



Experimenty s interaktivní stavebnicí
a bádáním fyzikálních dějů do nitra automobilu

8E. Galvanické články

M. Jílek & T. Feltl



EVROPSKÝ SOCIÁLNÍ FOND
PRAHA & EU: INVESTUJEME DO VAŠÍ
BUDOUCNOSTI

Tyto materiály vznikly v rámci projektu OPFA č. CZ.2.17/3.1.00/36080,
Experimenty s interaktivní stavebnicí a bádáním fyzikálních dějů do nitra automobilu.

• A. Napětí vyrobených galvanických článků	8E-A-01
• Úvod	8E-A-02
• Co budeme potřebovat?	8E-A-03
• Příprava a sestavení experimentu	8E-A-04
• Provedení experimentu – záznam dat	8E-A-05
• Analýza naměřené závislosti – teorie	8E-A-06
• Analýza naměřené závislosti – úkoly	8E-A-07
• B. Spojování galvanických článků	8E-B-01
• Úvod	8E-B-02
• Co budeme potřebovat?	8E-B-03
• Příprava a sestavení experimentu	8E-B-04
• Postup práce – záznam dat	8E-B-05
• Analýza naměřené závislosti – úkoly	8E-B-06
• C. Zatěžovací charakteristika zdroje	8E-C-01
• Úvod a teorie	8E-C-02
• Co budeme potřebovat?	8E-C-03
• Příprava a sestavení experimentu	8E-C-04
• Postup práce – záznam dat	8E-C-05
• Analýza naměřené závislosti – teorie	8E-C-06
• Analýza naměřené závislosti – úkoly	8E-C-07
• Závěr	8E-Z-01
• Použité materiály a zdroje informací	8E-I-01
• Metodické komentáře	8E-M-01

A. Napětí vyrobených galvanických článků

Úvod

Historicky nejstarším zdrojem elektrické energie je **galvanický článek** využívající energii z **chemických reakcí**. V nejjednodušším případě se jedná o dvojici kovů ponořených ve vhodném **elektrolytu**, což je kapalina obsahující volně pohyblivé nabitě částice (ionty) a umožňující tak průchod elektrického proudu. Elektrolyty jsou například vodné roztoky kyselin, solí, zásad, nebo různé taveniny.

Galvanické články se dodnes hojně používají jako jednoduché a přenosné **zdroje stejnosměrného napětí** převážně v malých elektrospotřebičích.

Speciálním typem jsou potom takzvané **akumulátory** (též *sekundární články*), které využívají vratné chemické děje na elektrodách a tím pádem se dají opětovně nabíjet.

Takovým zdrojem je například **olověný akumulátor** používaný v běžných **automobilech**, případně modernější druhy **lithiových akumulátorů** používaných v nejrůznějších mobilních zařízeních nebo v **elektromobilech**.



Foto: morgueFile free photo archive (morguefile.com)

V následujícím experimentu se pokusíme vyrobit model jednoduchého **galvanického článku** a změřit, co ovlivňuje velikost jeho napětí.

Co budeme potřebovat?

- senzor napětí
- univerzální měřicí rozhraní 850 (jiné měřicí rozhraní)
- destičky z různých kovů (přibližně 3 x 5 cm) – například měď, ocel, zinek, olovo
- citrón



Příprava a sestavení experimentu

1. Senzor napětí připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem, měřicí vodiče senzoru napětí opatříme krokosvorkami.
2. Ukrojíme plátek citrónu a odstraníme z něj větší jádérka.



Provedení experimentu – záznam dat

1. Ke kladné svorce senzoru napětí připojíme měděnou destičku, k záporné zinkovou.
2. Plátek citrónu pevně stiskneme mezi destičky (destičky se nesmějí vzájemně dotýkat) a spustíme měření.
3. Hodnotu napětí zobrazenou na digitálním displeji zaznameneáme do tabulky.
4. Měření opakujeme s tím, že připojujeme k senzoru napětí různé kombinace destiček a naměřené hodnoty napětí zaznamenáváme do tabulky spolu s informací, který kov byl připojen ke kladné a který k záporné svorce senzoru napětí.
5. Vyzkoušíme pokus také se dvěma stejnými kovy.
6. Po vyzkoušení různých kombinací ukončíme měření.

⚠ Napětí (V)

<Nejsou vybrána žádná data>



Naměřené napětí (elektrolyt citrónová šťáva)

	■ Řada	● Řada	<Nejsou vybrána žádná data>
	Kov připojený ke kladné svorce (název)	Kov připojený k záporné svorce (název)	⚠ Napětí (V)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

Analýza naměřené závislosti – teorie

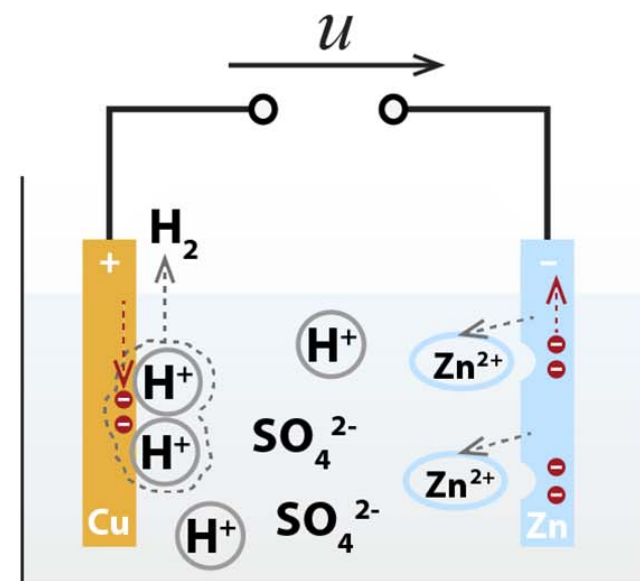
Vidíme, že různé kombinace kovů v kontaktu s elektrolytem (citrónovou šťávou) umožňují vznik různě velkého **elektrického napětí**. Mezi dvěma stejnými kovy přitom průkazně žádné napětí neměříme.

Základní princip vzniku tohoto napětí si můžeme velmi zjednodušeně vysvětlit na příkladu historicky nejstaršího, takzvaného **Voltova**, článku. Jedná se o **měděný** a **zinkový** plech (kovové destičky, v tomto případě je označujeme jako elektrody), které jsou ponořené v elektrolytu – vodném **roztoku kyseliny sírové** H_2SO_4 .

Zinková elektroda se reakcí s kyselinou postupně rozpouští a kladné ionty (kationty) zinku přechází do roztoku. Původně neutrální elektroda tak přichází o kladný náboj, nabíjí se záporně a vzniká z ní takzvaná **anoda** (dochází na ní k *oxidaci*). Vzniklé zinečnaté kationty v blízkosti povrchu záporné zinkové anody vytváří elektrické pole, které postupně brání dalšímu rozpouštění zinkové elektrody. Po čase se ustaví rovnováha, kdy už další kationty zinku z anody do roztoku nepřecházejí.

Ušlechtilější **měď** s kyselinou nereaguje. Putují k ní ale kladné ionty (kationty) vodíku z *disociované* (ve vodě rozštěpené) kyseliny sírové. Ty „odebírají“ z elektrody elektrony a měděná elektroda se tak nabíjí kladně. Stává se z ní **katoda** (dochází zde k *redukci*). Mezi měděnou katodou a zinkovou anodou proto můžeme naměřit **napětí**, které v ideálním případě činí asi **1,1 V**.

Obdobným způsobem reagují s vhodnými elektrolyty (vodné roztoky kyselin, solí, nebo zásad) různé kovy. Mezi kovem a elektrolytem vzniká takzvaný **elektrolytický potenciál**. Absolutní hodnotu tohoto potenciálu nelze určit, určuje se pouze poměrná hodnota vzhledem k tzv. srovnávací *vodíkové elektrodě*, jejíž elektrolytický potenciál je stanoven jako nulový.



Naměřené napětí (elektrolyt citrónová šťáva)

	■ Řada	● Řada	<Nejsou vybrána žádná data>
	Kov připojený ke kladné svorce (název)	Kov připojený k záporné svorce (název)	⚠ Napětí (V)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

Analýza naměřené závislosti – úkoly

- Vyhledejte v tabulkách nebo na internetu standardní elektrodové potenciály kovů.
- Pro použité dvojice kovů v experimentu spočítejte teoretickou hodnotu vzájemného napětí jako rozdíl elektrodových potenciálů daných kovů a запиšte ji do tabulky. (*Rozdíl potenciálů se počítá i s ohledem na záporná znaménka, pokud by například byl potenciál jedné elektrody roven 2 V a druhé -3 V, měl by výsledný rozdíl hodnotu 5 V.*)
- Ukažte, pro které kombinace použitých kovů vychází největší teoretické napětí, pro které druhé největší atd. a ověřte, zda tomu odpovídají výsledky experimentu.
- Objasněte, jak musíme připojit různé elektrody k voltmetru, aby změřené napětí bylo kladné, a kdy bude naopak záporné.

Hodnoty napětí - porovnání

	■ Řada	● Řada	<Nejsou vybrána žádná data>	◆ Řada
	Kov připojený ke kladné svorce (název)	Kov připojený k záporné svorce (název)	⚠ Napětí (V)	Teoretický rozdíl potenciálů (V)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				

B. Spojování galvanických článků

Úvod

Pokud opatrně rozebereme vnější obal **ploché baterie**, zjistíme, že uvnitř se nacházejí tři **sériově propojené články** připomínající větší tužkové baterie.

Uvnitř klasického **olověného akumulátoru**, který se využívá v automobilech, je podobným způsobem obsaženo **šest sériově zapojených článků**. Každý z nich se však skládá z několika dvojic olověných desek (menších článků), které jsou spolu propojeny paralelně.

Obecně se jakékoli zapojení jednotlivých galvanických článků nazývá **baterie**.

V dalším experimentu se pokusíme zjistit, co platí pro celkové napětí při **sériovém** a **paralelním** zapojování článků v baterii.



Foto: [Wikipedia \(wikipedia.org\)](https://www.wikipedia.org)

V dalším experimentu se pokusíme zjistit, co platí pro celkové napětí při **sériovém** a **paralelním** zapojování článků v baterii.

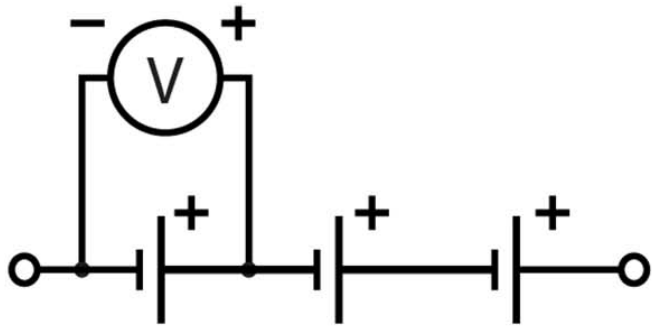
Co budeme potřebovat?

- senzor napětí
- univerzální měřicí rozhraní 850 (jiné měřicí rozhraní)
- tři tužkové baterie v držácích
- propojovací vodiče s krokosvorkami



Příprava a sestavení experimentu

1. Senzor napětí připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem.
2. Tužkové baterie (monočlánky) spojíme sériově podle obrázku, dbáme přitom na správnou polaritu – všechny kladné póly míří na stejnou stranu.
3. Senzor napětí připojíme k prvnímu monočlánku.

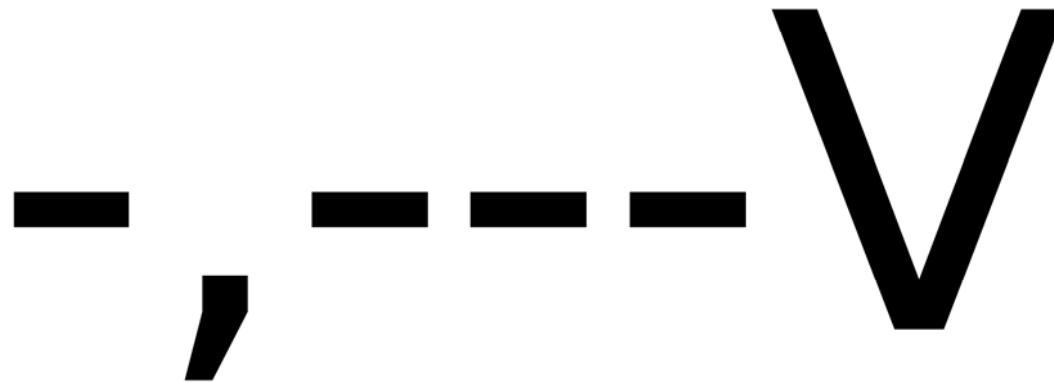


Postup práce – záznam dat

1. Spustíme měření a hodnotu měřeného napětí zobrazenou na displeji zapíšeme do tabulky.
2. Přepojíme senzor napětí na druhý monočlánek (pozor na správnou polaritu) a naměřenou hodnotu opět zapíšeme do tabulky.
3. Stejně změříme a zapíšeme i napětí na třetím monočlánku a nakonec změříme a zapíšeme celkové napětí zapojených monočlánků (*měřicí vodiče senzoru napětí připojíme ke kladnému pólu prvního a k zápornému pólu posledního monočlánku*).
4. Ukončíme měření.

⚠ Napětí (V)

<Nejsou vybrána žádná data>



Napětí na sériově zapojených člancích

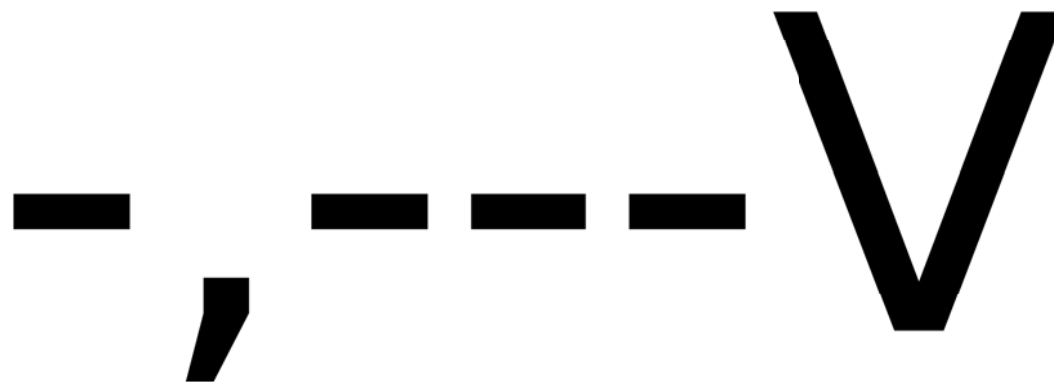
	▶ Řada Napětí na prvním článku (V)	▼ Řada Napětí na druhém článku (jednotky)	⚡ Řada Napětí na třetím článku (V)	▲ Řada Celkové napětí na všech člancích (V)
1				
2				
3				
4				
5				

Analýza naměřené závislosti - úkoly

1. Na základě naměřených hodnot ukažte, co platí pro napětí sériově zapojených článků, a uveďte, kde a k čemu se v praxi sériové zapojení článků používá.
2. Pokuste se odhadnout, jaké bude napětí článků, pokud je zapojíme paralelně a svůj odhad následně ověřte experimentálně (*zapojte tři články paralelně propojením kladných a záporných pólů a změřte celkové napětí*).
3. Zkuste objasnit, proč se mohou zapojovat paralelně pouze články se stejným napětím. Co by se mohlo stát, pokud bychom zapojili paralelně články s různým napětím?
4. Pokuste se přijít na to, k čemu se využívá paralelní zapojení článků.

⚠ Napětí (V)

<Nejsou vybrána žádná data>



Tabulka – napětí na sériově zapojených člancích

Napětí na sériově zapojených člancích

	⚡ Řada	▼ Řada	⚡ Řada	▲ Řada
	Napětí na prvním článku (V)	Napětí na druhém článku (Jednotky)	Napětí na třetím článku (V)	Celkové napětí na všech člancích (V)
1				
2				
3				
4				

C. Zatěžovací charakteristika zdroje

Úvod a teorie

Pokud chceme zjistit, zda je **akumulátor** automobilu **dostatečně nabitý**, nebo zda není **poškozený**, připojíme k němu **spotřebič** s malým odporem a měříme, jak se přitom změní **napětí akumulátoru**. Pokud napětí klesne málo, je akumulátor v pořádku. Pokud klesne více, znamená to, že je vybitý, nebo jsou jeho vnitřní články poškozeny, takže při ještě větším odběru proudu – například při startování – by jeho napětí kleslo k nule. Protože výkon, který akumulátor dodává, je roven součinu napětí a odebíraného proudu, klesl by k nule také výkon a automobil bychom nenastartovali.

Velikost poklesu napětí jakéhokoli galvanického článku při odběru proudu je **důležitou charakteristikou**, která určuje, k čemu budeme moci takový zdroj napětí použít.

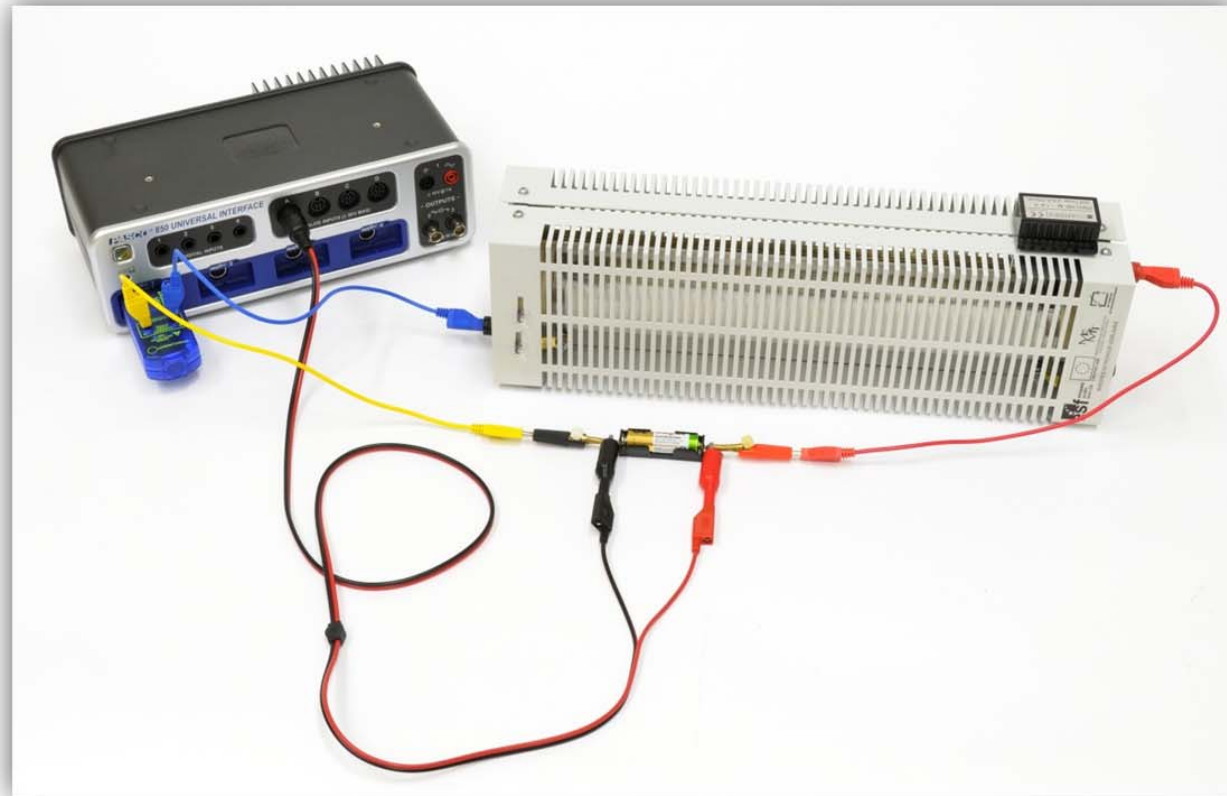
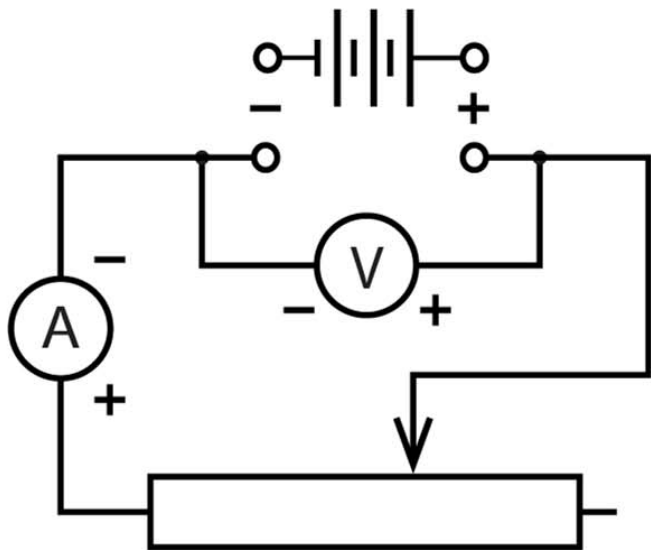
V následujícím experimentu se pokusíme prozkoumat, jak závisí **velikost napětí** na **odebíraném proudu** u různých galvanických článků a co tento pokles způsobuje.



Foto: **Wikipedia** (wikipedia.org)

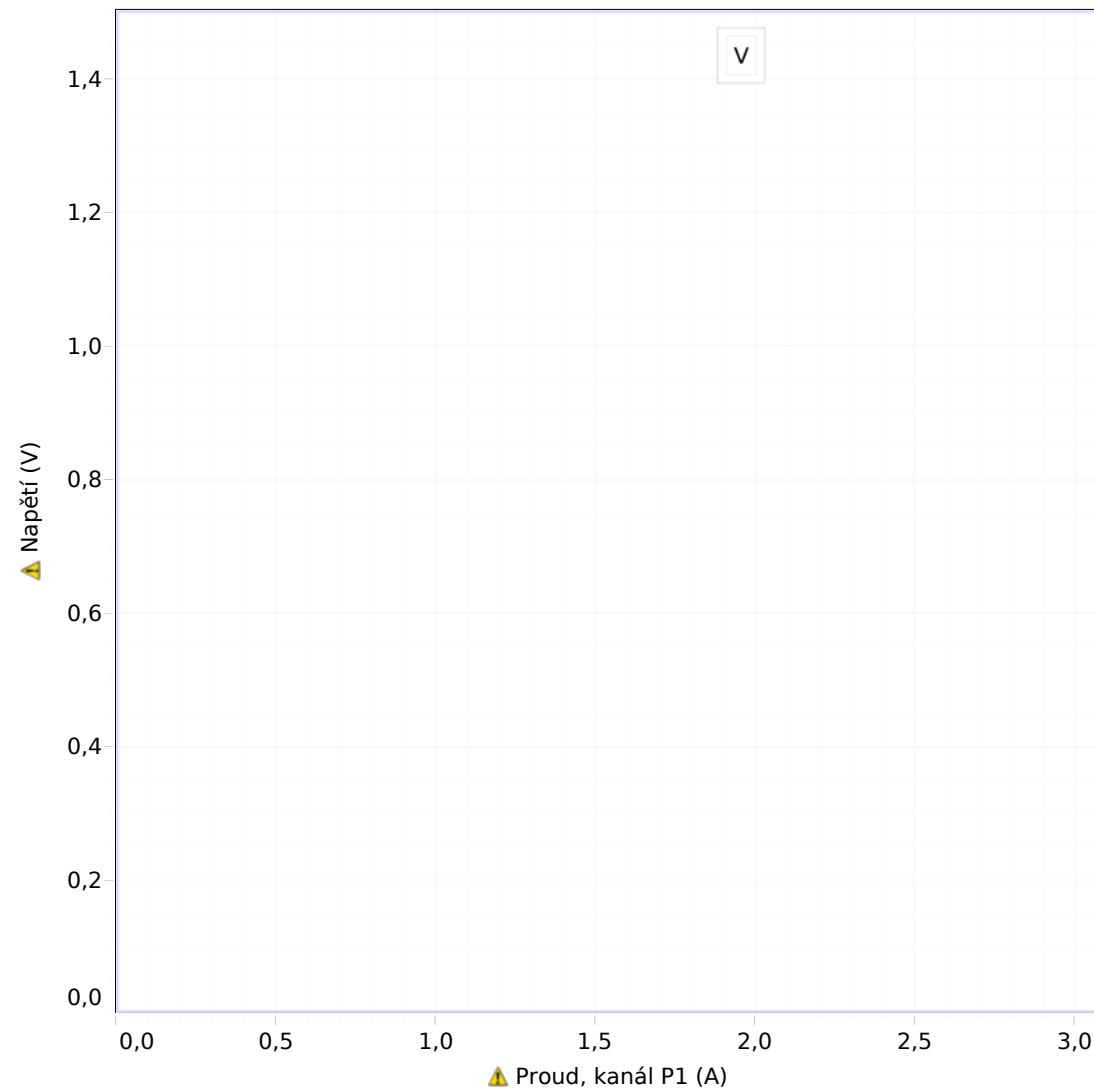
Příprava a sestavení experimentu

1. Sensory napětí a proudu připojíme k měřicímu rozhraní propojenému s počítačem.
2. Sestavíme elektrický obvod podle schématu, přičemž baterii (článek) zatím necháme nepřipojený.
3. Jezdec potenciometru nastavíme před začátkem měření na opačný konec reostatu, než je připojen druhý vodič – tak, aby byl v obvodu zapojen celý odpor reostatu.



Postup práce – záznam dat

1. Pomocí krokosvorek nebo pouhým přidržením vodičů zapojíme do obvodu tužkovou baterii.
2. Spustíme měření a ihned začneme rovnoměrně posunovat jezdec potenciometru k druhému konci, blízko druhého konce pohybujeme jezdce pomaleji. V grafu se přitom zobrazuje závislost napětí na článku v závislosti na velikost proudu tekoucího z článku.
3. Ihned poté, co dojedeme jezdce reostatu na druhý konec, nebo raději těsně před tím, ukončíme měření a odpojíme tužkovou baterii.



Analýza naměřené závislosti – teorie

Závislost napětí U měřeného na svorkách zdroje (takzvaného **svorkového napětí**) na velikosti odebíraného proudu I se nazývá **zatěžovací charakteristika zdroje**.

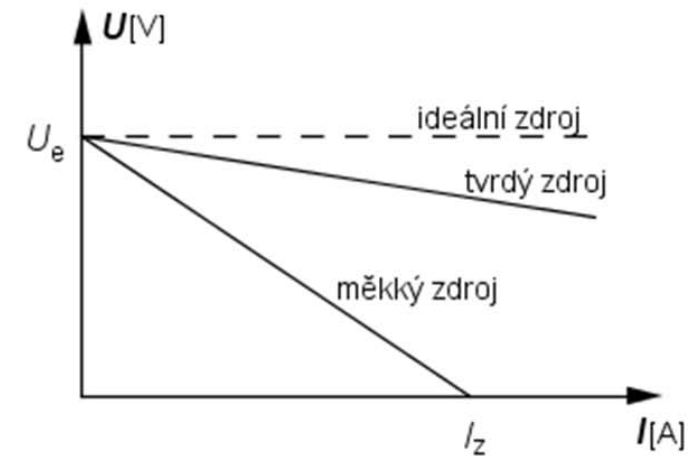
Napětí nezatíženého zdroje, ze kterého ideálně neodebíráme žádný proud, se nazývá **elektromotorické napětí** (značíme U_e) a v grafu zatěžovací charakteristiky odpovídá průsečíku křivky grafu se svislou osou napětí.

Jakmile začneme ze zdroje odebírat proud, vidíme, že se svorkové napětí zmenšuje. Za tento úbytek napětí může vnitřní odpor R_i zdroje, který je dán konstrukcí článku (elektrický proud prochází uzavřeným obvodem a tedy i zdrojem, kde musí nabitě částice překonávat určitý odpor při svém pohybu v elektrolytu a mezi elektrodami). Pro výsledné svorkové napětí, které můžeme využít ve vnější části elektrického obvodu, tedy platí vztah:

$$U = U_e - R_i I$$

V okamžiku, kdy svorkové napětí článku klesne na nulu, prochází obvodem takzvaný zkratový proud I_z – v grafu zatěžovací charakteristiky mu odpovídá průsečík naměřené křivky s vodorovnou osou proudu.

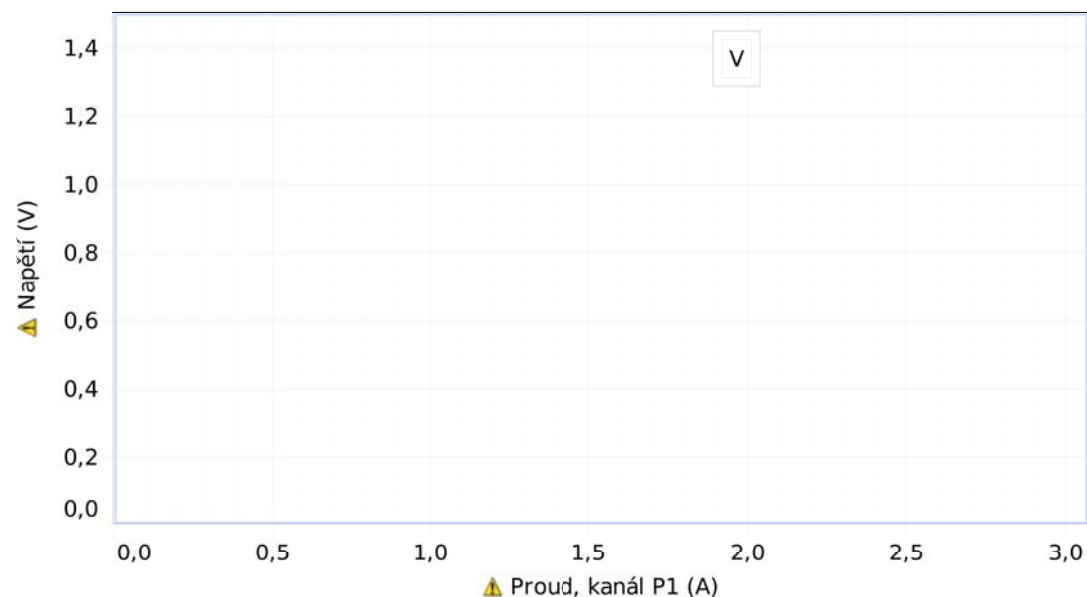
Podle velikosti vnitřního odporu se dělí zdroje napětí na takzvaně **tvrdé**, které mají malý vnitřní odpor a **měkké**, jejichž vnitřní odpor je výrazně větší. Z uvedených skutečností vyplývá, že **čím je zdroj tvrdší**, tím **větší proud** z něho můžeme odebírat při zatížení, což znamená také **větší** poskytovaný **výkon** zdroje.



Graf: **Techmania** (techmania.cz)

Analýza naměřené závislosti - úkoly

1. Fitujte naměřenou závislost napětí na proudu lineární funkcí a objasněte význam konstant **m** a **b** v rovnici fitovací funkce. Pomocí těchto konstant stanovte elektromotorické napětí a vnitřní odpor měřeného článku a zapište je do tabulky. Dále odečtěte z grafu velikost zkratového proudu a také ji zapište do tabulky.
2. Zopakujte celé měření a vyhodnocení i pro ostatní články, **u větších akumulátorů ukončete pohyb jezdce reostatu a měření, jakmile dosáhnete proudu asi 5 A!**
3. Seřadte zdroje od nejtvrdšího po nejměkčí a porovnejte jejich elektromotorická napětí s nominálními hodnotami uváděnými na daných zdrojích.



Základní parametry galvanických zdrojů napětí

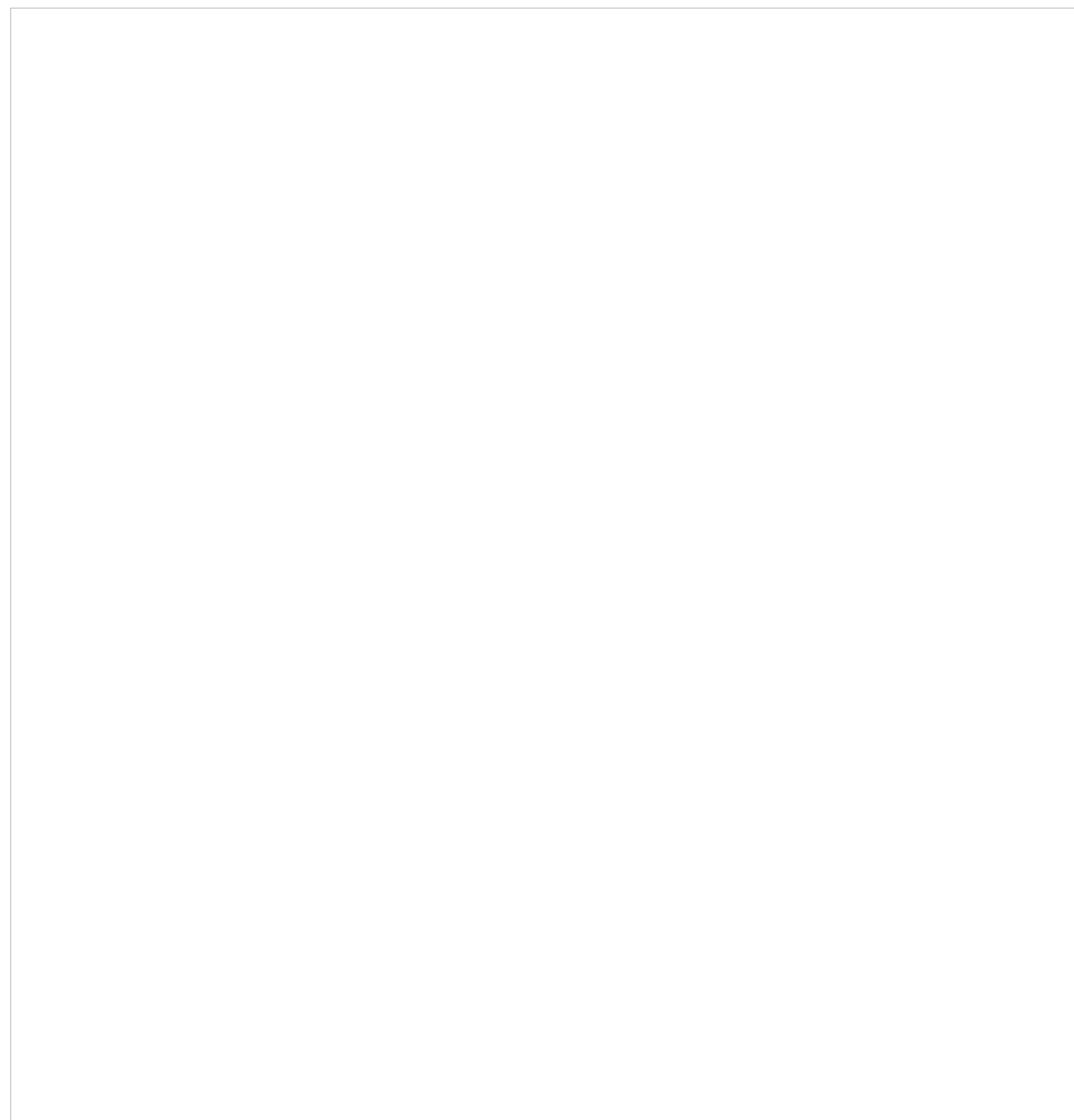
	■ Řada	● Řada	◆ Řada	✦ Řada	▼ Řada
	Typ zdroje	Jmenovité napětí (V)	Zjištěné elektro motorické napětí (V)	Vnitřní odpor (Ω)	Zkratový proud (A)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Závěr

Objasněte, jak lze vytvořit chemický zdroj energie a čím se liší jednoduchý galvanický článek (*primární článek*) od akumulátoru (*sekundární článek*).

Jaké parametry baterie ovlivňuje sériové a jaké parametry paralelní zapojení jednotlivých článků, ze kterých je baterie sestavena?

Pokuste se objasnit, jak se mění velikost celkového vnitřního odporu při sériovém a při paralelním zapojení jednotlivých článků v baterii. Proč se vyrábí jednotlivé články automobilového akumulátoru jako paralelní spojení většího množství elektrod?



Použité materiály a další informační zdroje

SVOBODA, Emanuel a kol. *Přehled středoškolské fyziky*.

Praha: SPN, 1991. ISBN 80-04-22435-0.

MIKULČÁK, J., KLIMEŠ, B., ŠIROKÝ, J., ŠŮLA, V., ZEMÁNEK, F.

Matematické fyzikální a chemické tabulky pro střední školy.

Praha: Prometheus, 2002. ISBN 80-85849-84-4.

Použité fotografie z externích zdrojů:

morgueFile free photo archive (morguefile.com)

Wikipedia (wikipedia.org)

Techmania (techmania.cz)

Metodické poznámky

- K vytvoření modelu jednoduchého galvanického článku můžeme místo citrónu použít nádobu s vodným roztokem kyseliny sírové (vhodný je například 0,1 molární roztok, který odpovídá přibližně 0,1 procentní koncentraci kyseliny ve vodě) do které ponoříme elektrody tak, aby se vzájemně nedotýkaly.
- Povrch kovových elektrod je před pokusem vhodné očistit například jemným smirkovým papírem. Hliníkový plech se jako elektroda k experimentu příliš nehodí z důvodu oxidace jeho povrchu.
- Hodnoty elektrodových potenciálů a napětí vzniklých článků budou pravděpodobně kvůli složitým chemickým procesům na površích elektrod vycházet menší, než odpovídá ideálním tabulkovým hodnotám. Cílem experimentu je spíše porovnat a ověřit, pro které elektrody je rozdíl napětí menší a pro které větší.
- V teorii k prvnímu experimentu jsou označeny elektrody (anoda a katoda) pro proces nabíjení. Při průchodu proudu vnějším obvodem (například při vybíjení akumulátoru) mají elektrody opačnou funkci – vodič připojený ke kladnému pólu baterie se nazývá anodou, vodič připojený k zápornému pólu katodou.
- V rámci druhého experimentu se můžeme pokusit vyrobit z několika měděných a zinkových destiček baterii sériově zapojených článků postupným prokládáním plátků citrónu a změřit její výsledné napětí, případně s ní zkusit rozsvítit LED diodu (napětí jediného článku je na překonání hradlové vrstvy a rozsvícení LED příliš malé).
- V třetím experimentu se můžeme pokusit proměřit zatěžovací charakteristiku citrónového článku a porovnat jeho vnitřní odpor s ostatními galvanickými články.
- V rámci třetího experimentu je také vhodné upozornit na to, že nízké teploty ovlivňují chemické reakce uvnitř článků a zvětšují jejich vnitřní odpor, což způsobuje například problémy se startováním při velmi nízkých teplotách u automobilů s klasickými olovenými akumulátory (zvláště u starších akumulátorů s částečně opotřebovanými elektrodami).
- Reostat použitý v třetím experimentu musí mít takové parametry, aby krátkodobě snesl největší proud, kterým budeme obvod zatěžovat (například zmiňovaných 5 A). V případě méně výkonného reostatu zvolíme menší maximální proud, při kterém měření ukončíme.