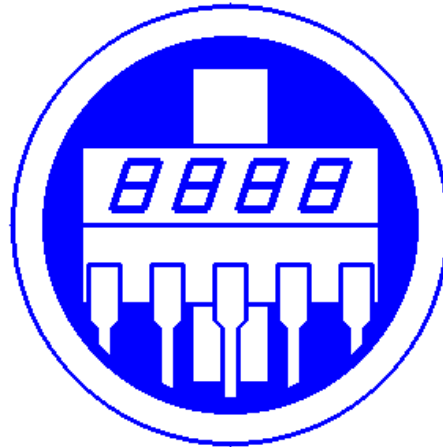


MERANIE ELEKTRICKÝCH A NEELEKTRICKÝCH VELIČÍN



prednášateľ: *Viktor SMIEŠKO*

Katedra merania

B-312

Hodnotenie predmetu:

max. 50 bodov za semester

- z toho za testy z cvičení **max. 16 bodov**

- za prácu na cvičeniach **max. 24 bodov**

- za kontrolnú písomku počas predn. **max. 10 bodov**

max. 50 bodov za skúšku

spolu: 100 bodov

Literatúra:

- 1. Bajcsy, J., Smieško, V., Kukuča, P., Senček, F. : Meranie elektrických veličín. ES STU Bratislava, 1994.**
- 2. Kukuča, P.: Základy číslicového merania. ES STU, Bratislava, 1993.**
- 3. Bajcsy, J.: Základy meracej techniky. ES STU, Bratislava, 1992.**
- 4. Haasz, V., Sedláček, M.: Elektrická měření. Přístroje a metody. ČVUT Praha, 1998.**

Meranie nie je:

- **izolovaná činnosť (meranie ako také)**
- **len rutinná technická činnosť, (pri ktorej netreba rozmýšľať)**
- **niečo, bez čoho „vyžijem“ (nestretnem sa s tým)**

Meranie je:

- **jedna z najčastejších ľudských činností**
- **súčasť väčšiny ľudských činností**
- **odpovedanie na otázky**

Meranie je (def.):

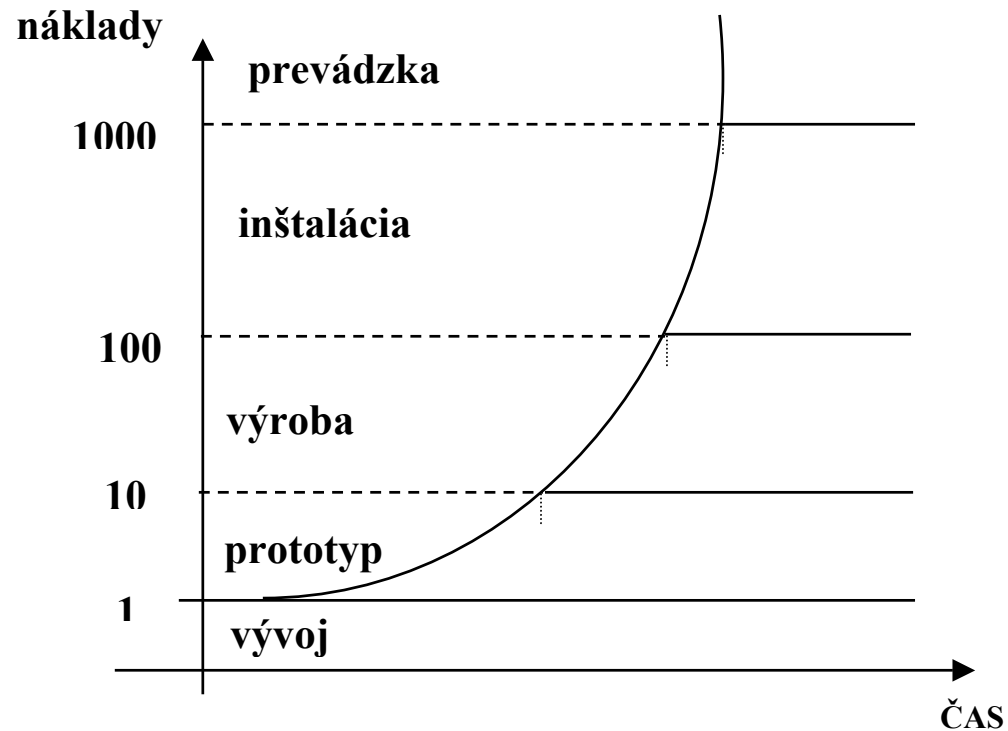
- **1. Súbor experimentálnych úkonov, ktorých cieľom je stanoviť veľkosť určitej veličiny násobkom príslušnej meranej jednotky.**
- **2. Proces poznania cestou fyzikálneho experimentu, zahrňujúci porovnanie danej veličiny s niektorou jej hodnotou, prijatou za jednotku porovnávania.**

Základná rovnica merania

$$\mathbf{X = K \cdot N}$$

Meranie poskytuje:

- ✓ informácie o výsledku nejakej práce (konštatovanie stavu)
- ✓ priebežné informácie počas vývoja a výroby (ovplyvnenie výsledku)



- ✓ informácie o stave a prevádzke systémov – zabezpečenie ich funkčnosti

Meranie podporuje:

- ✓ **vedecko-technický rozvoj**

(p. Philippe Busquin „There is no science without measurement“)

- ✓ **riadenie výroby a kvality výrobkov**

- ✓ **ochrana zdravia a života ľudí**

- ✓ **vytváranie podkladov pre finančné transakcie**

- ✓ **ochrana spotrebiteľa**

Meranie limituje:

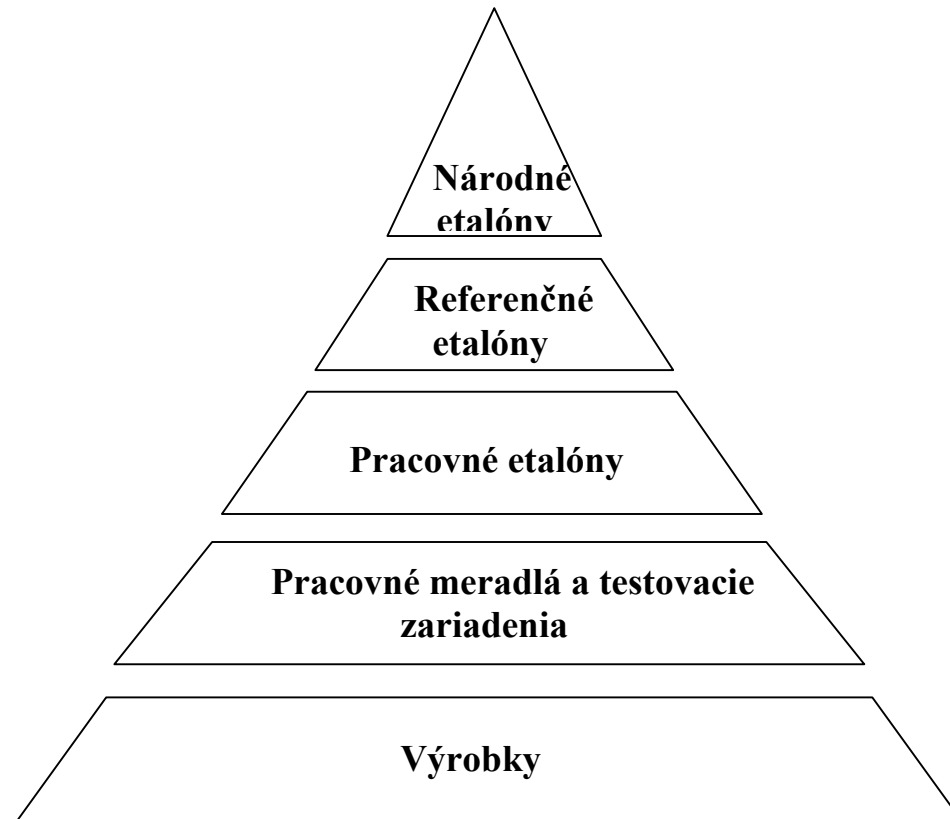
- ✓ **dosiahnuteľné parametre výrobkov**

- ✓ **istú „spravodlivosť“ v obchode**

- ✓ **medzinárodnú spoluprácu a obchod**

Medzinárodná spolupráca

- **legislatíva a štandardizácia (normalizácia)**
- **medzinárodné a národné metrologické organizácie (porovnania)**
- **presun etalónov do výroby a prevádzky**
- **vyššie nároky na prístrojové a personálne vybavenie organizácií**



Meranie vyžaduje:

- **znalosť objektu merania – najskôr treba byť odborníkom vo svojom odbore**
- **znalosť reálnych možností meracej techniky**
 - **zber údajov, poznanie vlastností prístroja**
- **znalosti z teórie merania – spracovanie a vyhodnotenie výsledku merania**
- **získať informácie – samotné meranie**
- **spracovať namerané údaje**
- **správne interpretovať výsledok merania**
 - **nameraná hodnota**
 - **meracia jednotka**
 - **podmienky merania**
 - **odhad chyby merania**

Úlohy pre užívateľov

- ✓ **vedieť vybrať vhodný (správny) merací prístroj**
- ✓ **vedieť navrhnúť zloženie meracieho systému (metodiky merania)**
- ✓ **navrhnúť postupnosť splnenia požadovanej úlohy**
- ✓ **vybrať správne merané veličiny**

Prostriedky merania:

- **merací prístroj (MP) (indikuje v styku s objektom merania meranú hodnotu)**
- **pomocné zariadenia (PZ)**
- **meracia metóda – spôsob použitia a prepojenia MP a PZ**
- **merací reťazec – zapojenie viacerých MP a PZ**

Metódy merania:

- **priama**
- **nepriama**

Rozbor meracieho procesu

- **experimentátor**
- **technika merania (extrémne podmienky)**
- **výsledok merania**
- **údaj o chybe merania**

Chyby merania

- **hrubé chyby (omyly) – vylúčiť**
- **systematické chyby (deterministické) – korigovať**
- **náhodné chyby (stochastické) – znižovať**

Chyby merania

- **absolútna chyba**

$$\Delta X = X_m - X_s \quad X_m - \text{nameraná hodnota}$$

X_s - skutočná hodnota

- **korekcia**

$$K = X_s - X_m = -\Delta X$$

- **relatívna chyba**

$$\delta X = \Delta X / X_s \quad X_s - \text{skutočná hodnota}$$

$$\delta X = \Delta X / X_s \quad X_s - \text{správna hodnota}$$

$$\delta X = \Delta X / X_m \quad X_m - \text{nameraná hodnota}$$

$$\delta X_p = \Delta X / X_N \quad X_N - \text{nominálna hodnota}$$

$$\delta X = \Delta X / X \cdot 100 [\%]$$

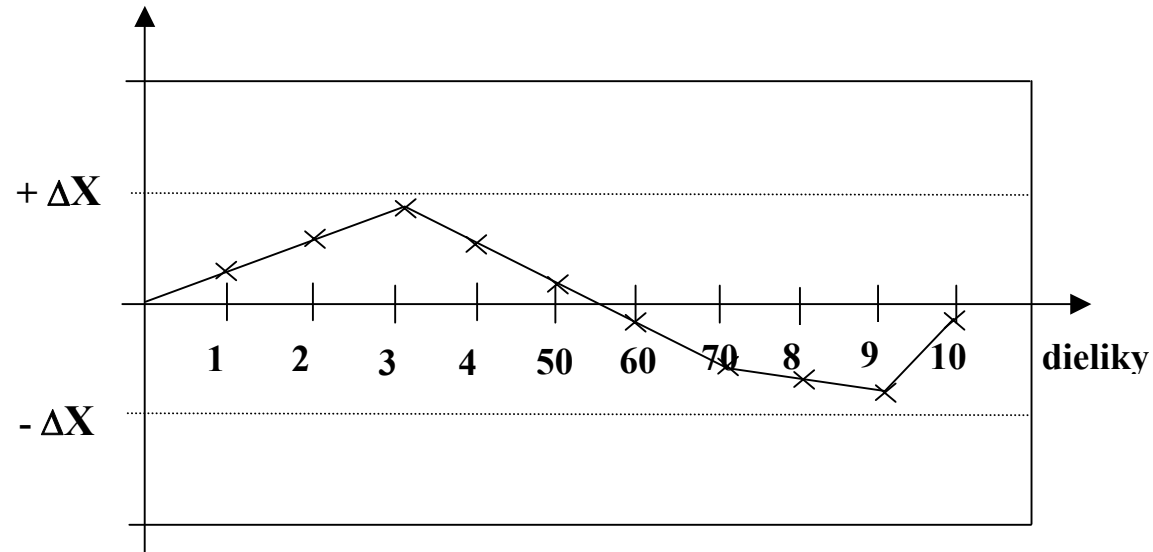
$$\delta X = \Delta X / X \cdot 10^6 [ppm]$$

Chyby merania

- **„skutočné“ hodnoty chýb**
 - **zistené porovnaním s presnejším meradlom**
- **hranice chýb**
 - **zaručované výrobcom**
 - **maximálne chyby s pravdepodobnosťou 100%**
- **neistoty**
 - **interval chýb s pravdepodobnosťou $< 100\%$**

Hranice chýb (1)

- trieda presnosti (def.) – konštanta
 - maximálna relatívna chyba prístroja
 - maximálna relatívna chyba údajá
 - maximálna relatívna chyba z dĺžky stupnice



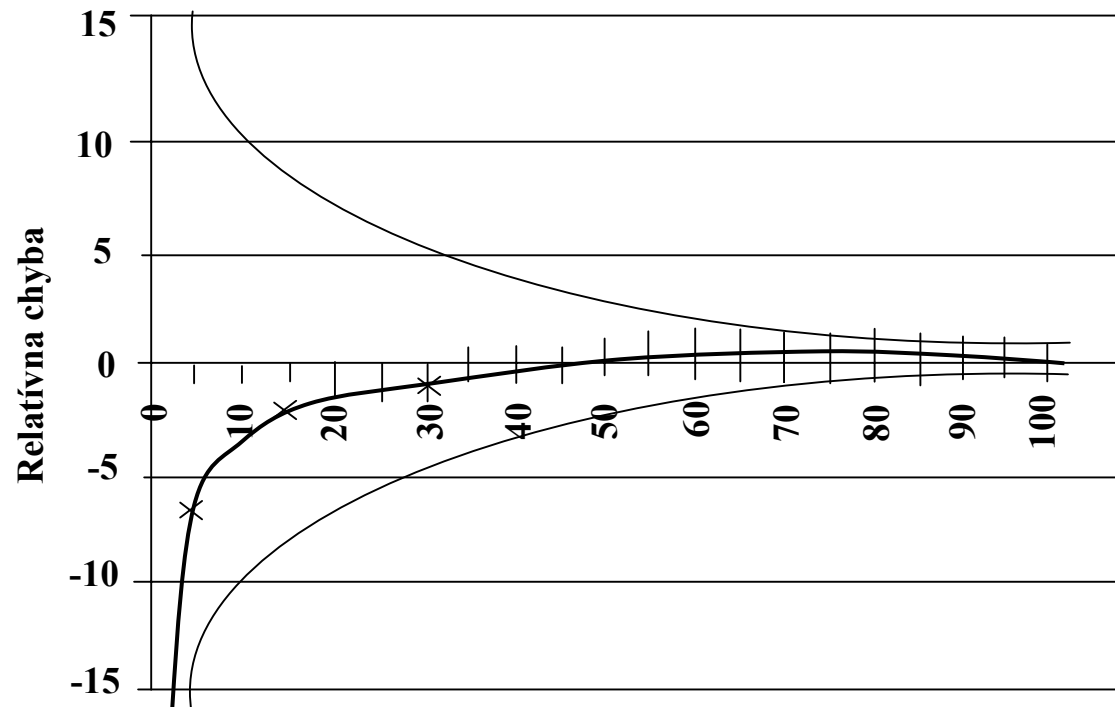
$$\text{tr. pr.} = \max (\Delta X / X_N) \cdot 100 \%$$

$$\Delta X = \frac{\text{tr. pr.}}{100} \cdot X_N$$

Hranice chýb (2)

- relatívna chyba údajá (z tr. pr.)

$$\delta X_m = \frac{\Delta X}{X_m} \cdot 100 \Rightarrow \delta X_m = \frac{X_N}{X_m} \cdot tr. pr.$$



Hranice chýb (3)

- dvojčlenný vzorec

- aditívna zložka Δ_a , δ_a

- $\pm \delta_a$ % z rozsahu ($\pm n$ digit)

- $$\Delta_a = (\delta_a/100) \cdot X_N$$

- multiplikatívna zložka δ_m , Δ_m

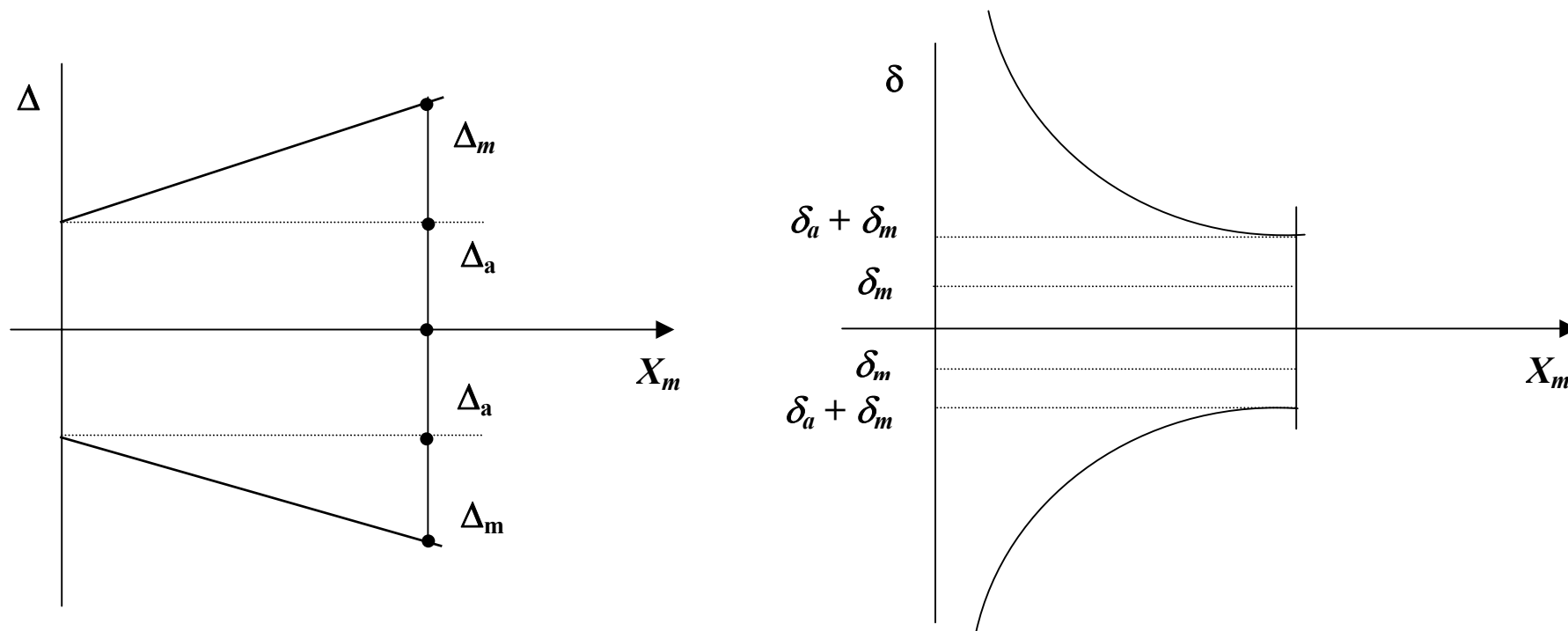
- $\pm \delta_m$ % z údajaja

- $$\Delta_m = (\delta_m/100) \cdot X_m$$

- absolútna chyba $\Delta = \Delta_a + \Delta_m = \Delta_a + \frac{\delta_m}{100} \cdot X_m$

- relatívna chyba $\delta = \delta_a \cdot \frac{X_N}{X_m} + \delta_m$

Hranice chýb (4)

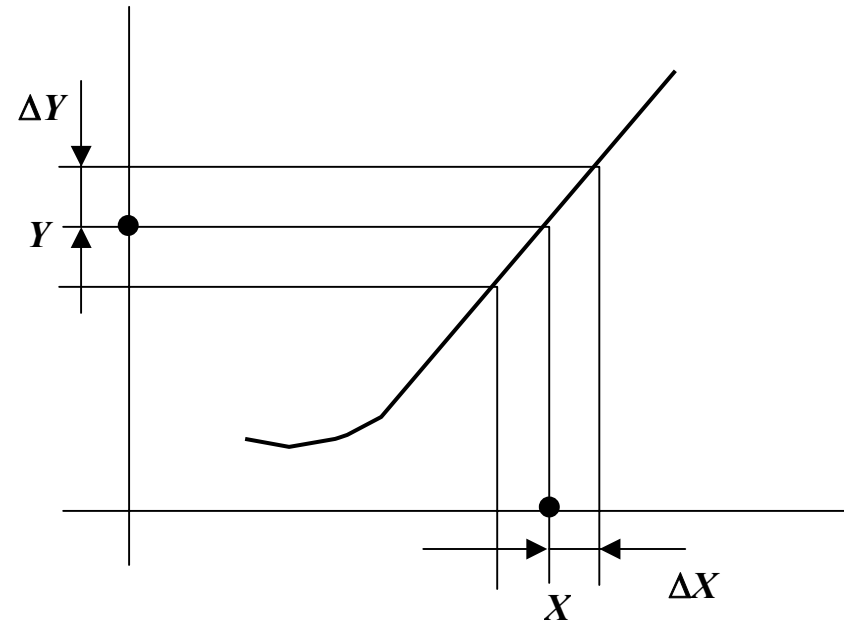


Chyby meracích prístrojov

- **referenčné podmienky**
 - **teplota**
 - **frekvencia (frekvenčný rozsah)**
 - **časový priebeh meranej veličiny**
 - **vlhkosť**
 - ⋮
- **prídavné chyby**
 - **mimo referenčných podmienok**
 - **vplyv meracieho prístroja (spotreba)**

Zákon prenášania chýb (1)

(Chyby pri nepriamej metóde merania)



$$\Delta Y = \frac{dY}{dX} \cdot \Delta X$$

$$\Delta Y = \frac{\partial Y}{\partial X} \cdot \Delta X$$

Zákon prenášania chýb (2)

- funkcia viacpremenných $Y = f(X_1, X_2 \dots X_n)$

$$\Delta Y = \sum_i^n \left[\frac{\partial Y}{\partial X_i} \cdot \Delta X_i \right]$$

$$\delta Y = \frac{\Delta Y}{Y} \qquad \delta X_i = \frac{\Delta X_i}{X_i}$$

$$\delta Y = \frac{1}{Y} \sum_i^n \left[\frac{\partial Y}{\partial X_i} X_i \delta X_i \right]$$

$$\delta Y = \sum_i^n \left| \frac{\partial Y}{\partial X_i} \cdot \frac{X_i}{Y} \cdot \delta X_i \right|$$

Zákon prenášania chýb (3)

Príklady

$$Y = X_1 \pm X_2$$

$$\Delta Y = \Delta X_1 + \Delta X_2$$

$$\delta Y = \frac{|X_1 \delta X_1| + |X_2 \delta X_2|}{X_1 \pm X_2}$$

$$Y = X_1 \cdot X_2$$

$$\Delta Y = |X_2 \cdot \Delta X_1| + |X_1 \cdot \Delta X_2|$$

$$\delta Y = \delta X_1 + \delta X_2$$

$$Y = X_1 / X_2$$

$$\Delta Y = \frac{|X_2 \Delta X_1| + |X_1 \cdot \Delta X_2|}{X_2^2}$$

$$\delta Y = \delta X_1 + \delta X_2$$

Neistoty (Uncertainty) v meraní – u

- **odráža nedostatky v dokonalom poznaní hodnoty meranej veličiny**
- **interval okolo nameranej hodnoty, v ktorom sa nachádza skutočná hodnota s istou pravdepodobnosťou**
- **dotýka sa**
 - **výsledku meraní**
 - **hodnôt odčítaných z prístrojov**
 - **hodnôt použitých konštánt**
 - **korekcií**
 - ⋮

Zdroje neistôt merania

- **neúplná definícia meranej veličiny**
- **nereprezentatívny výber vzoriek**
- **nedostatočne známe účinky podmienok prostredia (alebo ich nedokonalé meranie)**
- **subjektívnosť odčítania z analógových prístrojov**
- **obmedzená rozlišovacia schopnosť prístrojov**
- **nepresnosť etalónov**
- **nepresné hodnoty konštánt a iných parametrov**
- **aproximácie v metóde a postupe merania**
- **zmeny pri opakovaných meraniach (pri rovnakých podmienkach)**

Typy neistôt merania

- **typ A - u_A**
 - získavame štatistickými metódami z nameraných údajov
- **typ B - u_B**
 - inými metódami
- **kombinovaná neistota (u_A, u_B) - u_C**
 - u_A a u_B sú nezávislé
 - opakované priame meranie jednej veličiny
 - $u_C^2 = u_A^2 + u_B^2$
 - u_A a u_B sú závislé – treba určiť stupeň závislosti (korelácia medzi u_A a u_B)

Vyhodnotenie neistoty typu A – u_A

- štatistická analýza nameraných údajov
- priama metóda
- opakované meranie (u) za rovnakých podmienok
- odhad hodnoty meranej veličiny

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

- neistota u_A tohto odhadu je smerodajná odchýlka odhadu \bar{x}

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

- znak neistoty u_A – s rastúcim počtom meraní ich hodnoty klesajú

Vyhodnotenie neistoty typu B - u_B

- u_B sa viaže na známe identifikovateľné zdroje
- u_B sa určí kvalifikovaným úsudkom z informácií
- zdroje informácií (príklady)
 - doterajšie merania
 - skúsenosti a všeobecné znalosti o meracom procese
 - údaje z certifikátov a kalibračných listov
 - neistoty referenčných zdrojov (výrobca)
- príklady zdrojov neistôt u_B
 - meranie napätia V-metrom, chyba metódy (R_{zdroja}, R_V)
 - meranie teploty termočlánkom, linearizácia charakteristiky