

## Úloha I.E ... nabitá brambora

8 bodů; průměr 3,40; řešilo 63 studentů

Změřte zátěžovou charakteristiku brambory jako zdroje elektrického napětí se zapojenými elektrodami z různých kovů.

Karel přemýšlel nad jednoduchými pokusy.

## Teorie

Vložíme-li kovovou elektrodu do roztoku iontů téhož kovu v polárním rozpouštědle, začnou se z kovu uvolňovat kationty, čímž se elektroda nabíjí záporně a roztok kladně. Dochází také k reakci opačné, kdy se ionty z roztoku vylučují na elektrodě a předávají jí kladný náboj. Po jistém čase vznikne dynamická rovnováha a ustálí se napětí mezi elektrodou a roztokem. Tato soustava se nazývá poločlánek. Napětí nelze přímo měřit. Propojíme-li však dva poločlánky solným můstkem (tzv. Daniellův článek), lze mezi elektrodami z různých kovů naměřit napětí. Zavádí se tzv. *elektrodotový potenciál*. Rozdíl elektrodotových potenciálů udává výsledné napětí Daniellova článku.

Mějme například měděnou a zinkovou elektrodu. Měď má elektrodotový potenciál  $+0,34\text{ V}$  a zinek  $-0,76\text{ V}$ <sup>1</sup>, tj. lze z nich vytvořit Daniellův článek s napětím  $1,1\text{ V}$ . Propojíme-li elektrody článku vodičem, začne téci proud ve směru potenciálového spádu. Ze zinkové elektrody, která má nižší potenciál, se uvolňují kationty do roztoku a přebytečné elektrony odcházejí na elektrodu s vyšším potenciálem, zde konkrétně měděnou. Na měděné elektrodě rekombinují ionty s elektrony a vylučuje se měď. Jak postupně přibývá zinkových iontů v roztoku a ubývá měděných, snižuje se napětí článku. Pokud dojde k nasycení roztoku zinkovými ionty, rozpuštění zinkové elektrody, nebo odčerpání měděných iontů z roztoku, napětí článku klesne na nulu, článek je vybitý.

Z brambory zapíchnutím elektrod vyrobíme článek, jehož princip je podobný jako princip Daniellova článku. Ponořením elektrod do polárního rozpouštědla se vytvoří roztok obsahující ionty obou kovů. Brambora je však složena z buněk, jejichž stěny jsou pro ionty propustné pouze částečně, čímž se zvyšuje její vnitřní odpor oproti klasickému elektrolytu.

Zatěžovací charakteristikou zdroje se myslí závislost svorkového napětí na odebraném proudu. Galvanické články mívají lineární voltampérovou charakteristiku, která je určena jejich *elektromotorickým napětím* (napětí nezatíženého zdroje) a *vnitřním odporem*. Závislost svorkového napětí na proudu je pro použité zapojení dána vztahem známým jako Ohmův zákon pro celý obvod

$$U(I) = U_e - R_i I, \quad (1)$$

kde  $U_e$  je elektromotorické napětí,  $R_i$  vnitřní odpor a  $I$  odebraný proud. Připojíme-li ke zdroji známý odpor  $R_z$ , lze proud  $I$  vypočítat ze vztahu  $I = U/R_z$ .

## Měření

Bylo provedeno srovnání pro tři různé kovy. Během měření bylo zjištěno, že v důsledku oxidace elektrod vzniká napětí i mezi elektrodami z téhož kovu (až  $0,4\text{ V}$ ). Po očištění elektrod jemným smirkovým papírem tento jev téměř vymizel. Byly použity následující přístroje:

1. Digitální multimetr Powerfix PDM 250 – na všech napěťových rozsazích má vstupní odpor  $10\text{ M}\Omega$ .
2. Ručkový miliampérmetr – použit pro kontrolu při větších proudech. Nejmenší rozsah je  $0,6\text{ mA}$ , kde na tomto rozsahu má přístroj rozlišení  $5\text{ }\mu\text{A}$ .

<sup>1</sup><http://www.wikiskripta.eu> – článek elektrodotový potenciál.

Obr. 1: Schéma zapojení

### Nejistoty měření

Výrobce voltmetru udává na rozsahu 2 V rozlišení 1 mV a přesnost  $\pm(0,8\% + 5)$ . To znamená nejistotu 0,8 % z naměřené hodnoty +5krát poslední zobrazovaná číslice tedy 5 mV. Přesnost měření odporu je  $\pm(0,8\% + 3)$ , rozlišení 1  $\Omega$ . Tolerance všech použitých rezistorů je 1 %. Během měření napětí článku kolísalo přibližně o 2 % z naměřené hodnoty.

### Výsledky

Použité elektrody byly hřebíky z mědi a zinku a cínový drát. Drát byl do brambory zapíchnut do stejné hloubky jako hřebíky. Poloměr byl měřen posuvným měřidlem, délka a vzdálenost pravítkem.

- průměr hřebíků:  $r = (2,5 \pm 0,1)$  mm
- průměr drátu:  $r = (2,7 \pm 0,1)$  mm
- délka (bez hlavičky):  $d = (15 \pm 1)$  mm
- vzdálenost elektrod:  $d = (30 \pm 1)$  mm

Elektrodotový potenciál:

- měď: +0,34 V
- zinek: -0,76 V
- cín: -0,14 V

První byl měřen článek s elektrodami z mědi a zinku. Jak je vidět z tabulky 1 a na obrázku 2, závislost je lineární a lze z ní určit vnitřní odpor článku pomocí lineární regrese. Koeficienty byly zjištěny excelovskou funkcí Linregrese (tabulku bylo nutné převést na V a A). Lineární regrese určí koeficienty lineární závislosti  $U = aI + b$ , která nejlépe odpovídá naměřeným hodnotám. Z Ohmova zákona pro obvod 1 je zřejmé, že  $a = -R_i$  a  $b = U_e$ .

Bylo zjištěno  $R_i = (3,7 \pm 0,1)$  k $\Omega$ ,  $U_e = (642 \pm 10)$  mV. Uvedená nejistota je pouze statistická.

Chování dalších článků bylo nelineární kvůli jejich vybíjení. Odpor 10 000 k $\Omega$  znamená měření pouze voltmetrem bez připojené zátěže. Tato hodnota byla odečtena vždy na začátku. Po skončení měření napětí naprázdno obvykle kleslo asi o 10 mV.

### Diskuse

Při měření bylo obtížné dosáhnout vysoké přesnosti, protože bramborová baterie se rychle vybíjí a navíc i při minimální zátěži voltmetrem napětí stále kolísá. Kolísání se zmírní, když se baterie mírně vybije. Elektrody byly připájeny k drátům připojeným k sondám multimetru, aby napětí

Tabulka 1: V-A charakteristiky

| Cu–Zn                        |                         |                       | Cu–Sn                        |                         |                       | Sn–Zn                        |                         |                       |
|------------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| $\frac{R_z}{\text{k}\Omega}$ | $\frac{I}{\mu\text{A}}$ | $\frac{U}{\text{mV}}$ | $\frac{R_z}{\text{k}\Omega}$ | $\frac{I}{\mu\text{A}}$ | $\frac{U}{\text{mV}}$ | $\frac{R_z}{\text{k}\Omega}$ | $\frac{I}{\mu\text{A}}$ | $\frac{U}{\text{mV}}$ |
| 10 000                       | 0,1                     | 640                   | 10 000                       | 0,0                     | 460                   | 10 000                       | 0,0                     | 660                   |
| 130                          | 4,8                     | 628                   | 260                          | 1,2                     | 300                   | 50                           | 1,2                     | 535                   |
| 100                          | 6,2                     | 623                   | 130                          | 1,8                     | 230                   | 30                           | 1,8                     | 480                   |
| 80                           | 7,7                     | 617                   | 100                          | 1,9                     | 190                   | 23                           | 1,9                     | 440                   |
| 50                           | 12,0                    | 600                   | 50                           | 3,1                     | 154                   | 15,6                         | 3,1                     | 380                   |
| 30                           | 19,0                    | 570                   | 30                           | 4,0                     | 120                   | 11                           | 4,0                     | 320                   |
| 11                           | 42,7                    | 470                   | 11                           | 4,7                     | 52                    | 4,6                          | 4,7                     | 221                   |
| 4,6                          | 80,4                    | 370                   | 4,6                          | 5,9                     | 27                    | 1                            | 5,9                     | 74                    |
|                              |                         |                       |                              |                         |                       | 0                            |                         | 16                    |

nekolísalo vlivem pohybu elektrod. Domníváme se, že jistý vliv na měření měl i kontakt elektrod s bramborou. Potření brambory roztokem soli pro lepší kontakt však nemělo prokazatelný efekt. Tvar charakteristiky je způsoben měřicí metodou. Napětí bez zátěžového odporu bylo změřeno nejdříve a následovalo měření od nejmenšího zátěžového odporu po největší a při každém dalším měření byl článek o něco vybitější.

### Závěr

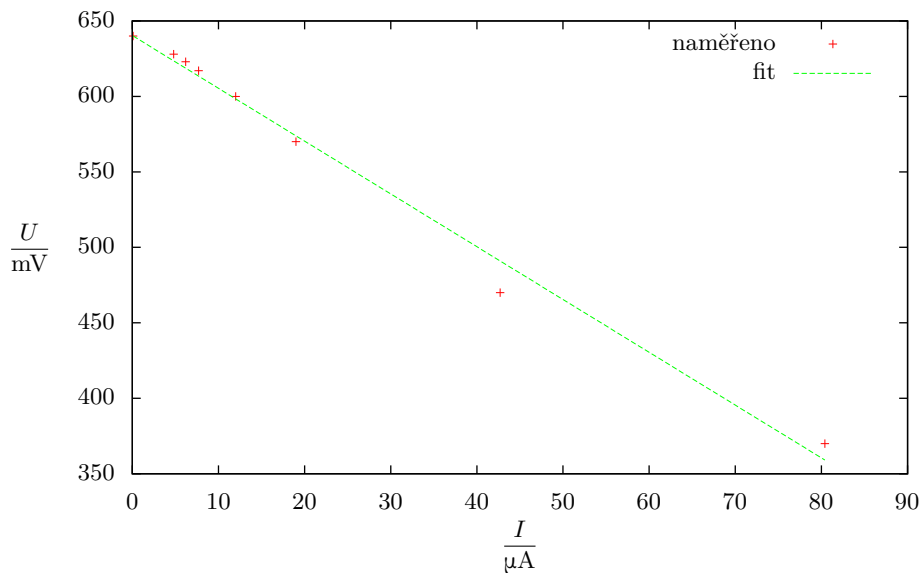
Bramborová baterie je slabý zdroj zejména kvůli slabému elektrolytu, buněčným stěnám a špatnému kontaktu s elektrodami. Nejlepší voltampérovou charakteristiku měl článek s elektrodami z mědi a zinku. Jeho vnitřní odpor byl  $R_i = (3,7 \pm 0,1) \text{ k}\Omega$  a jeho elektromotorické napětí  $U_e = (642 \pm 12) \text{ mV}$ . U zbylých článků nebylo možné vnitřní odpor určit, protože se během měření příliš vybíjely.

*Erik Hendrych*  
erik@fykos.cz

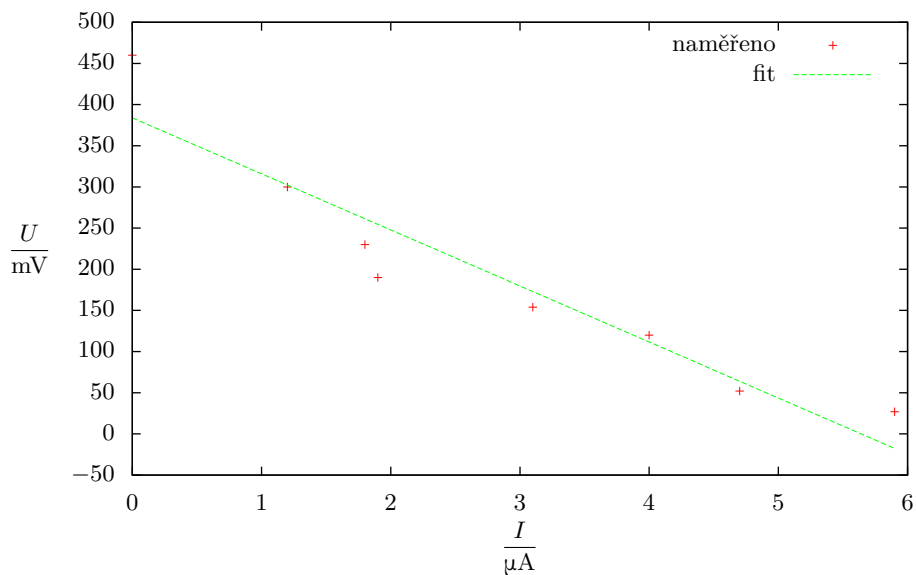
---

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

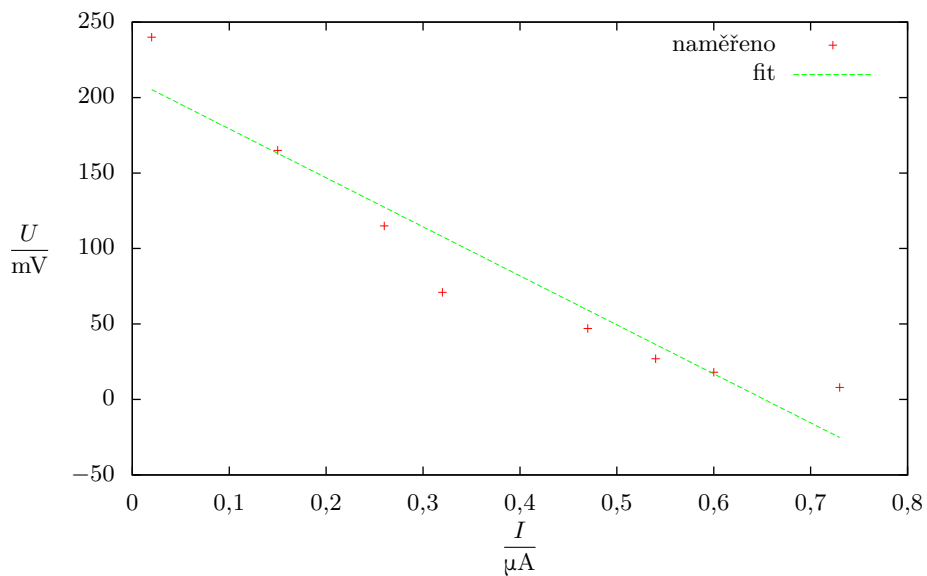
Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported. Pro zobrazení kopie této licence, navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.



Obr. 2: V-A charakteristika Cu–Zn.



Obr. 3: V-A charakteristika Cu–Sn.



Obr. 4: V-A charakteristika Sn-Zn.