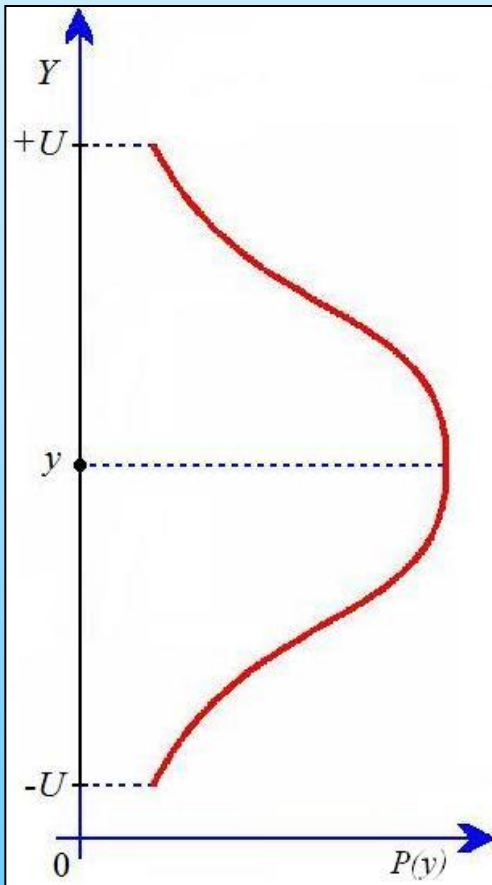


Bilance nejistot v oblasti průtoku vody

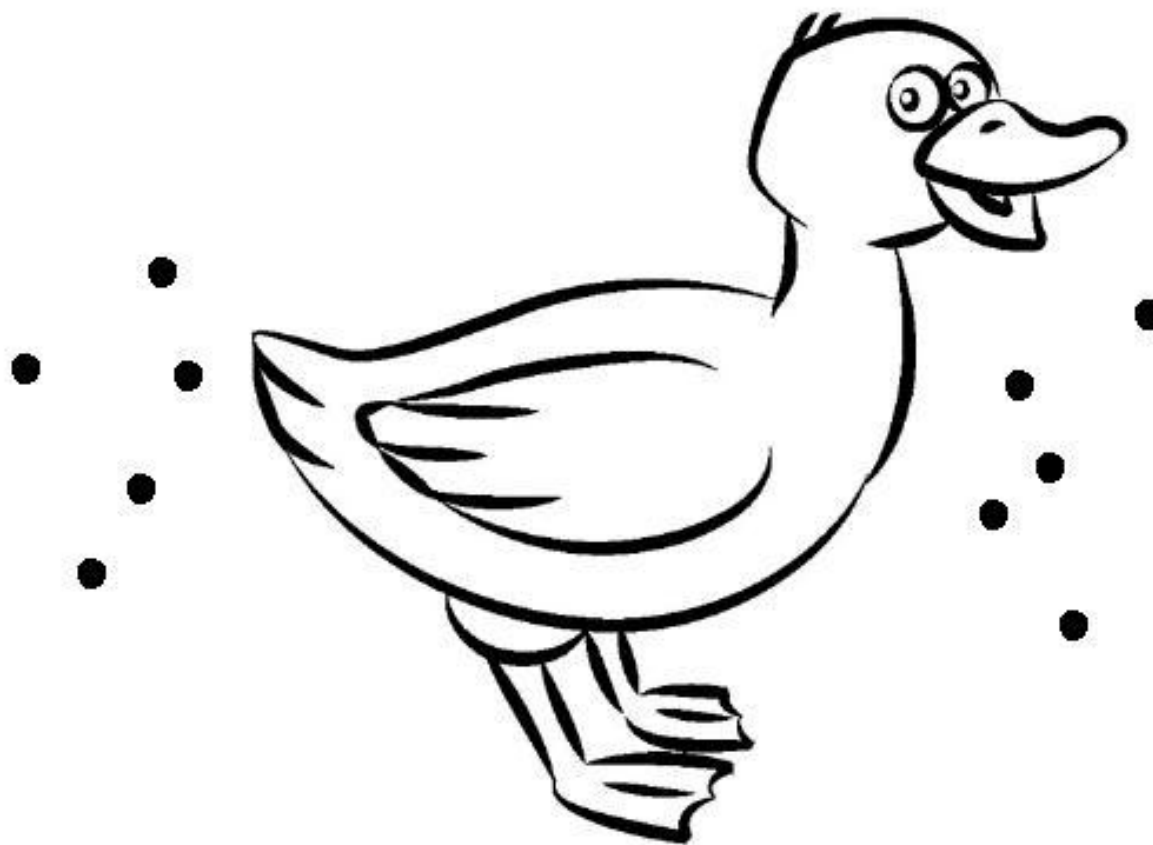
Mgr. Jindřich Bílek

Nejistota měření



- Parametr přiřazený k výsledku měření
- Vymezuje interval, o němž se s určitou úrovní pravděpodobnosti předpokládá, že v něm leží skutečná hodnota měřené veličiny
- $Y = y \pm U$

Nejistota měření

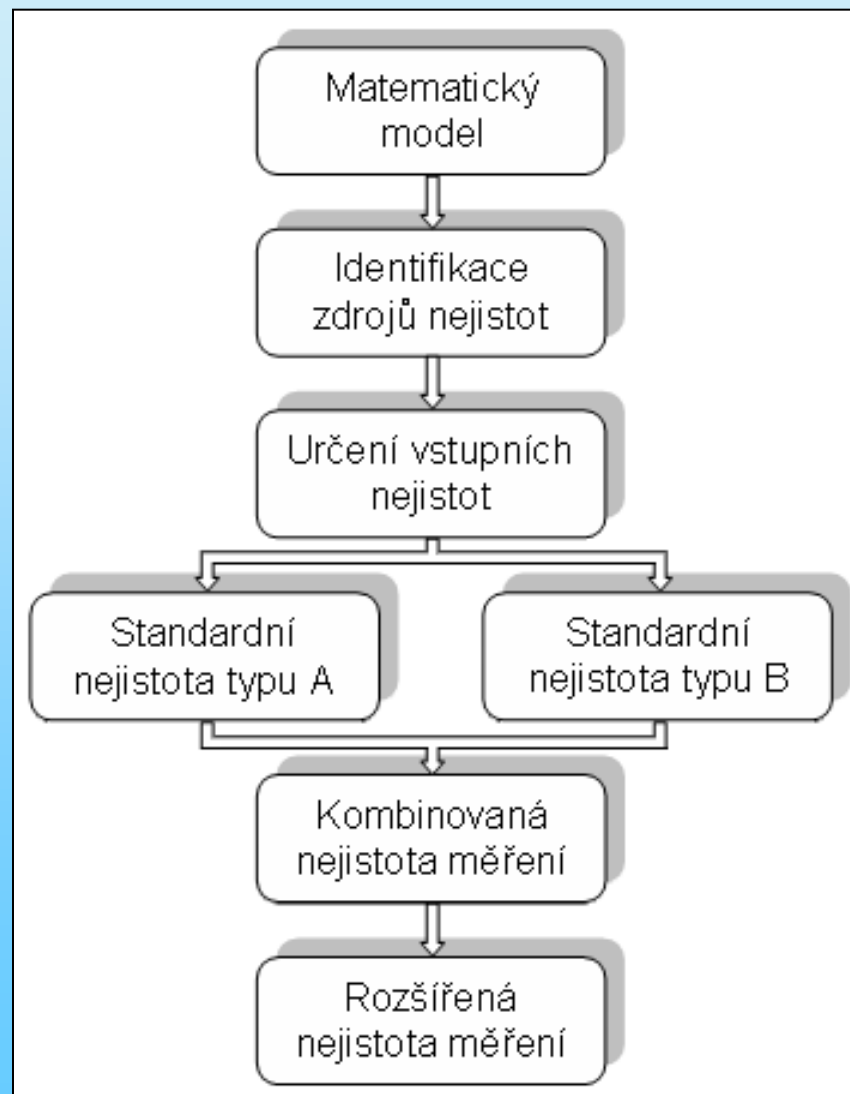


V průměru je kachna mrtvá.

Zdroje nejistot měření

- Veškeré jevy ovlivňující jednoznačnost stanovení výsledku měření
 - Nevhodná (neúplná) definice měřené veličiny
 - Nevhodný výběr měřícího přístroje
 - Nereprezentativní výběr vzorků měření
 - Nevhodný postup při měření
 - Nekompenzované vlivy okolního prostředí
 - Nepřesnost použitých etalonů
 - Linearizace, aproximace, interpolace...
 - Subjektivní vliv obsluhy měření

Postup stanovování nejistot měření



Standardní nejistota typu A

- Statistické zpracování naměřených hodnot
- Možnosti stanovení standardní nejistoty typu A
 - Standardní nejistota průměrného vzorku založená na směrodatné odchylce
 - Standardní nejistota průměrného vzorku založená na směrodatné odchylce odvozené z dřívější zkušenosti
 - Standardní nejistota jedné hodnoty založené na dřívější zkušenosti
 - Sdružená směrodatná odchylka

Standardní nejistota průměrného vzorku založená na směrodatné odchylce vzorku

- Výběrový průměr souboru dat

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

kde x_i je i -tá hodnota ve vzorku

n je počet hodnot ve vzorku

- Nejistota stanovovaná způsobem A

$$u_A(x) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Standardní nejistota typu B

- Odhad nejistoty ze znalosti měřicí metody a měřicí techniky
- Koeficienty citlivosti
 - Analytické řešení
 - Numerické řešení

Kombinovaná standardní nejistota

- Sloučení standardní nejistoty typu A a výsledné standardní nejistoty typu B

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

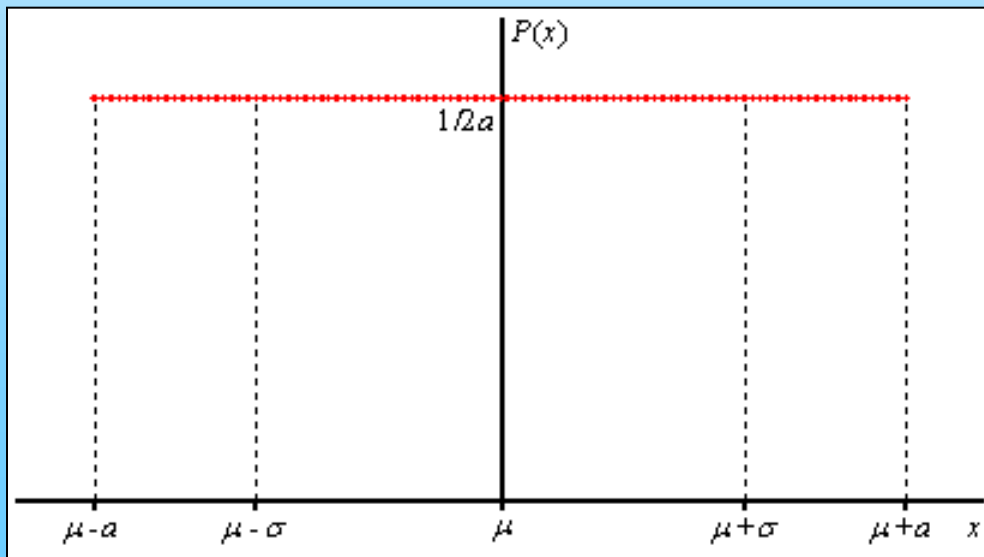
Rozšířená nejistota měření

- Kombinovaná standardní nejistota vynásobená koeficientem rozšíření

$$U = k \cdot u_C = k \cdot \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

Obdélníkové (rovnoměrné) rozdělení pravděpodobnosti

- Typické příklady:
 - Maximální drift přístroje mezi kalibracemi
 - Omezená rozlišovací schopnost
 - Meze výrobních tolerancí



Hustota pravděpodobnosti:

$$P(x) = \begin{cases} 0 & \text{pro } x < -a \\ \frac{1}{2a} & \text{pro } -a \leq x \leq +a \\ 0 & \text{pro } x > +a \end{cases}$$

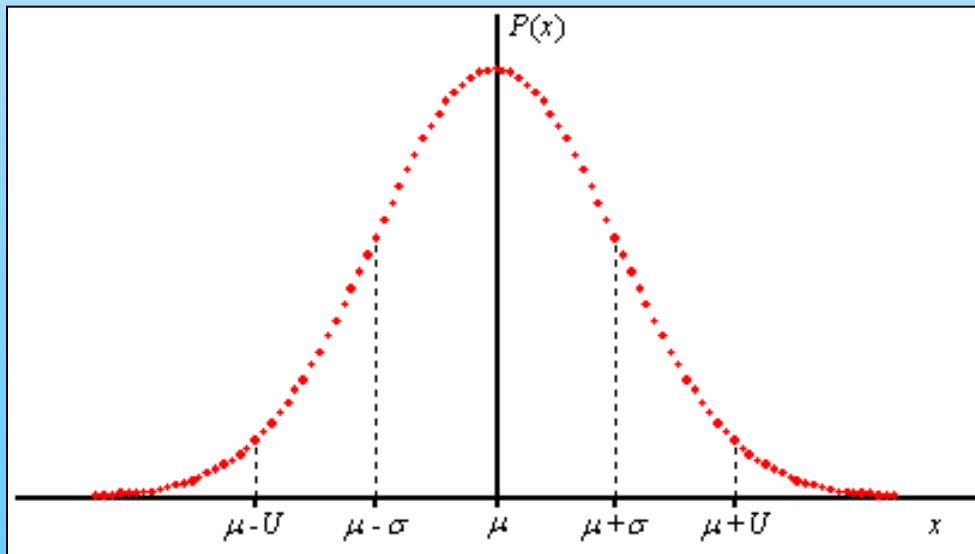
Standardní nejistota:

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

Normální rozdělení pravděpodobnosti

➤ Typické příklady

- Kalibrační certifikát s uvedenou rozšířenou nejistotou U
- Standardní nejistota typu A



Hustota pravděpodobnosti:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Standardní nejistota:

$$u(x_i) = \frac{U}{k}$$

Matematický model

- Korekce stlačitelnosti kapaliny

$$V_1 = -V_E \kappa \Delta p_1$$

- Korekce odparu během měření

$$V_2 = i_o t (1 - \kappa \Delta p_1)$$

- Korekce nesymetrie přesměrování toku

$$V_3 = \lambda Q \Delta t$$

Matematický model

- Korekce změny tlaku v kapalině během měření

$$V_4 = -\lambda V_P \kappa \Delta p_2$$

- Korekce změny teploty vody a potrubí během měření

$$V_5 = -V_P (3\alpha - \beta) \Delta T$$

- Korekce změny hladiny v dělicím bodě

$$V_6 = -(1 - \lambda) S \Delta h$$

Matematický model

Výsledný objem je součtem indikovaného objemu a korekčních členů.

$$V = V_E - V_E \kappa \Delta p_1 + i_o t (1 - \kappa \Delta p_1) + \lambda c Q \Delta t - \lambda V_P \kappa \Delta p_2 - V_P (3\alpha - \beta) \Delta T - (1 - \lambda) S \Delta h$$

Identifikace zdrojů nejistoty

Velikost nejistoty měření prováděného měřidlem obecně závisí na celé řadě vlivů a je třeba si uvědomit, že nejistota uvedená v kalibračním listě měřidla je pouze jednou ze složek této výsledné nejistoty. Výpočet výsledné nejistoty měření by měl obsahovat následující zdroje nejistoty měření:

- nejistota kalibrace měřidla,
- reprodukovatelnost měření prováděného měřidlem,
- časová stabilita měřidla (změna chyby měřidla za časovou jednotku).

Identifikace zdrojů nejistoty

Pokud například funkci etalonu v daném zkušebním zařízení plní průtokoměr, pak nejistota kalibrace se je přímo uvedena v příslušném kalibračním listu. Jeho časová stabilita se určí na základě vyhodnocení chyb měření při opakovaných kalibracích (sledování časové stability etalonu). Reprodukovatelnost měření se zajišťuje například pomocí vhodných uklidňovacích úseků potrubí před a za měřidlem, které jsou k měřidlu připojeny i během jeho kalibrace. Vodítkem při posuzování reprodukovatelnosti měření může být například provedená funkční zkouška zkušebního zařízení.

Identifikace zdrojů nejistoty

$$V = V_E - V_E \kappa \Delta p_1 + i_o t (1 - \kappa \Delta p_1) + \lambda Q \Delta t - \lambda V_P \kappa \Delta p_2 - V_P (3\alpha - \beta) \Delta T - (1 - \lambda) S \Delta h$$

Kromě parametru λ lze každé veličině přiřadit nejistotu.

Koeficienty citlivosti

Koeficient citlivosti	Vztah pro výpočet koeficientu	Koeficient citlivosti	Vztah pro výpočet koeficientu
$c_1 = \frac{\partial V}{\partial V_E}$	$(1 - \kappa \Delta p_1)$	$c_2 = \frac{\partial V}{\partial \kappa}$	$-(V_E + i_O t) \Delta p_1 - \lambda V_P \Delta p_2$
$c_3 = \frac{\partial V}{\partial \Delta p_1}$	$-(V_E + i_O t) \kappa$	$c_4 = \frac{\partial V}{\partial t}$	$i_O (1 - \kappa \Delta p_1)$
$c_5 = \frac{\partial V}{\partial i_O}$	$t(1 - \kappa \Delta p_1)$	$c_6 = \frac{\partial V}{\partial Q}$	$\lambda \Delta t$
$c_7 = \frac{\partial V}{\partial \Delta t}$	λQ	$c_8 = \frac{\partial V}{\partial V_P}$	$-\lambda \kappa \Delta p_2 - (3\alpha - \beta) \Delta T$
$c_9 = \frac{\partial V}{\partial \Delta p_2}$	$-\lambda V_P \kappa$	$c_{10} = \frac{\partial V}{\partial \alpha}$	$-3V_P \Delta T$
$c_{11} = \frac{\partial V}{\partial \beta}$	$V_P \Delta T$	$c_{12} = \frac{\partial V}{\partial \Delta T}$	$-V_P (3\alpha - \beta)$
$c_{13} = \frac{\partial V}{\partial S}$	$-(1 - \lambda) \Delta h$	$c_{14} = \frac{\partial V}{\partial \Delta h}$	$-(1 - \lambda) S$

Určení vstupních nejistot

Nejistota objemu vody při měření hmotnostní metodou

$$V_E = \frac{K \times m}{\rho(T)}$$

$$u_1 = \sqrt{\left(\frac{K}{\rho(T)}\right)^2 u_m^2 + \left(-\frac{K \times m}{\rho^2(T)}\right)^2 u_\rho^2 + \left(\frac{m}{\rho(T)}\right)^2 u_K^2}$$

Určení vstupních nejistot

Nejistota určení hmotnosti vody:

$$u_m = \sqrt{u_{KAL}^2 + (t_{KAL}s)^2}$$

kde t_{KAL} je čas od poslední kalibrace, s je stabilita váhy a u_{KAL} je nejistota kalibrace váhy (hodnota z kalibračního listu).

Určení vstupních nejistot

Nejistota určení korekčního součinitele vztaku vzduchu

$$K = \frac{1 - \rho_V / \rho_Z}{1 - \rho_V / \rho_K}$$

Nejistota určená numericky z mezních hodnot vstupních veličin.

$$K = 1,00105 \pm 0,00009$$

Určení vstupních nejistot

Nejistota určení hustoty vody:

$$u_{\rho} = \sqrt{(\rho_0 \beta)^2 u_T^2 + u_{KAL}^2 + (t_{KAL} s)^2}$$

kde ρ_0 je hustota vody při referenční teplotě, β je teplotní objemová roztažnost vody u_T je nejistota měření teploty, t_{KAL} je čas od poslední kalibrace, s je stabilita hustoty vody a u_{KAL} je nejistota měření hustoty vody (hodnota z kalibračního listu).

Určení vstupních nejistot

Nejistota objemu vody při měření hmotnostní metodou

$$V_E = \frac{K \times m}{\rho(T)} \quad u_1 = \sqrt{\left(\frac{K}{\rho(T)}\right)^2 u_m^2 + \left(-\frac{K \times m}{\rho^2(T)}\right)^2 u_\rho^2 + \left(\frac{m}{\rho(T)}\right)^2 u_K^2}$$

$$u_m = \sqrt{u_{KAL}^2 + (t_{KAL} s)^2}$$

$$u_\rho = \sqrt{(\rho_0 \beta)^2 u_T^2 + u_{KAL}^2 + (t_{KAL} s)^2}$$

$$K = 1,00105 \pm 0,00009$$

Bilanční tabulka

<i>Veličina</i> <u>X_a, Y</u>	<i>Odhad</i> <u>x_a, y</u>	<i>Standardní</i> <i>nejistota</i>	<i>Typ</i> <i>rozdělení</i>	<i>Koeficient</i> <i>citlivosti</i>	<i>Příspěvek ke standardní</i> <i>nejistotě <u>$u_a(y)$</u>; nejistota $u(y)$</i>
X_1	x_1	$u_1(x)$	dle situace	A_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u_2(x)$	:	A_2	$u_2(y)$
:	:	:	:	:	:
<u>X_i</u>	<u>x_i</u>	<u>$u_i(x)$</u>	:	<u>A_i</u>	<u>$u_i(y)$</u>
:	:	:	:	:	:
<u>X_m</u>	<u>x_m</u>	$u_m(x)$	:	<u>A_m</u>	$u_m(y)$
Y	y	-	-	-	$u(y)$

Děkuji za pozornost