

WELMEC 6.9

1. vydání

WELMEC

Evropská spolupráce v oblasti legální metrologie

HOTOVÁ BALENÍ – NEJISTOTA MĚŘENÍ

Směrnice pro stanovení nejistoty měření při stanovení skutečného množství výrobku v hotovém balení



červen 2009

WELMEC

Evropská spolupráce v oblasti legální metrologie

WELMEC je spolupráce mezi službami legální metrologie v členských státech Evropské unie a EFTA.

Tento dokument je jednou z řady příruček zveřejněných organizací WELMEC. Tyto příručky jsou pouze informativní a neuvádí žádná omezení nebo dodatečné technické požadavky nad rámec těch, které jsou obsaženy v příslušných směrnicích ES.

Alternativní přístupy mohou být přijatelné, ale informace uvedené v tomto dokumentu představují uznávaný názor organizace WELMEC s ohledem na osvědčené metody, které se doporučují dodržovat.

Vydal:
Sekretariát WELMEC
MIRS
Grudново nabrežje 17
SI – 1000 Lublaň

Tel: +386 1 244 27 18
Fax: +386 1 244 27 14

Obsah

Obecné informace	4
Zřeknutí se odpovědnosti.....	4
1. ÚVOD	5
2. VÝPOČET NEJISTOTY MĚŘENÍ SKUTEČNÉHO MNOŽSTVÍ VÝROBKU V hotovém balení ZA DANÉ TEPLoty (T = 20 °C ± 0,5 °C)	7
2.1. Ověřené NAWI.....	8
2.2. Kalibrované NAWI	13
3. PŘÍKLADY.....	15
3.1. Ověřené NAWI.....	15
3.2. Kalibrované NAWI	18
4. ZÁVĚR.....	20

Obecné informace

Členské státy Evropského hospodářského prostoru zavedly směrnice Rady č. 75/106/EHS z 19. prosince 1974 a 76/211/EHS z 20. ledna 1976 do své národní legislativy. Tyto směrnice se zabývají značením a kontrolou kvality předbaleného zboží s označením ‚e‘.

Tyto směrnice byly nedávno novelizovány směrnicí č. 2007/45/ES z 5. září 2007, která ruší směrnice č. 75/106/EHS a 80/232/EHS a novelizuje směrnici č. 76/211/EHS. Jediná předepsaná množství povolená bez uvedeného časového omezení se vztahují na určitá vína a lihoviny. Členské státy si mohou ponechat předepsaná množství pro mléko, máslo, sušené těstoviny a kávo do 11. října 2012 a pro cukr do 11. října 2013.

Tento dokument je součástí řady dokumentů zveřejněných (určených ke zveřejnění) organizací WELMEC:

- 6.0 Úvod do dokumentů WELMEC pro hotová balení s označením ‚e‘
- 6.1 Definice pojmů
- 6.2 Překlad pojmů
- 6.3 Příručka pro jednotné provádění směrnice Rady č. 76/211/EHS ve znění pozdějších dodatků
- 6.4 Příručka pro balíče a dovozce výrobků s označením ‚e‘
- 6.5 Příručka pro kontrolu kompetentními odděleními
- 6.6 Příručka pro rozpoznání postupů
- 6.7 Příručka pro kontrolu trhu v oblasti hotová balení pro kompetentní oddělení
- 6.8 Příručka pro ověření odkapané hmotnosti
- 6.9 Hotová balení – Nejistota měření**
- 6.10 Kontroly hotová balení bez označení ‚e‘

Některé z těchto dokumentů představují názor organizace WELMEC, u jiných probíhá revize nebo příprava. Dokumenty, které organizace WELMEC schválila, jsou zveřejněny na jejich webových stránkách (www.welmec.org).

Hlavním záměrem této řady dokumentů je poskytovat informace pro ty, kteří se zabývají použitím směrnice č. 2007/45/ES stanovící pravidla pro jmenovitá množství předbalených výrobků, rušící směrnice Rady č. 75/106/EHS a 80/232/EHS a novelizující směrnici rady č. 76/211/EHS (dále jen směrnice). Jejich cílem je vést k jednotnému výkladu a uplatňování těchto směrnic a pomáhat odstraňování překážek obchodu.

Zřeknutí se odpovědnosti

Upozorňujeme, že tato řada dokumentů se nezabývá všemi záležitostmi, které nejsou pokryté výše uvedenými směrnicemi, jako např. požadavky, aby určité výrobky byly vyrobeny z předepsaných množství, a kontrolou hotová balení bez označení ‚e‘.

1. ÚVOD

Tento dokument představuje zjednodušenou příručku s příklady pro posouzení a vyjádření nejistoty měření v oblasti hotová balení. Primárně by měl být určen pro kompetentní oddělení, která provádějí kontroly výrobků v souladu se směrnicí č. 76/211/EHS.

Dokument odkazuje na mezinárodní dokument o nejistotě měření (GUM: Směrnice pro vyjádření nejistoty měření od ISO z roku 1993 a EA 4/02).

Nejistota měření není uvedena ve směrnici č. 76/211/EHS, místo toho se používá pojem *chyba*. Aby byla dodržena příloha II.1 odstavec 2 této směrnice, kompetentní oddělení musí zajistit, aby „**chyba učiněná při měření skutečného obsahu hotového balení nepřesahovala jednu pětinu přípustné záporné chyby u jmenovitého množství v hotovém balení.**“ Tento požadavek se nevztahuje na baliče.

Informace uvedené v této příručce však mohou být užitečné pro baliče, kteří chtějí, aby jejich pracovní postup byl uznán (interní systém kontroly jakosti hotová balení).

Kompetentní oddělení, která jsou akreditována, podléhají požadavkům s ohledem na nejistotu měření. Kdykoliv se tato příručka liší od uvedených požadavků, akreditační požadavky budou převažovat.

Definice v mezinárodní slovní zásobě základních a obecných pojmů v metrologii stanoví následující:

- **Nejistota měření** je parametr spojený s výsledkem měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, které mohou být přiměřeně spojovány s měřenou veličinou;
- **Chyba** je výsledek měření minus skutečná hodnota měřené veličiny.

V metrologii je obvyklé dát výsledek měření do zápisu průměrné hodnoty a nejistoty následované jednotkou, jak je to v tomto příkladu hmotnosti^{aa}: $m = 100,2 \text{ g} \pm 0,5 \text{ g}$.

Kombinovaná rozšířená nejistota výsledku (U) je často způsobena různými zdroji. Pro kombinaci složek, které přispívají k celkové nebo rozšířené nejistotě se zpravidla používá následující výraz:

$$U = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u_i^2} \quad (1)$$

- k – faktor krytí, obvykle v rozmezí 2 až 3
- u_c – kombinovaná standardní nejistota
- u_i – číslo standardního komponentu nejistoty i
- c_i – číslo komponentu nejistoty citlivosti i

Každý komponent (u_i) je vypočten nebo odhadnut, například:

- jako standardní odchylka vzorku vypočtená pomocí výrazu

^{aa} Toto se někdy označuje jako: ‚konvenční hmotnost‘, ‚váha‘

$$u_i = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

pro řadu n opakovaných měření,

- odhadnutá pro pravoúhlou distribuci pomocí výrazu

$$u_i \approx \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

v tomto případě mají měření stejnou pravděpodobnost výskytu mezi nejvyššími a nejnižšími hodnotami (d je rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším výsledkem, rozdělení jedné stupnice apod.).

Symbody a značení používané ve výpočtech:

$u(m_T)$ standardní nejistota stanovení táry

$u(m_G)$ standardní nejistota stanovení hmotnosti brutto hotová balení

$u(m_N)$ standardní nejistota stanovení hmotnosti netto hotová balení

$u(\rho)$ standardní nejistota stanovení hustoty výrobku

$u(WI)$ standardní nejistota z certifikátu o kalibraci přístrojů na vážení (NAWI)

$u(V_{pic})$ standardní nejistota z certifikátu o kalibraci pyknometru

n počet vzorků nebo měření

s standardní odchylka

$mpes$ maximální přípustná chyba v provozu

$mpes_0$ maximální přípustná chyba v provozu přímo po nastavení nuly (podle EN 45 501 mpe při nule podle ověřené NAWI musí být v rozmezí $\pm 0,25$ e);

$mpes_0$ přísluší pouze pro NAWI třída III (EURAMET-cg-18-01.Non–Automatic-Weighing-Instruments.pdf)

d rozdělení stupnice v NAWI

ρ (průměrná) hustota vzorku při stanovení hustoty

v stupně volnosti

Indexy používané ve výrazech:

T tára

N netto

G brutto

d hustota

^b 2a je rozdíl mezi limity specifikace (např. mpes nebo limity zaokrouhlování $d/2$)

2. VÝPOČET NEJISTOTY MĚŘENÍ SKUTEČNÉHO MNOŽSTVÍ VÝROBKU V HOTOVÁ BALENÍ ZA DANÉ TEPLoty (T = 20 °C ± 0,5 °C)

Skutečné množství výrobku v hotovém balení se kontroluje pomocí referenční metody (statistická kontrola šarží hotová balení). Je možno jej měřit přímo pomocí přístrojů na vážení nebo volumetrických ústrojů nebo v případě tekutin nepřímo zvážením předbaleného výrobku a změřením jeho hustoty.

Nejistota měření prováděného při měření skutečného množství výrobku v hotovém balení nesmí překročit jednu pětinu přípustné záporné chyby (TNE) u jmenovitého množství výrobku v hotovém balení.

Pokud nejistota měření překročí jednu pětinu TNE, je pro stanovení skutečného množství výrobku v hotovém balení nutno použít přesnější přístroje na měření nebo způsoby měření.

Jak již bylo uvedeno, odchylku nejistoty u výsledku často způsobují různé zdroje.

V případě měření skutečného množství výrobku v hotová balení na základě zvážení hotově baleného výrobku a změřením jeho hustoty by výraz pro rozšířenou nejistotu byl následující:

$$U_{k=2}(V) = 2 \cdot \sqrt{c(m_N)^2 u(m_N)^2 + c(p)^2 u(p)^2} \quad (4)$$

Viz 2.1.5 níže pro způsob výpočtu koeficientů citlivosti c_p .

Ve vzorci se používá faktor krytí $k = 2$, který pro normální distribuci odpovídá pravděpodobnosti krytí ve výši přibližně 95 %. Tento faktor krytí se často používá při kalibraci přístrojů na měření.

Před stanovením skutečného množství výrobku v hotovém balení je zpravidla nutno stanovit táru.

Níže jsou provedeny výpočty rozšířené nejistoty pro ověřené a kalibrované NAWI.

2.1. Ověřené NAWI

2.1.1. Stanovení táry

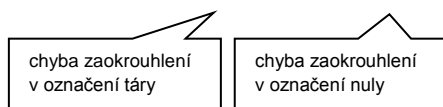
Táru je možno stanovit dvěma různými způsoby: změřením hmotnosti jednotlivé táry každého hotového balení nebo průměrné hmotnosti několika tář.

Jednotlivá tára

Hmotnost táry každého hotového balení musí být stanovena, pokud je standardní odchylka hmotnosti táry větší než jedna desetina TNE nominální hmotnosti hotová balení, a ve všech ostatních případech, kdy není použita průměrná tára.

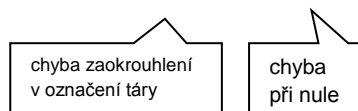
Stanovení jednotlivé táry:

$$u(m_T)^2 = \left(\frac{mpes_T}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_T}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_T}{2\sqrt{3}}\right)^2 = \left(\frac{mpes_T}{\sqrt{3}}\right)^2 + 2\left(\frac{d_T}{2\sqrt{3}}\right)^2 \quad \text{c} \quad (5)$$



Pro NAWI třída III:

$$u(m_T)^2 = \left(\frac{mpes_T}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_T}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{mpes_0}{\sqrt{3}}\right)^2 = \left(\frac{mpes_T}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_T}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_T}{4\sqrt{3}}\right)^2 \quad \text{d} \quad (5.1)$$

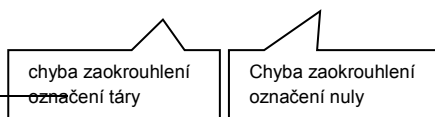


Průměrná tára

V tomto případě je nutno důkladně uvážit odchylku hmotnosti balícího materiálu. Tento způsob je pouze vhodný, pokud standardní odchylka hmotnosti táry je menší než jedna desetina^e. Z řady obalových materiálů velikosti N se odebere vzorek velikosti n_T a bude změřena průměrná tára $\overline{m_T}$ se standardní odchylkou (s_T).

Nejistota průměrné táry je:

$$u(\overline{m_T})^2 = \left(\frac{mpes_T}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_T}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_T}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{s_T}{\sqrt{n_T}}\right)^2 = \left(\frac{mpes_T}{\sqrt{3}}\right)^2 + 2\left(\frac{d_T}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{s_T}{\sqrt{n_T}}\right)^2$$



^c v praxi u NAWI třída II se používá stupnice od 0 do 5000 e: $d_T/2 \approx 1/20 mpes_T$ a obě chyby zaokrouhlení jsou zanedbatelné

^d chyba zaokrouhlení v označení táry a chyba nulového natavení již nejsou zanedbatelné v rozmezí 0-500 e, protože v tomto rozmezí $mpes_T = e = d_T$ a $mpes_0 = 1/4 e = 1/4 d$

^e OIML R87, příloha B, tabulka B1 uvádějící TNE jmenovitého množství.

V některých zemích se používá jedna čtvrtina TNE.

Pro NAWI třída III:

$$u(\overline{m}_T)^2 = \left(\frac{mpes_T}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_T}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_T}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_T}{4\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{s_T}{\sqrt{n_T}}\right)^2 \quad (6.1)$$

2.1.2. Stanovení hmotnosti hotového balení (hmotnost brutto)

Z řady hotových balení velikosti N je odebrán vzorek velikosti n_G v souladu se směrnicí 76/211/EHS. Průměr (m_G) a standardní odchyška (s_G) se počítají po zvážení každého hotového balení.

Standardní nejistota stanovení hmotnosti jednoho hotového balení (hmotnost brutto):

$$u(m_G)^2 = \left(\frac{mpes_G}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_G}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_G}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{s_T}{\sqrt{n_T}}\right)^2 = \left(\frac{mpes_G}{\sqrt{3}}\right)^2 + 2\left(\frac{d_G}{2\sqrt{3}}\right)^2 \quad (7)$$

Pro NAWI třída III:

$$u(m_G)^2 = \left(\frac{mpes_G}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_G}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{d_G}{4\sqrt{3}}\right)^2 \quad (7.1)$$

2.1.3. Výpočet hmotnosti výrobku (hmotnost netto)

V některých případech se hmotnost netto hotového balení počítá následovně:

Hmotnost výrobku (hmotnost netto) = hmotnost hotového balení (hmotnost brutto) –

individuální tára. V tomto případě se nejistota hmotnosti výrobku v jednom balení (hmotnost

$$u(m_N)^2 = u(m_G)^2 + u(m_T)^2 \quad (8)$$

$$u(m_N)^2 = u(m_G)^2 + u(m_T)^2 \quad (8)$$

Hmotnost výrobku (hmotnost netto) se obvykle počítá jako:

Hmotnost výrobku (hmotnost netto) = hmotnost hotového balení (hmotnost brutto) –
průměrná hmotnost táry.

V tomto případě se nejistota hmotnosti jednoho balení (hmotnost netto) počítá následujícím výrazem:

$$u(m_N)^2 = u(m_G)^2 + u(\overline{m}_T)^2 \quad (9)$$

Koeficient citlivosti při stanovení hmotnosti netto je 1.

2.1.4. Stanovení hustoty tekutého výrobku

Vážení hmotnosti výrobku v hotovém balení (hmotnost netto) a následné stanovení hustoty představuje nejpřesnější způsob stanovení množství výrobku v hotovém balení s jmenovitou hmotností vyjádřenou pomocí jednotky objemu.

Hustota by měla být stanovena různými způsoby. V následujícím příkladu je pro výpočet standardní nejistoty vhodný kovový pyknometr.

Stanovení hustoty pomocí pyknometru

Hustota (ρ) se obvykle stanoví pro jeden výrobek třikrát ($n_d=3$) a počítá se pomocí následujícího výrazu:

$$\rho = 0,99985 \cdot \frac{m_d}{V_{pic}} + 0,0012 \quad (10)$$

m_d obvyklá hmotnost vzorku v pyknometru

Pro další výpočet standardní nejistoty se používá průměrná hustota. Standardní komponent nejistoty pro stanovení hustoty^f

$$u(\rho)^2 = (u(m_d) \cdot c(m_d))^2 + (u(V_{pic}) \cdot c(V_{pic}))^2 + \left(\frac{s_d}{\sqrt{n_d}} \right)^2 \quad (11)$$

V tomto výrazu $u(m_d)$ je standardní nejistota hmotnosti obsahu pyknometru.

Prázdný pyknometr je vytárován (považovat za nulu, EN 45 501 4.6.3).

$$u(m_d)^2 = \left(\frac{mpes_d}{\sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{d_d}{2\sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{d_d}{2\sqrt{3}} \right)^2 = \left(\frac{mpes_d}{\sqrt{3}} \right)^2 + 2 \left(\frac{d_d}{2\sqrt{3}} \right)^2 \quad (12)$$

Koeficienty citlivosti $c(m_d)$ a $c(V_{pic})$ jsou vypočteny následovně:

$$c(m_d) = \frac{\partial \rho}{\partial m} = 0,99985 \cdot \frac{1}{V_{pic}} \quad (13)$$

$$c(V_{pic}) = \frac{\partial \rho}{\partial V} = -0,99985 \cdot \frac{m_d}{V_{pic}^2} \quad (14)$$

^f Nejistota týkající se měření teploty a hustoty vzduchu rovněž existuje, ale není relevantní pro výsledek, protože stanovení hustoty se provádí za teploty $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$

2.1.5. Výpočet kombinované nejistoty $u_c(V)$

$$V = \frac{m_N}{\rho} \quad (15.1)$$

Koeficienty citlivosti $c(m_N)$ a $c(\rho)$ jsou vypočteny následovně:

$$c(m_N) = \frac{\partial V}{\partial m_N} = \frac{1}{\rho} \quad (15.2) \quad \text{and} \quad c(\rho) = \frac{\partial V}{\partial \rho} = m_N \cdot \frac{-1}{\rho^2} \quad (15.3)$$

Kombinovaná nejistota:

$$u_c(V)^2 = c(m_N)^2 \cdot u(m_N)^2 + c(\rho)^2 \cdot u(\rho)^2 \quad (15.4)$$

$$u_c(V) = \frac{m_N}{\rho} \cdot \sqrt{\left(\frac{u(m_N)}{m_N}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho)}{\rho}\right)^2} \quad (15.5)$$

2.1.6. Výpočet rozšířené nejistoty

Rozšířená nejistota pro množství výrobku v jednom hotovém balení je:

$$U = k \cdot u_c^{\text{§}} \quad (16)$$

[§] Při stanovování limitů různých příspěvků budeme mít neomezený stupeň volnosti, tudíž v praxi $k=2$ je dostačující.

Teoreticky při použití $k=2$ je efektivní stupeň volnosti ≥ 50 . Pokud je nižší než 50, vypočtete faktor krytí z tabulky student-t.

2.2. Kalibrované NAWI

Celý postup stanovení hmotnosti hotově balených výrobků je stejný, jako postup použitý pro ověřené NAWI.

2.2.1. Stanovení táry

Jednotlivá tára

Stanoví se hmotnost táry každého hotová balení.

$$u(m_T)^2 = u(WI_T)^2 \quad (17)$$

Měla by být použita používaná nejistota, která by měla být k dispozici z potvrzení o kalibraci a měla by být v souladu se směrnicí EURAMET-cg-18-01 EA - Non–Automatic- Weighing-Instruments.pdf

Průměrná tára

Z řady hotových balení materiálu velikosti N je odebrán a změřen vzorek velikosti n_T , poté se vypočítá průměrná tára $\overline{m_T}$ spolu se standardní odchylkou (S_T).

Standardní nejistota průměrné táry je:

$$u(\overline{m_T})^2 = u(WI_T)^2 + \left(\frac{S_T}{\sqrt{n_T}} \right)^2 \quad (18)$$

2.2.2. Stanovení hmotnosti hotových balení (hmotnost brutto)

Z řady hotových balení velikosti N je odebrán vzorek velikosti n_G hotová balení. Průměr $\overline{m_G}$

a standardní odchylka (S_T) se vypočítají po zvážení každého hotového balení.

Standardní komponent nejistoty stanovení hmotnosti jednoho balení (hmotnost brutto):

$$u(m_G)^2 = u(WI_G)^2 \quad (19)$$

2.2.3. Výpočet hmotnosti výrobku v hotovém balení (hmotnost netto)

Nejistota u hmotnosti výrobku v jednom hotovém balení (hmotnost netto) (při zvážení průměrné táry) se počítá pomocí následujícího výrazu:

$$u(m_N)^2 = u(m_G)^2 + u(m_T)^2 \quad (20)$$

2.2.4 Stanovení hustoty

Hustota výrobku byla změřena pomocí kovového pyknometru.

$$u(\rho)^2 = (u(m_d) \cdot c(m_d))^2 + (u(V_{pic}) \cdot c(V_{pic}))^2 + \left(\frac{s_d}{\sqrt{n_d}} \right)^2 \quad (21)$$

$$u(m_d) = u(WI_d) \quad (22)$$

Pro stanovení $c(m_d)$, $c(V_{pic})$, výpočet kombinované nejistoty a rozšířené nejistoty použijte vzorec

13 – 16.

3. PŘÍKLADY

Měření objemu šamponu bylo provedeno na základě zvažení výrobku a stanovení jeho hustoty pomocí kovového pyknometru. Pro výpočet výrobku byla použita průměrná tára.

Jmenovité množství hotových balení (šampon): 1000 ml

Kalibrovaný pyknometr: $V_{pic} = 100 \text{ ml}$ ($100,027 \text{ ml} \pm 0,031 \text{ ml}$) $\Rightarrow U_{(k=2)} = 0,031 \text{ ml}$

$$\Rightarrow u(V_{pic}) = 0,0155 \text{ ml}$$

Měření:

Hmotnost výrobku – hmotnost netto (m_N): 1024,96 g

Průměrná tára $\overline{m_T}$ 60,80 g \Rightarrow hmotnost hotová balení – hmotnost brutto (m_G): 1085,76 g

Standardní odchylka táry (s_T): 0,86 g

Počet vzorků pro stanovení táry (n_T): 10

Počet vzorků pro stanovení průměrné hmotnosti brutto (n_G): 50

Hmotnost vzorku v pyknometru (m_d): 101,47 g

Průměrná hustota vzorku (ρ): 1,015 g/ml

Počet vzorků pro stanovení hustoty (n_d): 3

Standardní odchylka stanovení hustoty (s_d): $8,46 \cdot 10^{-5} \text{ g/ml}$

3.1. Ověření NAWI

$e = 0,1 \text{ g}$; $d = 0,01 \text{ g}$; třída II

min = 0,5 g; max. = 5100 g

3.1.1. Stanovení táry

$$u(\overline{m_T})^2 = \left(\frac{mpes_T}{\sqrt{3}} \right)^2 + 2 \left(\frac{d_T}{2\sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{s_T}{\sqrt{n_T}} \right)^2$$

$$mpes_T : \frac{\overline{m_T}}{e} = \frac{60,80 \text{ g}}{0,1 \text{ g}} = 608,0 \Rightarrow mpe_T = \pm 0,5e = 0,05 \text{ g} \Rightarrow mpes_T = 0,1 \text{ g}^h$$

$$u(\overline{m_T})^2 = \left(\frac{0,1 \text{ g}}{\sqrt{3}} \right)^2 + 2 \left(\frac{0,01 \text{ g}}{2\sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{0,86 \text{ g}}{\sqrt{10}} \right)^2$$

$$u(\overline{m_T}) = 0,278047 \text{ g}$$

^h Maximální přípustná chyba při provozu bude dvojnásobek maximální přípustné chyby při původním ověření: $2mpe = mpes$

3.1.2. Stanovení hmotnosti jednoho hotového balení (hmotnost brutto):

$$u(m_G)^2 = \left(\frac{mpes_G}{\sqrt{3}}\right)^2 + 2\left(\frac{d_G}{2\sqrt{3}}\right)^2$$

$$mpes_G : \frac{m_G}{e} = \frac{1085,76 \text{ g}}{0,1 \text{ g}} = 10857,6 \Rightarrow mpes_G = \pm 1e = 0,1 \text{ g} \Rightarrow mpes_G = 0,2 \text{ g}$$

$$u(m_G)^2 = \left(\frac{0,2 \text{ g}}{\sqrt{3}}\right)^2 + 2\left(\frac{0,01 \text{ g}}{2\sqrt{3}}\right)^2$$

$$u(m_G) = 0,115542 \text{ g}$$

3.1.3. Výpočet hmotnosti výrobku v jednom hotovém balení (hmotnost netto)

$$u(m_N)^2 = u(m_G)^2 + u(\overline{m_T})^2$$

$$u(m_N)^2 = (0,115542 \text{ g})^2 + (0,278047 \text{ g})^2$$

$$u(m_N) = 0,301098 \text{ g}$$

3.1.4. Stanovení hustoty výrobků

$$u(\rho)^2 = (u(m_d) \cdot c(m_d))^2 + (u(V_{pic}) \cdot c(V_{pic}))^2 + \left(\frac{s_d}{\sqrt{n_d}}\right)^2$$

$$u(m_d)^2 = \left(\frac{mpes_d}{\sqrt{3}}\right)^2 + 2\left(\frac{d_d}{2\sqrt{3}}\right)^2$$

$$mpes_d : \frac{m_d}{e} = \frac{101,47 \text{ g}}{0,1 \text{ g}} = 1014,7 \text{ g} \Rightarrow mpes_d = \pm 0,5e = 0,05 \text{ g} \Rightarrow mpes_d = 0,1 \text{ g}$$

$$u(m_d)^2 = \left(\frac{0,1 \text{ g}}{\sqrt{3}}\right)^2 + 2\left(\frac{0,01 \text{ g}}{2\sqrt{3}}\right)^2$$

$$u(m_d) = 0,057879 \text{ g}$$

$$c(m_d) = \frac{\partial \rho}{\partial m} = 0,99985 \cdot \frac{1}{V_{pic}} = 0,99985 \cdot \frac{1}{100,027 \text{ ml}} = 0,009996 \text{ ml}^{-1}$$

$$c(V_{pic}) = \frac{\partial \rho}{\partial V} = -0,99985 \cdot \frac{m_d}{V_{pic}^2} = -0,99985 \cdot \frac{101,47 \text{ g}}{100,027^2 \text{ ml}^2} = -0,01014 \text{ gml}^{-2}$$

$$u(\rho)^2 = (0,057879 \text{ g} \cdot 0,009996 \text{ ml}^{-1})^2 + (0,0155 \text{ ml} \cdot (0,01014 \text{ gml}^{-2}))^2 + \left(\frac{8,46 \cdot 10^{-5}}{\sqrt{3} \cdot \text{ml}} \right)^2$$

$$u(\rho) = 0,000602 \text{ gml}^{-1}$$

3.1.5. Kombinovaná nejistota, $u_c(V)$

$$u_c(V) = \frac{m_N}{\rho} \sqrt{\left(\frac{u(m_N)}{m_N} \right)^2 + \left(\frac{u(\rho)}{\rho} \right)^2}$$

$$u_c(V) = \frac{1024,96 \text{ g}}{1,015 \text{ gml}^{-1}} \cdot \sqrt{\left(\frac{0,301098 \text{ g}}{1024,96 \text{ g}} \right)^2 + \left(\frac{0,000602 \text{ gml}^{-1}}{1,015 \text{ gml}^{-1}} \right)^2}$$

$$u_c(V) = 0,667921 \text{ ml}$$

3.1.6. Rozšířená nejistota, U

$$U = k \cdot u_c(V)$$

$$U_{(k=2)} = 2 \cdot u_c(V)$$

$$U_{(k=2)} = 2 \cdot 0,667921 \text{ ml}$$

$$U_{(k=2)} = 1,335842 = 1,34 \text{ i}$$

3.2. Kalibrované NAWI

d = 0,01 g

max. = 5100 g

UM (z potvrzení o kalibraci NAWI), $U_{k=2} = 0,0047 \text{ g} + 3,90 \cdot 10^{-5} \cdot m$ (m je hmotnost náplně)

$$\Rightarrow u(WI) = (0,0047 \text{ g} + 3,90 \cdot 10^{-5} \cdot m)/2$$

3.2.1. Stanovení táry

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

$$u(WI_T) = (0,0047 \text{ g} + 3,90 \cdot 10^{-5} \cdot 60,80 \text{ g}) / 2$$

$$u(WI_T) = 0,003536 \text{ g}$$

$$u(\overline{m}_T)^2 = (0,003536 \text{ g})^2 + \left(\frac{0,86 \text{ g}}{\sqrt{10}} \right)^2 = 0,073973 \text{ g}^2$$

$$u(\overline{m}_T) = 0,271979 \text{ g}$$

3.2.2. Stanovení hmotnosti hotového balení (hmotnost brutto)

$$u(m_G)^2 = u(WI_G)^2$$

$$u(WI_G) = (0,0047 \text{ g} + 3,90 \cdot 10^{-5} \cdot 1085,76 \text{ g}) / 2 = 0,023522 \text{ g}$$

$$u(m_G) = 0,023522 \text{ g}$$

3.2.3. Výpočet hmotnosti výrobku v hotová balení (hmotnost netto)

$$u(m_N)^2 = u(m_G)^2 + u(m_T)^2$$

$$u(m_N)^2 = (0,023522 \text{ g})^2 + (0,271979 \text{ g})^2$$

$$u(m_N) = 0,272994 \text{ g}$$

3.2.4. Stanovení hustoty

$$u(\rho)^2 = (u(m_d) \cdot c(m_d))^2 + (u(V_{pic}) \cdot c(V_{pic}))^2 + \left(\frac{s_d}{\sqrt{n_d}} \right)^2$$

$$u(m_d) = u(WI_d)$$

$$u(WI_d) = (0,0047 \text{ g} + 3,90 \cdot 10^{-5} \cdot 101,47 \text{ g}) / 2 = 0,004329 \text{ g}$$

$$c(m_d) = \frac{\partial \rho}{\partial m} = 0,99985 \cdot \frac{1}{V_{pic}} = 0,99985 \cdot \frac{1}{100,027 \text{ ml}} = 0,009996 \text{ ml}^{-1}$$

$$c(V_{pic}) = \frac{\partial \rho}{\partial V} = -0,99985 \cdot \frac{m_d}{V_{pic}^2} = -0,99985 \cdot \frac{101,47 \text{ g}}{100,027^2 \text{ ml}^2} = -0,01014 \text{ gml}^{-2}$$

$$u(\rho)^2 = (0,004329 \text{ g} \cdot 0,009996 \text{ ml}^{-1})^2 + (0,0155 \text{ ml} \cdot (-0,01014 \text{ gml}^{-2}))^2 + \left(\frac{8,46 \cdot 10^{-5}}{\sqrt{3} \cdot \text{ml}} \right)^2$$

$$u(\rho) = 0,0001702 \text{ gml}^{-1}$$

3.2.5. Kombinovaná nejistota, $u_c(V)$

$$u_c(V) = \frac{m_N}{\rho} \sqrt{\left(\frac{u(m_N)}{m_N} \right)^2 + \left(\frac{u(\rho)}{\rho} \right)^2}$$

$$u_c(V) = \frac{1024,96 \text{ g}}{1,015 \text{ gml}^{-1}} \cdot \sqrt{\left(\frac{0,272994 \text{ g}}{1024,96 \text{ g}} \right)^2 + \left(\frac{0,0001702 \text{ gml}^{-1}}{1,015 \text{ gml}^{-1}} \right)^2}$$

$$u_c(V) = 0,317812 \text{ ml}$$

3.2.5.1 Efektivní stupeň volnosti ν_{eff}

Pro stanovení hodnoty k je potřeba odhad efektivního stupně volnosti ν_{eff} kombinované standardní nejistoty $u_c(y)$. GUM doporučuje použít Welch-Satterthwaitovu rovnici pro výpočet hodnoty ν_{eff} na základě stupně volnosti ν_i jednotlivých standardních nejistot $u_i(y)$; tudíž

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}}$$

V tomto případě, kdy $u_i(y)$ je $u_c(V)$ nahrazením daných dat dostaneme:

$$v_{eff} = \frac{(0,317821 \text{ ml})^4}{\frac{\left(\frac{0,271956 \text{ g}}{1,015 \text{ gml}^{-1}}\right)^4}{9} + \frac{\left(\frac{0,0001702 \text{ g}}{1,015 \text{ gml}^{-1}} + \frac{0,0001702 \text{ g}}{1,015 \text{ gml}^{-1} + 0,0000488 \text{ gml}^{-1}}\right)^4}{2}}$$

$$v_{eff} = 17,8$$

Z tabulky distribuce t, $k_{95\%} = 2,15$

3.2.6. Rozšířená nejistota, U

$$U = k \cdot u_c(V)$$

$$U_{(k=95\%)} = 2,15 \cdot u_c(V)$$

$$U_{(k=95\%)} = 2 \cdot 0,317812 \text{ ml}$$

$$U_{(k=95\%)} = 0,683296 \text{ ml} = 0,69 \text{ ml}$$

4. ZÁVĚR

Jak již bylo řečeno, nejistota měření (interpretovaná jako rozšířená nejistota) vzniklá při měření skutečného množství výrobku v hotovém balení nesmí překročit jednu pětinu přípustné záporné chyby jmenovitého množství hotového balení. V příkladu uvedeném v kapitole 3 jmenovité množství bylo 1000 ml. TNE pro toto množství je 15 ml, jedna pětina je tudíž 3 ml. V obou případech byla vypočtená rozšířená nejistota pod touto hodnotou.

Jediným rozdílem mezi oběma příklady byla vyváženost – v prvním případě ověřená a v druhém případě kalibrovaná NAWI – a kvůli rozdílu v nejistotě měření z důvodu vyváženosti je nutno brát do úvahy efektivní stupeň volnosti, aby bylo zajištěno, že pro úroveň spolehlivosti 95 % bude použit vhodný faktor k .