

KALIBRACE PRACOVNÍCH MĚŘIDEL Z OBORU DÉLKA NEJISTOTY MĚŘENÍ

Ing. Václav Duchoň

ČMI Ol Brno

Skupiny měřidel

- úkol technického rozvoje PRM 2012 č. VII/4/12
- velké množství jednotlivých měřidel délky
- 11 skupin, každá s podobným principem měření a kalibrace
- podobný rozpočet nejistot

Skupiny měřidel

- - Kalibrace koncových měrek komparační metodou
- - Kalibrace přímým měřením na délkoměru
- - Kalibrace prováděné na 2D (3D) strojích
- - Kalibrace závitových měřidel
- - Kalibrace posuvných měřidel
- - Kalibrace mikrometrických měřidel
- - Kalibrace měřidel s číselníkovým indikátorem
- - Kalibrace čárkových měřítek
- - Kalibrace délkoměrů
- - Kalibrace 2D (3D) strojů
- - Kalibrace prováděné průmyslovým laserinterferometrem

Skupiny měřidel

- **Kalibrace koncových měrek komparační metodou**
- Základní popis metody viz ČSN EN ISO 3650.
Porovnávají se dvě koncové měrky stejné jmenovité hodnoty.
- Koncové měrky (0,3 ÷ 100) mm, koncové měrky (125 ÷ 1000) mm

Skupiny měřidel

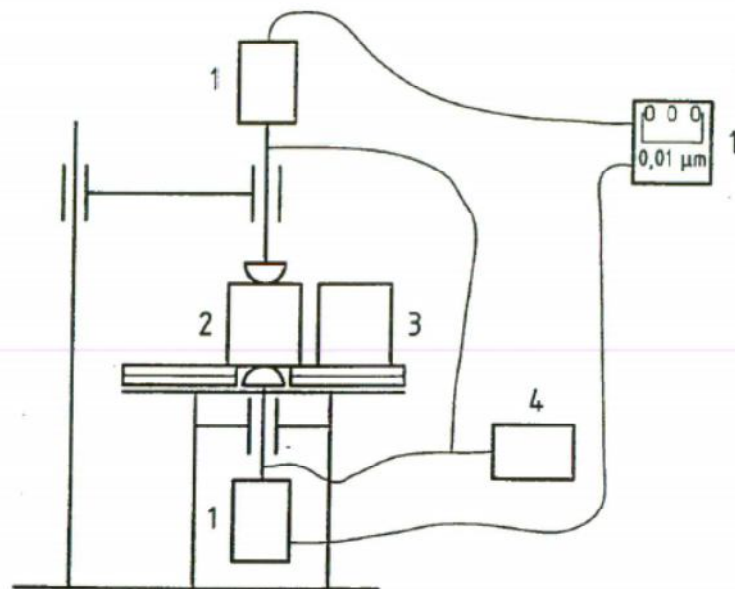


Skupiny měřidel

ČSN EN ISO 3650

Příloha A (informativní)

Příklad zařízení pro porovnávací měření koncových měrek



Legenda

- 1 Elektrický indikátor délky s vysokou rozlišitelností
- 2 Referenční koncová měrka
- 3 Kalibrovaná koncová měrka
- 4 Zvedací zařízení

Obrázek A.1 - Příklad komparátoru pro koncové měrky s jmenovitou délkou do 100 mm

Skupiny měřidel

- **Kalibrace přímým měřením na délkoměru**
- Délkoměrem se rozumí přístroj pro měření rozměru v jedné ose s přímou indikací měřené hodnoty. Příslušenství délkoměrů umožňuje měřit různé předměty. Návod k obsluze konkrétního délkoměru řeší podrobnosti a měl by být vždy k dispozici.
- Válečkové kalibry, třmenové kalibry, měřicí drátky, nastavovací kroužky, spároměrky, hladké kalibry dle výkresu, nastavné tyčky k mikrometrům, kvalifikační koule k 3D strojům.

Skupiny měřidel



Skupiny měřidel

- **Kalibrace prováděné na 2D (3D) strojích**
- 2D strojem se rozumí přístroj pro měření ve dvou osách - strojírenský mikroskop, kamera, profilprojektor.
- 3D strojem se rozumí třísouřadnicový měřicí stroj s dotykovým, nebo optickým snímáním.
- Šablony, závitové šablony, etalonová čárková měřítká, kalibry, kroužky, koule, kužely, prizmatické podložky, kalibry podle výkresu.

Skupiny měřidel



Skupiny měřidel

- **Kalibrace závitových měřidel**
- Hlavním parametrem je střední průměr závitu. Pro jeho určení se používá pomocných těles - drátků nebo kuliček. Stanovení nejistoty středního průměru je věnován zvláštní dokument EA 10/10 EA Guidelines of the Determination of Pitch Diameter of Parallel Thread Gauges by Mechanical Probing. Tento dokument zatím nebyl přeložen do češtiny.
- Mezní závitový kalibr – závitový trn, mezní závitový kalibr – závitový kroužek

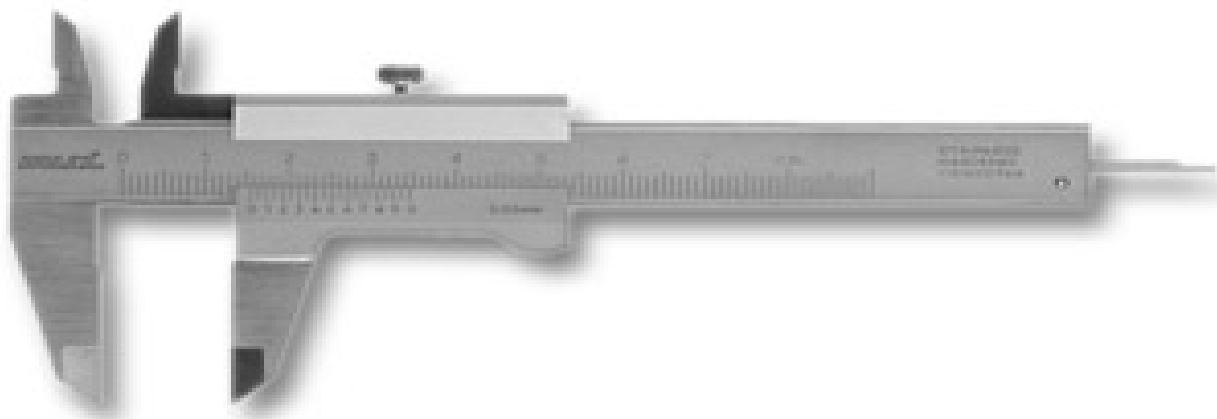
Skupiny měřidel



Skupiny měřidel

- **Kalibrace posuvných měřidel**
- Základní metodou je kalibrace pomocí koncových měrek.
- Posuvky, posuvné hloubkoměry, posuvné výškoměry, posuvná měřidla na svary.

Skupiny měřidel



Skupiny měřidel

- **Kalibrace mikrometrických měřidel**
- Tato měřidla mají společný konstrukční prvek - mikrometrický šroub. Základní metodou je kalibrace pomocí koncových měrek (a nastavných kroužků v případě třídotekových mikrometrických dutinoměrů).
- Třmenový mikrometr, mikrometrické odpichy, pasametr (mikropasametr), mikrometrická hlavice, třídotekové dutinoměry, mikrometry na závity mikrometry na ozubená kola

Skupiny měřidel



Skupiny měřidel

- **Kalibrace měřidel s číselníkovým indikátorem**
- Kalibrace se provádí na přednostně na svislém délkoměru - zařízení pro kalibraci číselníkových úchylkoměrů. Lze použít i vodorovný délkoměr. Kalibrace číselníkových úchylkoměrů pomocí koncových měrek je nevhodná (problém se zjištěním reverzibility).
- Číselníkový úchylkoměr, elektronický úchylkoměr, dutinoměry s číselníkovým úchylkoměrem (subita).

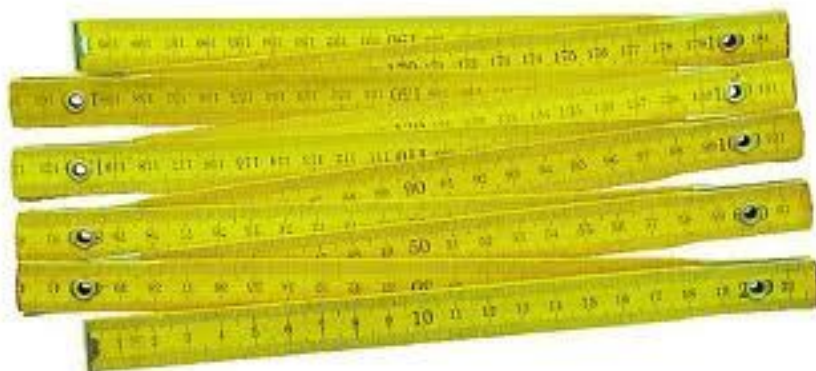
Skupiny měřidel



Skupiny měřidel

- **Kalibrace čárkových měřítek**
- Čárková měřítka tříd přesnosti I, II, III dle OIML R 35-1 Edition 2007 (E). Měřítka plochá, tenká a ohebná a stáčecí, pásma, svinovací metry, skládací metry.
- Příloha 10 k nařízení vlády č. 464/2005 Sb
- DIRECTIVE 2004/22/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL (MID)
- *ANNEX MI-008* - MATERIAL MEASURES

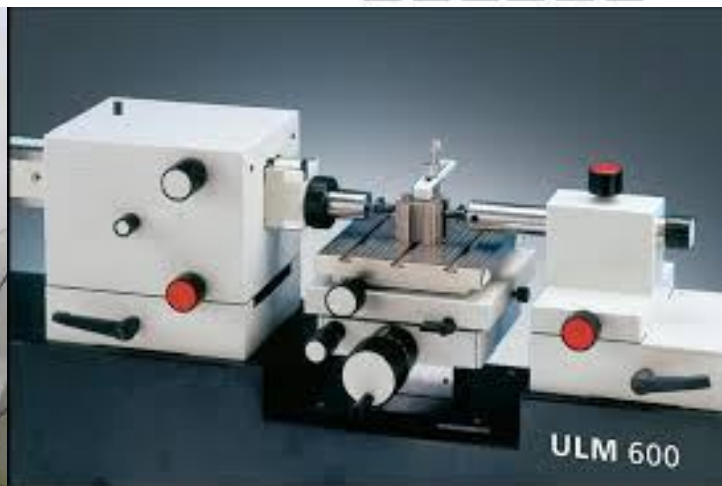
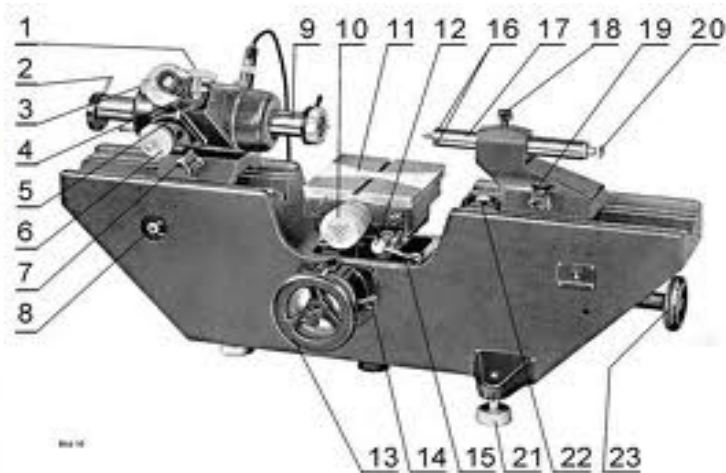
Skupiny měřidel



Skupiny měřidel

- **Kalibrace délkoměrů**
- Metoda pomocí etalonových těles (koncových měrek). Často prováděná na místě u zákazníka.
- Jednoosé délkoměry vodorovné a svislé.

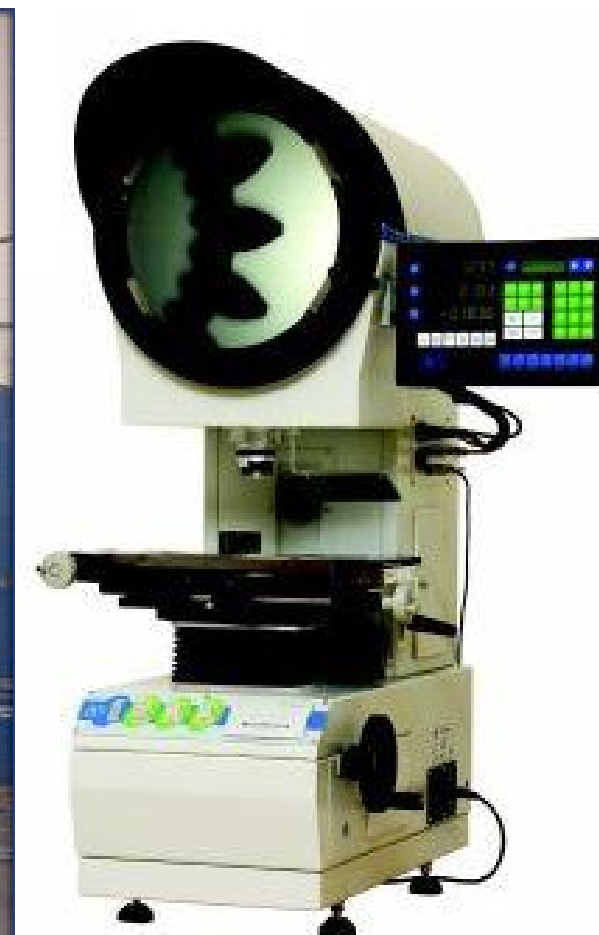
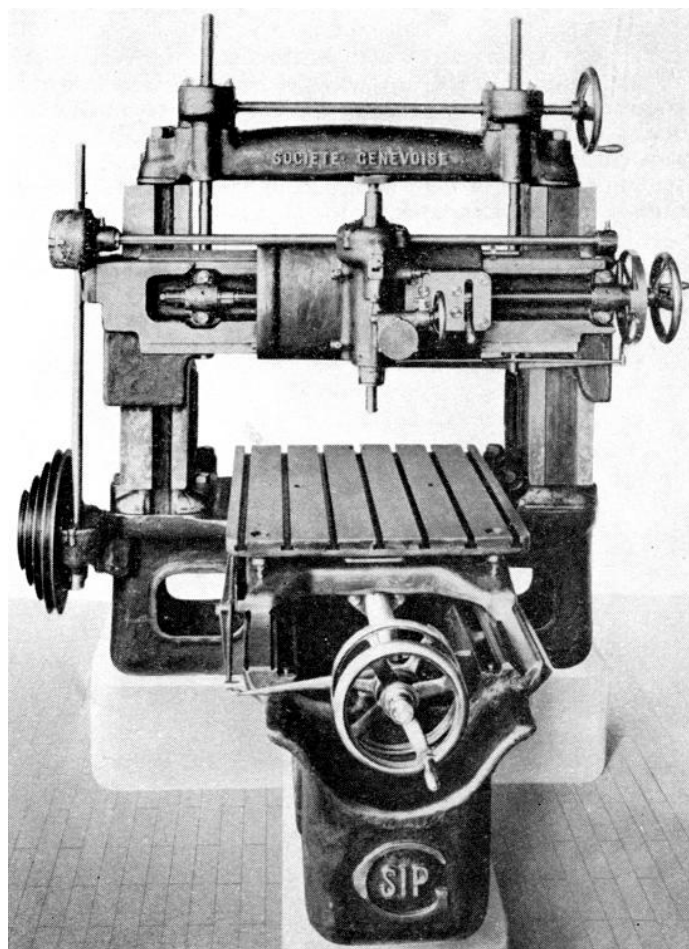
Skupiny měřidel



Skupiny měřidel

- **Kalibrace 2D (3D) strojů**
- Metoda pomocí etalonových těles (koncových měrek, skleněných měřítek stupňových měrek a dalších).
- 2D stroje - mikroskopy, profilprojektory, kamerové 2D stroje
- 3D stroje - souřadnicové měřicí stroje

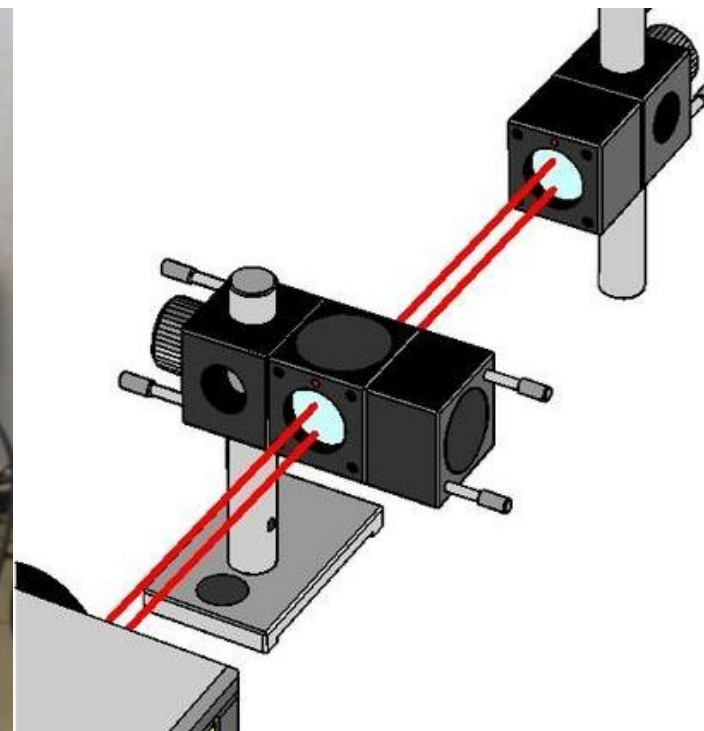
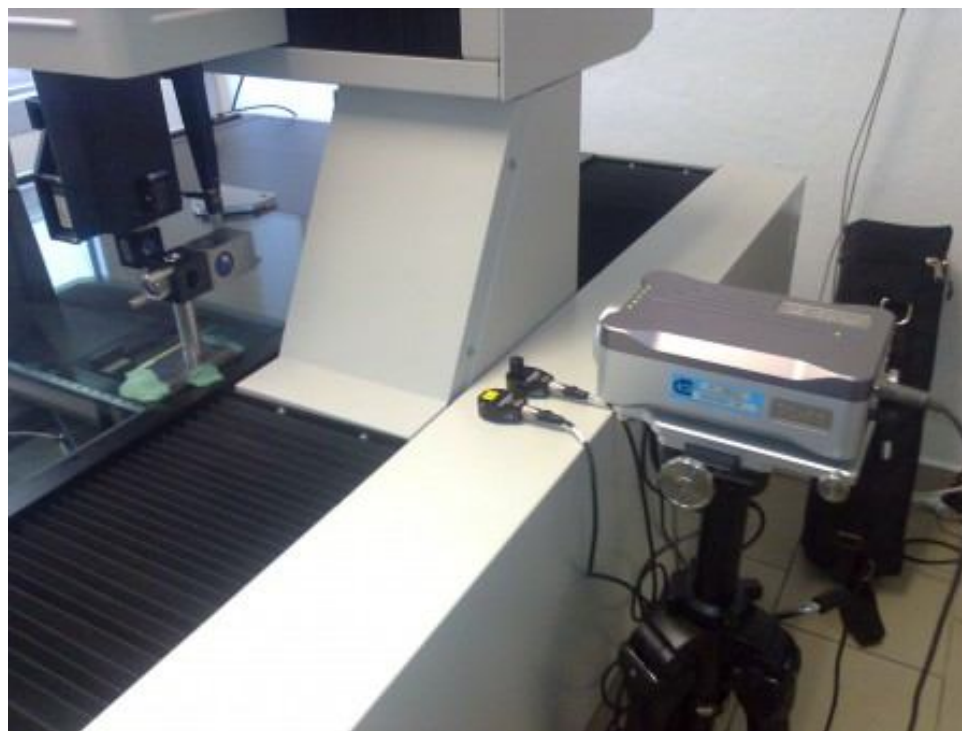
Skupiny měřidel



Skupiny měřidel

- **Kalibrace prováděné průmyslovým laserinterferometrem**
- Průmyslové interferometry umožňují kalibrace na místě u zákazníka. Jedná se o kalibrace lineárních odměřovacích systémů délkoměrů, 2D a 3D strojů a kalibrace průměrných desek.

Skupiny měřidel



Rozpočet nejistot

- **Zdroje nejistot při kalibraci pracovních měřidel délky**
- pro skupiny:
 - - Kalibrace koncových měrek komparační metodou
 - - Kalibrace posuvných měřidel
 - - Kalibrace mikrometrických měřidel
 - - Kalibrace měřidel s číselníkovým indikátorem
 - - Kalibrace čárkových měřítek

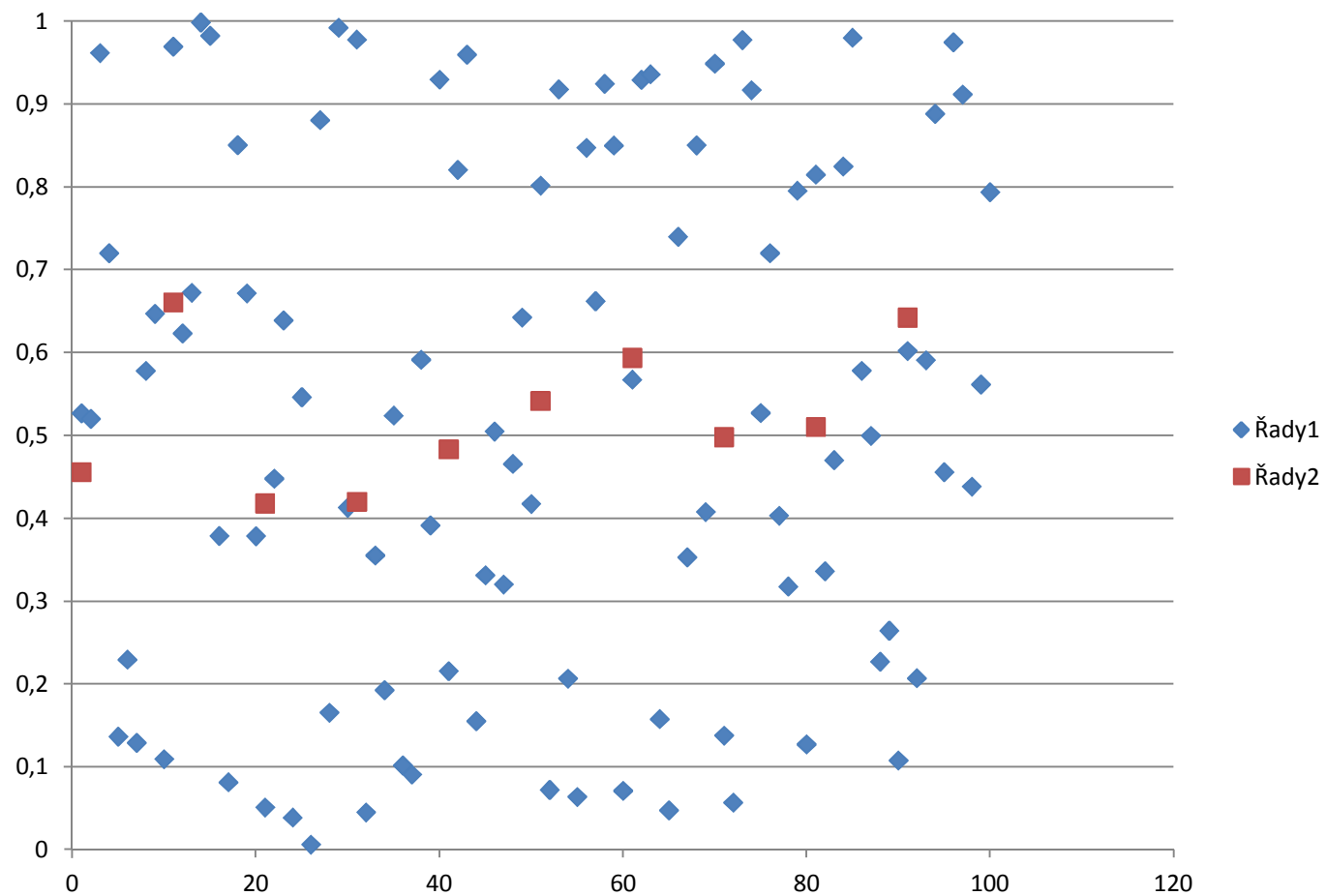
Rozpočet nejistot

- Rozpočet nejistot by měl obsahovat tyto příspěvky:
 - 1) Nejistota typu A
 - 2) Nejistota etalonu
 - 3) Korekce etalonu
 - 4) Vliv rozlišení kalibrovaného měřidla a etalonového zařízení
 - 5) Teplotní vlivy
 - 6) Další vlivy

Rozpočet nejistot

- 1) Nejistota typu A
- stejný postup pro všechny skupiny
- $u_A = s / \sqrt{n}$
- aritmetický průměr
- sdílená směrodatná odchylka

Rozpočet nejistot



Rozpočet nejistot

- 2) Nejistota etalonu
- Etalon: koncové měrky, nastavné kroužky, délkoměr, etalonové pásmo etalonová měrka ...
- $u=U/k$
- Nejistota je někdy uvedena ve formě vzorce např.:
- $U = (0,5+5L) \mu\text{m}$ L je délka v metrech
- Za délku L dosadíme aktuální jmenovitou hodnotu

Rozpočet nejistot

- Kalibrační řády
- OIML R30

Nyní již zrušený

INTERNATIONAL
RECOMMENDATION

OIML R 30

Edition 1981 (E)



End standards of length (gauge blocks)

Rozpočet nejistot

- 1. řád $U = (0,02+0,2L) \mu\text{m}$
- 2. řád $U = (0,05+0,5L) \mu\text{m}$
- 3. řád $U = (0,1+1L) \mu\text{m}$
- 4. řád $U = (0,2+2L) \mu\text{m}$
- 5. řád $U = (0,5+5L) \mu\text{m}$

Rozpočet nejistot

- 3) Korekce etalonu
- Pokud není korekce zanedbatelná a není započítávána do měřených hodnot
- $u = \Delta_{\max} / \sqrt{3}$

Rozpočet nejistot

I	II	III
1,2	+0,21	0,05
1,21	+0,14	0,03
1,22	+0,12	0,05
1,23	+0,10	0,06
1,24	+0,19	0,06
1,25	+0,04	0,08
1,26	+0,03	0,07
1,27	+0,03	0,06

Sloupec I Jmenovitá délka koncové měrky v [mm]

Sloupec II Úchylka středové délky od jmenovité délky v [μm]

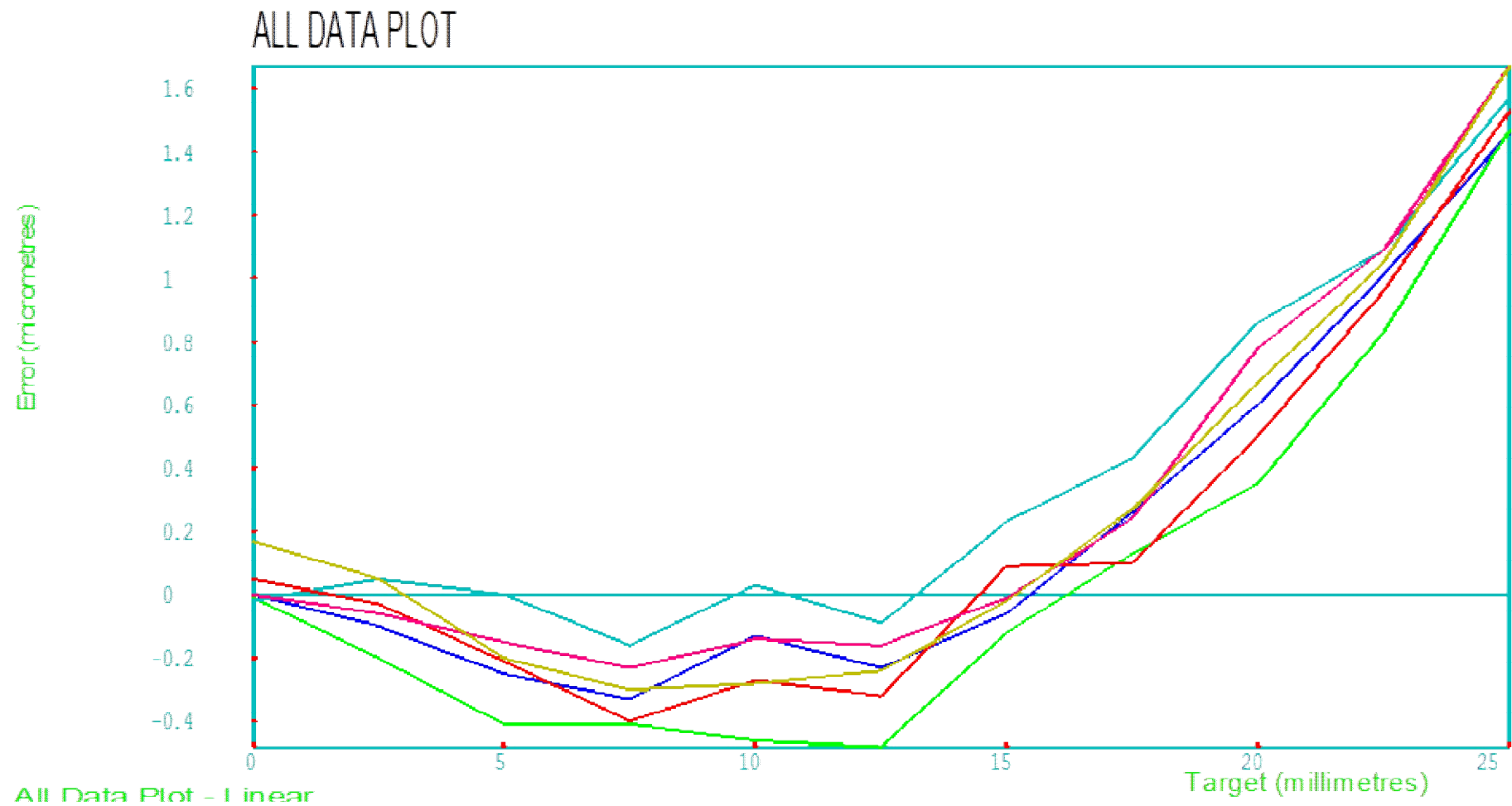
Sloupec III Rozpětí délky v [μm] (souhrnná úchylka rovnoběžnosti a rovinnosti)

Jmenovitá hodnota [mm]	Naměřená odchylka (ar. průměr) [μm]
0	0,0
3	0,1
6	0,1
9	0,0
12	0,0
15	0,0
18	-0,1
21	-0,1
24	0,0
27	0,0
30	0,2

Jmenovitá délka l_n [mm]	Dovolené úchylky délky $\pm$ [μm]	Tolerance rozpětí délky [μm]
$0,5 \leq l_n \leq 10$	0,45	0,3
$10 < l_n \leq 25$	0,6	
$25 < l_n \leq 50$	0,8	
$50 < l_n \leq 75$	1	0,35
$75 < l_n \leq 100$	1,2	

pro Třídu 2 podle ČSN EN ISO 3650:

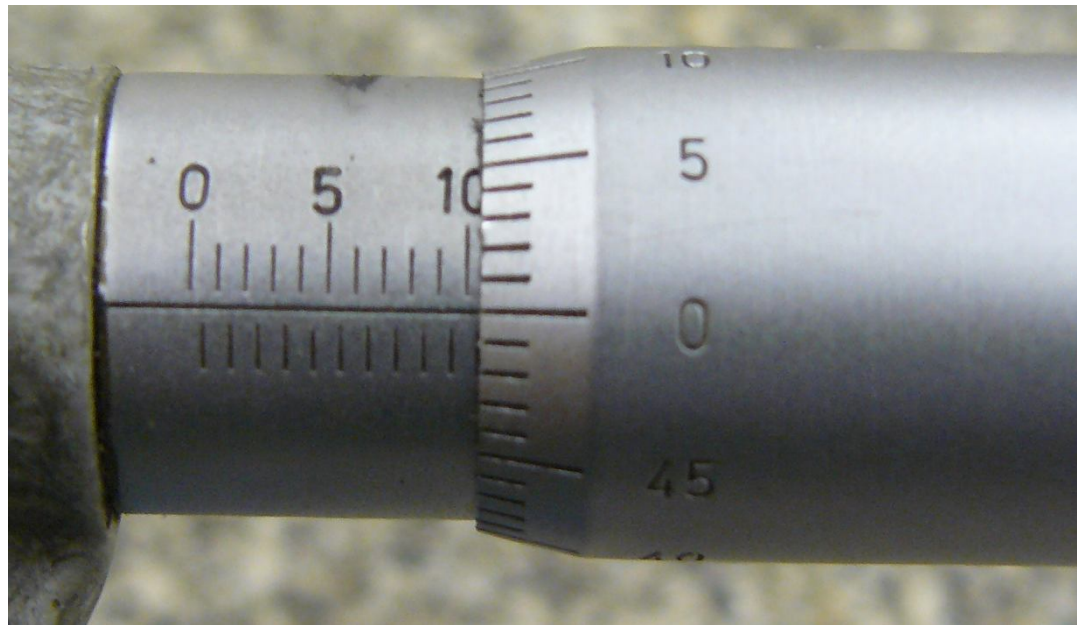
Rozpočet nejistot



Rozpočet nejistot

- 4) Vliv rozlišení kalibrovaného měřidla a etalonového zařízení

- $u = R_{\max} / \sqrt{3}$
- poslední digit
- dílek stupnice
- zlomek dílku



Rozpočet nejistot

- 5) Teplotní vlivy

- $\mu\text{m}/\text{m}^{\circ}\text{C}$

- ocel 11,5

- mosaz 18

- keramika 10

- invar 1,2



<i>veličina</i>	<i>výpočetní vztah</i>
Standardní nejistota rozdílu teplot	$u_{\Delta t} = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}} =$
Standardní nejistota rozdílu koeficientů teplotní roztažnosti	$u_{\Delta \alpha} = \frac{\Delta \alpha}{\sqrt{3}} =$
Standardní nejistota průměrné odchylky teploty od 20 °C	$u_{\Delta t 20} = \frac{\Delta t_{20}}{\sqrt{3}} =$
Člen 1. řádu	$L \cdot \alpha \cdot u_{\Delta t} =$
Člen 2. řádu	$L \cdot u_{\Delta t 20} \cdot u_{\Delta \alpha} =$
Standardní nejistota délky vlivem teplotní roztažnosti	$u_{L_t} = \sqrt{(L \cdot \alpha \cdot u_{\Delta t})^2 + (L \cdot u_{\Delta t 20} \cdot u_{\Delta \alpha})^2} =$

Rozpočet nejistot

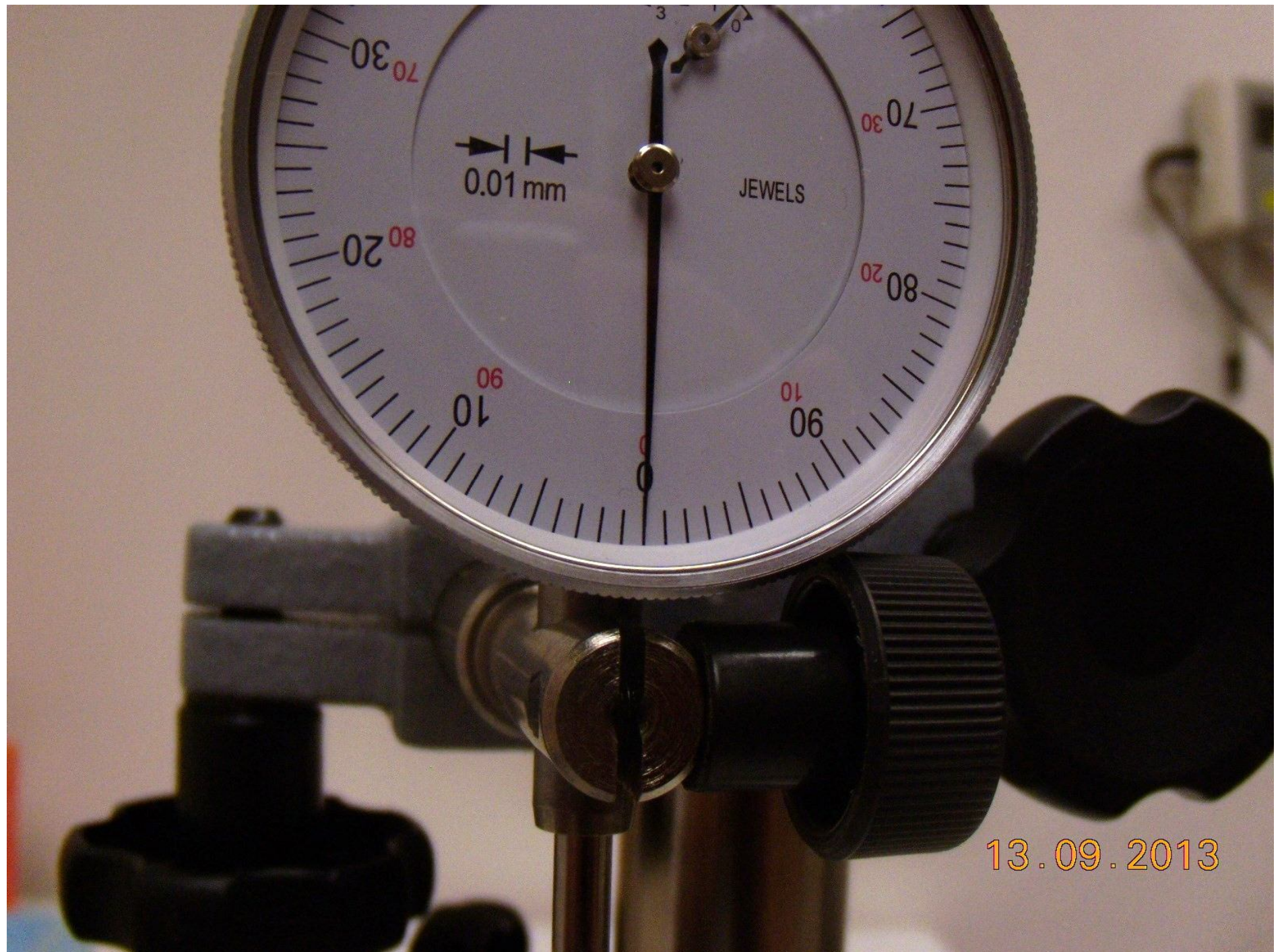
Vliv teplotní roztažnosti			
	délka (m)	0,5	
	průměrná hodnota k.t.r. ($\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$)	10	
	rozdíl teplot ($^\circ\text{C}$)	0,2	
	rozdíl k.t.r. ($\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$)	4	
	odchylka od 20°C ($^\circ\text{C}$)	2	
standardní nejistota délky (μm)		1,45	
	Standardní nejistota rozdílu teplot	0,115	
	Standardní nejistota rozdílu k.t.r.	2,309	
	Standardní nejistota odchylky od 20°C	1,155	
	člen 1. řádu	0,577	
	člen 2. řádu	1,333	

Rozpočet nejistot

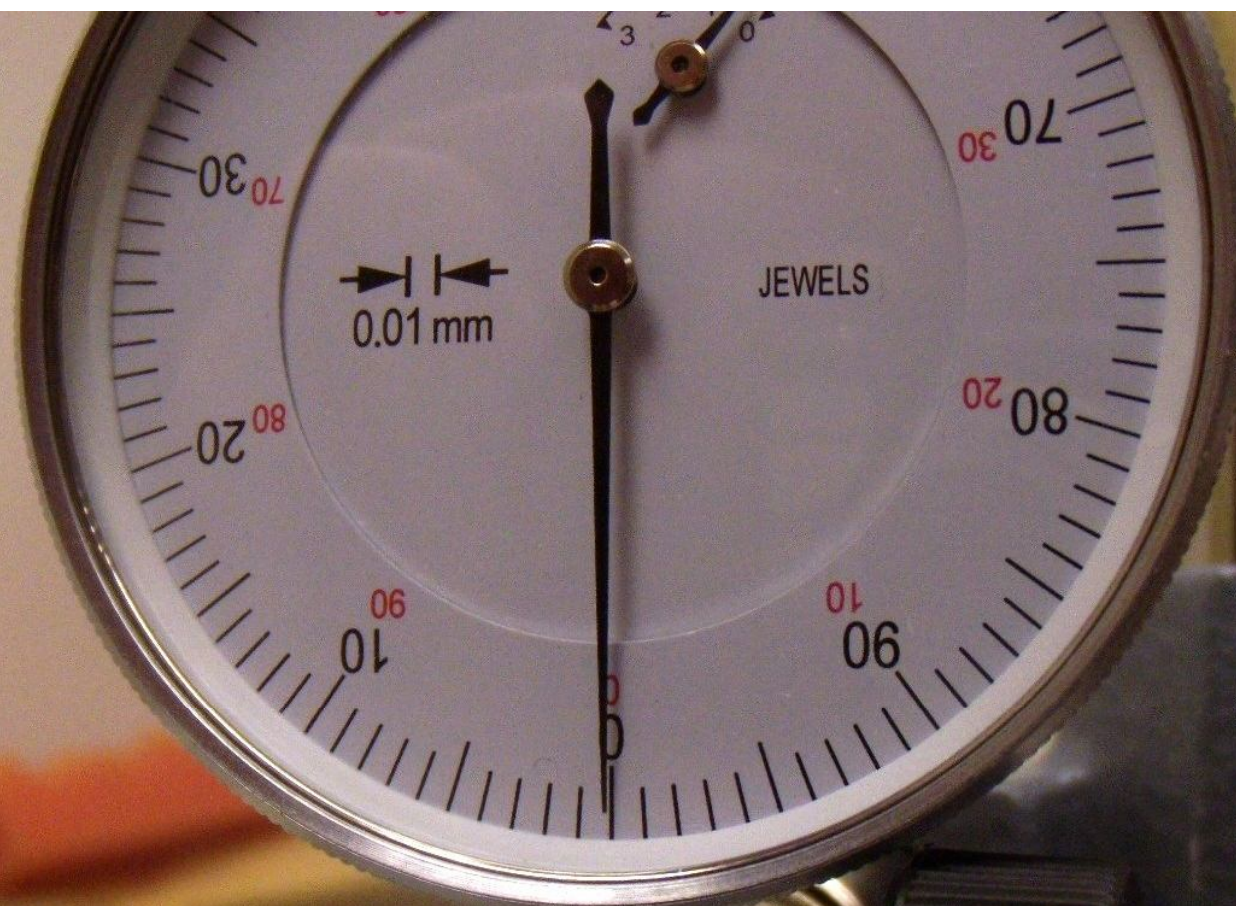
- 6) Další vlivy
 - - nestředový dotek snímače komparátoru
 - - vliv rozlišení a chyby komparačního zařízení
 - - nesprávná manipulace s měřidlem
 - - špatný stav měřidla
 - - použití nepřiměřené měřicí síly
 - - šikmo vložená koncová měrka
 - - nečistota na měřicích plochách
 - - naražené hrany měřicích ploch

Rozpočet nejistot

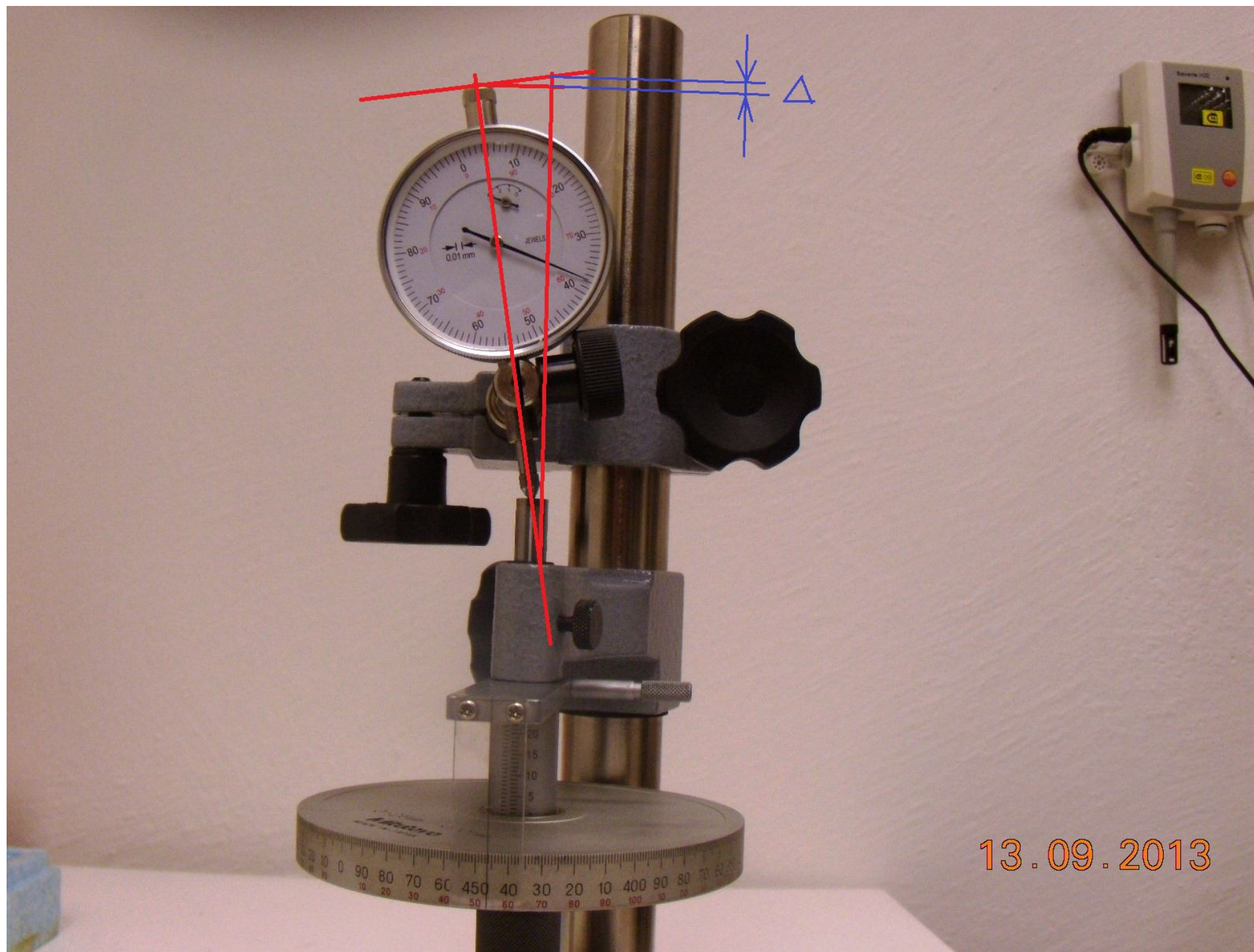
- - špatná funkce nebo špatné použití tzv. "řehtačky"
- - paralaxa při čtení u analogových přístrojů
- - šikmo upnutý indikátor vůči ose etalonového zařízení
- - nepřiměřená upínací síla - sevření pohyblivé části indikátoru
- - kosinová chyba
- - u měřicích strojů s pohyblivým stolem hrozí nechtěný pohyb měřidla během kalibrace
- - drift etalonu



13.09.2013



13.09.2013



13.09.2013

Rozpočet nejistot

- Kosinová chyba
- $L = L_1 \cdot \cos \alpha$
- $\Delta = X^2 / 2L$





Rozpočet nejistot

- **Výsledná nejistota**
- Výsledná **standardní** nejistota je odmocninou ze součtu kvadrátů jednotlivých příspěvků.
- Výsledná **rozšířená** nejistota se většinou získá použitím koeficientu rozšíření $k = 2$.
- Je třeba dodržet pravidla pro zaokrouhlování nejistoty a uvádění nejistoty v kalibračních listech EA (4/02).

Rozpočet nejistot

$$L = \boxed{0,5} \text{ m}$$

a) naměřené hodnoty [μm]

0,10	1,20	1,80	0,20	1,50
1,70	0,20	2,40	0,10	2,10

b) nejistota etalonu [μm] pro $k = 2$

$$U = \boxed{0,40} + \boxed{1,20} L$$

c) rozlišovací schopnost [μm]

$$\Delta M = \boxed{0,10}$$

d) průměrná hodnota k.t.r. [$\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$]

$$\alpha = \boxed{10,00}$$

e) rozdíl teplot [$^\circ\text{C}$]

$$\Delta t = \boxed{0,20}$$

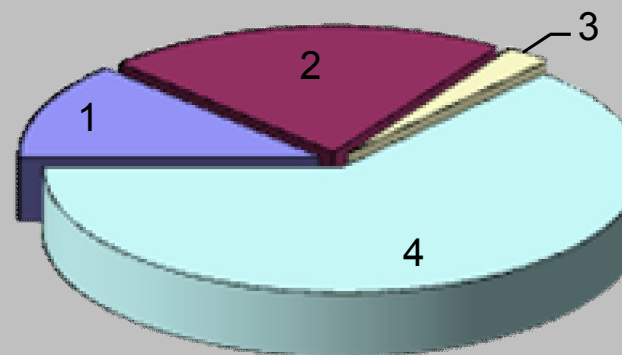
f) rozdíl k.t.r. [$\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$]

$$\Delta\alpha = \boxed{4,00}$$

g) odchylka od 20°C [$^\circ\text{C}$]

$$\Delta t_{20} = \boxed{2,00}$$

složky výsledné nejistoty



1) rozptyl hodnot; 2) etalon; 3) rozlišovací schopnost
4) teplotní roztažnost

$$U = \boxed{3,13 \mu\text{m}}$$

Rozpočet nejistot

1) Nejistota typu A	0,09 μm
sdílená směrodatná odchylka (μm)	0,28
počet měření	10
2) Nejistota etalonu	0,50 μm
rozšířená nejistota pro $k=2$ (μm)	0,4 + 1,20 L
délka L (m)	0,5
3) Korekce etalonu	0,29 μm
meze rovnoměrného rozdělení (μm)	0,5
4) Vliv rozlišení kalibrovaného měřidla	0,06 μm
meze rovnoměrného rozdělení (μm)	0,1
5) Teplotní vlivy	1,45 μm
samostatný výpočet (μm)	1,45
6) Další vlivy	0,29 μm
meze rovnoměrného rozdělení (μm)	0,5
meze rovnoměrného rozdělení (μm)	0
meze rovnoměrného rozdělení (μm)	0
Rozšířená nejistota pro $k=2$	3,18 μm

Shoda se specifikací

- ILAC-G8:03/2009 Pokyny k uvádění shody se specifikací
- Dostupnost na www.cai.cz

ČSN EN ISO 14253-1

**Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Zkoušení obrobků a měřidel
měřením – Část 1: Pravidla rozhodování o prokazování shody
nebo neshody se specifikacemi**

Shoda se specifikací

- **shodu** lze prohlásit, když pásmo hodnot vymezené naměřenou hodnotou $\pm$ její nejistotou leží celé v tolerančním poli
- **neshodu** lze prohlásit, když pásmo hodnot vymezené naměřenou hodnotou $\pm$ její nejistotou leží celé mimo toleranční pole
- Překrývá-li se pásmo hodnot vymezené naměřenou hodnotou $\pm$ její nejistotou s horní nebo dolní mezí, nelze prohlásit shodu ani neshodu.

Shoda se specifikací

- Prohlášení o shodě nebo neshodě obsahuje:
- -**naměřenou hodnotu** a přidruženou nejistotu
- -**mezní hodnoty** a zdroj odkud mezní hodnoty pochází například odkaz na článek technické normy
- -**slovní výrok** o shodě např.: „Vyhovuje - výsledek měření je v rámci meze dané specifikací, bere-li se v úvahu nejistota měření“ nebo „Nevyhovuje - výsledek měření je mimo meze dané specifikací, bere-li se v úvahu nejistota měření“ nebo „S uvážením nejistoty měření nelze prohlásit shodu ani neshodu“

Shoda se specifikací

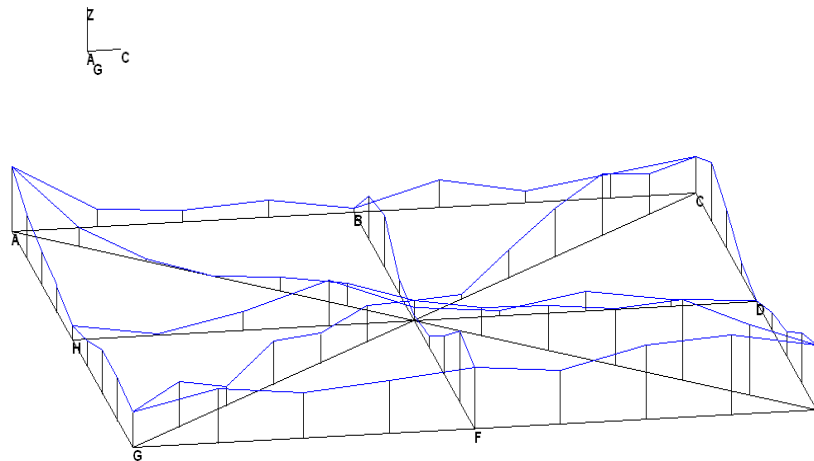
- Zjednodušené uvádění výsledku pouhým prohlášením shody připouští aktuální dokument ILAC P14/2013, je však třeba dodržet další pravidla:
- "**Měřená veličina a nejistota měření nemusí být uvedena** na kalibračním listu/certifikátu pouze v případě, kde bylo zjištěno v průběhu přezkoumání smlouvy, že **je požadováno pouze prohlášení o souladu se specifikací**."

Shoda se specifikací

- Tato výjimka však platí pouze za předpokladu dodržení následujícího:
- Kalibrační list/certifikát **není určen pro podporu šíření další metrologické návaznosti** (tj. kalibrace dalšího zařízení);
- Jak je uvedeno v článku 5.10.4.2 ISO/IEC 17025:2005, laboratoř musí **určit** nejistotu měření a vzít tuto nejistotu v úvahu při vydávání prohlášení o souladu; a
- Laboratoř musí **uchovávat** záznamy o měřené veličině a nejistotě měření tak, jak je uvedeno v člancích 5.10.4.2 a 4.13 ISO/IEC 17025:2005, přičemž tyto záznamy musí laboratoř poskytnout na vyžádání.

Shoda se specifikací

Nejistota měření: $U = 3,0 \mu\text{m}$



$$9,8 + 3,0 = 12,8$$

je menší než 13

Rovinnost desky : $9,8 \mu\text{m}$

Dovolená hodnota pro 1. třídu přesnosti dle DIN876 : $13 \mu\text{m}$

Příměrná deska vyhovuje DIN876, třídě přesnosti 1.

Shoda se specifikací

- Příklad svinovací metr 2 m
- Největší dovolené chyby pro třídu přesnosti II se vypočítají ze vzorce: $\pm [(0,6 + 0,4) + 0,4L]$ mm, kde L je měřená délka v [m], zaokrouhlená na nejbližší vyšší celý počet metrů (podle OIML R35-1)
- Dovolená chyba na 2 m **$\pm 1,8$ mm**
- Naměřená chyba **1,0 mm**
- Nejistota měření **1,0 mm**

S uvážením nejistoty měření :

- A) lze prohlásit shodu
- B) lze prohlásit neshodu
- C) nelze prohlásit shodu ani neshodu

Shoda se specifikací

- C je správně

