

Optiikka - linssit ja peilit

Miikka Koskinen

9.5.2005

Sisältö

1	Yhteenveto	2
2	Lähtökohdat	2
2.1	Linssit	2
2.2	Linssin kuvausyhtälö	2
2.3	Peilit	3
2.4	Käytetyt merkinnät	3
3	Mittaukset	3
3.1	Kuperan linssin polttovälin määrittäminen	3
3.2	Koveran linssin polttovälin määrittäminen	4
3.3	Koveran peilin polttovälin määrittäminen	4
3.4	Kuperan peilin polttovälin määrittäminen	4
4	Mittaustulokset ja laskut	5
4.1	Kuperan linssin polttovälin määrittäminen	5
4.1.1	Mittaustulokset	5
4.1.2	Laskut	5
4.2	Koveran linssin polttovälin määrittäminen	6
4.2.1	Mittaustulokset	6
4.2.2	Laskut	6
4.3	Koveran peilin polttovälin määrittäminen	7
4.3.1	Mittaustulokset	7
4.3.2	Laskut	8
4.4	Kuperan peilin polttovälin määrittäminen	8
4.4.1	Mittaukset	9
4.4.2	Laskut	9
5	Työn ja tulosten tarkastelu	9
6	Lähteet	10

1 Yhteenveto

Selvitettiin erilaisten linssien ja peilien polttovälejä. Tulosten yhteenveto on taulukossa 1.

kupera linssi	198,5 mm
kovera linssi	-478,9 mm
kovera peili	244,2 mm
kupera peili	-238,2 mm

Taulukko 1: Yhteenveto tuloksista

2 Lähtökohdat

2.1 Linssit

Linssi on läpinäkyvä kappale, joka koostuu kahdesta pallopinnasta tai pallopinnasta ja tasosta. Pallopintojen (tai pallopinnan ja tason) keskipisteiden kautta kulkevaa suoraa kutsutaan optiseksi akseliksi.

Kun optisen akselin suuntainen säde kulkee kuperan linssin läpi, linssi taittaa säteen kulkemaan polttopisteen kautta. Kun optisen akselin suuntainen säde kulkee koveran linssin läpi, säteiden jatkeet leikkaavat toisensa linssin valepolttopisteessä (linssin etupuolella). Polttoväliksi kutsutaan (vale)polttopisteen etäisyyttä linssin optisesta keskipisteestä.

Linssin läpi voi muodostua kuva varjostimelle. Jos kuva muodostuu kohteesta lähtevistä valonsäteistä, sanotaan kuvaa todelliseksi. Jos kuva muodostuu vain säteiden jatkeista, kuvaa kutsutaan valekuvaksi.

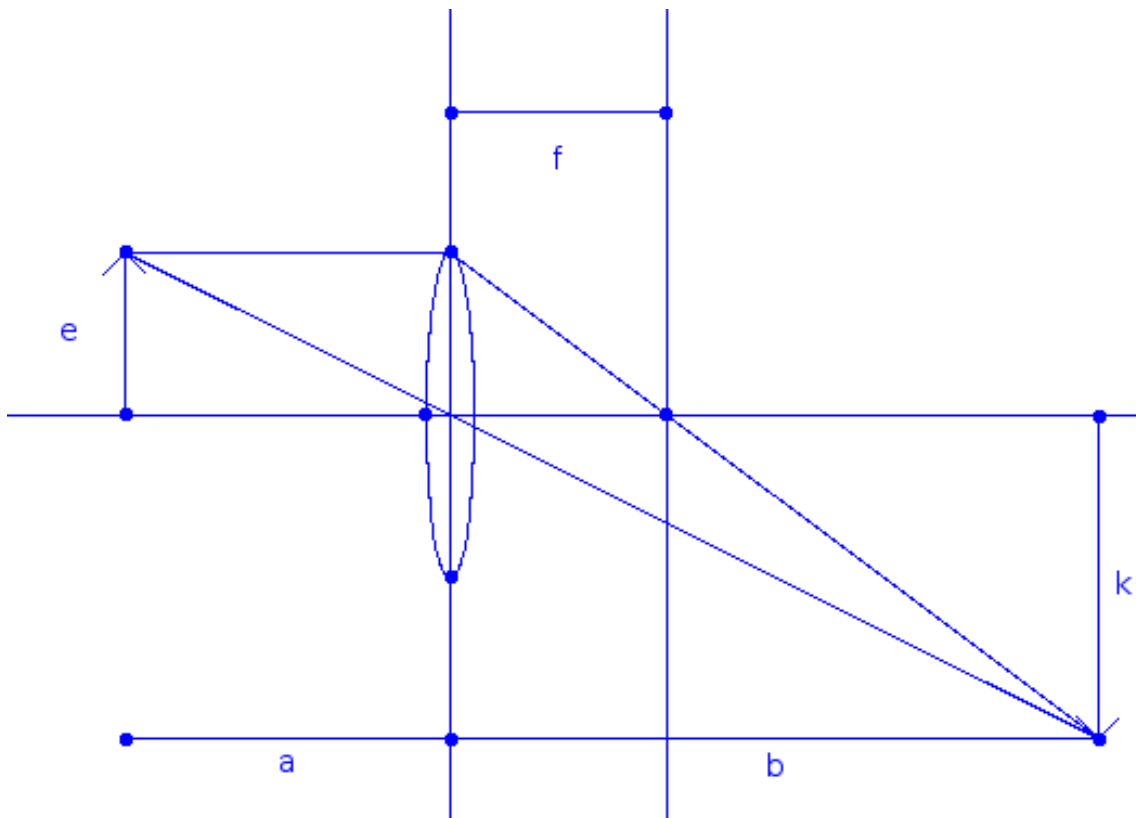
Polttopiste F_1 on pääakselilla olevan esineen paikka, jota vastaava kuva on äärettömän kaukana. Polttopiste F_2 on äärettömän kaukana olevan esineen kuvan paikka pääakselilla.

Linssin muodostama kuva voidaan esittää graafisesti seuraavien periaatteiden avulla:

1. Optisen akselin suuntaisen säteen kulkiessa linssin läpi, säde itse tai sen jatke kulkee polttopisteen F_2 kautta.
2. Kun linssiin tuleva säde tai sen jatke kulkee polttopisteen F_1 kautta, säde taittuu linssissä optisen akselin suuntaiseksi.
3. Optisen keskipisteen kautta kulkeva säde ei muuta suuntaansa linssin läpi kulkiessaan.

2.2 Linssin kuvausyhtälö

Kaikki mittaukset käyttivät hyväkseen seuraavassa esitettyä linssin kuvausyhtälöä. Kuva 2.2 esittää kuvan muodostumista kuperan linssin läpi ja se on muodostettu edellä esitettyjen periaatteiden mukaisesti.



Kuva 1: Linssin kuvausyhtälö

Kuten kuvasta 2.2 voidaan todeta ottaen huomioon yhdenmuotoiset kolmiot:

$$\frac{|k|}{e} = \frac{b}{a} = \frac{b-f}{f} \quad (1)$$

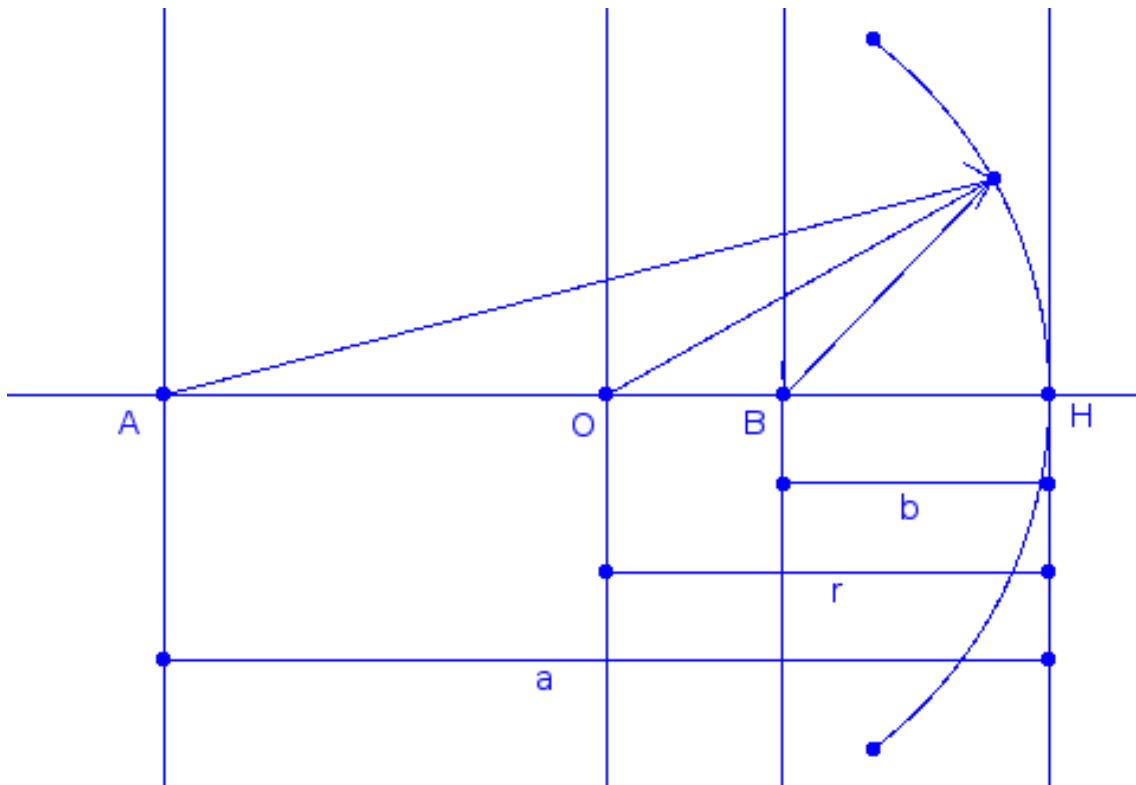
Tämä voidaan ratkaista ns. Gaussin kuvausyhtälöksi ohuille linseille.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (2)$$

Ratkaistaan yhtälö edelleen f :n suhteen:

$$f = \frac{1}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b}} \quad (3)$$

Kaikki työn mittaukset pyrkivät selvittämään a :n ja b :n, jolloin voidaan laskea edellisellä yhtälöllä polttoväli f .



Kuva 2: Peilin kuvausyhtälö

2.3 Peilit

Pisteen A kuva tai valekuva muodostuu pisteeseen B . Jos kyseessä ovat säteiden jatkeet, kyseessä on valekuva, muuten kuva on todellinen.

Piste O on pallopeilin kaarevuuskeskipiste ja r peilin säde. Peilin huippupiste on H . Suora HO on peilin optinen akseli. Esineen (A) etäisyys peilistä on a ja kuvan (B) etäisyys b .

Polttopiste F on optisella akselilla äärettömän kaukana sijaitsevan esineen kuvan paikka.

Peileihin pätee kuvausyhtälö

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

2.4 Käytetyt merkinnät

Selostuksessa yleisesti käytetyt merkinnät ovat taulukossa 2.

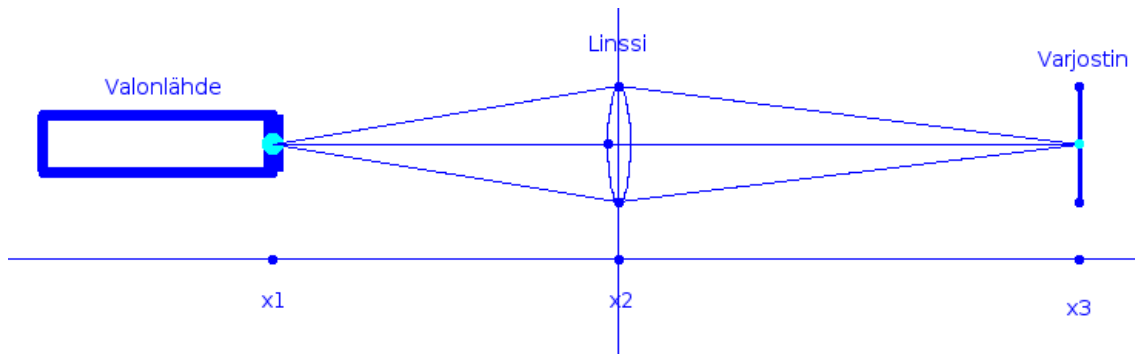
a	esineen etäisyys optisesta systeemistä
b	kuvan etäisyys optisesta systeemistä
f	polttoväli

Taulukko 2: Käytetyt merkinnät

3 Mittaukset

3.1 Kuperan linssin polttovälin määrittäminen

Mittausasetelma oli kuvan 3 kaltainen. Valonlähde asetettiin asemaansa, josta sitä ei tämän jälkeen siirretty. Valonlähteen sijainti x_1 mitattiin ja kirjattiin ylös. Tämän jälkeen kupera linssi asetettiin siten, että valo kulki linssin läpi. Linssi asetettiin sopivaksi katsotulle etäisyydelle x_2 . Tämän jälkeen varjostinta, kunnes varjostimelle muodostunut valopiste oli mahdollisimman tarkka. Varjostimen etäisyys x_3 otettiin ylös. Valonlähde, linssi ja varjostin olivat kiinni kiinnityskiskossa, jonka vasemmasta laidasta mitattiin etäisyydet.



Kuva 3: Kuperan linssin polttovälin määrittäminen: mittausasetelma

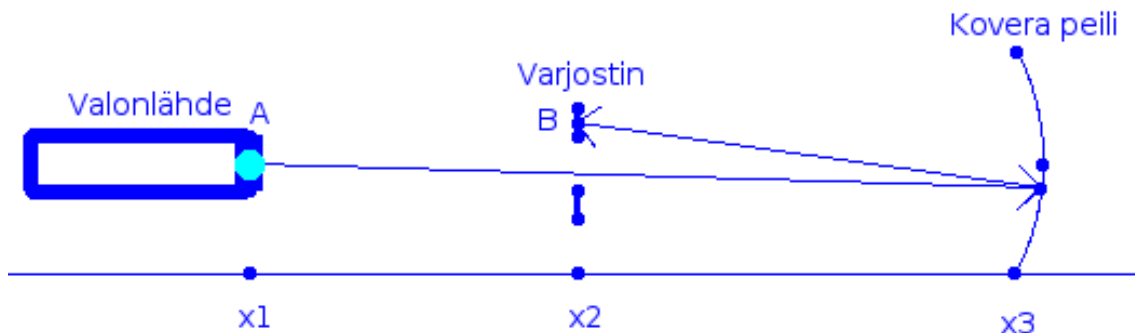
Mittaus toistettiin yhteensä viisi kertaa linssin eri asemilla. Mittaustulokset ovat taulukossa 4. Tuloksista laskettiin $a = x_2 - x_1$ ja $b = x_3 - x_2$, jotka sijoitettiin tämän jälkeen linssin kuvausyhtälöön (3).

3.2 Koveran linssin polttovälin määrittäminen

Mittaus suoritettiin kuperan linssin avulla. Aluksi etsittiin varjostimen sijainti x_3 , jossa kuva muodostui tarkkana. Tämän jälkeen kovera linssi asetettiin sopivaksi katsottuun kohtaan x_4 varjostimen vasemmalle puolelle. Tämän jälkeen haettiin varjostimen asema x_5 , jossa kuva muodostui tarkkana.

Mitatuista arvoista, jotka ovat näkyvillä taulukossa 7, laskettiin $a = x_4 - x_3$ ja $b = x_5 - x_4$, jotka sijoitettiin linssin kuvausyhtälöön.

3.3 Koveran peilin polttovälin määrittäminen



Kuva 4: Koveran peilin polttovälin määrittäminen: mittausasetelma

Mittaus tapahtui samaan tapaan kuin kuperan linssin tapauksessa (kohta 3.1). Peili asetettiin sopivaan kohtaan x_2 , jonka jälkeen riittävän varjostinta siirrettiin, kunnes kuva näkyi tarkkana. Mittausasetelmaa havainnollistaa kuva 4. Mittaustulokset ovat taulukossa 10. Näiden perusteella laskettiin $a = x_2 - x_1$ ja $b = x_2 - x_3$, jotka sijoitettiin peilin kuvausyhtälöön.

3.4 Kuperan peilin polttovälin määrittäminen

Mittaus oli eräänlainen yhdistelmä mittauksia 3.2 ja 3.3. Mittaus tapahtui jälleen kuperan linssin avulla. Ensin haettiin kohta x_3 , johon kuva muodostuu kuperan linssin kautta. Tämän jälkeen kovera peili asetettiin paikalleen ja varjostin siirrettiin sopivaksi katsottuun kohtaan x_5 . Tämän jälkeen haettiin peilin asema x_5 , jossa kuva muodostui varjostimeen tarkkana.

4 Mittaustulokset ja laskut

4.1 Kuperan linssin polttovälin määrittäminen

Mittauksen yhteydessä käytetyt merkinnät ovat taulukossa 3. Mittaus suoritettiin, kuten kohdassa 3.1 kuvataan.

x_1	valonlähteen asema
x_2	linssin asema
x_3	varjostimen asema

Taulukko 3: Kuperan linssin polttovälin määrittäminen: käytetyt merkinnät

4.1.1 Mittaustulokset

Mittauksen tulokset ovat taulukossa 4.

x_1 (cm)	x_2 (cm)	x_3 (cm)
12	49,0	91,8
12	45,0	95,0
12	40,0	108,2
12	42,0	100,2
12	36,5	142,2

Taulukko 4: Kuperan linssin polttovälin määrittäminen: mittaustulokset

4.1.2 Laskut

$a = x_2 - x_1$ (m)	$b = x_3 - x_2$ (m)	f (m)
0,370	0,428	0,198446
0,330	0,500	0,198795
0,280	0,682	0,198503
0,300	0,582	0,197959
0,245	1,057	0,198899

Taulukko 5: Kuperan linssin polttovälin määrittäminen: laskujen tulokset

Tulosten keskiarvo on $\bar{f} = 0,1985204 \text{ m} \approx 198,5 \text{ mm}$. Ilmoitettu arvo on 200 mm. Esimerkkilasku:

$$\begin{aligned}
 a &= x_2 - x_1 \\
 &= 0,490 \text{ m} - 0,120 \text{ m} \\
 &= 0,370 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b &= x_3 - x_2 \\
 &= 0,918 \text{ m} - 0,490 \text{ m} \\
 &= 0,428 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sijoitetaan arvot kuvausyhtälön ratkaistuaan muotoon.

$$f = \frac{1}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{\frac{1}{0,370 \text{ m}} + \frac{1}{0,428 \text{ m}}} \\
 &= 0,198446 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.2 Koveran linssin polttovälin määrittäminen

Mittauksen yhteydessä käytetyt merkinnät selviävät taulukosta 6.

x_1	valonlähteen asema
x_2	kuperan linssin asema
x_3	varjostimen asema, kun kovera linssi on poissa
x_4	koveran linssin asema
x_5	kuvan asema, kun kovera linssi on paikallaan

Taulukko 6: Koveran linssin polttovälin määrittäminen: käytetyt merkinnät

4.2.1 Mittaustulokset

Mittaustulokset ovat taulukossa 7.

x_1 (cm)	x_2 (cm)	x_3 (cm)	x_4 (cm)	x_5 (cm)
12	45	94,5	70	122,2
12	42	100,5	80	116,5
12	40	108,3	85	130,1
12	55	92,2	80	96,1

Taulukko 7: Koveran linssin polttovälin määrittäminen: mittaustulokset

4.2.2 Laskut

$a = x_4 - x_3$ (m)	$b = x_5 - x_4$ (m)	f (m)
-0,245	0,522	-0,461697
-0,205	0,365	-0,467656
-0,233	0,451	-0,482032
-0,122	0,161	-0,503641

Taulukko 8: Koveran linssin polttovälin määrittäminen: laskut

Laskujen tulokset ovat taulukossa 8. Keskiarvo on $\bar{f} = -0,478757 \text{ m} \approx -478,9 \text{ mm}$. Ilmoitettu arvo on -500 mm (sallittu virhe noin 50 mm). Esimerkkilasku:

$$\begin{aligned}
 a &= x_4 - x_3 \\
 &= 0,700 \text{ m} - 0,945 \text{ m} \\
 &= -0,245 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b &= x_5 - x_4 \\
 &= 1,222 \text{ m} - 0,700 \text{ m} \\
 &= 0,522 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sijoitetaan arvot kuvausyhtälön ratkaistuun muotoon.

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b}} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{-0,245 \text{ m}} + \frac{1}{0,522 \text{ m}}} \\ &= -0,461697 \text{ m} \end{aligned}$$

4.3 Koveran peilin polttovälin määrittäminen

Mittauksen yhteydessä käytetyt merkinnät ovat taulukossa 9.

x_1	valonlähteen asema
x_2	peilin asema
x_3	varjostimen asema

Taulukko 9: Koveran peilin polttovälin määrittäminen: käytetyt merkinnät

4.3.1 Mittaustulokset

Mittaustulokset ovat taulukossa 10.

x_1 (cm)	x_2 (cm)	x_3 (cm)
12	82,4	45
12	78,5	40
12	80,0	42
12	94,7	60
12	76,9	38

Taulukko 10: Koveran peilin polttovälin määrittäminen: mittaustulokset

4.3.2 Laskut

$a = x_2 - x_1$ (m)	$b = x_2 - x_3$ (m)	f (m)
0,704	0,374	0,244244
0,663	0,385	0,243563
0,680	0,380	0,243773
0,827	0,347	0,244436
0,380	0,389	0,245219

Taulukko 11: Koveran peilin polttovälin määrittäminen: laskujen tulokset

Laskujen tulokset ovat taulukossa 11. Tulosten keskiarvo on $\bar{f} = 0,244247 \text{ m} \approx 244,2 \text{ mm}$. Ilmoitettu arvo on 250 mm . Esimerkkilasku:

$$\begin{aligned} a &= x_2 - x_1 \\ &= 0,824 \text{ m} - 0,120 \text{ m} \\ &= 0,704 \text{ m} \end{aligned}$$

$$b = x_2 - x_3$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,824 \text{ m} - 0,450 \text{ m} \\
 &= 0,374 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sijoitetaan arvot kuvausyhtälön ratkaistuun muotoon.

$$\begin{aligned}
 f &= \frac{1}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b}} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{0,704 \text{ m}} + \frac{1}{0,374 \text{ m}}} \\
 &= 0,244244 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.4 Kuperan peilin polttovälin määrittäminen

x_1	valonlähteen asema
x_2	kuperan linssin asema
x_3	varjostimen asema, kun peili on poissa
x_4	kuperan peilin asema
x_5	varjostimen asema, kun peili on paikallaan

Taulukko 12: Kuperan peilin polttovälin määrittäminen: käytetyt merkinnät

4.4.1 Mittaukset

x_1 (cm)	x_2 (cm)	x_3 (cm)	x_4 (cm)	x_5 (cm)
12	40	108,2	91,8	40
12	42	100,5	85,1	42
12	60	93,7	82,4	60
12	45	95	80,	45

Taulukko 13: Kuperan peilin polttovälin määrittäminen: mittaustulokset

4.4.2 Laskut

$a = x_4 - x_3$ (m)	$b = x_4 - x_5$ (m)	f (m)
-0,164	0,518	-0,239977
-0,154	0,431	-0,239617
-0,113	0,224	-0,228030
-0,145	0,355	-0,245119

Taulukko 14: Kuperan peilin polttovälin määrittäminen: laskut

Tulosten keskiarvo on $\bar{f} = -0,238186 \text{ m} \approx -238,2 \text{ mm}$. Ilmoitettu arvo on -250 mm . Esimerkkilasku:

$$\begin{aligned}
 a &= x_4 - x_3 \\
 &= 0,918 \text{ m} - 1,082 \text{ m} \\
 &= -0,164 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= x_4 - x_5 \\ &= 0,918 \text{ m} - 0,400 \text{ m} \\ &= 0,518 \text{ m} \end{aligned}$$

Sijoitetaan arvot kuvausyhtälön ratkaistuun muotoon:

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b}} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{-0,164 \text{ m}} + \frac{1}{0,518 \text{ m}}} \\ &= -0,239977 \text{ m} \end{aligned}$$

5 Työn ja tulosten tarkastelu

Saadut arvot ovat kaikissa tapauksissa pienempiä kuin ilmoitetut arvot. Tämä viittaa siihen, että kyseessä olisi järjestelmällinen virhe. Ilmeisesti kaikissa mittauksissa huomioita valolähteen asema, joka mitattiin vain kerran ja silloinkin epätarkasti, mitattiin väärin. Toisaalta, mittausten 2 ja 4 laskuissa ei käytetty ollenkaan kyseistä arvoa. Tästä huolimatta kaikista paitsi viimeisestä mittauksesta saadut tulokset ovat varsin hyviä ja lähellä ilmoitettua arvoa.

Työ ei varsinaisesti ollut vaikea suorittaa, mutta se oli sitäkin pitempi ja monimutkaisempi. Vaikka mittauksissa pyrittiin suureen tarkkuuteen, loppua kohti keskittymisen herpaantuessa alkoi tarkkuuskin laskea. Tähän viittaa myös erityisesti mittauksen 4 tuloksen vastaavuus ilmoitettuun arvoon.

Työselostuksen laadun suurin rajoittava tekijä on aika. Minun on myönnettävä, että en juurikaan muista, kuinka mittaukset suoritettiin silloin muutama kuukausi sitten. Yritin parhaani mukaan ymmärtää, kuinka mittaukset tapahtuivat laskujen, työohjeiden kuvien ja omien muistikuvieni pohjalta.

6 Lähteet

Käytimme seuraavia kirjallisia lähteitä:

- Heikki Lehto, Tapani Luoma: Fysiikka 2 - Fysiikka yhteiskunnassa, Aaltoliike (1994, 5.-9. uudistettu painos, Gummerus)