

# KALIBRACE A VERIFIKACE KALIBRACE MĚŘIDEL V OBORU DÉLKA

Doc. Ing. Alois Fiala, CSc. – UVSSR FSI VUT v Brně  
RNDr. Miroslav Jan Skopal – UVSSR FSI VUT v Brně  
616 69 Brno, Technická 2

Brno, 8. března 2017

Text:

Připomeňme si, že účelem kalibrace je dosažení jednotnosti a správnosti měření a také návaznosti měření. Po kalibraci předpokládáme, že máme k dispozici měřidlo se správnými metrologickými vlastnostmi. V podobném smyslu je nutno chápat ověřování stanovených měřidel, protože i stanovené měřidlo má mít především správné metrologické vlastnosti, navíc doložené úředním dokumentem.

Metrologickou způsobilostí souřadnicových měřicích strojů se na Fakultě strojního inženýrství VUT v Brně zabýváme od počátku osmdesátých let.

Pojem **2.39 Kalibrace** je definován v Mezinárodním metrologickém slovníku (VIM) z roku 2007, který je u nás zaveden Technickou normalizační informací TNI 01 0115:2009 a text je [ke stažení](#) dostupný na portále UNMZ. Podle této definice je kalibrace činnost ve dvou krocích, kde v prvním kroku porovnáme odpovídající indikace s hodnotami etalonu (reference) a ve druhém kroku učiníme opatření k získání výsledku měření z indikace.

POZNÁMKY k termínu 2.39 Kalibrace:

Ve druhé poznámce k této definici se mimo jiné píše, že kalibrace nemá být zaměňována s verifikací kalibrace. Rozumíme tomu tak, že verifikací kalibrace smí být např. zkouška potvrzující shodu výsledků měření se specifikací daného měřidla ve smyslu ČSN EN ISO 14253-1:2013.

Ve třetí poznámce se uvádí, že první krok činnosti kalibrace bývá často chápán jako kalibrace.

Ve smyslu anglického textu se jedná o upozornění, že takto kalibrace chápána být nemá. Text českého překladu této poznámky však umožňuje dvojí výklad a jeden z nich jde proti primární definici (což nedává smysl). Více o tom v naší [korespondenci](#) s ředitelem BIPM, profesorem Wallardem.

O úspěšnosti kalibrace se máme přesvědčit – nejlépe následnou zkouškou podle vhodného postupu, kterou se prokáže dosažení požadovaných metrologických vlastností měřidla. Záznam o výsledku zkoušky je doklad o provedené verifikaci kalibrace.

Před zahájením kalibrace měřidla je třeba nejprve určit, co je indikace a kde k ní dochází, protože s vývojem měřicí techniky máme v oboru měření délka nejméně tyto tři druhy indikace:

- analogová, kde indikaci pozorujeme přímo nebo za použití optických prostředků, jako je lupa nebo čtecí mikroskop a **metrolog ji může korigovat podle údajů v Kalibračním listu**;
- jednoduchá digitální, kdy se indikace zobrazuje přímo na displeji měřicího systému a **metrolog ji rovněž může korigovat podle údajů v Kalibračním listu**;
- digitální indikace mezi pravítkem a čtecí hlavou, která tuto indikaci předává k dalšímu zpracování (ke korekci) výpočetním programem a následnému zobrazení již korigovaného výsledku měření na displeji měřidla. **Metrolog již prakticky nemá možnost výsledek měření dále korigovat.**

Na tomto místě bychom uvedli návrh nových pojmů k používání:

- **virtuální kalibrační list (KL)** je soubor s údaji o chybách měřidla nebo měřicího systému, použitelných ke korekci indikací a
- **virtuální metrolog** je výpočetní program, korigující indikace podle údajů ve **virtuálním KL**.

**Virtuální KL** jsou uloženy na hardware měřidla a jsou zpravidla skryty pod hardwarovou a/nebo softwarovou ochranou, aby nemohly být ze strany uživatele měřidla či jiného subjektu změněny a nemohla tak být narušena přesnost měření neautorizovaným a neoprávněným, i neúmyslným, zásahem. Přístup k virtuálnímu KL má jen autorizovaný servisní technik – metrolog.

**Souřadnicový měřicí stroj (CMM)** je měřicí systém, který indikuje souřadnice diskrétních bodů a jejich skupin (skenování) v měřicím prostoru podle pokynů snímacího systému na třech nebo i více měřících a **koriguje dle údajů**, uvedených ve **virtuálním KL** za účelem výpočtu jednoduchých prvků a následně celých tvarů podle programu a v relaci s výkresovou dokumentací.

**CMM na displeji neposkytuje indikace, ale již a právě jen výsledky měření po kalibraci;** v nejjednodušším případě polohu bodu v měřicím prostoru (tři korigované souřadnice).

**Právě u měřidel s digitální indikací a automatickým zpracováním po výsledek měření, jako je CMM, často dochází k záměně na displeji zobrazeného výsledku měření za indikaci.** Tímto postupem však nedochází k naplnění požadovaného cíle kalibrace, kterým je jednotnost a správnost měření dle specifikace přesnosti při současném zohlednění nejistoty k interpretaci SHODA – ROZSAH NEJISTOTY – NESHODA podle ČSN EN ISO 14253-1:2013. Jinými slovy: přesnost měřidla zůstává po takové metrologické činnosti stále stejná a o **porovnání výsledku měření (nikoliv indikace) s referencí bychom dle našeho názoru neměli mluvit jako o kalibraci, ale o verifikaci kalibrace.**

**Proměření polohování souřadných os CMM laserinterferometrem bez možnosti korekcí chyb indikací s cílem získání správného výsledku není kalibrace** a nelze tuto metrologickou činnost považovat ani za verifikaci kalibrace, protože nespňuje požadavky mezinárodní normy ČSN EN ISO 10360-2 (chybí polohování všech čtyř úhlopříček včetně doplňkových měření koncových měrek).

**POZNÁMKA** V ČSN EN ISO/IEC 17025 je pojem „Test report“ překládán do češtiny jako „Protokol o zkoušce“. Analogicky by pak překlad pojmu „Calibracion certificate“ měl být do češtiny přeložen např. jako „Certifikát o kalibraci“ nebo „Kalibrační certifikát“. Tento pojem je však přeložen jako „Kalibrační list/certifikát“. Pojmu Kalibrační list je tak proti historickému významu přisuzován význam certifikátu, což není totéž. Zde překladatel pravděpodobně čerpal ze staršího vydání Metrologického slovníku a ne v té době platné ČSN 01 0115:1996 (VIM2). Certifikát v tomto případě není záznam o provedené kalibraci se stanovením a uvedením chyb ale o tom, že měřidlo je kalibrováno v souladu s požadavky na ně kladené (kalibrace je verifikována).

Ve smyslu výše uvedeného navrhuje, aby na toto téma byla zahájena diskuse, do které přinášíme tyto podněty a návrhy:

- dokladu Kalibrační list ponechat původní historický význam, kde se jedná o záznam s uvedením chyb indikací kalibrovaného měřidla v návaznosti na referenci;
- doklad s názvem Kalibrační list akceptovat pouze v případě, že se jedná o relevantní záznam s chybami měřidla, jejichž znalost je použitelná ke korekci indikací (analogové indikace nebo digitální indikace, které jsou bez automatických korekcí zobrazeny na displeji měřidla) k získání správného výsledku měření;
- po každé činnosti v běžném životě má následovat zkouška, že tato splnila zadání. Pak je naprosto relevantní, aby po kalibraci následovala verifikace kalibrace a byl tak poskytnut důkaz, že proces kalibrace proběhl s očekávaným výsledkem a měřidlo splňuje požadavky dle specifikace;
- doklad o verifikaci kalibrace po formální stránce nazvat jinak, než „Kalibrační list“, např. „Certifikát o kalibraci“ nebo „Kalibrační certifikát“. Tento certifikát by bylo možno editovat na jedné (úvodní) straně dokladu s tím, že kromě standardních údajů by v něm měla být uvedena specifikace o garantované přesnosti měření a výrok o výsledku verifikace kalibrace po zkoušce, zda zkoumaný CMM uvedené specifikaci vyhovuje nebo nevyhovuje anebo poskytuje výsledky měření v rozsahu nejistoty podle mezinárodní normy ČSN EN ISO 14253-1:2013;
- s ohledem na to, aby byla informace plně důvěryhodná pro uživatele CMM včetně auditorů různého druhu má být certifikát podle okolností doplněn přílohou Protokol o zkoušce s výsledky provedené verifikace kalibrace, např. zkoušky, podle příslušné mezinárodní normy řady ČSN EN ISO 10360-x, nebo jinou relevantní přílohou;
- pro zvýšení důvěryhodnosti by bylo možno doporučit přiložení záznamu o monitorování teploty k posouzení dodržení požadovaného gradientu jak v čase, tak v prostoru, protože prosté uvedení rozmezí teplot nebo dokonce žádné u CMM nestačí. Pracoviště CMM jsou nezřídka provozována v drsných klimatických podmínkách, které podstatně zvyšují nejistoty měření;
- z ekonomického hlediska je dodavatel kalibrace CMM odpovědný za to, že měřidlo po kalibraci splňuje specifikované požadavky a poskytuje správné výsledky;
- dodavatel verifikace kalibrace má tak podle výsledků zkoušky rozhodující podíl na vyjádření ohledně reklamace dodávky služby kalibrace.

### **K pojmu „Kalibrační list“:**

Doklad s názvem Kalibrační list není v současné době v platné mezinárodní dokumentaci (ani v tuzemské) vymezen jak po formální, tak po obsahové stránce, a je jen uváděn v české verzi ISO/IEC 17025. Laboratorním subjektům nelze tudíž používání tohoto názvu zakázat. Tímto názvem je ale v historických souvislostech předjíáno, že ten kdo doklad vystavil, ten také CMM kalibroval (provedl kalibraci ve dvou krocích od porovnání indikací CMM s referencí a ve druhém kroku kalibrace vytvořil vztah až po zobrazení správného výsledku měření v souladu s platnou definicí podle Mezinárodního slovníku).

Z takového Kalibračního listu by mělo být prokazatelně zřejmé, že se o kalibraci nejedná, že jde o verifikaci kalibrace CMM. Z několika možností je to např. uvedení kdo a kdy CMM kalibroval, kdo nebo která firma vytvořila měřicí programy ke zkoušce a kdo v procesu verifikace CMM obsluhoval, protože podle standardních firemních předpisů může CMM obsluhovat jen vlastní zaškolený pracovník – operátor CMM, nebo autorizovaný servisní technik. Mohla by být také uvedena jiná jednoduchá formulace, že vystavovatel KL kalibraci neprovedl, ale verifikoval.

S přihlédnutím k tomu, že v oboru metrologické správnosti CMM jsou vydány a platné validované mezinárodní normy ze skupiny norem Geometrické specifikace produktu (GPS), měly by být tyto nadřazeny všem ostatním interním postupům, které laboratoře používají a aby postupy v těchto normách byly zcela dodrženy (jsou standardně obsaženější, než stávající interní postupy).

Z uvedeného také plyne, že „Certifikát o kalibraci“ smí vystavit i dodavatel kalibrace, který není akreditován a dle požadavků objednatele k němu přiloží např. „Protokol o zkoušce“ od akreditovaného nezávislého subjektu, kterým je dokladována provedená zkouška CMM dle norem řady ISO 10360; akreditovaný doklad o verifikaci kalibrace.

Tuto studii je možno aplikovat na všechna ostatní měřidla, která jsou řízena počítačem.

V této studii je výhradně používán pojem „verifikace“, který je synonymem k ryze českému pojmu „ověřování“. Důvodem je odlišení od pojmu „ověřování stanovených měřidel“ podle zákona 505, o metrologii; CMM nepatří do skupiny stanovených měřidel.

Pojmy „virtuální KL“ a „virtuální metrolog“ jsou analogické k pojmu „virtuální pohlednice“, což je soubor, který můžeme editovat, povolit nebo zakázat další editaci, sdílet, zobrazit na monitoru, tisknout a další standardní operace se souborem.

RNDr. Miroslav Jan Skopal, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky FSI, VUT v Brně  
expert technické komise WG 10 Coordinate measuring machines při ISO TC 213 GPS  
člen pracovní skupiny TNK 7 při UNMZ, odbor Technická normalizace

[skopal@fme.vutbr.cz](mailto:skopal@fme.vutbr.cz)

Doc. Ing. Alois Fiala, CSc., Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky FSI, VUT v Brně  
[fiala@fme.vutbr.cz](mailto:fiala@fme.vutbr.cz)

### Přílohy

- Interpretace pojmu **2.39 kalibrace** dle VIM3 pro 1D až 3D délkoměry podle druhu indikace
- Blokové schéma kalibrace CMM a následného měření jeho uživatelem se začleněním prvního a druhého kroku činnosti kalibrace
- Virtuální KL Hexagon, se kterým pracuje výpočetní software PC-DMIS Wilcox pro CMM

## Interpretace pojmu **2.39 kalibrace** dle VIM3 pro 1D až 3D délkoměry podle druhu indikace

**Analogová indikace** – přímá vizuální nebo s lupou či mikroskopem klasicky

<b>REFERENCE – ETALON</b>	<p>1. krok kalibrace</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– metrolog porovná indikaci kalibrovaného měřidla s indikací reference vyšší metrologické kvality a údaje o chybách zaznamená</li> <li>– zpracuje výsledky měření</li> <li>– má tak k dispozici údaje k provedení 2. kroku činnosti kalibrace</li> </ul>	<b>MĚŘIDLO</b>	<p>2. krok kalibrace</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– vystavení kalibračního listu (KL) s údaji o zjištěných chybách</li> <li><b>Zde standardně končí proces subjektu,</b> který kalibraci provádí</li> <li>– uživatel měřidla (metrolog) použije údaje z KL ke korekci vlastních měření a aktivně dokončí druhý krok činnosti kalibrace dle VIM, který má končit vztahem po výsledku měření</li> </ul>	<b>VÝSLEDEK MĚŘENÍ</b>	<b>VERIFIKACE KALIBRACE</b>
---------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------	-----------------------------

**Digitální indikace bez softwarové korekce** – indikace zobrazena na displeji

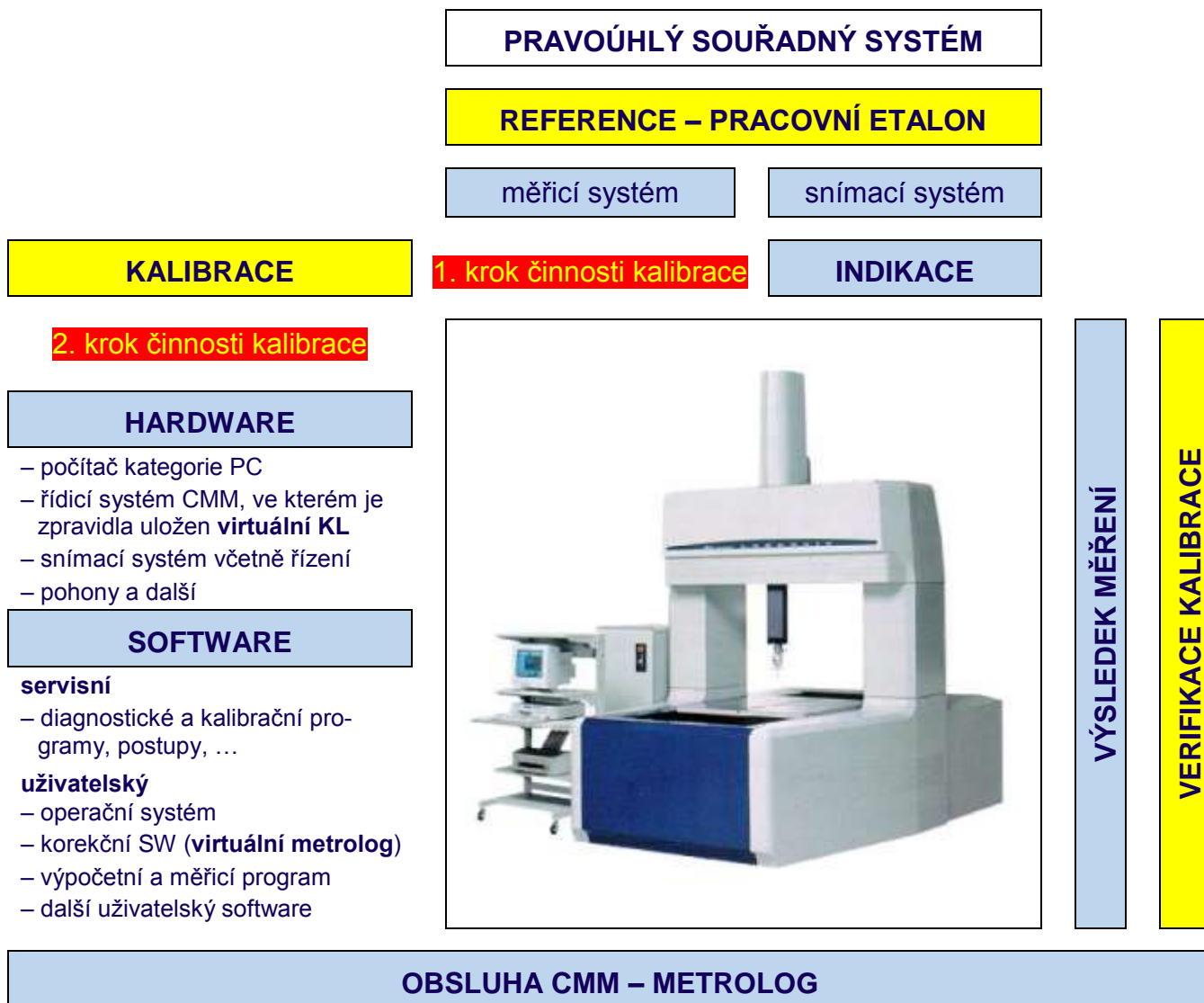
<b>REFERENCE – ETALON</b>	<p>1. krok kalibrace</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– metrolog porovná indikaci kalibrovaného měřidla (která je zobrazena na displeji pro výsledek měření) s indikací reference vyšší metrologické kvality a údaje o chybách zaznamená</li> <li>– zpracuje výsledky měření</li> <li>– má tak k dispozici údaje k provedení druhého kroku činnosti kalibrace</li> </ul>	<b>MĚŘIDLO</b>	<p>2. krok kalibrace</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– vystavení KL s údaji o zjištěných chybách</li> <li><b>Zde standardně končí proces subjektu,</b> který kalibraci provádí s tím, že bývá možnost lineární mechanické nebo softwarové korekce (změna délky pružného ocelového měřítka nebo zadání konstanty do zobrazovací jednotky)</li> <li>– uživatel měřidla (metrolog) použije údaje z KL ke korekci vlastních měření analogicky dle výše</li> </ul>	<b>VÝSLEDEK MĚŘENÍ</b>	<b>VERIFIKACE KALIBRACE</b>
---------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------	-----------------------------

**Digitální indikace se softwarovou korekcí** – na displeji je zobrazen již korigovaný výsledek

Proces kalibrace měřidla ve dvou krocích činnosti podle definice ve VIM smí provést pouze subjekt, který má k dispozici kromě pracovních etalonů odpovídající metrologické kvality také autorizaci. Ta spočívá kromě postupů výrobce měřidla ještě v tom, že k tomuto procesu má příslušné hardwarové a softwarové prostředky, které mu umožní zápis údajů o chybách do **virtuálního KL** k použití ve druhém kroku činnosti kalibrace.

<b>REFERENCE – PRACOVNÍ ETALON</b>	<p>1. krok kalibrace</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– autorizovaný pracovník nejprve zpřístupní hardware kalibrovaného měřidla k zápisu údajů o chybách</li> <li>– podle postupů výrobce měřidla porovná indikaci s referencí (pracovní etalon laserový interferometr zde má dominantní pozici reference)</li> <li>– zjištěné údaje o chybách jsou zpravidla automaticky zapsány do <b>virtuálního KL</b> (do souboru), který je uložen v PC nebo řídicím systému měřidla k použití</li> <li>– zamezí neoprávněnému přístupu do <b>virtuálního KL</b> ze strany neautorizovaného subjektu – uživatele měřidla, ...</li> </ul> <p>POZNÁMKA tento pracovní postup kalibrace měřidla s digitální indikací a její softwarovou korekcí za účelem získávání správných výsledků měření smí zrealizovat jen pracovník s autorizací od výrobce nebo dodavatele</p>	<b>MĚŘIDLO</b>	<p>2. krok kalibrace</p> <p><b>virtuální KL</b> je tak připraven k operativnímu použití <b>virtuálním metrologem</b> (korekčním software) k získání korigovaného výsledku měření z indikace</p> <p><b>Proces měření součásti</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– snímací systém snímá body na obrobku podle programu</li> <li>– při kontaktu s obrobkem vydá pokyn ke čtení indikace</li> <li>– indikaci převezme virtuální metrolog (korekční software) a z <b>virtuálního KL</b> zjistí údaje o chybách v dané poloze</li> <li>– <b>virtuální metrolog</b> koriguje polohu (souřadnice) snímaných bodů v prostoru a údaje o korigovaných bodech předá výpočetnímu programu k zobrazení žádaného výsledku měření</li> </ul>	<b>VÝSLEDEK MĚŘENÍ</b>	<b>VERIFIKACE KALIBRACE</b>
------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------	-----------------------------

## Blokové schéma kalibrace CMM a následného měření jeho uživatelem



### Postup při kalibraci CMM

**Autorizovaný pracovník** v prvním kroku činnosti kalibrace porovná **všechny indikace CMM** ve výrobcem doporučeném kroku (jedná se o 3 x 6 nelineárních funkcí ve směru souřadných os a tři konstantní údaje o pravouhlosti vedení) a uloží je do souboru na hardware CMM, **čímž vytvoří virtuální KL** a realizuje tak počátek druhého kroku činnosti kalibrace. **Ten je naplněn zobrazením výsledku měření.**

### Postup při verifikaci kalibrace CMM zkouškou podle mezinárodních norem řady ISO 10360-x

**Metrolog** porovná **výsledky** měření s **údaji pracovních etalonů**, které poskytuje např. kalibrační list koncových měrek s údaji o chybách. Měření reference – pracovního etalonu při verifikaci kalibrace CMM má být srovnatelné s měřením standardního obrobku. U velkých CMM se přípouští měření laserinterferometrem s doplňkovým měřením koncových měrek.

### Postup při měření na CMM

- obsluha CMM řídí proces měření (snímání bodů na obrobku) pomocí kniplu a/nebo měřících programů;
- pohyb snímacího systému je programován ke snímání bodů nebo skupin bodů (skenovací režim) a ten po dotyku s obrobkem vydá pokyn k indikaci souřadnic právě sejmutého bodu;
- indikované souřadnice bodu automaticky převezme **virtuální metrolog** (korekční software) a podle polohy v měřicím prostoru zjistí z **virtuálního KL** údaje o chybách pro tento bod (v případě mimo kalibrovanou polohu aproximuje z nejbližších poloh) a souřadnice bodu zkoriguje. Z více korigovaných souřadnic bodů pak vypočte požadované rozměry podle zadání. Vypočtené prvky (bod, přímka, kružnice, rovina, koule, válec a další), jejich kombinace a dle zadání obsluhou zobrazí např. na monitoru PC.

POZNÁMKA Uvedené postupy se mohou mírně lišit v závislosti na konstrukci CMM a podle výrobce.

# KALIBRACE A VERIFIKACE KALIBRACE MĚŘIDEL V OBORU DÉLKA

## Ukázka (PrtScr) virtuálního kalibračního listu standardního CMM portálové konstrukce s pracovním prostorem cca 2 m<sup>3</sup>

The screenshot displays the GEOcomp V.11.14 software interface. The main window shows a calibration table with columns for Step, Rxx, Rxy, Ryz, Rzz, Lxx, Lxy, Lxz, Lyy, and Lyz. The table is divided into three sections: the first section covers steps from 0.00 to 1500.00, the second section covers steps from 50.00 to 1200.00, and the third section covers steps from -50.00 to -1000.00. The table data is as follows:

Step	Rxx	Rxy	Ryz	Rzz	Lxx	Lxy	Lxz	Lyy	Lyz
0.00	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
100.00	-5	7.5	.6	.6	-23.2	5	-1.5		
200.00	-1.2	14.5	-1.6	-1.6	-49.6	2.0	-2.8		
300.00	-1.5	19.3	-3.2	-3.2	-72.1	2.6	-4.7		
400.00	-1.5	23.5	-4.3	-4.3	-93.8	2.3	-6.4		
500.00	-2.0	27.0	-4.2	-4.2	-113.4	2.3	-7.3		
600.00	-2.0	31.5	-3.4	-3.4	-132.7	2.0	-8.0		
700.00	-2.0	35.7	-2.3	-2.3	-151.0	2.2	-8.0		
800.00	-1.4	39.5	-1.7	-1.7	-169.6	2.1	-7.8		
900.00	-2	42.5	-1.1	-1.1	-187.1	1.3	-7.9		
1000.00	-5	44.0	-1.1	-1.1	-203.8	2.0	-7.9		
1100.00	-9	46.2	-1.9	-1.9	-222.5	2.3	-6.8		
1200.00	-1.0	49.0	-1.2	-1.2	-240.7	2.1	-5.7		
1300.00	-1.5	51.7	-2.4	-2.4	-260.6	2.1	-4.4		
1400.00	-1.5	54.4	-4.9	-4.9	-282.3	8	-2.2		
1500	-5	57.5	-6.0	-6.0	-303.6	0	0		

Below the table, there are two dialog boxes for squareness adjustment. The first dialog box, titled 'Squareness', shows 'AddFromFile' with values: XY -1.1, YZ -26.8, ZX |67.1. The second dialog box, titled 'Squareness', shows 'AddFromFile' with values: XY -1.1, YZ -32.8, ZX |67.1. The text 'Po dodatečné kalibraci pravouhlosti v rovině YZ' is positioned between the two dialog boxes.