

Nejistota měření

Thomas Hesse • HBM Darmstadt

measure and predict with confidence



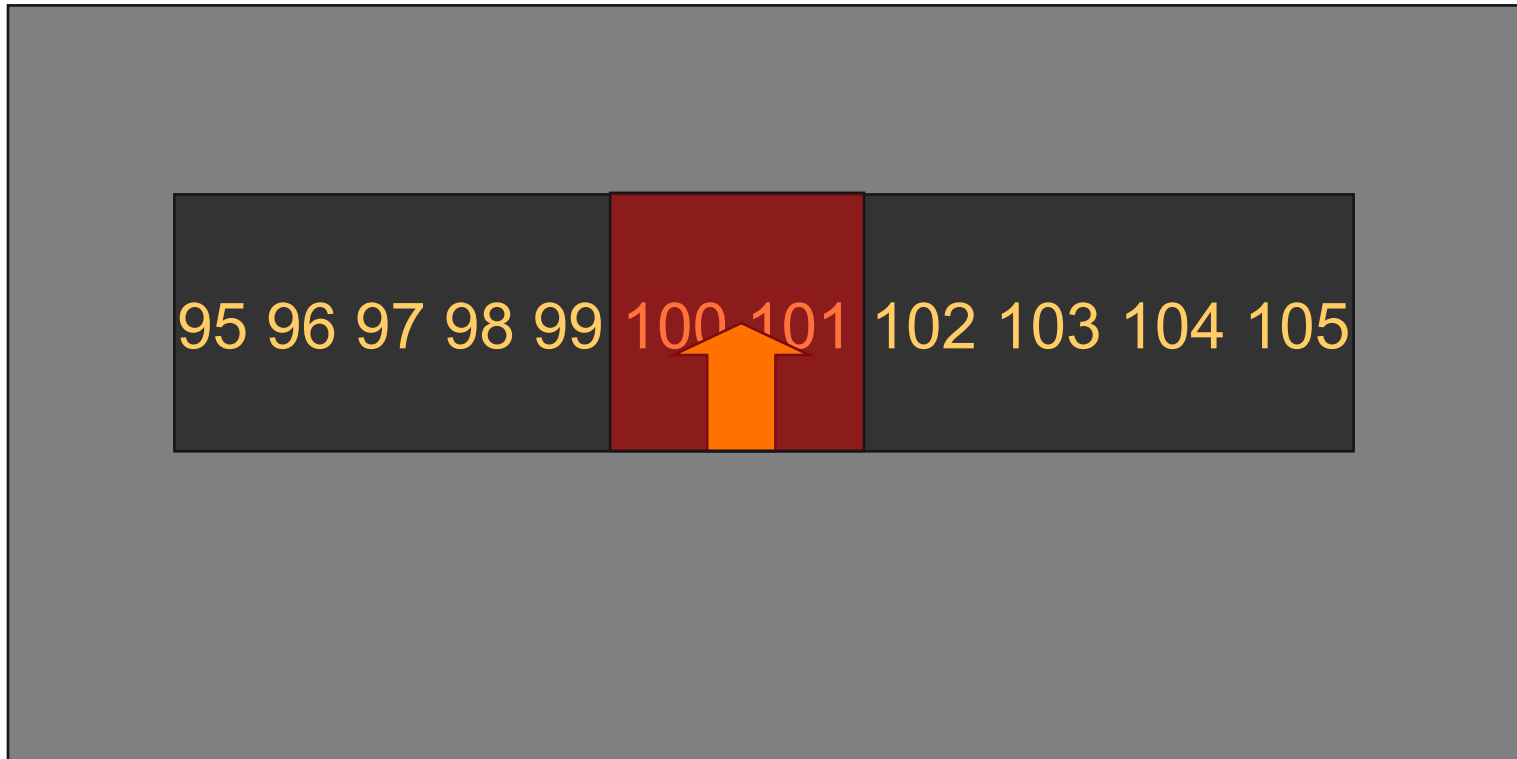
Prof. Werner Richter:

„Výsledek měření bez určení nejistoty měření je nejistý, takový výsledek je lépe ignorovat“

V podstatě je výsledek měření aproximací nebo odhadem hodnoty měřené veličiny a úplný je jen tehdy, pokud je doprovázen hodnotou nejistoty měření odhadované veličiny.

Citation from GUM, Chapter 3.1.2 Basic Concepts

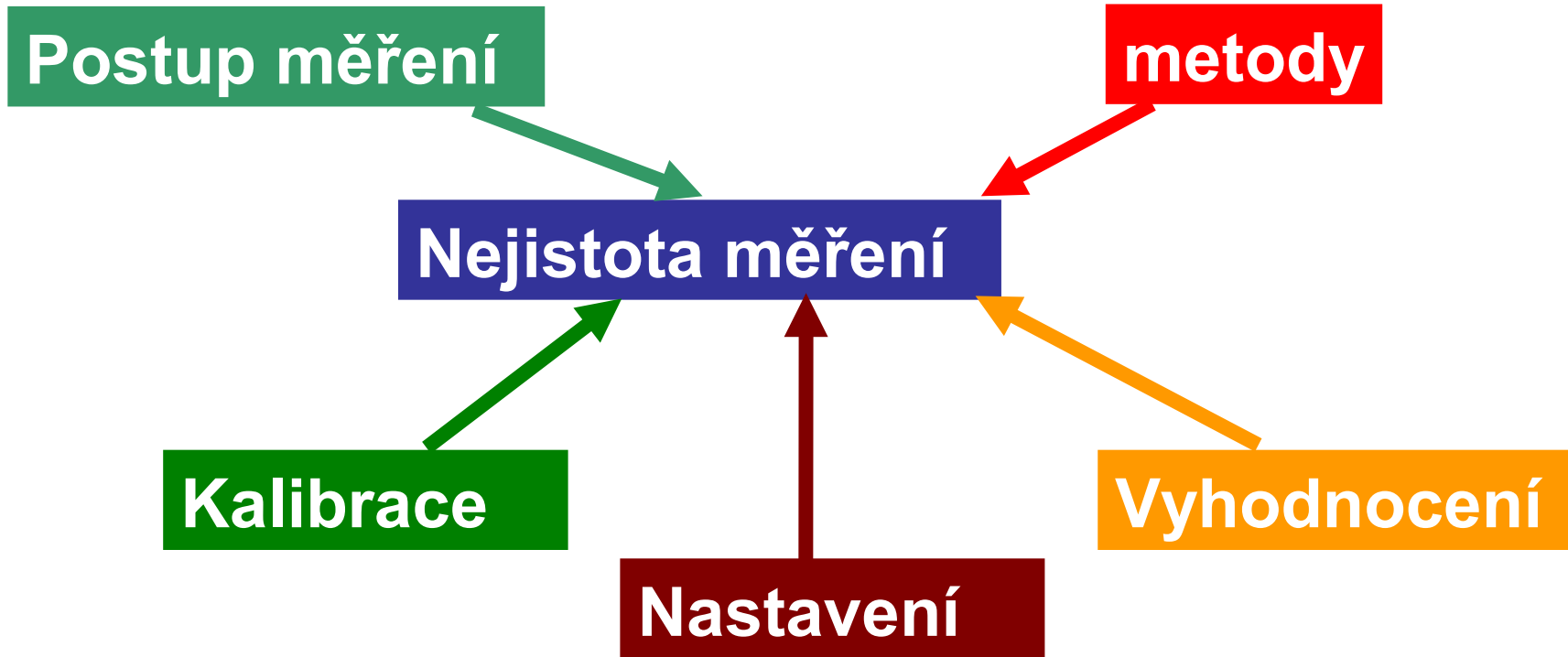
Co vlastně je nejistota měření?



Jak „přesně“ tento měřicí přístroj měří ?

**Špatná otázka → správně: Jak přesná je měřená hodnota získaná tímto měřicím přístrojem?
Bez znalosti procesních parametrů,
historie měřicího přístroje a
podmínek ověřování přístroje nemůže být taková
otázka seriózně zodpovězena !**

Co je součástí nejistoty měření?



- Linearita
- Teplotní koeficienty
- Chyba opakovatelnosti (hystereze)
- Creep (tečení materiálu)
- Tuhost
- ...

- Teplotní podmínky
- Parazitní vlivy a uplatnění mechanických parametrů
- Okolní vlivy
- Zátěž
- ...

- Typ kalibrace, např. DKD nebo pracovní standard
- Nejistota měření vybavení kalibrační laboratoře
- Jak je kalibrace stará?

- Základní nastavení z technického listu
- Nastavení pomocí zátěže
- Nastavení dle kalibrační listu

- Dolnoproústní filtr
- Rozlišení
- Výpočty
- ...

Dva typy nejistoty měření:

Náhodná chyba měření
Hodnota a znaménko je neznámé

Systematická chyba měření
Hodnota a znaménko jsou známe nebo předvídatelné

Rozlišení měřicího přístroje je minimální rozdíl mezi dvěma sousedními měřenými hodnotami, které přístroj ještě rozliší (*parametr měřicího zařízení*).

Nejistota měření určuje možnou odchylku měřené hodnoty od skutečné hodnoty měřené veličiny. (*parametr měřené hodnoty*).

Pokus – Digitální hodiny

Digitální hodiny:

Zobrazení: např. 14:10:33

Rozlišení: 1 sec.

Nejistota měření: přibližně 30 sec./měsíc

Citát z GUM pravidel:

„Určování nejistoty není ani rutinní , ani jednoduchá matematická úloha. Vyžaduje detailní znalosti povahy měřené veličiny a celého měření.“

„Kvalita a užitečnost prezentované nejistoty výsledku měření výrazně závisí na porozumění, kritické analýze a integritě všech, kteří se podílejí na určení její hodnoty .“

Metody v praktickém použití:

~~Třída přesnosti
násobená koncovou
hodnotou~~

Aplikace
doporučení
z GUM (guidelines)

Účelný postup
s kompromisy
v praktických aplikacích

Co je ve skutečnosti třída přesnosti?

Třída přesnosti je interní firemní klasifikace měřicího zařízení a vztahuje se pouze k němu.

Pro srovnávání měřicích zařízení různých výrobců není vhodné třídu přesnosti používat !

Co jsou pravidla GUM ?

Guide to the Expression of **U**ncertainty in **M**easurement

Pokyny k vyjádření nejistot měření

GUM pravidla jsou komplexní pokyny pro určování nejistoty měření. Jsou zde zohledněny všechny eventuality!

Protože jsou na první pohled „nepřekonatelné“ nejsou často používané.

Praktický postup

určování nejistoty měření

Vstupní údaje pro vyhodnocení nejistoty měření

Vážení s

4 x HLC C3/220kg = 880kg

Dobré zavedení síly ke snímačům

Pracovní teplota: 21°C – 24°C

Referenční teplota: 23°C

Doba měření: cca. 5min

Pracovní rozsah: 0 – 150kg

Nulování je možné před každým měřením

Nastavení parametrů z katalogového listu

Vstupní údaje pro vyhodnocení nejistoty měření

Chyby HLC (data z technického listu)

Měřicí rozsah: 220kg

Citlivost: 1.94mV/V

Tolerance citlivosti: $\pm 0.1\%$

Teplotní koeficient nuly: $\pm 0.014\% / 10K$

Teplotní koeficient citlivosti*: $\pm 0.014\% / 10K$

Hystereze*: $\pm 0.017\%$

Nelinearita*: $\pm 0.017\%$

Vliv bočních sil**: $\pm 0.1\% / 10\%$ of F_{nom}

Poznámky: * Typické hodnoty

** hodnota převzatá z prospektu siloměru HBM S2

**Jaká je nejistota měření odečtené hodnoty 92.56kg?
(čtyři snímače zatížení zapojené paralelně)**

Předpoklad: Každý ze snímačů je zatížen
čtvrtinou celk. zátěže
 $92.56\text{kg}/4 = 23.14\text{kg}$

Vliv tolerance citlivosti:

$$U_{\text{sensitivity}} = \frac{0.1\% \cdot 23.14\text{kg}}{100\%} = 0.02314\text{kg}$$



► Vliv teplotního koeficientu nuly:

Protože se nuluje před každým měřením, není uvažován.

► Vliv teploty na citlivost:

Bezpečnostní faktor 2 (udávaný jako typická hodnota)

Referenční teplota 23°C

Rozdíl teplot 21°C až 24°C → $\Delta T = 2\text{K}$

$$U_{TempCoeff} = \frac{0.014\% \cdot 2 \cdot 23.14\text{kg}}{100\%} \cdot \frac{2\text{K}}{10\text{K}} = 0.00130\text{kg}$$

▶ Hystereze

Protože se měření provádí vždy při nárůstu síly, není důležitá.

▶ Vliv nelinearity

Bezpečnostní faktor 2 (udávaný jako typická hodnota)

$$U_{\text{Lin}} = \frac{0.017\% \cdot 2 \cdot 220 \text{ kg}}{100\%} = 0.07480 \text{ kg}$$

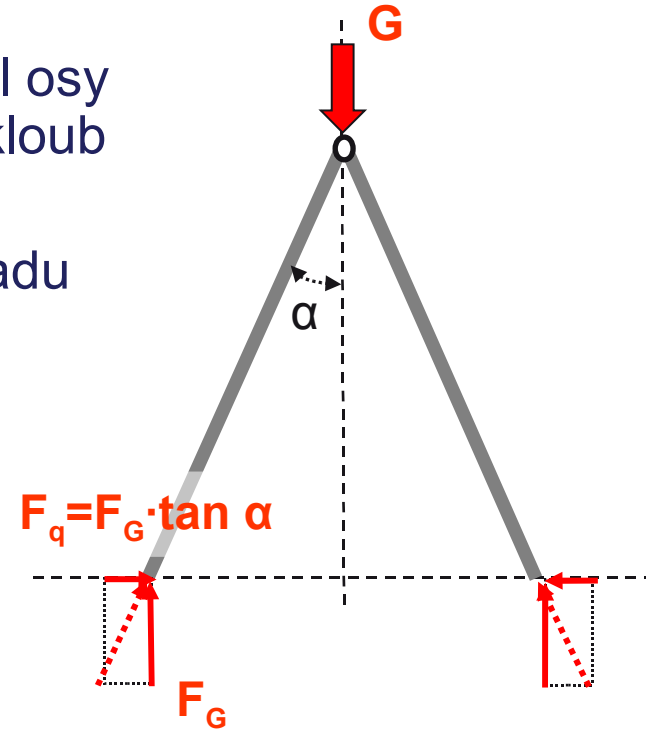
► Parazitní zatížení: Vliv bočních sil

- Horizontálnímu tření zabraňuje žebříku, aby se rozevřel
- V bočnici žebříku může být pouze síla podél osy (Za předpokladu, že je síla zavedena přes kloub žebříku)
- Boční síla je odvozena z vektorového rozkladu

$$F_q = F_G \cdot \tan 21^\circ$$

Vyjádřeno jako hmotnost (v kg):

$$m_q = 23.14 \text{ kg} \cdot \tan 21^\circ = 8.8826 \text{ kg}$$



► Vliv bočních sil

0.1% jmenovité hodnoty snímače
(jmenovitého rozsahu 220 kg)

s předepsanou boční silou 10% síly F_{nom}
(čili 22 kg)

$$U_{\text{Lat. force}} = \frac{0.1\% \cdot 220 \text{ kg}}{100\%} \cdot \frac{8.8826 \text{ kg}}{22 \text{ kg}} = 0.0888 \text{ kg}$$

Součet dosažených nejistot měření

Přehled dílčích odchylek:

$$U_{\text{citlivosti}}: 0.02314 \text{ kg}$$

$$U_{\text{tepl-koef}}: 0.00130 \text{ kg}$$

$$U_{\text{linearity}}: 0.07480 \text{ kg}$$

$$U_{\text{příčné síly}}: 0.08883 \text{ kg}$$

Součet dílčích odchylek podílejících se na celkové nejistotě měření:

$$U_{\text{Load cell single}} = \sqrt{0.02314^2 + 0.00130^2 + 0.07480^2 + 0.08883^2} \text{ kg} = 0.1182 \text{ kg}$$

$$U_{\text{Load cells parallel}} = \sqrt{4 \cdot (0.1182 \text{ kg})^2} = \\ \sqrt{4} \cdot 0.1182 \text{ kg} = 0.23684 \text{ kg}$$

Přehled možných postupů vyčíslení nejistoty
= materiál na samostatný jednodenní seminář

První možný postup: algebraický součet

- Vždy na straně bezpečnosti
- Modelový výpočet pouze s třemi ovlivňujícími faktory:
 - ▶ Nejhorší možná varianta:
 $1\% \cdot 1\% \cdot 1\% = 0.0001\%$
→ „stupeň spolehlivosti“ = 99.9999%

Technicky užitečné:

výběr hladiny spolehlivosti

- např. 95.4% (pravidlo 2-sigma), 99.7% (pravidlo 3-sigma)
- Je nutno znát statistické rozložení ovlivňujících proměnných

Zobrazení výsledku měření v plném znění

Správně zaokrouhlená nejistota měření

$$U = 0.24 \text{ kg}$$

Zobrazení výsledku měření v plném znění:

$$92.56 \text{ kg} \pm 0.24 \text{ kg}$$

s hladinou spolehlivosti 92%

Poznámky k výpočtům:

- Vážení proběhlo na velmi “netypické” vážicí sestavě. Nejistota měření mohla být při volbě vhodnější vážicí sestavy významně nižší
- Vliv boční síly na výsledek měření byl pro nedostatek informací v prospektu siloměru HLC odhadnut. Jako vodítko byl zvolen snímač síly S2, který pracuje na obdobném principu, takže odhad považujeme za přijatelný.
- Hodnoty odchylek linearity (dlin), relativní chyba opakovatelnosti (dhy) a teplotní součinitel citlivosti (temp-coeff) jsou přibližné hodnoty. Součet těchto hodnot se vejde do limitů daných OIML R60. Procedura zvušující tyto hodnoty bezpečnostním faktorem 2 znamená zvýšení nejistoty měření, ale také zvýšení pravděpodobnosti že měřená hodnota leží uvnitř rozsahu nejistoty. Přímou aplikací guideline by bylo možné vypočtenou hodnotu nejistoty měření snížit.

Díky za pozornost

Thomas Hesse • HBM Darmstadt

measure and predict with confidence

