

3/2018
ROČNÍK 27

METROLOGIE

VĚDECKÁ
LEGÁLNÍ
PRAKTICKÁ



METROLOGIE V PRAXI**Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.**

Zadávání kalibrace z pohledu zákazníka - 2. část	2
---	---

VĚDA A VÝZKUM**Ing. Vojtěch Pálinkáš, Ph.D., Mgr. Petr Křen**

Rozvoj státního etalonu tíhového zrychlení	8
---	---

Ing. Martin Koval, Ph.D.

Validácia SW podľa WELMEC 7.2, 2015 časť 1.	14
---	----

Mgr. Jaroslav Zůda, Ph.D.

Nová definice kilogramu	18
-------------------------------	----

Ing. Martin Valenta

Sjednocování výpočtu CMC v AKL v oboru teplota	22
---	----

ZKUŠEBNICTVÍ**Lucie Švecová, DiS., Ing. Petr Nasadil**

Nové zkušební přístroje určené k testování rukavic.....	31
---	----

Ing. Pavel Rubáš, Ph.D.

Zkušenosti se zkoušením speciálních truhlářských výrobků – rakví	33
---	----

INFORMACE**Ing. Gabriela Šimonová**

ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 - příběh tvorby jedné normy.....	35
---	----

Ing. Jiří Kazda

Informace o členské schůzi a 56. konferenci Českého kalibračního sdružení (ČKS, z.s.).....	38
--	----

PR

Nabídka akcí ČMS na II. pololetí roku 2018	7
--	---

Coptis	39
--------------	----

ABF	40
-----------	----

METROLOGY IN PRACTICE**Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.**

Ordering Calibration from the Customer's Point of View - Part II	2
---	---

SCIENCE AND RESEARCH**Ing. Vojtěch Pálinkáš, Ph.D., Mgr. Petr Křen**

The Development of the National Gravitational Acceleration Standard	8
--	---

Ing. Martin Koval, Ph.D.

SW Validation According to WELMEC 7.2, 2015 Part 1	14
---	----

Mgr. Jaroslav Zůda, Ph.D.

The New Definition of the Kilogram.....	18
---	----

Ing. Martin Valenta

Unifying the CMC Calculation in ACLs in the Temperature Field	22
--	----

TESTING**Lucie Švecová, DiS., Ing. Petr Nasadil**

New Glove Testing Devices	31
---------------------------------	----

Ing. Pavel Rubáš, Ph.D.

Experience with Testing Special Joinery Products - Coffins	33
---	----

INFORMATION**Ing. Gabriela Šimonová**

ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 - the History of Making a Standard	35
---	----

Ing. Jiří Kazda

Information on the Member Meeting and the 56 th Conference of the Czech Calibration Association (ČKS, z.s.).....	38
---	----

PR

The List of ČMS Events in the 2 nd Half of 2018.....	7
---	---

Coptis	39
--------------	----

ABF	40
-----------	----

ZADÁVÁNÍ KALIBRACE Z POHLEDU ZÁKAZNÍKA – 2. ČÁST

Doc. Ing. Jiří Horský, CSc.

Kalibrace v elektronice – příklady toho, co je třeba sledovat

Jednohodnotové etalony

Příklad: etalony R, C, L

Vyhodnocení výsledků:

V některých oborech měření, mezi které ale nepatří obvykle jednohodnotové etalony impedancí, je zvykem používat třídy přesnosti

- zařazení do třídy přesnosti,
(Pokud nevyhoví třídě přesnosti, obvykle vyhoví pro přeřazení do nejbližší horší třídy přesnosti.
Nevyužije se dosažená přesnost měření.
Musí se uvažovat i složka vlivem očekávaného driftu pro další použití.)
- použijí se aktuální hodnoty podle kalibrace,
(Pro užití v praxi se musí také uvážit i složka pro trend driftu.)
- započtení trendu driftu se provede aktuální hodnotou ke dni měření nebo skokovou aproximací a odpovídající nejistotou.

Specifické požadavky

Jednohodnotové etalony

Nejméně jednou by měla být teplotní závislost etalonů R a C i L změřena při kalibraci.

U etalonů R_x měřených při jiné teplotě x než 23°C je nutné znát teplotní koeficient α , ale alespoň jednou by se měl koeficient α změřit.

$$R_x = R_{23}(1 + \alpha \cdot \Delta t).$$

Pro etalony z manganinu a pro větší rozsah teploty se používá kvadratická aproximace teplotní závislosti, pro teploty kolem 23°C stačí lineární aproximace. Pro foliové odpory stačí respektovat data výrobce.

U etalonů R nad $100 \text{ M } \Omega$ je nutné znát koeficienty závislosti na napětí.

U etalonů C s plynným dielektrikem je nutné udát i polohu (konektory nahoru nebo konektory na bok).

Etalony L pro hodnoty nad 1 H na 1 kHz musí být připojeny tak, aby se nezvětšila kapacita mezi vývody etalonu.

Sady etalonů (měř)

Příklad: sady etalonů R, L a C

Platí stejné podmínky jako pro jednohodnotové etalony

Etalony L pod $1 \mu\text{H}$ na 1 kHz se měří obvykle jen jako změna proti hodnotě indukčnosti přívodů.

Dekády

Příklad: dekáda R, dekáda C

Specifika:

Dekáda R

Obvykle je dáno sériové řazení prvků. Pokud je na to dekáda konstruována, čistí se kontakty přepínačů před měřením. Konzervace kontaktů je přípustná jen neutrálními nekorozivními vaselinami, jako je vaselinum album a další novější přípravky.

Šestimístná dekáda obsahuje 24 až 60 vestavěných odporů. Všechny se musí při kalibraci změřit.

Šestimístná dekáda obsahuje nejméně 6 přechodových odporů přepínačů v serii. Postačí změřit jejich celkový součet odporu jen v poloze dekády $R = 0,000\,000 \Omega$ a předpokládá se, že tato hodnota dostatečně reprezentuje odpor kontaktů pro jakoukoliv kombinaci poloh. Ve všech ostatních kalibrovaných polohách je odpor přepínačů odečten.

Dekáda C

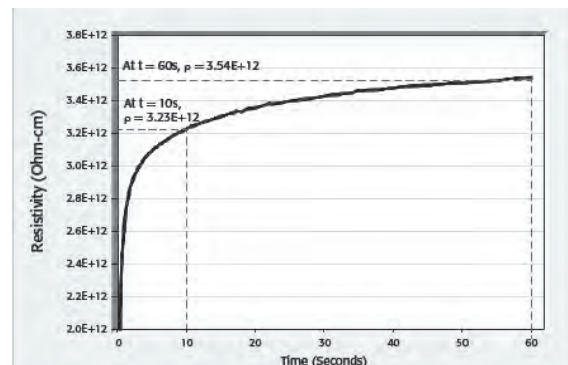
Pro hodnoty nad $1 \mu\text{F}$ na 1 kHz je potřeba čtyřsvorkové nebo čtyřpárové připojení a správné nastavení nuly (short).

Přístroje s jedním rozsahem nebo více rozsahy (MR-Multirange)

Příklad: vícerozsahový voltmetr

Na všech rozsazích se kalibruje bod u začátku (10 % z rozsahu) a bod kolem konce rozsahu (90 % z rozsahu).

Na základním rozsahu se kalibruje i linearita (10 %, 30 %, 50 %, 70 %, 90 % z rozsahu).



Obr. 8: Doba ustálení při vysokoohmovém měření

U přístrojů se specifikaací závislejší na více parametrech (například střídavý voltmetr) musí být provedena kalibrace na hlavní používané frekvenci a nejméně i pro horní mezní frekvenci podle specifikace.

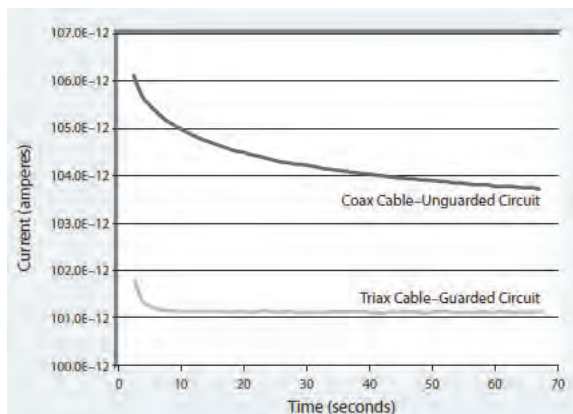
Za vyhovující se považuje přístroj, který splní specifikace včetně uvažovaného ochranného pásma na vliv stárnutí.

Příklad: přístroj se spolehlivě predikovatelným driftem

Jedná se spíše o výjimku, ale někdy se prověří sledováním trendu driftu, že tento trend je dobře predikovatelný (může se to stát například u rubidiového etalonu frekvence). Obvykle to vyžaduje, aby přístroj byl v nepřetržitém provozu, aby nedošlo k nečekaným skokovým změnám při zapínání a vypínání. Pak může být aktuální hodnota etalonu určena součtem hodnoty z předchozí kalibrace a driftu k datu měření. Druhá možnost je nahradit drift schodovou funkcí se zvolenými daty změny hodnoty a rozšířit nejistotu.

Příklad: přístroj s koaxiálním připojením

Čistění a kontrola mechanických rozměrů koaxiálních konektorů musí předcházet kalibraci.

Přívody pro vysokohomová měření

Obr. 9: Triaxiální kabel umožní podstatné snížení vstupního proudu a zrychlení ustálení při měření velmi malých proudů

Extremní čistota a užití kvalitního izolantu a případně i použití plovoucího stínění podstatně zlepší vlastnosti při měření velkých odporů nebo malých proudů.

Přístroje s více funkcemi- multifunkční (Multifunctional-MF)**Příklad: multimetr**

U multimetrů musí být provedena kalibrace pro každou měřenou funkci.

Příklad: přístroj pro měření impedance

U měřičů impedance (ACR, C, L) stačí kalibrace pro zvolenou funkci, pro ostatní jen vybrané body. Provedení korekce short určuje vlastnosti při měření malých impedancí.

Přístroj pro měření impedance s 3 až 6 přívody k měřenému prvku (např, RLC metr) se musí připojovat a nastavovat na okrajové podmínky (zkrat a rozpojený obvod) v odpovídajícím připojení.

Rozsah a jeho vlastnosti**Vnější omezení****Termální šum a teplotní závislost**

Závislost šumu na teplotě a šíři pásma je neodstranitelná vlastnost odporu.

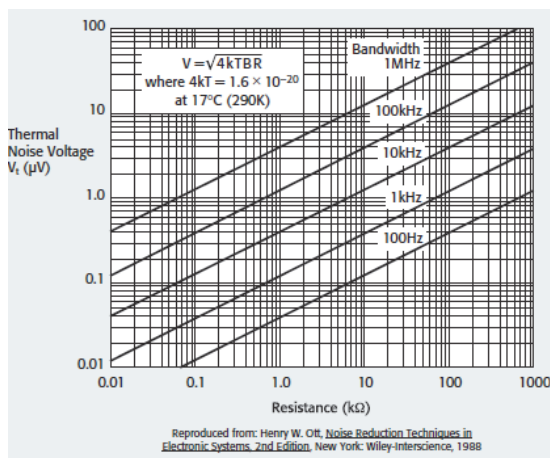
Teplotní vliv se omezuje termostatizováním nebo chladiči, případně i s nuceným větráním.

Pokud měříme etalony odporu v olejové lázni, musí být použitý olej periodicky kontrolován, nesmí být znečištěn. Vyhoví olej pro oční lékařství.

Závislost hodnoty odporu na napětí

Projeví se pro odpory nad 100 MΩ.

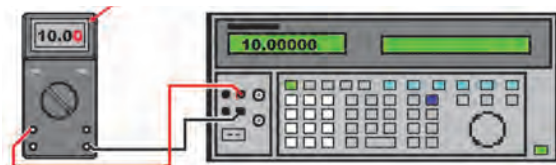
Nejméně jednou by měla být teplotní závislost hodnoty odporu na napětí změřena při kalibraci.



Obr. 10: Pro danou hodnotu R můžeme snížit šum nejčastěji zúžením přenosového pásma (snížení teploty je většinou příliš nákladné)

Kalibrátor pro multimetry

Obr. 11: Multimetr by nikdy neměl ležet na kalibrátoru, aby nebyl ovlivněn zvýšením teploty vlivem teploty unikající z kalibrátoru



Obr. 12: Poloha DMM vedle nebo alespoň s mezerou zmenší vliv ohřevu DUT kalibrátorem

Nejméně jednou by měl být změřen při kalibraci výstupní odpor na rozsazích DC U (platí hlavně pro kalibrátory Transmille, kde může být velký).

Nejméně jednou by mělo být změřeno při kalibraci nelineární zkreslení na rozsazích AC U a AC I. Zkreslení může podstatně zhoršit přesnost při kalibraci přístrojů, které neregují na pravou efektivní hodnotu (no True RMS).

Nejméně jednou by měl být změřen při kalibraci specifikovaný rozsah výstupního napětí pro funkce DC I a AC I.

Povinnosti

Jaká je povinnost kalibrační laboratoře aby splnila požadavky normy ISO/IEC 17025:2017(E)?

Podle ILAC-P14:01/2013 Politika ILAC pro nejistoty při kalibraci *ILAC Policy for Uncertainty in Calibration* uvedené v bodě 5.3 Nejistota zahrnutá v CMC musí být vyjádřena jako rozšířená nejistota s rozšířenou pravděpodobností přibližně 95 %. (Uvedená rozšířená nejistota měření je

součinem standardní nejistoty měření a koeficientu k , který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95 %).

Jednotka nejistoty musí být vždy stejná jako měřicí jednotka měřené hodnoty nebo je vůči ní vyjádřena relativně, např. v procentech. Zahnutí příslušné jednotky většinou poskytuje potřebné vysvětlení.

5.4 Kalibrační laboratoře musí doložit, že jsou schopny poskytnout zákazníkům kalibraci v souladu s článkem 5.1 b) ILAC-P14:01/2013 tak, aby se nejistoty měření rovnaly nejistotám zahrnutým do CMC. Při vyjádření CMC musí laboratoře vzít v úvahu vlastnosti „nejlepšího existujícího zařízení“, které je pro danou kategorii kalibrací k dispozici.

6.3 Numerická hodnota rozšířené nejistoty musí být udána na nejvýše dvě platné číslice.

Povinnost kalibrační laboratoře vzít v úvahu vlastnosti „nejlepšího existujícího zařízení“ je velmi zrádný požadavek, protože v oblasti elektrických veličin roste neúnosně počet deklarovaných hodnot CMC, který může pro běžnou akreditovanou laboratoř dosáhnout až několik tisíc údajů.

Z těchto bodů závazného dokumentu ILAC plyne, co může zákazník od akreditované laboratoře očekávat.

Zde může vzniknout první otázka, zda je pravděpodobnost pokrytí přibližně 95 % zrovna ta, kterou potřebuji, druhá otázka, zda bude měření provedeno na úrovni deklarované CMC laboratoře, další pak, jestli uvedené CMC je vhodné pro domlouvanou kalibraci atd..

Bohužel je z pohledu kalibrující laboratoře podstatná jen naměřená hodnota a její nejistota, konstatování o plnění specifikace je pro laboratoř jen možnost, ne povinnost a velká část laboratoř je neprovádí, protože je náročné a často doprovázeno i řadou problémů, protože by se dostala mimo oblast vlastního oboru měření ještě do oblasti managementu rizik, která je pro převážnou většinu laboratoř v současné době ještě dost cizí. Pokud laboratoř, pracující podle normy ISO/IEC 17025:2017(E) poskytne podle bodu 7.8.6 *Výkazování prohlášení o shodě se specifikací nebo normou*, musí laboratoř dokumentovat použité rozhodovací pravidlo s přihlédnutím k míře rizika (jako je falešné přijetí a falešné odmítnutí a statistické předpoklady) spojené s rozhodovacím pravidlem a použít pravidlo rozhodování. Pokud není rozhodovací pravidlo předepsáno zákazníkem, nařízením nebo normativními dokumenty, musí laboratoř podat zprávu o prohlášení o shodě tak, aby v prohlášení bylo jasně uvedeno které specifikace, normy nebo jejich části jsou splněny nebo nejsou splněny a uvést použité pravidlo rozhodování (pokud není obsaženo v požadované specifikaci nebo normě). To znamená, že laboratoř musí být seznámena i s ISO/IEC Guide 98-4.

ISO/IEC 98-4:2012

Příručka ISO/IEC 98-4:2012 poskytuje pokyny a postupy pro posouzení shody položky (entity, objektu nebo systému) se specifikovanými požadavky. Položkou může být například blok měřidla nebo měřicího systému. Postupy lze aplikovat tam, kde existují následující podmínky:

- položka se vyznačuje jediným skalárním množstvím (měřitelnou vlastností), definovanou pro úroveň pravděpodobnosti, která je dostatečná k tomu, aby byla

přiměřeně reprezentována v podstatě jedinečnou skutečnou hodnotou,

- interval přípustných hodnot vlastnosti je určen jedním nebo dvěma tolerančními limity,
- vlastnost může být měřena a výsledek měření vyjádřen způsobem, který je v souladu se zásadami GUM, takže znalost hodnoty vlastností může být rozumně popsána:
 - a) funkcí hustoty pravděpodobnosti,
 - b) distribuční funkcí,
 - c) číselně přiblížením k těmto funkcím, nebo
 - d) nejlepším odhadem spolu s intervalem pokrytí a přidruženou pravděpodobností pokrytí.

Postupy vyvinuté v tomto dokumentu lze použít k realizaci intervalu, který se nazývá interval přijetí povolených naměřených hodnot. Limity přijatelnosti lze zvolit tak, aby vyvážily rizika spojená s přijetím neshodných položek (riziko pro spotřebitele) nebo odmítnutím shodných položek (riziko dodavatele-výrobce). Jsou řešeny dva typy problémů posuzování shody. Prvním je nastavení hodnot přijatelných mezí, které zajistí dosažení požadované pravděpodobnosti shodnosti pro jednu měřenou položku. Druhým je stanovení přijatelných limitů pro zajištění přijatelné úrovně důvěry v průměru, jelikož se měří počet (jmenovitě identických) položek.

Obávám se, že v praxi podnikového metrologa není v jeho možnostech aplikovat tyto sofistikované přístupy, ale je nutné většinou používat rychlejší a jednodušší řešení.

Uplatnění nejistot je v současné době používáno nejen v oblasti metrologie, nýbrž i v oblastech managementů, zejména managementu rizika. Riziko je definováno v poslední edici mezinárodního normativního dokumentu ISO GUIDE 73:2009 „Risk management – Vocabulary“ - jako *účinek nejistoty na dosažení cílů*, na rozdíl od předchozího normativního dokumentu ISO/IEC Guide 73:2002 kde je riziko definováno jako *kombinace pravděpodobnosti události a jejích následků*. Všeobecně riziko nastává za předpokladu výskytu nejmenšího počtu negativních následků. Vznik rizik je tedy přisuzován možným odchylkám od předpokládaného výsledku nebo události. Identický pohled na riziko je i v mezinárodních normách: ISO 31000:2009 *Management rizik, principy* a směrnice ISO/IEC 31010:2009 *Management rizik a prokazování rizika*.

To vše je silně nad rozsahem činnosti běžného pracovníka zajišťujícího pro organizaci kalibraci i podnikové nebo akreditované laboratoře, kde zůstává stále hlavním problémem správnost a odbornost provedených měření a její zajištění a stručný a jednoznačný závěr, který může být pro složité multifunkční a multirozsahové přístroje sám o sobě velkým problémem. Mezilaboratorní porovnání potvrzují, že oblast elektrických veličin je již dosti ustálená, ale že deklarovaná nejistota kalibrace musí být stále ještě dost podstatně kontrolována porovnáními.

Nejistota kalibrace je určena výpočtem, ve kterém mají být zahrnuty všechny složky s vlivem na výslednou nejistotu více než 5 % (ale často se řada z těchto složek nekontroluje při kalibraci). K výpočtu se u nás používá standardizovaný postup podle EA4/02. Tento postup je sice exaktní, ale málo

přehledný pro zákazníka a pro rychlé posouzení vhodnosti použitých etalonů pro prováděnou kalibraci. Přesnost kalibračního nebo zkušebního scénáře je v zahraničí často měřena poměrem testovací nejistoty (test uncertainty ratio - TUR), což je poměr mezi specifikací, která má být testována, a nejistotou kalibračního procesu. Obvykle se požaduje TUR 4:1 nebo větší. V důsledku zlepšení stavu techniky v testovacích, měřicích a diagnostických zařízeních (TMDE) je často obtížné splnit požadavky TUR. Pokud nemůže být splněn požadavek TUR, co potom? V důsledku přechodu na použití pravděpodobnosti falešného přijetí jako primárního měřítka pro vyhodnocení kalibrací, existuje mnoho vhodných strategií pro řešení této situace. Společným přístupem je jednoduše aplikovatelné ochranné pásmo na tolerance zkoušek. Bylo však v praxi zjištěno, že toto řešení není vždy univerzálně vhodné. Ve skutečnosti existuje poměrně úzký soubor situací, ve kterých by se mělo používat ochranné pásmo.

Specifikace a její využití

Scénář kalibrace nebo testování je definován jednotkou zkoušenou (UUT), která je testována jedním nebo více testovacími, měřicími a diagnostickými zařízeními (TMDE). Přesnost mezi UUT a TMDE je často měřena pomocí testovacího poměru nejistoty (TUR). ANSI/NCSL Z540.3-2006 (odkaz [2]) definuje **TUR** jako: „**Poměr rozpětí tolerance měřené hodnoty, která je předmětem kalibrace, na dvojnásobek 95 % rozšířené nejistoty měřicího procesu používaného pro kalibraci.**“ Obecně se předpokládá, že pro kalibrace by TUR měla být **větší než 4:1**. Nicméně je poučné, že v popisu tato norma uvádí, že primárním požadavkem je **udržet riziko falešného přijetí pod 2 %**. (Otázka pak může být – proč jsou správná a vyhovující zrovna 2 %?). Pokud kalibrace poskytují ověření, že měřené hodnoty jsou v rámci specifikovaných tolerancí, pravděpodobnost, že nesprávné přijímání rozhodnutí (falešné přijetí), které bude výsledkem kalibračních zkoušek, nesmí překročit 2 % a musí to být zdokumentováno. Není-li možné tuto pravděpodobnost odhadnout a poměr nejistoty testu se rovná nebo je vyšší než 4:1, pak v případě potřeby:

- Změňte požadavek kalibrace. Pokud ověřovací proces určuje, že TMDE nevyžaduje kalibraci, je nedostatek TUR vyřešen eliminací kalibrace.
- Změňte tolerance - Pokud UUT nevyžaduje úplnou uvedenou přesnost TMDE, je možné, že snížení tolerancí TMDE by mohlo zmírnit nedostatky TUR mezi TMDE a UUT. Alternativně mohou být nevhodné tolerance zjištěné během validačního procesu projednávány a upraveny k něčemu vhodnějšímu, čímž se eliminuje nedostatek.
- Použijte speciální kalibrační štítek - Není-li použit parametr nebo rozsah pro UUT. Na vyloučení požadavku na kalibraci pro nedostatečný parametr nebo rozsah může být použita speciální kalibrační nálepka, upozorňující uživatele měřidla.
- Změna metodiky kalibrace – Pokud při určování nejistoty měření pro výpočet TUR budou zjištěny chybné nebo nereálné příspěvky, uvážit, které z nich by mohly být sníženy tak, aby umožnily lepší TUR. Například lepší

kontrola prostředí by mohla snížit chybové příspěvky z teploty nebo vlhkosti. Problémy opakovatelnosti by mohly být řešeny pomocí více měření a průměrování.

- Používejte kalibrační laboratoř vyšší úrovně - Kalibraci je třeba zvednout na kalibrační laboratoř vyšší úrovně, aby bylo možné použít etalony a zkušební zařízení s vyšší přesností. To však může být nákladné a kapacita laboratoře vyšší úrovně musí být posouzena.
- Získat jiný etalon nebo TMDE. Pokud je k dispozici přesnější TMDE, který by vyřešil nedostatek TUR, mělo by být navrženo toto nové TMDE jako řešení.
- Použijte proces výzkumu a vývoje k vypracování nového etalonu nebo kalibračního procesu.
- Program výzkumu a vývoje lze použít k vývoji etalonů nebo procesů, které dosahují požadované přesnosti. To může být také použito jako proces zmírňování TUR, který umožňuje snížit deficit kalibračního procesu s příslibem budoucího řešení.

Možná opatření

Pokud nedostatek TUR nelze odstranit, je možné získat rozhodovací riziko, které by bylo dosaženo pomocí TUR 4:1. Tato strategie se zabývá základním cílem projektu TUR 4:1. TUR 4:1 byl původně zaveden pro kontrolu úrovně nesprávného rozhodovacího rizika. Obecně se jedná o kontrolu pravděpodobnosti falešného přijetí, které zabraňuje odesílání špatného prvku do schváleného zařízení. Bohužel strategie, které umožňují dosažení přijatelné pravděpodobnosti falešného přijetí při nedostatku TUR 4:1, mají s nimi spojené náklady, které je třeba vzít v úvahu. Mezi tyto strategie patří:

- Ochranné pásmo - ochranná pásma poskytují zúžené přejímací limity, které lze matematicky ukázat, aby se snížila pravděpodobnost falešného přijetí. Náklady spojené s používáním ochranného pásma zvyšují náklady na kalibraci, ale i podstatně zvyšují spolehlivost kalibrace.
- Zkrácené rekalkibrační intervaly - použití krátkého kalibračního intervalu zvyšuje spolehlivost měření TMDE. To může být ukázáno matematicky k poklesu pravděpodobnosti falešného přijetí, ale také zvyšuje náklady na kalibraci zvýšením frekvence kalibrace.

Pokud žádný z předchozích procesů nepovede k vyřešení nedostatku TUR, musí být riziko pro UUT zdokumentováno a analyzováno k vyřešení. Tento dokument by pak měl poskytnout doporučení podle analýzy rizik:

Riziko by mělo být stanoveno na základě:

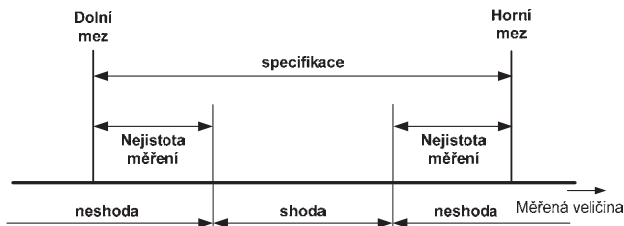
- Dokumentovaného TUR.
- Pravděpodobnosti nesprávných rozhodnutí o testování (pravděpodobnosti falešného přijetí).
- Důsledků nesprávných rozhodnutí o zkouškách na systému UUT (technický výkon, plán, náklady, bezpečnost). Důsledky nesprávných rozhodnutí během kalibrace nebo zkoušek jsou založeny na posouzení vlivu na:

- Bezpečnost při použití UUT.
- Technickou výkonnost.
- Náklady.

Posouzení těchto důsledků musí být získáno od konstruktéra UUT.

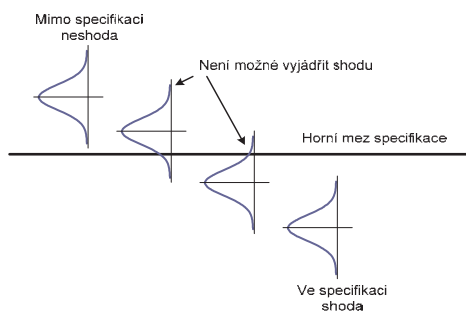
Vyjádření shody v kalibračním listu

Je-li dosažena shoda se specifikací, mělo by být zákazníkovi z kalibračního listu jasné, jaká pravděpodobnost pokrytí pro rozšířenou nejistotu byla použita. Obecně se používá pravděpodobnost pokrytí 95 % a vyjádření proto by mělo obsahovat poznámku ve smyslu, že „*Vyjádření shody je založeno na pravděpodobnosti pokrytí 95 % pro rozšířenou nejistotu*“.



Obr. 13: Zúžení pásma shody vlivem nejistoty měření podle ILAC-G8/2009 a APLAC TC 004

Jiné hodnoty pravděpodobnosti pokrytí pro rozšířenou nejistotu by měly být dohodnuty mezi laboratoří a zákazníkem předem. Je možno zvolit pravděpodobnosti pokrytí pro rozšířenou nejistotu vyšší než 95 %, kdežto nižší hodnoty by se neměly používat, ale nejsou obecně zakázány.



Obr. 14: Vliv nejistoty na možnost prokázání shody se specifikací

Doporučuje se vyjádření, že v měřeném bodě přístroj „*vyhovuje*“, „*nevyhovuje*“ nebo „*není možné vyjádřit shodu za použití pravděpodobnosti pokrytí 95 % pro rozšířenou nejistotu*“.

Jestliže vyhodnocení shody se specifikací obsahuje více veličin (nebo měřených parametrů), měla by být každá naměřená hodnota vyhodnocována nezávisle. Výsledek každého vyhodnocení by měl být uveden.

Celkové hodnocení shody s požadavky nebo specifikací může být formulováno jako:

- „*všechny naměřené hodnoty jsou ve shodě s mezí danou specifikací (mezemi)*“;
- „*pro některé z naměřených hodnot není možné učinit vyjádření o shodě se specifikací*“;
- „*některé z naměřených hodnot nejsou ve shodě se specifikacemi*“;
- „*vyjádření shody se specifikací (nebo požadavkem) je založeno na pravděpodobnosti pokrytí 95 % pro rozšířenou nejistotu výsledků měření, na nichž je založeno rozhodnutí o shodě*“.

Vyjádření by mělo jasně uvádět, zda byly mezi laboratoří a zákazníkem dohodnuty jiné hodnoty pravděpodobnosti

pokrytí pro rozšířenou nejistotu, nebo by se mělo odkázat na příslušné předpisy nebo soubor zásad.

Pozornost musí být věnována i tomu, aby kalibrační list nevyvolal dojem, že i neměřené parametry vyhovují specifikaci. Z tohoto důvodu by se **nemělo napsat obecné stanovisko** „zařízení vyhovuje svým specifikacím“. Proto se doporučuje následující formulace:

„Zařízení je ve shodě s danou specifikací v naměřených bodech pro danou úroveň pravděpodobnosti a ve vztahu k nejistotě měření“.

Měření akreditované laboratoře musí být provedena na nejnižší dosažitelné úrovni rizik vzhledem k deklarovaným CMC. Podniková kalibrační laboratoř musí všechna měření, přímo související s bezpečností také provést na nejnižší dostupné úrovni rizik.

Obdobně mají být s velkou pozorností provedena měření související s kontrolou parametrů produkce. U ostatních kalibrací je třeba zvážit optimální velikost rizika. Na opačném konci hodnocení stojí tzv. orientační měřidla, kde je riziko velmi malé a umožní stanovit dobu rekaliibrace i větší, než je doba životnosti měřidla v organizaci. Obnova měřicího zařízení je někdy výhodnější než investice do rekaliibrací. Přesto však je vhodné ve všech případech provádět nejméně základní kontroly stavu (i z hlediska bezpečnosti).

Přijetí a vyhodnocení výsledků kalibrace

Vyhodnocení kalibrace by mělo být zákazníkem provedeno vždy bezprostředně po přijetí provedené zakázky na kalibraci.

Kontrolujeme:

- Úplnost a funkčnost rekalibrovaného přístroje.
- Shodu provedených prací se zakázkou.
- Pokud bylo zadáno dostavení, zda jsou k dispozici data před i po dostavení.
- Pokud byla před kalibrací provedena oprava, musí být k dispozici zápis o opravě, ze kterého musí být jasné, co bylo opraveno.
- Úplnost a správnost kalibračního listu.
- Zda lze podle údajů v kalibračním listu měření zopakovat.
- Zda odpovídají udané nejistoty očekávaným.
- Pokud jsou udány zjevně nereálné malé nejistoty, řeší se to při projednání zakázky.
- Pokud jsou udané větší, než očekávané nejistoty, řeší se, zda to byl vliv etalonu nebo nestability UUT.
- Zda je kalibrovaný UUT opatřen štítkem kalibrační laboratoře se všemi náležitostmi.
- Pokud byla kalibrována jednohodnotová míra, ihned se kontroluje, zda nový údaj je v souladu s přepokládaným trendem driftu. Pokud není, musí následovat prověrka.
- Je-li kalibrován multirozsahový přístroj, kontrolujeme trend driftu pro vybraný bod měření (například ten, který nejlépe charakterizuje referenci vestavěnou v UUT).
- Je-li kalibrován multifunkční a multirozsahový přístroj, kontrolujte trend driftu pro vybraný bod měření každé základní funkce.

- Je-li kalibrován multifunkční nebo multirozsahový přístroj a výsledek čerpá více než 70 % specifikace, zvažíme potřebná opatření (např. zkrácení rekalibračního intervalu nebo zhoršení specifikace).
- U přístroje kalibrovaného akreditovaným subjektem, kdy není udána doba platnosti kalibrace, doplníme tento údaj na další (podnikový) štítek.

Literatura

- [1] Horský, *Dokumentace k zadávání kalibrace*, Metrologie, č.4, 2017, str. 33.
- [2] ANSI/NCSL Z540.3-2006, „Americká národní norma pro kalibraci - požadavky na kalibraci měřících a zkušebních zařízení“, NCSL International Publication.
- [3] UKAS M 3003, EDITION 3 NOVEMBER 2012, *The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement*.
- [4] ISO/IEC GUIDE 98-4 „Uncertainty of measurement - Part 4: Role of measurement uncertainty in conformity assessment“.
- [5] EURAMET cg-15 Version 3.0 (02/2015) Calibration Guide, *GUIDELINES ON THE CALIBRATION OF DIGITAL MULTIMETERS*.
- [6] ILAC-P14:01/2013 *Politika ILAC pro nejistoty při kalibraci ILAC Policy for Uncertainty in Calibration*.
- [7] ILAC-G08:03/2009, *Pokyny k uvádění shody se specifikací (Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification, 2009)*.
- [8] Leslie Pendrill, Håkan Källgren, Knut Lindlöv, *Nejistoty při posuzování shody v legální metrologii (ve vztahu k směrnici MID)*, Metrologie 3, 2007, str. 19.
- [9] J. Horský, P. Horský: *Calibration of Multifunctional and Multirange Instruments*. Cal Lab, USA, 3-4/1997.
- [10] ČSN EN 60359:2002, (356504) *Elektrická a elektronická měřící zařízení - Vyjadřování vlastností*.
- [11] Zbyněk Plzák. *Nejistota měření při posuzování shody*, Metrologie č. 2, 2009.
- [12] <http://www.businessdictionary.com/definition/specification-spec.html>.
- [13] <http://www.agilent.com/metrology/spec-guide.shtml>.
- [14] EURACHEM/CITAC Guide: *Use of uncertainty information in compliance assessment* First edition 2007.
- [15] Lucano M. *Differences in Guard Banding Strategies A Beginner's Guide*, www.agilent.com/metrology.
- [16] ČSN ISO 10576-1 (010241) *Statistické metody - Směrnice pro hodnocení shody se specifikovanými požadavky - Část 1: Obecné principy*.
- [17] APLAC TC 004 *Method for stating test and calibration results and compliance with specification*.
- [18] ISO/IEC 17025:2017 *Posuzování shody - Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří*.
- [19] *International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms* (VIM 3rd edition), JCGM 200:2012.
- [20] https://kcdb.bipm.org/kcdb_faq.asp#1



NABÍDKA AKCÍ ČMS NA II. POLOLETÍ ROKU 2018



Česká metrologická společnost, z. s.
Novotného lávka 5, 110 00 Praha 1
tel./fax: 221 082 254
e-mail: cms-zk@csvts.cz
www.csvts.cz/cms

20. 9. 2018 Veletř FOR ARCH, Výstaviště Letňany	K 544-18	Měření osvětlení ve stavebnictví
8. 10. 2018 ČSVTS Praha, učebna č. 318	K 545-18	Řízení metrologie v organizaci
12. – 15. 11. 2018 ČSVTS Praha, učebna č. 501	K 546-18	49. základní kurz metrologie
11. 12. 2018 Klub Lávka, Praha 1, Novotného lávka 1	K 547-18	20. fórum metrologů

Slovenská metrologická spoločnosť

ve spolupráci

s Českou metrologickou společností

připravuje

**1. Československé fórum metrologů
ke 100. výročí vzniku ČSR,**

které se bude konat 24. 10. 2018 v Bratislavě.

Podrobnější informace budou zveřejněny
na webových stránkách ČMS

www.csvts.cz/cms

Další podrobnosti o připravovaných akcích včetně přihlášek ke stažení budou uvedeny na webových stránkách ČMS www.csvts.cz/cms v menu Odborné akce/Kalendář akcí ČMS.

ROZVOJ STÁTNÍHO ETALONU TÍHOVÉHO ZRYCHLENÍ

Ing. Vojtěch Pálinkáš, Ph.D.¹, Mgr. Petr Křen²¹ Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.² Český metrologický institut

1 Úvod

Absolutní gravimetr FG5-215 byl v roce 2008 vyhlášen státním etalonem tíhového zrychlení. Čtenářům Metrologie byl tento unikátní přístroj představen v [1], přičemž v dalším textu [2] byly uvedeny vybrané výsledky dosažené státním etalonem, které jsou důležité zejména v geodézii (např. definice tíhových a výškových referenčních systémů), geofyzice (např. časové změny tíhového pole) a metrologii (výkonové vahy).

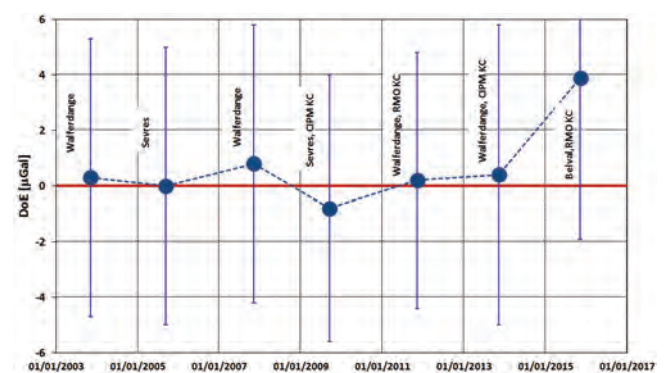
Princip měření absolutního gravimetru FG5-215 je založen na přesném interferometrickém měření volného pádu testovacího tělesa (jehož součástí je koutový odražeč) ve vakuu. Vlnová délka frekvenčně stabilizovaného laseru je kalibrována pomocí femtosekundového hřebene a časovou referencí u měření volného pádu jsou opakovaně kalibrované rubidiové hodiny s výstupem referenční frekvence 10 MHz. U státního etalonu je původní systém [3] vyhodnocení časových značek interferenčních proužků založen na TTL signálu, který je generován v komparátoru úrovně signálu s nastavenou referenční úrovní napětí. Z informace o času a vzdálenosti interferenčního signálu je vypočteno zrychlení volného pádu. Samotné měření se skládá ze série minimálně 1000 volných pádů v průběhu několika hodin (obvykle do 24 hodin). Nicméně, zrychlení volného pádu je pro přesná měření veličinou značně proměnlivou (největší změnou jsou slapová zrychlení dosahující změn v rozsahu 250 μGal , t.j. $2,5\text{E}-6 \text{ m s}^{-2}$, během 12 hodin), a proto je v geodézii korigováno na základě přijatých konvencí definujících zemské slapy, standardní atmosféru a polohu zemského pólu tak, aby se proměnlivost eliminovala. Takto určenou konvenční hodnotu nazýváme tíhovým zrychlením. Výsledkem měření je tedy obvykle série zrychlení volného pádu (ty jsou primárně potřeba u wattových vah), anebo průměrná hodnota tíhového zrychlení ze všech volných pádů (primárně vyžadována v geodézii).

V době vyhlášení etalonu byla deklarována standardní nejistota měření tíhového zrychlení státním etalonem 2,4 μGal (rel. nejistota 2,4E-9), přičemž příspěvek korekcí z geofyzikálních jevů je asi 1,2 μGal . Instrumentální část nejistoty představuje zejména příspěvek systematických chyb, které nelze snížit např. navýšením počtu provedených volných pádů. Z tohoto důvodu je na klidném místě s nízkým technickým šumem možné určit zrychlení volného pádu s nejistotou přibližně 5 μGal , statistickou část nejistoty snížit na asi 0,5 μGal již po 100 pádech, ale celková nejistota průměrné hodnoty bude charakterizována deklarovanou standardní nejistotou 2,4 μGal .

Gravimetr státního etalonu se od roku 2003 zúčastnil celkem osmi porovnávacích měření [4-10] (CIPM porovná-

vací měření z roku 2017 se zpracovává), která jsou od roku 2009 uspořádávána jako klíčová porovnávací měření a to buď CIPM nebo regionální. Dosažené stupně ekvivalence pro jednotlivá porovnávací měření jsou na **obr. 1**. Kromě posledního výsledku ukazují všechny výsledky na vynikající parametry etalonu s hodnotou blízkou pomyslnému průměru (10-20) gravimetrů. Nicméně výsledek z roku 2015 ukazuje na odchylku téměř 4 μGal , která je sice v rámci rozšířené nejistoty měření, ale přesto se jedná o hodnotu, která viditelně vybočuje od předchozích výsledků a tudíž narušuje konzistentnost měření státním etalonem. Tento výsledek pouze potvrdil již předchozí podezření na nedostatečné podchytení systematických vlivů, které při měření působí a které navíc nelze považovat za konstantní v průběhu delšího období, při kterém dochází k opravám či údržbě gravimetru. I z tohoto důvodu byla v rámci Programu rozvoje metrologie ÚNMZ podporována spolupráce ČMI a VÚGTK, která byla dále rozvinuta v rámci standardního projektu GAČR číslo 16-14105S „Pokročilé zpracování absolutních tíhových měření a výzkum systematických přístrojových vlivů“, s dobou řešení 2016-2018.

V rámci řešení tohoto projektu byl vyvinut nový měřicí a vyhodnocovací systém gravimetru [11], ověřeny a určeny systematické chyby z disperze [12], distorze signálu [13], difrakce laserového svazu a v současnosti se pracuje na stanovení vlivu Coriolisovy síly a vertikality [14]. Výsledky jsou postupně publikovány v recenzovaných časopisech. V tomto textu bychom chtěli představit vylepšené parametry etalonu a zároveň uvést i aplikaci nově vyvinutých metod na druhý gravimetr VÚGTK, gravimetr FG5X-251, který VÚGTK v letošním roce navrhne k rozšíření státního etalonu.

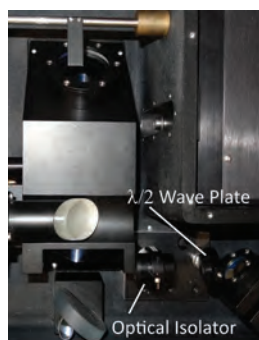
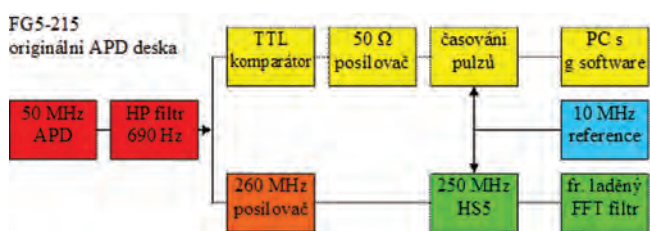


Obr. 1: Odchyly absolutního gravimetru FG5 č. 215 od referenční hodnoty porovnání ve Walferdange, Sévres a Belval podle [4-10]. Chybové úsečky pro DoE (Degree of Equivalence) představují rozšířenou ($k=2$) nejistotu tohoto parametru.

2 Vývoj nového měřicího a vyhodnocovacího systému

Byl navržen a realizován nový elektronický systém pro vyhodnocování interferenčních proužků absolutního gravimetru [11], který umožnil sledovat řadu přístrojových vlivů.

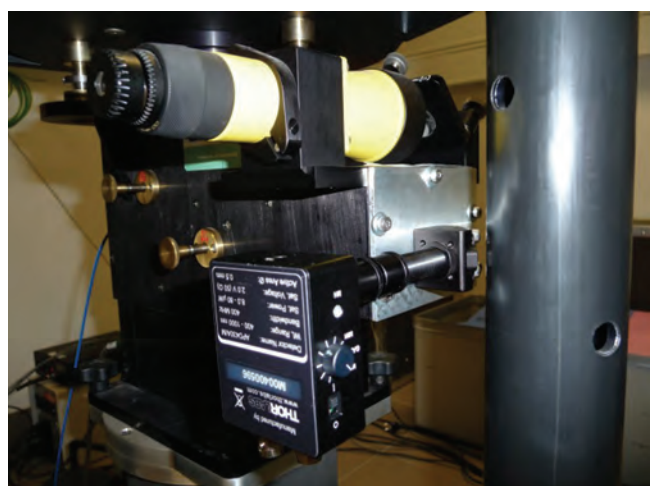
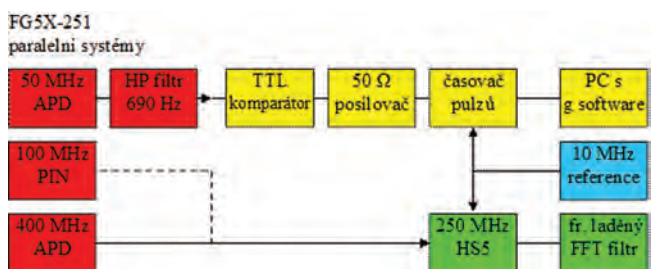
Nový systém využívá přímo analogový signál z detektoru interferometru. Celý průběh interferogramu je totiž zaznamenán rychlým AD převodníkem s dostatečnou pamětí (TiePie Handyscope HS5) a data po každém pádu přenesena přes USB rozhraní do počítače, kde jsou vzápětí vyhodnocena. Novostí tohoto systému je, že signál interferenčních proužků, jehož frekvence se zvyšuje (do přibližně 7 MHz) s rostoucí rychlostí během pádu, je filtrován pomocí rychlé FFT a to tak, že úzkopásmový filtr softwarově sleduje danou frekvenci interferenčních proužků během pádu. Výhodou tohoto řešení je snížení vlivu offsetu komparátoru původního systému, odfiltrování harmonického zkreslení interferenčních proužků a snížení šumu signálu. Nový systém u gravimetru FG5-215 využívá stejný signál z detektoru jaký je zpracováván původním systémem a při měření tak běží paralelně oba vyhodnocovací systémy. Schéma tohoto řešení je na **obr. 2** společně s ukázkou umístění vyhodnocovací jednotky na gravimetru a nových optických prvcích interferometru.



Obr. 2: Nahoře: Schéma vyhodnocovacích systémů státního etalonu. Původní i nový systém pracuje se signálem ze stejné fotodiody (50 MHz APD). Původní systém určuje průchody nulou pomocí TTL komparátoru a nový systém digitalizuje analogový signál pomocí osciloskopu HS5 a průchody nulou jsou určeny pomocí FFT. Vlevo dole: Nový vyhodnocovací systém umístěn na interferometru FG5-215. Vpravo dole: Interferometr s novým optickým izolátorem a $\lambda/2$ destičkou.

U absolutního gravimetru FG5X-251 byl aplikován jiný způsob, který umožňuje i pro tento gravimetr nový vyhodnocovací systém použít. Využívá se komplementárního výstupu interferometru, který jde mimo jiné na stínítko (fringe viewer). Jeho demontáží a použitím mechanických a optických prvků (odkláňací zrcátka a fokusační čočka) lze přivést svazek (interferenční signál) na k tomu pořízený rychlý APD detektor (Thorlabs) spojený s novou elektronikou, viz **obr. 3**.

U gravimetru FG5X-251 je tedy instalován druhý nezávislý a paralelní elektronický systém pro měření a vyhodnocení interferenčního signálu.



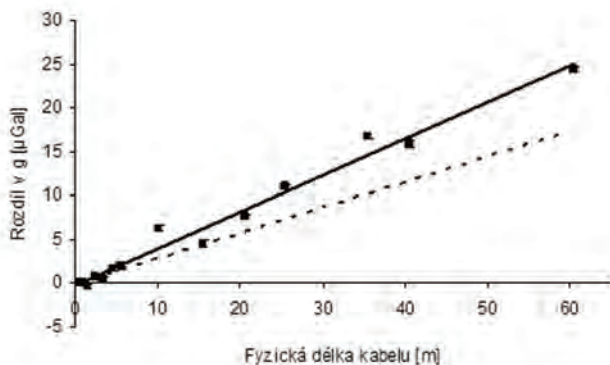
Obr. 3: Nahoře: Schéma elektronického měřicího a vyhodnocovacího systému gravimetru FG5X-251. Původní systém pracuje s interferenčním signálem generovaným 50 MHz fotodiodou, zatímco nový systém využívá nový detektor, který lze jednoduše měnit (použita byla 400 MHz APD a 100 MHz PIN dioda). Dole: Nový měřicí systém umístěn na komplementárním výstupu interferometru.

3 Vliv kabelu na přenos interferenčního signálu

Jedním ze zkoumaných vlivů v rámci projektu GAČR byl vliv impedančního nepřizpůsobení a disperze v koaxiálním kabelu (RG58), který spojuje výstup z detektoru a elektroniku ke zpracování signálu. Oba tyto jevy totiž způsobují [12], že různé frekvence signálu interferometru jsou různě zpožděny (cca desetiny nanosekundy na metr kabelu), takže chybné časování interferogramu způsobí chybné vyhodnocení tíhového zrychlení.

K ověření vlivu disperze v koaxiálním kabelu (viz **obr. 4**) byly použity kabely různé délky (od 0,5 m do 60 m, přičemž standardně se používají kabely délky 4 až 5 metrů) tak, aby mohli být ověřeny modely vlivu disperze. Na základě dat o změřeném fázovém časovém zpoždění pro dané frekvence u daného typu kabelu [15] bylo spočítáno i grupové časové zpoždění. Toto zpoždění tedy navíc vstupuje do vyhodnocení zrychlení volného pádu daného jako parametr fitu standardní rovnice volného pádu. Modelováním vlivu disperze vznikly empirické rovnice, které umožňují (pro daný laser vlnové délky 633 nm a daný typ koaxiálního kabelu) spočítat koeficient závislosti posuvu vyhodnoceného

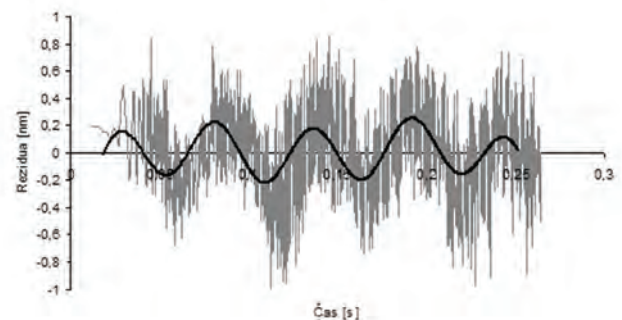
tíhového zrychlení na délce kabelu pro zvolený rozsah intervalu poloh pádu. Výsledky modelů jasně ukázaly, že počátek pádu (nízké frekvence proužků) mají značně větší vliv na vyhodnocení tíhového zrychlení (počátek pádu se úmyslně standardně v praxi nevyhodnocuje, ovšem dosud bez zjevného důvodu). Přesto je vliv u standardního rozsahu poloh při vyhodnocení pádu nezanedbatelný (v rozpočtech nejistoty přehlížený). Proto je výsledkem tohoto zkoumání doporučení, aby byl používán co nejkratší koaxiální kabel (v novém systému je používán přibližně o délce 0,5 m, je tedy zhruba řádově kratší, než je standardní délka používaného kabelu). Další výhodou nového elektronického systému zpracování interferenčních proužků je totiž její malý rozměr (lze ji totiž umístit přímo na absolutní gravimetr a přenášet jen digitální data z AD převodníku, což u komerčně dodávané elektroniky není možné). Odvozené koeficienty disperze v kabelu pro nejčastější typy gravimetrů (FG5, FG5X, A10) lze při znalosti délky kabelu použít pro výpočet příslušných korekcí měřeného g .



Obr. 4: Změny měřených hodnot g v závislosti na délce (impedančně přizpůsobeného) kabelu pro přenos analogového interferenčního signálu u nového měřicího HSS systému. Čárkovaná čára představuje matematický model disperze na základě fázových zpoždění v [15].

Dalším důležitým parametrem je impedanční nepřizpůsobení, mezi výstupem (detektor), kabelem ($50\ \Omega$) a elektronikou ke zpracování signálu (různý pro původní a nový systém). Nové systémy u obou gravimetrů jsou impedančně přizpůsobené na $50\ \Omega$ a navíc používají kabely kratší než 1 m. Na konci kabelu je zátěž $50\ \Omega$, která přizpůsobuje vstup AD převodník. Měřením bylo zjištěno, že výstup originálního systému s TTL pulzy, má přibližně $30\ \Omega$ (u obou gravimetrů FG5 a FG5X) místo očekávané impedance $50\ \Omega$, kterou má i vstup originální časovací elektroniky. Mezi vstupem a výstupem je tak impedanční nepřizpůsobení $20\ \Omega$, které způsobuje chyby ve vyhodnocení tíhového zrychlení v závislosti na délce propojovacích koaxiálních kabelů. Impedanční nepřizpůsobení způsobuje, že dochází k odrazům signálu na koncích koaxiálního kabelu. Takový signál se nejprve odrazí od nedokonalosti v přizpůsobení na straně vyhodnocovací elektroniky a šíří se zpět koaxiálním kabelem. Pak se na dalším nepřizpůsobení odrazí a elektrické napětí signálu se složí (interferuje) s původním signálem. To také způsobuje časový

posuv ve vyhodnocování interferenčních proužků (posune se čas, kdy signál prochází nulou vůči referenční hladině elektrického napětí). Proto je impedanční přizpůsobení důležité. Modelování vlivu nepřizpůsobení pomocí standardní rovnice pádu ukázalo, že nejmenší vliv je opět u krátkých kabelů (a dokonce pro krátké kabely klesá kvadraticky se zkracující se délkou). Relativně malý vliv nepřizpůsobení je i pro velmi dlouhé kabely (viz obr. 5), což je ale z hlediska rostoucího vlivu disperze je nevhodné k použití u přesných měření. Z hlediska nepřizpůsobení jsou nejhorší kabely středních délek (cca 5 až 30 metrů), u nichž může vliv nepřizpůsobení způsobit chyby i řádově větší než se počítá s rozpočtem nejistoty měření těchto absolutních gravimetrů. Proto i zde platí doporučení použít co nejkratší koaxiální kabel, protože impedanční přizpůsobení není nikdy dokonalé (je například frekvenčně závislé).



Obr. 5: Rezidua ze standardního fitu dvojice čas-vzdálenost pro výpočet g při měření s koaxiálním kabelem o délce 60 m při impedančním nepřizpůsobení $20\ \Omega$. Patrný je šum s harmonickým průběhem v důsledku nezanedbatelného odrazu interferenčního signálu [12].

4 Porovnávací měření v roce 2017

V říjnu 2017 bylo uspořádáno třetí CIPM klíčové porovnání absolutních gravimetrů. Poprvé bylo místo porovnání mimo Evropu a proběhlo pod vedením Národního institutu metrologie (NIM) v Pekingu v Changping kampusu. NIM investoval do porovnání obrovské lidské i finanční zdroje. Byla vybudována gravimetrická laboratoř (viz obr. 6), která z hledisek prostornosti (hlavní místnost poskytuje 10 absolutních tíhových bodů umístěných na dvou rozlehlých pilířích), zařízení (supravodivý gravimetr, řízení teploty v místnosti s variací do $0,5^\circ\text{C}$), založení pilířů (do hloubky 20 m) nemá ve světě obdoby. Byly tak poskytnuty podmínky k provedení co možná nejpečlivějších měření. Zajímavým zjištěním bude, nakolik se tyto excelentní podmínky promítnou do kvality výsledků porovnání.

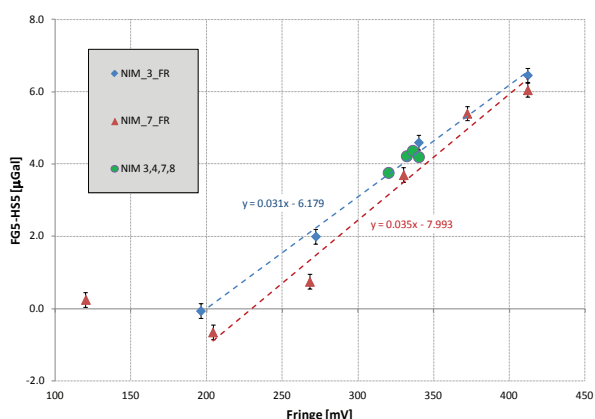
Klíčového porovnání se zúčastnilo celkem 13 gravimetrů a pilotní studie 17 gravimetrů. Překvapivou skutečností je, že se porovnání zúčastnilo celkem 6 absolutních gravimetrů pracujících na principu atomové interferometrie a všech 6 bylo z Číny.

Účast státního etalonu byla zrealizována díky podpoře přes Program rozvoje metrologie ÚNMZ. Absolutním gravimetrem FG5-215 byly zaměřeny celkem 4 body, dle harmonogramu daného technickým protokolem. Měření bylo

provedeno pokaždé s paralelně běžícími dvěma systémy popsanými výše. Jak bylo zmíněno výše, zásadní rozdíl mezi oběma systémy je ve zpracování analogového interferenčního signálu a vyhodnocení průchodu nulou. Rozdíly mezi oběma systémy (původním a novým) dosahovaly asi 4 μGal, přičemž známá závislost původního systému na interferenčním signálu [13] byla dvakrát testována přímo na místě, viz **obr. 7**. Finální výsledky měření, které byly zaslány pilotní laboratoři jsou vztaženy k měření nového systému, který bude v letošním roce navržen ke změně sestavy etalonu.



Obr. 6: Hlavní místnost nové gravimetrické laboratoře v Changping kampusu NIM, místo klíčového porovnání absolutních gravimetrů v roce 2017. V popředí je vidět první pilíř s pěti absolutními gravimetry a v pozadí pilíř druhý, který je výškově o 0,4 m níže. V zadní části místnosti je za prosklenou stěnou umístěn relativní supravodivý gravimetr a čtyři relativní pružinové gravimetry.



Obr. 7: Rozdíly mezi výsledky měření tíhového zrychlení pomocí původního FG5 systému a nového HS5 systému na čtyřech bodech (3, 4, 7, 8) během porovnávacího měření. Na bodech 3 a 7 byla po měření ověřena závislost rozdílu FG5-HS5 na změně velikosti interferenčních proužků. Tato závislost je aproximována regresní přímkou (pro měření nad 190 mV).

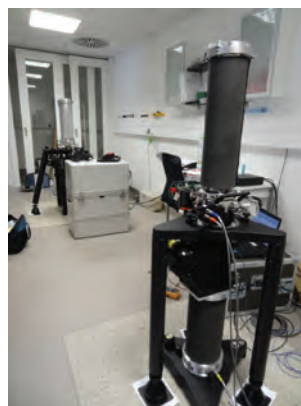
5 Porovnání gravimetrů VÚGTK

Gravimetry FG5-215 a FG5X-251 jsou od roku 2015 porovnávány na Geodetické observatoři Pecný, viz **obr. 8**. Pro výpočet systematického rozdílu mezi gravimetry z výsledků odpovídajících původním měřícím systémům a se zavedením korekce z vlastní hmoty přístroje [16] (1,7 μGal pro FG5-215 a 1,2 μGal pro FG5X-251) a velikosti interferenčních

ních proužků (použity empiricky určené koeficienty s korekcí na referenční hladinu 300 mV). Celkem byly použity tři metody porovnání. První metoda sestávala v porovnání dlouhodobých měření obou gravimetrů vůči kontinuálnímu měření supravodivého gravimetru. Druhá metoda porovnávala přímo časově blízká měření na bodech (viz **obr. 9**) a třetí metoda porovnávala výsledky synchronních měření obou gravimetrů. Odhad průměrné hodnoty systematického rozdílu byl pro jednotlivé metody (-3,33 ± 0,41) μGal, (-3,58 ± 0,31) μGal a (-2,93 ± 0,72) μGal. Z uvedených výsledků lze konstatovat, že určené tíhové rozdíly ze tří metod jsou ve vzájemném souladu v rámci uvedených standardních nejistot. Vážený průměrný rozdíl výsledků gravimetrů z původních měřících systémů je

$$g(FG5X-251) - g(FG5-215) = (-3,43 \pm 0,23) \mu\text{Gal}.$$

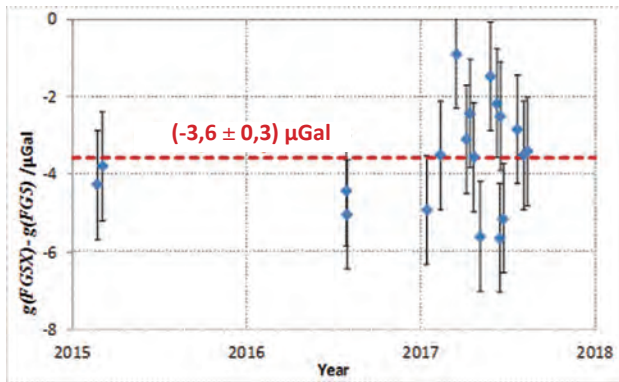
Ačkoliv je uvedený rozdíl v rámci deklarovaných standardních nejistot měření (2,4 μGal), znalost příčiny rozdílu a kvantifikace příslušné systematické chyby by umožnilo zavádění příslušných korekcí a snížení nejistoty měření. Z tohoto důvodu jsou nyní analyzovány nové výsledky měření pomocí nových systémů gravimetrů. Dosavadní analýzy ukazují, že podstatnou část rozdílu (asi 2 μGal) lze vysvětlit rozdílným efektem distorze interferenčního signálu (nový měřící systém je nezávislý na efektu distorze). Předběžné výsledky nově provedených testů vlivu vertikality (pokud



není měřící svazek vertikální vždy je naměřeno menší zrychlení) a Coriolisovy síly (při realizaci volného pádu dochází k nechtěnému pohybu testovacího tělesa i v horizontální rovině, v závislosti na rychlosti ve směru východ-západ působí Coriolisova síla) ukazují na možnost vysvětlení zbývajících systematického rozdílu mezi gravimetry.



Obr. 8: Gravimetr FG5-215 (státní etalon v pozadí) a gravimetr FG5X-251 v popředí v nové gravimetrické laboratoři na Geodetické observatoři Pecný.



Obr. 9: Rozdíly absolutních g (určených původními měřicími systémy) mezi gravimetry FG5X-251 a FG5-215 vypočtených z časově blízkých absolutních měření ve staré a nové laboratoři. Směrodatná odchylka jednoho rozdílu je 1,3 μGal , což odpovídá opakovatelnosti měření jedním gravimetrem lepší než 1 μGal .

6 Nejistoty měření a změny státního etalonu

Uvedené výsledky demonstrují zásadní výzkum uskutečněný v oblasti měření tíhového zrychlení. Vyvinutí nového měřicího systému a lepší znalost systematických chyb dovolují revizi rozpočtu nejistot měření. V **Tab. 1** je sestaven aktualizovaný rozpočet nejistot pro dosavadní měření státním etalonem s originálním měřicím systémem (celková standardní nejistota 2,76 μGal) a zároveň rozpočet nejistot pro výsledky s novým měřicím systémem a se zavedením korekcí z vertikality a Coriolisovy síly (celková standardní nejistota 2,01 μGal). Na základě tohoto rozpočtu nejistot je plánováno v letošním roce požádat o změnu sestavy etalonu. Dále by bylo vhodné státní etalon rozšířit i o gravimetr FG5X-251, je-

ž hož nejistota je prakticky identická s gravimetrem FG5-215. Toto rozšíření by bylo vhodné z hlediska zajištění funkčnosti etalonu při relativně častých údržbách a opravách gravimetrů.

7 Závěr

Absolutní gravimetry FG5-215 a FG5X-251 patří mezi komerčně vyráběné gravimetry společnosti Micro-g Lacoste Inc. Zároveň se jedná o gravimetry, u kterých je na porovnávacích měřeních deklarována nejnižší standardní nejistota měření, blízká se hodnotě 2 μGal (relativní nejistota $2E-9$). Gravimetry typu FG5 a FG5X výraznou měrou ovlivňují definici referenční hodnoty realizované na klíčových porovnávacích měřeních. Ve spolupráci ČMI a VÚGTK (s podporou ÚNMZ a GAČR) byl od roku 2015 proveden zásadní výzkum systematických chyb gravimetrů pracujících na principu laserové interferometrie a aplikován na gravimetry typu FG5(X). V rámci tohoto výzkumu byl vyhotoven jak nový vyhodnocovací tak i nový měřicí systém gravimetrů FG5(X), který byl úspěšně otestován. Bylo zjištěno, že měření původním systémem mohou být (a s velkou pravděpodobností to platí pro všechny gravimetry těchto typů) zatíženy systematickými chybami, které dokonce převyšují deklarovanou rozšířenou nejistotu měření. Na základě podrobné analýzy velké části instrumentálních vlivů bylo zjištěno, že standardní nejistota měření je u gravimetrů typu FG5(X) asi 3,1 μGal . V případě státního etalonu, který jako jediný při svých měřeních uvažoval o vlivu interferenčního signálu byla tato nejistota 2,5 μGal . Nicméně pomocí nově vyvinutého měřicího a vyhodnocovacího systému byly odhaleny další zdroje chyb, upřesněny stávající metody korekcí a zavedeny i nové korekce. Tyto změny a vylepšení umožňují

Tab. 1: Rozpočet nejistot gravimetru FG5-215 (u gravimetru FG5X-251 je téměř identický) rozdělený na příspěvky nejistot instrumentálního charakteru limitující určení okamžité hodnoty zrychlení volného pádu a příspěvků ze zavedených geofyzikálních korekcí pro korekci na konvenční hodnotu tíhového zrychlení.

Poznámka: 1 μGal = $1E-8 \text{ m s}^{-2}$, relativně $1E-9$.

Zrychlení volného pádu, t.j. instrumentální část nejistoty		
Parametr	Příspěvek nejistoty / μGal	
	Originální systém	Nový systém
Frekvence laseru	0,02	0,02
Frekvence Rb-oscilátoru	0,02	0,02
Rotace objektu	0,70	0,70
Disperze signálu	0,90	0,40
Distorze signálu	1,00	0,05
Vakuum	0,15	0,15
Klířovitost opt. prvků	0,24	0,24
Modulace vzduchové mezery	0,58	0,58
Elektrostatické jevy	0,12	0,12
Magnetický gradient	0,23	0,23
Teplotní citlivost	0,50	0,50
Coriolisova síla	0,50	0,10
Vertikalita	0,50	0,02
Referenční výška	0,20	0,20
Zpětné rázy	0,40	0,40
Volba intervalu pádu	0,80	0,40

Zrychlení volného pádu, t.j. instrumentální část nejistoty		
Parametr	Příspěvek nejistoty / μGal	
	Originální systém	Nový systém
Impedanční nepřířpůsobení	1,00	0,10
Difrakce laserového svazku	0,50	0,50
Opakovatelnost	0,80	0,80
Celkem	2,50	1,63

Korekce na tíhové zrychlení	
Parametr	Příspěvek nejistoty / μGal
Zemské slapy	0,60
Standardní atmosféra	1,00
Pohyb pólu	0,05
Celkem	1,17

Celková nejistota, t.j. měřené tíhové zrychlení	
Originální systém	Nový systém
2,76 μGal	2,01 μGal

v současné době dosáhnout standardní nejistoty měření asi 1,6 μGal , kterou lze zároveň považovat na nejlepší dosažitelnou přesnost měření absolutních gravimetrů na světě.

Poděkování

Tento článek obsahuje výsledky výzkumu prováděného v rámci projektu Grantové agentury České republiky č. 16-14105S „Pokročilé zpracování absolutních tíhových měření a výzkum systematických přístrojových vlivů“, s podporou ČMI a VÚGTK. Autoři dále děkují za podporu k uchování státního etalonu tíhového zrychlení v rámci projektu Programu rozvoje metrologie financovaného Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

Literatura

- [1] Pálinkáš V., Šimek J., Kostecký J. (ml.) Státní etalon tíhového zrychlení – absolutní gravimetr FG5 v.č. 215, Metrologie, 2008, č. 2, 12-18.
- [2] Pálinkáš V., Kostecký J. (ml.), Jiang Z., Vaľko M., Vybrané výsledky státního etalonu tíhového zrychlení, Metrologie, 2013, č. 3, 1-6.
- [3] Niebauer T., Sasagawa G. S., Faller J. E., Hilt R., Klotting F. A New Generation of Absolute Gravimeters. Metrologia, 1995, Vol. 32, 159-180.
- [4] Francis O., van Dam T., et al. Results of the International Comparison of Absolute Gravimeters in Walferdange (Luxembourg) of November 2003. IAG Symposia, Gravity, Geoid and Space Missions, 2005, Vol. 129, 272 - 275.
- [5] Jiang Z., Francis O., Vitushkin L., Palinkas V., Germak A., Becker M., et al. Final report on the Seventh International Comparison of Absolute Gravimeters (ICAG 2005). Metrologia, 2011, Vol. 48, 2011, 246-260.
- [6] Francis O., van Dam T., et al. Results of the European Comparison of Absolute Gravimeters in Walferdange (Luxembourg) of November 2007. International Association of Geodesy Symposia, 2010, Vol. 135, 31-36.
- [7] Jiang Z., Pálinkáš V., Arias F. E., Liard J., Merlet S., Wilmes H., Vitushkin L., et al. The 8th International Comparison of Absolute Gravimeters 2009: the first Key Comparison (CCM.G-K1) in the field of absolute gravimetry. Metrologia, 2012, Vol. 49, 666-684.
- [8] Francis O. et al. The European Comparison of Absolute Gravimeters 2011 (ECAG-2011) in Walferdange, Luxembourg: results and recommendations. Metrologia, 2013, Vol. 50, 257-268.
- [9] Francis O. et al. CCM.G-K2 key comparison. Metrologia, 2015, Vol. 52, Tech. Suppl. 1A-07009.
- [10] Pálinkáš V. et al. Regional comparison of absolute gravimeters, EURAMET.M.G-K2 key comparison. Metrologia, 2017, Vol. 54, Tech. Suppl.
- [11] Křen P., Pálinkáš V., Mašika P. On the effect of distortion and dispersion in fringe signal of the FG5 absolute gravimeters. Metrologia, 2016, Vol. 53, 27-40.
- [12] Křen P., Pálinkáš V., Mašika P., Vaľko M. Effects of impedance mismatch and coaxial cable length on absolute gravimeters. Metrologia, 2017, Vol. 54, 161-170.
- [13] Křen P., Pálinkáš V., Mašika P., Vaľko M. FFT swept filtering, a bias-free method for processing fringe signals in absolute gravimeters, Journal of Geodesy, 2018, Vol. 92.
- [14] Křen P., Pálinkáš V., Mašika P. On the determination of verticality and Eötvös effects in absolute gravimetry. Metrologia, 2018, Vol. 55, 451-459.
- [15] Kalliomaki M., Mannermaa J., Mansten T. 2006 Applicability of coaxial cables at picosecond range timing 20th European Frequency and Time Forum (EFTF) 499–502.
- [16] Pálinkáš V., Jiang Z., Liard J. On the effective position of the free-fall solution and the self-attraction effect of the FG5 gravimeters. Metrologia, 2012, Vol. 49, 552-559.



NOVÉ DEFINICE JEDNOTEK SI A ELEKTRICKÉ VELIČINY

Důsledky nových definic jednotek SI se projeví (kromě filozofie soustavy) hlavně v laboratoři pracující na primární úrovni a ve vědě vůbec. Zafixování hodnot základních konstant vede k jednoduššímu vyjádření nejistot v mnoha vztazích, ale na druhé straně vnese nově nejistoty do hodnot konstant, které zatím nejistotou zatíženy nebyly. Zřejmé je to třeba v oboru elektrických veličin. Dnešní definice ampéru, experimentálně těžko proveditelná, je nahrazována přesnými měřeními na základě Josephsonova a kvantového Hallova jevu. Zde se setkáváme s Josephsonovou konstantou $K_J=2e/h$ a s von Klitzingovou konstantou $R_K=h/e^2$. Nové definice fixují h a e , tudíž i K_J a R_K budou podle uvedených vztahů stanoveny exaktně. Rozdíl je zřejmý z tabulky. To povede k relativním změnám v měření napětí řádu 10^{-7} a odporu 2×10^{-8} .

Změna nastane i u měření, vázaných na permeabilitu vakua μ_0 a na permitivitu vakua ϵ_0 . Dosud je hodnota μ_0 určena ze vztahu pro magnetickou sílu a její hodnota je přesně $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$. Podle vztahu $c^2 = 1/(\epsilon_0 \mu_0)$ je tedy přesně určena i hodnota ϵ_0 . Podle nové definice se už ale ampér nevztahuje k působení magnetických sil a konstanta μ_0 se bude určovat experimentálně. Více: D. B. Newell, A more fundamental International System of Units, Physics Today 35 (2014), dostupné na <https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/PT.3.2448>

	CODATA (2014) a konvenční hodnota *)	hodnota podle nové definice	nejistota dosud (x 10 ⁹)	nová nejistota(x 10 ⁹)
c – rychlost světla ve vakuu, m s ⁻¹	299 792 458	299 792 458	0	0
μ_0 – permeabilita vakua, N A ⁻²	$4\pi \times 10^{-7}$		0	0,32
ϵ_0 – permitivita vakua, F m ⁻¹	$8,854 187 817... \times 10^{-12}$		0	0,32
h – Planckova konstanta, J s	$6,626 070 040 (81) \times 10^{-34}$	$6,626 070 15 \times 10^{-34}$	44	0
e – elementární náboj, C	$1,602 176 6208 (98) \times 10^{-19}$	$1,602 176 634 \times 10^{-19}$	22	0
K_J – Josephsonova konstanta, Hz V ⁻¹	$483 597,8525 (30) \times 10^9$ *) K_{J-90} 483 597,9 $\times 10^9$	$483 597,848 416 984 \times 10^9$	22	0
R_K – von Klitzingova konstanta, Ω	25 812,807 4555 (59) *) R_{K-90} 25 812,807	25 812,807 459 3045	0,32	0

VALIDÁCIA SW PODĽA WELMEC 7.2, 2015 – ČASŤ 1.

Ing. Martin Koval, Ph.D.

Český metrologický institut

Úvod

Dokument WELMEC 7.2 nie je smernica, ale Guide – príručka alebo návod, podľa ktorého je možné realizovať SW v meracích zariadeniach tak, aby vyhovoval požiadavkám MID. Príručku je možné využiť aj pre meracie zariadenia, ktoré nespádajú pod MID. Dokument je určený pre Oznámené Subjekty (Notifikované Osoby), ale aj pre výrobcov SW pre meracie zariadenia. Aktuálna verzia príručky je WELMEC Software Guide 7.2, 2015 (Obr. 1) platná od apríla 2016.

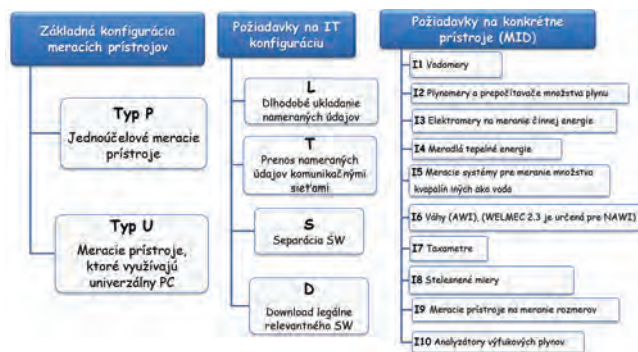


Obr. 1: WELMEC 7.2, 2015 CZ verzia

Štruktúra dokumentu WELMEC 7.2, 2015

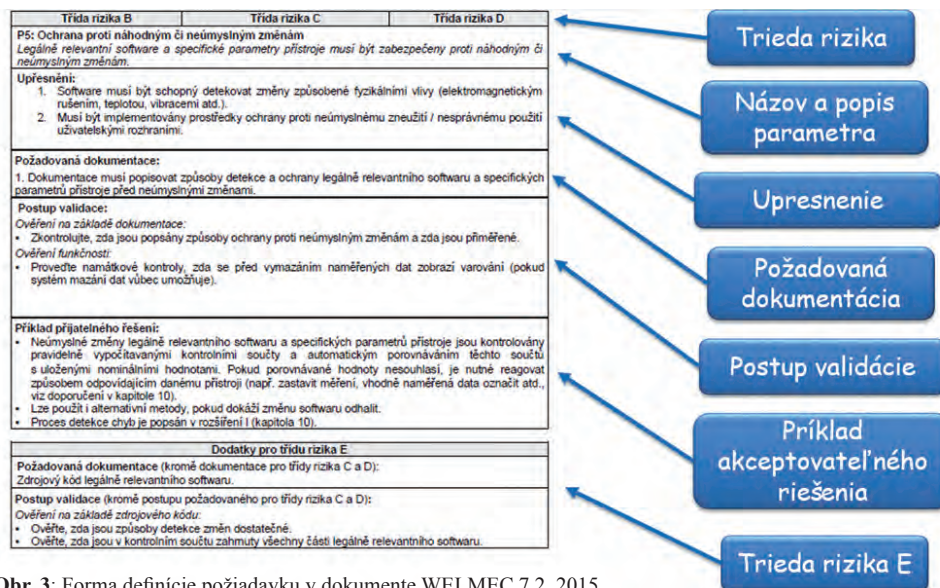
Štruktúra WELMEC 7.2, 2015 je zobrazená na Obr. 2. V prvom kroku rozdeľuje meracie prístroje podľa základnej konfigurácie na Typ P (jednoúčelové meracie zariadenia) a Typ U (meracie prístroje využívajúce univerzálny počítač). V ďalšom kroku je rozšírená IT konfigurácia (rozšírenia), kde sú definované L ako dlhodobé ukladanie nameraných údajov, T ako prenos nameraných údajov komunikačnými sieťami, S ako Separácia SW, ktorá rozdeľuje SW v meracích prístrojoch na legálne relevantný SW (LRSW) a legálne nerelevantný

SW (LNRSW) a D ako download LRSW. Rozšírená IT konfigurácia je voliteľná, nie povinná. Požiadavky na konkrétne prístroje sú dopĺňujúce požiadavky, vyplývajúce z nariadení MID. Tieto požiadavky sa vzťahujú na vodomery, plynomery a prepočítavače množstva plynu, elektromery určené pre meranie činnejšej energie, meradlá tepelnej energie, meracie systémy pre meranie množstva kvapalín iných ako voda, automatické váhy, taxametre, stelesnené miery, meracie prístroje na meranie rozmerov a analyzátory výfukových plynov.



Obr. 2: Štruktúra dokumentu WELMEC 7.2, 2015

Forma definície požiadavky je zobrazená na Obr. 3. Prvý riadok v šedom poli obsahuje rozdelenie požiadavky do rôznych tried rizika, ďalej je to názov požiadavky so stručným popisom. Časť upresnenie obsahuje konkrétny popis požiadavky. Požadovaná dokumentácia definuje čo všetko má obsahovať dokumentácia priložená k validácii SW meracieho prístroja. Postup validácie definuje body pri overení dokumentácie a body, ktoré je nutné vykonať pri funkčnom testovaní. Príklad akceptovateľného riešenia poskytuje inšpiráciu pre splnenie daného požiadavky. Posledný odsek sa zaoberá triedou rizika E, ktorá je zameraná na kontrolu zdrojového kódu.



Obr. 3: Forma definície požiadavky v dokumente WELMEC 7.2, 2015

Definícia tried rizika

Požiadavky v príručke sú rozdelené do rôznych tried rizika. Každý merací prístroj musí mať priradenú rizikovú triedu, pretože riziková trieda špecifikuje podmienky pre splnenie danej požiadavky. Rizikové triedy sú definované tromi rizikovými faktormi:

- Úroveň zabezpečenia SW
 - Nízka: Nie sú nutné žiadne zvláštne prostriedky ochrany proti zámerným zmenám SW.
 - Stredná: SW je chránený proti zámerným zmenám, ktoré by mohli spôsobiť jednoducho dostupné SW nástroje (napr. textový editor).
 - Vysoká: SW je chránený proti zámerným zmenám, ktoré by mohli spôsobiť sofistikované SW nástroje (napr. nástroj na vývoj SW).
- Úroveň preskúšania SW
 - Nízka: Realizuje sa štandardné preskúšanie typu vrátane funkčnosti meracieho prístroja. Nie je požadované ďalšie testovanie SW.
 - Stredná: SW sa testuje na základe dokumentácie, ktorá obsahuje popis funkcií SW, parametrov a pod. Realizujú sa aj praktické (funkčné) testy SW pre kontrolu dôveryhodnosti dokumentáciu a efektivity prostriedkov ochrany.
 - Vysoká: Realizuje sa hĺbkový test SW, väčšinou na základe zdrojového kódu.
- Úroveň zhody SW
 - Nízka: LRSW jednotlivých prístrojov sa považuje za zhodný s LRSW skúšaného typu, pokiaľ funkcie SW odpovedajú technickej dokumentácií daného typu. Binárny kód SW nemusí byť nutne totožný so SW daného typu.
 - Stredná: Binárny kód LRSW každého jednotlivého prístroja musí byť totožný so SW skúšaného (alebo preskúšaného) typu. Separácia SW je povolená len v prípade, ak sú splnené požiadavky pre separáciu SW.
 - Vysoká: Binárny kód celého SW implementovaného do jednotlivých prístrojov je totožný so SW skúšaného typu. Separácia SW nie je možná.

Na základe definície rizikových faktorov je možné odvodit' 27 rôznych kombinácií, z ktorých bolo vytipovaných 6 kombinácií rizikových tried A-F, ktoré sú uvedené v **Tab. 1**.

Tab. 1: Definícia tried rizika

Trieda rizika	Zabezpečenie SW	Preskúšanie SW	Zhoda SW
A	nízke	nízke	nízka
B	stredné	stredné	nízka
C	stredné	stredné	stredná
D	vysoké	stredné	stredná
E	vysoké	vysoké	stredná
F	vysoké	vysoké	vysoká

Najčastejšie sa využívajú rizikové triedy B, C a D, pri ktorých nie je nutné skúmať zdrojový kód. Riziková trieda E sa zaoberá kontrolou zdrojového kódu. Riziková trieda F sa od rizikovej triedy E odlišuje tým, že tu nie je povolená separácia SW. Riziková trieda A je definovaná ako najnižšia trieda rizi-

ka, bola zavedená z dôvodu aby bola otvorená aj táto možnosť aj napriek tomu, že sa nepredpokladá, že sem nejaký prístroj bude patriť. Prístroje, ktoré spadajú pod MID majú väčšinou stanovenú triedu rizika **Tab. 2**, pričom najnižšia riziková trieda pre meracie prístroje Typu U je riziková trieda C.

Tab. 2: Stanovené rizikové triedy pre meradlá pod MID

Meradlá pod MID	Riziková trieda
Vodomery	Typ P : riziková trieda C
Plynomery a prepočítavače množstva plynu	
Elektromery na meranie činnej energie	
Meradlá tepelnej energie	Riziková trieda C
Meracie systémy pre meranie množstva kvapalín iných ako voda	
Váhy (AWI)	Typ P: riziková trieda B (okrem súčtových váh) Typ U + súčtové váhy Typ P+U: riziková trieda C
Taxametre	Typ P: riziková trieda C Typ U: riziková trieda D
Stesnené miery	Bez stanovenia rizikovej triedy
Meracie prístroje na meranie rozmerov	Typ P: riziková trieda B Typ U: riziková trieda C
Analyzátory výfukových plynov	

Meracie prístroje Typu P a Typu U

Pri validáciách SW je možné vyplniť tabuľku (**Tab. 3**), ktorá umožňuje určiť, či sa jedná o merací prístroj Typu P alebo Typu U.

Tab. 3: Základná konfigurácia meracieho prístroje pre určenie typu meracieho prístroja

		Áno/Nie (P)	Pozn.
1	Je celý aplikačný SW určený pre účely merania?	(Áno)	
2	Sú splnené požiadavky pre začlenenie operačného systému (OS) alebo podsystémov?	(Áno)	
3	Ak je možné prístroj prepnúť do prevádzkového režimu, ktorý nepodlieha legálnej kontrole, je prístup do OS zamedzený?	(Áno)	
4	Sú implementované programy a SW prostredie nemenné (okrem aktualizácií)?	(Áno)	
5	Je prístroj vybavený programovacími nástrojmi?	(Nie)	

Pokiaľ budú odpovede na otázky (1-Áno, 2-Áno, 3-Áno, 4-Áno, 5-Nie), jedná sa o merací prístroj Typu P, v opačnom prípade sa jedná o Typ U. V prípade, ak nie je možné jasne stanoviť odpoveď, je možné uviesť informácie do poznámok, na základe ktorých hodnotiteľ bude vedieť určiť Typ meradla.

Merací prístroj Typu P je merací prístroj so vstavaným IT systémom (napr. systém na základe mikroprocesora). Všetky komponenty použitého IT systému sú prístupné k vyhodnoteniu. Vstavaný IT systém vystihujú najmä tieto charakteristiky:

- SW je určený výhradne pre účely merania. Ďalšie funkcie pre zabezpečenie SW a údajov, pre prenos údajov a pre download SW sú tiež stanovené pre účely merania.
- Uživatelské rozhranie slúži len na meranie (v bežnom prevádzkovom režime podlieha legálnej kontrole). Avšak pomocou neho je možné prepnúť do režimu, ktorý nepodlieha legálnej kontrole.
- Môže obsahovať OS alebo jeho podsystémy, ak:
 - celú komunikáciu riadi LRSW,
 - neumožňuje nahrávanie alebo zmenu programov, parametrov, údajov alebo bežiacich programov,
 - ak neumožňuje zmeny aplikácie legálne relevantného prostredia,
 - ochrana prístupu má byť nastavená vopred a nemala by vyplývať z dodatočnej konfigurácie príslušných komponentov.
- SW prostredie nie je možné meniť a neexistujú žiadne interné, ani externé programovacie nástroje na zmenu SW, ktorý je definovaný ako vstavaný SW. Download SW je možný len ak sú splnené požiadavky na rozšírenú IT konfiguráciu D.

Pre merací prístroj Typu U sú charakteristické nasledujúce konfigurácie:

Konfigurácia HW:

- Modulárny systém založený na univerzálnom počítači. Počítačový systém môže byť samostatný alebo môže byť súčasťou uzatvorenej siete (napr. ethernet, LAN) alebo otvorenej siete (napr. internet).
- Vzhľadom k tomu, že sa jedná väčšinou o systém so všeobecným účelom, snímač určený pre meranie sa môže nachádzať mimo počítačovej jednotky a je k nej pripojený pomocou komunikačného rozhrania.
- Uživatelské rozhranie má k dispozícii aj funkcie, ktoré nepodliehajú legálnej kontrole.
- Pamäť môže byť pevná (HDD), vyberateľná (USB) alebo vzdialená.

Konfigurácia SW:

- Obvykle je využívaný OS.
- Okrem aplikácie zodpovednej za meranie môžu v systéme byť spustené aj iné SW aplikácie v rovnakom čase. Bežne dostupný OS a jeho nízkoúrovňové ovládače (video ovládače, ovládače k tlačiarňam apod.) nie sú považované za legálne relevantné, pokiaľ nie sú špeciálne naprogramované na úlohy merania pre legálne relevantné účely.

Rozšírená IT konfigurácia L, T, S a D
Dlhodobé ukladanie nameraných údajov – L

Dlhodobé ukladanie je v dokumente WELMEC 7.2, 2015 definované ako časový úsek od chvíle, kedy je meranie fyzicky dokončené, až do okamžiku ukončenia všetkých procesov, ktoré majú byť vykonané LRSW. Tento termín je možné použiť aj k označeniu uložených údajov po takom časovom úseku. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené príklady

pre dlhodobé pamäte. (Tab. 4). Ak je potrebné využiť historické namerané údaje pre legálne relevantné účely, potom je nutné splniť požiadavky pre rozšírenie L.

Tab. 4: Príklady dlhodobých pamätí pre IT konfiguráciu L

Typ pamäte	Obvyklé využitie	Príklad
Integrovaná pamäť	Typ P	RAM, FLASH, HDD, EEPROM
Pamäť univerzálného počítača	Typ U	Pamäť, ktorú je možné vybrať a kopírovať.
Vyberateľná pamäť alebo vzdialené (externé) úložisko	Typ P a Typ U	USB, SD karta, vzdialená databáza pripojená pomocou internetu

Prenos nameraných údajov komunikačnými sieťami – T

Namerané údaje sú prenášané cez komunikačné rozhranie do vzdialeného zariadenia, kde sú údaje ďalej spracovávané alebo použité k legálne relevantným účelom. Pokiaľ sú údaje využívané len pre informačné účely, potom sa toto rozšírenie na ne nevzťahuje. Toto rozšírenie uvažuje s uzatvorenou a otvorenou sieťou.

Uzatvorená sieť: pevný počet účastníkov s jednoznačnou identifikáciou, všetky zariadenia v sieti podliehajú legálnej kontrole. Musí byť známa identita, funkcie a umiestnenie pripojeného zariadenia.

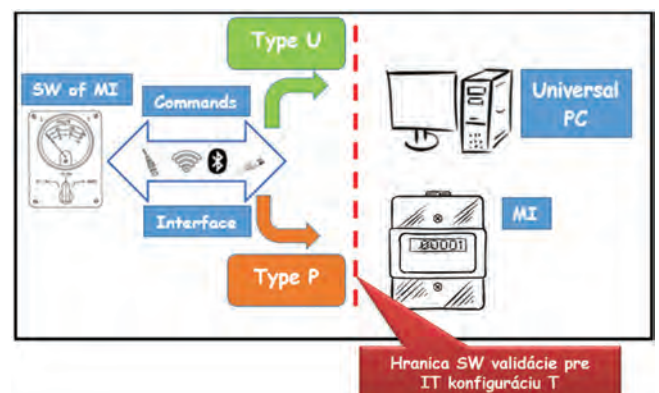
Otvorená sieť: K sieti sa môže pripojiť ktokoľvek, nie je nutné vedieť identitu, miesto umiestnenia ani funkcie.

Validačný proces pre rozšírenie T je zameraný na komunikačné rozhranie, komunikačné protokoly a prenášané dáta. Ak je potrebné využiť prenášané dáta na legálne relevantné účely, potom celá oblasť komunikácie (Obr. 4) spadá pod LRSW.



Obr. 4: Štruktúra komunikácie pre prenos nameraných údajov

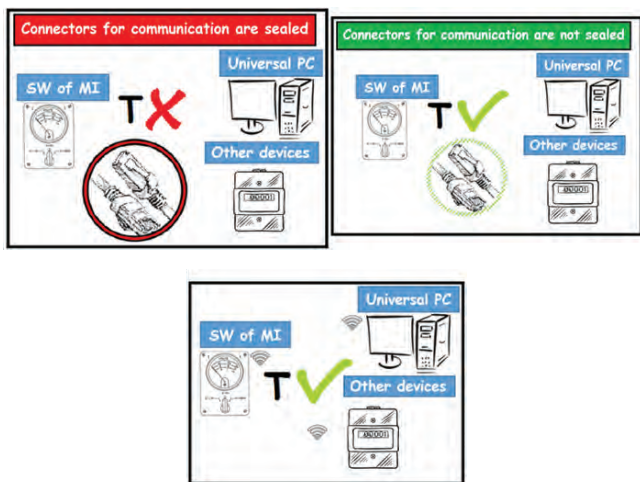
Rozšírenie T sa zaoberá len prenosom údajov, nerieši či výsledok príkazu pre zobrazovanie dát je legálne relevantný. Na Obr. 5 je zobrazená hranica rozšírenia T. Ak sú namerané údaje prenášané do ďalšieho zariadenia Typ P



Obr. 5: Hranica SW validácie pre IT konfiguráciu T

alebo Typ U a je potrebné, aby tieto dáta bolo možné použiť pre legálne relevantné účely, potom aj tieto zariadenia musia byť validované.

Ďalší obrázok (**Obr. 6**) vysvetľuje kedy je nutné zaoberať sa rozšírením T. Fyzickú realizáciu komunikácie je možné rozdeliť na kontaktnú (LAN, USB, RS-485) a bezkontaktnú (Wifi, BT). V prípade kontaktnej komunikácie s fyzicky zapečatenými konektormi nie je nutné sa zaoberať rozšírením T, pretože kabeláž je uzatvorená a je súčasťou meracieho systému. V prípade, že konektory je možné odpájať alebo sú bezkontaktné je nutné riešiť aj rozšírenie T, pretože je možné zadávať príkazy alebo posielať údaje aj zo zariadení, ktoré nespádajú pod legálnu kontrolu.



Obr. 6: IT konfigurácia prenos nameraných údajov komunikačnými sieťami T

Separácia SW – S

Dokument WelmeC 7.2, 2015 dovoľuje výrobcem SW pre meracie zariadenia rozdeliť SW na legálne relevantný SW (LRSW) a legálne nerelevantný SW (LNRSW). **Tab. 5** vysvetľuje čo nesmie byť v LNRSW. Výhodou využitia LNRSW je, že výrobca túto časť SW môže aktualizovať kedykoľvek a bez schválenia Oznamovaného Subjektu (Notifikovanej Osoby). SW v meracom prístroji častokrát obsahuje funkcie, ktoré pre metrologické činnosti patriace pod legálnu kontrolu nespádajú, ako je napr. jas displeja, jazykové menu a iné informácie, ktorých charakter je iba informačný. Dokumentácia k schvaľovanému SW musí obsahovať popis toho čo všetko patrí do LRSW a ako je riešená komunikácia medzi LRSW a LNRSW. Separácia SW je možná, ale nie povinná.

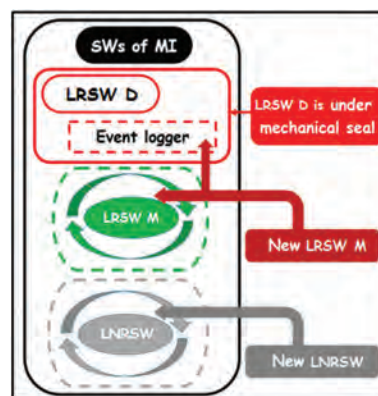
Tab. 5: Separácia SW

Typ SW	Obsah	Príklad
LRSW	metrologická časť, výpočet nameraných hodnôt, zobrazovanie/zabezpečenie/ukladanie údajov, identifikácia SW, download SW, prenos údajov – KOMUNIKÁCIA	údaje na LCD, zobrazovaní ID, prenášané legálne relevantné údaje cez kom. rozhranie,

Typ SW	Obsah	Príklad
LNRSW	všetko ostatné čo nemá vplyv na LRS	jazykové menu, podsvietenie LCD, informační zobrazovaní údajov

Download legálne relevantného SW – D

V prípade, že merací prístroj je vybavený nástrojmi na download SW bez porušenia plomby, musí spĺňať požiadavky uvedené v rozšírení D, v opačnom prípade tieto nástroje musia byť zablokované. Toto rozšírenie sa týka len LRSW, v prípade downloadu LNRSW je nutné splniť požiadavky podľa rozšírenia S. Výhodou tejto IT konfigurácie je, že ak výrobca chce aktualizovať LRSW, nemusí porušiť fyzickú plombu. V prípade aktualizácie SW veľkého množstva meracích prístrojov to podstatne zjednoduší distribúciu. Pred distribúciou musí nový LRSW najprv prejsť schvaľovacím procesom až potom je možné LRSW v meracích prístrojoch aktualizovať. Treba však rátať s tým, že nie každá krajina v EÚ podporuje download LRSW bez porušenia plomby. Nasledujúca schéma (**Obr. 7**) zobrazuje príklad možnosti realizácie rozšírenia D.



Obr. 7: Príklad realizácie pre IT konfiguráciu D

V príklade sa uvažuje o tom, že SW v meracom prístroji bude obsahovať LRSW D, ktorého úlohou je zabezpečenie procesu downloadu LRSW M, zároveň bude obsahovať aj záznamník udalostí (Event logger), ktorý bude nezmazateľný bez porušenia fyzickej plomby a bude mať presne stanovený počet možností, koľkokrát bude možné realizovať download LRSW M. V prípade zaplnenia záznamníku udalostí nebude možné aktualizovať ďalší LRSW M. LRSW M bude SW, ktorý je zodpovedný za všetky ostatné funkcie meracieho zariadenia, ktoré spadajú pod legálnu kontrolu. V prípade aktualizácie LRSW M, by mal existovať kľúč, ktorý sa pred stiahnutím porovná s kľúčom, ktorý bude v LRSW D, aby sa zabránilo downloadu SW z nepovoleného zdroja. LNRSW je možné aktualizovať kedykoľvek bez potvrdenia o zázname.

Validácia SW podľa WELMEC 7.2, 2015 časť 2. bude obsahovať popis a vysvetlenia pre špecifické požiadavky dané dokumentom pre základnú konfiguráciu pre meracie zariadenia Typ P a Typ U, požiadavky pre rozšírenú IT konfiguráciu L, T, S, D a požiadavky na prístroje konkrétneho typu spadajúcich pod MID.

NOVÁ DEFINICE KILOGRAMU

Mgr. Jaroslav Zůda, Ph.D.

Český metrologický institut

Hlavním tématem současné světové metrologie je připravovaná nová definice některých základních jednotek soustavy SI. Pozornost je zaměřena na poslední jednotku, která je reprezentována historickým artefaktem, a to jednotku hmotnosti. Ta je již od roku 1889 reprezentována Mezinárodním prototypem kilogramu, jehož hmotnost je 1 kg přesně. Na konci 20. století se ukázalo, že současná definice není udržitelná, protože nedokáže zachytit potenciální změny probíhající přímo na artefaktu.

V tomto článku budou rozebrány poslední kalibrační kampaně, kdy se použil Mezinárodní prototyp kilogramu i s jeho oficiálními kopiemi. Poslední taková kampaň proběhla v roce 2014, přičemž měření se účastnily laboratoře pracující na nové definici kilogramu. To bylo předpokladem pro pilotní mezilaboratorní porovnání, které použilo předpokládanou novou definici jednotky hmotnosti, tedy určitou velikost Planckovy konstanty. Výsledky tohoto porovnání a následná měření Planckovy konstanty mají poměrně zásadní vliv na přenos a rozdělení jednotky hmotnosti v prvních letech po zavedení nové definice.

Historie kilogramu

Hmotnost společně s délkou a časem patří nejspíše mezi první veličiny, které se člověk pokoušel určit měřením. První etalony hmotnosti byly pravděpodobně vyrobeny v Egyptě a na Středním Východě. Babylón již měl kontrolovaný metrologický systém. Etalony a další měřidla byla označována cejchem panovníka a uchovávala v chrámech a svatyních. Délkové etalony byly například vyřezávané do soch. V Římské říši existoval systém základem pro jednotlivé oblasti, které uchovávaly vlastní etalony, přičemž nej přesnější etalony byly uchovávané přímo v Římě. V rámci českého systému lze uvést analogii jednotlivých oblastních inspektorátů a primárních laboratoří. Zajímavostí římského systému bylo použití jednotek hmotnosti libry a unce jak pro hmotnost, tak pro objem. Jako objemové jednotky byly obě používány jako neměnné. Hodnota hmotnosti byla určena zaplněním duté míry určitou substancí, jako například olejem, obilím nebo vínem.

První významné novodobé pokusy o zavedení soustavy jednotek a veličin lze vysledovat do období francouzských revolucí. Nový systém měř a vah založený např. na délce zemského poledníku byl založen v roce 1793. Jednotka hmotnosti byla založena na hmotnosti 1 dm³ vody za daných podmínek, čímž měla být zaručena dostupnost etalonu. Na základě této definice byl vyroben Archivní prototyp kilogramu, který byl od roku 1799 uložen v archivu Francouzské republiky. V roce 1869 započaly práce na novém mezinárodním systému jednotek, kdy francouzská Akademie věd svolala konferenci, která se měla zabývat studiem možností výroby etalonů pro jednotlivé země a možnostmi

jejich ověřování. V té době někteří delegáti namítali, že rozdíl mezi hmotností Archivního prototypu a teoretickou hodnotou z původní definice může být až 300 mg, nicméně bylo rozhodnuto, že nový etalon hmotnosti bude odvozen z Archivního prototypu v tehdejší stavu. Po náročné přípravě slitiny a výrobě prvních prototypů byl v 1883 vybrán jeden konkrétní kus, který byl poté v roce 1889 vyhlášen jako mezinárodní prototyp kilogramu.

Československo patřilo prostřednictvím Rakouska-Uherska mezi země, které se připojily k Metrickému systému již v době vzniku v roce 1875. V roce 1928 získalo svůj prototyp kilogramu č. 41 ze slitiny platiny a iridia. Do roku 1968 byl tento etalon uchovávan v Praze, poté byl převezen do Bratislavy, kde byly zajišťovány úkoly primární etalonáže pro celé území tehdejší ČSSR. V roce 1981 získalo Československo druhý etalon ze stejné slitiny, tentokrát s označením 61. Po rozdělení Československa v roce 1993 zůstaly oba prototypy v Bratislavě. V roce 1994 byla vybudována laboratoř primární etalonáže hmotnosti v Brně, která poté zajišťovala úkoly primární etalonáže hmotnosti. V té době ČR nevladnla žádný platino-iridiový prototyp, návaznost k Mezinárodnímu prototypu kilogramu byla zajištěna přes švýcarský metrologický institut OFMET (dnes METAS, resp. EJPD) pomocí dvou závaží z nerezové oceli. V roce 1999 byl přivezen platino-iridiový prototyp č. 67, který byl v laboratořích BIPM používán jako pracovní měřidlo, a poté v roce 2000 vyhlášen státním etalonem hmotnosti České republiky.

Státní etalon hmotnosti se každých 10 let nechává kalibrovat přímo v laboratořích BIPM. Poslední kalibrace proběhla v roce 2010, kdy byla získána hodnota hmotnosti 1 kg + 0,188 mg ± 0,006 mg (k = 1). Nicméně v roce 2014 bylo prokázáno, že v určitém období neměřil používaný komparátor hmotnosti správně. Vyhodnocením velkého množství měření byla nalezena příčina a bylo možné spočítat potřebné opravy pro jednotlivé kalibrace. To se týkalo i státního etalonu hmotnosti ČR. ČMI pak získal kalibrační list s opravenou hodnotou hmotnosti, která nyní je

$$m_{67} = 1 \text{ kg} + 0,152 \text{ mg} \pm 0,003 \text{ mg} \quad (k = 1).$$

Státní etalon hmotnosti je používán pro kalibraci dvou závaží z nerezové oceli, které byly zdrojem primární návaznosti dříve. V dalším kroku návaznosti se již kalibruje celá sada primárních závaží v rozsahu 1 mg – 10 kg.

Důvody zavedení nové definice kilogramu

Mezinárodní prototyp je spolu se šesti oficiálními kopiemi trvale uchovávan v trezoru v jedné z budov BIPM. Každých přibližně 40 - 50 let je použit ve velké kalibrační kampani, kde probíhá kalibrace a porovnání velkého množství dalších platino-iridiových prototypů. K poslednímu takovému porovnání došlo v letech 1988–1992.

Po zpracování výsledků se ukázalo, že velká část prototypů vykazovala podobný nárůst hmotnosti přibližně

o 0,05 mg oproti poslední kalibrační kampani z roku 1946. Vzhledem k tomu, že neexistuje druhé zcela nezávisle určené závaží, není možné zcela s jistotou posoudit, k čemu ve skutečnosti došlo. Je jistá pravděpodobnost, že všechny prototypy mimo Mezinárodní prototyp kilogramu mohly být kontaminovány, čímž se zvýšila jejich hmotnost pokaždé podobně. Pravděpodobnější je vysvětlení, že nějakým procesem poklesla hmotnost Mezinárodního prototypu kilogramu. Mohlo též dojít k tomu, že se měnily hmotnosti všech prototypů. Jak již bylo řečeno, nelze určit přesně, k jakým změnám a na jakých prototypoch došlo, protože neexistuje druhá nezávislá reference hmotnosti. Obecně se předpokládá, že hmotnost Mezinárodního prototypu kilogramu poklesla o 0,05 mg, ale bylo rozhodnuto, že jeho hmotnost bude i nadále 1 kg přesně.

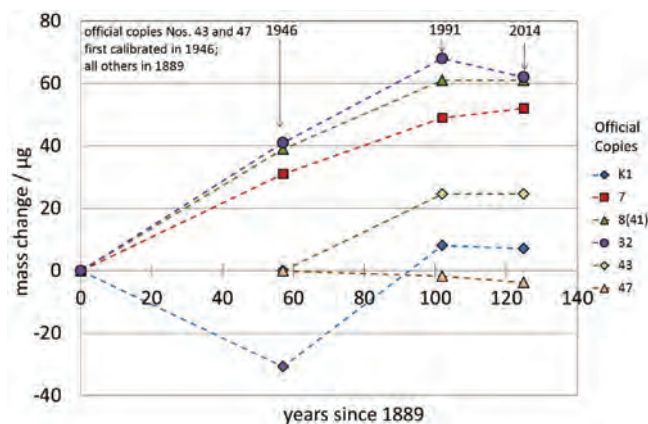
Na základě výsledků tohoto porovnání byly všechny metrologické instituty vyzvány k výzkumu nových možností definice základní jednotky hmotnosti. Větší část projektů vychází z práce Bryana P. Kibbla, který pracoval na vahách vycházejících z principu ampérových vah určených k měření proudu na základě definice ampéru v soustavě jednotek SI. Zatímco v ampérových vahách se využila známá hmotnost k určení proudu, princip Kibblových vah byl opačný, na základě velikosti proudu a tíhového zrychlení v daném místě se určuje hmotnost tělesa. Vztahy zahrnující dílčí část experimentu pro zohlednění magnetických parametrů lze přeuspořádat tak, že na obou stranách výsledného vztahu jsou veličiny, jejichž kombinací vznikne jednotka výkonu, proto se takové váhy označovaly jako Wattové. Po úmrtí B. P. Kibbla se takové váhy na jeho počest nazývají Kibblové.

Další možnost realizace kilogramu na základě konstanty vychází z krystalu křemíku, který je již nyní možné vyrábět v potřebné velikosti i čistotě. Křemík je velmi dobře známý materiál, a to jak s ohledem na jeho krystalickou strukturu, tak s ohledem na další, především povrchové vlastnosti. Realizace jednotky hmotnosti využívající křemíkovou kouli pak vychází z Avogadrovy konstanty, přičemž se na kouli samotné měří parametry jako složení povrchové vrstvy, mřížkový parametr nebo objem celé koule. Na rozdíl od experimentu Kibblových vah, které si může postavit libovolná laboratoř, pokud investuje dostatečné množství času a peněz, se projektu Avogadro účastní pouze vybrané laboratoře, protože potřebná měření na potřebné úrovni nejistot zvládnou jen některé metrologické instituty.

Již v roce 2011 bylo rozhodnuto, že nová definice kilogramu bude založena na Planckově konstantě. Před zavedením nové definice musí úspěšně proběhnout pilotní porovnání, které by simulovalo potenciální průběh budoucích klíčových porovnání hmotnosti. Spolu s tím proběhne mimořádná kalibrační kampaň, kdy se porovnají platino-iridiové prototypy zemí, ve kterých probíhá výzkum v oblasti nové definice jednotky hmotnosti.

Na základě předchozích kalibračních kampaní bylo možné odhadnout hodnoty hmotnosti jednotlivých prototypů. Po více než 20 letech od poslední kampaně mělo dojít k nárůstu o přibližně 0,01 mg, tedy o hodnotu, která přesa-

huje velikost nejistoty při kalibraci prototypů jednotlivých zemí. Ukázalo se, že hodnoty téměř všech etalonů jsou přibližně stejné jako při poslední kampani. Nyní tedy nelze jednoznačně rozhodnout o chování jednotlivých prototypů ani jednoznačně odhadnout jejich chování v budoucích letech. Lze říci, že v současnosti neexistuje jasná představa o chování Mezinárodního prototypu kilogramu, oficiálních kopií ani prototypů, které často bývají používány jako státní etalony jednotlivých zemí.



Obr. 1: Vývoj hmotnosti vybraných oficiálních kopií Mezinárodního prototypu kilogramu (převzato z: STOCK, 2015)

V roce 2016 proběhla pilotní studie klíčového porovnání. Na rozdíl od standardních klíčových porovnání zde byla určována hmotnost porovnávaných závaží nikoliv pomocí určitého etalonu, ale pomocí primárního experimentu v návaznosti na předem stanovenou Planckovu konstantu. Ta vycházela z tehdy známých výsledků a doporučené hodnoty CODATA. Porovnání jako takové probíhalo víceetapově, porovnávaly se jednak primární realizace ve vakuu, jednak přenos jednotky hmotnosti z vakua na vzduch. Ukázalo se, že všechna měření a tím i všechny primární realizace kilogramu jsou mezi sebou kompatibilní.

Přehled aktuálních výsledků a realizací nového kilogramu

Až do 1. července 2017 bylo možné publikovat nové výsledky měření Planckovy konstanty, ať už pomocí experimentu Kibblových vah nebo z projektu Avogadro. Doposud žádná jiná metoda nedosáhla dostatečně dobré nejistoty. Na základě všech nejnovějších měření byla spočtena Planckova konstanta

$$h = 6,62607015 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

s relativní nejistotou 10^{-8} . Předpokládá se, že právě zde uvedená číselná hodnota bude součástí nové definice základní jednotky hmotnosti.

Na světě v současnosti existuje 10 experimentů vedoucích k nové realizaci jednotky hmotnosti. Doposud nejmenší nejistoty dosáhl kanadský institut NRC v roce 2017, který publikoval relativní nejistotu $9,1 \times 10^{-9}$. NRC odkoupilo již dříve Kibblovu váhu od britského institutu NPL a neustále pokračuje v jejím vylepšování.

Druhou nejlepší nejistotu v oblasti Kibblových vah uvedl NIST (USA), a to $1,3 \times 10^{-8}$. NIST již velmi dlouho působí v oblasti výzkumu nové definice kilogramu. Model, kterým dosáhli takto nízké nejistoty, je již čtvrtý v pořadí. Hlavním rozdílem oproti jiným experimentům je použití velkého kola pro vedení závaží v čistě vertikálním pohybu.

Dalším experimentem, jehož výsledky byly vzaty do úvahy při výpočtu hodnoty Planckovy konstanty, je Kibblova váha francouzského institutu LNE. Tato váha má klasickou konstrukci, kdy je na pohyblivém ramenu umístěno závaží. Relativní nejistota tohoto měření je $5,7 \times 10^{-8}$. Zároveň je to experiment, který je v rámci Evropy nejdále.

Projekt Avogadro se primárně soustředí na určení Avogadrovy konstanty. Vzhledem k tomu, že jej lze použít i pro určení hmotnosti, lze najít vztah přepočítávající Avogadrovu konstantu na Planckovu, a proto i výsledky tohoto projektu byly použity. Jak již bylo řečeno, jedná se o velký mezinárodní projekt, přičemž hlavní laboratoří je v tomto případě německý institut PTB. Na základě posledních měření z roku 2017 byla určena relativní nejistota Planckovy konstanty $1,2 \times 10^{-8}$.

Experimentů v provozu je více, nicméně již žádný nestihl publikovat dostatečně dobré výsledky. Jen namátkou můžeme zmínit, že experimenty Kibblových vah jsou ve vývoji nebo v provozu v Turecku, Švýcarsku, Jižní Koreji, Novém Zélandu a v Číně. Ve vývoji je též Kibblova váha v BIPM.

Důsledky zavedení nové definice kilogramu

Výsledky měření Planckovy konstanty zveřejněné až po pilotní studii porovnání nejsou vzájemně velmi kompatibilní, jak se předpokládalo a jak také vyplývalo z výsledků porovnání. Na základě dohod se i přesto stále počítá se schválením nové definice kilogramu během Generální konference měř a vah v listopadu 2018 a s oficiálním zavedením nové definice k 20. květnu 2019.

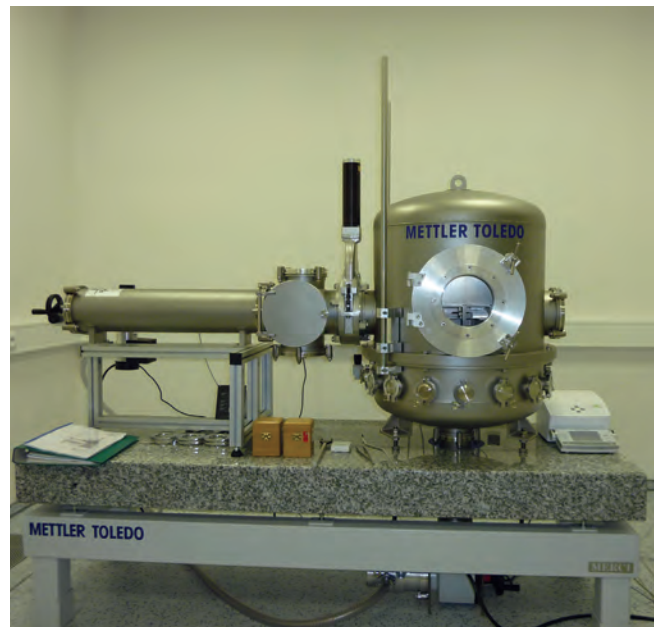
V prvních letech po zavedení nové definice kilogramu nebude hmotnost odvozována přímo z jednotlivých realizací, ale z určité konsenzuální hodnoty soupravy závaží. Vyplývá to právě z faktu, že dosavadní měření Planckovy konstanty nejsou vzájemně v dostatečném souladu. Až později se předpokládá, že hmotnost bude odvozována přímo od jednotlivých realizací. I přesto budou všechny laboratoře provozující primární realizaci kilogramu porovnávány i mezi sebou prostřednictvím neustále probíhajícího klíčového porovnání.

Zásadním důsledkem zavedení nové definice jednotky hmotnosti bude fakt, že Mezinárodní prototyp kilogramu, který doposud měl nulovou nejistotu, právě určitou hodnotu nejistoty získá. Nyní je relativní nejistota Planckovy konstanty přibližně 1×10^{-8} . Po změně definice bude tato relativní nejistota převedena na Mezinárodní prototyp kilogramu, jeho nejistota tak bude 0,01 mg, tedy více, než jaká je současná nejistota státního etalonu hmotnosti ČR.

V prvních letech po zavedení nové definice bude muset laboratoř primární etalonáže hmotnosti zvýšit nejistotu

hmotnosti státního etalonu hmotnosti tak, aby nový údaj reflektoval nové podmínky. To následně ovlivní kalibrační schopnosti laboratoře, nicméně tyto změny nebudou ovlivňovat běžné zákaznické kalibrace, kde mají větší vliv jiné zdroje nejistot.

Primární realizace nové jednotky hmotnosti probíhají především ve vakuu. ČMI se postupně připravuje i na tuto variantu, aby byl zachován stálý přístup k primární realizaci jednotky, jako je tomu i nyní s platino-iridiovým prototypem. Laboratoř primární etalonáže hmotnosti v Brně provádí výzkum v oblasti měření hmotnosti v prostředí vakua a jiných plynů s ohledem na přenos jednotky hmotnosti mezi různými prostředím. Laboratoř též rozšiřuje přístrojové vybavení tak, aby bylo možné pracovat se závažími, které budou trvale umístěny ve vakuu ve speciálním pouzdře. Takové pouzdro bude moci být přenášeno přímo k jednotlivým realizacím nového kilogramu.



Obr. 2: Vakuový komparátor hmotnosti laboratoře primární etalonáže hmotnosti

Hmotnost jako taková již nebude odvozována od jednoho konkrétního prototypu umístěného v prostorách Mezinárodního úřadu pro míry a váhy. Bude odvozována z různých laboratoří po celém světě a ČMI, stejně jako ostatní laboratoře a instituty, si bude moci mezi nimi vybírat na základě různých parametrů. Zároveň bude možný vývoj primárních experimentů pro různé nominální hmotnosti, nejen pro hmotnost 1 kg.

Shrnutí

V tomto článku byly představeny základní koncepty nové definice jednotky hmotnosti, a to s ohledem na zavádění. Teoretické principy jednotlivých realizací byly představeny již v dřívějších článcích.

V posledních letech byla provedena další kalibrační kampaň s mezinárodním prototypem kilogramu za účelem aktualizace poznatků z důvodu zavádění nové definice

kilogramu a přípravě pilotní studie, která by měla reprezentovat potenciální budoucí klíčová porovnání v oblasti hmotnosti. Během této kampaně se ukázalo, že jeden z komparátorů hmotnosti používaný v BIPM vykazoval určité odchylky od správné funkčnosti, které bylo možné po kontrole měření od roku 1990 zpětně kompenzovat. Dotčené instituty, mezi nimiž byl i ČMI, dostaly nové kalibrační listy s opravenými hodnotami hmotnosti.

Mimořádná kalibrace ukázala, že se v mezidobí od poslední kampaně pravděpodobně neměnila hmotnost mezinárodního prototypu kilogramu. Důsledkem je, že nyní není zcela jasné, z jakých důvodů mohlo k významné změně detekované v předchozí kampani dojít.

Pilotní studie navazující na kalibrační kampaň prokázala, že všechny nové realizace kilogramu jsou vzájemně kompatibilní. Po ukončení a vyhodnocení nových výsledků měření Planckovy konstanty se ukázalo, že ve skutečnosti není kompatibilita zcela dobře zaručena. Bylo rozhodnuto, že i přesto by se měla nová definice kilogramu schválit s tím, že do dosažení potřebné vzájemné kompatibility bude hmotnost odvozována ze soupravy závaží neustále kalibrované v jednotlivých primárních realizacích.

Prvním důsledkem zavedení nové definice kilogramu bude fakt, že mezinárodní prototyp kilogramu bude mít nejistotu. Současný stav experimentů je takový, že jeho nejistota bude vyšší, než jaká je nejistota předávaná BIPM jednotlivým institutům, což částečně ovlivní kvalitu dosažených výsledků některých laboratoří hmotnosti. Laboratoř primární etalonáže hmotnosti ČMI se na tyto skutečnosti i na novou definici jako takovou neustále připravuje tak, aby bylo co nejdříve možné stanovit nový etalon hmotnosti, který bude přímo kalibrován prostřednictvím některé nové realizace.

Literatura

- [1] BECKER, 2003. The SI unit of mass. *Metrologia*. 40(6).
- [2] BECKER, Peter, 2003. Tracing the definition of the kilogram to the Avogadro constant using a silicon single crystal. *Metrologia*. 40(6), 366-375. DOI: 10.1088/0026-1394/40/6/008.
- [3] BETTIN, H a S SCHLAMMINGER, 2016. Realization, maintenance and dissemination of the kilogram in the revised SI. *Metrologia*. 53(5), A1-A5. DOI: 10.1088/0026-1394/53/5/A1. ISSN 0026-1394. Dostupné také z: <http://stacks.iop.org/0026-1394/53/i=5/a=A-1?key=crossref.01ec08125b30e758299a8714fc9c0e50>
- [4] DE MIRANDÉS, Estefanía, Pauline BARAT, Michael STOCK a Martin J T MILTON, 2016. Calibration campaign against the international prototype of the kilogram in anticipation of the redefinition of the kilogram, part II: evolution of the BIPM as-maintained mass unit from the 3rd periodic verification to 2014. *Metrologia*. 53(5), 1204-1214. DOI: 10.1088/0026-1394/53/5/1204. ISSN 0026-1394. Dostupné také z: <http://stacks.iop.org/0026-1394/53/i=5/a=1204?key=crossref.8317b-8555c98200333e42a94d165532b>
- [5] EICHENBERGER, A, B. JECKELMANN a P. RICHARD, 2003. Tracing Planck's constant to the kilogram by electromechanical methods. *Metrologia*. 40(6), 356-365. DOI: 10.1088/0026-1394/40/6/007.
- [6] HÄRTIG, Frank, Horst BETTIN, Michael BORYS, Rudolf MEES a Roman SCHWARTZ, 2015. Dissemination of the new kilogram via silicon spheres. In: HOLUB, Jan. XXI Imeko World congress - Full papers. Praha: ČVUT, s. 7-11. ISBN 978-80-01-05793-3.
- [7] KRÍŽ, Ivan, 2010. Historie jednotky hmotnosti. *Metrologie*. (4, Tematická příloha), 3-6.
- [8] KRÍŽ, Ivan, 2010. Historie primární etalonáže hmotnosti v České republice. *Metrologie*. (4), 6-7. Dostupné také z: <http://www.unmz.cz/files/metrologie/casopis/pln%C3%A9%20verze%20%C4%8D%C3%ADsel/P%C5%99%C3%ADloha%20Metrologie%204-2010%20-%20WWW.pdf>
- [9] RICHARD, Philippe, Hao FANG a Richard DAVIS, 2016. Foundation for the redefinition of the kilogram. *Metrologia*. 53(5), A6-A11. DOI: 10.1088/0026-1394/53/5/A6. ISSN 0026-1394. Dostupné také z: <http://stacks.iop.org/0026-1394/53/i=5/a=A6?key=crossref.96de2987e4caeecca5d2dbefc5d3771db>
- [10] STOCK, M, S DAVIDSON, H FANG, M MILTON, E DE MIRANDÉS, P RICHARD a C SUTTON, 2017. Maintaining and disseminating the kilogram following its redefinition. *Metrologia*. 54(6), S99-S107. DOI: 10.1088/1681-7575/aa8d2d. ISSN 0026-1394. Dostupné také z: <http://stacks.iop.org/0026-1394/54/i=6/a=S99?key=crossref.0c0470bab94d9a17a61de-8f967e37a72>
- [11] STOCK, Michael, Pauline BARAT, Richard S DAVIS, Alain PICARD a Martin J T MILTON, 2015. Calibration campaign against the international prototype of the kilogram in anticipation of the redefinition of the kilogram part I: comparison of the international prototype with its official copies. *Metrologia*. 52(2), 310-316. DOI: 10.1088/0026-1394/52/2/310. ISSN 0026-1394. Dostupné také z: <http://stacks.iop.org/0026-1394/52/i=2/a=310?key=crossref.fca1c28cb1e4953eda7b3ac-32462b6a3>
- [12] ŽŮDA, Jaroslav, 2010. Laboratoř primární metrologie hmotnosti. *Metrologie*. (4, tematická příloha), 10-13. Dostupné také z: <http://www.unmz.cz/files/metrologie/casopis/pln%C3%A9%20verze%20%C4%8D%C3%ADsel/P%C5%99%C3%ADloha%20Metrologie%204-2010%20-%20WWW.pdf>
- [13] ŽŮDA, Jaroslav a Ivan KRÍŽ, 2011. Základní jednotka hmotnosti – kilogram. *Metrologie*. (4, tematická příloha), 9-14. Dostupné také z: <http://www.unmz.cz/files/metrologie/casopis/pln%C3%A9%20verze%20%C4%8D%C3%ADsel/P%C5%99%C3%ADloha%20Metrologie%204-2011%20-%20WWW.pdf>
- [14] ŽŮDA, Jaroslav, 2013. Štúdium správanja sa etalónov hmotnosti v prostredí vákua. Bratislava. Dizertační práce. Slovenská technická univerzita. Vedoucí práce RNDr. Jiří Tesař, Ph.D.

SJEDNOCOVÁNÍ VÝPOČTU CMC V AKL V OBORU TEPLOTA

Ing. Martin Valenta

Český institut pro akreditaci, o.p.s.

1 Úvod

V ČR je v současné době 134 akreditovaných kalibračních laboratoří (dále i AKL), které poskytují služby v různých oborech měření. V oboru kalibrace teploměru své služby poskytuje 53 laboratoří s různou mírou nejistoty kalibrace a velmi rozdílně udávanými hodnotami CMC. Dalšími aktivními účastníky je cca 200 zkušebních laboratoří, které působí v oblasti měření teploty.

Právě v oboru měření teplot patřily rozdíly v přístupu k stanovování hodnot CMC k nejmarkantnějším. Proto ČIA spolu s ČMI v rámci Programu rozvoje metrologie v roce 2017 přistoupil k řešení úkolu VII/5/17 s názvem

„Podklad pro průběžné sjednocování výpočtu CMC v akreditovaných kalibračních laboratořích v oboru teplota“

s cílem vytvořit přehled informací potřebných ke stanovování hodnot CMC, které pak jsou pro jednotlivé kalibrační laboratoře k dispozici veřejnosti. Smyslem je, aby zákazník mohl mít přiměřenou důvěru, že při porovnávání hodnot CMC jsou uvažovány všechny relevantní vlivy a je jim přisouzen odpovídající význam.

Za ČMI se spolupráce ujali pracovníci oddělení primární metrologie tepelnotechnických veličin Dr. Ing. Radek Strnad, PhD. a Ing. Lenka Kňazovická, Ph.D.

Tento úkol navazuje na úkol PRM č. VII/5/10 a vypracovává podklad pro sjednocení pohledu na vliv příspěvků k nejistotě měření teploty jak na straně laboratoří a zákazníků, tak na straně odborných posuzovatelů.

Jeho využití se předpokládá především při posuzování akreditovaných kalibračních laboratoří pracovníky ČIA, především vedoucími a odbornými posuzovateli, dále pak

- kalibračními laboratořemi, především akreditovanými,
- zkušebními laboratořemi,
- zákazníky uvedených laboratoří,
- odbornou veřejností a dalšími zájemci o kalibrace v oboru teplota.

Výsledné řešení je měřítkem pro sjednocování požadavků na kalibrační laboratoře při stanovování rozpočtu nejistot a následně i vlastní hodnoty CMC. Práce je určena jako studijní materiál pro odborníky v oboru teplota, aby se minimalizovala nejednotnost pohledu na nejistoty měření a jejich reprezentaci v podobě CMC. Veřejnost byla o obsahu a výsledku řešení úkolu informována na semináři „VÝSLEDKY ÚKOLU Z PRM – OBOR TEPLOTA“, určeném především pro pracovníky kalibračních laboratoří a další odbornou veřejnost.

2 CMC - Calibration and Measurement Capability

V roce 2009 byl mezi Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) a regionálními metrologickými organizacemi ve spolupráci s organizací ILAC a regionálními spolupracujícími (akreditačními) orgány dohodnut terminologický

přechod z dříve uváděného měřítka kvality kalibrační laboratoře BMC (nejlepší měřicí schopnost) na aktuální pojem CMC (schopnost kalibrace a měření). Jeho podstatou bylo, že oba pojmy jsou rovnocenné, toto konstatování ale vyvolalo dojem (a někdy i oficiální stanoviska), že jsou totožné. I v důsledku tohoto mylného výkladu dodnes přetrvávají rozdílné přístupy k rozpočtům nejistot a někdy i k posuzování jejich vhodnosti a přiměřenosti pro danou laboratoř.

Druhým problematickým momentem v diskusích o hodnotách CMC je nedostatečné oddělování technických a obchodních argumentů, které jsou často velmi protichůdné a mnohdy jsou zaměňovány, případně rozdíl mezi nimi není vnímán vůbec. Technické argumenty vycházejí z filozofie měření a kalibrací, jsou z hlediska diskuse neutrální, často měřitelné, a proto lze nalézt shodu nad jejich důležitostí. Příkladem jsou právě vlivy na nejistotu měření. Obchodní argumenty jsou často vedeny motivy sice racionálními, ale založenými na cílech, přáních a požadavcích někoho konkrétního a platí pouze v určitém kontextu. Výsledek je pak spíše odrazem poměru vyjednávacích sil. Jako příklad může sloužit např. záruka výrobce, podmíněná využíváním výhradně autorizovaného servisu. Pokud takový servis není současně akreditovanou kalibrační laboratoří, byť zařízení zkalibrovat dokáže, přivádí tím své zákazníky do značných obtíží při prokazování návaznosti jejich měření.

2.1 Definice CMC

Nejčastěji používaná definice CMC z výše uvedeného ujednání „BIPM-ILAC Joint Paper on CMC 2007“ [1] nedává příliš vodítek, jak tuto hodnotu stanovit. Za další klíčové dokumenty lze považovat *ILACP14:01/2013 „Politika ILAC pro nejistoty při kalibraci“* (2), *JCGM 100:2008 „Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement“* (Pokyn pro vyjadřování nejistoty měření) [3] a *EA04/02 M:2013 „Vyjádření nejistoty měření při kalibraci“* [4], které v akreditačním systému ČR ČIA doplňuje dokumentem *MPA 300213 „Politika ČIA pro metrologickou návaznost výsledků měření“* [5].

Výše uvedené dokumenty vycházejí z následujících zásad:

- 1) Nejistota je vlastnost výsledku měření
- 2) Přes existenci obecných pravidel pro výpočet nejistoty je třeba pro každé měření vypočítat nejistotu samostatně s ohledem na všechny proměnlivé podmínky měření;
- 3) Hodnota CMC je vyjádřením předpokládané nejlepší hodnoty nejistoty, která je zákazníkům k dispozici za normálních podmínek:
 - a) v souladu s popisem rozsahu akreditace dané laboratoře udělené signatářem dohody ILAC nebo
 - b) v souladu s informacemi uveřejněnými v databázi klíčových porovnání BIPM (KCDB) vedené CIPM MRA.

„Pro daný rozsah akreditace nesmí být ve vyjádření CMC žádná nejasnost, tedy ani u nejmenší nejistoty měření, kterou může laboratoř očekávat v průběhu kalibrace nebo měře-

ni. Zvláštní pozornost je třeba věnovat případům, kdy měřená veličina zahrnuje rozsah hodnot. Tohoto se zpravidla dosahuje použitím jedné nebo několika z následujících metod pro vyjádření nejistoty:

- Jednou hodnotou platnou pro celý rozsah měření.
- Rozsahem¹. V tomto případě má kalibrační laboratoř mít řádně definovaný předpoklad pro interpolaci, aby zjistila nejistotu i u mezilehlých hodnot.
- Jednoznačnou funkcí měřené veličiny nebo měřeného parametru.
- Maticí, v níž hodnoty nejistoty závisejí na naměřených hodnotách a dalších parametrech.
- Grafickou formou za předpokladu, že každá osa má dostatečné rozlišení, umožňující získat pro nejistotu nejméně dvě platné číslice.

Otevřené intervaly (např. „ $U < x$ “) nejsou při udávání nejistoty přípustné.“ [3]

Z uvedeného plyne, že každá laboratoř by měla prokázat, že je schopna dosahovat takových nejistot měření, které má uvedeny v příloze osvědčení o akreditaci. Za takové prokázání lze považovat účast v MPZ, do něhož vstupuje nejistotami nejvýš jen o málo horšími (do cca 20 %), než je deklarovaná hodnota CMC, ideálně s hodnotami rovnými nebo dokonce lepšími, než je deklarovaná CMC. Při běžných kalibracích pro zákazníka není možné, aby laboratoř dosáhla nejistoty kalibrace menší, než je hodnota CMC pro danou veličinu a rozsah, často se k nim nemusí ani přiblížit.

2.2 Rozdíl mezi CMC a nejistotou měření

Nejistota je veličinou spojitou, nemůže se měnit skokově a mít tedy více než jednu hodnotu pro každý jeden bod měření. Na základě znalostí podmínek měření lze pro každé měření její hodnotu odhadnout, resp. vypočítat její pravděpodobnou hodnotu. Nejistota jako vlastnost měření se proto za shodných podmínek kalibrace v rámci jedné laboratoře nemůže lišit.

Každému měření lze přiřadit konkrétní hodnotu nejistoty, která respektuje konkrétní podmínky měření a jejíž velikost se může od deklarované hodnoty CMC významně lišit. Této skutečnosti by si měl být každý pracovník laboratoře i její zákazník vědom. Množství vlivů a jejich význam se pak liší jak podle oboru, tak podle metody kalibrace a dalších faktorů.

Naopak CMC je hodnotou, kterou laboratoř stanovuje na základě znalosti nejistot měření laboratořích dosahovaných, a je reprezentantem hodnot nejistoty měření ve zvoleném rozsahu. De facto je to ve zvoleném rozsahu ta nejhorší hodnota z nejlepších nejistot měření.

Protože součástí definice CMC je i odkaz na nejlepší dostupné zařízení a na optimální podmínky a současně je podmínkou dostupnost pro všechny zákazníky, výsledná nejistota měření nemůže být lepší, než je udávaná hod-

nosta CMC. Ovšem změnou krajních hodnot zvoleného rozsahu měření pak může laboratoř hodnotu CMC měnit, aniž by se jakkoli změnily hodnoty nejistot, kterých je schopna dosáhnout. Nikde také není stanoveno, že by nejistota blížící se k hodnotám CMC měla být zákazníkům k dispozici za všech okolností a bez jakýchkoli, např. obchodních podmínek. Aby laboratoř mohla oprávněně deklarovat konkrétní hodnotu CMC, musí dokázat kdykoli provést požadovanou kalibraci s tak nízkou nejistotou, jakou dovoluje hodnota CMC a vlastnosti kalibrovaného zařízení.

2.3 CMC jako vyjádření kvality laboratoře

Ze všeho výše uvedeného plyne, že CMC je taková hodnota nejistoty, kterou laboratoř může za optimálních podmínek dosáhnout. Hodnota CMC tedy vyjadřuje nejmenší hodnotu nejistoty, s níž laboratoře dokáže zkalibrovat reálné zařízení.

Taková hodnota může být velmi vhodným měřítkem k porovnání kvality laboratořích a především pro zákazníky vodítkem, která laboratoř je pro něj a jeho potřeby nevhodnější. Aby tomu tak ovšem bylo, musí být hodnoty CMC navzájem porovnatelné, tedy zahrnovat všechny podstatné vlivy stejně, jako jsou při vlastní kalibraci zahrnovány do rozpočtu nejistot, a zároveň se vlivy, které laboratoř zanedbává, nesmí v rozpočtu nejistot porovnatelných laboratořích zásadně lišit.

Ne zřídka je prezentován názor, že hodnota CMC závisí i na tom, v jakém prostředí (pod jakými vlivy) se kalibrace provádí – různá pracoviště, různé vybavení apod. Podle autorů tento názor ne zcela respektuje definici CMC, která se neomezuje na konkrétní vlivy, ale je vyjádřena jako schopnost laboratoře poskytnout danou nejmenší nejistotu měření všem zákazníkům za normálních, pro laboratoř kdykoli dosažitelných podmínek.

Uvedené požadavky rozlišování mají samozřejmě zásadní význam pro dosaženou nejistotu měření. Pokud ovšem chceme toto rozlišování přijmout i pro hodnoty CMC, je nezbytné rozhodnout, které vlivy jsou obecně natolik významné, že je potřeba podle nich uváděné hodnoty CMC členit a které již lze shrnout do uváděné hodnoty CMC. Podstatným vlivem může být pracoviště, použité vybavení, ale stejně tak například schopnosti, zkušenosti a pečlivost pracovníka (např. při kalibraci malých statických objemů). Přesto se nevyskytuje požadavek uvádět samostatně hodnoty CMC i pro jednotlivé pracovníky.

Tyto požadavky na členění mají ovšem jednoznačně technický charakter a racionální zdůvodnění, problematickým momentem ale zůstává rozhodnutí, které vlivy ke kategorizaci použít a které opomenout. Jako paralela může posloužit maximální rychlost vozidla, uváděná v jeho technickém průkazu. Není podstatné, jestli budete vozidlo provozovat na dálnici v zemi, kde není na silnicích omezena rychlost, nebo někde ve vysokohorském prostředí s úzkými, klikatými silnicemi. Přestože ve druhém případě se k uváděné maximální rychlosti zřejmě nebudete schopni ani trochu přiblížit, na údaj v technickém průkazu to vliv mít nebude.

¹ Řešitelé úkolu nepovažují tento způsob vyjádření CMC za vhodný vzhledem k možné nejednoznačnosti vyjádření hodnoty CMC a nemožnosti ani zhruba odhadnout konkrétní hodnotu nejistoty kalibrace.

2.4 Uvádění CMC pro jednotlivé podrozahy

Požadavek ILAC P14:01/2013, že „pro daný rozsah akreditace nesmí být ve vyjádření CMC žádná nejasnost, tedy ani u nejmenší nejistoty měření, kterou může laboratoř očekávat v průběhu kalibrace nebo měření“ [2] byl interpretován tak, že je nezbytné přesně definovat, ve kterém rozsahu leží krajní bod, který dva následující rozsahy spojuje. Tedy že konkrétní hodnota je v jednom rozsahu, zatímco v druhém není a být nemůže. To pochopitelně platí pro nejistotu konkrétního měření, ovšem u hodnoty CMC tento předpoklad použit nelze, protože se nacházíme ve světě fyzikálním, nikoli matematickém. Nejistota, součást každé naměřené hodnoty, přímo znemožňuje konstatovat, jestli jsme pod nebo nad uvedenou nominální hodnotou, a proto při udávání hodnoty CMC není nutné toto rozlišovat.

Společný krajní bod dvou na sebe navazujících rozsahů pro uvádění CMC proto může mít v každém z rozsahů uvedenou jinou hodnotu CMC. Ovšem v takovém případě je konkrétní hodnota nejistoty měření shodná pro oba rozsahy. Lišit se může pouze v případě, že některou z podmínek změníme, např. změnou nastavení kalibrátoru. Vztah udané nejistoty měření a CMC se nijak nemění, ale je možné pracovat s tou hodnotou CMC, která je v dané situaci příznivější.

3 Dosažené výsledky

Úplné výsledky řešení úkolu jsou k dispozici na webových stránkách ÚNMZ v sekci Metrologie – Rozvoj v metrologii [6]. K dispozici je jak závěrečná zpráva z úkolu VII/5/17 Podklad pro průběžné sjednocování výpočtu CMC v akreditovaných laboratořích v oboru teplota, tak i její přílohy. Není smyslem tohoto článku je opisovat, proto další text uvádí jen stěžejní body.

Kromě uvedené Závěrečné zprávy [6] jsou odborné veřejnosti k dispozici další podrobné a rozsáhlé informace v Tematické příloze časopisu Metrologie č. 1/2018.

3.1 Obecně

Vzhledem k charakteru složek nejistot se úkol nevěnoval nejistotám typu A. Pozornost se soustředila na kalibrace základních druhů teploměrů, zahrnuté byly odporové a termoelektrické snímače teploty, indikační teploměry, bezdotykové teploměry, termokamery a teploměry pro měření teploty povrchu.

3.2 Vlivy na nejistotu měření - zdroje nejistot typu B

V rámci provedených prací byly identifikovány jednotlivé zdroje nejistot, které vstupují do výpočtu nejistoty kalibrace. Do této skupiny nejistot patří zdroje související s etalonáží zařízením, s prostředím, ve kterém jsou kalibrace realizovány, a s vlastnostmi kalibrovaného měřidla.

3.2.1 Vlivy vázané na použité etalonáží zařízení

Etalon se v celkovém rozpočtu nejistot uplatňuje významnou měrou. Základní složky nejistot, které je nutné brát v úvahu, jsou:

- Kalibrace etalonu
- Drift etalonu
- Rozlišení etalonu
- Použití etalonu

Kromě základních vlastností, které jsou standardně aplikovány (kalibrace a rozlišení), je nutné brát v úvahu drift etalonu z několika po sobě následujících kalibrací, popřípadě jeho odhad. Často opomíjenou složkou je správný rozbor nejistoty použití etalonu. Zde se jedná zejména o použití v jiném prostředí, než při kalibraci, v jiném ponoru, s jinou kabeláží, popřípadě za jiných podmínek (např. nutnost použití interpolace).

Kalibrační laboratoře často tyto složky zanedbávají a jejich správná evaluace vede k výraznému navýšení nejistoty.

3.2.2 Vlivy vázané na kalibrační prostředí

Zde kalibrační laboratoře často správně zjišťují vliv homogenity a stability použitého prostředí a správně jej zahrnují do výsledné nejistoty. Při zjišťování velikosti jednotlivých položek nejistoty dochází k nesprávné nebo nepřesné evaluaci nejistoty použitého měření a podmínek na etalon a kalibrované přístroje. Sem se řadí:

- Krátkodobá stabilita pece, lázně nebo černého tělesa
- Homogenita pece, lázně nebo černého tělesa

3.2.3 Vlivy vázané na kalibrované měřidlo

Tyto vlivy jsou vázány přímo na konkrétní kalibrované měřidlo a jeho chování v průběhu kalibrace a je nutné je stanovit při každé prováděné kalibraci. Pro každý typ měřidla se jedná o rozdílné komponenty, jejichž velikost je často významnou položkou celkové nejistoty kalibrace. Jedná se například o:

- hysterezi,
- kabeláž a spojovací prvky,
- odvod/přívod tepla,
- opakovatelnost (krátkodobou stabilitu),
- parazitní napětí,
- rozdíl v dynamice etalonového a zkoušeného teploměru,
- rozlišení,
- rušení (vlivy sítě, GSM, triaková regulace),
- samoohřev,
- vyhodnocovací zařízení (AC/DC, most, multimetr - komutace),
- homogenitu a
- SSE.

Mezi společné složky nejistot, které je možné identifikovat u všech měřidel, patří:

- rozlišení kalibrovaného měřidla,
- opakovatelnost,
- rozptyl měřených hodnot kalibrovaného měřidla a
- případně ohřev kalibrovaného měřidla.

3.3 Přehled nejčastěji zastoupených druhů teploměrů a metod jejich kalibrace

Základní rozdělení teploměrů, uvažované v tomto úkolu, vychází z četnosti běžně používaných teploměrů a jejich kalibrací v jednotlivých kalibračních laboratořích.

Dotykové teploměry

- termoelektrické (TC)
- odporové (OT)
- povrchové (PT)
- indikační (IT)

Bezdotykové teploměry

- bezdotykové teploměry (IČT)
- infračervené termokamery (TK)

Pro tyto skupiny je zpracována výsledná tabulka v příloze Závěrečné zprávy úkolu.

3.3.1 Termoelektrické snímače teploty

Termoelektrický článek je jednoduchý, cenově výhodný a robustní senzor. V průmyslu a laboratořích je velmi oblíbený díky své univerzálnosti, širokému teplotnímu pásmu a možnosti použití. Existuje mnoho typů a provedení.

Pokud chce laboratoř dosáhnout co nejlepší nejistoty, měla by dokladovat:

- způsob určení homogenity TC,
- nejistotu a způsob měření studeného konce,
- určení parazitních termoelektrických jevů kabeláže a přepínače a
- způsob určení chyby interpolace a extrapolace u etalonu.

Při výpočtu nejistoty je také nutné si uvědomit, že byla vypočtena za předpokladu použití velmi homogenních zařízení (lázně, pece) a etalonů, které jsou kalibrovány v pevných bodech teplotní stupnice. Není-li hodnota homogenity kalibrovaného TC měřena, je doporučené připočíst hodnotu 20 % z maximální dovolené chyby pro třídu 2 s rovnoměrným rozdělením. Pokud je použitý etalon kalibrovaný porovnáním, je jen velmi obtížné se přiblížit k prahovým nejistotám.

3.3.2 Odporové snímače teploty

Odporové teploměry mají své nezpochybnitelné místo prakticky ve všech odvětvích průmyslu pro svou přesnost, relativně nízkou cenu a možnost využití v nejrůznějších aplikacích. Nejsledovanějším druhem jsou tzv. IPRT (*Industrial Platinum Resistance Thermometer*). Od tzv. SPRT (*Standard Platinum Resistance Thermometer*) se liší nižší čistotou platiny, a tudíž nesplňují podmínky pro vyhodnocování podle interpolačního aparátu mezinárodní teplotní stupnice (ITS-90).

SPRT nebo IPRT?

Dělení odporových teploměrů na první a druhý řád (a dále pak na ostatní) již není v současné době preferováno. Uživatel si může zvolit za etalon i průmyslový teploměr s tím, že jej musí mít odpovídajícím způsobem metrologicky navázán včetně odpovídající nejistoty.

Nejistoty kalibrace – CMC vs. realita

Přestože se nejistota kalibrace liší v závislosti na konkrétním měřidle, některé kalibrační laboratoře ke každému kalibračnímu listu přiřazují hodnoty nejistot schválené příslušným akreditačním orgánem jako CMC, tedy nejnižší dosažitelné. CMC by ve skutečnosti mělo sloužit jako kontrola

toho, jestli se pracovník nedopustil chyby při výpočtu nejistoty a nevypočetl hodnotu nižší, než je ta nepodkročitelná. Rozpočet nejistoty se tedy optimálně počítá pro každou naměřenou teplotu a každý konkrétní teploměr (při každé kalibraci). V technické praxi se často připraví vzorové výpočty pro jednotlivé typy nejčastěji kalibrovaných teploměrů a ty se potom používají. Zde by ale měla být hodnota nejistoty kalibrace odpovídajícím způsobem navýšena oproti hodnotám CMC.

Nejistota interpolace

Používáme-li interpolační aparát ITS-90 v případě IPRT, můžeme se dopouštět chyby interpolace okolo 0,05 °C v rozsahu (-180 až 0) °C a zhruba 0,01 °C v rozsahu (0 až 420) °C. Pokud však při kalibraci není provedena analýza vhodnosti použité interpolační funkce, je třeba tyto chyby vzít v úvahu jako příspěvek celkové nejistoty měření. To platí pro určení nejistoty měření etalonu v akreditované kalibrační laboratoři.

Ani dva teploměry stejného typu od stejného výrobce nemají stejnou charakteristiku, tudíž ani popis danou funkcí nemusí být stejný. Po každé kalibraci je tedy žádoucí udělat analýzu vhodnosti daného aparátu.

Stabilita IPRT

Průmyslové teploměry jsou vyráběny tak, aby na rozdíl od SPRT odolávaly mechanickým šokům. Odlišná konstrukce je činí velmi robustními, ale zároveň snižuje stabilitu hodnoty základního odporu. Při teplotním cyklování vedou rozdíly v teplotní roztažnosti platiny a ostatních materiálů k vyšší míře pnutí (resp. kontrakcí) odporového drátku a ke změnám odporu v důsledku rozměrových deformací. Žiháním lze odstranit důsledky pnutí, ale ne důsledky změn rozměrů. Dalším důvodem nestability je kontaminace platiny při vyšších teplotách kvůli difuzi částic z okolního materiálu. Přestože opakovatelnost měření s IPRT nedosahuje kvalit SPRT, je stále lepší než u termoelektrických článků.

Před každým použitím etalonu by se měla změřit hodnota jeho základního odporu. Tato hodnota se s časem mění, a proto je její velikost uvedená v kalibračním listu platná pouze v době kalibrace. Bez pravidelného měření základního odporu se můžeme dopouštět zásadních nepřesností v měření. Naopak sledováním vývoje se dá včas odhalit např. mechanický defekt. S časem se nemění jen základní odpor, ale také celá charakteristika teploměru.

Složka nejistoty je kvůli nestabilitě pro každý teploměr odlišná a pohybuje se od desetin mK pro špičkové teploměry přes mK pro etalony SPRT až po setiny stupně pro IPRT.

Vliv kabeláže

Vliv vodičů lze zanedbat při čtyřvodičovém zapojení teploměru, v ostatních případech není prakticky možné dosáhnout přesnosti měření lepší než 0,2 °C, pokud není provedena příslušná korekce. Parazitní termoelektrické napětí může být až v řádu mikrovoltů a při stejnosměrném měření limituje přesnost měření běžně na 0,02 °C. Řešením je měření střídavé, ať už s využitím střídavých odporových mostů, nebo stejnosměrných multimetrů (mostů) s komutací měřicího proudu.

Vliv samoohřevu

Stejně jako vliv parazitního termoelektrického napětí a odporu vodičů je nutné sledovat vliv samoohřevu odporového elementu. Eliminace samoohřevu prakticky znamená měřit při nulovém proudu, tedy měřit minimálně při dvou hodnotách proudu a provést příslušnou korekci. Vliv samoohřevu způsobuje chyby typicky (0,002 až 0,02) °C pro teploměry se základním odporem okolo 100 Ω při měření v kapalinových lázních. Při měření na vzduchu se pak může jednat i o desetiny stupně Celsia. Míra samoohřevu je funkcí teploty a je úměrná druhé mocnině měřicího proudu.

Pokud je teploměr používán ve stejných prostředích (lázně, pece, malé průmyslové pevné body) a při stejném proudu jako při kalibraci, lze považovat vliv samoohřevu na přesnost měření za zanedbatelný. V ostatních případech je nezbytné velikost vlivu zjistit, nebo počítat se složkou nejistoty, která značně zvýší její výslednou hodnotu. Počítat s hodnotami deklarovanými výrobcem teploměru by nebylo vůbec moudré, neboť se v drtivé většině případů jedná pouze o hodnoty pro rozsah (0 až 30) °C. V tomto rozsahu se totiž vliv samoohřevu zjišťuje při typových zkouškách před uvedením daného měřidla na trh.

Samoohřev IPRT se pohybuje od tisícín až po několik setin °C. Pro každý typ teploměru je tedy nezbytné navýšit budget nejistoty měření o setiny °C, nebo míru samoohřevu změřit při každé teplotě ve které je použit nebo kalibrován.

Odvod tepla a vliv ponoru teploměru

Odporový element ideálního teploměru má stejnou teplotu jako médium, ve kterém je ponořen. Vodiče a plášť typického IPRT však bohužel umožňují tepelnou výměnu mezi médii a okolním prostředím. Odvod (resp. přívod) tepla se nejvíce projevuje u teploměrů s kovovým pláštěm.

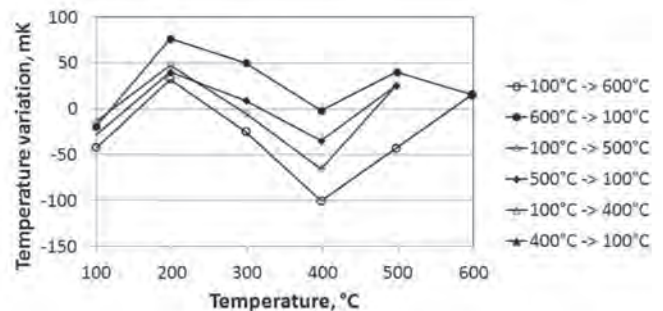
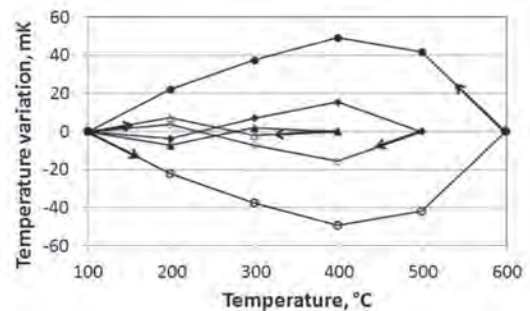
Průmyslové teploměry mohou mít a etalony mají odporový element o velikosti až jednotek cm. Nedostatečný ponor teploměru se může projevit rozdílem teploty naměřené při daném ponoru a při ponoření plněm. Většinou se velikost případné nedostatečnosti ponoru odhaduje jako rozdíl hodnot naměřených při plném ponoru a při takovém, který je o 10 % menší než plný.

Z měření vyplývá, že nedostatečný ponor má většinou za následek fatální chybu měření a minimální hodnota dostatečného ponoru musí být vždy dodržena.

Hystereze

IPRT při teplotním cyklování vykazují hysterezi, což znamená, že mohou mít rozdílnou (ale opakovatelnou) závislost odporu na teplotě podle toho, jestli bylo dané teploty dosaženo ohřátím, nebo ochlazením teploměru.

U IPRT je hystereze způsobena třemi hlavními jevy: mechanickým pnutím, vlhkostí a oxidací. U robustnějších provedení lze předpokládat výraznější rozdíly v hodnotách tepelné roztažnosti materiálů, a tudíž vyšší následky mechanického pnutí ve stonku teploměru. Na druhou stranu teploměry s velmi nízkou hysterezí bývají velmi citlivé na mechanické šoky a vibrace (typicky SPRT). Nejvyšší hodnoty hystereze IPRT vyzorované v praxi se pohybují okolo



Obr. 1: Typický příklad hystereze IPRT [16]

0,1 % z teplotního rozsahu. Rozdíl mezi nestabilitou teploměru a hysterezí je jemný, avšak hystereze je jev oboustranný a oxidace způsobuje jednosměrnou změnu hodnoty základního odporu. Zjednodušeně lze říci, že hystereze pro danou teplotu (většinou uprostřed teplotního rozsahu kalibrace) je vyhodnocována jako rozdíl mezi naměřenou hodnotou (při stejné teplotě) dosaženou ohříváním a ochlazením teploměru. Měření vývoje hodnoty základního odporu v průběhu kalibrace a vyhodnocení rozdílu maximální a minimální naměřené hodnoty nelze považovat za měření vlivu hystereze.

Při měření hystereze v lázni je nutné vyloučit hysterezi regulace lázně, a teploměr, který monitoruje její teplotu, musí mít hysterezi prakticky nulovou. To byly důvody, proč se měření hystereze v oboru teplota (na rozdíl např. od tlaku) považovalo vždy za problematické.

Vliv výše uvedených faktorů bývá v technické praxi obtížné přesně stanovit. Pokud nejsou k dispozici přímá experimentální data, je možné pro odhad příslušných složek nejistoty použít typické hodnoty (rovnoměrné rozdělení).

3.3.3 Indikační teploměry

Základní popis a jejich členění

Pod tímto názvem se skrývají všechny typy elektronických teploměrů včetně měřicích řetězců teploty. Řadí se k nejoblíbenějším měřidlům teploty pro jejich snadnou odečitelnost, relativně jednoduchou obsluhu a přenosnost. Spadají sem měřidla, která měří teplotu s přesností v řádech tisícín stupně Celsia, ale i taková, u kterých není zaručena přesnost měření v řádu stupňů Celsia. Nejčastěji se tento druh teploměrů používá pro ponorná, prostorová i povrchová měření tekutin a pevných látek. Měřicí řetězce zobrazují měřenou hodnotu na panelových měřidlech nebo ovládacích

terminálech zařízení. Do této skupiny měřidel řadíme mimo jiné také teploměry číselníkové, tj. tlakové (změna teploty souvisí se směnou tlaku tekutiny) a bimetalické (dvojice pevně spojených kovových pásků s rozdílnou teplotní roztažností).

Indikační teploměry se obecně skládají ze snímače teploty a vyhodnocující jednotky se stupnicí nebo s displejem. Můžeme je rozdělit do dvou velkých skupin na teploměry elektronické a mechanické. Teplotní sondou elektronického teploměru může být odporový snímač teploty kovový nebo polovodičový případně termoelektrický snímač.

Číslicový ukazovací přístroj často zahrnuje ve společné indikační jednotce blok zpracování signálu (linearizaci, přepočítání na teplotu), síťový napáječ, případně signalizaci mezních stavů a přenos do PC.

Číselníkové teploměry se skládají z měřicího stonku (kovového, dvojkovového, tlakového) a ukazatele, event. tlakového spojovacího vedení – trubicové kapiláry.

Převodníky teploty

V současné době jsou jednotlivé typy teploměrů již ustálené a není pravděpodobné hromadné nasazení nějaké zcela nové technologie. Proto je velká pozornost věnována vývoji elektroniky k již existujícím sensorům. Stále častěji dochází k neakceptovatelné situaci, kde přímo na svorky nějakého řídicího, popřípadě monitorovacího systému jsou přivedeny surové signály ze snímače teploty a ty jsou podle obecné (tabelované) charakteristiky zobrazovány uživateli.

Převodníky je možné rozdělit na tři základní typy:

- Jednouúčelové
- Nastavitelné
- Inteligentní

Jednouúčelové převodníky jsou analogové přístroje, obvykle velmi levné a méně přesné, které se nehodí pro náročné aplikace.

Nastavitelné převodníky jsou nejrozšířenější. Jedná se obvykle o přístroj, který má na výstupu nějaký unifikovaný signál (nejčastěji 4 mA až 20 mA). Komunikaci používá hlavně pro nastavení parametrů snímače a výstupního signálu. Využívat kalibrační listy sensorů obvykle není možné.

V současné době je viditelný výrazný trend využívání inteligentních přístrojů. Převodník se stává serverem informací o několika proměnných. Dokáže korigovat výstupy podle kalibračního listu senzoru, dokáže zobrazovat také diagnostická data o sobě, o senzoru, včetně možnosti dálkového nastavení. Jako samozřejmost je u moderních přístrojů poskytována informace o relevantnosti měření, a to podle druhu použitého přístroje, popřípadě technologie přenosu. Velká pozornost je také věnována univerzálnosti přístrojů, jejich automatickému rozpoznávání zvláštností procesu a adaptaci chování měřicího algoritmu. Dokonce je možné osadit regulační smyčku přímo do inteligentního převodníku teploty a ulehčit tak řídicímu systému. Právě tento vývoj umožňuje posouvat meze použitelnosti výrazně za hranice ještě před nedávnou dobou naprosto nemyšlitelné.

Vlastní složky nejistot odpovídají nejistotám pro jednotlivé senzory, nebudou zde proto znovu probírány.

3.3.4 Povrchové teploměry

Při kalibraci sond pro měření povrchových teplot je nutné znát chování všech zařízení, která vstupují do procesu kalibrace, a to včetně zahrnutí rozdílných podmínek při kalibraci etalonů a pracovních měřidel (zejména podmínky provozu).

Při kalibraci odporového snímače teploty porovnáním s etalonovým IPRT nebo SPRT uvažujeme následující složky celkové nejistoty.

- Kalibrace etalonového teploměru (normální rozdělení)
- Drift etalonu od poslední kalibrace (rovnoměrné rozdělení)
- Odvod/přívod energie sondou (rovnoměrné rozdělení)
- Krátkodobý drift (rovnoměrné rozdělení)
- Vliv úhlu náklonu sondy (rovnoměrné rozdělení)
- Nejistota typu A teploměru (normální rozdělení)
- Nejistota interpolace etalonového teploměru (rovnoměrné rozdělení)
- Vliv okolní teploty (rovnoměrné rozdělení)
- Vliv kolísání okolní teploty (rovnoměrné rozdělení)
- Vliv proudění vzduchu (rovnoměrné rozdělení)
- Opakovatelnost realizace teploty povrchu (rovnoměrné rozdělení)
- Nestabilita teplotního pole povrchu (rovnoměrné rozdělení)
- Nehomogenita teplotního pole povrchu (rovnoměrné rozdělení)
- Vliv nerovnosti měřeného povrchu (rovnoměrné rozdělení)
- Vliv oxidace měřeného povrchu (rovnoměrné rozdělení)
- Vliv náklonu měřeného povrchu (rovnoměrné rozdělení)
- Vliv přítlaku (rovnoměrné rozdělení)
- Vliv rozdílné dynamiky měření (rovnoměrné rozdělení)
- Vliv rozdílné hmotnosti sond (rovnoměrné rozdělení)
- Ostatní vlivy (normální rozdělení)

Některé složky celkové nejistoty měření jsou uvedeny dále.

Odvod/přívod energie sondou

Velikost tohoto příspěvku do celkového budgetu nejistot se dá odhadnout, pokud je k dispozici teplota s kompenzací odvodu tepla.

Vliv úhlu náklonu sondy

Při běžném měření se často předpokládá, že dvě nezávislá měření provedená za stejných podmínek jsou opakovatelná ve smyslu náklonu sondy, ale v praxi se úhel mezi osou teploměru a rovinou kolmou na rovinu povrchu vždy liší (dokonce i v průběhu jednoho měření). Z tohoto důvodu se nedoporučuje ponechávat teploměr v ruce. Teploměr by měl být upevněn ve stojanu.

Vliv proudění vzduchu

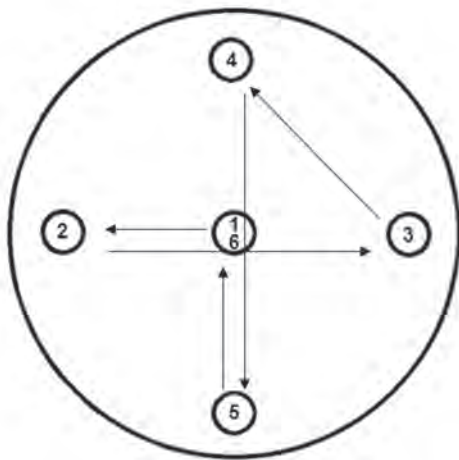
Doporučuje se provádět veškerá měření povrchové teploty bez přítomnosti proudění vzduchu. Vliv proudění vzduchu o teplotě okolí na měřenou teplotu povrchu se liší pro každý konkrétní teploměr.

Vliv přítlaku

V závislosti na přítlaku a typu senzoru se přenos tepla mezi snímačem a měřeným povrchem mění. Pro účely charakterizace vlivu přítlaku na daný kalibrovaný snímač je nezbytné nejprve zvážit sondu teploměru a zjistit tak její hmotnost, resp. statický tlak vyvíjený na povrch hmotou sondy bez působení vnější mechanické síly. (Tuto hodnotu následně od výsledku měření vlivu přítlaku odečteme.) Závislost se mění pro každý konkrétní teploměr.

Vliv nehomogenity

Nehomogenita teploty měřeného povrchu by se měla měřit alespoň v pěti bodech plochy, rovnoměrně rozložených.



Obr. 2: Doporučený postup měření rozložení teploty na povrchu

3.3.5 Bezdotykové teploměry a termokamery

Složky spojené s etalonem a černým tělesem

Vliv vlnové délky a emisivity

Vliv těchto dvou veličin spolu v praxi úzce souvisí, proto se jimi budeme zabývat dohromady. Emisivita je bezrozměrná veličina popisující schopnost vyzařování objektu. Je závislá na materiálu a jeho opracování, geometrii měřeného objektu a také na jeho teplotě. Emisivita je u plochých objektů také výrazněji závislá na vlnové délce měření než emisivita dutinových objektů.

Na deskových (terčovách) černých tělesech je možné kalibrovat pouze teploměry a termokamery, které pracují v rozsahu vlnových délek 7 μm až 15 μm . Kavitová (dutinová) černá tělesa je možné použít na kalibraci měřidel, které pracují v širokém spektru vlnových délek, nejen v pásmu 7 μm až 15 μm . Chyba, které se můžeme dopustit v případě, že na deskovém černém tělese budeme kalibrovat teploměr pracující při jiné vlnové délce (se stejně nastavenou emisivitou jako při 7 μm až 15 μm), se pohybuje v řádu jednotek $^{\circ}\text{C}$. V případě, že kalibraci provádíme pomocí dutinových černých těles, případně provádíme měření v dutinách objektů, závislost měřené hodnoty na vlnové délce výrazně klesá. To však neznamená, že bychom ji mohli zanedbat.

Při použití průměrné hodnoty emisivity mohou měření s různými typy teploměrů vykazovat rozdílné výsledky, protože každý z těchto teploměrů reálně pracuje s jinou

efektivní vlnovou délkou. U běžných ručních IČ teploměrů je ovšem efektivní vlnová délka neznámá a získat tuto informaci od výrobce je téměř nemožné. Druhou komplikací je, že pro každý povrch či nátěr na měřeném objektu bychom potřebovali znát závislost emisivity na vlnové délce a tyto informace také nejsou ve většině případů známé.

Proto je důležité tento vliv nepodceňovat a nezanedbávat při výpočtu nejistot. Pomůckou při stanovení hodnoty této složky nejistoty může být jednoduchý test, podrobně popsáný v Závěrečné zprávě [6]. V případě, že se laboratoř nebude zabývat stanovením této složky nejistoty, je nutné do rozpočtu nejistot použít typové hodnoty uvedené v tabulce v Závěrečné zprávě [6].

Odražená okolní teplota

Určitá část měřené hodnoty je ovlivněna radiací okolí (světlo zářivek, odražená záření, tepelné zdroje, atd.). Záření těchto parazitních zdrojů vstupuje do kavity černého tělesa nebo dopadá na plochu deskového černého tělesa a vrací se zpět po (i několikanásobném) odrazu. Nejvyšších hodnot dosahuje tato složka při nízkých teplotách (měřená teplota je nižší, než teplota okolí) pomocí měřidla pracujícího v oblasti vlnových délek 7 μm až 15 μm .

Tepelné ztráty

Černá tělesa nejsou uzavřené objekty a jejich plochou nebo vstupní štěrbinou dochází k odvodu tepla. K tepelným ztrátám dochází také díky přítomnosti okolního vzduchu v dutině. Tyto ztráty mají významný vliv pro teploty nižší než je teplota okolí resp. pro teploty, kdy dochází k namrznání vzdušné vlhkosti na stěnách černého tělesa a tím k nedefinovatelným změnám jeho emisivity. Vliv lze redukovat ofukováním stěn černého tělesa inertním plynem temperovaným na teplotu černého tělesa.

Homogenita černého tělesa

Výrazný vliv má tato složka u deskových těles. Stanovení homogenity je možné pomocí referenčního bezdotykového teploměru s vysokým optickým rozlišením, kterým skenujeme plochu černého tělesa od středu směrem k jeho okraji. Obecně lze říct, že se zvyšující se měřenou teplotou se homogenita deskových černých těles zhoršuje a výjimkou nejsou teplotní rozdíly v řádu několika jednotek $^{\circ}\text{C}$. V případě, že laboratoř nemá homogenitu černého tělesa změřenou, je nutné do rozpočtu použít typové nejistoty uvedené v tabulkách v Závěrečné zprávě [6]. Homogenita je také závislá na velikosti zářivé plochy.

Situaci ohledně dutinových černých těles není možné jednoduše shrnout do přehledných tabulek. Existuje jich celá řada a navzájem se liší svojí geometrií, tj. průměrem a hloubkou kavity i realizací topení. Proto je nutné ke každému kavitovému černému tělesu přistupovat individuálně a snažit se charakterizovat jeho homogenitu individuálně, případně při kalibraci v kalibrační laboratoři. Homogenita kavitových černých těles se může pohybovat i v řádu jednotek $^{\circ}\text{C}$.

Složky spojené s kalibrovaným teploměrem

Okolní teplota

Při standardních laboratorních podmínkách, ve kterých by měly kalibrace probíhat, je vliv této složky minimální. V případě, že měření probíhají v jiných než standardních podmínkách, je vhodné zjistit, jaký vliv má jiná teplota okolí na výsledek měření. Výrazný vliv je možné pozorovat na měřidlech bez interní stabilizace teploty, tj. většina běžné dostupných bezdotykových teploměrů a termokamer. Tento vliv by u měření v terénu neměl být podceňován, protože může do měření zanášet chybu v řádu jednotek °C.

Atmosférická absorpce

Bezkontaktní měření teploty je ovlivněno prostředím, ve kterém se měří. Standardně probíhají měření ve vzduchu, který obsahuje vodní páru a oxid uhličitý, částečně pohlcující infračervené záření. Proto se bezdotykové teploměry a termokamery vyrábí s detektory pro takové vlnové délky, při kterých vzduch absorbuje záření minimálně. Dalším faktorem, který je nutno vzít při měření v úvahu, je vzdálenost, ze které se měří. Je to dáno tím, že při větší měřicí vzdálenosti máme mezi měřidlem a měřeným objektem více pohlcujícího média, a proto může dojít ke zesílení měřené hodnoty.

SSE (size-of-source efekt)

Při bezkontaktním způsobu měření teploty hraje zásadní roli vzdálenost, z jaké provádíme měření, a geometrie, resp. velikost objektu, který je měřen. To je velmi úzce spojeno s konstrukcí bezdotykového teploměru, zejména jeho optiky. Bohužel, není dost dobře možné od sebe oddělit všechny faktory vstupující do této chyby, proto je nutné na tuto složku nahlížet jako na kombinaci způsobenou vzdáleností měření, velikostí objektu, který je měřen, a také jeho geometrií a teplotní homogenitou. Co se týče vlivu vzdálenosti, může kalibrovaný teploměr vykazovat na různých číselných tělesech jiné chování.

Výsledná měřená hodnota je značně závislá jak na typu objektu, na kterém je měření prováděno, tak na vzdálenosti měření. Už relativně malý posun o 10 cm vnáší do měření chybu o velikosti cca 1 °C. Při kalibracích je proto nutné tento jev kvantifikovat a započítat ho v plné míře do výsledné nejistoty kalibrace.

3.4 Prahové hodnoty CMC pro jednotlivé vlivy

Prahovou hodnotou CMC se rozumí nejmenší hodnota CMC, pro kterou je nutné s daným vlivem počítat. Tedy pokud laboratoř deklaruje nebo má v úmyslu deklarovat svou hodnotu CMC pod touto prahovou hodnotou, musí být daný vliv řádně zahrnut do rozpočtu nejistot. Jestliže laboratoř deklaruje svou hodnotu CMC nad touto hodnotou, může tento vliv zanedbat.

3.5 Minimální příspěvek k CMC

Hodnota minimálního příspěvku souvisí s předchozí prahovou hodnotou a s nepodkročitelnými hodnotami, uvede-

nými dále. Je to nejmenší hodnota nejistoty, kterou je nutno zahrnout v případě započítávání daného vlivu do rozpočtu nejistot.

3.6 Nepodkročitelné hodnoty CMC

V mezinárodní praxi, při špičkových podmínkách je to nejmenší reálná hodnota CMC, kterou lze při kalibraci dosáhnout. Při správně provedené analýze všech vlivů na nejistotu kalibrací je velmi obtížné dosáhnout lepší hodnoty CMC. Výsledná hodnota nižší než tato prahová hodnota může svědčit o nesprávně provedené analýze vlivů na nejistotu kalibrací, a při posuzování je nutné, aby odborný posuzovatel prošel předkládaný kalibrační postup a s ním související analýzu vlivů nejistot velmi pečlivě, protože je velmi málo pravděpodobné, že při sestavování rozpočtu nejistot nedošlo k chybě či omylu. Mezinárodní prahové hodnoty CMC jsou připravovány pro potřeby národních metrologických institutů, proto nejsou vhodné pro použití při akreditaci běžných kalibračních laboratoří – není totiž možné, aby se k uvedeným hodnotám jednotlivé laboratoře přiblížily. V rámci řešení úkolu byla proto provedena podrobná analýza jednotlivých složek nejistot, jejich vlivu na výslednou nejistotu a analýza CMC hodnot jednotlivých kalibračních laboratoří. Na základě toho byly stanoveny nové prahové hodnoty, které odrážejí úroveň CMC hodnot běžně dosažitelných v kalibračních laboratořích. Prahové hodnoty je nutné vnímat jako jakési vodítko při sestavování rozpočtů nejistot a při posuzování laboratoří. Udávají hranici, která stanovuje, jakým způsobem je nutné se vypořádat s jednotlivými složkami nejistot. Naznačí, jestli je nutné se s určitými složkami do detailu zabývat, nebo stačí použít typové hodnoty.

Prahové hodnoty pro jednotlivé druhy měřidel jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tabulka 1: Prahové hodnoty pro kalibraci odporových snímačů teploty

Jmenovitá teplota, °C	Prahová hodnota CMC, °C Kalibrace v lázních	Prahová hodnota CMC, °C Kalibrace v píčkách a v blokových kalibrátorech
-50	0,07	0,10
-10	0,03	0,10
0	0,02	0,08
50	0,06	0,10
100	0,06	0,12
200	0,07	0,22
300	0,10	0,32
400	0,10	0,42
500		0,52
600		0,62

Tabulka 2: Prahové hodnoty pro kalibraci termoelektrických snímačů teploty.

Jmenovitá teplota, °C	Prahová hodnota CMC, °C TC z obecných kovů	Prahová hodnota CMC, °C TC z drahých kovů
0	0,5	0,3
100	0,5	0,3
200	0,5	0,3
300	0,5	0,4
400	0,6	0,4
500	0,8	0,5
600	0,9	0,5
700	1,1	0,6
800	1,2	0,6
900	1,4	0,7
1000	1,5	0,7
1100	1,7	0,8
1200	1,8	0,8
1300	2,0	0,9
1400	2,1	0,9
1500	2,3	1,0
1600	2,4	1,0

U indikačních teploměrů jsou prahové hodnoty stanoveny stejně jako pro jednotlivé senzory, kde je přičtena určitá část na indikační jednotku.

Tabulka 3: Prahové hodnoty pro kalibraci bezdotykových teploměrů

Jmenovitá teplota, °C	Prahová hodnota CMC, °C
-15	1,8
0	1,6
30	1,4
100	1,7
200	1,8
300	2,2
400	2,8
500	3,1

Pro oblast kalibrace termokamer byly prahové hodnoty stanoveny takto:

Tabulka 4: Prahové hodnoty pro kalibraci termokamer

Jmenovitá teplota, °C	Prahová hodnota CMC, °C
-15	1,6
0	1,6
30	1,3
100	1,4
200	1,8
300	2,0
400	2,8
500	3,1

4 Závěr

Na základě provedeného rozboru metod a zařízení pro měření teploty byl sestaven přehled druhů a typů teplotních měřidel a byla vybrána reprezentativní skupina teploměrů, pro které byly stanoveny všechny podstatné vlivy na nejistotu měření. K dispozici je tabulka, která přehledně shrnuje informace ze Závěrečné zprávy a umožňuje filtrování podle jednotlivých kritérií. Tím dovoluje zobrazit všechny podstatné informace např. pro daný typ teploměru a danou kategorii vlivu s jejich zhodnocením z hlediska významnosti pro cílovou hodnotu CMC laboratoře.

Tento dokument se bude využívat při posuzování kalibračních laboratoří jako informační základ pro zhodnocení, zda laboratoř správně stanovila všechny podstatné a neopominutelné vlivy na nejistotu kalibrace. Cílem samozřejmě je sjednotit přístup k rozpočtu nejistot a stanovení CMC a v budoucnu i v dalších oborech kalibrací.

5 Literatura

- [1] ILAC – BIPM Partnership. *ILAC*. [Online] [Citace: 5. června 2018.] <https://ilac.org/about-ilac/partnerships/international-partners/bipm/>.
- [2] Policy Documents (P Series). *ILAC*. [Online] [Citace: 5. června 2018.] <https://ilac.org/publications-and-resources/ilac-policy-series/>.
- [3] GUM: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. *BIPM*. [Online] [Citace: 5. června 2018.] <https://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>.
- [4] Dokumenty ke stažení. *ČIA*. [Online] [Citace: 5. červen 2018.] <http://www.cai.cz/dokumenty.aspx>.
- [5] Dokumenty ke stažení. *ČIA*. [Online] [Citace: 5. června 2018.] <http://www.cai.cz/dokumenty.aspx>.
- [6] Posuzování akreditovaných kalibračních laboratoří. *ÚNMZ*. [Online] [Citace: 5. června 2018.] <http://www.unmz.cz/urad/posuzovani-akreditovanych-kalibracnich-laboratori>.
- [7] Dr. Ing. Radek Strnad, Ph.D, a další. Teplota - její měření a aplikace. *METROLOGIE*. Tematická příloha, 2018, 1.

NOVÉ ZKUŠEBNÍ PŘÍSTROJE URČENÉ K TESTOVÁNÍ RUKAVIC

Lucie Švecová, DiS., Ing. Petr Nasadil

Textilní zkušební ústav, s.p.



Úvod

Díky rozsáhlé spolupráci s výrobními podniky v rámci klastru technických textilií Clutex bylo možné vyvinout nové zkušební přístroje určené k testování ochranných rukavic proti mechanickým rizikům. Princip zkoušení a metodika vyhodnocování vycházejí z technických norem ČSN EN 388 Ochranné rukavice proti mechanickým rizikům (Protective gloves against mechanical risks) z roku 2017, ČSN EN 1082-3 Ochranné oděvy - Rukavice a chrániče horních končetin chránící proti říznutí a bodnutí ručními noži - Část 3: Zkouška nárazovým řezem pro textilie, usně a jiné materiály. (Protective clothing – Gloves and arm guards against cuts and stabs by hand knives – Part 3: Impact cut test for fabric, leather and other materials) z roku 2001. V současné době vyvíjíme nové zkušební zařízení na testování tepelné odolnosti rukavic dle technické normy ČSN EN 511 Ochranné rukavice proti chladu (Protective gloves against cold) z roku 2006.

2. Popis zkušebních zařízení

2.1 ČSN EN 388 Ochranné rukavice proti mechanickým rizikům, článek 6.2

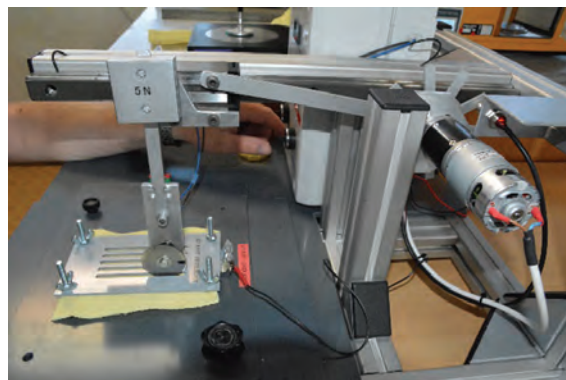
Zkušební zařízení je sestaveno ze zkušebního stolu, který umožňuje střídavý horizontální pohyb kruhové otáčející se čepel. Horizontální pohyb je v délce 50 mm a čepel se otáčí ve směru opačném k tomuto pohybu. Výsledná sinusoidální nejvyšší řezná rychlost čepel dosahuje maximálně $(8,0 \pm 2,0)$ cm/s. Celková hmotnost působící na čepel vyvíjí sílu $(5 \pm 0,05)$ N. Kruhová čepel je specifikována průměrem $(45 \pm 0,5)$ mm, tloušťkou $(0,3 \pm 0,03)$ mm a celkovým úhlem řezu 30° až 35° , materiálem je wolframová ocel o tvrdosti 700 HV až 720 HV. Kruhová čepel pořezává vzorek, který je uchycen ve stahovacím rámečku a podložen filtračním papírem $(65,0 \pm 5,0)$ g/m², hliníkovou fólií o tloušťce přibližně 0,01 mm a vodivou pryží (tvrdost $80,0 \pm 3,0$ IRHD). Přístroj je vybaven počítadlem cyklů a automatickým systémem k zajištění okamžiku proříznutí.

Zkušební vzorek o rozměrech 60 x 100 mm je uchycen do upínacího rámečku a umístěn na základovou desku. Nosné rameno nesoucí kruhovou čepel je postaveno tak, aby čepel byla v kontaktu se zkušebním vzorkem. Po spuštění přístroje se čepel pohybuje vodorovně ve směru vzorku. V okamžiku prořezání se přístroj automaticky zastaví a je zaznamenán

počet cyklů. Každý vzorek je 5x pořezáván. Ostrost čepel musí být před každou zkouškou zkontrolována. Proříznutí kontrolního vzorku se testuje před a po každém pořezání. Počáteční ostrost musí být v rozsahu 0,8 až 1,4 cyklů. Mezi jednotlivými dílčími pořezy pak hodnota ostrosti musí být v rozsahu 0,8 až 2,0 cyklů. Ke kontrole ostrosti čepel norma stanovuje bavlněné plátno se specifickými technickými parametry (pevnost v osnově / útku: min 1400n / 1100 N; tloušťka: $(1,0 \pm 0,1)$ mm; plošná hmotnost: $530,0 \text{ g/m}^2 \pm 5 \%$; atd.).

Zkušebním vzorkem je šikmo vystřížený pásek odebraný z dlaňové části rukavice. Pokud je zkoušený materiál složen z několika nespojených vrstev, zkouší se tyto vrstvy jako celek společně.

Výstupem výše popisované zkoušky je hodnota indexu stanovená z naměřených dat dle výpočtů uvedených v normě. Konečné zařazení ochranných rukavic do jednotlivých úrovní – tříd – provedení ochrany je stanoveno na základě souboru výstupů z testování dle ČSN EN 388 Ochranné rukavice proti mechanickým rizikům (Protective gloves against mechanical risks).



Obr. 1: Zkušební zařízení dle ČSN EN 388 Ochranné rukavice proti mechanickým rizikům



Obr. 2: Pořezaný zkušební vzorek

2.2 ČSN EN 1082-3 Ochranné oděvy - Rukavice a chrániče horních končetin chránící proti říznutí a bodnutí ručními noži - Část 3: Zkouška nárazovým řezem pro textilie, usně a jiné materiály

Zkušební zařízení pro zkoušku nárazovým řezem je vybaveno beranem, ke kterému je uchycena čepel tak,

aby vyčnívala $(55,0 \pm 5,0)$ mm. Těžiště beranu s čepelí musí být $(100,0 \pm 10,0)$ mm nad úroveň špičky čepelí. Hmotnost celé sestavy beranu s čepelí musí být $(110,0 \pm 5,0)$ g. Tvrdost čepelí, její tvar a rozměry jsou stanoveny citovanou normou. Držák vzorku je uložen na vodorovném rameni končícím kruhovou nárazovou podložkou s otvorem ve tvaru drážky, který je prostorem pro dopad čepelí. Kruhová nárazová podložka o průměru $(50,0 \pm 1,0)$ mm a svislou výškou přibližně 60 mm je vypouklého tvaru se zakřivením o poloměru $(200,0 \pm 5,0)$ mm. Osa drážky v nárazové podložce svírá s osou nosného ramene úhel $(45,0 \pm 5,0)^\circ$. Zkušební vzorky jsou umístěny přes nárazovou podložku tak, aby čepelí prořezala vzorek podél dlouhé osy, napříč vzorku a v úhlech 45° vůči těmto směrům, a je zatížen silou 10 N. Výstupem zkoušky je průměrná hodnota ze šesti hodnot řezů.



Obr. 3: ČSN EN 1082-3 Ochranné oděvy - Rukavice a chrániče horních končetin chránící proti říznutí a bodnutí ručními noži - Část 3: Zkouška nárazovým řezem pro textilie, usně a jiné materiály

2.3 ČSN EN 511 Ochranné rukavice proti chladu, článek 5.5

Zkušební přístroj na testování tepelné odolnosti rukavic dle výše uvedené normy je ve fázi prvotního testování. Přístroj je určen ke zkoušení konvenčního chladu. Výstupem zkoušky je hodnota tepelné izolace. Tepelná izolace rukavice je stanovena měřením příkonu potřebného k udržení konstantního teplotního gradientu mezi povrchem zahřívávaného modelu ruky o skutečné velikosti a okolním prostředím. Návrh a konstrukce ruky musí zajišťovat stejnou konstantní teplotu na celém povrchu modelu ruky obdobně jako lidská ruka. Přívod tepla musí být dostačující k tomu, aby udržel průměrnou teplotu modelu ruky v každé oblasti v rozsahu $30^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}$ při teplotě okolí, která je nejméně o 20°C nižší. Distribuce



Obr. 4: Detail beranu s čepelí

tepla na povrchu modelu ruky musí být rovnoměrná bez studených nebo horkých míst. Teplota povrchu modelu ruky se měří pomocí snímačů umístěných na povrchové vrstvě tak, aby nepřekážely navlečení zkoušené rukavice a zároveň umožňovaly reprezentativní měření teploty modelu ruky na všech sledovaných oblastech – prsty, dlaň a hřbet ruky.

Závěr

Vývoj nových materiálů a nových technologií zpracování zasahuje i do produkce ochranných osobních pomůcek. Tento vývoj vyžaduje neustálé doplňování a upřesňování zkušebních norem. Při současném trendu zvyšování ochrany zdraví při práci je nutné zlepšovat a rozšiřovat možnosti testování a kontroly ochranných pracovních pomůcek.

Textilní zkušební ústav, s.p. se snaží cíleně rozšiřovat nabídku svých služeb, aby se mohl účastnit společných projektů a byl připraven nabídnout výrobcům možnost testovat jejich výrobky. Pořízením nových zkušebních přístrojů v rámci klastru Clutex je nyní tato možnost v České Republice dosažitelná.

Výrobci mohou využít i možnost certifikace svých výrobků na základě výsledků testování.

Použitá literatura:

- [1] ČSN EN 388 Ochranné rukavice proti mechanickým rizikům (Protective gloves against mechanical risks): 2017
- [2] ČSN EN 1082-3 Ochranné oděvy - Rukavice a chrániče horních končetin chránící proti říznutí a bodnutí ručními noži - Část 3: Zkouška nárazovým řezem pro textilie, usně a jiné materiály. (Protective clothing – Gloves and arm guards against cuts and stabs by hand knives – Part 3: Impact cut test for fabric, leather and other materials):2001
- [3]. ČSN EN 511 Ochranné rukavice proti chladu (Protective gloves against cold):2006.

ZKUŠENOSTI SE ZKOUŠENÍM SPECIÁLNÍCH TRUHLÁŘSKÝCH VÝROBKŮ – RAKVÍ

Ing. Pavel Rubáš, Ph.D.

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.

Novelizace zákona č. 256/2001 Sb., o pohřebnictví, která proběhla v roce 2017, přinesla nové vymezení pojmu „konečná rakev“ a závazné požadavky na mechanické vlastnosti rakví. Nově se za konečnou rakev dle § 2 odst. k) zákona č. 256/2001 Sb. považuje pevně zavřená rakev s lidskými pozůstatky určená pro jejich pohřbení, vyrobená z dřevěných desek nebo desek na bázi dřeva a splňující kritéria pevnosti rakve pro pohřbení nebo alespoň parametry ve shodě s určenou normou, definovanou v § 4a zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky.

V tomto smyslu je zajímavý oslí můstek mezi zákony, který spojuje zákon o pohřebnictví se zákonem č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky, v aktuálním znění. Technické parametry rakví, jež jsou v ČR „uváděny na trh“, musí splňovat požadavky příslušných norem, které novelizace jasně učinila závaznými. V návaznosti na novelizaci jsme v TZÚS Praha, s.p. již v pololetí roku 2017 začali zaznamenávat poptávky na posouzení vlastností rakví, různých výrobců rakví a pohřebních ústavů. Následně jsme na doporučení Asociace pohřebních služeb v ČR zavedli několik nových zkušebních postupů pro uspokojení rostoucí poptávky. Jak již bylo naznačeno, rakve jsou, ač to zní morbidně, výrobky – speciální truhlářské. Marketingové poučky tvrdí, že výrobek je cokoli, co lze na trhu nabídnout, co získá pozornost, co může sloužit ke spotřebě, co může uspokojit přání nebo potřebu. Obecná definice je naplněna, neboť i výroba rakví patří mezi velmi konkurenční odvětví, rakve jsou nabízeny na společném trhu EU, logicky získávají pozornost, slouží ke spotřebě a uspokojí přání a potřeby, byť v tomto pohledu potřeby poslední, protože smrt je zcela přirozená součást života a spotřeba rakví – výrobků je s ní spojena.

Po technické stránce definují kritéria rakví pro pohřbení (do země) a kremačních rakví následující normy:

ČSN 49 3160-1 Rakve – Část 1: Obecné a mechanické požadavky a značení

ČSN 49 3160-2 Rakve – Část 2: Zvláštní požadavky na kremační rakve

ČSN 49 3160-3 Rakve – Část 3: Zvláštní požadavky na rakve do hrobu nebo do hrobky

TZÚS Praha, s.p. realizuje zkoušky dřevěných rakví a rakví na bázi dřeva včetně vystavení protokolu o zkoušce, který zcela pokrývají požadavky novelizovaného zákona o pohřebnictví. Konkrétně se jedná o statickou zkoušku spodního dílu rakve, dynamickou zkoušku spodního dílu rakve a statické zkoušky celých rakví. Byť jsme se v této souvislosti setkali s negativními názory, že už nevíme, co dalšího si vymyslet, abychom naplnili zkušební a certifikační kapacity, je třeba popsat důvody zavedení povinných zkoušek rakví. Po šestnácti letech stát (konkrétně Ministerstvo pro

místní rozvoj) novelizoval zákon o pohřebnictví a fakticky tím znesnadnil používání nejlevnějších papírových rakví, které musí být nově tužší, aby měly šanci projít předepsanými mechanickými a dynamickými zkouškami. Důvodem zavedení tohoto požadavku je hlavně zajištění lidské důstojnosti. Papírové rakve obecně nevydrží tolik jako ty dřevěné. Údajně byly zaznamenány případy, kdy se dno papírové rakve rozmočilo a nebožtík vypadl na zem i přes nepromokavý papír na dně rakve. Lze chápat sociální aspekty, protože nejlevnější rakve z kartonu stojí okolo 600 Kč a připomíná kartonový obal na pračku. Kvalitní dřevěné rakve stojí násobně víc a pro každého z nás je citlivou a velmi intimní otázkou, zda je materiálové řešení rakve podstatné, protože rakve ve většině případů skončí v peci nebo v zemi. Specifickým případem je pohřbívání do hrodek, kde nemá smysl diskutovat o potřebě kvalitního tvrdého dřeva.

Na úvod do vlastní problematiky technických požadavků na rakve je vhodné uvést, že předmětné normy platí jen pro rakve ze dřeva a z materiálů na bázi dřeva. Neplatí pro speciální rakve – skleněné, kovové a zinkové vložky do rakví, transportní rakve do letadel a vlaků, rakve do mrazicích boxů a rakve pro anatomicko-patologický odpad. Normy se nezabývají vzhledem rakví, jejich tvarem a zdobením. Rakve se musí vyrábět ze dřeva či materiálů na bázi dřeva s vlhkostí menší než 15 %. Použité dřevo musí být bez chemických ochranných prostředků. Jakost dřeva je přísně definována a musí být ve shodě s ustanoveními ČSN EN 942, což znamená požadavky na omezení počtu suků a jejich průměr, vyloučení poškození ambrosiovým broukem, omezení trhlin apod. Tyto parametry jsou během zkoušky ověřovány vizuálně.

Rakve se mohou též vyrábět z laminované třískové desky, pro niž platí ČSN EN 14322, ze všech typů třískové desky, které splňují požadavky ČSN EN 312 a ze všech typů výtlačně lisovaných třískových desek, které splňují požadavky ČSN EN 14755. Akceptovatelným materiálem jsou překližované desky, které splňují požadavky ČSN EN 636, dále vláknité desky, desky z orientovaných plochých třísek (OSB), desky z vrstveného dřeva (LVL). Přijatelným materiálem je vlnitá lepenka (papírový karton) o minimální pevnosti v průtlaku 1,8 MPa. Zajímavostí je, že rakve se mohou vyrábět i z ostatních materiálů na bázi dřeva, které splňují požadavky krematorií a pohřebišť a požadavky příslušných právních předpisů (např. lze vyrábět alternativní rakve z proutí).

A. Statická zkouška spodního dílu rakve

Spodní díl rakve se postaví na rovnou plochu a dno se zatíží podle **obr. 1a, 1b**.

Kde l je délka dna spodního dílu rakve (m),

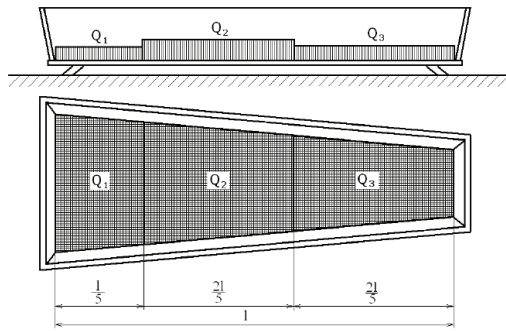
Velikost zatížení:

$Q_1 = 100 \text{ N}$

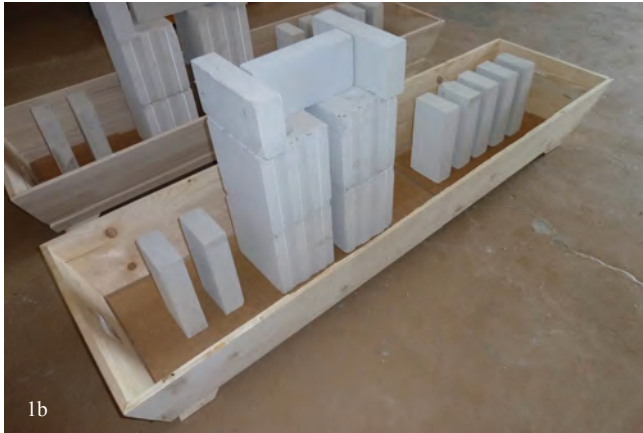
$Q_2 = 1\,150 \text{ N}$

$Q_3 = 250 \text{ N}$

Celkem 1 500 N



1a



1b

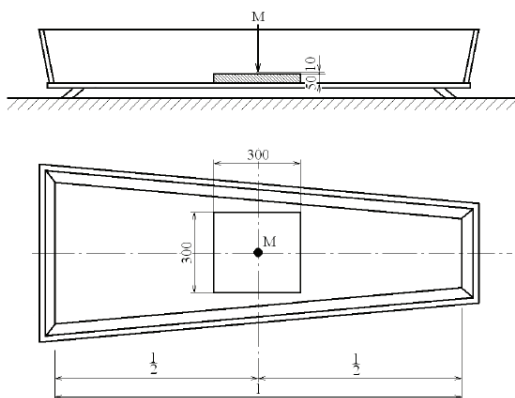
Obr. 1 a, b: Zatížení spodního dílu rakve

Zatížení se nechá působit po dobu 5 dní. Po odstranění zatížení se provede vizuální kontrola a změří se spára mezi dnem a bokem s přesností na 0,1 mm ve vzdálenosti $l/2$.

Při zkoušce nesmí dojít k mechanickému poškození dna a největší naměřená spára mezi dnem a boční stěnou nesmí být větší než 5 mm.

B. Dynamická zkouška spodního dílu rakve

Zkouška dynamickým namáháním spodního dílu rakve se provádí na zkušebním zařízení umožňujícím dynamické namáhání pádem břemene o hmotnosti 30 kg z výšky 10 mm. Spodní díl rakve se umístí do zkušebního zařízení. Na střed dna se umístí matrace o rozměrech 300 mm × 300 mm z PUR pěny tloušťky 50 mm a hustoty $30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Na geometrický střed dna působí volným pádem břemeno o hmotnosti $m = (30 \pm 0,1) \text{ kg}$ z výšky $h = 10 \text{ mm}$ přes podložku průměru $(250 \pm 1) \text{ mm}$ podle obr. 2a, 2b.. Počet dynamických cyklů je 50.



2a



2b

Obr. 2a, b: Dynamická zkouška spodního dílu rakve

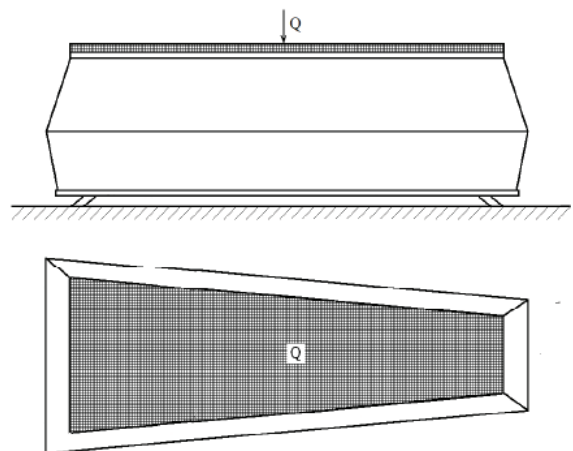


Obr. 3: Dynamická zkouška spodního dílu papírové rakve

Při zkoušce nesmí dojít k mechanickému poškození dna a největší naměřená hodnota spáry mezi dnem a boční stěnou nesmí být větší než 10 mm.

C. Statická zkouška celé rakve

Zatímco u kremačních rakví lze provést pouze statickou a dynamickou zkoušku spodního dílu rakve, u rakví do hrobu



Obr. 4: Statická zkouška celé rakve

nebo hrobky je navíc stanoven požadavek na statickou zkoušku celé rakve. Na rakve do hrobky platí ještě další zvláštní požadavky. Plášť rakve do hrobky se musí vyrábět ze dřeva podle ČSN 49 3160-1 čl. 4.1.1, a to jen z dřev třídy trvanlivosti 2 a 1 podle ČSN EN 350-2. Z dřev běžně dostupných v ČR to je pouze jádrové dubové a jádrové akátové dřevo (bez běli). Nedílnou součástí rakve do hrobky musí být nepropustná zinková vložka do spodního dílu rakve.

Rakev do hrobu nebo do hrobky musí odolat zatížení 1500 N.

Celá smontovaná rakev se postaví na rovnou plochu. Víko rakve se zatíží podle **obr. 4**.

Velikost zatížení: $Q = 1\ 500\ \text{N}$

Zatížení se nechá působit na rakev po dobu 5 dní. Při zkoušce nesmí dojít k mechanickému poškození víka a největší naměřená spára mezi horní a dolní částí rakve nesmí být větší než 5 mm (**obr. 5**).



Obr. 5: Měření spáry po zkoušce

D. Požadavky na správné značení rakve jako výrobku

Každá rakev musí být značena na vnitřní straně u velké části čela víka. Značení může být na vlepeném štítku, vytištěno nebo jinak čitelně a nesmazatelně vyznačeno. Značení by mělo obsahovat alespoň tyto údaje: název a adresu výrobce, rok výroby, odkaz na příslušnou část normy, tj. pro kremační rakev: ČSN 49 3160-1; ČSN 49 3160-2; pro rakev do hrobu nebo do hrobky: ČSN 49 3160-1; ČSN 49 3160-3; pro rakev do hrobu nebo do hrobky nebo kremační: ČSN 49 3160-1; ČSN 49 3160-2; ČSN 49 3160-3.

Závěr – poznatky

Z větší série dosud provedených zkoušek lze konstatovat, že statické a dynamické požadavky jsou pro dřevěné rakev a rakve na bázi dřeva poměrně snadno dosažitelné. V naší zkušební dosud nebyl dosud zaznamenán žádný typ rakve, který by nevyhověl požadavkům norem řady ČSN 49 3160. U statických zkoušek nebylo zaznamenáno žádné mechanické poškození dna a největší naměřená spára mezi dnem a boční stěnou byla 1,5 mm, což s velkou rezervou splňuje požadavek 5 mm. U dynamických zkoušek též v žádném případě nedošlo k mechanickému poškození dna a největší naměřená hodnota spáry mezi dnem a boční stěnou byla 3 mm, požadavek na max. 10 mm byl proto s velkou rezervou vždy splněn. Kritizované vícevrstvé kartonové (papírové) rakev prošly statickými a dynamickými zkouškami s řádově srovnatelnými výsledky jako rakev dřevěné, a tak nezbyvá na závěr nic jiného než prosté konstatování, že všechny rakev dosud vyzkoušené v TZÚS Praha, s.p. splňují požadavky novelizovaného zákona o pohřebnictví a lze je v tomto smyslu považovat za kvalitní výrobky. Do budoucna mohou být zajímavé kontrolní nákupy České obchodní inspekce za účelem ověření, zda všechny rakev uváděné na trh v ČR mají počáteční zkoušku typu a zda kvalita průběžně vyráběných rakví je stále odpovídající.



ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 PŘÍBĚH TVORBY JEDNÉ NORMY

Ing. Gabriela Šimonová

Český institut pro akreditaci, o.p.s.

Technické normy jsou celosvětově využívány za účelem sjednocování postupů a procesů, zjednodušení prokazování kvality a kompetence a usnadnění komunikace zákazníků s dodavateli produktů a služeb. Na rozdíl od norem specifických pro jednotlivé produkty a služby, jsou normy deklarující požadavky pro zavedení systémů kvality široce využívány pro celou řadu oborů a odborností. Není tedy divu, že uvést v život normy, které jsou v celosvětovém

měřítku tak hojně využívány, znamená spoustu času a práce pro všechny zainteresované strany.

Od počátku

Více než 640 českých kalibračních a zkušebních laboratoří akreditovaných Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. (dále jen ČIA) již delší dobu očekávalo vydání revize normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2005. Po několikaleté práci zástupců ČIA v pracovní skupině ISO CASCO/ WG 44, která normu od roku 2014 vytvářela a jejich aktivní účasti v rozsáhlém celosvětovém připomínkovém řízení,

byla v listopadu 2017 vydána ISO/IEC 17025:2017 v anglickém originálním znění. Během tří měsíců byl Centrem technické normalizace ČIA za účasti připomínkovatelů z řad pracovníků ČIA i široké odborné veřejnosti zpracován český překlad normy, aby mohla v dubnu 2018 vyjít ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 v českém jazyce.

Díky včasnému vydání českého překladu nedošlo k zásadnímu zkrácení tříletého přechodného období, jehož začátek je datován vydáním originálu ISO normy.

Harmonizace

Tím úkol pro český akreditační orgán zdaleka neskončil. Vybraní pracovníci ČIA se účastnili školení pro školitele personálu akreditačních orgánů pořádaných EA na úrovni Evropy a APLAC na mezinárodní úrovni. Cílem všech těchto školení byla harmonizace nově definovaných požadavků, což je v odlišných podmínkách a právních prostředích tolika států velmi komplikovaná záležitost.

Informace zákazníkům

Říká se, že štěstí přeje připraveným a něco na tom bude. Díky tomu, že v porovnání s dalšími evropskými státy byla ze strany ČIA věnována revizi normy zvláštní pozornost a péče už v době její tvorby, zaujali jsme v mezinárodní spolupráci pozici těch nejlépe připravených. V době, kdy byl dokončován překlad normy do českého jazyka, bylo už s obsahovými změnami v normě seznámeno více než 700 pracovníků laboratoří, kteří byli účastni celkem tří maximálně naplněných seminářů pořádaných v Praze i v Brně.

Školení personálu

Souběžně s aktivitami pro naše klienty zároveň probíhalo školení personálu ČIA a to jak vlastních zaměstnanců, tak našich početných externích spolupracovníků. Celkem devět termínů školení pro externí odborné posuzovatele si vyžádalo mnoho času a kapacit našich kmenových zaměstnanců. Výsledkem tohoto maximálního nasazení je skutečnost, že 1. 5. 2018 tj. v první den účinnosti ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 je ČIA kompletně připravena posoudit žadatele o akreditaci dle revidovaného znění normy.

Změny v normě

Otázkou na místě je, na co že padlo tolik vynaložené energie. Neboli, co je v očekávaném dokumentu skutečně nového? Pokusím se o stručný popis těch nepodstatnějších změn.

Revize normy je v porovnání s původním dokumentem mnohem **stručnější a obecnější**. Její textový rozsah se zkrátil zhruba o pětinu, kompletně byla změněna struktura a především došlo k zásadnímu **posunu filozofie popisu** jednotlivých **požadavků**. Terminologie a **struktura** je shodná s rámcovými normami a normami posuzování shody, což uvítají laboratoře pracující ve vícevrstevném systému managementu kvality (např. ISO 9001+ ISO/IEC 17025).

Norma je čtivá, logicky ubíhá podle přirozeného chodu **laboratorního procesního modelu** od přijetí objednávky, přes vzorkování, výběr metody a zajištění kvality výsledků, až po vydání protokolu nebo kalibračního listu. Na základě dlouhodobých zkušeností byly vyjasněny a **lépe definovány některé požadavky**. Mohu zmínit například požadavky na výroky o shodě se specifikací, výsledkové listy nebo dnes hojně používané laboratorní informační systémy.

Předmětem obav akreditovaných laboratoří se naopak může stát zavedení požadavku **zvažování rizik a vyhledávání příležitostí ke zlepšení**, který bude laboratoř muset zakomponovat do svých nastavených systémů managementu kvality. Je pravdou, že bude pro pracovníky laboratoří naprostou nutností se v této oblasti alespoň minimálně vzdělat, pochopit požadavek v kontextu specifických činností konkrétní laboratoře a odbornosti a vybrat si srozumitelný nástroj pro pravidelné vyhodnocování. Na druhé straně je možné se na aplikaci řízení rizik dívat zároveň jako na benefit, na možnost mít větší prostor a svobodu při plnění požadavků založenou na podložených a odůvodněných rozhodnutích.

Další výzvy

Nastalá změna normy se při implementaci netýká výhradně posuzované strany – zkušebních laboratoří. Začlenění požadavků na řízení rizik klade také zvýšené nároky na stranu posuzující – posuzovatele systému managementu kvality. Schopnost být otevřený vůči argumentaci laboratoře a rozhodný v případě vyjádření shody nebo neshody s požadavkem normy bude jednou z náplní dalšího vzdělávání pracovníků ČIA v rámci přechodného období.

Bez obav

Z mého pohledu není změna normy pro fungování akreditované laboratoře nijak zásadně dramatická. Také analýzu rizik laboratoře běžně využívali, aby se na jejím základě mohli pracovníci kompetentně rozhodovat. Je třeba jen tato rizika pojmenovat, zaznamenat a zvolit vyhodnocení, kterému budou pracovníci rozumět a ze kterého lze vycházet v dalším období při plánování zlepšování.

Implementace

K dosažení bezproblémového přechodu na novou normu mohu doporučit akreditovaným laboratořím tyto základní kroky. Jako první si důkladně prostudujete znění nové normy a označte si požadavky, které podle vás ve svém již nastaveném systému nesplňujete. Podle rozsahu těchto změn naplánujte termín přechodu v rámci akreditačního cyklu. Následně zaveďte změny do stávajícího systému podle navrženého harmonogramu respektujícího termín přechodu. Po implementaci nezapomeňte provést interní audit ke kontrole plnění požadavků nebo využijte dotazník pro žadatele o posouzení dle nové normy na webu ČIA. Nakonec podejte žádost o přeposouzení dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2018 - normy, na kterou jsme s napětím tak dlouho čekali.

INFORMACE O ČLENSKÉ SCHŮZI A 56. KONFERENCI ČESKÉHO KALIBRAČNÍHO SDRUŽENÍ (ČKS, z.s.)

Ing. Jiří Kazda

ČKS



České kalibrační sdružení je zájmovým sdružením všech zájemců o metrologii. Hlavním cílem sdružení je dvakrát ročně, na jaře a na podzim na odborných konferencích informovat zájemce o problematiku měření, podnikové metrologie, pracovníky kalibračních laboratoří a všechny další zájemce o novinkách a nových požadavcích vyplývajících z právních a technických předpisů v referátech, které přednášejí vedoucí pracovníci UNMZ, ČMI a ČIA a umožnit pracovníkům z praxe i osobní a neformální setkání s těmito pracovníky. ČKS pořádá podle potřeby a podle zájmu metrologů z praxe i další odborné semináře zaměřené na jednotlivá odvětví a obory měření. Tyto semináře bývají doprovázeny výstavkami a prezentacemi firem vyrábějících a dodávajících metrologický hardware a software a v případech, kdy je to možné, praktickým ukázkami kalibrací. Sdružení má dlouhou tradici činnosti delší než čtvrt století. Počet členů sdružení přesahuje 100. Sdružení je členem Evropské organizace kalibračních laboratoří Eurocal a má uzavřenu dohodu o spolupráci s Kalibračním sdružením SR v Bratislavě (KZSR) pro koordinaci činnosti, výměnu zkušeností a osvědčených přednášek a společné pořádání akcí v oblasti metrologie.

V rámci Sdružení působí sekce pro tachografy. Jejimi členy jsou převážně autorizovaná metrologická střediska pro ověřování tachografů, autorizovaní prodejci tachografů a další subjekty zabývající se problematikou autodopravy. Rozsahem své činnosti tato sekce poskytuje informace nejen k problematice ověřování tachografů, ale i k bezpečnosti dopravy obecně. V této sekci působí rovněž lektoři se znalostí problematiky silniční dopravy v EU.

Jarní konference Českého kalibračního sdružení je spojena se schůzí spolku. Na této schůzi spolku byli členové informováni o činnosti v uplynulém roce. Dále byla přednesena zpráva o hospodaření a zpráva revizní komise. Ze zprávy revizní komise vyplývá, že nebyly zjištěny nedostatky. Protože členové revizní komise ukončili činnost v ČKS, proběhla volba nové revizní komise. Na závěr schůze spolku byl přednesen plán činnosti pro další období a návrh usnesení, které bylo členy schváleno.

56. konference se tradičně konala v hotelu Skalský Dvůr, Lísek u Bystřice nad Pernštejnem ve dnech 16. a 17. 5. 2018. Konference byla zaměřena na informace o akreditaci dle revidované normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018, na metrologii tlaku, hmotnosti a teploty a dále na zkoušení a ověřování tachografů. Speciální součástí konference byla diskuse nad dotazy vznesenými k ČIA.

- Dopolední společnou část jednání zahájil Ing. Zbyněk Veselák, ředitel odboru metrologie ÚNMZ s referátem na téma **Aktuální informace z ÚNMZ**. Informoval o závěrech z 52. zasedání OIML, které se konalo v říjnu 2017. Dále referoval o činnosti CEN-CENELEC, který vytváří a reviduje EN normy, vyhláše k zónám tíhového zrychlení, nově vydaných norem v českém jazyce ČSN EN ISO 17034 a ČSN EN ISO/IEC 17025:2018. Dále informoval i o zřízení České agentury pro standardizaci (ČAS), která převzala od ÚNMZ všechny činnosti související s tvorbou, vydáváním a distribucí technických norem.
- Následovalo vystoupení Ing. Milana Badala, náměstka ředitele ČIA, s přednáškou na téma **Aktuality z oblasti akreditace**. Hlavní byla informace o postupu posuzování dle novelizované normy ČSN EN ISO/IEC 17025:2018. ČIA se dále připravuje na evaluaci EA a v letošním roce bude řešit i úkoly programu rozvoje metrologie zaměřené na průběžné sjednocování stanovení CMC v oboru měření tlaku a objemu.
- Dopolední společný program byl zakončen příspěvkem na téma **JCGM 106 Vyhodnocování naměřených dat - role nejistoty měření při posuzování shody ve vazbě na novou verzi normy 17025** – přednášející RNDr. Pavel Klenovský, generální ředitel ČMI Brno. Bylo probráno hodnocení rizik jak z hlediska výrobce tak i z hlediska spotřebitele a také jak k této otázce přistupovat v kalibračních laboratořích.
- Odpolední program po schůzi spolku zahájil Ing. Jaroslav Mucha, ČMI s příspěvkem na téma **Křížové porovnání požadavků staré a nové normy ČSN EN ISO/IEC 17025**. Věnoval se podrobně novým částem v novelizované normě a srovnání požadavků.
- RNDr. Simona Klenovská, ČMI Brno, informovala o plánu organizace mezilaboratorních porovnání (**MPZ**) v činnosti ČMI – **plán a realizace v roce 2018**. Účastníci byli seznámeni s jednotlivými plánovanými MPZ v r. 2018 a některými výsledky z ukončených porovnání.
- Ing. Martin Matuš, ČIA prošel podrobně nové **Požadavky na systém managementu v ČSN EN ISO/IEC 17025:2018**
- Závěr prvního dne byl věnován **Odpovědím na předložené dotazy a diskuzi se zástupcem ČIA**. Ing. Martin Valenta, ČIA odpovídal jak na připravené dotazy, tak i na další dotazy od účastníků. Tato diskuze probíhala individuálně i po skončení programu prvního dne konference.
- Druhý den zahájil Ing. Zdeněk Faltus, BD Sensors, s.r.o. s příspěvkem na téma **Harmonizace posuzování akreditovaných kalibračních laboratoří tlaku, závěrečná zpráva úkolu č. 600-PRM-Z001-09 z pohledu roku 2018**. Vyhodnotil, co se povedlo realizovat a co se změnilo za období od řešení úkolu.

- Lukáš Běhal, ČMI Jihlava se věnoval **Vlivu zmagnetovaných závaží na správnost vážení a riziku možnosti poškození vah**.
- Ing. Pavel Vejchoda přednesl příspěvek na téma **Praktické vyhledávání a řešení rizik v laboratoři** (viz. další článek).
- Posledním vystoupením byl příspěvek kolektivu primární laboratoře teplot ČMI Praha, který přednesl Dr. Ing. Radek Strnad PhD., na téma **Výpočet CMC pro veličinu teplotu s ohledem na její požadovanou velikost**, což byly vlastně závěry úkolu PRM. Byly zdůrazněny vlivy, které musí laboratoře při stanovování nejistot v oboru měření teplot vzít do úvahy.

Po schůzi spolku sdružení účastníci sekce tachografy měli samostatný program, který zahájil odborný garant-sekce tachografy, pan Pavel Souček. Přivítal účastníky, které seznámil s programem a s nepatrnými změnami názvů jednotlivých přednášek. Poté následovala jednotlivá vystoupení:

- Ing. Jiří Novotný z Centra dopravního výzkumu Brno, uvedl příspěvek na téma **Prováděcí nařízení komise (EU) 2018/502**, kterým se mění prováděcí nařízení (EU) 2016/799, kterým se stanoví požadavky na konstrukci, zkoušení, montáž, provoz a opravy tachografů a jejich součástí.
- Lukáš Rutar, ČMI Brno, pokračoval příspěvkem **Postup zkoušení při ověřování analogových a digitálních tachografů dle MP 018-17 a příslušných OOP**. Tento metrologický předpis (dále jen „MP“) navazuje jako prováděcí technický dokument na opatření obecné povahy (OOP-C042-14 a OOP-C062-15). Cílem tohoto MP je shromáždit v jednom dokumentu všechny relevantní informace potřebné pro výkon ověřování tachografů.
- Mgr. Jakub Soběslav, uvedl příspěvek **Inteligentní tachograf – novinky a změny v ověřování**. Nástup inteligentních tachografů se dotkne všech – řidičů, firem, pracovníků AMS i kontrolních orgánů. Byl probrán především dopad na AMS, neboť těch se změny dotknou nejcitelněji. Kromě finanční zátěže v podobě nákupu nového vybavení jde také o změny v postupu ověřování tachografů.
- pplk. Ing. Aleš Maxa, rada ŘSDP PP ČR, prezentoval příspěvek na téma **Informace o dopravních nehodách a manipulace s tachografy – problematika sociálních předpisů**. Účastníci byli informováni o praktických zjištěních kontrolními orgány.
- První den byl zakončen diskuzí.
- Druhý den odborné sekce tachografy zahájil Ing. Karel Jelínek, na téma **Příloha 1C (EU 2016/799) a aktualizace 1C**.
- V příspěvku **Požadavky AMS k řešení a diskuzi** vystoupil se svým Jan Hlavatý ze spol. TACHTEK Solutions, Brno.
- Druhý den jednání sekce tachografy ukončil Ing. Vladimír Plšek z firmy MeTeKa, s.r.o. na téma **Metodika zkoušení/kalibrace záznamníků teplot používaných**

při transportu potravin. Tato metodika vznikla v rámci úkolu programu rozvoje metrologie jako reakce na neuspokojivý stav v ČR v naplňování „Nařízení komise (ES) č.37/2005 o sledování teplot v přepravních prostředcích, úložných a skladovacích prostorech pro hluboce zmrazené potraviny určené k lidské spotřebě“ a dále „Dohody o mezinárodních přepravách zkazitelných potravin a o specializovaných prostředcích určených pro tyto přepravy (ATP) Sb.m.s. č.32/2016“.

- Následovala společná diskuze a bylo ukončeno jednání v sekci tachografů na 56. odborné konferenci ČKS.

Shrnutí, diskuze a závěr jednání sekce tachografů

Rada přednesených příspěvků opětovně zdůraznila nutnost udržování a zvyšování odbornosti zaměstnanců AMS, vyvolanou neustálými změnami předpisů pro tachografy a inovacemi konstrukce tachografů i postupů jejich kontroly, rozvíjející se spolupráci s kontrolními orgány v oblasti dopravy, prohloubení vzájemné spolupráce při odhalování podvodů s digitálními tachografy. Zároveň vzniká nutnost reagovat na ochranu osobních údajů fyzických osob, tzv. GDPR, s platností od 25. 5. 2018.



Předběžný termín konání podzimní **57. odborné konference ČKS** je ve dnech **7. 11. a 8. 11. 2018.**, Bude se tradičně konat v Hotelu Skalský Dvůr v Lisku u Bystřice nad Pernštejnem.

Podrobná nabídka všech akcí ČKS je trvale k dispozici na webové stránce ČKS, www.cks-brno.cz.

Na těchto stránkách naleznete rovněž informace o podmínkách členství v Českém kalibračním sdružení, kontakt je e-mail: cks-brno@volny.cz.

požární ochrana

stavební prvky
a materiály

chytrý dům

ELEKTRO
A ZABEZPEČENÍ

vzduchotechnika

dřevostavby

vytápění

bazény,
sauny & spa



ARCH

MEZINÁRODNÍ STAVEBNÍ VELETRH

🏠 stavba | 🛡️ elektro a zabezpečení | 🔥 vytápění | 🏡 dřevostavby | 🏊 bazény, sauny & spa



www.forarch.cz

18.-22. 9. 2018

GENERÁLNÍ PARTNER



ODBOBNÝ PARTNER



OFICIÁLNÍ VOZY



Vstupenka neopravňuje k bezplatnému parkování. The entrance ticket does not entitle its holder to free parking.



MEZINÁRODNÍ STAVEBNÍ VELETRH INTERNATIONAL BUILDING TRADE FAIR

- 🏠 stavba | building
- 🛡️ elektro a zabezpečení | electro and security
- 🔥 vytápění | heating
- 🏡 dřevostavby | wooden constructions
- 🏊 bazény, sauny & spa | swimming pools, saunas & spa

ČESTNÁ VSTUPENKA COMPLIMENTARY TICKET

Držitel čestné vstupenky je na veletrhu hostem firmy:
The holder of this ticket is a guest of the following company:



Bez názvu firmy je vstupenka neplatná.
Valid only with the name of the company given..



A02018000001157031

www.forarch.cz

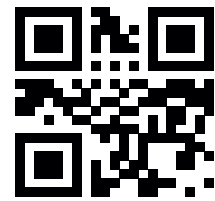
18.-22. 9. 2018

Otvírací doba / Opening time 18.-21. 9. 2017 / 10.00-18.00 | 22. 9. 2017 / 10.00-17.00



GENERÁLNÍ PARTNER | GENERAL PARTNER | ODBOBNÝ PARTNER | TECHNICAL PARTNER | OFICIÁLNÍ VOZY | OFFICIAL CARS



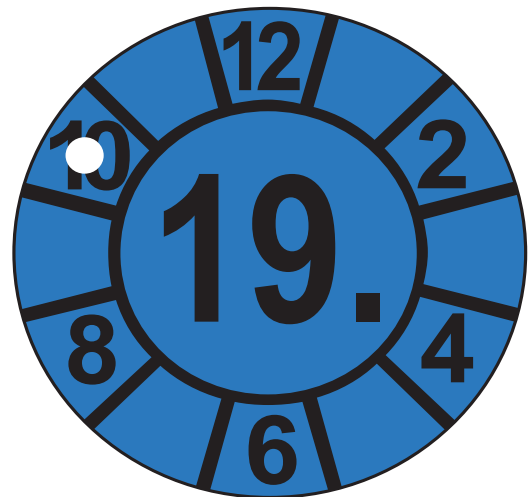
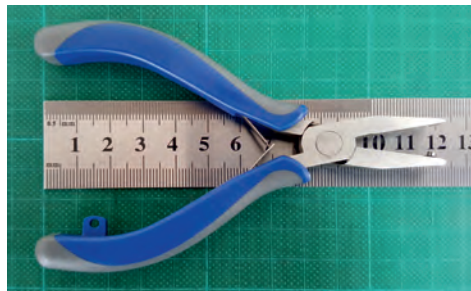


VÝROBA KALIBRAČNÍCH ZNAČEK PRO METROLOGII a samolepicích štítků pro průmyslové využití

V naší stálé nabídce najdete více než 300 různých druhů kalibračních značek a štítků, které jsou neustále skladem. Standardní expedice skladových značek je 1 - 3 dny. Podle požadavku může být většina značek opatřena logem, QR kódem, případně identifikační značkou Vaší společnosti.

Pokud požadovanou značku nenajdete v naší nabídce, pošlete nám i jen rukou provedený náčrtek a obratem Vám zašleme cenovou nabídku a vypracujeme grafickou podobu značky.

Výrobou kalibračních značek se zabýváme 27 let a dosud jsme nezaznamenali požadavek, který bychom nebyli schopni splnit k plné spokojenosti zákazníka.



Coptis KALIBRAČNÍ ZNAČKY
značky, štítky a samolepky pro metrologické účely

Vzorník barev fólií
Samolepicí značky bez tisku.

Značky bez tisku - jakýkoliv tvar a velikost.

- Standardně jsou skladem kulaté značky 12 mm. Čisté štítky bez potisku jsou dodávány v daných barvách pod jednohlavými čísly barev.
- Čísła barev slouží současně i jako základní vzorník barev pro objednávky jakýchkoliv jiných kalibračních značek a samolepek.
- Čisté štítky dodáváme v násobcích 50 ks / u průměru 12 mm. Na zakázku vyrobíme jakýkoliv tvar a velikost, cena je podle kalkulace.

Základní ceny

- jednorázná cena standardní velikosti značky (12mm) je 0,32 Kč / kus
- u reflexní barvy 1,40 Kč / kus.
- u jiných velikostí cenu spočítáme
- Min. objednávková množství je 50 - 150 ks - podle velikosti značky.

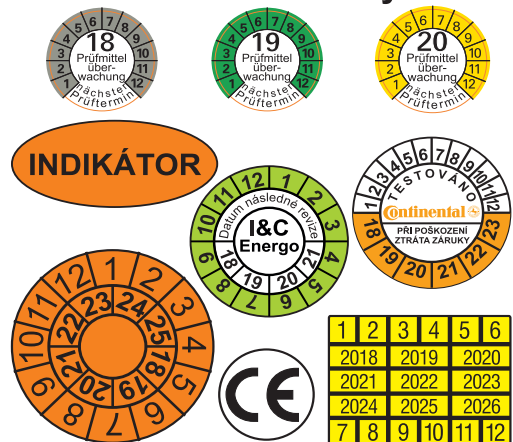
VZORNÍK BAREV FÓLIÍ

Název barvy	bílá	žlutá	červená	oranžová	fialová	modrá	zelená	šedá	reflexní
číslo barvy	10	22	31	35	43	53	64	74	39

[KATALOG KALIBRAČNÍCH ZNAČEK V PDF](#)

E-shop kalibračních značek najdete zde.

Přes 300 druhů kalibračních značek ze základní nabídky nakoupíte pohodlně od stolu v E-shopu na www.kalibracky.cz.



Tištěný katalog značek Vám zašleme na vyžádání, nebo si jej můžete stáhnout na www.kalibracky.cz ve formátu pdf.



PRACOVNÍ MĚŘIDLO STANOVENÉ



ZÁKAZ POUŽÍVÁNÍ

COPTIS spol. s r.o. • Halasova 629, 703 00 Ostrava-Vítkovice
Tel/fax: +420 596 111 682, e-mail: coptis@coptis.cz

www.kalibracky.cz

Redakční rada:

Ing. Zdeňka Pohořelá (předsedkyně), Ing. Jindřich Šabata (místopředseda), Ing. Milan Badal, Prof. Ing. Jaroslav Boháček, DrSc., Mgr. Václava Holušová, Doc. Ing. Jiří Horský, CSc., Jitka Hrušková, Ing. František Jelínek, CSc., Ing. Jiří Kazda, Ing. Petr Pánek, CSc., RNDr. Klára Popadičová, Ing. Pavel Rubáš, Zdeňka Slaná, doc. RNDr. Jirí Tesař, Ph.D., Ing. Josef Vojtíšek.

Prizvání: PhDr. Bořivoj Kleník – šéfredaktor.

Časopis vychází 4 x ročně. Cena výtisku 80,- Kč, roční předplatné 320,- Kč + poštovné a balné + 10 % DPH. Vydavatel: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) ve spolupráci s Českým metrologickým institutem, Českou metrologickou společností a Českým kalibračním sdružením. Sídlo vydavatele: ÚNMZ, Biskupský dvůr 1148/5, 110 00 Praha 1. IČO: 48135267. Povolení tisku: registrace MK ČR 6111, MIČ 46 676, ISSN 1210-3543.

Místo vydávání: Praha. Datum vydání: srpen 2018. Nakladatelský servis, předplatné a inzerce: PhDr. Bořivoj Kleník, Bezdědice 19, 294 25 Katusice, tel./fax: +420 326 394 888, mobil: 603 846 527, e-mail: klenik@q-art.cz. Nevyžádané materiály se nevracejí. Za původnost a správnost příspěvků odpovídají autoři.

Foto na obálce: Klíčové porovnání absolutních gravimetrů (CCM.G-K2.2017) pořádaného v roce 2017 v Changping kampusu Národního institutu metrologie Číny.

Photo on the front page: CCM.G-K2.2017 key comparison of absolute gravimeters held in the Changping Campus of National Institute of Metrology, China in 2017.

