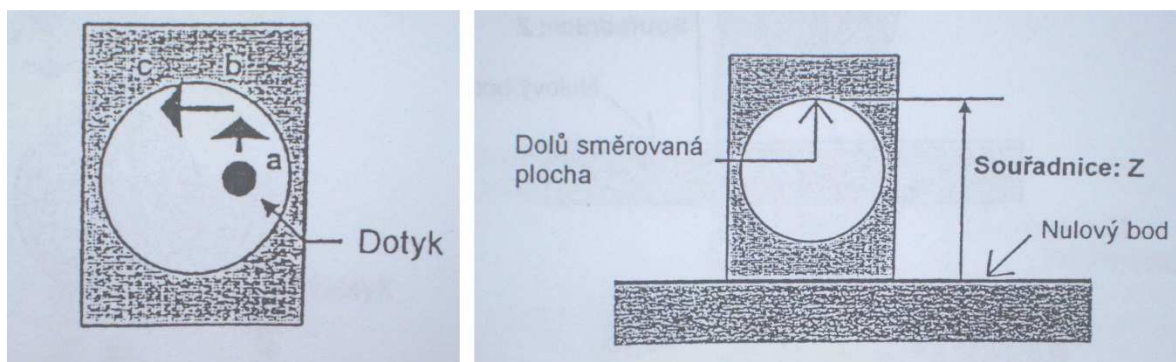
Bylo provedeno jen měření dolů směřované plochy.

### 9.7.1 Maximální výška (dolů)

Vyvolání této funkce bylo provedeno stisknutím následujících tlačítek.



Snímání na dolů směřovanou plochu obrobku ke zjištění maximální výšky bylo provedeno pomocí této funkce. Na obrázku dílce je rozměr označen číslem 5.



Obr. 52 Maximální výška (dolů)

Postup:

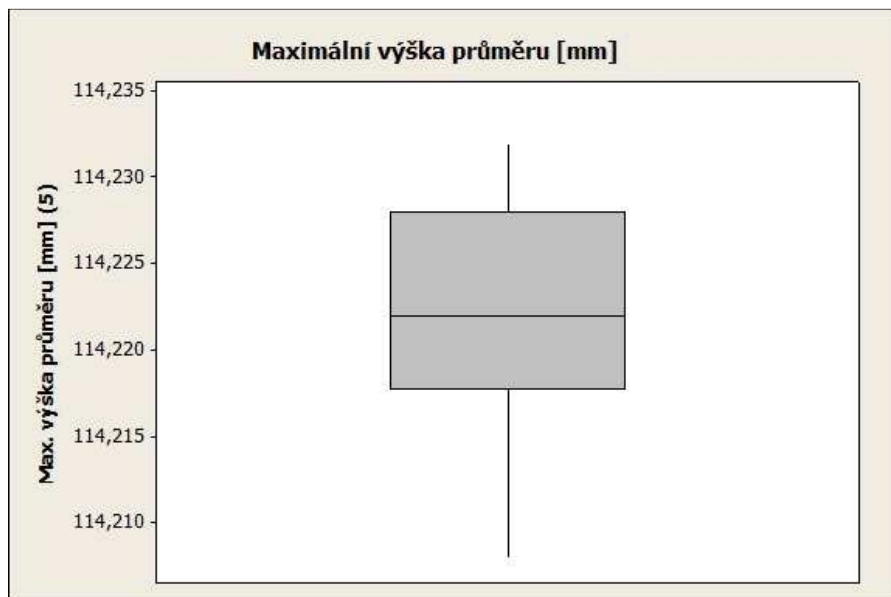
- 1) Dotyk byl přesunut do bodu (a) pod bod (b).
- 2) Byla stisknuta tlačítka pro měření maximální výšky (dolů). Dotyk byl posunut nahoru až k bodu začátku měření (b).
- 3) Hlavní přístroj ke snímání na dolů směřovanou plochu byl posunut (od b k c). Maximální míra byla změřena a byl zobrazen výsledek.

Tab. 8 Max. výška průměru

Max.výška průměru [mm] rozměr (5)									
114,216	114,220	114,209	114,225	114,217	114,230	114,226	114,228	114,228	114,220
114,226	114,219	114,228	114,221	114,215	114,222	114,225	114,227	114,231	114,221
114,147	114,220	114,210	114,229	114,217	114,218	114,226	114,229	114,232	114,222
Aritmetický průměr	114,220		Směr. Odchylka	0,015		Ua	0,003		

U maximální výšky průměru (na dílci rozměr 5) byl z naměřených hodnot vypočten aritmetický průměr  $\bar{x} = 114,22$  mm s nejistotou měření  $u_a = 0,003$ .

Na následujícím obrázku je znázorněn boxplot diagram maximální výšky průměru. Vychýlené hodnoty, které by bylo potřeba vyloučit nebyly nalezeny.



Obr. 53 Boxplot diagram maximální výšky průměru

## 9.8 Měření minimální výšky

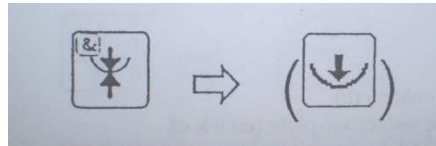
Pro měření minimální výšky je možno využít dva povely:

- měření nahoru směřované plochy,
- měření dolů směřované plochy.

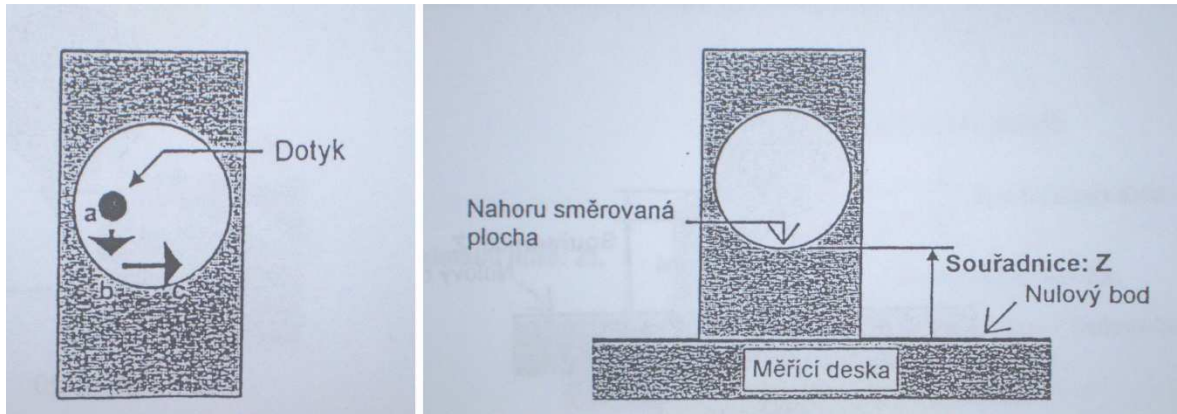
Bylo provedeno jen měření nahoru směřované plochy.

### 9.8.1 Minimální výška (nahoru)

Vyvolání této funkce bylo provedeno stisknutím následujících tlačítek.



Snímání na nahoru směřovanou plochu obrobku ke zjištění minimální výšky bylo zajištěno pomocí této funkce. Na obrázku dílce je rozměr označen číslem 4.



Obr. 54 Minimální výška (nahoru)

Postup:

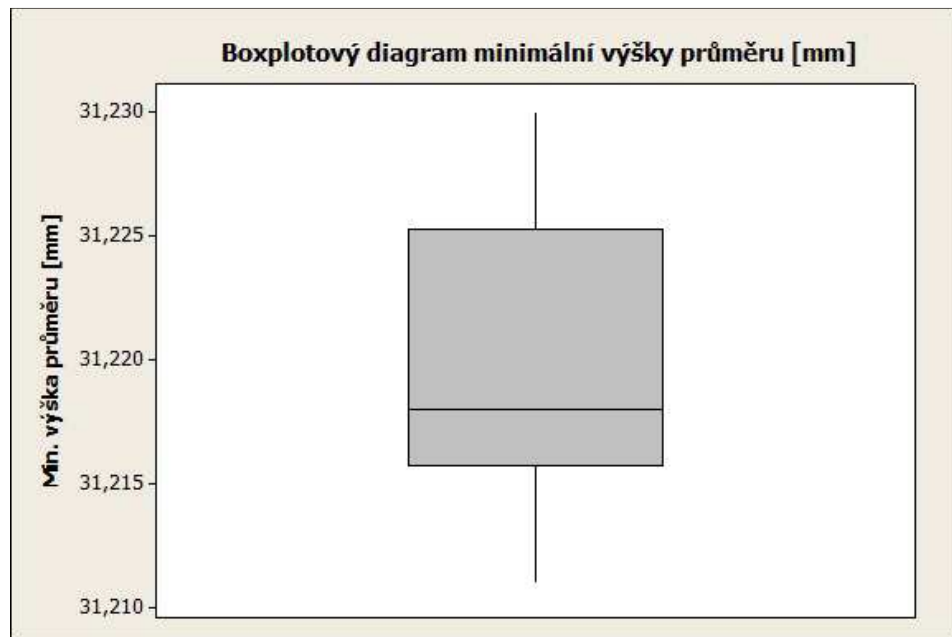
- 1) Dotyk byl posunut do bodu (a) v blízkosti bodu začátku měření (b).
- 2) Byla stisknuta tlačítka pro měření minimální výšky (nahoru). Dotyk byl posunut dolů, dokud nebylo dosaženo dotknutí počátečního bodu.
- 3) Hlavní přístroj byl posunut ke snímání na nahoru směřovanou plochu (od b k c). Minimální výška byla změřena a byl zobrazen výsledek.

Tab. 9 Min. výška průměru

Min.výška průměru [mm] rozměr (4)									
31,223	31,213	31,227	31,219	31,229	31,216	31,211	31,226	31,223	31,218
31,214	31,217	31,216	31,213	31,229	31,217	31,221	31,227	31,225	31,211
31,215	31,216	31,218	31,217	31,230	31,211	31,220	31,216	31,226	31,218
Aritmetický průměr		31,219		Směr. Odchylka		0,006		Ua	0,001

U minimální výšky průměru (na dílci rozměr 4) byl z naměřených hodnot vypočten průměr  $\bar{x} = 31,219$  mm s nejistotou měření  $u_a = 0,001$  a směrodatnou odchylkou  $s = 0,006$  mm.

Na následujícím obrázku je znázorněn boxplot diagram minimální výšky průměru. Nebyly nalezeny extrémní nebo vychýlené hodnoty, které by bylo třeba vyloučit.



Obr. 55 Boxplot diagram min. výšky průměru

## 9.9 Měření max. – min.

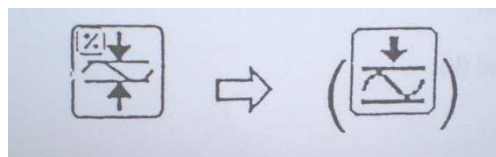
Je možno použít dva povely pro měření max. – min.:

- měření nahoru směřované plochy,
- měření dolů směřované plochy.

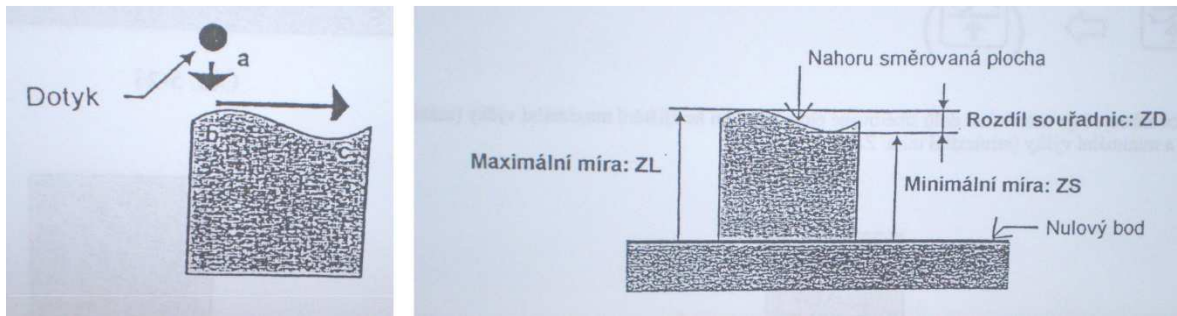
Bylo provedeno jen měření nahoru směřované plochy.

### 9.9.1 Max. – min. (nahoru)

Vyvolání této funkce bylo zajištěno stlačením následujících tlačítek.



Touto funkcí byla sejmuta nahoru směřovaná plocha dílce ke zjištění maximální a minimální výšky od měřicího bodu a rozdílu mezi těmito výškami. Na obrázku dílce je rozměr označen číslem 9.



Obr. 56 Max. – min. (nahoru)

Postup:

- 1) Dotyk byl posunut do bodu (a), do blízkosti bodu začátku měření (b)
- 2) Byla stisknuta tlačítka pro měření max. – min. Dotyk byl posunut dolů, dokud nebylo dosaženo dotyku v bodě začátku měření (b).
- 3) Hlavní přístroj byl posunut ke snímání na nahoru směřovanou plochu (od b k c).
- 4) Tlačítko (ENTER) bylo stisknuto pro ukončení snímání. Max. a min. míra byla změřena a byly zobrazeny výsledky.

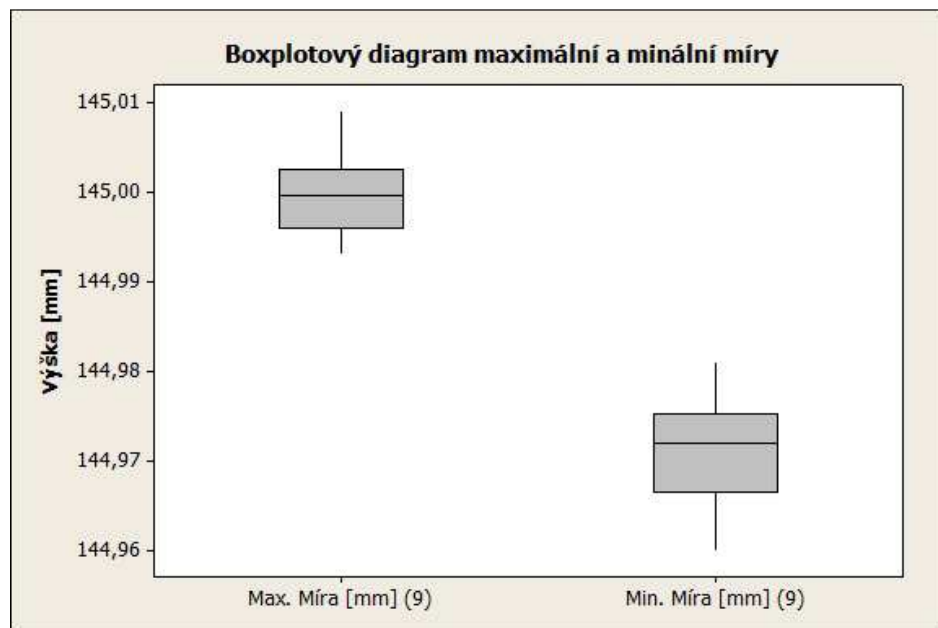
Tab. 10 Měření max. – min.

Měření max. - min. [mm] rozměr (9)									
Maximální míra [mm]									
145,000	144,998	145,002	145,002	144,996	144,996	145,000	144,998	144,999	145,004
144,996	145,000	145,006	144,994	144,996	145,000	144,996	145,007	145,006	145,005
144,993	145,004	144,999	145,001	144,999	144,996	144,999	144,999	145,000	145,009
Aritmetický průměr		145,000		Směr. Odchylka		0,004		Ua	0,001
Minimální míra [mm]									
144,976	144,981	144,960	144,972	144,967	144,973	144,976	144,972	144,970	144,965
144,967	144,977	144,964	144,974	144,971	144,969	144,974	144,963	144,963	144,974
144,969	144,961	144,978	144,947	144,965	144,973	144,968	144,975	144,975	144,977
Aritmetický průměr		144,970		Směr. Odchylka		0,007		Ua	0,001

U měření „max. – min.“ (na dílci stěna 9) byl z naměřených hodnot vypočten aritmetický průměr maximální míry  $\bar{x} = 145,000$  mm s nejistotou měření  $u_a = 0,001$  a směrodatnou odchylkou 0,004 mm; a aritmetický průměr minimální míry  $\bar{x} = 144,97$  s nejistotou měření  $u_a = 0,001$  mm a směrodatnou odchylkou  $s = 0,007$  mm.

Na následujícím obrázku je znázorněn boxplot diagram maximální a minimální míry. Nebyly nalezeny extrémní nebo vychýlené hodnoty, které by bylo třeba vyloučit. V grafu lze vidět boxplotový diagram maximálních i minimálních hodnot. Po srovnání vyrobeného

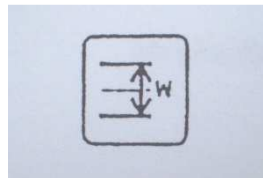
dílce s výkresem bylo zjištěno, že minimální průměrná hodnota je 144,970 mm a průměrná maximální hodnota je 145,000 mm.



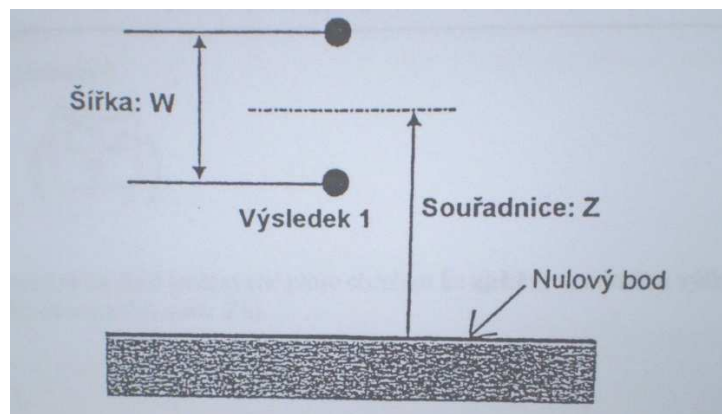
Obr. 57 Box plot diagram max. a min. míry

## 9.10 Rozteč

Vyvolání této funkce bylo provedeno stisknutím následujícího tlačítka.



Tato funkce byla použita pro naplnění dvou měřených prvků ke zjištění rozteče a středu mezi těmito prvky. Na obrázku dílce je rozměr označen číslem 3.



Obr. 58 Rozteč



Postup:

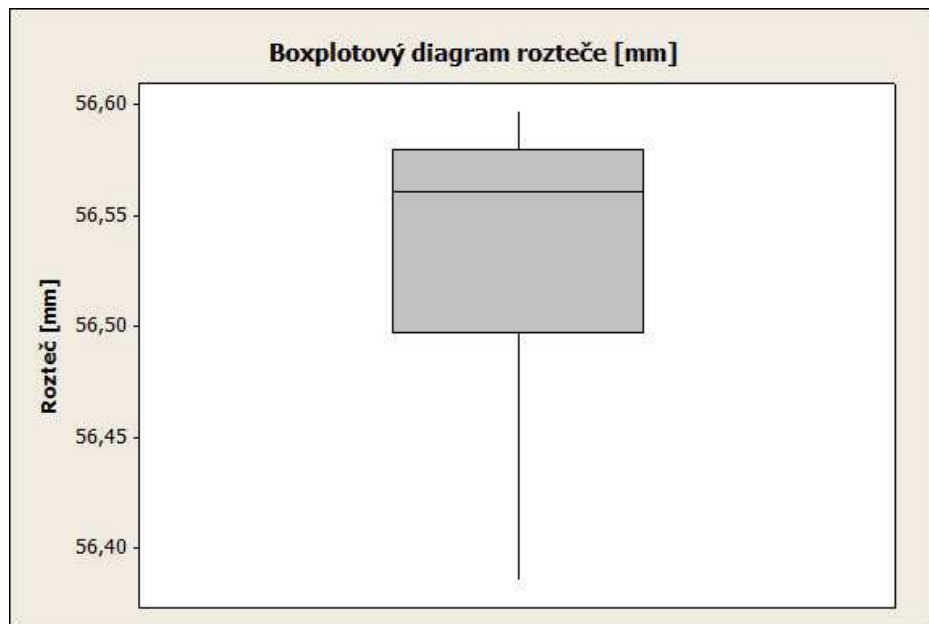
- 1) Byly změřeny dva průměry, mezi kterými bylo požadováno zjištění rozteče.
- 2) Bylo stisknuto tlačítko rozteč. Byl zobrazen seznam měřených prvků.
- 3) Byl vybrán první měřený prvek (průměr 1).
- 4) Byl zvolen druhý měřený prvek (průměr 2). Výsledek byl zobrazen na displeji.

Tab. 11 Rozteč průměrů

Rozteč průměrů [mm] rozměr (3)										
56,571	56,470	56,545	56,568	56,590	56,535	56,563	56,597	56,506	56,589	
56,509	56,471	56,545	56,565	56,558	56,588	56,577	56,571	56,595	56,571	
56,578	56,568	56,586	56,573	56,508	56,587	56,576	56,469	56,444	56,571	
Aritmetický průměr	56,551		Směr. Odchylka			0,042		Ua		0,010

U rozteče (na dílci rozměr 3) byl z naměřených hodnot vypočten aritmetický průměr  $\bar{x} = 56,551$  mm s nejistotou měření  $u_a = 0,01$  a směrodatnou odchylkou  $s = 0,042$  mm.

Na následujícím obrázku je znázorněn boxplot diagram rozteče. Nebyly nalezeny extrémní nebo vychýlené hodnoty, které by bylo potřeba vyloučit. Po srovnání výkresu s dílcem bylo zjištěno, že rozteč na výkrese je 56,57 mm. Rozteč byla udělána s přesností 0,006 mm.



Obr. 59 Boxplot diagram rozteče

## ZÁVĚR

Náplní této diplomové práce bylo vytvoření dílce pro odzkoušení jednotlivých funkcí digitálního výškoměru, zjištění přesnosti rozměrů vyrobeného dílce a kalibrace.

Teoretická část byla rozdělena na několik kapitol. V úvodní části je uvedeno rozdělení chyb a nejistot měření. Další kapitola je zaměřena na základní definici dle normy ČSN 230-2. Ve čtvrté kapitole je popsáno měření, funkce měrek a jejich kalibrace, jelikož měřky byly použity pro zjištění chyby přístroje. V poslední kapitole teoretické části je popsána základní definice obrábění.

V praktické části byl popsán postup výroby dílce a vlastnosti materiálu, ze kterého byl dílec vytvořen. Dílec byl vyroben v dílnách Ústavu výrobního inženýrství na CNC fréze. Jako materiál byl pro výrobu dílce zvolen certal. Potom byla potřeba analyzovat naměřená data. Měření proběhlo při teplotě o 4°C vyšší, než je doporučeno. V laboratořích byla naměřena teplota 24°C. Z toho důvodu byla provedena korekce teplotní roztažnosti a poté byla zjištěna konvenčně pravá hodnota. Z této hodnoty byla zjištěna chyba přístroje. Dále byly vytvořeny grafy, ve kterých byly znázorněny chyby měřidla. Z vytvořených grafů je možno vyčíst chybu měřidla 0,003 mm. Dále byla vypočtena nejistota měření typu A  $u_A$  a nejistota měření typu B  $u_B$ . Z těchto nejistot byla také vypočtena kombinovaná nejistota  $u_C$ .

Dále byly v praktické části popsány jednotlivé funkce přístroje a následně odzkoušeny na vyrobeném dílci. Vybrané rozměry dílce byly změřeny pomocí digitálního výškoměru. Rozměry vyrobeného dílce byly srovnány s hodnotami na výrobním výkrese. Každý rozměr byl změřen 30krát a z těchto hodnot byl vypočten aritmetický průměr  $\bar{x}$ , směrodatná odchylka a standardní nejistota typu A  $u_A$ . Vnitřní a vnější šířka zubů dílce byla vytvořena s přesností 0,02 mm. Vnitřní průměry dílce byly vyrobeny s přesností 0,1 mm. Rozteč těchto průměrů byla vyrobena s přesností 0,006 mm. Maximální míra byla změřena stejná jako na výkrese 145,000 mm a minimální míra 144,970 mm. Dílec byl vyroben s tolerancí v rozmezí 0,006 ÷ 0,1 mm.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ČECH, Jaroslav, PERNÍKÁŘ, Jiří, PODANÝ, Kamil *Strojírenská metrologie*. 4. vyd. Brno: CERM, 2005. 175 s. ISBN 80-214-3070-2
- [2] ČSN ISO 230-2. *Zásady zkoušek obráběcích strojů - Část 2: Stanovení přesnosti a opakovatelnosti nastavení polohy v číslicově řízených osách*. 1. vyd. Brno: ČMI, 2010. 36 s.
- [3] *Měření v laboratoři*, [online]. [cit. 2013-02-13]. Dostupný z WWW:  
[http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni\\_materialy/LATZ/LTZB\\_predn.pdf](http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/LATZ/LTZB_predn.pdf)
- [4] PERNÍKÁŘ, J. *Technická měření*, [online]. [cit. 2013-02-15]. Dostupný z WWW:  
<<http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TechnickaMereni.pdf>>
- [5] [Http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.cz](http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.cz), [online]. [cit. 2013-02-17].  
Dostupný z WWW:  
<<http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.cz/2011/03/63-posuvna-meritka.html>>
- [6] [Http://www.spstr.pilsedu.cz](http://www.spstr.pilsedu.cz), [online]. [cit. 2013-02-19]. Dostupný z WWW:  
<[http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef\\_gruber/kom/mereni/mikro.jpg](http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/kom/mereni/mikro.jpg)>
- [7] JENČÍK, J., VOLF, J., et al. *Technická měření*. [online] [cit. 2008-11-11].  
<[http://www.strojar.com/upload/skripta/notime/Technicka\\_mereni\\_\(OCR\).pdf](http://www.strojar.com/upload/skripta/notime/Technicka_mereni_(OCR).pdf)>
- [8] *Tabulka vlastností certal* [online]. [cit. 2013-04-03]. Dostupný z WWW:  
<<http://gleich.de/cz/produkty/vlcovan-desky/vlcovan-desky-na-vrobu-forem/certal-spc#sheet>>
- [9] *Základy teorie třískového obrábění*, [online]. [cit. 2013-03-16]. Dostupný z WWW:  
<<http://mail.sstzr.cz/web/download/cat1/technologie-strojního-obrazení.pdf>>
- [10] *Technologie stroje a zařízení*, [online]. [cit. 2013-01-17]. Dostupný z WWW:  
<<http://techstroj.g6.cz/T/T11.pdf>>
- [11] CHUDÝ, Vladimír, PALENČÁR, Rudolf, KUREKOVÁ, Eva, HALAJ, Martin  
*Meranie technických veličin*. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 1999. 672 s.  
ISBN 80-227-1275-2
- [12] *Tepelná roztažnosť*, [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupný z WWW:

<<http://www.medportal.sk/trubky-v-tzb/odborna-instalace-medenych-trubek/tepelna-roztaznost>>

[13] MITUTOYO [online]. [cit. 2013-04-21]. Dostupný z WWW:

<<http://www.mitutoyo.cz/ebook/index-cz.html#/241/>>.

[14] TICHÁ, Šárka, ADAMEC, Jaromír. *Návody do cvičení z předmětu strojírenská metrologie*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 92 s. ISBN 978-80-248-1916-7

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$P_{i(i=1-m)}$	[mm] Zadaná poloha
$P_{ij(i=1-m; j=1-n)}$	[mm] Skutečná poloha
R	[mm] Dvoustranná opakovatelnost nastavení polohy v ose
$R_{\uparrow}, R_{\downarrow}$	[mm] Jednostranná opakovatelnost nastavení polohy v ose
$R_i$	[mm] Dvoustranná opakovatelnost nastavení polohy v poloze
$R_{i\uparrow}, R_{i\downarrow}$	[mm] Jednostranná opakovatelnost nastavení polohy v poloze
$s_i \uparrow, s_i \downarrow$	[mm] Odhad jednostranné standardní nejistoty v poloze
$u_A$	[mm] Standardní nejistota Typu A
$u_B$	[mm] Standardní nejistota Typu B
$u_{B1}$	[mm] Standardní nejistota Typu B – chyba měřidla
$u_{B2}$	[mm] Standardní nejistota Typu B – chyba metrologa
$u_C$	[mm] Kombinovaná standardní nejistota
$u_D$	[mm] Rozšířená standardní nejistota
$\bar{x}_i$	[mm] Průměrná dvoustranná polohová úchylka v poloze
$x_{i\uparrow}, x_{i\downarrow}$	[mm] Průměrná jednostranná polohová úchylka v poloze
$\bar{x}_{i\uparrow}, x_{i\downarrow}$	[mm] Průměrná jednostranná polohová úchylka v poloze
$\bar{x}_{i\uparrow} \pm 2s_{i\uparrow}, x_{i\downarrow} \pm 2s_{i\downarrow}$	[mm] Hranice úchylek
$x_{ij}$	[mm] Polohová úchylka
$x_m$	[mm] Naměřená hodnota veličiny
$x_p$	[mm] Konvenčně pravá hodnota měřené veličiny
$Z_j$	Rozlišitelnost měřidla
$Z_m$	Chyba metrologa
$\delta$	[mm] Náhodná chyba
$\Delta$	[mm] Absolutní chyba měření
$\Delta_r$	[%] Relativní chyba měření

$\Delta s$

[mm] Systematická chyba

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Klasifikace chyb v měření [1] .....</i>	12
<i>Obr. 2. Chyba měření [1] .....</i>	13
<i>Obr. 3 Vektorový součet nejistoty Typu B[3] .....</i>	14
<i>Obr. 4 Vektorový součet kombinované nejistoty [3].....</i>	16
<i>Obr. 5 Dvojchodý lineární bidirekcionální cyklus [2] .....</i>	17
<i>Obr. 6 Diagram průměrných polohových úchylek [2] .....</i>	19
<i>Obr. 7 Diagram hranic úchylek [2] .....</i>	20
<i>Obr. 8 Diagram průměrných polohových úchylek a jejich hranic [2] .....</i>	20
<i>Obr. 9 Diagram jednostranné opakovatelnosti nastavení v ose [2].....</i>	21
<i>Obr. 10 Diagram jednostranné systematické polohové úchyly v ose <math>E \uparrow</math> a jednostranné přesnosti nastavení polohy v ose <math>A \uparrow</math>[2].....</i>	22
<i>Obr. 11 Diagram necitlivostí v ose / poloze, hranic úchylek a opakovatelnosti .....</i>	23
<i>Obr. 12 Postup při nasávání měrek [4] .....</i>	26
<i>Obr. 13 Středová délka <math>l_c</math> a příklad délky <math>l</math> v libovolném bodě měřicí plochy koncové měrky, přilnuté na pomocnou rovinnou destičku [4] .....</i>	28
<i>Obr. 14 Úchylka rovinnosti <math>f_d</math> [4] .....</i>	29
<i>Obr. 15 Jmenovitá délka <math>l_n</math> ; středová délka <math>l_c</math> ;rozpětí délky v <math>s</math> <math>f_o</math> a <math>f_u</math> ;dovolená úchylka <math>t_e</math> pro délku v libovolném bodě pocházející z jmenovité délky [4] .....</i>	29
<i>Obr. 16 Příklad zařízení pro porovnávací měření měrek - komparátor pro koncové měrky s jmenovitou délkou do 100 mm [4] .....</i>	31
<i>Obr. 17 Posuvné měřítko [5] .....</i>	32
<i>Obr. 18 Třmenový mikrometr [6] .....</i>	33
<i>Obr. 19 Plochy při obrábění [9].....</i>	35
<i>Obr. 20 Soustava stroj – nástroj – obrobek a základní pojmy procesu řezání [10].....</i>	36
<i>Obr. 21 Čelní soustruh [9] .....</i>	37
<i>Obr. 22 Nástrojářská frézka FN [9] .....</i>	39
<i>Obr. 23 Rovinná frézka FR [9] .....</i>	40
<i>Obr. 24 První upnutí obrobku.....</i>	43
<i>Obr. 25 Obrobek po vybrání 5 mm a vyfrézování zubů .....</i>	43
<i>Obr. 26 Upnutí a obrobení z druhé strany.....</i>	44
<i>Obr. 27 Upnutí pomocí šroubů a srovnání stěn.....</i>	45
<i>Obr. 28 Hotový a očištěný dílec.....</i>	45

<i>Obr. 29</i> Lineární výškoměr <i>Linear Height LH-600D/DG [13]</i> .....	46
<i>Obr. 30</i> Parametry výškoměru [13].....	46
<i>Obr. 31</i> Měrky.....	47
<i>Obr. 32</i> Příslušenství digitálního výškoměru <i>Mitutoyo</i> .....	48
<i>Obr. 33</i> Nulové body <i>INC</i> a <i>ABS</i> .....	50
<i>Obr. 34</i> Dotyk nedosahuje na měřicí desku a použití <i>ABS offset</i> .....	51
<i>Obr. 35</i> Typy dotyků.....	52
<i>Obr. 36</i> Boxplot diagram chyb měřidla 5 -100 mm .....	54
<i>Obr. 37</i> Boxplot diagram chyb měřidla 105 – 200 mm .....	55
<i>Obr. 38</i> Boxplot diagram chyb měřidla 200 - 105 mm.....	55
<i>Obr. 39</i> Boxplot diagram chyb měřidla 100 – 5 mm .....	56
<i>Obr. 40</i> Označení měřených hodnot dílce .....	57
<i>Obr. 41</i> Výška (nahoru) .....	58
<i>Obr. 42</i> Výška (dolů).....	59
<i>Obr. 43</i> Boxplot diagram maximální výšky dolů .....	60
<i>Obr. 44</i> Kružnice (vnitřní) .....	60
<i>Obr. 45</i> Boxplot diagram vnitřních průměrů.....	62
<i>Obr. 46</i> Kružnice (vnější).....	62
<i>Obr. 47</i> Boxplot diagram průměru vnějšího .....	63
<i>Obr. 48</i> Šířka (vnitřní) .....	64
<i>Obr. 49</i> Boxplot diagram šířky vnitřní.....	65
<i>Obr. 50</i> Šířka (vnější).....	65
<i>Obr. 51</i> Boxplot diagram šířky vnitřní.....	66
<i>Obr. 52</i> Maximální výška (dolů).....	67
<i>Obr. 53</i> Boxplot diagram maximální výšky průměru.....	68
<i>Obr. 54</i> Minimální výška (nahoru) .....	69
<i>Obr. 55</i> Boxplot diagram min. výšky průměru.....	70
<i>Obr. 56</i> Max. – min. (nahoru).....	71
<i>Obr. 57</i> Box plot diagram max. a min. míry .....	72
<i>Obr. 58</i> Rozteč .....	72
<i>Obr. 59</i> Boxplot diagram rozteče .....	73



**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1 Mechanické a fyzikální vlastnosti certalu [8].....</i>	42
<i>Tab. 2 Max. výška dolů .....</i>	59
<i>Tab. 3 Průměr vnitřní .....</i>	61
<i>Tab. 4 Průměr vnitřní .....</i>	61
<i>Tab. 5 Průměr vnější.....</i>	63
<i>Tab. 6 Šířka vnitřní .....</i>	64
<i>Tab. 7 Šířka vnější .....</i>	66
<i>Tab. 8 Max. výška průměru .....</i>	68
<i>Tab. 9 Min. výška průměru .....</i>	69
<i>Tab. 10 Měření max. – min. ....</i>	71
<i>Tab. 11 Rozteč průměrů.....</i>	73

## **SEZNAM PŘÍLOH**

**PI VYHODNOCENÁ DATA MĚREK 5 – 100 MM**

**PII VYHODNOCENÁ DATA MĚREK 105 - 200 MM**

**PIII VYHODNOCENÁ DATA MĚREK 200 – 105 MM**

**PIV VYHODNOCENÁ DATA MĚREK 100 – 5 MM**

**PV NAMĚŘENÁ DATA MĚREK 5 -200 MM**

**PVI NAMĚŘENÁ DATA MĚREK 200 – 5 MM**

**PVII VÝROBNÍ VÝKRES DÍLCE**

## PŘÍLOHA PI: VYHODNOCENÁ DATA MĚREK 5 – 100 MM

počet měřek k	Výška měřek [mm]	Teplotní roztažnost měřek [mm]	Hodnota měřky po korekci teploty [mm]	Měření č.1	Měření č.2	Měření č.3	Měření č.4	Měření č.5	Měření č.6	Měření č.7	Měření č.8	Měření č.9	Měření č.10	Směr. odchylka Ua	Ub	Uc	
1	5	0,000	5,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,002	-0,003	-0,002	-0,002	-0,002	0,001	0,0004	0,0010	0,0011
1	10	0,000	10,000	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	-0,001	0,000	-0,001	-0,001	-0,002	-0,002	0,001	0,0002	0,0011	0,0011
1	15	0,001	15,001	-0,002	-0,001	0,000	-0,002	-0,003	-0,002	-0,003	-0,003	-0,002	-0,001	0,001	0,0003	0,0012	0,0012
1	20	0,001	20,001	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	-0,003	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,004	0,001	0,0003	0,0013	0,0014
2	25	0,001	25,001	-0,002	-0,001	-0,003	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,003	-0,001	0,001	0,0002	0,0033	0,0034
2	30	0,001	30,001	-0,004	-0,003	-0,002	-0,003	-0,002	-0,004	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,001	0,0003	0,0034	0,0034
2	35	0,002	35,002	-0,003	-0,002	-0,001	-0,003	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	-0,002	0,001	0,0002	0,0035	0,0035
1	40	0,002	40,002	-0,001	-0,002	-0,001	-0,001	-0,003	-0,004	-0,003	-0,002	-0,002	-0,002	0,001	0,0003	0,0020	0,0020
2	45	0,002	45,002	-0,004	-0,003	-0,001	-0,002	-0,003	-0,004	-0,003	-0,003	-0,003	-0,001	0,001	0,0003	0,0037	0,0037
1	50	0,002	50,002	-0,001	-0,001	-0,001	0,000	-0,001	-0,002	-0,001	-0,001	-0,001	-0,002	0,001	0,0002	0,0024	0,0024
2	55	0,002	55,002	-0,002	-0,003	-0,003	-0,002	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,002	-0,003	0,000	0,0001	0,0040	0,0040
1	60	0,003	60,003	-0,003	-0,002	-0,001	-0,002	-0,003	-0,002	-0,003	-0,002	-0,001	-0,002	0,001	0,0002	0,0028	0,0028
2	65	0,003	65,003	-0,004	-0,004	-0,002	-0,004	-0,002	-0,005	-0,004	-0,002	-0,001	-0,002	0,001	0,0004	0,0043	0,0043
1	70	0,003	70,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,000	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,0001	0,0032	0,0032
2	75	0,003	75,003	-0,002	-0,003	-0,003	-0,003	-0,002	-0,003	-0,003	-0,002	-0,002	-0,003	0,000	0,0002	0,0046	0,0046
1	80	0,004	80,004	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,000	0,0002	0,0037	0,0037
2	85	0,004	85,004	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,0002	0,0049	0,0049
1	90	0,004	90,004	-0,002	-0,001	0,000	-0,001	-0,001	-0,001	0,000	-0,002	-0,001	-0,001	0,001	0,0002	0,0041	0,0041
2	95	0,004	95,004	-0,002	-0,002	-0,001	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	0,000	0,0001	0,0052	0,0052
1	100	0,004	100,004	0,002	0,001	0,002	0,000	0,000	0,002	0,001	0,001	0,002	0,000	0,001	0,0003	0,0045	0,0045

## PŘÍLOHA P II: VYHODNOCENÁ DATA MĚREK 105 -200 MM

počet měře k	Výška měrek [mm]	Teplotní roztažnost měrek [mm]	Hodnota měřky po korekci teploty [mm]	Měření č.1	Měření č.2	Měření č.3	Měření č.4	Měření č.5	Měření č.6	Měření č.7	Měření č.8	Měření č.9	Měření č.10	Směr. odchylka Ua	Ub	Uc	
2	105	0,005	105,005	-0,002	-0,001	-0,003	-0,001	-0,002	-0,001	-0,002	-0,001	-0,002	-0,001	0,001	0,0002	0,0056	0,0056
2	110	0,005	110,005	0,000	-0,001	-0,001	0,000	0,000	-0,001	-0,001	-0,001	0,000	-0,001	0,000	0,0002	0,0058	0,0058
2	115	0,005	115,005	-0,002	-0,001	-0,001	-0,002	-0,003	-0,002	-0,003	-0,002	-0,003	-0,002	0,001	0,0002	0,0060	0,0060
2	120	0,005	120,005	-0,004	-0,003	-0,002	-0,003	-0,002	-0,003	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	0,001	0,0002	0,0062	0,0062
3	125	0,006	125,006	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	-0,005	0,000	0,0001	0,0070	0,0070
2	130	0,006	130,006	-0,002	-0,001	-0,002	-0,002	-0,001	-0,003	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	0,001	0,0002	0,0065	0,0065
3	135	0,006	135,006	-0,003	-0,002	-0,003	-0,004	-0,003	-0,004	-0,002	-0,003	-0,004	-0,003	0,001	0,0002	0,0074	0,0074
2	140	0,006	140,006	-0,002	-0,001	0,000	-0,002	-0,003	-0,002	-0,001	-0,003	-0,002	-0,001	0,001	0,0003	0,0069	0,0069
3	145	0,006	145,006	-0,007	-0,005	-0,006	-0,004	-0,005	-0,005	-0,007	-0,006	-0,007	-0,006	0,001	0,0003	0,0077	0,0077
2	150	0,007	150,007	0,000	-0,001	0,000	-0,001	-0,002	-0,001	-0,001	0,000	0,000	-0,001	0,001	0,0002	0,0073	0,0073
3	155	0,007	155,007	-0,006	-0,007	-0,005	-0,004	-0,006	-0,004	-0,005	-0,004	-0,005	-0,006	0,001	0,0003	0,0081	0,0081
2	160	0,007	160,007	-0,002	0,000	-0,001	-0,001	0,000	0,000	-0,001	-0,001	0,000	0,001	0,001	0,0003	0,0077	0,0077
3	165	0,007	165,007	-0,005	-0,005	-0,006	-0,005	-0,004	-0,005	-0,005	-0,006	-0,004	-0,005	0,001	0,0002	0,0085	0,0085
2	170	0,007	170,007	-0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,001	0,001	0,000	-0,001	-0,002	0,000	0,001	0,0003	0,0081	0,0081
3	175	0,008	175,008	-0,005	-0,003	-0,004	-0,003	-0,004	-0,005	-0,003	-0,006	-0,006	-0,003	0,001	0,0004	0,0088	0,0089
2	180	0,008	180,008	-0,001	-0,002	-0,001	0,000	-0,001	-0,002	-0,002	0,000	-0,001	0,001	0,001	0,0003	0,0085	0,0085
3	185	0,008	185,008	-0,006	-0,007	-0,005	-0,005	-0,006	-0,005	-0,004	-0,003	-0,005	-0,005	0,001	0,0003	0,0092	0,0092
2	190	0,008	190,008	0,000	-0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,0002	0,0089	0,0089
3	195	0,009	195,009	-0,002	-0,003	-0,003	-0,002	-0,002	-0,002	-0,003	-0,002	-0,002	-0,003	0,000	0,0002	0,0096	0,0096
2	200	0,009	200,009	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,0002	0,0094	0,0094

## PŘÍLOHA P III: VYHODNOCENÁ DATA MĚREK 200 - 105 MM

počet měře k	Výška měrek [mm]	Teplotní roztažnost měrek [mm]	Hodnota měřky po korekci teploty [mm]	Měření č.1	Měření č.2	Měření č.3	Měření č.4	Měření č.5	Měření č.6	Měření č.7	Měření č.8	Měření č.9	Měření č.10	Směr. odchylka	Ua	Ub	Uc
2	200	0,009	200,009	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,0002	0,0094	0,0094
3	195	0,009	195,009	-0,002	-0,003	-0,002	-0,001	-0,002	-0,003	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	0,001	0,0002	0,0096	0,0096
2	190	0,008	190,008	0,000	0,001	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,0003	0,0089	0,0089
3	185	0,008	185,008	-0,001	-0,002	-0,001	-0,003	-0,003	-0,002	-0,003	-0,002	-0,001	-0,002	0,001	0,0002	0,0092	0,0092
2	180	0,008	180,008	0,002	0,001	0,003	0,003	0,002	0,003	0,001	0,002	0,003	0,002	0,001	0,0002	0,0085	0,0085
3	175	0,008	175,008	-0,002	-0,001	-0,001	-0,002	-0,003	-0,002	-0,001	0,000	0,000	-0,001	0,001	0,0003	0,0088	0,0089
2	170	0,007	170,007	-0,002	-0,002	-0,003	-0,002	-0,003	-0,002	-0,001	-0,002	-0,001	-0,002	0,001	0,0002	0,0081	0,0081
3	165	0,007	165,007	-0,001	-0,002	-0,001	-0,002	-0,001	0,000	-0,002	0,000	-0,001	-0,002	0,001	0,0002	0,0085	0,0085
2	160	0,007	160,007	-0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	-0,001	0,000	0,001	0,0002	0,0077	0,0077
3	155	0,007	155,007	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,001	0,0002	0,0081	0,0081
2	150	0,007	150,007	-0,003	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,0004	0,0073	0,0073
3	145	0,006	145,006	-0,002	-0,001	0,000	-0,001	-0,001	-0,001	0,000	-0,001	0,000	-0,001	0,001	0,0002	0,0077	0,0077
2	140	0,006	140,006	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,0002	0,0069	0,0069
3	135	0,006	135,006	-0,001	-0,002	-0,003	-0,002	-0,001	-0,002	-0,003	-0,001	0,000	-0,001	0,001	0,0003	0,0074	0,0074
2	130	0,006	130,006	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	-0,001	-0,001	0,000	0,001	0,001	0,0002	0,0065	0,0065
3	125	0,006	125,006	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,004	-0,002	-0,004	-0,002	-0,003	-0,004	0,001	0,0003	0,0070	0,0070
2	120	0,005	120,005	-0,002	-0,001	-0,003	-0,002	-0,002	-0,001	-0,003	-0,001	-0,001	-0,002	0,001	0,0002	0,0062	0,0062
2	115	0,005	115,005	-0,003	-0,003	-0,002	-0,005	-0,001	-0,004	-0,005	-0,004	-0,003	-0,003	0,001	0,0004	0,0060	0,0060
2	110	0,005	110,005	-0,004	-0,003	-0,003	-0,002	-0,003	-0,002	-0,002	-0,003	-0,003	-0,002	0,001	0,0002	0,0058	0,0058
2	105	0,005	105,005	0,000	-0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,0002	0,0056	0,0056

## PŘÍLOHA P IV: VYHODNOCENÁ DATA MĚREK 100 - 5MM

počet měře k	Výška měrek [mm]	Teplotní roztáženost měrek [mm]	Hodnota měřky po korekci teploty [mm]	Měření č.1	Měření č.2	Měření č.3	Měření č.4	Měření č.5	Měření č.6	Měření č.7	Měření č.8	Měření č.9	Měření č.10	Směr. odchylka Ua	Ub	Uc
1	100	0,004	100,004	0,001	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002	-0,001	0,001	0,000	0,001	0,0003	0,0045	0,0045
2	95	0,004	95,004	-0,001	-0,002	-0,002	-0,001	-0,003	-0,002	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	0,0002	0,0060	0,0060
1	90	0,004	90,004	0,000	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0002	0,0041	0,0041
2	85	0,004	85,004	0,000	-0,001	-0,002	-0,001	-0,002	-0,001	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	0,0002	0,0057	0,0057
1	80	0,004	80,004	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,000	0,0002	0,0037	0,0037
2	75	0,003	75,003	-0,004	-0,003	-0,002	-0,002	-0,003	-0,003	-0,002	-0,003	-0,002	-0,003	0,0002	0,0055	0,0055
1	70	0,003	70,003	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,0001	0,0032	0,0032
2	65	0,003	65,003	-0,003	-0,004	-0,004	-0,005	-0,004	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,004	0,0002	0,0052	0,0052
1	60	0,003	60,003	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	0,000	0,000	-0,001	-0,002	0,000	-0,001	0,0002	0,0028	0,0028
2	55	0,002	55,002	-0,005	-0,004	-0,005	-0,004	-0,004	-0,005	-0,006	-0,006	-0,006	-0,005	0,0002	0,0050	0,0050
1	50	0,002	50,002	-0,003	-0,003	-0,003	-0,002	-0,001	-0,003	-0,001	-0,003	-0,002	-0,003	0,0003	0,0024	0,0024
2	45	0,002	45,002	-0,005	-0,006	-0,005	-0,004	-0,003	-0,004	-0,005	-0,004	-0,005	-0,003	0,0003	0,0048	0,0048
1	40	0,002	40,002	-0,003	-0,001	-0,003	-0,001	-0,003	-0,003	-0,004	-0,001	-0,002	-0,003	0,0003	0,0020	0,0020
2	35	0,002	35,002	-0,003	-0,002	-0,002	-0,003	-0,002	-0,003	-0,004	-0,002	-0,003	-0,003	0,0002	0,0046	0,0046
1	30	0,001	30,001	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,002	-0,001	-0,001	-0,002	0,0002	0,0017	0,0017
2	25	0,001	25,001	-0,004	-0,005	-0,006	-0,006	-0,006	-0,006	-0,005	-0,006	-0,004	-0,004	0,0003	0,0045	0,0045
1	20	0,001	20,001	-0,002	-0,003	-0,002	-0,002	-0,003	-0,002	-0,002	-0,003	-0,002	-0,002	0,0001	0,0013	0,0013
1	15	0,001	15,001	-0,002	-0,001	-0,002	-0,001	-0,001	-0,003	-0,003	-0,001	-0,002	-0,001	0,0002	0,0012	0,0012
1	10	0,000	10,000	-0,002	-0,001	-0,001	-0,001	-0,001	-0,002	-0,002	-0,001	-0,001	-0,002	0,0002	0,0011	0,0011
1	5	0,000	5,000	0,000	-0,001	-0,002	-0,001	0,000	-0,001	-0,001	-0,001	-0,002	-0,002	0,0002	0,0010	0,0010

## PŘÍLOHA P V: NAMĚŘENÁ DATA MĚREK 5 -200 MM

počet měrek	Rozměr l [m]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,005	5,000	5,000	5,000	5,000	5,000	5,002	5,003	5,003	5,002	5,002
1	0,010	10,002	10,002	10,001	10,001	10,001	10,000	10,001	10,001	10,002	10,002
1	0,015	15,003	15,002	15,001	15,003	15,004	15,003	15,004	15,004	15,003	15,002
1	0,020	20,003	20,003	20,003	20,002	20,004	20,005	20,004	20,004	20,003	20,005
2	0,025	25,003	25,002	25,004	25,003	25,003	25,003	25,003	25,003	25,004	25,002
2	0,030	30,005	30,004	30,003	30,004	30,003	30,005	30,003	30,003	30,003	30,003
2	0,035	35,005	35,004	35,003	35,005	35,004	35,004	35,004	35,003	35,003	35,004
1	0,040	40,003	40,004	40,003	40,003	40,005	40,006	40,005	40,004	40,004	40,004
2	0,045	45,006	45,005	45,003	45,004	45,005	45,006	45,005	45,005	45,005	45,003
1	0,050	50,003	50,003	50,003	50,002	50,003	50,004	50,003	50,003	50,003	50,004
2	0,055	55,004	55,005	55,005	55,004	55,005	55,005	55,005	55,005	55,004	55,005
1	0,060	60,006	60,005	60,004	60,005	60,006	60,005	60,006	60,005	60,004	60,005
2	0,065	65,007	65,007	65,005	65,007	65,005	65,008	65,007	65,005	65,004	65,005
1	0,070	70,003	70,003	70,003	70,003	70,003	70,004	70,003	70,004	70,003	70,003
2	0,075	75,005	75,006	75,006	75,006	75,005	75,006	75,006	75,005	75,005	75,006
1	0,080	80,003	80,002	80,002	80,003	80,002	80,002	80,003	80,002	80,003	80,002
2	0,085	85,004	85,003	85,003	85,003	85,004	85,004	85,003	85,004	85,003	85,004
1	0,090	90,006	90,005	90,004	90,005	90,005	90,005	90,004	90,006	90,005	90,005
2	0,095	95,006	95,006	95,005	95,006	95,006	95,006	95,006	95,006	95,005	95,005
1	0,100	100,002	100,003	100,002	100,004	100,004	100,002	100,003	100,003	100,002	100,004
2	0,105	105,007	105,006	105,008	105,006	105,007	105,006	105,007	105,006	105,007	105,006
2	0,110	110,005	110,006	110,006	110,005	110,005	110,006	110,006	110,006	110,005	110,006
2	0,115	115,007	115,006	115,006	115,007	115,008	115,007	115,008	115,007	115,008	115,007
2	0,120	120,009	120,008	120,007	120,008	120,007	120,008	120,009	120,008	120,008	120,007
3	0,125	125,010	125,010	125,011	125,010	125,010	125,010	125,011	125,010	125,010	125,011
2	0,130	130,008	130,007	130,008	130,008	130,007	130,009	130,008	130,008	130,008	130,007
3	0,135	135,009	135,008	135,009	135,010	135,009	135,010	135,008	135,009	135,010	135,009
2	0,140	140,008	140,007	140,006	140,008	140,009	140,008	140,007	140,009	140,008	140,007
3	0,145	145,013	145,011	145,012	145,010	145,011	145,011	145,013	145,012	145,013	145,012
2	0,150	150,007	150,008	150,007	150,008	150,009	150,008	150,008	150,007	150,007	150,008
3	0,155	155,013	155,014	155,012	155,011	155,013	155,011	155,012	155,011	155,012	155,013
2	0,160	160,009	160,007	160,008	160,008	160,007	160,007	160,008	160,008	160,007	160,006
3	0,165	165,012	165,012	165,013	165,012	165,011	165,012	165,012	165,013	165,011	165,012
2	0,170	170,008	170,007	170,008	170,007	170,008	170,006	170,007	170,008	170,009	170,007
3	0,175	175,013	175,011	175,012	175,011	175,012	175,013	175,011	175,014	175,014	175,011
2	0,180	180,009	180,010	180,009	180,008	180,009	180,010	180,010	180,008	180,009	180,007
3	0,185	185,014	185,015	185,013	185,013	185,014	185,013	185,012	185,011	185,013	185,013
2	0,190	190,008	190,009	190,008	190,008	190,007	190,008	190,007	190,007	190,007	190,008
3	0,195	195,011	195,012	195,012	195,011	195,011	195,011	195,012	195,011	195,011	195,012
2	0,200	200,008	200,009	200,008	200,008	200,009	200,008	200,007	200,007	200,007	200,008

## PŘÍLOHA P VI: NAMĚŘENÁ DATA MĚREK 200 - 5 MM

počet měrek	Rozměr l [m]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	0,200	200,007	200,008	200,007	200,006	200,006	200,007	200,007	200,008	200,007	200,008
3	0,195	195,011	195,012	195,011	195,010	195,011	195,012	195,011	195,011	195,011	195,011
2	0,190	190,008	190,007	190,006	190,005	190,005	190,006	190,006	190,007	190,008	190,007
3	0,185	185,009	185,010	185,009	185,011	185,011	185,010	185,011	185,010	185,009	185,010
2	0,180	180,006	180,007	180,005	180,005	180,006	180,005	180,007	180,006	180,005	180,006
3	0,175	175,010	175,009	175,009	175,010	175,011	175,010	175,009	175,008	175,008	175,009
2	0,170	170,009	170,009	170,010	170,009	170,010	170,009	170,008	170,009	170,008	170,009
3	0,165	165,008	165,009	165,008	165,009	165,008	165,007	165,009	165,007	165,008	165,009
2	0,160	160,008	160,006	160,007	160,006	160,007	160,006	160,007	160,007	160,008	160,007
3	0,155	155,006	155,005	155,006	155,006	155,007	155,006	155,007	155,005	155,006	155,007
2	0,150	150,010	150,009	150,009	150,009	150,009	150,008	150,006	150,007	150,006	150,007
3	0,145	145,008	145,007	145,006	145,007	145,007	145,007	145,006	145,007	145,006	145,007
2	0,140	140,006	140,005	140,005	140,006	140,006	140,005	140,005	140,006	140,005	140,005
3	0,135	135,007	135,008	135,009	135,008	135,007	135,008	135,009	135,007	135,006	135,007
2	0,130	130,006	130,005	130,006	130,005	130,005	130,006	130,007	130,007	130,006	130,005
3	0,125	125,008	125,007	125,008	125,007	125,009	125,008	125,009	125,007	125,009	125,009
2	0,120	120,007	120,006	120,008	120,007	120,007	120,006	120,008	120,006	120,006	120,007
2	0,115	115,008	115,008	115,007	115,010	115,006	115,009	115,010	115,009	115,008	115,008
2	0,110	110,009	110,008	110,008	110,007	110,008	110,007	110,007	110,008	110,008	110,007
2	0,105	105,005	105,006	105,005	105,005	105,005	105,005	105,006	105,004	105,004	105,005
2	0,100	100,003	100,004	100,003	100,002	100,002	100,002	100,005	100,003	100,004	100,003
2	0,095	95,005	95,006	95,006	95,005	95,007	95,006	95,005	95,005	95,005	95,005
1	0,090	90,004	90,003	90,003	90,002	90,003	90,002	90,003	90,003	90,003	90,002
2	0,085	85,004	85,005	85,006	85,005	85,006	85,005	85,006	85,006	85,005	85,005
1	0,080	80,003	80,002	80,003	80,002	80,002	80,003	80,002	80,002	80,002	80,004
2	0,075	75,007	75,006	75,005	75,005	75,006	75,006	75,005	75,006	75,005	75,006
1	0,070	70,003	70,002	70,003	70,003	70,003	70,003	70,002	70,003	70,002	70,003
2	0,065	65,006	65,007	65,007	65,008	65,007	65,006	65,006	65,006	65,006	65,007
1	0,060	60,005	60,005	60,004	60,004	60,003	60,003	60,004	60,005	60,003	60,004
2	0,055	55,007	55,006	55,007	55,006	55,006	55,007	55,008	55,008	55,008	55,007
2	0,050	50,005	50,005	50,005	50,004	50,003	50,005	50,003	50,005	50,004	50,005
2	0,045	45,007	45,008	45,007	45,006	45,005	45,006	45,007	45,006	45,007	45,005
1	0,040	40,005	40,003	40,005	40,003	40,005	40,005	40,006	40,003	40,004	40,005
2	0,035	35,005	35,004	35,004	35,005	35,004	35,005	35,006	35,004	35,005	35,005
2	0,030	30,003	30,003	30,002	30,002	30,002	30,002	30,003	30,002	30,002	30,003
2	0,025	25,005	25,006	25,007	25,007	25,007	25,007	25,006	25,007	25,005	25,005
2	0,020	20,003	20,004	20,003	20,003	20,004	20,003	20,003	20,004	20,003	20,003
1	0,015	15,003	15,002	15,003	15,002	15,002	15,004	15,004	15,002	15,003	15,002
2	0,010	10,002	10,001	10,001	10,001	10,001	10,002	10,002	10,001	10,001	10,002
1	0,005	5,000	5,001	5,002	5,001	5,000	5,001	5,001	5,001	5,002	5,002



# PŘÍLOHA P VII: VÝROBNÍ VÝKRES DÍLCE

