	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	strana 1 z 17
---	------------------------------	-----------------------------	---------------

## **Návrh metodiky pro kalibraci vah s automatickou činností a vyjadřování nejistoty měření při těchto kalibracích**

VYPRACOVÁNÍ POSTUPU BYLO FINANCOVÁNO V RÁMCI PLÁNU STANDARDIZACE  
PROGRAM ROZVOJE METROLOGIE 2014


Číslo úkolu: VII/12/14

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 sdržení	Slovinská 47, 61200 Brno	strana 2 z 17
---	-----------------------------	-----------------------------	---------------

## Část A

### Účel postupu – úvodní poznámka

Postup má sloužit kalibračním laboratořím a ostatním subjektům provádějícím kalibraci vah s automatickou činností 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 konstrukce vah. Postup reflektuje 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.

### 1 Rozsah postupu


Tento postup se použije kalibraci následujících kategorií vah s automatickou činností: **automatické kontrolní váhy, automatické gravimetrické plnicí váhy a automatické diskontinuální součtové váhy**. Použití postupu pro jiné druhy vah může vést k chybným výsledkům. Postup předpokládá použití kontrolních vah, se zajištěnou a dokumentovanou metrologickou návazností. Postup specifikuje zejména prováděná měření, výpočet výsledků měření, určení nejistot měření. V kapitolách vyjadřování nejistot jsou obsaženy postupy vyjadřování nejistot při vlastní kalibraci.

#### 1.1 Předmět kalibrace

Předmětem kalibrace je indikace vah v důsledku jejich zatížení v automatickém režimu. 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 určení chyb příslušných indikací a nejistot.

##### 1.1.1 Princip kalibrace (určení chyby indikace) – společné obecné principy

Chyba indikace ( $E_I$ ) váhy, pro danou hodnotu vážícího rozsahu, se určí pomocí jednotlivého vážení zkušebního zatížení (zatížení může dále představovat plnění v případě gravimetrických plnicích vah nebo jednotlivou anebo sečtenou hodnotu dávky v případě diskontinuálních součtových vah), jež má přibližně stejnou hodnotu jako vybraná hodnota vážícího rozsahu. Indikace vztahující se ke zkušebnímu zatížení, tedy výsledek vážení, tohoto jednotlivého vážení, je získán jako:

	České kalibrační sdružení	Slovinská 47, 61200 Brno	strana 3 z 17
---	------------------------------	-----------------------------	---------------

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

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

Chyby indikace se tedy určí jako:

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

$m_{\text{ref}}$  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.

## 1.2 Rozsah kalibrace


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

## 1.3 Metrologická návaznost

Při tomto postupu musí být pro kalibraci použita zkušební zatížení ve formě materiálu s konstantní hmotností v případě automatických kontrolních vah nebo materiálu normálně pro váhy určenou v případě gravimetrických plnicích vah a diskontinuálních součtových vah a kontrolní váhy, které mají zajištěnou návaznost. Dokumentovanou metrologickou návaznost musí mít rovněž i ostatní měřicí přístroje použité při kalibraci (např. pro měření teploty okolního vzduchu, teploty závaží).

## 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.)

	České kalibrační sdrúžení	Slovinská 47, 61200 Brno	strana 4 z 17
---	------------------------------	-----------------------------	---------------

## 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 E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>1-2</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>2-3</sub> a M<sub>3</sub>, 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.01: Guidelines on the calibration of non-automatic weighing instruments (vydání 2007)
- [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)
- [14] OIML R51-1
- [15] OIML R61-1
- [16] OIML R107-1

## 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

### 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 odkazových dokumentech v bodě 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	
$\Delta t$	teplotní rozdíl	°C
$\Delta m_c$	změna konvenční hmotnosti	g, kg, t
$\Delta m_{conv}$	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
$\Delta L_{exc}$	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
$\Delta T$	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	

	<p>České kalibrační sdružení</p>	<p>Slovinská 47, 61200 Brno</p>	<p>strana 6 z 17</p>
---	--------------------------------------	-------------------------------------	----------------------

## 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 například 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)

- Zkušební zátěž z materiálu s konstantní hmotností (pro automatické kontrolní váhy)
- Zkušební zátěž tvořená materiálem určeným pro gravimetrické plnicí nebo diskontinuální součtové váhy.
- Kontrolní váhy


##### 2.3.1 Kontrolní váhy pro určení konvenčně pravé hmotnosti zkušebního zatížení

Nejistota kalibrace kontrolních vah musí být kompatibilní s požadavkem na nejistotu kalibrace váhy, která je předmětem vlastní kalibrace.

#### 2.4 Příprava na kalibraci

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

- váha je jasně identifikovatelná,
- **je provedena vizuální kontrola:** čistota snímačů síly, dorazy, neporušenost kabeláže, čistota manžet, funkčnost proplachu.
- žádná z funkcí vah není ovlivněna znečištěním, poškozením a všechny funkce důležité pro kalibraci pracují správně,
- indikace výsledků vážení je jasně čitelná,

	<p>České kalibrační sdružení</p>	<p>Slovinská 47, 61200 Brno</p>	<p>strana 7 z 17</p>
---	--------------------------------------	-------------------------------------	----------------------

- 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),

## 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

U automatických kontrolních vah se tím mimo jiné myslí za určité rychlosti pásového dopravníku. U gravimetrických plnicích vah a diskontinuálních součtových při určitém výkonu.

#### 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.

#### 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 vážení (opakovanými cykly) v různých bodech rozsahu;
- zkouška při excentrickém zatížení (v případě automatických kontrolních vah);

##### 3.4.1 Zkouška vážení

Zkouška spočívá v provedení

- opakovaného vážení stejného zatížení v automatickém režimu za stejných podmínek u automatických kontrolních vah
- opakovaného vážení předem nastavené přibližně konstantní hodnoty plnění v případě gravimetrických plnicích vah
- opakovaného vážení sečtené zátěže skládající se z jednotlivých dávek o předem nastavené a přibližně konstantní hodnotě v případě diskontinuálních součtových vah

##### 3.4.1.1 Postup zkoušky

	České kalibrační sdržení	Slovinská 47, 61200 Brno	strana 8 z 17
---	-----------------------------	-----------------------------	---------------

- Před zkouškou váhy nastavte na nulu.
- Proved'te nejméně 5 vážicích cyklů u diskontinuálních součtových vah
- Proved'te nejméně 20 vážicích cyklů u gravimetrických plnicích vah
- Proved'te nejméně 30 vážicích cyklů u automatických kontrolních vah

### 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.

Alternativně se použije metoda nejmenších čtverců.

Zavedeme předpoklad, že charakteristika je hladká křivka, která může být aproximována polynomem druhého nebo třetího stupně. Křivka chyb údaje (odchylka od lineární charakteristiky) je pak také aproximovatelná polynomem druhého nebo třetího stupně. Můžeme proto vyjádřit chyby údaje vah jako funkci zatížení ve tvaru

$$\text{Ch}(Z)_v = a_0 + a_1 (Z - Z_p) / Z_p + a_2 [(Z - Z_p) / Z_p]^2,$$

kde  $Z_p$  je průměrná hodnota zatížení a  $a_0$  a  $a_2$  jsou koeficienty polynomu proloženého metodou nejmenších čtverců přes naměřené hodnoty chyb údajů vah.

Po výpočtu koeficientů  $a_0$  až  $a_2$  můžeme vypočítat směrodatnou odchylku  $s_0$  ze vztahu


$$s_0 = [S (\text{Ch}(Z)_v - \text{Ch}(Z))^2 / (n-k-1)]^{1/2},$$

kde  $n$  je počet zkoušených bodů a  $k$  je stupeň prokládaného polynomu.

### 3.4.2 Zkouška při excentrickém zatížení

Zkouška se provádí pouze v případě automatických kontrolních vah.



	<p>České kalibrační sdružení</p>	<p>Slovinská 47, 61200 Brno</p>	<p>strana 9 z 17</p>
---	--------------------------------------	-------------------------------------	----------------------

Princip zkoušky je stejný jako v případě 3.4.1 přičemž jsou definovány polohy zkušebního zatížení při této zkoušce podle pracovních podmínek použití vah (nosič břemene je ve formě pásu).

### 3.4.2.1 Vyhodnocení zkoušky

Z indikací  $I_i$  získaných v různých pozicích zatížení se vypočtou rozdíly mezi danou pozicí a středem  $\Delta I_{exc}$

přičemž

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

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 zkušebního zatížení a jeho konvenčně pravou hodnotou určenou na kontrolní váze.

## 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 Automatické kontrolní váhy - matematický model a rozbor nejistot

##### Standardní nejistota jednotlivých hodnot


Obecná základní rovnice pro výpočet chyby u vah je

$$E = I - m_{ref}$$

kde  $I$  představuje hodnotu indikovanou vahami

$m_{ref}$  představuje hodnotu referenčního zatížení

Variance jsou pak:

	České kalibrační sdrůžení	Slovinská 47, 61200 Brno	strana 10 z 17
---	------------------------------	-----------------------------	----------------

$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{\text{ref}})$$

V případě automatických kontrolních vah je  $m_{\text{ref}}$  nahrazeno údajem kontrolní váhy a  $I$  průměrem hodnot získaným z řady měření zkušební zátěže o konstantní hodnotě.

$E$  pak představuje průměrnou chybu.

$$\text{Tedy } E = I - U_K$$

kde  $U_K$  je údaj kontrolní váhy přičemž

$$U_K = I_K - E_K$$

kde  $E_K$  je chyba kontrolní váhy

čili

$$E = I - (I_K - E_K)$$

Variance jsou pak:

$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(U_K)$$

kde  $u(I)$  je nejistota indikace

a

$u(U_K)$  je nejistota údaje kontrolní váhy

### Standardní nejistota indikace

$$I = I_L + \delta I_{\text{digL}} + \delta I_{\text{rep}} + \delta I_{\text{ecc}} - I_0 - \delta I_{\text{dig0}}$$

Všechny tyto korekce mají očekávanou hodnotu nula. Jejich standardní nejistoty jsou:

$\delta I_{\text{dig0}}$  odpovídá zaokrouhlovací chybě při nulovém zatížení. Hranice jsou  $\pm d_0/2$  nebo  $\pm d_T/2$  podle použití; předpokládá se rovnoměrné rozdělení, tudíž

$$u(\delta I_{\text{dig0}}) = d_0/(2\sqrt{3})$$


nebo

$$u(\delta I_{\text{dig0}}) = d_T/(2\sqrt{3})$$

$\delta I_{\text{digL}}$  odpovídá zaokrouhlovací chybě indikace při zatížení. Hranice jsou  $\pm d_l/2$  nebo  $d_T/2$  podle použití; předpokládá se rovnoměrné rozdělení, tudíž

$$u(\delta I_{\text{digL}}) = d_l/(2\sqrt{3}),$$

nebo

	České kalibrační sdrůžení	Slovinská 47, 61200 Brno	strana 11 z 17
---	------------------------------	-----------------------------	----------------

$$u(\delta I_{\text{digL}}) = d_T / (2\sqrt{3}).$$

$\delta I_{\text{rep}}$  odpovídá chybě v důsledku nedokonalé opakovatelnosti; předpokládá se normální rozdělení, s odhadem

$$u(\delta I_{\text{rep}}) = s(I_j)$$

$\delta I_{\text{ecc}}$  odpovídá chybě způsobené excentrickým umístěním těžiště zkušebního zatížení při jeho pohybu po vážicí části vah. Tam kde tento účinek nelze zanedbat, lze jeho velikost odhadnout na základě těchto předpokladů:

Rozdíly jsou (při dané hodnotě rychlosti pásu) proporciální vzdálenosti zatížení od středu nosiče zatížení a hodnotě zatížení;

$$\delta I_{\text{ecc}} \leq \{ |\Delta I_{\text{ecc}, i}|_{\text{max}} / (L_{\text{ecc}}) \} I$$

Předpokládá se rovnoměrné rozdělení, takže standardní nejistota je

$$u(\delta I_{\text{ecc}}) = I \{ |\Delta I_{\text{ecc}, i}|_{\text{max}} / (L_{\text{ecc}} \sqrt{3}) \}$$

nebo v relativní formě,

$$\hat{w}(I_{\text{ecc}}) = \{ |\Delta I_{\text{ecc}, i}|_{\text{max}} / (L_{\text{ecc}} \sqrt{3}) \}$$

Standardní nejistota indikace se normálně získá

$$u^2(I) = d_0^2/12 + d_1^2/12 + s^2(I) + \hat{w}^2(I_{\text{ecc}}) I^2$$

### Standardní nejistota údaje kontrolních vah $u(U_K)$


$$u(U_K)^2 = u_{\text{opak}}^2 + u_{d0}^2 + u_{d1}^2 + u_{EI}^2$$

kde  $u(U_K)$  je rovno nejistotě vah při používání. Tedy nejistota údaje vah  $u_{EI}$  pro dané zatížení (údaj je získán z kalibračního listu kontrolní váhy) je rozšířena o nejistotu její indikace.

### Kombinovaná standardní nejistota určení chyby indikace AWI

Standardní nejistota chyby indikace lze vyjádřit následovně:

$$u(E_1)^2 = u_{\text{opak}}^2 + u_{d0}^2 + u_{d1}^2 + u_{\text{exc}}^2 + (u_{\text{opak}}^2 + u_{d0}^2 + u_{d1}^2 + u_{EI}^2)$$

	České kalibrační sdrůžení	Slovinská 47, 61200 Brno	strana 12 z 17
---	------------------------------	-----------------------------	----------------

kde položky v závorce představují nejistotu údaje kontrolní váhy.

## 4.2 Automatické gravimetrické plnicí váhy - matematický model a rozbor nejistot

### Standardní nejistota jednotlivých hodnot

Obecná základní rovnice pro výpočet chyby u vah je

$$E = I - m_{\text{ref}}$$

kde  $I$  představuje hodnotu indikovanou vahami

$m_{\text{ref}}$  představuje hodnotu referenčního zatížení

Variance jsou pak:

$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{\text{ref}})$$

V případě automatických gravimetrických plnicích vah je  $m_{\text{ref}}$  nahrazeno údajem kontrolní váhy.

$E$  pak představuje chybu vypočtenou z výše uvedených hodnot.

Tedy  $E = I - U_K$

kde  $U_K$  je údaj kontrolní váhy přičemž

$$U_K = I_K - E_K$$

kde  $E_K$  je chyba kontrolní váhy

čili

$$E = I - (I_K - E_K)$$

Variance jsou pak:


$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(U_K)$$

kde  $u(I)$  je nejistota indikace

a

$u(U_K)$  je nejistota údaje kontrolní váhy

### Standardní nejistota indikace

	<p>České kalibrační sdružení</p>	<p>Slovinská 47, 61200 Brno</p>	<p>strana 13 z 17</p>
---	--------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------

$$I = I_L + \delta I_{\text{digL}} + \delta I_{\text{rep}} - I_0 - \delta I_{\text{dig0}}$$

Pozn.: vzhledem k povaze vážení není korekce na excentrické zatížení uvažována.

Všechny tyto korekce mají očekávanou hodnotu nula. Jejich standardní nejistoty jsou:

$\delta I_{\text{dig0}}$  odpovídá zaokrouhlovací chybě při nulovém zatížení. Hranice jsou  $\pm d_0/2$  nebo  $\pm d_T/2$  podle použití; předpokládá se rovnoměrné rozdělení, tudíž

$$u(\delta I_{\text{dig0}}) = d_0/(2\sqrt{3})$$

nebo

$$u(\delta I_{\text{dig0}}) = d_T/(2\sqrt{3})$$

$\delta I_{\text{digL}}$  odpovídá zaokrouhlovací chybě indikace při zatížení. Hranice jsou  $\pm d_l/2$  nebo  $d_T/2$  podle použití; předpokládá se rovnoměrné rozdělení, tudíž

$$u(\delta I_{\text{digL}}) = d_l/(2\sqrt{3}),$$

nebo

$$u(\delta I_{\text{digL}}) = d_T/(2\sqrt{3}).$$

$\delta I_{\text{rep}}$  odpovídá chybě v důsledku nedokonalé opakovatelnosti; předpokládá se normální rozdělení, s odhadem

$$u(\delta I_{\text{rep}}) = s(I_j)$$

Jsou možné dva způsoby výpočtu směrodatné odchylky opakovatelnosti. Buďto se výpočet směrodatné odchylky provede z řady vypočtených chyb nebo se použije metoda nejmenších čtverců.

Zavedeme předpoklad, že charakteristika je hladká křivka, která může být aproximována polynomem druhého nebo třetího stupně. Křivka chyb údaje (odchylka od lineární charakteristiky) je pak také aproximovatelná polynomem druhého nebo třetího stupně. Můžeme proto vyjádřit chyby údaje vah jako funkci zatížení ve tvaru


$$\text{Ch}(Z)_v = a_0 + a_1 (Z - Z_p) / Z_p + a_2 [ (Z - Z_p) / Z_p ]^2,$$

kde  $Z_p$  je průměrná hodnota zatížení a  $a_0$  a  $a_2$  jsou koeficienty polynomu proloženého metodou nejmenších čtverců přes naměřené hodnoty chyb údajů vah.

Po výpočtu koeficientů  $a_0$  až  $a_2$  můžeme vypočítat směrodatnou odchylku  $s_0$  ze vztahu

$$s_0 = [S (\text{Ch}(Z)_v - \text{Ch}(Z))^2 / (n-k-1)]^{1/2},$$

kde  $n$  je počet zkoušených bodů a  $k$  je stupeň prokládaného polynomu.

	<p>České kalibrační sdružení</p>	<p>Slovinská 47, 61200 Brno</p>	<p>strana 14 z 17</p>
---	--------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------

### Standardní nejistota údaje kontrolních vah $u(U_K)$

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

kde  $u(U_K)$  je rovno nejistotě vah při používání. Tedy nejistota údaje vah  $u_{\text{EI}}$  pro dané zatížení (údaj je získán z kalibračního listu kontrolní váhy) je rozšířena o nejistotu její indikace.

Dále je v případě plnicích vah uvažovat nejistotu plynoucí z určení individuální nebo průměrné táry obalu plnění. Tedy:

#### *Individuální tára*

Hodnota táry je určena jako

$$u(m_T)^2 = u(WI)^2$$

Je zde opět použita nejistota vah při používání

#### *Průměrná tára*

Z N souboru obalů je vzat vzorek o velikosti  $n_T$  a je vypočtena průměrná hodnota a standardní odchylka  $(\overline{m_T})$ ,  $(s_T)$ .

Standardní nejistota průměrné táry je:

$$u(\overline{m_T})^2 = u(WI_T)^2 + \left( \frac{s_T}{\sqrt{n_T}} \right)^2$$

Standardní nejistota údaje vah pak má tvar:


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

### **Kombinovaná standardní nejistota určení chyby indikace AWI**

Standardní nejistota chyby indikace lze vyjádřit následovně:

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

kde položky v závorce představují nejistotu údaje kontrolní váhy.

	<p>České kalibrační sdružení</p>	<p>Slovinská 47, 61200 Brno</p>	<p>strana 15 z 17</p>
---	--------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------

### 4.3 Automatické diskontinuální součtové váhy

#### Standardní nejistota jednotlivých hodnot

Obecná základní rovnice pro výpočet chyby u vah je

$$E = I - m_{\text{ref}}$$

kde  $I$  představuje hodnotu indikovanou vahami

$m_{\text{ref}}$  představuje hodnotu referenčního zatížení

Variance jsou pak:

$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{\text{ref}})$$

V případě automatických diskontinuálních součtových vah je  $m_{\text{ref}}$  nahrazeno údajem kontrolní váhy a  $I$  představuje hodnotu sečtené zátěže ve vážicím cyklu.

$E$  pak představuje chybu vypočtenou z výše uvedených hodnot.

Tedy  $E = I - U_K$

kde  $U_K$  je údaj kontrolní váhy přičemž

$$U_K = I_K - E_K$$

kde  $E_K$  je chyba kontrolní váhy

čili

$$E = I - (I_K - E_K)$$

Variance jsou pak:

$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(U_K)$$

kde  $u(I)$  je nejistota indikace


a

$u(U_K)$  je nejistota údaje kontrolní váhy

#### Standardní nejistota indikace

$$I = I_L + \delta I_{\text{digL}} + \delta I_{\text{rep}} - I_0 - \delta I_{\text{dig0}}$$

Pozn.: vzhledem k povaze vážení není korekce na excentrické zatížení uvažována.

	České kalibrační sdrůžení	Slovinská 47, 61200 Brno	strana 16 z 17
---	------------------------------	-----------------------------	----------------

Všechny tyto korekce mají očekávanou hodnotu nula. Jejich standardní nejistoty jsou:

$\delta I_{\text{dig}0}$  odpovídá zaokrouhlovací chybě při nulovém zatížení. Hranice jsou  $\pm d_0/2$  nebo  $\pm d_T/2$  podle použití; předpokládá se rovnoměrné rozdělení, tudíž

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

nebo

$$u(\delta I_{\text{dig}0}) = d_T/(2\sqrt{3})$$

$\delta I_{\text{dig}L}$  odpovídá zaokrouhlovací chybě indikace při zatížení. Hranice jsou  $\pm d_l/2$  nebo  $d_T/2$  podle použití; předpokládá se rovnoměrné rozdělení, tudíž

$$u(\delta I_{\text{dig}L}) = d_l/(2\sqrt{3}),$$

nebo

$$u(\delta I_{\text{dig}L}) = d_T/(2\sqrt{3}).$$

$\delta I_{\text{rep}}$  odpovídá chybě v důsledku nedokonalé opakovatelnosti; předpokládá se normální rozdělení, s odhadem

$$u(\delta I_{\text{rep}}) = s(I_j)$$

Jsou možné dva způsoby výpočtu směrodatné odchylky opakovatelnosti. Buďto se výpočet směrodatné odchylky provede z řady vypočtených chyb nebo se použije metoda nejmenších čtverců.

Zavedeme předpoklad, že charakteristika je hladká křivka, která může být aproximována polynomem druhého nebo třetího stupně. Křivka chyb údaje (odchylka od lineární charakteristiky) je pak také aproximovatelná polynomem druhého nebo třetího stupně. Můžeme proto vyjádřit chyby údaje vah jako funkci zatížení ve tvaru

$$\text{Ch}(Z)_v = a_0 + a_1 (Z - Z_p) / Z_p + a_2 [ (Z - Z_p) / Z_p ]^2 ,$$

kde  $Z_p$  je průměrná hodnota zatížení a  $a_0$  a  $a_2$  jsou koeficienty polynomu proloženého metodou nejmenších čtverců přes naměřené hodnoty chyb údajů vah.


Po výpočtu koeficientů  $a_0$  až  $a_2$  můžeme vypočítat směrodatnou odchylku  $s_0$  ze vztahu

$$s_0 = [S (\text{Ch}(Z)_v - \text{Ch}(Z))^2 / (n-k - 1)]^{1/2},$$

kde  $n$  je počet zkoušených bodů a  $k$  je stupeň prokládaného polynomu.

**Standardní nejistota údaje kontrolních vah  $u(U_K)$**



	České kalibrační sdrůžení	Slovinská 47, 61200 Brno	strana 17 z 17
---	------------------------------	-----------------------------	----------------

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

kde  $u(U_K)$  je rovno nejistotě vah při používání. Tedy nejistota údaje vah  $u_{\text{EI}}$  pro dané zatížení (údaj je získán z kalibračního listu kontrolní váhy) je rozšířena o nejistotu její indikace.

### **Kombinovaná standardní nejistota určení chyby indikace AWI**

Standardní nejistota chyby indikace lze vyjádřit následovně:

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

kde položky v závorce představují nejistotu údaje kontrolní váhy.