



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

TENTO PROJEKT JE SPOLUFINANCOVÁN EVROPSKÝM SOCIÁLNÍM FONDEM A STÁTNÍM ROZPOČTEM ČESKÉ REPUBLIKY

Laboratorní práce č. 1

Bezpečnost práce, měření fyzikálních veličin, chyby měření

Pro potřeby projektu MAN zpracoval: Mgr. Libor Lepík

Praktická část:

1. Zásady bezpečnosti práce a provozní řád laboratoře fyziky

Příprava

Laboratorní cvičení se obvykle provádí ve školní laboratoři nebo fyzikální posluchárně. Při veškeré práci v těchto prostorách je nutné dodržovat provozní řád laboratoře fyziky, se kterým žáky seznámí vyučující fyziky. V úvodní laboratorní práci poučí učitel žáky o bezpečnosti a chování ve fyzikální laboratoři.

Provedení

Laboratoř fyziky je odborná učebna, ve které platí speciální provozní řád.

Provozní řád laboratoře fyziky:

1. Do laboratoře fyziky smí žáci vstupovat jen se souhlasem vyučujícího.
2. V laboratoři se musí žáci chovat tak, aby jejich vinou nedošlo k úrazu nebo poškození majetku.
3. V laboratoři žáci nesmí svévolně manipulovat s rozvodným elektrickým zařízením.
4. V laboratoři nesmí žáci jíst, přechovávat jídlo na pracovních stolech a pít z laboratorního nádobí.
5. Při práci v laboratoři musí žáci dodržovat pokyny vyučujícího.
6. Před měřením odloží žáci své osobní věci na předem určené místo tak, aby jim nepřekážely v práci.
7. Při práci s chemikáliemi musí žáci používat ochranné pracovní pomůcky (například pracovní plášť).
8. Při měření el. proudu a napětí je třeba dodržovat zvláštní bezpečnostní předpisy.
9. Každou závadu na měřicím zařízení musí žáci neprodleně oznámit vyučujícímu.
10. Při práci s tepelnými spotřebiči jsou žáci povinni pracovat tak, aby jejich vinou nedošlo k požáru.
11. Způsobí-li žák škodu úmyslně nebo v důsledku neukázněného chování, musí vzniklou škodu nahradit.
12. Žáci, kteří pracují v laboratoři, musí znát zásady první pomoci při úrazu. Tyto zásady jsou umístěny v laboratoři na viditelném místě.
13. Každý úraz musí být okamžitě ohlášen vyučujícímu.
14. Po ukončení laboratorní práce uklidí žáci pomůcky podle pokynů vyučujícího.
15. Před odchodem z laboratoře je žák povinen uklidit své pracovní místo. Služba, určená vyučujícím, smaže tabuli a zkontroluje pořádek v laboratoři.

Otázky a úkoly

Žáci provedou zápis do sešitu: Byl(a) jsem seznámen(a) s provozním řádem laboratoře fyziky a pravidly bezpečnosti práce.

Učitel provede zápis do třídní knihy: Žáci byli seznámeni s provozním řádem laboratoře fyziky a pravidly bezpečnosti práce.

Žáci tento zápis potvrdí svým podpisem v třídní knize.

Žák, který chyběl, bude poučen v následující laboratorní práci.

2. Měření délky tělesa, odchylky měření

Úvod

V laboratorních cvičeních se žáci seznámí s některými metodami měření fyzikálních veličin. Přitom si ověří řadu fyzikálních poznatků z hodin výuky fyziky, naučí se zacházet s jednoduchými pomůckami a přístroji a naučí se zpracovávat výsledky měření.

Cílem měření je stanovit hodnotu měřené fyzikální veličiny. Pracovní postup, kterým měření provádíme, se nazývá **metoda měření**. Každá metoda měření je založena na určitém principu měření. Například při měření teploty kapalinovým teploměrem je principem měření teplotní roztažnost kapalin, při měření síly siloměrem závislost prodloužení pružiny na velikosti působící síly.

Stejnou fyzikální veličinu můžeme měřit různými způsoby, různými metodami. Kterou metodu měření v určitém případě zvolíme, závisí jednak na druhu a povaze měřené veličiny, jednak na tom, která měřidla použijeme. Metody měření můžeme rozdělit podle různých hledisek.

Známou skupinu tvoří metody přímé a nepřímé. U **přímých metod** zjišťujeme hodnotu veličiny přímo odečtením na stupnici použitého měřidla (milimetrového měřidla, posuvného měřidla, mikrometru).

U **nepřímých metod** stanovíme hodnotu fyzikální veličiny na základě určitého fyzikálního vztahu z hodnot jiných změřených veličin. Např. při měření hustoty látky změříme nejprve hmotnost m a objem V tělesa a potom teprve vypočítáme hustotu podle vztahu $\rho = m/V$.

Dále jsou to metody absolutní a relativní. **Absolutní metody** poskytují hodnotu měřené veličiny přímo v příslušné jednotce, například čas v sekundách, hmotnost v kilogramech, elektrický proud v ampérech.

Relativní neboli **srovnávací metody** spočívají v porovnání měřené veličiny s danou známou hodnotou veličiny téhož druhu, popřípadě s tak zvaným **normálem** nebo **etalonem**. Funkci normálu mají například sady závaží, normály elektrického odporu apod. Příkladem srovnávací metody je určení hmotnosti tělesa s použitím závaží.

Měření fyzikálních veličin provádíme ve třech etapách. První etapou je **příprava měření**:

- Seznámíme se s poznatky, které se týkají měřené veličiny.
- Zvolíme metodu měření a odpovídající princip měření.
- Vybereme potřebná měřidla a naučíme se s nimi manipulovat.
- Uvážíme, které vnější podmínky mohou ovlivnit výsledky měření a které chyby měření mohou nastat.
- Naplánujeme pracovní postup měření.

Druhou etapou je **vlastní měření**, které provádíme podle návodů k jednotlivým laboratorním cvičením. Totéž se týká třetí etapy, **zpracování výsledků měření**. K tomu je nezbytně nutné vést samostatný pracovní sešit (laboratorní deník). Do tohoto sešitu zapíšeme jak přípravu na měření, tak i podmínky měření a hodnoty získané měřením a také zpracování výsledků měření.

Návod k laboratorním cvičením obsahuje stručnou teorii měření, použitou metodu měření, pracovní postup, seznam pomůcek a vzory tabulek, do nichž se zapisují výsledky měření.

Z každého laboratorního cvičení je nutno vypracovat stručný zápis o provedeném měření, tzv. **protokol**.

Každý protokol musí obsahovat:

- název laboratorního cvičení a datum měření;
- jméno žáka a jméno spolupracovníka;
- seznam použitých pomůcek;
- princip a metodu měření;
- tabulky s naměřenými hodnotami;
- statistické zpracování výsledků měření;
- zhodnocení výsledků měření.

Chyby měření

Každé měření fyzikální veličiny, provedené i na nejlepších přístrojích a co nejpečlivěji, je zatíženo chybami. Chyby jsou nutným důsledkem nedokonalosti našich smyslů, nepřesnosti měřicích přístrojů a nemožnosti splnit jisté podmínky měření, jako je stálost teploty, tlaku či vlhkosti vzduchu apod. Také různé vnější vlivy, např. otřesy, magnetické pole, mohou ovlivnit výsledek měření.

Chyby můžeme rozdělit na systematické (soustavné) a náhodné. Při měření však mohou vznikat i tzv. **hrubé chyby**, jejichž původ může být v nepozornosti, únavě nebo omylu pozorovatele. Jestliže se v naměřených číselných hodnotách vyskytne hodnota, která se od ostatních nápadně liší, jde zpravidla o hrubou chybu. Takovou číselnou hodnotu z dalšího zpracování výsledků měření vyloučíme.

Systematické chyby mohou vznikat z nedokonalosti použité měřicí metody, z chyby užitého měřicího přístroje nebo mohou mít svůj původ v pozorovateli. Systematické chyby se vyznačují tím, že se při daném měření vyskytují pravidelně, takže jejich vliv na výsledek měření je do určité míry stálý - výsledek měření buď soustavně zmenšují, nebo zvětšují.

Příčinu systematických chyb lze často zjistit a výsledek měření opravit. Je-li příčinou systematické chyby metoda měření, odstraníme chybu použitím vhodnější metody nebo výsledek opravíme výpočtem. Chybu měřicích přístrojů lze značně zmenšit cejchováním přístrojů, tj. srovnáváním s přístroji dokonalejšími. Na zmenšení chyb, jejichž původ je v pozorovateli, má velký vliv pozornost při měření, praxe a cvik.

Náhodné chyby jsou takové, které jsou výsledkem zcela nepravidelných vlivů. Projevují se tím, že výsledky opakovaných měření téže veličiny za stejných podmínek se navzájem vždy poněkud liší. Naměřené hodnoty jsou pak rozptýleny kolem nějaké střední hodnoty a při velkém počtu měření se v tomto rozptýlení objeví jisté zákonitosti, kterými se zabývá statistika.

Náhodné chyby nemůžeme odstranit. Na základě výsledků, ke kterým dospěla statistika, můžeme však z výsledků opakovaného měření určit **nejpravděpodobnější hodnotu měřené veličiny** a stanovit, s jakou přesností byla určena.

V laboratorních pracích budeme číselné hodnoty fyzikálních veličin jednak zjišťovat **bezprostředním měřením**, jednak určovat **výpočtem z naměřených veličin**.

Bezprostřední měření fyzikální veličiny

Vykonáme-li n měření fyzikální veličiny x (např. délky), označíme naměřené hodnoty x_1, x_2, \dots, x_n . Nejpravděpodobnější hodnota naměřené veličiny je **aritmetický průměr** \bar{x} z naměřených hodnot, definovaný vztahem

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}.$$

Přesnost měření odhadneme pomocí odchylek jednotlivých naměřených hodnot od aritmetického průměru. Odchytky jsou: $\Delta x_1 = \bar{x} - x_1, \Delta x_2 = \bar{x} - x_2, \dots, \Delta x_n = \bar{x} - x_n$. Je zřejmé, že některé odchytky jsou kladné, jiné záporné. Aritmetický průměr má tu vlastnost, že součet všech odchylek naměřených hodnot od aritmetického průměru je roven nule, tedy součet kladných odchylek má stejnou velikost jako součet záporných odchylek. Tuto skutečnost můžeme použít pro kontrolu, že jsme aritmetický průměr i odchylky stanovili správně.

Přesnost měření vyjádříme pomocí **průměrné odchylky** Δx , kterou určíme jako aritmetický průměr absolutních hodnot všech odchylek od aritmetického průměru, tedy

$$\Delta x = \frac{|\bar{x} - x_1| + |\bar{x} - x_2| + \dots + |\bar{x} - x_n|}{n}.$$

Průměrnou odchylku zaokrouhlíme na jednu platnou číslici. Aritmetický průměr x upravíme tak, aby průměrná odchylka Δx zasahovala poslední platné místo aritmetického průměru. Výsledek uvádíme ve tvaru $x = \bar{x} \pm \Delta x$.

MĚŘENÍ DÉLKY

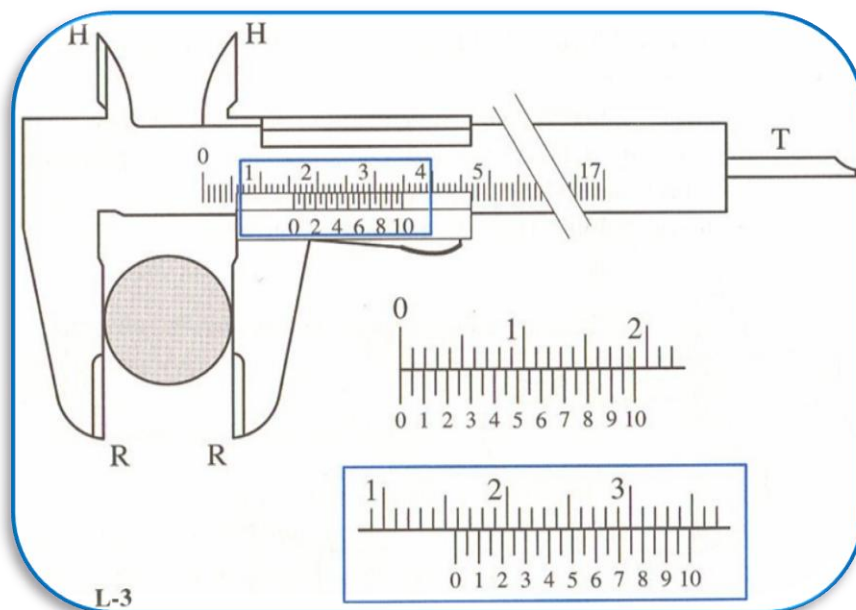
Pomůcky: měřené tělísko (ve tvaru válce nebo kvádra), posuvné měřidlo

K měření větších délek nebo k méně přesnému měření menších délek používáme buď měřidla pásová, dělena na milimetry, nebo měřidla tyčová, která bývají zhotovena z různých materiálů.

Pásová i tyčová měřidla mohou mít dva druhy chyb: jednak se jejich celková délka může lišit od správné hodnoty, jednak mohou být nerovnoměrně dělená. První druh chyby lze odstranit porovnáním měřidla s měřidlem správným, druhý lze omezit tím, že danou délku měříme na různých místech měřidla. Odečítáme přitom oba konce měřené délky a u délek do 1 metru odhadujeme desetiny milimetru.

K měření menších délek používáme **kontaktní měřidla**, u nichž vkládáme měřený předmět mezi čelisti měřidla. Sem patří především posuvné měřidlo a mikrometrické měřidlo.

Posuvné měřidlo je jednoduchý přístroj, jehož princip je patrný z obrázku 1. Měřený předmět vkládáme mezi dvě ramena R kolmá ke stupnici dělené na milimetry, z nichž jedno je pevné a druhé posuvné. Na posuvném ramenu je tzv. **nonius**, obvykle dvacetinný, který umožňuje čtení s přesností na 0,05 mm. Nonius je sestaven tak, že 19 dílkům hlavní stupnice odpovídá 20 dílků nonia.



Obr. 1 Posuvné měřidlo

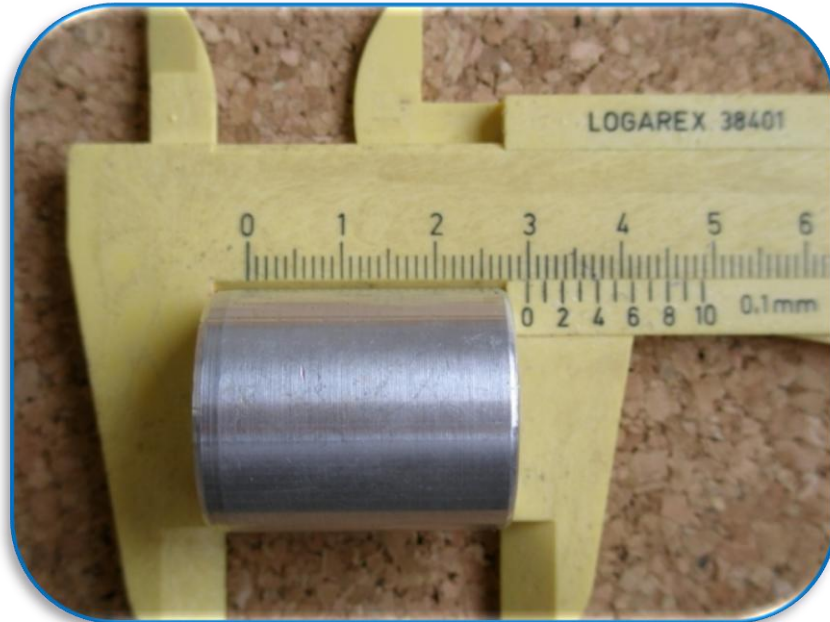
Každý dílek nonia je tedy o 0,05 mm kratší než dílek hlavní stupnice. Při měření určuje nultá ryska nonia celý počet milimetrů, zlomky milimetrů určíme podle čísla rysky nonia, která splývá s některou ryskou hlavní stupnice. Údaj na posuvném měřidle na obr. 1 je tedy 1,58 cm. Obě ramena vybíhají na opačnou stranu v hroty H, jimiž lze měřit vnitřní rozměry dutých těles (světlost trubic apod.). Pomocí tyčinky T, která se vysouvá s posuvným ramenem, lze měřit hloubku dutin.

Otázky a úkoly

- 1) Určete vnější průměr válce:



2) Určete výšku válce:



3) Určete výšku korkové zátky:



4) Určete šířku zlatého řemínku:



5) Určete průměr plastového víčka:



Jako příklad zpracování naměřených hodnot uvedeme měření délky.

Příklad 1

Máme změřit délku jedné hrany kvádrů. Délkovým měřidlem opakovaně změříme délku zvolené hrany (měříme ji na různých místech) a výsledky přehledně zapíšeme do tabulky (tabulka 1).

Měření délky

Tabulka 1

Číslo měření i	$\frac{a_i}{mm}$	$\frac{\Delta a_i = \bar{a} - a_i}{mm}$
1	46,5	- 0,12
2	46,2	0,18
3	46,4	- 0,02
4	46,4	- 0,02
5	46,1	0,28
6	46,3	0,08
7	46,7	- 0,32
8	46,2	0,18
9	46,7	- 0,32
10	46,3	0,08
Součet abs. hodnot	463,8	1,60
Aritmetický průměr	46,38	0,16

Aritmetický průměr absolutních hodnot všech odchylek od aritmetického průměru \bar{a} neboli průměrná odchylka Δa je v našem případě $\Delta a = 0,16$ mm, po zaokrouhlení na jedno platné místo je $\Delta a = 0,2$ mm. Aritmetický průměr zaokrouhlíme na desetiny milimetru (řád průměrné odchylky), tedy $\bar{a} = 46,4$ mm a výsledek měření zapíšeme ve tvaru

$$a = (46,4 \pm 0,2) \text{ mm.}$$

Průměrná odchylka vyjádřená v jednotkách měřené veličiny se nazývá **absolutní průměrná odchylka** (u našeho příkladu 0,2 mm). Pro posouzení přesnosti měření má větší význam **relativní průměrná odchylka** δx (krátce relativní odchylka). Určíme ji jako podíl průměrné odchylky a aritmetického průměru, tedy

$$\delta x = \frac{\Delta x}{\bar{x}}$$

Relativní odchylku vyjadřujeme obvykle v procentech. Relativní odchylku v procentech vypočítáme ze vztahu

$$\delta x = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100 \%$$

V případě měření délky hrany kvádrů uvedeného v tab. 1 dostaneme

$$\delta a = \frac{0,2 \text{ mm}}{46,6 \text{ mm}} \cdot 100 \% = 0,43 \%$$

Laboratorní měření považujeme za dostatečně přesné, je-li relativní odchylka menší než 1 %. U provozních měření ve výrobě lze někdy považovat za dostatečně přesné i měření

s relativní odchylkou 1,5 % až 5 %. Závísí to na druhu používané technologie a na účelu, jemuž má výrobek sloužit. Měření délky hrany kvádra bylo tedy dostatečně přesné.

Otázky a úkoly

6) Předpokládejme, že jsme určili měření dvě různé hodnoty délek takto:

$$a = (10,0 \pm 0,1) \text{ m}; b = (1,0 \pm 0,1) \text{ m}$$

Která hodnota vyjadřuje přesnější výsledek měření?

Na závěr si celý postup pro početní zpracování souboru naměřených hodnot stručně zopakujeme:

1. Naměřené hodnoty a_i zapíšeme do předem připravené tabulky.
2. Vypočítáme aritmetický průměr \bar{a} naměřených hodnot, který představuje střední hodnotu měřené veličiny; počítáme o jedno místo více, než bylo měřeno.
3. Určíme a zapíšeme odchylky jednotlivých měření.
4. Vypočítáme průměrnou odchylku.
5. Průměrnou odchylku zaokrouhlíme na jednu platnou číslici.
6. Aritmetický průměr naměřených hodnot zaokrouhlíme na stejný počet desetinných míst, jako má průměrná odchylka.
7. Určíme relativní odchylku měření a vyjádříme ji v procentech.
8. Výsledek měření zapíšeme ve tvaru

$$a = \bar{a} \pm \Delta a, \quad \delta a = \frac{\Delta a}{\bar{a}} \cdot 100 \%$$

Praktický úkol 1:

Změřte obvod kola délkovým měřidlem. Měření zapisujte do předem připravené tabulky.

Praktický úkol 2:

Změřte výšku korkové zátky posuvným měřidlem. Měření zapisujte do předem připravené tabulky.

Vědomostní část:

Opakovaně jsme změřili obvod kola. Použili jsme tyto pomůcky: kolo, metr, tužku. Obvod kola jsme změřili desetkrát a naměřené hodnoty jsme zapsali do tabulky.

Tabulka s naměřenými hodnotami:

Číslo měření: i	$\frac{o_i}{mm}$	$\frac{\Delta o_i = \bar{o} - o_i}{mm}$
1.	2115	
2.	2120	
3.	2130	
4.	2110	
5.	2120	
6.	2120	
7.	2120	
8.	2130	
9.	2121	
10.	2123	
Součet absolutních hodnot:		
Aritmetický průměr:		

Otázky a úkoly:

- 7) Vypočítejte průměrný obvod kola.
 - 8) Vypočítejte průměrnou odchylku.
 - 9) Zapište výsledky měření.
 - 10) Vypočítejte relativní odchylku.
-