

# 1. Úvod do měření

## Úkoly měření:

1. Seznámení se s měřicími přístroji a součástkami – laboratorní regulovatelný zdroj stejnosměrného napětí, Voltův článek, ampérmetr, voltmetr, rezistor, vodiče, uzly.
2. Seznámení se s měřicími přístroji – posuvné měřítko, mikrometr, laboratorní váhy.

## Použité přístroje a pomůcky:

1. Zdroj stejnosměrného napětí (galvanický článek), ampérmetr, voltmetr, spojovací vodiče, uzly.
2. Posuvné měřítko opatřené nóniem, mikrometr, laboratorní váhy.
3. Technické listy jednotlivých přístrojů (k určení tříd přesnosti pro jednotlivé rozsahy).

## Měření délky – základní pojmy, teoretický úvod:

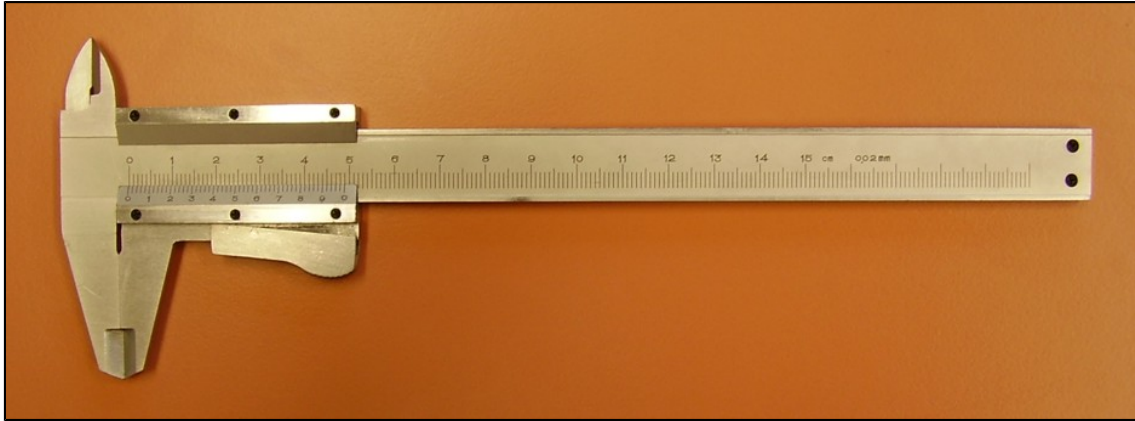
V laboratořích fyziky budeme k měření délky těles používat dřevěné měřítko, posuvné měřítko a mikrometr. Přesnost čtení u dřevěného měřítka je 1 mm, v optimálním případě můžeme odhadnout délku s přesností na 0,5 mm.

Za předpokladu, že měříme menší tělesa a potřebujeme jejich délku určit s vyšší přesností, využijeme posuvné měřítko s noniem, popřípadě mikrometr.

## **Posuvné měřítko**

Pro přesnější měření rozměrů menších těles budeme v laboratořích používat posuvné měřítko. Mechanické měřítko existuje ve dvou základních provedeních – s posuvným noniem nebo otočným ciferníkem.

Posuvné měřítko používané v laboratořích fyziky můžeme vidět na obr. 1. Posuvné měřítko se skládá ze dvou částí - pevné a posuvné. Můžeme jím měřit jak vnitřní tak vnější rozměry těles a také hloubku. K měření vnějších rozměrů slouží větší ramena a měřený předmět se vkládá mezi ně. K měření vnitřních rozměrů (třeba velikosti otvoru) se používají krátká ramena na opačné straně a měří se roztažením těchto ramen. K měření hloubky se používá výsuvná část vpravo na měřidle a používá se tak, že se měřítko hranou opře o okraj tělesa a vysune se posuvná část tak dlouho, až se hrot dotkne dna, následně se odečte hodnota na stupnici.



Obr. 1 Posuvné měřítko

Při měření vnějších rozměrů se předmět vkládá mezi dvě velké čelisti. Hlavní pevná část je opatřena stupnicí, zatímco druhá část čelistí je posuvná a na ní uveden nonius, viz detail na obr. 2. Hlavní stupnice je dělená na mm, nonius v našem případě má 50 dílků a tak jím můžeme měřit s přesností na 0,02 mm.

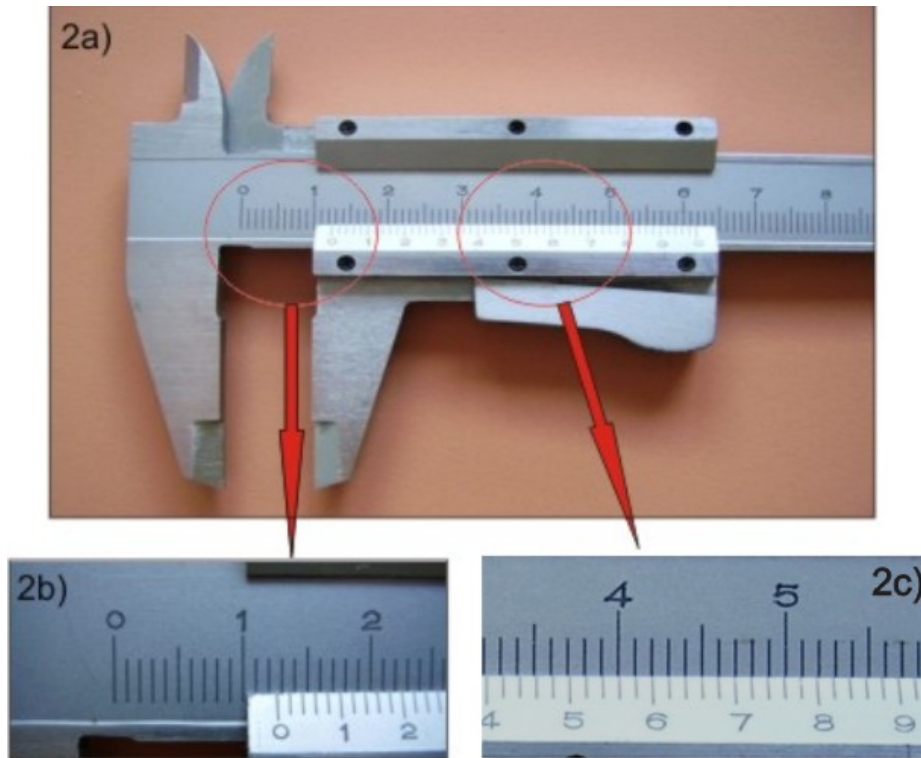
*Otázka zvědavého studenta: „Co je to ten nonius?“*

Nonius (někdy se používá i název vernier, oba názvy jsou jmény objevitelů) je pomocná stupnice používaná pro přesnější čtení desetin a menších zlomků nejmenších dílků stupnice. Jeho stupnice bývá obvykle rozdělena na 10 dílků – možnost odečítat přesně na jednu desetinu, 20 dílků – odečítáme s přesností na 5 setin, 50 dílků – měříme s přesností na 2 setiny nejmenšího dílku hlavní stupnice.

Jednotlivé dílky nonia jsou menší než dílky hlavní stupnice. U původních měřidel s noniem rozděleným na 10 dílků byla jejich délka taková, aby se kryl nultý a desátý dílek stupnice.

*Jak to tedy funguje?*

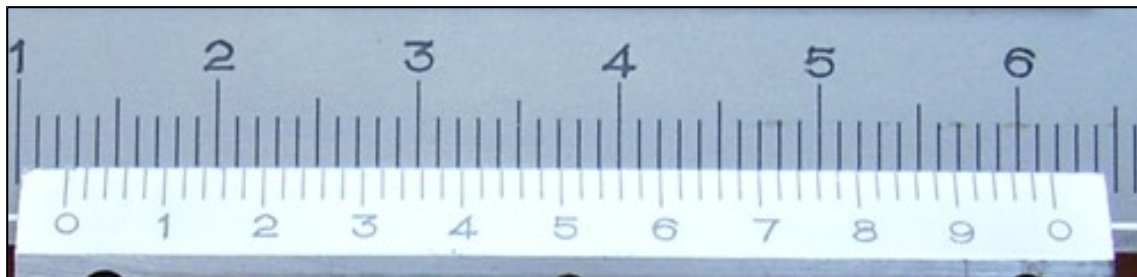
Využijeme detail posuvného měřítka na obr. 2 a 3. Na posuvném měřítku byla náhodně nastavena délka a naším úkolem je určit jaká. V prvním kroku určíme počet celých mm, který nám ukáže nultá ryska nonia na hlavní stupnici. V našem případě je to 12 mm. Další desetinná místa nám ukáže nonius. Pozorně prohlédneme celou stupnici nonia a zjistíme, která ryska nonia se jako nejpřesněji kryje s ryskou hlavní stupnice. Čísla na stupnici nonia značí desetiny milimetru. Dle obrázku je to třetí ryska vpravo od hodnoty 6 na noniu. Hodnota 6 odpovídá 0,6 mm. Mezi dvěma desetinnými je pět dílků, to znamená, že jeden dílek odpovídá  $0,1/5 = 0,02$  mm. Třetí ryska proto značí  $3 \cdot 0,02$  mm, což je 0,06 mm. Námí nastavené hodnoty na posuvném měřítku je tedy  $12 + 0,6 + 0,06 = 12,66$  mm.



*Obr. 2 Posuvné měřítko*

*2a) celkový pohled na čelisti 2b) Měření na hlavní stupnici*

*2c) Měření na noniu*



*Obr. 3 Detail nonia*

## Mikrometr

V případě, že nám přesnost 0,02 mm nestačuje a rozměry tělesa nejsou velké (do 25 mm), můžeme při měření využít mikrometr. Mikrometr používaný v laboratoři a zobrazený na obr. 4 využívá přesný tzv. mikrometrický šroub se stoupáním 0,5 mm a čtecí hlavice nám umožňuje měřit s přesností na 0,01 mm.

Podobně jako posuvné měřítko se i mechanický mikrometr, který budeme používat pro měření rozměrů těles, skládá ze dvou hlavních částí – pevné a pohyblivé. Pohyblivá část se posouvá otáčením válcové části. Při otáčení můžeme využít buď jeho tenkou vroubkovanou část – pro rychlý posun, nebo tlustou vroubkovanou část – pro sevření měřeného předmětu. Tato otočná část s větším průměrem, tzv. bubínek, je opatřena kluznou spojkou, která začne prokluzovat v případě, že je těleso utaženo požadovanou silou pro měření. Tím je zaručeno dosažení stále stejného tlaku měřících ploch na předmět a relevantnosti měření. Na druhé straně je to také ochrana před poškozením měřeného předmětu a mikrometrického šroubu při dotažení velkým momentem. U digitálního mikrometru, bývá kluzná spojka spojena s válcovou částí s menším průměrem.



*Obr. 4 Mikrometr*

### *Jak se s mikrometrem měří?*

Mikrometr má dvě stupnice. Jedna z nich je vodorovná a skládá se ze dvou částí vzájemně posunutých o 0,5 mm, druhá je k ní kolmá, umístěná po obvodu na otočné části mikrometru. Jedné otáčce šroubu odpovídá posun dotykových ploch o 0,5 mm

Horní část vodorovné stupnice nám udává celé mm, spodní část pak poloviny mm. Délku tedy nejprve určujeme na vodorovné stupnici tak, že určíme počet odkrytých mm. Pokud je odkryta ještě i ryska na spodní stupnici, připočítáme ještě 0,5 mm. V případě uvedeném na obr. 5 jsou to 4 mm z horní stupnice (pátá ryska ještě není odkryta celá) plus 0,5 mm ze spodní, tedy 4,5 mm. Nyní si musíme všimnout otočné stupnice na bubínku. V zákrytu s vodorovnou ryskou je 39. dílek, přičemž jeden dílek odpovídá hodnotě 0,01 mm. Tedy k našemu dílčímu výsledku musíme ještě připočítat  $39 \cdot 0,01$  mm, tedy 0,39 mm. Po součtu dílčích výsledků nám tedy vyjde skutečná délka a to  $4,50$  mm +  $0,39$  mm, což je 4,89 mm.



*Obr. 5 Detail stupnic na mikrometru*

V praxi se také můžete setkat s digitální formou posuvných měřitek a mikrometrů. Jejich výhodou je snadné odečítání hodnot přímo na displeji. Při jejich používání nezapomeňte před vlastním měřením vynulovat hodnotu na displeji při sevřených čelistech tlačítkem Reset nebo Zero.

## Měření elektrických veličin – základní pojmy, teoretický úvod:

### Měřicí přístroje

Podle druhu měřené veličiny je to například:

- a) voltmetr – pro měření napětí,
- b) ampérmetr – pro měření proudu,
- c) ohmmetr – pro měření odporu,
- d) wattmetr – pro měření výkonu elektrického proudu.

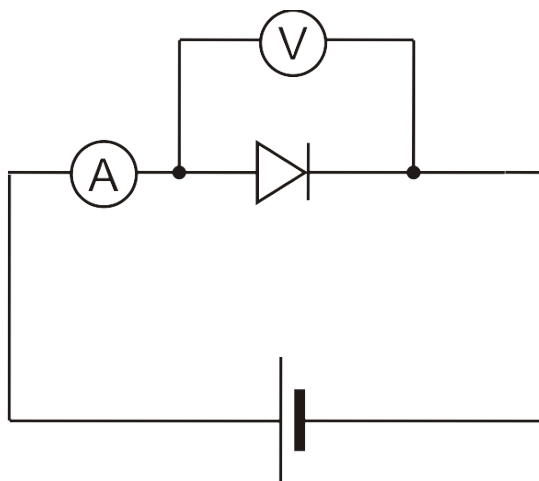
Konstrukčně je dělíme na analogové a digitální. Analogové vyhodnocují měřenou veličinu spojitě pomocí pohybujícího se ukazatele (ručička). Digitální vyhodnocují veličinu numericky a zobrazují ji na displeji.

### Voltmetr

Přístroj k měření napětí (rozdílů potenciálů) se nazývá voltmetr. Při měření napětí mezi dvěma body obvodu připojujeme voltmetr mezi tyto body a měřený obvod nepřerušujeme.

### Ampérmetr

Přístroj používaný k měření proudu se nazývá ampérmetr. Abychom mohli měřit proud ve vodiči, musíme obvod přerušit a vložit ampérmetr, takže proud následně prochází přístrojem.



Obr. 6 Způsob zapojení voltmetru a ampérmetru pro měření V-A diody vpropustném směru

### Zapojení a nastavení multimetrů - voltmetr a ampérmetr

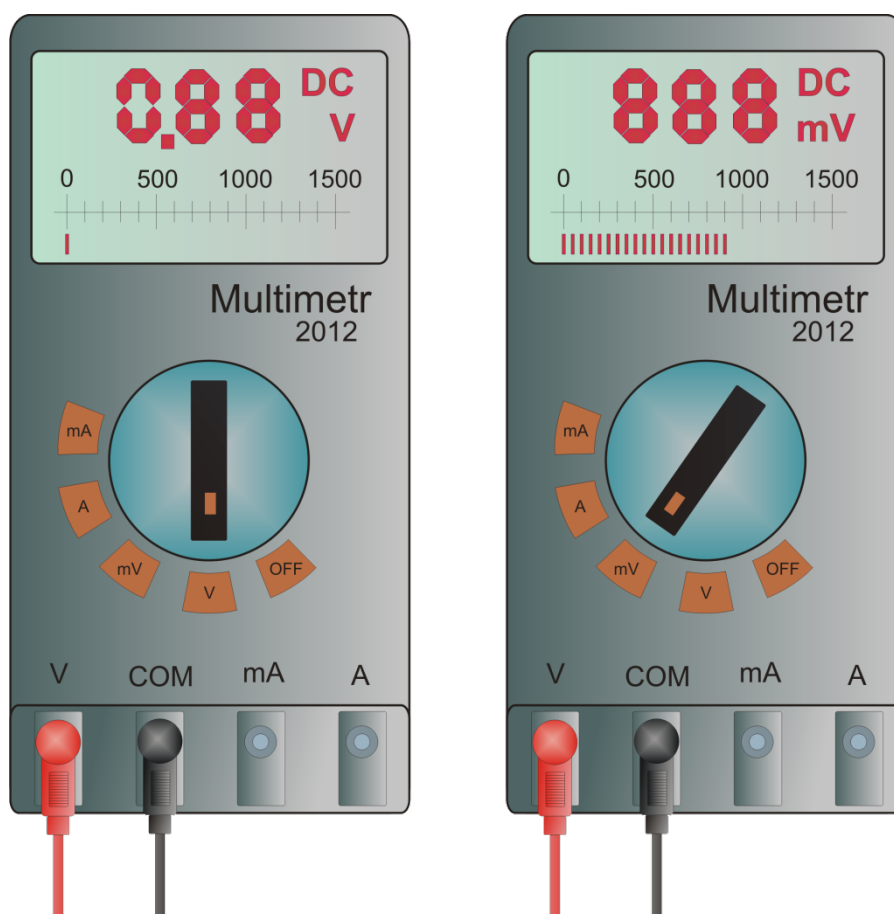
Značným problémem mezi studenty v laboratorním cvičení bývá zapojení multimetrů do obvodu. Schéma zapojení, připojení měřících kabelů a nastavení rozsahu ukazují obrázky 6 až 8. U připojení měřících kabelů platí, že vždy je jeden vodič připojen k vstupu s označením „COM“ a druhý vodič se připojuje dle požadované měřené veličiny.

- Voltmetr

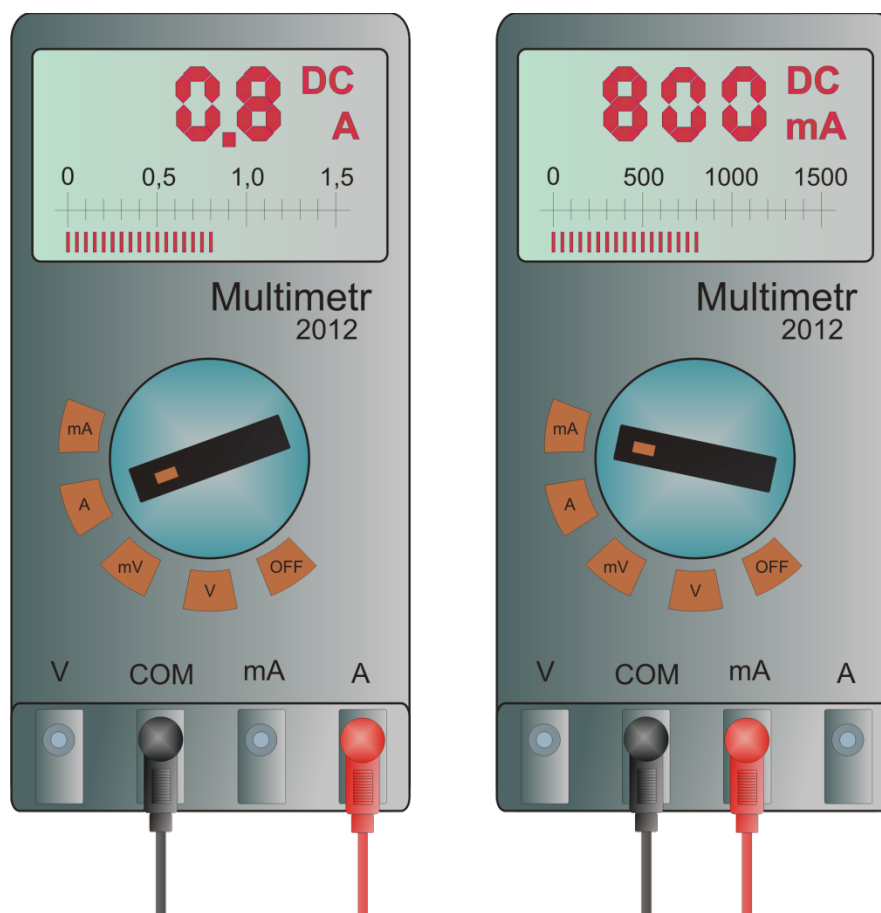
Pokud chceme pracovat s voltmetrem (Obr. 7), tak je jeden měřící kabel připojen k vstupu s označením „COM“ a druhý k vstupu s označením „V“ a následně zvolíme rozsah přístroje pootočením přepínače do polohy označené „V“. Pokud bude napětí zobrazené na displeji malé, tak přepneme rozsah na „mV“ (pootočíme přepínač).

- **Ampérmetr**

Pokud požadujeme ampérmetr (Obr. 8), tak je na multimetru opět jeden konektor připojen k „COM“ a druhý připojíme do vstupu s označením „A“, resp. „mA“. Záleží na předpokládané velikosti proudu. V praxi se postupuje tak, že se vždy zvolí nejvyšší rozsah přístroje a v případě zobrazených nízkých hodnot na displeji se postupně přepíná na nižší rozsahy. Připojení konektoru (při vypnutém zdroji) do svorky s označením „mA“ následně vyžaduje také pootočení přepínače rozsahu do správné polohy označené symbolem „mA“.



Obr. 7 Voltmetr - Zapojení měřících kabelů do multimetru, vlevo – voltmetr s rozsahem ve voltech (V), vpravo voltmetr s měřícím rozsahem v milivoltech (mV)



Obr. 8 Ampérmetr - Zapojení měřících kabelů do multimetru, vlevo – ampérmetr s rozsahem v ampérech (A), vpravo ampérmetr s měřícím rozsahem v miliampérech (mA)

Při práci s multimetry se obvykle setkáme s několika pojmy zobrazenými na displeji. Kromě obvyklých a tedy i všeobecně známých zkratk (bývají obvykle odvozené od veličin, které měříme anebo od jejich jednotek např. A, mA, V, mV), se můžeme setkat i s několika méně známými (např. DC, AC). Bohužel bez znalosti toho, co znamenají, nedokážeme správně nastavit multimetr a tedy korektně měřit data.

Co tedy zkratky „AC“ a „DC“ znamenají?

„AC“ – z anglického *Alternating current* - střídavý proud: je to termín označující elektrický proud, jehož směr se periodicky střídá. Například při námi v domácnosti běžně používané síťové frekvenci 50 Hz se směr proudu změní každých 10 milisekund.

„DC“ – z anglického *Direct current* - stejnosměrný proud: je to elektrický proud, který má stále stejný směr, na rozdíl od proudu střídavého.

Takže, co to pro nás v praxi znamená?

Musíme tedy nejen vybrat správnou veličinu a její jednotku, ale v některých případech také stejnosměrný anebo střídavý režim. Je tedy nezbytně nutné se před měřením seznámit s jednotlivými přístroji a také pečlivě prostudovat zadání úkolu včetně schémat zapojení.



## Přesnost měřicích přístrojů

Měření na nějakém přístroji nikdy není absolutně přesné. Přesnost měření závisí na použitém přístroji (některé přístroje například mohou mít lépe vykompenzován vliv teploty na naměřený výsledek než jiné). Proto u dobrých přístrojů jejich výrobce udává jejich přesnost.

### Aditivní chyba

Chyby přístroje mohou být aditivní, které jsou nezávislé na velikosti měřené veličiny. Aditivní chyba může být například způsobena posunutím stupnice přístroje, kdy přístroj ukazuje hodnotu lišící se o konstantní rozdíl od správné hodnoty. Můžeme si představit voltmetr, který měří o 0,1 menší hodnotu: například naměříme-li napětí 1,0 V, je správná hodnota 1,1 V a naměříme-li 10,0 V, je správná hodnota 10,1 V. Je vidět, že aditivní chyby omezují použití přístroje v oblasti malých hodnot (na začátku stupnice).

### Multiplikativní chyba

Druhým typem chyby je chyba multiplikativní, která je úměrná velikosti měřené veličiny. Můžeme si představit přístroj, který měří o 1 % menší hodnotu: například naměříme-li napětí 1,00 V, je správná hodnota 1,01 V a naměříme-li 10,0 V, je správná hodnota 10,1 V,

### Třída přesnosti

Přesnost přístroje popisuje veličina **třída přesnosti měřicího přístroje**. Ta je definována vztahem

$$T_p = \frac{\Delta x}{x_{\max} - x_{\min}} \cdot 100$$

kde  $\Delta x$  je maximální přípustná absolutní chyba přístroje (skutečná chyba přístroje je s pravděpodobností 99,7 % menší než  $\Delta x$ ) a  $x_{\max} - x_{\min}$  je měřicí rozsah přístroje. Třída přesnosti se zpravidla udává v procentech (proto ta stovka ve vzorci) a zaokrouhluje se nahoru na nejbližší hodnotu normalizované řady 6 %, 4 %, 2,5 %, 1,5 %, 1,0 %, 0,5 %, 0,2 %, 0,1 %, 0,05 %, 0,02 %, 0,01 %, 0,005 %, 0,002 %, 0,001 %. Bývá doplněna o značku typu chyby ( $\delta_s$  pro multiplikativní nebo  $\delta_0$  pro aditivní chybu). Na ručičkových přístrojích se třída přesnosti udává v pravém dolním rohu stupnice. U digitálních přístrojů je možné ji nalézt většinou jen v dokumentaci.

### Praktické příklady

Prastarý **ručičkový AVOMET** (obr. 9) má třídu přesnosti 1,5 pro stejnosměrné (viz. číslo 1.5 vpravo dole nad rovnou čárkou značící stejnosměrné veličiny) a 2,5 pro střídavé rozsahy (viz. číslo 2.5 vpravo dole nad vlnovkou značící střídavé veličiny). Na stejnosměrném rozsahu do 6 V byla naměřena hodnota 4,35 V. Chyba je  $6 \cdot 1,5 / 100 = 0,09$  V. Zapišeme  $U = (4,35 \pm 0,09)$  V.



Obr. 9: Stupnice přístroje AVOMet

Solidní (1 800 Kč) **digitální multimetr METEX 3270D** má v dokumentaci uvedenu pro měření střídavého napětí na rozsahu do 300 V přesnost  $(1,0 \% + 3 \text{ čísla})$ . Byla naměřena hodnota 238,9 V. Z manuálu není zřejmé, jestli se je přesnost 1 % z rozsahu nebo 1 % z měřené hodnoty. Proto budeme pracovat s méně příznivou variantou, že se jedná o 1 % z rozsahu. Display je čtyřmístný, to při rozsahu 300 V znamená, že poslední místo znázorňuje desetiny a chyba může být trojka na posledním místě (číslo 3 pak odpovídá 0,3 V). Chyba je  $300 \cdot 1,0 / 100 + 0,3 = 3,3 \text{ V}$ . Zápis by mohl vypadat  $U = (239 \pm 4) \text{ V}$ .

Levný (500 Kč) **digitální multimetr UT33A** má v dokumentaci uvedenu pro měření střídavého napětí na rozsahu do 400 V přesnost  $(1,2 \% + 3)$ . Byla naměřena hodnota 234,2 V. Číslo 3 znamená podobně jako u předchozího přístroje, že chyba může být tři na posledním místě naměřené hodnoty (jiné přístroje mohou mít tuto chybu označenou buď nijak jako u tohoto přístroje, ale můžeme se potkat i se zápisem 3d, 3dig nebo 3dgt). Display je čtyřmístný, to při rozsahu 400 V znamená 0,3 V. Chyba je  $400 \cdot 1,2 / 100 + 0,3 = 5,1 \text{ V}$ . Zápis by mohl vypadat  $U = (234 \pm 6) \text{ V}$ .

### Další metody uvádění chyb přístrojů

V předchozí části jsme si ukázali, že chyba přístroje byla v minulosti u analogových přístrojů definována třídou přesnosti, zatímco v současné době se nejčastěji používá popis chyby v procentech spojený s maximální odchylkou na posledním místě displaye. V praxi se však méně často můžeme setkat i s jinými zápisy. Používají se tyto zkratky: ppm - jedna miliontina (parts per milion); MH - měřená hodnota; MR - měřicí rozsah; MHMR - maximální hodnota měřicího rozsahu (totéž co MR); dig - číslice.

0,1 % MH + 0,05 % MHMR

100 ppm MH + 80 ppm MHMR

1 % MH + 4 dig

1 % + 0,02

0.5 % of Reading + 0.2 % Full Scale (0,5 % naměřené hodnoty + 0,2 % rozsahu)

0.5 % of reading + 0.2 % of range (0,5 % naměřené hodnoty + 0,2 % rozsahu)

0.5 % of rdg + 3 dgt (0,5 % naměřené hodnoty + 3 na posledním místě)

## **Odhad přesnosti neznámého přístroje**

V praxi se můžeme setkat i s přístrojem, ke kterému nemáme údaj o přesnosti. Pak mezní chybu odhadneme jako hodnotu, která odpovídá nejmenšímu dílku na stupnici přístroje, případně nejmenšímu rozdílu na displayi. Tento odhad vychází z předpokladu, že na jedné straně nemá pro výrobce smysl dělat stupnici s jemnějším dělením, než odpovídá přesnosti, a na druhé straně by zároveň nebylo rozumné dělat přístroj přesnější, než je schopen zobrazit. Všimněme si, že u příkladů přístrojů výše přesnost řádově odpovídá poslední číslici a s přístrojem, který by měl uvedeno třeba +50 dig. se asi setkáme zřídka. Stejně postupujeme i u mechanických měřidel jako je třeba posuvné měřítko. Nejmenší dílek na posuvném měřítku odpovídá 0,05 mm, proto budeme počítat s chybou 0,05 mm.

### Seznam doporučené literatury:

- [1] Halliday D., Resnick R., Walker J.: Fyzika, VUT v Brně, Nakladatelství VUTIUM, (2000).
- [2] Meloun M., Militký J.: Statistická analýza experimentálních dat, Academia, Nakladatelství Akademie věd České republiky (2004).