

# ORGANIZAČNÍ ŘÁD LABORATORNÍHO CVIČENÍ

- 1) Na laboratorní cvičení je nutné chodit včas. Kdo přijde pozdě bez řádné omluvy, bude z měření vyloučen.
- 2) Vrchní oděv a boty se odkládají v šatně UF102. Každý student se přezuje do přinesené domácí obuvi. Klíče od šatny jsou zavěšeny ve fyzikálním praktiku na dveřích. Šatnu ve vlastním zájmu zamykejte, klíče vracejte zpět na své místo.
- 3) Na měření si každý nosí skriptum, popř. návod k dané úloze.
- 4) Posluchač, který se nedostaví k měření, musí mít řádnou omluvu. Úlohu pak doměří v náhradním termínu, případně s jiným vyučujícím (po předchozí domluvě).
- 5) Před měřením každý odevzdá referát z předešlé úlohy včetně naměřených hodnot podepsaných od vyučujícího.
- 6) Na měření chodí každý řádně písemně připraven (písemná příprava viz následující kapitola). Neznalost úlohy nebo nevypracovaný referát mají za následek vyloučení z měření. Úlohu pak student změří v zápočtovém týdnu.
- 7) Pro získání zápočtu je nutné odměřit osobně všechny úlohy a odevzdat všechny referáty v dostatečné kvalitě.

## PRAKTICKÉ POKYNY PRO MĚŘENÍ A VYPRACOVÁNÍ REFERÁTU

### *Příprava měření*

- 1) Úlohu prostudujte předem doma. Seznamte se s příslušnými měřicími metodami a s měřicími přístroji. Na papír A4 vypracujte **písemnou přípravu**, kde si poznamenáte nejdůležitější informace z postupu měření (co a jakým způsobem budete měřit). Vypište si měřicí potřeby, schémata a případně tabulky, do kterých budete zapisovat naměřené hodnoty. Při nejasnostech požádejte svého vyučujícího o konzultaci alespoň den před měřením! **Nepoužívejte pro přípravu starší skripta. Úlohy se během let často měnily!**
- 2) Po příchodu do laboratoře se ujistěte, že máte k dispozici všechny potřebné pomůcky. Zjištěné závady ihned ohlaste asistentovi.
- 3) Přečtěte si „Doplňující pokyny pro měření“, které jsou obvykle u úlohy přiloženy. Dejte pozor na možné odchylky oproti skriptům (jiné přístroje, pracovní úkol, postup měření atd.).
- 4) Připravte si úlohu k měření. Elektrické obvody zapojte podle schémat **bez zapnutých (připojených) zdrojů**. Zapnout zdroje můžete až po schválení zapojení asistentem.

### *Vlastní měření*

- 1) Měřte pečlivě a svědomitě, abyste dosáhli co největší přesnosti měření.

- 2) Měříte-li stejnou veličinu vícekrát, nenechte se ovlivňovat velikostí předchozí hodnoty.
- 3) Zapisujte naměřené hodnoty i s příslušnou jednotkou.
- 4) U elektrických přístrojů si nezapomeňte poznamenat třídu přesnosti a použitý rozsah pro výpočet chyb. Je-li to požadováno, запиšte si rovněž podmínky měření – teplotu a barometrický tlak.
- 5) Záznam s naměřenými hodnotami předložte ke kontrole a podpisu asistentovi, kopii záznamu mu odevzdejte k archivaci.
- 6) Po skončení měření uklid'te pracoviště a se svolením asistenta můžete opustit laboratoř.

### **Referát**

Referáty vypracovává a odevzdává každý student samostatně, i když měříte ve dvojicích. Referáty pište na listy A4, na titulní list napište název úlohy a své jméno. Můžete použít též razítko. Všechny listy včetně grafů sešijte sešíváčkou nebo kancelářskou sponkou.

Části referátu:

- 1) **MĚŘICÍ POTŘEBY A PŘÍSTROJE** – uveďte pouze skutečně použité přístroje a potřeby. Dejte pozor na případné změny oproti skriptům.
- 2) **OBEČNÁ ČÁST** – **velmi stručně (!!)** popište měřený jev, princip měření a uveďte základní vztahy, ze kterých se vychází. Schémata kreslete zásadně pravítkem. **Neopisujte doslova skripta!**
- 3) **POSTUP MĚŘENÍ** – **stručně** popište vlastní měření. Součástí postupu jsou i schémata měření.
- 4) **PRACOVNÍ ÚKOL** – pracovní úkol je vždy uveden v příslušné kapitole. Případné změny jsou uvedeny v doplňujících návodech přiložených u úloh.
- 5) **NAMĚŘENÉ HODNOTY** – je-li to vhodné, zapisujte je do tabulek. Záhlaví tabulky musí vždy obsahovat **značku a jednotku** dané veličiny.
- 6) **ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ** – držte se pracovního úkolu.

Každý výsledek **musí** být podložen **předchozím výpočtem**. Výpočty provádějte následujícím způsobem:

- Nejprve uveďte obecný vztah.
- Pak запиšte vztah s dosazenými **numerickými hodnotami** bez úprav.
- Napište konečný výsledek vztahu.
- Výsledek **správně zaokrouhlete** (viz kapitola „Chyby měření“ odst. E) a uveďte včetně **fyzikálních jednotek**.
- Pokud se stejný výpočet opakuje několikrát, stačí jej uvést pouze jednou. U tabulek, kde se aplikuje stejný postup výpočtu na více řádek, stačí uvést výpočet pro jeden vybraný řádek.
- Při výpočtu chyb (je-li vyžadován) postupujte obdobným způsobem.

- grafy rýsujte na milimetrový papír (pokud je neděláte na počítači) a dodržujte zásady pro jejich tvorbu uvedené v kapitole „Grafické zobrazení naměřených závislostí“.

#### 7) DISKUSE VÝSLEDKŮ A ZÁVĚR

- Do závěru uveďte správně zaokrouhlené hodnoty naměřených nebo vypočtených veličin spolu s jejich chybami a jednotkami ve tvaru  $X = x \pm \delta x$  [jednotky].
- Uveďte tabulkové hodnoty (některé jsou uvedeny na konci skript). Porovnáváte-li vzájemně více hodnot (např. tabulkové a naměřené různými metodami), je vhodné vytvořit srovnávací tabulku.
- Pokuste se odhadnout příčinu v případě, že výsledky měření nesouhlasí s tabulkovými hodnotami.

#### **K referátu se přikládá podepsaný záznam o měření, který musí obsahovat:**

- Naměřené hodnoty (nejlépe v tabulkách).
- Třídy přesnosti měřicích přístrojů (je-li třeba).
- Teplotu vzduchu v místnosti, atmosférický tlak apod. (je-li třeba).
- Jméno studenta

## MĚŘICÍ METODY

Způsob zjišťování velikosti jisté fyzikální veličiny nazýváme **měřicí metodou**. Měřicí metoda závisí především na povaze určované veličiny, použitých přístrojích a uspořádání experimentu. Měřicí metody můžeme dělit podle různých hledisek takto:

**A. Metody definiční a nepřímé.** Definiční metodou měříme veličinu na základě její definice či základního vztahu. Např. hustotu látky určíme změřením hmotnosti  $m$  a objemu  $V$  tělesa a vypočtením z definičního vztahu  $\rho = m/V$ . Všechny ostatní metody vycházející při měření z jiných než definičních vztahů jsou metody nepřímé. Např. určení hustoty látky vážením v kapalině a užitím Archimédova zákona je metoda nepřímá.

**B. Metody přímé a srovnávací.** Přímá metoda poskytuje hodnotu měřené veličiny přímo. Např. délku v metrech, napětí ve voltech atd. Srovnávací metoda je založená na srovnávání hodnoty měřené veličiny se známou hodnotou veličiny stejného druhu. Zvláštním případem je metoda relativní, která odevzdává rozdíl nebo poměr měřené a známé veličiny. Známa veličina je realizována jako přesný vzor nazývaný **normál**, **etalon** nebo **standard** (např. závaží, odporová dekáda nebo normálová kapacita). Typickým představitelem relativní metody je např. vážení nebo elektrický můstek.

Dále uvádíme některé speciální případy měřicích metod, s nimiž se můžete ve fyzikální praxi setkat.

### ***Substituční metoda***

Měřenou veličinu nahrazujeme řadou odstupňovaných normálů veličiny téhož druhu. Velikost měřené i normálové veličiny střídavě měříme vhodným měřicím přístrojem. Přitom měníme normálovou veličinu tak dlouho, dokud nenastane rovnost výchylek na měřicím přístroji.

### ***Kompenzační metoda***

Lze ji použít jen u veličin, které mohou nabývat kladných i záporných hodnot. Měřenou veličinu kompenzujeme normálovou veličinou opačného znaménka, přičemž měříme jejich součet. Zvláštním případem kompenzační metody je metoda nulová. Zde pomocí výchytky vhodného měřicího přístroje indikujeme okamžik, kdy se účinek měřené a kompenzující veličiny vzájemně ruší a výchylka se rovná nule. Měřicí přístroj nemusí být zvláště přesný, stačí když udává s dostatečnou citlivostí nulovou polohu. Nulovou metodou je např. vážení, elektrický Wheatstoneův můstek aj.

### ***Interpolační metoda***

Používá se zejména ve spojení se substituční nebo kompenzační metodou v případě, že nemáme k dispozici přesně takovou hodnotu normálové veličiny  $y$ , kterou bychom nahradili či vykompenzovali veličinu měřenou. Provedou se tedy dvě měření, jedno pro hodnotu nejbližší nižší (tomu odpovídá hodnota normálové veličiny  $y_1$  a výchylka měřicího přístroje  $x_1$ ), druhé pro hodnotu nejbližší vyšší (normálová veličina  $y_2$ , výchylka měřicího přístroje  $x_2$ ). Pro měřenou veličinu má měřicí přístroj výchylku  $x$ . K ní odpovídající hodnotu normálové veličiny  $y$  stanovíme interpolací. Leží-li  $x_1$  a  $x_2$  blízko sebe, můžeme použít interpolaci **lineární**. Zde bod  $[x ; y]$  leží na přímce procházející body  $[x_1 ; y_1]$  a  $[x_2 ; y_2]$ . Neznámou hodnotu  $y$  pak stanovíme jako:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1 .$$

Jsou-li výchytky  $x_1, x_2$  vzdálenější a závisí-li navíc výchylka na měřené veličině nelineárně, je nutno danou závislost aproximovat polynomem jistého stupně. V tom případě je nutno použít více než dvou výchylek pro hodnoty ležící v okolí hledané hodnoty.

Neleží-li výchylka  $x$  mezi výchytkami  $x_1, x_2$ , pak hledaný bod  $[x ; y]$  leží vně bodů  $[x_1 ; y_1]$  a  $[x_2 ; y_2]$  a postup se nazývá **extrapolace**. Ta je však obecně méně přesná a raději se jí vyhýbáme.

### ***Postupná metoda***

Je vhodná pro měření, která se vícekrát opakují a kde konečná hodnota jednoho měření je zároveň počáteční hodnotou měření následujícího. Je to např. měření periodických dějů, měření vzdáleností bodů ekvidistantně rozložených v prostoru (kmitny či uzly stojatého vlnění), teplotní měření, kdy sledujeme teplotu v pravidelných časových intervalech, apod. Obecně je použitelná tam, kde měření

postupuje po stejných hodnotách a získané hodnoty tvoří přibližně aritmetickou posloupnost. Metoda zaručuje nejlepší využití jednotlivých naměřených hodnot z hlediska přesnosti.

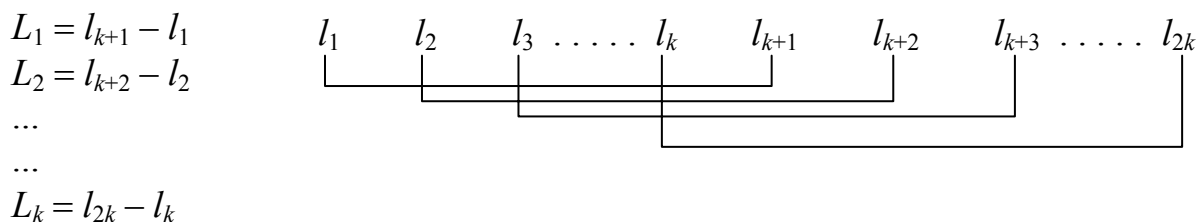
Metodu ukážeme na příkladu měření vlnové délky zvuku. Máme naměřeny souřadnice bodů, v nichž je fáze sinusového signálu z mikrofonu posunuta přesně o hodnotu  $0, 2\pi, 4\pi, \dots, 2n\pi$  vůči fázi signálu reproduktoru (viz obr. 3 na str. 43). Souřadnice označíme  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ . Vzdálenost mezi těmito body odpovídá vlnové délce  $\lambda$  a my chceme získat z naměřených souřadnic nejlepší odhad její hodnoty.

Kdybychom za nejlepší odhad vzali aritmetický průměr z rozdílů po sobě jdoucích měření, dostali bychom:

$$\lambda = \frac{1}{n-1} [(l_2 - l_1) + (l_3 - l_2) + (l_4 - l_3) + \dots + (l_n - l_{n-1})] = \frac{1}{n-1} (l_n - l_1) .$$

Vidíme, že ve výpočtu jsou využity pouze souřadnice  $l_n$  a  $l_1$ . Ostatní jsou tedy měřeny zbytečně.

Rozdělme však všechna měření  $l_1$  až  $l_n$  na dvě stejně velké skupiny mající  $k = n/2$  prvků (předpokladem je sudý počet naměřených hodnot) a vypočtěme rozdíly  $L_i = l_{k+i} - l_i$  (kde  $i = 1$  až  $k$ ) podle následujícího schématu:



Pro zápis hodnot použijeme tabulku 1. Celkový počet rozdílů bude  $k$ , přičemž každý představuje  $k$ -násobek vlnové délky. Z rozdílů vypočteme aritmetický průměr

$$\bar{L} = \frac{\sum L_i}{k}$$

a jeho směrodatnou chybu běžným postupem (viz kap. “Chyby měření”, odst. A):

Tabulka 1

$i$	$l_i$	$l_{k+i}$	$L_i = l_{k+i} - l_i$	$\Delta_i = \bar{L} - L_i$	$\Delta_i^2 = (\bar{L} - L_i)^2$
1	$l_1$	$l_{k+1}$	$L_1$	$\Delta_1$	$\Delta_1^2$
2	$l_2$	$l_{k+2}$	$L_2$	$\Delta_2$	$\Delta_2^2$
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
$k$	$l_k$	$l_{2k}$	$L_k$	$\Delta_k$	$\Delta_k^2$
			$\sum L_i = \dots$	$\sum \Delta_i = 0$	$\sum \Delta_i^2 = \dots$

$$\bar{\sigma}_L = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{k(k-1)}} .$$

Výsledná hodnota měřené vlnové délky a její směrodatné chyby je pak:

$$\lambda = \frac{\bar{L}}{k} \pm \frac{\bar{\sigma}_L}{k} = \frac{\sum L_i}{k^2} \pm \frac{1}{k} \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{k(k-1)}}$$