



## Fizikalni praktikum I

### Poročilo

# Vaja 20: Prožnostni modul

Simon Bukovšek

Datum vaje: 20. december 2021

Datum oddaje poročila: 27. december 2021

## 1 Teoretični uvod

Hookeov zakon pravi, da je relativen raztezek materiala premo sorazmeren z natezno napetostjo.

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \frac{S}{F}$$

Razmerje med relativnim raztezkom in natezno napetostjo je za vsak material drugačen in se imenuje Youngov modul  $E$ . Ta zveza velja samo do nekega relativnega raztezka. Pri večjih raztezkih, nad mejo linearnosti, se material ne razteguje več po Hookeovem zakonu, vendar se po prenehanju obremenitve spet vrne na začetno velikost. Pri še večjih napetostih, nad mejo elastičnosti, se material trajno deformira, pri meji natezne trdnosti pa se strga.

## 2 Pripomočki

- Bakrena in jeklena žica
- Mikrometersko in milimetresko merilo
- Uteži po 100g

## 3 Meritve

Na bakreno žico smo postopoma obešali stogramske uteži in merili raztezke. Ko je natezna napetost preseгла mejo elastičnosti, smo začeli odstranjevati uteži, pri čemer smo še vedno beležili odmike. Nato smo na tanjšo žico postopno obešali vedno več uteži, dokler se ni strgala. Za konec smo prvi del ponovili še na jekleni žici, vendar samo znotraj elastičnega območja.

## 4 Izmerjeni podatki

Debelina bakrene žice je bila izmerjena pri  $r_{\text{Cu}} = (175 \pm 5) \mu\text{m}$ , dolžina pa  $l_{\text{Cu}} = (204,5 \pm 0,5) \text{cm}$ . Podatki o obremenitvah in raztekih so podani v spodnji tabeli. Napaka pri razteku je povsod 0,1 mm in pri obremenitvi 1%.

obremenitev [g]	raztezek [mm]	obremenitev [g]	raztezek [mm]	obremenitev [g]	raztezek [mm]
0	0,0	1100	$3,6 \pm 0,1$	1000	$10,5 \pm 0,1$
100	$0,4 \pm 0,1$	1200	$3,9 \pm 0,1$	900	$10,3 \pm 0,1$
200	$0,8 \pm 0,1$	1300	$4,25 \pm 0,10$	800	$10,0 \pm 0,1$
300	$1,1 \pm 0,1$	1400	$4,75 \pm 0,10$	700	$9,8 \pm 0,1$
400	$1,3 \pm 0,1$	1500	$6,8 \pm 0,1$	600	$9,5 \pm 0,1$
500	$1,6 \pm 0,1$	1600	$12,3 \pm 0,1$	500	$9,2 \pm 0,1$
600	$1,9 \pm 0,1$	1500	$11,6 \pm 0,1$	400	$8,7 \pm 0,1$
700	$2,2 \pm 0,1$	1400	$11,45 \pm 0,10$	300	$8,4 \pm 0,1$
800	$2,55 \pm 0,10$	1300	$11,2 \pm 0,1$	200	$8,0 \pm 0,1$
900	$2,85 \pm 0,10$	1200	$11,0 \pm 0,1$	100	$7,7 \pm 0,1$
1000	$3,2 \pm 0,1$	1100	$10,8 \pm 0,1$	0	$7,3 \pm 0,1$

Tabela 1: Obremenitve in raztezki bakrene žice

Žica, pri kateri smo merili mejo natezne trdnosti je imela polmer  $r'_{\text{Cu}} = (63 \pm 5) \mu\text{m}$ . Mase pri katerih je žica popustila so bile:  $(315 \pm 5) \text{g}$ ,  $(325 \pm 5) \text{g}$  in  $(325 \pm 5) \text{g}$ .

Jeklena žica je imela polmer  $r_j = (295 \pm 5) \mu\text{m}$  in dolžino  $l_j = (196,5 \pm 0,5) \text{cm}$ . Podatki o obremenitvah in premikih so podani v spodnji tabeli.

obremenitev [g]	raztezek [mm]	obremenitev [g]	raztezek [mm]	obremenitev [g]	raztezek [mm]
0	0	400	$2,0 \pm 0,1$	800	$2,9 \pm 0,1$
100	$0,85 \pm 0,10$	500	$2,2 \pm 0,1$	900	$3,1 \pm 0,1$
200	$1,3 \pm 0,1$	600	$2,4 \pm 0,1$	1000	$3,3 \pm 0,1$
300	$1,75 \pm 0,10$	700	$2,65 \pm 0,10$		

Tabela 2: Obremenitve in raztezki jeklene žice

## 5 Analiza podatkov

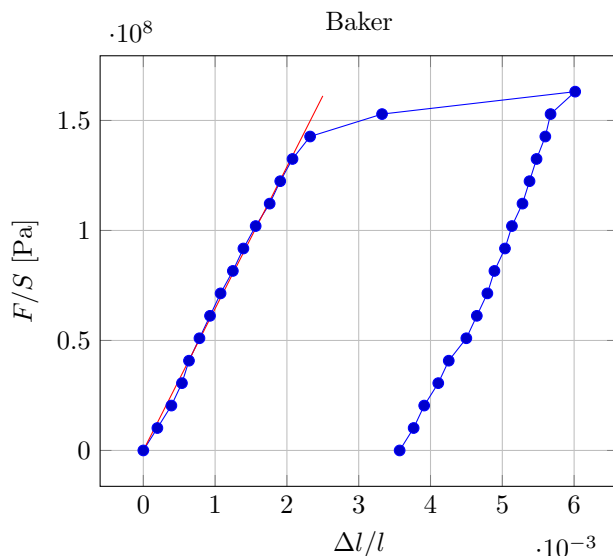
Najprej preračunajmo obremenitve na bakreno žico v natezno napetost in raztezke v relativne raztezke. Natezna napetost se izračuna po enačbi:  $\frac{F}{S} = \frac{mg}{\pi r^2}$ , relativni raztezek pa kot  $\frac{\Delta l}{l}$ . Presek bakrene žice je  $S = (9,62 \pm 0,04) \cdot 10^{-8} \text{m}^2$ . Natezne napetosti in relativni raztezki so podani v naslednji tabeli.

$F/S$ [MPa]	$\Delta l/l$ [%]	$F/S$ [MPa]	$\Delta l/l$ [%]	$F/S$ [MPa]	$\Delta l/l$ [%]
0.0	0.000	112.2	1.760	102.0	5.134
10.2	0.196	122.4	1.907	91.8	5.037
20.4	0.391	132.5	2.078	81.6	4.890
30.6	0.538	142.7	2.323	71.4	4.792
40.8	0.636	152.9	3.325	61.2	4.645
51.0	0.782	163.1	6.015	51.0	4.499
61.2	0.929	152.9	5.672	40.8	4.254
71.4	1.076	142.7	5.599	30.6	4.108
81.6	1.247	132.5	5.477	20.4	3.912
91.8	1.394	122.4	5.379	10.2	3.765
102.0	1.565	112.2	5.281	0.0	3.570

Tabela 3: Natezne napetosti in relativni raztezki bakrene žice

Če vzamemo prvih 9 meritev, lahko skozi točke na grafu potegnemo premico, katere naklonski koeficient je vrednost Youngovega modula. Dobimo  $k = E = (6,447 \pm 0,050) \cdot 10^{10} \text{Pa}$ .

Lahko pa narišemo še preostale izmerjene podatke in dobimo histerezo. S tega grafa lahko razberemo, da je meja linearnosti za baker približno enaka  $1,3 \cdot 10^8$  Pa, meja elastičnosti pa zagotovo manjša od  $1,6 \cdot 10^8$  Pa.



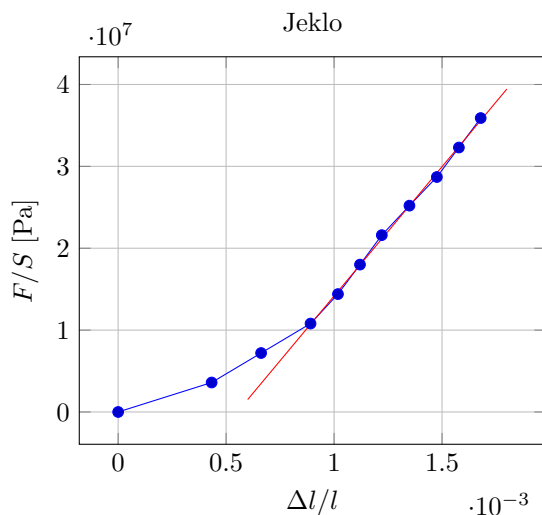
Povprečna masa, pri kateri se je strgala tanjša bakrena žička je bila  $(320 \pm 5)$  g. Presek žičke je bil enak  $(1,23 \pm 0,21) \cdot 10^{-8}$  m<sup>2</sup>, torej je meja natezne trdnosti bakra enaka  $(2,55 \pm 0,52) \cdot 10^8$  Pa.

Za jekleno žico je presek enak  $(2,73 \pm 0,09) \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>. Preračunane natezne napeosti in relativni raztezki so podani v naslednji tabeli.

$F/S$ [MPa]	$\Delta l/l$ [‰]	$F/S$ [MPa]	$\Delta l/l$ [‰]	$F/S$ [MPa]	$\Delta l/l$ [‰]
0.0	0.000	14.4	1.018	28.7	1.476
3.6	0.433	18.0	1.120	32.3	1.578
7.2	0.662	21.6	1.221	35.9	1.679
10.8	0.891	25.2	1.349		

Tabela 4: Natezne napeosti in relativni raztezki jeklene žice

Iz teh podatkov lahko narišemo graf, in naklonski koeficient premice bo enak Youngovemu modulu za jeklo. Kot je opaziti, se jeklo pri majhnih obremenitvah ne razteguje linearno. To gre pripisati dejstvu, da žica



na začetku ni popolnoma ravna, ampak je nekoliko zmečkana. Da bi odstranili napako tega efekta, smo fitali premico šele od četrtega podatka naprej, ko so točke na grafu res linearne. Odčitamo lahko, da je Youngov modul za jeklo enak  $3,16 \cdot 10^{10}$  Pa.