



ČESKÉ KALIBRAČNÍ SDRUŽENÍ
Slovinská 47, 612 00 Brno

Postup pro kalibraci dávkovacích vah používaných ve výrobnách betonu

VYPRACOVÁNÍ POSTUPU BYLO FINANCOVÁNO V RÁMCI PLÁNU STANDARDIZACE
PROGRAM ROZVOJE METROLOGIE 2012

Číslo úkolu: **VII/3/12**

Název úkolu: **Studie proveditelnosti kalibrací vah používaných ve výrobnách betonu
akreditovanými metodami**

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.**

Únor 2013

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 subjektům provádějících kalibraci vah používaných ve výrobnách betonu 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 začleněných do technologických celků výroben betonu. Protože je zpracován na základě dříve zpracovaných jednotných kalibračních postupů 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.

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

1 Rozsah postupu

Tento postup se použije pro statickou kalibraci elektronických dávkovacích vah používaných ve výrobnách betonu. 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 určeným k dávkování ve výrobnách betonu. 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.

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, 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:

$$E_1 = I - m_{\text{ref}} \quad \text{kde}$$

m_{ref} je hodnota hmotnosti (konvenční hmotnosti) zkušebnímu 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 používaného pro dávkování ve výrobně betonu.

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.01: Guidelines on the calibration of non-automatic weighing instruments (vydání 2007)
- [11] **Norma ČSN EN 206-1 Beton-část 1**
- [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 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.

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	

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 používaný ve výrobně betonu)
- Teploměr a příložený teploměr pro zjišťování teploty okolního vzduchu a závaží s dělením ≤ 1 °C.
- Prostředky pro manipulaci se závažím
- Prostředky pro uložení nebo uchycení závaží (např. závěsná lávka, závěsy pro závaží atd.)

2.3.1 Etalonová závaží použitá ke kalibraci

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

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

Hodnoty maximálních dovolených chyb (mpe) pro třídu přesnosti M1 jsou v OIML R 111 (Tabulka 1). V relativní formě se hodnoty maximálních dovolených chyb vyjádří pomocí koeficientu třídy přesnosti závaží $c_{\text{class}} = mpe/m_n$ pro $m_n \geq 100g$ (jehož hodnoty pro jednotlivé třídy přesnosti jsou uvedeny v tabulce 2.3.1 - 2).

Třída přesnosti dle OIML R 111-1

M1

M2

$$c_{\text{class}} = mpe/m_n$$

0,00005

0,00015

Tabulka 2.3.1 – 2

Při použití náhradní zátěže se doporučuje, aby podíl etalonových závaží byl nejméně 1/5 maximální váživosti.

2.3.1.1 Náhradní zátěž

Kromě etalonových závaží je možno použít náhradní zatížení ve formě materiálu používaného k dávkování ve výrobě betonu.

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. Maximální teplotní rozdíl mezi vahou (okolním vzduchem) a závažím (ΔT) nesmí přesáhnout 20 °C.

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,
- 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 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), náhradní zátěž 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 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

Zkouška spočívá v opakovaném ukládání stejného zatížení na nosič zatížení vah za stejných podmínek, alespoň v jednom, podle způsobu používání vah, významném bodě stupnice. U vah, kde je kromě etalonových závaží nutné při kalibraci použít i náhradní zatížení 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:

$$n \geq 3$$

3.4.1.1 Postup zkoušky

- Před zkouškou váhy nastavte na nulu.
- Proveďte nejméně 5 měření, pro zkušební zatížení ≥ 100 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 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 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. U vah kde z důvodu konstrukce a dávkovanému materiálu nemůže dojít k excentrickému zatížení (váhy s násypkou používané pro dávkování vody, cementu a materiálů obdobných vlastností) se tato zkouška neprovádí.

Pozn.: U vah používaných pro kamenivo může při dávkování k excentrickému zatížení docházet.

Obecně platí ustanovení viz výše, pokud to připadá v úvahu. Pokud tomu tak není, musí být definovány polohy zkušebního zatížení při této zkoušce podle pracovních podmínek použití vah (např. nosič břemene je ve formě pásu).

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_{Lexc})
- 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 zatížení se vypočtou rozdíly mezi danou pozicí (podpěrou) a středem ΔI_{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 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 nebo etalonová závaží a náhradní zátěž podle bodu 2.3.1.1.

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

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 vážícího 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.

Nejistota je získána následujícím vztahem:

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

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:

$$u_{opak} = s_I$$

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:

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

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 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:

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

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 na nejistotu měření je u dávkovacích vah používaných ve výrobnách betonu zanedbatelný.

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:

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

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}

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

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

Tento postup lze opakovat pro vytvoření zkušebních zatížení $LT3, \dots, LTn$:

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

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:

$$u(E_I)^2 = u^2_{opak} + u^2_{d0} + u^2_{dI} + u^2_{exc} + u^2(L_{Tn})$$

nebo

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

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%.

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 $u(v_u)$

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

Globální nejistotu je parametrem, kterým lze nejlépe definovat přesnost vážicího systému vůči požadavkům normativního dokumentu pro výrobu betonu respektive lze pomocí tohoto parametru nejlépe vyjádřit shodu se specifikací.

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

kde:

$u(W)$ je nejistota vážení

$$U(W) = 2 u(W)$$

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

$|E^0|$ je maximální zjištěná chyba váhy při kalibraci

Vyjádření shody se specifikací

$$U_{gl}(W) \leq \text{Tol (R)}$$

kde

$U_{gl}(W)$ je globální nejistota váhy a

Tol (R) je tolerance specifikovaná zvláštním předpisem

Nejistota vážení se vyjádří následujícím způsobem:

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

nebo

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

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

R je odečet váhy

Nejistota plynoucí ze změny justážních parametrů v důsledku času a dalších faktorů používání u_{adj} se vyjádří následovně:

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

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.

Pro určení globální nejistoty v kterémkoli bodě vážení lze vztah pro určení nejistoty vážení aproximovat pomocí přímky následovně:

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

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

ČÁST F - informativní

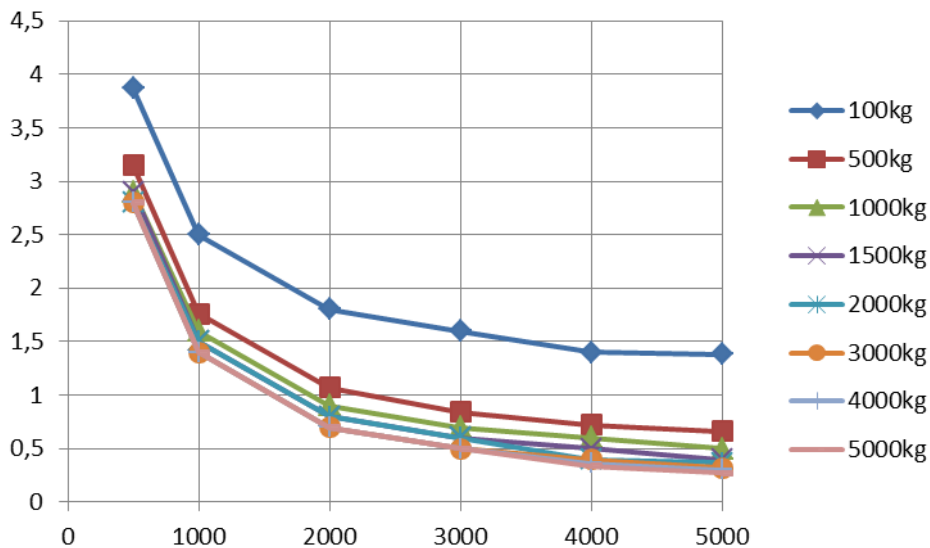
Příklad vlivu podílu náhradní zátěže na Globální nejistotu

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

Tabulka 1 Vliv podílu závaží respektive náhradní zátěže na globální nejistotu vyjádřenou v %. Pozn.: Ve druhém sloupci je globální nejistota vyjádřená jako lineární funkce

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

Tabulka 2 Vliv podílu závaží respektive náhradní zátěže na globální nejistotu vyjádřenou v % pro různé kalibrované body.



Graf 1- 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 pro splnění požadavku na přesnost dávkování komponent ve výrobnách betonu využívající vážicí zařízení, by měl být podíl etalonových závaží minimálně 1/5 maximální váživosti vah.