

# LABORATORNÍ ŘÁD

## posluchačských laboratoří z fyziky

**1.** Účast na laboratorních cvičeních z fyziky je **povinnou** formou výuky. Chybí-li někdo pro nemoc nebo jinou závažnou příčinu, bude mu v závěru semestru poskytnuta možnost náhradního cvičení. Počet úloh je Ústavem aplikované fyziky a matematiky stanoven na **11 prací**, a to tak, že první týden se konají úvody do laboratorních cvičení, od druhého týdne se provádí vlastní měření jednotlivých úloh a poslední týden semestru je vyhrazen na náhrady zameškaných prací a vykonání zkoušky z předmětu.

**2.** Posluchačská laboratoř se nachází v prostorách Ústavu aplikované fyziky a matematiky v Polabinách–Stavařově, Studentská 84, v 6. podlaží budovy označené EA (místnost 06030). V prostorách posluchačských laboratoří je nutné se **přezouvat**, šatnu mají posluchači k dispozici v sousedství laboratoře. Na pracoviště si nosí pouze nezbytné potřeby pro záznamy z měření a pro provádění výpočtů.

V posluchačské laboratoři je **zakázáno kouřit a konzumovat potraviny**.

**3.** Po příchodu do laboratoře si každá skupina **nejprve zkontroluje své pracoviště** podle seznamu přístrojů a pomůcek k dané úloze a případné nedostatky ihned nahlásí přítomnému učiteli.

**4. Každý posluchač se musí na úlohu předem připravit.** Je třeba, aby znal teoretický základ úlohy a pracovní postup měření. Zjistí-li přítomný učitel nepřipravenost studenta ke cvičení, nedovolí mu je měřit a určí mu náhradní termín.

**5.** Po kontrole pracoviště začne dvojice měřit.

**U elektrických úloh však bez výjimky až po kontrole každého obvodu učitelem.**

**Pouze učitel také provede připojení obvodu ke zdroji elektrického proudu !!!**

**Po skončení elektrického měření ponechá dvojice obvod zapojený, učitel provede opět jeho kontrolu, odpojí zdroj, a pak teprve smí posluchači rozebrat příslušné zapojení.**

Tento postup je bezpodmínečně nutno dodržet i když se během jedné úlohy provádí měření na více elektrických obvodech !!!

**6.** Každý posluchač si vede **laboratorní deník**, do něhož si zapisuje poznámky o přípravě a postupu měření. Výsledky měření se zapisují do deníku ev. na vlastní **USB Flash disk** u úloh s počítačem.

**7.** Po skončení všech úkolů dané úlohy a kontrole naměřených hodnot učitelem skupina uklidí pomůcky a přístroje na pracovišti a podepíše předávací protokol (ten je v deskách na stole).

**Uklizené pracoviště nechá překontrolovat přítomnému učiteli a teprve s jeho svolením opustí fyzikální laboratoř.**

**8.** Dojde-li ke ztrátě nějakého přístroje nebo pomůcky, případně k jejich poškození hrubou nedbalostí posluchače, hradí jejich ztrátu či opravu příslušný viník. Každou zjištěnou závadu jsou posluchači povinni okamžitě nahlásit svému vyučujícímu.

**9.** Na základě měření se z laboratorní úlohy se zpracovává protokol (viz „Zásady pro zpracování protokolu z laboratorních cvičení“). Protokol zásadně odevzdá **každý posluchač** vždy na začátku příštího laboratorního cvičení.

**Pokud posluchač tuto svou základní studijní povinnost nesplní a protokol na začátku příští práce neodevzdá, práce mu nebude uznána a měření následující úlohy musí provést v náhradním termínu.**

**10.** Změření **všech** úloh **a vypracování protokolů z nich** je nutnou podmínkou pro možnost získání zápočtu z předmětu.

# ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ PROTOKOLŮ

Na základě měření dané laboratorní úlohy se zpracovává protokol. I když posluchači pracují zpravidla ve dvojicích, odevzdává laboratorní protokol **k a ž d ý sám za sebe**, a to zásadně **před začátkem dalšího laboratorního cvičení !!!**

Protokol se vypracovává výhradně na **bílý papír formátu A4**, grafické závislosti (pokud nejsou zpracovány na počítači) se rýsují na **milimetrový papír téhož formátu**. Jednotlivé listy protokolu se pak sešívají sešíváčkou (jež je k dispozici v laboratoři). Text protokolu, všechny obrázky, schémata, tabulky a grafy musí být vyhotoveny jen trvanlivou formou zápisu (zásadně nepoužíváme obyčejnou tužku!).

Každý protokol musí být výrazně členěn na jednotlivé části, jimiž jsou:

**A) Záhloví** obsahující následující podstatné údaje:

- číslo a název měřené úlohy (podle příslušného seznamu pro daný předmět);
- jméno a příjmení posluchače s uvedením spolupracovníka;
- datum měření úlohy;
- datum odevzdání protokolu;
- u mechanických úloh pak i laboratorní podmínky (teplota, tlak, vlhkost).

Např.:

## 3. MĚŘENÍ KOEFICIENTU VISKOZITY

Zpracoval: .....

Měřeno:

Spolupracovník: .....

Odevzdáno:

Studijní skupina: 6

Teplota: 24°C

Dvojice: 4

Tlak: 98,76 kPa

Vlhkost: 66 %

**B) Úkol (-y) :**

- jsou uvedeny v návodech, případně ještě doplněny či upřesněny v deskách přímo na měřicím stole **nebo přítomným učitelem**.

**C) Potřeby :**

- zde platí totéž co v bodě B).

**D) Obecná část :**

- v ní by měl posluchač stručně a výstižně přiblížit fyzikální podstatu dané měřicí metody, uvést všechny vztahy a vzorce, jež bude potřebovat k početnímu zpracování, včetně popisu použitých symbolů fyzikálních veličin;

→ u některých úloh připojí, kde je třeba, i vysvětlující obrázek, u elektrických měření pak vždy schéma příslušného zapojení obvodu.

### E) Postup měření :

→ v tomto bodě student konkrétně popíše jednotlivé etapy měření příslušné úlohy, uvede přístroje a pomůcky, jichž používal při zjišťování potřebných údajů.

### F) Naměřené hodnoty :

→ hodnoty získané měřením obvykle zapisujeme (zejména tehdy, když měření provádíme opakovaně) do tabulek, jejichž vzor je vždy v návodech u každé úlohy předtištěn;

→ každá tabulka musí být nadepsána a orámována (ne však tužkou!), její záhlaví musí obsahovat normalizovaná označení měřených či počítaných veličin včetně příslušné fyzikální jednotky (tu obvykle píšeme do závorky - viz připojený vzor tabulky);

→ do sloupců pod záhlavím se potom vypisují již jen prosté číselné hodnoty dané veličiny; tyto hodnoty v každém sloupci uvádíme vždy na stejný počet desetinných míst;

→ pro vyšší přehlednost hodnot můžeme čísla v daném sloupci vyjádřit pomocí vhodné mocniny, buď volbou násobných nebo dílčích jednotek (mA, kΩ, μm, ...), případně vypsáním příslušného mocninného součinitele přímo do záhlaví tabulky, např.:

#### Cejchování stupnice galvanometru:

$n$	....	$j$ (dílek)	$I$ (A)	$I$ (μA)	$I$ (A).10 <sup>6</sup>
1	....	3,75	3,77.10 <sup>-6</sup>	3,77	3,77
2		5,25	5,29.10 <sup>-6</sup>	5,29	5,29
3		7,00	7,03.10 <sup>-6</sup>	7,03	7,03
4		9,50	8,58.10 <sup>-6</sup>	8,58	8,58
5		12,75	12,80.10 <sup>-6</sup>	12,80	12,80
6		16,50	16,62.10 <sup>-6</sup>	16,62	16,62

→ všechny fyzikální veličiny, jejichž rozměr není roven jedné, musí být **všude mimo tabulku vyjádřeny s odpovídající jednotkou !!!**

### G) Výpočty :


→ při počítání určité fyzikální veličiny musí být vždy uveden vzorec, do něhož dosazujeme příslušné hodnoty;

→ u správně vyčísleného výsledku nesmí nikdy chybět fyzikální jednotka počítané veličiny;

→ vypočítanou hodnotu je třeba zaokrouhlit s ohledem na přesnost použité měřicí metody, což znamená, že počet platných cifer výsledku by měl respektovat nejméně přesnou hodnotu ze všech, jež do vzorce dosazujeme (obvykle tak uvádíme výsledek na tři, maximálně na čtyři platné číslice!), např.:

Výpočet měrné tepelné kapacity železa:

$$c_{\text{Fe}} = \frac{(m_1 \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} + c_{\text{kal}}) \cdot (t - t_1)}{m_2 \cdot (t_2 - t)} = \frac{(3 \cdot 4186,8 + 1270) \cdot (24,51 - 22,34)}{1,146 \cdot (82,5 - 24,51)} \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 452 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

- celistvé výpočty uvádějte do protokolu obvykle tehdy, jsou-li jedinečné, opakované výpočty se pokaždé nevypisují, ty zpravidla sumarizujeme v některém sloupci předtiskuté tabulky; vzorce použité k výpočtu však musí být v tomto případě uvedeny v obecné části protokolu;
- zvláštní pozornost je třeba věnovat zápisům výsledků **statistických souborů**, kdy vždy počítáme:
  - a) **průměrnou** (neboli střední) **hodnotu** výsledku,
  - b) **pravděpodobnou chybu** tohoto průměru,
  - c) **relativní chybu** měření (jež vyjadřuje poměr pravděpodobné chyby průměru a tohoto průměru vyjádřený v procentech);
- jak průměr, tak i chyba musí být zaokrouhleny na stejný počet desetinných míst (u chyby se zaokrouhluje vždy nahoru!) a obě veličiny musí mít i stejnou fyzikální jednotku; 
- po zaokrouhlení by pravděpodobná chyba měla mít **jednu, maximálně dvě platné číslice** (chyba uvedená na více platných číslic vždy znamená menší přesnost daného měření!);
- používáme-li při zápise výsledku mocnin deseti, je pravidlem uvádět průměrnou hodnotu měření i její pravděpodobnou chybu se stejným mocninným součinitelem, např.:

$$C = (1,012 \pm 0,004) \cdot 10^{-6} \text{ A/dílek}$$

Příklad zpracování opakovaného měření:

**Určení hustoty lihu metodou spojitých nádob:**

$$r_{\text{H}_2\text{O}} = 996,732 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$n$	$h$ (cm)	$H$ (cm)	$r$ (kg·m <sup>-3</sup> )	$\Delta r$ (kg·m <sup>-3</sup> )
1	32,5	40,7	796	- 4
2	30,8	38,8	791	+ 1
3	28,7	35,8	799	- 7
4	26,1	33,1	786	+ 6
5	23,6	30,0	784	+ 8
6	21,0	26,4	793	- 1
7	19,8	24,6	802	- 10
8	18,8	23,6	794	- 2
9	17,0	21,7	781	+ 11
10	16,3	20,4	796	- 4

$$\bar{r} = 792 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Pravděpodobná chyba průměru:

→ **počítaná metodou pomocí kvadrátů odchylek:**

$$\bar{J}_r = \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{\sum (\Delta r_i)^2}{n \times (n-1)}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{408}{10 \cdot 9}} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \approx 1,419 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \approx 2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

→ **počítaná metodou kladných odchylek:**

$$\bar{J}_r = \frac{5}{3} \times \frac{\sum \Delta r_i^+}{n \times \sqrt{n-1}} = \frac{5}{3} \times \frac{26}{10 \cdot 3} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \approx 1,444 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \approx 2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Hustotu počítáme s přesností na tři platné číslice – stovky, desítky a jednotky  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , a tudíž i chybu měření zaokrouhlíme **nahoru** na jednotky !!! - jak je patrné, dávají nakonec oba uvedené postupy výpočtu pravděpodobné chyby průměru stejný výsledek.

Ten potom zapíšeme ve tvaru

$$r_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = (792 \pm 2) \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3} \quad \text{nebo} \quad r_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = 792 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3} \pm 2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}.$$

Relativní chyba tohoto měření činí 0,25 % .

## H) Závěr:

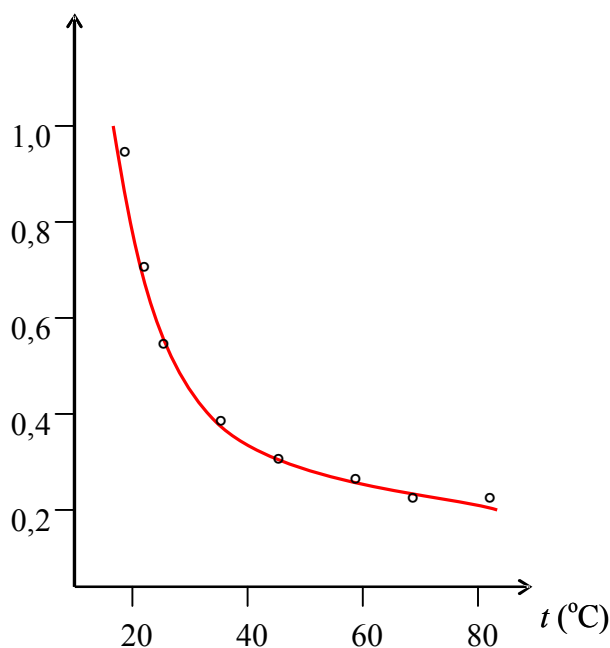
- v něm by měl posluchač zhodnotit dosažené výsledky měření, pokud aplikoval více metod, pak je třeba porovnat jednotlivé výsledky navzájem, zdůvodnit přednosti i nedostatky každé použité metody;
- pokud je to možné, provede posluchač srovnání svých naměřených nebo vypočítaných hodnot s údaji uvedenými ve fyzikálních tabulkách a vysvětlí příčiny případných rozdílů;
- u statistických měření vysvětlí velikost dosažené chyby výsledku;
- v případě grafického zpracování určitého měření vyhodnotí průběh jednotlivých závislostí.

## I) Grafy:

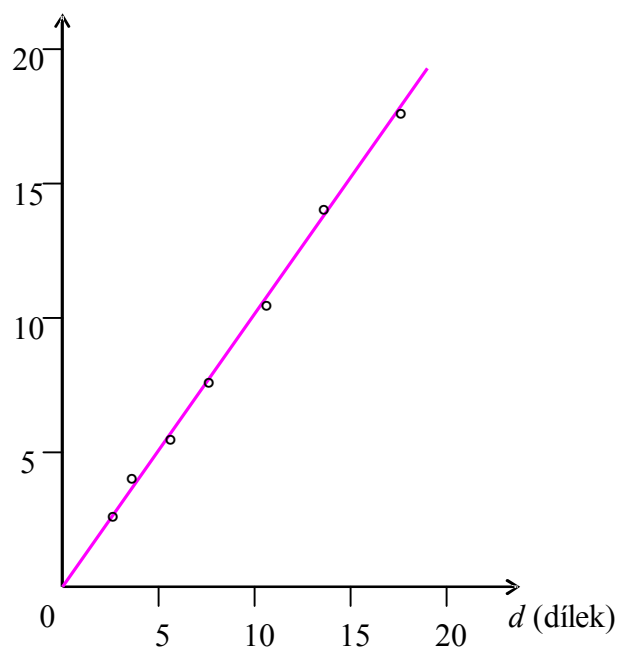
- pokud nepoužíváme při tvorbě grafických závislostí počítačového zpracování, pak grafy zásadně rýsujeme na milimetrový papír formátu A 4; logaritmické závislosti lze vynášet též na semilogaritmický papír;
- grafy (stejně jako ostatní části protokolu) musí být zásadně vypracovány trvanlivou formou zápisu, tedy v žádném případě pouze obyčejnou tužkou !!! ;
- každý graf musí mít všechny potřebné náležitosti, t.j.:
  - a) souřadnicové osy s řádným popisem a měřítkem (rovnoměrně vynesenu stupnicí),
  - b) viditelně vynesené body naměřené nebo vypočítané závislosti,
  - c) narýsovanou příslušnou funkční závislost (křivku nebo přímku),
  - d) nadpis, z něhož je patrné, o jaké měření se jedná;
- graf rýsujeme tak, že bílý okraj milimetrového papíru zůstává nepopsaný, souřadnicové osy vynášíme z tohoto důvodu alespoň 1 cm od okraje rastru;
- k popisu os patří označení nanášené veličiny - na ose  $x$  nezávisle, na ose  $y$  závisle proměnná, dále její jednotka a příslušné měřítko;
- stupnici hodnot dané veličiny vynášíme na souřadnicové osy vždy **rovnoměrně** (nikdy na osy nenanášíme přímo naměřené nebo spočítané údaje jednotlivých měření !!! - ty jsou zapsány v příslušné tabulce, kde je vždy najdeme);
- body, z nichž je příslušná závislost sestrojena, musí být v grafu vždy dobře patrné, a proto je znázorňujeme pomocí křížků, koleček, čtverečků a pod. ( $\wedge$ ,  $+$ ,  $\circ$ ,  $\bullet$ ,  $\square$ ,  $*$ );
- k řádnému vynesení příslušné grafické závislosti je třeba změřit (vypočítat) alespoň 10 – 15 hodnot, v místech maxim, minim či větších zakřivení čár je třeba počítat s větší hustotou bodů, a tedy i s větší frekvencí jednotlivých měření;
- křivku rýsujeme před první a za poslední vnesený bod maximálně do poloviny průměrné vzdálenosti bodů, **extrapolace** křivky do větších vzdáleností pak znázorňujeme zásadně přerušovanou čarou (čárkovaně);

- výslednou závislost nikdy nekreslíme jako lomenou čáru případně vlnovku s řadou inflexí „bod od bodu“, ale vyneseny body vždy **proložíme** křivku či přímku podle křivítka nebo pravítka ev. pomocí "fitovacích" nástrojů, které nabízí počítačový program (viz obr.). Vždy přitom respektujeme teoretickou závislost.
- proložení grafické závislosti mezi naměřenými body totiž představuje určité zprůměrování hodnot a eliminaci chyb, kterými je pochopitelně zatížena každá měřicí metoda;
- na jeden milimetrový papír formátu A 4 rýsujeme ve většině případů jen jeden graf (nebo jednu soustavu závislostí téhož charakteru při různých hodnotách nějakého parametru);
- je třeba dbát na to, aby graf pokrýval celou plochu papíru, proto je nutné vhodně volit měřítka na jednotlivých osách a též je dobré si uvědomit, že není vždy nejvhodnější umístit počátek souřadnicového systému do průsečíku os (tedy začínat vynášet hodnoty na osy vždy „od nuly“);
- a závěrem – ke každé vynesené grafické závislosti patří **nadpis !!!**, z něhož je patrné, o jakou závislost se jedná.

Závislost dynamické viskozity  
destilované vody na teplotě



Kalibrační křivka galvanometru  
s otočnou cívku



**Poznámka:** Jestliže použijete ke zpracování protokolu počítač, pak zásady vyjádřené v bodech A) až H) platí naprosto stejně. Stejně tak platí i zásady, jež jsou vyslovené v bodě I), pro **grafické zpracování naměřených závislostí** jen s jediným rozdílem, že v takovém případě pochopitelně nepoužíváte milimetrový papír. Jinak veškeré požadované náležitosti musí váš graf zkonstruovaný počítačem obsahovat (zde se nejvíce chyb zejména objevuje při prokládání křivek vyneseny body).