

# Vaje iz mehanike

Matija Zanjko<sup>1</sup>

Maribor, 2023

<sup>1</sup>Mentor: Marko Šterk



Kazalo

# Tabele

**Slike**

# Poglavje 1

## Vaja 1: Merjenje gostote

### 1.1 Gostota trdne snovi

#### 1.1.1 Naloga 1

Z merjenjem dimenzij (širine ( $a$ ), višine ( $b$ ), dolžine ( $c$ )) in mase ( $m$ ) kvadra določite gostoto ( $\rho$ ) snovi, iz katere je narejen kvader. Gostoto izračunajte po enačbi  $\rho = m/V$ , kjer je  $V$  prostornina ( $V = abc$ ). Določite tudi napako gostote snovi.

#### 1.1.2 Sistematične napake merilnikov

Napaka kljunastega merila: **0.05 mm**

Napaka mikrometra: **0.01 mm**

Napaka tehtnice: **0.1 g**

### 1.1.3 Meritve

Tabela 1.1: Meritve dimenzije a

Meritev	$a_{izm}$ [mm]	$\bar{a}$ [mm]	$a_{izm} - \bar{a}$ [mm]	$\Delta a_{sist}$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$\Delta a_{sl}$ [mm]	$a$ [mm]
1	8.16		0				
2	8.15		-0.01				
3	8.20		<del>0.04</del>				
4	8.18		0.02				
5	8.16	8.16	0.00	0.01	0.02	0.01	8.16 $\pm$ 0.02
6	8.15		-0.01				=
7	8.16		0.00				8.16 $\cdot$ (1 $\pm$ 0.002)
8	8.17		0.01				
9	8.10		<del>-0.06</del>				
10	8.12		<del>-0.04</del>				

Tabela 1.2: Meritve dimenzije b

Meritev	$b_{izm}$ [mm]	$\bar{b}$ [mm]	$b_{izm} - \bar{b}$ [mm]	$\Delta b_{sist}$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$\Delta b_{sl}$ [mm]	$b$ [mm]
1	25.25		0.02				
2	25.20		-0.03				
3	25.20		-0.03				
4	25.25		0.02				
5	25.25	25.23	0.02	0.05	0.03	0.01	25.23 $\pm$ 0.06
6	25.20		<del>-0.03</del>				=
7	25.20		<del>-0.03</del>				25.23 $\cdot$ (1 $\pm$ 0.002)
8	25.20		<del>-0.03</del>				
9	25.25		0.02				
10	25.25		0.02				

Tabela 1.3: Meritve dimenzije c

Meritev	$c_{izm}$ [mm]	$\bar{c}$ [mm]	$c_{izm} - \bar{c}$ [mm]	$\Delta c_{sist}$ [mm]	$\sigma$	$\Delta c_{st}$ [mm]	$c$ [mm]
1	40.00		-0.02				
2	40.00		-0.02				
3	40.10		<del>0.08</del>				
4	40.00		-0.02				40.02 $\pm$ 0.06
5	40.00	40.02	-0.02	0.05	0.02	0.01	=
6	40.00		-0.02				
7	40.00		-0.02				40.02 $\cdot$ (1 $\pm$ 0.001)
8	40.05		<del>0.03</del>				
9	40.05		<del>0.03</del>				
10	40.00		-0.02				

Meritev mase:  $m = 22.8 \pm 0.1 \text{ g} = 22.8 \cdot (1 \pm 0.004) \text{ g}$



#### 1.1.4 Računanje gostote

Gostota se računa po enačbi:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

Vendar najprej rabimo volumen telesa. Ker gre za kvader lahko uporabimo enačbo:

$$V = abc \quad (1.2)$$

Tako torej dobimo:

$$\begin{aligned} V &= 8.16 \, (1 \pm 0.002) \, mm \cdot 25.23 \, (1 \pm 0.002) \, mm \cdot 40.02 \, (1 \pm 0.001) \, mm \\ V &= 8.16 \cdot 25.23 \cdot 40.02 \, (1 \pm (0.002 + 0.002 + 0.001)) \, mm^3 \\ V &= 8240 \, (1 \pm 0.005) \, mm^3 \end{aligned} \quad (1.3)$$

Sedaj lahko izračunamo gostoto telesa:

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{22.8 \cdot (1 \pm 0.004) \, g}{8240 \cdot (1 \pm 0.005) \, mm^3} \\ \rho &= 2.77 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \pm 0.009) \, \frac{g}{mm^3} \\ \rho &= 2.77 \cdot 10^3 \cdot (1 \pm 0.009) \, \frac{kg}{m^3} \end{aligned} \quad (1.4)$$

#### 1.1.5 Rezultati

Prišli smo do rezultata, da je gostota telesa  $\rho = 2770 \cdot (1 \pm 0.009) \, \frac{kg}{m^3}$  oz.  $\rho = (2,77 \pm 0.02) \cdot 10^3 \, \frac{kg}{m^3}$ .

S tega bi lahko sklepali, da je telo verjetno iz zlitine, ki vsebuje veliko aluminija, saj je njegova gostota:  $\rho_{Al} = 2710 \, \frac{kg}{m^3}$ .

## 1.2 Gostota kapljevine

### 1.2.1 Naloga 2

a) Z menzuro in tehtnico izmerite gostoto 20 % raztopine kuhinjske soli v vodi. Gostoto izmerite tudi z areometrom.

b) Z areometrom izmerite gostoto etilnega alkohola.

### 1.2.2 Sistematične napake merilnikov

Napaka areometra za raztopino NaCl: **0.01**  $\left[\frac{g}{mL}\right]$

Napaka areometra za etilni alkohol: **0.005**  $\left[\frac{g}{mL}\right]$

Merilno območje termometra: od  $-199.9\text{ }^{\circ}C$  do  $199.9\text{ }^{\circ}C$

Napaka tehtnice: **1 g**

Napaka menzure: **2 mL**

### 1.2.3 Postopek in meritve

Najprej smo pripravili 20 % raztopino NaCl. Skupna masa raztopine je bila:

$$m = (620 \pm 1) \text{ g} \quad (1.5)$$

Nato smo izmerili volumen naše raztopine. Ker je menzura bila premajhna za celotno meritev volumna, smo to morali narediti trikrat.

$$\begin{aligned} V &= (250 \text{ mL} \pm 2 \text{ mL}) + (250 \text{ mL} \pm 2 \text{ mL}) + (51 \text{ mL} \pm 2 \text{ mL}) \\ V &= (553 \pm 6) \text{ mL} \\ V &= 553 \cdot (1 \pm 0.01) \text{ mL} \end{aligned} \quad (1.6)$$

Nato smo gostoto raztopine NaCl izmerili še z areometrom.

Tabela 1.4: Meritve gostote raztopine NaCl z areometrom

Meritev	$\rho_{izm} \left[ \frac{\text{g}}{\text{mL}} \right]$	$\bar{\rho} \left[ \frac{\text{g}}{\text{mL}} \right]$	$\rho_{izm} - \bar{\rho} \left[ \frac{\text{g}}{\text{mL}} \right]$	$\Delta\rho_{sist} \left[ \frac{\text{g}}{\text{mL}} \right]$	$\Delta\rho_{sl} \left[ \frac{\text{g}}{\text{mL}} \right]$	$\rho \left[ \frac{\text{g}}{\text{mL}} \right]$	$T \text{ [}^{\circ}\text{C]}$
1	1.14		0				
2	1.14		0			$1.14 \pm 0.01$	
3	1.15	1.14	<del>0.01</del>	0.01	0	=	19.6
4	1.14		0			$1.14 \cdot (1 \pm 0.01)$	
5	1.15		<del>0.01</del>				

Nato smo še opravili meritve gostote etilnega alkohola, s pomočjo areometra.

Tabela 1.5: Meritve gostote etilnega alkohola

Meritev	$\rho_{izm} \left[ \frac{\text{g}}{\text{mL}} \right]$	$\bar{\rho} \left[ \frac{\text{g}}{\text{mL}} \right]$	$\rho_{izm} - \bar{\rho} \left[ \frac{\text{g}}{\text{mL}} \right]$	$\Delta\rho_{sist} \left[ \frac{\text{g}}{\text{mL}} \right]$	$\Delta\rho_{sl} \left[ \frac{\text{g}}{\text{mL}} \right]$	$\rho \left[ \frac{\text{g}}{\text{mL}} \right]$	$T \text{ [}^{\circ}\text{C]}$
1	0.805		0				
2	0.805		0			$0.805 \pm 0.005$	
3	0.805	0.805	0	0.005	0	=	21.5
4	0.805		0			$0.805 \cdot (1 \pm 0.006)$	
5	0.805		0				

### 1.2.4 Računanje gostote

Računanje gostote 20 % raztopine NaCl s pomočjo mase in volumna:

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{620 \cdot (1 \pm 0.002) \text{ g}}{553 \cdot (1 \pm 0.01) \text{ mL}} \\ \rho &= 1.12 \cdot (1 \pm 0.01) \frac{\text{g}}{\text{mL}} \\ \rho &= 1120 \cdot (1 \pm 0.01) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\end{aligned}\tag{1.7}$$

### 1.2.5 Rezultati

Prišli smo do rezultatov, da je gostota NaCl pridobljena s tehtanjem in merjenjem dimenzij:  $\rho_{NaCl} = 1120 \cdot (1 \pm 0.01) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  oz.  $\rho_{NaCl} = (1120 \pm 10) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Meritev z areometrom pa:  $\rho_{NaCl} = 1140 \cdot (1 \pm 0.01) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  oz.  $\rho_{NaCl} = (1140 \pm 10) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Do odstopanja pri različnih metodah je mogoče prišlo, zaradi nenatančnosti pri merjenju, ali pa se je mogoče temperatura raztopine malo spremenila.

Gostoto etilnega alkohola pa sem izmeril samo z areometrom in dobil:  $\rho_{alkohol} = 805 \cdot (1 \pm 0.006) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  oz.  $\rho_{alkohol} = (805 \pm 5) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

## 1.3 Vprašanja

a) Razložite, kako temperatura vpliva na merjenje gostote kapljevine. Za koliko odstotkov se spremeni gostota vode, če se temperatura spremeni za **1 K**? Temperaturni koeficient prostorninskega razteska vode je  **$2.06 \cdot 10^{-6} K^{-1}$** .

Relativno povečanje volumna vode je sorazmerno spremembi temperature:

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T \quad (1.8)$$

Če torej v enačbo vstavimo podatke dobimo:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta V}{V} &= 2.06 \cdot 10^{-6} K^{-1} \cdot 1 K \\ \frac{\Delta V}{V} &= 2.06 \cdot 10^{-4} \% \end{aligned} \quad (1.9)$$

Torej bi se voda razteznila za  $2.06 \cdot 10^{-4} \%$ .

b) Razložite fizikalni princip meritve gostote tekočin z areometrom.

Areometer deluje na podlagi vzgona tekočine, v katero je potopljen. Ima obliko ozke cevi z utežjo na dnu, ki je dovolj težka, da se areometer potopi v tekočino. Ko je areometer potopljen v tekočino, se potopi do ravni, kjer je vzgon enak teži areometra. Ta raven potopljenosti je odvisna od gostote tekočine.

## Poglavje 2

# Vaja 2: Merjenje sile

### 2.1 Naloga

a) Izvedite eksperiment, pri katerem boste merili silo v vzmeti in raztezek vzmeti. Izmerjene podatke prikažite z odvisnostjo sile vzmeti od raztezka. Iz diagrama določite prožnostni koeficient vzmeti.

b) Sestavite vzmetno nihalo in izmerite silo v vzmeti v odvisnosti od časa. Meritev izvedite z računalniškim merilnim sistemom Vernier. Meritev opravite s tremi različnimi utežmi. Iz diagrama sile v odvisnosti od časa v vseh treh primerih odčitajte nihajni čas nihala in v vsakem primeru izračunajte konstanto vzmeti.

### 2.2 Sistematične napake merilnikov

Napaka ravnila: **0.1 cm**

Napaka tehtnice: **0.1 g**

Napaka za čas:  $\frac{0.01}{15} \text{ s} = \mathbf{0.001 \text{ s}}$

## 2.3 Merjenje

Za določanje koeficienta vzmeti sem najprej izmeril raztezke pri različnih masah uteži.

Tabela 2.1: Raztezek vzmeti pri določeni teži

Meritev	$m$ [g]	$\Delta m$ [g]	$F$ [N]	$\Delta F$ [N]	$x$ [cm]	$\Delta x$ [cm]
1	50.9		0.499		6.8	
2	100.9		0.990		13.5	
3	148.9		1.461		19.8	
4	199.4	0.1	1.956	0.001	26.6	0.1
5	148.9		1.461		19.8	
6	100.9		0.990		13.4	
7	50.9		0.499		6.6	

Nato sem za uteži z masami 50.9 g, 100.9 g in 148.9 g izmeril čas nihanja za 15 nihajev.

Tabela 2.2: Nihajni čas

Meritev	$m$ [g]	$t_{izm}$ [s]	$t_{en\ nihakj}$ [s]	$\bar{t}$ [s]	$t_{en\ nihakj} - \bar{t}$ [s]	$\sigma$ [s]	$\Delta t_{sl}$ [s]	$\Delta t_{sist}$	$t$ [s]
1	50.9	8.26	0.551	0.551	0	0	0	0.001	$0.551 \pm 0.001$
2		8.26	0.551		0				=
3		8.24	0.549		-0.001				=
4		8.26	0.551		0				$0.551 \cdot (1 \pm 0.002)$
5		8.28	0.552		0.001				
1	100.9	11.40	0.7600	0.7272	0.0328	0.0219	0.0069	0.0007	$0.7272 \pm 0.014$
2		10.58	0.7053		-0.0219				=
3		10.60	0.7067		-0.0205				=
4		10.62	0.7080		-0.0192				$0.7272 \cdot (1 \pm 0.02)$
5		11.34	0.7560		0.0288				
1	148.9	13.64	0.9093	0.9099	-0.0006	0.0008	0.0004	0.0007	$0.9098 \pm 0.0008$
2		13.64	0.9093		-0.0006				=
3		13.66	0.9107		0.0008				=
4		13.62	0.9080		-0.0019				$0.9099 \cdot (1 \pm 0.0009)$
5		13.68	0.9120		0.0021				

## 2.4 Rezultati

### 2.4.1 Prožnostni koeficient vzmeti

Enačba za izračun raztezka je:

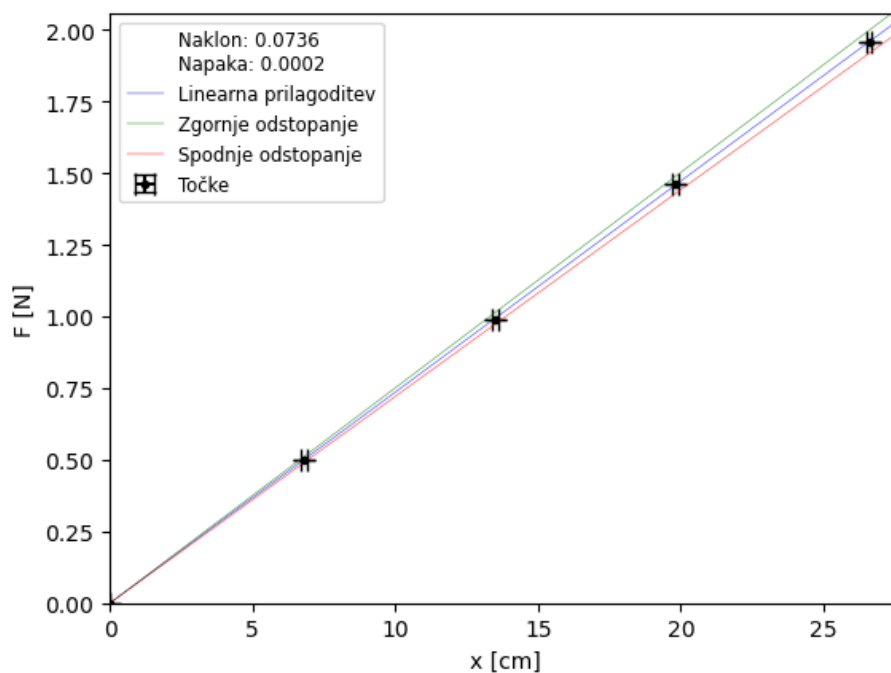
$$F = kx \quad (2.1)$$

Če izpostavimo prožnostni koeficient vzmeti dobimo:

$$k = \frac{F}{x} \quad (2.2)$$

S pomočjo podatko iz tabele 2.1, narišemo graf sile v odvisnosti od raztezka, da dobimo graf  $F(x)$ .

Slika 2.1: Graf  $F(x)$



Iz tega je razvidno, da je koeficient prožnosti vzmeti enak:

$$k = (0.0736 \pm 0.0002) \frac{N}{cm} \quad (2.3)$$



### 2.4.2 Izračun konstante vzmeti

Pri tem delu naloge je za vsako izmed uteži treba izračunati konstanto vzmeti. Za vzmet, ki niha velja sledeča enačba:

$$t_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2.4)$$

Nas pri tem zanima, konstanto vzmeti.

$$k = m \left( \frac{2\pi}{t_0} \right)^2 \quad (2.5)$$

Izračun za prvo utež:

$$m_1 = 50.9 \cdot (1 \pm 0.002) \text{ g} = 50.9 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \pm 0.002) \text{ kg}$$

$$t_{0_1} = 0.551 \cdot (1 \pm 0.002) \text{ s}$$

$$\begin{aligned} k_1 &= 50.9 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \pm 0.002) \text{ kg} \cdot \left( \frac{2\pi}{0.551 \cdot (1 \pm 0.002) \text{ s}} \right)^2 \\ k_1 &= 50.9 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \pm 0.002) \text{ kg} \cdot \frac{4\pi^2}{0.551^2 \cdot (1 \pm 2 \cdot 0.002) \text{ s}^2} \\ k_1 &= \frac{50.9 \cdot 10^{-3} \cdot 4\pi^2}{0.551^2} \cdot (1 \pm 0.004) \frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \\ &\boxed{k_1 = 6.62 \cdot (1 \pm 0.004) \frac{\text{N}}{\text{m}}} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Izračun za drugo utež:

$$m_2 = 100.9 \cdot (1 \pm 0.001) \text{ g} = 100.9 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \pm 0.001) \text{ kg}$$

$$t_{0_2} = 0.7272 \cdot (1 \pm 0.02) \text{ s}$$

$$\begin{aligned} k_2 &= 100.9 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \pm 0.001) \text{ kg} \cdot \left( \frac{2\pi}{0.7272 \cdot (1 \pm 0.02) \text{ s}} \right)^2 \\ k_2 &= 100.9 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \pm 0.001) \text{ kg} \cdot \frac{4\pi^2}{0.7272^2 \cdot (1 \pm 2 \cdot 0.02) \text{ s}^2} \\ k_2 &= \frac{100.9 \cdot 10^{-3} \cdot 4\pi^2}{0.7272^2} \cdot (1 \pm 0.04) \frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \\ &\boxed{k_2 = 7.533 \cdot (1 \pm 0.04) \frac{\text{N}}{\text{m}}} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Izračun za tretjo utež:

$$m_2 = 148.9 \cdot (1 \pm 0.0007) \text{ g} = 1048.9 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \pm 0.0007) \text{ kg}$$

$$t_{0_2} = 0.9098 \cdot (1 \pm 0.0009) \text{ s}$$

$$\begin{aligned} k_3 &= 148.9 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \pm 0.0007) \text{ kg} \cdot \left( \frac{2\pi}{0.9098 \cdot (1 \pm 0.0009) \text{ s}} \right)^2 \\ k_3 &= 148.9 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \pm 0.0007) \text{ kg} \cdot \frac{4\pi^2}{0.9098^2 \cdot (1 \pm 2 \cdot 0.0009) \text{ s}^2} \\ k_3 &= \frac{148.9 \cdot 10^{-3} \cdot 4\pi^2}{0.9098^2} \cdot (1 \pm 0.003) \frac{\text{kg}}{\text{s}^2} \\ &\boxed{k_3 = 7.102 \cdot (1 \pm 0.003) \frac{\text{N}}{\text{m}}} \end{aligned} \quad (2.8)$$

## 2.5 Vprašanje

a) Kaj si predstavljate pod električnim uporom materiala in zakaj se ta spreminja, ko material izpostavimo električnemu toku?

Pod *električnim uporom* materiala si predstavljam, kako močno material ovira pretok električnega toka pri določeni napetosti. Večji kot je upor, manj toka bo teklo skozi material.

**Dejavniki, ki vplivajo na upornost materiala:**

- **Tip materiala:** Snovi z več prostimi nosilci naboja imajo nižji upor kot snovi z manj prostimi nosilci naboja.
- **Temperatura:** Upornost večine materialov se z naraščanjem temperature poveča.
- **Dodatni dejavniki:** Velikost, oblika materiala, prisotnost nečistoč, itd.

Ko material izpostavimo električnemu toku, se njegov upor lahko spremeni zaradi naslednjih dejavnikov:

- **Toplota:** Električni tok povzroča segrevanje materiala, kar lahko povzroči povečanje upornosti.
- **Spreminjanje električne strukture materiala:** Električni tok lahko povzroči spremembe v električni strukturi materiala, kar lahko povzroči tudi spremembo upornosti.

Na primer, upornost kovin se z naraščanjem temperature poveča, saj se elektroni v kovini gibljejo hitreje in bolj pogosto trčijo z atomi. Upornost polprevodnikov pa se z naraščanjem temperature zmanjša, saj se število prostih nosilcev naboja v polprevodniku poveča.

Spreminjanje električnega upora materiala ima lahko različne posledice. Na primer, lahko se uporablja za regulacijo toka v električnih vezjih ali za spremljanje stanja materiala.

b) Uporabite osnove kinematike in dinamike ter razložite, kako lahko samo z opazovanjem nihajočega gibanja utemeljimo, da se pri gibanju sila v vzmeti s časom (in tudi krajem) spreminja.

Opazanje nihajočega gibanja vzmeti nam lahko pomaga razumeti, kako se sila v vzmeti spreminja s časom in krajem. Pri tem je koristno uporabiti osnove kinematike in dinamike.

### 1. Osnove kinematike:

Amplituda: Najvišja točka nihanja vzmeti, ki predstavlja največjo oddaljenost od ravnovesne pozicije.

Frekvenca: Število nihajev vzmeti na enoto časa.

Nihajni čas: Čas, ki je potreben za en celoten cikel nihanja.

### 2. Osnove dinamike:

Hookeov zakon: Sila v vzmeti je sorazmerna s premikom od ravnovesne pozicije. Matematično to izraža enačba  $F = -kx$ , kjer je  $k$  vzmetna konstanta,  $x$  premik od ravnovesne pozicije, in  $-$  znak, ki pove, da je smer sile nasprotna smeri premika.

Pri opazovanju nihajočega gibanja vzmeti lahko ugotovimo naslednje:

- **Spreminjanje sile s časom:** Ko spustimo utež, se vzmet razteza (telo na vzmeti niha). Vzmetna sila se spreminja, ker se razdalja od ravnovesne pozicije spreminja. Med nihanjem bo največja sila v vzmeti dosežena pri največjem raztezanju ali stiskanju (največji premik od ravnovesne pozicije).
- **Spreminjanje sile s krajevnim položajem:** Vzmetna sila se spreminja tudi glede na trenutni položaj vzmeti. Pri največjem raztezanju ali stiskanju bo sila največja. Pri prehodu skozi ravnovesno pozicijo (kjer je premik nič), bo sila v vzmeti enaka nič.
- **Povezava med kinematiko in dinamiko:** Pospešek ( $a$ ) vzmeti je povezan s silo preko drugega Newtonovega zakona ( $F = ma$ ), kjer je  $m$  masa vzmeti. Silo v vzmeti lahko povežemo s premikom in pospeškom preko Hookeovega zakona in drugega Newtonovega zakona.

Tako opazovanje nihajočega gibanja vzmeti nam omogoča, da razumemo, kako se sila v vzmeti spreminja s časom (med nihanjem) in krajem (glede na trenutni položaj vzmeti). To povezavo lahko razumemo s pomočjo osnov kinematike in dinamike.

## Poglavje 3

# Vaja 3

### 3.1 Mikrometer in mikrometerska ura

#### 3.1.1 Naloga

Na tri načine izmerite debelino aluminijaste folije:

- a) s tehtnanjem in z merjenjem dimenzij,
- b) z mikrometrom,
- c) z mikrometersko uro.

#### 3.1.2 Sistematične napake merilnikov

Napaka tehtnice: **0.1 g**,

Napaka ravnila: **1 mm**

### Meritve dimenzij a, b in tehtanje

Tabela 3.1: Masa folije

Meritev	$m_{izm}$ [g]	$\bar{m}$ [g]	$m_{izm} - \bar{m}$ [g]	$\sigma$ [g]	$\Delta m_{sl}$ [g]	$\Delta m_{sist}$ [g]	$m$ [g]
1	1.2		0				
2	1.1		-0.1				
3	1.1		0				$1.2 \pm 0.1$
4	1.2		0				
5	1.3		<del>0.1</del>				
6	1.3	1.2	<del>0.1</del>	0.1	0	0.1	=
7	1.3		<del>0.1</del>				
8	1.1		-0.1				
9	1.2		0				$1.2 \cdot (1 \pm 0.08)$
10	1.1		-0.1				

Tabela 3.2: Dolžina folije

Meritev	$a_{izm}$ [mm]	$\bar{a}$ [mm]	$a_{izm} - \bar{a}$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$\Delta a_{sl}$ [mm]	$\Delta a_{sist}$ [mm]	$a$ [mm]
1	130		0				
2	130		0				
3	131		1				$130 \pm 1$
4	130		0				
5	130		0				
6	129	130	-1	1	0	1	=
7	129		<del>-1</del>				
8	130		0				
9	128		-2				$130 \cdot (1 \pm 0.008)$
10	128		-2				

Tabela 3.3: Dolžina folije

Meritev	$b_{izm}$ [mm]	$\bar{b}$ [mm]	$b_{izm} - \bar{b}$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$\Delta b_{sl}$ [mm]	$\Delta b_{sist}$ [mm]	$b$ [mm]
1	300		0				
2	299		-1				
3	300		0				$300 \pm 1$
4	301		1				
5	301		1				
6	300	300	0	1	0	1	=
7	300		0				
8	301		1				
9	300		0				$300 \cdot (1 \pm 0.003)$
10	300		0				

**Izračun gostote**

Ker gre za aluminijasto folijo je njena gostata:

$$\rho = (2.70 \pm 0.05) \frac{kg}{dm^3} \quad (3.1)$$

$$\rho = 2.70 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \pm 0.02) \frac{g}{mm^3}$$

Enačba za gostota kvadra je:

$$\rho = \frac{m}{abc} \quad (3.2)$$

Nas pri tem zanima debelina, torej  $c$ .

$$c = \frac{m}{\rho ab}$$

$$c = \frac{1.2 \cdot (1 \pm 0.08) g}{2.70 \cdot 10^{-3} \cdot (1 \pm 0.02) \frac{g}{mm^3} \cdot 130 \cdot (1 \pm 0.008) mm \cdot 300 \cdot (1 \pm 0.003) mm}$$

$c = 0.011 \cdot (1 \pm 0.1) mm$

(3.3)

### Meritve z mikrometrom

Pri merjenju z mikrometrom smo folijo 6-krat prepognili, kar pomeni, da je folija imela  $2^6$ , torej 64 slojev.

Tabela 3.4: Merjenje 64 slojev folije z mikrometrom

Meritev	$c_{izm}$ [mm]	$\bar{c}$ [mm]	$c_{izm} - \bar{c}$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$\Delta c_{sl}$ [mm]	$\Delta c_{sist}$ [mm]	$c$ [mm]
1	0.83		0				
2	0.93		<del>0.10</del>				
3	0.72		<del>-0.11</del>				$0.83 \pm 0.04$
4	0.84		0.01				
5	0.81	0.83	-0.02	0.09	0.03	0.01	=
6	1.01		<del>-0.18</del>				
7	0.84		0.01				
8	0.84		0.01				
9	0.74		-0.09				$0.83 \cdot (1 \pm 0.05)$
10	0.78		-0.05				

Ta rezultat je podan za 64 slojev. Torej je en sloj:

$$\boxed{c = 0.013 \cdot (1 \pm 0.05) \text{ mm}} \quad (3.4)$$



### Meritev z mikrometersko uro

Pri merjenju z mikrometrsko uro smo pravtako uporabili 6 krat prepognjeno folijo aluminija.

Tabela 3.5: Merjenje 64 slojev folije z mikrometersko uro

Meritev	$c_{izm}$ [mm]	$\bar{c}$ [mm]	$c_{izm} - \bar{c}$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$\Delta c_{sl}$ [mm]	$\Delta c_{sist}$ [mm]	$c$ [mm]
1	0.96		0				
2	1.00		<del>0.04</del>				
3	1.01		<del>0.05</del>				$0.96 \pm 0.02$
4	0.96		0				
5	0.95		-0.01				
6	0.95	0.96	-0.01	0.04	0.01	0.01	=
7	0.95		-0.01				
8	1.00		0.04				
9	0.90		<del>-0.06</del>				$0.96 \cdot (1 \pm 0.02)$
10	0.93		-0.03				

Ta rezultat je podan za 64 slojev. Torej je en sloj:

$$\boxed{c = 0.015 \cdot (1 \pm 0.02) \text{ mm}} \quad (3.5)$$

## 3.2 Sferometer

### 3.2.1 Naloga

S sferometrom določite krivinski polmer krogelnega odseka in izračunajte absolutno napako meritve.

### 3.2.2 Sistematične napake

Sferometer: **0.01 mm**

Kljunasto merilo: **0.1 mm**

### 3.2.3 Meritve

Tabela 3.6: Merjenje višine krogelnega odseka s sferometrom

Meritev	$h_{izm}$ [mm]	$\bar{h}$ [mm]	$h_{izm} - \bar{h}$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$\Delta h_{sl}$ [mm]	$\Delta h_{sist}$ [mm]	$h$ [mm]
1	4.29		0				
2	4.30		<del>0.01</del>				
3	4.29		0				4.29 $\pm$ 0.01
4	4.30		<del>0.01</del>				
5	4.29	4.29	0	0	0	0.01	=
6	4.29		0				
7	4.29		0				
8	4.29		0				
9	4.29		0				4.29 $\cdot$ (1 $\pm$ 0.002)
10	4.29		0				

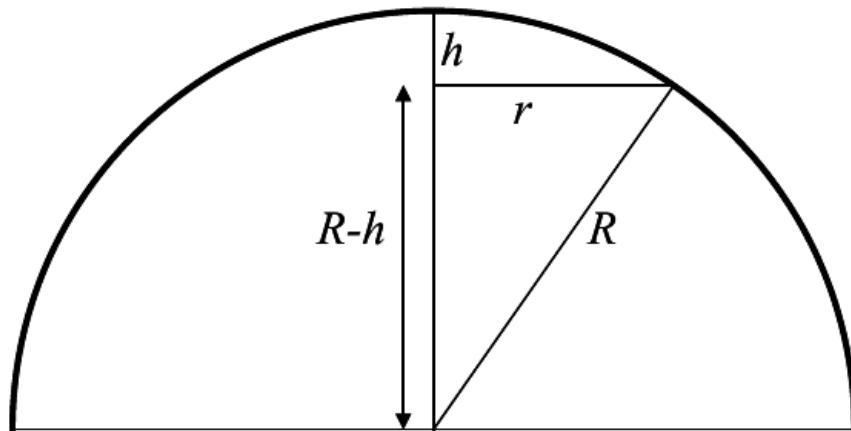
Tabela 3.7: Merjenje polmera s kljunastim merilnikom

Meritev	$r_{izm}$ [mm]	$\bar{r}$ [mm]	$r_{izm} - \bar{r}$ [mm]	$\sigma$ [mm]	$\Delta r_{sl}$ [mm]	$\Delta r_{sist}$ [mm]	$r$ [mm]
1	30.0		0.1				
2	30.1		0.2				
3	30.3		<del>0.4</del>				29.9 $\pm$ 0.2
4	30.1		0.2				
5	29.8	29.9	-0.1	0.2	0.1	0.1	=
6	29.8		-0.1				
7	29.5		<del>-0.4</del>				
8	29.7		-0.2				
9	30.4		<del>0.5</del>				29.9 $\cdot$ (1 $\pm$ 0.007)
10	29.7		-0.2				

### 3.2.4 Računanje krivinskega polmera

Graf krivinskega polmera je najlažje odbrati s te slike:

Slika 3.1: Slika krivinskega polmera



S pomočjo pravokotnega trikotni lahko izpeljemo sledečo formulo:

$$\begin{aligned} R^2 &= (R-h)^2 + r^2 \\ R^2 &= R^2 - 2Rh + h^2 + r^2 \\ R &= \frac{h^2 + r^2}{2h} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Če v formulo vstavimo podatke dobimo:

$$\begin{aligned} R &= \frac{4.29^2 \cdot (1 \pm 2 \cdot 0.002) \text{ mm}^2 + 29.9^2 \cdot (1 \pm 2 \cdot 0.007) \text{ mm}^2}{2 \cdot 4.29 \cdot (1 \pm 0.002) \text{ mm}} \\ R &= \frac{(18.4 \pm 0.01) \text{ mm}^2 + (894 \pm 13) \text{ mm}^2}{8.58 \cdot (1 \pm 0.002) \text{ mm}} \\ R &= \frac{(912 \pm 13) \text{ mm}^2}{8.58 \cdot (1 \pm 0.002) \text{ mm}} \\ R &= \frac{912 \cdot (1 \pm 0.01) \text{ mm}}{8.58 \cdot (1 \pm 0.002)} \\ R &= 106 \cdot (1 \pm 0.01) \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.7)$$

## 3.3 Mikroskop

### 3.3.1 Navodila

*a)* Umerite merilno mrežo mikroskopa in izmerite premer tanke žičke, premer majhne luknjice, debelino svojega lasu in število nitk na milimeter pri mrežici za sitotisk.

*b)* Z navadnim ravnilom skušajte na **0.1 mm** natančno izmeriti debelino črte, ki je tanjša od **1 mm**. Ocenite napako take meritve. Nato debelino črte izmerite še z merilnim mikroskopom in preverite, ali ste z ravnilom debelino pravilno ocenili.

### 3.3.2 Meritve

Meritve sem opravil na štirih različnih predmetih, in sicer: na lasu, žici, luknjici in na črti.

Merilo:  $10.1 \text{ enot} \dots 1 \text{ mm}$

Tabela 3.8: Premer lasu

Meritev	$l_{izm} [\text{enot}]$	$\bar{h} [\text{enot}]$	$h_{izm} - \bar{h} [\text{enot}]$	$\sigma [\text{enot}]$	$\Delta h_{sl} [\text{enot}]$	$\Delta h_{sist} [\text{enot}]$	$h [\text{enot}]$
1	0.7		<del>-0.1</del>				
2	0.8		0				
3	0.8		0				$0.8 \pm 0.1$
4	0.7		<del>-0.1</del>				
5	0.7		<del>-0.1</del>				
6	0.8	0.8	0	0	0	0.1	=
7	0.8		0				
8	0.8		0				
9	0.8		0				$0.8 \cdot (1 \pm 0.1)$
10	0.8		0				

Premer lasu:  $0.08 \cdot (1 \pm 0.1) \text{ mm}$

Tabela 3.9: Premer žice

Meritev	$z_{izm} [\text{enot}]$	$\bar{z} [\text{enot}]$	$z_{izm} - \bar{z} [\text{enot}]$	$\sigma [\text{enot}]$	$\Delta z_{sl} [\text{enot}]$	$\Delta z_{sist} [\text{enot}]$	$z [\text{enot}]$
1	3.1		<del>-0.1</del>				
2	3.2		0				
3	3.1		<del>-0.1</del>				$3.2 \pm 0.1$
4	3.2		0				
5	3.2		0				
6	3.2	3.2	0	0.1	0	0.1	=
7	3.1		<del>-0.1</del>				
8	3.1		-0.1				
9	3.1		-0.1				$3.2 \cdot (1 \pm 0.03)$
10	3.2		0				

Premer žice:  $0.32 \cdot (1 \pm 0.03) \text{ mm}$

Tabela 3.10: Premer luknjice

Meritev	$l_{izm}$ [enot]	$\bar{l}$ [enot]	$l_{izm} - \bar{l}$ [enot]	$\sigma$ [enot]	$\Delta l_{sl}$ [enot]	$\Delta l_{sist}$ [enot]	$l$ [enot]
1	7.2		0				
2	7.8		<del>0.6</del>				
3	7.1		<del>-0.1</del>				$7.2 \pm 0.1$
4	7.2		0				
5	7.2	7.2	0	0.1	0	0.1	=
6	7.1		<del>-0.1</del>				
7	7.3		0.1				
8	7.1		-0.1				
9	7.2		0				$7.2 \cdot (1 \pm 0.01)$
10	7.1		-0.1				

Premer luknjice:  $0.71 \cdot (1 \pm 0.01) \text{ mm}$

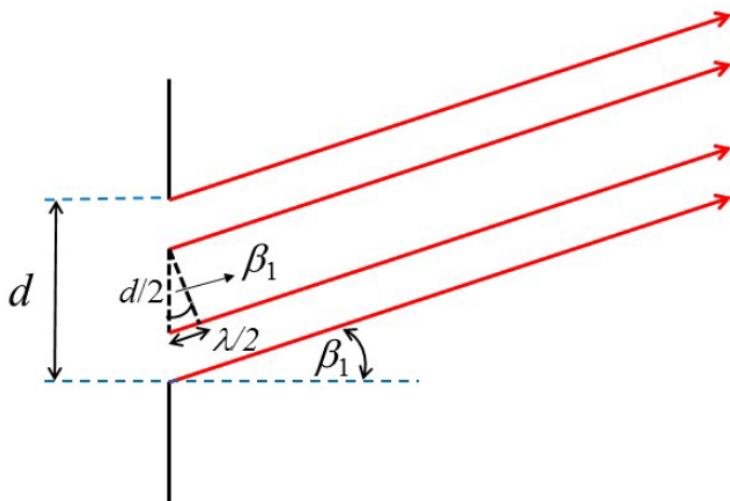
Tabela 3.11: Širina črte

Meritev	$b_{izm}$ [enot]	$\bar{b}$ [enot]	$b_{izm} - \bar{b}$ [enot]	$\sigma$ [enot]	$\Delta b_{sl}$ [enot]	$\Delta b_{sist}$ [enot]	$b$ [enot]
1	5.0		<del>-0.4</del>				
2	5.4		0				
3	5.5		0.1				$5.4 \pm 0.1$
4	5.4		0				
5	5.5	5.4	<del>0.1</del>	0.1	0	0.1	=
6	5.4		0				
7	5.3		-0.1				
8	5.2		<del>-0.2</del>				
9	5.3		-0.1				$5.4 \cdot (1 \pm 0.02)$
10	5.5		0.1				

Širina črte:  $0.53 \cdot (1 \pm 0.02) \text{ mm}$

### 3.4 Meritve z lasersko svetlobo

Slika 3.2: Slika za prvi uklon



Za N-to oslabitev velja:

$$d \sin \beta_N = N\lambda \quad (3.8)$$

Če uporabimo približek za male kote, da je  $\sin \beta \approx \beta$ .

Tako dobimo enačbo:

$$d\beta_N = N\lambda \quad (3.9)$$

Pravtako pa lahko do kota  $\beta$  pridemo preko razmerja med oslabitvijo in razdaljo do zaslona.

$$\tan \beta_N = \frac{x_N}{L} \quad (3.10)$$

Uporabimo približek za male kote, da je  $\tan \beta \approx \sin \beta \approx \beta$ .

$$\beta_N = \frac{x_N}{L} \quad (3.11)$$

Z združitvijo enačbe 3.9 in 3.11 dobimo enačbo širine reže uklonske mrežice.

$$d = \frac{N\lambda L}{x_N} \quad (3.12)$$



Napaka ravnila: **0.1 cm**  
Valovna dolžina laserja:  $\lambda = \mathbf{532\ nm}$   
Dolžina od zaslona:  $L = \mathbf{257cm}$

Tabela 3.12: Meritve oslabitev levo

Oslabitev levo	$x_{N\ izm}\ [cm]$	$\frac{x_{N\ izm}}{N}\ [cm]$
1	0.9	0.9
2	1.9	0.95
3	2.8	0.93
4	3.8	0.95
5	4.7	0.94
6	5.6	0.93
7	6.6	0.94

Tabela 3.13: Meritve oslabitev desno

Oslabitev levo	$x_{N\ izm}\ [cm]$	$\frac{x_{N\ izm}}{N}\ [cm]$
1	1.0	1.0
2	2.0	1.0
3	2.9	0.97
4	3.9	0.98
5	4.9	0.98
6	5.9	0.98
7	6.9	0.99

Tabela 3.14: Zbrane meritve

Meritvev	$\frac{x_{N\ izm}}{N}\ [cm]$	$\frac{x_{N\ izm}}{N}\ [cm]$	$\frac{x_{N\ izm}}{N}\ [cm] - \frac{x_{N\ izm}}{N}\ [cm]$	$\frac{x_N}{N}\ [cm]$
1	0.9		<del>0.1</del>	
2	0.95		0	
3	0.93		<del>0.1</del>	
4	0.95		0	$1.0 \pm 0.1$
5	0.94		<del>0.1</del>	
6	0.93		<del>0.1</del>	
7	0.94		<del>0.1</del>	
8	1.0	1.0	0	=
9	1.0		0	
10	0.97		0	
11	0.98		0	
12	0.98		0	$1.0 \cdot (1 \pm 0.1)$
13	0.98		0	
14	0.99		0	

**Izračuni širine reže uklonske mrežice**

$$\begin{aligned}
 d &= \left( \frac{x_N}{N} \right)^{-1} \lambda L \\
 d &= (1.0 \cdot 10^{-2} \cdot (1 \pm 0.1) \text{ m})^{-1} \cdot 532 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot 257 \cdot 10^{-2} \text{ m} \\
 d &= 1.0 \cdot 10^2 \cdot (1 \pm 0.1) \text{ m}^{-1} \cdot 532 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot 257 \cdot 10^{-2} \text{ m}
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

$d = 1.4 \cdot 10^{-4} \cdot (1 \pm 0.1) \text{ m}$

### 3.5 Vprašanja

Katere pomembne lastnosti ima laserska svetloba, da lahko z njo opravljamo interferenčne poskuse? Ali bi poskus uspel s sončno svetlobo? Pri odgovoru na vprašanje si pomagajte z literaturo.

Laserska svetloba ima več pomembnih lastnosti, ki omogočajo izvajanje interferenčnih poskusov:

1. **Koharenca:** Laserska svetloba je kohernetna, kar pomeni, da ima dolg koherentni čas. To je čas, v katerem lahko ohranja stabilno fazo. To je ključno za interferenco, saj se interferenčni vzorci oblikujejo na podlagi faznih razlik med valovi.
2. **Monokromatičnost:** Laserska svetloba je monokromatska, kar pomeni, da ima ožji spekter valovnih dolžin. To omogoča enakomerno interferenco, saj so valovi med seboj povezani na podlagi svojih valovnih dolžin.
3. **Usmerjenost:** Laserski snop je običajno zelo usmerjen, kar pomeni, da se svetloba širi v relativno ozkem snopu. To je pomembno za natančne interferenčne poskuse.
4. **Visoka svetlobna gostota:** Laserska svetloba ima visoko svetlobno gostoto, kar omogoča intenzivne interferenčne vzorce.

Glede na te lastnosti bi interferenčni poskusi s sončno svetlobo bili manj uspešni. Sončna svetloba ni koherentna na enak način kot laserska svetloba, saj je sestavljena iz več valovnih dolžin in ni usmerjena. Interferenčni vzorci, pridobljeni s sončno svetlobo, bi bili običajno manj izraziti in manj stabilni. Za izvedbo natančnih interferenčnih poskusov je torej priporočljivo uporabljati lasersko svetlobo zaradi njenih zgoraj omenjenih lastnosti.

## Poglavje 4

# Vaja 4: Merjenje frekvence

### 4.1 Naloga

Izmerite frekvenco vrtenja plošče, ki je pritrjena na elektromotor na dva načina:

- a) z elektronskim merilnikom frekvence,
- b) z modelom merilnika frekvence.

Primerjajte rezultata obeh meritev pri različnih frekvencah vrtenja plošče.

Te meritve sem opravil pri napetostih: **5 V**, **6 V**, **7 V**, **9 V** in **12 V**, za vsako napetost 5-krat.

## 4.2 Meritve

Najprej sem opravil meritve s pomočjo elektronskega merilnika frekvence.

Tabela 4.1: Merjenje frekvence uporabo elektronskega merilnika frekvence

Meritev	Napetost	$\nu_{izm}$ [min <sup>-1</sup> ]	$\bar{\nu}$	$\nu_{izm} - \bar{\nu}$ [min <sup>-1</sup> ]	$\Delta\nu_{sist}$ [min <sup>-1</sup> ]	$\sigma$	$\Delta\nu_{slu}$ [min <sup>-1</sup> ]	$\nu$ [Hz]
1	5.0 V	654.4	658.9	-4.5	0.1	6.5	2.9	10.98 $\pm$ 0.05 = 10.98 $\cdot$ (1 $\pm$ 0.005)
2		670.5		<del>11.6</del>				
3		665.3		6.4				
4		657.0		-1.9				
5		647.4		<del>-11.5</del>				
6	6.0 V	1058	1053	5	1	6	3	17.55 $\pm$ 0.07 = 17.55 $\cdot$ (1 $\pm$ 0.004)
7		1054		1				
8		1037		<del>-16</del>				
9		1053		0				
10		1062		9				
11	7.0 V	1576	1563	<del>13</del>	1	13	6	26.1 $\pm$ 0.1 = 26.1 $\cdot$ (1 $\pm$ 0.004)
12		1575		12				
13		1532		<del>-31</del>				
14		1567		4				
15		1565		2				
16	9.0 V	2351	2413	<del>-62</del>	1	57	25	40.2 $\pm$ 0.2 = 40.2 $\cdot$ (1 $\pm$ 0.005)
17		2354		<del>-59</del>				
18		2449		36				
19		2469		56				
20		2444		31				
21	12.0 V	3917	3937	-20	1	27	12	65.6 $\pm$ 0.5 = 65.6 $\cdot$ (1 $\pm$ 0.008)
22		3972		<del>35</del>				
23		3963		26				
24		3905		<del>-32</del>				
25		3926		-11				

Nato sem za merjenje nihajnjega časa uporabil osciloskop.

Tabela 4.2: Mejenje frekvence z uporabo osciloskopa

Meritev	Napetost	$t_{izm}[s]$	$\bar{t}[s]$	$t_{izm} - \bar{t}[s]$	$t_{sist}[s]$	$\sigma$	$\Delta t_{slu}[s]$	$\nu[Hz]$
1	5.0 V	-0.080	0.088	<del>-0.008</del>	0.004	0	0	$11 \cdot (1 \pm 0.05)$ = $11 \pm 1$
2		0.096		<del>0.008</del>				
3		0.088		0				
4		0.088		0				
5		0.088		0				
6	6.0 V	0.052	0.052	0	0.002	0	0	$19 \cdot (1 \pm 0.05)$ = $19 \pm 1$
7		0.052		0				
8		0.050		<del>-0.02</del>				
9		0.052		0				
10		0.052		0				
11	7.0 V	0.036	0.038	<del>-0.002</del>	0.001	0	0	$26 \cdot (1 \pm 0.03)$ = $26 \pm 1$
12		0.038		0				
13		0.038		0				
14		0.039		<del>0.001</del>				
15		0.038		0				
16	9.0 V	0.024	0.023	<del>0.001</del>	0.001	0	0	$43 \cdot (1 \pm 0.04)$ = $43 \pm 2$
17		0.023		0				
18		0.022		<del>-0.001</del>				
19		0.023		0				
20		0.023		0				
21	12.0 V	0.0152	0.0150	0.0002	0.0004	0.0002	0.0001	$66.7 \cdot (1 \pm 0.03)$ = $66.7 \pm 2.0$
22		0.0152		<del>0.0002</del>				
23		0.0148		-0.0002				
24		0.0148		<del>-0.0002</del>				
25		0.0148		-0.0002				

### 4.3 Rezultati

Pri rezultatih lahko opazimo, da so meritve, pri čemer smo merili frekvenco in ne čas, bolj natančne. To je zato, ker je čas nihanja obratna vrednost hitrosti in že pri zelo mali spremembi časa lahko pride do velike spremembe frekvence. Medtem, ko smo pri merjenju z uporabo merilnika hitrosti merili frekvenco samo in do tega ni moglo priti.

### 4.4 Vprašanja

a) Kvalitativno razložite fizikalno delovanje diode in fotodiode (podrobnejšo razlago boste slišali pri moderni fiziki in pri predmetih s področja fizike trdne snovi, fizike materialov in statistični termodinamiki v višjih letnikih).

Dioda je polprevodniški elektronski element. To pomeni, da v eni smeri električni tok prepušča, v drugi pa ne. Za to je uporabna pri usmerjanju izmeničnih signalov. Fotodioda pa je dioda, ki deluje na principu fotoelektričnega pojava. Ob večji svetlobi po fotodiodi teče močnejši tok, pri nižji pa šibkejši.

b) Kvalitativno razložite delovanje osciloscopa, ki temelji na principu katodne cevi (CRT): kako v katodni cevi ustvarimo proste elektrone, kako jih pospešimo, kako jih uklanjamo v vodoravni in navpični smeri.

Osciloskop je elektronska merilna naprava, ki omogoča opazovanje napetosti. Ponavadi jih uporabljamo za opazovanje oblike električnega signala ter njegove amplitude. Zaslon osciloscopa temelji na principu katodne cevi. V katodni cevi so katodni žarki; to so hitri tokovi elektronov, ki izhajajo iz ogrete katode v vakuumski cevi. V cevi so elektroni usmerjeni v žarek, ki potuje proti anodi na vidnem koncu. Ta anoda je prekrita z luminiscenčnim materialom, ki odda svetlobo, ko nanjo trčijo elektroni. To se doseže z uporabo magnetnega ali električnega polja, ki usmerja elektrone in povzroča svetlobno emisijo ob trku z anodo.