

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE		KATEDRA FYZIKY	
LABORATORNÍ CVIČENÍ Z FYZIKY			
Jméno Tobiáš Vacek		Datum měření 18. 3. 2025	
Stud. rok 2025	Ročník První	Datum odevzdání 22. 4. 2025	
Stud. skupina 1101L	Lab. skupina 9	Klasifikace	
Číslo úlohy 9.	Název úlohy Měření charakteristik palivového článku		

1 Úkol měření

1. Změřte voltampérovou charakteristiku PEM elektrolyzéru, sestrojte graf a extrapolací určete rozkladné napětí elektrolyzéru.
2. Změřte voltampérovou charakteristiku PEM palivového článku, sestrojte graf a odhadněte maximální výkon, který lze z článku odebírat.

2 Postup měření

2.1 Příprava před měřením

Elektrolyzér byl při našem příchodu zapojen a naplněn vodou, proto jsme tyto úkony nemuseli dělat. Začali jsme, proto kontrolou zda není palivový článek zkratován a odpojením všech zatěžovacích rezistorů. Před zapnutím napájecího zdroje jsme nastavili výstupní napětí a omezovač proudu na nulu. Zapnuli jsme napájecí zdroj a nastavili na něm napětí 5 V a omezovač proudu jsme nastavili tak, aby elektrolyzérem protékal maximální proud 2 A. Povolili jsme všechna škrtky na vstupu a výstupu palivového článku a minutu čekali, než se ustálí napětí na elektrolyzéru.

2.2 Měření voltampérové charakteristiky elektrolyzéru

Omezovačem proudu jsme postupně snižovali proud procházející elektrolyzérem, po každé změně bylo nutné minutu počkat, než se ustálí napětí na elektrolyzéru. Po ustálení jsme si zaznamenali hodnoty napětí a proudu z měřících přístrojů.

2.3 Měření voltampérové charakteristiky palivového článku

Nastavili jsme proud elektrolyzérem opět na maximální povolenou hodnotu 2 A. Pro zajištění stabilních provozních podmínek jsme palivový článek na dobu pěti minut zatížili odporem 2 Ω . Po pěti minutách jsme zátěž odpojili a změřili napětí na prázdko. Nasledně jsme článek postupně zatěžovali různými kombinacemi odporů. Kombinace jsme měnili sestupně.

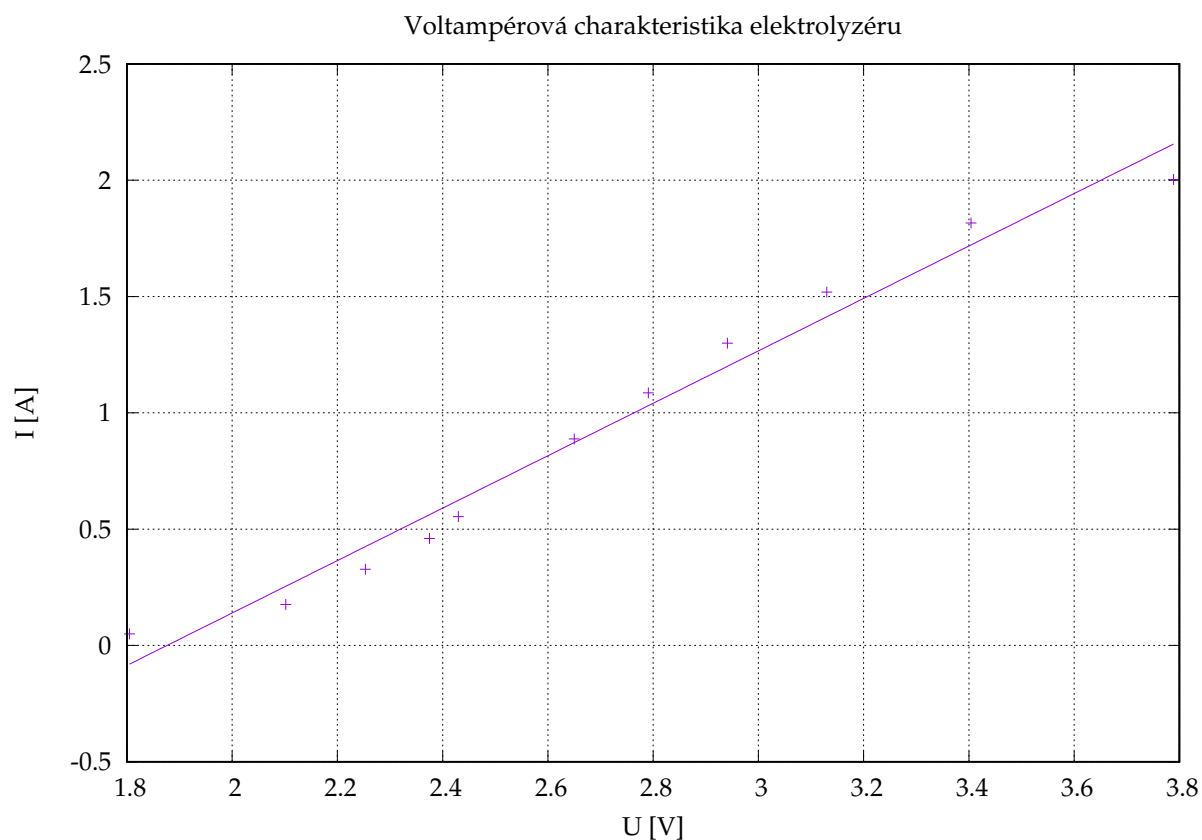
3 Seznam použitých přístrojů

Počet	Pomůcka	číslo	Přesnost	Rozsah
3	ampérmetr	MY-65	$\pm 2\%$ (± 5 digitů)	10 A
2	voltmetr	MY-65	$\pm 0,5\%$ (± 1 digit)	20 V
1	voltmetr	MY-65	$\pm 0,5\%$ (± 1 digit)	2 V
9	Zatěžovací rezistor	—		10 Ω , 20 Ω , 5 Ω , 2 Ω , 1 Ω

4 Naměřené hodnoty a výpočet

4.1 Voltampérová charakteristika elektrolyzáru

Proud [A]	2.003	1.816	1.519	1.300	1.086	0.888	0.554	0.460	0.328	0.176	0.050
Napětí [V]	3.798	3.404	3.130	2.941	2.791	2.650	2.430	2.375	2.253	2.102	1.805



Pro určení rozkladného napětí potřebujeme závislost $U(I)$ aproximovat přímkou ve tvaru:

$$I = a_0 + a_1 \cdot U$$

Po proložení grafu přímkou na <https://planck.fel.cvut.cz/praktikum/grafy/grafy.php> jsme zjistili, že hodnoty parametrů a_0 a a_1 jsou:

$$a_0 = -2.11 ; a_1 = 1.13$$

A zároveň jsme získali pomocí metody nejmenších čtverců nejistotu typu B $u_b = 0.05$

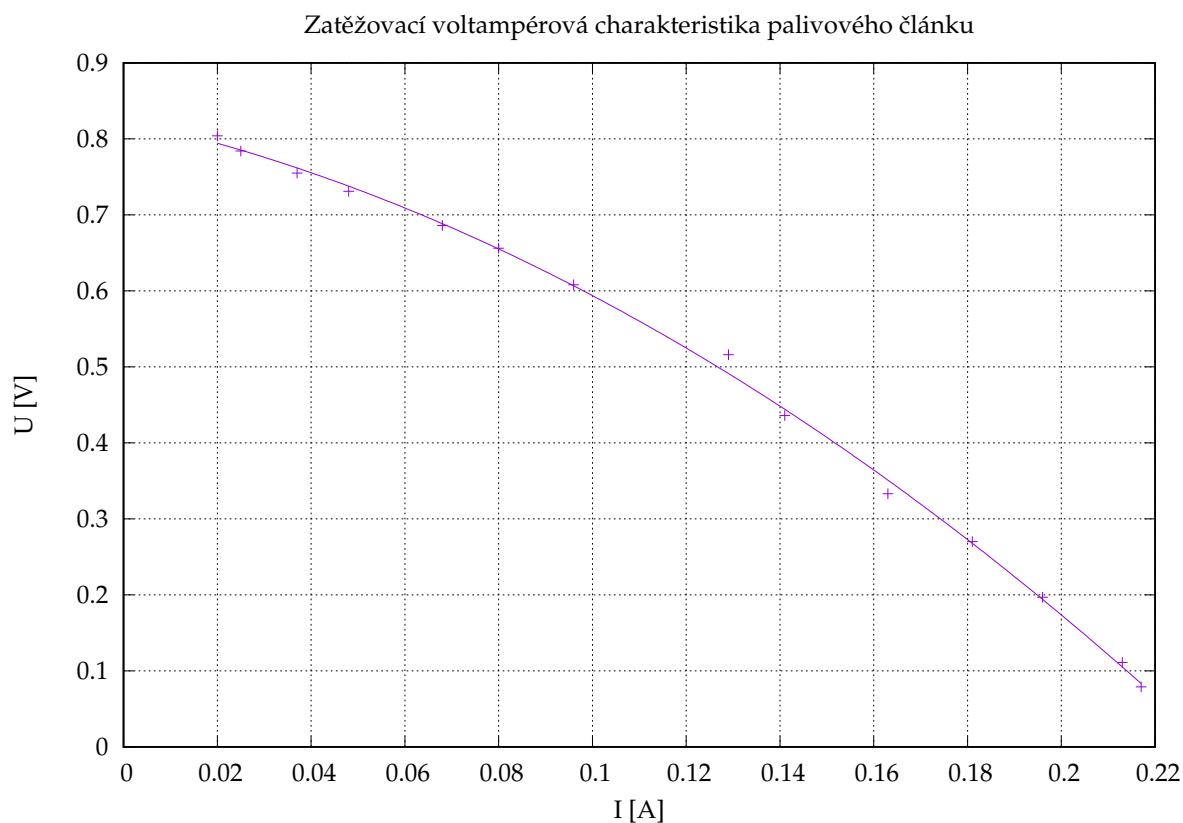
Rozkladné napětí U_r najdeme tak, že nalezneme bod kdy přímka protíná v grafu osu X. Položíme tedy $I = 0$ a dostáváme výraz:

$$\begin{aligned} 0 &= -2.11 + 1.13 \cdot U_r \\ 2.11 &= 1.13 \cdot U_r \\ 1.89 \text{ V} &\doteq U_r \end{aligned}$$

4.2 Voltampérová charakteristika palivového článku

Odpor [Ω]	na prázdkno	40	30	20	15	10	8	6	4	3	2
Proud [A]	0	0.020	0.025	0.037	0.048	0.068	0.080	0.096	0.124	0.171	0.163
Napětí [V]	0.918	0.804	0.784	0.755	0.731	0.686	0.656	0.608	0.516	0.436	0.333

Odpor [Ω]	1.5	1	0.5	0.333							
Proud [A]	0.181	0.191	0.213	0.217							
Napětí [V]	0.270	0.197	0.111	0.079							

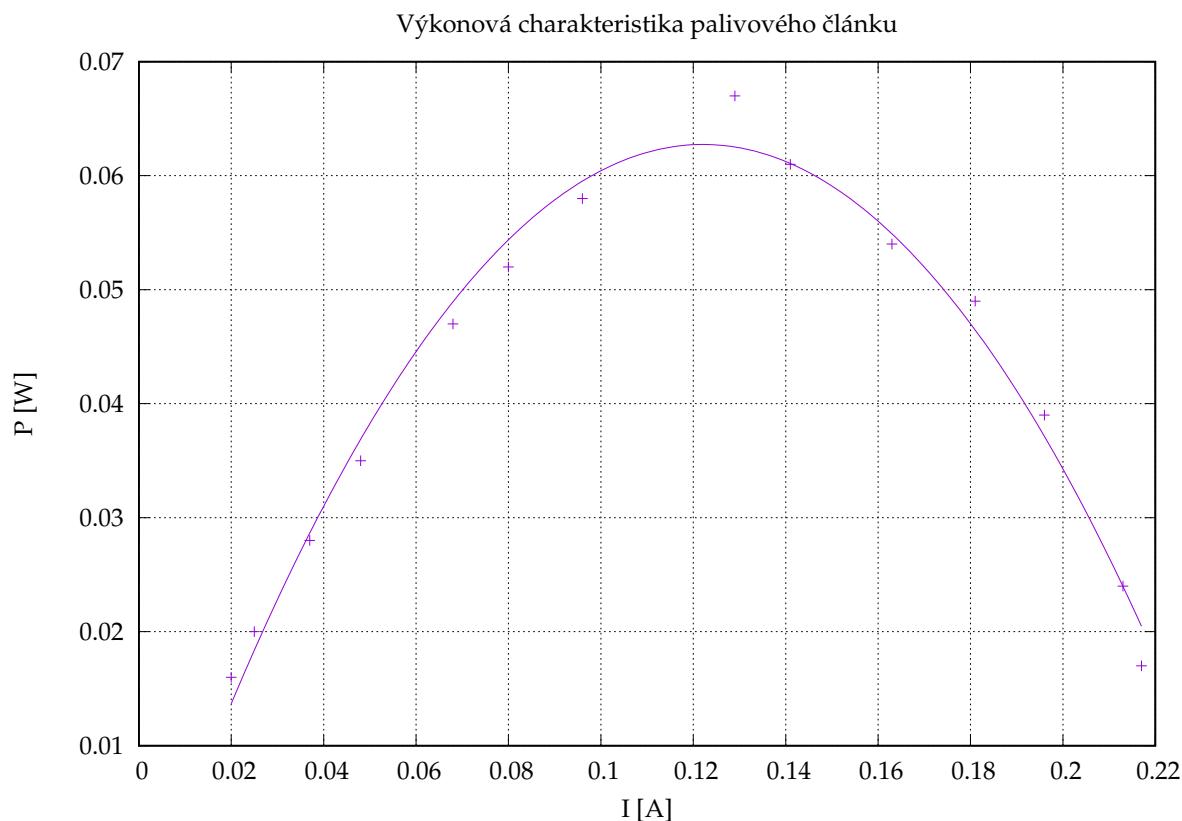


Výkon stejnosměrného proudu je definován jako $P = U \cdot I$. Palivový článek do zátěže předá největší výkon v momentě, kdy se zátěž rovná vnitřnímu odporu článku. Odhad maximálního výkonu, lze získat sestrojením grafu závislosti výkonu na proudu $P(I)$ a jeho následným proložením parabolou s předpisem:

$$P = a_2 \cdot I^2 + a_1 \cdot I + a_0$$

Odhad maximálního výkonu, je pak roven vrcholu paraboly. Pro náš případ vypadají parametry a_2 , a_1 a a_0 následovně:

$$a_2 = -4.70 ; a_1 = 1.15 ; a_0 = -0.01$$



Vrchol paraboly a s ním společně i náš odhad maximálního výkonu nalezneme podle vzorce:

$$\begin{aligned} vrchol &= -\frac{b}{2a} \Rightarrow I_{max} = -\frac{a_1}{2a_2} \\ I_{max} &= -\frac{1.15}{2 \cdot (-4.70)} \\ I_{max} &\doteq 0.1223 \end{aligned}$$

Po dosazení do $P(I_{max}) = 60.35 \cdot 10^{-3} W$.

Nejistotu odhadu maximálního výkonu získáme dosazením nejistot pro jednotlivé parametry do vzorce:

$$u_c^2 = \sum_{i=0}^2 \left(\frac{\partial P_{max}}{\partial a_i} \right) u^2(a_i)$$

kde

$$P_{max} = -\frac{a_1^2}{4a_2} + a_0$$

Vzorec pro výslednou nejistotu je tedy

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{a_1^2}{4a_2^2} \cdot \sigma_2\right)^2 + \left(\frac{a_1}{2a_2} \cdot \sigma_1\right)^2 + (\sigma_0)^2}$$

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{1.15^2}{4 \cdot (-4.70)^2} \cdot 0.189\right)^2 + \left(\frac{1.15}{2 \cdot (-4.70)} \cdot 0.046\right)^2 + (0.002)^2}$$

$$u_c = 0.005978$$

Směrodatné odchyly σ jsme získali pomocí metody nejmenších čtverců na <https://planck.fel.cvut.cz/praktikum/grafy/grafy.php>

5 Závěr

Pomocí proložení grafu *voltampérové charakteristiky elektrolyzéru* přímkou, jsme zjistili, že rozkladné napětí $U_r = (1.89 \pm 0.05) V$.

Pomocí proložení grafu *výkonové charakteristiky palivového článku* parabolou, jsme odhadli maximální výkon článku na $P_{max} = (0.06035 \pm 0.00598)W = (60.35 \pm 5.98)mW$.

6 Literatura

1. <https://planck.fel.cvut.cz/praktikum/grafy/grafy.php>
2. <https://planck.fel.cvut.cz/praktikum/downloads/navody/pemchar.pdf>
3. <https://planck.fel.cvut.cz/praktikum/downloads/navody/zpracdat.pdf>
4. <https://www.truano.com/blog/parabola-je-geometricka-krivka-a-graf-kvadraticke->