

Skopal, M. J.

KALIBRACE A ZKOUŠKA MĚŘIDEL A MĚŘICÍCH SYSTÉMŮ

Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně

Mobilní Zkušebna Délkoměrů a výrobních Strojů.

Anotace:

Činnost kalibrace měřidla je podmínkou nutnou pro zařazení do nepřerušného řetězce návaznosti. S vývojem výpočetní techniky se však u vysoce složitých měřicích systémů snižuje možnost provedení kalibrace měřidla pouze na omezený počet autorizovaných servisních subjektů, které mají přístup k zápisu výsledku činnosti kalibrace v prvním kroku na hardware k softwarovému použití; realizaci činnosti kalibrace ve druhém kroku. Tyto subjekty však zpravidla nemají statut kalibračních laboratoří a rovněž nejsou akreditovány; což zvláště u dodavatelů do automobilového průmyslu a v něm samém působí při auditech problémy.

Příspěvek podává možný návrh k diskusi, jak tuto situaci řešit s ohledem na kvalitu a na požadavky auditorů systémů kvality.

Pojmy JAKOST a KVALITA mají stejný význam

označujeme je jako synonyma s tím, že pojem kvalita má formálně blíže k zahraniční terminologii.

Na druhé straně, pojmy

KALIBRACE a ZKOUŠKA měřidla

synonyma nejsou; a i když spolu souvisí, tak jejich význam je rozdílný.

Kalibrace je metrologická činnost ve dvou krocích podle postupů (KL, výrobce,...) a při splnění dalších podmínek, kdežto zkouškou ověřujeme, zda předmět zkoušky splňuje deklarované parametry (s jistou nejistotou) pro účely uživatele.

V dalším bude výklad orientován především na souřadnicové měřicí stroje (CMM) (jedny z nejsložitějších měřicích systémů v oboru jednotky délky) s tím, že závěry lze aplikovat na měřicí systémy „nižší kategorie“, jako jsou lineární délkoměry, dvou- a třísouřadnicové délkoměry (profilprojektory, mikroskopy, kruhoměry, profiloměry a další).

Problematiku lze aplikovat také na výrobní stroje, protože jsou analogické konstrukce, jako souřadnicové měřicí stroje.

Výrobní stroj je také třeba seřídit, metrologicky nastavit, kalibrovat (i když to není dáno zákonem, normou nebo jiným předpisem) a jeho způsobilost ověřujeme zkouškou.

Kalibrace měřidel a měřicích systémů

Při kalibraci měřidla po provedených běžných servisních úkonech nejprve zjistíme, jaké má chyby.

Pokud se jedná o měřidlo, které není komplikovaný měřicí systém, tak uživateli stačí podat informaci o chybách standardní písemnou formou, například uvedením v Kalibračním listu, a uživatel sám musí realizovat druhý krok tak, že svá měření koriguje v relaci s uvedenými chybami.

Tento způsob je použitelný především tam, kde chyby mají jen diskrétní velikost a nejsou funkcí dalších parametrů (závaží, koncová měrka, ...).

V oboru jednotky délky však máme velmi širokou paletu měřidel; od koncových měrek, přes lineární, dvou- a třídímenzionální měřidla s délkoměrnými stupnicemi.

Lineární měřítko nebo délkoměr lze poměrně snadno kalibrovat (zpravidla v deseti úsecích – jedenácti souřadnicích) a metrolog při měření mimo souřadnice zjištěné chyby při korekci aproximuje. Zde je možno s výhodou použít laserový interferometr a pokud je osa interferometru přibližně v ose měření, tak lze dosáhnout vysoce přesných výsledků s malou nejistotou. Samotné měřítko, podle konstrukce délkoměru, může mít úplně jiné chyby.

Při kalibraci dvojdímenzionálních délkoměrů se situace již začíná komplikovat z důvodů přítomnosti chyby reálného úhlu obou vedení s měřítky

Blokové schéma pracovního měřidla; souřadnicového měřicího stroje (CMM)

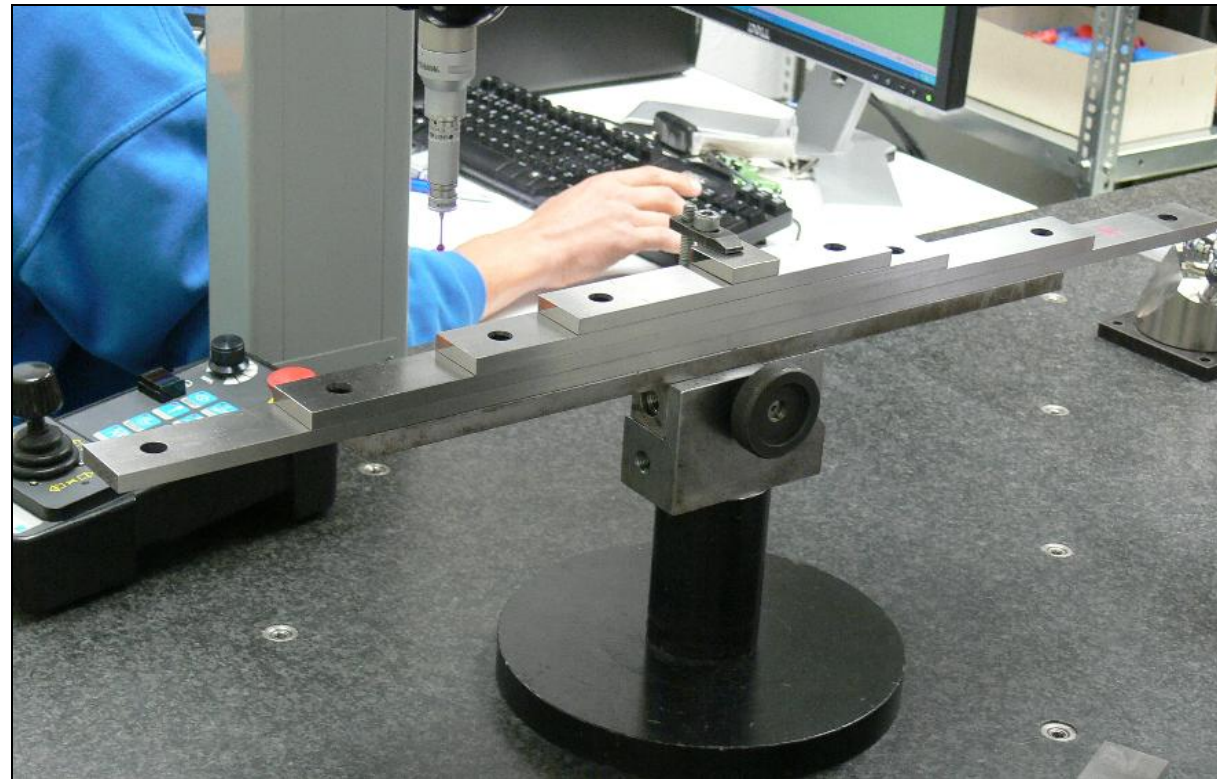
SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM

Měřicí systém

Snímací systém

INDIKACE**PERIFERIE**Řídicí systém
(hardware
& software)

PC

Software
(operační
& výpočetní
systém)Tiskárna
& plotter**VÝSLEDEK MĚŘENÍ****OPERÁTOR CMM – (METROLOG)**

Naznačení problematiky kalibrace CMM – činnost v 1. kroku

Kalibrace souřadnicových měřicích strojů (CMM) a obdobných měřicích systémů, řízených výpočetní technikou, je natolik složitá, že ji dokáže zrealizovat vždy jen několik subjektů na světě pro danou značku – firmu.

Kalibrace CMM obnáší po montáži a justáži proměření parametrů, které mohou být, anebo zpravidla jsou zatíženy chybami.

U každého ze tří vedení jsou to tři série rotačních chyb R_{xx} , R_{xy} a R_{xz} , následně chyb přímosti T_{xy} a T_{xz} a potom chyby nelinearity polohovacích pravítek L_{xx} . Toto proměření je třeba provést v kroku 20, 50, 100 nebo 200 mm. Větší krok se zpravidla již nepoužívá. Tuto činnost je třeba zrealizovat ve směru všech tří souřadných os.

Zjednodušeně řečeno, jedná se o zjištění stovek a mnohdy i tisíců diskrétních hodnot podle měřicích rozsahů v jednotkách úhlu standardně v desetinách mikrometru na metr a jednotkách délky v desetinách mikrometru.

Pak následuje změření chyb pravouhlosti.

Tyto metrologické výkony jsou podle definice kalibrace činností v prvním kroku a slušně vybavená metrologická laboratoř je schopna je zvládnout a je tím tak vytvořen předpoklad provést druhý krok kalibrace, zadání konstant do prostorové matice, které se říká „mapa korekcí“.

Nutno ovšem podotknout, že tato metrologická činnost je prováděna jinak, a navíc bez snímacího systému, než jak je CMM používán ke standardnímu měření rozměru. Zjištění chyb proměření a zadání korekcí do mapy ještě neznamená, že CMM bude splňovat deklarované metrologické parametry a bude ve shodě se specifikací. (Zkoušce, jako takové, se vyhnout nelze.)

Naznačení problematiky kalibrace CMM – činnost ve 2. kroku

Po zjištění matice chyb je tuto třeba zapsat na příslušný hardware, aby ji mohl software při výpočtech používat. Toto zpravidla může provést jen autorizovaný servisní technik podle postupů výrobce CMM a nikoliv běžná kalibrační laboratoř, protože k zápisu korekčních konstant do mapy je třeba mít kalibrační software a také mít povolen přístup k zápisu na hardware CMM.

Podle místa, kde došlo k sejmutí bodu snímacím systémem na měřené součásti, software znamená polohu v mapě korekcí a přihlédne k nejbližším 8 diskrétně korigovaným bodům – snímaný bod se zpravidla nachází uvnitř některého kvádrů, na které je měřicí prostor korekční mapou rozdělen.

Tato činnost je druhým krokem kalibrace CMM a subjekt, který tuto činnost z různých důvodů není schopen zrealizovat, nemůže deklarovat kalibraci CMM a rovněž nemůže vystavit Kalibrační list.

Zápis chyb nebo korekčních hodnot mapy na papír nemá smysl, i kdyby byl úplný. CMM si tyto údaje z papíru přečíst nedokáže a operátor CMM nemá možnost, jak tyto údaje při svých měřeních s CMM použít.

- Následuje **ověření** kalibrace podle poznámky 2 v definici 2.39 VIM 3:2007, tedy např. **zkouška (test, essai, die Prüfung)**, která není kalibrací; (viz. též POZNÁMKA 5 k pojmu **2.44 ověřování**).

Jinými slovy: servisní technik (nebo nezávislý metrolog dle požadavku auditu) po provedeném metrologickém výkonu kalibrace CMM přezkouší podle postupů, které jsou uvedeny v řadě mezinárodních norem ČSN EN ISO 10360-x.

Na následujících třech foliích je ukázka „korekční mapy“ sloupového CMM, který je běžně používán v automobilovém průmyslu ke kontrole částí karoserie a podobných rozměrných součástí a prvků.

POZNÁMKA 1 Při objasňování problematiky chyb CMM se zpravidla mluví o jedenadvaceti chybách. Toto vyjádření ale není správné. Ve skutečnosti se jedná o 18 nelineárních funkcí chyb (v každé ose šest, viz sloupce v mapě korekcí), které je třeba zjistit experimentálně měřením za pomoci unikátních měřicích přístrojů, a dále 3 chyby pravoúhlosti souřadných os, přímek (náhradních prvků vedení), které jsou standardně vypočteny metodou odchylek nejmenších čtverců.

POZNÁMKA 2 Kalibraci chyby pravoúhlosti vedení ve směru tří souřadnicových os lze realizovat až po úplné kalibraci rotačních a translačních chyb v obou krocích. Teprve potom nastává kalibrace pravoúhlosti vedení, počínaje činností v prvním kroku, a po úplném ukončení této kalibrace lze přistoupit ke kalibraci chyb polohovacích měřítek, buď jen lineárně multiplikační konstantou anebo nelineárně v příslušném kroku.

POZNÁMKA 3 Postupy ke kalibraci CMM se mohou u různých výrobců lišit, některé chybové funkce mohou být s ohledem na přesnost výroby vodících prvků a požadavky MPE_E vynechány. Úplná kalibrace CMM se provádí při konečné fázi ve výrobním závodě nebo, podle konstrukce, na pracovišti uživatele. Jinými slovy, výroba CMM v takovém případě končí až kalibrací u zákazníka a předáním na základě ověření kalibrace zkouškou, standardně podle mezinárodních norem řady ISO 10360-x.

POZNÁMKA 4 V současné době je běžné, že kalibraci CMM může autorizovaný zástupce výrobce provést po běžném servisu jen v omezené míře tak, že je mu umožněno kalibrovat chyby pravoúhlosti vedení a následně lineárně kalibrovat chyby polohovacích měřítek multiplikační konstantou. Úplnou kalibraci může provést pouze výrobce (licenční podmínky některých států), pokud je to na základě výsledků ověření kalibrace (zkoušek) nutné k prokázání shody se specifikovanými parametry přesnosti měření.

Příklad matice korekcí ve směru osy x s krokem 200 mm

MachineConfig Tools ControlInterface Help

Verif E:\mora\mora2_2.dat 1 4 Control Thermal Comp DISABLED

Step	Rxx	Rxy	Rxz	Lxx	Lxy	Lxz
.00	.0	.0	352.0	.0	.0	.0
200.00	-13.5	-21.5	307.0	19.7	14.0	18.0
400.00	-17.5	-37.0	295.0	17.4	18.0	35.0
600.00	-34.0	-36.0	303.0	17.2	23.0	45.0
800.00	-19.5	-20.0	323.0	4.9	22.0	50.0
1000.00	-27.5	-35.5	296.0	12.6	28.0	62.0
1200.00	-50.0	-31.0	293.0	1.3	32.0	70.0
1400.00	-41.5	-31.0	303.0	-8.0	28.0	75.0
1600.00	-41.0	-51.5	288.0	4.8	32.0	87.0
1800.00	-50.0	-43.0	285.0	-4.5	33.0	87.0
2000.00	-45.5	-51.0	291.0	-8	28.0	90.0
2200.00	-57.0	-79.5	276.0	20.9	29.0	92.0
2400.00	-64.0	-105.0	277.0	27.6	27.0	88.0
2600.00	-57.5	-110.0	277.0	26.4	22.0	81.0
2800.00	-70.5	-123.0	260.0	34.1	21.0	69.0
3000.00	-85.5	-130.0	274.0	33.8	14.0	54.0
3200.00	-72.0	-142.5	282.0	38.5	7.0	47.0
3400.00	-60.5	-146.0	284.0	40.2	5.0	35.0
3600.00	-58.5	-155.0	277.0	41.0	2.0	23.0
3800.00	-63.0	-166.5	262.0	48.7	-1.0	4.0
3880	-80.5	-170.5	279.0	48.5	.0	.0

Square -186
OldSink 0

3880 Step 200 Squareness insert or computing 16.9.2010

Příklad matice korekcí ve směru osy y s krokem 100 mm

MachineConfig Tools ControlInterface Help

Verif E:\mora\mora2_2.dat 2 | 4 Control Thermal Comp DISABLED

Step	Ryx	Ryy	Ryz	Lyx	Lyy	Lyz
.00	-160.0	.0	.0	.0	.0	.0
-100.00	-127.0	48.0	9.0	-1.0	-5.0	21.0
-200.00	-118.0	-14.5	21.0	-2.0	-11.0	24.0
-300.00	-89.0	6.0	25.0	-7.0	-17.0	30.0
-400.00	-81.0	-19.0	28.0	-10.0	-23.0	30.0
-500.00	-66.5	9.0	40.0	-9.0	-30.0	29.0
-600.00	-49.5	-15.5	53.0	-5.0	-40.0	22.0
-700.00	-31.0	4.0	54.0	-6.0	-46.0	29.0
-800.00	-32.5	-21.5	63.0	-5.0	-55.0	8.0
-900.00	-6.5	-6.0	74.0	-2.0	-60.0	29.0
-1000.00	-15.5	-21.0	75.0	-4.0	-67.0	-1.0
-1100.00	-.5	.5	79.0	-2.0	-71.0	9.0
-1200.00	-1.5	-24.0	87.0	4.0	-75.0	9.0
-1220	-1.5	-24.0	86.0	.0	-78.0	.0

Square 65
OldSink 0

-1220 Step -100 Squareness insert or computing 16.9.2010

Příklad matice korekcí ve směru osy z s krokem 100 mm, včetně tabulky korekcí chyb pravoúhlosti všech tří souřadných os

MachineConfig Tools ControlInterface Help

Verif E:\mora\mora2_2.dat 3 4 Control Thermal Comp DISABLED

Step	Rzx	Rzy	Rzz	Lzx	Lzy	Lzz
.00	160.0	.0	.0	.0	.0	.0
-100.00	188.0	2.0	-3.0	1.0	-26.0	-12.8
-200.00	218.0	-2.0	-3.0	5.0	-49.0	-19.6
-300.00	252.5	-3.5	-1.0	3.0	-68.0	-22.4
-400.00	287.0	-7.0	.0	-1.0	-82.0	-31.2
-500.00	312.0	-8.0	3.0	-1.0	-94.0	-45.0
-600.00	343.0	-5.5	4.0	-1.0	-103.0	-46.8
-700.00	382.0	-6.5	6.0	.0	-107.0	-54.6
-800.00	414.0	-12.0	9.0	-1.0	-107.0	-59.4
-900.00	452.0	-14.0	15.0	.0	-103.0	-60.2
-1000.00	489.5	-16.0	16.0	-1.0	-95.0	-74.0
-1100.00	526.5	-12.0	17.0	-1.0	-85.0	-74.8
-1200.00	555.5	-13.5	16.0	.0	-72.0	-86.6
-1300.00	592.0	-16.5	20.0	-7.0	-50.0	-92.4
-1400.00	627.5	-13.0	26.0	-7.0	-27.0	-94.2
-1500	670.0	-13.0	27.0	.0	.0	-111.0

Squareness

AddFromFile

XY -186.0 YZ 65.0 ZX -12.0

OK Cancel

Square -12
OldSink 0

-1500 Step -100 Squareness insert or computing 16.9.2010

DODAVATEL MĚŘIDEL A JEJICH SERVISU

- výroba a kompletace prvků měřidla (měřicího systému);
- montáž;
- mechanické seřízení;
- oživení;
- justáž;
- kalibrace;
- transport k uživateli, instalace;
- uvedení do provozu u uživatele;
- kontrola metrologických parametrů a kalibrace dle postupů výrobce;
- zkoušky funkce a metrologických parametrů
za účelem ověření metrologické způsobilosti – podmínky návaznosti;
- alternativně, zkouška nezávislým třetím subjektem podle požadavků auditu;
- předání uživateli měřidla.

UŽIVATEL MĚŘIDEL A MĚŘICÍCH SYSTÉMŮ

- specifikuje a poptává měřidlo, aby splňovalo požadavky výroby;
- v rámci přejímky hledá důkazy o návaznosti – kalibraci měřidla (kalibrační listy nebo jiné objektivní důkazy – za důkaz je možno považovat kalibrační značku dodavatele, dodací list a fakturu a jiné důkazy, např. dlouhodobé reference důvěryhodného dodavatele, ...);
- v případě požadavku vyšší důvěryhodnosti zrealizovat zkoušku nezávislým subjektem (je třeba objektivně vzít na vědomí, že nezávislý subjekt zpravidla nemůže samotnou kalibraci provést, protože nemá příslušný kalibrační software a přístup k zápisu odpovídajících korekcí na hardware PC, ...);
- v intervalech dle svého systému kvality předkládá měřidlo ke kalibraci tomu, kdo je schopen úplnou kalibraci, jako činnost ve dvou krocích zrealizovat;
- uživatel musí při provozu měřicího systému počítat s tím, že kalibraci zpravidla předchází běžný servis k tomu, aby metrologické požadavky byly splněny;
- v delším intervalu nebo při vyšších požadavcích na metrologickou způsobilost je třeba hlubší servisní zásah (generálka);
- vzniká požadavek na specifikaci pojmů podle rozsahu kalibrace:

VELKÁ (TOTÁLNÍ) KALIBRACE – v rámci uvedení do provozu, či generálky,
a **BĚŽNÁ PERIODICKÁ KALIBRACE** – v rámci běžného periodického servisu.

POZNÁMKA k pojmům, se kterými se setkáváme v kalibračních listech

Pojmy chyba, odchylka a úchylka nejsou synonyma
každý pojem má jiný význam

Chyba měření, chyba [TNI 01 0115:2009, 2.16]

naměřená hodnota veličiny minus referenční hodnota veličiny

Odchylka není definována, dříve [ČSN 01 0115:1996, 3.10]

(výsledek měření minus pravá hodnota měřené veličiny)

Úchylka

V metrologii tento pojem není definován; **přesto je používán**

a definice pojmu z oblasti zkoušek výrobních strojů:

Úchylka polohy, polohová úchylka 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]

Zahraniční dodavatelé již přehodnotili názvy dodávaných důkazů o provedené kalibraci a jejím ověření zkouškou (viz poznámka 2 v definici kalibrace) a nazývají je například:

- Prüf- und Übergabeprotokoll
- Test and acceptance Certificate
- Final acceptance protocol

Návrh českých alternativ názvu dokladu (důkazu) do systému managementu měřidel tam, kde tento důkaz objektivně nepopisuje úplnou činnost kalibrace ve dvou krocích:

- Kalibrační značka, vylepená dodavatelem kalibrace, servisním subjektem ...;
- Protokol o zkoušce;
- Zkušební protokol;
- **Ověření kalibrace** – ve smyslu poznámky 2 k pojmu 2.39 a poznámky 5 k pojmu 2.44 (tento výstup dodané služby bych považoval za vhodnější pro kalibrační laboratoře, ...);
- Certifikát ...;
- Osvědčení ...;
- Potvrzení ...;
- Vysvědčení (méně vhodné)...;
- Zpráva ...;

ale nikoliv „Kalibrační list“ nebo obdobný zavádějící název, pokud tento doklad nemůže být objektivně použit ke korekci výsledku měření; i když jej vystavuje kalibrační laboratoř.

SOUHRN

- Návaznost měřidel v systémech kvality jednoznačně požaduje dokladovanou kalibraci a zavedenou hierarchii kalibrace (nikoliv exaktně „kalibrační list“).
- Management měřidel proto objednává kalibraci s objektivními důkazy a nikoliv jen shromažďuje Kalibrační listy. S ohledem na ekonomickou situaci a požadavky výroby volí interval kalibrace a metrologické požadavky.
- V období mezi kalibracemi tuto ověřuje prováděním vlastních zkoušek anebo ke zkouškám objednává, v souladu s požadavky systému kvality, třetí subjekty (kalibrační laboratoře, zkušební laboratoře, anebo jiné důvěryhodné subjekty).
- Dodavatel služby objektivně informuje klienta, zda je schopen zrealizovat kalibraci měřicího systému v souladu s platnou definicí. Není-li tomu tak, tak doklad o provedeném metrologickém výkonu nemůže nazvat „Kalibrační list“; či obdobně, a má informovat o tom, že kalibraci může „jen“ ověřit.
- Zpracovatel kalibračních postupů dbá na platnou terminologii (pojem zkouška podle ČSN EN ISO 10360-x a obdobných norem nelze nahrazovat pojmem kalibrace).
- Vrcholový management firmy by neměl požadovat kalibrační list tam, kde to není objektivně možné, nebo to nemá smysl.
- Management měřidel nemůže zaměňovat pojmy ZKOUŠKA a KALIBRACE.
- **Zkoušky souřadnicových měřicích strojů podle validovaných mezinárodních norem řady ČSN EN ISO 10360-x můžeme považovat za jeden z možných důkazů ověření kalibrace, nikoliv však za kalibraci samotnou podle článku 2.39, TNI 010115:2009 (VIM 3:2007).**
- Audit systému kvality (interní i externí) by neměl jen vyžadovat předkládání kalibračních listů, ale přezkoumávat důkazy o provedené kalibraci a metrologické způsobilosti pracovního měřidla ke splnění požadavku návaznosti měřidel; nepřerušené posloupnosti od výsledku měření k definici.