

University of Ljubljana  
Faculty of Mathematics and Physics



Fizikalni praktikum 3

# Vaja: Piezoelektričnost

Poročilo

**Avtor:** Orlić, Luka  
**Nosilec:** Kladnik, Gregor  
**Asistent:** Brecelj, Tilen

Ljubljana, 17. december 2024

## Kazalo

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

## 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  $D = \epsilon_0 E + P$  in je višina kristala  $b$ , je naboj na ploskvi

$$q = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{b} U + Fd = CU + Fd,$$

pri čemer je  $C$  kacitivnost kondenzatorja z dimenrijami kristala. Ta naboj odteka in se porablja na uporu  $R$  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 začeten 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  $\Delta t$  dovolj majhen, je začeten 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  $\tau$

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

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)

$i \square$	$m_i \text{ [g]} \pm 0.01 \text{ g}$
1	1000.10
2	194.15
3	500.13

Tabela 3: Mase uteži

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

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

## 2 Empirični del

### 2.1 Naloga

1. Določi dielektrično konstanto  $\varepsilon$  vzorca iz piezoelektrične keramike.
2. Izračunaj piezoelektrični koeficient  $d$  keramike.

### 2.2 Potrebščine

1. Merilna valjasta posoda s piezoelektrično keramiko s premerom  $2r = (38.0 \pm 0.2) \Rightarrow S \text{ mm}^2$  in debelino  $b = (6.50.2) \text{ mm}$ ,
2. Baterijsko napajan 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

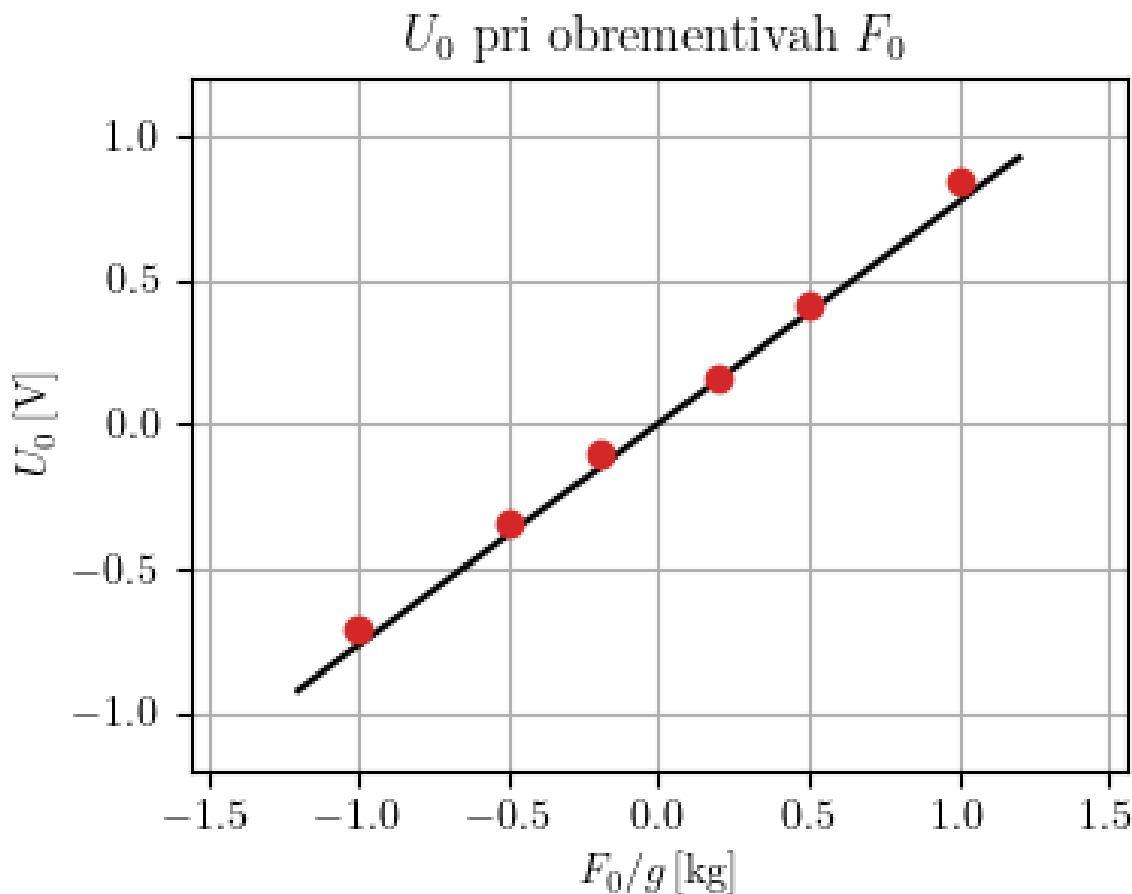
## 3 Meritve

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).



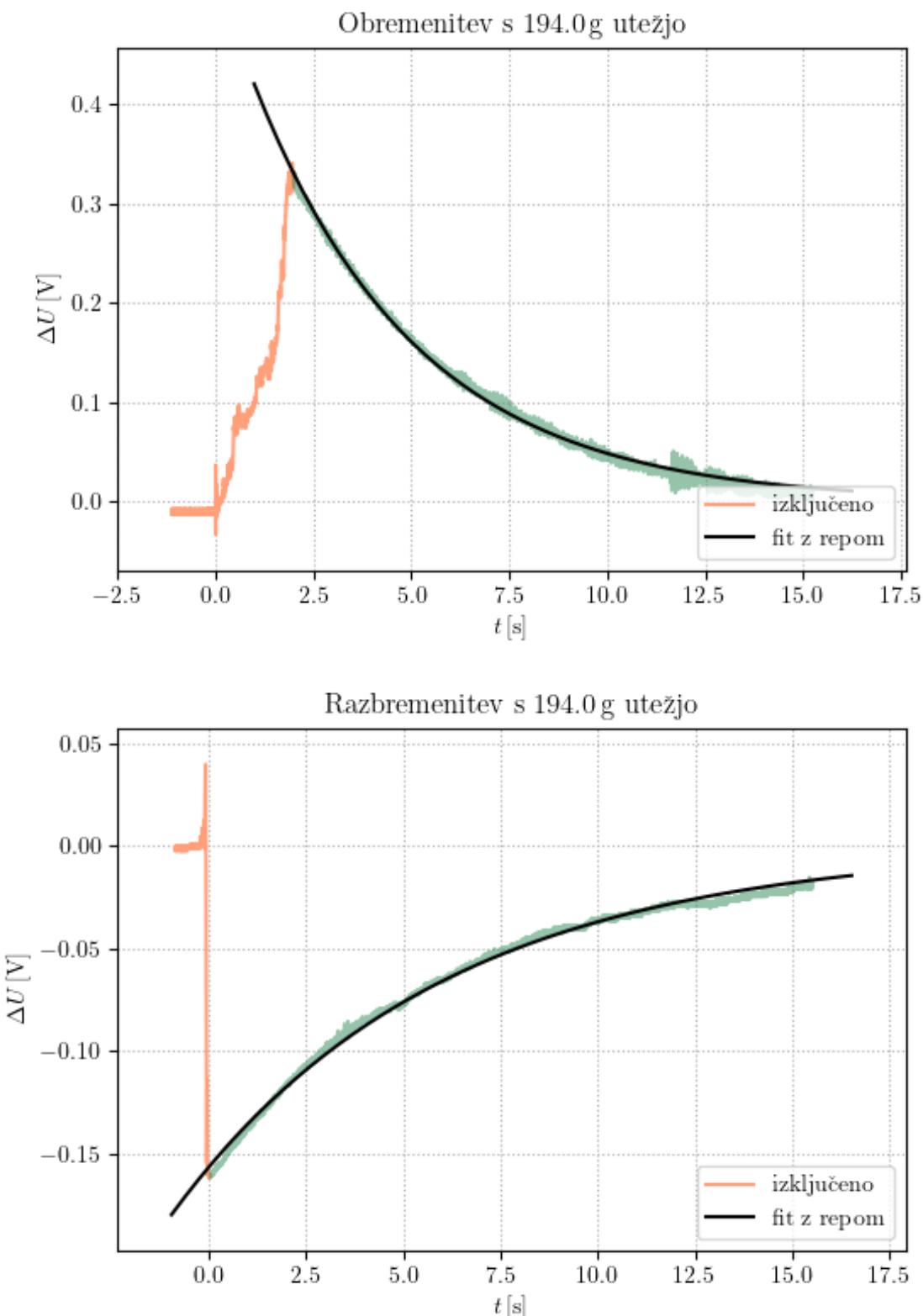
Slika 1: Odvisnost skoka napetosti od obremenitve. Naklon premice je  $k = dg/C$ .

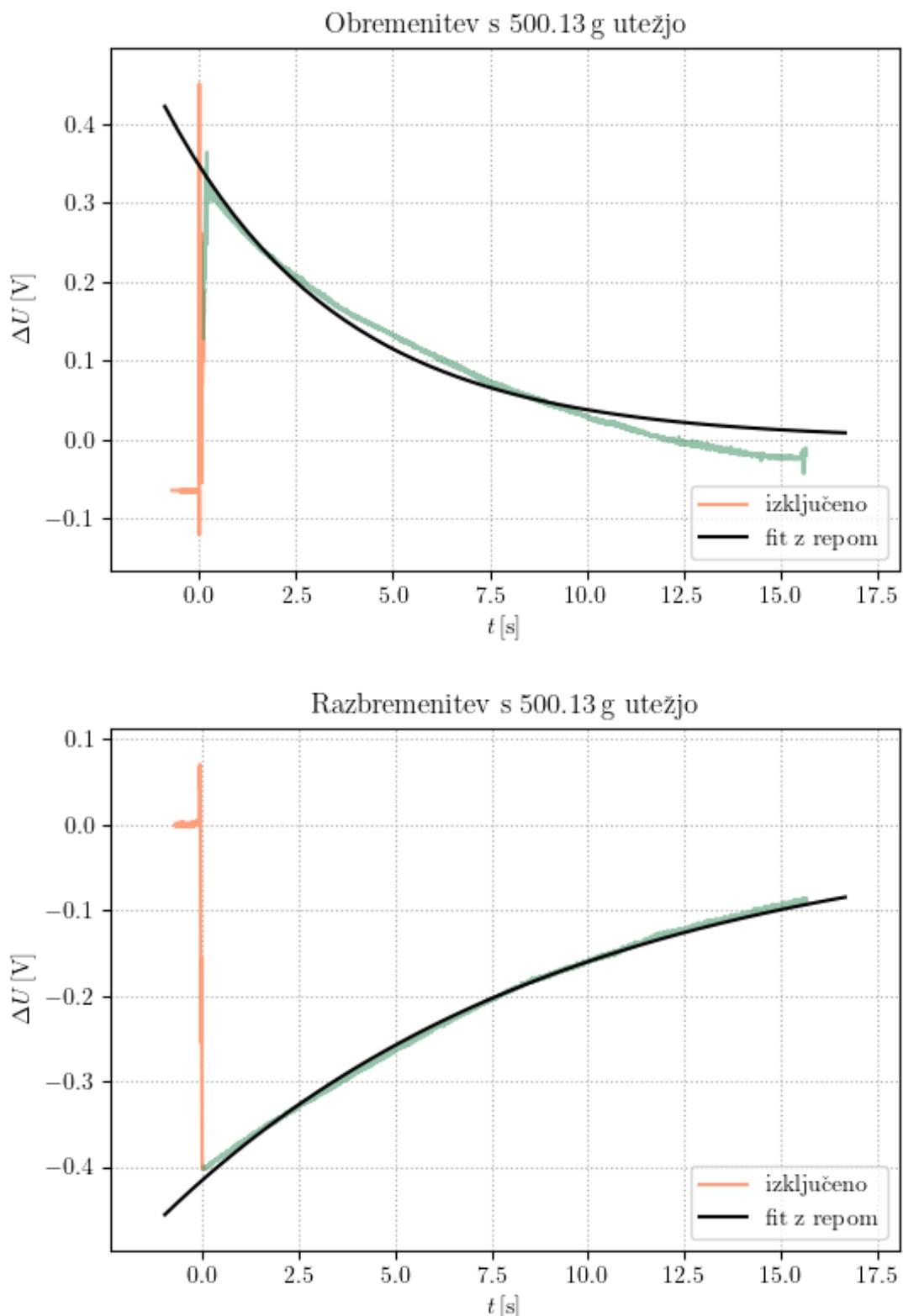
Izračunamo:

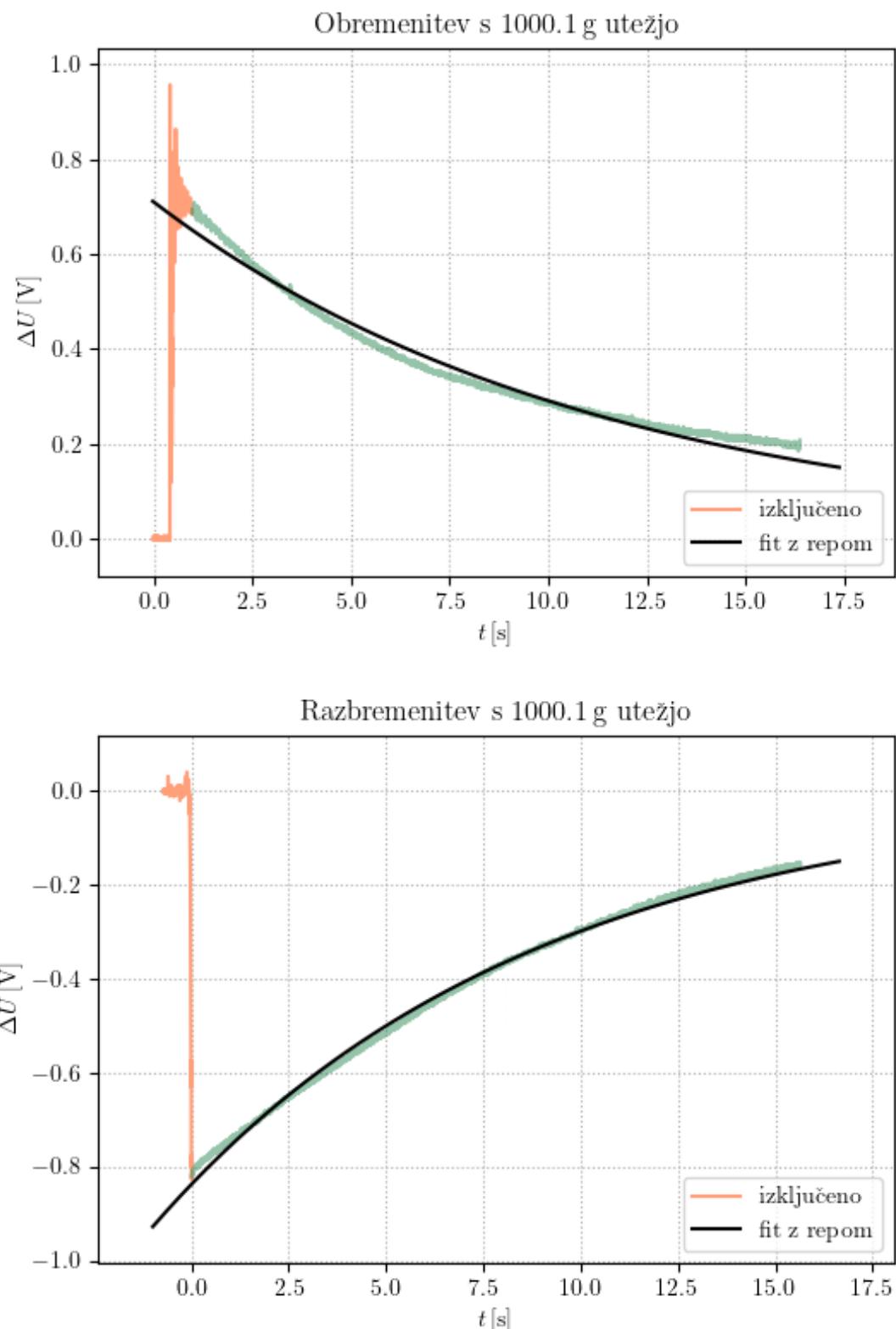
$$\bar{\epsilon} = 1000 \pm 200 \quad (8)$$

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

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

Slika 2: Prikaz za maso  $\sim 194$  g.

Slika 3: Prikaz za maso  $\sim 500$  g.

Slika 4: Prikaz za maso  $\sim 1$  kg.

## 4 Zaključek