	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------



ČESKÉ KALIBRAČNÍ SDRUŽENÍ
Slovinská 47, 612 00 Brno

Návrh pravidel pro určení rozsahu měření a hodnot CMC v případě použití náhradní zátěže při kalibracích vah s neautomatickou činností

VYPRACOVÁNÍ POSTUPU BYLO FINANCOVÁNO V RÁMCI PLÁNU STANDARDIZACE
PROGRAM ROZVOJE METROLOGIE 2013

Číslo úkolu: VII/7/13


Název úkolu: Návrh pravidel pro určení rozsahu měření a hodnot CMC v případě použití náhradní zátěže při kalibraci vah s neautomatickou činností

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

Řešitel: České kalibrační sdružení

Neprodejné – Postup je k dispozici k volnému využití, nesmí však být využit ke komerčním účelům. Zveřejnění na stránkách ČKS bylo schváleno odborem metrologie ÚNMZ.

Leden 2014

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Resumé

V ČR není dosud realizován přístup, kdy by byl rozsah a hodnoty CMC při kalibracích vah s neautomatickou činností určeny na základě použití substituční zátěže, tedy v případech, kdy je kromě etalonového závaží použit pouze určitý podíl náhradní zátěže. Existují indicie, že v některých státech sdružených v EA jsou tyto postupy využívající náhradní zátěž akreditovány (viz Příloha č. 8 Příloha osvědčení o akreditaci Laboratoire de metrologie Artemis vydaná akreditačním orgánem COFRAC, Francie).

Cílem úkolu je stanovit závislosti podílu náhradní zátěže na velikost celkové nejistoty a navrhnout pravidla pro stanovení rozsahu měření a hodnot CMC při akreditovaných kalibracích vah s neautomatickou činností v případě využití náhradní zátěže. Tyto cíle jsou podpořeny a ověřeny praktickým měřením.

1. Úvod do problematiky

Použití náhradní zátěže společně s určitým podílem etalonové zátěže je běžnou metodou, která se používá u ověřování vah s neautomatickou činností s maximální váživostí větší než 1000kg. Tato možnost je dána čl. 3.7.3 harmonizované normy EN 45501 pro váhy s neautomatickou činností. Obdobou tohoto čl. je rovněž čl. 3.7.3 OIML R 76-1 pro váhy s neautomatickou činností (rok vydání 2006), který pro použití náhradní zátěže uvádí víceméně shodná pravidla.


Dovolený podíl náhradní zátěže respektive nutný podíl etalonových závaží v závislosti na Max váhy je v tomto případě limitován přesností vah při jejich zkoušce opakovatelnosti. Jinými slovy obecně lze použít 50% podíl etalonových závaží a tento podíl lze dále snížit v závislosti na hodnotě opakovatelnosti váhy vyjádřené pomocí ověřovacího dílku e .

Výňatek z harmonizované normy EN 45501

„3.7.3 Nahrazení etalonových závaží

Když jsou zkoušeny váhy s $Max > 1$ t, smí být kromě etalonových závaží užito jakéhokoli jiného konstantního zatížení, pod podmínkou, že jsou použita etalonová závaží alespoň 1 t nebo 50 % Max , nebo větší. Místo 50 % Max smí být podíl etalonových závaží snížen na:

- 35 % Max , jestliže chyba OPAKOVATELNOSTI není větší než 0,3e;
- 20 % Max , jestliže chyba OPAKOVATELNOSTI není větší než 0,2e.

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Chyba OPAKOVATELNOSTI musí být stanovena zatížením přibližně 50 % *Max*, které je 3krát položeno na NOSIČ ZATÍŽENÍ.“

U kalibrací, tedy mimo sféru legální metrologie, je tato možnost podrobně řešena v EURAMET příručce č. 18 v čl. 4.3.3 a čl. 7.1.2.6.

2. Cíl úkolu

Hlavním cílem úkolu je navrhnout pravidla pro stanovení rozsahu měření a hodnot CMC při akreditovaných kalibracích vah s neautomatickou činností v případě využití náhradní zátěže. V některých zemích EA jsou již akreditovány postupy kalibrace vah s náhradní zátěží. Vypracování a validaci kalibračního postupu kalibrace vah s náhradní zátěží a jejich aplikací v AKL umožní kalibračním laboratorům v České republice rozšířit provádění kalibrací vah i pro váživosti, pro které nemají dostatečnou zátěž přímo v etalonových závažích, případně umožní poskytování akreditovaných kalibrací u vah, které svým konstrukčním provedením neumožňují provedení kalibrace v celém rozsahu etalonovým závažím (např. nádržové váhy apod.).

3. Postup řešení

Pro získání informací o využívání možnosti provádění kalibrací vah s pomocí náhradní zátěže byl odelán dne 7.8.2013 dopis s žádostí o poskytnutí informací z DKD na pana Petera Ulbiga, Bylo odpovězeno, že v současné době se DKD problematikou použití náhradní zátěže zabývá, avšak bez udání konkrétních výsledků těchto jednání.

Pro stanovení pravidel pro vyjádření CMC hodnot a rozsahů měření byly provedeny dílčí práce pro získání údajů pro analýzu nejistot. Práce se soustředily do těchto následujících kroků:


3.1 Provedení teoretických výpočtů pro určení nejistoty při specifikovaném podílu náhradní zátěže

Předpokladem bylo použití metod výpočtu uvedených v EURAMET příručce č. 18 a tabulkového editoru Excel pro provedení výpočtů

3.2 Navržení programu praktických měření na základě teoretických rozborů nejistot

Na základě výsledků získaných z teoretické části byl navržen program praktických měření na vahách s maximální váživostí vyšších než 1t.

3.3 Provedení série měření – kalibrací vah vyšší váživosti za pomoci různého podílu náhradní zátěže

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Na vybraných vahách byly provedeny kalibrace s použitím etalonových závaží a náhradní zátěže a byly vypočteny reálné nejistoty měření.

3.4 Vyhodnocení měření a analýza nejistot

Byly zpracovány výsledky měření a provedena analýza nejistot.


3.5 Návrh způsobu určení hodnot CMC a rozsahu měření v závislosti na množství použité náhradní zátěže

Na základě informací a výsledků získaných z teoretické a praktické části byl navržen způsob určení hodnot CMC a rozsahu měření pro účely jejich prezentace v rámci akreditačních procesů.

3.1 Provedení teoretických výpočtů pro určení nejistoty při specifikovaném podílu náhradní zátěže

Symbols and notations used in the text and in formulas

Symbol	Definice	Jednotka
L_{st}	Zatížení tvořené etalonovým závažím	g, kg, t
L_{sub}	Náhradní (substituční) zatížení	g, kg, t
m_c	Konvenční hmotnost etalonových závaží	g, kg, t
ΔI	Rozdíl indikací	g, kg, t
$u(I_j)$	Standardní nejistota indikace	g, kg, t
$u(L_{Tn})$	Standardní nejistota zatížení	g, kg, t
$u(m_{ref})$	Standardní nejistota referenčního zatížení (závaží)	g, kg, t
I_L	indikace váhy při zatížení	g, kg, t
I_0	indikace váhy při nulovém zatížení	g, kg, t
I	výsledek vážení	g, kg, t
E_I	chyba indikace	g, kg, t
m_{ref}	referenční zatížení („pravá hodnota“), hodnota konvenční hmotnosti zkušebního zatížení	g, kg, t
n	počet skutečných dílků váhy; počet nahrazení závaží	bezrozměrné
d	hodnota skutečného dílku váhy	g, kg, t
Max	hodnota maximální váživosti váhy	g, kg, t
m_{pe}	maximální dovolená chyba	g, kg, t
m_n	nominální hodnota konvenční hmotnosti etalonového závaží	g, kg, t
m_c	konvenční hmotnost	g, kg, t
c_{class}	koeficient třídy (OIML R 111-1) přesnosti etalonových závaží	bezrozměrné
Δt	teplotní rozdíl	°C
Δm_c	změna konvenční hmotnosti	g, kg, t
Δm_{conv}	zdánlivá změna hmotnosti v důsledku konvekce	g, kg, t
L_T	hodnota zkušebního zatížení	g, kg, t

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

$s(x)$	směrodatná odchylka	g, kg, t
L_{exc}	hodnota zkušebního zatížení při zkoušce excentrickým zatížením	g, kg, t
ΔI_{exc}	rozdíl indikací mezi danou pozicí a pozicí ve středu nosiče zatížení	g, kg, t
u_{opak}	nejistota plynoucí z opakovatelnosti	g, kg, t
t_r	koeficient studentova rozdělení	
u_{exc}	nejistota z excentrického zatížení	g, kg, t
$u_{(exc)rel}$	relativní nejistota z excentrického zatížení	g, kg, t
e_{exc}	chyba při zkoušce excentrickém zatížení	g, kg, t
u_{do}	nejistota chyby ze zaokrouhlení při digitální indikaci při nulovém zatížení	g, kg, t
u_{dl}	nejistota chyby ze zaokrouhlení při digitální indikaci při zatížení	g, kg, t
d_0	hodnota dílku v nulovém bodě	g, kg, t
d_l	hodnota dílku v bodě zatížení	g, kg, t
ΔT	teplotní rozdíl	°C
u_T	nejistota vlivu teploty	g, kg, t
u_{Et}	nejistota vlivu etalonového závaží	g, kg, t
$u_c(Et)$	nejistota kalibrace etalonu	g, kg, t
$u_D(Et)$	nejistota dlouhodobé stability etalonu	g, kg, t
u_{vz}	nejistota vlivu změny hustoty vzduchu	g, kg, t
$u(v_u)$	nejistota váhy při používání	g, kg, t
u_{approx}	nejistota aproximace	g, kg, t
R	indikace váhy při používání	g, kg, t
k	koeficient rozšíření	bezrozměrné

Použití zkušební zátěže při kalibraci vah s neautomatickou činností

Konvenční hodnota hmotnosti zkušební zátěže by měla být při kalibracích vah s neautomatickou činností přednostně tvořena etalonovým závažím splňujícím následující požadavky:


Návaznost závaží, která mají být použita, jako etalony musí být zajištěna kalibrací, která obsahuje

1. určení skutečné hodnoty konvenční hmotnosti m_c a/nebo korekci δm_c jmenovité hodnoty m_N : $\delta m_c = m_c - m_N$ společně s rozšířenou nejistotou kalibrace U_{95} , nebo
2. potvrzení, že m_c se nachází v rámci specifikovaných maximálních dovolených chyb mpe :

$$m_N - (mpe - U_{95}) < m_c < m_N + (mpe - U_{95})$$

Etalony by měly dále vyhovovat následujícím požadavkům ve vhodném rozsahu z pohledu jejich přesnosti:

3. hustota ρ_S přiměřeně blízká $\rho_c = 8000 \text{ kg/m}^3$

	České kalibrační sdržení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

4. vhodná kvalita povrchu k zamezení změně hmotnosti vlivem kontaminací nečistotami nebo přilnutými vrstvami
5. takové magnetické vlastnosti, které minimalizují interakci s kalibrovanými vahami na minimum.

Za takováto závaží se považují závaží, která splňují relevantní specifikace Mezinárodního doporučení OIML R 11.

Maximální dovolené chyby nebo nejistoty kalibrace etalonových závaží musí být kompatibilní s dílkem stupnice d vah a /nebo s potřebami zákazníka vzhledem k nejistotě kalibrace jeho vah.

V případech kdy to například díky konstrukci váhy není možné lze použít jakékoliv jiné zatížení pro nahrazení etalonových závaží, pokud toto zatížení splňuje určité podmínky. Těmito podmínkami především jsou:

1. tvar, materiál, složení by měly umožňovat snadnou manipulaci,
2. tvar, materiál, složení by měly umožňovat snadný odhad těžiště,
3. jejich hmotnost musí zůstat konstantní po dobu používání pro kalibraci,
4. jejich hustota by měl a být snadno odhadnutelná,
5. zatížení o nízké hustotě (např. kontejnery naplněné pískem nebo šterkem), mohou vyžadovat zvláštní pozornosti z pohledu vztlaku vzduchu.

V případě (5) může nastat potřeba monitorovat teplotu a barometrický tlak po celou dobu použití tohoto zatížení pro kalibraci.

Při kalibraci vah s neautomatickou činností lze rovněž aplikovat náhradní zatížení i pro zkoušky, kde není znalost konvenční hodnoty hmotnosti zkušebního zatížení podstatná. V těchto případech lze namísto etalonových závaží použít jiná zatížení, s uvážením veškerých aspektů uvedených výše.


Stanovení hodnoty náhradního zatížení po krocích

Při využití náhradního zatížení jsou kalibrované váhy použity jako komparátor k najustování náhradní zátěže L_{sub} tak, že způsobí přibližně stejnou indikaci I jako odpovídající zatížení L_{st} tvořené etalonovým závažím.

První indikace získaná při použití zkušebním zatížením L_{T1} tvořené etalonovým závažím m_{c1} je určeno jako:

$$I(L_{\text{st}}) = I(m_{\text{c1}})$$

Po odstranění L_{st} je položena náhradní zátěž L_{sub1} a najustována tak, aby způsobila přibližně stejnou indikaci:

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

$$I(L_{\text{sub1}}) \approx I(m_{c1})$$

takže

$$L_{\text{sub1}} = m_{c1} + I(L_{\text{sub1}}) - I(m_{c1}) = m_{c1} + \Delta I_1$$

kde ΔI_1 je rozdíl indikací při zatížení náhradní zátěží a etalonovým závažím rovněž jako níže uvedené $\Delta I_2 \dots$)

Další zkušební zatížení L_{T2} je tvořeno přidáním m_{c1}

$$L_{T2} = L_{\text{sub1}} + m_{c1} = 2 m_{c1} + \Delta I_1$$

m_{c1} je znovu nahrazeno náhradním zatížením $\approx L_{\text{sub1}}$ s najustováním na $\approx I(L_{T2})$.

Tento postup lze opakovat pro vytvoření zkušebních zatížení L_{T3}, \dots, L_{Tn} :

$$L_{Tn} = nm_{c1} + \Delta I_1 + \Delta I_2 + \dots + \Delta I_{n-1}$$

Hodnota L_{Tn} je vzata jako hodnota konvenční hmotnosti m_c zkušebního zatížení.

Při tomto postupu je třeba mít na paměti, že hodnota celkové nejistoty se zvyšuje se snižujícím se podílem etalonových závaží respektive v závislosti na poměru $\mathbf{Max} / \mathbf{L} = \mathbf{n}$, kde \mathbf{Max} je maximální váživost váhy (nebo rozsah kalibrace, pokud se liší od \mathbf{Max}), \mathbf{n} vyjadřuje počet nahrazení etalonových závaží náhradním materiálem a \mathbf{L} je hodnota zatížení tvořená etalonovým závažím. Tyto závislosti jsou patrné z dalšího teoretického rozboru a dále pak z kapitol popisujících konkrétní experimentální měření prováděné v rámci Úkolu TR.

Použijeme-li při kalibraci váhy o určité maximální váživosti označené jako \mathbf{Max} určitou hodnotu etalonových závaží respektive etalonové zátěže označené jako L_{St} , přičemž $L_{St} < \mathbf{Max}$, lze velikost náhradní zátěže vyjádřit jako $L_{\text{sub}} = \mathbf{Max} - L_{St}$

Nárůst nejistoty zátěže se děje obecně v důsledku vlivu opakovatelnosti a rozlišení vah s každým krokem při nahrazení. Čili vzrůstá nejistota celkového zkušebního zatížení podstatně více, než kdyby bylo zatížení tvořeno pouze etalonovým závažím.


Tyto závislosti jsou patrné z dalšího teoretického rozboru a dále pak z kapitol popisujících konkrétní experimentální měření prováděné v rámci tohoto Úkolu TR.

Vyjádření standardní nejistoty zatížení při kombinaci etalonových závaží a náhradního zatížení

Tam kde je zatížení částečně tvořeno náhradním zatížením, je standardní nejistota sumy

$$L_{Tn} = nm_{c1} + \Delta I_1 + \Delta I_2 + \dots + \Delta I_{n-1}$$

dána následujícím vyjádřením:

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

$$u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{c1}) + 2[u^2(I_1) + u^2(I_2) + \dots + u^2(I_{n-1})]$$

kde $u(m_{c1}) = u(m_{ref})$ a

$u(I_j)$ je standardní nejistota indikace pro $I = I(L_{Tj})$

Zde si je třeba uvědomit, že standardní nejistoty indikace $u(I_j)$, musí být rovněž zahrnuty i pro indikace, při kterých byla náhradní zátěž nájstována tak, aby odpovídající ΔI byl nulový!

V závislosti na druhu náhradní zátěže, může být nezbytné přidat další příspěvky nejistoty:

Může být nutné například vzít v potaz vliv excentrického zatížení k některým nebo dokonce všem skutečným indikacím $I(L_{Tj})$;

V určitých případech je nutné vzít dále v potaz vliv vztlaku vzduchu náhradní zátěže, tam kde je tvořena z materiálu o nízké hustotě (např. písek, šterk) a tam kde se hustota vzduchu významně mění v čase, kdy se náhradní zátěž používá.

Celkovou standardní nejistotu zatížení tvořeného etalonovým závažím a náhradním zatížením lze v případě, kdy nejistota indikace $u(I_j)$ je v celém rozsahu konstantní, tj. v případě kdy se pro celý rozsah použije jedna hodnota opakovatelnosti a dílek váhy je v celém rozsahu vážení konstantní, zjednodušit na následující tvar:

$$u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{c1}) + 2[(n-1)u^2(I)]$$

Pozn.: S tímto tvarem budeme v dalších rozborech uvažovat pro vyjádření nejistoty zatížení.

Teoretický rozbor vlivu náhradní zátěže na celkovou nejistotu zatížení a celkovou nejistotu kalibrace


Z tabulky naměřených hodnot je patrné, že největší chyba indikace se rovná 5 kg.

Vliv kombinace etalonových závaží a náhradní zátěže na nejistoty lze demonstrovat na následujícím příkladu.

Tabulka níže sleduje závislost velikosti nejistot měření na použitém podílu náhradní zátěže při kalibraci

Základní vstupní parametry

Max = 5000 kg
d = 5 kg

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

podíl závaží	Max/L= n	Nejistota zátěže	Nejistota kalibrace	Nejistota vážení	Globální nejistota
100	n = 50	31,7	63,7	64	69
200	n = 25	21,9	44,25	44,68	49,68
300	n = 16,6	17,61	35,78	36,32	41,32
400	n = 12,5	15,06	30,76	31,38	36,38
500	n = 10	13,31	27,34	28,03	33,03
600	n = 8,33	12	24,8	25,57	30,57
700	n = 7,14	10,98	22,82	23,67	28,67
800	n = 6,25	10,14	21,22	22,12	27,12
900	n = 5,55	9,45	19,89	20,84	25,84
1000	n = 5	8,49	18,76	19,77	24,77
1500	n = 3,3	6,75	14,87	16,13	21,13
2000	n = 2,5	5,41	12,49	13,96	18,96
3000	n = 1,6	3,61	9,54	11,4	16,4
4000	n = 1,25	2,21	7,65	9,87	14,87
5000	n = 1	0,14	6,24	8,82	13,82

Vliv podílu závaží respektive náhradní zátěže na nejistoty (při Max = 5000 kg)

Pozn.: parametr „n“ představuje počet nahrazení závaží.

V tabulce lze sledovat závislost podílu náhradní zátěže na nejistotě zátěže, nejistotě vlastní kalibrace, nejistotě vážení respektive používání měřidla a tzv. globální nejistotě, která v sobě jednostranně zahrnuje největší naměřenou chybu měřidla při kalibraci.

Nejistota vážení byla vyjádřena podle vztahu:


$$u(W)^2 = u_{\text{opak}}^2 + u_{\text{d0}}^2 + u_{\text{dI}}^2 + u_{\text{EI}}^2 + [(u_{\text{adj}})_{\text{rel}}^2 + (u_{\text{exc}})_{\text{rel}}^2] \cdot R^2$$

respektive

$$u(W)^2 = \alpha^2 + \beta^2 R^2$$

kde α^2 představuje sumu čtverců absolutních standardních nejistot a β^2 relativních standardních nejistot uvedených ve vztahu výše.

R je odečet váhy

	České kalibrační sdrůžení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Nejistota zátěže je dána jako:

$$u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{c1}) + 2[(n-1)u^2(I)]$$

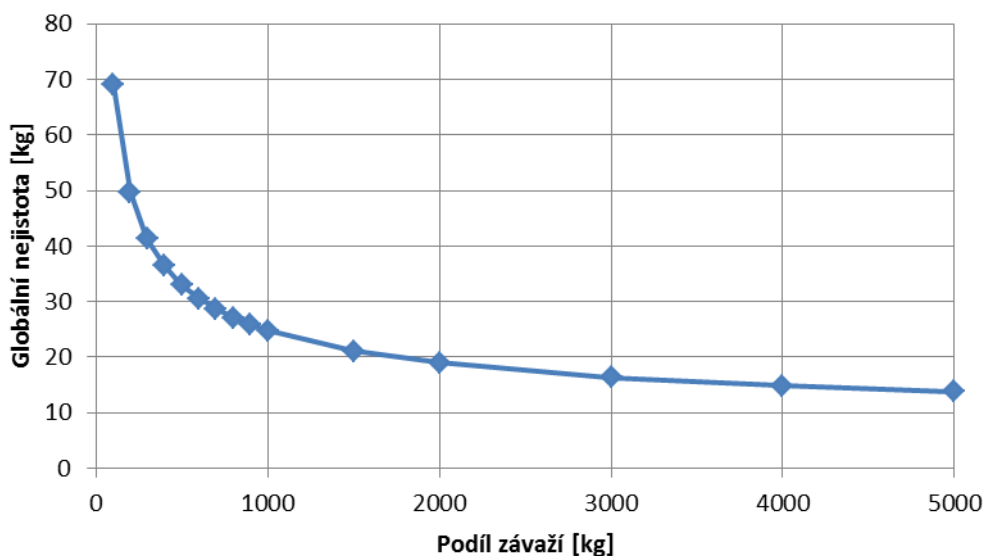
Globální nejistota je definovaná jako nejistota, která v sobě jednostranně zahrnuje největší naměřenou chybu měřidla při kalibraci.

$$U_{gl}(W) = ku(W) + |E^0|$$

kde:

$u(W)$ je nejistota vážení

Závislost na nejistotách lze pro názornost shrnout do přehledných grafů.




Závislost velikosti globální nejistoty při maximální hodnotě zatížení na podílu závaží (Max váhy = 5000 kg)

Z grafu je dobře patrné, že globální nejistoty významně roste, jestliže je podíl závaží menší než 1/5 maximální váživosti měřidla.

Pro generování následující tabulky byl zvolen následující vztah pro vyjádření nejistoty:

$$U(W) = U_{(0)} + \{[U_{(Max)} - U_{(0)}]/Max\} \cdot R$$

kde $U_{(0)}$ je rozšířená nejistota při nulovém zatížení a $U_{(Max)}$ je rozšířená nejistota při Max .

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

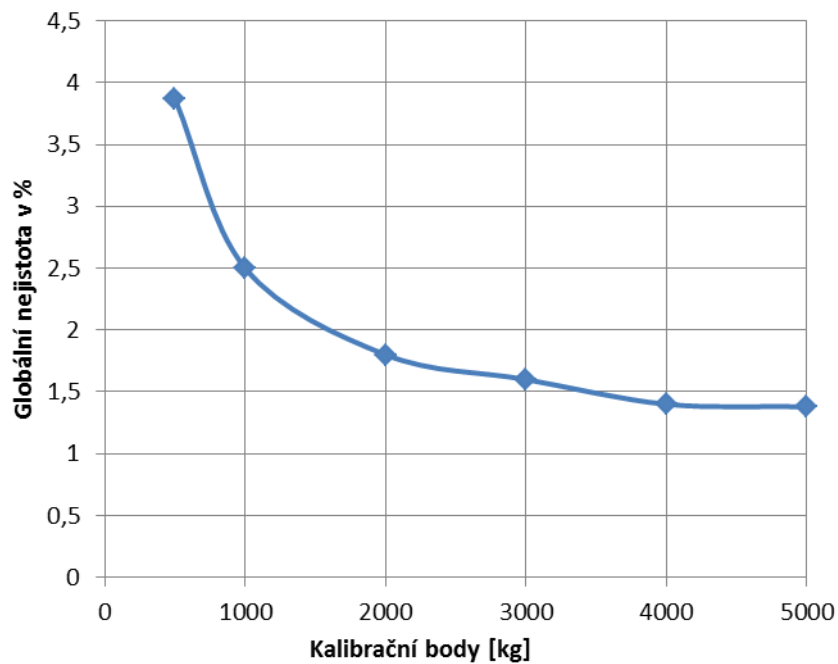
podíl závaží (kg)	Globální nejistota aprox.	Relativní globální nejistota [%] pro Max = 5000 kg
100	$8,82\text{kg} + 0,011 \times R$	1,38
200	$8,82\text{kg} + 0,0072 \times R$	1
300	$8,82\text{kg} + 0,0055 \times R$	0,8
400	$8,82\text{kg} + 0,00451 \times R$	0,7
500	$8,82\text{kg} + 0,00384 \times R$	0,66
600	$8,82\text{kg} + 0,0034 \times R$	0,6
700	$8,82\text{kg} + 0,00297 \times R$	0,57
800	$8,82\text{kg} + 0,0027 \times R$	0,54
900	$8,82\text{kg} + 0,0024 \times R$	0,51
1000	$8,82\text{kg} + 0,0022 \times R$	0,5
1500	$8,82\text{kg} + 0,00146 \times R$	0,4
2000	$8,82\text{kg} + 0,00103 \times R$	0,37
3000	$8,82\text{kg} + 0,00051 \times R$	0,32
4000	$8,82\text{kg} + 0,00021 \times R$	0,3
5000	$8,82\text{kg} + 8.10^{-7} \times R$	0,27

Pozn.: Ve druhém sloupci je globální nejistota vyjádřena jako lineární funkce

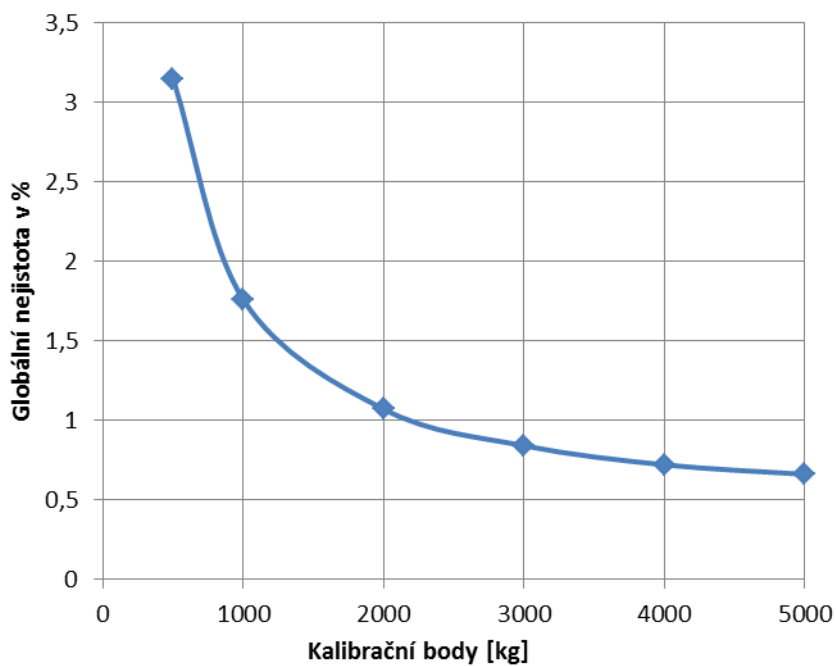
Vliv podílu závaží respektive náhradní zátěže na globální nejistotu vyjádřenou v % pro různé kalibrované body lze vyjádřit následující tabulkou:

podíl závaží/kalibrovaný bod	100kg	500kg	1000kg	1500kg	2000kg	3000kg	4000kg	5000kg
500	3,87	3,15	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	2,8
1000	2,5	1,76	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4
2000	1,8	1,07	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7
3000	1,6	0,84	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
4000	1,4	0,72	0,6	0,5	0,4	0,4	0,36	0,34
5000	1,38	0,66	0,5	0,4	0,37	0,32	0,3	0,27

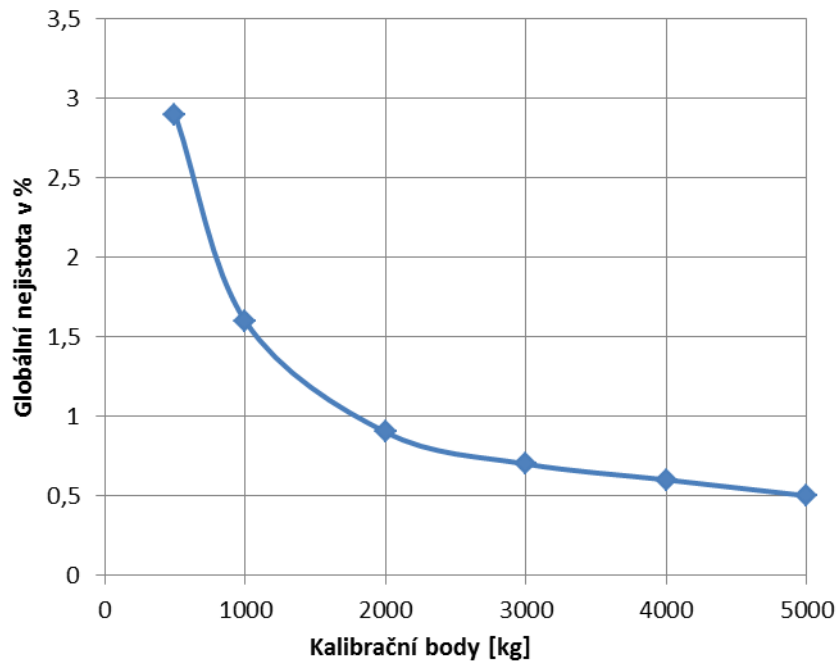
Graficky lze tyto závislosti popsat následovně:



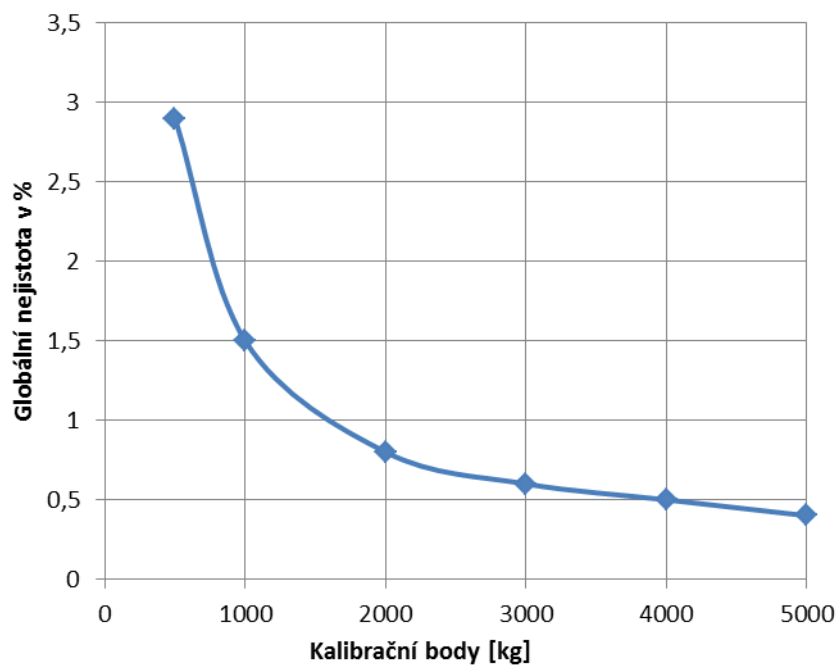
Globální nejistota v % při podílu závaží 100kg (Max váhy = 5000kg)



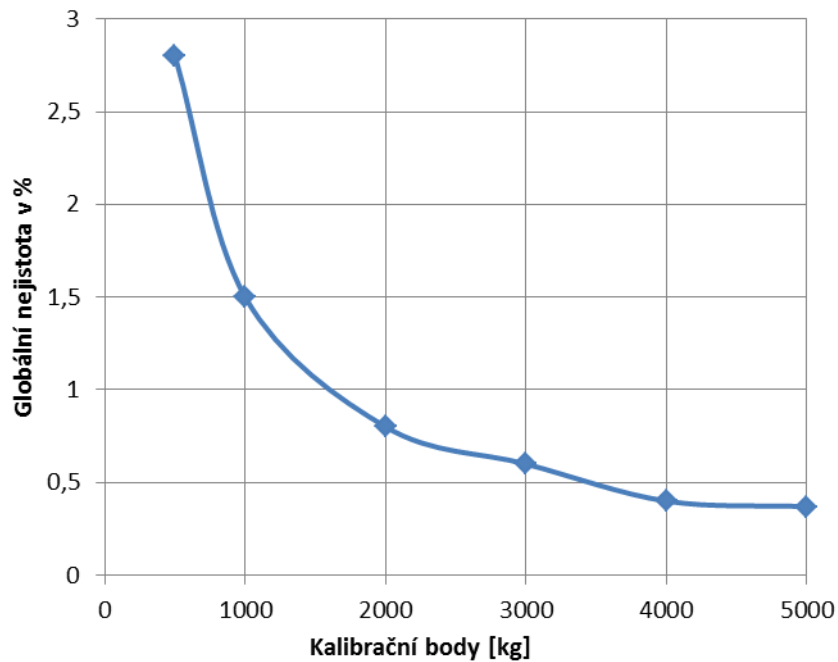
Globální nejistota v % při podílu závaží 500kg (Max váhy = 5000kg)



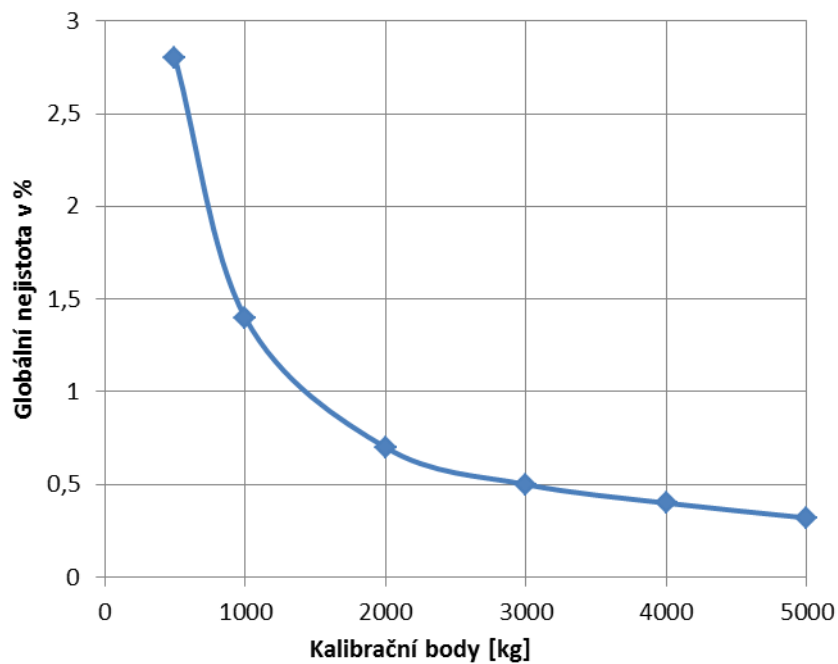
Globální nejistota v % při podílu závaží 1000kg (Max váhy = 5000kg)



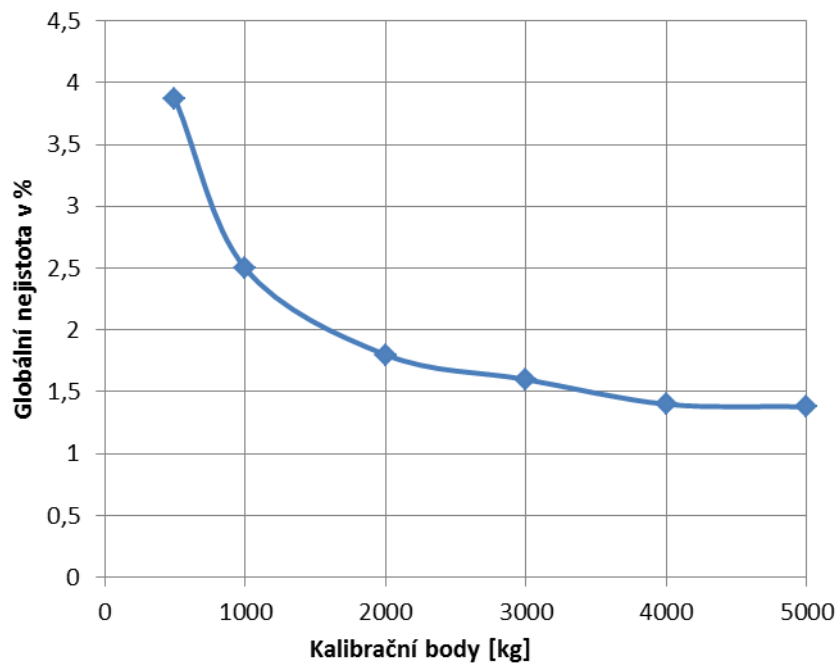
Globální nejistota v % při podílu závaží 1500kg (Max váhy = 5000kg)



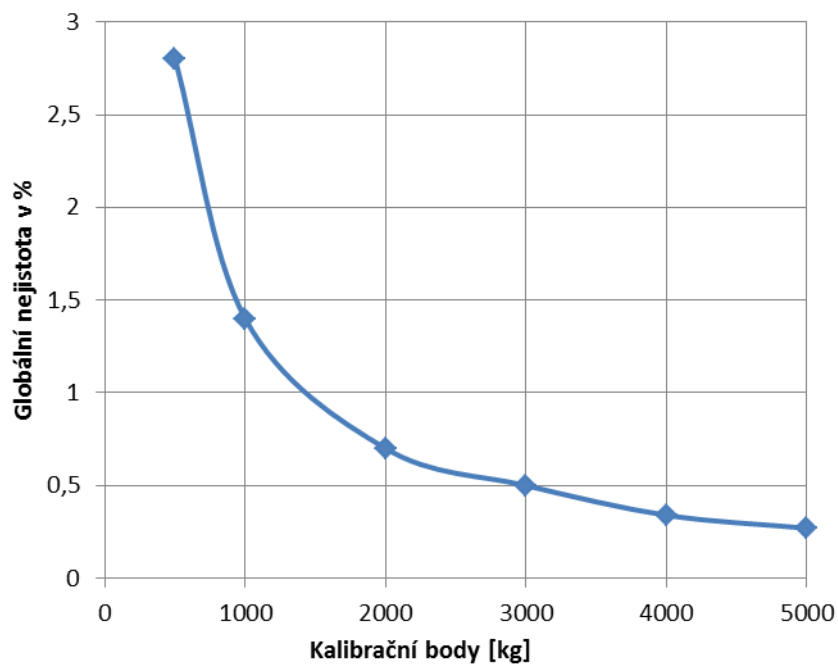
Globální nejistota v % při podílu závaží 2000kg (Max váhy = 5000kg)



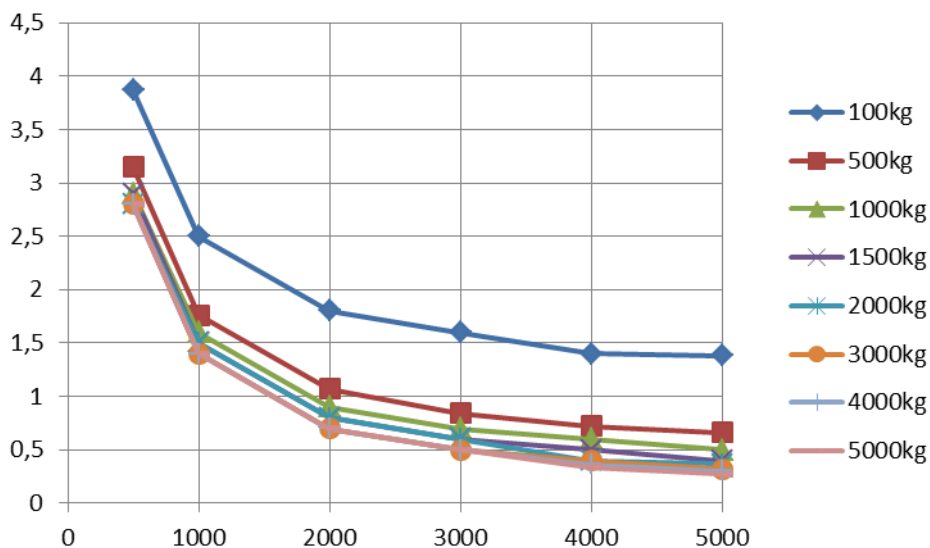
Globální nejistota v % při podílu závaží 3000kg (Max váhy = 5000kg)



Globální nejistota v % při podílu závaží 4000kg (Max váhy = 5000kg)



Globální nejistota v % při podílu závaží 5000kg (Max váhy = 5000kg)



Souhrnný graf - Globální nejistota v % při různém podílu závaží (Max váhy = 5000kg)
Pozn.: na ose x jsou uvedeny kalibrační body a na ose y je globální nejistota v %.

Z grafu je dobře patrná závislost podílu náhradní zátěže na relativní nejistotě. Lze z toho odvodit, že podíl etalonových závaží by mě činit minimálně 1/5 maximální váživosti vah.

Dílčí závěr (3.1)

Pro stanovení pravidel pro vyjadřování CMC při použití náhradní zátěže je důležitým omezením minimální podíl závaží stanovený jako 1/5 Max vah.

3.2, 3.3 a 3.4 Praktická měření a vyhodnocení

Experimentální kalibrace byly provedeny na celkem 6ti vahách následujících parametrů v období květen až říjen 2013:

1. Max = 72000 kg


$$d = 1\text{kg}$$

2. Max 60000 kg

$$d = 20\text{ kg}$$

3. Max = 60000kg

$$d = 2\text{ kg}$$

	České kalibrační sdrůžení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

4. Max = 15000 kg

d = 10 kg

5. Max = 1500 kg

d = 1 kg

6. Max = 160 t

d = 1kg

Výsledky měření jsou dokumentovány v Příloze č. 1 až 6.

3.6 Návrh způsobu určení hodnot CMC a rozsahu měření v závislosti na množství použité náhradní zátěže

Pro to, aby kalibrace vah při použití určitého podílu náhradní zátěže mohly být akreditovány, je třeba přijmout určitá omezující pravidla. Tato pravidla je třeba přijmout proto, aby například hodnoty CMC byly určeny jednotným a transparentním způsobem.

Návrh pravidel

Pravidlo č. 1

Podíl etalonové zátěže $\geq 1/5$ Max

Podíl etalonového závaží použitého ke kalibraci musí být minimálně roven $1/5$ Maximální váživosti vah nebo rozsahu kalibrace dohodnutého s uživatelem.


Pozn.: Toto pravidlo zajišťuje, aby celková nejistota zatížení nebyla větší než 10ti násobek nejistoty při použití etalonového závaží

Pravidlo č. 2

Metodu kalibrace s použitím náhradního zatížení lze použít u vah s Max ≥ 10000 kg

Pozn.: Toto pravidlo zajišťuje určitý minimální požadavek na vybavenost kalibrační laboratoře etalonovým závažím.

Pravidlo č. 3

	České kalibrační sdužení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Při deklarování hodnoty CMC musí být v poznámce jednoznačně identifikováno, že se jedná o metodu s použitím náhradní zátěže.

Pravidlo č. 4

Hodnota CMC se vypočte ze vztahu

$$CMC = 2 \cdot u(L_{Tn})$$

kde $u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{c1}) + 2[(n-1)u^2(I)]$

kde $u(m_{c1})$ je nejistota použité etalonové zátěže

n je počet nahrazení ($n = \text{Max}/L$)

$u(I)$ je nejistota indikace odhadnuta z velikosti dílku váhy


5. Závěr

Výsledky řešení budou publikovány na www stránkách ČKS. Výstupy úkolu mohou být využity subjekty, které se zabývají specifickou problematikou zkoušení a kalibracemi vah s větší maximální váživostí žádajících o akreditaci u ČIA.

Řešení úkolu přispěje k harmonizaci postupů kalibrací vah a vážicích zařízení.

Řešení úkolu nastavuje základní pravidla vedoucí k možnosti akreditování kalibrací za použití metod využívajících náhradní zátěž z pohledu stanovení hodnot CMC.

Příloha č. 1 až 6:	Dokumentace k experimentálním kalibracím
Příloha č. 7	Fotodokumentace k experimentům
Příloha č. 8	Příloha k osvědčení o akreditaci COFRAC
Příloha č. 9	Postup pro kalibraci vah s neautomatickou činností při použití náhradní zátěže

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Příloha č. 1

Max 15000 kg

d = 10 kg Etalony 6000 kg

zat kg	indik kg	ind =rám	chyba kg	vyp ch	rozd
0	60	0	0	-0,765	0,765
2000	2060	2000	0	-0,023	0,023
4000	4060	4000	0	3,208	-3,208
6000	6070	6010	10	8,926	1,074
8000	8080	8020	20	17,133	2,867
10000	10090	10030	30	27,827	2,173
11000	11090	11030	30	34,107	-4,107
12000	12100	12040	40	41,010	-1,010
13000	13110	13050	50	48,534	1,466
13500	13610	13550	50	52,529	-2,529
14000	14120	14060	60	56,680	3,320
14500	14620	14560	60	60,986	-0,986

uA kg

uex kg


ud

uz

uc

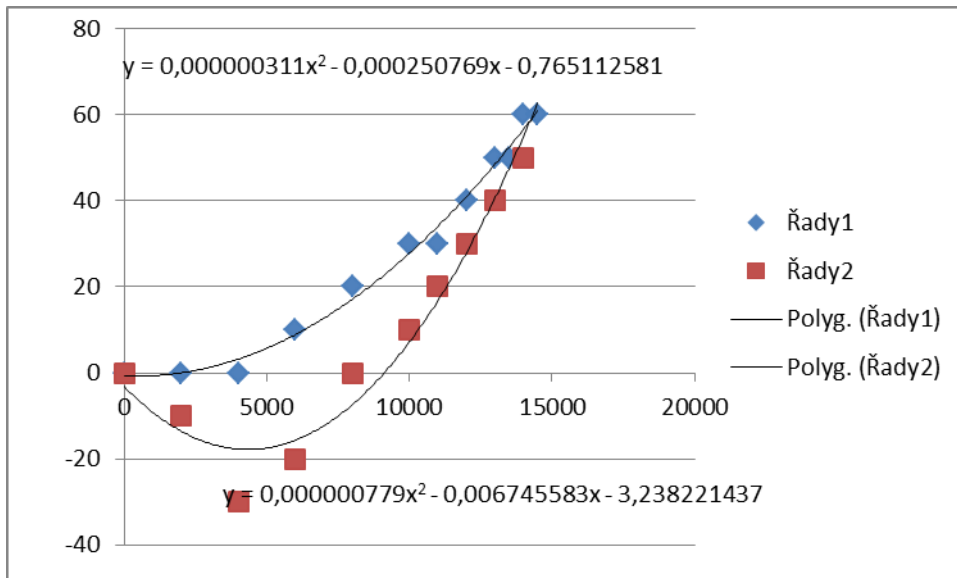
uc
s náhradní
zátěží


2,300	0,000	2,900	0,000	4,702	0	4,702
2,300	0,337	2,900	0,017	4,714	0,0168	4,714
2,300	0,674	2,900	0,034	4,750	0,0336	4,750
2,300	1,010	2,900	0,050	4,810	0,0504	4,810
2,300	1,347	2,900	0,067	4,892	4,89	6,916
2,300	1,684	2,900	0,084	4,995	4,89	6,990
2,300	1,852	2,900	0,092	5,055	4,89	7,032
2,300	2,021	2,900	0,101	5,119	4,89	7,079
2,300	2,189	2,900	0,109	5,188	7,128	8,815
2,300	2,273	2,900	0,113	5,224	7,128	8,837
2,300	2,358	2,900	0,118	5,261	7,128	8,859
2,300	2,442	2,900	0,122	5,300	7,128	8,881

	České kalibrační sdužení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

V posledním sloupci je patrný skokový nárůst nejistoty při použití náhradní zátěže.

Křivka vážení při proložení polynomem 2. Stupně.



	České kalibrační sdužení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

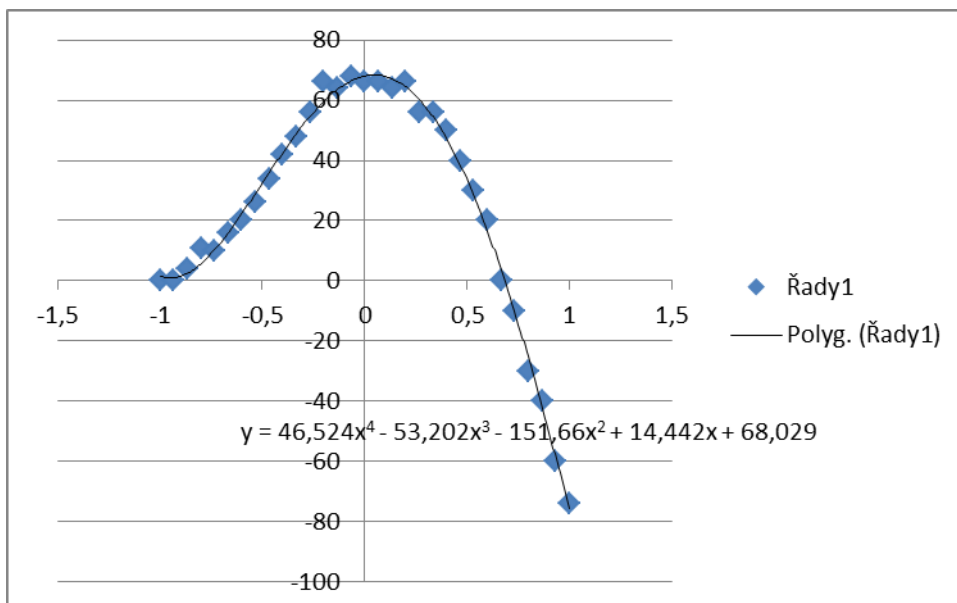
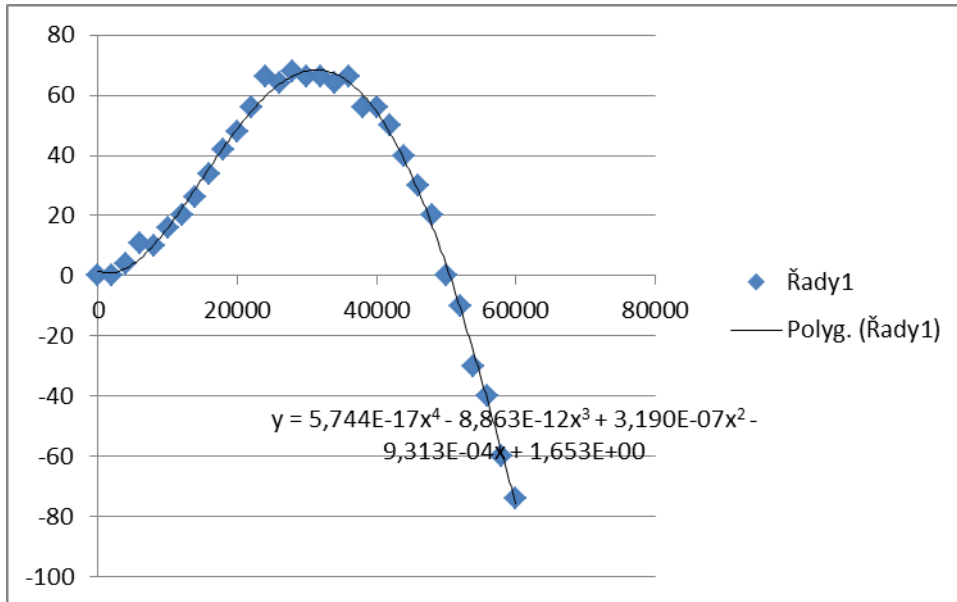
Příloha č. 2

Max = 60000kg


d = 2 kg

	zat kg	ch kg	ucz kg
	0	0	0
	2000	0	0,017
	4000	4	0,034
	6000	11	0,051
	8000	10	0,068
	10000	16	0,085
	12000	20	0,102
	14000	26	0,119
	16000	34	0,136
	18000	42	0,153
	20000	48	0,17
	22000	56	0,187
	24000	66	0,204
	26000	64	0,221
	28000	68	0,238
	30000	66	0,255
	32000	66	0,272
	34000	64	0,289
	36000	66	0,306
	38000	56	0,323
	40000	56	0,34
	42000	50	0,357
	44000	40	0,374
	46000	30	0,391
	48000	20	0,408
	50000	0	0,425
	52000	-10	0,442
	54000	-30	0,459
	56000	-40	0,476
	58000	-60	0,493
	60000	-74	0,51

Výsledky bez náhradní zátěže




Kalibrační křivka proložená polynomem 4. Stupně

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Zatizení	chyba vyp.	rozs neist	chyba kor	neist
Z [kg]	Ch(Z) [kg]	U [kg]	Chkor(Z) [kg]	Ukor [kg]
0,	-7.8,	6.3,	0.0,	6.3
2000,	-2.6,	5.0,	5.2,	5.0
4000,	3.0,	4.2,	10.7,	4.2
6000,	8.8,	3.7,	16.5,	3.7
8000,	14.7,	3.5,	22.5,	3.5
10000,	20.7,	3.4,	28.5,	3.4
12000,	26.7,	6.1,	34.4,	6.1
14000,	32.5,	6.2,	40.3,	6.2
16000,	38.2,	6.2,	45.9,	6.2
18000,	43.5,	6.2,	51.2,	6.2
20000,	48.4,	6.2,	56.1,	6.2
22000,	52.8,	8.0,	60.5,	8.0
24000,	56.6,	8.0,	64.3,	8.0
26000,	59.7,	8.1,	67.4,	8.1
28000,	62.0,	8.1,	69.7,	8.1
30000,	63.4,	8.1,	71.2,	8.1
32000,	63.9,	10.0,	71.7,	10.0
34000,	63.3,	10.0,	71.1,	10.0
36000,	61.6,	10.1,	69.3,	10.1
38000,	58.5,	10.2,	66.3,	10.2
40000,	54.2,	10.2,	61.9,	10.2
42000,	48.4,	12.5,	56.1,	12.5
44000,	41.0,	12.5,	48.8,	12.5
46000,	32.1,	12.5,	39.8,	12.5
48000,	21.4,	12.6,	29.1,	12.6
50000,	8.9,	12.6,	16.6,	12.6
52000,	-5.6,	15.1,	2.2,	15.1
54000,	-22.0,	15.2,	-14.3,	15.2
56000,	-40.5,	15.4,	-32.8,	15.4
58000,	-61.3,	15.7,	-53.5,	15.7
60000,	-84.3,	16.2,	-76.5,	16.2

Rozložení nejistot při použití náhradní zátěže po 10t

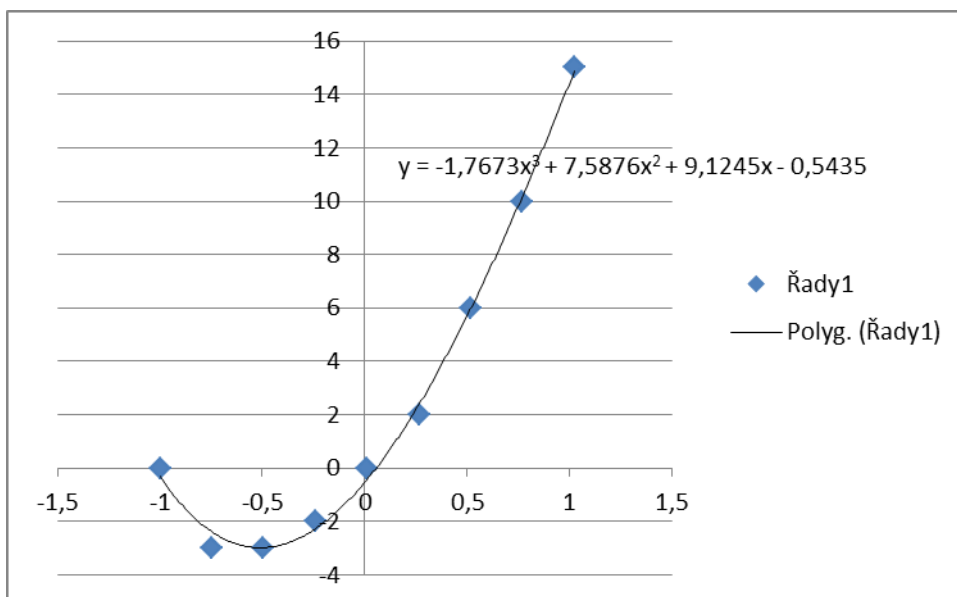
	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Příloha č. 3


Max = 72000kg

d = 1kg

zatizení	chyba nam.	chyba vyp.	diferen	uzat	uex	uC
[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
0,	0.0,	-0.3,	0.3,	0.4,	0.0,	0.0,
6578,	-3.0,	-2.4,	-0.6,	0.2,	0.0,	0.0,
13156,	-3.0,	-3.0,	-0.0,	0.3,	0.7,	0.0,
19734,	-2.0,	-2.3,	0.3,	0.2,	0.9,	0.0,
26312,	0.0,	-0.4,	0.4,	0.2,	1.2,	0.0,
32890,	2.0,	2.4,	-0.4,	0.2,	1.4,	0.0,
39468,	6.0,	6.0,	0.0,	0.3,	1.6,	0.0,
46046,	10.0,	10.2,	-0.2,	0.2,	1.9,	0.0,
52624,	15.0,	14.9,	0.1,	0.4,	2.2,	0.0,



Naměřené hodnoty proložené polynomem 3. Stupně

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

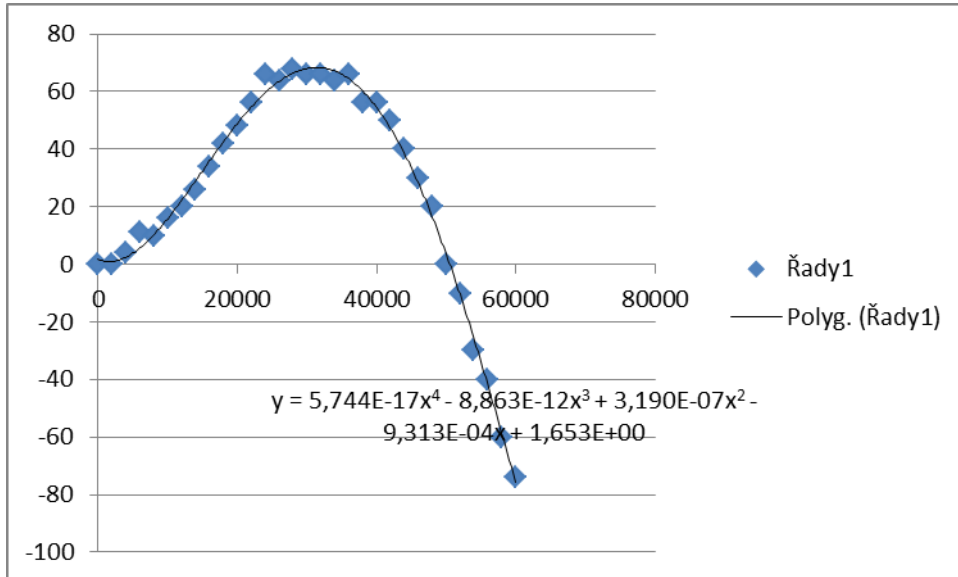
Příloha č. 4

Max = 60t


d = 2kg

zatizení	chyba nam.	chyba vyp.	differen	uA	uzat	uex	uC
[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
0,	0.0,	1.7,	-1.7,	2.1,	0.0,	0.0,	2.3
2000,	0.0,	1.0,	-1.0,	1.5,	0.0,	0.1,	1.7
4000,	4.0,	2.5,	1.5,	1.1,	0.0,	0.2,	1.4
6000,	11.0,	5.7,	5.3,	1.1,	0.1,	0.2,	1.4
8000,	10.0,	10.3,	-0.3,	1.1,	0.1,	0.3,	1.4
10000,	16.0,	16.0,	0.0,	1.1,	0.1,	0.4,	1.4
12000,	20.0,	22.3,	-2.3,	1.1,	1.9,	0.5,	2.4
14000,	26.0,	29.0,	-3.0,	1.0,	1.9,	0.5,	2.4
16000,	34.0,	35.9,	-1.9,	1.0,	1.9,	0.6,	2.4
18000,	42.0,	42.6,	-0.6,	0.9,	1.9,	0.7,	2.4
20000,	48.0,	48.9,	-0.9,	0.9,	1.9,	0.8,	2.4
22000,	56.0,	54.6,	1.4,	0.9,	2.8,	0.9,	3.2
24000,	66.0,	59.6,	6.4,	0.9,	2.8,	0.9,	3.2
26000,	64.0,	63.5,	0.5,	0.9,	2.8,	1.0,	3.3
28000,	68.0,	66.4,	1.6,	0.9,	2.8,	1.1,	3.3
30000,	66.0,	68.0,	-2.0,	1.0,	2.8,	1.2,	3.3
32000,	66.0,	68.3,	-2.3,	0.9,	3.8,	1.3,	4.2
34000,	64.0,	67.1,	-3.1,	0.9,	3.8,	1.3,	4.2
36000,	66.0,	64.5,	1.5,	0.9,	3.8,	1.4,	4.2
38000,	56.0,	60.3,	-4.3,	0.9,	3.8,	1.5,	4.2
40000,	56.0,	54.6,	1.4,	0.9,	3.8,	1.6,	4.3
42000,	50.0,	47.3,	2.7,	0.9,	4.9,	1.6,	5.3
44000,	40.0,	38.5,	1.5,	1.0,	4.9,	1.7,	5.3
46000,	30.0,	28.3,	1.7,	1.0,	4.9,	1.8,	5.4
48000,	20.0,	16.6,	3.4,	1.1,	4.9,	1.9,	5.4
50000,	0.0,	3.7,	-3.7,	1.1,	4.9,	2.0,	5.4
52000,	-10.0,	-10.5,	0.5,	1.1,	6.1,	2.0,	6.6
54000,	-30.0,	-25.7,	-4.3,	1.1,	6.1,	2.1,	6.6
56000,	-40.0,	-41.8,	1.8,	1.1,	6.1,	2.2,	6.7
58000,	-60.0,	-58.6,	-1.4,	1.5,	6.1,	2.3,	6.8
60000,	-74.0,	-75.9,	1.9,	2.1,	6.2,	2.4,	7.0

Nárůst nejistoty při náhradní zátěži po 10t



Proložení polynomem 4. Stupně

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Příloha č. 5

Max = 1500kg

d = 1kg

Měření <i>Measuring</i>	Tára <i>Tare</i>	Zátěž <i>Load</i>	Udaj <i>Indication</i>	Nejistota <i>Uncertainty</i>	k
1	-	0 kg	0 kg	0,6 kg	2,05
2	-	400 kg	400 kg	0,8 kg	2,05
3	-	700 kg	700 kg	0,8 kg	2,05
4	-	1100 kg	1100 kg	0,8 kg	2,05
5	-	1400 kg	1400 kg	0,8 kg	2,05
6	-	0 kg	0 kg	0,6 kg	2,05


Výsledky kalibrace bez použití náhradní zátěže

Při použití etalonových závaží do maximální váživosti se nejistota pohybuje v rozmezí 1 dílku

Kalibrace s náhradním zatížením

Zatížení	indikace	Nejistota měření
0 kg	0 kg	0,6 kg
400 kg	400,4 kg	0,8 kg
600 kg	600,35 kg	1,2 kg
800 kg	799,95 kg	2,5 kg
1000 kg	1000,25 kg	3,7 kg
1200 kg	1200,05 kg	4,8 kg
1500 kg	1500,00 kg	5,2 kg

Při kalibraci s náhradním zatížením vzrůstá nejistota měření cca pětinasobně.

	České kalibrační sdužení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Příloha č. 6

Max = 160 t

d = 1kg

Závaží : 10370 kg

Náhradní zátěž <i>Substitution load</i> (kg)	Zatížení <i>Load</i> (kg)	Indikace <i>Indication</i> (kg)	Chyba kroku <i>Error of each step</i> (kg)	Celková chyba <i>Error</i> (kg)	Nejistota <i>Uncertainty</i> (kg)
-	0	3697	-	-	-
3697	14067	14064	-3	-3	± 2
14086	24456	24454	-2	-5	± 5
24440	34810	34806	-4	-9	± 8
34756	45126	45123	-3	-12	± 8
45063	55433	55429	-4	-16	± 8
55381	65751	65746	-5	-21	± 8
65738	76108	76102	-6	-27	± 8
76053	86423	86417	-6	-33	± 12
86418	96788	96780	-8	-41	± 12
96738	107108	107102	-6	-47	± 12
107092	117462	117453	-9	-56	± 12
117425	127795	127782	-13	-69	± 12
127866	138236	138226	-10	-79	± 18
138223	148593	148668	75	-4	± 22
148626	158996	158988	-8	-12	± 26



České kalibrační
sdružení

Slovinská 47,
61200 Brno

Počet listů 71
Počet příloh: 9

Příloha č. 7 (Ilustrační obrazová část)





České kalibrační
sdružení

Slovinská 47,
61200 Brno

Počet listů 71
Počet příloh: 9






České kalibrační
sdružení

Slovinská 47,
61200 Brno

Počet listů 71
Počet příloh: 9



	<p>České kalibrační sdružení</p>	<p>Slovinská 47, 61200 Brno</p>	<p>Počet listů 71 Počet příloh: 9</p>
---	--------------------------------------	-------------------------------------	---

Příloha č. 8 – Příloha osvědčení o akreditaci vydaná COFRAC - Francie

Convention N° 1221

Section Laboratoires

ATTESTATION D'ACCREDITATION
ACCREDITATION CERTIFICATE
N° 2-1558 rév. 1

Le Comité Français d'Accréditation (Cofrac) atteste que :
The French Committee for Accreditation (Cofrac) certifies that :

ARTEMIS

Satisfait aux exigences de la norme **NF EN ISO/CEI 17025 : 2005**
Fulfills the requirements of the standard

et aux règles d'application du Cofrac pour les activités d'analyses/essais/étalonnages en :
and Cofrac rules of application for the activities of testing/calibration in :

MASSE ET VOLUME / MASSE
MASS AND VOLUME / MASS

réalisées par / performed by :

LABORATOIRE DE METROLOGIE ARTEMIS
Z.I. le Lac - Avenue de l'Industrie - BP 405
07004 PRIVAS Cedex

et précisément décrites dans l'annexe technique jointe
and precisely described in the attached technical appendix

L'accréditation suivant la norme internationale homologuée NF EN ISO/CEI 17025 : 2005 est la preuve de la compétence technique du laboratoire dans un domaine d'activités clairement défini et du bon fonctionnement dans ce laboratoire d'un système de management de la qualité adapté (cf. communiqué conjoint ISO/ILAC/IAF de janvier 2009)

Accreditation in accordance with the recognised international standard ISO/IEC 17025 : 2005 demonstrates technical competence for a defined scope and the operation of a laboratory quality management system (re. Joint IAF/ILAC/ISO Communiqué dated January 2009).

Date de prise d'effet / granting date : 07/01/2013
Date de fin de validité / expiry date : 30/09/2017

Pour le Directeur Général et par délégation
On behalf of the General Director
Le Responsable de Pôle Mécanique,
The Pole Manager,

Gilles PECCHIOLI

Cette attestation annule et remplace l'attestation précédente. This certificate cancels and replaces the previous certificate.
Seul le texte en français peut engager la responsabilité du Cofrac. The Cofrac's liability applies only to the French text.

Comité Français d'Accréditation - 52, rue Jacques Hillairet - 75012 PARIS
Tel. : 33 (0)1 44 68 82 20 - Fax : 33 (0)1 44 68 82 21 Site : 397 879 487 00031 www.cofrac.fr



České kalibrační
sdružení

Slovinská 47,
61200 Brno

Počet listů 71
Počet příloh: 9

Section Laboratoires

ANNEXE TECHNIQUE

à l'attestation N° 2-1558 rév. 1

L'accréditation concerne les prestations réalisées par :
LABORATOIRE DE METROLOGIE ARTEMIS
Z.I. le Lac - Avenue de l'Industrie - BP 405
07004 PRIVAS Cedex

Contact : Mme Christine SCHEUBER
Tél. : 04 75 64 16 16
Fax : 04 75 64 42 42
E-mail : etalonnage@artemis.fr

Dans les implantations suivantes (liste disponible sur : <http://www.artemis.fr/carte.htm?1>) :

IMPLANTATION n°1 : Artemis
BP 405 07004 PRIVAS

IMPLANTATION n°2 : Ablal
1 ter, rue des Saules, 27460 IGOVILLE

IMPLANTATION n°3 : Centre Pesage
ZA La Torche, 30 rue des Pierres Missigault, 28630 BARJOUVILLE

IMPLANTATION n°4 : Epona
ZA du Pardy, 01480 FRANS

IMPLANTATION n°5 : MBP Métrologie
ZI du Bols Chaland, 3 rue du Bols Chaland, 91029 EVRY

IMPLANTATION n°6 : Micromega
ZA Bompertuis, 13120 Gardanne

IMPLANTATION n°7 : Oulline Balances
BP 16, 23 rue de la Commune de Paris, 69921 OULLINS

IMPLANTATION n°8 : Pesage Midi Pyrénées
44 Avenue Jean Moulin, 31322 CASTANET TOLOSAN

IMPLANTATION n°9 : Rouze
8 rue Pierre d'Ally, 59400 CAMBRAI

IMPLANTATION n°10 : Vichy Pesage
Rue du Commandant Aubrey, 03300 CREUZIER LE VIEUX

Elle porte sur les étalonnages suivants :

(Voir page suivante)




MASSE ET VOLUME/MASSE/INSTRUMENTS DE PESAGE A FONCTIONNEMENT NON AUTOMATIQUE						
Objet soumis à étalonnage	Mesurande	Principe de mesure	Etendue de mesure	Meilleure incertitude d'étalonnage (en relatif)	Moyens d'étalonnage (Equipements, étalons)	Prestation en laboratoire (L) et/ou sur site (S)
Instrument de pesage à fonctionnement non automatique	Masse conventionnelle	Par pesée d'étalons de masse	De 0 kg à 100 t	$185 \cdot 10^{-6}$	Masses étalons de classe égale à M ³ 3000 e ou de qualité équivalente avec possibilité d'utiliser des charges de substitution.	S
			De 0 kg à 25 t	$45 \cdot 10^{-6}$	Etalons de masse égale à M1 ou de qualité équivalente.	
				$90 \cdot 10^{-6}$	Masses étalons de classe égale à M ¹ 5000 e ou de qualité équivalente sans possibilité d'utiliser des charges de substitution.	
			De 0 g à 10 kg	$4,7 \cdot 10^{-6}$	Etalons de masse de classe égale à F1 ou de qualité équivalente.	
$1,6 \cdot 10^{-6}$	Etalons de masse de classe égale à E2 ou de qualité équivalente.					

Portée fixe A1 :

Le laboratoire est accrédité pour pratiquer les étalonnages décrits en respectant strictement les méthodes internes utilisées. Il est accrédité suivant les révisions successives, dès lors que les révisions n'impliquent pas de modifications techniques du mode opératoire.

Les incertitudes élargies correspondent aux aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages (CMC) du laboratoire pour une probabilité de couverture de 95%.

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Date de prise d'effet : 07/01/2013 Date de fin de validité : 30/09/2017

Le Responsable d'Accréditation Pilote
The Pilot Accreditation Manager


Stéphane SARRAZIN

Cette annexe technique annule et remplace l'annexe technique précédente.


Comité Français d'Accréditation - 52, rue Jacques Hillairet - 75012 PARIS
Tél. : 33 (0)1 44 68 82 20 - Fax : 33 (0)1 44 68 82 21 Siret : 397 879 487 00031 www.cofrac.fr

LAB Form 37 - Révision 03 - Juillet 2012

Page 4/4

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Příloha č. 9 Postup pro kalibraci vah s neautomatickou činností při použití náhradní zátěže

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Část A

Účel postupu – úvodní poznámka


Tento postup byl zpracován na základě kalibračního postupu pro váhy s neautomatickou činností s počtem dílků do 10000, který je publikován na www.cks-brno.cz. Postup má sloužit kalibračním laboratořím a ostatním subjektů provádějících kalibraci vah s neautomatickou činností s využitím určitého podílu náhradní zátěže jako dokument, který, obsahuje jednotné minimální požadavky, nezbytné metody zkoušení, způsoby určování nejistot měření a nakládání s nimi. Postup reflektuje specifické podmínky měření, které mohou nastat z hlediska použití náhradní zátěže. Protože je zpracován na základě dříve zpracovaných jednotných kalibračních postupů reflektuje současné trendy a poznatky v oboru měření hmotnosti. Může být proto, po jeho validaci, přijat kalibračními laboratořemi a dalšími zainteresovanými subjekty beze změny pro účely začlenění do akreditovaných systémů jakosti laboratoří. Odchytky od tohoto postupu jsou po dohodě s akreditačními orgány přípustné a jsou-li odůvodněné například odbornými zkušenostmi. Postup je závazný pro akreditované laboratoře, avšak nebrání přijetí vlastních postupů, vytvořených laboratořemi, pokud je akreditační orgán schválí.

1 Rozsah postupu

Tento postup se použije pro statickou kalibraci elektronických vah s neautomatickou činností. Použití postupu pro jiné druhy vah může vést k chybným výsledkům. Postup předpokládá použití etalonových závaží, se zajištěnou a dokumentovanou metrologickou návazností a zátěže náhradní, tvořené materiálem splňujícím požadavky dané rovněž tímto dokumentem. Při předpokladu použití náhradní zátěže se tento postup použije u vah s $Max \geq 10000$ kg. Postup specifikuje zejména prováděná měření, výpočet výsledků měření, určení nejistot měření. V kapitolách vyjadřování nejistot jsou obsaženy postupy vyjadřování nejistot při vlastní kalibraci a postupy vyjadřování nejistot vah při používání.

1.1 Předmět kalibrace

Předmětem kalibrace je indikace vah v důsledku jejich zatížení. Výsledky jsou vyjádřeny v jednotkách hmotnosti. Předpokládá se, že všechny výsledky měření a hodnoty použitých zatížení jsou vyjádřeny ve formě konvenční hmotnosti, jejíž definice je dána OIML D28 [5]. Hodnota indikace je ovlivněna hodnotou tíhového zrychlení, teplotou a hustotou zátěže použité pro kalibraci a teplotou a hustotou okolního vzduchu. Nejistota měření závisí rovněž na vlastnostech kalibrovaných vah a nikoli jen na zařízení použitém pro kalibraci. Postup obecně zahrnuje, pro určitý počet zkušebních zátěží, určení chyb příslušných indikací.

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

1.1.1 Princip kalibrace (určení chyby indikace)

Chyba indikace (E_I) váhy, pro danou hodnotu vážícího rozsahu, se určí pomocí jednotlivého vážení zkušebního zatížení (etalonového závaží nebo etalonové závaží plus náhradní zátěž), jež má stejnou hodnotu jako vybraná hodnota vážícího rozsahu. Indikace vztahující se ke zkušebnímu zatížení, tedy výsledek vážení, tohoto jednotlivého vážení, je získán jako:

$$I = I_L - I_0 \quad \text{kde}$$

I_L je indikace váhy při zatížení a
 I_0 je indikace při nulovém zatížení váhy

Chyby indikace se tedy určí jako:

$$E_I = I - m_{\text{ref}} \quad \text{kde}$$

m_{ref} je hodnota hmotnosti (konvenční hmotnosti) zkušebního zatížení

Nejistoty měření se vztahují k určeným chybám indikace (nejistota vlastní kalibrace) a platí pro podmínky, které byly v době kalibrace. Postup obsahuje rovněž pravidla pro odvození chyb indikací a jím příslušných nejistot, které se mohou objevit za definovaných podmínek používání vah uživatelem. Tato nejistota je definovaná jako tzv. Globální nejistota. viz část E.

1.2 Rozsah kalibrace


Postup v části C specifikuje minimální rozsah zkoušek prováděných při kalibraci. Rozsah kalibrace zahrnuje celý vážící rozsah vah od nuly po horní mez váživosti (Max), nicméně, rozsah kalibrace může být omezen po dohodě se zákazníkem/uživatelé na určitou část vážícího rozsahu nebo individuální body vážícího rozsahu.

1.3 Metrologická návaznost


Při tomto postupu musí být pro kalibraci použita zkušební zatížení ve formě závaží, která splňují podmínky mezinárodního doporučení OIML R111 [4] a mají zajištěnou návaznost měřidel a výsledků měření ve smyslu MPA 30-02-08 [13] na etalony vyšší metrologické kvality. Dokumentovanou metrologickou návaznost musí mít rovněž i ostatní měřicí přístroje použité při kalibraci (např. pro měření teploty okolního vzduchu, teploty závaží). Kromě závaží se při kalibraci může použít i náhradní zatížení ve formě materiálu splňujícím podmínky dané dále tímto dokumentem.

1.4 Způsobilost pro kalibraci

Kalibraci mohou provádět osoby, které mají dostatečné znalosti teoretické a praktické z oblasti kalibrace vah, jsou seznámeni s tímto dokumentem a prokázali dokladovatelným

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

způsobem schopnost aplikovat tento dokument. Pokud to vyžadují systémy jakosti, jejichž jsou součástí, musí mít odpovídajícím způsobem doložené znalosti z oblasti metrologie a oboru měření hmotnosti (osvědčení, certifikát odborné způsobilosti apod.)

	České kalibrační sdužení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

1.5 Odkazové a další dokumenty

Dokumenty, níže uvedené, jsou rozděleny na doporučené (normální písmo) a povinné (tučné písmo). Povinné dokumenty musí být v laboratoři k dispozici a pracovníci musí prokázat jejich znalost a schopnost aplikace v podmínkách laboratoře v rozsahu činnosti, pro něž jsou akreditovány.

- [1] ISO Guide: Guide to the expression of Uncertainty in Measurement (vydání 1993)
- [2] **EA/4-02: Metodika vyjadřování nejistot měření při kalibracích**
- [3] **Mezinárodní doporučení OIML R 76 - 1: Váhy s neautomatickou činností. Část 1: Metrologické a technické požadavky – zkoušky (vydání 2006)**
- [4] **Mezinárodní doporučení OIML R 111- 1: Závaží tříd E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ a M₃, část 1 Metrologické a technické požadavky (vydání 2004)**
- [5] Mezinárodní dokument OIML D28: Konvenční hodnota výsledku vážení ve vzduchu (vydání 2004)
- [6] ILAC – G8: Směrnice k posuzování a prokazování shody se specifikací (založených na měření a zkouškách v laboratoři) (vydání 1996)
- [7] **0051-93: Stanovení nejistot při měřeních (2 díly) (vydání 1993)**
- [8] M. Glaeser: Change of the apparent mass of weights arising from temperature differences, Metrologia 36 (1999), p. 183-197
- [9] OIML V1: Mezinárodní slovník termínů v legální metrologii (vydání 2000)
- [10] **EURAMET/cg-18/v.02: Guidelines on the calibration of non-automatic weighing instruments (vydání 2009)**
- [11] **Česká norma ČSN EN 45501+AC: Metrologické aspekty vah s neautomatickou činností (vydání srpen 1995)**
- [12] **MPA 30-02-08: Návaznost měřidel a výsledků měření (vydání 2008)**
- [13] ČSN EN ISO/IEC 17025: Posuzování shody – Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří (2005)

1.6 Definice a názvosloví


Dohodnutý rozsah kalibrace – rozsah zkoušek provedených kalibrační laboratoří předem dohodnutých mezi touto laboratoří a vlastníkem/uživatelem váhy

Nejistota kalibrace – nejistota výsledku měření provedeného při kalibraci váhy, vztahující se k podmínkám a zkouškám provedeným v době kalibrace

Nejistota vah při používání – nejistota odhadnutá pro definované podmínky, za kterých uživatel váhy normálně používá. Tato nejistota má vždy vyšší hodnotu než nejistota kalibrace.


1.6.1 Další definice

Váhy, které jsou předmětem kalibrace, další měřicí zařízení použita při kalibraci a činnosti popisované v tomto postupu a uváděné pojmy splňují definice uvedené v OIML R 76-1 pro váhy s neautomatickou činností, OIML R 111-1 pro závaží a OIML V1 (VIML) - mezinárodní slovník termínů v legální metrologii a dalších dokumentech zmíněných v 1.5.

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

1.7 Symboly a označení uvedené ve vzorcích (v pořadí podle uvedení v dokumentu)

Symbol	Definice	Jednotka
I_L	indikace váhy při zatížení	g, kg, t
I_0	indikace váhy při nulovém zatížení	g, kg, t
I	výsledek vážení	g, kg, t
E_I	chyba indikace	g, kg, t
m_{ref}	referenční zatížení („pravá hodnota“), hodnota konvenční hmotnosti zkušebního zatížení	g, kg, t
n	počet skutečných dílků váhy	
d	hodnota skutečného dílku váhy	g, kg, t
Max	hodnota maximální váživosti váhy	g, kg, t
mpe	maximální dovolená chyba	g, kg, t
m_n	nominální hodnota konvenční hmotnosti etalonového závaží	g, kg, t
m_c	konvenční hmotnost	g, kg, t
C_{class}	koeficient třídy (OIML R 111-1) přesnosti etalonových závaží	
Δt	teplotní rozdíl	°C
Δm_c	změna konvenční hmotnosti	g, kg, t
Δm_{conv}	zdánlivá změna hmotnosti v důsledku konvekce	g, kg, t
L_T	hodnota zkušebního zatížení	g, kg, t
$s(x)$	směrodatná odchylka	g, kg, t
L_{exc}	hodnota zkušebního zatížení při zkoušce excentrickým zatížením	g, kg, t
ΔI_{exc}	rozdíl indikací mezi danou pozicí a pozicí ve středu nosiče zatížení	g, kg, t
u_{opak}	nejistota plynoucí z opakovatelnosti	g, kg, t
t_r	koeficient studentova rozdělení	
u_{exc}	nejistota z excentrického zatížení	g, kg, t
$u_{(exc)rel}$	relativní nejistota z excentrického zatížení	g, kg, t
e_{exc}	chyba při zkoušce excentrickém zatížení	g, kg, t
u_{do}	nejistota chyby ze zaokrouhlení při digitální indikaci při nulovém zatížení	g, kg, t
u_{dl}	nejistota chyby ze zaokrouhlení při digitální indikaci při zatížení	g, kg, t
d_0	hodnota dílku v nulovém bodě	g, kg, t
d_I	hodnota dílku v bodě zatížení	g, kg, t
ΔT	teplotní rozdíl	°C
u_T	nejistota vlivu teploty	g, kg, t
u_{Et}	nejistota vlivu etalonového závaží	g, kg, t
$u_c(Et)$	nejistota kalibrace etalonu	g, kg, t
$u_D(Et)$	nejistota dlouhodobé stability etalonu	g, kg, t
u_{vz}	nejistota vlivu změny hustoty vzduchu	g, kg, t
$u(v_u)$	nejistota váhy při používání	g, kg, t
u_{approx}	nejistota aproximace	g, kg, t
R	indikace váhy při používání	g, kg, t
k	koeficient rozšíření	

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Část B

2 Místo, okolní podmínky, prostředky a příprava na kalibraci

2.1 Místo kalibrace

Postup předpokládá, že je kalibrace normálně prováděna v místě používání vah. Kalibrace se provádí za podmínek obdobných jako při používání. V tomto případě se předpokládá, že vlivy jako je vibrace, uložení nosiče břemene, proudění vzduchu apod. jsou již zahrnuty v nejistotě měření.

2.2 Okolní podmínky (teplota a relativní vlhkost okolního vzduchu)


Kalibrace se provádí za teploty a relativní vlhkosti vzduchu, jejíž hodnoty spadají do předepsaného pracovního rozsahu váhy (obvykle bývá uveden výrobcem v manuálu váhy).

2.3 Prostředky potřebné ke kalibraci (zařízení a pomůcky)

- Souprava etalonových závaží o jmenovitých hodnotách, jejichž kombinací lze pokrýt celý rozsah váživosti nebo dohodnutý rozsah kalibrace. Závaží musí z hlediska metrologické návaznosti odpovídat požadavkům 1.3, 2.3.1 a 2.3.2
- Náhradní zátěž (materiál splňující podmínky v bodě 2.3.1.1)
- Teploměr a příložený teploměr pro zjišťování teploty okolního vzduchu a závaží s dělením ≤ 1 °C.
- Prostředky pro manipulaci se závažím
- Prostředky pro manipulaci s náhradní zátěží (např. paletový vozík, vysokozdvizný vozík atd.)
- Prostředky pro uložení nebo uchycení závaží (např. závěsná lávka, závěsy pro závaží atd.)

2.3.1 Etalonová závaží použitá ke kalibraci

Obecně platí pravidlo, že maximální dovolené chyby nebo nejistoty závaží použitého ke kalibraci musí být kompatibilní s nejmenší hodnotou dílku váhy a/nebo s požadovanou hodnotou nejistoty kalibrace. Protože ve většině případů není informace o požadované hodnotě výsledné nejistoty kalibrace dopředu známa a proto, aby nedocházelo k degradaci přesnosti vlastní kalibrace v důsledku neopodstatněného použití zkušební zátěže s relativně vysokou hodnotou nejistoty, doporučuje se použít následující etalonová závaží. Tabulka 2.3.1 – 1 udává třídy přesnosti etalonových závaží podle OIML R 111 v závislosti na počtu dílků váhy, které lze použít ve formě jmenovité hodnoty.

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Počet dílků váhy $n = \text{Max}/d$	Třída přesnosti závaží dle OIML R 111
$100 \leq n \leq 5000$	M ₁
$5000 < n \leq 15\ 000$	F ₂
$15\ 000 < n \leq 50\ 000$	F ₁
$50\ 000 < n \leq 200\ 000$	E ₂
$n > 200\ 000$	namísto jmenovité hodnoty se použije hodnota m_c E ₂

Tabulka 2.3.1 – 1 Použití závaží v závislosti na počtu dílků váhy

Hodnoty v tabulce vychází z porovnání relativních hodnot maximálně dovolených chyb závaží pro jednotlivé třídy přesnosti uvedených v OIML R 111 (Tabulka 1) respektive s koeficientem třídy přesnosti závaží $c_{\text{class}} = mpe/m_n$ pro $m_n \geq 100\text{g}$ (jehož hodnoty pro jednotlivé třídy přesnosti jsou uvedeny v tabulce 2.3.1 - 2) s hodnotou dílku vah vyjádřenou v relativní formě ($1/n = d/\text{Max}$). Pro porovnání těchto hodnot byla použita následující nerovnost: $d > 2\sqrt{3} \times mpe$. Kde mpe je maximální dovolená chyba pro danou třídu závaží podle OIML R 111 a d je dílek váhy. Tímto je zajištěna kompatibilita nejistoty použitého závaží s hodnotou dílku respektive s hodnotou chyby zaokrouhlení váhy.

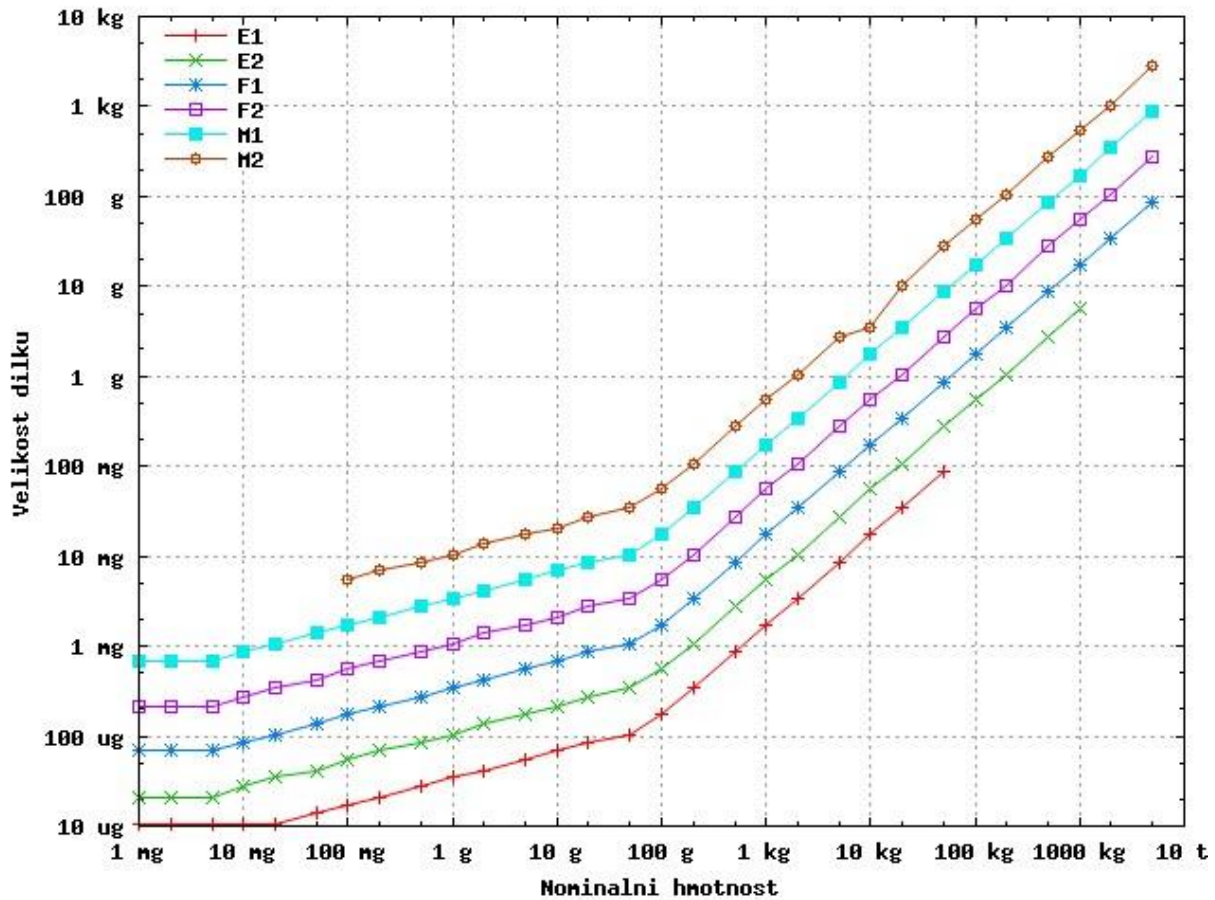
Třída přesnosti dle OIML R 111-1

E1	0,5
E2	1,6
F1	5
F2	16
M1	50
M2	160

$$c_{\text{class}} = mpe/m_n \times 10^6$$

Tabulka 2.3.1 – 2

Pro určení třídy závaží v závislosti na velikosti dílku kalibrované váhy a nominální hmotnosti zatížení lze použít Graf 1 uvedený níže:



Při použití grafu se postupuje následovně:

Nalezneme průsečík velikosti použitého zatížení a velikosti dílku váhy. Použijeme třídu závaží, která odpovídá nižší křivce v grafu (odpovídající třídě přesnosti závaží podle OIML R 111). *Poznámka: v grafu je na obou osách použito dělení 1, 2, 5.*

2.3.1.1 Minimální podíl etalonové zátěže


Podíl etalonové zátěže $\geq 1/5$ Max, minimálně však 2000 kg (viz také bod 1 postupu).

2.3.1.1.1 Náhradní zátěž

Kromě etalonových závaží je možno použít náhradní zatížení ve formě materiálu, u kterého je nutné dodržet následující podmínky:

V případech kdy to například díky konstrukci váhy není možné lze použít jakékoliv jiné zatížení pro nahrazení etalonových závaží, pokud toto zatížení splňuje určité podmínky. Těmito podmínkami především jsou:

1. tvar, materiál, složení by měly umožňovat snadnou manipulaci,

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

2. tvar, materiál, složení by měly umožňovat snadný odhad těžiště,
3. jejich hmotnost musí zůstat konstantní po dobu používání pro kalibraci,
4. jejich hustota by měl a být snadno odhadnutelná,
5. zatížení o nízké hustotě (např. kontejnery naplněné pískem nebo štěrkem), mohou vyžadovat zvláštní pozornosti z pohledu vztlaku vzduchu.

V případě (5) může nastat potřeba monitorovat teplotu a barometrický tlak po celou dobu použití tohoto zatížení pro kalibraci.

Při kalibraci vah s neautomatickou činností lze rovněž aplikovat náhradní zatížení i pro zkoušky, kde není znalost konvenční hodnoty hmotnosti zkušebního zatížení podstatná. V těchto případech lze namísto etalonových závaží použít jiná zatížení, s uvážením veškerých aspektů uvedených výše.

Vliv podílu náhradní zátěže na nejistoty měření je uveden v informativní části F.

2.3.2 Rozdíl teploty váhy, okolního vzduchu a závaží použitých pro kalibraci


Před vlastní kalibrací je nutno zajistit, aby teplota závaží, která mají být použita ke zkouškám, byla dostatečně přizpůsobena k teplotě váhy a okolnímu vzduchu. Rozdíl těchto teplot způsobuje proudění vzduchu v okolí závaží a tím parazitické síly, které mohou mít za následek změnu indikace. Tento efekt je označován jako vliv konvekce vzduchu. Pro minimalizaci tohoto efektu musí být závaží v blízkosti váhy dostatečnou dobu aklimatizována (temperována) tak, aby případná změna indikace v důsledku tohoto efektu byla zanedbatelná vůči požadované nejistotě nebo stanovenému specifickému parametru. Toto musí být důsledně dodržováno zvláště při použití závaží vyšších tříd přesnosti F1 a E2.

Pro účely tohoto postupu se vliv tohoto efektu posuzuje vůči maximálně dovolené chybě závaží pro danou třídu přesnosti podle OIML R 111. To znamená, že velikost změny indikace (zdánlivá změna hmotnosti), která je způsobena tímto efektem (konvekcí) je porovnávána s $1/3mpe$ pro danou třídu přesnosti závaží. Aby efekt konvekce neměl vliv na nejistotu prováděných zkoušek při kalibraci musí být splněno $\Delta m_{conv} \leq mpe/3$ respektive teplotní rozdíl ΔT způsobující Δm_{conv} musí být maximálně takový, aby platila tato úměra.

V tabulkách níže jsou uvedeny maximální rozdíly teplot ΔT pro splnění výše uvedené podmínky ($\Delta m_{conv} \leq mpe/3$) a závislosti rozdílu teplot ΔT a časů potřebných pro redukci tohoto rozdílu na nižší hodnotu. Maximální teplotní rozdíl mezi vahou (okolním vzduchem) a závažím (ΔT) je zde stanoven na 20 °C.

Všechny závislosti a způsoby zohlednění efektu konvekce jsou pro účely tohoto postupu převzaty z dokumentu „Change of the apparent mass of the weights arising from temperature difference“ publikovaného v časopisu Metrologia 36 (1999) p. 183 . 197, autor M. Glaeser. [8]


Třída přesnosti dle OIML R 111	E2	F1	F2	M1
m_N [kg]	ΔT [K]	ΔT [K]	ΔT [K]	ΔT [K]
50	4	12	> 20	> 20

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

20	3	7	> 20	> 20
10	3	10	> 20	> 20
5	3	10	> 20	> 20
2	1	9	> 20	> 20
1	1	7	> 20	> 20
0,5	1	6	> 20	> 20
0,2	1	5	> 20	> 20
0,1	1	4	> 20	> 20
0,05	1	6	> 20	> 20
0,02	2	10	> 20	> 20
0,01	3	15	> 20	> 20

Tabulka 2.3.2–1 Maximální teplotní rozdíly (ΔT) pro splnění podmínky $\Delta m_{conv} \leq mpe/3$

Z uvedené tabulky vyplývá, že při použití závaží tříd přesnosti F2 a horší je efekt konvekce zanedbatelný již při zajištění teplotního rozdílu ≤ 20 K. Dostatečné době aklimatizace závaží je však nutno věnovat zvýšenou pozornost u závaží F1 a E2.

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Čas [min] potřebný na dosažení ΔT z určité vyšší hodnoty ΔT								
	$\Delta T/K$							
m [kg]	20	15	10	7	5	3	2	1
50		149,9(154,2)	225,3(235,9)	212,4(226,9)	213,1(232,1)	347,9(388,7)	298,0(342,7)	555,8(664,1)
20		96,2(103,8)	144,0(158,6)	135,2(152,4)	135,0(155,6)	219,2(260,2)	186,6(228,9)	345,5(442,2)
10		68,3(76,8)	101,9(117,2)	95,3(112,4)	94,8(114,7)	153,3(191,5)	129,9(168,1)	239,1(324,0)
5		48,1(56,7)	71,6(86,4)	66,7(82,8)	66,1(84,3)	106,5(140,5)	89,7(123,1)	164,2(236,5)
2		30,0(37,8)	44,4(57,5)	41,2(54,9)	40,6(55,8)	65,0(92,8)	54,4(81,0)	98,8(155,0)
1		20,8(27,7)	30,7(42,1)	28,3(40,1)	27,8(40,7)	44,3(67,5)	37,0(58,8)	66,7(112,0)
0,5		14,3(20,2)	21,0(30,7)	19,3(29,2)	18,9(29,6)	30,0(48,9)	24,9(42,4)	44,7(80,5)
0,2		8,6(13,3)	12,6(20,1)	11,6(19,1)	11,3(19,2)	17,8(31,7)	14,6(27,3)	26,1(51,6)
0,1		5,8(9,6)	8,5(14,5)	7,8(13,7)	7,5(13,8)	11,8(22,6)	9,7(19,5)	17,2(36,6)
0,05		3,9(6,9)	5,7(10,4)	5,2(9,8)	5,0(9,9)	7,8(16,1)	6,4(13,8)	11,3(25,7)
0,02		2,3(4,4)	3,3(6,7)	3,0(6,3)	2,9(6,2)	4,5(10,2)	3,7(8,6)	6,4(16,0)
0,01		1,5(3,2)	2,2(4,7)	2,0(4,4)	1,9(4,4)	2,9(7,1)	2,4(6,0)	4,2(11,1)

Tabulka 2.3.2-2 Časové intervaly pro snížení teplotního rozdílu; hodnoty platí pro volně umístěná závaží, hodnoty v závorkách pro závaží umístěná pod skleněným krytem.

Příklad použití tabulky pro 1kg:

snížení ΔT z 20K na 15K představuje 20,8 min


snížení ΔT z 10K na 5K představuje 28,3 min + 27,8 min = 56,1 min

Pozn.: časové intervaly mohou být v praxi kratší, např. v případě uložení závaží na vodivou podložku nebo naopak delší, při uložení závaží v kazetách.

2.4 Příprava na kalibraci

Před vlastní kalibrací je nutno se přesvědčit zda jsou splněny následující podmínky:

- váha je jasně identifikovatelná,
- žádná z funkcí vah není ovlivněna znečištěním, poškozením a všechny funkce důležité pro kalibraci pracují správně,
- indikace výsledků vážení je jasně čitelná,
- jsou zajištěny normální provozní podmínky (např. proudění vzduchu, stabilita vážního místa atd.),
- váhy jsou připojeny dostatečně dlouho před provedením kalibrace ke zdroji energie (např. podle doporučení výrobce nebo uživatele),
- váhy jsou vyrovnány do vodorovné polohy (pokud je to vyžadováno),
- váhy byly před kalibrací předběžně zatíženy přibližně k horní mezi váživosti; u vah s Max > 100 kg přibližně k hranici Max/2.

	<p>České kalibrační sdružení</p>	<p>Slovinská 47, 61200 Brno</p>	<p>Počet listů 71 Počet příloh: 9</p>
---	--------------------------------------	-------------------------------------	---

- jsou k dispozici všechna potřebná etalonová závaží (podle 2.3.1) a další prostředky a zařízení
- etalonová závaží jsou dostatečnou dobu temperovány v místě kalibrace (podle 2.3.2)
- v případě použití náhradní zátěže je zajištěno, že tato zátěž splňuje podmínky v čl. 2.3.1.1.1.

2.4.1 Nastavení měřicího rozpětí (justáž váhy)

Váhy, které jsou v běžném provozu justovány uživatelem podle doporučení výrobce, se před kalibrací najustují (pokud není s uživatelem dohodnuto jinak). Justáž musí být provedena etalonovým závažím splňujícím podmínky 1.3, 2.3.1 a 2.3.2 nebo je použito vestavěné justážní zařízení váhy (pokud existuje). O provedené justáži a způsobu se provede záznam do protokolu z měření.

Část C

3 Dílčí části kalibrace a prováděné zkoušky

Kalibrace se skládá z dílčích částí uvedených v 3.1, 3.2. a 3.3.

3.1 Aplikování zkušebních zatížení za definovaných podmínek

Provádí se zkoušky specifikované v 3.4 (3.4.1, 3.4.2, 3.4.3).

Jako zkušebních zatížení se použijí závaží, která splňují požadavky 1.3 a 2.3.1 a 2.3.2 nebo závaží a náhradní zatížení. Předpokládá se, že hodnoty hmotností zkušebních zatížení jsou udávány v konvenční hmotnosti. Pro stanovení minimální třídy přesnosti zkušebního závaží se použije Tabulka 2.3.1 – 1. Obecně platí pravidlo, že nejistota zatížení použitého při kalibraci musí být kompatibilní vůči požadované výsledné nejistotě.

3.2 Vyhodnocení zkoušek a určení chyb indikací

Vyhodnotí se zkoušky uvedené v 3.4 (3.4.1, 3.4.2, 3.4.3) a vypočtou se chyby indikací. Při dodržení podmínek v 2.3.1 se při výpočtu použijí jmenovité hodnoty závaží.

3.3 Odhad nejistot měření vztahujících se k naměřeným výsledkům.


Identifikují se zdroje nejistot, určí se jejich příspěvky a významnost k výsledné nejistotě a určí se nejistoty pro jednotlivé vypočítané chyby indikací podle části D.

3.4 Zkoušky prováděné při kalibraci

Při kalibraci se v rámci 3.1 provádí následující zkoušky:

- zkouška opakovatelnosti;
- zkouška při excentrickém zatížení;
- zkouška pro určení chyb indikací

3.4.1 Zkouška opakovatelnosti

	České kalibrační sdržení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Zkouška spočívá v opakovaném ukládání stejného zatížení na nosič zatížení vah za stejných podmínek, alespoň v jednom, podle způsobu používání vah, významném bodě stupnice. Při použití náhradní zátěže se opakovatelnost zkouší v bodě, který odpovídá maximálnímu podílu závaží. Pro výběr zkušební zatížení u vah obecně platí:

$$0,5 \text{ Max} \leq L_T \leq \text{Max}$$

Pro počet provedených měření platí:

$$n \geq 5$$

U vah s $\text{Max} \geq 100 \text{ kg}$ lze tuto podmínku upravit na:

$$n \geq 3$$

1.1.1.1.1 3.4.1.1 Postup zkoušky

- Před zkouškou váhy nastavte na nulu.
- Proveďte nejméně 5 měření, pro zkušební zatížení $\geq 100 \text{ kg}$ nejméně 3 měření.
- Zatížení ukládejte centricky a bez rázu.
- Indikaci zaznamenávejte pro každé uložení zatížení.
- Po sejmutí zatížení vždy zkontrolujte, zda váhy indikují nulu. Pokud ne, musí být opětovně nastaveny na nulu.

3.4.1.2 Vyhodnocení zkoušky

Vypočte se standardní odchylka z n počtu výsledků vážení I_i pro danou zkušební zátěž L_T jako:

$$s(I) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}$$


přičemž

$$\bar{I} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n I_i$$

I_i se získá jako celé číslo násobené hodnotou dílku d a výsledky zkoušky se zaznamenají do protokolu o zkoušce.

V případě, že opakovatelnost je menší než hodnota jednoho dílku (vypočítaná směrodatná odchylka se rovná nule), považujeme v tomto případě za směrodatnou odchylku $d/3$.

3.4.2 Zkouška při excentrickém zatížení

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Zkouška se provádí umístováním zkušební zátěží L_{exc} na každý podpěrný bod. Jako zkušební zátěže se použijí etalonová závaží splňující podmínky, dané v 1.3, 2.3.1 a 2.3.2.

Jako zkušební zátěží L_{exc} se použije zátěží s hodnotou $Max/3$. Vezme se přitom v úvahu doporučení výrobce (je-li k dispozici) a omezení, která jsou daná konstrukcí váhy.

3.4.2.1 Postup zkoušky

Před zkouškou váhy nastavte na nulu.

- Zkušební zátěž umístěte postupně na každou pozici (podpěrný bod).
- Pro každou pozici zaznamenejte indikaci ($I_{L_{exc}}$)
- Před změnou pozice zkušební zátěž vždy sejměte a váhy znovu nastavte na nulu.
- Výsledky zkoušky zaznamenejte do protokolu o zkoušce

3.4.2.2 Vyhodnocení zkoušky

Z indikací I_i získaných v různých pozicích zátěží se vypočtou rozdíly mezi danou pozicí (podpěrou) a středem ΔI_{exc}

příčemž


$$\Delta I_{exc} = I_i - I_1$$

Indikace I_i se získá jako celé číslo násobené hodnotou dílku d , vyhodnotí se maximální rozdíl e_{exc} a zaznamená se do protokolu o zkoušce.

3.4.3 Zkouška pro určení chyb indikací

Účelem zkoušky je získat hodnoty chyb indikací z rozdílu mezi výsledkem vážení zkušební zátěží a jeho konvenčně pravou hodnotou nebo jmenovitou hodnotou, při vzrůstajícím zátěží. Zkouška se provádí s nejméně 5-ti odlišnými hodnotami zátěží rovnoměrně rozloženými v kalibrovaném rozsahu (pokud se kalibrovaný rozsah rovná vážicímu rozsahu váhy) nebo v dohodnutých individuálních bodech rozsahu vah. Pokud se kalibrový rozsah významně liší (je nižší) od vážicího rozsahu váhy, provede se zkouška s nejméně 3-mi zátěží rovnoměrně rozloženými v tomto rozsahu. Jako zkušební zátěže se použijí etalonová závaží splňující podmínky dané v 1.3, 2.3.1 a 2.3.2 nebo etalonová závaží a náhradní zátěž podle bodu 2.3.1.1.1.

Způsob zatěžování by měl co nejvíce odpovídat rutinní aplikaci vah v praxi, tzn. např. vážení oddělených zátěží, postupné zatěžování nebo odlehčování, použití táry atd.

	České kalibrační sdrůžení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

3.4.3.1 Postup zkoušky

- Nastavte váhy na nulu
- Aplikujte zkušební zatížení vzestupným způsobem. Zaznamenejte indikaci pro každé zatížení. V případě odlehčení vah zkontrolujte, zda váhy indikují nulu. Pokud ne, znovu váhy na nulu nastavte.
- Výsledky zkoušky zaznamenejte do protokolu o zkoušce

ČÁST D

4 Určení nejistot pro jednotlivé vypočítané chyby indikací (nejistoty měření při vlastní kalibraci)

Pro jednotlivé zkoušky provedené podle 3.4.1 a 3.4.2 a 3.4.3 se určí odpovídající dílčí nejistoty způsobem uvedeným níže.

4.1 Nejistota plynoucí z opakovatelnosti

Každý výsledek vážení je ovlivněn nejistotou způsobenou opakovatelností vážicího procesu. Tato nejistota, (u_{opak}) , je dána experimentální standardní odchylkou (s_I) několika výsledků vážení pro jednu hodnotu zkušebního zatížení aplikovaného za stejných podmínek. Je uvažováno normální rozdělení pravděpodobnosti a nejistota je získána následujícím vztahem:

$$(u_{opak})^2 = s_I^2 = \frac{\sum (I_i - \bar{I})^2}{n - 1}$$

kde s_I je vypočítáno podle 3.4.1.2.


V případě, že se hodnota vypočítané směrodatné odchylky (podle 3.4.1.2) rovná nule (je menší než hodnota nejmenšího zobrazovaného dílku) je nejistota opakovatelnosti vyjádřena jako:

$$u_{opak} = s_I$$

kde $s_I = d/3$

4.2 Nejistota plynoucí z vlivu excentrického zatížení

Rozdíly indikací získané při zkoušce excentrickým zatížením jsou proporcionální vzdálenosti zátěže od středu nosiče zatížení a hodnotě zatížení. Předpokládá se, že excentricita těžiště

	České kalibrační sdužení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

použité zkušební zátěže při zkoušce pro určení chyb indikací není větší než $\frac{1}{2}$ hodnoty při vlastní zkoušce prováděné podle 3.4.2. Nejistota vlivu excentricity v závislosti na zjištěném největším rozdílu při zkoušce podle 3.4.2 a při uvažování trojúhelníkového rozdělení pravděpodobnosti se tedy odhadne následovně:

$$u_{\text{exc}} = |I_i - I_1|_{\text{max}} / (2 \sqrt{6})$$

Pro dané zatížení, které odpovídá dané indikaci I_i , dostaneme odpovídající nejistotu z excentrického zatížení:

$$u_{\text{exc}} = (e_{\text{exc}} \cdot I_i) / (2 \cdot L_{\text{exc}} \cdot \sqrt{6})$$

kde e_{exc} je největší hodnota naměřené chyby excentricity v absolutní hodnotě.

Nejistota z excentrického zatížení v relativní formě:

$$u_{(\text{exc})\text{rel}} = (e_{\text{exc}}) / (2 \cdot L_{\text{exc}} \cdot \sqrt{6})$$

V případech, že se hodnota e_{exc} rovná nule, což je dáno tím, že $e_{\text{exc}} < d$ (ve většině případů vykazují váhy vždy jistou chybu excentricity, tato chyba však nemusí být v důsledku velikosti dílku indikovatelná) určí se nejistota vlivu excentricity jako:

$$u_{\text{exc}} = d/3$$

nebo v relativní formě:

$$u_{(\text{exc})\text{rel}} = (d/3) / L_{\text{exc}}$$

V případech kdy zkoušku excentrickým zatížením nelze provést (například u dávkovacích vah velké váživosti na kamenivo; u těchto vah může díky povaze dávkovaného materiálu v praxi docházet k excentrickému zatížení) se rovněž použije pro odhad nejistoty vztah výše.

4.3 Nejistota chyby ze okrouhlení při digitální indikaci


Odpovídající standardní nejistota se při uvažování rovnoměrného rozdělení pravděpodobnosti získá následovně:

Standardní nejistota při nulovém zatížení: $u_{d0} = d_0 / (2\sqrt{3})$

Standardní nejistota při zatížení: $u_{dI} = d_I / (2\sqrt{3})$

4.4 Nejistota plynoucí z vlivu teploty

Efekt vlivu teploty je závislý na následujících parametrech:

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

TC koeficient změny citlivosti váhy v závislosti na teplotě

a

(ΔT) teplotní rozdíl během kalibrace

Standardní nejistota vlivu teploty je pak při uvažování rovnoměrného rozdělení dána jako:

$$(u_T) = TC \cdot \frac{(\Delta T)}{\sqrt{12}} \cdot I$$

kde I je indikace váhy

Standardní nejistota vlivu teploty v relativní formě:

$$(u_T)_{\text{rel}} = TC \cdot \frac{(\Delta T)}{\sqrt{12}}$$

Koeficient TC se liší podle typu váhy a obvykle by měl být stanoven výrobcem (např. v manuálu váhy). Pokud tato informace od výrobce chybí, použijí se hodnoty uvedené v následující tabulce:


Počet dílků váhy n	koeficient změny citlivosti váhy v závislosti na teplotě ($^{\circ}\text{K}^{-1}$)
3 000	0,0001
5 000	0,00006
10 000	0,00003
50 000	0,00002
200 000	0,00001
500 000	0,000006
1 000 000	0,000003
10 000 000	0,0000003

Tabulka 4.4-1 Hodnoty teplotního koeficientu citlivosti C váhy podle počtu dílků

V případě vah certifikovaných vah podle OIML R 76-1[3] (ČSN EN 45501) se hodnoty v pravém sloupci tabulky 4.4-1 vynásobí 0,1.

Koeficient změny citlivosti v závislosti na teplotě je obecně specifikován jako:

$$TC = \Delta I(\text{Max}) / \Delta T$$

	České kalibrační sdrůžení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Koeficienty uvedené v tabulce 4.4-1 jsou odvozeny pro váhy mající rozsahy pracovních teplot uvedené v OIML R 76-1[3] podle následujícího předpokladu:

$$TC \leq mpe(Max)/(Max\Delta T)$$

kde ΔT je teplotní rozsah podle OIML R 76-1[3].

4.5 Nejistota plynoucí z vlivu použitých závaží u_{Et}

Standardní nejistota vlivu závaží se skládá ze dvou následujících složek:

$$u_{Et}^2 = u_c(Et)^2 + u_D(Et)^2$$

4.5.1 Standardní nejistota kalibrace etalonového závaží $u_c(Et)$

Etalonové závaží je použito ve smyslu jeho jmenovité hodnoty, m_N , pak:

$$u_c(Et) = mpe/\sqrt{3}$$

U závaží s $m_N \geq 0,1$ kg použijeme koeficient třídy přesnosti závaží $mpe = c_{class} m_N$, tedy

$$u_c(Et) = m_N c_{class} / \sqrt{3}$$

nebo v relativní formě

$$u_c(Et)_{rel} = mpe/m_N \sqrt{3}$$

$$u_c(Et)_{rel} = c_{class} / \sqrt{3}$$

Jestliže je pro zkušební zatížení použito více než jedno etalonové závaží, sčítají se jejich standardní nejistoty aritmeticky a nikoli jako suma čtverců.


4.5.2 Standardní nejistota dlouhodobé stability $u_D(Et)$

Hodnota dlouhodobé stability D (driftu) se buď vypočte ze dvou posledních, po sobě následujících hodnot stanovených kalibrací, a to jako absolutní hodnota rozdílu zjištěných korekcí jmenovité hodnoty. Není-li taková-to informace k dispozici, je třeba tuto hodnotu odhadnout z pohledu kvality závaží, četnosti a způsobu jejich používání, jako násobek jejich rozšířené nejistoty $U(m_c)$:

$$D = k_D U(m_c)$$

kde k_D se stanoví od 1 do 3 (v normálních případech se doporučuje použít $k_D = 1$)

Standardní nejistota dlouhodobé stability se pak při uvažování rovnoměrného rozdělení pravděpodobnosti vypočítá následovně:

	České kalibrační sdužení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

$$u_D(Et) = D/\sqrt{3}$$

nebo v relativní formě

$$u_{D(Et)_{rel}} = D_{rel} / \sqrt{3} = k_D U(m_c)_{rel} / \sqrt{3}$$

kde D je hodnota driftu konvenční hmotnosti závaží

$$D_{rel} = D/m_N$$

Protože je nejistota dlouhodobé stability etalonového závaží zahrnuta v mpe závaží pro danou třídu přesnosti, $D \leq mpe$ nebo $D \leq c_{class}$, není třeba v případě použití standardní nejistoty kalibrace závaží ve formě $u_c(Et) = mpe/\sqrt{3}$ uvažovat další složku ve výpočtu standardní nejistoty etalonového závaží u_{Et} , tedy:

$$u_{Et} = mpe/\sqrt{3}$$

4.5.3 Nejistota při použití náhradní zátěže

V důsledku vlivu opakovatelnosti a rozlišení vah s každým krokem při nahrazení etalonového zatížení náhradní zátěží vzrůstá nejistota celkového zkušebního zatížení podstatně více, než kdyby bylo zatížení tvořeno pouze etalonovým závažím. Tento fakt může významně ovlivnit celkovou nejistotu měření při kalibraci.

Při využití náhradního zatížení jsou kalibrované váhy použity jako komparátor k najustování náhradní zátěže L_{sub} tak, že způsobí přibližně stejnou indikaci I jako odpovídající zatížení L_{St} tvořené etalonovým závažím.

První zkušební zatížení L_{T1} tvořené etalonovým závažím m_{c1} je určeno jako:

$$I(L_{St}) = I(m_{c1})$$

Po odstranění L_{St} je položena náhradní zátěž L_{sub1} a najustována, tak aby způsobila přibližně stejnou indikaci:

$$I(L_{sub1}) \approx I(m_{c1})$$


takže

$$L_{sub1} = m_{c1} + I(L_{sub1}) - I(m_{c1}) = m_{c1} + \Delta I_1$$

Další zkušební zatížení L_{T2} je tvořeno přidáním m_{c1}

$$\bullet \quad L_{T2} = L_{sub1} + m_{c1} = 2 m_{c1} + \Delta I_1$$

m_{c1} je znovu nahrazeno náhradním zatížením $\approx L_{sub1}$ s najustováním na $\approx I(L_{T2})$.

	České kalibrační sdužení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Tento postup lze opakovat pro vytvoření zkušebních zatížení LT_3, \dots, LT_n :

$$\bullet \quad L_{Tn} = nm_{c1} + \Delta I_1 + \Delta I_2 + \dots + \Delta I_{n-1}$$

Hodnota L_{Tn} je vzata jako hodnota konvenční hmotnosti m_c zkušebního zatížení.

Nejistota plynoucí ze vztlaku vzduchu, která je obecně složkou nejistoty vlivu etalonových závaží, se pro účely tohoto postupu neuvažuje, protože je v případě vah s počtem dílků do 10 000 zanedbatelná.

Nejistota plynoucí z vlivu konvekce se při dodržení podmínek uvedených v 2.3.2 se rovněž neuvažuje.

Standardní nejistota zatížení při použití náhradního zatížení se vyjádří následovně:

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

n = počet zatížení

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

$u(I)$ = standardní nejistota indikace

Pozn.: standardní nejistota $u(I)$ musí být zahrnuta i v případě, že byla substituční zátěž najustována tak, že rozdíl indikace při zatížení etalonovým zatížením a substituční zátěží je nulový.

Tam kde je $u(I)$ v kalibrovaném rozsahu konstantní lze výše uvedený vztah zjednodušit následovně:

$$u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{C1}) + 2[(n-1)u^2(I)]$$

4.6 Kombinovaná standardní nejistota určení chyby indikace


Standardní nejistota chyby indikace se při uvažování komponentů uvedených v 4.1 až 4.5 se vypočítá následovně:

$$u(E_I)^2 = u_{\text{opak}}^2 + u_{d0}^2 + u_{dI}^2 + u_{\text{exc}}^2 + u_T^2 + u^2(L_{Tn})$$

nebo

$$u(E_I)^2 = u_{\text{opak}}^2 + u_{d0}^2 + u_{dI}^2 + [(u_{\text{exc}})_{\text{rel}}^2 + (u_T)_{\text{rel}}^2 + (u^2(L_{Tn}))_{\text{rel}}] \cdot I^2$$

Všechny vstupní hodnoty jsou považovány za nekorelované a kovariance se proto neuvažují.

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Protože v praxi jsou chyby v porovnání s indikací velmi malé nebo nulové, lze výše uvedený vztah vyjádřit jednoduchou rovnicí, která odráží skutečnost, že některé složky jsou absolutní, z fyzikální povahy, zatímco ostatní jsou úměrné indikaci:

$$u^2(E_I) = \alpha^2 + \beta^2 I^2$$

4.7 Rozšířená nejistota

$$U(E_I) = 2 \cdot u(E_I)$$

Pro rozšíření se použije koeficient rozšíření $k = 2$, který pro normální rozdělení pravděpodobnosti odpovídá přibližně pokrytí 95%.

Pro vyjádření rozšířené nejistoty v případech nízkého počtu opakovaných měření při zkoušce opakovatelnosti a pokud není známa tzv. společná *angl.* „pooled“ standardní odchylka vážícího procesu a nejistota vážícího procesu je dominantní komponentou v analýze nejistot, lze koeficient k vypočítat z t-rozdělení při předpokladu 95,5 % úrovně spolehlivosti a efektivních stupňů volnosti v_{eff} (vypočítaných z Welch-Satterthwaitova vzorce).

Koeficient pokrytí k , je pro různé efektivní stupně volnosti v_{eff} uveden v tabulce 1 níže. Jestliže lze předpokládat, že odhady nejistoty typu B jsou při nekonečných stupních volnosti konzervativní, má vzorec tvar:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u(E)^4}{\sum_i \frac{u_i^4}{v_i}}$$


kde $u(E)$ je kombinovaná standardní nejistota chyby, u_i jsou jednotlivé příspěvky nejistot ke standardní nejistotě, vzájemně nezávislé a v_i jsou počty stupňů volnosti jednotlivých příspěvků ke standardní nejistotě.

v_i je pro příspěvek nejistoty typu A (opakovatelnost) dán jako $v_i = n-1$ a pro příspěvky typu B při normálním a rovnoměrném rozdělení může být vzato $v_i \rightarrow \infty$.

Rovnice výše se pak dá přepsat na:

$$v_{\text{eff}} = \frac{u(E)^4}{\frac{u_{\text{rep}}^4}{v_{\text{rep}}}} = \frac{u(E)^4}{\frac{u_{\text{rep}}^4}{(n-1)}}$$

kde n je počet měření/vážení při zkoušce opakovatelnosti

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Koeficient pokrytí k pro různé efektivní stupně volnosti v_{eff} je pak získán z tabulky níže. Jestliže v_{eff} není celé číslo musí být převedeno na nejbližší nižší celé číslo.

Tabulka 1: Koeficient pokrytí k pro různé efektivní stupně volnosti v_{eff}

v_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	100	∞
k	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,03	2,00

4.7.1 Zaokrouhlování

Hodnota $U(E_1)$ se neudávají s přesností větší jak $0,1 d$. Pokud se hodnota nejistoty hmotnosti z praktických důvodů zaokrouhluje na celistvé násobky hodnoty dělení, dovoluje se pouze zaokrouhlování směrem nahoru. Při zaokrouhlování směrem dolů by nebyla zaručena hodnota pravděpodobnosti 95%.

ČÁST E

5 Určení globální nejistoty $u(v_w)$

Tato část postupu se zabývá určováním nejistot vah používaných za definovatelných podmínek a při započítání vlivů, které souvisí se samotnými vahami. Podmínky musí být definovány minimálně v následujících oblastech:

Použití justážního zařízení váhy
Provádění korekcí výsledku vážení
Teplotní podmínky při používání
excentricita těžiště váženého předmětu (materiálu)


Pro účely této části je indikace označována jako R (odečet váhy získaný při jejich použití).

5.1 Nejistota plynoucí z opakovatelnosti u_{opak}

Předpokládá se že při používání vah se pro určení výsledku vážení v určitém bodě rozsahu váhy použije jedno vážení. Nejistota z opakovatelnosti se tedy určí jako směrodatná odchylka jednoho měření:

$$(u_{\text{opak}})^2 = s_R^2 = \frac{\sum (I_i - \bar{I})^2}{n-1}$$

kde s_R je vypočítáno podle 3.4.1.2.

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

5.2 Nejistota plynoucí z digitální indikace u_d

Nejistota se určí podle 4.3 přičemž hodnota d_0 respektive d_R odpovídá hodnotě skutečného dílku váhy.

5.3 Nejistota plynoucí z vlivu excentrického zatížení u_{exc}

Nejistota se určí podle 4.2 přičemž se předpokládá, že excentricita těžiště váženého předmětu (materiálu) odpovídá excentricitě při zkoušce prováděné podle 3.4.2.

$$u_{exc} = |I_i - I_1|_{\max} / (\sqrt{6})$$

Pro dané zatížení, které odpovídá dané indikaci I_i , dostaneme odpovídající nejistotu z excentrického zatížení:

$$u_{exc} = (e_{exc} \cdot I_i) / (L_{exc} \cdot \sqrt{6})$$

nebo v relativní formě:

$$u_{(exc)rel} = (e_{exc}) / (L_{exc} \cdot \sqrt{6})$$

kde e_{exc} je největší hodnota naměřené chyby excentricity v absolutní hodnotě.

V případě, že se hodnota e_{exc} rovná nule, viz 4.2, a při předpokladu polohy těžiště viz výše, určí se nejistota vlivu excentricity jako:

$$u_{exc} = d/3$$

nebo v relativní formě:


$$u_{(exc)rel} = (d/3) / L_{exc}$$

5.3 Nejistota plynoucí z vlivu teploty u_T

Nejistota plynoucí z vlivu teploty se určí podle 4.4 přičemž za ΔT se dosadí teplotní rozdíl, který normálně nastává při používání váhy. Pokud není tato specifikace k dispozici, vypočte se tato hodnota z rozsahu pracovních teplot daných výrobcem váhy.

5.4 Nejistota plynoucí z vlivu změny hustoty vzduchu u_{vz}

Předpokládá se, že při vlastní kalibraci je vztlak vzduchu zohledněn v justážním faktoru (předpokládá se, že jsou váhy před kalibrací nejjustovány). Jestliže se hustota vzduchu při používání liší od hodnoty hustoty vzduchu při kalibraci, je třeba uvažovat nejistotu plynoucí ze zanedbání korekce z vlivu hustoty vzduchu. Standardní nejistota vlivu změny hustoty vzduchu se vyjádří jako:

	České kalibrační sdužení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

$$u_{vz} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho_0} \cdot R$$

Kde $\Delta\rho$ je rozdíl hustot vzduchu při používání a při kalibraci a

ρ_0 je rovna hodnotě $8000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Pozn.: Je-li váhy vybavena automatickým nebo poloautomatickým justážním zařízením používaným během provozu váhy, nebere se vliv hustoty vzduchu v potaz.

Předpokládá se, že při provádění kalibrace namísto používání váhy se hodnota hustoty vzduchu nebude příliš lišit od hodnoty při používání a z tohoto důvodu lze tento příspěvek při běžných kalibracích zanedbat. Podrobnější analýza bude třeba pouze u požadavku na extrémně nízkou nejistotu.

5.5 Nejistota plynoucí ze změny justážních parametrů v důsledku času a dalších faktorů používání u_{adj} .

Pro výpočet se použije největší rozdíl chyb zjištěných v blízkosti Max váhy mezi dvěma po sobě následujícími kalibracemi $\Delta E(\text{Max})$.

Tato hodnota je někdy specifikována výrobcem nebo u vah certifikovaných podle OIML R 76 [3] nebo ČSN EN 45501 [12] může být tato hodnota odhadnuta jako

$$\Delta E(\text{Max}) = mpe(\text{Max})$$

Pokud není tato informace k dispozici, odhadne se tato hodnota z pohledu kvality váhy, četnosti a způsobu jejího používání, jako násobek jejich rozšířené nejistoty $U(E_I)$:


$$\Delta E(\text{Max}) = k_{\Delta E(\text{Max})} U(E_I)$$

kde $k_{\Delta E(\text{Max})}$ se stanoví od 1 do 3 (v normálních případech se doporučuje použít $k_{\Delta E(\text{Max})} = 1$)

Relativní nejistota je při předpokladu rovnoměrného rozdělení pravděpodobnosti získána jako:

$$u(\text{adj})_{\text{rel}} = \left| \Delta E(\text{Max}) \right| / (\text{Max}\sqrt{3})$$

Pozn.: U vah, které používají při činnosti justážní zařízení se tento vliv neuvažuje.

	České kalibrační sdužení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

5.6 Celková nejistota vah při používání za podmínek kalibrace (v kalibrovaných bodech)

$$u(v_u)^2 = u^2_{\text{opak}} + u^2_{d0} + u^2_{dI} + u^2_{EI}$$

5.6.1 Celková nejistota vah při používání za jiných podmínek (v kalibrovaných bodech)

$$u(v_u)^2 = u^2_{\text{opak}} + u^2_{d0} + u^2_{dI} + u^2_{EI} + [(u_{\text{adj}})_{\text{rel}}^2 + (u_{\text{T}})_{\text{rel}}^2 + (u_{\text{exc}})_{\text{rel}}^2 + (u_{\text{vz}})_{\text{rel}}^2] \cdot R^2$$

nebo

$$u(v_u)^2 = \alpha^2 + \beta^2 R^2$$

kde α^2 představuje sumu čtverců absolutních standardních nejistot a β^2 relativních standardních nejistot uvedených ve vztahu výše.

5.6.2 Celková nejistota vah při používání v jiných bodech rozsahu

5.6.2.1 Jsou prováděny odpovídající korekce

Při zkouškách prováděných při kalibraci jsou určeny chyby indikací v omezeném počtu definovaných bodů vážícího rozsahu váhy. Hodnoty chyb v ostatních bodech v závislosti na zatížení lze pak získat použitím metod interpolace nebo aproximace. Předpokládáme, že při správném používání váhy je její nelinearita velmi malá a použijeme tedy lineární interpolaci nebo aproximaci pomocí přímky.

5.6.2.1.1 Aproximace pomocí přímky procházející středem

Předpokládáme, že při správné funkci, při vzrůstajícím zatížení, indikují nezatížené váhy nulu.

rovnice přímky:
$$E(R) = f(R) = a_1 R$$

kde:
$$a_1 = \Sigma p I E / \Sigma p I^2$$

$$u^2(a_1) = 1 / \Sigma p I^2$$


p je váhový faktor $p = 1/u^2(E_I)$

Nejistota chyby v aproximovaném bodě:

$$u^2(E_{\text{aprox}}) = a_1^2 u^2(R) + R^2 u^2(a_1)$$

kde R je indikace váhy v daném bodě rozsahu

a
$$u^2(R) = d_0^2/12 + d_1^2/12 + s^2(I)$$

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

$$u(v_u)^2 = u_{\text{opak}}^2 + u_{\text{d0}}^2 + u_{\text{dI}}^2 + u^2(E_{\text{aprox}}) + [(u_{\text{adj}})_{\text{rel}}^2 + (u_{\text{T}})_{\text{rel}}^2 + (u_{\text{exc}})_{\text{rel}}^2 + (u_{\text{vz}})_{\text{rel}}^2] \cdot R^2$$

nebo

$$u(v_u)^2 = \alpha^2 + \beta^2 R^2$$

kde α^2 představuje sumu čtverců absolutních standardních nejistot a β^2 relativních standardních nejistot uvedených ve vztahu výše.

5.6.2.2 Nejsou prováděny korekce

V tomto případě jsou chyby indikace zahrnuty v celkové rozšířené nejistotě, která je definována jako tzv. globální nejistota. K celkové rozšířené nejistotě se jednostranně přičte chyba zjištěná při kalibraci E_1 v absolutní hodnotě (v případě, že se jedná o stejný bod rozsahu jako při kalibraci) nebo chyba zjištěná aproximací podle 5.6.2 E_{aprox} v absolutní hodnotě nebo se pro definování chyb v celém rozsahu použije maximální hodnota chyby $(E_1)_{\text{max}}$ zjištěná při kalibraci v absolutní hodnotě. Vztah pro $u(v_u)$ (viz výše) se vybere podle přijatých podmínek.

$$U(v_u) = k u(v_u) + |E_1|$$

nebo

$$U(v_u) = k u(v_u) + |E_{\text{aprox}}|$$

nebo

$$U(v_u) = k u(v_u) + |(E_1)_{\text{max}}|$$

Pro zjednodušení může být použito následujícího vztahu:


$$U(v_u) = U_{(0)} + \{[U_{(\text{Max})} - U_{(0)}]/\text{Max}\} \cdot R$$

kde $U_{(0)}$ je rozšířená nejistota při nulovém zatížení a $U_{(\text{Max})}$ je rozšířená nejistota při Max .

5.7 Celková a rozšířená nejistota váhy při používání

$$U(v_u) = 2 u(v_u)$$

Pro rozšíření se použije koeficient rozšíření $k = 2$, který pro normální rozdělení pravděpodobnosti odpovídá přibližně pokrytí 95%.

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

ČÁST F - informativní

podíl závaží	Max/L= n	Nejistota zátěže	Nejistota kalibrace	Nejistota vážení	Globální nejistota
100	n = 50	31,7	63,7	64	69
200	n = 25	21,9	44,25	44,68	49,68
300	n = 16,6	17,61	35,78	36,32	41,32
400	n = 12,5	15,06	30,76	31,38	36,38
500	n = 10	13,31	27,34	28,03	33,03
600	n = 8,33	12	24,8	25,57	30,57
700	n = 7,14	10,98	22,82	23,67	28,67
800	n = 6,25	10,14	21,22	22,12	27,12
900	n = 5,55	9,45	19,89	20,84	25,84
1000	n = 5	8,49	18,76	19,77	24,77
1500	n = 3,3	6,75	14,87	16,13	21,13
2000	n = 2,5	5,41	12,49	13,96	18,96
3000	n = 1,6	3,61	9,54	11,4	16,4
4000	n = 1,25	2,21	7,65	9,87	14,87
5000	n = 1	0,14	6,24	8,82	13,82

Vliv podílu závaží respektive náhradní zátěže na nejistoty (při Max = 5000 kg)

Pozn.: parametr „n“ představuje počet nahrazení závaží.

V tabulce lze sledovat závislost podílu náhradní zátěže na nejistotě zátěže, nejistotě vlastní kalibrace, nejistotě vážení respektive používání měřidla a tzv. globální nejistotě, která v sobě jednostranně zahrnuje největší naměřenou chybu měřidla při kalibraci.


Nejistota vážení byla vyjádřena podle vztahu:

$$u(W)^2 = u_{\text{opak}}^2 + u_{\text{d0}}^2 + u_{\text{dI}}^2 + u_{\text{EI}}^2 + [(u_{\text{adj}})_{\text{rel}}^2 + (u_{\text{exc}})_{\text{rel}}^2] \cdot R^2$$

respektive

$$u(W)^2 = \alpha^2 + \beta^2 R^2$$

kde α^2 představuje sumu čtverců absolutních standardních nejistot a β^2 relativních standardních nejistot uvedených ve vztahu výše.

	České kalibrační sdrůžení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

R je odečet váhy

Nejistota zátěže je dána jako:

$$u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{c1}) + 2[(n-1)u^2(I)]$$

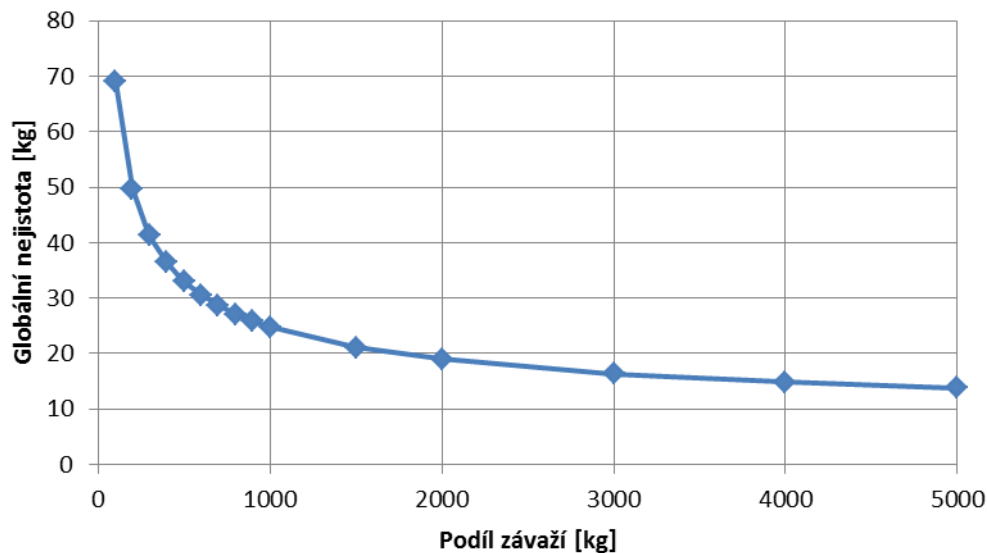
Globální nejistota je definovaná jako nejistota, která v sobě jednostranně zahrnuje největší naměřenou chybu měřidla při kalibraci.

$$U_{gl}(W) = ku(W) + |E^0|$$


kde:

$u(W)$ je nejistota vážení

Závislost na nejistotách lze pro názornost shrnout do přehledných grafů.



Závislost velikosti globální nejistoty při maximální hodnotě zatížení na podílu závaží (Max váhy = 5000 kg)

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Z grafu je dobře patrné, že globální nejistoty významně roste, jestliže je podíl závaží menší než 1/5 maximální váživosti měřidla.

Pro generování následující tabulky byl zvolen následující vztah pro vyjádření nejistoty:

$$U(W) = U_{(0)} + \{[U_{(Max)} - U_{(0)}]/Max\} \cdot R$$

kde $U_{(0)}$ je rozšířená nejistota při nulovém zatížení a $U_{(Max)}$ je rozšířená nejistota při Max .

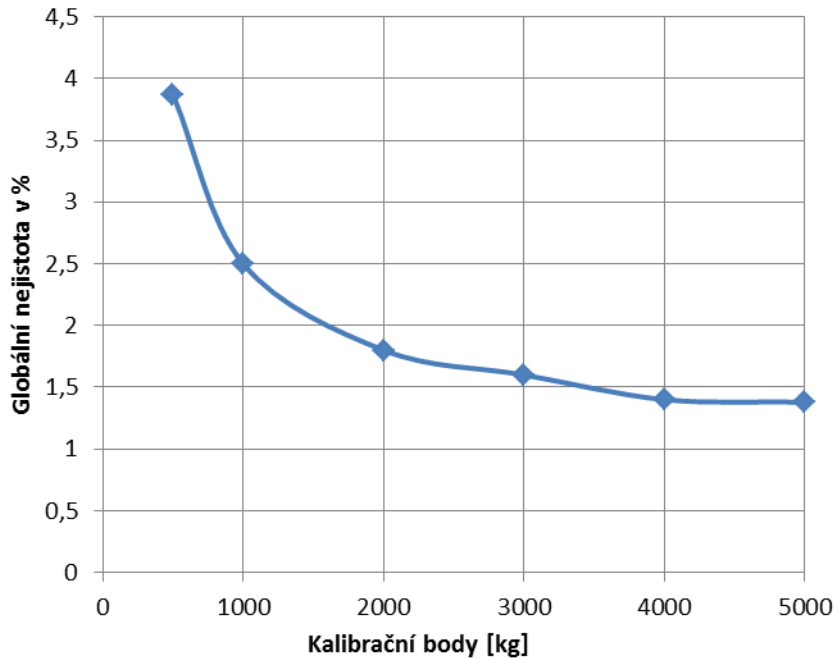
podíl závaží (kg)	Globální nejistota aprox.	Relativní globální nejistota [%] pro Max = 5000 kg
100	8,82kg + 0,011 x R	1,38
200	8,82kg + 0,0072 x R	1
300	8,82kg + 0,0055 x R	0,8
400	8,82kg + 0,00451 x R	0,7
500	8,82kg + 0,00384 x R	0,66
600	8,82kg + 0,0034 x R	0,6
700	8,82kg + 0,00297 x R	0,57
800	8,82kg + 0,0027 x R	0,54
900	8,82kg + 0,0024 x R	0,51
1000	8,82kg + 0,0022 x R	0,5
1500	8,82kg + 0,00146 x R	0,4
2000	8,82kg + 0,00103 x R	0,37
3000	8,82kg + 0,00051 x R	0,32
4000	8,82kg + 0,00021 x R	0,3
5000	8,82kg + 8.10-7 x R	0,27

Pozn.: Ve druhém sloupci je globální nejistota vyjádřená jako lineární funkce

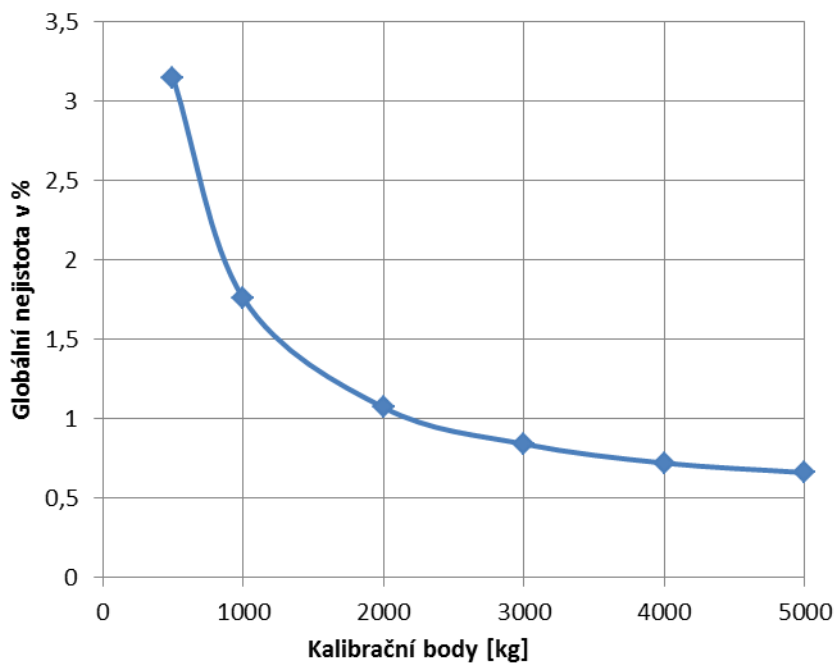
Vliv podílu závaží respektive náhradní zátěže na globální nejistotu vyjádřenou v % pro různé kalibrované body lze vyjádřit následující tabulkou:

podíl závaží/kalibrovaný bod	100kg	500kg	1000kg	1500kg	2000kg	3000kg	4000kg	5000kg
500	3,87	3,15	2,9	2,9	2,8	2,8	2,8	2,8
1000	2,5	1,76	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4
2000	1,8	1,07	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7
3000	1,6	0,84	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
4000	1,4	0,72	0,6	0,5	0,4	0,4	0,36	0,34
5000	1,38	0,66	0,5	0,4	0,37	0,32	0,3	0,27

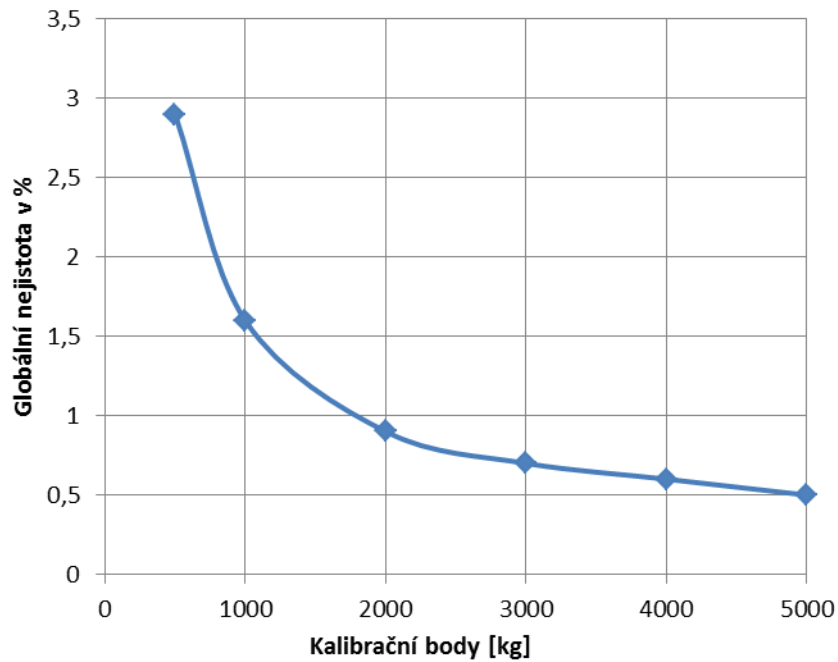
Graficky lze tyto závislosti popsat následovně:



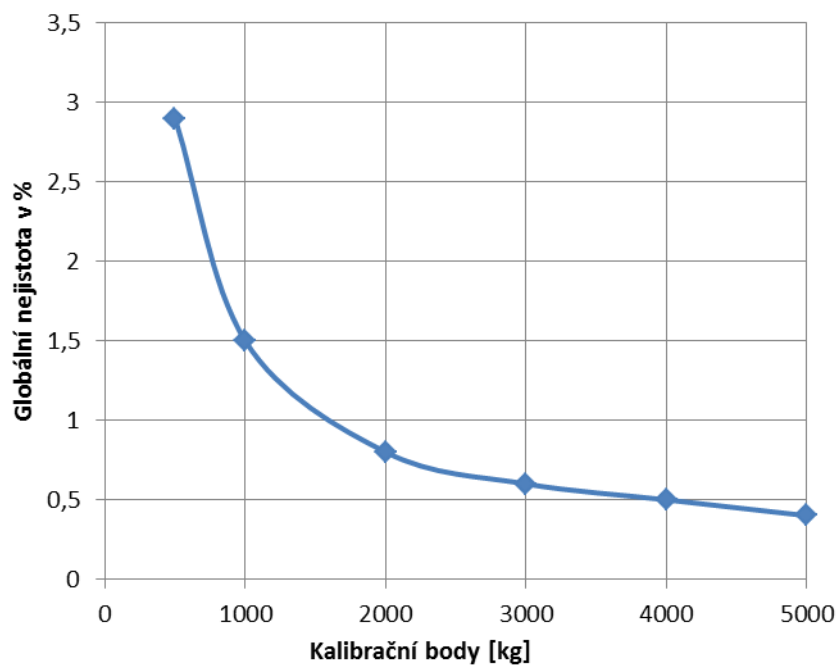
Globální nejistota v % při podílu závaží 100kg (Max váhy = 5000kg)



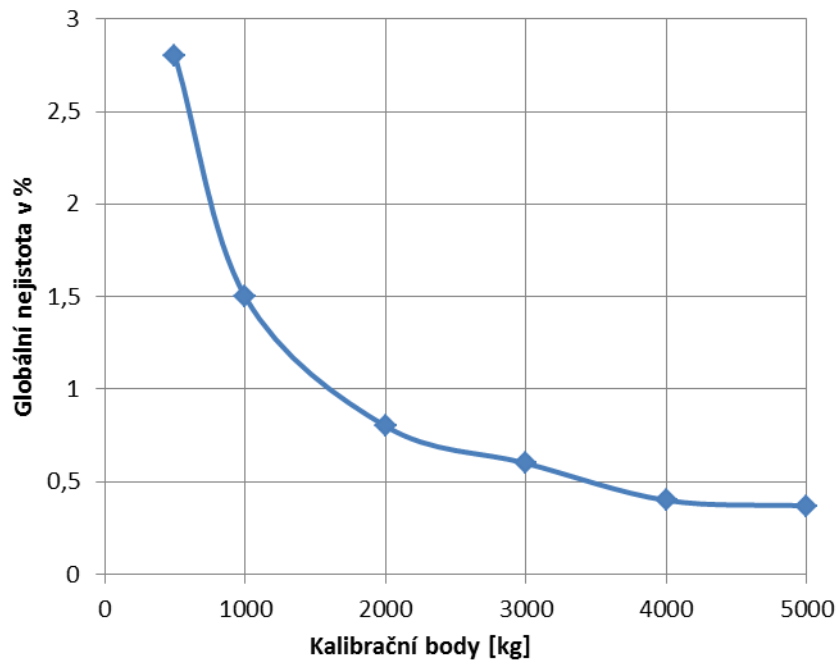
Globální nejistota v % při podílu závaží 500kg (Max váhy = 5000kg)



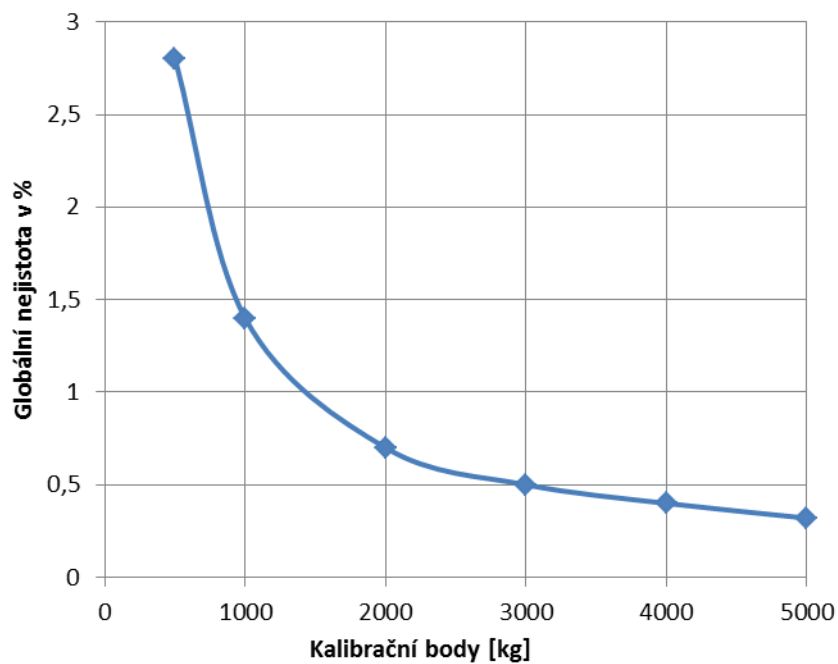
Globální nejistota v % při podílu závaží 1000kg (Max váhy = 5000kg)



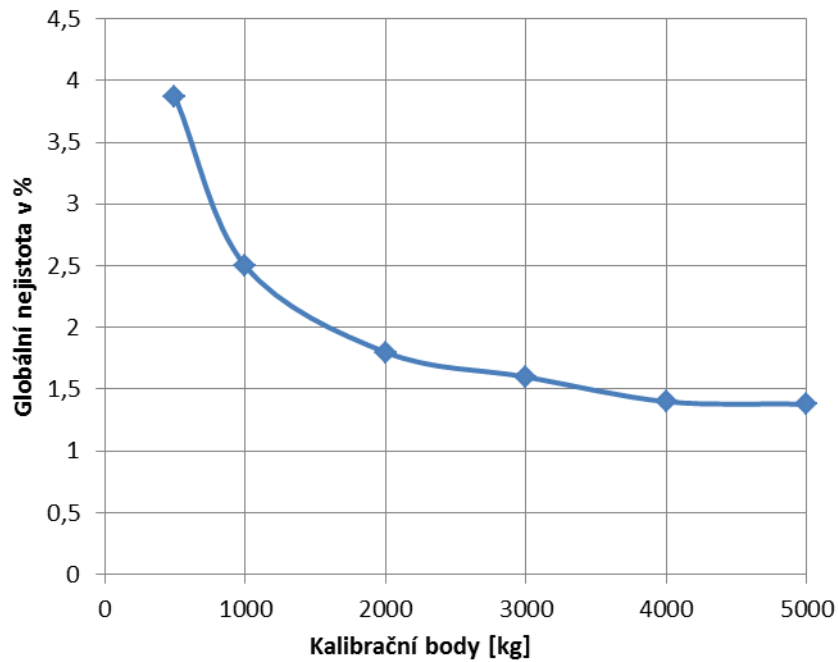
Globální nejistota v % při podílu závaží 1500kg (Max váhy = 5000kg)



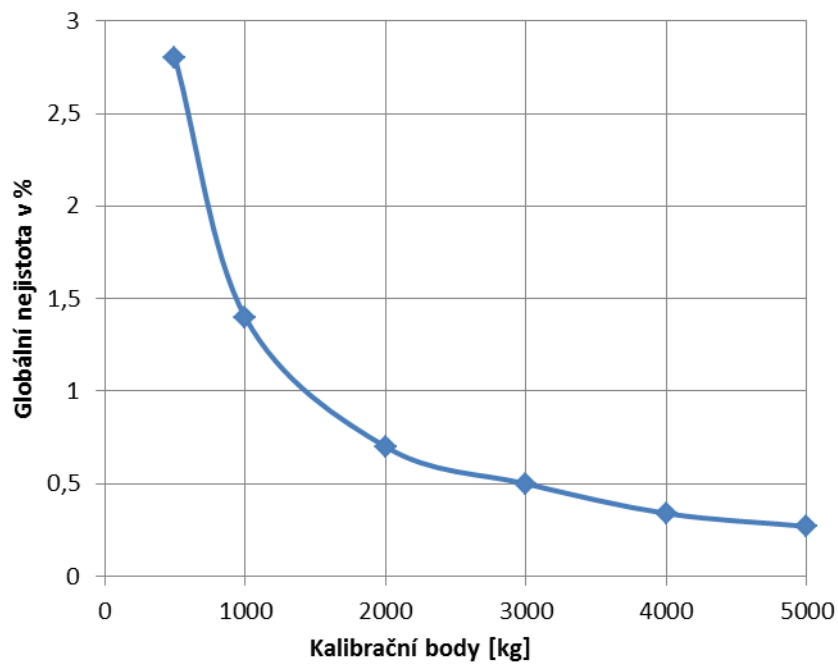
Globální nejistota v % při podílu závaží 2000kg (Max váhy = 5000kg)



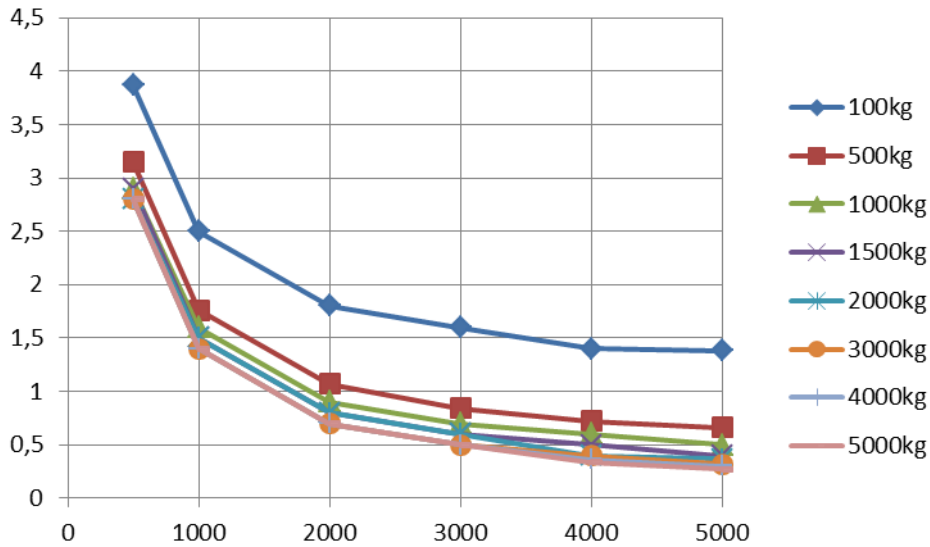
Globální nejistota v % při podílu závaží 3000kg (Max váhy = 5000kg)



Globální nejistota v % při podílu závaží 4000kg (Max váhy = 5000kg)



Globální nejistota v % při podílu závaží 5000kg (Max váhy = 5000kg)



Souhrnný graf - Globální nejistota v % při různém podílu závaží (Max váhy = 5000kg)
Pozn.: na ose x jsou uvedeny kalibrační body a na ose y je globální nejistota v %.

Z grafu je dobře patrná závislost podílu náhradní zátěže na relativní nejistotě. Lze z toho odvodit, že podíl etalonových závaží by mě činit minimálně 1/5 maximální váživosti vah.

Způsob určení hodnot CMC a rozsahu měření v závislosti na množství použité náhradní zátěže

Pro to, aby kalibrace vah při použití určitého podílu náhradní zátěže mohly být akreditovány, je třeba přijmout určitá omezující pravidla. Tato pravidla je třeba přijmout proto, aby například hodnoty CMC byly určeny jednotným a transparentním způsobem.

Popis pravidel

Pravidlo č. 1


Podíl etalonové zátěže $\geq 1/5$ Max

Podíl etalonového závaží použitého ke kalibraci musí být minimálně roven 1/5 Maximální váživosti vah nebo rozsahu kalibrace dohodnutého s uživatelem.

Pozn.: Toto pravidlo zajišťuje, aby celková nejistota zatížení nebyla větší než 10ti násobek nejistoty při použití etalonového závaží

Pravidlo č. 2

Metodu kalibrace s použitím náhradního zatížení lze použít u vah s Max ≥ 10000 kg

	České kalibrační sdužení	Slovinská 47, 61200 Brno	Počet listů 71 Počet příloh: 9
---	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------------

Laboratoř provádějící kalibraci pomocí substituční zátěže musí vlastnit etalonová závaží jejichž celková jmenovitá hmotnost se rovná minimálně 1/5 celkového kalibrovaného rozsahu.

Pozn.: Toto pravidlo zajišťuje určitý minimální požadavek na vybavenost kalibrační laboratoře etalonovým závažím.

Pravidlo č. 3

Při deklarování hodnoty CMC musí být v poznámce jednoznačně identifikováno, že se jedná o metodu s použitím náhradní zátěže.

Pravidlo č. 4

Hodnota CMC se vypočte ze vztahu

$$CMC = 2 \cdot u(L_{Tn})$$

kde $u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{e1}) + 2[(n-1)u^2(I)]$

kde $u(m_{e1})$ je nejistota použité etalonové zátěže

n je počet nahrazení ($n = \text{Max}/L$)

$u(I)$ je nejistota indikace odhadnuta z velikosti dílku váhy