

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra Fyziky



Bakalářská práce

Měření fyzikálních veličin

Filip Trnka

©2024 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Filip Trnka

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Měření fyzikálních veličin

Název anglicky

Measurement of physical quantities

Cíle práce

Z dostupné literatury popsat metody měření fyzikálních veličin, charakterizovat měřicí principy jednotlivých metod a vyzdvihnout jejich výhody a nevýhody. Experimentálně porovnat přímou a nepřímou metodu měření.

Metodika

Na základě studia dostupných materiálů vypracovat bakalářskou práci dle předložené osnovy. Předpokládá se rešeršní práce doplněná experimentálním porovnáním přímé a nepřímé metody měření.

Doporučený rozsah práce

30 – 35 normostran

Klíčová slova

Měření, metody, veličiny.

Doporučené zdroje informací

HALLIDAY, David; OBDRŽÁLEK, Jan; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl; VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.

Fyzika : vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Brno: Vutium, 2000. ISBN 80-214-1869-9.

HALPERN, A.: 3000 Solved Problems in Physics. McGraw-Hill, New York, 1988, 751 pp. ISBN 0-07-025734-5.

JARDINE, J.: Physics through Applications. Oxford University Press, Oxford, 1991, 247 pp. ISBN 0-19-914280-7.

MECHLOVÁ, Erika; KOŠTÁL, Karel. *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz.* Praha: Prometheus, 1999. ISBN 80-7196-151-5.

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

RNDr. Jan Sedláček, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra fyziky

Elektronicky schváleno dne 4. 1. 2023

prof. Ing. Martin Libra, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 27. 02. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Měření fyzikálních veličin" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18.3.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce RNDr. Janu Sedláčkovi, za jeho velkou podporu, ochotu, cenné rady a zpětné vazby, které mi pomohly zlepšit kvalitu mé práce. Vaše odborné znalosti mi byly velkou inspirací a pomocí při řešení daného tématu.

Měření fyzikálních veličin

Abstrakt

Tato bakalářská práce se hlouběji zabývá problematikou měření fyzikálních veličin a jeho významem v různých oblastech vědy a techniky. Měření fyzikálních veličin představuje základní stavební kámen vědeckého bádání, inženýrství a průmyslových aplikací, a proto má klíčový vliv na spolehlivost a přesnost získaných dat.

Práce začíná detailním popisem teoretické stránky měření, včetně definice fyzikálních veličin, jejich historie a použitých jednotek. Důraz je kladen zejména na jednotky SI, neboť právě tyto jednotky jsou nejvíce používané v každodenním životě. Dále se zaměřuje na základní koncepty spojené s měřením, jako je přesnost a opakovatelnost, a ukazuje, jak tyto pojmy ovlivňují interpretaci naměřených dat.

Druhá polovina práce je věnována praktickým aspektům měření. Zahrnuje experimentální stanovení elektrického odporu, které bylo provedeno na konkrétním měření ve fyzikální laboratoři za pomoci přímé a nepřímé metody.

V závěru práce jsou diskutovány výzvy spojené s měřením fyzikálních veličin, včetně chyb měření, nejistoty a vývoje nových technologií pro zlepšení přesnosti. Následovně je zohledněna automatizace měření a využití moderních technologií, pro zefektivnění procesu měření.

Tato bakalářská práce poskytuje komplexní a interdisciplinární pohled na problematiku měření fyzikálních veličin, kombinuje teorii s praktickou aplikací a přispívá k lepšímu porozumění významu měření ve vědeckém a technickém prostředí.

Klíčová slova: Měření, metody, veličiny.

Measurement of physical quantities

Abstract

This bachelor's thesis delves deeper into the issue of measuring physical quantities and its significance in various fields of science and technology. The measurement of physical quantities constitutes the fundamental building block of scientific research, engineering and industrial applications, therefore, it has a crucial impact on the reliability and accuracy of the acquired data.

The thesis commences with a detailed description of the theoretical aspect of measurement, including the definition of physical quantities, their history and units. Emphasis is particularly placed on the units found in the SI table, as these units are the most commonly used in everyday life. Furthermore, it focuses on fundamental concepts related to measurement, such as precision and repeatability and demonstrates how these concepts influence the interpretation of measured data.

The second half of the thesis is dedicated to the practical aspects of measurement. It includes the experimental determination of electrical resistance, which was conducted in a specific experiment in a physics laboratory using both direct and indirect methods.

In the conclusion of the thesis, challenges associated with the measurement of physical quantities are discussed, including measurement errors, uncertainties, and the development of new technologies to enhance precision. Furthermore, it considers the automation of measurement and the utilization of modern technologies to streamline the measurement process.

This bachelor's thesis provides a comprehensive and interdisciplinary perspective on the subject of measuring physical quantities, combining theory with practical application, and contributing to a better understanding of the importance of measurement in the scientific and technical environment.

Key words: Methods, quantities, measurements.

Obsah

1	Úvod	10
2	Cíl práce a metodika	10
3	Přehled fyzikálních veličin a jednotek	10
3.1	Soustava SI	11
3.1.1	Délka	12
3.1.2	Hmotnost	13
3.1.3	Čas	14
3.1.4	Teplota	14
3.1.5	Látkové množství	15
3.1.6	Elektrický proud.....	16
3.1.7	Svítivost.....	17
3.2	Vybrané odvozené jednotky SI.....	18
3.2.1	Elektrický odpor	19
3.3	Předpony jednotek SI	20
4	Měření fyzikálních veličin	21
4.1	Měřicí metody.....	21
4.1.1	Přímá a nepřímá metoda	22
4.1.2	Statická a dynamická metoda	22
4.1.3	Srovnávací a absolutní metoda	22
4.1.4	Substituční a kompenzační metoda	22
4.2	Chyby měřených veličin	23
4.3	Zpracování výsledků měření	24
4.4	Měření mechanických veličin	25
4.4.1	Délka	25
4.4.2	Tlak	27
4.4.3	Hmotnost	28
4.4.4	Čas	30
4.5	Měření elektrických veličin	30
5	Stanovení elektrického odporu přímou a nepřímou metodou	32

5.1	Použité přístroje	33
5.2	Metody měření	33
5.3	Výpočty a tabulky	34
5.4	Porovnání metod.....	37
5.5	Vyhodnocení výsledků měření.....	37
6	Ekonomické hledisko problematiky.....	38
7	Závěr	39
8	Zdroje.....	40
9	Seznam obrázků	43
10	Seznam tabulek	44

1 Úvod

Tématem bakalářské práce je popsání metod měření fyzikálních veličin, což zahrnuje jak náhled do historického vývoje některých vybraných fyzikálních veličin a s tím spojený vývoj přesnosti měření, tak současné způsoby měření a jejich techniky. Popsány jsou hlavně fyzikální veličiny, které jsou uvedeny v soustavě SI, jako je čas, délka a hmotnost. U těchto veličin je důležité sledovat jejich vývoj v průběhu času, neboť tvoří součást našeho každodenního života. Zároveň je kladen důraz na současné techniky a metody měření veličin. Druhá polovina práce je zaměřena na experimentální stanovení elektrického odporu přímou a nepřímou metodou v uzavřeném elektrickém obvodu, které je provedeno s pomocí voltmetru, ampérmetru a multimetru za ideálních podmínek ve fyzikální laboratoři.

2 Cíl práce a metodika

Cílem této bakalářské práce je zkoumat a analyzovat fyzikální veličiny a jejich metody měření v kontextu různých aplikací a technik. Práce se zaměří na principy a technologie používané při měření různých fyzikálních veličin, jako jsou například délka, hmotnost, tlak, čas a další. Cílem praktické části je poté experimentální porovnání přímé a nepřímé metody měření elektrického odporu v elektrickém obvodu ve fyzikální laboratoři za předem stanovených podmínek.

Při zpracování práce jsem vycházel především z rešerše odborné literatury a důvěryhodných on-line zdrojů, jejichž kompetentnost a pravdivost jsem vždy důkladně prověřil. Po nastudování problematiky jsem mnou nalezené informace roztřídil, zanalyzoval, vyhodnotil a posléze využil takovým způsobem, aby pasovaly do kontextu práce.

3 Přehled fyzikálních veličin a jednotek

Fyzika je věda, která zkoumá zákony přírody a jejich aplikace na různé jevy a procesy ve vesmíru. Klíčovým prvkem ve fyzice je práce s fyzikálními veličinami a jejich jednotkami. Veličiny vysvětlují různé jevy a procesy. (1)

Pod pojmem fyzikální veličina se rozumí každá vlastnost jevu nebo hmoty, kterou lze změřit. Musí se též zavést její jednotka, tedy taková míra této veličiny, která se rovná hodnotě 1,0. Na rozdíl od jiných veličin jsou fyzikální veličiny definovány zpravidla vztahem k jiným fyzikálním veličinám. Příkladem může být rychlost, kterou lze vyjádřit jako podíl délky a času. Z tohoto příkladu tedy vyplývá, že pokud stanovíme základní veličiny a jejich standardy, můžeme z nich vyjádřit veličiny ostatní. Standardem se v této situaci rozumí přesná definice veličiny, příkladem může být metr (jednotka délky), jehož standard je definován jako vzdálenost, kterou urazí světlo ve vakuu za přesně definovaný zlomek sekundy. Velice důležitým pravidlem je to, že standardy základních veličin musí být dostupné a při opakovaném měření neproměnné. (1)

Podle povahy veličiny je možno veličiny rozdělit do tří skupin:

- 1) Extenzivní
- 2) Intenzivní
- 3) Protenzivní

(2)

Extenzivní veličina vyjadřuje fyzikálně množství. Typickými zástupci jsou míry prostoru (délka, obsah plochy, objem) a veličiny vyjadřující množství určité látky (látkové množství, hmotnost, elektrický náboj) (2)

Intenzivní veličina vyjadřuje fyzikální stavy. Jsou to například tlak, teplota, elektrické napětí apod. Jejich charakter vyplývá z následujícího: Dvě soustavy mají stejnou hodnotu jisté stavové veličiny. Soustava, která vznikne složením obou, bude mít opět stejnou hodnotu téže veličiny. (2)

Protenzivní veličina se trvale mění a nelze ji zpětně reprodukovat. Byla speciálně zavedena pro čas daného okamžiku. (3)

3.1 Soustava SI

Mezinárodní soustava jednotek, která se zkráceně označuje SI (tj. Systéme International d'Unités), nazývaná též metrická soustava, je od roku 1960 všeobecně domluvená soustava jednotek pro kvantitativní označování měřených údajů používané ve všech vrstvách průmyslu, zemědělství, technice, obchodu atd. (4)

Soustava SI jasně garantuje definice jednotek a uchovává mezinárodně platné etalony v Bureau International des Poids et Mesures v Sévres ve Francii. Etalon měřící jednotky je měřidlo sloužící k realizaci a uchování této jednotky k jejímu přenosu na měřidla nižší přesnosti. V ČR je to Český metrologický institut v Brně. (4)

Soustava obsahuje 7 základních jednotek uvedené v Tabulce 1 níže:

Tabulka 1 Základní fyzikální veličiny a jednotky

Veličina	Značka	Základní jednotka	Značka
Délka	l	metr	m
Hmotnost	m	kilogram	kg
Čas	t	sekunda	s
Elektrický proud	I	ampér	A
Termodynamická teplota	T	kelvin	K
Látkové množství	n	mol	mol
Svítilivost	I	kandela	cd

Zdroj: <https://docplayer.cz/162324846-Mezinarodni-soustava-si.html>

Zvláštností jsou tzv. doplňkové jednotky uvedené v Tabulce 2, o nichž Generální konference pro váhy a míry dosud nerozhodla, zda mají být zařazeny mezi základní jednotky nebo jednotky odvozené. (4)

Tabulka 2 Doplňkové jednotky soustavy SI

Veličina	Jednotka	Značka
Rovinný úhel	radián	rad
Prostorový úhel	steradián	sr

Zdroj: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40491.pdf>

3.1.1 Délka

Délka udává míru rozprostření a vzájemnou polohu objektů v prostoru. Z geometrického úhlu pohledu lze chápat délku, jako míru ohraničení části křivky. Může být vyjádřena různými jednotkami, jako jsou palce, lokty, yardy. Avšak nejzákladnější a nejdůležitější jednotkou délky je metr. (5)

Sedmnáctá generální konference pro váhy a míry přijala tuto definici metru:

Jeden metr je vzdálenost, kterou urazí světlo ve vakuu za dobu 1/299 792 458 sekundy.

(5)

Rychlost světla lze již velice přesně měřit, její využití pro novou definici metru je proto velmi dobře odůvodněné. Zároveň tato definice přesně určuje rychlost světla ve vakuu, tedy:

$$c = 299792458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

(1)

V Tabulce 3 jsou uvedeny zajímavé údaje o délkových rozměrech vybraných objektů.

Tabulka 3 Řádové velikosti a rozměry

Délka	V metrech
K mlhovině v Andromedě	$2 \cdot 10^{22}$
K nejbližší hvězdě (Proxima Centauri)	$4 \cdot 10^{16}$
K nejvzdálenější planetě (Pluto)	$6 \cdot 10^{12}$
Poloměr Země	$6 \cdot 10^6$
Výška Mount Everestu	$9 \cdot 10^3$
Typická velikost viru	$1 \cdot 10^{-8}$
Poloměr atomu vodíku	$5 \cdot 10^{-11}$
Poloměr protonu	$1 \cdot 10^{-15}$

Zdroj: *Fyzika* HALLIDAY, P., RESNICK, R., WALKER, J.

3.1.2 Hmotnost

Hmotnost je vlastností materiálních objektů, podobně jako energie, nemůže tedy existovat sama o sobě. Na rozdíl od energie, o hmotnosti má smysl mluvit pouze u těles. Jelikož hmotnost m závisí, podle speciální teorie relativity, na rychlosti tělesa vůči vztažné soustavě. Tudíž je hmotnost tělesa vlastnost relativní. To znamená, že může být v různých vztažných soustavách hmotnost tělesa různá (stejně jako jeho délka, rychlost či poloha). Charakteristikou tělesa, nezávislou na vztažné soustavě, je pouze jeho klidová (vlastní) hmotnost m_0 , tedy takovou hmotnost, kterou těleso nabývá, je-li vůči vztažné soustavě v klidu. (6)

Standardní jednotkou hmotnosti v soustavě SI je kilogram, dříve byl definován jako hmotnost jednoho litru (1 dm^3) vody. Poté byl podle mezinárodní úmluvy určen hmotností válce vyrobeného ze slitiny platiny a iridia (Obrázek 1), který je uložen jako tzv. prototyp v Mezinárodním ústavu pro váhy a míry v Sévres ve Francii. Kopie tohoto etalonu byly rozeslány do ostatních zemích. Hmotnost jiných těles se pak měřily porovnáním s hmotností kterékoli z těchto kopií. (1)

Obrázek 1 Dřívější prototyp kilogramu, kovový váleček uložený ve francouzském Sévres



Zdroj: <https://www.novinky.cz/clanek/veda-skoly-zacala-platit-nova-definice-kilogramu-na-bezny-zivot-nema-mit-vliv-40283712>

Definice jediným prototypem měla hned několik problémů:

- 1) Možnost, že by mohl být váleček ztracen nebo zničen.
- 2) Nemožnost předat definici na dálku, např. v hypotetické situaci, kdyby bylo potřeba kilogram popsat někomu, kdo se nemůže dostat k prototypu.
- 3) Ztráta původní hmotnosti prototypu.

(7)

Z důvodu výše uvedených problémů, byla v roce 2019 zavedena nová definice kilogramu:

Kilogram, značka „kg“, je jednotka hmotnosti v SI. Je definována fixací číselné hodnoty Planckovy konstanty h , aby byla rovna $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$, je-li vyjádřena jednotkou $J\,s$, rovnou $\text{kg}\,m^2\,s^{-1}$, kde metr a sekunda jsou definovány pomocí c a $\Delta\nu_{Cs}$. (7)

3.1.3 Čas

Ve vědě je důležité znát, jak dlouho daná událost trvá. Standardem času může být jakýkoli jev, který se pravidelně opakuje. V historii tomuto účelu sloužilo otáčení Země, které určovalo délku dne. I křemenné hodiny, ve kterých osciluje křemenný krystal v elektronickém obvodu, lze pomocí astronomických pozorování cejchovat vzhledem k rotaci Země. Tato kalibrace však nemůže být provedena s přesností odpovídající požadavkům současné vědy a techniky. (1)

Třináctá generální konference pro váhy a míry přijala následující platnou definici sekundy:

Sekunda, symbol s , je jednotkou času. Je definována fixováním číselné hodnoty cesiové frekvence $\Delta\nu_{Cs}$, přechodové frekvence atomu cesia 133 v klidovém stavu při přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu, rovné $9\,192\,631\,770$, je-li vyjádřena v jednotce Hz , jež je rovna s^{-1} . (8)

Tabulka 4 Řádové doby vybraných dějů

Časový interval	Sekundy
Doba života protonu	$1 \cdot 10^{39}$
Stáří Vesmíru	$5 \cdot 10^{17}$
Stáří Cheopsovy pyramidy	$1 \cdot 10^{11}$
Průměrný věk člověka	$2 \cdot 10^9$
Délka roku	$3 \cdot 10^7$
Délka dne	$9 \cdot 10^4$
Tep lidského srdce	$8 \cdot 10^{-1}$
Doba života nejnestabilnějších částic	$1 \cdot 10^{-23}$

Zdroj: *Fyzika* HALLIDAY, P., RESNICK, R., WALKER, J.

3.1.4 Teplota

Teplota je stavová veličina charakterizující rovnovážný termodynamický stav jakékoliv makroskopické soustavy. Z nultého termodynamického principu plyne, že každému rovnovážnému stavu soustavy lze přiřadit určitou hodnotu t . Protože nejrůznější stavové veličiny závisejí na t , tedy mění se při její změně, může být k její definici a měření použita, kterákoli z těchto závislostí, a to tak, že se předepíše její tvar u zvolené látky za přesně stanovených podmínek. (9)

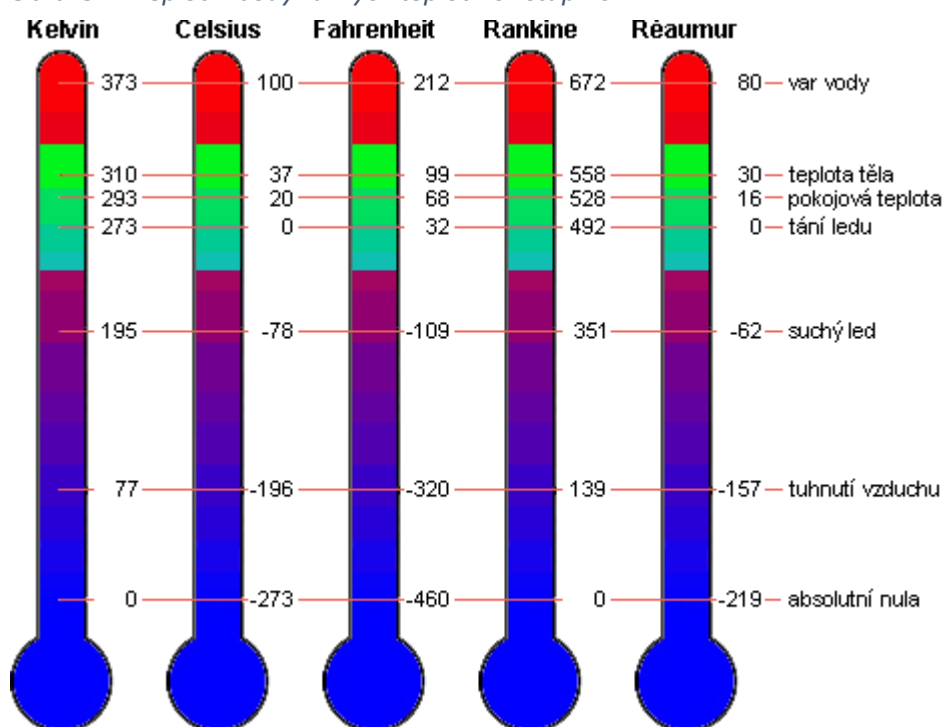
Pro stanovení teploty se používají hned několik stupnic uvedené v Tabulce 5, jejich důležité teplotní body jsou potom znázorněny na Obrázku 2:

Tabulka 5 Teplotní stupnice

Teplotní stupnice	Jednotka	Značka	Převod na °C	Převod ze °C
Kelvinova	kelvin	K	$t_C = T - 273,15$	$T = t_C + 273,15$
Celsiova	stupeň Celsia	°C		
Fahrenheitova	stupeň Fahrenheita	°F	$t_C = 5/9 \cdot (t_F - 32)$	$t_F = 9/5 \cdot t_C + 32$
Rankinova	stupeň Rankina	°R	$t_C = 5/9 \cdot (t_R - 273,15)$	$t_R = 9/5 \cdot t_C + 273,15$
Réamurova	stupeň Réamurova	°R	$t_C = 5/4 \cdot t_R$	$t_R = 4/5 \cdot t_C$

Zdroj: <http://www.prevod.cz/popis.php?str=220&parent=y>

Obrázek 2 Teplotní body různých teplotních stupnic



Zdroj: <http://www.prevod.cz/popis.php?str=220&parent=y>

3.1.5 Látkové množství

Látkové množství se nejvíce používá v chemii, kde je někdy nezbytné znát počet částic (atomů, molekul atd.), které daná látka obsahuje. Hmotnosti jednotlivých atomů a molekul jsou však i o 20 řádů menší než hmotnosti běžných látek. Částic v látce je prostě příliš mnoho, aby prakticky použitelnou jednotkou charakterizující jejich počet v látce byla jedna částice. (10)

Z tohoto důvodu byla zavedena nová veličina – látkové množství n , která vyjadřuje množství látky pomocí počtu částic. Její základní jednotkou je mol, jehož definici lze formulovat takto:

1 mol je takové množství látky, které obsahuje tolik částic, kolik je atomů ve 12 gramech nuklidu ^{12}C . (10)

3.1.6 Elektrický proud

Elektrický proud je uspořádaný pohyb volných částic s elektrickým nábojem. Uspořádaný je kvůli tomu, že se většina elektronů pohybuje jedním směrem. Jiná situace nastává, když vodič např. měděný drát není připojen ke svorkám zdroje. Elektrony se v drátu sice pohybují, ale chaoticky, rychlostí až $10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Při představě o rovině protínající takový drát, budou elektrony procházet v obou směrech, tudíž žádný výsledný tok náboje nevzniká, a žádný proud drátem neprochází. Situace se změní, pokud se připojí konce drátu ke zdroji napětí, který upřednostní tok elektronů v jednom směru, takže vyvolá výsledný tok náboje průřezem drátu a drátem tedy začne procházet elektrický proud. (1)

Elektrický proud nemusí být jen pohyb volných elektronů, může se jednat i o částice nabitě kladně i záporně (například v polovodičích). Proto se směr elektrického proudu určil následující dohodou:

Směr elektrického proudu je dán směrem uspořádaného pohybu kladně nabitých částic.

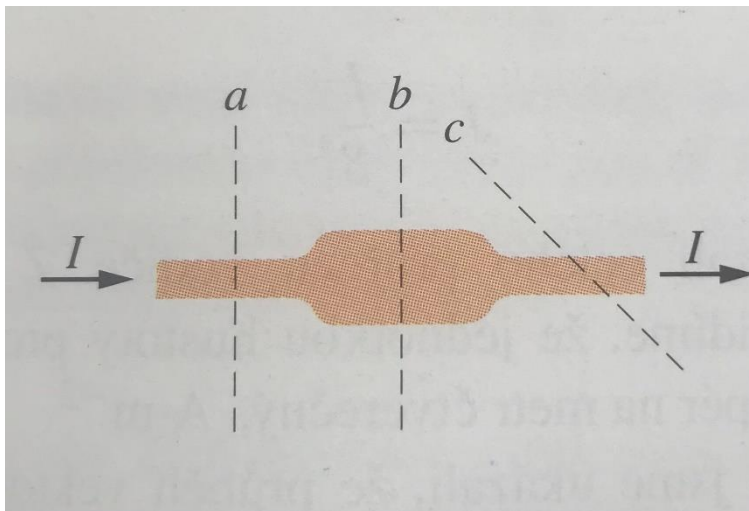
(1)

Obrázek 3 znázorňuje část vodiče, kterou prochází proud. Jestliže náboj dQ projde například rovinným řezem a za dobu dt , pak proud procházející průřezem vodiče je definován vztahem (definice proudu):

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

(1)

Obrázek 3 Ustálený proud I ve vodiči má stejnou velikost v průřezech a , b , c .



Zdroj: *Fyzika* HALLIDAY, P., RESNICK, R., WALKER, J.

V ustáleném stavu teče stejný proud I , neboť elektrický náboj se zachovává. Za každý elektron, který do vodiče na jednom jeho konci vstoupí, vystoupí jiný elektron na jeho druhém konci.

Jednotkou proudu je ampér (A): 1 ampér= 1 A= 1 C*s⁻¹. Vzorec ampéru vychází z definice proudu uvedené výše. Takto definovaný proud je skalár, jelikož elektrický náboj i čas jsou skaláry. (11)

3.1.7 Svítivost

Svítivost je základní fotometrická veličina, která charakterizuje vysílání světla z bodového světelného zdroje. Její definice zní takto:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega},$$

$d\Omega$ je prostorový úhel v daném směru, a $d\Phi$ je světelný tok vyzařující do prostorového úhlu $d\Omega$. (12)

Jednotkou svítivosti je kandela (symbol cd), název kandela je odvozen z latinského candela, což znamená svíčka. Nejprve byla totiž tato jednotka definována jako svítivost svíčky. Tato definice byla velice nepřesná, jelikož existuje mnoho druhů svíček, a navíc je složité zachovat přesně stejné podmínky hoření. Nejnovější definice zní takto:

*1 Kandela je svítivost světelného zdroje, který v daném směru emituje (vyzařuje) monochromatické záření o frekvenci 540*10¹² hertzů a jehož zářivost v tomto směru činí 1/683 wattů na jeden steradián.*

(13)

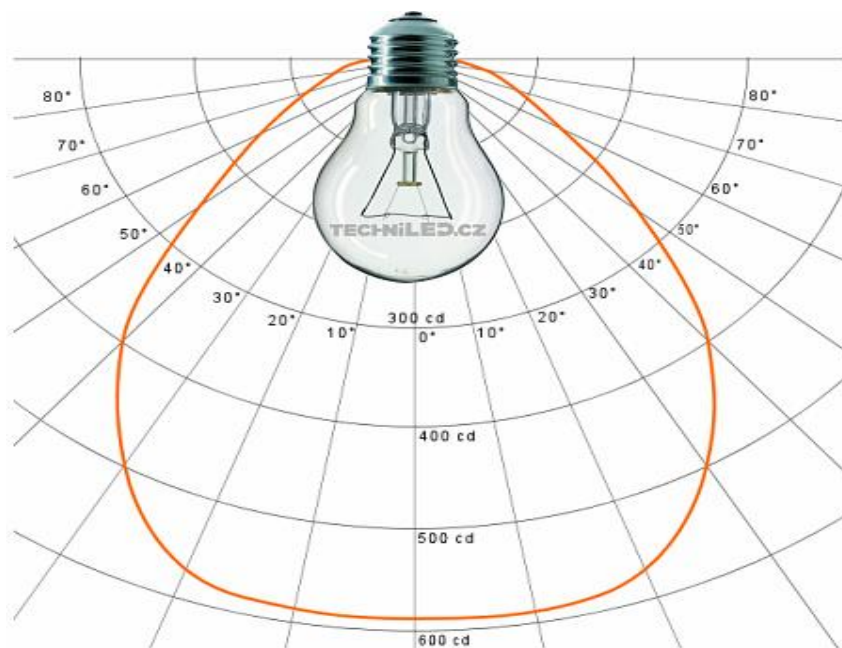
Tabulka 6 Hodnoty svítivosti některých zdrojů světla

Zdroj světla	Svítivost (cd)
LED	0,005
Svíčka	1
100 W žárovka	135
Reflektory automobilu	100000
Fotografický blesk (max. hodnota)	1000000

Zdroj: <http://aldebaran.feld.cvut.cz/vyuka/konicek/F2-B1B02FY2/materialy/fotometrie.pdf>

Někteří výrobci u svých produktů zveřejňují tzv. diagramy svítivosti (viz. Obrázek 4), ze kterých lze jednoduše vyčíst svítivosti daného zdroje světla v různých úhlech (14):

Obrázek 4 Diagram svítivosti



Zdroj: <http://www.techniled.cz/25-svitivost/>

3.2 Vybrané odvozené jednotky SI

Odvozené jednotky se tvoří ze základních a z dříve odvozených jednotek tak, aby u významných fyzikálních vztahů měly rovnice pro číselné hodnoty stejný tvar jako rovnice pro veličiny.

Takto utvořená soustava jednotek se nazývá koherentní. Některé odvozené jednotky mají vlastní jednoslovné názvy a značky, nazývají se jednoduché (např. sekunda, watt). Jednotky s víceslovným názvem se nazývají složené (např. kelvin na metr, newtonmetr). (9)

Veličiny, které jsou podílem dvou veličin stejného druhu (např. poměrná permitivita $\mu_r = \mu/\mu_0$), se nazývají bezrozměrové a jejich jednotkou je 1. Jedna jednotka SI může odpovídat více různým veličinám (např. elektrický náboj i elektrický indukční tok mají jednotku coulomb). Aby se tedy už z jednotky poznalo, o kterou veličinu se jedná, dávají se někdy též jednotce SI různé názvy a značky, např. jednotka $\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-2}$ se při udávání energie nazývá joule (J), ale při udávání momentu síly se nazývá newton metr ($\text{N}\cdot\text{m}$). (9)

V následující Tabulce jsou uvedeny vybrané odvozené jednotky, které mají podle mezinárodní dohody vlastní jednoslovný název a značku (15):

Tabulka 7 Vybrané odvozené jednotky SI se zvláštními názvy

Odvozená veličina	Zvláštní název	Značka	Vyjádření pomocí zákl. jednotek SI a odvozených jednotek SI
Kmitočet	hertz	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$
Síla	newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$

Tlak, napětí	pascal	Pa	1 Pa= 1 N/m ²
Energie, práce, tepelné množ.	joule	J	1 J= 1 N*m
Výkon	watt	W	1 W= 1 J/s
Elektrický náboj	coulomb	C	1 C= 1 A*s
Napětí, elektrický potenciál	volt	V	1 V= 1 W/A
Kapacita	farad	F	1 F= 1 C/V
Elektrický odpor	ohm	Ω	1 Ω= 1 V/A
Elektrická vodivost	siemens	S	1 S= 1 Ω ⁻¹
Magnetický tok	weber	Wb	1 Wb= 1 V*s
Magnetická indukce	tesla	T	1 T= 1 W/m ²
Indukčnost	henry	H	1 H= 1 Wb/A
Celsiova teplota	Celsiův stupeň	°C	1 °C= 1 K

Zdroj: *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy* RNDr. Jiří Mikulčák, CSc., RNDr. Jura Charvát, CSc. a spol.

3.2.1 Elektrický odpor

Z hlediska zaměření mé praktické části jsem si dovolil vybrat jednu odvozenou jednotku SI a napsat o ní více informací.

Odpor neboli rezistenci mezi libovolnými dvěma body vodiče lze určit tak, že se přiloží napětí U mezi tyto body a změří se proud, který vodičem prochází. Vzorec pro odpor je poté následující (1):

$$R = \frac{U}{I}.$$

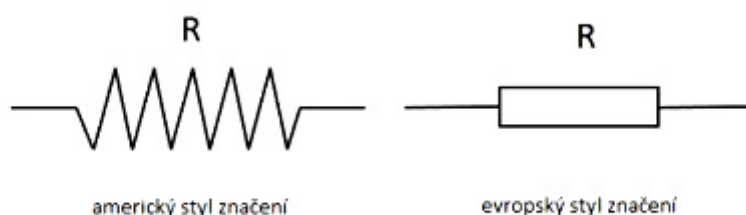
Z této rovnice a Tabulky 7 lze vyčíst, že jednotka odporu je ohm s označením Ω . (1)

Součástka, která má za úkol v elektrickém obvodu odpor vytvářet se jmenuje rezistor (viz. Obrázek 6). Ve schématu elektrického obvodu se znázorňuje rezistor 2 způsoby (viz. Obrázek 5):

- 1) podle normy ISO
- 2) podle americké normy

(16)

Obrázek 5 Značení rezistorů



Zdroj: <https://ondranauci.cz/rezistor/>

Elektrický odpor má několik vlastností, které je nutné znát pro jeho pochopení, například pro dané napětí platí, že čím větší je odpor, který proudu klade vodič, tím menší proud vodičem prochází. Hodnota el. odporu též závisí na materiálu, průřezu, délce i teplotě vodiče. Odpor vodičů se vzrůstající teplotou stoupá, kdežto odpor polovodičů se vzrůstající teplotou klesá.

(16)

Obrázek 6 Rezistory. Barevné proužky na rezistorech označují hodnotu jejich odporu.



Zdroj: <http://old.spsemoh.cz/vyuka/zl/rezistory.htm>

3.3 Předpony jednotek SI

Každá z předpon jednotek SI se spojuje s názvem výchozí jednotky v jedno slovo a označuje daný dekadický násobek nebo díl, jeho značka vznikne připojením značky předpony SI před značku výchozí jednotky, např. km (kilometr). Složené předpony vytvořené spojením dvou a více předpon SI se nepoužívají. (9)

Tabulka 8 Předpony SI

Činitel	Předpona	
	Název	Značka
10^{24}	yotta	Y
10^{21}	zetta	Z
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k

10^2	hekto	h
10	deka	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	mikro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	piko	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a
10^{-21}	zepto	z
10^{-24}	yokto	y

Zdroj: *Výkladový slovník fyziky* ERIKA MECHLOVÁ, KAREL KOŠTÁL A SPOL.

4 Měření fyzikálních veličin

Fyzikální měření je obecně činnost směřující ke zjištění hodnoty fyzikální veličiny. Člověk se s fyzikálními měřeními setkává v běžném životě, měří svoji výšku, dobu, po kterou trvá nějaká činnost, rychlost, jakou jede autem. Jeden z prvních úkonů, který se provede s čerstvě narozeným nemluvňáčkem je jeho zvážení. V takových případech se jedná o jednoduchá, levná a rychlá měření. Naopak ve špičkové fyzice se vyskytují experimenty velmi propracované a nákladné. Avšak kvalitní a přesná měření jsou nezbytně nutná ve všech oblastech techniky a průmyslu dnešní moderní civilizace. Ve fyzice se mluví o řadě různých metod fyzikálních měření. Metody je možné dělit z různých hledisek. Závisí na tom, jaké fyzikální metody se používají, z jakých principů a vztahů se vychází a na vybavení a přístrojích, které se při měření používají. (17)

Měření lze rozdělit na tři hlavní etapy:

- 1) První etapa je příprava celého měření. Je určen úkol a princip měření a měřicí metoda včetně přístrojového a laboratorního vybavení.
- 2) Druhá etapa je skutečné měření. Určuje se, které úkony jsou pro průběh měření důležité.
- 3) Třetí etapou je vyhodnocení měření. Zde se rozhoduje o tom, jak se stanoví chyba měření, jakých korekcí lze užít a v jakém tvaru bude vyhodnocený výsledek.

(18)

4.1 Měřicí metody

Měřicí metoda je způsob, kterým je možno hledanou fyzikální veličinu měřit. Je to souhrn praktických a teoretických operací použitých při měření podle daného principu. Pro měření

jedné fyzikální veličiny mohou existovat různé metody. Volba měřicí metody závisí na druhu hledané veličiny, použitých přístrojích a na požadované přesnosti výsledků. (18)

4.1.1 Přímá a nepřímá metoda

Metoda přímá je taková metoda, při níž se veličina měří na základě její definice. Všechny ostatní metody, které vycházejí při měření z jiných vztahů než definičních, jsou metody nepřímé. Dobrým příkladem může být hustota tělesa ρ , která se stanoví přímou metodou tak, že vážením se určí hmotnost m a měřením rozměrů tělesa jeho objem V . Z definice $\rho=m/V$ se vypočítá hledaná hustota. Pokud se však určí hustota pomocí Archimédova zákona ze síly, kterou je těleso nadlehčováno ve známé kapalině, a z jeho tíhy na vzduchu, je to metoda nepřímá. (18)

4.1.2 Statická a dynamická metoda

Statické metody jsou takové metody, při nichž se velikost měřené veličiny určuje z klidové polohy ukazatele příslušného měřicího zařízení. (18)

U dynamických metod se velikost měřené veličiny určuje z periodického pohybu měřicího systému (např. určení tíhového zrychlení g reverzním kyvadlem). Jednu veličinu lze často měřit oběma metodami. Například modul pružnosti v tahu a ve smyku lze stanovit metodou statickou i dynamickou. (18)

4.1.3 Srovnávací a absolutní metoda

Metoda, při níž se porovnává hodnota měřené veličiny se známou hodnotou veličiny téhož druhu (například etalony a normály), se nazývá srovnávací. Příkladem srovnávací metody je vážení. (19)

Naopak metoda, která poskytuje prostou hodnotu hledané veličiny v příslušných jednotkách výpočtem pomocí naměřených hodnot jiných veličin, se nazývá absolutní. Příkladem absolutní metody je měření elektrického odporu podle Ohmova zákona. (19)

4.1.4 Substituční a kompenzační metoda

Metoda substituční spočívá v tom, že měřená veličina se porovnává s řadou veličin téhož druhu různých známých velikostí uspořádaných do sady tak, aby se mohly sestavit všechny hodnoty od nejmenších do součtu všech hodnot sady (například sady závaží). Měření se provádí tak, že nejdříve se způsobí výchylka měřicího přístroje měřené veličiny a pak se nahradí měřený objekt sadou, ve které se nastaví taková hodnota, aby výchylka byla stejná. Vzhledem k tomu, že většinou nelze dosáhnout stejné výchylky, postupuje se tak, že se interpoluje mezi dvěma hodnotami, ležícími těsně po obou stranách původní výchylky. Příkladem je substituční metoda elektrického odporu. (19)

Metoda kompenzační je založena na tom, že měřená veličina se ruší stejně velkou veličinou opačného znaménka, jejíž hodnota je známá anebo lze jednoduše určit. U této metody se neurčuje hodnota měřené veličiny výchylkou ukazatele měřicího přístroje, ale změnou

známých hodnot se dosahuje nulové výchytky a pak ze vztahů platných pro tento rovnovážný stav se vypočte hodnota měřené veličiny. Například při vážení působí vážený předmět tíhou na váhy otáčivým momentem jedním směrem a tento moment se kompenzuje otáčivým momentem závaží tak, aby rovnovážná poloha souhlasila s nulovou. (19)

4.2 Chyby měřených veličin

Absolutní a relativní chyba

Měřením fyzikální veličiny přesnými přístroji a opakovaně za stejných podmínek se většinou nezískají stejné hodnoty. Naměřené hodnoty jsou jen přibližné na rozdíl od skutečné hodnoty příslušné fyzikální veličiny, a jsou tedy zatíženy určitou chybou měření. (18)

Absolutní chyba měření δ je rozdíl mezi naměřenou hodnotou x a skutečnou hodnotou X fyzikální veličiny (18):

$$\delta = x - X$$

Chyba δ se vymezuje maximální chybou μ tak, aby platilo:

$$-\mu < \delta < +\mu \quad (18)$$

Z předchozích dvou vztahů lze tedy odvodit že:

$$X = x \pm \mu \quad (18)$$

U každého měřicího přístroje a zařízení lze přibližně stanovit maximální chybu odhadem z významu dílku stupnice (velikost mezery mezi dvěma sousedními ryskami stupnice, jíž je úměrný zlomek velikosti měřené fyzikální veličiny. Za maximální chybu lze pokládat celý dílek stupnice nebo jen jeho část. (20)

Porovnání výsledků měření se usnadní zavedením relativní (poměrné) chyby. Ta je určena poměrem chyby k měřené veličině. Relativní maximální chyba μ_r je pak dána vztahem:

$$\mu_r = \frac{\mu}{x} (\%) \quad (18)$$

Pečlivost měření se dá lépe vystihnout jeho relativní chybou než chybou absolutní. Užití relativní chyby je výhodné zvláště při nepřímých měření. (18)

Hrubé a systematické chyby

Tyto chyby mají původ v nepřesnosti a nedokonalosti měřicích přístrojů, v omezených schopnostech lidských smyslů, ve vnějších podmínkách a vlivech působících na měření. (20)

Hrubé chyby vznikají přehlédnutím či nepozorností, například záměnou číslic. Většinou jsou natolik fatální, že zcela zkreslí a znehodnotí výsledek a jsou snadno rozpoznatelné od ostatních chyb. (20)

Systematické chyby se projevují stále stejně při opakovaném měření prováděném za stejných podmínek. Chyby lze eliminovat buď zavedením početních korekcí při zpracování výsledků měření, nebo odstraněním příčiny vzniku chyby. Vznikají z nedokonalosti měřicí metody, chyby přístroje nebo za ně může sám pozorovatel. (20)

Náhodné chyby

Náhodné (nahodilé) chyby se projevují tím, že výsledky při opakovaných měřeních se vždy trochu liší. Mají původ v navzájem nezávislých vlivech, například nesprávné ustavení přístroje, nedodržování konstantního tlaku na šroub mikrometru, změny teploty měřicích zařízení, vlhkosti při měření atd. (21)

Nahodilým chybám nelze zabránit, ale lze je potlačit zlepšením konstrukce přístrojů a zvýšenou pečlivostí při měření. Analyzují se opakováním měření při stejných vnějších podmínkách a zpracováním výsledků měření metodami matematické statistiky a pravděpodobnosti. (21)

4.3 Zpracování výsledků měření

Výsledky měření se zpracovávají numericky a graficky. Oba způsoby vyšetřování závislosti jedné fyzikální veličiny na druhé jsou jedním z hlavních úkolů měření fyzikálních veličin a měření ve fyzice vůbec. Nejčastěji jde o závislost některé fyzikální veličiny na teplotě, času, tlaku apod.

(18)

Měřené hodnoty jedné veličiny při určitých hodnotách druhé veličiny jsou vlastně hledané hodnoty funkce y pro různé hodnoty argumentu x , tedy $y = y(x)$. (18)

Měřením získaný soubor odpovídajících n veličin x a y se zapisuje ve tvaru matematického vztahu (například lineární nebo kvadratická závislost). Proto je výhodné vyjádřit hledanou závislost mocninovým mnohočlenem:

$$y = A_0 + A_1x + A_2x^2 + \dots + A_nx^n \quad (18)$$

Kde $A_0, A_1, A_2, \dots, A_n$ jsou konstantní součinitele, jež je nutno stanovit výpočtem, a to některou z numerických metod. Takto zpracovaná měření umožňují dosáhnout nejpravděpodobnějšího konečného výsledku a dovolují odhadnout chybu, jakou byla měření zatížena. (18)

Numerické zpracování výsledků

Při numerických výpočtech ve fyzikální laboratoři je třeba mít na paměti, že naměřené numerické hodnoty veličin jsou jen přibližná, neúplná čísla. Při jejich zápisu uvádíme kromě

cifer ještě jednu cifru, kterou získáme zpravidla odhadem desetín dílků na stupnici a je již zatížena měřicí chybou. (22)

Je důležité dělat rozdíly mezi čísly: 250 000; $2,5 \cdot 10^5$; $2,50 \cdot 10^5$, která jsou určena na 6; 2; 3 platné číslice. Výraz 10^5 vyjadřuje řád a nezahrnuje se mezi platné číslice. (22)

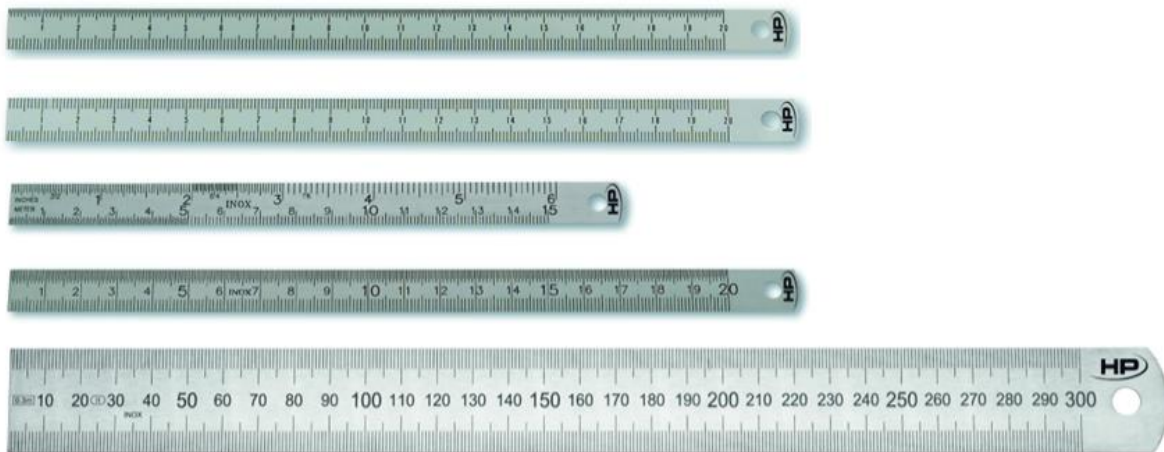
4.4 Měření mechanických veličin

Měření mechanických veličin je klíčovým procesem zejména ve vědě, technice a průmyslu. Přesné měření těchto veličin je zásadní pro porozumění fyziky a inženýrství. (1)

4.4.1 Délka

Nejjednodušším zařízením pro měření větších délek je měřítko (viz Obrázek 7) s dělením na centimetry. Nejčastěji se používají měřítka ocelová, jejich nevýhodou je ovšem jejich teplotní roztažnost. (18)

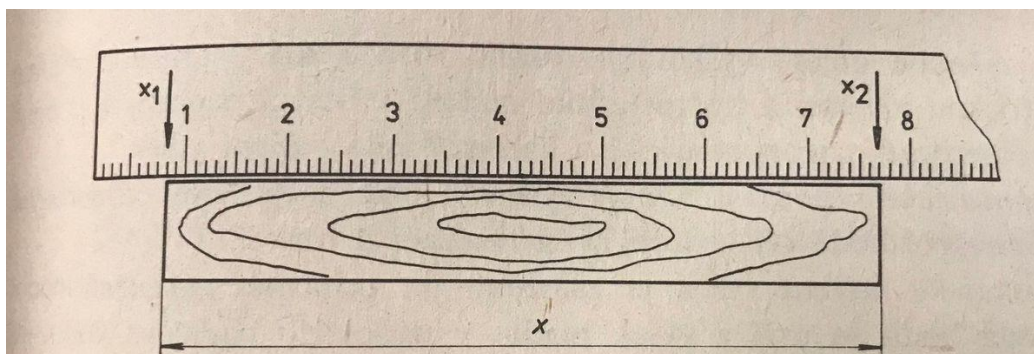
Obrázek 7 Ocelová měřítka



Zdroj: <http://www.unimetra.cz/cz/katalog/carkova-a-delkova-meridla/ocelova-meritka/10-ocelova-meritka.html>

Při měření měřítkem se odečítá počáteční (x_1) a koncová (x_2) poloha předmětu, kde se hledaná délka vypočítá z rozdílu hodnot $x = x_2 - x_1$ (Obrázek 8). (18)

Obrázek 8 Odečítání údajů na stupnici dálkového měřidla

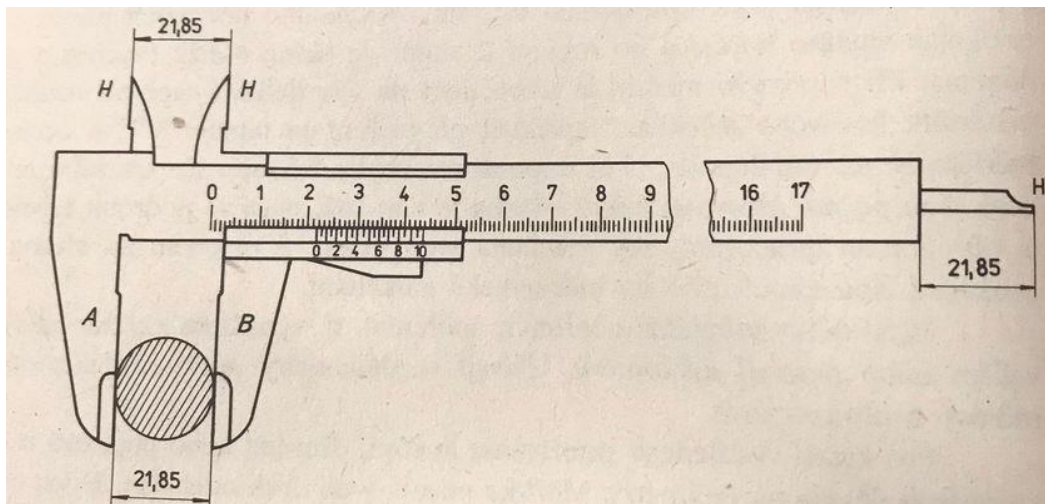


Zdroj: Vilém Mádr, Jaromír Knejzlík, Jan Kopečný, CSc., Ivo Novotný- *Fyzikální měření*.

Pro měření kratších délek s větší přesností se používají kontaktní měřítka, kdy se měřený předmět vkládá mezi čelisti měřítka. Patří sem posuvné měřítko a mikrometrický šroub. (23)

Posuvné měřítko (viz Obrázek 9) má pevnou část A s hlavní stupnicí a kolmým rámem a pohyblivou část B opatřenou noniem. Nonius je sestaven tak, že 19 dílků hlavního měřítka odpovídá 20 dílků nonia. To umožňuje přesnost čtení na 0,05mm. S hroty H lze měřit vnitřní rozměry dutých těles. (23)

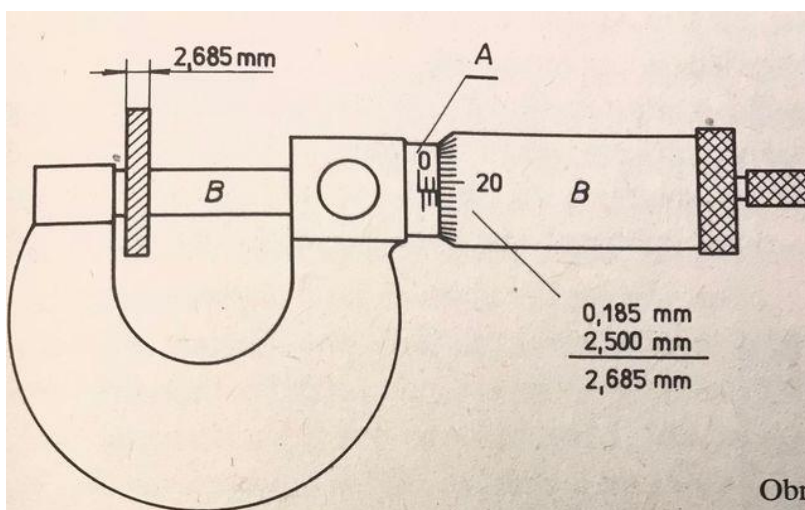
Obrázek 9 Posuvné měřítko



Zdroj: Vilém Mádr, Jaromír Knejzlík, Jan Kopečný, CSc., Ivo Novotný- *Fyzikální měření*.

Pohyblivou část B mikrometrického šroubu (Obrázek 10) je obrobený šroub, který má stoupání 1 nebo 0,5 mm. Buben pohyblivé části bývá podle toho dělen na 100 nebo 50 dílků. Pevná část A je opatřena milimetrovým měřítkem. Buben je spojen třecí spojkou, která se po dosažení určitého momentu protočí. (23)

Obrázek 10 Mikrometrický šroub

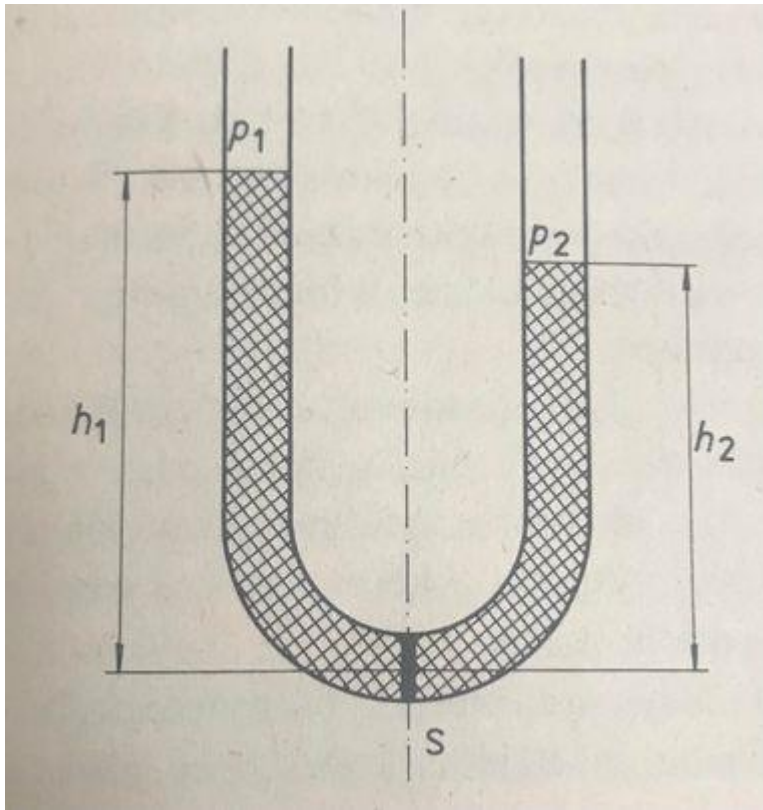


Zdroj: Vilém Mádr, Jaromír Knejzlík, Jan Kopečný, CSc., Ivo Novotný- *Fyzikální měření*.

4.4.2 Tlak

Tlak se měří pomocí kapalinových nebo deformačních tlakoměrů (manometrů). Kapalinové tlakoměry se dělí na rtuťové a vodní, příkladem tohoto typu je tlakoměr s trubicí ve tvaru U, který se nazývá U-manometr (Obrázek 11). (18)

Obrázek 11 U-manometr



Zdroj: Vilém Mádr, Jaromír Knejzlík, Jan Kopečný, CSc., Ivo Novotný- *Fyzikální měření*.

V rovnovážném stavu působí na plochu S (viz. Obrázek 11) stejná tlaková síla, takže platí:

$$h_1 \rho g + p_1 = h_2 \rho g + p_2$$

kde h_1, h_2 jsou výšky kapaliny v trubicích,

ρ hustota kapaliny,

g tíhové zrychlení,

p_1, p_2 tlaky na hladině kapaliny

(18)

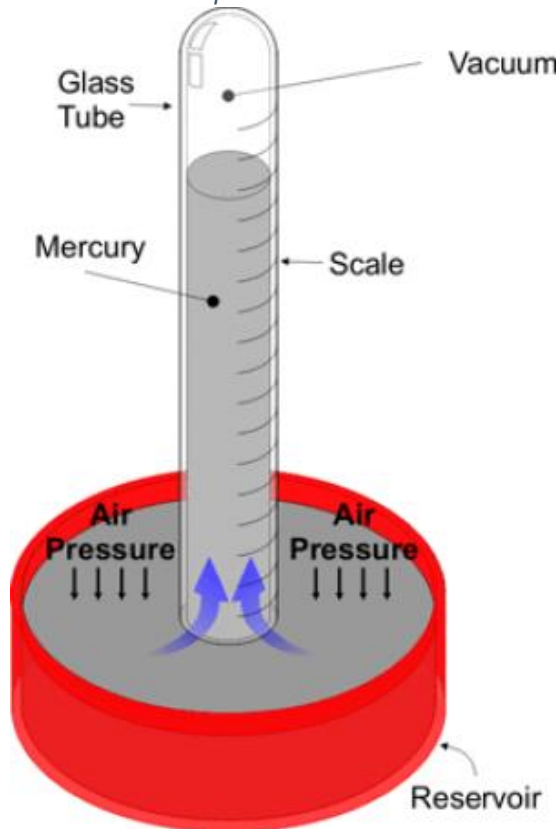
Úpravou rovnice dostáváme základní rovnici pro kapalinový manometr:

$$(h_1 - h_2) * \rho * g = p_2 - p_1$$

(18)

Kapalinové manometry měří i absolutní hodnotu tlaku tak, že jeden z tlaků p_1 nebo p_2 je roven nule. To znamená, že jeden konec trubice je zataven, aby nad kapalinou vzniklo vakuum. Tento typ manometrů slouží k měření barometrického tlaku, a proto se nazývá barometr. (23)

Obrázek 12 Princip barometru



Zdroj: <https://cz.pinterest.com/pin/26669822771291272/>

4.4.3 Hmotnost

Při měření hmotnosti (vážení) se využívá úměrnosti mezi tíhou tělesa a jeho hmotností, takže hmotnost tělesa se stanoví z měření jeho tíhy. Vážení patří mezi nejpřesnější fyzikální měření.

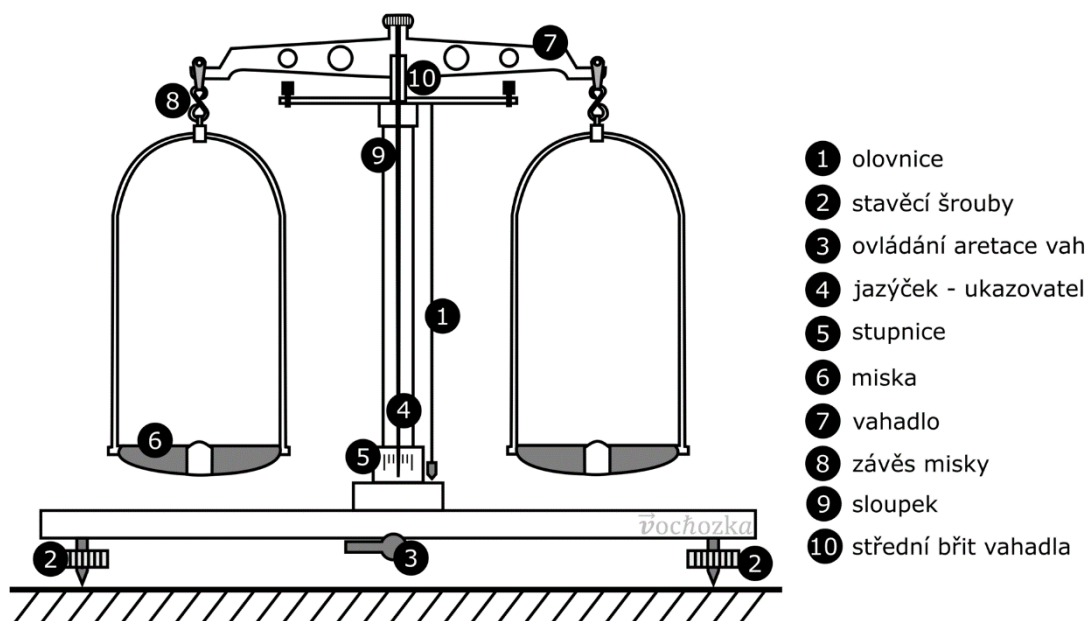
(24)

K vážení se používají váhy různých typů. Dříve se používaly váhy na principu porovnávání tíhy těles s tíhou těles o známé hmotnosti (závaží). Podle dvou způsobů porovnání tíhy těles se rozlišují dva základní typy přístrojů (24):

Váhy pružné, které fungují na principu protažení pera tvaru šroubovice. (24)

Pákové váhy jsou přístroje, kde se měřením porovnává moment tíhy dané hmotnosti s momentem tíhy vybraných závaží. Existují dva základní typy rovnoramenných pákových vah: technické (jsou méně citlivé) a analytické (velmi přesné). (18)

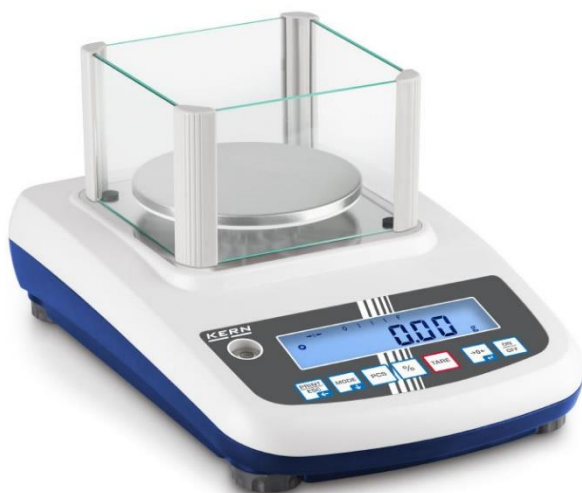
Obrázek 13 Technické váhy a jejich popis



Zdroj: <https://cs.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1hy>

Váhy tenzometrické jsou nejmodernějším druhem vah. Jsou založeny též na deformaci způsobené tíhou váženého objektu. V tomto případě se však deformace měří elektronicky na základě piezoelektrického jevu. Tyto váhy mají vysokou přesnost a podle konstrukce mohou mít i velký měřicí rozsah (váživost) od mikrogramů po desítky tun, tudíž se používají jak v laboratořích, tak i v kuchyni, nebo pro vážení vozidel. Výhodou elektronických vah je okolnost, že mohou být propojeny přímo s počítačem, který rovnou zpracovává naměřené hodnoty. (24)

Obrázek 14 Laboratorní tenzometrické váhy KERN PFB 1200-2



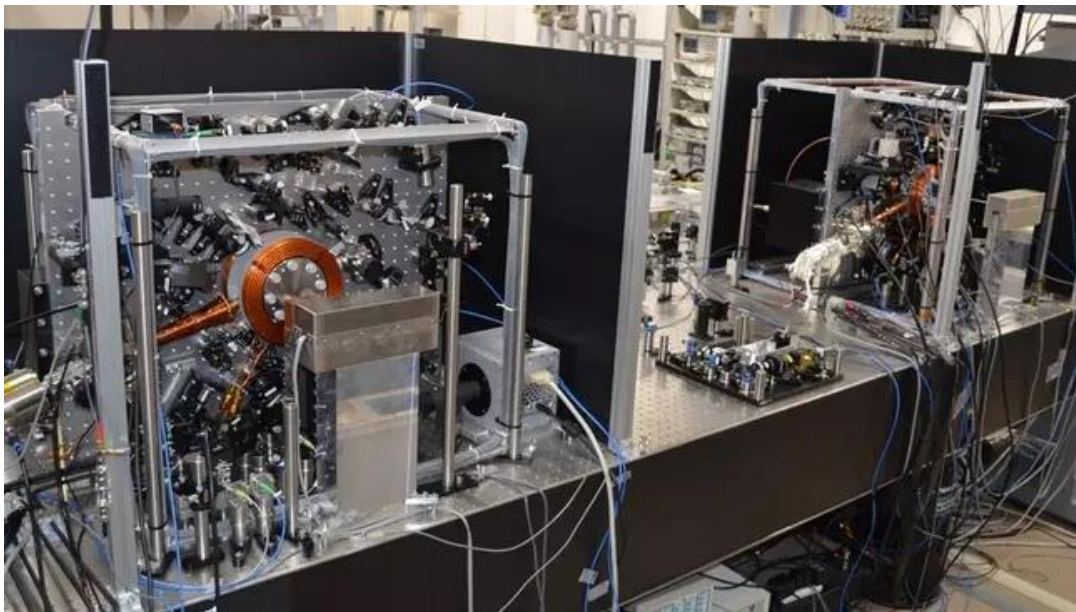
Zdroj: <https://www.vahyrobín.cz/laboratorni-vaha-KERN-PFB-1200-2-1200g-0-01g-d1055.htm>

4.4.4 Čas

Nejrozšířenějším zařízením pro měření času jsou mechanické hodiny. Periodickým dějem, který měří čas, je u kyvadlových hodin pohyb kyvadla a u přenosných hodin torzní kmity setrvačnicku zvaného nepokoj. Nepravidelnosti chodu hodin se určují variací chodu. Nejpřesnější kyvadlové hodiny mají průměrnou denní variaci chodu 10^{-2} až 10^{-3} s, přesné přenosné hodiny 0,25 s, dobré hodinky 1 až 2 s, náramkové hodinky nejméně 2 s. (18)

Nejpřesnější hodiny na světě jsou zatím japonské kryogenické optické mřížkové hodiny, které spíše připomínají 2 odstrojené počítače (viz Obrázek 15). (25)

Obrázek 15 Japonské kryogenické optické mřížkové hodiny



Zdroj: <https://www.novinky.cz/clanek/koktejl-japonske-hodiny-se-opozdi-jen-o-sekundu-za-16-miliard-let-281055>

Tyto hodiny využívají lasery, kterými zachycují atomy stroncia do menších struktur v podobě sítě, pak měří vibraci těchto atomů, které využívají jako atomové kyvadlo. Trvalo by 16 miliard let, než by se opozdily o sekundu. Předchozím cesiovým atomovým hodinám to trvá 30 milionů let. Systém nových hodin je ovšem velice choulostivý a vyžaduje chladné prostředí kolem minus 180 stupňů Celsia. (25)

4.5 Měření elektrických veličin

Podle druhu výstupu můžeme elektrické měřicí přístroje rozdělit na:

- 1) Analogové (ukazovací)
- 2) Číslicové (digitální)
- 3) Ostatní

(18)

Analogové přístroje zobrazují naměřené údaje pomocí výchylky ručky nebo jiné značky vzhledem ke stupnici. Tyto přístroje mají zpravidla elektromechanické měřicí ústrojí. (26)

Chyba údaje analogových přístrojů vzniká v důsledku měřicího přístroje a je důležitá při posuzování přesnosti měření a udává ji výrobce pomocí třídy přesnosti. Přesnosti měřicího přístroje jsou určeny výrobcem při předem stanovených podmínkách (tzv. vztažné podmínky). Mezi ovlivňující veličiny, které způsobují chyby jsou například teplota okolí, vychýlení přístroje ze správné polohy a magnetické nebo elektrické pole. Normální pracovní podmínky předepsané normou jsou následující: teplota (23 ± 10) °C, vnější magnetické pole maximálně 0,5 mT, pracovní poloha $\pm 5^\circ$ od předepsané. (26)

Obrázek 16 Analogový voltmetr P3296



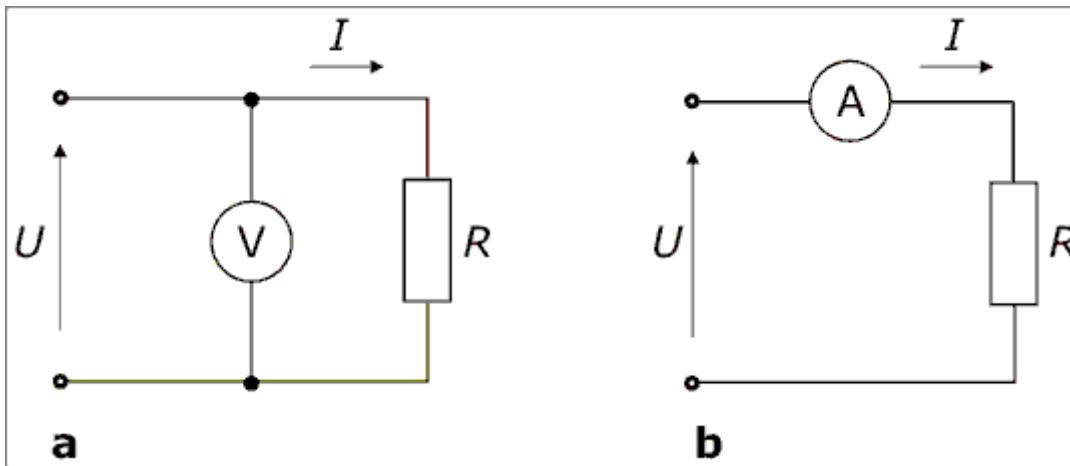
Zdroj: <https://www.distrelec.cz/cs/analogovy-voltmetr-ac-kv-dc-100-mv-kv-peaktech-p3296/p/30098011>

Digitální přístroje udávají měřené veličiny dekadickým číslem na indikačním panelu přístroje. Měřená veličina vstupuje do bloku úpravy signálu, poté je převedena na číslicový údaj a posléze do indikační jednotky (zobrazovače). Tyto přístroje pracují na principu diskrétního měření (měří veličiny v předem určených časových intervalech). Číslicové přístroje jsou přesnější než analogové, jejich přesnost je dána počtem míst na zobrazovači (počtem digitů). Mezi další výhody patří lepší čitelnost údajů a výborné další zpracování dat. Naopak velkou nevýhodou je zejména vlastní zdroj energie. (26)

V praxi se napětí a proud měří přístroji založenými na stejném principu (multimetry), nebo přístroji určenými přímo k měření příslušné veličiny (napětí – voltmetr, proud – ampérmetr).

(26)

Obrázek 17 Schématické zapojení voltmetru a ampérmetru



Zdroj: <https://ach.upol.cz/ucebnice2/velic.htm>

Při měření napětí se připojuje voltmetr paralelně k té části obvodu, na které chceme měřit napětí, a při měření proudu ampérmetr do série s elementem, kterým prochází měřený proud. Zapojení přístrojů do obvodu, nezávisle na jejich přesnosti, způsobí, že naměřené hodnoty se budou do určité míry lišit od hodnot při odpojených přístrojích. Zapojení ampérmetru do obvodu (Obrázek 17) způsobí zmenšení proudu I_A , protože se odpor obvodu zvětšil o odpor ampérmetru. (26)

Zapojení voltmetru do obvodu paralelně k části elektrického obvodu (Obrázek 17) způsobí zmenšení odporu této části, protože odpor voltmetru tvoří bočník pro uvažovanou část obvodu. Naměřené napětí je menší než napětí na uvažované části obvodu bez voltmetru. Tyto skutečnosti se zohledňují při výpočtech hodnoty malého a velkého odporu. Analogové voltmetry mívají vnitřní odpor uvedený na stupnici přístroje, obvykle ve formě údaje o odporu připadajícím na 1 volt rozsahu přístroje. (26)

Odpor R_A ampérmetru zpravidla bývá podstatně menší než odpor zátěže (v našem případě měřeného odporu) a vnitřní odpor R_i zdroje, takže chyba metody spočívající ve vlivu vnitřního odporu ampérmetru se může zanedbat. Pokud se neprovádí korekce na ovlivnění hodnot měřicími přístroji, je třeba uvážit započtení vlivu přístrojů, zejména vlivu vnitřního odporu voltmetru, a jeho zahrnutí do chyby a nejistoty výsledku. (26)

5 Stanovení elektrického odporu přímou a nepřímou metodou

Stanovení odporu R lze v elektrickém obvodu dosáhnout hned několika způsoby. V této praktické části jsem se zaměřil na porovnání přesnosti měření pomocí přímé metody a nepřímé voltampérové metody.

5.1 Použité přístroje

Voltmetr: UNIT-T UT 191E

Specifikace:

R_v (odpor voltmetru) = 10,36 M Ω

Rozsah = 60 V \pm (0,7 % + 3)

Počet digitů = 5999

Chyba rozsahu: $\delta = \delta_1 + \delta_2 = 0,7 + (3/5999) = \pm 0,75 \%$

(27)

Ampérmetr: UNI-T UT 131A

Specifikace:

Počet digitů = 1999

Použité rozsahy:

1) 200 mA \pm (1,0 % + 2), chyba rozsahu: $\delta = \delta_1 + \delta_2 = 1 + (2/1999) = \pm 1,1\%$

2) 200 μ A \pm (1,0 % + 2), chyba rozsahu: $\delta = \delta_1 + \delta_2 = 1 + (2/1999) = \pm 1,1\%$

(28)

Multimetr použitý na změření odporu přímou metodu: MASTECH MY-64

Specifikace:

Počet digitů = 1999

Použité rozsahy:

1) 200 k Ω \pm (0,8 % + 2)

2) 20 k Ω \pm (0,8 % + 2)

3) 2 M Ω \pm (0,8 % + 2)

(29)

5.2 Metody měření

Přímá metoda

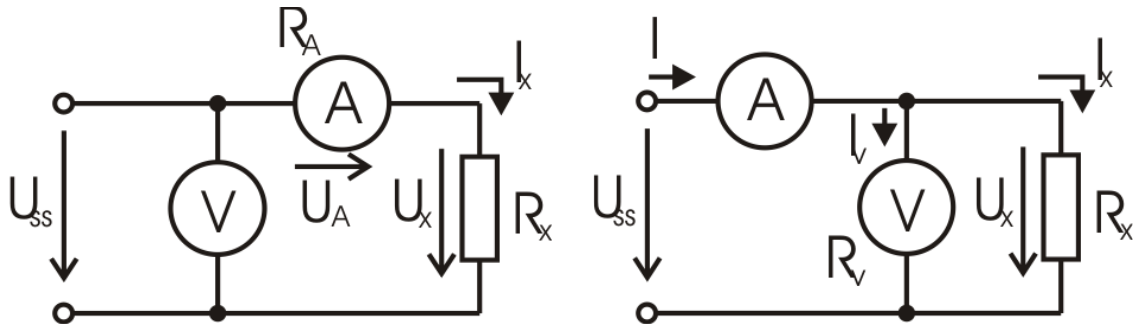
Přímá metoda stanovení odporu v obvodu je zdaleka ta nejpoužívanější a nejlehčí. Jde o způsob, kdy hodnotu měřené veličiny (v našem případě odpor) odečítáme přímo ze stupnice nebo displeje měřícího přístroje zapojeném v obvodu. Není třeba dále chybějící údaje dopočítávat. (18)

Nepřímá metoda

Při použití nepřímé metody se k cílové hodnotě dostane pomocí výpočtů. Do vztahu, podle něhož se hledaná veličina vypočítá, se dosadí hodnoty, které jsou zjištěny měřením s jistou známou chybou. U měření odporů je takovou nepřímou metodou i Ohmova metoda, kdy se měří napětí a proud a pomocí změřených hodnot se vypočítá velikost odporu. Jelikož lze změřit přibližnou velikost vnitřního odporu přístroje, pak lze i určit přibližnou chybu měření. (30)

Ohmova metoda má dvě metody zapojení:

Obrázek 18 1. a 2. metoda



Zdroj: <https://www.isstbn.cz/soubor/vy-32-inovace-477-pdf/>

V 1. metodě je napětí U měřené voltmetrem rovno součtu napětí U_x na rezistoru a napětí U_A na ampérmetru:

$$U = U_x + U_A = R * I + R_A * I$$

Neznámý odpor R je potom:

$$R = \frac{U}{I} - R_A$$

Ve 2. metodě je proud I protékající ampérmetrem dán součtem proudu I_V voltmetru a proud I_x rezistoru o neznámém odporu. Platí:

$$I = I_x + I_V = \frac{U}{R_V} + \frac{U}{R}$$

Neznámý odpor R je potom:

$$R = \left(\frac{I}{U} - \frac{1}{R_V} \right)^{-1}$$

(18)

5.3 Výpočty a tabulky

1) Naměřené hodnoty z elektrického obvodu:

Tabulka 9 Počáteční tabulka s naměřenými hodnotami z elektrického obvodu

Uvedené odpory na rezistorech	1. metoda		2. metoda		Přímá metoda
	Napětí (U)	Proud (I)	Napětí (U)	Proud (I)	Odpor (R)
477Ω	29,91V	61,5mA	29,71V	61,2mA	477Ω
682Ω	29,91V	45,2mA	29,77V	45,3mA	673Ω
1184Ω	29,91V	25,4mA	29,83V	25,2mA	1187Ω
2149Ω	29,91V	13,82mA	29,87V	13,85mA	2140Ω
580Ω	29,91V	51,1mA	29,75V	51,1mA	580Ω
680kΩ	29,90V	43,8μA	29,91V	46,8μA	678Ω

2) Výpočet R po odečtení R_A a R_V :

Tabulka 10 s vypočítanými odpory R (po odečtu R_A a R_V)

R na rezistorech	1. metoda	2. metoda
477Ω	$R=(U/I)-R_A=(29,91/61,5*10^{-3})-3,283=483,057\Omega$	$R=\left(\frac{I}{U}-\frac{1}{R_V}\right)^{-1}=\left(\frac{61,2*10^{-3}}{29,71}-\frac{1}{10,36*10^6}\right)^{-1}=485,480\Omega$
682Ω	$R=658,447\Omega$	$R=657,216\Omega$
1184Ω	$R=1174,277\Omega$	$R=1183,865\Omega$
2149Ω	$R=2160,967\Omega$	$R=2157,128\Omega$
580Ω	$R=582,037\Omega$	$R=582,224\Omega$
680kΩ	$R=(29,9/43,8*10^{-6})-0,1018=682\,648,298\Omega$	$R=681120,504\Omega$

3) Uvedené chyby v přímé metodě:

Tabulka 11 s údaji o chybě v přímé metodě (rozsah multimetru: $\pm 0,8\%+2$)

R na rezistorech	Přímá metoda
477Ω	$R=(477\pm 5,816)\Omega$ s $\delta=\pm(5,816/(477/100))=\pm 1,219\%$
682Ω	$R=(673\pm 7,384)\Omega$ s $\delta=\pm 1,097\%$
1184Ω	$R=(1187\pm 11,496)\Omega$ s $\delta=\pm 0,968\%$
2149Ω	$R=(2140\pm 19,12)\Omega$ s $\delta=\pm 0,893\%$
580Ω	$R=(580\pm 6,64)\Omega$ s $\delta=\pm 1,145\%$
680kΩ	$R=(678\pm 7)\text{ k}\Omega$ s $\delta=\pm 1,032\%$

4) Uvedené chyby v 1. metodě:

Tabulka 12 s údaji o chybě v 1. metodě

R	1. metoda		Chyba pro naměřené hodnoty – δ		Celk. relativ. chyba R (%)	$\Delta R (\Omega)$
	Napětí (U)	Proud (I)	Napětí (U)	Proud (I)		
477Ω	29,91V	61,5mA	$\delta=0,7+0,05*(60/29,91)=\pm 0,8\%$	$\delta=1+0,1*(200/61,5)=\pm 1,325\%$	$\pm 2,125\%$	$\pm 10,265$
682Ω	29,91V	45,2mA	$\pm 0,8\%$	$\delta=1+0,1*(200/45,2)=\pm 1,442\%$	$\pm 2,242\%$	$\pm 14,762$

1184Ω	29,91V	25,4mA	±0,8 %	$\delta=1+0,1*(200/25,4)$ =±1,787 %	±2,587%	±30,379
2149Ω	29,91V	13,82mA	±0,8 %	$\delta=1+0,1*(200/13,82)$ =±2,447 %	±3,247%	±70,167
580Ω	29,91V	51,1mA	±0,8 %	$\delta=1+0,1*(200/51,1)$ =±1,391 %	±2,191%	±12,752
680kΩ	29,90V	43,8μA	±0,8 %	$\delta=1+0,1*(200/43,8)$ =±1,457 %	±2,257%	±15407,372

5) Uvedené chyby v 2. metodě:

Tabulka 13 s údaji o chybě ve 2. metodě

R	2. metoda		Chyba pro naměřené hodnoty – δ		Celk. relativ. chyba R	ΔR (Ω)
	Napětí (U)	Proud (I)	Napětí (U)	Proud (I)		
477Ω	29,71V	61,2mA	$\delta=0,7+0,05*(60/29,71)$ =±0,8 %	$\delta=1+0,1*(200/61,2)$ =±1,327 %	±2,127%	±10,326
682Ω	29,77V	45,3mA	±0,8 %	$\delta=1+0,1*(200/45,3)$ =±1,442 %	±2,242%	±14,735
1184Ω	29,83V	25,2mA	±0,8 %	$\delta=1+0,1*(200/25,2)$ =±1,794 %	±2,594%	±30,709
2149Ω	29,87V	13,85mA	±0,8 %	$\delta=1+0,1*(200/13,85)$ =±2,444 %	±3,244%	±69,977
580Ω	29,75V	51,1mA	±0,8 %	$\delta=1+0,1*(200/51,1)$ =±1,391 %	±2,191%	±12,756
680kΩ	29,91V	46,8μA	±0,8 %	$\delta=1+0,1*(200/46,8)$ =±1,427 %	±2,227%	±15168,554

5.4 Porovnání metod

6) Finální porovnání všech použitých metod:

Tabulka 14 s konečným porovnáním použitých metod

R	1. metoda	2. metoda	Přímá metoda
477Ω	$R = (483,057 \pm 10,265) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 2,125 \%$	$R = (485,48 \pm 10,326) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 2,127 \%$	$R = (477 \pm 5,816) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm (5,816 / (477/100))$ $= \pm 1,219 \%$
682Ω	$R = (658,447 \pm 14,762) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 2,242 \%$	$R = (657,216 \pm 14,735) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 2,242 \%$	$R = (673 \pm 7,384) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 1,097 \%$
1184Ω	$R = (1174,277 \pm 30,379) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 2,587 \%$	$R = (1183,865 \pm 30,709) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 2,594 \%$	$R = (1187 \pm 11,496) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 0,968 \%$
2149Ω	$R = (2160,967 \pm 70,167) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 3,247 \%$	$R = (2157,128 \pm 69,977) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 3,244 \%$	$R = (2140 \pm 19,12) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 0,893 \%$
580Ω	$R = (582,037 \pm 12,752) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 2,191 \%$	$R = (582,224 \pm 12,756) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 2,191 \%$	$R = (580 \pm 6,64) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 1,145 \%$
680kΩ	$R = (682\,648,298 \pm 15\,407,372) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 2,257 \%$	$R = (681\,120,504 \pm 15\,168,554) \Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 2,227 \%$	$R = (678 \pm 7) \text{ k}\Omega$ $\delta_{(R)} = \pm 1,032 \%$

5.5 Vyhodnocení výsledků měření

Z teorie lze vyčíst, že nejpřesnější měření je pomocí přímé metody. U nepřímé metody je to těžší, jelikož 1. metoda (uspořádání VA) je vhodná pro měření velkých odporů, protože proud procházející rezistorem je velmi malý. To může způsobit značné chyby měření, protože malý proud je obtížné změřit. Z toho důvodu se u této metody měří napětí přímo, jelikož ho lze změřit s větší přesností.

Naopak 2. metoda (uspořádání AV) je vhodná pro malé odpory. V tomto případě je proud protékající rezistorem vyšší. Přesnost měření napětí u této metody ovlivňuje též vnitřní odpor zdroje napětí. Z toho důvodu je vhodné měřit proud přímo, aby se minimalizovaly chyby způsobené vnitřním odporem zdroje napětí.

Tuto teorii lze ověřit v praxi z tabulky v kapitole 4.4, která porovnává všechny tři metody naráz. Na první pohled lze jednoduše vyčíst, že zdaleka nejpřesnější je metoda přímá. Složitější je porovnat výsledky 1. a 2. metody, které jsou s drobnými odchylkami podobné. Zarážející je fakt, že 1. metoda má o něco přesnější výsledky u menších odporů (477Ω, 682Ω, 580Ω), než 2. metoda, ta by měla být přesnější u malých odporů. Naopak 2. metoda je zase přesnější při měření větších odporů (1184Ω, 2149Ω, 680kΩ). Tyto výsledky tudíž neodpovídají teoretickým předpokladům a jsou do značné míry ovlivněny chybami uvedené v kapitole 3.2.

6 Ekonomické hledisko problematiky

Celá kapitola 5 čerpá z následujících zdrojů: (31) (32)

V ekonomii existuje též synonymum pro fyzikální veličinu, nazývá se metrika, tento termín se používá k označení různých statistických ukazatelů, které slouží k měření různých jevů a vztahů. Tyto ukazatele jsou obvykle odvozeny z analýzy relevantních dat pro daný jev. Metriky jsou speciální jednotky s konkrétním významem pro konkrétní oblast, zde jsou uvedeny některé příklady (33):

Hrubý domácí produkt (HDP) je peněžním vyjádřením celkové hodnoty statků a služeb nově vytvořených v daném období na určitém území; používá se pro stanovení výkonnosti ekonomiky. HDP je ukazatel hospodářského růstu a celkové ekonomické aktivity v zemi. Může být spočten třemi způsoby: produkční metodou, výdajovou metodou a důchodovou metodou. Vzorec výpočtu výdajové metody HDP:

$$HDP = C + I_B + G + E_N$$

C – výdaje domácností na spotřebu

I_B – soukromé hrubé domácí investice

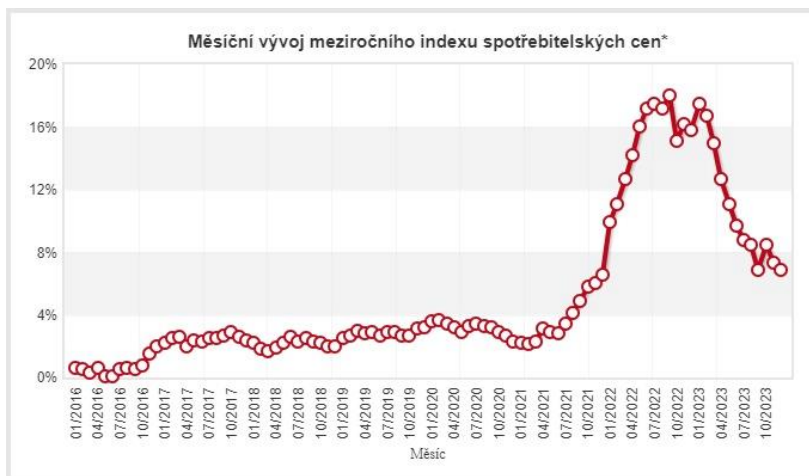
G – státní nákupy výrobků a služeb

E_N – čistý export

(33)

Inflace vyjadřuje opakovaný růst celkové úrovně cen v dané ekonomice v průběhu času. Jde o oslabení reálné hodnoty dané měny vůči zboží a službám, které spotřebitel kupuje. V praxi je inflace v oblasti spotřebitelských cen měřena jako přírůstek indexu spotřebitelských cen. V ČR inflaci měří Český statistický úřad (31):

Obrázek 19 Míra inflace vyjádřená přírůstkem indexu spotřebitelských cen ke stejnému měsíci předchozího roku



Zdroj: https://www.czso.cz/csu/czso/inflace_spotrebitelske_ceny

Deflace je opakem inflace. Jedná se o ekonomický stav, kdy se zvyšuje kupní síla peněz, což vede k celkovému poklesu cen zboží a služeb. Může být způsobena snížením nabídky peněz nebo úvěrů, snížením investic a spotřeby nebo zvýšením nabídky zboží. (32)

Nezaměstnanost je stav, kdy dochází k nerovnováze na trhu práce. Nabídka práce, kterou lidé nabízí, je vyšší než poptávka firem po zaměstnancích. Její rozsah se měří ukazatelem míry nezaměstnanosti:

$$n = \frac{N}{L} * 100 (\%)$$

n – míra nezaměstnanosti

N – počet nezaměstnaných

L – celkový počet praceschopných, kteří pracují nebo se ucházejí o pracovní místo (ekonomicky aktivní obyvatelstvo)

(31)

I přesto, že se metriky v ekonomii a fyzikální jednotky zdají na první pohled odlišné, mají společné principy měření a vyjadřování hodnot. Standardizované jednotky umožňují srovnávání a porovnávání veličin, což usnadňuje komunikaci mezi odborníky a mezi různými regiony. Oba typy jednotek umožňují vytvářet složené jednotky a používají podobné prefixy pro změnu hodnot o řády. Přestože se v obou oblastech pracuje s odlišnými veličinami, existují obecné principy měření a matematické analýzy, které se využívají při práci s metrikami v ekonomii i ve fyzikálních jednotkách. (31) (33)

7 Závěr

Tato práce se zaměřila na problematiku měření fyzikálních veličin, které je základním prvkem vědeckého poznání a technického pokroku. Na základě teoretických poznatků je kladen důraz na důležité informace o jednotlivých veličinách a jednotkách uvedených v soustavě SI.

Toto zkoumání přineslo jasný obraz o tom, že soustava SI obsahuje dokonalý metrický systém, který je o dost jednodušší, přehlednější, a tudíž i ekonomicky výhodnější než systém používaný v soustavě americké (34). Z toho důvodu je rozumné do budoucna vytvořit jednotný metrický systém, jež by používaly všechny státy světa. Praktickým příkladem pro tuto úvahu je vědecká sonda Mars Climate Orbiter (MCO), která se vlivem navigačního selhání zřítila na planetu Mars v prosinci 1999. Zdrojem selhání byl fakt, že řídicí tým firmy Lockheed Martin v Denveru, který sondu sestavil, používal při práci americké jednotky vzdálenosti, zatímco řídicí středisko vesmírné agentury v Pasadeně počítalo již vše v metrickém systému. Mise za 125 milionů dolarů tak skončila náhle a bez jakéhokoliv vědeckého přínosu. (35)

Druhá polovina práce se zabývá samotnými metodami měření jednotlivých veličin, zejména pak jejich postupem a chybami, kterých se lze při měření dopustit. Z těchto informací lze dojít

k závěru, že správná volba metody měření a kvalitní měřicí přístroje jsou základem pro získání spolehlivých dat a informací.

Při zpracování dané problematiky jsem došel k uvědomění, že měření fyzikálních veličin je dynamický proces, který nikdy nekončí. Je tedy nezbytné, aby vědecká komunita pokračovala ve výzkumu nových metod a technologií v této oblasti, aby mohla lépe porozumět fyzikálním jevům a využít je pro inovace a pokrok společnosti.

8 Zdroje

1. **HALLIDAY, P., RESNICK, R., WALKER, J.** *Fyzika, český překlad P. Dub a kol.* Brno : VUTIUM, 2000.
2. **Kovanda, Jan.** *Přístroje pro měření fyzikálních veličin: základní poznatky o konstrukci a použití nejběžnějších měřících přístrojů.* Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1965.
3. **Ing. Miroslav Pospíšil (VIM), Ing. Vladimír Ludvík (VIML).** Terminologie z oblasti metrologie. *homel.vsb.cz.* [Online] 2010. [Citace: 10. Říjen 2023.] chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/podklady_vyuka/terminologie_metrolog2010.pdf.
4. **redakce Elektro.** Soustava SI- Předefinování současných definic. *odbornecasopisy.cz.* [Online] Únor 2010. [Citace: 18. Říjen 2023.] <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40491.pdf>.
5. **Education Development Center.** MEASUREMENT: LENGTH, WIDTH, HEIGHT, DEPTH. *elementarymath.edc.org.* [Online] 2020. [Citace: 18. Říjen 2023.] <https://elementarymath.edc.org/resources/measurement-length-width-height-depth/>.
6. **Maršák, Jan.** Hmotnost, energie a hmotnost. *clanky.rvp.cz.* [Online] Metodický portál, 3. Červenec 2007. [Citace: 25. Říjen 2023.] <https://clanky.rvp.cz/clanek/o/z/1484/HMOTA-ENERGIE-A-HMOTNOST.html>.
7. **Banks, Michael.** New definition of the kilogram comes into force. *physicsworld.com.* [Online] IOP Publishing, 17. Květen 2019. [Citace: 25. Říjen 2023.] <https://physicsworld.com/a/new-definition-of-the-kilogram-comes-into-force/>.
8. **institut, Český metrologický.** Státní etalon frekvence a času. *www.cmi.cz.* [Online] [Citace: 25. Říjen 2023.] <https://www.cmi.cz/node/427>.
9. **MECHLOVÁ, E., KOŠŤÁL a spol.** *Výkladový slovník fyziky.* Praha : Prometheus, 1999. ISBN 80-7196-151-5.

10. **Masarykova univerzita.** Látkové množství- teorie. *is.muni.cz*. [Online] 2008. [Citace: 30. Říjen 2023.] https://is.muni.cz/th/106381/prif_m/out/ch03s02s01.html.
11. **Jaroslav Reichl, Martin Všeticka.** <http://fyzika.jreichl.com/>. *Elektrický proud jako děj a jako fyzikální veličina*. [Online] Encyklopedie fyziky, 27. Prosinec 2008. [Citace: 30. Říjen 2023.] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/238-elektricky-proud-jako-dej-a-jako-fyzikalni-velicina#>.
12. **CVUT.** Fotometrie. <http://aldebaran.feld.cvut.cz/>. [Online] 25. Listopad 2020. [Citace: 30. Říjen 2023.] <http://aldebaran.feld.cvut.cz/vyuka/konicek/F2-B1B02FY2/materialy/fotometrie.pdf>.
13. **Ing. Bohumír Garlík, CSc.** UMĚLÉ OSVĚTLENÍ V BUDOVÁCH. *tzb.fsv.cvut.cz*. [Online] 13. Březen 2008. [Citace: 30. Říjen 2023.] <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125yuob/prednasky/tz41-01.pdf>.
14. **Zaborowski, Robert.** Svítivost. *techniled.cz*. [Online] 2015. [Citace: 30. Říjen 2023.] <http://www.techniled.cz/25-svitivost/>.
15. **RNDr. Jiří Mikulčák, CSc., RNDr. Jura Charvát, CSc. a spol.** *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. Praha : Prometheus, 2003. ISBN 978-80-7196-264-9.
16. **SEDLÁK, Bedřich a ŠTOLL, Ivan.** *Elektřina a magnetismus*. Praha : ACADEMIA, 2002. ISBN 80-200-1004-1.
17. **Jezbera, Daniel.** Úvod do fyzikálních měření. *lide.uhk.cz*. [Online] Leden 2012. [Citace: 15. Listopad 2023.] https://lide.uhk.cz/prf/ucitel/jezbeda1/uvod_do_fyzikalnich_mereni-01-2012.pdf.
18. **Doc.RNDr. Vilém Mádr, CSc., Ing. Jaromír Knejzlík, CSc., Doc. RNDr. Jan Kopečný, CSc., Doc. RNDr. Ivo Novotný, CSc.** *Fyzikální měření*. Praha : SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1991. 80-03-00266-4.
19. **Brož, Prof. RNDr. Jaromír.** *Základy fyzikálních měření I*. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1983. 14-505-83.
20. **Englich, Jiří.** *Úvod do praktické fyziky I*. Praha : MatfyzPress, 2006. ISBN 80-86732-93-2.
21. **Koupý, Leoš.** Jaké známe chyby měření? *elektrika.cz*. [Online] Elektrika.info s.r.o., 7. Srpen 2015. [Citace: 28. Listopad 2023.] <https://elektrika.cz/data/clanky/chyby-mereni>.
22. **Jakovlev, Konstantin Pavlovič.** *Matematické zpracování výsledků měření*. Praha : SNTL - Státní nakladatelství technické literatury, 1958. ISBN 03/05.

23. **Milan, Brožek.** *Základy strojírenské technologie: (návody na cvičení).* Praha : Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 2001. ISBN 80-213-0724-2.
24. **Skákala, Jozef, Silný, František a Sochor, Karel.** *Metrologie hmotnosti: Přesné vážení v laboratořích.* Praha : Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1976.
25. **Katori, Professor Hidetoshi.** The elusive nature of precision in the measurement of time. *u-tokyo.ac.jp*. [Online] University of Tokyo, 2015. [Citace: 9. Leden 2024.] https://www.u-tokyo.ac.jp/en/about/publications/tansei/11/measurement_of_time.html.
26. **Vlček, Jiří.** *Měření elektrických veličin.* Praha : BEN, 1998. A 35164.
27. **TME Electronic Components.** UT191EUNI-T. *tme.eu*. [Online] TME Electronic Components. [Citace: 23. Leden 2024.] <https://www.tme.eu/cz/details/ut191e/digitalni-multimetry-prenosne/uni-t/>.
28. **Dexhal.** UNI-T UT131A. *dexhal.cz*. [Online] Dexhal. [Citace: 23. Leden 2024.] https://www.dexhal.cz/multimetr-uni-t-ut131a_z3131/.
29. **MERCONTROL EU s.r.o.** Mastech MY-64 - Multimetr. *revizeshop.cz*. [Online] webareal. [Citace: 23. Leden 2024.] <https://www.revizeshop.cz/Mastech-MY-64-Multimetr-d711.htm>.
30. **ISŠT Benešov.** Měření elektrických veličin. *isstbn.cz*. [Online] ISŠT Benešov, 8. Září 2013. [Citace: 23. Leden 2024.] <https://www.isstbn.cz/soubor/vy-32-inovace-477-pdf/>.
31. **Kamil Fuchs, Pavel Tuleja.** *Základy Ekonomie.* Praha : Ekopress s.r.o., 2003. ISBN 80-86119-74-2.
32. **Venci, Ing. Jiří.** Deflace: Co je to deflace? A jaké má příčiny a dopady? *finex.cz*. [Online] FINEX MEDIA s.r.o., 15. Listopad 2019. [Citace: 16. Leden 2024.] <https://finex.cz/deflace/>.
33. **Paul A. Samuelson, William D. Nordhaus.** *Ekonomie.* Praha : Nakladatelství Svoboda, 1991. ISBN 80-205-0192-4.
34. **Rojek, Lukáš.** Coul, palec, metr a kilogram, znáte jejich poměry? *www.top-armyshop.cz*. [Online] 25. Duben 2019. [Citace: 18. Březen 2024.] <https://www.top-armyshop.cz/magazin/angloamericka-merna-soustava>.
35. **Straka, Vít.** Mars Climate Orbiter: Omyl za miliony dolarů. *www.stoplusjednicka.cz*. [Online] Extra Publishing, s. r. o., 23. Září 2019. [Citace: 7. Březen 2024.] <https://www.stoplusjednicka.cz/mars-climate-orbiter-omyl-za-miliony-dolaru>. ISSN 1804-9907.

9 Seznam obrázků

Obrázek 1 Dřívější prototyp kilogramu, kovový váleček uložený ve francouzském Sèvres	13
Obrázek 2 Teplotní body různých teplotních stupnic	15
Obrázek 3 Ustálený proud I ve vodiči má stejnou velikost v průřezech a, b, c.	16
Obrázek 4 Diagram svítivosti	18
Obrázek 5 Značení rezistorů	20
Obrázek 6 Rezistory. Barevné proužky na rezistorech označují hodnotu jejich odporu.	20
Obrázek 7 Ocelová měřítka	25
Obrázek 8 Odečítání údajů na stupnici dálkového měřidla	25
Obrázek 9 Posuvné měřítko	26
Obrázek 10 Mikrometrický šroub	26
Obrázek 11 U-manometr	27
Obrázek 12 Princip barometru	28
Obrázek 13 Technické váhy a jejich popis	29
Obrázek 14 Laboratorní tenzometrické váhy KERN PFB 1200-2	29
Obrázek 15 Japonské kryogenické optické mřížkové hodiny	30
Obrázek 16 Analogový voltmetr P3296	31
Obrázek 17 Schématické zapojení voltmetru a ampérmetru	32
Obrázek 19 1. a 2. metoda	34
Obrázek 18 Míra inflace vyjádřená přírůstkem indexu spotřebitelských cen ke stejnému měsíci předchozího roku.....	38

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní fyzikální veličiny a jednotky	11
Tabulka 2 Doplnkové jednotky soustavy SI	12
Tabulka 3 Řádové velikosti a rozměry.....	12
Tabulka 4 Řádové doby vybraných dějů.....	14
Tabulka 5 Teplotní stupnice.....	15
Tabulka 6 Hodnoty svítivosti některých zdrojů světla	17
Tabulka 7 Vybrané odvozené jednotky SI se zvláštními názvy	18
Tabulka 8 Předpony SI.....	20
Tabulka 9 Počáteční tabulka s naměřenými hodnotami z elektrického obvodu	34
Tabulka 10 s vypočítanými odpory R (po odečtu R_A a R_V).....	35
Tabulka 11 s údaji o chybě v přímé metodě (rozsah multimetru: $\pm 0,8 \%+2$).....	35
Tabulka 12 s údaji o chybě v 1.metodě.....	35
Tabulka 13 s údaji o chybě ve 2. metodě	36
Tabulka 14 s konečným porovnáním použitých metod	37