

# Piezoelektričnost

Urh Trinko

1. januar 2021

# 1 UVOD

Piezoelektričnim kristalom se ob mehanski obremenitvi spremeni električna polarizacija, velja pa tudi obratno, saj zunanje električno polje povzroči deformacijo kristala. Piezoelektrični kristali se uporabljajo v napravah za meritev spremembe tlaka/sil, mikrofone, generatorje ultrazvoka ter pri delovanju tunelskega mikroskopa.

Pri vaji bomo opazovali piezoelektrični odziv ploščice iz piezokeramike, ko nanjo delujemo z neko silo. Ko na ploščico pritisnemo s silo  $F$  je ustvarjena (tlačna) napetost  $T$  enaka  $\frac{F}{S}$ , zato nastane polarizacija  $P_3 = d \cdot T$ . Ob tem se med gostoto elektrinega polja  $D$  in polarizacijo  $P_3$  vzpostavi zveza:

$$D = \epsilon \epsilon_0 E + P_3$$

( $\epsilon$  - dielektrična konstanta piezoelektrika)

Za naboj na posamezni plošči keramike iz zgornje enačbe ter  $q = DS$  sledi:

$$q = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{b} U + d \cdot F$$

Rdeči člen predstavlja le drug način za zapis naboja na ploščatem kondenzatorju:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{b} \quad (1)$$

( $S$  - ploščna kondenzatorja,  $b$  - debelina,  $C$  - kapaciteta)

Iz tega sledi, da lahko enačbo za naboj  $q$  preoblikujemo v:

$$q = CU + d \cdot F \quad (2)$$

Za časovno spreminjanje napetosti pa velja:

$$U_s(t) = sU_0 e^{-t/\tau} \quad (3)$$

( $s = +$  pri obremenitvi,  $s = -$  pri razbremenitvi, časovna konstanta  $\tau$  je enaka  $RC$ , kjer je  $R$  upor,  $C$  pa kapaciteta kondenzatorja)

## 2 POTREBŠČINE

- merilna valjasta posoda s piezoelektrično keramiko
- elektrometrski ojačevalnik z baterijskim napajalnikom
- digitalni osciloskop
- USB kjuč

## 3 NALOGA

1. Izmeri dielektrično konstanto piezoelektrične keramike.
2. Izračunaj piezoelektrični koeficient keramike.

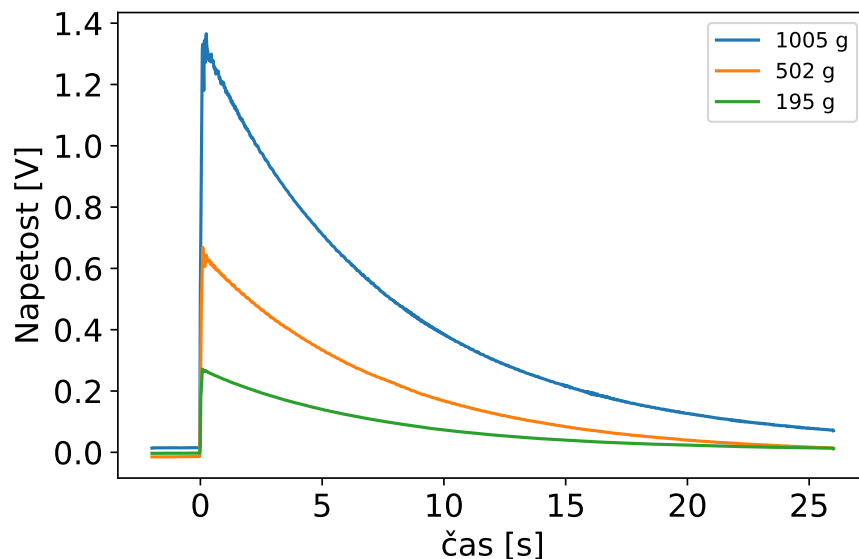
## 4 MERITVE

- mase uteži: (1005, 502,  $195 \pm 1$ ) g
- upor  $R = 5 \text{ G}\Omega$
- dimenzije piezokeramike:  $2r = (38 \pm 1) \text{ mm}$ ,  $b = (6,5 \pm 0.1) \text{ mm}$

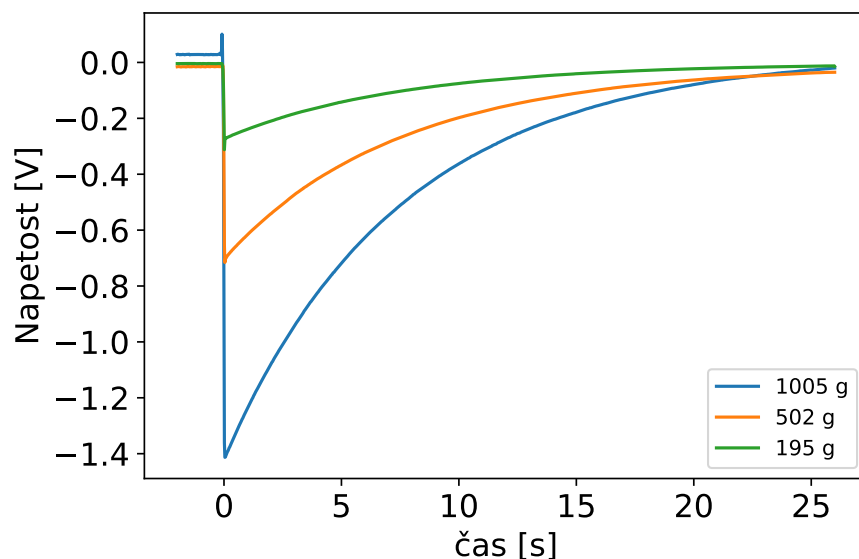
## 5 IZRAČUNI

### 5.1 Časovna konstanta $\tau$ in dielektričnost piezokeramike

Podatke o spreminjanju napetosti s časom pri obremenitvi in razbremenitvi sem najprej nanese na graf kot prikazujeta sliki 1 in 2.



Slika 1: Spreminjanje napetosti v odvisnosti od časa pri obremenitvi z različnimi utežmi



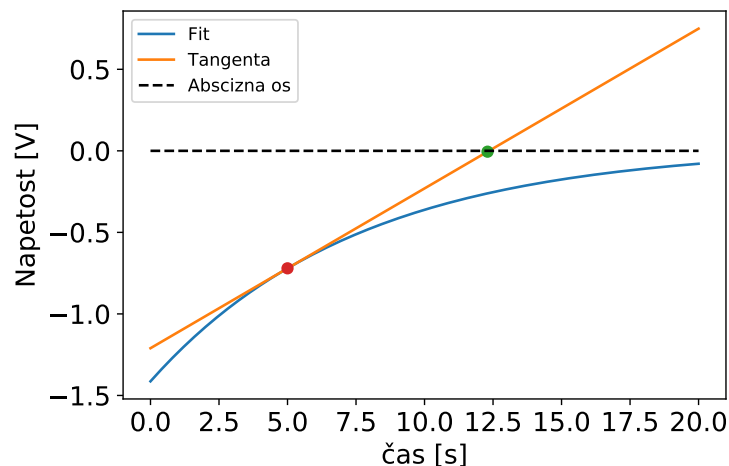
Slika 2: Spreminjanje napetosti v odvisnosti od časa pri razbremenitvi z različnimi utežmi

Kot je razvidno iz slik je sunek napetosti pri obremenitvi v pozitivni smeri, pri razbremenitvi pa v negativni. V obeh primerih pa nato napetost eksponentno pada proti nič.

Da bi dobil podatek o časovni konstanti  $\tau$ , ki je enaka pri vseh obremenitvah/razbremenitvah, saj zanjo velja  $\tau = RC$ , sem s pomočjo knjižnice `scipy` s funkcijo `curvefit` prilagodil podatkom enačbo  $U_s(t) = U_b + sU_0e^{-t/\tau}$  (kjer je  $U_b$  napetost ozadja). V `curvefit` pa sem nesel le izmerjene podatke po sunku napetosti, tako da sem res lahko "fital" eksponentno funkcijo. Iz povprečja zbranih podatkov sem lahko izračunal  $\tau$ , ki je znašal **7,5 (1 ± 0.03) s**.

Za primerjavo sem na primeru podatkov za razbremenitev pri uteži z maso 1005g  $\tau$  izračunal še na drug način. In sicer tako, da sem na krivuljo pri času  $t_1 = 5$ s narisal tangento ter odčital, kje ta tangenta seka abscizo. To je bilo pri času  $t_2 = (12 \pm 1)$ s,  $\tau$  pa je enak razliki  $t_1$  in  $t_2$ , in je v tem primeru znašal **(7 ± 1)s**, kar se ujema s prvim pridobljenim rezultatom. Postopek pridobitve tega rezultata je prikazan na sliki 3.

S pomočjo relacije  $\tau = RC$ , ter znanega upora preko katerega se je nastali kondenzator praznil sem lahko izračunal kapaciteto  $C$ , ki je znašala **1,5 (1 ± 0.03) nF**. Končno sem lahko



Slika 3: Postopek pridobivanja časovne konstante s tangento na graf.

uporabil enačbo (1) ter podatke o dimenziji piezo keramike, da sem izračunal dielektričnost piezoelektrične snovi:

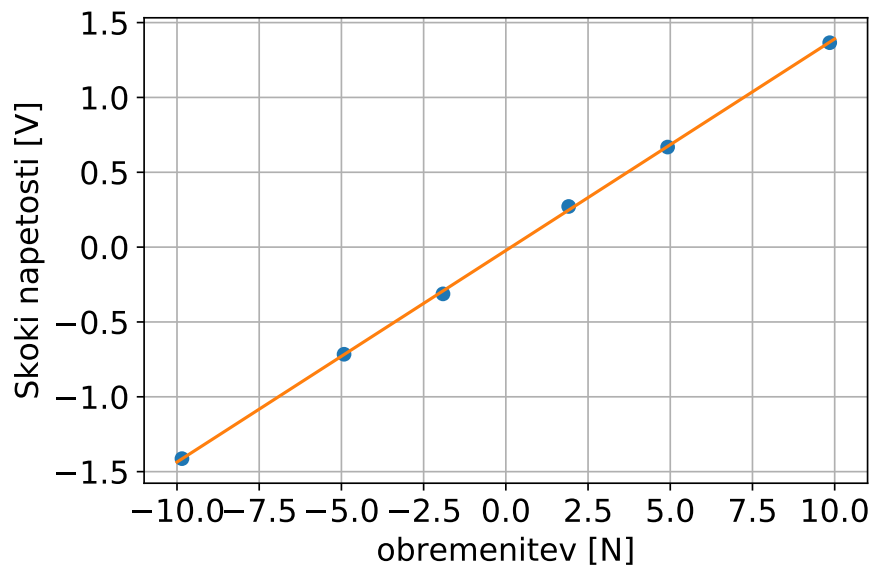
$$C = \frac{\pi r^2 \epsilon \epsilon_0}{b}$$

$$\Downarrow$$

$$\epsilon = \frac{bC}{\pi r^2 \epsilon_0}$$

Dielektrična konstanta piezoelektrika je znašala  $240(1 \pm 0.1)$ .

## 5.2 Skok napetosti v odvisnosti od obremenitve F in piezoelektrični koeficient



Slika 4: Začetni skok napetosti v odvisnosti od obremenitve.

Iz slike 3 je razvidno, da sta med skokom napetosti ter obremenitvijo vlada linearna odvisnost. Na grafu sem razbremenitve označil z negativnim predznakom. Naklon grafa je znašal  $(0.14 \pm 0.06) \frac{\text{V}}{\text{N}}$  (napaka določen s "fitanjem" na podatke).

S pomočjo grafa na sliki 3 sem nato lahko določil piezoelektrični faktor  $d$ . Sprva sem preoblikoval enačbo (2):

$$U = -\frac{d}{C}F + \frac{q}{C}$$

V tej obliki sem prepoznal odvisnost  $U(F)$ , v rdečem faktorju pa naklon grafa na sliki 3. Faktor  $d$  sem tako lahko določil iz znane vrednosti naklona ter kapacitete s povezavo  $d = -C \cdot k$ . Znašal je  $(2,1 \cdot 10^{-10}) \frac{As}{N}$ .

## 6 ZAKLJUČEK IN KOMENTAR

V prvem delu naloge sem izračunal časovno konstanto  $\tau$  na dva načina, in sicer s "fitanjem" podatkov na eksponentno funkcijo ter risanjem tangente na izbrano točko na krivulji. V obeh primerih sem dobil podoben rezultat, vendar je bil tisti s prvo metodo bolj natančen. Podatek o časovni konstanti mi je omogočil, da sem izračunal kapaciteto, kondenzatorja, ki je nastal, ko smo obremenili piezokeramiko, in končno še dielektrično konstanto danega materiala.

V drugem delu pa sem opazoval odvisnost skoka napetosti od obremenitvene oz. razbremenitvene sile. S pomočjo naklona grafa, ki sem ga pridobil s podatki pa sem lahko izračunal še piezoelektrični koeficient.