



ČESKÉ KALIBRAČNÍ SDRUŽENÍ

Slovinská 47, 612 00 Brno

Revize kalibračních postupů pro váhy s neautomatickou činností

s počtem dílků do 10 000

REVIZE BYLA ZPRACOVÁNA A FINANCOVÁNA V RÁMCI PLÁNU STANDARDIZACE
PROGRAM ROZVOJE METROLOGIE 2011

Číslo úkolu: **VII/8/11**

Název úkolu: **Revize kalibračních postupů pro váhy s neautomatickou činností**

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

Řešitel: **České kalibrační sdružení**

Neprodejné - Metodika je k dispozici k volnému využití, nesmí však být využita ke komerčním účelům. Zveřejnění na stránkách ČKS bylo schváleno odborem metrologie ÚNMZ

Revize se týká čl. 4.7 a v textu je barevně zvýrazněna

Prosinec 2011

Část A

Účel postupu – úvodní poznámka

Tento postup byl vytvořen jako dokument napomáhající harmonizaci v oblasti kalibrací vah s neautomatickou činností, která je nutná z důvodu vzrůstající poptávky po confirmaci metrologické kvality pomocí kalibrací. Postup slouží kalibračním laboratořím a ostatním subjektů provádějících kalibraci vah s neautomatickou činností. Postup obsahuje jednotné minimální požadavky, nezbytné metody zkoušení, způsoby určování nejistot měření a nakládání s nimi, reflektující současné trendy a poznatky v oboru měření hmotnosti. Může být proto 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.

Tento postup byl validován. Protokol o validaci je uložen na sekretariátu Českého kalibračního sdružení.

1 Rozsah postupu

Tento postup se použije pro statickou kalibraci jedno^(*) a vícerozsahových elektronických vah s neautomatickou činností s automatickou digitální indikací, které splňují definici pro váhy s neautomatickou činností a další relevantní definice dané v OIML R76-1 [3] (dále jen váhy). Použití postupu pro jiné druhy vah může vést k chybným výsledkům. Postup přednostně předpokládá použití etalonových závaží, se zajištěnou a dokumentovanou metrologickou návazností, v celém vážicím nebo dohodnutém rozsahu, nicméně v případech kde to není možné, zejména u vah s vysokou hodnotou Maximální váživosti, lze použít i jakékoliv jiné zatížení, které splňuje podmínky uvedené v čl. 2.3.3 pro náhradní zátěž. V tomto případě však musí vzít kalibrační laboratoř v potaz skutečnost, že při použití náhradní zátěže významně narůstá nejistota celkového zatížení než při použití zatížení

tvořeného výhradně z etalonových závaží. Použití náhradní zátěže společně s etalonovým závažím se proto doporučuje pouze v odůvodněných případech (vysoká maximální váživost kalibrovaných vah nebo nemožnost použití etalonových závaží do Max z důvodu konstrukce vah). Postup specifikuje zejména prováděná měření, výpočet výsledků měření, určení nejistot měření a způsob uvádění výsledků měření. V kapitolách vyjadřování nejistot jsou obsaženy postupy vyjadřování nejistot při vlastní kalibraci a postupy vyjadřování nejistot vah při používání.

(*) Pod jednorozsahové váhy spadají rovněž váhy s vícenásobným rozsahem.

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.

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), jež má stejnou hodnotu jako vybraná hodnota vážícího rozsahu. Indikace vztahující se ke zkušebnímu zatížení, tedy výsledek vážení, x , 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, nicméně, postup obsahuje rovněž pravidla pro odvození chyb indikací a jím příslušných nejistot, které se mohou objevit za definovaných podmínek používání vah uživatelem viz část D.

1.2 Rozsah kalibrace

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. U vah s více rozsahy se na každý vážící rozsah aplikuje kalibrační postup odděleně. Postup v části C specifikuje

minimální rozsah zkoušek prováděných při kalibraci, který se použije, když nedojde k dohodě kalibrační laboratoře o odlišné specifikaci rozsahu kalibrace se zákazníkem/uživatelé.

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 a měření relativní vlhkosti). V případě použití náhradní zátěže musí tato zátěž splňovat podmínky uvedené v čl. 2.3.3.

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 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.)

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] Specific requirements relating to the calibration of non-automatic weighing instruments, Cofrac Dokument No. 2089 (vydání říjen 2000)
- [12] **Česká norma ČSN EN 45501+AC: Metrologické aspekty vah s neautomatickou činností (vydání srpen 1995)**
- [13] **MPA 30-02-08: Návaznost měřidel a výsledků měření (vydání 2008)**
- [14] 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 použítá 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.

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
C	teplotní koeficient váhy	K ⁻¹
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	

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, naklonění nosiče břemene, proudění vzduchu apod. jsou již zahrnuty v nejistotě měření.

Uživatel vah by měl být upozorněn na skutečnost, že váhy nemohou být přemístěny po kalibraci do jiného místa bez toho, aniž by se zohlednily následující možné vlivy:

- rozdíl tíhového zrychlení,
- změna okolních podmínek,
- mechanické a teplotní podmínky při převozu vah.

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
- Teploměr a příložený teploměr pro zjišťování teploty okolního vzduchu a závaží s dělením ≤ 0.5 °C.
- Vlhkoměr s dělením $\leq 5\%$
- Prostředky pro manipulaci se závažím (např. laboratorní rukavice, speciální držáky apod.)
- Čistící prostředky (štetec, bezprašné utěrky apod.)

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.

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

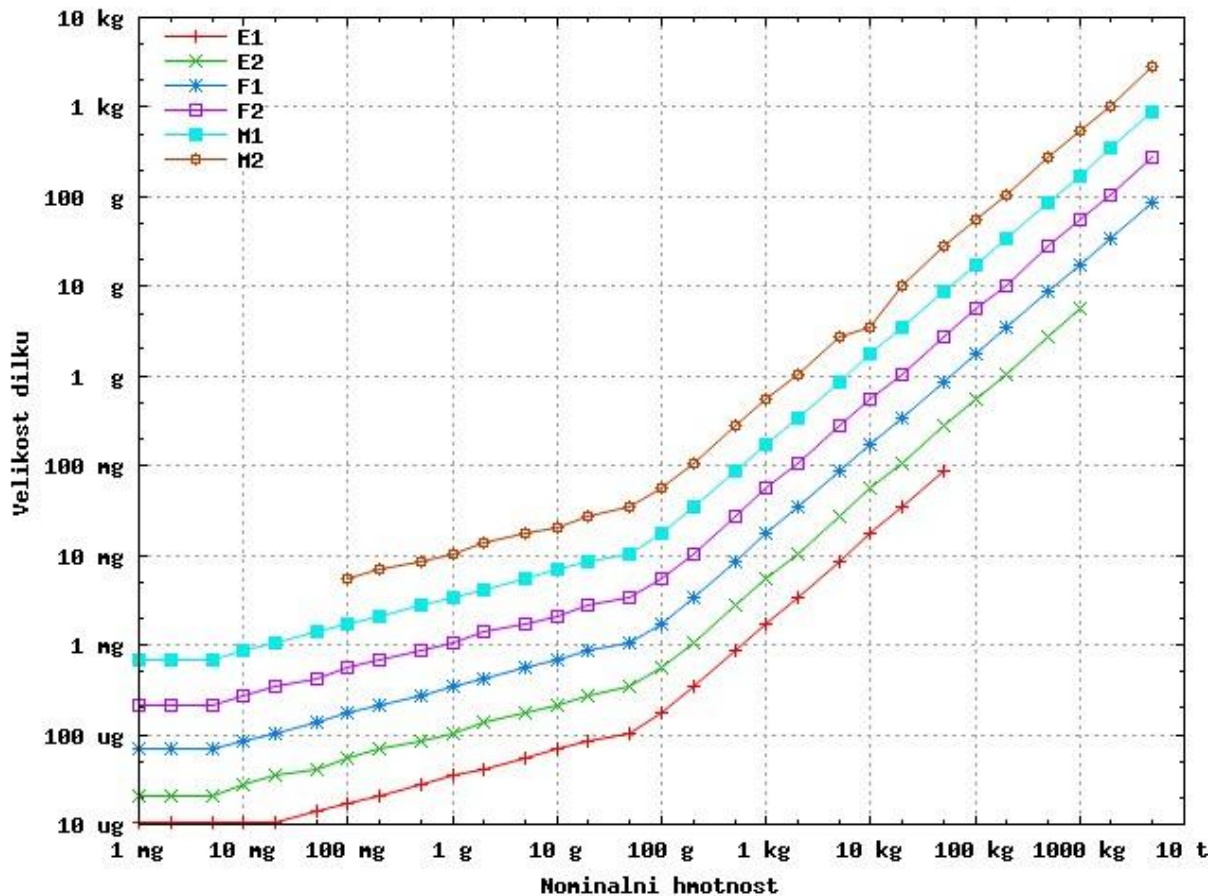
E1	0,5
E2	1,6
F1	5
F2	16
M1	50
M2	160

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

Tabulka 2.3.1 – 2

U závaží o jmenovitých hodnotách 2×10^n v případech tříd podle OIML R111 E2, F2 a M2 je nutno postupně nahradit $c_{\text{class}} = mpe/m_n \times 10^6$ **1, 5, 15 a 150**.

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



Graf 1

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.*

2.3.2 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.

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 ($\Delta m_{\text{conv}} \leq mpe/3$) a závislosti rozdílu teplot ΔT a časů potřebných pro redukcí 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
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 $\Delta m_{\text{conv}} \leq mpe/3$

Z uvedené tabulky vyplývá, že při použití závaží tříd přesnosti F2 a horší je efekt konvekce zanedbatelný již při zajištění teplotního rozdílu ≤ 20 K.

Čas [min] potřebný na dosažení ΔT z určité vyšší hodnoty ΔT								
m [kg]	$\Delta T/K$							
	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.

2.3.3 Náhradní zátěž

Při použití náhradní zátěže musí být pro tuto zátěž splněny následující podmínky:

1. tvar, materiál a složení by mělo umožňovat snadnou manipulaci
2. tvar, materiál a složení by mělo umožňovat snadný odhad polohy těžiště
3. hmotnost musí být po dobu použití při kalibraci konstantní
4. hustoty zátěže by měla být snadno odhadnutelná
5. použití zátěže o nízké hustotě (např. kontejnery naplněné pískem nebo šterkem) může vyžadovat zvláštní posouzení nejistoty plynoucí z korekce na vztlak vzduchu

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 $Max/2$.
- 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)

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. 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 respektive Graf 1. Obecně platí pravidlo, že nejistota závaží 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, kromě případu uvedeného v posledním řádku Tabulky 2.3.1 – 1, kde se použijí hodnoty konvenční hmotnosti zkušebních závaží z kalibračního listu.

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, 4.

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

Zkouška spočívá v opakovaném centrickém ukládání stejného zatížení na nosič zatížení vah za stejných podmínek, alespoň v jednom, podle způsobu používání vah, významném bodě stupnice nebo v polovině kalibrovaného rozsahu dohodnutého s uživatelem. Pokud tento bod nelze určit a ani není bod (body) stupnice pro tuto zkoušku dohodnut(y) s uživatelem, vybere se velikost zatížení podle hodnoty Max vah. Pro výběr zkušební zatížení u vah s jednou hodnotou dílku pak 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:

$$n \geq 3$$

Pro váhy s vícenásobným rozsahem se vybere zatížení, jehož hodnota je blízká Max_1 . Jako zkušební zátěže se ve všech případech použijí etalonová závaží splňující podmínky dané v paragrafu 1.3, 2.3.1 a 2.3.2, přičemž počet kusů závaží musí být pokud možno co nejmenší.

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.

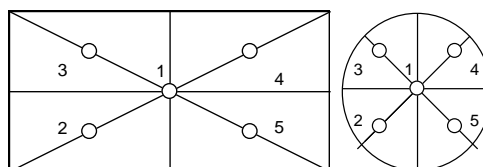
V případě, že opakovatelnost je menší než hodnota jednoho dílku (vypočítaná směrodatná odchylka se rovná nule), považujeme v tomto případě za směrodatnou odchylku $d/3$.

3.4.2 Zkouška při excentrickém zatížení

Zkouška se provádí umístováním zkušebního zatížení L_{exc} na různá místa nosiče zatížení takovým způsobem, aby těžiště zkušebního zatížení bylo umístěno podle níže uvedeného schématu nebo co možná nejvíce obdobným způsobem. Jako zkušební zátěže se použijí etalonová závaží splňující podmínky dané v 1.3, 2.3.1 a 2.3.2.

Zkušební zatížení se ukládá na vyznačené pozice. Vyznačené pozice udávají polohu těžiště příslušného zatížení při jednotlivých měřeních.

1. Střed
2. vlevo vpředu
3. vlevo vzadu
4. vpravo vzadu
5. vpravo vpředu



Jako zkušební zatížení L_{exc} se použije zatížení s hodnotou $Max/3$. Vezme se přitom v úvahu doporučení výrobce (je-li k dispozici) a omezení, která jsou daná konstrukcí váhy, např. nosiče zatížení s více než čtyřmi podpěrami (viz [3]). U vah kde z důvodu konstrukce nemůže dojít k excentrickému zatížení (zavěšená miska, váhy využívající speciální zařízení na vycentrování zátěže, váhy s násypkou apod.) se tato zkouška neprovádí.

3.4.2.1 Postup zkoušky

Před zkouškou váhy nastavte na nulu.

- Zkušební zátěž umístěte na pozici 1 a pak postupně přesunujte až do pozice 5.
- 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

Pozn.: Zkoušku lze provést i využitím tárovacího zařízení váhy, kdy po uložení zkušebního zatížení na pozici 1 váhy vytárujeme a postupně odečítáme jednotlivé odchylky od polohy 1.

3.4.2.2 Vyhodnocení zkoušky

Z indikací I_i získaných v různých pozicích zatížení se vypočtou rozdíly mezi danou pozicí a středem ΔI_{exc}

přičemž

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

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 zkušebního závaží a jeho konvenčně pravou hodnotou nebo jmenovitou hodnotou, při vzrůstajícím zatížení. Zkouška se provádí s nejméně 5-ti odlišnými hodnotami zatížení 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 zatíženími 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.

Níže uvedený postup se soustředí na způsob zatěžování s použitím oddělených zátěží (po každém sejmutí zátěže jsou váhy nastaveny na nulu), nicméně způsob zatěžování by měl co nejvíce odpovídat rutinní aplikaci vah v praxi, tzn. např. vážení oddělených zátěží, postupné zatěžování nebo odlehčování, použití táry atd.

3.4.3.1 Postup zkoušky

- Nastavte váhy na nulu
- Aplikujte zkušební zatížení vzestupným způsobem s odlehčením vah mezi jednotlivými zatíženími. Zaznamenejte indikaci pro každé zatížení. Po odlehčení vah zkontrolujte zda váhy indikují nulu. Pokud ne, znovu váhy na nulu nastavte. (Tento způsob odpovídá většině normálních aplikací vah s neautomatickou činností).

Pozn.1: *Individuální zatížení může být opakováno pro kombinaci této zkoušky se zkouškou opakovatelnosti.*

- Výsledky zkoušky zaznamenejte do protokolu o zkoušce

3.4.3.1.1 Postup zkoušky při použití náhradní zátěže a etalonových závaží

Kalibrovaná váha slouží v tomto případě jako komparátor pro najistování náhradní zátěže L_{sub} pro dosažení přibližně stejné indikace I odpovídající indikaci při použití etalonového závaží. Zkouška spočívá v postupném nahrazování etalonové zátěže náhradní zátěží.

Aplikujeme první zkušební zátěž L_{TI} tvořenou etalonovým závažím m_{CI} . Pro indikaci platí:

$$I(L_{TI}) = I(m_{CI})$$

Sejmeme závaží a aplikujeme náhradní zátěž, kterou najustujeme tak, aby indikace byla přibližně shodná s indikací při zatížení etalonovým závažím:

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

pak

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

kde:

L_{sub1} = substituční zátěž

$I(L_{sub1})$ = indikace při zatížení substituční zátěží

$I(m_{c1})$ = indikace při zatížení etalonovým závažím

ΔI_1 = rozdíl indikací při zatížení substituční zátěží a etalonovým závažím

Další zkušební zátěž L_{T2} je dosažena přidáním m_{c1}

pak

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

m_{c1} je znovu nahrazeno náhradní zátěží přibližně rovnou L_{sub1} a najustovanou tak, aby se indikace přibližně rovnala $I(L_{T2})$.

Postup podle potřeby opakuje pro dosažení dalších zkušební zátěže L_{T3}, \dots, L_{Tn} , tedy:

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

Hodnota L_{Tn} je považována za hodnotu konvenční hmotnosti m_c zkušebního zatížení.

Pozn.: S každým krokem při použití náhradní zátěže roste významně nejistota celkového zkušebního zatížení a to z důvodu vlivu opakovatelnosti a rozlišení kalibrované váhy (viz také část D).

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 zkušební zátěže aplikovaného za stejných podmínek. Je uvažováno normální rozdělení pravděpodobnosti a nejistota je získána následujícím vztahem:

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

kde s_I je vypočítáno podle 3.4.1.2.

Protože se v tomto případě jedná o nejistotu vlastní kalibrace, použije se pro výpočet nejistoty z opakovatelnosti směrodatná odchylka průměru a nejistota je tedy získána následujícím vztahem:

$$u_{\text{opak}} = s_I/\sqrt{n}$$

kde n je počet opakovaných měření.

Jestliže je počet měření n při zkoušce opakovatelnosti menší než 10, musí být u_{opak} násobena faktorem t_r , který je dán následující tabulkou, převzatou z [7]:

n	2	3	4	5	6	7	8	9
t_r	7,0	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2

Tabulka 4.1 - 1

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:

$$u_{\text{opak}} = s_I$$

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 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:

$$u_{\text{exc}} = (e_{\text{exc}} \cdot I_1) / (2 \cdot L_{\text{exc}} \cdot \sqrt{6})$$

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 případě, 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:

$$u_{\text{exc}} = d/6$$

nebo v relativní formě:

$$u_{(\text{exc})\text{rel}} = (d/6) / L_{\text{exc}}$$

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: $u_{\text{do}} = d_0 / (2\sqrt{3})$

Standardní nejistota při zatížení: $u_{\text{dl}} = d_l / (2\sqrt{3})$

4.4 Nejistota plynoucí z vlivu teploty

Efekt vlivu teploty je závislý na následujících parametrech:

C 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:

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

kde I je indikace váhy

Standardní nejistota vlivu teploty v relativní formě:

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

Koeficient C 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 (°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:

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

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:

$$C \leq mpe(\text{Max})/(\text{Max}\Delta T)$$

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 $u_c(Et)$

Standardní nejistotu kalibrace $u_c(Et)$, v případě použití aktuální konvenční hodnoty hmotnosti etalonu, m_c , (tedy v případě výběru posledního řádku tabulky 2.3.1 – 1), získáme z kalibračního listu etalonu jako U/k a v případě použití jmenovité hodnoty etalonu, m_N , (ostatní případy tabulky 2.3.1 – 1) ji určíme jako:

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

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

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

nebo v relativní formě

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

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

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 nejistoty 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:

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

nebo v relativní formě

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

kde D je hodnota driftu konvenční hmotnosti závaží

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

Protože je nejistota dlouhodobé stability etalonového závaží zahrnuta v mpe závaží pro danou třídu přesnosti, $D \leq mpe$ nebo $D \leq c_{\text{class}}$, 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:

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

Nejistota plynoucí ze vztaku 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 (při uvažování případu, kdy je váha justována nezávisle na kalibraci a ve vzduchu o neznámé hustotě, pro kterou musí být zvolen odpovídající odhad, u vah s počtem

dílků 10 000 tvoří tato relativní nejistota přibližně 0,1d; tato nejistota může být významná u vah s počtem dílků $n > 30\,000$, v případě jejich justáže nezávisle na kalibraci).

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

4.5.3 Výpočet nejistoty při použití náhradní zátěže

Standardní nejistota zatížení při použití substituční zátěže podle čl. 3.4.3.1.1 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.

V závislosti na druhu náhradní zátěže může být nutné přidat jako další složku nejistotu plynoucí z excentrického zatížení (k některým nebo všem indikacím $I(L_{Tj})$) nebo v případě použití náhradní zátěže o nízké hustotě (např. písek nebo šterk) a významným změnám hustoty vzduchu v době použití náhradní zátěže nejistotu plynoucí ze vztlaku vzduchu.

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:

$$u(E_I)^2 = u_{\text{opak}}^2 + u_{\text{d0}}^2 + u_{\text{dI}}^2 + u_{\text{exc}}^2 + u_{\text{Et}}^2 + u_{\text{T}}^2$$

nebo

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

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

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%.

Rozšířená nejistota je podle bodu 4.7 a bodů mající s tímto bodem souvislost vypočtena podle **TPM 0051 – 93 Stanovení nejistot při měřeních** (související dokument č. 7). V souladu s tímto dokumentem se pro stanovení rozšířené nejistoty měření používá pouze předpoklad studentova rozdělení pravděpodobnosti při použití faktoru t_r , který je dán následující tabulkou:

n	2	3	4	5	6	7	8	9
t_r	7,0	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2

kde n je počet měření. Pro vyjádření rozšířené nejistoty je pak použit koeficient pokrytí $k = 2$, který odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95%.

Pro přesnější vyjádření rozšířené nejistoty v případech nízkého počtu opakovaných měření při zkoušce opakovatelnosti (čl. 3.4.1 postupů) 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:

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

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 rovnoměrné 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

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	13,9 7	4,5 3	3,3 1	2,8 7	2,6 5	2,5 2	2,4 3	2,3 7	2,2 8	2,1 3	2,0 5	2,0 3	2,0 0

Pozn.: Použití předpokladu studentova rozdělení pravděpodobnosti při použití faktoru t_r pro vyjádření rozšířené nejistoty jak je uvedeno v bodě 4.7 a souvisejících bodech postupů může vést v některých případech k navýšení výsledné rozšířené nejistoty respektive použití metody výpočtu efektivních stupňů volnosti pro určení koeficientu rozšíření vede ke zpřesnění výpočtu.

Použité symboly k čl. 4.7

v_{eff}	Efektivní počet stupňů volnosti
$u(E)$	Kombinovaná standardní nejistota
u_i	i -tý příspěvek ke standardní nejistotě
v_i	Počet stupňů volnosti i -tého příspěvku ke standardní nejistotě
u_{rep}	Nejistota opakovatelnosti
v_{rep}	Počet stupňů volnosti při zkoušce opakovatelnosti
k	Koeficient pokrytí
n	Počet měření
t_r	Rozšiřující faktor ze Studentova rozdělení

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 nejistot vah při používání $u(v_u)$

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:

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

kde s_R je vypočítáno podle 3.4.1.2.

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 nejistovány). 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:

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

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

ρ_0 je rovna hodnotě 8000 kg.m^{-3}

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

Tato nejistota se u vah s počtem dílků do 10 000 neuvažuje. Při předpokladu změny hustoty vzduchu o 10% je u vah s počtem dílků 10 000 tato relativní nejistota přibližně rovna 0,1d.

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:

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

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

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

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

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

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

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: $a_1 = \Sigma pIE / \Sigma pI^2$

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

p je váhový faktor $p = 1/u^2(E_1)$

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

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

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

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%.

Pro zaokrouhlování se použije pravidlo viz 4.7.1.

ČÁST F

6 Příklady

6.1 Příklad 1

Kalibrace vah s digitální indikací s jedním rozsahem s horní miskou.

Parametry váhy

$Max = 15\,000\text{ g}$
 $d = 5\text{ g}$
 $n = 3\,000$

Závaží použité při kalibraci

Třída podle OIML R 111-1 M_1
Jmenovité hodnoty 0,5kg, 1kg, 2kg, 5kg, 10kg

Naměřené hodnoty

Teplota na začátku kalibrace: 21°C *Rozdíl teploty závaží a okolí:* $\leq 5K$
Teplota na konci kalibrace: 22°C

$$\Delta T = 1K$$

1. Zkouška opakovatelnosti

Zátěž: 10000 g

Měření	Indikace (g)
1	10000
2	10005
3	10005
4	10000
5	10005
6	10000

2. Zkouška excentricity

Zátěž: 5000 g

Měření	Indikace (g)	chyba v abs.h. (g)
1	5000	0
2	5005	5
3	5005	5
4	4995	5
5	5000	0

Směrodatná odchylka: 0,5 g Největší chyba $|e_{\max}|$: 5 g

3. Zkouška pro určení chyby indikace

Měření	Zátěž (m_n) g	Indikace (I) g	chyba (E) g
1	2500	2500	0
2	5000	5000	0
3	7000	7000	0
4	10000	10005	5
5	13000	13005	5
6	15000	15005	5

4. Výpočet nejistot při kalibraci

Parametr	Standardní nejistota (g)	vztah	poznámka
Opakovatelnost	1,33	$u_{\text{opak}} = s_I/\sqrt{n}$	$s_I \neq 0$
Excentricita	0,0002	$u_{(\text{exc})\text{rel}} = (e_{\text{exc}}) / (2 \cdot L_{\text{exc}} \cdot \sqrt{6})$	
Chyba zaokrouhlení	1,44	$u_{\text{dig}0} = d_0/(2\sqrt{3})$	vahy s jedním rozsahem
Chyba zaokrouhlení	1,44	$u_{\text{dig}L} = d_L/(2\sqrt{3})$	vahy s jedním rozsahem
Změna teploty	0,000009	$u_{T(\text{rel})} = C \cdot (\Delta T/\sqrt{12})$	$n = 3000; \Delta T = 1K$
Zatížení (m_n)		$u_c(Et)_{\text{rel}} = c_{\text{class}}/\sqrt{3}$	zahrnuje drift
0 g	0,0	$u_c(Et)_{\text{rel}} = c_{\text{class}}/\sqrt{3}$	zahrnuje drift
2 500 g	2,9E-05	$u_c(Et)_{\text{rel}} = c_{\text{class}}/\sqrt{3}$	zahrnuje drift
5 000 g	2,9E-05	$u_c(Et)_{\text{rel}} = c_{\text{class}}/\sqrt{3}$	zahrnuje drift
7 000 g	2,9E-05	$u_c(Et)_{\text{rel}} = c_{\text{class}}/\sqrt{3}$	zahrnuje drift
10 000 g	2,9E-05	$u_c(Et)_{\text{rel}} = c_{\text{class}}/\sqrt{3}$	zahrnuje drift
13 000 g	2,9E-05	$u_c(Et)_{\text{rel}} = c_{\text{class}}/\sqrt{3}$	zahrnuje drift
15 000 g	2,9E-05	$u_c(Et)_{\text{rel}} = c_{\text{class}}/\sqrt{3}$	zahrnuje drift

Výsledky měření

Indikace (g)	Chyba (g)	nejistota (g)	rozšířená nejistota (g)
2500	0	2,49	5,0
5000	0	2,64	5,3
7000	0	2,83	5,7
10005	5	3,19	6,4
13005	5	3,62	7,3
15005	5	3,94	7,9

5. Výpočet nejistot při používání (indikace váhy = 12005 g)

Aproximaci provedeme podle vztahu:

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

Za předpokladu, že se neprovádí korekce, přičte se jednostranně chyba zjištěná aproximací 3,7 g a výsledná rozšířená nejistota je tedy:

$$U(v_u) = 10,8 \text{ g}$$

7 Uvádění výsledků v kalibračním listě

7.1 Obecné informace a struktura kalibračního listu

Kalibrační list by měl obecně odpovídat požadavkům ČSN EN ISO/IEC 17025 [14].

7.2 Uvádění výsledků měření

Výsledky se uvádějí ve formě indikací a/nebo chyb pro aplikované zkušební zatížení nebo chyb, které se vztahují k indikacím jako diskrétní hodnoty a/nebo jako rovnice vycházející z aproximace.

Pokud je to vhodné, měla by zde být uvedena informace o způsobu zatěžování.

U výsledků musí být uvedeny rozšířené nejistoty a informace o použitém koeficientu rozšíření k .

Jestliže při kalibraci byl použit menší dílek než váhy normálně indikují, musí být tato informace v kalibračním listě uvedena.

7.3 Nejistoty měření při použití

Uvádí-li se v kalibračním listě nejistoty, které lze očekávat při použití, musí být doprovázeny informací pro které podmínky jsou odhadnuty. Tyto nejistoty spolu s odpovídajícími informacemi se uvedou v kalibračním listě jako doplňková informace.

Tam kde se provádí odpovídající korekce, uvede se výsledek ve tvaru:

$$x = I - E(I) \pm U(v_u)$$

kde x je výsledek měření

I je hodnota indikace v daném bodě rozsahu používání

$E(I)$ je hodnota aproximované chyby

$U(v_u)$ je rozšířená nejistota při používání

Pro $E(I)$ se uvede vztah

Tam kde se korekce neprovádí a chyba je součástí tzv. globální nejistoty uvede se výsledek ve tvaru:

$$x = I \pm U(v_u)$$

Význam jednotlivých symbolů viz výše.