Úvod do praktické fyziky, cvičení 2
Maximální chyba, třída přesnosti, analogové a digitální přístroje

Jan Matoušek

6. 10. 2020

UNIVERZITA KARLOVA
Matematicko-fyzikální
fakulta

Systematická chyba – PU160

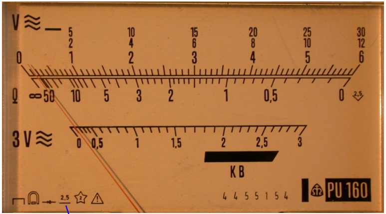
MĚŘENÍ ODPORŮ

PU160

Odpory lze měřit na rozsahu ×100, ×1 k, ×10 k, ×100 k, ×1 M, ×10 M s přesností 2,5 % vyjádřeno z délky stupnice. Při tomto měření je obvod ohmmetru napájen jedním článkem o napětí 1,5 V.

Poloha přepínače	Vnitřní odpor (Ω)	Rozsah měření (Ω)	Proud při zkrat. zděřích při napětí 1,5 V
×100	150	0—150 – 5 k	10 mA
×1 k	1,5 k	0—1,5 k – 50 k	1 mA
×10 k	15 k	0—15 k – 500 k	100 μA
×100 k	150 k	0—150 k – 5 M	10 μA
×1 M	1,5 M	0—1,5 M – 50 M	1 μA
×10 M	15 M	0—15 M – 500 M	0,1 μA

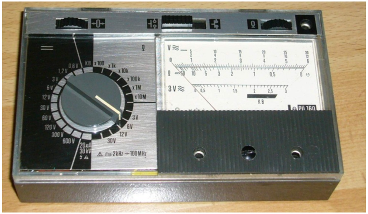
20



třída přesnosti 2.5

- naměřená hodnota: 33 Ω
- třída přesnosti: P = 2.5
- rozsah: R = 100 Ω

$$\sigma_B = \frac{PR}{\sqrt{3}} 10^{-2}$$



Jaká je systematická chyba σ_B tohoto měření?

Příklady: Systematická chyba přístrojů

Systematická chyba – PU160

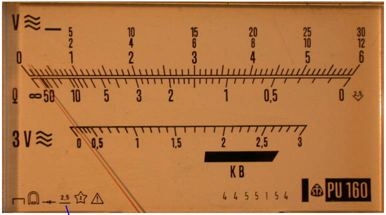
PU160

MĚŘENÍ ODPORŮ

Odpory lze měřit na rozsahu ×100, ×1 k, ×10 k, ×100 k, ×1 M, ×10 M s přesností 2,5 % vyjádřeno z délky stupnice. Při tomto měření je obvod ohmmetru napájen jedním článkem o napětí 1,5 V.

Poloha přepínače	Vnitřní odpor (Ω)	Rozsah měření (Ω)	Proud při zkrat. zděřích při napětí 1,5 V
×100	150	0—150 – 5 k	10 mA
×1 k	1,5 k	0—1,5 k – 50 k	1 mA
×10 k	15 k	0—15 k – 500 k	100 μA
×100 k	150 k	0—150 k – 5 M	10 μA
×1 M	1,5 M	0—1,5 M – 50 M	1 μA
×10 M	15 M	0—15 M – 500 M	0,1 μA

20



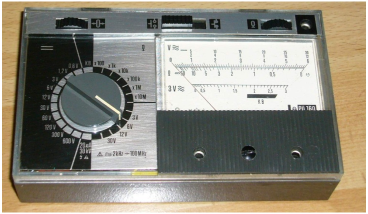
třída přesnosti 2.5

- naměřená hodnota: 33 Ω
- třída přesnosti: P = 2.5
- rozsah: R = 100 Ω

$$\sigma_B = \frac{PR}{\sqrt{3}} 10^{-2}$$

→ systematická chyba $\sigma_B = 1.4\ \Omega$

(33 ± 1) Ω



Systematická chyba – Metex M-3270D

Metex M-3270D

Function	Range	Resolution	Accuracy	Test Current	Overload Protection
Resistance	400 Ω	0.1 Ω	±0.8% ±4 digits	< 0.7mA	500V rms
	4 kΩ	1 Ω	±0.8% ±2 digits	<0.13mA	
	40 kΩ	10 Ω		< 13uA	
	400 kΩ	100 Ω		< 1.3uA	
	4 MΩ	1 kΩ	±1.0% ±4 digits	< 0.13uA	
	40 MΩ	10 kΩ	±1.5% ±5 digits		
Diode	Range	Resolution	Accuracy	Test Current	Overload Protection
	4V	1mV	±2.0% ±4 digits	1mA approx	500V rms
Continuity	Range	Resolution	Accuracy	Continuity Beeper	Overload Protection
	400 Ω	0.1 Ω	<approx. 50 Ω	<2.0mA	500V rms

- naměřená hodnota: 32.8 Ω

Jak velká je maximální chyba?

Příklady: Systematická chyba přístrojů

Systematická chyba – Metex M-3270D

Metex M-3270D

Function	Range	Resolution	Accuracy	Test Current	Overload Protection
Resistance	400 Ω	0.1 Ω	±0.8% ±4 digits	< 0.7mA	500V rms
	4 KΩ	1 Ω	±0.8% ±2 digits	<0.13mA	
	40 KΩ	10 Ω		< 13uA	
	400 KΩ	100 Ω		< 1.3uA	
	4 MΩ	1 KΩ	±1.0% ±4 digits	< 0.13uA	
	40 MΩ	10 KΩ	±1.5% ±5 digits		
Diode	Range	Resolution	Accuracy	Test Current	Overload Protection
	4V	1mV	±2.0% ±4 digits	1mA approx	500V rms
Continuity	Range	Resolution	Accuracy	Continuity Beeper	Overload Protection
	400 Ω	0.1 Ω	<approx. 50 Ω	<2.0mA	500V rms

- naměřená hodnota: 32.8 Ω
- *maximání chyba:* $\varepsilon = 32.8 \times 0.008 + 4 \times 0.1 = 0.66\ \Omega$

Jaká je systematická chyba σ_B tohoto měření?

Příklady: Systematická chyba přístrojů

Systematická chyba – Metex M-3270D

Metex M-3270D

Function	Range	Resolution	Accuracy	Test Current	Overload Protection
Resistance	400 Ω	0.1 Ω	±0.8% ±4 digits	< 0.7mA	500V rms
	4 KΩ	1 Ω	±0.8% ±2 digits	<0.13mA	
	40 KΩ	10 Ω		< 13uA	
	400 KΩ	100 Ω		< 1.3uA	
	4 MΩ	1 KΩ	±1.0% ±4 digits	< 0.13uA	
	40 MΩ	10 KΩ	±1.5% ±5 digits		
Diode	Range	Resolution	Accuracy	Test Current	Overload Protection
	4V	1mV	±2.0% ±4 digits	1mA approx	500V rms
Continuity	Range	Resolution	Accuracy	Continuity Beeper	Overload Protection
	400 Ω	0.1 Ω	<approx. 50 Ω	<2.0mA	500V rms

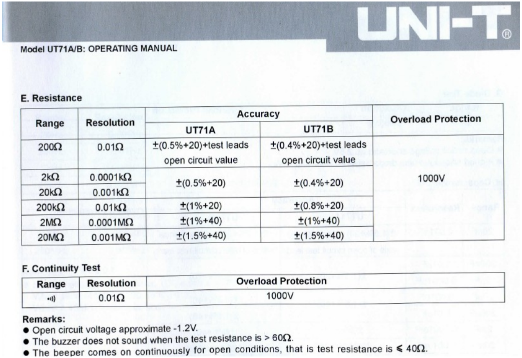
- naměřená hodnota: 32.8 Ω
- *maximání chyba:* $\varepsilon = 32.8 \times 0.008 + 4 \times 0.1 = 0.66\,\Omega$
- *chyba*: $\sigma_B = \varepsilon/\sqrt{3} = 0.38\,\Omega$

(32.8 ± 0.4) Ω

Příklady: Systematická chyba přístrojů

Systematická chyba – UNI-T UT71B

UNI-T UT71B



UNI-T

Model UT71A/B: OPERATING MANUAL

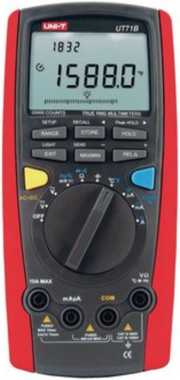
E. Resistance

Range	Resolution	Accuracy		Overload Protection
		UT71A	UT71B	
200Ω	0.01Ω	±(0.5%+20)+test leads open circuit value	±(0.4%+20)+test leads open circuit value	1000V
2kΩ	0.0001kΩ	±(0.5%+20)	±(0.4%+20)	
20kΩ	0.001kΩ			
200kΩ	0.01kΩ	±(1%+20)	±(0.8%+20)	
2MΩ	0.0001MΩ	±(1%+40)	±(1%+40)	
20MΩ	0.001MΩ	±(1.5%+40)	±(1.5%+40)	

F. Continuity Test

Range	Resolution	Overload Protection
•)))	0.01Ω	1000V

Remarks:
- Open circuit voltage approximate -1.2V.
- The buzzer does not sound when the test resistance is > 60Ω.
- The beeper comes on continuously for open conditions, that is test resistance is ≤ 40Ω.



- naměřená hodnota: 32.92 Ω

(32.9 ± 0.2) Ω

- *maximání chyba:* $\varepsilon = 32.92 \times 0.004 + 20 \times 0.01 = 0.33\ \Omega$
- *chyba*: $\sigma_B = \varepsilon/\sqrt{3} = 0.19\,\Omega$

Příklad: Přenos maximální chyby při měření hustoty

Hustota vzorku se při studovaném efektu mění o 10 %. Měříme vzorek o výchozí hustotě 7874 kgm^{-3}.Hustotu měříme Archimedovou metodou,tj. vážením ve vodě a na vzduchu, při pokojové teplotě. Jaká musí být minimální přesnost měření hmotnosti (maximální relativní nejistota), aby bylo možné daný efekt spolehlivě detekovat?

- Vážení na vzduchu:

$$m_1 = \rho V$$

- Vážení ve vodě – vzorek vytlačí objem V vody o hustotě ρ_v, která ho nadlehčuje:

$$m_2 = \rho V - \rho_\mathrm{v} V$$

- Z první rovnice: $V = \frac{m_1}{\rho}$, dosadíme do druhé:

$$m_2 = m_1 - \frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{\rho},$$

$$\frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{\rho} = m_1 - m_2.$$

- Dostaneme hustotu jako

$$\rho = \frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{m_1 - m_2}.$$

Příklad: Přenos maximální chyby při měření hustoty

Hustota vzorku se při studovaném efektu mění o 10 %. Měříme vzorek o výchozí hustotě 7874 kgm^{-3}.Hustotu měříme Archimedovou metodou,tj. vážením ve vodě a na vzduchu, při pokojové teplotě. Jaká musí být minimální přesnost měření hmotnosti (maximální relativní nejistota), aby bylo možné daný efekt spolehlivě detekovat?

- Vážení na vzduchu:

$$m_1 = \rho V$$

- Vážení ve vodě – vzorek vytlačí objem V vody o hustotě ρ_v, která ho nadlehčuje:

$$m_2 = \rho V - \rho_\mathrm{v} V$$

- Z první rovnice: $V = \frac{m_1}{\rho}$, dosadíme do druhé:

$$m_2 = m_1 - \frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{\rho},$$

$$\frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{\rho} = m_1 - m_2.$$

- Dostaneme hustotu jako

$$\rho = \frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{m_1 - m_2}.$$

Příklad: Přenos maximální chyby při měření hustoty

Hustota vzorku se při studovaném efektu mění o 10 %. Měříme vzorek o výchozí hustotě 7874 kgm^{-3}.Hustotu měříme Archimedovou metodou,tj. vážením ve vodě a na vzduchu, při pokojové teplotě. Jaká musí být minimální přesnost měření hmotnosti (maximální relativní nejistota), aby bylo možné daný efekt spolehlivě detekovat?

- Vážení na vzduchu:

$$m_1 = \rho V$$

- Vážení ve vodě – vzorek vytlačí objem V vody o hustotě ρ_v, která ho nadlehčuje:

$$m_2 = \rho V - \rho_\mathrm{v} V$$

- Z první rovnice: $V = \frac{m_1}{\rho}$, dosadíme do druhé:

$$m_2 = m_1 - \frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{\rho},$$

$$\frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{\rho} = m_1 - m_2.$$

- Dostaneme hustotu jako

$$\rho = \frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{m_1 - m_2}.$$

Příklad: Přenos maximální chyby při měření hustoty

Hustota vzorku se při studovaném efektu mění o 10 %. Měříme vzorek o výchozí hustotě 7874 kgm^{-3}.Hustotu měříme Archimedovou metodou,tj. vážením ve vodě a na vzduchu, při pokojové teplotě. Jaká musí být minimální přesnost měření hmotnosti (maximální relativní nejistota), aby bylo možné daný efekt spolehlivě detekovat?

- Vážení na vzduchu:
$$m_1 = \rho V$$
- Vážení ve vodě – vzorek vytlačí objem V vody o hustotě ρ_v, která ho nadlehčuje:
$$m_2 = \rho V - \rho_\mathrm{v} V$$
- Z první rovnice: $V = \frac{m_1}{\rho}$, dosadíme do druhé:
$$m_2 = m_1 - \frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{\rho},$$
$$\frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{\rho} = m_1 - m_2.$$
- Dostaneme hustotu jako
$$\rho = \frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{m_1 - m_2}.$$

Příklad: Přenos maximální chyby při měření hustoty

- Hustota vzorku:

$$\rho = \frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{m_1 - m_2}.$$

- Přenos maximální chyby:

$$\epsilon_{a \pm b} = \epsilon_a + \epsilon_b \qquad \frac{\epsilon_{ab}}{ab} = \frac{\epsilon_{a/b}}{a/b} = \frac{\epsilon_a}{a} + \frac{\epsilon_b}{b}.$$

- Chybou jsou zatížena pouze $m_{1,2}$, hustotu vody považujeme za přesnou. Takže

$$\frac{\epsilon_\rho}{\rho} = \frac{\epsilon_{m_1}}{m_1} + \frac{\epsilon_{(m_1 - m_2)}}{m_1 - m_2} + \frac{\epsilon_{\rho_\mathrm{v}}}{\rho_\mathrm{v}} = \frac{\epsilon_{m_1}}{m_1} + \frac{\epsilon_{(m_1 - m_2)}}{m_1 - m_2}.$$

- Na obě vážení použijeme stejné váhy, předpokládáme $\epsilon_{m_1} = \epsilon_{m_2} = \epsilon_m$. Maximální chyba rozdílu

$$\epsilon_{(m_1 - m_2)} = 2\epsilon_m.$$

- Dosazením obdržíme

$$\frac{\epsilon_\rho}{\rho} = \frac{\epsilon_m}{m_1} + \frac{2\epsilon_m}{m_1 - m_2} = \frac{\epsilon_m}{m_1}\left(1 + \frac{2m_1}{m_1 - m_2}\right) = \frac{\epsilon_m}{m_1}\left(1 + \frac{2\rho}{\rho_\mathrm{v}}\right)$$

- Nakonec vyjádříme relativní chybu vážení jako

$$\frac{\epsilon_m}{m_1} = \frac{\epsilon_\rho}{\rho}\left(1 + \frac{2\rho}{\rho_\mathrm{v}}\right)^{-1}$$

Příklad: Přenos maximální chyby při měření hustoty

- Hustota vzorku:

$$\rho = \frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{m_1 - m_2}.$$

- Přenos maximální chyby:

$$\epsilon_{a\pm b} = \epsilon_a + \epsilon_b \qquad \frac{\epsilon_{ab}}{ab} = \frac{\epsilon_{a/b}}{a/b} = \frac{\epsilon_a}{a} + \frac{\epsilon_b}{b}.$$

- Chybou jsou zatížena pouze $m_{1,2}$, hustotu vody považujeme za přesnou. Takže

$$\frac{\epsilon_\rho}{\rho} = \frac{\epsilon_{m_1}}{m_1} + \frac{\epsilon_{(m_1-m_2)}}{m_1 - m_2} + \frac{\epsilon_{\rho_\mathrm{v}}}{\rho_\mathrm{v}} = \frac{\epsilon_{m_1}}{m_1} + \frac{\epsilon_{(m_1-m_2)}}{m_1 - m_2}.$$

- Na obě vážení použijeme stejné váhy, předpokládáme $\epsilon_{m_1} = \epsilon_{m_2} = \epsilon_m$. Maximální chyba rozdílu

$$\epsilon_{(m_1-m_2)} = 2\epsilon_m.$$

- Dosazením obdržíme

$$\frac{\epsilon_\rho}{\rho} = \frac{\epsilon_m}{m_1} + \frac{2\epsilon_m}{m_1 - m_2} = \frac{\epsilon_m}{m_1}\left(1 + \frac{2m_1}{m_1 - m_2}\right) = \frac{\epsilon_m}{m_1}\left(1 + \frac{2\rho}{\rho_\mathrm{v}}\right)$$

- Nakonec vyjádříme relativní chybu vážení jako

$$\frac{\epsilon_m}{m_1} = \frac{\epsilon_\rho}{\rho}\left(1 + \frac{2\rho}{\rho_\mathrm{v}}\right)^{-1}$$

Příklad: Přenos maximální chyby při měření hustoty

- Hustota vzorku:
$$\rho = \frac{m_1 \rho_{\mathrm{v}}}{m_1 - m_2}.$$
- Přenos maximální chyby:
$$\epsilon_{a \pm b} = \epsilon_a + \epsilon_b \qquad \frac{\epsilon_{ab}}{ab} = \frac{\epsilon_{a/b}}{a/b} = \frac{\epsilon_a}{a} + \frac{\epsilon_b}{b}.$$
- Chybou jsou zatížena pouze $m_{1,2}$, hustotu vody považujeme za přesnou. Takže
$$\frac{\epsilon_\rho}{\rho} = \frac{\epsilon_{m_1}}{m_1} + \frac{\epsilon_{(m_1-m_2)}}{m_1 - m_2} + \frac{\epsilon_{\rho_{\mathrm{v}}}}{\rho_{\mathrm{v}}} = \frac{\epsilon_{m_1}}{m_1} + \frac{\epsilon_{(m_1-m_2)}}{m_1 - m_2}.$$
- Na obě vážení použijeme stejné váhy, předpokládáme $\epsilon_{m_1} = \epsilon_{m_2} = \epsilon_m$. Maximální chyba rozdílu
$$\epsilon_{(m_1-m_2)} = 2\epsilon_m.$$
- Dosazením obdržíme
$$\frac{\epsilon_\rho}{\rho} = \frac{\epsilon_m}{m_1} + \frac{2\epsilon_m}{m_1 - m_2} = \frac{\epsilon_m}{m_1}\left(1 + \frac{2m_1}{m_1 - m_2}\right) = \frac{\epsilon_m}{m_1}\left(1 + \frac{2\rho}{\rho_{\mathrm{v}}}\right)$$
- Nakonec vyjádříme relativní chybu vážení jako
$$\frac{\epsilon_m}{m_1} = \frac{\epsilon_\rho}{\rho}\left(1 + \frac{2\rho}{\rho_{\mathrm{v}}}\right)^{-1}$$

Příklad: Přenos maximální chyby při měření hustoty

- Hustota vzorku:
$$\rho = \frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{m_1 - m_2}.$$
- Přenos maximální chyby:
$$\epsilon_{a\pm b} = \epsilon_a + \epsilon_b \qquad \frac{\epsilon_{ab}}{ab} = \frac{\epsilon_{a/b}}{a/b} = \frac{\epsilon_a}{a} + \frac{\epsilon_b}{b}.$$
- Chybou jsou zatížena pouze $m_{1,2}$, hustotu vody považujeme za přesnou. Takže
$$\frac{\epsilon_\rho}{\rho} = \frac{\epsilon_{m_1}}{m_1} + \frac{\epsilon_{(m_1-m_2)}}{m_1 - m_2} + \frac{\epsilon_{\rho_\mathrm{v}}}{\rho_\mathrm{v}} = \frac{\epsilon_{m_1}}{m_1} + \frac{\epsilon_{(m_1-m_2)}}{m_1 - m_2}.$$
- Na obě vážení použijeme stejné váhy, předpokládáme $\epsilon_{m_1} = \epsilon_{m_2} = \epsilon_m$. Maximální chyba rozdílu
$$\epsilon_{(m_1-m_2)} = 2\epsilon_m.$$
- Dosazením obdržíme
$$\frac{\epsilon_\rho}{\rho} = \frac{\epsilon_m}{m_1} + \frac{2\epsilon_m}{m_1 - m_2} = \frac{\epsilon_m}{m_1}\left(1 + \frac{2m_1}{m_1 - m_2}\right) = \frac{\epsilon_m}{m_1}\left(1 + \frac{2\rho}{\rho_\mathrm{v}}\right)$$
- Nakonec vyjádříme relativní chybu vážení jako
$$\frac{\epsilon_m}{m_1} = \frac{\epsilon_\rho}{\rho}\left(1 + \frac{2\rho}{\rho_\mathrm{v}}\right)^{-1}$$

Příklad: Přenos maximální chyby při měření hustoty

- Hustota vzorku:

$$\rho = \frac{m_1 \rho_\mathrm{v}}{m_1 - m_2}.$$

- Přenos maximální chyby:

$$\epsilon_{a \pm b} = \epsilon_a + \epsilon_b \qquad \frac{\epsilon_{ab}}{ab} = \frac{\epsilon_{a/b}}{a/b} = \frac{\epsilon_a}{a} + \frac{\epsilon_b}{b}.$$

- Chybou jsou zatížena pouze $m_{1,2}$, hustotu vody považujeme za přesnou. Takže

$$\frac{\epsilon_\rho}{\rho} = \frac{\epsilon_{m_1}}{m_1} + \frac{\epsilon_{(m_1 - m_2)}}{m_1 - m_2} + \frac{\epsilon_{\rho_\mathrm{v}}}{\rho_\mathrm{v}} = \frac{\epsilon_{m_1}}{m_1} + \frac{\epsilon_{(m_1 - m_2)}}{m_1 - m_2}.$$

- Na obě vážení použijeme stejné váhy, předpokládáme $\epsilon_{m_1} = \epsilon_{m_2} = \epsilon_m$. Maximální chyba rozdílu

$$\epsilon_{(m_1 - m_2)} = 2\epsilon_m.$$

- Dosazením obdržíme

$$\frac{\epsilon_\rho}{\rho} = \frac{\epsilon_m}{m_1} + \frac{2\epsilon_m}{m_1 - m_2} = \frac{\epsilon_m}{m_1}\left(1 + \frac{2m_1}{m_1 - m_2}\right) = \frac{\epsilon_m}{m_1}\left(1 + \frac{2\rho}{\rho_\mathrm{v}}\right)$$

- Nakonec vyjádříme relativní chybu vážení jako

$$\frac{\epsilon_m}{m_1} = \frac{\epsilon_\rho}{\rho}\left(1 + \frac{2\rho}{\rho_\mathrm{v}}\right)^{-1}$$

Příklad: Přenos maximální chyby při měření hustoty

- Do vzorce dosadíme čísla,

$$\frac{\epsilon_m}{m_1} = \frac{\epsilon_\rho}{\rho}\left(1 + \frac{2\rho}{\rho_\mathrm{v}}\right)^{-1}, \qquad \frac{\epsilon_\rho}{\rho} = 0.1, \qquad \rho = 7874\ \mathrm{kgm}^{-3}, \qquad \rho_\mathrm{v} = 1000\ \mathrm{kgm}^{-3},$$

- a spočteme maximální relativní chybu pro vážení na vzduchu

$$\frac{\epsilon_m}{m_1} = 0.1\left(1 + \frac{2 \times 7.874}{1}\right)^{-1} = \frac{0.1}{1 + 15.748} \approx 0.006.$$

- zbývá určit totéž pro vážení ve vodě. Vrátíme se k základním vztahům

$$m_1 = \rho V \qquad m_2 = \rho V - \rho_\mathrm{v} V$$

- Z nich vyjádříme

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\rho}{\rho - \rho_\mathrm{v}}.$$

- Nakonec už snadno spočítáme

$$\frac{\epsilon_m}{m_2} = \frac{\epsilon_m}{m_1}\frac{m_1}{m_2} = \frac{\epsilon_m}{m_1}\frac{\rho}{\rho - \rho_\mathrm{v}} = 0.006\,\frac{7.874}{7.874 - 1} \approx 0.007.$$

- Potřebujeme tedy vážit s maximální chybou 0.6 %.

Příklad: Přenos maximální chyby při měření hustoty

- Do vzorce dosadíme čísla,

$$\frac{\epsilon_m}{m_1} = \frac{\epsilon_\rho}{\rho}\left(1+\frac{2\rho}{\rho_\text{v}}\right)^{-1}, \qquad \frac{\epsilon_\rho}{\rho} = 0.1, \qquad \rho = 7874\ \text{kgm}^{-3}, \qquad \rho_\text{v} = 1000\ \text{kgm}^{-3},$$

- a spočteme maximální relativní chybu pro vážení na vzduchu

$$\frac{\epsilon_m}{m_1} = 0.1\left(1+\frac{2\times 7.874}{1}\right)^{-1} = \frac{0.1}{1+15.748} \approx 0.006.$$

- zbývá určit totéž pro vážení ve vodě. Vrátíme se k základním vztahům

$$m_1 = \rho V \qquad\qquad m_2 = \rho V - \rho_\text{v} V$$

- Z nich vyjádříme

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\rho}{\rho-\rho_\text{v}}.$$

- Nakonec už snadno spočítáme

$$\frac{\epsilon_m}{m_2} = \frac{\epsilon_m}{m_1}\frac{m_1}{m_2} = \frac{\epsilon_m}{m_1}\frac{\rho}{\rho-\rho_\text{v}} = 0.006\,\frac{7.874}{7.874-1} \approx 0.007.$$

- Potřebujeme tedy vážit s maximální chybou 0.6 %.

Příklad: Přenos maximální chyby při měření hustoty

- Do vzorce dosadíme čísla,

$$\frac{\epsilon_m}{m_1} = \frac{\epsilon_\rho}{\rho}\left(1 + \frac{2\rho}{\rho_\mathrm{v}}\right)^{-1}, \qquad \frac{\epsilon_\rho}{\rho} = 0.1, \qquad \rho = 7874\ \mathrm{kgm}^{-3}, \qquad \rho_\mathrm{v} = 1000\ \mathrm{kgm}^{-3},$$

- a spočteme maximální relativní chybu pro vážení na vzduchu

$$\frac{\epsilon_m}{m_1} = 0.1\left(1 + \frac{2 \times 7.874}{1}\right)^{-1} = \frac{0.1}{1 + 15.748} \approx 0.006.$$

- zbývá určit totéž pro vážení ve vodě. Vrátíme se k základním vztahům

$$m_1 = \rho V \qquad m_2 = \rho V - \rho_\mathrm{v} V$$

- Z nich vyjádříme

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\rho}{\rho - \rho_\mathrm{v}}.$$

- Nakonec už snadno spočítáme

$$\frac{\epsilon_m}{m_2} = \frac{\epsilon_m}{m_1}\frac{m_1}{m_2} = \frac{\epsilon_m}{m_1}\frac{\rho}{\rho - \rho_\mathrm{v}} = 0.006\,\frac{7.874}{7.874 - 1} \approx 0.007.$$

- Potřebujeme tedy vážit s maximální chybou 0.6 %.

Příklad: Přenos maximální chyby při měření hustoty

- Do vzorce dosadíme čísla,

$$\frac{\epsilon_m}{m_1} = \frac{\epsilon_\rho}{\rho}\left(1 + \frac{2\rho}{\rho_\mathrm{v}}\right)^{-1}, \qquad \frac{\epsilon_\rho}{\rho} = 0.1, \qquad \rho = 7874\ \mathrm{kgm}^{-3}, \qquad \rho_\mathrm{v} = 1000\ \mathrm{kgm}^{-3},$$

- a spočteme maximální relativní chybu pro vážení na vzduchu

$$\frac{\epsilon_m}{m_1} = 0.1\left(1 + \frac{2 \times 7.874}{1}\right)^{-1} = \frac{0.1}{1 + 15.748} \approx 0.006.$$

- zbývá určit totéž pro vážení ve vodě. Vrátíme se k základním vztahům

$$m_1 = \rho V \qquad m_2 = \rho V - \rho_\mathrm{v} V$$

- Z nich vyjádříme

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\rho}{\rho - \rho_\mathrm{v}}.$$

- Nakonec už snadno spočítáme

$$\frac{\epsilon_m}{m_2} = \frac{\epsilon_m}{m_1}\frac{m_1}{m_2} = \frac{\epsilon_m}{m_1}\frac{\rho}{\rho - \rho_\mathrm{v}} = 0.006\,\frac{7.874}{7.874 - 1} \approx 0.007.$$

- Potřebujeme tedy vážit s maximální chybou 0.6 %.