



---

**Ústav automatizace a informatiky**  
**Fakulta strojního inženýrství**  
**Vysoké učení technické v Brně**  
Technická 2896/2  
616 69 Brno

## **Metrologický postup kalibrace objemu nádob a nádrží objemovou metodou**

Příloha č. 1. diplomové práce Metodika pro kalibraci objemu nádob a nádrží

Bc. Šimon Vrátil  
V Brně dne 10. května 2013



## Obsah

1. Úvod.....	5
1.1. Související normy a předpisy .....	5
1.1.1. Související normy.....	5
1.1.2. Související předpisy .....	5
1.2. Základní pojmy a veličiny.....	6
1.2.1. Objemové nádoby .....	6
1.2.2. Veličiny .....	6
1.2.3. Odborné pojmy.....	6
1.2.4. Etalon .....	7
1.3. Metody měření objemu .....	8
1.3.1. Objemová metoda .....	8
1.3.2. Hmotnostní metoda .....	8
1.3.3. Matematická metoda .....	9
2. Úkony před kalibrací.....	11
2.1. Zjištění požadavků zákazníka .....	11
2.1.1. Požadavky na kalibraci.....	11
2.1.2. Technické požadavky.....	11
2.2. Volba etalonu a metody kalibrace.....	11
2.2.1. Metoda kalibrace .....	11
2.2.2. Volba etalonu .....	12
2.3. Záznam o kalibraci měřidla.....	12
2.4. Vizuální prohlídka.....	13
2.4.1. Kontrola bezpečnosti práce .....	13
2.4.2. Kontrola proveditelnosti kalibrace .....	13
2.4.3. Kontrola vhodnosti etalonu a metody kalibrace .....	13
2.4.4. Kontrola částí ovlivňujících objem .....	13
2.4.5. Určení měřicího kroku .....	13
2.4.6. Seznámení zákazníka s postupem a metodou kalibrace .....	14
2.5. Zajištění kapaliny ke kalibraci .....	14
3. Kalibrace objemovou metodou .....	15
3.1. Zaplavení a odvzdušnění soustavy.....	15
3.1.1. Kontrola těsnosti .....	15
3.1.2. Vymokření.....	15
3.2. Počáteční podmínky kalibrace .....	15
3.3. První hodnoty kalibrace .....	15
3.4. Napouštění / vypouštění kapaliny .....	15
3.4.1. Korekce .....	15

3.5.	Vyznačení / určení objemu na měřicí zařízení .....	16
3.6.	Opakování kroků .....	16
3.6.1.	Kritéria pro ukončení kalibrace .....	16
3.7.	Podmínky na konci kalibrace.....	16
3.8.	Značení polohy objemové značky .....	16
3.9.	Doplnění údajů .....	16
4.	Výpočet údajů zaznamenávaných do kalibračního listu.....	17
4.1.	Výpočet objemu.....	17
4.1.1.	Korekce výpočtu objemu .....	17
4.1.2.	Určení chyby průtokoměru v závislosti na průtoku.....	17
4.2.	Výpočet nejistot.....	18
4.2.1.	Standardní nejistoty – vyhodnocení typu A.....	19
4.2.2.	Standardní nejistoty – vyhodnocení typu B.....	20
4.2.3.	Určení vlivů a faktorů k výpočtu nejistot .....	21
4.2.4.	Výpočet nejistot při použití průtočného měřidla .....	21
4.2.5.	Výpočet nejistot při použití odměrné nádoby – Baňka.....	29
4.2.6.	Výpočet nejistot při použití krychloměru .....	35
4.2.7.	Nejistota při odečtu z měřidla s konstantní plochou hladiny v závislosti na hloubce .....	43
4.2.8.	Nejistota při odečtu z měřidla s nekonstantní plochou hladiny v závislosti na hloubce .....	47
4.2.9.	Nejistota z opakovatelnosti měření výšky hladiny .....	50
4.3.	Vystavení kalibračního listu .....	51
4.3.1.	Plnicí tabulka .....	52

# 1. ÚVOD

## 1.1. Související normy a předpisy

V následujícím seznamu je uveden výběr norem a předpisů souvisejících s problematikou metodiky kalibrace objemu nádob a nádrží.

### 1.1.1. Související normy

- ČSN EN ISO IEC 17 025 – Posuzování shody – Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří
- ČSN 25 7520 – Odměrné nádoby (míry) na kapaliny
- ČSN 25 7513 – Stacionární odměrné nádrže
- ČSN 99 6311 – Kovové odměrné nádoby. Sekundárne etalóny. Všeobecné technické požadavky
- PNÚ 1320.2 – Prevádzkové meradlá objemu kapalín s jednou objemovou značkou
- EA-4/02 – Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration (Vyjádření nejistoty měření při kalibraci)
- ČSN 25 7511 – Přepravní tanky (cisterny) na kapaliny

### 1.1.2. Související předpisy

- TPM 6370-95 – Nádrže na mléko. Technické požadavky
- TPM 6371-96 – Stacionární zásobní nádrže konstruované jako měřicí nádrže
- 0111-OOP-C029-12 – Přepravní sudy
- 0111-OOP-C001-09 – Kovové odměrné nádoby  
vychází z OIML R138<sup>1</sup>
- OOP – Přepravní tanky na kapaliny  
vychází z OIML R80 (ve schvalovacím procesu)
- OOP – Stacionární skladovací nádrže  
vychází z OIML R71, R125, R85 (ve schvalovacím procesu)
- OIML R138 – Vessels for commercial transactions (Nádoby pro obchodní transakce)
- OIML R80 – Road and rail tankers with level gauging (Silniční a železniční nádrže s měřením hladiny)
- OIML R85 – Jaugeurs automatiques pour le mesurage des niveaux de liquide dans les réservoirs de stockage fixes (Automatická měřidla pro měření hladiny tekutin v pevných cisternách pro skladování)
- OIML R71 – Fixed storage tanks. General requirements
- OIML R125 – Measuring systems for the mass of liquids in tanks (Měřicí systémy pro hmotnost kapalin v nádržích)
- TNI 01 0115 – Mezinárodní metrologický slovník. Základní všeobecné pojmy a přidružené termíny VIM<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doporučení OIML jsou volně přístupné na [www.oiml.org](http://www.oiml.org)

<sup>2</sup> VIM – International Vocabulary of Measurement

## 1.2. Základní pojmy a veličiny

V tomto dokumentu jsou užity termíny a definice podle TNI.

### 1.2.1. Objemové nádoby

#### 1.2.1.1. Stacionární sudy a nádrže

Stacionární sudy a nádrže (tanky) jsou nádoby určené ke skladování kapalných látek a používáné např. v chemickém, lékárnickém a potravinářském průmyslu.

#### 1.2.1.2. Převravní sudy a nádrže

Převravní sudy a nádrže (tanky) jsou nádoby určené k přepravě kapalných látek a používáné např. v chemickém, lékárnickém a potravinářském průmyslu.

### 1.2.2. Veličiny

Veličiny jsou vlastnosti jevů, těles nebo látek, které mají velikost, jež může být vyjádřena jako číslo a reference. V tomto postupu jsou užity jednotky dle mezinárodního systému jednotek SI<sup>3</sup>.

### 1.2.3. Odborné pojmy

Výčet odborných pojmů je řazen dle abecedy.

#### **Citlivost**

Citlivost je určena koeficientem citlivosti a vyjadřuje závislost nepřímé dílčí nejistoty na celkové nejistotě měření. Přesnější určování nejistoty je uvedeno v diplomové práci *Metodika pro kalibraci objemu nádob a nádrží*.

#### **Drift měřidla**

Spojité nebo přírůstková změna indikace v čase způsobená změnami metrologických vlastností měřidla. [13]

#### **Hodnota dílku stupnice**

Přírůstek objemu vztážený k jednomu dílku na stupnici.

#### **Indikace**

Hodnota veličiny poskytnutá měřidlem nebo měřicím systémem. [13]

#### **Indikační měřidlo**

Měřidlo poskytující výstupní signál nesoucí informaci o hodnotě veličiny, která je měřena. Při měření objemu slouží ke stanovení výšky hladiny, např. vodoznak se stupnicí, normá tyč se stupnicí, hladinoměr atd. [13]

#### **Jmenovitý objem $V_n$**

Jmenovitá hodnota objemu v litrech (zaokrouhlená nebo přibližná) charakterizující objem, pro který je nádrž či nádoba zhotovena a který je na ní uveden.

#### **Kalibrace**

Činnost, která za specifikovaných podmínek v prvním kroku stanoví vztah mezi hodnotami veličiny s nejistotami měření poskytnutými etalony a odpovídajícími indikacemi s přidruženými nejistotami měření a ve druhém kroku použije tyto informace ke stanovení vztahu pro získání výsledku měření z indikace. [5]

---

<sup>3</sup> Le Système International d'Unités (Mezinárodní systém jednotek)

**Kalibrační list**

Dokument obsahující naměřené (indikované) hodnoty při kalibraci vztažené ke konkrétnímu měřidlu včetně vyjádření nejistoty měření, podmínek měření a metrologické návaznosti etalonu. [5]

**Korekce**

Oprava hodnot naměřených výsledků podle známých systematických vlivů na měření. Korekcí se odstraňuje vliv systematické chyby na měření, např. odstranění známé chyby průtokoměru při daném průtoku. [13]

**Měření**

Proces experimentálního získávání jedné nebo více hodnot veličiny, které mohou být důvodně přiřazeny veličině. [5]

**Měřitelný objem**

Součet objemů nedělné a dělné sekce nádoby či nádrže, jejíž dolní a horní hranice je definována v závislosti na typu použitého měřicího zařízení, například nejnižší a nejvyšší značkou stupnice na vodoznaku. [13]

**Měřicí kapalina**

Měření objemovou metodou se provádí pomocí měřicí kapaliny za použití etalonu. Pro výpočet nejistoty je potřeba znát koeficient teplotní roztažnosti dané kapaliny. Měřené nádoby na potraviny se kalibrují hygienicky nezávadnou kapalinou. [13]

**Metrologie**

Metrologie je věda o měření a jeho aplikaci. [5]

**Model měření**

Matematický vztah mezi všemi známými veličinami, které mají být zahrnuty v měření. [13]

**Nejistota měření**

Nezáporný parametr spojený s výslednou hodnotou měření a charakterizující interval hodnot, které mohou být přiřazeny k měřené veličině. V tomto případě je myšlena veličina jako objem. Celková nejistota měření se vypočítá z dílčích nejistot ovlivňujících měření. [13]

**Nejmenší odměr**

Objem vypuštěný nebo napuštěný do měřené nádoby či nádrže, u něhož se nepřekročí požadovaná míra nejistoty odpovídající požadavkům na přesnost. Velikost nejmenšího odměru také závisí na velikosti prvního nebo posledního odměru, např. odměr zbytku kapaliny v nádrži.

**1.2.4. Etalon**

Realizace definice dané veličiny, se stanovenou hodnotou veličiny a přidruženou nejistotou měření, používaná jako reference. Etalon je tedy velice přesný měřicí prostředek, který určuje danou jednotku. Etalon uchovává jednotku nezávisle na času. Pro měření objemu jsou používány následující druhy kalibrovaných etalonů. [13]

**1.2.4.1. Odměrná nádoba**

Skleněná či kovová kalibrovaná nádoba určená pro měření objemu. V praxi se nejčastěji využívají kovové odměrné nádoby dle normy ČSN 99 6311 nebo skleněné odměrné baňky a odměrné válce. [5], [13]

**1.2.4.2. Krychloměr**

Krychloměr neboli sudoměr je odměrná nádoba s možností libovolného odečtu objemu v daném rozsahu, pro který je konstruován.

### 1.2.4.3. Objemové průtočné měřidlo

Průtokoměry různých konstrukcí pracují na principu měření objemu založeném na diferenci průtoku. Měří proteklé množství kapaliny nebo plynu. [20]

#### Druhy průtočných měřidel:

##### *Hmotnostní*

Hmotnostní průtokoměr vychází ze závislosti výměny tepla mezi zdrojem a okolím, které tvoří proudící tekutina, na hmotnostním průtoku. [20]

##### *Magneticko-indukční*

Tyto průtokoměry fungují na principu Faradayova zákona elektromagnetické indukce. Tedy rychlost proudění kapaliny, kterou reprezentuje pohyb vodiče, indukuje v homogenním magnetickém poli elektrické napětí. [20]

##### *Turbínové*

Umožňuje měřit kapaliny i plyny. Vychází z principu turbíny a Eulerovy rovnice. Proud tekutiny otáčí turbínou úměrně rychlosti proudu. [20]

##### *Komorové*

Jde o metody měření s velmi vysokou třídou přesnosti. Tato kategorie má několik způsobů měření lišící se konstrukcí a metodikou. Objemový průtokoměr je charakterizován rozdělením toku tekutiny na dílčí objemy vytvářené rotujícími mechanickými prvky měřidla. [20]

## 1.3. Metody měření objemu

V následujícím výčtu jsou uvedeny metody měření objemu. Jsou rozděleny do tří základních skupin.

### 1.3.1. Objemová metoda

Objem napouštěné nebo vypouštěné měřicí kapaliny do měřené nádoby či tanku je odměřován za pomoci kalibrovaného etalonu. Během kalibrace se měří veškeré veličiny ovlivňující odměřený objem a následně se z nich vypočítá nejistota měření.

#### **Pomůcky**

Ke kalibraci objemovou metodou se využívají následující pomůcky:

##### *Pomocná měřidla*

- měřidla pro kontrolu ustavení, např. měřicí zařízení pro kontrolu horizontální či vertikální polohy
- délková měřidla, např. kovová pravítka, pásma
- teploměr

##### *Další pomůcky*

- propojovací součásti, např. hadice, armatury, ventily, čerpadla, odlučovače vzduchu, průhledítka, škrťací klapky, redukce, úhelníky, rýsovací jehly, razidla atd.

##### *Požadavek na pomocná měřidla*

Pomocná měřidla použitá při kalibraci, ovlivňující výpočet nejistot měření, by měla mít odpovídající přesnost (rozsah a velikost dílku), a být kalibrována.

### 1.3.2. Hmotnostní metoda

Měření objemu pomocí hmotnostní metody se získává výpočtem z rozdílu hmotnosti prázdného a naplněného měřidla a známé hustoty měřicí kapaliny. Vážení prázdného měřidla se provádí dle požadavků na vymokření. Vážením měřidla a hustoměry se zabývají normy ČSN 25 7610, ČSN 25 7612 nebo ČSN 25 7616. [19]



### **1.3.3. Matematická metoda**

Měření objemu se provádí pomocí matematických výpočtů z naměřených rozměrů nádoby či nádrže. V praxi se tato metoda používá ke kalibraci velkých objemů, kde nelze zajistit množství kapaliny potřebné ke kalibraci jinou metodou. Použití této metody nezachycuje deformace nádoby způsobené tlakem kapaliny.



## 2. ÚKONY PŘED KALIBRACÍ

Tento bod se zabývá úkony, které předchází samotné kalibraci.

### 2.1. Zjištění požadavků zákazníka

Je nutné získat od zákazníka požadavky na prováděnou kalibraci, dle kterých se následně určí použitý druh etalonu, velikost nejmenšího odměru apod. Mezi základní požadavky patří míra nejistoty kalibrace, ve které se má výsledná kalibrace pohybovat, druh kalibrovaného měřidla, možnost použití měřicí kapalina a další požadavky ke kalibraci.

#### 2.1.1. Požadavky na kalibraci

Dle požadavků zákazníka určíme následující cíle kalibrace a jejich nejistotu.

##### 2.1.1.1. Zjištění celkového objemu

Jedním ze základních cílů kalibrace je zjištění objemu celé nádoby či nádrže po její vrchní okraj, přepad nebo k danému bodu objemu.

##### 2.1.1.2. Určení polohy objemové značky

Dalším z cílů kalibrace je zajištění průběžně měřitelného objemu kapaliny v měřidle, vztaženého k výšce hladiny naměřené indikačním měřidlem přidruženým k nádobě či nádrži, například stavoznak se stupnicí, hladinoměr.

##### 2.1.1.3. Určení nejmenšího odměru

Nejmenší odměr závisí na požadavcích zákazníka a konstrukci měřicího zařízení.

##### 2.1.1.4. Stanovení pracovních podmínek

Stanovením pracovních podmínek je myšleno určení referenční teploty a tlaku (nejčastěji atmosférický tlak) pro kalibraci nádoby či nádrže. Podmínky by se měly podobat podmínkám při provozu nádoby, jelikož mají vliv na nejistotu kalibrace.

##### 2.1.1.5. Měřicí jednotky

Měřicí jednotkou pro objem nádob a nádrží je litr se značkou *l*, pokud není zákazníkem požadováno jinak. Dle SI odpovídá objem jednoho litru objemu jednoho decimetru krychlového.

$$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 1\,000\,000 \text{ mm}^3$$

#### 2.1.2. Technické požadavky

V případě, že měřidlo má technickou dokumentaci, držíme se doporučení *OIML R138 - Vessels for commercial transactions*, dle technických listů ke kalibrované nádobě či nádrži.

## 2.2. Volba etalonu a metody kalibrace

Na zvolené metodě kalibrace a etalonu závisí výsledná míra nejistoty kalibrace.

### 2.2.1. Metoda kalibrace

Dle požadavků zákazníka na míru výsledné nejistoty, velikosti měřidla a konstrukčních možností zvolíme etalon a od něj se odvíjející metodu kalibrace. Předběžnému určení etalonu se věnuje kapitola 2.2.2.

## 2.2.2. Volba etalonu

Při stanovení postupu kalibrace se určí druh etalonu, měřicí krok a také zda proběhne kalibrace při napouštění či vypouštění měřidla. Druh etalonu zvolíme podle požadavků zákazníka na kalibraci a nejistoty kalibrace. Velikost měřicího kroku je závislá na velikosti a tvaru nádrže, případně na požadavku zákazníka na objemové značky.

### 2.2.2.1. Odměrná nádoba

Při použití odměrné nádoby je nutné správně zvolit objem. V případě použití odměrné nádoby o menším objemu než je jmenovitý objem měřidla se volí objem odměrné nádoby tak, aby počet dávek k naplnění nepřekročil 50. Pokud není jmenovitý objem násobkem objemu etalonu, je třeba doplnit měřicí kapalinu odměrnou nádobou o menším objemu nebo odměrným válcem. Některé objemy etalonových odměrných nádob jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tab. 1: Tabulka objemů odměrných nádob (etalonů)

<b>Baňka</b>	1 l	2 l	5 l	10 l	20 l
<b>Odměrný válec</b>	10 ml	25 ml	50 ml	250 ml	1 l

### 2.2.2.2. Průtokoměr

Při volbě průtokoměru se zohledňuje možnost dosažení potřebného průtoku. Velikost průtoku a volba průtokoměru se určí podle kalibračních listů v závislosti na požadavku zákazníka ohledně velikosti výsledné nejistoty kalibrace a popřípadě i velikosti měřicího kroku.

## 2.3. Záznam o kalibraci měřidla

Do založeného záznamu o kalibraci se průběžně doplňují údaje (jakmile jsou známy). Záznam o kalibraci by měl obsahovat níže uvedené údaje.

#### **Uživatel měřidla**

Název firmy, adresa, IČO.

#### **Specifikace měřidla**

Stručný popis nádoby či nádrže dle technické dokumentace, tzn. tvar nádoby ( horizontální / vertikální), materiál nádoby a způsob odměřování hladiny v měřidle včetně jednotek, např. „Nerezová stacionární nádrž se stavoznakem se stupnicí v litrech.“

#### **Umístění měřidla**

Adresa umístění měřidla a případná specifikace umístění na adrese.

#### **Výrobce, výrobní číslo**

Uvedení výrobce a výrobního čísla (evidenční číslo) dle technické dokumentace.

#### **Místo kalibrace**

Adresa místa kalibrace a případná specifikace umístění na adrese.

#### **Datum kalibrace**

Datum provedení kalibrace.

#### **Použitý etalon**

Název, druh a výrobní číslo etalonu a číslo kalibračního listu.

#### **Identifikace metody kalibrace**

Uvedení schváleného dokumentu (pracovního postupu) pro kalibraci měřidla.

**Naměřený objem**

Naměřený celkový objem ke konkrétní objemové značce nebo místu (přepad, spodní okraj hrdla), případně průběžný naměřený objem. Rozsah stupnice od minima do maxima litrů a velikost dílku stupnice.

**Pracovník zodpovědný za technické údaje**

Jméno a příjmení pracovníka provádějícího kalibraci měřidla.

**Teplota vzduchu**

Teplota vzduchu na začátku a na konci měření.

**Druh a teplota měřicí kapaliny**

Druh měřicí kapaliny, např. voda, nafta atd. Teplota měřicí kapaliny na začátku a na konci měření.

**Ostatní údaje a podmínky**

Mezi další údaje a podmínky patří například nepoužití korekcí, označení měřidla kalibrační značkou s letopočtem, zajištění proti neoprávněné manipulaci, podmínky platnosti kalibrace, ustavení do roviny, možnosti vypouštění, způsob vyjádření nejistot atd.

**2.4. Vizualní prohlídka****2.4.1. Kontrola bezpečnosti práce**

Měřidlo a místo kalibrace musí být v souladu s BOZP<sup>4</sup>. V případě nebezpečného provozu je pracovník povinen se seznámit s místními předpisy BOZP.

**2.4.2. Kontrola proveditelnosti kalibrace**

Kontrola měřidla z pohledu možnosti provedení kalibrace - zda je to konstrukčně možné a zda jsou zajištěny podmínky vyhovující kalibraci, např. kontrola možnosti napouštění či vypouštění měřidla, zajištění měřicí kapaliny, možnost aplikace etalonu atd.

**Nevypustitelný zbytek**

Je nutné zjistit, jestli lze z nádrže vypustit všechna kapalina nebo v nádrži zůstává nevypustitelný zbytek. Pokud v nádrži zůstává nevypustitelný zbytek, určí se, zda je možné jej změřit či nikoliv. Tyto informace se zaznamenávají v kalibračním listu do části *Ostatní údaje a podmínky*.

**2.4.3. Kontrola vhodnosti etalonu a metody kalibrace**

Kontrola vhodnosti metody kalibrace a etalonu vzhledem ke konstrukci měřidla, požadavkům zákazníka a technické proveditelnosti.

**2.4.4. Kontrola částí ovlivňujících objem**

Kontrola vnitřních prostor zda neobsahují cizí objekty, které by ovlivňovali objem a znehodnocovali kalibraci. Dále dle technické dokumentace zkontrolujeme přídatná zařízení, která mají vliv na objem měřidla, např. chladiče atd.

**2.4.5. Určení měřicího kroku**

Měřicí krok se určuje podle velikosti a tvaru nádrže. V případě požadavku zákazníka na zhotovení nebo kontrolu stupnice měřicího zařízení, např. stavoznaku, normé tyče, hladinoměru atd., je třeba určit měřicí krok. měřicí krok se určuje např. jako mocnina čísla 2 (4, 8, 16, 32, 64,

<sup>4</sup> BOZP – bezpečnost a ochrana zdraví při práci

128 l) a násobky těchto čísel mocninou čísla 10 (10, 100, 1000) z důvodu snadného pùlení naměřené hodnoty při vyznačování objemových značek a jiných výpočtech.

#### **2.4.6. Seznámení zákazníka s postupem a metodou kalibrace**

Pokud nebylo předem dohodnuto jinak, je nutné po určení metody kalibrace seznámit zákazníka s následujícím průběhem kalibrace a uvědomit jej, zda budou dodrženy jeho požadavky na kalibraci či nikoliv.

#### **2.5. Zajištění kapaliny ke kalibraci**

Ke kalibraci je nutné zajistit zdroj kapaliny s dostatečným průtokem odpovídajícím požadavku pro použitý etalon nebo nádobu odpovídajícího objemu, napuštěnou kapalinou v místě kalibrace.

##### **Připojení ke zdroji kapaliny**

Pokud metoda kalibrace vyžaduje připojení etalonu k měřidlu nebo zdroji kapaliny, je třeba připojení zajistit včetně potřebných uzavíracích armatur a případného propojení s čerpadlem. Je nutné zajistit možnost regulace průtoku a zastavovat průběžně měření a kontrolu od vzdušnění soustavy v průběhu kalibrace.

### 3. KALIBRACE OBJEMOVOU METODOU

Při kalibraci objemovou metodou postupujeme podle následujících kroků.

#### 3.1. Zaplavení a odvzdušnění soustavy

Po propojení soustavy je nutné ji zaplavit měřicí kapalinou a odvzdušnit. To vše před začátkem samotné kalibrace.

##### 3.1.1. Kontrola těsnosti

Zaplavenou soustavu je nutné zkontrolovat, zda nedochází k úniku měřicí kapaliny za spojů, měřidla atd.

##### 3.1.2. Vymokření

V případě malých nádob provedeme vymokření (pokud není zadavatelem požadováno jinak).

#### 3.2. Počáteční podmínky kalibrace

Na začátku kalibrace je nutné zaznamenat počáteční podmínky pro kalibraci, např. teplotu vzduchu a měřicí kapaliny.

#### 3.3. První hodnoty kalibrace

Do záznamu musí být zadány první hodnoty začátku kalibrace, např. „Vypuštěno 0 l, na normé tyči je 289 dílků [mm], atd.“

#### 3.4. Napouštění / vypouštění kapaliny

měřicí kapalina je napuštěna / vypuštěna v daném objemu za použití etalonu a to v celém nebo v požadovaném objemu – dle určeného měřicího kroku.

*Poznámka:*

Při kalibraci průtokoměrem musí být zastavení měření plynulé.

##### 3.4.1. Korekce

V případě používání korekcí je nutné dopočítat dle zvoleného průtoku pravý objem, který má být odměřen. Pokud je použit jako etalon průtokoměr, lze přesnost měření zvýšit korekcí.

$$V_S = V_i \cdot \frac{z_{pi}}{100} \quad (5.1)$$

kde:

$V_S$  – pravý naměřený objem

$V_i$  – objem  $i$ -tého měřicího kroku naměřený etalonem

$z_{pi}$  – chyba průtokoměru v závislosti na průtoku při měření  $i$ -tého měřicího kroku

**Poznámka**

Nepoužití korekcí bude mít vliv na výslednou nejistotu a je nutno zahrnout do výpočtu nejistot dle bodu 4.2.4.8.

### 3.5. Vyznačení / určení objemu na měřicí zařízení

Po odměření označíme daný objem na indikačním měřidle, např. stavoznaku, norné tyči atd. Je také možné zapsat do záznamu hodnoty odpovídající tomuto údaji (objemu), např. výšku hladiny v *mm* nebo dílcích, velikost dílku atd.

### 3.6. Opakování kroků

Kroky 3.4. – 3.5. opakujeme, dokud není splněno jedno z kritérií pro ukončení kalibrace.

#### 3.6.1. Kritéria pro ukončení kalibrace

1. po dosažení objemu požadovaného zákazníkem
2. po úplném napuštění / vypuštění do kontrolního bodu daného objemu
3. po úplném vypuštění objemu odpovídajícího úplnému vypuštění nádoby při používání, např. výpustní kohout, zátka atd.

### 3.7. Podmínky na konci kalibrace

Na konci kalibrace je nutné zaznamenat podmínky při ukončení kalibrace, např. teplota vzduchu a měřicí kapaliny.

### 3.8. Značení polohy objemové značky

Objemové značky na měřicím zařízení měřidla jsou vyznačeny dle naměřených objemů, popř. podle výpočtů z naměřených objemů. Objemové značky mohou být značeny přímo na místě kalibrace nebo vyrobeny dodatečně. Polohy značek, které nebyly stanoveny přímým měřením, se na stupnici určují výpočtem, Jejich vzdálenosti jsou vypočteny lineární interpolací mezi značkami určenými přímým měřením. [14]

### 3.9. Doplnění údajů

Na konci kalibrace se do kalibračního listu doplňují veškeré údaje o měření, které jsou nezbytné k výpočtu nejistoty.



## 4. VÝPOČET ÚDAJŮ ZAZNAMENÁVANÝCH DO KALIBRAČNÍHO LISTU

### 4.1. Výpočet objemu

V případě, že se měřicí krok rovná jmenovitému objemu, tak se výsledný objem rovná naměřené hodnotě objemu. Pokud je měřicí krok menší než jmenovitý objem, pak se výsledný objem vypočítá jako součet jednotlivých hodnot získaných z měřicích kroků dle vzorce 4.1.

$$V_c = \sum_{i=1}^n V_i \quad (4.1)$$

kde:

$V_c$  – celkový objem měřidla

$V_i$  – objem naměřený jednotlivými měřicími kroky

$n$  – počet měřicích kroků

#### 4.1.1. Korekce výpočtu objemu

Pokud je použit jako etalon průtokoměr, lze přesnost měření zvýšit korekcí.

$$V_c = \sum_{i=1}^n \left[ V_i \cdot \left( 1 + \frac{z_{pi}}{100} \right) \right] \quad (4.2)$$

kde:

$V_c$  – celkový objem měřidla

$V_i$  – objem naměřený jednotlivými měřicími kroky

$n$  – počet měřicích kroků

$z_{pi}$  – chyba průtokoměru v závislosti na průtoku při měření  $i$ -tého měřicího kroku

#### 4.1.2. Určení chyby průtokoměru v závislosti na průtoku

Pro správné určení korekcí je nutno zjistit chybu průtokoměru v závislosti na průtoku z kalibračního listu etalonu. V případě, že kalibrujeme průtokem, který není uveden v kalibračním listě, je možné k němu dopočítat chybu podle vzoru uvedeného v následujícím příkladu.

##### Příklad

Pro vypočítání chyby  $z$  je zde použit příklad tabulky z kalibračního listu.

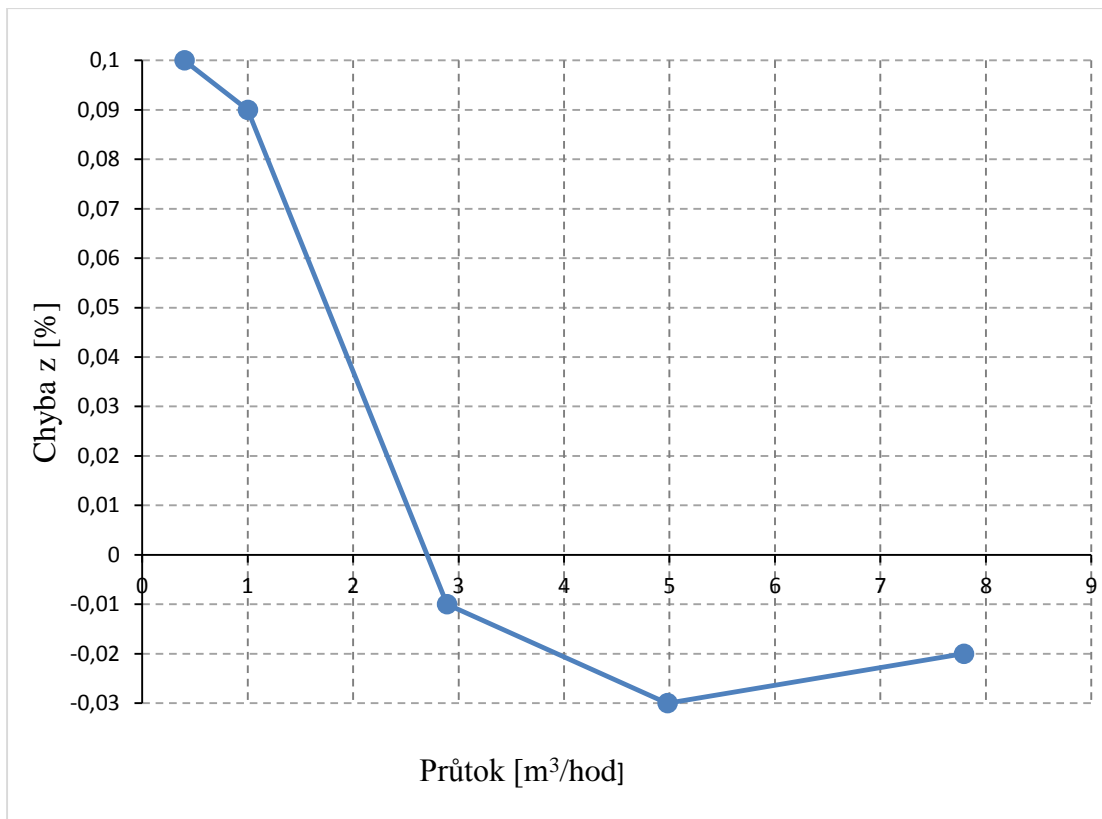
Tab. 2: Tabulka rozšířených nejistot

Průtok	Chyba	Rozšířená nejistota
[m <sup>3</sup> /hod]	[%]	[%]
0,4	0,1	0,2
1	0,09	0,18
2,89	– 0,01	0,15
4,98	– 0,03	0,15
7,79	– 0,02	0,13

Určení  $z$  při průtoku 6 m<sup>3</sup>/hod, který není uveden v kalibračním listě, je možné pomocí odečtu z grafu nebo výpočtem.

**Odečet z grafu**

Vytvoříme graf závislosti  $z$  na průtoku a z něj odečtem zjistíme potřebné hodnoty. V následujícím grafu odpovídá průtoku  $6 \text{ m}^3/\text{hod}$  hodnota chyby  $z = 0,026 \text{ %}$ .



Obr. 1: Závislost chyby průtokoměru v závislosti na průtoku

**Výpočet**

$$U = \frac{(P - P_j) \cdot (z_k - z_j)}{P_k - P_j} + z_j = \frac{(6 - 4,98) \cdot (-0,02 + 0,03)}{7,78 - 4,98} - 0,03 = 0,0263\% \quad (4.3)$$

kde:

$P$  – pravá hodnota průtoku

$U$  – velikost rozšířené nejistoty odpovídající průtoku  $P$

$P_j$  – nejbližší nižší hodnota průtoku uvedená v tabulce z kalibračního listu

$P_k$  – nejbližší vyšší hodnota průtoku uvedená v tabulce z kalibračního listu

$z_j$  – velikost chyby při průtoku  $P_j$  dle tabulky č. 2

$z_k$  – velikost chyby při průtoku  $P_k$  dle tabulky č. 2

Po zaokrouhlení získáme  $z = 0,026 \text{ %}$ .

**Poznámka**

V případě, že ke kalibraci není požadována malá nejistota měření, tak se v praxi k určení chyby používá nejbližší horší hodnota odpovídající pravému průtoku z tabulky č. 2.

**4.2. Výpočet nejistot**

Nejistota měření  $u(y)$  je parametr spojený s výslednou hodnotou měření a charakterizující interval hodnot, které mohou být přiřazeny k měřené veličině. Výsledná měřená výstupní veličina  $Y$  je závislá na vstupních veličinách  $X_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) podle obecné funkční závislosti  $f$ .

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (4.4)$$

kde:

$Y$  – měřená veličina

$X_i$  ( $i = 1, 2, 3 \dots n$ ) – vstupní veličiny ovlivňující nejistotu

Z každé  $X_i$  je vypočtena nejistota  $u(x_i)$  vztažená ke vstupní veličině podle níže uvedených výpočtů. Kombinovaná nejistota  $u(y)$  se vypočítá z dílčích nejistot  $u_i(y)$  s vyhodnocením typu A a B ovlivňujících kalibrací podle vzorce 4.5.

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(y)} \quad (4.5)$$

Dílčí nejistoty  $u_i(y)$  vztažené k výstupní veličině  $Y$  jsou vypočítány z nejistot  $u_i(x_i)$  vztažených ke vstupní veličině a citlivosti dle vzorce 4.6.

$$u_i(y) = c_i u(x_i) \quad (4.6)$$

kde:

$c_i$  – koeficient citlivosti vyjadřující do jaké míry je odhad  $u_i(y)$  závislý na  $u(x_i)$

Koeficient citlivosti je definován jako parciální derivace funkce  $f$  dle vstupní veličiny  $X_i$  pro její odhad hodnoty  $x_i$ :

$$c_i = \frac{\delta f}{\delta x_i} = \frac{\delta f}{\delta X_i} \quad (4.7)$$

Podrobné rozdělení a určování nejistot je uvedeno v diplomové práci *Metodika pro kalibraci objemu nádob a nádrží*.

V rámci EA-4/02<sup>5</sup> bylo dohodnuto, že akreditované laboratoře musí uvádět rozšířenou nejistotu  $U$ . Rozšířená nejistota  $U$  se získá vynásobením standardní nejistoty  $u(y)$  a koeficientu rozšíření  $k$  dle vzorce  $U = k \cdot u(y)$ . Pro určení rozšířené nejistoty se používá koeficient  $k = 2$ , což znamená, že pravá hodnota veličiny se s 95% pravděpodobností nachází v intervalu vymezeném rozšířenou nejistotou měření.

#### 4.2.1. Standardní nejistoty – vyhodnocení typu A

Standardní nejistoty s vyhodnocením typu A se stanovují z výsledků opakovaného měření ze série naměřených hodnot, podobně jako náhodné chyby měření. Příčiny náhodné chyby měření považujeme za neznámé a jejich hodnota klesá s počtem opakovaných měření, což vyplývá ze vzorce 4.8.

<sup>5</sup> EA-4/02: Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration

$$u(x_i) = k_s \cdot \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.8)$$

kde:

$\bar{x}$  – aritmetický průměr z  $n$  provedených měření

$n$  – počet provedených měření

$k_s$  – koeficient závislý na počtu měření

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.9)$$

Pro správnost výpočtu je potřeba počet opakovaných měření  $n$  více jak 10. V případě nedostatečného počtu měření ( $n < 10$ ) je nutno provést doplňkovou korekci pomocí koeficientu  $k_s$ , která zohlední nedostatečný počet měření a závisí na jejich počtu. Určení koeficientu určuje tabulka č. 3.

Tab. 3: Určení koeficientu podle počtu měření

$n$	2	3	4	5	6	7	8	9	10 a více
$k_s$	7	2,3	1,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1

Nejistota s vyhodnocením typu A se používá při kalibraci objemu pouze při určování výšky hladiny např. za pomoci normé tyče.

#### 4.2.2. Standardní nejistoty – vyhodnocení typu B

Standardní nejistoty s vyhodnocením typu B jsou získány jiným způsobem než statistickým zpracováním výsledků opakovaných měření, jelikož na počtu měření nezávisí. Vyhodnocují se jako nejistoty vycházející z jednotlivých vlivů na měření, identifikovaných pro konkrétní měření. Jejich sloučením získáme výslednou standardní nejistotu typu B. Při známém intervalu hodnot  $\pm \Delta x$ , kterých nabývá vstupní veličina, lze standardní nejistotu typu B vypočítat ze vztahu 4.10.

$$u(x_i) = \frac{\pm \Delta x}{\chi} \quad (4.10)$$

kde:

$\pm \Delta x$  – interval hodnot vstupní veličiny

$\chi$  – koeficient rozdělení pravděpodobnosti

V následující tabulce jsou uvedeny koeficienty rozdělení pravděpodobnosti pro vybrané rozdělení pravděpodobnosti standardních nejistot s vyhodnocením typu B.

Tab. 4: Tabulka koeficientů rozdělení pravděpodobnosti

$\chi$	Rozdělení pravděpodobnosti
3	normální
$\sqrt{3}$	rovnoměrné
$\sqrt{6}$	trojúhelníkové

### 4.2.3. Určení vlivů a faktorů k výpočtu nejistot

Pro výpočet nejistot je třeba znát vlivy a faktory, které ovlivňují přesnost kalibrace. Určení vlivů a výpočet nejistot je uveden v následujících bodech, kde je rozdělen podle použitého etalonu při kalibraci.

### 4.2.4. Výpočet nejistot při použití průtočného měřidla

Zde je uveden výpočet základních nejistot pro měření průtočným měřidlem v závislosti na jednotlivých veličinách ovlivňujících nejistotu měření.

#### 4.2.4.1. Nejistota kalibrace etalonu

Standardní kombinovaná nejistota etalonu se vypočítá z rozšířené nejistoty uvedené v kalibračním listu etalonu dle vzorců 4.11 – 4.13.

$$u(x_1) = \frac{U}{k} [\%] \quad (4.11)$$

$$c_1 = 1 \quad (4.12)$$

$$u_1(V) = \pm c_1 u(x_1) [\%] \quad (4.13)$$

kde:

$U$  – rozšířená nejistota

$k$  – koeficient rozšíření (většinou  $k = 2$ )

#### 4.2.4.2. Určení rozšířené nejistoty v závislosti na průtoku

V případě, že kalibrujeme průtokem, který není uveden v kalibračním listě, je možné k němu dopočítat rozšířenou nejistotu podle vzoru uvedeného v následujícím příkladu.

##### Příklad

Pro vypočítání chyby  $z$  je zde použit příklad tabulky z kalibračního listu.

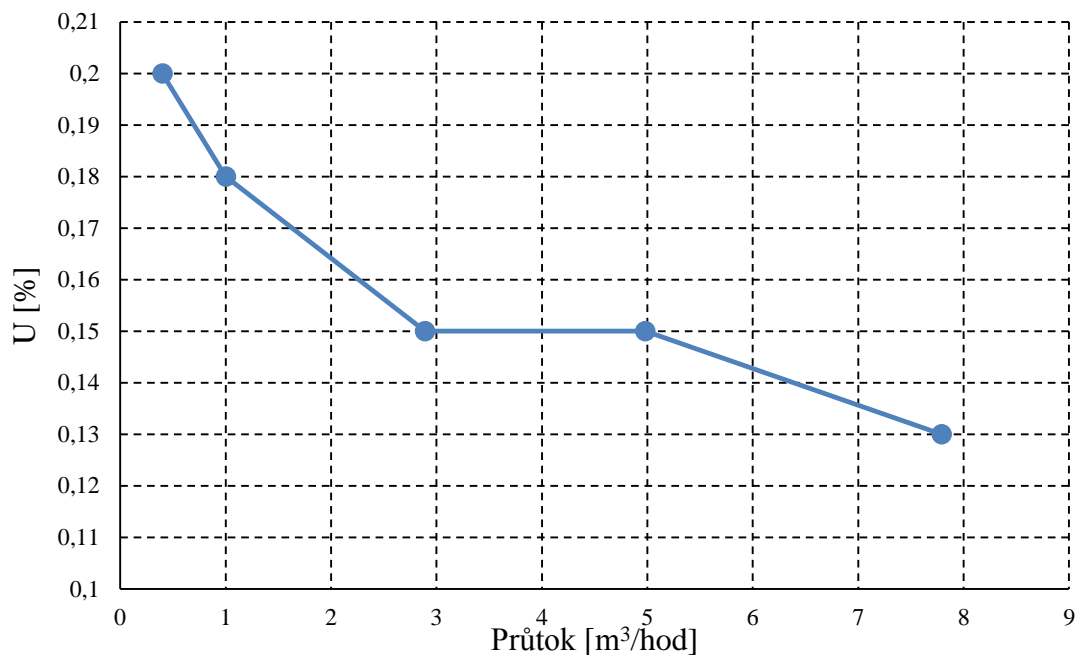
Tab. 5: Tabulka rozšířených nejistot

Průtok	Chyba	Rozšířená nejistota
[m <sup>3</sup> /hod]	[%]	[%]
0,4	0,1	0,2
1	0,09	0,18
2,89	- 0,01	0,15
4,98	- 0,03	0,15
7,79	- 0,02	0,13

Určení  $z$  při průtoku 6 m<sup>3</sup>/hod, který není uveden v kalibračním listě, je možné pomocí odečtu z grafu nebo výpočtem.

##### Odečet z grafu

Vytvoříme graf závislosti  $U$  na průtoku a z něj odečtem zjistíme potřebné hodnoty. V následujícím grafu (Obr. 2) odpovídá průtoku 6 m<sup>3</sup>/hod hodnota rozšířené nejistoty 0,143%, kterou zaokrouhlíme na  $U = 0,14$  %.



Obr. 2: Závislost rozšířené nejistoty na průtoku

**Výpočet**

$$U = \frac{(P - P_j) \cdot (U_k - U_j)}{P_k - P_j} + U_j = \frac{(6 - 4,98) \cdot (0,13 - 0,15)}{7,78 - 4,98} + 0,15 = 0,1427 \% \quad (4.14)$$

kde:

 $P$  – pravá hodnota průtoku $U$  – velikost rozšířené nejistoty odpovídající průtoku  $P$  $P_j$  – nejbližší nižší hodnota průtoku uvedená v tabulce z kalibračního listu $P_k$  – nejbližší vyšší hodnota průtoku uvedená v tabulce z kalibračního listu $U_j$  – velikost rozšířené nejistoty odpovídající průtoku  $P_N$  dle tabulky č. 2 $U_k$  – velikost rozšířené nejistoty odpovídající průtoku  $P_V$  dle tabulky č. 2Po zaokrouhlení získáme  $U = 0,14 \%$ .**Poznámka**

V případě, že ke kalibraci není požadována malá nejistota měření, tak se v praxi k určení chyby používá nejbližší horší hodnota odpovídající pravému průtoku z tabulky č. 2.

**4.2.4.3. Rozdíl teplot měřicí kapaliny v průběhu měření**

Na kalibraci má vliv teplotní roztažnost měřicí kapaliny v závislosti na změně její teploty v průběhu kalibrace. Následující výpočty slouží k určení míry nejistoty z rozdílu teplot  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$  pro uvedené druhy měřicích kapalin v tabulce č. 3.

Model měření:

$$V_n = V_m [1 + \alpha_V \cdot (t_s - t_f)] \quad (4.15)$$

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

Výpočet pro rozdíl teplot  $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$u(x_2) = \pm \frac{1 \text{ }^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = \pm 0,58 \text{ }^\circ\text{C} \quad (4.16)$$

$$c_2 = 100 \cdot \alpha_{V1} = 0,018 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \quad (4.17)$$

$$u_2(V) = \pm c_2 u(x_2) = \pm 0,01 \text{ \%} \quad (4.18)$$

Výpočet pro rozdíl teplot  $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$u(x_2) = \pm \frac{3 \text{ }^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = \pm 1,73 \text{ }^\circ\text{C} \quad (4.19)$$

$$c_2 = 100 \cdot \alpha_{V1} = 0,018 \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \quad (4.20)$$

$$u_2(V) = \pm c_2 u(x_2) = \pm 0,031 \text{ \%} \quad (4.21)$$

kde:

$V_n$  – vyměřovaný objem v měřidle

$V_m$  – objem naměřený etalonem

$t_s$  – teplota měřené kapaliny na začátku měřicího kroku či kalibrace

$t_f$  – teplota měřené kapaliny na konci měřicího kroku či kalibrace

$\alpha_V$  – koeficient objemové teplotní roztažnosti vody při  $20 \text{ }^\circ\text{C}$

$c_i$  – koeficient citlivosti

Tab. 6: Tabulka nejistot  $k$  vybraným měřicím kapalinám v závislosti na teplotní roztažnosti [15]

Měřicí kapalina	$\alpha$	$u_2(V)$ pro rozdíl teplot $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$	$u_2(V)$ pro rozdíl teplot $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$
Voda 1 – 10 $^\circ\text{C}$	$\alpha_{V0} = 108 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	0,006 %	0,019 %
Voda 10 – 30 $^\circ\text{C}$	$\alpha_{V1} = 180 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	0,01 %	0,031 %
Voda 30 – 50 $^\circ\text{C}$	$\alpha_{V2} = 190 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	0,011 %	0,033 %
Nafta	$\alpha_N = 0,001 \text{ K}^{-1}$	0,058 %	0,173 %
Líh	$\alpha_L = 0,0011 \text{ K}^{-1}$	0,064 %	0,19 %

#### 4.2.4.4. Rozdíl tlaku měřicí kapaliny v průběhu měření

Na kalibraci má vliv objemová stlačitelnost měřicí kapaliny v závislosti na změně tlaku při kalibraci. Následující výpočty slouží k určení míry nejistoty z rozdílu tlaku v nádobě a průtokoměru max. 100 kPa. Objemová stlačitelnost vybraných materiálů je uvedena v tabulce č. 4.

Model měření:

$$V_n = V_m \cdot (1 + \varepsilon \cdot \Delta p) \quad (4.22)$$

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení.

Příklad výpočtu pro rozdíl tlaku 100 kPa za použití vody jako měřicí kapaliny:

$$u(x_3) = \pm \frac{100 \text{ kPa}}{\sqrt{3}} = \pm 58 \text{ 000 Pa} \quad (4.23)$$

$$c_3 = 100 \cdot \varepsilon_v = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ Pa}^{-1} \quad (4.24)$$

$$u_3(V) = \pm c_3 u(x_3) = \pm 0,012 \% \quad (4.25)$$

kde:

$V_n$  – vyměřovaný objem v měřidle

$V_m$  – objem naměřený etalonem

$\Delta p$  – rozdíl tlaku v měřidle a průtokoměru

$\varepsilon_v$  – kompresibilitní faktor vody

$c_i$  – koeficient citlivosti

Tab. 7: Tabulka nejistot pro vybrané materiály v závislosti na objemové stlačitelnosti

Měřicí kapalina	$\varepsilon$	$u_3(V)$ pro $\Delta p$ max. 100 kPa
Voda	$\varepsilon_v = 2,1 \cdot 10^{-9} \text{ Pa}^{-1}$	$\pm 0,012 \%$
Nafta	$\varepsilon_v = 0,46 \cdot 10^{-9} \text{ Pa}^{-1}$	$\pm 0,003 \%$
Lih	$\varepsilon_v = 1,11 \cdot 10^{-9} \text{ Pa}^{-1}$	$\pm 0,006 \%$

#### 4.2.4.5. Nejistota vyplývající ze čtení etalonu

Na kalibraci má vliv přesnost odečítání z indikačního zařízení etalonu, kterou musíme zohlednit podle velikosti měřícího kroku  $V_k$ . Odhadnutá chyba při zastavení a rozběhnutí průtokoměru je  $\pm 0,05 \text{ l}$ .

Model měření:

$$V_n = V_m \quad (4.26)$$

kde:

$V_n$  – vyměřovaný objem v měřidle

$V_m$  – objem naměřený etalonem

Určení nejistoty: nejistota typu B, trojúhelníkové rozdělení

$$u(x_4) = \pm \frac{\sqrt{V_x^2 + V_x^2}}{\sqrt{6}} = \pm 0,058 \text{ l} \quad (4.27)$$

$$c_4 = \frac{100}{V_k} [\text{l}^{-1}] \quad (4.28)$$

$$u_4(V) = \pm c_4 u(x_4) [\%] \quad (4.29)$$

kde:

$V_k$  – velikost měřícího kroku

$V_x$  – odhadovaná chyba při čtení měřidla  $\pm 0,05 \text{ l}$

$c_i$  – koeficient citlivosti

#### 4.2.4.6. 4.2.4.6 Nejistota vyplývající z driftu etalonu

Driftem etalonu je myšlena změna vlastností etalonu projevená po určitém čase (doba mezi kalibracemi etalonu). Nejistota driftu etalonu se počítá z rozdílu chyb etalonu po sobě jdoucích



kalibrací etalonu. Standardní kombinovaná nejistota z driftu etalonu se vypočítá z chyb etalonu uvedených v kalibračním listu etalonu dle vzorců 4.31.- 4.33.

Model měření:

$$z_n = z_m \quad (4.30)$$

kde:

$z_n$  – chyba kalibrace měřidla

$z_m$  – systematická chyba etalonu

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

$$u(x_5) = \frac{(z_{mp} - z_{ma})}{2 \cdot \sqrt{3}} [\%] \quad (4.31)$$

$$c_5 = 1 \quad (4.32)$$

$$u_5(V) = u(x_5) \cdot c_5 [\%] \quad (4.33)$$

kde:

$z_{mp}$  – původní chyba etalonu

$z_{ma}$  – aktuální chyba etalonu

#### 4.2.4.7. Nejistota při kolísání průtoku při kalibraci

Je-li jako zdroj měřící kapaliny použit přímo vodovodní řád, může při kalibraci docházet ke kolísání průtoku  $P_r = \pm 20 \%$ . Nejistotu z tohoto kolísání je možné vypočítat z následujících vztahů.

Model měření:

$$P_{ms} = P_{mn} \cdot \left( 1 \pm \frac{P_r \cdot 100}{P_{mn}} \right) \quad (4.34)$$

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

$$u(x_6) = \pm \frac{P_r}{\sqrt{3}} = \pm 11,5 \% \quad (4.35)$$

$$P_{ms} = P_{mn} \cdot \left( 1 \pm \frac{u(x_7) \cdot 100}{P_{mn}} \right) [\text{m}^3/\text{hod}] \quad (4.36)$$

kde:

$P_r$  – kolísání průtoku ve vodovodním řádu v %

$P_{ms}$  – pravý průtok v průtočném měřidle

$P_{mn}$  – nastavený průtok na průtočném měřidle

#### Vliv na rozšířenou nejistotu

Po získání pravého průtoku lze dopočítat odchylku v rozšířené nejistotě  $U$  průtočného měřidla podle kapitoly 4.2.4.2. Následně pak tuto hodnotu  $U$  použijeme v bodě 4.2.4.1 pro určení nejistoty z kalibrace průtočného měřidla.

#### Vliv na korekci

Systematickou chybu průtokoměru ke korekci lze vypočítat po získání pravého průtoku podle bodu 4.1.2. Výslednou chybu následně použijeme k výpočtu korekcí v bodě 4.1.1.

#### 4.2.4.8. Nejistota způsobená systematickou chybou bez použití korekcí

V případě, že není požadována nízká nejistota kalibrace, je možné kalibrovat bez použití korekcí. V tom případě je nutné započítat systematickou chybu do nejistot dle vzorců 4.37.- 4.40.

Model měření:

$$z_n = z_m \quad (4.37)$$

kde:

$z_n$  – chyba kalibrace měřidla

$z_m$  – systematická chyba etalonu

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

$$u(x_7) = \pm \frac{z_{mo}}{\sqrt{3}} [\%] \quad (4.38)$$

$$c_7 = 1 \quad (4.39)$$

$$u_7(V) = u(x_7) \cdot c_7 [\%] \quad (4.40)$$

kde:

$z_{mo}$  – maximální systematická chyba etalonu při kalibraci průtokoměrem

#### 4.2.4.9. Kombinovaná nejistota při kalibraci průtočným měřidlem

Celkovou standardní nejistotu  $u(V)$  při měření objemu průtočným měřidlem získáme ze vzorce 6.41.

$$u(V) = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^7 u_i^2(V) + u_m^2(V)} \quad (4.41)$$

kde:

$u_i(V)$  – nejistoty vycházející z jednotlivých vlivů na kalibraci

$u_m(V)$  – nejistota způsobená odečtem hodnoty objemu z měřidla viz kapitoly 4.2.7. – 4.2.8.

Rozšířenou nejistotu  $U(V)$ , uváděnou v záznamu o kalibraci, pak získáme dle vzorce 4.42.

$$U(V) = k \cdot u(V) [\%] \quad (4.42)$$

kde:

$u(V)$  – kombinovaná standardní nejistota

$k$  – koeficient rozšíření ( $k = 2$ )

#### Příklad:

Kalibrace nádrže průtočným měřidlem se stavoznakem, průtokoměr byl napájen z nádrže čerpadlem, nebyla provedena kontrola stupnice stavoznaku, neproběhla žádná opakovaná měření a nebyla použita korekce.

- naměřený objem: 50 l
- měřící kapaliny: voda – 20 °C, ± 1 °C
- použitý průtok: 7,79 m<sup>3</sup>/hod
- systematická chyba průtokoměru: 0,02 %

- maximální rozdíl tlaku v etalonu a v měřidle:  $100 \text{ kPa}$
- chyba odečtu z etalonu:  $\pm 0,05 \text{ l}$  na  $100 \text{ l}$
- drift etalonu za rok:  $0,07 \%$
- odečet ze stupnice stavoznaku:  $50 \text{ l}$
- dílek stavoznaku v  $\text{mm}$ :  $2,0 \text{ mm}$
- dílek stavoznaku v  $\text{l}$ :  $0,1 \text{ l}$
- chyba odečtu ze stavoznaku:  $\pm 1,0 \text{ mm}$
- koeficient rozšíření: 2

V tabulce č. 8 je uveden přehled příspěvků různých nejistot a výsledky kombinované a rozšířené nejistoty

Tab. 8: Tabulka základních hodnot pro určení nejistoty kalibrace průtočným měřidlem

Přírůstek nejistoty	Název	Podmínky	Standardní nejistota	Pravděpodobnostní rozdělení	Koeficient citlivosti	Příspěvek k nejistotě
$u_1(V)$	Nejistota kalibrace etalonu	Průtok $7,79 \text{ m}^3/\text{hod}$	$\pm 0,065 \%$	x	1	$\pm 0,065 \%$
$u_2(V)$	Rozdíl teplot kapaliny	Teplota $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$	$\pm 0,58 \text{ }^\circ\text{C}$	Typ B – rovnoměrné	$0,018 \text{ K}^{-1}$	$\pm 0,01 \%$
$u_3(V)$	Rozdíl tlaku kapaliny	Tlak $100 \text{ kPa}$	$\pm 58 \text{ kPa}$	Typ B – rovnoměrné	$2,1 \cdot 10^{-7} \text{ Pa}^{-1}$	$\pm 0,012 \%$
$u_4(V)$	Čtení etalonu	Chyba $\pm 0,05 \text{ l}$	$\pm 0,058 \%$	Typ B – trojúhelníkové	1	$\pm 0,058 \%$
$u_5(V)$	Drift etalonu	$\pm 0,07 \%$	$\pm 0,02 \%$	x	1	$\pm 0,02 \%$
$u_6(V)$	Kolísání průtoku	Bez kolísání průtoku	x	Typ B – rovnoměrné	x	$\pm 0 \%$
$u_7(V)$	Bez použití korekcí	Systematická chyba $z_{mo} = -0,02 \%$	$\pm 0,011 \%$	Typ B – rovnoměrné	1	$\pm 0,011 \%$
$u_m(V)$	Odečítání stavoznaku v mm	Odečet ze stupnice $50 \text{ l}$	$\pm 0,029 \text{ l}$	Typ B – rovnoměrné	$2 \text{ l}^{-1}$	$\pm 0,058 \%$
$u(V)$	<b>Kombinovaná nejistota</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>Kombinované</b>	<b>x</b>	<b>0,108 %</b>
$U(V)$	Rozšířená nejistota	$k = 2$	x	Rozšířené	x	0,216 %

## 4.2.5. Výpočet nejistot při použití odměrné nádoby – Baňka

Zde je uveden výpočet základních nejistot pro měření odměrnou nádobou, např. baňkou, v závislosti na jednotlivých veličinách ovlivňujících nejistotu měření.

### 4.2.5.1. Nejistota kalibrace etalonu

Standardní kombinovaná nejistota etalonu se vypočítá z rozšířené nejistoty uvedené v kalibračním listu etalonu dle vzorců 4.43- 4.45.

$$u(x_1) = \frac{U}{k} [\%] \quad (4.43)$$

$$c_1 = 1 \quad (4.44)$$

$$u_1(V) = \pm c_1 u(x_1) [\%] \quad (4.45)$$

kde:

$U$  – rozšířená nejistota

$k$  – koeficient rozšíření (většinou  $k = 2$ )

### 4.2.5.2. Rozdíl teplot měřicí kapaliny v průběhu měření

Na kalibraci má vliv teplotní roztažnost měřicí kapaliny v závislosti na změně její teploty v průběhu kalibrace. Následující výpočty slouží k určení míry nejistoty z rozdílu teplot  $\pm 1^\circ\text{C}$  a  $\pm 3^\circ\text{C}$  pro uvedené druhy měřicích kapalin v tabulce č. 5.

Model měření:

$$V_n = V_m [1 + \alpha_V \cdot (t_s - t_f)] \quad (4.46)$$

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

Výpočet pro rozdíl teplot  $\pm 1^\circ\text{C}$ :

$$u(x_2) = \pm \frac{1^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = \pm 0,58^\circ\text{C} \quad (4.47)$$

$$c_2 = 100 \cdot \alpha_{V1} = 0,08^\circ\text{C}^{-1} \quad (4.48)$$

$$u_2(V) = \pm c_2 u(x_2) = \pm 0,005\% \quad (4.49)$$

Výpočet pro rozdíl teplot  $\pm 3^\circ\text{C}$ :

$$u(x_2) = \pm \frac{3^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = \pm 1,73^\circ\text{C} \quad (4.50)$$

$$c_2 = 100 \cdot \alpha_{V1} = 0,008^\circ\text{C}^{-1} \quad (4.51)$$

$$u_2(V) = \pm c_2 u(x_2) = \pm 0,014\% \quad (4.52)$$

kde:

$V_n$  – vyměřovaný objem v měřidle  
 $V_m$  – objem naměřený etalonem  
 $t_s$  – teplota měřené kapaliny na začátku měřícího kroku či kalibrace  
 $t_f$  – teplota měřené kapaliny na konci měřícího kroku či kalibrace  
 $\alpha_V$  – koeficient objemové teplotní roztažnosti vody  
 $c_i$  – koeficient citlivosti

Tab. 9: Tabulka nejistot vybraných materiálů v závislosti na teplotní roztažnosti

Měřicí kapalina	$\alpha$	$u_2(V)$ pro rozdíl teplot $\pm 1$ °C	$u_2(V)$ pro rozdíl teplot $\pm 3$ °C
Voda 1 – 10 °C	$\alpha_{V0} = 108 \cdot 10^{-6} K^{-1}$	0,006 %	0,019 %
Voda 10 – 30 °C	$\alpha_{V1} = 180 \cdot 10^{-6} K^{-1}$	0,01 %	0,031 %
Voda 30 – 50 °C	$\alpha_{V2} = 190 \cdot 10^{-6} K^{-1}$	0,011 %	0,033 %
Nafta	$\alpha_N = 0,001 K^{-1}$	0,058 %	0,173 %
Lih	$\alpha_L = 0,0011 K^{-1}$	0,064 %	0,19 %

#### 4.2.5.3. Teplotní roztažnost materiálu etalonu

Kalibraci odměrnou nádobou ovlivňuje teplotní roztažnost etalonu. Následující výpočty slouží k určení míry nejistoty z rozdílu teplot  $\pm 10$  °C pro uvedené druhy materiálu etalonu při použití odměrné nádoby s kruhovým dnem.

Model měření:

$$V_s = S_s \cdot h_s \quad (4.53)$$

$$h_s = h \cdot [1 + \beta \cdot (t_s - t_f)] \quad (4.54)$$

$$S_s = 2\pi r_s \quad (4.55)$$

$$r_s = r \cdot [1 + \beta \cdot (t_s - t_f)] \quad (4.56)$$

kde:

$V_s$  – pravý objem etalonu

$S_s$  – pravá plocha dna etalonu

$h_s$  – pravá výška hladiny etalonu

$r_s$  – pravý poloměr dna etalonu

$h$  – jmenovitá výška hladiny etalonu

$r$  – jmenovitý poloměr dna etalonu

$\beta$  – délková roztažnost materiálu etalonu

$t_s$  – teplota měřené kapaliny na začátku měřícího kroku či kalibrace

$t_f$  – teplota měřené kapaliny na konci měřícího kroku či kalibrace

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

Výpočet pro rozdíl teplot  $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ :

$$u(x_3) = \pm \frac{10^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} \pm 5,78\text{ }^\circ\text{C} \quad (4.57)$$

$$c_3 = 0,0009\text{ }^\circ\text{C}^{-1} \text{ pro sklo} \quad (4.58)$$

$$u_3(V) = \pm c_3 u(x_3) = \pm 0,005\% \quad (4.59)$$

kde:

$t_s$  – teplota etalonu na začátku měřicího kroku či kalibrace

$t_f$  – teplota etalonu na konci měřicího kroku či kalibrace

$c_i$  – koeficient citlivosti

Výpočet pro rozdíl teplot  $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ :

Tab. 10: Tabulka nejistot vybraných materiálů v závislosti na teplotní roztažnosti

Měřicí kapalina	Koeficient roztažnosti $\beta$	$u_3(V)$ pro rozdíl teplot $\pm 10^\circ\text{C}$	Koeficient citlivosti určený dle $\beta$
Sklo	$\beta = 0,85 \cdot 10^{-5}\text{ }K^{-1}$	$\pm 0,005\%$	$c_3 = 0,0009\text{ }K^{-1}$
Nerezová ocel	$\beta = 1,5 \cdot 10^{-5}\text{ }K^{-1}$	$\pm 0,026\%$	$c_3 = 0,0045\text{ }K^{-1}$

#### 4.2.5.4. Nejistota při odečtu z odměrné nádoby

Při odměřování hladiny z baňky se uvádí přesnost odečtu  $\pm 1,0\text{ mm}$ , což se projeví na výsledné nejistotě měření. Tato chyba se liší pro odměrné nádoby se zúženým hrdlem (baňky) nebo bez hrdla (odměrné válce). Následující výpočty jsou uvedeny pro odměrné nádoby s kruhovým průřezem.

Model měření:

$$V_m = h_m \cdot S \quad (4.60)$$

$$S = \pi r^2 \quad (4.61)$$

kde:

$V_m$  – objem naměřený etalonem

$h_m$  – výška hladiny etalonu

$S$  – plocha průřezu etalonu

$r$  – poloměr dna etalonu

##### Nádoby bez hrdla (odměrné válce)

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

$$u(x_4) = \pm \frac{h_x}{\sqrt{3}} = \pm \frac{1}{\sqrt{3}} = \pm 0,578\text{ mm} \quad (4.62)$$

$$c_4 = \frac{100}{h_m} [\text{mm}^{-1}] \quad (4.63)$$

$$u_4(V) = \pm c_4 u(x_4) = \pm \frac{57,8}{h_m} [\%] \quad (4.64)$$

kde:

$h_x$  – chyba při odměřování hladiny  $\pm 1,0 \text{ mm}$

$h_m$  – výška hladiny etalonu

$c_i$  – koeficient citlivosti

### Nádoby s hrdlem (baňky)

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

$$u(x_4) = \pm \frac{h_x}{\sqrt{3}} = \pm \frac{1,0}{\sqrt{3}} = \pm 0,578 \text{ mm} \quad (4.65)$$

$$c_4 = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot 25}{V_m} [\text{mm}^{-1}] \quad (4.66)$$

$$u_4(V) = \pm c_4 u(x_4) = \pm \frac{45,38 d^2}{V_m} [\%] \quad (4.67)$$

Výpočet pro baňku o objemu 20 l:

$$u_4(V) = \pm \frac{45,38 \cdot d^2}{V_m} = \pm \frac{45,38 \cdot 74^2}{20 \cdot 10^6} = \pm 0,012 \% \quad (4.68)$$

kde:

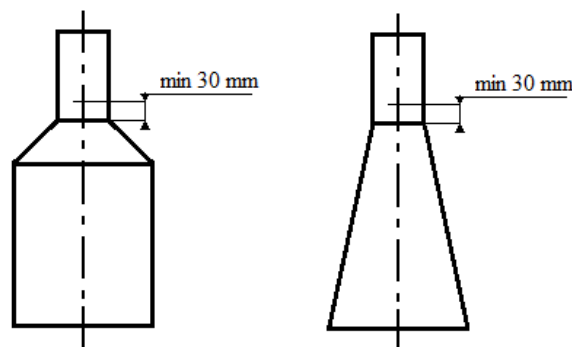
$h_x$  – chyba při odměřování hladiny  $\pm 1,0 \text{ mm}$

$c_i$  – koeficient citlivosti

$V_m$  – objem naměřený etalonem ( $20 \text{ l} = 20 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$ )

$d$  – průměr dna etalonu (pro 20l baňku = 74 mm)

U běžných kalibračních baňek, podle vzoru na obrázku č. 3, se přímo úměrně mění obsah baňky s průměrem hrdla. Velikost baňky tedy nemá vliv na velikost nejistoty z odměřování. Proto lze vypočítanou hodnotu nejistoty  $u_4(V) = \pm 0,012 \%$  z odměřování 20l baňky brát jako obecnou hodnotu pro baňky tohoto druhu.



Obr. 3: Kalibrační baňky [14]



#### 4.2.5.5. Kombinovaná standardní nejistota při kalibraci baňkou

Kombinovanou standardní nejistotu  $u(V)$  při měření objemu baňkou získáme ze vzorce 4.69.

$$u(V) = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^7 u_i^2(V) + u_m^2(V)} \quad (4.69)$$

kde:

$u_i(V)$  – nejistoty vycházející z jednotlivých vlivů na kalibraci

$u_m(V)$  – nejistota způsobená odečtem hodnoty objemu z měřidla viz kapitoly 4.2.7. – 4.2.8.

Rozšířenou nejistotu  $U(V)$  uváděnou v záznamu o kalibraci pak získáme dle vzorce 4.70.

$$U(V) = k \cdot u(V) [\%] \quad (4.70)$$

kde:

$u(V)$  – kombinovaná standardní nejistota

$k$  – koeficient rozšíření ( $k = 2$ )

#### **Příklad:**

Kalibrace nádrže se stavoznakem. Jako etalon je použita skleněná baňka o objemu 5 l, nebyla provedena kontrola stupnice stavoznaku, neproběhla žádná opakovaná měření.

- naměřený objem: 50 l
- měřicí kapaliny: voda – 20 °C ± 1 °C
- maximální změna teploty etalonu: ± 10 °C
- chyba odečtu z etalonu: ± 1,0 mm
- odečet ze stupnice stavoznaku: 50 l
- dílek stavoznaku v mm: 2 mm
- dílek stavoznaku v l: 0,1 l
- koeficient rozšíření: 2

V tabulce č. 11 je uveden přehled příspěvků různých nejistot a výsledky kombinované a rozšířené nejistoty.

Tab. 11: Tabulka základních hodnot pro určení nejistoty kalibrace průtočným měřidlem

<b>Přírůstek nejistoty</b>	<b>Název</b>	<b>Podmínky</b>	<b>Standardní nejistota</b>	<b>Pravděpodobnostní rozdělení</b>	<b>Koeficient citlivosti</b>	<b>Příspěvek k nejistotě</b>
$u_1(V)$	Nejistota kalibrace etalonu	Skleněná baňka s hrdlem 5 l	$\pm 0,011 \%$	x	1	$\pm 0,011 \%$
$u_2(V)$	Rozdíl teplot kapaliny	Teplota $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$	$\pm 0,58 \text{ }^\circ\text{C}$	Typ B – rovnoměrné	$0,018 \text{ K}^{-1}$	$\pm 0,01 \%$
$u_3(V)$	Změna teploty etalonu	Teplota skla etalonu $\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$	$\pm 5,78 \text{ }^\circ\text{C}$	Typ B – rovnoměrné	$0,0009 \text{ K}^{-1}$	$\pm 0,005 \%$
$u_4(V)$	Čtení etalonu	Odečet rysky $\pm 1 \text{ mm}$	$\pm 0,005 \%$	Typ B – rovnoměrné	0,02 %	$\pm 0,012 \%$
$u_m(V)$	Odečítání stavoznaku v mm	Odečet ze stupnice 50 l	$\pm 0,029 \text{ l}$	Typ B – rovnoměrné	$2 \text{ l}^{-1}$	$\pm 0,058 \%$
$u(V)$	<b>Kombinovaná nejistota</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>Kombinované</b>	<b>x</b>	<b>0,061 %</b>
$U(V)$	Rozšířená nejistota	k = 2	x	Rozšířené	x	0,122 %

## 4.2.6. Výpočet nejistot při použití krychloměru

Zde je uveden výpočet základních nejistot pro měření odměrnou nádobou v podobě krychloměru v závislosti na jednotlivých veličinách ovlivňujících nejistotu měření.

### 4.2.6.1. Nejistota kalibrace etalonu

Standardní kombinovaná nejistota etalonu se vypočítá z rozšířené nejistoty uvedené v kalibračním listu etalonu dle vzorců 4.71 – 4.73.

$$u(x_1) = \frac{U}{k} [\%] \quad (4.71)$$

$$c_1 = 1 \quad (4.72)$$

$$u_1(V) = \pm c_1 u(x_1) [\%] \quad (4.73)$$

kde:

$U$  – rozšířená nejistota

$k$  – koeficient rozšíření (většinou  $k = 2$ )

### 4.2.6.2. Rozdíl teplot měřicí kapaliny v průběhu měření

Na kalibraci má vliv teplotní roztažnost měřicí kapaliny v závislosti na změně její teploty v průběhu kalibrace. Následující výpočty slouží k určení míry nejistoty z rozdílu teplot  $\pm 1$  °C a  $\pm 3$  °C pro uvedené druhy měřicích kapalin v tabulce č. 7.

Model měření:

$$V_n = V_m [1 + \alpha_V \cdot (t_s - t_f)] \quad (4.74)$$

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

Výpočet pro rozdíl teplot  $\pm 1$  °C:

$$u(x_2) = \pm \frac{1^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = \pm 0,58^\circ\text{C} \quad (4.75)$$

$$c_2 = 100 \cdot \alpha_{V1} = 0,08^\circ\text{C}^{-1} \quad (4.76)$$

$$u_2(V) = \pm c_2 u(x_2) = \pm 0,005\% \quad (4.77)$$

Výpočet pro rozdíl teplot  $\pm 3$  °C:

$$u(x_2) = \pm \frac{3^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = \pm 1,73^\circ\text{C} \quad (4.78)$$

$$c_2 = 100 \cdot \alpha_{V1} = 0,008^\circ\text{C}^{-1} \quad (4.79)$$

$$u_2(V) = \pm c_2 u(x_2) = \pm 0,014\% \quad (4.80)$$

kde:

$V_n$  – vyměřovaný objem v měřidle

$V_m$  – objem naměřený etalonem

$t_s$  – teplota měřené kapaliny na začátku měřicího kroku či kalibrace

$t_f$  – teplota měřené kapaliny na konci měřicího kroku či kalibrace

$\alpha_V$  – koeficient objemové teplotní roztažnosti vody

$c_i$  – koeficient citlivosti

Tab. 12: Tabulka nejistot vybraných materiálů v závislosti na teplotní roztažnosti

Měřicí kapalina	$\alpha$	$u_2(V)$ pro rozdíl teplot $\pm 1$ °C	$u_2(V)$ pro rozdíl teplot $\pm 3$ °C
Voda 1 – 10 °C	$\alpha_{V0} = 108 \cdot 10^{-6} K^{-1}$	0,006 %	0,019 %
Voda 10 – 30 °C	$\alpha_{V1} = 180 \cdot 10^{-6} K^{-1}$	0,01 %	0,031 %
Voda 30 – 50 °C	$\alpha_{V2} = 190 \cdot 10^{-6} K^{-1}$	0,011 %	0,033 %
Nafta	$\alpha_N = 0,001 K^{-1}$	0,058 %	0,173 %
Líh	$\alpha_L = 0,0011 K^{-1}$	0,064 %	0,19 %

#### 4.2.6.3. Teplotní roztažnost materiálu etalonu

Kalibraci odměrnou nádobou ovlivňuje teplotní roztažnost etalonu. Následující výpočty slouží k určení míry nejistoty z rozdílu teplot  $\pm 10$  °C pro uvedené druhy materiálu při použití odměrné nádoby s kruhovým dnem.

Model měření:

$$V_s = S_s \cdot h_s \quad (4.81)$$

$$h_s = h \cdot [1 + \beta \cdot (t_s - t_f)] \quad (4.82)$$

$$S_s = 2\pi r_s \quad (4.83)$$

$$r_s = r \cdot [1 + \beta \cdot (t_s - t_f)] \quad (4.84)$$

kde:

$V_s$  – pravý objem etalonu

$S_s$  – pravá plocha dna etalonu

$h_s$  – pravá výška hladiny etalonu

$r_s$  – pravý poloměr dna etalonu

$h$  – jmenovitá výška hladiny etalonu

$r$  – jmenovitý poloměr dna etalonu

$\beta$  – délková roztažnost materiálu etalonu

$t_s$  – teplota měřené kapaliny na začátku měřicího kroku či kalibrace

$t_f$  – teplota měřené kapaliny na konci měřicího kroku či kalibrace

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

Výpočet pro rozdíl teplot  $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ :

$$u(x_3) = \pm \frac{10^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} \pm 5,78\text{ }^\circ\text{C} \quad (4.85)$$

$$c_3 = 0,005\text{ }^\circ\text{C}^{-1} \text{ pro m\text{e}d' } \quad (4.86)$$

$$u_3(V) = \pm c_3 u(x_3) = \pm 0,03\% \quad (4.87)$$

kde:

$t_s$  – teplota měřené kapaliny na začátku měřicího kroku či kalibrace

$t_f$  – teplota měřené kapaliny na konci měřicího kroku či kalibrace

$c_i$  – koeficient citlivosti

Tab. 13: Tabulka nejistot vybraných materiálů v závislosti na teplotní roztažnosti

Měřicí kapalina	Koeficient roztažnosti $\beta$	$u_3(V)$ pro rozdíl teplot $\pm 10\text{ }^\circ\text{C}$	Koeficient citlivosti určený dle $\beta$
Měď	$\beta = 1,7 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$	$\pm 0,03\%$	$c_3 = 0,005\text{ K}^{-1}$
Nerezová ocel	$\beta = 1,5 \cdot 10^{-5}\text{ K}^{-1}$	$\pm 0,0026\%$	$c_3 = 0,0045\text{ K}^{-1}$

#### 4.2.6.4. Nejistota při odměřování z indikačního zařízení etalonu

U krychloměru se hodnota naměřeného objemu odečítá z indikačního zařízení, kterým může být stavoznak se stupnicí, hladinoměř atd. Různé indikační měřidlo způsobuje různou hodnotu nejistoty odečítání objemu. Následující výpočty jsou rozděleny do čtyř skupin podle použitého měřicího zařízení na krychloměru.

##### Nejistota při odečítání ze stavoznaku se stupnicí v mm

Při odečítání ze stavoznaku se uvádí chyba odečtu ze stupnice  $\pm 1,0\text{ mm}$ . Nejistotu z této chyby vypočítáme podle vzorců 4.88 a 4.89.

Model měření:

$$V_m = h_m \cdot S \quad (4.88)$$

$$S = \pi v^2 \quad (4.89)$$

kde:

$V_m$  – objem naměřený etalonem

$h_m$  – výška hladiny etalonu

$S$  – plocha průřezu (hladiny) etalonu

$r$  – poloměr dna etalonu

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

$$u(x_4) = \pm \frac{h_x}{\sqrt{3}} = \pm \frac{1,0}{\sqrt{3}} = \pm 0,578\text{ mm} \quad (4.90)$$

$$c_4 = \frac{100}{h_m} [\text{mm}^{-1}] \quad (4.91)$$

$$u_4(V) = \pm c_4 u(x_4) = \pm \frac{57,8}{h_m} [\%] \quad (4.92)$$

kde:

$h_x$  – chyba při odměřování hladiny  $\pm 1,0 \text{ mm}$

$h_m$  – výška hladiny indikačního měřidla

$c_i$  – koeficient citlivosti

#### Nejistota při odečítání ze stavoznaku se stupnicí v $l$

Při odečítání ze stavoznaku se uvádí chyba odečtu jako  $\frac{1}{2}$  dílku ze stupnice. Tato hodnota se dá přepočítat na chybu  $\pm L_x$  v litrech. Nejistotu z této chyby vypočítáme podle vzorců 4.93 a 4.98.

Model měření:

$$V_m = h_m \cdot S \quad (4.93)$$

$$S = \pi v^2 \quad (4.94)$$

kde:

$V_m$  – objem naměřený etalonem

$h_m$  – výška hladiny etalonu

$S$  – plocha průřezu etalonu

$r$  – poloměr dna etalonu

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

$$u(x_4) = \frac{\pm L_x}{\sqrt{3}} [l] \quad (4.95)$$

$$c_4 = \frac{1}{V_m} \cdot 100 [l^{-1}] \quad (4.96)$$

$$u_4(V) = \pm c_4 u(x_4) [\%] \quad (4.97)$$

Chyba odpočtu  $L_x$  se vypočítá dle vzorce 4.98.

$$L_x = \frac{d_l}{2} [l] \quad (4.98)$$

kde:

$L_x$  – chyba při odměřování hladiny v  $\pm l$

$d_l$  – hodnota jednoho dílku v litrech

$c_i$  – koeficient citlivosti

$V_m$  – objem naměřený etalonem

$h_m$  – výška hladiny v etalonu

$S$  – plocha průřezu (hladiny) etalonu

#### Nejistota při odečítání z hladinoměru s nejistotou měření určenou v $mm$

Pokud je v krychloměru odměřována výška hladiny pomocí hladinoměru, u kterého je dána rozšířená nejistota  $U$  v jednotkách  $mm$  a tato nejistota není započítána do kombinované nejistoty krychloměru, pak lze výpočet nejistoty z odečtu hladiny získat pomocí vzorců 4.99 – 4.102.

Model měření:

$$V_m = h_m \cdot S \quad (4.99)$$

Určení nejistoty: kombinovaná nejistota

$$u(x_4) = \frac{U}{k} \text{ [mm]} \quad (4.100)$$

$$c_4 = \frac{100}{h_m} \quad (4.101)$$

$$u_4(V) = \pm c_4 u(x_4) = [\%] \quad (4.102)$$

kde:

$V_m$  – objem naměřený etalonem

$h_m$  – výška hladiny etalonu

$S$  – plocha průřezu etalonu

$U$  -rozšířená nejistota

$k$  – koeficient rozšíření (většinou  $k = 2$ )

$c_i$  – koeficient citlivosti

#### Nejistota při odečítání z hladinoměru s nejistotou měření určenou v %

V případě, že je u krychloměru odměřována výška hladiny pomocí hladinoměru, u kterého je dána rozšířená nejistota  $U$  v % a tato nejistota není započítána do kombinované nejistoty krychloměru, pak lze výpočet nejistoty z odečtu hladiny získat pomocí vzorců 4.103 a 4.104.

Model měření:

$$V_m = h_m \cdot S \quad (4.103)$$

Určení nejistoty: Kombinovaná nejistota

$$u_4(V) = \frac{U}{k} [\%] \quad (4.104)$$

kde:

$V_m$  – objem naměřený etalonem

$h_m$  – výška hladiny etalonu

$S$  – plocha průřezu (hladiny) etalonu

$U$  -rozšířená nejistota

$k$  – koeficient rozšíření (většinou  $k = 2$ )

#### 4.2.6.5. Kombinovaná standardní nejistota při kalibraci krychloměrem

Kombinovanou standardní nejistotu  $u(V)$  při měření objemu krychloměrem získáme ze vzorce 4.105.

$$u(V) = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^7 u_i^2(V) + u_m^2(V)} \quad (4.105)$$

kde:

$u_i(V)$  – nejistoty vycházející z jednotlivých vlivů na kalibraci

$u_m(V)$  – nejistota způsobená odečtem hodnoty objemu z měřidla viz kapitoly 4.2.7. – 4.2.8.

Rozšířenou nejistotu  $U(V)$  uváděnou v záznamu o kalibraci pak získáme dle vzorce 4.106.

$$U(V) = k \cdot u(V) [\%] \quad (4.106)$$

kde:

$u(V)$  – kombinovaná standardní nejistota

$k$  – koeficient rozšíření ( $k=2$ )

**Příklad:**

Kalibrace nádrže se stavoznakem. Etalonem je měděný krychloměr o objemu 64 l se stupnicí v mm po 0,05 l. Nebyla provedena kontrola stupnice stavoznaku, neproběhla žádná opakovaná měření.

- naměřený objem: 50 l
- měřicí kapaliny: voda – 20 °C ±1 °C
- maximální měna teploty etalonu: ± 10 °C
- odečet ze stupnice stavoznaku: 50 l
- dílek stavoznaku v mm: 2 mm
- dílek stavoznaku v l: 0,1 l
- koeficient rozšíření: 2

V tabulce č. 14 je uveden přehled příspěvků různých nejistot a výsledky kombinované a rozšířené nejistoty.



Tab. 14: Tabulka základních hodnot pro určení nejistoty kalibrace krychloměrem

<b>Přírůstek nejistoty</b>	<b>Název</b>	<b>Podmínky</b>	<b>Standardní nejistota</b>	<b>Pravděpodobnostní rozdělení</b>	<b>Koeficient citlivosti</b>	<b>Příspěvek k nejistotě</b>
$u_1(V)$	Nejistota kalibrace etalonu	Krychloměr 128 l	$\pm 0,03 \%$	x	1	$\pm 0,03 \%$
$u_2(V)$	Rozdíl teplot kapaliny	Teplota $\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 0,58 \text{ }^\circ\text{C}$	Typ B – rovnoměrné	$0,018 \text{ K}^{-1}$	$\pm 0,01 \%$
$u_3(V)$	Rozdíl teploty etalonu	Měď $\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$	$\pm 5,78 \text{ }^\circ\text{C}$	Typ B – rovnoměrné	$0,005 \text{ K}^{-1}\text{Pa}^{-1}$	$\pm 0,03 \%$
$u_4(V)$	Čtení etalonu	Dílek stavoznaku $1 \text{ mm} = 0,05 \text{ l}$	$\pm 0,0144 \%$	Typ B – rovnoměrné	$2 \text{ l}^{-1}$	$\pm 0,029 \%$
$u_m(V)$	Odečítání stavoznaku v mm	Odečet ze stupnice 50 l	$\pm 0,029 \text{ l}$	Typ B – rovnoměrné	$2 \text{ l}^{-1}$	$\pm 0,058 \%$
<b><math>u(V)</math></b>	<b>Kombinovaná nejistota</b>	x	<b>x</b>	<b>Kombinovaná</b>	<b>x</b>	$\pm 0,078 \%$
$U(V)$	Rozšířená nejistota	$k = 2$	x	Rozšířená	x	$\pm 0,156 \%$



### 4.2.7. Nejistota při odečtu z měřidla s konstantní plochou hladiny v závislosti na hloubce

Nezanedbatelné vlivy na výslednou hodnotu nejistoty vznikají při odečítání hodnot z indikačního zařízení měřidla, které kalibrujeme. U měřidla se hodnota naměřeného objemu odečítá z měřicího zařízení, které může mít různou podobu, např. stavoznak se stupnicí, hladinoměr atd. Různé indikační měřidlo způsobuje různou hodnotu nejistoty odečítání objemu. Následující výpočty jsou rozděleny do dvou skupin podle toho, zda má měřidlo konstantní plochu hladiny v závislosti na hloubce a dále jsou děleny podle použitého indikačního zařízení na měřidle. V případě, že měřicím zařízením je stavoznak se stupnicí, je třeba provést kontrolu stupnice. První čtveřice výpočtu je pro nádrže s konstantní plochou hladiny v závislosti na hloubce, např. stojaté válcové nádrže.

#### 4.2.7.1. Nejistota při odečítání ze stavoznaku se stupnicí v mm

Při odečítání ze stavoznaku se uvádí chyba odečtu ze stupnice  $\pm 1,0$  mm. Nejistotu z této chyby vypočítáme podle vzorců 4.107 - 4.111.

Model měření:

$$V_m = h_m \cdot S \quad (4.107)$$

$$S = \pi r^2 \quad (4.108)$$

kde:

$V_m$  – naměřený objem

$h_m$  – výška hladiny v měřidle

$S$  – plocha průřezu (hladiny) měřidla

$r$  – poloměr dna měřidla

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

$$u(x_{1m}) = \pm \frac{h_x}{\sqrt{3}} = \pm \frac{1,0}{\sqrt{3}} = \pm 0,58 \text{ mm} \quad (4.109)$$

$$c_{1m} = \frac{100}{h_m} [\text{mm}^{-1}] \quad (4.110)$$

$$u_{1m}(V) = \pm c_4 u(x_4) = \pm \frac{58}{h_m} [\%] \quad (4.111)$$

kde:

$h_x$  – chyba při odměřování hladiny  $\pm 1,5$  mm

$h_m$  – výška hladiny měřidla

$c_i$  – koeficient citlivosti

#### Kontrola stupnice

Kontrolu stupnice provádíme pomocným měřidlem pro měření délky, např. pravítko posuvka atd. Naměřenou odchylku označíme  $h_y$  a vypočítáme míru nejistoty z odečtu stupnice dle vzorců 4.112 – 4.114.

Model měření:

$$h_m = h_s \pm h_y \quad (4.112)$$

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

$$c_{2m} = \frac{100}{h_m} [\text{mm}^{-1}] \quad (4.113)$$

$$\begin{aligned} u_{2m}(V) &= \sqrt{\left(\frac{U_y}{k}\right)^2 + \left(\frac{\mp(h_y + h_x) \cdot c_{2m}}{\sqrt{3}}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{U_y}{k}\right)^2 + (\mp(h_y + h_x) \cdot 57,73)^2} [\%] \end{aligned} \quad (4.114)$$

kde:

$h_m$  – výška hladiny naměřená etalonem pro měření objemu

$h_s$  – výška hladiny naměřená měřicím zařízením na měřidle

$h_y$  – odchylka na stupnici v  $mm$  naměřená při kontrole etalonem

$h_x$  – odchylka při odečítání hodnoty na etalonu  $\pm 0,5 \text{ mm}$

$U_y$  – rozšířená nejistota etalonu na měření délky

$k$  – koeficient rozšíření

$c_{im}$  – koeficient citlivosti

Kombinovaná nejistota  $u_m(V)$  při odečítání hodnoty objemu z měřidla se získá ze vzorce 4.115.

$$u_m(V) = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{mi}^2(V)} [\%] \quad (4.115)$$

#### 4.2.7.2. Nejistota při odečítání ze stavoznaku se stupnicí v $l$

Při odečítání ze stavoznaku se uvádí chyba odečtu jako  $\frac{1}{2}$  dílku ze stupnice. Tato hodnota se dá přepočítat na chybu  $\pm L_x$  v litrech. Nejistotu z této chyby vypočítáme podle následujících vzorců.

Model měření:

$$V_m = h_m \cdot S \quad (4.116)$$

$$S = \pi r^2 \quad (4.117)$$

kde:

$V_m$  – naměřený objem

$h_m$  – výška hladiny v měřidle

$S$  – plocha průřezu (hladiny) měřidla

$r$  – poloměr dna etalonu

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

$$u(x_{1m}) = \frac{\pm L_x}{\sqrt{3}} \text{ [l]} \quad (4.118)$$

$$c_{1m} = \frac{100}{V_m} \text{ [l}^{-1}\text{]} \quad (4.119)$$

$$u_{1m}(V) = \pm c_{1m} u(x_{1m}) \text{ [%]} \quad (4.120)$$

Chyba odpočtu  $L_x$  se vypočítá dle vzorce 4.121.

$$L_x = \frac{d_l}{2} \text{ [l]} \quad (4.121)$$

kde:

$L_x$  – chyba při odměřování hladiny v  $\pm l$  odpovídající chybě odečtu ze stupnice  $\pm 1,5 \text{ mm}$

$d_l$  – hodnota jednoho dílku v litrech

$c_{im}$  – koeficient citlivosti

$V_m$  – objem naměřený etalonem

$h_m$  – výška hladiny v etalonu

$S$  – plocha průřezu (hladiny) měřidla

### Kontrola stupnice

Kontrolu stupnice provádíme pomocným měřidlem pro měření délky, např. pravítkem, posuvkou atd. Naměřenou odchylku označíme  $h_y$  a vypočítáme míru nejistoty z odečtu stupnice dle vzorců 4.122 – 4.124.

Model měření:

$$h_m = h_s \pm h_y \quad (4.122)$$

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

$$c_{2m} = \frac{100}{h_m} \text{ [mm}^{-1}\text{]} \quad (4.123)$$

$$\begin{aligned} u_{2m}(V) &= \sqrt{\left(\frac{U_y}{k}\right)^2 + \left(\frac{\pm (h_y + h_x) \cdot c_{2m}}{\sqrt{3}}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{U_y}{k}\right)^2 + (\mp (h_y + h_x) \cdot 57,73)^2} \text{ [%]} \end{aligned} \quad (4.124)$$

kde:

$h_m$  – výška hladiny naměřená etalonem pro měření objemu

$h_s$  – výška hladiny naměřená měřicím zařízením na měřidle

$h_y$  – odchylka na stupnici v  $mm$  naměřená při kontrole etalonem

$h_x$  – odchylka při odečítání hodnoty na etalonu  $\pm 0,5mm$

$U_y$  – rozšířená nejistota etalonu na měření délky

$k$  – koeficient rozšíření

$c_{im}$  – koeficient citlivosti

Kombinovaná nejistota  $u_m(V)$  při odečítání hodnoty objemu z měřidla se získá ze vzorce 4.125.

$$u_m(V) = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{mi}^2(V)} \quad [\%] \quad (4.125)$$

#### 4.2.7.3. Nejistota při odečítání z hladinoměru s nejistotou měření určenou v $mm$

Pokud je v měřidle odměřována výška hladiny pomocí hladinoměru, u kterého je dána rozšířená nejistota  $U$  v jednotkách  $mm$ , pak lze výpočet nejistoty z odečtu hladiny získat pomocí vzorců 4.126 – 4.129.

Model měření:

$$V_m = h_m \cdot S \quad (4.126)$$

Určení nejistoty: kombinovaná nejistota

$$u(x_{1m}) = \frac{U}{k} \quad [mm] \quad (4.127)$$

$$c_{1m} = \frac{100}{h_m} \quad [mm^{-1}] \quad (4.128)$$

$$\begin{aligned} u_{1m}(V) \\ = \pm c_m u(x_{1m}) \quad [\%] \end{aligned} \quad (4.129)$$

kde:

$V_m$  – naměřený objem

$h_m$  – výška hladiny v měřidle

$S$  – plocha průřezu (hladiny) měřidla

$U$  – rozšířená nejistota

$k$  – koeficient rozšíření (většinou  $k = 2$ )

$c_m$  – koeficient citlivosti

#### 4.2.7.4. Nejistota při odečítání z hladinoměru s nejistotou měření určenou v %

V případě, že je u měřidla odměřována výška hladiny pomocí hladinoměru, u kterého je dána rozšířená nejistota  $U$  v %, pak lze výpočet nejistoty z odečtu hladiny získat pomocí vzorců 4.130 a 4.131.

Model měření:

$$V_m = h_m \cdot S \quad (4.130)$$

Určení nejistoty: kombinovaná nejistota

$$u_m(V) = \frac{U}{k} \quad [\%] \quad (4.131)$$

kde:

$V_m$  – naměřený objem

$h_m$  – výška hladiny v měřidle

$S$  – plocha průřezu (hladiny) měřidla

$U$  – rozšířená nejistota

$k$  – koeficient rozšíření (většinou  $k = 2$ )

#### 4.2.8. Nejistota při odečtu z měřidla s nekonstantní plochou hladiny v závislosti na hloubce

Tento výpočet nejistoty je opět rozdělen podle druhu indikačního zařízení a vztahuje se na měřidla s nekonstantní plochou hladiny v závislosti na hloubce, např. ležaté válcové nádrže.

##### 4.2.8.1. Nejistota při odečítání ze stavoznaku se stupnicí

Při odečítání ze stavoznaku se uvádí chyba odečtu ze stupnice  $\pm 1,0 \text{ mm}$ . Nejistotu z této chyby vypočítáme podle následujících vzorců.

Model měření:

$$V_m = h_m \cdot S \quad (4.132)$$

$$S = \pi r^2 \quad (4.133)$$

kde:

$V_m$  – naměřený objem

$h_m$  – výška hladiny v měřidle

$S$  – plocha průřezu (hladiny) měřidla

$r$  – poloměr dna měřidla

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

$$u(x_{1m}) = \pm \frac{h_x}{\sqrt{3}} = \pm \frac{1,0}{\sqrt{3}} = \pm 0,58 \text{ mm} \quad (4.134)$$

$$c_{1m} = \frac{V_q - V_r}{a \cdot V_m} \cdot 100 [\text{mm}^{-1}] \quad (4.135)$$

$$u_{1m}(V) = \pm c_4 u(x_4) [\%] \quad (4.136)$$

kde:

$h_x$  – chyba při odměřování hladiny  $\pm 1,0 \text{ mm}$

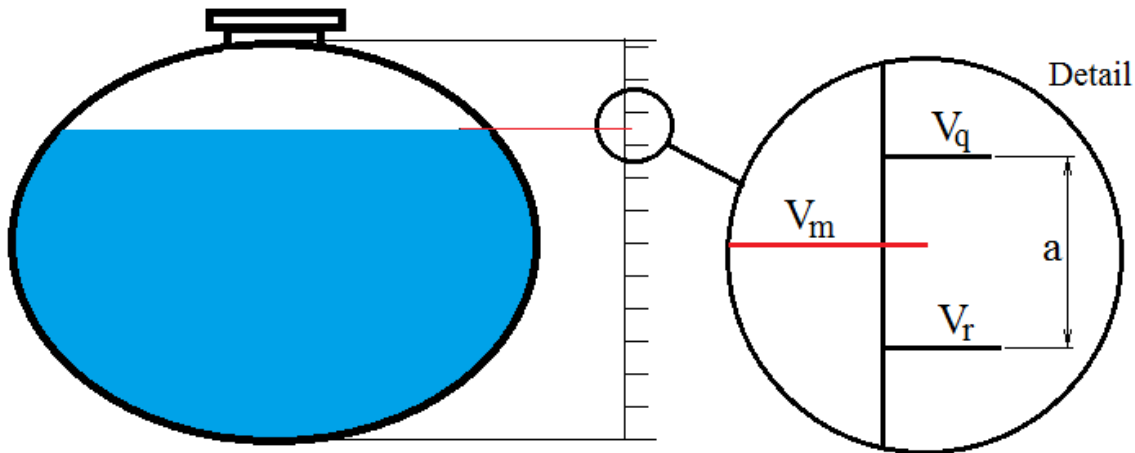
$V_m$  – naměřený objem

$V_r$  – objem odpovídající nejbližší nižší rysce  $r$

$V_q$  – objem odpovídající nejbližší vyšší rysce  $q$

$a$  – vzdálenost sousedních rysek  $r$  a  $q$  v mm

$c_i$  – koeficient citlivosti



Obr. 4: Znázornění objemů k výpočtu nejistoty z odměřování

### Kontrola stupnice

Kontrolu stupnice provádíme pomocným měřidlem pro měření délky, např. pravítkem, posuvkou atd. Naměřenou odchylku označíme  $h_y$  a vypočítáme míru nejistoty z odečtu stupnice dle vzorců 4.137 – 4.139.

Model měření:

$$h_m = h_s \pm h_y \quad (4.137)$$

Určení nejistoty: nejistota typu B, rovnoměrné rozdělení

$$c_{2m} = \frac{100}{h_m} [\text{mm}^{-1}] \quad (4.138)$$

$$\begin{aligned} u_{2m}(V) &= \sqrt{\left(\frac{U_y}{k}\right)^2 + \left(\frac{\pm(h_y + h_x) \cdot c_{2m}}{\sqrt{3}}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{U_y}{k}\right)^2 + (\pm(h_y + h_x) \cdot 57,73)^2} \quad [\%] \end{aligned} \quad (4.139)$$

kde:

$h_m$  – výška hladiny naměřená etalonem pro měření objemu

$h_s$  – výška hladiny naměřená měřicím zařízením na měřidle

$h_y$  – odchylka na stupnici v  $mm$  naměřená při kontrole etalonem

$h_x$  – odchylka při odečítání hodnoty na etalonu  $\pm 0,5 \text{ mm}$

$U_y$  – rozšířená nejistota etalonu na měření délky

$k$  – koeficient rozšíření

$c_{im}$  – koeficient citlivosti

Kombinovaná nejistota  $u_m(V)$  při odečítání hodnoty objemu z měřidla se získá z následujícího vzorce 4.140.



$$u_m(V) = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{mi}^2(V)} \text{ [%]} \quad (4.140)$$

#### 4.2.8.2. Nejistota při odečítání z hladinoměru s nejistotou měření určenou v %

V případě, že je u měřidla odměřována výška hladiny pomocí hladinoměru, u kterého je dána rozšířená nejistota  $U$  v %, pak lze výpočet nejistoty z odečtu hladiny získat pomocí vzorců 4.141 – 4.144.

Model měření:

$$V_m = h_m \cdot S \quad (4.141)$$

Určení nejistoty: kombinovaná nejistota

$$u_{1m}(V) = \frac{U}{k} \cdot c_m \text{ [%]} \quad (4.142)$$

$$c_{1m} = \frac{h_m \cdot V_e}{V_m} \text{ [%]} \quad (4.143)$$

kde:

$V_m$  – naměřený objem

$h_m$  – výška hladiny v měřidle

$S$  – plocha průřezu (hladiny) měřidla

$U$  – rozšířená nejistota

$k$  – koeficient rozšíření (většinou  $k = 2$ )

$V_e$  – objem odpovídající změně hladiny o 1 mm ve výšce hladiny  $h_m$ .

Hodnotu  $V_e$  lze získat z převodní tabulky dle vzorce.

$$V_e = \frac{V_q - V_r}{a} [l \cdot \text{mm}^{-1}] \quad (4.144)$$

kde:

$V_r$  – objem odpovídající nejbližší nižší hodnotě z převodní tabulky pro výšku hladiny  $h_m$

$V_q$  – objem odpovídající nejbližší vyšší hodnotě z převodní tabulky pro výšku hladiny  $h_m$

$a$  – vzdálenost dílku stupnice v převodní tabulce v mm

#### 4.2.8.3. Nejistota při odečítání z hladinoměru s nejistotou měření určenou v mm

Pokud je v měřidle odměřována výška hladiny pomocí hladinoměru, u kterého je dána rozšířená nejistota  $U$  v jednotkách mm, pak lze výpočet nejistoty z odečtu hladiny získat pomocí vzorců 4.145 – 4.149.

Model měření:

$$V_m = h_m \cdot S \quad (4.145)$$

Určení nejistoty: kombinovaná nejistota

$$u(x_{1m}) = \frac{U}{k} \text{ [mm]} \quad (4.146)$$

$$c_{1m} = \frac{100 \cdot V_e}{V_m} \text{ [mm}^{-1}\text{]} \quad (4.147)$$

$$u_{1m}(V) = \pm c_{1m} u(x_{1m}) \text{ [%]} \quad (4.148)$$

kde:

$V_m$  – naměřený objem

$h_m$  – výška hladiny v měřidle

$S$  – plocha průřezu (hladiny) měřidla

$U$  – rozšířená nejistota

$k$  – koeficient rozšíření (většinou  $k = 2$ )

$c_m$  – koeficient citlivosti

$V_e$  – objem odpovídající změně hladiny o 1 mm ve výšce hladiny  $h_m$ .

Hodnotu  $V_e$  lze získat z převodní tabulky dle vzorce.

$$V_e = \frac{V_q - V_r}{a} \text{ [l} \cdot \text{mm}^{-1}\text{]} \quad (4.149)$$

kde:

$V_r$  – objem odpovídající nejbližší nižší hodnotě z převodní tabulky pro výšku hladiny  $h_m$

$V_q$  – objem odpovídající nejbližší vyšší hodnotě z převodní tabulky pro výšku hladiny  $h_m$

$a$  – vzdálenost dílku stupnice v převodní tabulce v mm

#### 4.2.9. Nejistota z opakovatelnosti měření výšky hladiny

Tato nejistota vzniká při měření pomocí normé tyče, které se provádí celkem 3x. V případě výpočtu průměru z několika měření se nejistota vypočítá dle vzorců 4.150 – 4.152.

Model měření:

$$V_n = V_m \quad (4.150)$$

kde:

$V_n$  – vyměřovaný objem v měřidle

$V_m$  – objem naměřený etalonem

Určení nejistoty: nejistota typu A

$$u(x_{m3}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.151)$$

kde:

$\bar{x}$  – aritmetický průměr z  $n$  provedených měření

$n$  – počet provedených měření

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.152)$$

### 4.3. Vystavení kalibračního listu

Z kompletního záznamu o kalibraci se vystaví kalibrační list dle normy ČSN EN ISO IEC 17 025.

#### Nejistota měření

Uvedení nejistoty kalibrace z naměřeného objemu ve tvaru:

*Naměřený objem: Y litrů – k bodu...*

*Nejistota měření: z celkového objemu  $U = \dots$  [%]*

kde:

$U$  – rozšířená nejistota měření odpovídající výsledku  $U(V)$

$Y$  – naměřená veličina (objem)

K výše uvedenému vyjádření nejistot musí být v kalibračním listě připojena poznámka tohoto znění:

*„Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty a koeficientu rozšíření  $k = 2$ , což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 95 %. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA4/02.“*

Případný vzorec pro výpočet rozšířené nejistoty vztažené ke konkrétnímu objemu lze odvodit ze vzorce 4.153 a uvést v kalibračním listě.

$$U_h = k \cdot \sqrt{u(V)^2 - u_m(V)^2 + u_{mh}(V)^2} \quad (4.153)$$

kde:

$U_h$  – rozšířená nejistota vztažená ke konkrétní hloubce

$u(V)$  – kombinovaná nejistota

$u_m(V)$  – nejistota odečítání z indikačního měřidla

$u_{mh}(V)$  – nejistota odečítání z indikačního měřidla vztažená ke konkrétní hloubce

$k$  – koeficient rozšíření (většinou  $k = 2$ )

#### Příklad:

Zde je uveden příklad odvození vzorce pro určení rozšířené nejistoty vztažené ke konkrétní hloubce  $U_h$  pro konkrétní příklad. Jako vzorový příklad je zvoleno měřidlo s konstantní plochou hladiny a stavoznakem se stupnicí v mm o délce 2 m, kalibrované průtokoměrem bez kontroly stupnice stavoznaku.

- koeficient rozšíření:  $k = 2$
- vypočtená kombinovaná nejistota dle bodu 4.2.4.9.  $u(V) = 0,18 \%$
- vypočtená nejistota při odečítání stavoznaku dle bodu 4.2.7.2  $u_m(V) = 0,043 \%$
- vzorec pro výpočet nejistoty při odečítání stavoznaku ke konkrétní hloubce odvozený z bodu 4.2.7.2

$$u_{mh}(V) = \frac{86,7}{h_m} = [\%] \quad (4.154)$$

Dosazení:

$$\begin{aligned}
 U_h &= k \cdot \sqrt{u(V)^2 - u_m(V)^2 + u_{mh}(V)^2} = 2 \cdot \sqrt{0,0324 - 0,001849 + \left(\frac{86,7}{h_m}\right)^2} = \\
 &= 2 \cdot \sqrt{0,030551 + \left(\frac{86,7}{h_m}\right)^2} \quad [\%] \quad (4.155)
 \end{aligned}$$

Výsledný vzorec, který bude uveden v kalibračním listě pro určení kombinované nejistoty  $U_h$  vztažené k hloubce hladiny  $h_m$  a naměřené na stavoznaku, může vypadat takto:

$$U_h = 2 \cdot \sqrt{0,030551 + \left(\frac{86,7}{h_m}\right)^2} \quad [\%] \quad (4.156)$$

### 4.3.1. Plnicí tabulka

Plnicí (přepočítávací) tabulka musí obsahovat objemy přiřazené jednotlivým údajům indikačního zařízení. [14]

## 5. SEZNAM LITERATURY A DALŠÍCH ZDROJŮ

[1] NEJISTOTY MĚŘENÍ. 1. vyd. Ostrava: Studio En Face, 2010. 106 s. ISBN 80-902-5641-4. Dostupné z: <http://352lab.vsb.cz:83/SberDat/navod.pdf>. Návod. VŠB - Technical University of Ostrava.

[2 ] ZÁKLADNÍ TYPY ROZDĚLENÍ PRAVDĚPODOBNOTI SPOJITÉ NÁHODNÉ VELIČINY. *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava* [online]. Ostrava, 2009 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/KAP05/PRAV5.HTM>

[3] SADÍLEK, Václav, Jiří DOLEŽAL a Miroslav VOŘECHOVSKÝ. *ŘEŠENÉ ÚLOHY Z OBLASTI SPOLEHLIVOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ*. Brno, 2010. Dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/STM/sadilek.v/frvs/frvs.pdf>. Soubor řešených úloh. VUT FAST.

[4] TPM 6371 - 96. *Technologický předpis metrologický: Stacionární zásobní nádrže konstruované jako měřicí nádrže*. Praha: ČMI, 1996

[5] *Volume dm3, s. r. o.* [online]. Brno, 2012 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.mz-volume.cz/>

[6] RNDr. RÖSSLER, Tomáš Ph.D. *Nejistoty měření*. Olomouc, 2011. Dostupné z: <http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/rcptm/nejistoty.pdf>. Studijní opora. Univerzita Palackého v Olomouci.

[7] ŠALDA, Zbyněk. *Nejistoty měření a statistické modely*. Brno, 2011. Dostupné z: [http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2011/BP\\_Salda.pdf](http://autnt.fme.vutbr.cz/szz/2011/BP_Salda.pdf). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. František Vdoleček, CSc.

[8] PALENČAŘ, Rudolf, et al. *System riadenia merania*. vyd. 1. Bratislava: STU, 2001. 208 s. ISBN 80-968449-7-0.

[9]. PALENČAŘ, Rudolf; VDOLEČEK, František; HALAJ, Martin. Nejistoty v měření I :vyjadřování nejistot. *Automa*. 2001, 7-8, s. 50-54. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au070150.pdf> .

[10]. PALENČAŘ, Rudolf; VDOLEČEK, František; HALAJ, Martin. Nejistoty v měření II: nejistoty přímých měření. *Automa*. 2001, 10, s. 52-56. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au100152.pdf> .

[11] PIXMAX: Fotobanka. *Díry* [online]. 2012 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.pixmac.cz/fotka/d%C3%ADry+po+kulk%C3%A1ch+v+kovov%C3%A9m+pozad%C3%AD/000043580149>

[12] Chyby měření: základní pojmy. *České vysoké učení technické v Praze* [online]. Praha, 2010 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: [http://www.fjfi.cvut.cz/files/k402/pers\\_hpgs/skoda/prime\\_mereni1.pdf](http://www.fjfi.cvut.cz/files/k402/pers_hpgs/skoda/prime_mereni1.pdf)

- [13] TNI 01 0115. *Mezinárodní metrologický slovník - Základní a všeobecné pojmy a přidružené termíny (VIM)*. Praha: ÚNMZ, 2010.
- [14] 0111-OOP-C001-09. *Opatření obecné povahy: Kovové odměrné nádoby*. Brno: ČMI, 2010. Dostupné z: <http://www.cmi.cz/download.php?wdc=1650>
- [15] MIKULČÁK, Jiří, Bohdan KLIMEŠ, Jaromír ŠIROKÝ, Václav ŠŮLA a František ZEMÁNEK. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy: pro střední školy*. 3. vyd. Praha: Prometheus, 1989, 206 s. ISBN Matematické fyzikální a chemické tabulky.
- [16] Vodoznak. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Vodoznak>
- [17] *KOMO mark s.r.o.* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.komo.cz/armatury-hladinove-magneticke-stavoznaky.php>
- [18] *ALPHA international s.r.o.* [online]. Kaplice, 2012 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.alphaint.cz/slovník/hladinomer/>
- [19] PNÚ 1320.2. *Prevádzkové meradlá objemu kvapalín s jednou objemovou značkou: Metóda skúšania pre úradné overovanie*. Praha: Vydavateľství Úřadu pro normalizaci a měření, 1986
- [20] Průtokoměr. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-2013 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFtokom%C4%9Br>