

22. mezinárodní konference "Měřicí technika pro kontrolu jakosti" Plzeň, 12. a 13. března 2013

KALIBRACE A ZKOUŠKA SOUŘADNICOVÝCH MĚŘICÍCH STROJŮ (CMM)

RNDr. Miroslav Jan Skopal, doc. Ing. Alois Fiala, CSc.
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 616 69 Brno

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 pouze 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 a obdobných měřicích systémů a týká se posledního článku hierarchie kalibrace v řetězci metrologické návaznosti; kalibrace pracovních měřidel s cílem správných výsledků měření součástí.

1. ÚVOD

Práva a povinnosti podnikajících fyzických osob, právnických subjektů a orgánů státní správy v zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření jsou dány Zákonem č. 505/1990 Sb. o metrologii. Zákon sám o sobě neodkazuje na terminologické zdroje a k pojmům „kalibrace“ a „návaznost měřidel“ byl v té době k dispozici pouze 6ti jazyčný slovník RVHP, který čerpal při své tvorbě z VIM1:1984. Posléze v roce 1991 byla vydána česká technická norma ČSN 01 0115:1991 Názvosloví v metrologii [3]. V současné době je v platnosti Mezinárodní metrologický slovník VIM3:2007, který **předcházející vydání ruší a nahrazuje**; je zaveden předpisem TNI 01 0115:2009 [1].

Zde vidíme rozpor v tom, že Zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii pracuje s pojmy „návaznost měřidel“ a „kalibrace pracovního měřidla“, kdežto současně platná terminologie definuje pojmy „metrologická návaznost“ a šíře „kalibrace“, jako činnost ve dvou krocích od hodnoty veličiny poskytnuté etalonem až po výsledek měření včetně.

„Metrologická návaznost“ je vlastnost výsledku měření, pomocí níž může být tento vztažen ke stanovené referenci přes dokumentovaný nepřerušovaný řetězec kalibrací, z nichž každá se podílí svým příspěvkem na stanovené nejistotě měření [1].

Na místě je položit si otázky k obsahu a formě pojmu kalibrace. Proč měřidla kalibrujeme? Proč se tak značně změnila definice přidruženého termínu k pojmu kalibrace? Odpověď na prvou otázku je poměrně jednoduchá a postavená na požadavcích sériovosti výroby, zaměnitelnosti součástí, kooperace a kvality finálního výrobku. Obsah pojmu kalibrace jako činnosti k dosažení vyšší přesnosti výsledku měření pracovního měřidla se dlouhodobě nemění. Přesto byla formulována v posledním vydání Mezi-

národního metrologického slovníku [1] definice, zcela odlišná od dřívějších. Důvodů mohlo být několik a jedním z nich mohla být i skutečnost, že v procesu managementu pracovních měřidel v systémech managementu kvality postupně začalo docházet k deformaci výkladu obsahu pojmu „kalibrace“ pod tlakem, že je třeba mít činnost kalibrace dokumentovanou písemným vyjádřením, za něž se u nás všeobecně a téměř výhradně považuje záznam s názvem „Kalibrační list“.

Nesporným důvodem změny formulace pojmu kalibrace je také bouřlivý vývoj měřidel v posledních asi dvaceti letech. Měřidla jsou konstruována a řízena v kompletech s výpočetní technikou a k získání výsledku měření dochází rovněž za aktivní účasti výpočetního softwaru, kde úloha metrologa postupně přechází do polohy operátora měřicího systému, aniž by ten mohl ovlivňovat indikaci, ze které je výsledek měření získáván automaticky.

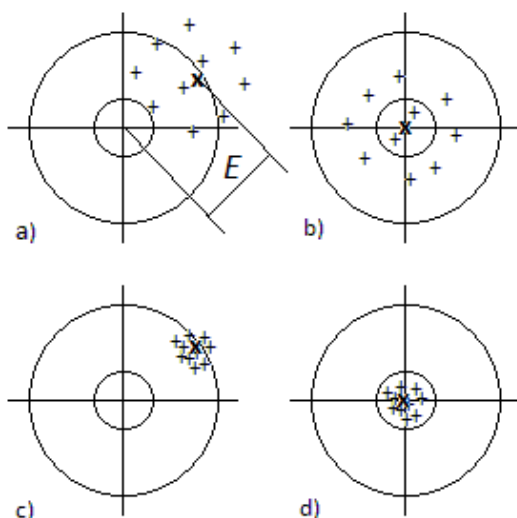
Záměrem autorů této publikace je podat námět k diskusi o odpovědi na druhou otázku a upozornit na některé skutečnosti v systémech managementu měřidel certifikovaných subjektů při účasti nezávislých metrologických subjektů za účelem úprav vztahů mezi dodavatelem měřidel, uživatelem měřidel (který je producentem výrobků ke spotřebnímu užití konečným zákazníkem) a auditem kvality.

2. PRECIZNOST, PŘESNOST A SPRÁVNOST MĚŘENÍ

Tyto pojmy definuje VIM3 a mezi metrology jsou též často diskutovány v návaznosti na dřívější praxi. Zastáváme následující výklad těchto pojmů:

Po vyrobení nebo před periodickým servisem je pracovní měřidlo nepřesné a málo precizní. Nejprve je třeba měřidlo seřídít, aby bylo precizní, a následně provést kalibraci, aby bylo i přesné. Jednotlivé fáze od vyrobení až po kalibraci včetně jsou schematicky uvedeny na příkladu zásahů do terče (obr. 1), kdy v konečné fázi je měřidlo správné a produkuje přesné a precizní výsledky měření v souladu se specifikací, v souladu s požadavky uživatele měřidla.

POZNÁMKA Podle požadavků systému managementu kvality certifikovaného subjektu, odvozených od tolerancí výrobku, lze příklad ad. b) považovat za přesné výsledky měření s horší opakovatelností vlivem malé preciznosti, což se pochopitelně má obrazit při stanovení rozšířené nejistoty měření. Ta má být přiměřeně větší.



- 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)

Obr. 1. Výroba a servis měřidla (uvedení do precizního stavu), kalibrace – příklady hodnocení rozbohem výsledků měření, které měřidlo poskytuje

3. KALIBRACE

Následně jsou citovány úplné definice pojmu „kalibrace“ tak, jak jsou uvedeny ve VIM2 [4] a VIM3 [1], které je třeba akceptovat před popisem tématu:

6.11 kalibrace [ČSN 01 0115:1996 (VIM 2:1993)] (*dnes neplatná a zrušena VIM3*) 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**.

2.39 kalibrace [TNI 01 0115:2009 (VIM 3:2007)]

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 ze součtových nebo násobných **korekcí** indikace s přidruženou nejistotou měření.

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

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

Diskuse k nové formulaci 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, který je získán z indikace. Při kalibraci v případě pracovního měřidla je tak činnost ve druhém kroku ukončena až po získání výsledku každého dílčího měření, 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.

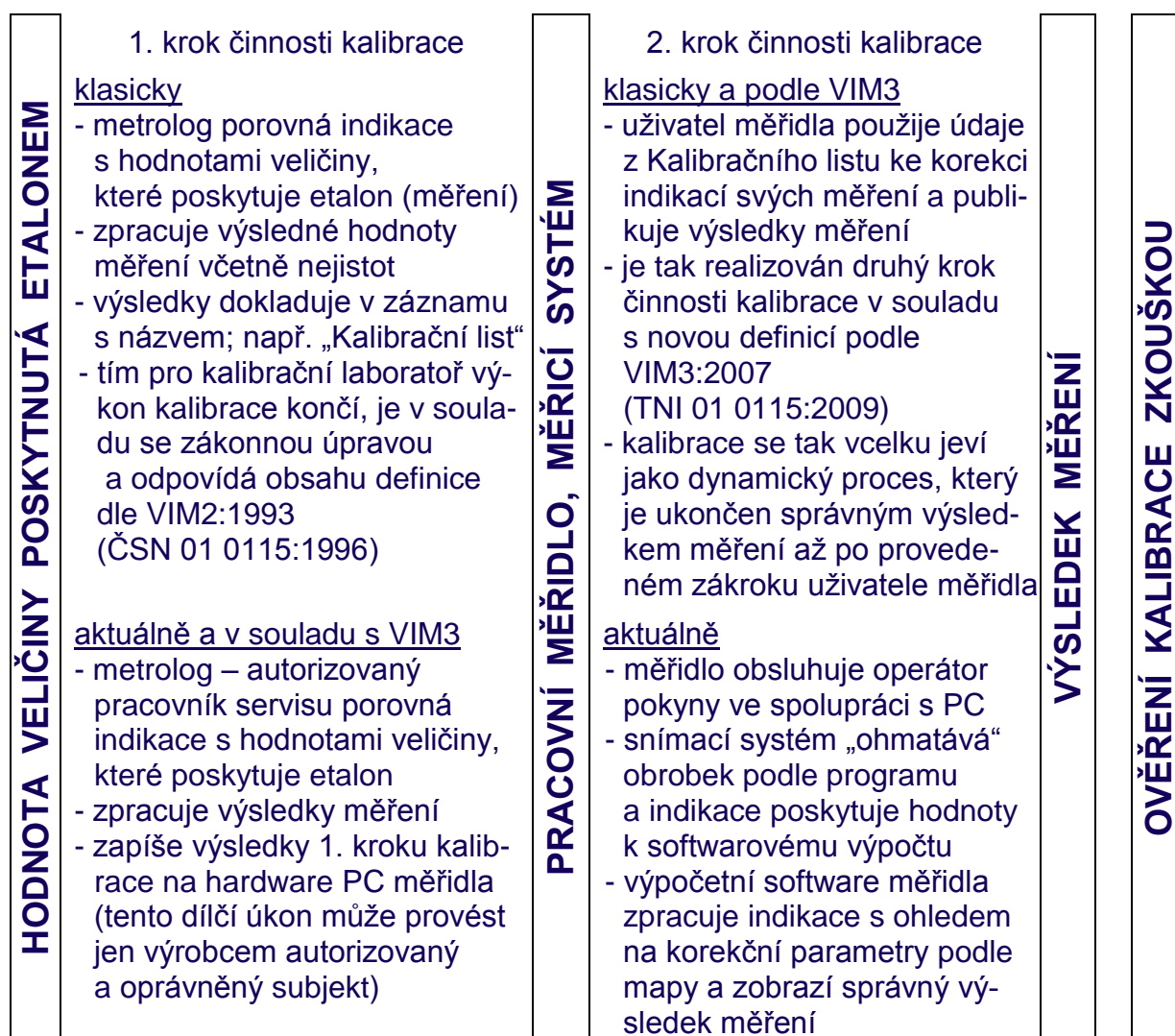
Druhá poznámka uvádí pojmy, se kterými nemá být kalibrace zaměňována, a je tedy upozorněním na to, aby jiné metrologické činnosti nebyly za kalibraci vydávány. Pojem „ověření kalibrace“ ve VIM není explicitně definován, je ale provázán s pojmem 2.44 ověřování [1] a je zřejmé, že „ověření kalibrace“ je 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 rozporupně vykládána v protichůdných smyslech. Extenzivní výklad je, že ke kalibraci stačí měřidlo pouze proměřit v prvním kroku a druhý krok činnosti není nezbytný [13]. 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.

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.“

INTERPRETACE POJMU KALIBRACE – poslední článek hierarchie kalibrace



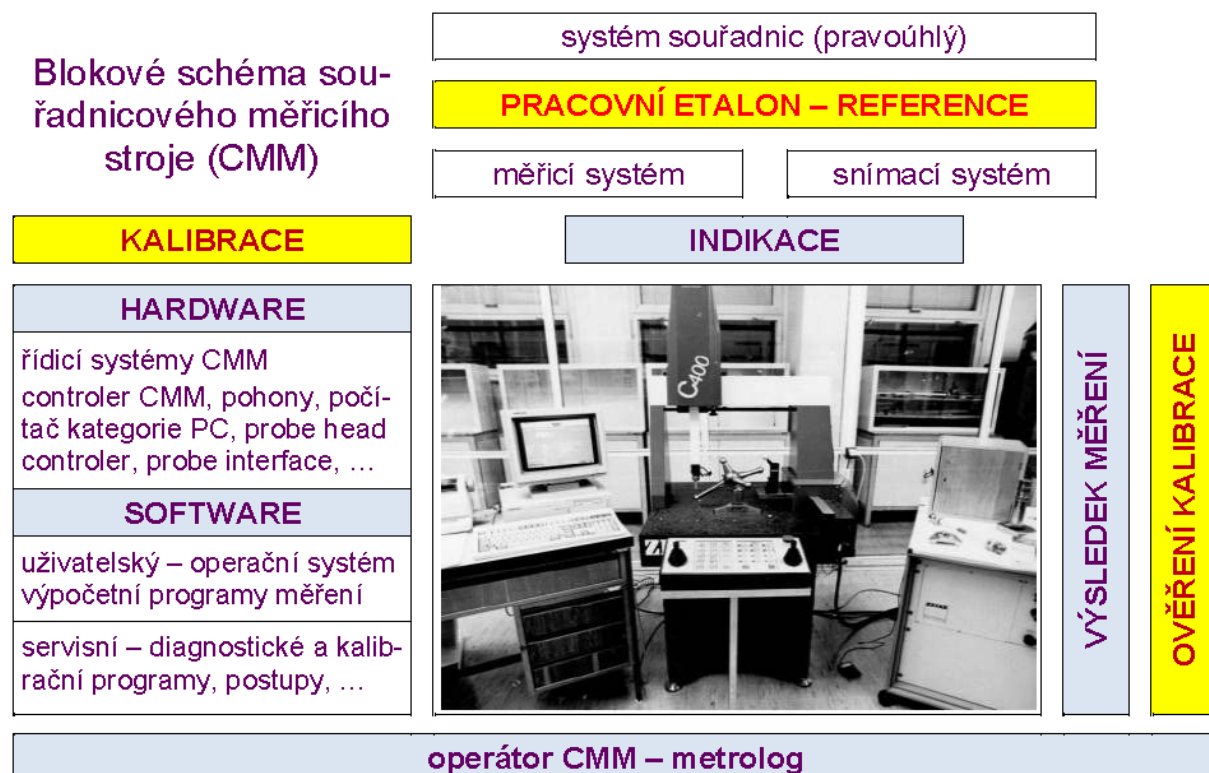
Obr. 2. Interpretace pojmu kalibrace klasicky a nově – jedná se o jeden článek hierarchie metrologické návaznosti, obsahující oba kroky činnosti kalibrace

Třetí poznámka je novum a zohledňuje současný stav, že jsou kladeny stále vyšší nároky na požadovanou přesnost a přibývá měřicích přístrojů a měřicích systémů, které již nelze k žádané přesnosti měření mechanicky vyrobit, nebo jen za cenu nepřiměřených nákladů. Nastupuje tak aktivní účast hardwaru a softwaru výpočetní

techniky (zápis údajů na hardware k softwarovému použití), s pomocí které lze požadovaných metrologických parametrů dosáhnout. Výrobci takových měřidel si však nejnovější poznatky výzkumu, vývoje a výroby úzkostlivě chrání před konkurencí a kromě nich a jejich autorizovaných a oprávněných zastoupení **jiný subjekt nemá možnost kalibraci ve dvou krocích činnosti provést.**

4. KALIBRACE SOUŘADNICOVÉHO MĚŘICÍHO STROJE

Souřadnicový měřicí stroj (CMM) je měřicí přístroj a současně splňuje i klasifikaci měřicího systému, protože jsou v něm zakomponována tři a více délkoměrná měřítka s vlastními indikacemi, zpravidla i měřidla teploty a další pomocná měřidla podle konstrukce CMM. V naznačení problematiky kalibrace CMM se omezíme jen na veličinu oboru délka, jejíž měření je hlavní činnost CMM a např. měření teplot je podpůrné k dosažení vyšší preciznosti (menší rozptyl za teplotní korekce) a přesnosti měření. Schematicky je CMM zobrazen na následujícím blokovém schématu.



Obr. 3. blokové schéma CMM

Postup kalibrace CMM jako činnost ve dvou krocích

Kalibrací CMM v prvním kroku se zjistí chyby vedení snímacího systému ve směru tří souřadných os v závislosti na poloze uvnitř rozsahu každé souřadnice. Tyto chyby souvisí s tím, že mechanismus má obecně šest stupňů volnosti v jednom směru pohybu. Jde o celkem šest nelineárních funkcí, které jsou získány experimentálně za použití unikátních měřicích přístrojů. Například v ose X to jsou tři funkce rotačních chyb R_{xx} , R_{xy} a R_{xz} , dvě funkce translačních chyb T_{xy} a T_{xz} a konečně funkce nelinearity měřítka L_{xx} . Po zjištění chybových funkcí ve směru všech tří souřadných os je třeba ještě zjistit chyby pravoúhlosti vedení φ_{xy} , φ_{yz} a φ_{zx} , protože výpočetní software provádí matematické výpočty v pravoúhlém eukleidovském prostoru, které jsou proti výpočtu v obecném nepravoúhlém prostoru značně jednodušší. **Tyto metrologické výkony jsou činnostmi v prvním kroku kalibrace.** Takto je vytvořen předpoklad

k zahájení druhého kroku kalibrace, zadání hodnot do prostorové matice, která se nazývá „mapa korekcí“. Jedná se soubor nebo několik souborů, které spolupracují s výpočetním software při naprogramovaných výpočtech výsledků měření. Dříve byla mapa ukládána v souborech pod operačním systémem počítače. Poněvadž docházelo k neúmyslnému poškození souborů ze strany uživatele, je tato mapa standardně ukládána do řídicího systému CMM. Dále je již jen na programátorovi, jak má uvedené údaje software při výpočtu výsledků měření použít. Obsah mapy korekcí je zobrazen na (obr. 4).

MAPA KOREKCÍ – VIRTUÁLNÍ KALIBRAČNÍ LIST, KALIBRAČNÍ TABULKA

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

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

Square	Squares	XY	YZ	ZX
-56.8		38.3	61.4	56.8

Obr. 4. PrtScr mapy korekcí portálového CMM s pracovním prostorem 1000x700x660 mm

Po zjištění matice chyb je tuto třeba zapsat na příslušný hardware, aby ji mohl software při výpočtech používat. Toto zpravidla může provést jen výrobce CMM nebo jím

autorizovaný a oprávněný servis podle postupů výrobce a nikoliv běžná kalibrační laboratoř, protože k zápisu údajů ke korekci do mapy je třeba mít kalibrační software a také mít povolen přístup k zápisu na hardware CMM, který je chráněn hardwarovými a softwarovými prostředky. **Toto je počátek druhého kroku činnosti kalibrace CMM a ten je dokončen automaticky softwarovým výpočtem výsledku měření.**

Subjekt, který tuto úplnou činnost kalibrace z různých důvodů není schopen zrealizovat, nemá deklarovat kalibraci CMM a rovněž nemá vystavit „Kalibrační list“. Zápis chyb nebo korekčních hodnot mapy na papír z metrologického hlediska nemá smysl, i kdyby byl úplný. CMM si tyto údaje z papíru přečíst nedokáže a uživatel – operátor CMM – nemá možnost, jak tyto údaje při svých měřeních s CMM používat.

Při měření s CMM samotným podle místa, kde dojde k sejmutí bodu snímacím systémem na měřené součásti, software zaznamená polohu bodu v mapě korekcí podle jednotlivých indikací, přihlédne k nejbližším osmi diskrétně korigovaným bodům a zobrazí výsledek měření (sejmutý bod se nachází uvnitř některého kvádrů, na které je měřicí prostor korekční mapou rozdělen). Účast snímacího systému je při měření nepominutelná a s jeho vyloučením nelze kalibrovat, ověřit kalibraci a ani měřit.

Na tomto místě je třeba upozornit ještě na jednu skutečnost. Provedená úplná kalibrace CMM ve dvou krocích ve vztahu k rozsahu měření ještě nedává záruku, že výsledky měření splňují požadavky metrologické návaznosti, CMM je metrologicky způsobilý a je ve shodě se specifikací. **Ověření kalibrace zkouškou má následovat.**

Problematiku metrologické způsobilosti CMM řeší pracovní skupina WG 10 CMM při Technické komisi ISO/TC 213 GPS zpracováváním podkladů pro vydávání mezinárodních norem. Obsahem těchto norem je zkoušení CMM, které lze, s ohledem na terminologii ve VIM, považovat za ověření kalibrace.

POZNÁMKA Záznam (PrtScr) korekční mapy CMM by mohl být vydáván za záznam s názvem „Kalibrační list“, postrádá však formální náležitosti standardního KL jako dokladu do systému managementu kvality a údaje v něm uvedené jsou z hlediska operátora CMM ke korekci indikací ke správnému výsledku měření nepoužitelné. **Ostatně, operátor CMM indikaci ani „nevidí“ (vidí jen výsledek měření).**

5. NEJISTOTY

Nová definice pojmu kalibrace explicitně uvádí, že se má počítat s nejistotou měření. Standardně jde tedy o rozšířenou nejistotu U , která je dvojnásobkem kombinované nejistoty u_{ij} . Z toho logicky plyne, že každý další výsledek měření ve druhém kroku kalibrace má mít větší nejistotu, než nejistota měření hodnoty veličiny, kterou poskytuje (pracovní) etalon v prvním kroku činnosti kalibrace a je tak jednou ze složek kombinované nejistoty procesu kalibrace CMM. Další složky kombinované nejistoty jsou pak funkcí dalších okolních podmínek. Například: na (obr. 5) je výřez Kalibračního listu kvalifikační koule, která je standardně nutnou součástí procesu měření s CMM. Její metrologické parametry mají přímý vliv na určení průměru hrotu měřicího doteku; na přesnost měření včetně hodnoty rozšířené nejistoty.

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

Obr. 5. metrologické parametry kvalifikační koule CMM i s nejistotami

Z obrázku 5. plyne, že jen tato použitá kvalifikační koule CMM přispívá nejistotou asi jeden mikrometr, což lze interpretovat také tak, že při měření délky s hodnotou nula milimetru nelze, aby rozšířená nejistota byla menší. (Více k nejistotám při kalibraci CMM a vlastním měřením je téma s mnohem širším záběrem.)

6. SHRNUTÍ

Metrologická návaznost jednoznačně požaduje kalibraci a zavedenou hierarchii kalibrace. Kalibrace je podle VIM3 metrologická činnost ve dvou krocích, kde v prvním kroku zjistíme údaje o chybách indikací, aby tyto byly ve druhém kroku k dispozici ke korekci; k zobrazení metrologicky správného výsledku měření. „Kalibrační list“ není totéž, co metrologická činnost „kalibrace“. Kalibrační list je jen jednou z možností, jak vytvořit předpoklad k úplné realizaci činnosti ve druhém kroku kalibrace. Pasivní vypsání naměřených hodnot bez možnosti dalšího užití, možnosti korekce, však nelze považovat za splnění druhého kroku činnosti kalibrace v souladu s definicí podle VIM3 [1]. V období mezi periodickými kalibracemi ji management měřidel ověřuje mezikontrolami a vlastními zkouškami anebo ke zkouškám, v souladu s požadavky vlastního systému managementu kvality, objednává třetí subjekty (akreditované zkušební nebo kalibrační laboratoře, anebo jiné důvěryhodné subjekty).

Zkoušky souřadnicových měřicích strojů podle validovaných mezinárodních norem řady ČSN EN ISO 10360-x lze považovat za jeden z vhodných důkazů ověření kalibrace; nikoliv však za kalibraci samotnou podle článku 2.39 kalibrace, VIM3 [1].

Měřidla před kalibrací seřídíme, aby výsledky měření byly precizní. Měřidla nekalibrujeme proto, aby byla kalibrována, ale proto, aby poskytovala přesné výsledky měření. Po kalibraci tak máme požadovat přesné výsledky měření a ne pouze „kalibrované měřidlo“ s formálním doložením „Kalibračním listem“.

Činnost kalibrace právě ve druhém kroku je nezbytná.

7. LITERATURA

- [1] TNI 01 0115:2009 Mezinárodní metrologický slovník – Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM) – český překlad vydání VIM z roku 2007-8. [VIM3:2007]
- [2] Zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii ze dne 16. listopadu 1990, ve znění dalších zákonů včetně zákona č.155/2010 Sb., kterým se mění některé zákony ke zkvalitnění jejich aplikace a ke snížení administrativní zátěže podnikatelů ze dne 21. dubna 2010 (část pátá, Změna zákona o metrologii).
- [3] ČSN 01 0115:1991 Názvosloví v metrologii. [VIM1:1984]
- [4] ČSN 01 0115:1996 Mezinárodní slovník základních a všeobecných termínů v metrologii. [VIM2:1996]
- [5] ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 Posuzování shody – Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří.
- [6] ČSN EN ISO 9000:2006 Systémy managementu kvality – Základní principy a slovník.
- [7] ČSN EN ISO/IEC 17000:2005 Posuzování shody – Slovník a základní principy.
- [8] ČSN P ISO/TS 16949:2009 Systémy managementu kvality – Zvláštní požadavky na používání ISO 9001:2008 v organizacích zajišťujících sériovou výrobu a výrobu náhradních dílů v automobilovém průmyslu.
- [9] Mezinárodní normy řady ČSN EN ISO 10360-x Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM).
- [10] [JCGM 200:2008 International vocabulary of metrology](#) – Basic and general concepts and associated terms (VIM)
- [11] [Terminologie z oblasti metrologie](#). Sborníky technické normalizace 2010. UNMZ
- [12] Emailová [korespondence](#) BIPM a NIST
- [13] Horský, J.: [Metrologie a názvosloví](#) (aneb abychom si rozuměli). Metrologie 3/2011, str. 14 až 19.
- [14] Fiala, A.; Skopal, M.: [Kalibrace a přesnost měření](#). [MM Průmyslové spektrum](#), MM publishing s.r.o., 11/2011, str. 56 až 59. ([internetová verze](#))
- [15] Kalibrace a zkouška souřadnicových měřicích strojů (CMM). http://www.mzds.cz/Plzen_2013.pdf