

Neistoty merania ako fundamentálny prvok fyzikálneho poznania



Hokina Adrián a kolektív
Strojnícka fakulta, Slovenská technická univerzita,
Bratislava, Slovenská republika



Neistota merania je neoddeliteľnou súčasťou každého experimentu. Nepredstavuje chybu merania, ale kvantitatívne vyjadrenie dôvery v získaný výsledok.

Jej správne určenie umožňuje:

- objektivne interpretovať výsledky,
- porovnávať experimenty,
- zabezpečiť reprodukovateľnosť vedeckých záverov.

Najčastejšie sa výsledok zapisuje ako $X = x \pm U (k = 2)$

alebo $X = (x \pm U) \text{ jednotka}, k = 2, P \approx 95\%$

kde:

- $U = k u_c$ je rozšírená neistota,
- u_c je kombinovaná štandardná neistota,
- k je koeficient pokrytia (najčastejšie $k = 2$),
- P je pravdepodobnosť pokrytia (približne 95 %).

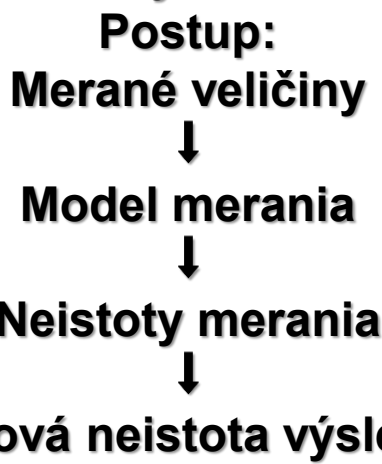
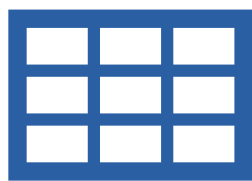
Úvod: Neistota merania [1] predstavuje neoddeliteľnú súčasť experimentálnej fyziky a zároveň významný nástroj pri interpretácii fyzikálnych výsledkov. V tomto príspevku sa zaoberáme jej úlohou ako fundamentálneho prvku vedeckého poznania, ktorý presahuje rámec hodnotenia technickej presnosti a zasahuje aj do oblasti epistemológie fyziky [2]. Ukazujeme, že každé meranie je nevyhnutne spojené s obmedzeniami vyplývajúcimi z vlastností meracích systémov, interakcie meracieho procesu s pozorovaným systémom a štatistickej povahy fyzikálnych javov.

Pozornosť venujeme vzťahu medzi systematickými a náhodnými účinkami ovplyvňujúcimi výsledok merania a zdôrazňujeme význam ich správnej identifikácie, hodnotenia a kvantifikácie pri stanovení neistoty merania. Osobitná pozornosť je venovaná propagácii neistôt v komplexných experimentoch, kde sa jednotlivé zložky neistoty kombinujú prostredníctvom často nelineárnych modelov merania. V tejto súvislosti sú diskutované moderné prístupy založené na Bayesovskej interpretácii merania, ktoré umožňujú konzistentné začlenenie predchádzajúcich informácií a expertných poznatkov do procesu vyhodnocovania experimentálnych údajov [3;4].

Cieľom príspevku je poukázať na skutočnosť, že správne pochopenie, kvantifikácia a interpretácia neistoty merania nepredstavujú iba metodologickú požiadavku experimentálnej práce, ale tvoria nevyhnutný základ pre formuláciu spoľahlivých a reprodukovateľných fyzikálnych záverov. V závere sú diskutované aj pedagogické aspekty výučby problematiky neistôt, ktorá zostáva napriek svojmu zásadnému významu často nedostatočne rozvinutou súčasťou základného fyzikálneho vzdelávania.

Prečo je neistota dôležitá?
Meranie je vždy ovplyvnené: **vlastnosťami meracieho systému, interakciou medzi meradlom a skúmaným objektom, štatistickou povahou fyzikálnych javov.**
→ Každý experiment má svoje prirodzené limity presnosti.

Pri zložitých experimentoch vzniká výsledok kombináciou viacerých meraní.



Pri nelineárnych modeloch nemožno jednotlivé neistoty jednoducho sčítať – využívajú sa matematické metódy.

Moderný prístup: Bayesovská interpretácia

- Bayesovské metódy umožňujú zahrnúť:
- predchádzajúce poznatky,
- expertné odhady,
- nové experimentálne údaje
- do jednotného procesu vyhodnotenia.

Výhody:

- konzistentnejšie odhady,
- lepšie spracovanie komplexných experimentov,
- prirodzené vyjadrenie neistoty.

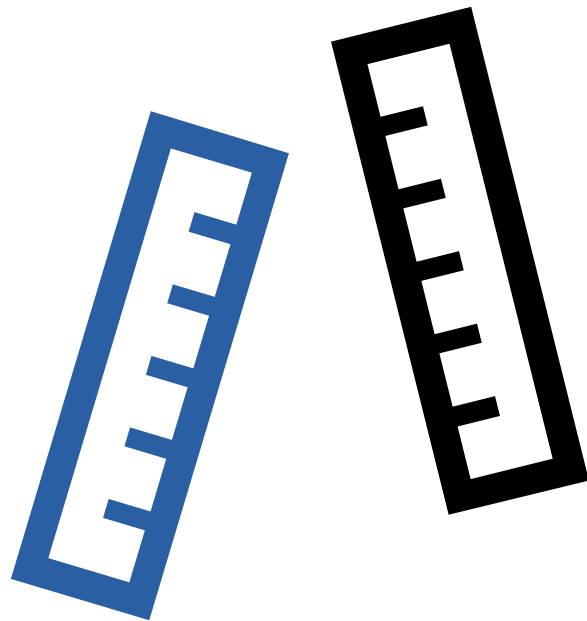
Hlavné závery

- Neistota merania je prirodzenou súčasťou každého experimentu.
- Nie je znakom nepresnosti, ale mierou dôveryhodnosti výsledku.
- Správna kvantifikácia neistoty je základom spoľahlivých a reprodukovateľných vedeckých záverov.
- Moderné Bayesovské prístupy rozširujú možnosti spracovania experimentálnych dát.

Pedagogické aspekty

Napriek významu neistoty merania býva jej výučba často nedostatočná. Je potrebné rozvíjať schopnosť študentov:

- správne interpretovať neistoty,
- rozlišovať medzi chybou a neistotou,
- kriticky hodnotiť experimentálne výsledky.



Štandardná neistota typu A je daná výberovou smerodajnou odchýlkou výberového priemeru (pri počte meraní $n = 10$ alebo $n > 10$)

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

kde n je počet meraní, x_i je výsledok i -teho merania, výraz $x_i - \bar{x}$ predstavuje odchýlku meranej veličiny od skutočnej hodnoty (konvenčne pravá hodnota). Štandardná neistota typu A vyjadruje neistotu výsledku získaného opakovaným meraním a zohľadňuje náhodné vplyvy pri meraní.

Štandardná neistota typu B vyjadruje neistotu, ktorá je spôsobená najmä konštrukciou prístroja, ktorým je veličina meraná. V prípade rovnomerného rozdelenia pravdepodobnosti odchýliek $x_i - \bar{x}$ pre štandardnú neistotu typu B platí

$$u_{Bz} = \frac{z_{\max}}{\sqrt{3}},$$

kde $z_{\max}$ je maximálna dovolená odchýlka meracieho zariadenia.

Neistota merania je parameter charakterizujúci interval hodnôt meranej veličiny okolo výsledku merania, ktorý podľa očakávania obsahuje skutočnú hodnotu veličiny. Je kvantitatívnym ukazovateľom výsledku a vyjadruje aj kvalitu merania.

Podakovanie:

Príspevok vznikol s podporou projektov KEGA č. 028STU-4/2026, VEGA č. 1/0363/26 a ČABELKA CAC-01-26. Autori ďakujú Strojníckej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave za podporu pri príprave príspevku.

Literatúra:

- [1] NĚMEČEK, P. Nejistoty měření. Kvalita, quality, Qualität. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. ISBN 978-80-02-02089-9.
- [2] KAKU, M. Fyzika nemožného. Vydání druhé. Přeložil Petr LIEBL. Zip. Praha: Argo, 2022. ISBN 978-80-257-3786-6.
- [3] CHUDÝ, V.; PALENČÁR, R.; KUREKOVÁ, E.; HALAJ, M. Meranie technických veličín. Vydavateľstvo Bratislava: STU, 1999. 688 s. ISBN 80-227-1275-2.
- [4] PALENČÁR, R.; WIMMER, G.; PALENČÁR, J.; WITKOVSKÝ, V. Navrhovanie a vyhodnocovanie meraní. 1. vyd. Bratislava: Spektrum STU, 2021. 160 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-5080-6.

