

Postup fyzikálních měření

Při měření fyzikálních veličin zpravidla postupujeme ve **třech etapách**.

Nejprve provedeme řádnou **přípravu měření**, během které je nutné se seznámit s poznatky, které se týkají měřené veličiny, zvolit vhodný princip a odpovídající metodu měření, vybrat potřebná měřidla a naučit se s nimi manipulovat, uvážit, které vnější podmínky mohou mít vliv na výsledky měření a které chyby mohou nastat a naplánovat postup měření.

Další etapou je **vlastní měření** v laboratoři a třetí nezbytnou fází je **zpracování výsledků měření** vedoucí k formulaci jednoznačného závěru měření.

Chyby při fyzikálním měření

Měření fyzikální veličiny je vždy zatíženo chybami, které mohou být způsobeny nedokonalostí použitých měřidel, nevhodností použitých metod a postupů, vlivem vnějších podmínek, za nichž měření probíhá, aj. Takto vznikají tzv. **systematické chyby**, které lze eliminovat např. použitím přesnějších měřidel či změnou měřicí metody. Nepozorností nebo omylem pozorovatele vznikají **hrubé chyby**, které lze obvykle snadno rozeznat a z výsledků měření je odstranit. Při každém měření však vznikají působením náhodných vlivů také **chyby náhodné**, které mají náhodné zdroje a z výsledků měření je nelze vyloučit.

Z existence chyb vyplývá, že skutečnou hodnotu měřené fyzikální veličiny nedovedeme přesně určit. Výsledná chyba měření je dána souhrnem všech chyb, kterých se v jeho průběhu dopustíme aniž je dokážeme odstranit. Jsou však známy metody, kterými lze z naměřených hodnot zatížených chybami získat údaj, který skutečnou hodnotu do značné míry přiblíží a vypovídá o tom, nakolik je tato hodnota spolehlivě určena.

Výpočet chyby měření

Z teorie pravděpodobnosti vyplývá, že větší počet opakovaných měření téže veličiny vede k dosažení větší přesnosti měření, tedy eliminaci chyb měření. Minimální počet prováděných měření dané fyzikální veličiny při laboratorních pracích je pět.

Při **přímém měření** hodnoty fyzikální veličiny a stanovíme nejprve z n naměřených hodnot její **střední hodnotu** \bar{a} jako **aritmetický průměr** naměřených hodnot podle vztahu

$$\bar{a} = \frac{1}{n}(a_1 + a_2 + \dots + a_n) = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n},$$

kde n je počet provedených měření a index označuje pořadí jednotlivého měření. Takto stanovenou hodnotu zpravidla srovnáme s hodnotou, která je aritmetickým průměrem nejvyšší a nejnižší naměřené hodnoty. Jestliže se obě vypočtené hodnoty výrazně liší, pravděpodobně jsme se v průběhu měření dopustili hrubé chyby, kterou se pokusíme vyhledat a z výsledků měření odstranit.

Poté určíme odchylky Δa_i jednotlivých naměřených hodnot od vypočtené střední hodnoty \bar{a} veličiny a podle vztahu

$$\Delta a_i = a_i - \bar{a}$$

a z jednotlivých odchylek pak **průměrnou odchylku** Δa podle vztahu

$$\Delta a = \frac{1}{n}(|\Delta a_1| + |\Delta a_2| + \dots + |\Delta a_n|) = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta a_i|}{n}.$$

Průměrná odchylka však necharakterizuje dostatečně přesnost provedeného fyzikálního měření. Pro objektivní srovnání přesnosti měření dané veličiny různými postupy a metodami, resp. srovnání jeho přesnosti s chybou měřicího přístroje vypočteme **relativní odchylku** měření δa udávanou zpravidla v procentech podle vztahu

$$\delta a = \frac{\Delta a}{\bar{a}} \cdot 100\%.$$

Výslednou naměřenou hodnotu fyzikální veličiny zapisujeme ve tvaru $a = \bar{a} \pm \Delta a$, přičemž provedené měření bylo zatíženo chybou δa , kterou srovnáme s chybou měřicího přístroje a zhodnotíme přesnost provedeného měření. Podle použitých metod, postupů a přístrojů lze považovat za dostatečně přesné měření s relativní chybou menší než 1,00 %, u některých měření až 3,00 %.

Poznámka: Všechny naměřené hodnoty a_i uvádíme s přesností na týž počet desetinných míst určenou přesností odečítání hodnot na použitém měřicím zařízení. Přesnost vypočtené střední hodnoty a odchylek jednotlivých naměřených hodnot pak je o jeden řád vyšší. Průměrnou odchylku měření Δa dané fyzikální veličiny a zaokrouhlujeme na jednu platnou číslici a výslednou střední hodnotu \bar{a} fyzikální veličiny a pak zaokrouhlíme tak, že řád její poslední platné číslice se shoduje s řádem zaokrouhlené průměrné odchylky. Relativní chybu δa měření fyzikální veličiny a uvádíme vždy s přesností na setiny procenta.

Při **nepřímém měření** hodnoty fyzikální veličiny a spočívajícím ve výpočtu jejích hodnot z přímo měřených hodnot jiných veličin b, c **statickou metodou** pomocí vztahů mezi uvedenými veličinami stanovíme nejprve střední hodnoty, průměrné a relativní odchylky měření fyzikálních veličin b, c . Hodnota fyzikální veličiny a pak může být obecně dána jako součet, rozdíl, součin nebo podíl hodnot naměřených veličin b, c , resp. jako mocnina či odmocnina některé z nich. S použitím metod matematické statistiky lze dokázat, že pro střední hodnotu \bar{a} , průměrnou odchylku Δa a relativní odchylku δa měření hodnoty fyzikální veličiny a platí vztahy uvedené v tabulce:

a	\bar{a}	Δa	$\frac{\delta a}{100\%} = \frac{\Delta a}{a}$
$b \pm c$	$\bar{b} \pm \bar{c}$	$\Delta b + \Delta c$	$\frac{\Delta b + \Delta c}{\bar{b} \pm \bar{c}}$
bc	$\bar{b}\bar{c}$	$\bar{b} \cdot \Delta c + \bar{c} \cdot \Delta b$	$\frac{\Delta b}{\bar{b}} + \frac{\Delta c}{\bar{c}} = \delta b + \delta c$
$\frac{b}{c}$	$\frac{\bar{b}}{\bar{c}}$	$\frac{\bar{b} \cdot \Delta c + \bar{c} \cdot \Delta b}{(\bar{c})^2}$	$\frac{\Delta b}{\bar{b}} + \frac{\Delta c}{\bar{c}} = \delta b + \delta c$
b^2	$(\bar{b})^2$	$2\bar{b} \cdot \Delta b$	$\frac{2 \cdot \Delta b}{\bar{b}} = 2\delta b$
\sqrt{b}	$\sqrt{\bar{b}}$	$\frac{\Delta b}{2\sqrt{\bar{b}}}$	$\frac{\Delta b}{2 \cdot \bar{b}} = \frac{\delta b}{2}$

Poznámka: V případě, že hodnota veličiny a je dána prostým součtem, resp. rozdílem hodnot veličin b, c , určíme nejprve průměrnou odchylku Δa měření hodnoty fyzikální veličiny a a poté jeho relativní odchylku δa . V ostatních případech bývá snazší provést nejprve výpočet relativní odchylky δa a až poté určit průměrnou odchylku Δa měření hodnoty dané veličiny.

Při **nepřímém měření** hodnoty fyzikální veličiny a spočívajícím ve výpočtu jejích hodnot z přímo měřených hodnot jiných veličin b, c **dynamickou metodou** pomocí vztahů mezi uvedenými veličinami nejprve vypočteme hodnotu veličiny a v každém z n provedených měření a střední hodnotu, průměrnou a relativní odchylku měření veličiny a pak vypočítáme jako u přímých metod měření.