

KALIBRACE A ZKOUŠKA SOUŘADNICOVÝCH MĚŘICÍCH STROJŮ

Fiala, A.; Skopal, M. J.

Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně
Odbor kvality, spolehlivosti a bezpečnosti – 13356

Anotace:

Management měřidel a měřicích systémů s důrazem na přesnost měření je jednou z nejdůležitějších oblastí v současném globalizovaném světě, mající vliv na prosperitu vyspělých průmyslových zemí. Přesnost měření je dána kalibrací, k níž, na rozdíl od tradičního pojetí, není u měřidel podporovaných HW a SW výpočetní techniky postačující pouhé proměření některých metrologických charakteristik měřidla s formálním doložením záznamem s názvem "Kalibrační list".

Následující text je věnován problematice metrologické návaznosti, kalibrace a ověření kalibrace souřadnicových měřicích strojů (CMM) a obdobných měřicích systémů a týká se posledního článku hierarchie kalibrace v řetězci metrologické návaznosti; kalibrace pracovních měřidel s cílem správných výsledků měření součástí.

Profil přednášejícího

- 1970 až 1973 ČSMÚ Bratislava
oddělení délek, návaznost koncových měrek na INKO
- 1973 až 1985 Metra Blansko s.p.
vývoj, příprava výroby, výroba a servis jednomodových HeNe laserů a laserinterferometrů
účast na primárním výzkumu a spolupráce s UPT ČSAV v Brně
- 1985 až 2013 Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojní
metrologie se zaměřením na výrobní stroje a CMM

Několik jmen aktivní spolupráce na problematice metrologie CMM

Osanna Paul Herbert	Boček Vlastislav	Šimák Otomar
Weckenmann Albert	Brezina Igor	Šabršula Jiří
Wäldele Franz	Vavřík Ivan	Skalník Pavel
Neumann Hans Joachim	Marek Mirko	Novosad Jan
Plath Hans Henig	Chmelík Václav	dodavatelé a firemní servisní technici CMM
Krug Reiner	Nenáhlo Čeněk	

Základní jednotky SI

(a)

m

(b)

kg

(c)

s

(d)

A

(e)

K

(f)

mol

(g)

Cd

radián [rad]

jednotka rovinného úhlu

mikroradián [μrad]

ve strojírenství více používaná jednotka při měření úhlu, sklonu a pravoúhlosti je $1 \mu\text{m}/\text{m} \approx 1 \mu\text{rad} \approx 0,2''$ (úhl. vteřiny)

Terminologie v metrologii

V celosvětovém měřítku je metrologická terminologie určována ze strany BIPM v Paříži. Pod jeho patronací jsou průběžně vydávány „Vocabulaire international de métrologie — Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)“; v některých publikacích doplněných pořadovým číslem vydání a rokem vydání.

V předmluvě VIM 2:1993 (ČSN 01 015:1996) je uvedeno:

Terminologie je základem pro dorozumění ve všech odvětvích vědy a techniky; každý termín musí mít pro všechny uživatele tentýž význam, musí být dobře definován a také by neměl být v rozporu s terminologií, kterou běžně používají pracovníci v daném oboru. **Takové zásady platí v metrologii více, než v jiných oborech.**

Za účelem řešení této problematiky na mezinárodní úrovni byla sestavena pracovní skupina odborníků jmenovaných mezinárodními organizacemi

ISO, IEC, BIPM, IFCC, IUPAC, IUPAP, OIML a ILAC.

International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM) idt ISO/IEC GUIDE 99:2007 (TNI 01 0115:2009)

Toto třetí vydání bylo schváleno a přijato každou z osmi členských organizací **JCGM**.

BIPM

IEC

IFCC

ILAC

ISO

IUPAC

IUPAP

OIML



Toto třetí vydání zrušuje a nahrazuje druhé vydání (VIM2) z roku 1993.

v česko-anglické verzi publikováno na serveru [UNMZ](#), v sekci „Terminologie ...“

Rozdíl mezi zákonem 505/1990 Sb, o metrologii, a VIM 3:2008

Zákon 505 pracuje s pojmy

„**etalon**“, „**stanovené**“ a „**pracovní měřidlo**“

dále

„**návaznost měřidel**“ § 5

a

„**kalibrace pracovního měřidla**“ § 9

kdežto

VIM 3 definuje pojmy

„**metrologická návaznost**“ (2.41)

a

„**kalibrace**“ (2.39)

jako **činnost ve dvou krocích** od porovnání indikace s hodnotami etalonu až po stanovení vztahu k získání výsledku měření z indikace (včetně nejistot)

2.41 (6.10) metrologická návaznost

vlastnost výsledku měření, pomocí níž může být výsledek vztažen ke stanovené referenci přes dokumentovaný nepřerušovaný řetězec **kalibrací**, z nichž každá se podílí svým příspěvkem na stanovené **nejistotě měření** (následuje osm poznámek)

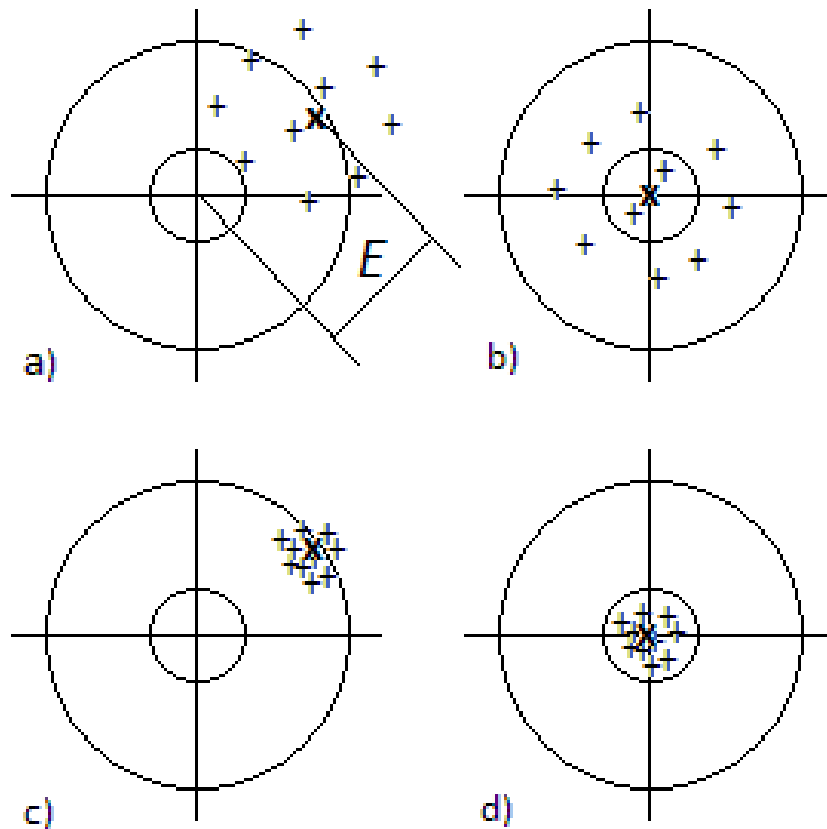
2.42 řetězec metrologické návaznosti, řetězec návaznosti

sled etalonů (standardů) a **kalibrací**, který je použit **ke vztažení výsledku měření k referenci** (následují tři poznámky)

2.44 ověřování

poskytnutí objektivního důkazu, že daná položka splňuje specifikované požadavky (následuje šest poznámek)

Preciznost, přesnost a správnost měření – dle VIM 3:2008



a) nepřesné a málo precizní výsledky měření
– **nesprávné**

b) ve střední hodnotě přesné
ale málo precizní výsledky měření,
– s ohledem na požadavky systému
managementu kvality subjektu
smí být považovány za správné

c) nepřesné, i když precizní výsledky měření
– **nesprávné**

d) přesné a precizní výsledky měření
– **správné**

E – error – chyba výsledku měření
(pojmy odchylka a úchylka
nejsou ve VIM definovány používány)

Výroba a servis měřidla (uvedení do precizního stavu), kalibrace –
příklady hodnocení rozbohem výsledků měření, které měřidlo poskytuje.

**Kalibrace jako celek je metrologická činnost (v několika dílčích krocích podle veličiny)
za účelem získání výsledků měření s přijatelnou chybou**

Terminologie v metrologii

Definice pojmu kalibrace dle VIM 2:1993 (ČSN 01 0115:1996)

6.11 kalibrace (zrušena a nahrazena definicí dle VIM 3: 2007, 2.39)

soubor úkonů, kterými se stanoví za specifikovaných podmínek vztah mezi hodnotami veličin, které jsou indikovány měřicím přístrojem nebo měřicím systémem nebo hodnotami reprezentovanými ztělesněnou mírou nebo referenčním materiálem a odpovídajícími hodnotami, které jsou realizovány etalony

POZNÁMKA 1 Výsledek kalibrace dovoluje buďto přiřazení hodnot měřené veličiny k indikacím nebo stanovení korekcí ve vztahu k indikacím.

POZNÁMKA 2 Kalibrací se mohou rovněž stanovit jiné metrologické vlastnosti, např. účinek ovlivňujících veličin.

POZNÁMKA 3 Výsledek kalibrace může být zaznamenán v dokumentu, který bývá někdy nazýván kalibrační certifikát nebo protokol o kalibraci.

(Takto formulovaná dřívější definice stanoví jen porovnání indikací kalibrovaného měřidla s hodnotami, které jsou realizovány etalonem. Dle POZNÁMKY 3 může metrolog záznam měření publikovat například v Kalibračním listu k naplnění POZNÁMKY 1.)

Odtud tradičně plyne požadavek auditora dokladování kalibrace pracovních měřidel v systémech managementu kvality – předložení Kalibračního listu

Terminologie v metrologii

Aktuální definice pojmu kalibrace dle [VIM 3:2008](#)

2.39 kalibrace

činnost, která za specifikovaných podmínek, v prvním kroku stanoví vztah mezi **hodnotami veličiny** s **nejistotami měření** poskytnutými **etalony** a odpovídajícími **indikacemi** s přidruženými nejistotami měření a, ve druhém kroku, použije tyto informace ke **stanovení vztahu pro získání výsledku měření** z indikace

POZNÁMKA 1 Kalibrace smí být vyjádřena údajem, kalibrační funkcí, **kalibračním diagramem**, **kalibrační křivkou** nebo kalibrační tabulkou. V některých případech se smí skládat z aditivních nebo multiplikativních **korekcí** indikace s přidruženou nejistotou měření.

POZNÁMKA 2 **Kalibrace nemá být zaměňována s justováním měřicího systému**, často mylně nazývané „samokalibrací“ ani s ověřením kalibrace.

POZNÁMKA 3 **Samotný první krok ve výše uvedené definici je často chápán jako kalibrace.**

Terminologie v metrologii

Aktuální definice pojmu v angličtině dle [VIM 3:2008](#)

2.39 calibration

operation that, under specified conditions, **in a first step** establishes the relation between the **quantity values** with **measurement uncertainties** provided by **measurement standards** and the corresponding **indications** with associated measurement uncertainties and, **in a second step**, uses this information to establish a relation for obtaining a **measurement result** from an indication

NOTE 1 A calibration may be expressed by a statement, calibration function, **calibration diagram, calibration curve**, or calibration table. In some cases, it may consist of an additive or multiplicative **correction** of the indication with associated measurement uncertainty.

NOTE 2 **Calibration should not be confused** with **adjustment of a measuring system**, often mistakenly called “selfcalibration”, **nor with verification** of calibration.

NOTE 3 **Often, the first step alone in the above definition is perceived as being calibration.**

Interpretace pojmu kalibrace klasicky a nově

ETALON (pracovní) – REFERENCE

1. krok činnosti kalibrace

klasicky

- metrolog **porovná indikace** s hodnotami veličiny, které poskytuje etalon, **zpracuje** výsledné hodnoty měření včetně nejistot;
- **výsledky dokladuje** v záznamu s názvem např. „Kalibrační list“ (KL);
- **tím pro kalibrační laboratoř výkon kalibrace končí**, je v souladu se zákonnou úpravou a odpovídá obsahu definice dle VIM2:1993 (ČSN 01 0115:1996).

aktuálně (a v souladu s VIM3)

- metrolog – autorizovaný pracovník servisu **porovná indikace** s hodnotami veličiny, které poskytuje etalon a **zpracuje výsledky** měření – **nejistoty neřeší**;
- zapíše výsledky 1. kroku kalibrace na hardware PC měřidla (může provést jen výrobcem autorizovaný a oprávněný subjekt – má k dispozici podklady, hardwarové a softwarové klíče).
- Toto je počátek druhého kroku kalibrace**

MĚŘIDLO, MĚŘICÍ SYSTÉM

2. krok činnosti kalibrace

klasicky a podle VIM3

- uživatel měřidla použije údaje z KL ke korekci indikací svých měření a publikuje výsledky měření;
- je tak realizován druhý krok činnosti kalibrace v souladu s novou definicí podle VIM3:2007 (TNI 01 0115:2009);
- kalibrace se jeví jako dynamický proces; ten končí správným výsledkem měření až po provedeném zákroku uživatele měřidla.

aktuálně

- měřidlo obsluhuje operátor pokyny ve spolupráci s PC;
- snímací systém „ohmatává“ obrobek podle programu a indikace poskytuje hodnoty k softwarovému výpočtu;
- výpočetní software měřidla zpracuje indikace s ohledem na korekční parametry podle mapy a zobrazí správný výsledek.
- Až zobrazením správného výsledku měření je ukončen druhý krok činnosti kalibrace**

VÝSLEDEK MĚŘENÍ

OVĚŘENÍ KALIBRACE – ZKOUŠKOU

POZNÁMKA „softwarová kalibrace“ **neřeší nejistoty** – ověření kalibrace, např. zkouškou, má následovat

Diskuse k pojmu kalibrace

Na základě definice pojmu a praktických poznatků lze konstatovat, že se jedná o posloupnost dílčích činností ve dvou významných skupinách kroků, kde první začíná hodnotami veličiny poskytnutými etalony a druhá končí výsledkem měření (nebo bezprostředně před jeho publikací), který je získán z indikace. Při kalibraci v případě pracovního měřidla je tak činnost ve druhém kroku ukončena v okamžiku, kdy je získáván výsledek každého dílčího měření (nebo opět bezprostředně před jeho publikací), které je měřidlem prováděno s tím, že indikace je korigována na základě znalosti její chyby s referencí. Kalibraci lze v tomto smyslu chápat jako dynamický proces, který se opakuje při každém použití pracovního měřidla při měření.

První poznámka uvádí možnosti vyjádření kalibrace a poskytuje široký výběr veličin. Nelze si však nevšimnout, že proti dřívějším definicím chybí návrh formy záznamu s označením kalibrační certifikát nebo list či protokol o kalibraci.

Diskuse k pojmu kalibrace

Druhá poznámka uvádí pojmy, se kterými nemá být kalibrace zaměňována, a je tedy upozorněním. Pojem „ověření kalibrace“ ve VIM není explicitně definován, je ale provázán s pojmem 2.44 ověřování [1] a je zřejmé, že „ověření kalibrace“ je činnost, která po kalibraci následuje. Nejsou-li splněny specifikované požadavky měřidla, je to signál k opakování procesu kalibrace a jejímu opakovanému ověření.

Třetí poznámka je u nás rozporuplně vykládána v protichůdných smyslech. Extenzivní výklad je, že ke kalibraci stačí měřidlo pouze proměřit v prvním kroku a druhý krok činnosti není nezbytný. Tento výklad je dle našeho názoru nesprávný, protože **cílem kalibrace je přesné měření (ne měřidlo)** předem seřízeného a precizního měřidla. Hlavním důvodem je dále skutečnost, **že jde o poznámku k definici samotné a nikoliv o výjimku**, která by takový výklad umožňovala; poznámkou nelze rušit obsah definice. V kontextu originálu VIM3 je to upozornění na to, že za kalibraci bývá vydávána jen činnost v prvním kroku, aniž by aktivně mohla být ovlivněna indikace, a vyjadřuje, že **ke kalibraci jsou nutné činnosti v obou krocích** ([emailová korespondence](#) k tomu).

Pro posouzení uvádíme originální text třetí poznámky, kde v překladu do češtiny není dodržena dikce (v případě sporného výkladu má text originální verze prioritu):

„Often, the first step alone in the above definition is perceived as being calibration.“

(V češtině jsou dvě slova, která nemají ekvivalentní v angličtině – lítost a prozvonění)

Blokové schéma souřadnicového měřicího stroje (CMM)

system souřadnic (pravoúhlý)

PRACOVNÍ ETALON – REFERENCE

měřicí systém

snímací systém

KALIBRACE

INDIKACE

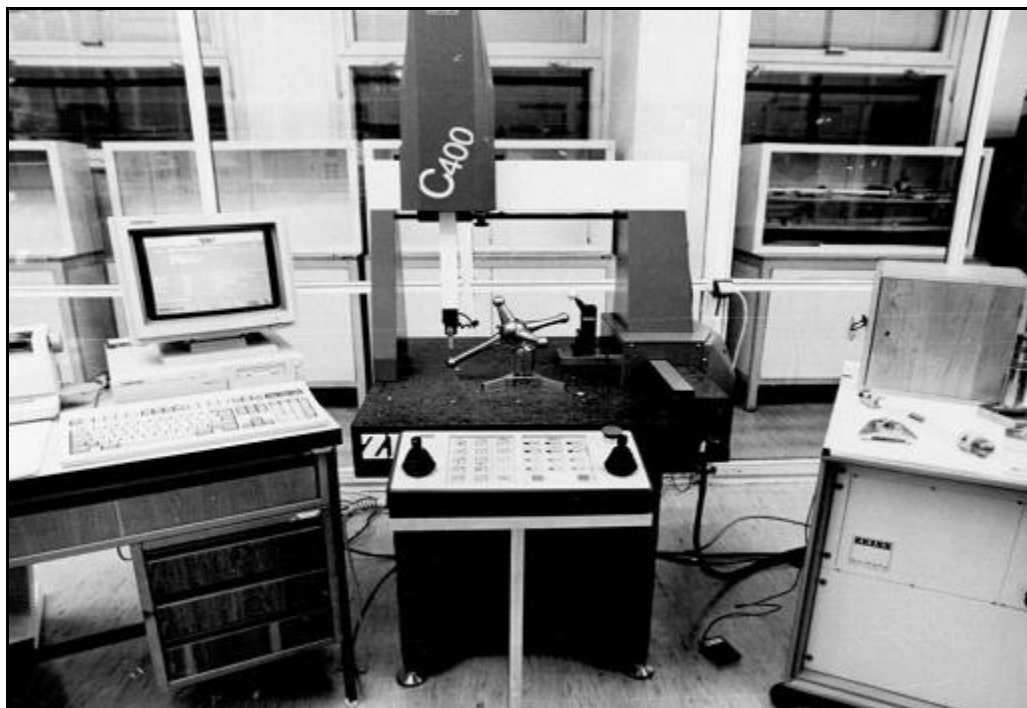
HARDWARE

řídící systémy CMM
controler CMM, pohony, počítač
kategorie PC, probe head
controler, probe interface, ...

SOFTWARE

uživatelský – operační systém
výpočetní programy měření

servisní – diagnostické a kalibrační
programy, postupy, ...

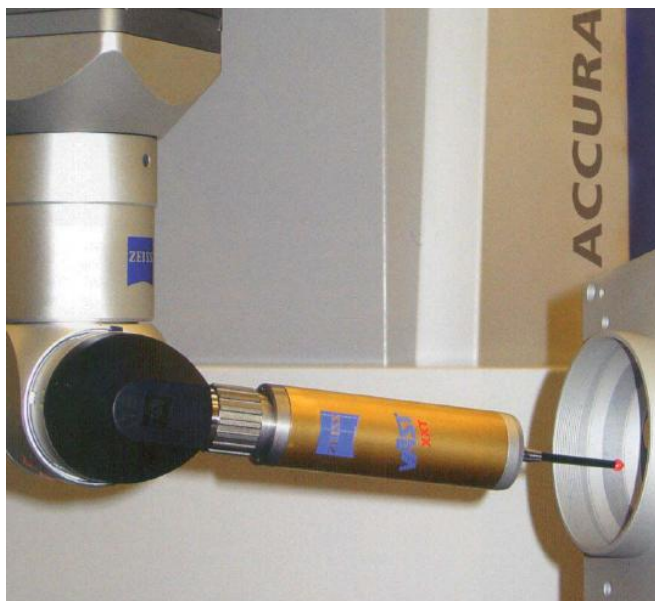


VÝSLEDEK MĚŘENÍ

OVĚŘENÍ KALIBRACE

operátor CMM – metrolog

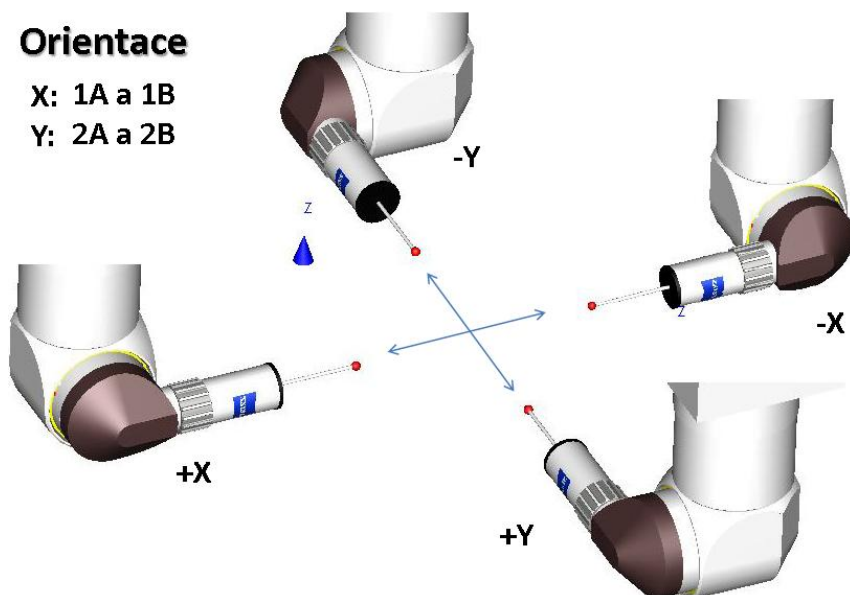
Ukázka snímacích systémů



Orientace

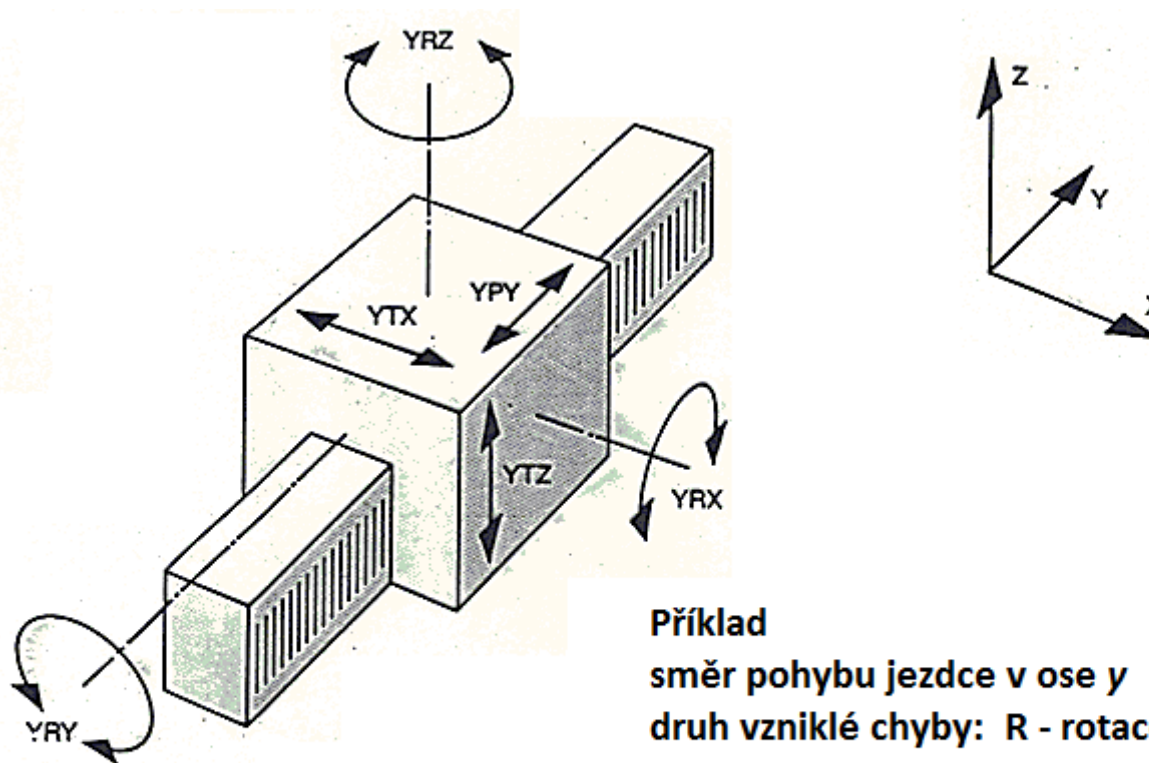
X: 1A a 1B

Y: 2A a 2B



Kinematické schéma vedení stroje ve směru osy (y)

Vedení stroje má ve směru pohybu v každé ose 6 následujících stupňů volnosti;
dle obrázku to jsou tři rotační s označením YRY, YRX, YRZ,
dva translační v rovinách YTX a ZTY a konečně jeden polohový YPY



Příklad

směr pohybu jezdce v ose y

druh vzniklé chyby: R - rotace

T - translace

P - poloha

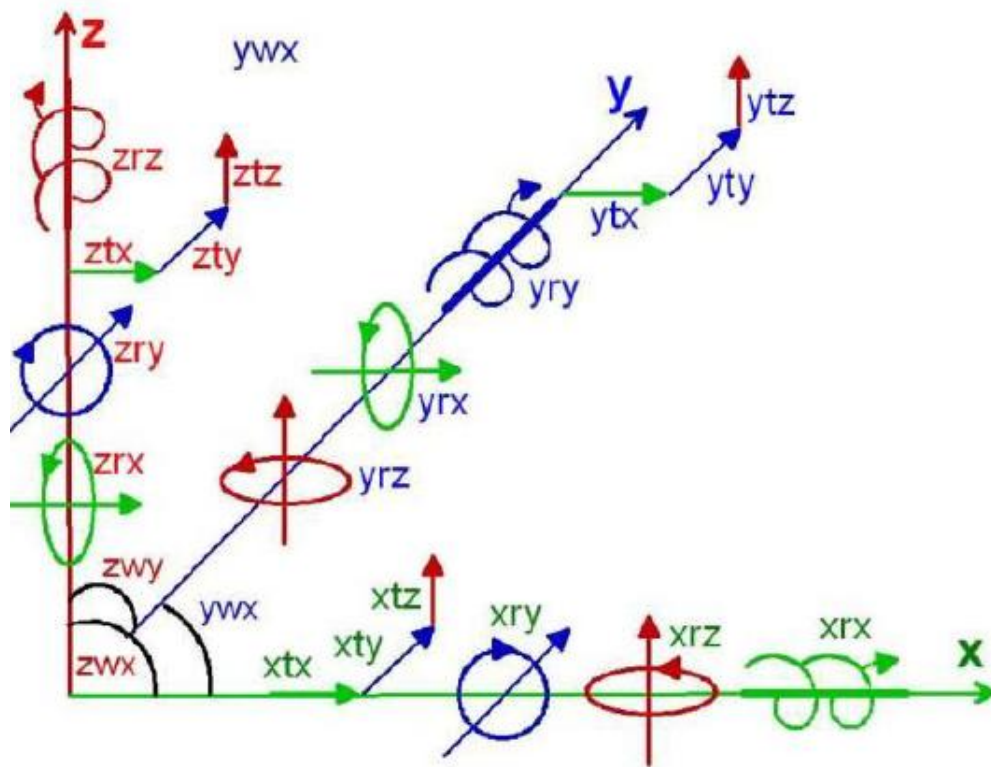
**X, Y a Z - osa, do které se chyba
projevuje**

Kinematické schéma stroje (VS&CMM) v pravoúhlých souřadnicích

Vedení stroje má ve směru pohybu v ose 6 následujících stupňů volnosti; pro osu x:

- rotační xry, xrz a xrx,
- translační xty a xtz
- polohový xtx

To má při výrobě stroje za následek vznik tří rotačních chyb, dvou chyb přímosti a chyby polohování v každé ose. Další tři chyby při stavbě stroje jsou dány přesností seřízení pravoúhlosti jednotlivých vedení. Jedná se tak tři chyby pravoúhlosti.



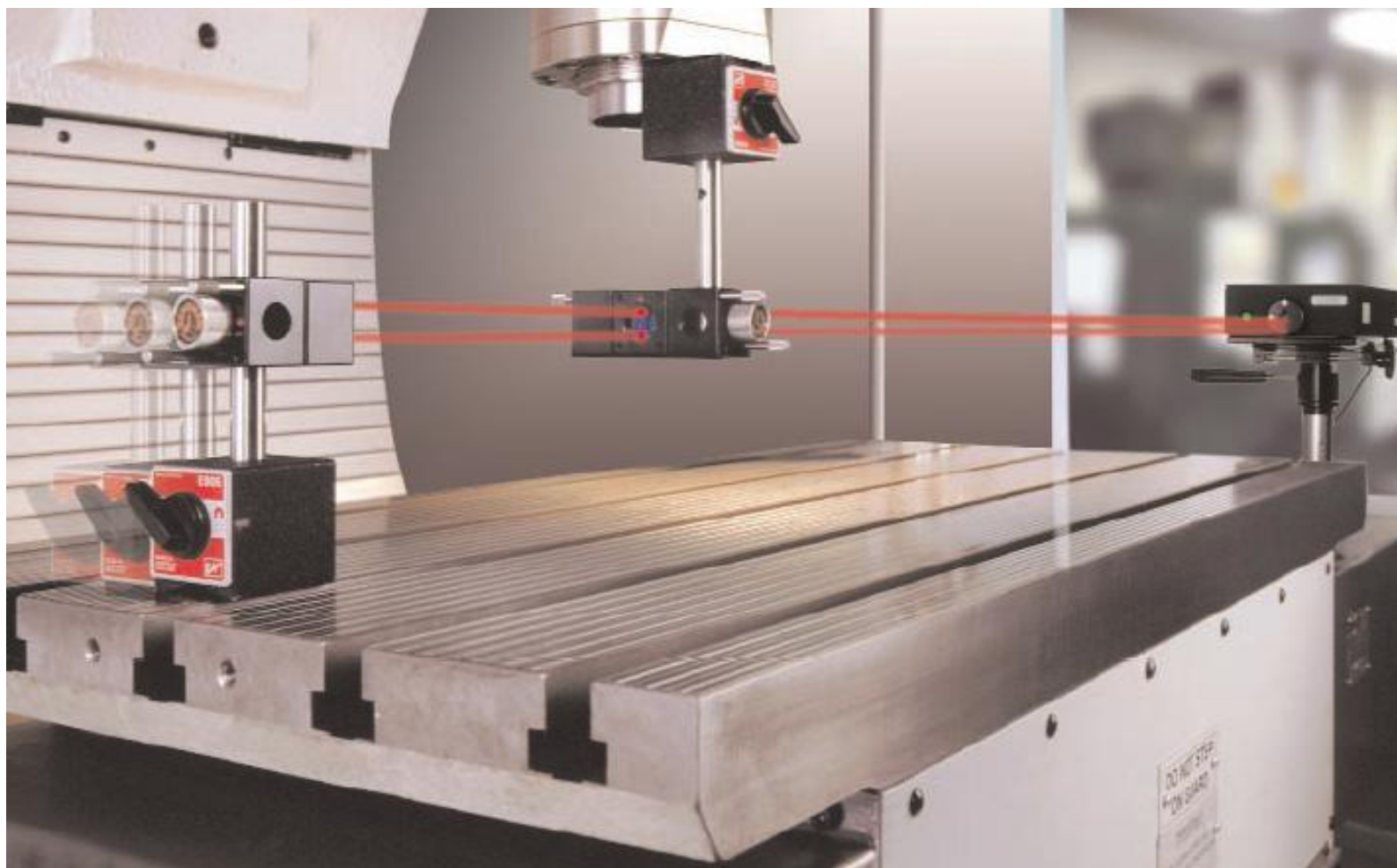
Schematické znázornění chyb stroje

V důsledku toho má tak každý VS i CMM, pracující ve standardním pravoúhlém prostoru, nejméně 18 chybových funkcí s nelineárním průběhem a 3 konstantní chyby pravoúhlosti; celkem 21 položek.

Nezbývá nám, než při výrobě stroje a jeho seřízení tyto chyby zjistit měřením a dostupnými prostředky minimalizovat tak, aby vyrobený stroj odpovídal specifikaci – opravou hardware nebo softwarově.

Chybových položek může být u jednoúčelových VS méně; standardně ale u současných VS a CMM i více.

Moderní (pseudomoderní) metody při stavbě strojů a CMM (s využitím laseru a výpočetní techniky)



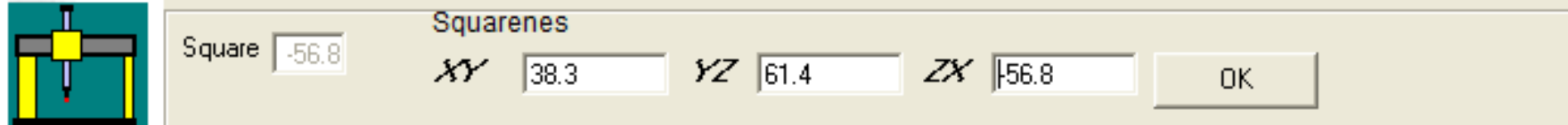
Náhled PrtScr mapy korekcí (1. část) ve směru souřadných os x a y

Step	Rxx	Rxy	Rxz	Lxx	Lxy	Lxz
.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
100.0	.0	3.7	1.8	-19.1	-.6	-.2
200.0	2.0	4.7	4.4	-33.6	-2.0	-.7
300.0	2.0	5.7	7.8	-48.2	-2.3	-.5
400.0	2.0	6.1	10.2	-62.9	-2.1	-.1
500.0	3.0	6.8	12.9	-77.4	-2.3	-.4
600.0	4.0	7.3	15.7	-92.5	-2.0	-.6
700.0	4.0	8.0	18.5	-107.9	-.9	.2
800.0	5.0	9.5	21.4	-123.1	.0	.0
900.0	5.0	9.7	22.6	-138.2	.6	.2
1000	6.0	9.9	20.6	-157.2	.0	.0

Step	Ryx	Ryy	Ryz	Lyx	Lyy	Lyz
.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
50.0	-3.2	-3.0	-14.6	-2.2	-8.3	1.4
100.0	-6.8	-6.0	-26.7	-5.1	-17.0	2.7
150.0	-8.8	-8.0	-36.7	-6.4	-25.5	3.6
200.0	-10.9	-9.0	-44.9	-7.4	-30.6	4.4
250.0	-12.8	-9.0	-51.2	-7.8	-38.1	4.6
300.0	-15.5	-10.0	-57.6	-7.3	-45.1	5.3
350.0	-18.3	-10.0	-63.9	-7.2	-51.6	5.5
400.0	-21.0	-10.0	-69.5	-6.9	-58.3	5.0
450.0	-22.8	-12.0	-72.2	-5.8	-64.5	5.2
500.0	-23.4	-13.0	-72.9	-5.0	-70.5	4.9
550.0	-23.3	-14.0	-71.1	-4.0	-75.9	4.2
600.0	-23.4	-16.0	-67.9	-2.4	-80.6	2.6
650.0	-26.3	-19.0	-66.1	-.9	-85.1	1.2
700	-31.7	-21.0	-66.1	.0	-89.8	.0

Náhled PrtScr mapy korekcí (2. část) ve směru souřadné osy x a tabulka chyb pravoúhlosti os x, y a z v příslušných rovinách

Step	Rzx	Rzy	Rzz	Lzx	Lzy	Lzz
.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
-50.0	10.0	-8.0	1.0	-.7	2.9	6.5
-100.0	18.0	-15.0	-2.2	-1.2	6.2	13.3
-150.0	23.0	-20.0	-2.7	-2.6	9.1	20.5
-200.0	25.0	-22.0	-3.0	-2.9	11.2	27.7
-250.0	25.0	-23.0	1.8	-2.7	12.6	34.7
-300.0	26.0	-22.0	5.6	-1.8	13.8	41.4
-350.0	26.0	-20.0	11.0	-.2	14.6	49.0
-400.0	23.0	-19.0	11.0	2.1	13.7	56.4
-450.0	20.0	-19.0	5.7	3.0	12.7	63.6
-500.0	20.0	-21.0	6.8	2.3	12.3	70.9
-550.0	16.0	-22.0	9.0	.6	9.3	78.6
-600.0	12.0	-23.0	9.2	-.4	3.1	86.1
-650.0	11.0	-22.0	1.8	-.1	.5	92.6
-660	11.0	-21.0	-1.5	.0	.0	93.8



Kompletní mapa tohoto CMM obsahuje 18 funkcí a tři konstanty

Diskrétně uvedené hodnoty mohou být hodnoty chyb nebo korekcí; rozměr a polarita jsou stanoveny programátorem a zapsány autorizovaným a oprávněným servisním technikem k softwarovému výpočtu

Příklad sloupového CMM, provedení dvoupinoly, s více funkcemi ke korekci



Ověření kalibrace CMM zkouškou

Specifikace způsobilosti CMM podle mezinárodní normy řady ČSN EN ISO 10360-2

- 1) zkouška chyby indikace (**údaje o výsledku**) kalibrované zkušební délky pomocí snímací hlavy bez jakéhokoliv odsazení hrotu snímacího doteku (E_0 , $E_{0\text{ MPE}}$)
- 2) zkouška chyby indikace (**údaje o výsledku**) kalibrované zkušební délky pomocí snímací hlavy se specifikovaným odsazením hrotu snímacího doteku (E_L , $E_{L\text{ MPE}}$)
- 3) zkouška opakovatelnosti měření kalibrované zkušební délky (R_0)

POZNÁMKY Dřívější zkouška chyby snímání MPE_P byla z této normy vypuštěna a je důrazně doporučeno, aby byla realizována podle (ČSN EN) ISO 10360-5 a „indikace“ by měla být vhodněji uvedena jako „údaj“, protože indikace zůstává uvnitř CMM.

Standardní specifikace:

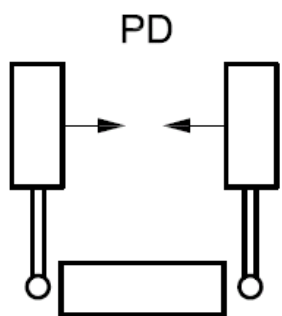
- 1) $E_{0\text{ MPE}} = A + B \times L / 1000$ [μm],
- 2) $E_{L\text{ MPE}} = A + B \times L / 1000$ [μm] a
- 3) $R_0 = C$ [μm]

kde L je dosazeno v milimetrech

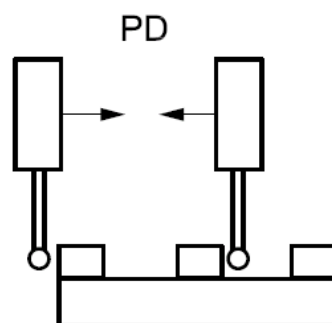
Má se realizovat zkouška pěti délek (kde každá se měří třikrát) ve směru všech souřadných os a všech prostorových úhlopříček pracovního prostoru CMM (7 skupin).

Tato zkouška obnáší minimálně 105 dílčích měření délky

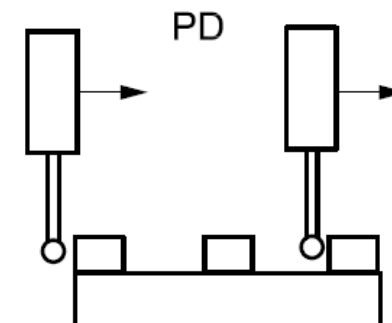
Metody zkoušení způsobilosti CMM



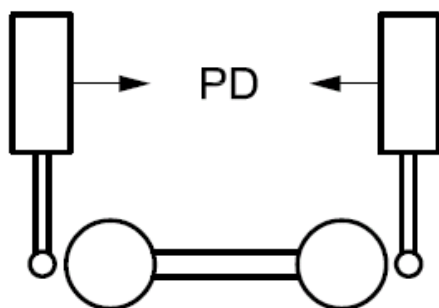
1) koncová měrka vně



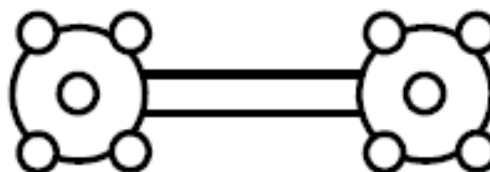
2) stupňová měrka vně



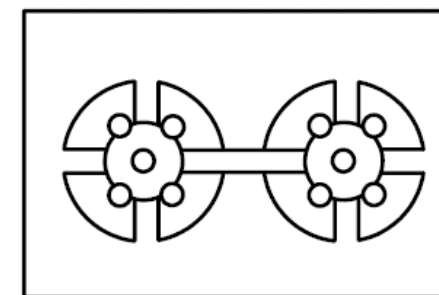
3) stupňová měrka JS



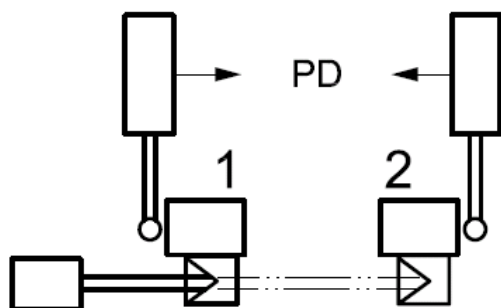
4) ball bar vně



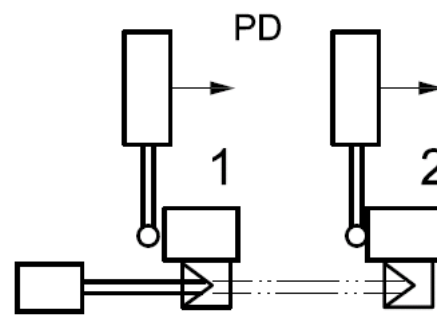
5) ball bar JednoSměrně



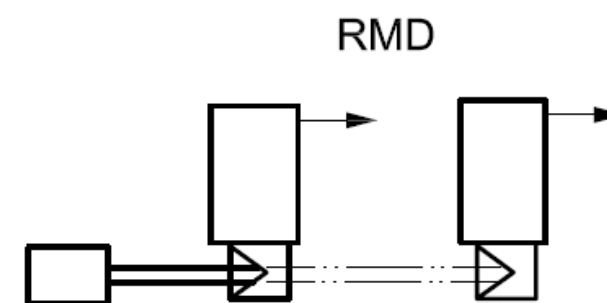
6) ball plate JednoSměrně



7) laserinterferometr vně



8) LI JednoSměrně



9) LI bezdotykově

Diskuse

- 1) standardní metoda zkoušky (ČSN EN ISO 10360-2:2002)
- 2) aplikace standardní metody zkoušky s možností měření více délek kombinací
- 3) aplikace standardní metody zkoušky s eliminací průměru hrotu doteku
- 4) aplikace standardní metody zkoušky s diskutabilním bodem snímání na koulích
- 5) aplikace standardní metody zkoušky s eliminací průměru hrotu doteku s možností měření více délek kombinací na přímce
- 6) aplikace standardní metody zkoušky s eliminací průměru hrotu doteku s možností měření více délek kombinací v rovině
- 7) aplikace standardní metody zkoušky typicky použita u CMM velkých rozsahů
- 8) aplikace standardní metody zkoušky typicky použita u CMM velkých rozsahů s nutným doplňkovým obousměrným měřením (vně)
- 9) může být účelné nahradit snímací systém retroreflektorem a nemohou být zohledněny kompenzace. **Z toho plyne podstatně větší chyba, než u dotykového snímání.**

POZNÁMKA 1 všechny **jednosměrné metody** (JS – stupňová měrka, ball bar, ball plate a s využitím laserinterferometru) **musí být doplněny obousměrnými měřeními**

POZNÁMKA 2 stupňová měrka a ball plate jsou **méně vhodné** do standardních laboratoří výrobních subjektů **z důvodů velké tepelné setrvačnosti** v běžných klimatických podmínkách

Dodavatelská specifikace

$E_{0\text{ MPE}} = 2,0 + 4 \times L / 1000$ [μm],
kde L je dosazeno v milimetrech

Dodavatel uvádí specifikaci s požadavky dodržení teplotních podmínek, délky doteku, jmenovitého průměru hrotu doteku, ...

S uvedením nejistoty ke specifikaci jsem se nesetkal.

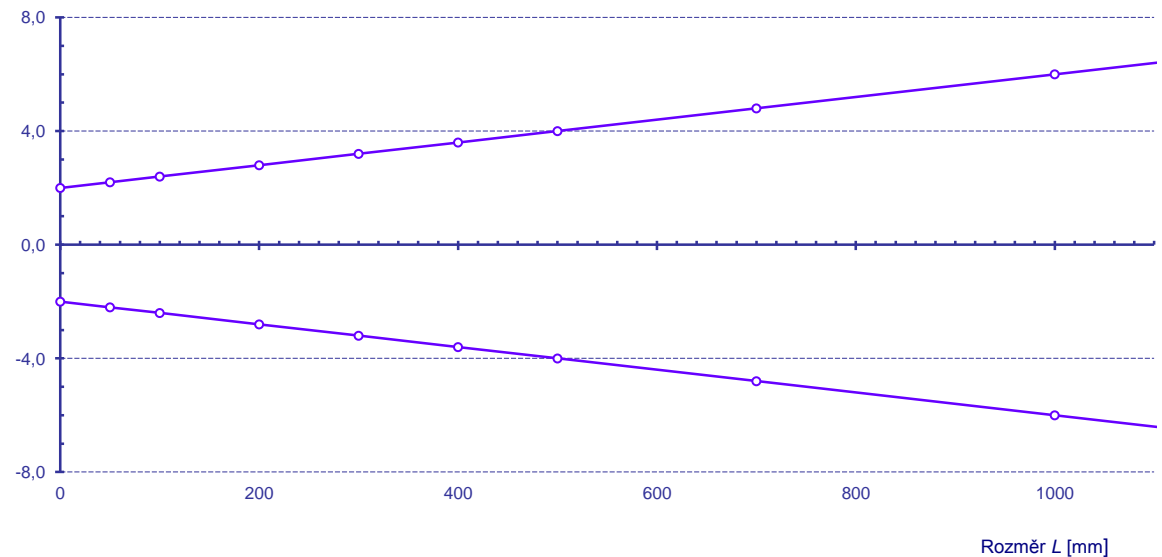
Dodávka – převímka

$E_{0\text{ MPE}} = 2,0 + 4 \times L / 1000$ [μm]

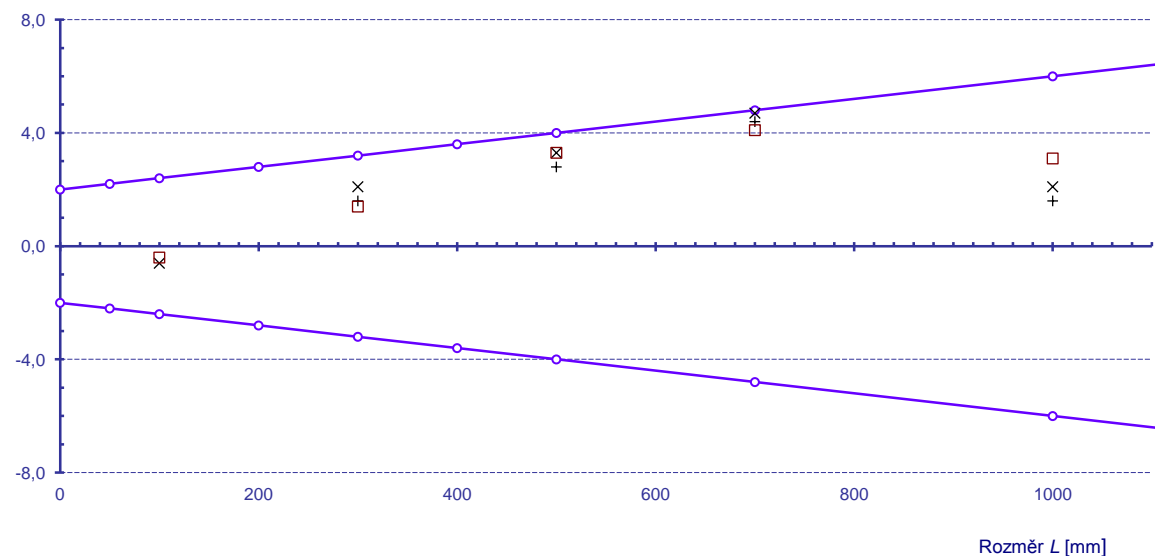
Dodavatel při převímací zkoušce zpravidla

(bezprostředně po provedené montáži, seřízení a softwarové kalibraci) specifikované podmínky dodrží.

E [μm] Chyby měření délky EL CMM podle ČSN EN ISO 10360-2



E [μm] Chyby měření délky EL CMM podle ČSN EN ISO 10360-2



Nezávislá kalibrační laboratoř

$$E_{0 \text{ MPE}} = 2,5 + 5 \times L / 1000 [\mu\text{m}]$$

Metrolog ve spolupráci s operátorem CMM provede měření kalibrovaných zkušebních délek, stanoví odhad reálné specifikace a uvede nejistoty, které však zpravidla nejsou zakresleny do grafické interpretace.

Nezávislá zkušební laboratoř

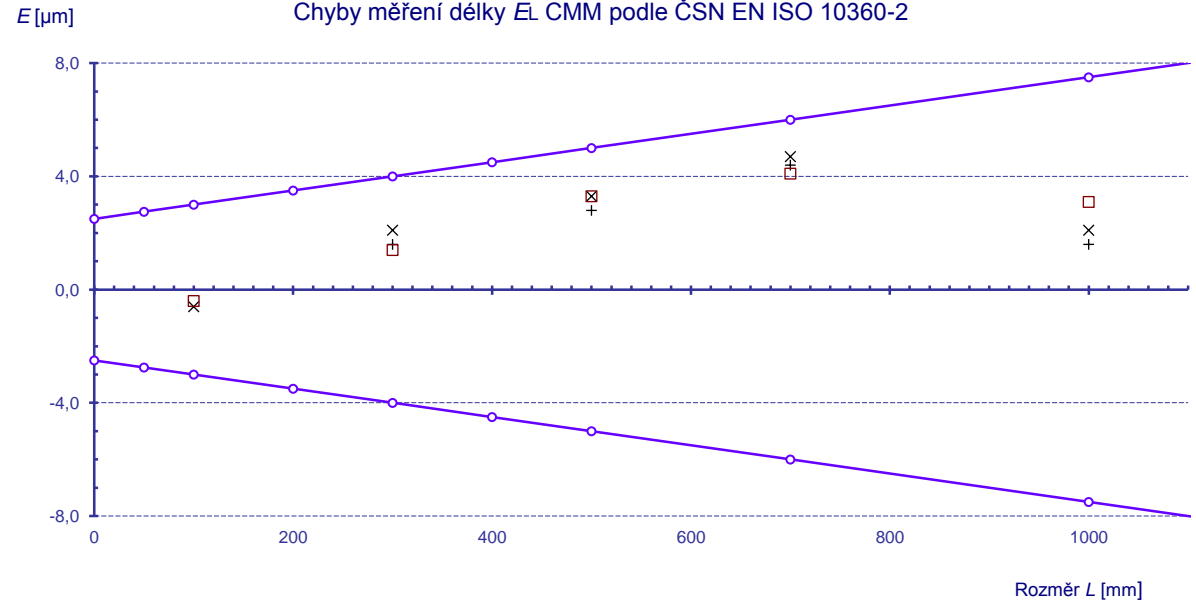
$$E_{0 \text{ MPE}} = 2,0 + 4 \times L / 1000 [\mu\text{m}]$$

Metrolog ve spolupráci s operátorem CMM provede měření kalibrovaných zkušebních délek a vynese do grafu.

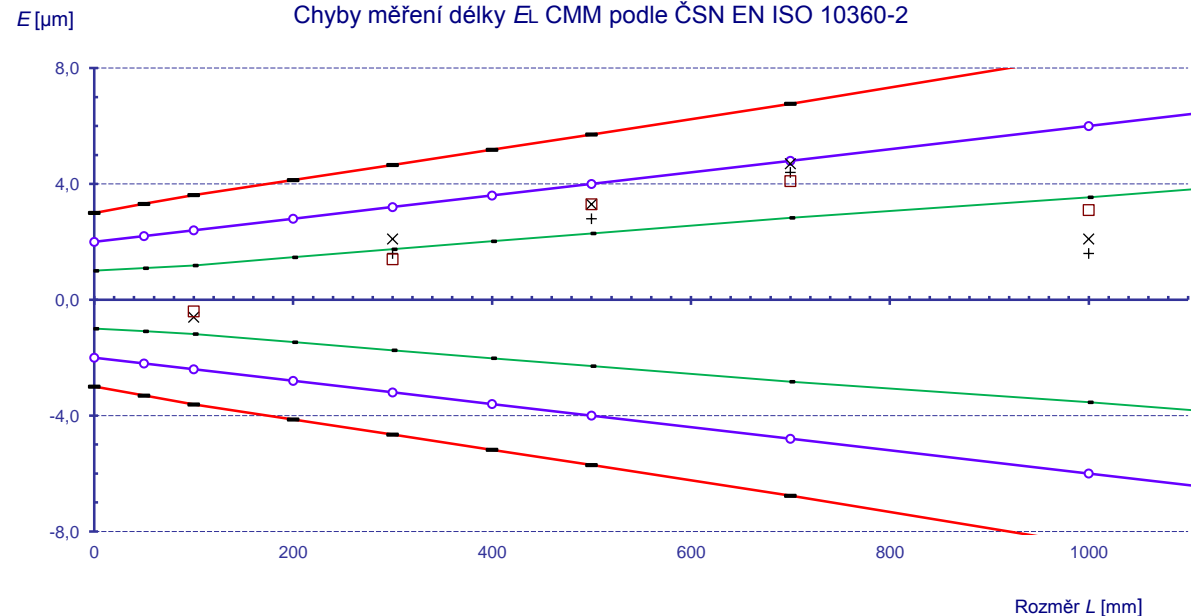
V relaci s ČSN EN ISO 14253-1 výsledky interpretuje:

SHODA, NESHODA a uvedený příklad v V PÁSU NEJISTOT

Chyby měření délky EL CMM podle ČSN EN ISO 10360-2



Chyby měření délky EL CMM podle ČSN EN ISO 10360-2



Varianta zkušební laboratoře s rozšířením specifikace o nejistotu k prokázání shody do certifikovaného systému managementu kvality – tam, kde to SMQ umožňuje

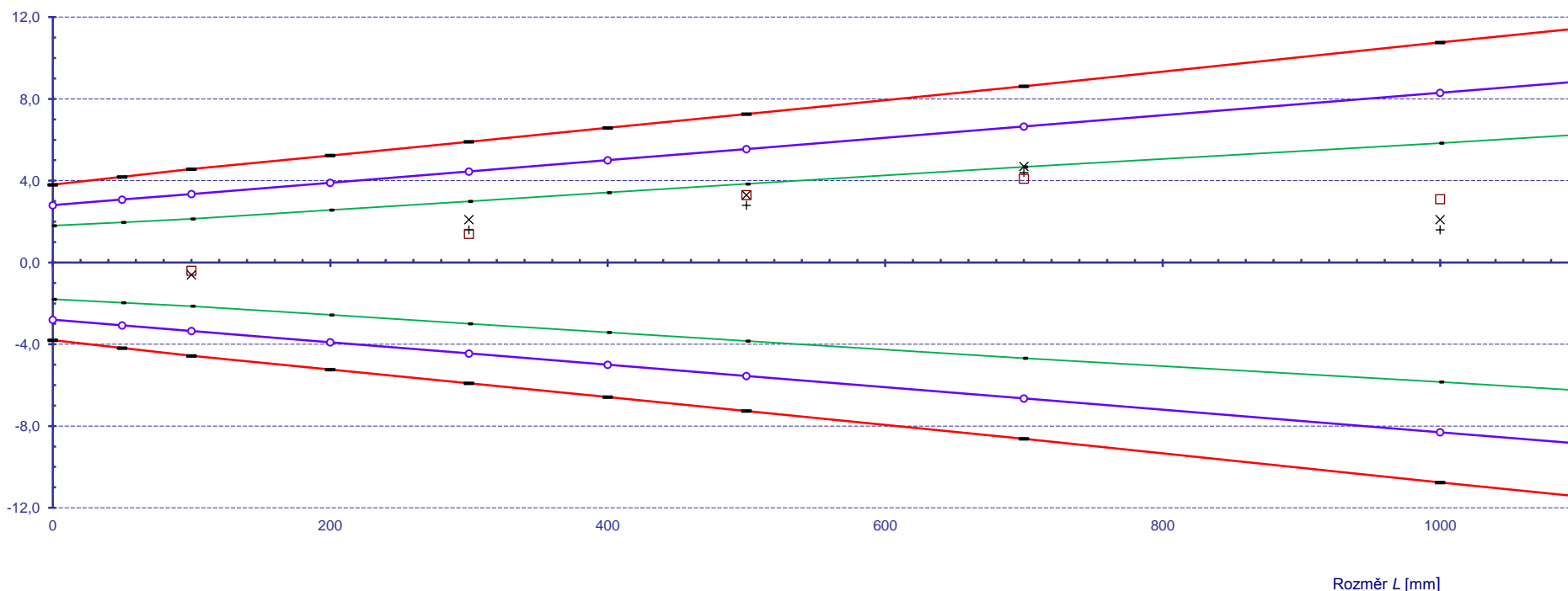
$$E_{0\text{ MPE}} = 2,8 + 5,5 \times L / 1000 [\mu\text{m}]$$

Odhady nejistot v závislosti na délce kalibrované zkušební délky

Jmenovitá hodnota L [mm]	0	50	100	200	300	400	500	700	1000
Nejistota U [μm]	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	2,0	2,5

E [μm]

Chyby měření délky EL CMM podle ČSN EN ISO 10360-2



Nejistoty

Podle GPS mezinárodní normy ČSN EN ISO 14253-2 je rozšířená nejistota zkoušky CMM pro různé délky dána např. vzorcem:

$$U_i = 2 \times u_{ci} = 2 \times \sqrt{u_{ET}^2 + u_{KK}^2 + \sum u_{jk}^2}, \text{ kde}$$

u_{ET} je nejistota pracovního etalonu, který poskytuje referenční hodnotu délky

L [mm]	odchylka [μm]	rozpětí délky [μm]	třída přesnosti
700	+1,07	0,13	0

Konvenční hodnota délky = jmenovitá délka + odchylka s uvedeným znaménkem
 Nejistota měření: $U = (0,05 + 0,5L) \mu\text{m}$ Ljmenovitá délka v metrech

u_{KK} je nejistota, odvozena z kalibračního listu kvalifikační koule

Durchmesser: Diameter:	25.0009 mm	Messunsicherheit Uncertainty: ± 0.8 μm
Rundheit: Form deviation:	0.14 μm	Messunsicherheit Uncertainty < 0.08 μm

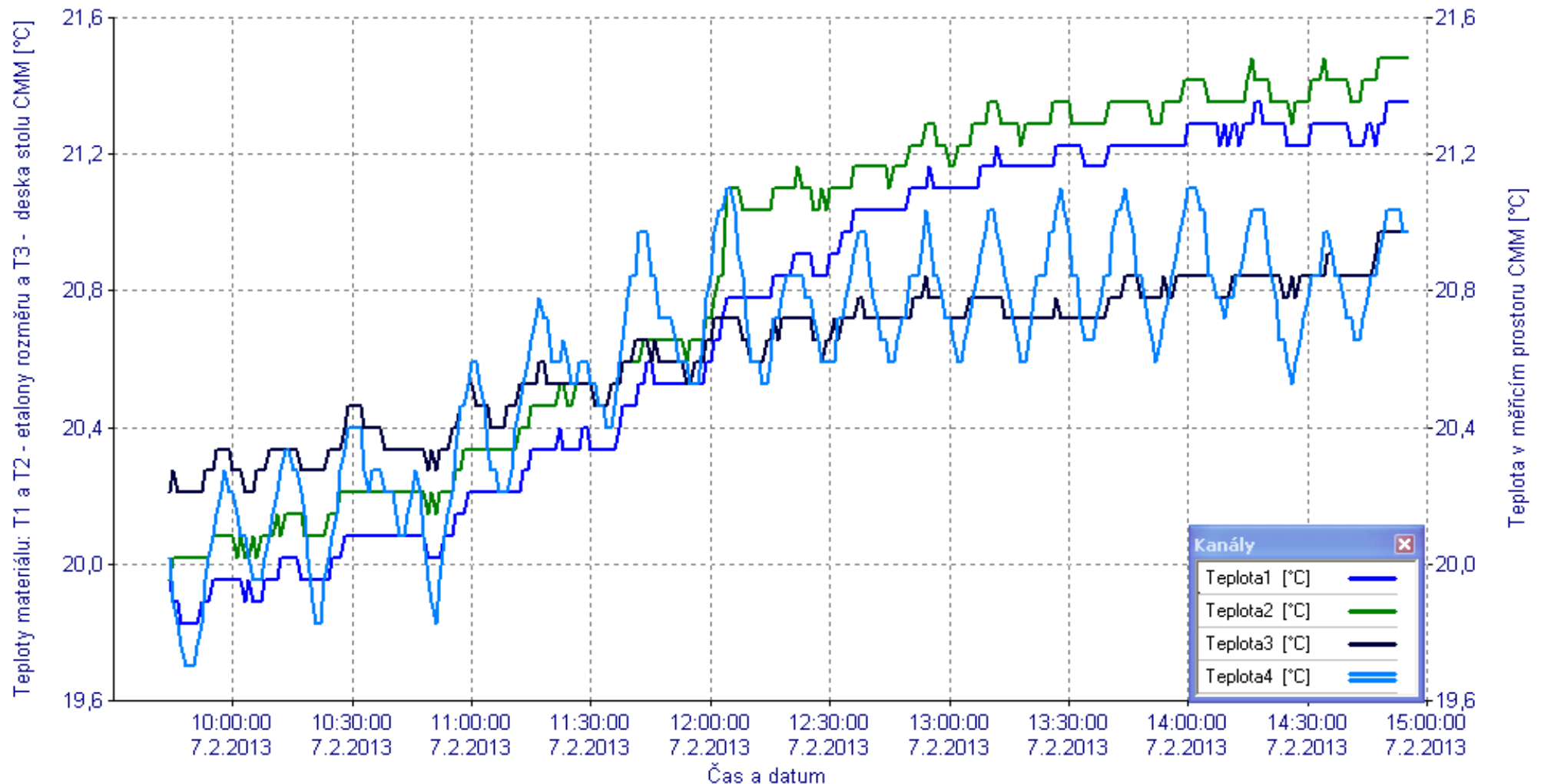
u_{jk} jsou ostatní reálné složky kombinované nejistoty, které je třeba dovodit z průběhu měření (přednostně teplotní vlivy v laboratoři a ostatní)

Z uvedeného je patrné, že jen první dvě složky kombinované nejistoty přispívají do rozšířené nejistoty hodnotou 1,0 až 1,5 μm na zkoušené délce 700 mm

Záznam teplotních podmínek zkoušky CMM

(standardní růst teploty v provozních podmínkách zkoušky CMM)

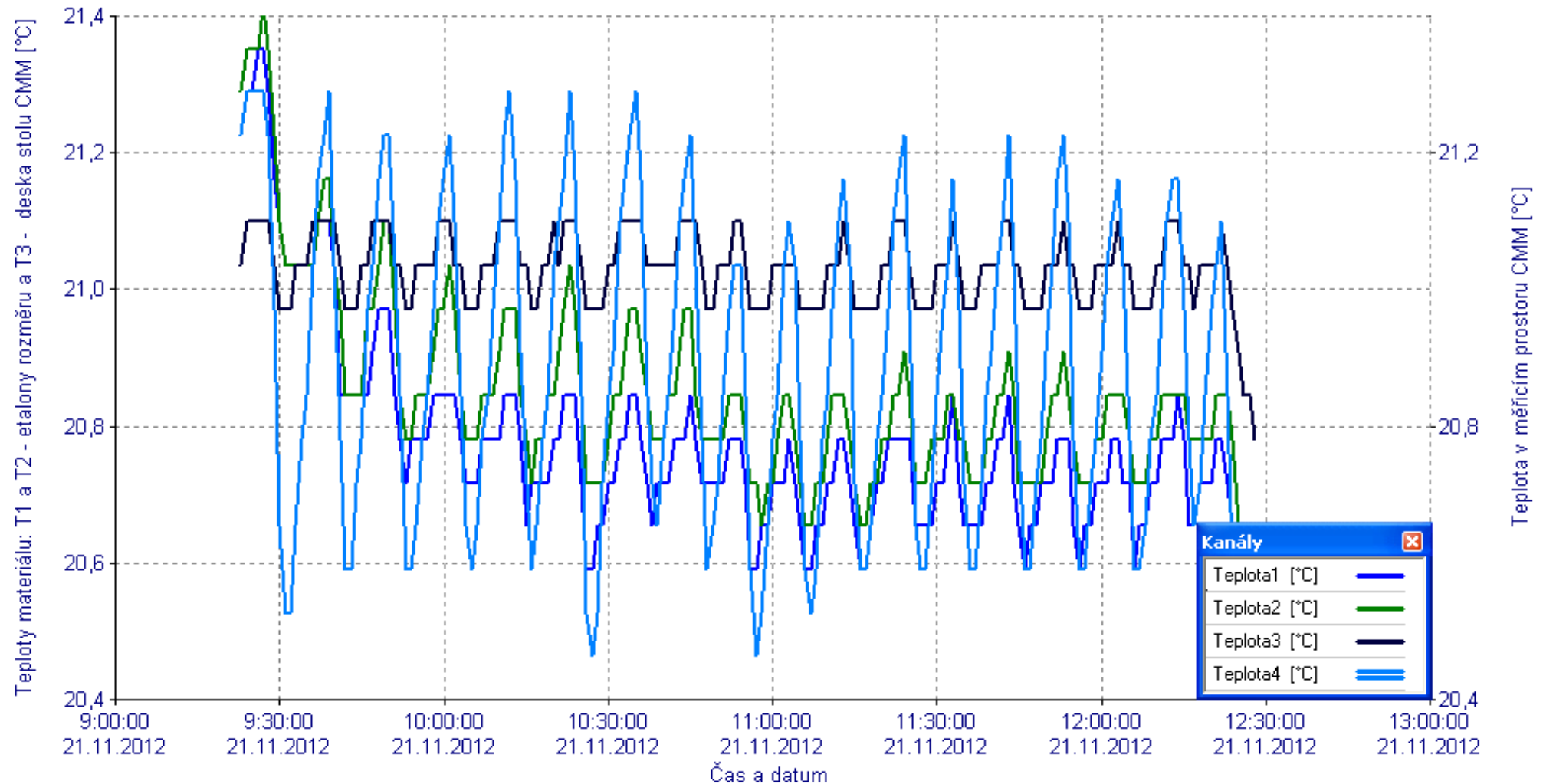
Teplota okolního prostředí a materialu v laboratoři CMM



Záznam teplotních podmínek zkoušky CMM

(„ostrá“ klimatizace, evidentně zapnuta krátce před zkouškou CMM)

Teplota prostředí v prostoru CMM a materialu



Čím se liší výrobní stroj od souřadnicového měřicího stroje?

1. **Zásadní rozdíl** mezi VS a CMM

VS produkuje obrobek, součást,
kdežto

CMM poskytuje výsledky měření obrobku, součásti

2. Rozdíl mezi VS a CMM **z pohledu konstruktéra**

VS obrábí ve zpevněném stavu – robustní konstrukce
kdežto

CMM snímá polohu bodu v dynamickém režimu
a je požadován volný pohyb odlehčené konstrukce

3. Rozdíl mezi VS a CMM z pohledu metrologa, který je zkouší

u VS zjišťuje **úchyly polohy** x_{ij} , kdežto u CMM zjišťuje jeho **chyby** E

Úchylna polohy, polohová úchylna x_{ij} [ČSN ISO 230-2:1999, 2.5]

rozdíl mezi skutečnou polohou, dosaženou nastavovanou částí a zadanou polohou

$$x_{ij} = P_{ij} - P_i$$

kde P_i je **zadaná poloha** [ČSN 230-2:1999, 2.3]

a P_{ij} je **skutečná poloha** [ČSN 230-2:1999, 2.4]

Chyba měření, chyba E [dle terminologie VIM, 2.16 nebo TNI 01 0115:2009, 2.16]

naměřená hodnota veličiny minus **referenční hodnota veličiny**

$$E = y - RQV$$

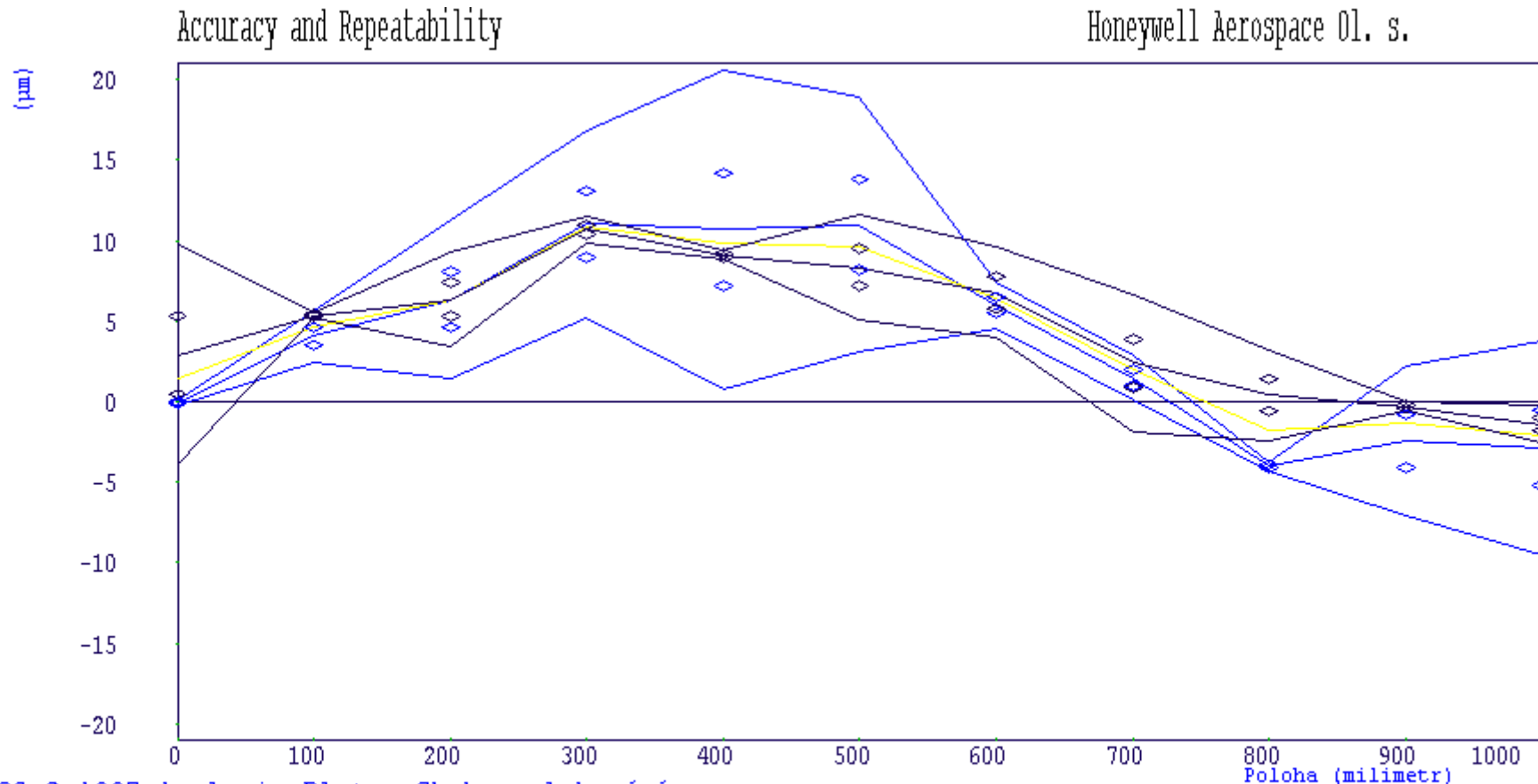
kde RQV je **reference quantity value**

Odchylna – není v metrologii definována, dříve [ČSN 01 0115:1996, 3.10]

dřívější již neplatný text – výsledek měření minus pravá hodnota měřené veličiny

Úchylna – tento pojem není v metrologii definován; **přesto je používán**

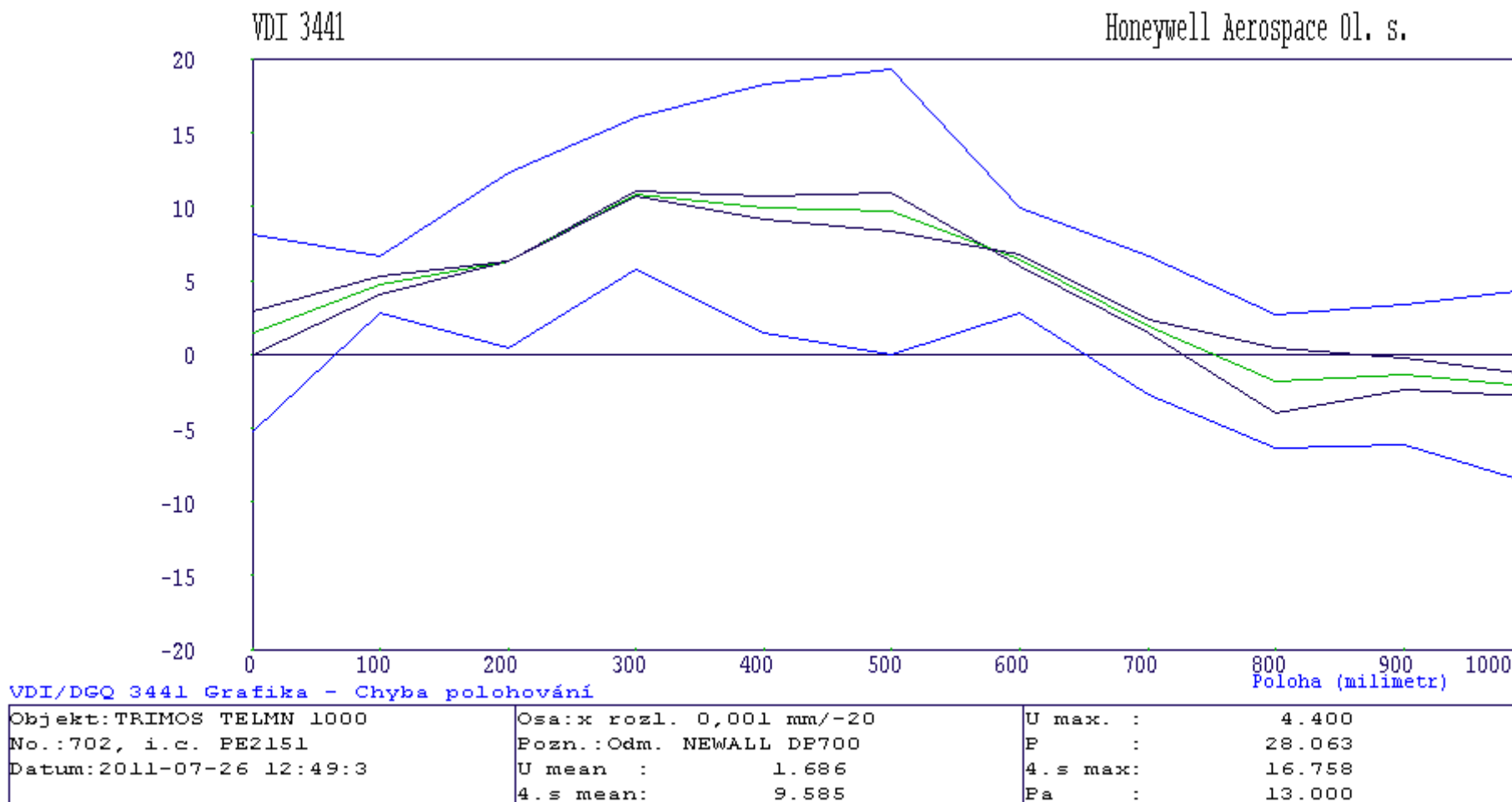
Příklad vyhodnocení **úchylny polohy X_{ij}** výrobního stroje tétož souboru dat, nasnímaných laserinterferometrem dle ČSN ISO 230-2:1999



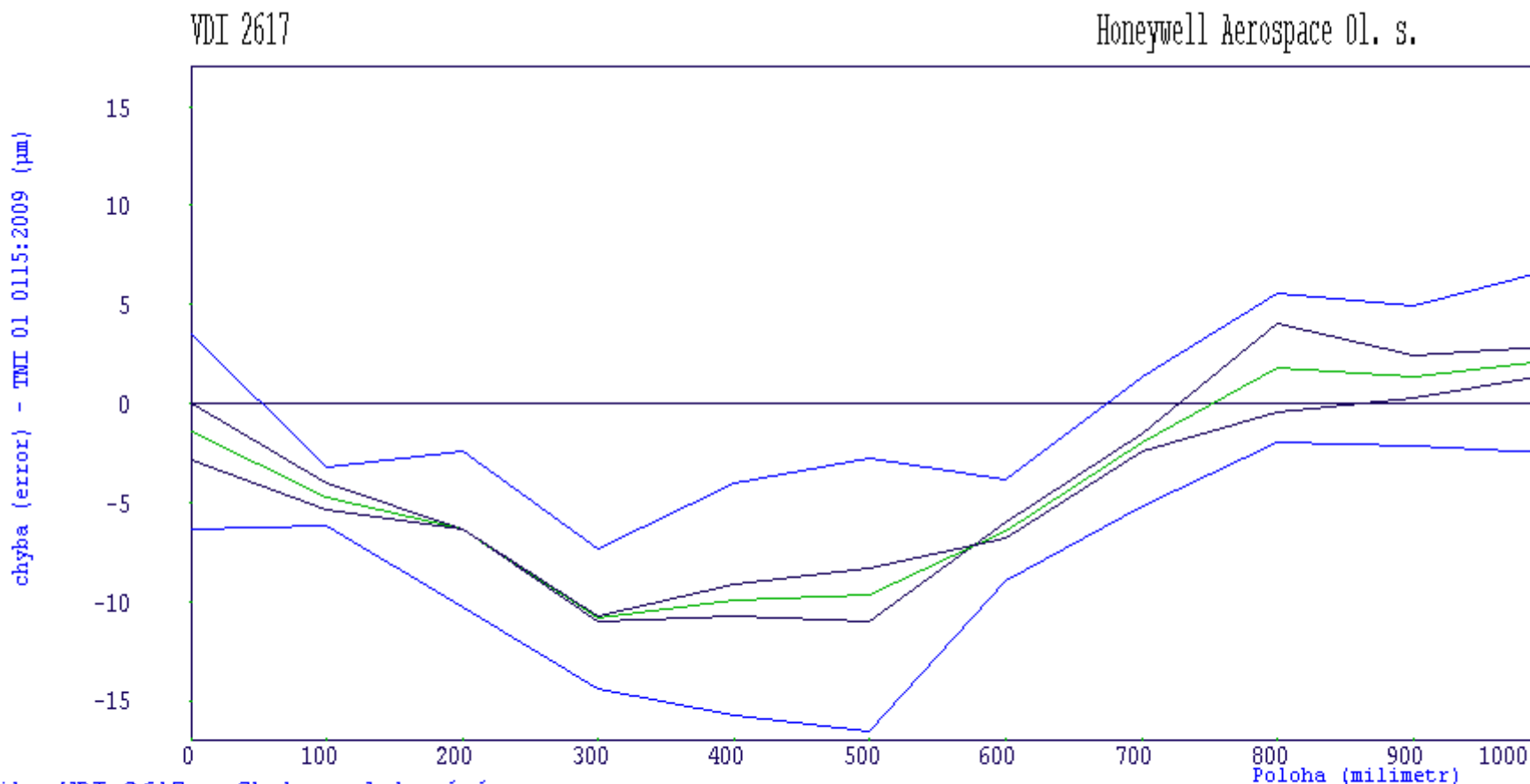
ISO 230-2 1997 Analysis Plot - Chyba polohování

Objekt: TRIMOS TELMN 1000	Mean Dev.M: 13.000	Reversal B : 4.400
No.: 702, i.c. PE2151	Sys.Dev.E : 15.050	Accuracy A+: 30.096
Datum: 2011-07-26 12:49:3	Repeat.R+ : 19.799	Accuracy A-: 15.491
Osa: x rozl. 0,001 mm/-20	Repeat.R- : 13.576	Accuracy A : 30.096

Příklad vyhodnocení chyby polohování P výrobního stroje téhož souboru dat, nasnímaných laserinterferometrem dle VDI/VDE 3441:1977



Příklad vyhodnocení chyby E měřidla souboru dat, nasnímaných laserinterferometrem dle VDI/VDE 2617



Grafika VDI 2617 - Chyba polohování

Objekt: TRIMOS TELMN 1000	Osa: x rozl. 0,001 mm/-20	U max :	4.400
No.: 702, i.c. PE2151	Pozn.: Odm. NEWALL DP700	P :	23.325
Datum: 2011-07-26 12:49:3	U mean :	4.s max:	11.172
	4.s mean:	Pa :	13.000

SOUHRN

- **Návaznost měřidel** v systémech kvality jednoznačně **požaduje kalibraci a zavedenou hierarchii kalibrace**.
- Kalibrace podle TNI 01 0115:2009 (VIM 3:2007) je metrologická činnost ve dvou krocích, kde v prvním kroku zjistíme chyby, aby tyto ve druhém kroku byly k dispozici ke korekci; zobrazení metrologicky správné indikace. **Obsah pojmu se nemění**.
- „Kalibrační list“ v definici pojmu 2.39 kalibrace není požadován; Proti definicím VIM 1 a 2 vypadla poznámka, že výsledek kalibrace „může“ být doložen.
- „KALIBRAČNÍ LIST“ není totéž, co metrologická činnost „KALIBRACE“ **Kalibrační list je jen jednou z možností**, jak realizovat činnost ve druhém kroku kalibrace a ve většině případů komunálních měřidel plně postačující. Pasivní vypsání naměřených hodnot bez dalšího užití, možnosti korekce (jak se to CMM děje), nelze považovat za splnění druhého kroku činnosti kalibrace v souladu s definicí v TNI 01 0115:2009 (VIM 3:2007).
- V některých případech měřicích systémů, zpravidla řízených výpočetní technikou, nelze použít informace o chybách, které jsou zaznamenány v „Kalibračních listech“. PC si tyto informace nedokáže přečíst a objektivně tedy nemají z metrologického hlediska užití; a tudíž smysl. **Tyto informace je třeba zapsat na hardware měřicího systému**.
- Provedu-li **pouze první krok** ve smyslu definice VIM 3:2007, 2.39 kalibrace, **nemám** takový metrologický výkon **považovat a vydávat za kalibraci**.
- Metrologický výkon, který není kalibrací podle definice TNI 01 0115:2009 (VIM 3:2007) nelze tudíž dokladovat „Kalibračním listem“ – protože to je zavádějící a se systémem managementu kvality a jeho řízením to má málo společného.

Dotazy a diskuse na emailových adresách

skopal@fme.vutbr.cz

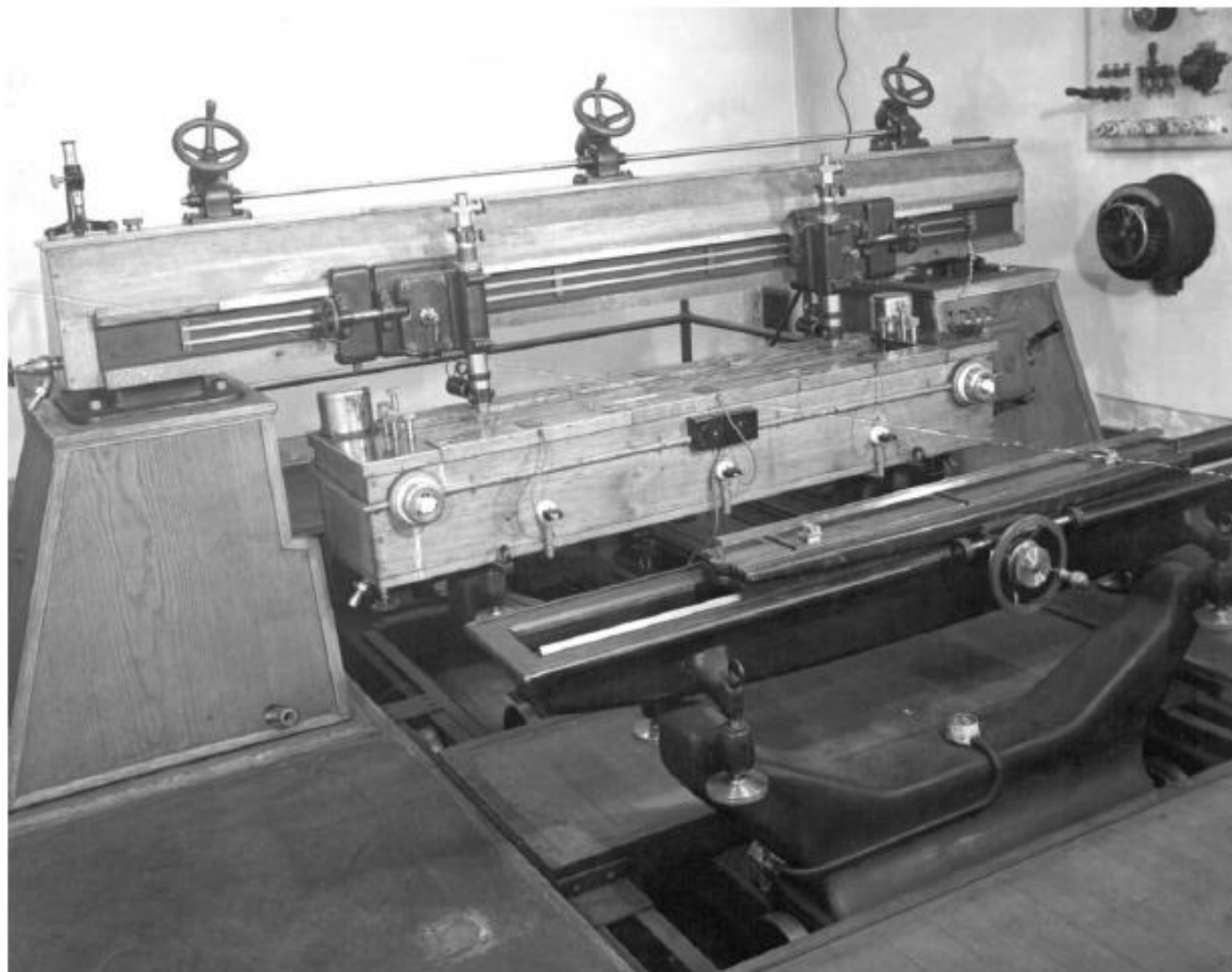
nebo

miroskop@mzds.cz

Přednáška ze sborníku a tato prezentace ke stažení
na adrese

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

Trocha nostalgie – druhý suterén V botanice 4, Praha 5



Komparátor SIP – primární návaznost po roce 1918

The End