



Český institut pro akreditaci, o.p.s.

Olšanská 54/3, 130 00 Praha 3

Strana: 1/25

Zpracoval:

Ing. Martin Valenta

Datum zpracování:

01.11.2023

Plán standardizace – Program rozvoje metrologie 2023

Číslo úkolu: VII/05/23

Zpráva pro závěrečnou oponenturu

Sjednocování výpočtu nejistot a principy kalibrace na POA akreditovaných kalibračních laboratořích v oboru hmotnost

Zadavatel: Česká republika – Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, organizační složka státu

Řešitel: Ing. Martin Valenta, ČIA

Spoluřešitel: Lukáš Běhal, ČMI

Vypracoval: Ing. Martin Valenta, ČIA

Schválil: Ing. Pavel Nosek, ČIA

Datum: 01.11.2023

Rozdělovník: 1 × ÚNMZ
1 × ČIA, útvar 600
2 × oponenti

Výtisk č.: ...



1 RESUMÉ

Řešení zadaného úkolu programu rozvoje metrologie navazuje na úkoly obdobného zaměření, řešené v předchozích letech. Cílem je sjednocování názvů principů kalibrace a postupu stanovování nejistot při kalibracích v oboru hmotnost. Přestože je obor kalibrace hmotnosti velmi rozsáhlý, v kalibračních laboratořích jednoznačně převažuje kalibrace vah s neautomatickou činností a kalibrace závaží. Hlavním přínosem výsledků úkolu je přehledné shrnutí příspěvků k CMC a jejich dopad na výsledný rozpočet nejistoty kalibrace a správné přiřazení jejího principu, aby čtenář přílohy osvědčení o akreditaci (POA) získal základní, ale přitom úplnou informaci pro rozhodování, zda je daná kalibrační laboratoř vhodná pro naplnění jeho požadavků. Termín „princip kalibrace“ není zcela přesný a je třeba ho chápat obecněji i jako metodu nebo i postup, použitý text má čtenáři poskytnout dostatečnou informaci, podle níž se bude schopen kvalifikovaně rozhodnout.

Text úkolu vychází z dosud vydaných příloh OA vydaných ČIA i zahraničních.

Úkoly z programu rozvoje metrologie se v posledních letech věnovaly v různých kombinacích nejistotám a principům kalibrace v oborech teplota, objem, tlak, délka, úhel a elektrické veličiny. V oboru hmotnost otázky principů a nejistot doplňuje ještě obtížná uživatelská možnost stanovení rozsahů a především skutečnost, že vážení nulové hmotnosti je velmi obtížné. Text úkolu se věnuje jednotlivým možnostem i v souvislostech s aktuálním stavem dosud vydaných příloh.



2 OBSAH

1	RESUMÉ.....	2
2	OBSAH	3
3	ÚVOD.....	4
4	PŘEHLED DŘÍVE ŘEŠENÝCH ÚKOLŮ PRM.....	5
5	POŽADAVKY NA POA.....	6
6	ZADÁNÍ PRO ÚKOL PROGRAMU ROZVOJE METROLOGIE.....	7
7	UVÁDĚNÍ PRINCIPŮ KALIBRACE V POA – V CMC TABULKÁCH PRO OBOR HMOTNOST – AKTUÁLNÍ STAV	8
8	PRAVIDLA PRO UVÁDĚNÍ PRINCIPU KALIBRACE VE VZTAHU K PŘEDMĚTU KALIBRACE	15
9	VÝPOČET NEJISTOTY V OBORU HMOTNOST A JEJÍ UVÁDĚNÍ V POA.....	17
10	SHRNUTÍ.....	23
11	ZÁVĚR.....	24
12	Přílohy.....	25



3 ÚVOD

Předkládaný výsledek rozšiřuje výsledky úkolů předchozích úkolů na obor hmotnost. Počet běžně používaných principů kalibrace hmotnosti není velký, největší rozdíly nalezneme pochopitelně především v kritické oblasti (vzhledem k váživosti) malých zatížení do 50 g nebo při použití náhradního zatížení a obtížné je i stanovení nejistoty při nulovém zatížení. Momentálně používaná forma výpočtu nejnižší udávané rozšířené nejistoty měření v POA není úplně vhodná, a to především u nulového zatížení a zatíženích menších. Běžně se vychází pouze z nejistoty použitého etalonového závaží, která ovšem u zatížení do 50 g není lineární. Používaný vztah relativní hodnotou není aplikovatelný pro stanovení nejistoty při nulovém zatížení. Dalším faktorem nepřesnosti stávajícího systému stanovení CMC je skutečnost, že není brán v úvahu vliv kalibrovaného měřidla. Hodnota odečitelnosti neboli skutečného dílku je hlavní složkou výpočtu nejistoty. Její vliv na výslednou nejistotu je zásadní. V současnosti si laboratoř často stanoví takové hodnoty CMC nejistot, které při běžné kalibraci nemůže dosáhnout. U výpočtu nejistoty kalibrace závaží není při momentálním způsobu stanovení žádný větší problém u definovaných jmenovitých hodnot, ale dochází k nesouladu při stanovení nejistoty u kalibrace těles, speciálních závaží s individuálními jmenovitými hodnotami.

Výsledek tohoto úkolů využívá, stejně jako úkol VII/05/22 (principy délka a úhel) řešený v loňském roce, výsledky a informace, plynoucí z úkolů č. VII/05/20 (principy elektro), VII/05/21 (principy tlak), navíc bere v úvahu i výsledky úkolů č. VII/05/17 (CMC teplota), VII/04/18 (CMC objem), VII/05/18 (CMC tlak) a VII/05/19 (CMC délka).

Ucelená informace o nejnižší udávané rozšířené nejistotě měření má být základem pro správné uvádění informací na POA tak, aby bylo dosaženo maximální jednotnosti obsažených informací při respektování a zachování jejich různorodosti.



4 PŘEHLED DŘÍVE ŘEŠENÝCH ÚKOLŮ PRM

ČIA se dlouhodobě zapojuje do řešení úkolů PRM, aby odborné veřejnosti poskytla sjednocující pohled na různé otázky, které se objevují v kalibrační praxi.

Nejstarší úkoly PRM byly řešeny v letech 2009 až 2012. Věnovány byly sjednocování kalibračních postupů v AKL v oborech tlak, teplota, elektrické a geometrické veličiny. V dalších letech, 2013 až 2016, byly úkoly zaměřeny na optimalizaci MPZ, „in-house“ referenční materiály a správnou praxi při používání referenčních materiálů. Tyto úkoly se staly základem pro další činnost ČIA na tomto poli.

V navazujícím období se ČIA věnoval sjednocování informací uváděných v POA z hlediska správného stanovování hodnot nejistot v tabulce CMC:

- PRM VII/05/17 pro obor teplota,
- PRM VII/04/18 pro obor statický objem,
- PRM VII/05/18 pro obor tlak,
- PRM VII/05/19 pro obor délka.

Výstupem byl přehled nejdůležitějších faktorů ovlivňujících hodnotu CMC (nejnižších udávaných nejistot měření), které nelze při výpočtu zanedbat, aniž by bylo dostatečně prokázáno, že v daném případě opravdu nemají podstatný vliv. Smyslem těchto úkolů bylo dát akreditovaným kalibračním laboratořím podklady, na jejichž základě mohou ověřit svůj přístup k hodnocení vlivů na kalibraci a její nejistoty a následný výpočet nejistot i CMC nejistot. Přínosem je zvýšení důvěry v hodnoty udávané laboratořemi, že nebyl opominut žádný z podstatných příspěvků k nejistotě a hodnota nejnižší udávané nejistoty ve spojení s ostatními informacemi dobře popisuje schopnosti laboratoře.

Řešení předkládaného úkolu navazuje především na úkoly řešené v letech 2020 až 2022.

V roce 2020 byly položeny základy pro úkoly následující. Úkol VII/05/20 s názvem „Principy kalibrace v oboru základních elektrických veličin“ se kromě oborově specifických informací věnoval obecným vztahům mezi přístrojem kalibrujícím (etalonem) a přístrojem kalibrovaným a na jejich základě definoval obecné principy. Úkol VII/05/21 „Principy kalibrace v oboru tlak“ byl prvním, který z těchto základů vycházel, následující i tento jeho výsledky využívají.



5 POŽADAVKY NA POA

Požadavky na informace zveřejňované o akreditovaném subjektu se nezměnily, jsou obsahem kapitoly 7 harmonizované normy ČSN EN ISO/IEC 17011:2018, konkrétně v čl. 7.8.3 c), a stejné požadavky lze nalézt i v článku 4, resp. 4.1 dokumentu ILAC-P14:09/2020 „Politika ILAC pro nejistoty při kalibraci“. Zde uvedené informace jsou jen stručným shrnutím a autoři laskavě čtenáře odkazují na zmíněné dokumenty nebo zprávy z předchozích úkolů.

Dalším zdrojem informací pro přípravu návrhu POA je dokument „11_01-P507_K Návod na zpracování přílohy č 3“. Ten v úvodu stručně vysvětluje, k čemu má příloha osvědčení o akreditaci sloužit a jak ji správně sestavit. V první části dokumentu jsou vysvětleny zásady, na nichž je formát POA vystavěn, a uvedena nejdůležitější pravidla, jak návrh POA napsat a zformátovat. Část druhá popisuje obecná pravidla formátování textů POA, zatímco třetí probírá jednotlivé prvky přílohy právě z hlediska obsahového. Následující čtvrtá část popisuje postup při navrhování změn do již existující POA. Doplnění k průběžně zmiňovanému užití některých speciálních znaků, přehled takových znaků, je obsahem krátké poslední 5. části.

Příklady vhodných textů, uváděných ve sloupci princip kalibrace, nejsou jedinými možnými, vždy záleží na konkrétní situaci laboratoře a kalibrace, cílem žádného z úkolů PRM není omezovat činnost kalibračních laboratoří. V mnoha případech ale sjednocení popisu obvyklých postupů, metod nebo principů kalibrace, kdy stejná nebo velmi obdobná činnost byla popsána velmi odlišně, významně usnadní porovnávání laboratoří při zkoumání jejich vhodnosti pro zamýšlenou kalibraci.

Uvedení jednoho principu, kterým laboratoř dosahuje nejnižších hodnot CMC nejistot, nebere laboratoři možnost kalibrace i jinými principy, metodami či postupy, které na POA uvedeny výslovně nejsou, protože jimi dosahovaná nejistota je horší. Podmínkou jejich využití je, že byly řádně posouzeny a jsou obsaženy v postupu, který je uveden v dalším sloupci POA. Případně by takový princip, metodu či postup laboratoř měla zařadit i do dokumentu, kterým definuje celkový rozsah svých činností v souladu s požadavky ČSN EN ISO/IEC 17025:2018, čl. 5.3 (viz také výše).

Pro úplnost dodejme, že na webových stránkách ČIA (sekce Dokumenty ke stažení – Dokumenty pro kalibrační laboratoře) je kromě návodu k vyplnění Přílohy 3 žádosti i šablona této přílohy, která se po vyplnění a předání ČIA stává základem pro přílohu následně vystaveného osvědčení o akreditaci. Vlastní šablona má formátování nastavené v souladu s pravidly uvedenými v návodu. Správné vyplnění této šablony podle návodu dává laboratoři vysokou míru pravděpodobnosti, že návrh POA bude připraven bez zbytečných nedostatků.

Pro případ změn v POA má každá akreditovaná laboratoř nově na úložišti Share k dispozici platnou POA ve formátu MS Word, v níž ve změnovém režimu provede požadované změny, ČIA tak má k dispozici požadavek přímo ve správné verzi i na správném formuláři, přitom není nutné znovu vyplňovat celou Přílohu 3 žádosti.



6 ZADÁNÍ PRO ÚKOL PROGRAMU ROZVOJE METROLOGIE

Hlavním cílem úkolu pro obor hmotnost bylo zpracovat přehled obvyklých kalibračních metod, a především kriticky zhodnotit důležitost jednotlivých příspěvků nejistot se zásadním vlivem na stanovení CMC nejistot, které lze při kalibraci reálně dosáhnout, a také vytvořit sjednocující pohled na jejich využití a interpretaci. Důležité jsou i informace o krajních oblastech rozsahů.

Jako všechny předchozí úkoly se vychází především z definice kalibrace:

Činnost, která za specifikovaných podmínek v prvním kroku stanoví vztah mezi hodnotami veličiny s nejistotami měření poskytnutými etalony a odpovídajícími indikacemi s přidruženými nejistotami měření a ve druhém kroku použije tyto informace ke stanovení vztahu pro získání výsledku měření z indikace (VIM3, 2.39)

Tato definice by se v nové verzi VIM4 zřejmě neměla významně proměnit, zachována zůstane zřejmě i poznámka o tom, že často již první krok bývá považován za kalibraci, nicméně druhý krok je podle názoru autorů neopominutelný, byť jeho naplňování může mít různou formu.

První částí řešení je rešerše POA dosud vydaných pro obor hmotnost. Ta posloužila jako základ pro sestavení přehledu nejčastěji používaných textů principů kalibrace, obvyklých a extrémních rozsahů měření, udávání nejmenší váživosti a příslušné nejmenší udávané nejistoty.

Další část se věnuje vhodnosti uvedených kombinací a dostatečné vypovídací schopnosti údajů na POA. Zvláštní pozornost byla věnována správně popsanému vztahu a vazbě mezi etalonem a odečitelností indikace, předmětem kalibrace, rozsahem a nejmenší nejistotou. Z tohoto rozboru vyplynulo, jaké kombinace údajů jsou vhodné a které mají nedostatky. Součástí této části bylo zaměření na faktory, které ovlivňují nejistotu kalibrace a které při výpočtu CMC nelze bez řádného odůvodnění zanedbat.

Jedním z cílů úkolu je, aby se řešení stalo dobrým podkladovým dokumentem pro vedoucí a odborné posuzovatele, kteří na tomto základě budou schopni lépe posoudit návrhy POA, předkládané laboratořemi, a před vydáním nového osvědčení o akreditaci v nich identifikovat sporné pasáže, případně je i upravit do souladu s pravidly podle návodu. Návrh POA pak bude splňovat základní požadavek, poskytnout potřebnou informaci úplnou a správnou. Lze předpokládat, že výsledky úkolu poslouží nejen kalibračním laboratořím a odborným posuzovatelům, ale i odborné veřejnosti jako pomůcka při stanovování hodnot CMC nejistot (a posuzování způsobu jejich výpočtu).

7 UVÁDĚNÍ PRINCIPŮ KALIBRACE V POA – V CMC TABULKÁCH PRO OBOR HMOTNOST – AKTUÁLNÍ STAV

Ke splnění zadaného úkolu bylo nezbytné prozkoumat informace, které lze v současnosti v přílohách OA nalézt, bez ohledu na to, který akreditační orgán je vydal. Autoři zprávy prošli náhodně vybrané POA různých akreditačních orgánů včetně ČIA, kde byly do podkladů zařazeny všechny kalibrační laboratoře. Současný stav je hodnocen ve dvou částech první se věnuje zahraničním POA, druhá pak aktuálnímu stavu POA laboratoří v ČR.

7.1 Kalibrační laboratoře v zahraničí

V rámci úkolu byl proveden rozbor POA oboru hmotnost zahraničních akreditovaných subjektů vydávaných (národními) akreditačními orgány. V tabulce je uveden přehled nejčastěji používaných textů principů kalibrace, obvyklých a extrémních rozsahů měření, udávání nejmenší váživosti a příslušné nejmenší udávané nejistoty.

Tab. 1 – Přehled principů kalibrace uváděných v POA v zahraničí

Akreditační orgán	Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah	Nejistota
A2LA, USA	Váhy	Rozsah je udáván většinou od 0 g a nejmenší rozsah „do 500 mg“ (metricky) (Mettler Toledo), některé POA v lb (Avoirdupois), některé Avoirdupois jsou v závorce doplněny hodnotami metrickými)	Pevná hodnota a u vyšších rozsahů někdy i vzorec.
	Závaží	Velice nepřehledné, rozsah je stanoven rozpětím, je obtížnější rozeznat, zda jde o závaží (metrická i lb).	Obvykle pevná hodnota.
ACCREDIA Itálie	Váhy	Rozsah je definován rozpětím bez uvedení spodní hranice. Odkaz na EURAMET cg-18 ver.4.0.	Stanovena relativní hodnotou se závislostí na měřené hodnotě. Uvedené hodnoty jsou poměrně nízké, ale k udávané hodnotě je v POA uvedeno přičíst 0,29 d kalibrovaného přístroje. Např. v rozsahu do 1 kg je nejistota $1,7 \cdot 10^{-7}$.
	Závaží	Rozsah je definován jednotlivými hodnotami od 1 mg. Udáván i teplota, tlak a vlhkost pro kalibraci.	V relativní formě přiřazena k uvedeným hodnotám rozsahu s odkazem na OIML R111-1:2004.



Akreditační orgán	Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah	Nejistota
COFRAC Francie	Váhy	Rozsah je definován rozpětím od nuly do maximální hodnoty dle třídy přesnosti závaží s možností použití náhradního zatížení.	Stanovena relativní hodnotou se závislostí na měřené hodnotě. Uvedené hodnoty reflektují vliv kalibrovaného měřidla. Např. v rozsahu do 1 kg je nejistota $1,5 \cdot 10^{-6}$.
	Závaží	Rozsah je definován jednotlivými hodnotami od 1 mg. Udáván i rozsah komparátoru a počet komparací.	V absolutní formě pevnou hodnotou přiřazenou k uvedeným hodnotám rozsahu. Udávány jsou i limitní hodnoty hustoty závaží a vzduchu, ve kterých jsou udávány nejistoty platné. K závaží s individuální jmenovitou hodnotou ležící mezi definovanými hodnotami je přiřazena nejistota bezprostředně vyšší.
DAkKS Německo	Váhy	Rozsah je definován rozpětím od nuly do maximální hodnoty dle třídy přesnosti závaží. Odkaz na EURAMET cg-18 ver.4.0.	Stanovena relativní hodnotou se závislostí na měřené hodnotě. Uvedené hodnoty reflektují vliv kalibrovaného měřidla. Např. v rozsahu do 1 kg je nejistota $1 \cdot 10^{-6}$.
	Závaží	Rozsah je definován dvojnásobným způsobem, pevnými jmenovitými hodnotami závaží, pro volné hodnoty rozpětím od 1 mg ke každé definované jmenovité hodnotě, např. >50 g do 100 g.	V absolutní formě pevnou hodnotou přiřazena k uvedeným hodnotám rozsahu s odkazem na OIML R111-1:2004.
ENAC Španělsko	Váhy	Rozsah je definován rozpětím od nuly do maximální hodnoty zvláště pro zkoušky s etalony nebo pomocí náhradní zátěže. Odkaz na EURAMET cg-18 ver.4.0.	Stanovena absolutní i relativní hodnotou se závislostí na měřené hodnotě. Např. do 100 g pevná hodnota, pak relativní hodnota. Uvedené hodnoty reflektují vliv kalibrovaného měřidla. Např. v rozsahu do 1 kg je nejistota $1,3 \cdot 10^{-6}$.
	Závaží	Rozsah je definován různým způsobem, pevnými hodnotami i rozpětím v závislosti na třídě závaží, jmenovité hodnotě velikosti, volné nebo pevné dle OIML.	V absolutní i relativní formě s odkazem na OIML R111-1:2004.
UKAS Velká Británie	Váhy	Rozsah je definován rozpětím od 1 mg do maximální hodnoty dle třídy přesnosti závaží. Odkaz na EURAMET cg-18 ver.4.0.	Stanovena absolutní i relativní hodnotou se závislostí na měřené hodnotě. Např. do 100 g pevná hodnota, pak relativní hodnota. Uvedené hodnoty reflektují vliv kalibrovaného měřidla. Např. v rozsahu do 1 kg je nejistota $1,1 \cdot 10^{-6}$.



Akreditační orgán	Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah	Nejistota
	Závaží	Rozsah je definován jednotlivými hodnotami od 1 mg.	V absolutní formě s pevnými hodnotami s odkazem na substituční metodu Borda.

7.2 Kalibrační laboratoře v ČR

V současné době je v České republice držitelem osvědčení o akreditaci ke kalibračním měřidel v oboru hmotnost 13 kalibračních laboratoří, z toho 6 laboratoří kalibruje váhy i závaží. Ve většině případů se jedná o váhy s neautomatickou činností.

Byl proveden rozbor POA u veškerých akreditovaných laboratoří. Z rozboru vyplývá určitá nejednotnost v udávání textů, rozsahů a nejistot. U vah je rozsah definován rozpětím někdy od nuly, někdy od 1 mg v závislosti na třídě použitého závaží. Nejistota je většinou definována v relativní formě se závislostí na měřené hodnotě. Uvedené hodnoty většinou nereflktují vliv kalibrovaného měřidla. Např. v rozsahu do 1 kg je nejistota $5 \cdot 10^{-7}$.

U závaží je rozsah definován někdy rozpětím, u jiné laboratoře naopak pevnými hodnotami. Nejistota je definována absolutní formou pevnými hodnotami.

Aktuálně platné POA pro kalibraci hmotnosti

CMC pro obor měřené veličiny: Hmotnost

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah		Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ²	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ²	Pracoviště
		min	jedn. max jedn.					
1	Hmotnost závaží	1 mg	až 20 mg 50 mg 100 mg 200 mg 500 mg 1 g 2 g 5 g 10 g 20 g 50 g 100 g 200 g 500 g 1 kg 2 kg 5 kg 10 kg 20 kg 50 kg 100 kg 200 kg 500 kg 1 000 kg		0,001 0 mg 0,001 3 mg 0,001 6 mg 0,002 0 mg 0,002 6 mg 0,003 mg 0,004 mg 0,005 mg 0,006 mg 0,008 mg 0,010 mg 0,016 mg 0,030 mg 0,080 mg 0,15 mg 0,30 mg 0,80 mg 1,5 mg 3,3 mg 8 mg 50 mg 100 mg 250 mg 500 mg	Zatížení etalonovým závažím	612-MP-C131	1 až 11

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah		Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ²	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ²	Pracoviště
		min	jedn. max jedn.					
2*	Váhy s neautomatickou a automatickou činností	0 g	až 20 kg 20 kg až 50 kg 50 kg až 600 kg 600 kg až 200 000 kg	závaží E ₂ F ₁ F ₂ M	$5 \cdot 10^{-7}$ $1,6 \cdot 10^{-6}$ $5 \cdot 10^{-6}$ $1,6 \cdot 10^{-5}$	Zatížení etalonovým závažím	612-MP-C132	1-11

¹ V případě, že laboratoř je schopna provádět kalibrace i mimo své stálé prostory, jsou tyto kalibrace u pořadového čísla označeny hvězdičkou

CMC pro obor měřené veličiny: Hmotnost

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah		Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ^{2,4}	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ³	Pracoviště
		min. jedn.	max. jedn.					
1*	Váhy s neautomatickou činností, elektronické	1 mg	až 19 kg		$U_{CMC} = \sum_{i=1}^n U_i$ <p>Podle závaží posbířených při kalibraci může U_{CMC} nabývat těchto hodnot</p> <ul style="list-style-type: none"> U_1 (1 mg) = $2,7 \cdot 10^{-3}$ mg U_2 (2 mg) = $2,7 \cdot 10^{-3}$ mg U_3 (5 mg) = $2,7 \cdot 10^{-3}$ mg U_4 (10 mg) = $3,6 \cdot 10^{-3}$ mg U_5 (20 mg) = $4,5 \cdot 10^{-3}$ mg U_6 (50 mg) = $5,3 \cdot 10^{-3}$ mg U_7 (100 mg) = $7,1 \cdot 10^{-3}$ mg U_8 (200 mg) = $8,9 \cdot 10^{-3}$ mg U_9 (500 mg) = $1,2 \cdot 10^{-2}$ mg U_{10} (1 g) = $1,4 \cdot 10^{-2}$ mg U_{11} (2 g) = $1,8 \cdot 10^{-2}$ mg U_{12} (5 g) = $2,3 \cdot 10^{-2}$ mg U_{13} (10 g) = $2,7 \cdot 10^{-2}$ mg U_{14} (20 g) = $3,6 \cdot 10^{-2}$ mg U_{15} (50 g) = $4,5 \cdot 10^{-2}$ mg U_{16} (100 g) = $7,1 \cdot 10^{-2}$ mg U_{17} (200 g) = $1,4 \cdot 10^{-1}$ mg U_{18} (500 g) = $3,6 \cdot 10^{-1}$ mg U_{19} (1 kg) = $7,1 \cdot 10^{-1}$ mg U_{20} (2 kg) = $1,3 \cdot 10^0$ mg U_{21} (5 kg) = $3,5 \cdot 10^0$ mg U_{22} (10 kg) = $7,1 \cdot 10^0$ mg 	Zatěžování etalonem třídy E2	J 62.06.W01	1
2	Závaží a jiná tělesa	1 mg	až 5 mg 10 mg 20 mg		$4,6 \cdot 10^{-3}$ mg $4,9 \cdot 10^{-3}$ mg $5,3 \cdot 10^{-3}$ mg	Porovnání s etalonovým závažím	J 62.03.W02	1

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah		Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ^{2,4}	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ³	Pracoviště	
		min. jedn.	max. jedn.						
					$5,8 \cdot 10^{-3}$ mg $6,8 \cdot 10^{-3}$ mg $8,0 \cdot 10^{-3}$ mg $1,0 \cdot 10^{-2}$ mg $1,1 \cdot 10^{-2}$ mg $1,4 \cdot 10^{-2}$ mg $1,8 \cdot 10^{-2}$ mg $2,1 \cdot 10^{-2}$ mg $2,7 \cdot 10^{-2}$ mg $3,4 \cdot 10^{-2}$ mg $5,5 \cdot 10^{-2}$ mg $1,1 \cdot 10^{-1}$ mg $8,2 \cdot 10^0$ mg $8,2 \cdot 10^0$ mg $8,3 \cdot 10^0$ mg $8,6 \cdot 10^0$ mg $8,2 \cdot 10^1$ mg				

¹ U odstavců 18 a 19 stanoví se kalibrační metodou BIPM (BIPM 2011) nejistota měření jako kalibrační nejistota kalibračního postupu

CMC pro obor měřené veličiny: Hmotnost

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah		Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ²	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ³	Pracoviště
		min. jedn.	max. jedn.					
1*	Váhy s neautomatickou činností elektronické a mechanické	0 kg	až 0,22 kg	závaží třídy F1	1,4 mg	Přímé zatěžování etalonovým závažím	KBP 14.1, KBP 14.2	
		0,22 kg	až 1,6 kg	závaží třídy F1	5,8 mg			
		1,6 kg	až 5 kg	závaží třídy F1	42 mg			
		5 kg	až 10 kg	závaží třídy F1	81 mg			
		10 kg	až 16 kg	závaží třídy F2	0,13 g			
		16 kg	až 20 kg	závaží třídy F2	1,2 g			
		20 kg	až 50 kg	závaží třídy M1	3,2 g			
		50 kg	až 100 kg	závaží třídy M1	6,3 g			



Český institut pro akreditaci, o.p.s.

Olšanská 54/3, 130 00 Praha 3

Strana: 12/25

Zpracoval:

Ing. Martin Valenta

Datum zpracování:

01.11.2023

CMC pro obor měřené veličiny: Hmotnost

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah				Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ²	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ³	Pracoviště
		min	jedn.	max.	jedn.					
1*	Váhy s neautomatickou činností mechanické, digitální	0 kg	až	2 kg			1,6·10 ⁻⁶	Zatížení etalonovým závažím	KPA-2.01	1
		2 kg	až	3 kg			5·10 ⁻⁶	třídy E2		
		3 kg	až	45 kg			1,6·10 ⁻⁵	třídy F1		
		45 kg	až	6000 kg			5·10 ⁻⁵	třídy F2		
		6000 kg	až	30000 kg			1,6·10 ⁻⁴	třídy M1		
								třídy M1 s náhradní zátěží		
2	Závaží a jiná tělesa	1 g	až	500 g			8,2 mg	Porovnání s etalonovým závažím	KPA-2.01	1, 2
		0,5 kg	až	1 kg			8,6 mg			
		1 kg	až	2 kg			10 mg			
		2 kg	až	5 kg			16 mg			
		5 kg	až	20 kg			59 mg			

¹ V případě že laboratoř je schopna provádět kalibrace i mimo své stálé prostory, jsou tyto kalibrace u pořadového čísla označeny hvězdičkou

CMC pro obor měřené veličiny: Hmotnost

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah				Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ²	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ³	Pracoviště
		min	jedn.	max.	jedn.					
1*	Váha elektronická a mechanická s neautomatickou činností	0,001 g	až	2000 g			2,7·10 ⁻⁶	Porovnávací měření s etalonovým závažím	KP VA1	1
		2 kg	až	20 kg			1,4·10 ⁻⁵	Závaží třídy E2		
		20 kg	až	1000 kg			5,0·10 ⁻⁵	Závaží třídy F2		
								Závaží třídy M1		
2	Závaží a jiná tělesa			1 g			0,4 mg	Porovnání s etalonovým závažím třídy F2	KP VA2	1
				2 g			0,5 mg			
				5 g			0,6 mg			
				10 g			0,7 mg			
				20 g			0,9 mg			
				50 g			1,2 mg			
				100 g			1,9 mg			
				200 g			2,8 mg			
				500 g			5,1mg			
				1 kg			10 mg			
				2 kg			17 mg			
				5 kg			31 mg			
				10 kg			60 mg			
				20 kg			90 mg			

CMC pro obor měřené veličiny: Hmotnost

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah				Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ²	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ³	Pracoviště
		min	jedn.	max.	jedn.					
1*	Váhy elektronické a mechanické s neautomatickou činností	1 mg	až	20 kg			5·10 ⁻⁶	Porovnávací měření s etalonovými závažími	PP-11.75	
		20 kg	až	100 kg			5·10 ⁻⁵			

¹ V případě že laboratoř je schopna provádět kalibrace i mimo své stálé prostory, jsou tyto kalibrace u pořadového čísla označeny hvězdičkou



CMC pro obor měřené veličiny: Hmotnost

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah				Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ²	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ³	Pracoviště
		min	jedn.	max	jedn.					
1*	Váhy s neautomatickou činností ⁴	0 kg	až	5 kg		5 · 10 ⁻⁷	Zatížení etalonovým závažím třídy E2	KP-PB-71	1	
		5 kg	až	55 kg		1,6 · 10 ⁻⁶	třídy F1			
		55 kg	až	150 kg		5 · 10 ⁻⁶	třídy F2			
		150 kg	až	1000 kg		1,7 · 10 ⁻⁵	třídy M1			
2	Závaží			1 mg		0,026 mg	Porovnání etalonovým závažím	KP-PB-75	1	
				2 mg		0,026 mg				
				5 mg		0,022 mg				
				10 mg		0,022 mg				
				20 mg		0,019 mg				
				50 mg		0,017 mg				
				100 mg		0,020 mg				
				200 mg		0,022 mg				
				500 mg		0,028 mg				
				1 g		0,028 mg				
				2 g		0,034 mg				
				5 g		0,041 mg				
				10 g		0,055 mg				
				20 g		0,058 mg				
				50 g		0,063 mg				
				100 g		0,15 mg				
				200 g		0,23 mg				
				500 g		6,4 mg				
				1 kg		7,9 mg				
				2 kg		9,1 mg				
				5 kg		18 mg				

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah				Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ²	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ³	Pracoviště
		min	jedn.	max	jedn.					
				10 kg		69 mg				
				20 kg		79 mg				

CMC pro obor měřené veličiny: Hmotnost

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah				Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ²	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ³	Pracoviště
		min	jedn.	max	jedn.					
1*	Váhy s neautomatickou činností ⁴	0,001 g	až	6 410 g		9,2 · 10 ⁻⁷	Zatížení etalonovým závažím třídy E2	KP-01		
		6 410 g	až	36,22 kg		2,9 · 10 ⁻⁶	třídy F1			
		36,22 kg	až	75,5 kg		9,2 · 10 ⁻⁶	třídy F2			
		75,5 kg	až	4500 kg		2,9 · 10 ⁻⁵	třídy M1			
		0,5 t	až	1,5 t		0,7 kg	Zatížení etalonovým závažím a náhradní zátěží			
		1,5 t	až	3 t		1,3 kg				
		3 t	až	6 t		2,5 kg				

¹ V případě, že laboratoř je schopna provádět kalibrace i mimo své stálé prostory, jsou tyto kalibrace u pořadového čísla označeny hvězdičkou.

CMC pro obor měřené veličiny: Hmotnost

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah				Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ²	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ³	Pracoviště
		min	jedn.	max	jedn.					
1*	Váhy s neautomatickou činností	0 kg	až	1 kg	třídy E2	9,2 · 10 ⁻⁷	Zatížení etalonovým závažím	KP-01		
		1 kg	až	7 kg	třídy F1	2,9 · 10 ⁻⁶				
		7 kg	až	58 kg	třídy F2	9,2 · 10 ⁻⁶				
		58 kg	až	47000 kg	třídy M1	2,9 · 10 ⁻⁵				
		0,5 t	až	1,5 t		0,65 kg	Zatížení etalonovým závažím a náhradní zátěží			
		1,5 t	až	3 t		1,3 kg				
		3 t	až	15 t		6,5 kg				
		15 t	až	30 t		13 kg				
		30 t	až	60 t		25 kg				

¹ V případě, že laboratoř je schopna provádět kalibrace i mimo své stálé prostory, jsou tyto kalibrace u pořadového čísla označeny hvězdičkou.



Český institut pro akreditaci, o.p.s.

Olšanská 54/3, 130 00 Praha 3

Strana: 14/25
Zpracoval: Ing. Martin Valenta
Datum zpracování: 01.11.2023

CMC pro obor měřené veličiny: Hmotnost

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah		Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ^{2,4}	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ³	Pracoviště
		min	jedn. max					
1*	Váhy s neautomatickou činností	0 kg	až	0,008603 kg	závaží E1	2,9 · 10 ⁻⁷	Zatížení etalonovým závažím	KP 01 (EURAMET cg-18)
		0,008603 kg	až	97,057 kg	E2	9,0 · 10 ⁻⁷		
		97,057 kg	až	310 kg	F1	2,9 · 10 ⁻⁶		

¹ V případě že laboratoř je schválena provádět kalibrace i mimo své stálé prostory, jsou tyto kalibrace u pořadového čísla označeny hvězdičkou

CMC pro obor měřené veličiny: Hmotnost

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah		Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ²	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ³	Pracoviště
		min	jedn. max					
1*	Váhy s neautomatickou činností	1 mg	až	66 kg	Závažím E2	9,3 · 10 ⁻⁷	Zatížení etalonovým závažím	KP-01
		66 kg	až	270 kg	Závažím F2	9,3 · 10 ⁻⁶		
		270 kg	až	11 000 kg	Závažím M1	2,9 · 10 ⁻⁵	Zatížení etalonovým závažím M1 a náhradní zátěží	
		1 t	až	5 t		1,4 kg		
		5 t	až	10 t		2,9 kg		
		10 t	až	20 t		7,2 kg		
		20 t	až	30 t		17 kg		
2	Závaží třídy F1, F2, M1, M2, M3 (dle OIML R111), závaží etalonová, závaží speciální a jiná tělesa neměnné hmotnosti	1 mg	až	50 mg		0,008 mg	Porovnání s etalonovým závažím	KP-06
		50 mg	až	1 g		0,016 mg		
		1 g	až	5 g		0,025 mg		
		5 g	až	50 g		0,06 mg		
		50 g	až	200 g		0,2 mg		
		200 g	až	2 kg		2 mg		
		2 kg	až	10 kg		12 mg		
		10 kg	až	20 kg		25 mg		
		20 kg	až	50 kg		50 mg		
		50 kg	až	60 kg		100 mg		

¹ V případě že laboratoř je schválena provádět kalibrace i mimo své stálé prostory, jsou tyto kalibrace u pořadového čísla označeny hvězdičkou

CMC pro obor měřené veličiny: Hmotnost

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah		Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ²	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ³	Pracoviště
		min	jedn. max					
1*	Elektronické váhy s neautomatickou činností	1 g	až	9,61 kg		Zatížení etalonovým závažím třídy E2 dle OIML R111	KP 2.1.3	
		9,61 kg	až	75,72 kg		Zatížení etalonovým závažím třídy F2 dle OIML R111		
		75,72 kg	až	3536,72 kg		Zatížení etalonovým závažím třídy M1 dle OIML R111		
		3536,72 kg	až	6000 kg	d = 0,5 kg	Zatížení etalonovým závažím třídy M1 za použití náhradní zátěže		

¹ V případě že laboratoř je schválena provádět kalibrace i mimo své stálé prostory, jsou tyto kalibrace u pořadového čísla označeny hvězdičkou

CMC pro obor měřené veličiny: Hmotnost

Poř. číslo ¹	Kalibrovaná veličina / Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah		Parametr(y) měř. veličiny	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření ²	Princip kalibrace	Identifikace kalibračního postupu ³	Pracoviště
		min	jedn. max					
1*	Váhy s neautomatickou činností s automatickou indikací (maximální počet dílků do 1 200 000; hodnota d větší než 1mg)	0 kg	až	6 kg		Zatížení etalonovým závažím třídy E2	KP1	
		6 kg	až	30 kg		třídy F1		
		30 kg	až	70 kg		třídy F2		
		70 kg	až	10000 kg		třídy M1		

¹ V případě že laboratoř je schválena provádět kalibrace i mimo své stálé prostory, jsou tyto kalibrace u pořadového čísla označeny hvězdičkou



8 PRAVIDLA PRO UVÁDĚNÍ PRINCIPU KALIBRACE VE VZTAHU K PŘEDMĚTU KALIBRACE

8.1 Závaží

Základním dokumentem pro kalibraci závaží je OIML R111-1:2004. Pokud laboratoř provádí kalibraci závaží porovnávací metodou s etalony dle OIML, je nutné odkaz na toto doporučení uvádět v POA.

Předmět kalibrace by měl reflektovat způsob provedení kalibrace a v případě, že laboratoř pracuje s hodnotami konvenční hmotnosti, je vhodné do POA uvádět „Konvenční hmotnost závaží a těles“.

Rozsah může být definován i rozpětím nebo pevnými hodnotami od 1 mg. V případě, že laboratoř provádí kalibraci těles a speciálních závaží s volnou jmenovitou hodnotou a použije rozsah s pevnými hodnotami, je nutné uvést poznámku, že „*k závaží s individuální jmenovitou hodnotou ležící mezi definovanými hodnotami je přiřazena nejistota bezprostředně vyšší*“.

Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření by měla být v POA stanovena v absolutních hodnotách a měla by vycházet ze standardní nejistoty etalonového závaží a standardní nejistoty plynoucí z rozlišovací schopnosti etalonové váhy nebo komparátoru.

Princip kalibrace v POA by měl popisovat způsob provedení, např. „*porovnání s etalonovým závažím (dle OIML R111-1:2004) na etalonových vahách a komparátorech*“.

8.2 Váhy

Základním dokumentem pro kalibraci vah s neautomatickou činností je EURAMET cg-18, verze 4.0. Laboratoře většinou mívají vlastní postupy a není nutné se na tento dokument v POA odkazovat, nicméně jeho použití je vhodné proto, že jím je zajištěna validace použité metody.

Předmět kalibrace by měl respektovat hlavní rozdělení vah – „Váhy s neautomatickou činností“, zkráceně NAWI, nebo „Váhy s automatickou činností“, zkráceně AWI. Tento úkol se v souladu s naprostou převahou kalibračních laboratoří, věnujících se NAWI, dále věnuje oblasti NAWI a pro účely řešení úkolu opomíjí velmi různorodou a specifickou oblast AWI.

Rozsah může být definován od nuly, v případě že jej laboratoř uvádí na kalibračních listech stejně, tedy od nuly. Z důvodu poměrně rozsáhlé dynamiky různých zatížení plynoucí z rozmanitosti metrologických parametrů vah, je správné definovat rozsah rozpětím. Jednotlivá rozpětí by měla reflektovat třídu přesnosti použitého etalonového závaží a případně použití substitučního zatížení. Dalším faktorem by měla být i běžná velikost maximální váživosti vah a hodnoty jejího rozlišení.

Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření by měla být v POA stanovena v absolutních hodnotách tam, kde hodnota rozlišení vah (v úvahu brány nejpřesnější váhy na trhu, tedy mikrováhy) nemá vliv vzhledem ke standardní nejistotě etalonového závaží (se jmenovitou hodnotou většinou do 50 g). Ve všech ostatních případech je vhodné nejistotu definovat relativně. Nejistota má vycházet ze standardní nejistoty etalonového závaží a standardní nejistoty, plynoucí z rozlišovací schopnosti kalibrovaných vah. Obecně lze vycházet z nejlepšího rozlišení vah, které laboratoř běžně kalibruje a které kalibrovat může v závislosti



Český institut pro akreditaci, o.p.s.

Olšanská 54/3, 130 00 Praha 3

Strana: 16/25

Zpracoval:

Ing. Martin Valenta

Datum zpracování:

01.11.2023

na tom, jakými třídami etalonového závaží disponuje (vhodnost závaží ke kalibraci v závislosti na přesnosti kalibrovaných vah).

Princip kalibrace v POA má popisovat způsob provedení, např. „*zatížení etalonovým závažím (dle OIML R111-1:2004)*“ a „*s použitím substitučního zatížení*“.



9 VÝPOČET NEJISTOTY V OBORU HMOTNOST A JEJÍ UVÁDĚNÍ V POA

Měřicí schopnost kalibrace musí reflektovat běžnou činnost laboratoře a mělo by se jednat o nejmenší nejistotu měření, kterou může kalibrační laboratoř v rámci specifikovaných podmínek při dané kalibraci dosáhnout. Předpokládá se, že předmět kalibrace se chová ideálně. Nejistoty, tedy jejich hodnoty pro CMC, se vyjadřují při hodnotě koeficientu rozšíření $k = 2$.

9.1 Závaží

Pro určení nejnížší udávané rozšířené nejistoty měření při kalibraci závaží se bere v úvahu příspěvek nejistoty z etalonových závaží použitých pro kalibraci a příspěvek nejistoty plynoucí z rozlišovací schopnosti komparátoru nebo vah ke komparaci použitých. Důvodem je samozřejmě skutečnost, že jde o hlavní vlivy na rozšířenou nejistotu, které nelze v žádném případě zanedbat.

Další dílčí nejistoty (např. nejistota procesu vážení, nestability referenčního závaží, korekce na vztlak vzduchu) je možné v obecné formě zahrnout do výpočtu, ale ve většině případů to není nutné.

Příklad výpočtu:

Nejistota pro vyjádření CMC je za těchto podmínek dána vztahem:

$$u^2 = u^2(m_c) + u^2_d$$

kde

$u(m_c)$ standardní nejistota etalonových závaží

Platí, že při normálním rozdělení hustoty pravděpodobnosti $u(m_c) = U/k$, kde U je rozšířená nejistota konvenční hmotnosti vycházející z kalibračního listu nebo lze vycházet z obecného pravidla a za U dosadit 1/3 δ_m z tabulky č. 1 dokumentu OIML R111-1:2004.

u_d ... standardní nejistota plynoucí z rozlišovací schopnosti váhy

$$u_d = d/(2 \cdot \sqrt{3})$$

d = hodnota dílku přenosového zařízení (etalonová váha, komparátor)

Měřicí schopnosti kalibrace (pro $k = 2$) se vyjádří jako:

$$CMC = U = 2 \cdot u$$



Příklad uvedení v POA:

Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření (pro $k = 2$)	Princip kalibrace
Konvenční hmotnost závaží a těles	1 mg až 5 mg	0,005 mg	Porovnání s etalonovým závažím (dle OIML R111-1:2004) na etalonových vahách
	10 mg	0,006 mg	

Pozn. U závaží s individuální jmenovitou hodnotou ležící mezi definovanými hodnotami je přiřazena nejistota bezprostředně vyšší.

9.2 Váhy

Pro určení nejnižší udávané rozšířené nejistoty měření při kalibraci vah se bere v úvahu příspěvek nejistoty z etalonových závaží použitých pro kalibraci a příspěvek nejistoty plynoucí z rozlišovací schopnosti kalibrovaných vah. Důvodem je opět skutečnost, že jde o hlavní vlivy na rozšířenou nejistotu, které nelze v žádném případě zanedbat.

Obecně lze vycházet z nejlepšího rozlišení vah, které laboratoř běžně kalibruje. Je také nutné brát v úvahu vhodnost závaží ke kalibraci v závislosti na přesnosti kalibrovaných vah.

9.2.1 Vhodnost třídy přesnosti závaží ke kalibraci vah

Pravidla pro použití etalonů pro ověřování a kalibraci vah jsou dána jak dokumenty EN 45 501 a OIML R111, tak dokumentem EURAMET cg 18.

Obecně platí pravidlo, že maximální dovolené chyby nebo nejistoty závaží použitého ke kalibraci musí odpovídat nejmenší hodnotě dílku váhy nebo požadované hodnotě nejistoty kalibrace. V naprosté většině případů není informace o požadované hodnotě výsledné nejistoty kalibrace dopředu známa, proto kalibrační laboratoř použije etalonová závaží podle tabulky uvedené v kalibračním postupu. Nedojde tak k degradaci přesnosti vlastní kalibrace v důsledku neopodstatněného použití zkušební zátěže s relativně vysokou hodnotou nejistoty.

Uvažovat pouze dovolenou chybu ale není akceptovatelné, v potaz je nutné brát především technické a metrologické vlastnosti použitých závaží (např. povolené meze magnetismu).

V případě, že laboratoř nevlastní sadu závaží odpovídající třídu přesnosti, je možné použít závaží o jednu třídu nižší, než udává tabulka pro určitý rozsah počtu dílků váhy. Musí ovšem být splněn předpoklad, že je zohledněna jeho skutečná chyba uvedená v kalibračním listě.

9.2.2 Výpočet nejistoty při nulovém zatížení

Nejistota by měla být stanovena vždy absolutní hodnotou a měla by vycházet z rozlišovací schopnosti kalibrovaných vah – dílku vah.

Lze vycházet z nejlepšího rozlišení vah, které laboratoř běžně kalibruje.

Příklad výpočtu:

$$u(\Delta I_{\text{dig}0}) = d_0 / (2 \cdot \sqrt{3})$$

kde:

d_0 ... hodnota dílku váhy při nulovém zatížení



Měřicí schopnosti kalibrace (pro $k = 2$) se vyjádří jako:

$$CMC = U = 2 \cdot u$$

9.2.3 Výpočet nejistoty při zatížení

Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření by měla být stanovena v absolutních hodnotách tam, kde hodnota rozlišení vah (bráno v úvahu rozlišení nejpřesnějších vah na trhu, tedy mikrováhy) nemá vliv na standardní nejistotu etalonového závaží, které má většinou hmotnost do 50 g.

Ve všech ostatních případech je vhodné nejistotu definovat relativní hodnotou. Nejistota má vycházet ze standardní nejistoty etalonového závaží a standardní nejistoty plynoucí z rozlišovací schopnosti kalibrovaných vah. Opět lze vycházet z nejlepšího rozlišení vah, které laboratoř běžně kalibruje a které kalibrovat může v závislosti na tom, jakými třídami etalonového závaží disponuje (vhodnost závaží ke kalibraci v závislosti na přesnosti kalibrovaných vah).

Příklad výpočtu:

Nejistota pro vyjádření CMC je pak dána vztahem:

$$u^2 = (\sum u^2(m_c) + u_{d0}^2 + u_{d1}^2)$$

kde

$u(m_c)$ standardní nejistota etalonových závaží

Platí, že $u(m_c) = U/k$, kde U je rozšířená nejistota konvenční hmotnosti vycházející z kalibračního listu nebo lze vycházet z obecného pravidla a za U dosadit 1/3 δ_m z tabulky č. 1 OIML R111-1:2004.

u_d ... standardní nejistota plynoucí z rozlišovací schopnosti váhy

$$u_d = d/(2 \cdot \sqrt{3})$$

d_0 ... hodnota dílku váhy při nulovém zatížení

d_1 ... hodnota dílku váhy při zatížení

Měřicí schopnost kalibrace (pro $k = 2$) se vyjádří jako:

$$CMC = U = 2 \cdot u$$

9.2.4 Výpočet nejistoty při zatížení s použitím substitučního zatížení

Pravidla jsou stejná jako která jsou uvedena v bodě 9.2.3.

Pro zatěžování vah při kalibraci se přednostně používají etalonová závaží. Tam kde to není v praxi možné, lze použít substituční zátěž, přičemž kalibrovaná váha pak slouží jako komparátor pro justáž substituční zátěže pro určení přibližně stejné indikace korespondující se zatížením produkovaným etalonovým závažím.



Z toho vyplývá vztah:

$$u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{C1}) + 2[u^2(I_1) + u^2(I_2) + \dots + u^2(I_{n-1})]$$

kde:

n počet zatížení

$u(m_{C1})$ standardní nejistota etalonového závaží

$u(I)$ standardní nejistota indikace

Standardní nejistota indikace se skládá ze dvou složek:

$$u^2(I_1) = (u^2 d_0 + u^2 d_l)$$

kde:

d_0 ... hodnota dílku váhy při nulovém zatížení

d_l ... hodnota dílku váhy při zatížení

Příklad výpočtu pro jedno nahrazení (použití substitučního zatížení):

Nejistota pro vyjádření CMC je pak dána vztahem:

$$u^2 = \sum u^2(m_c) + 2(u^2 d_0 + u^2 d_l)$$

kde

$u(m_c)$ standardní nejistota etalonových závaží

Platí že $u(m_c) = U/k$, kde U je rozšířená nejistota konvenční hmotnosti vycházející z kalibračního listu nebo lze vycházet z obecného pravidla a za U dosadit 1/3 σ_m z tabulky č. 1 OIML R111-1:2004.

u_d ... standardní nejistota plynoucí z rozlišovací schopnosti váhy

$$u_d = d/(2 \cdot \sqrt{3})$$

d_0 ... hodnota dílku váhy při nulovém zatížení

d_l ... hodnota dílku váhy při zatížení

Měřicí schopnosti kalibrace (pro $k = 2$) se vyjádří jako:

$$CMC = U = 2 \cdot u$$



Český institut pro akreditaci, o.p.s.

Olšanská 54/3, 130 00 Praha 3

Strana: 21/25

Zpracoval:

Ing. Martin Valenta

Datum zpracování:

01.11.2023

9.2.5 Příklad uvedení do POA

V rámci úkolu byl proveden výpočet nejlepších možných měřících schopností a vytvořena níže uvedená tabulka.

Pro výpočty byly uvažovány hodnoty dílků nejpřesnějších vah na trhu a mezní hodnoty dílků vah, kdy je možné použití příslušného závaží dané třídy. Pro třídu F1 ($n = 500\ 000$), pro třídu F2 ($n = 100\ 000$) a pro M1 ($n = 30\ 000$).

Jedná se o nejnižší hodnoty, které laboratoře mohou v ideálním případě dosáhnout. (Viz *další stranu.*)



Kalibrovaná veličina/Předmět kalibrace	Jmenovitý rozsah	Nejnižší udávaná rozšířená nejistota měření	Princip kalibrace	
Váhy s neautomatickou činností	0	0,06 μg	Zatížení etalonovým závažím (dle OIML R111-1:2004)	
	1 mg - 20 mg	0,0010 mg		
	>20 mg - 50 mg	0,0013 mg		
	>50 mg - 100 mg	0,0017 mg		
	>100 mg - 200 mg	0,0020 mg		
	>200 mg - 500 mg	0,0027 mg		
	>500 mg - 1 g	0,0033 mg		
	>1 g - 2 g	0,0040 mg		
	>2 g - 5 g	0,0053 mg		
	>5 g - 10 g	0,0067 mg		
	>10 g - 20 g	0,0083 mg		
	>20 g - 50 g	0,0100 mg		
	>50 g - 30 kg	$1,7 \cdot 10^{-7}$		třídy E1
	1 mg - 20 mg	0,0033 mg		třídy E2
	>20 mg - 50 mg	0,0040 mg		
	>50 mg - 100 mg	0,0053 mg		
	>100 mg - 200 mg	0,0067 mg		
	>200 mg - 500 mg	0,0083 mg		
	>500 mg - 1 g	0,0100 mg		
	>1 g - 2 g	0,0133 mg		
	>2 g - 5 g	0,0167 mg		
	>5 g - 10 g	0,0200 mg		
	>10 g - 20 g	0,0267 mg		
	>20 g - 50 g	0,0333 mg		
	>50 g - 50 kg	$5 \cdot 10^{-7}$		
	1 mg - 50 g	0,100 mg	třídy F1	
	>50 g - 20 kg	$4 \cdot 10^{-6}$		
>20 kg - 1 000 kg	$2 \cdot 10^{-6}$			
1 mg - 50 g	0,80 mg	třídy F2		
>50 g - 5 000 kg	$1 \cdot 10^{-5}$			
>200 kg - 5 000 kg	$1,2 \cdot 10^{-5}$		s použitím substitučního zatížení	
1 mg - 200 g	8,0 mg	třídy M		
>200 g - 150 000 kg	$3,2 \cdot 10^{-5}$			
>200 kg - 150 000 kg	$4 \cdot 10^{-5}$		s použitím substitučního zatížení	



10 SHRnutí

Úkol, jehož výsledek je obsahem této zprávy, navazuje na úkoly PRM z let 2017 až 2022, které se věnovaly sjednocování nejistot i principům kalibrace. Principy (metody, postupy) kalibrací se vedle hodnot nejmenších dosažitelných nejistot staly v posledních letech nezbytnou součástí veřejné informace o kalibračních laboratořích a jejich CMC. Informace uvedené v POA zákazníci využívají jako jedno z prvních kritérií při hodnocení vhodnosti laboratoře pro zákazníkův účel a potřebu. Tyto informace v rámci jednoho oboru ale nejsou vždy jednotně podané, stejně jako v oborech řešených v předchozích letech nebývá především informace o principu (metodě, postupu) kalibrace jednotná. To nezanedbatelně snižuje očekávanou přidanou hodnotu jednotlivých POA. Sjednocení pohledu na podstatné a méně podstatné příspěvky k nejistotě měření také přispěje ke zvýšení porovnatelnosti informací obsažených v tabulkách CMC, přílohách osvědčení o akreditaci.

Výstupem z řešení zadaného úkolu je na prvním místě tato zpráva, která je základním souhrnem informací, důležitých pro akreditované kalibrační laboratoře i odborné posuzovatele ČIA v oboru hmotnost. Z řešení vyplývá, jaké příspěvky nejistot nelze zanedbat a jak vhodně konstruovat názvy principů kalibrace. Zadání řešeného úkolu bylo naplněno zpracováním informací z platných příloh osvědčení o akreditaci jak českých, tak zahraničních a následně jejich rozбором. Tyto informace se staly základem pro navržené řešení, jak uvádět princip kalibrace a jak spočítat nejistoty při kalibraci a hlavně nejnížší udávané nejistoty, na jaké parametry je nutné brát zřetel a které lze za určitých okolností zanedbat. Dále jsou určeny i dosažitelné mezní hodnoty nejistot, protože jejich podkročení je prakticky nemožné a kalibrační laboratoř s takovými nejistotami CMC by měla své teoretické výpočty nejistot nejen odborně dostatečně obhájit, ale i reálně podložit úspěšnou účastí ve vhodném a přiměřeně náročném programu zkoušení způsobilosti.

Kromě zde předkládaného výsledku řešení úkolu Programu rozvoje metrologie na rok 2023, zpracované do formy závěrečné zprávy, bude veřejnosti předložen výsledek řešení i ve formě článku pro časopis Metrologie a již tradičně bude připraven veřejný seminář, kam bude zvána široká odborná veřejnost. Hlavní cíle akce budou ale pochopitelně směřovány především na pracovníky AKL a odborné posuzovatele ČIA.



11 ZÁVĚR

Kompaktní a přehledná zpráva o výsledku řešení úkolu, doplněná článkem v odborném periodiku Metrologie a připravovaný seminář jsou všechny výstupy z tohoto úkolu, u nichž se předpokládá, že v odborné veřejnosti budou mít odpovídající dosah. Celá práce má sloužit jako pomůcka pro kalibrační laboratoře nejen při vyplňování návrhu POA, ale i pro vedoucí a odborné posuzovatele při posuzování, aby bylo dosaženo přehlednosti, jednotnosti a porovnatelnosti informací v přílohách osvědčení různých kalibračních laboratoří.

Autoři předpokládají, že zpracované informace o nejistotách a postupech (principech) kalibrace pomohou sjednotit informace kalibračních laboratoří v oboru hmotnost. Kromě prezentace výsledků úkolu široké odborné veřejnosti formou semináře a článkem pro časopis Metrologie, poslouží předkládané řešení úkolu jako základ školení odborných posuzovatelů ČIA. Ti se tak podrobně seznámí s výsledky řešení tohoto úkolu, aby je pak uplatňovali ve své posuzovatelské praxi a rozdíl v informacích o kalibračních laboratořích byly minimalizovány v co možná nejkratší době. Článek v časopisu Metrologie má za cíl stručně seznámit nejširší odbornou veřejnost s výsledkem řešení úkolu a podpořit její zájem o seznámení se s plným rozsahem této zprávy.

Jako podklad pro tuto práci byly využity i výsledky předchozích úkolů PRM, tímto úkolem se opět rozšířil počet oborů, kde lze významně sjednotit obsah i formu veřejně dostupných informací, které jsou často tím prvním kritériem pro zákazníky a odbornou veřejnost, podle kterého se rozhodnou s laboratoří vejít v kontakt. A informace uveřejněné na webových stránkách ČIA tomu mají v maximální možné míře napomáhat.



Český institut pro akreditaci, o.p.s.

Olšanská 54/3, 130 00 Praha 3

Strana: 25/25

Zpracoval:

Ing. Martin Valenta

Datum zpracování:

01.11.2023

12 Přílohy

1. Plánovací list úkolu programu rozvoje metrologie PRM VII/05/23
2. Příklad přílohy 3 žádosti o akreditaci