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

Metodika pro kalibraci vah s automatickou činností a vyjadřování nejistoty měření při těchto kalibracích

VYPRACOVÁNÍ POSTUPU BYLO FINANCOVÁNO V RÁMCI PLÁNU STANDARDIZACE
PROGRAM ROZVOJE METROLOGIE 2015


Číslo úkolu: **VII/12/15**

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 je schváleno odborem metrologie ÚNMZ.

Listopad 2015

	České kalibrační sdružení	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 dávkovací váhy, automatické váhy pro vážení silničních vozidel a automatické kontinuální 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 použitým 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 zatížení vozidla v případě vah pro vážení silničních vozidel za pohybu a sečtenou hodnotu dávky v případě kontinuálních 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:

	<p>České kalibrační sdružení</p>	<p>Slovinská 47, 61200 Brno</p>	<p>strana 3 z 17</p>
---	--------------------------------------	-------------------------------------	----------------------

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

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) zkušební 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 vážící rozsah vah od nuly po horní mez váživosti (Max), nicméně, rozsah kalibrace může být omezen po dohodě se zákazníkem/uživatelem 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 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 sdrůžení	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 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] 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 R134-1**
- [16] **OIML R50-1**

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
m_{pe}	maximální dovolená chyba	g, kg, t
m_n	nominální hodnota konvenční hmotnosti etalonového závaží	g, kg, t
m_c	konvenční hmotnost	g, kg, t
C_{class}	koeficient třídy (OIML R 111-1) přesnosti etalonových závaží	
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
ΔL_{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	

	<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 (konstrukce vážicího systému), dynamické nastavení, proudění vzduchu apod. jsou již zahrnuty v nejistotě měření. U vah instalovaných ve venkovním prostředí se musejí brát v potaz klimatické podmínky v době kalibrace, např. silný boční vítr, déšť, sněžení (váhy pro vážení silničních vozidel za pohybu).

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). U vah pro vážení silničních vozidel za pohybu se musí zohlednit případný úbytek pohonných hmot použitých zkušebních vozidel, především v případech kdy kontrolní váhy nejsou k dispozici v místě instalace kalibrované váhy.

2.3 Prostředky potřebné ke kalibraci (zařízení a pomůcky)

- Zkušební zátěž z materiálu s konstantní hmotností pro automatické dávkovací váhy
- Zkušební vozidla pro váhy pro vážení silničních vozidel za pohybu
- Zkušební zátěž ze sypkého materiálu pro kontinuální 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,
- žádná z funkcí vah není ovlivněna znečištěním, poškozením a všechny funkce důležité pro kalibraci pracují správně,

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

- 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),

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 dávkovacích a kontinuálních součtových vah se tím mimo jiné myslí za určité rychlosti pásového dopravníku nebo při určitém výkonu.

3.2 Vyhodnocení zkoušek a určení chyb indikací

Vyhodnotí se zkoušky uvedené v 3.4 (3.4.1, 3.4.2) 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 (neaplikuje se v případě kontinuálních součtových vah);

3.4.1 Zkouška vážení

Zkouška spočívá v provedení

- opakovaného vážení stejného zatížení v automatickém režimu za stejných podmínek u automatických dávkovacích vah
- opakovaného vážení zkušební vozidla v případě vah pro vážení silničních vozidel za pohybu
- opakovaného vážení sečtené zátěže v případě kontinuálních 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 kontinuálních součtových vah
- Proved'te nejméně 10 vážicích cyklů u automatických dávkovacích vah
- Proved'te nejméně 15 vážicích cyklů u vah pro vážení silničních vozidel za pohybu

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 údajů (odchylka od lineární charakteristiky) je pak také aproximovatelná polynomem druhého nebo třetího stupně. Můžeme proto vyjádřit chyby údajů 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.

3.4.1.3 Určení chyb indikací

Účelem je získat hodnoty chyb indikací z rozdílu mezi výsledkem vážení zkušební zátěží a jeho konvenčně pravou hodnotou určenou na kontrolní váze.

Pro každou zkušební zátěž se vypočte chyba indikace následujícím způsobem:

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

kde I představuje průměrnou hodnotu indikovanou vahami:

- u automatických dávkovacích vah je to průměr z opakovaných měření
- u vah pro vážení silničních vozidel je to průměrná hodnota v příslušné entitě (celková hmotnost nebo zatížení na nápravu)
- u kontinuálních součtových vah je to průměr z opakovaných měření

m_{ref} představuje hodnotu referenčního zatížení

3.4.2 Zkouška při excentrickém zatížení

Zkouška se provádí pouze v případě automatických dávkovacích vah a vah pro vážení silničních vozidel za pohybu.

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 nebo vázicího můstku uzpůsobeného pro přejezd nápravy vozidla.

Způsob excentrického vážení u automatických dávkovacích vah.



kde Š je šířka pásu

U automatických vah pro vážení silničních vozidel se část přejezdu vykoná více vlevo a více vpravo vzhledem ke středu nosiče břemene.


3.4.2.1 Vyhodnocení zkoušky

Z indikací I_i získaných při pohybu zátěže v části pásu 1 a 2 se vypočtou průměrné hodnoty a získají se rozdíly od průměru hodnot získaných při normálním pohybu zátěže na pásu.

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.

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

U vah pro vážení silničních vozidel za pohybu se výpočet provede stejným způsobem s ohledem na přejezdy od středu nosiče břemene.

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 pro určité kategorie vah) se určí odpovídající dílčí nejistoty způsobem uvedeným níže.

4.1 Automatické dávkovací 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_{ref} představuje hodnotu referenčního zatížení

Variance jsou pak:

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

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

E pak představuje průměrnou chybu.

Tedy $E = I - R_K$

kde R_K je údaj kontrolní váhy přičemž


$$R_K = I_K - E_K$$

kde E_K je chyba kontrolní váhy

čili

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

Variance jsou pak:

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

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

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:

δI_{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

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

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

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

nebo

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

δI_{rep} odpovídá chybě v důsledku nedokonalé opakovatelnosti; předpokládá se normální rozdělení, s odhadem


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

δI_{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) proporcionální 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

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

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

nebo v relativní formě,

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

Standardní nejistota indikace se normálně získá

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

Standardní nejistota údaje kontrolních vah $u(R_K)$

$$u(R_K)^2 = u_{opak}^2 + u_{d0}^2 + u_{dI}^2 + u_{EI}^2$$

kde $u(R_K)$ je rovno nejistotě vah při používání. Tedy nejistota údaje vah **UEI** 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:

$$u(E_I)^2 = u_{opak}^2 + u_{d0}^2 + u_{dI}^2 + u_{exc}^2 + (u_{opak}^2 + u_{d0}^2 + u_{dI}^2 + u_{EI}^2)$$

kde položky v závorce představují nejistotu údaje kontrolní váhy.

4.2 Automatické váhy pro vážení silničních vozidel - 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 v příslušné entitě (celková hmotnost nebo zatížení na nápravu)

m_{ref} představuje hodnotu referenčního zatížení

Variance jsou pak:

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

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

V případě automatických vah je m_{ref} nahrazeno údajem kontrolní váhy.

E pak představuje chybu vypočtenou z výše uvedených hodnot.

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

kde R_K je údaj kontrolní váhy přičemž

$$R_K = I_K - E_K$$

kde E_K je chyba kontrolní váhy

čili

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

Variance jsou pak:

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

kde $u(I)$ je nejistota indikace

a

$u(R_K)$ 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.

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


δI_{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

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

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

	České kalibrační sdrůžení	Slovinská 47, 61200 Brno	strana 14 z 17
---	------------------------------	-----------------------------	----------------

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

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

δI_{rep} odpovídá chybě v důsledku nedokonalé opakovatelnosti; předpokládá se normální rozdělení, s odhadem

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

Výpočet směrodatné odchylky provede z řady vypočtených chyb pro každou entitu (celkovou hmotnost nebo zatížení na nápravu).

Standardní nejistota údaje kontrolních vah $u(R_K)$

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

kde $u(R_K)$ 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.

Údaj nejistoty váhy z kalibračního listu je platný pouze pro mostové váhy použité pro referenční celkové hmotnosti vozidla.

Nejistotu kontrolních vah $u(R_K)$ respektive vážení v případě získání referenčních hodnot zatížení na nápravu je nutno spočítat následujícími způsoby podle použitého způsobu vážení:

Vážení po částech:

Celková rozšířená nejistota se skládá z nejistoty vyjádřené pomocí největší dovolené chyby zařízení v provozu (přičemž se předpokládá rovnoměrné rozdělení) a nejistoty plynoucí z vnějších vlivů. Pro odhad hodnoty nejistoty z vnějších vlivů se použijí 1,5 % indikované hodnoty (předpokládá se rovnoměrné rozdělení).

Parametrem pro odhad nejistoty plynoucí z největší dovolené chyby zařízení (mpe) je hodnota ověřovacího dílku a největší dovolená chyba podle typu a konstrukce zařízení pro dané zatížení.

Nejistota dílčího měření (např. zatížení na nápravě) se vyjádří následujícím způsobem:


$$u_n^2 = \left(\frac{mpe}{\sqrt{3}} \right)^2 + (0,015 \cdot I)^2$$

kde: mpe je největší dovolená chyba pro dané zatížení v provozu;

0,015 je hodnota plynoucí z nejistoty vnějších vlivů;

I je indikace.

Jednotlivé výsledky měření se považují v tomto případě za korelované veličiny (korelační koeficient: $r = 1$) a při sčítání nejistot jednotlivých náprav pro vyjádření nejistoty celkové

	České kalibrační sdrůžení	Slovinská 47, 61200 Brno	strana 15 z 17
---	------------------------------	-----------------------------	----------------

hmotnosti se jednotlivé nejistoty sčítají následujícím způsobem:

$$u_C = u_1 + u_2 + \dots + u_n$$

Pro určení hodnoty rozšířené nejistoty se použije koeficient rozšíření $k = 2$.

$$U = 2 \cdot u_C$$

Vážení vozidla naráz

Celková rozšířená nejistota se skládá z nejistoty vyjádřené pomocí největší dovolené chyby zařízení v provozu (přičemž se předpokládá rovnoměrné rozdělení) a nejistoty plynoucí z vnějších vlivů. Pro odhad hodnoty nejistoty z vnějších vlivů se použijí 1,5 % indikované hodnoty (předpokládá se rovnoměrné rozdělení).

Parametrem pro odhad nejistoty plynoucí z největší dovolené chyby zařízení (*mpe*) je hodnota ověřovacího dílku a největší dovolená chyba podle typu a konstrukce vah pro dané zatížení.

Nejistota dílčího měření (např. zatížení na nápravě) se vyjádří následujícím způsobem:

$$u_n^2 = \left(\frac{mpe}{\sqrt{3}} \right)^2 + (0,015 \cdot I)^2$$

kde: *mpe* je největší dovolená chyba pro dané zatížení v provozu;

0,015 je hodnota plynoucí z nejistoty vnějších vlivů;

I je indikace.

Jednotlivé výsledky měření se považují v tomto případě za nekorelované veličiny a při sčítání nejistot jednotlivých náprav pro vyjádření nejistoty celkové hmotnosti se jednotlivé nejistoty sčítají následujícím způsobem:

$$u_C^2 = u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2$$

Pro určení hodnoty rozšířené nejistoty se použije koeficient rozšíření $k = 2$.

$$U = 2 \cdot u_C$$

Kombinovaná standardní nejistota určení chyby indikace AWI

Standardní nejistota chyby indikace lze vyjádřit následovně:


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

kde položky v závorce představují nejistotu údaje kontrolní váhy.

4.3 Automatické kontinuální součtové váhy (pásové váhy)

Standardní nejistota jednotlivých hodnot

Obecná základní rovnice pro výpočet chyby u vah je

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

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

kde I představuje hodnotu indikovanou vahami

m_{ref} představuje hodnotu referenčního zatížení

Variance jsou pak:

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

V případě automatických kontinuálních součtových vah je m_{ref} nahrazeno údajem kontrolní váhy I představuje hodnotu sečtené zátěže ve vážicím cyklu.

E pak představuje chybu vypočtenou z výše uvedených hodnot.

Tedy $E = I - R_K$

kde R_K je údaj kontrolní váhy přičemž

$$R_K = I_K - E_K$$

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

$u(R_K)$ 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.

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

δI_{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

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

nebo

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

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

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

nebo

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

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

δI_{rep} odpovídá chybě v důsledku nedokonalé opakovatelnosti; předpokládá se normální rozdělení, s odhadem

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

Výpočet směrodatné odchylky provede z řady vypočtených chyb při zkoušce vážení a při zohlednění chyby na nule získané při zkoušce přesnosti nuly.

Standardní nejistota údaje kontrolních vah $u(R_K)$

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

kde $u(R_K)$ 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:

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

kde položky v závorce představují nejistotu údaje kontrolní váhy.