

University of *Ljubljana*
Faculty of *Mathematics and Physics*



Fizikalni praktikum 3

Vaja: Piezoelektričnost

Poročilo

Avtor: Orlič, Luka

Nosilec: Kladnik, Gregor

Asistent: Breclj, Tilen

Ljubljana, 17. december 2024

Kazalo

Seznam uporabljenih simbolov in indeksov	2
1 Teoretični uvod	3
1.1 Uporabne enačbe	4
2 Empirični del	5
2.1 Naloga	5
2.2 Potrebščine	5
3 Meritve	5
3.1 Rezultati	5
4 Zaključek	10

Seznam uporabljenih simbolov in indeksov

Oznaka	Pomen
--------	-------

Indeks	Pomen
--------	-------

1 Teoretični uvod

Piezoelektrik je material, ki se na deformacijo odzove s polarizacijo. Velja tudi obratno – v zunanjem električnem polju se deformira. Tipični predstavniki so feroelektrični kristali.

V splošnem deformacijo podamo z napetostnim tenzorjem

$$T_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{dF_i}{dS_j} + \frac{dF_j}{dS_i} \right).$$

Poleg deformacije je polarizacija odvisna od lastnosti materiala, od t. i. piezoelektričnega modula d , ki ga z napetostjo pomnožimo kot

$$P_i = d_{ijk} T_{jk}.$$

V našem primeru je piezoelektrični modul tak, da se na silo F na ploskev S odzove s polarizacijo le v eni smeri. Velikost polarizacije je torej preprosto

$$P = \frac{Fd}{S},$$

kjer je d relevantna komponenta piezoelektričnega modula.

Po Gaussovem zakonu je naboj na ploskvi kristala $q = DS$. Ker je električna gostota preprosto $D = \varepsilon_0 E + P$ in je višina kristala b , je naboj na ploskvi

$$q = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{b} U + Fd = CU + Fd,$$

pri čemer je C kapacitivnost kondenzatorja z dimenzijami kristala. Ta naboj odteka in se porablja na upor R znotraj napetostnega sledilnika. Torej lahko zapišemo

$$\begin{aligned} U &= RI = -R\dot{q} = -RC\dot{U} - Rd\dot{F}, \\ U &= -\tau\dot{U} - Rd\dot{F}, \end{aligned} \tag{1}$$

kjer je $\tau = RC$ časovna konstanta. Piezoelektrik ob času $t = 0$ obremenimo s silo F_0 . To povzroči nek začetni skok napetosti U_0 . To se zgodi na kratkem časovnem $-\Delta t$ do 0, pri čemer je začetna napetost $U(-\Delta t) = 0$ in začetna sila prav tako $F(-\Delta t) = 0$. Z integracijo enačbe 1 torej dobimo

$$U\Delta t = \tau U_0 - RdF_0.$$

Če je Δt dovolj majhen, je začetni skok napetosti preprosto

$$U_0 = \frac{F_0 d}{C}$$

Za čase $t > 0$ enačbi 1 odpade drugi člen, njena rešitev je eksponentno upadanje od začetne napetosti, karakterizirano s časom τ

$$U = U_0 e^{\frac{-t}{\tau}}. \quad (2)$$

Podobno lahko za razbremenitev piezokristala pokažemo, da napetost sprva pade na $-|U_0|$, nato pa nazaj naraste proti začetni vrednosti 0. Dogovorimo se, da je tam predznak U_0 in F_0 negativen.

1.1 Uporabne enačbe

$$\tau = RC \wedge \tau, U_0 \text{ lahko dobimo z prilagoditvjo krivulje oblike } U(t) = U_0 \cdot e^{-t/\tau} \quad (3)$$

$$C = \tau/R \quad (4)$$

$$(5)$$

$$\varepsilon = \frac{Cb}{\varepsilon_0 S} \quad (6)$$

$$(7)$$

i	m_i [g] ± 0.01 g
1	1000.10
2	194.15
3	500.13

Tabela 3: Mase uteži

m_i [g] ± 0.01	U_0 [V]	τ [s] ± 0.05	C [nF] ± 0.05	ε
194.15	0.16 ± 0.01	6.9	1.4	897 ± 34
500.13	0.42 ± 0.01	10.5	2.1	1356 ± 52
1000.10	0.84 ± 0.01	9.7	1.9	1259 ± 48
-194.15	-0.53 ± 0.02	4.2	0.8	541 ± 21
-500.13	-0.35 ± 0.13	4.5	0.9	586 ± 22
-1000.10	-0.71 ± 0.01	11.2	2.2	1451 ± 55

Tabela 4: Izračunane in prilagojene vrednosti. **Negativna masa, je v resnici le oznaka za razbre-menitev!**

2 Empirični del

2.1 Naloga

1. Določi dielektrično konstanto ε vzorca iz piezoelektrične keramike.
2. Izračunaj piezoelektrični koeficient d keramike.

2.2 Potrebščine

1. Merilna valjasta posoda s piezoelektrično keramiko s premerom $2r = (38.0 \pm 0.2) \Rightarrow S$ mm in debelino $b = (6.50.2)$ mm,
2. Baterijsko napajanje elektrometrski ojačevalnik s preduporom $R = (5.00.1) \text{ G}\Omega$,
3. Digitalni osciloskop **Siglent SDS 1104X-E**,
4. USB ključ,
5. uteži za približno 200 g, 500 g in 1 kg

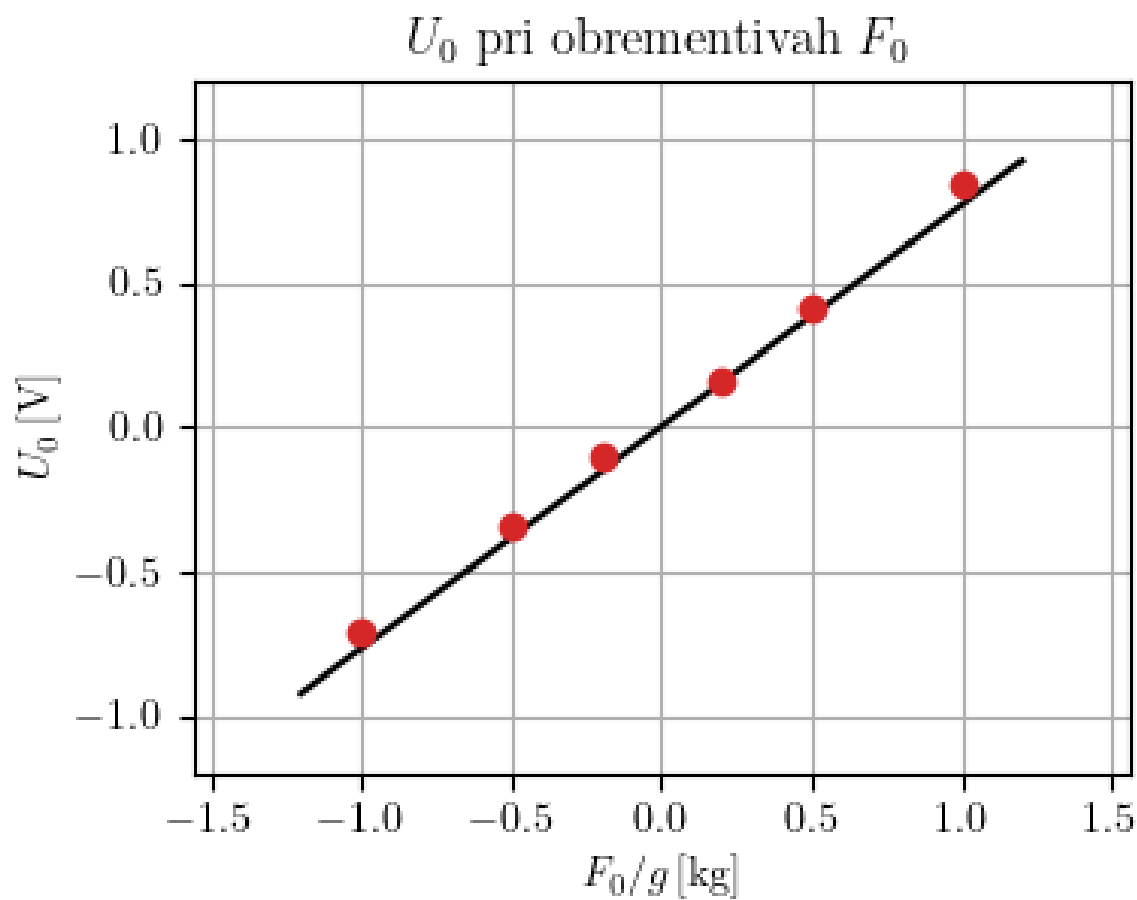
3 Meritve

Meritve so prikazane na slikah (2, 3, 4). Mase uteži so zapisane v tabeli (3).

3.1 Rezultati

Izračunajmo sedaj vse potrebne rezultate, in jih zapišimo v tabelo (4).

Naredimo še graf $U_0(F_0/g)$, ki ga prikazuje graf (1).



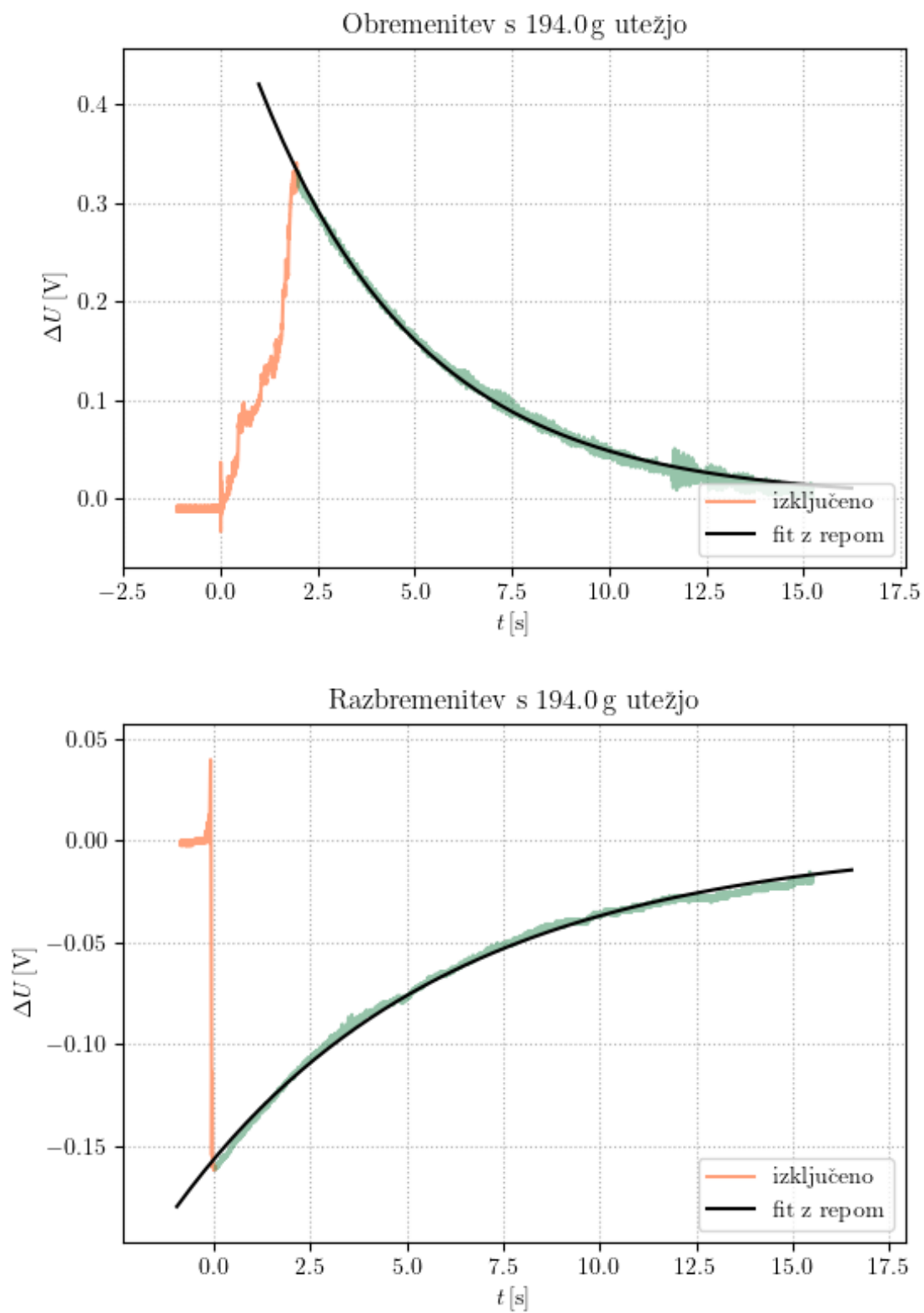
Slika 1: Odvisnost skoka napetosti od obremenitve. Naklon premice je $k = dg/C$.

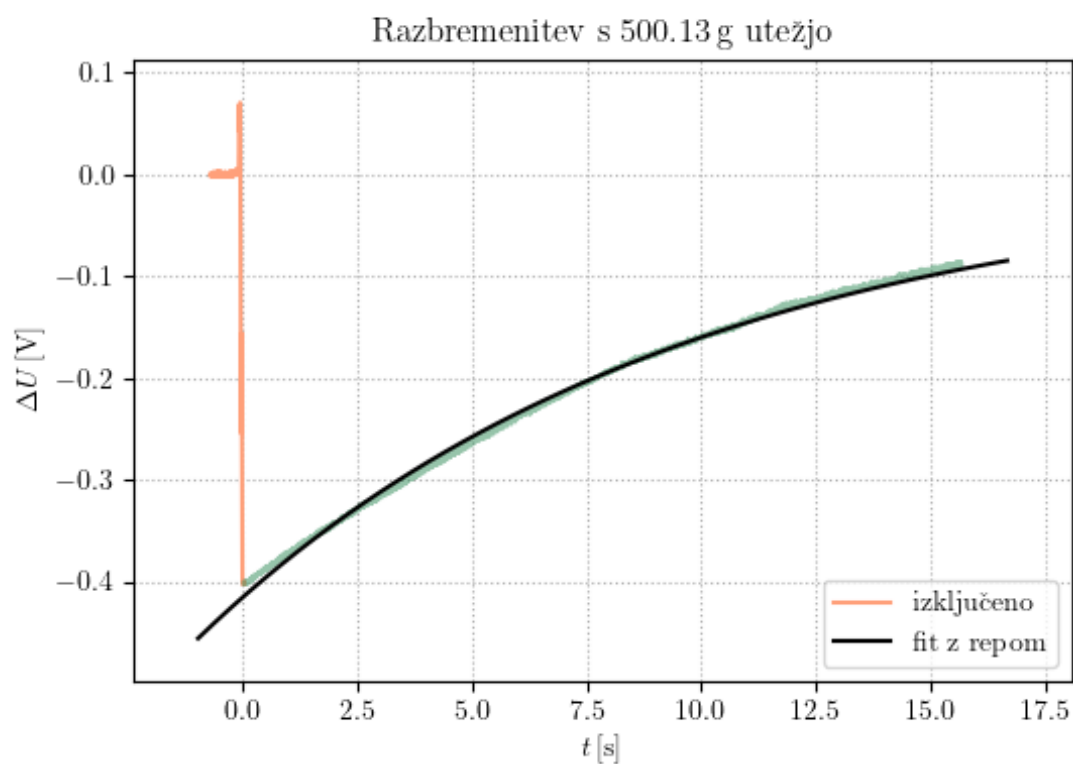
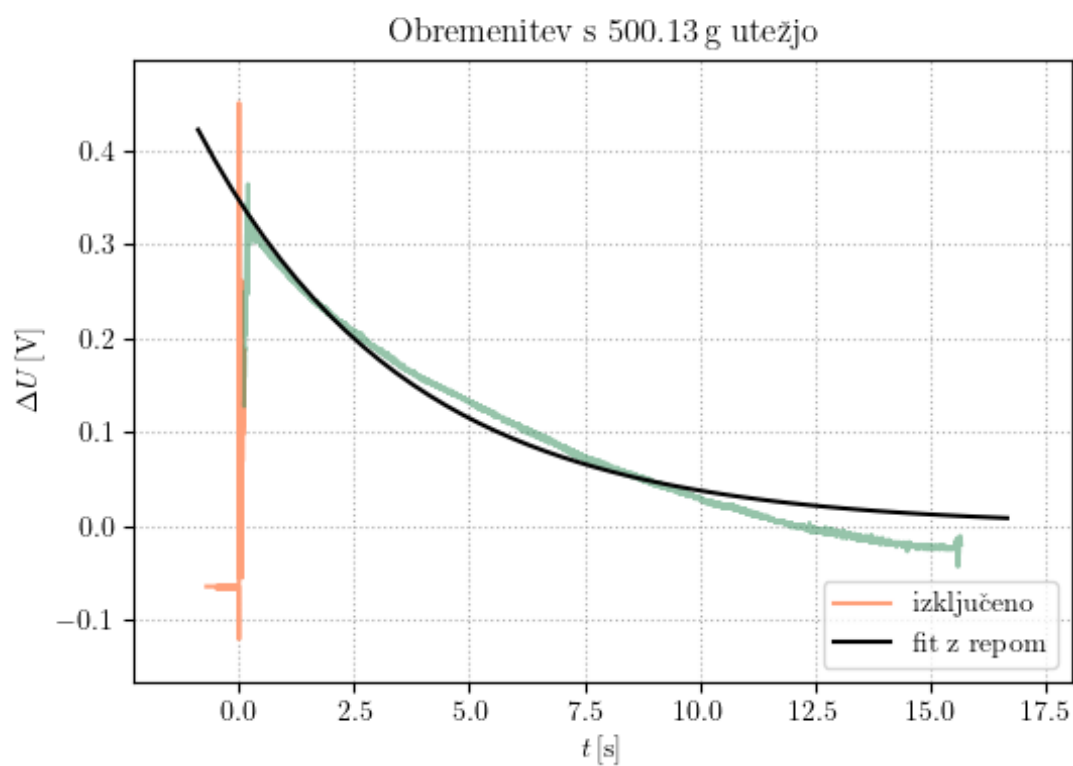
Izračunamo:

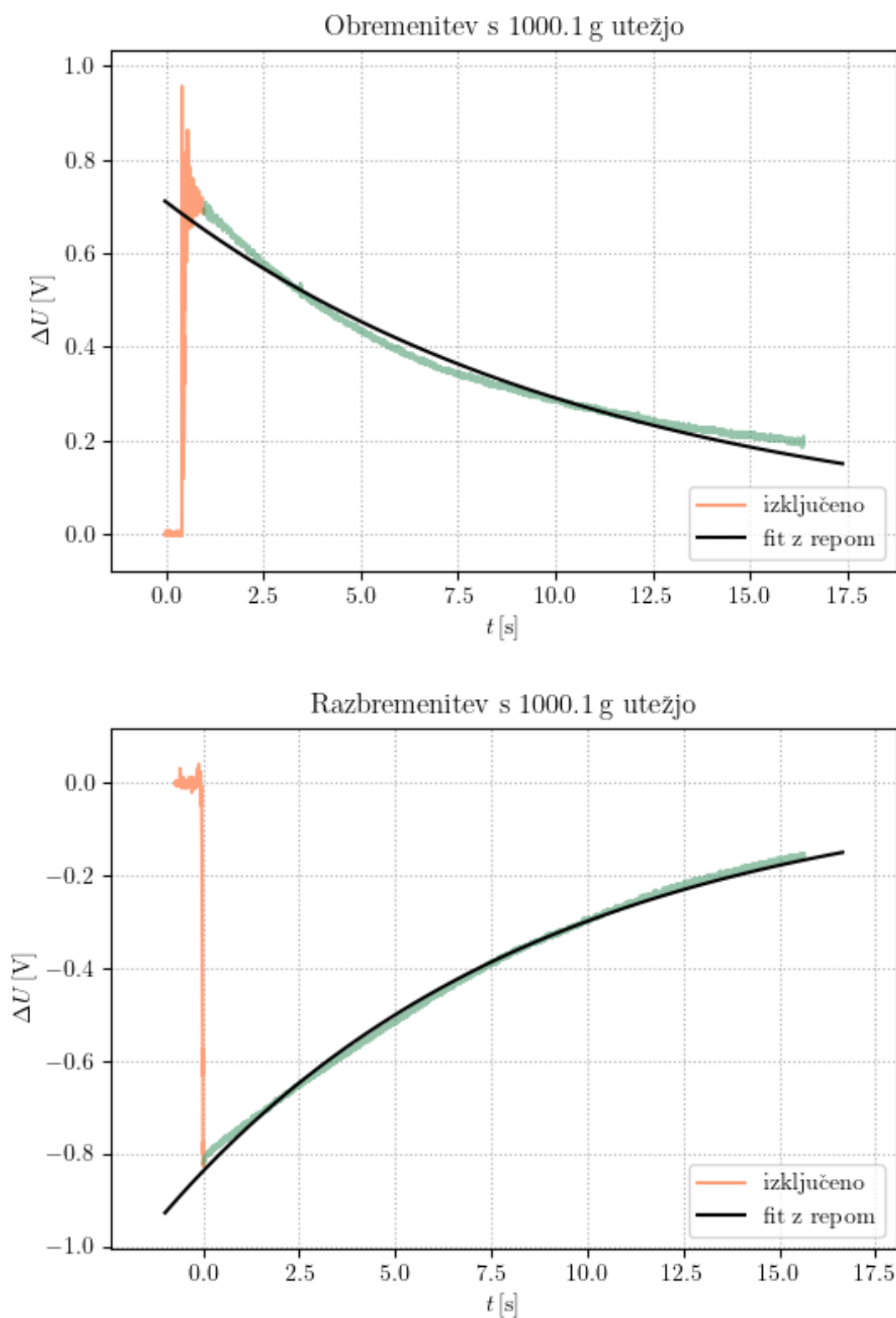
$$\bar{\varepsilon} = 1000 \pm 200 \quad (8)$$

$$\bar{C} = (1.6 \pm 0.1) \text{ nF} \quad (9)$$

$$d = (0.25 \pm 0.04) \text{ nm/V} \quad (10)$$

Slika 2: Prikaz za maso ~ 194 g.

Slika 3: Prikaz za maso ~ 500 g.

Slika 4: Prikaz za maso ~ 1 kg.

4 Zaključek