



Šolski center Rogaška Slatina

Steklarska ulica 1

3250 Rogaška Slatina

## RAZISKOVALNA NALOGA

# NAPAKA PASOV PRI POSAMIČNIH SFERIČNIH OČALNIH LEČAH

Mentorica: Zdenka PETELINŠEK, prof. fiz., spec.

Avtorici: Evelina Mikolič, 3. a

Laura Potisk, 3. a

Šolsko leto: 2019/2020

Tematsko področje: fizika

Rogaška Slatina, maj 2020

## ZAHVALA

Za pomoč pri izvedbi raziskovalne naloge bi se zahvalili mentorici prof. Zdenki Petelinšek, ki nama je pomagala, namenila veliko svojega prostega časa in nju usmerjala pri izvedbi te raziskovalne naloge. Hvala, da sva z vašo pomočjo dokončali to nalogu in se ob tem tudi veliko naučili.

Posebna zahvala gre tudi podjetju Alcom d.o.o., ki nama je posodilo očalne leče in nama tako omogočilo izvedbo raziskovalne naloge. Še posebej pa bi se radi zahvalili gospodu Dejanu Aljančiču, direktor, in gospe Barbari Ručigaj Aljančič, univ. dipl. ekon.

Najlepša hvala!

## KAZALO VSEBINE

KAZALO VSEBINE .....	3
KAZALO SLIK.....	4
POVZETEK .....	5
ABSTRACT .....	5
UVOD .....	6
1. LEČE .....	7
2. DELITEV LEČ .....	8
2.1 Konveksna ali zbiralna leča.....	8
2.2 Konkavna ali razpršilna leča .....	9
3. VRSTE OČALNIH STEKEL.....	9
3.1 Enožariščna stekla .....	10
3.2 Dvožariščna ali bifokalna stekla.....	10
3.3 Večžariščna ali progresivna stekla.....	11
3.4 Ostala stekla .....	11
4. NAPAKE PRI LEČAH .....	11
6. KAJ DOLOČA LOMNOST LEČE .....	15
6.1 Krivinski radij .....	15
6.2 Lom svetlobe .....	16
7. LOMNOST LEČE – DIOPTRIJA .....	16
8. OČESNE NAPAKE.....	17
9. KONTAKTNE LEČE .....	19
10. PRAKTIČNI DEL.....	20
11. TABELE IN GRAFI.....	23
11.1 ROČNE MERITVE .....	23
11.2 ELEKTONSKE MERITVE.....	27
12. POTRDITEV ALI ZAVRNITEV HIPOTEZ.....	32
13. ZAKLJUČEK .....	32
14. VIRI IN LITERATURA .....	33

## KAZALO SLIK

Slika 1: Očalna leča.....	7
Slika 2: Preslikava leče.....	7
Slika 3: Delitev leč .....	8
Slika 4: Konveksna leča.....	9
Slika 5: Konkavna leča.....	9
Slika 6: Stanjšava stekel.....	10
Slika 7: Dvožariščna stekla, Slika 8: Primer bifokalnega stekla .....	10
Slika 9: Večžariščna stekla, Slika 10: Primer multifokalnega stekla.....	11
Slika 11: Sferična aberacija.....	12
Slika 12: Astigmatizem.....	13
Slika 13: Koma .....	13
Slika 14: Kromatična aberacija .....	14
Slika 15: Distorzija .....	14
Slika 16: Sferometer.....	15
Slika 17: Kratkovidnost .....	17
Slika 18: Daljnovidnost.....	17
Slika 19: Starovidnost .....	18
Slika 20: Kontaktne leče, Slika 21: Primer vstavljanja kontaktnih leč.....	19
Slika 22: Merjenje konveksne leče.....	20
Slika 23: Merjenje konkavne leče.....	21
Slika 24: Prehajanje žarkov skozi lečo .....	21
Slika 25: Fokometer .....	22

## POVZETEK

V teoretičnem delu sva raziskovali leče, jih ločili po obliki in imenu, poiskali podatke o različnih očalnih steklih in njihovih lastnostih. Kasneje pa sva se osredotočili na napake očalnih leč: sferično aberacijo, komo, astigmatizem, kromatično aberacijo in distorzijo.

Meritve sva izvedli za sferično aberacijo glede na lomni količnik stekla in na velikost lomnosti leče. Premerili sva leče z lomnima količnikoma  $1,50$  in  $1,60$  ter lomnostmi v razponu od  $-6,00 \text{ m}^{-1}$  do  $+6,00 \text{ m}^{-1}$ . Sferično aberacijo sva preverili tudi na merilni napravi, imenovani fokometer.

## ABSTRACT

In the theoretical part, we investigated the lenses, separated them by their form and name, and searched for various glasses and their characteristics. Later, we focused on lens errors: spherical aberration, coma, astigmatism, colour aberration and distortion.

We performed the measurements for spherical aberration with respect to the refractive index of the glass and the size of the lens fracture. We measured the lenses with  $1.50$  and  $1.60$  coefficients and with fractures ranging from  $-6.00 \text{ m}^{-1}$  to  $+6.00 \text{ m}^{-1}$ . Spherical aberration was also checked on a measuring device called a photometer.

## UVOD

Za to raziskovalno nalogu sva se odločili, ker sva žeeli spoznati leče, ki jih nosiva v očalih, in preveriti, ali imajo te leče napake preslikav. Podrobneje sva žeeli spoznati lastnosti leč, kako lomijo svetljobo in kdaj žarke zberejo in kdaj razpršijo. Žeeli sva spoznati, kdaj nastanejo povečane in pomanjšane slike preslikav, ali so te slike navidezne ali realne in ali so pokončne oziroma obrnjene.

Pri preučevanju znanja o lečah naju je predvsem zanimalo, kaj vse vpliva na lom žarkov v leči. Zato sva si postavili naslednje hipoteze:

1. **HIPOTEZA**

Leče z večjim lomnim količnikom bodo imele večjo napako oziroma sferično aberacijo kot leče z manjšim lomnim količnikom.

2. **HIPOTEZA**

Razpršilne leče imajo večjo napako oziroma sferično aberacijo kot zbiralne leče.

3. **HIPOTEZA**

Leče z večjo lomnostjo imajo večjo napako oziroma sferično aberacijo kot leče z manjšo lomnostjo.

4. **HIPOTEZA**

Največja napaka ne bo presegala 50 cm.

Pri raziskovanju sva uporabili različne metode dela. Najprej sva na internetu ter po raznih knjigah in učbenikih poiskali različne podatke o temi, ki sva jo raziskovali. Nato sva podatke obdelali. Pri praktičnem delu pa sva najprej ročno izmerili leče z dioptrijo od  $-6,00 \text{ m}^{-1}$  do  $+6,00 \text{ m}^{-1}$  z različnima lomnima količnikoma (1,60 in 1,50), kasneje pa še z optično napravo fokometer. Podatke sva zapisali v tabelo, jih obdelali in preračunali, kar je bilo potrebno.

Raziskovali sva vse o lečah, katere uporabljati za očala za korekcijo vida, merili kolikšne napake pasov imajo ter kako žarki prehajajo skoznje. Z raziskovalno nalogu sva žeeli preučiti leče za korekcijo vida in kakšne ter kolikšne napake pasov imajo. Napako pasov sva merili tako, da sva merili žarke vzporedne z optično osjo na različnih oddaljenostih od središča leče. Preučevali sva, kako se posamezni žarki lomijo, in nato te podatke tudi obdelali. Merili sva na istih oddaljenostih od središča leč in tudi spremembo lomnosti posamezne leče s fokometrom, ki se uporablja v optiki za merjenje lomnosti leč in določevanje optičnega središča leče.

## 1. LEČE

Leče so prozorna telesa, narejena iz stekla, prozorne plastike ali iz hidrogela – kontaktne leče. Omejene so z dvema krogelnima ploskvama, ki sta zakrivljeni. Ko se v lečah lomi svetloba, se pot lomnega žarka spremeni, od tod pa izhajata imeni za leče: zbiralne (konveksne) in razpršilne (konkavne) leče.

### Osnovni pojmi:

Središče leče označimo z  $O$ , kar je točka na sredini leče.

Optična os je premica, ki poteka skozi središče obeh krogelnih mejnih ploskev leče in je pravokotna na površino leče, skozi to točko se svetloba na leči ne lomi.

Gorišče ali fokus ( $F$ ) je točka, v kateri se po lomu sekajo žarki, ki nanjo vpadajo vzporedno z optično osjo. Leča ima dve gorišči, enega na levi in enega na desni strani od središča leče.

Goriščno razdaljo označimo z  $f$ , kar je oddaljenost gorišča od leče.

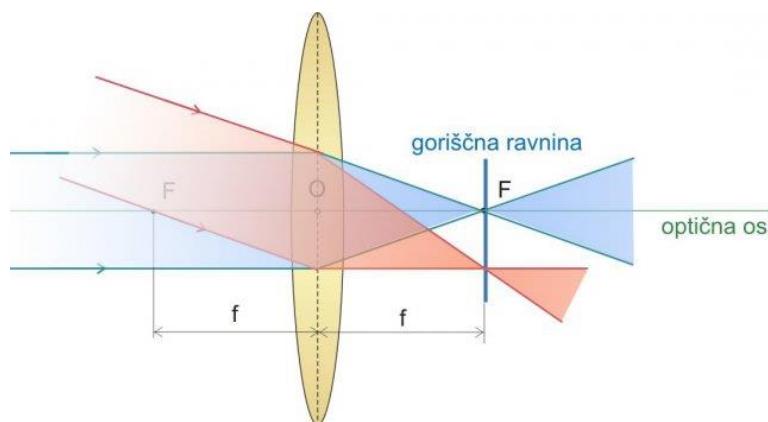
Goriščna ravnina je ravnina, ki jo pravokotno prebada optična os skozi gorišče leče.

[https://si.openprof.com/wb/opti%C4%8Dna\\_preslikava\\_-\\_le%C4%8De?ch=205](https://si.openprof.com/wb/opti%C4%8Dna_preslikava_-_le%C4%8De?ch=205) (25. 2. 2020)



Slika 1: Očalna leča

<https://optika-anja.si/ocalne-lece/materiali-za-ocalne-lece/> (25. 2. 2020)



Slika 2: Preslikava leče

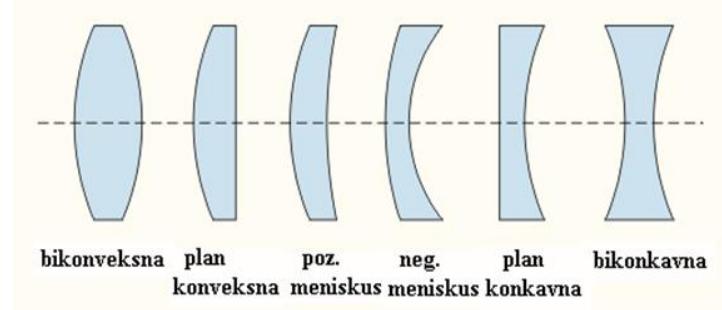
[https://si.openprof.com/wb/opti%C4%8Dna\\_preslikava\\_-\\_le%C4%8De?ch=205](https://si.openprof.com/wb/opti%C4%8Dna_preslikava_-_le%C4%8De?ch=205) (25. 2. 2020)

## 2. DELITEV LEČ

Leče delimo v dve skupini, ki se delita še na tri dele:

- konveksne leče:
  - bikonveksna (obe površini izbočeni)
  - plankonveksna (ena stran je ravna površina, druga izbočena)
  - konkavkonveksna (ena stran je izbočena, druga pa vbočena)
- konkavne leče:
  - bikonkavna (obe površini vbočeni)
  - plankonkavna (ena stran je ravna površina, druga je vbočena)
  - konvekskonkavna (ena stran je vbočena, druga pa izbočena)

Največja razlika med njimi je oblika in smer preslikovanja žarkov. Konveksne so izbočene, torej na sredini debelejše kot na robu, konkavne so vbočene, torej na sredini tanjše kot na robu. Po lomu svetlobe pa se ločijo na zbiralne (konveksne) in razpršilne (konkavne).



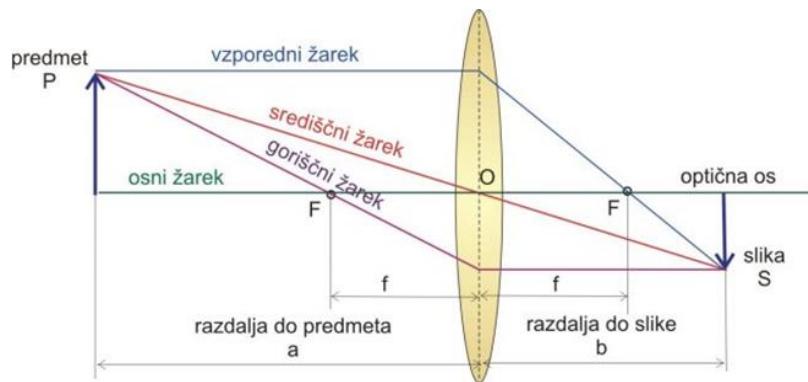
Slika 3: Delitev leč

[https://sl.wikipedia.org/wiki/Le%C4%8Dna\\_\(optika\)#/media/File:Lens2a\\_sl.PNG](https://sl.wikipedia.org/wiki/Le%C4%8Dna_(optika)#/media/File:Lens2a_sl.PNG) (24. 2. 2020)

### 2.1 Konveksna ali zbiralna leča

Uporabljamo jih za preslikave predmeta. Predmet postavimo na neko razdaljo ( $a$ ) pred lečo. Nato skozi lečo dobimo sliko na neki razdalji ( $b$ ). Pri tem lahko nastane navidezna in povečana slika ( $a < f$ ). Slika je realna in obrnjena, ki je lahko pomanjšana ( $a > 2f$ ), enako velika ( $a = 2f$ ), povečana ( $f < a < 2f$ ) ali pa nastane v neskončnosti ( $a = f$ ). Slika je realna, če jo ustvarjajo realni žarki, in navidezna, če jo ustvarjajo navidezni žarki.

## Napaka pasov pri posamičnih sferičnih očalnih lečah

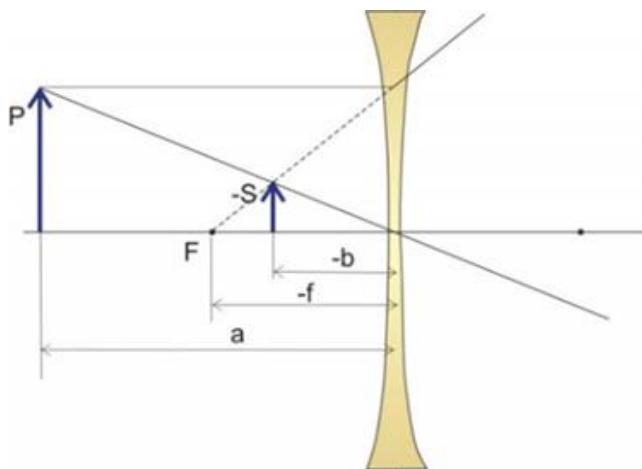


Slika 4: Konveksna leča

[https://si.openprof.com/wb/opti%C4%8Dna\\_preslikava\\_-\\_le%C4%8De?ch=205](https://si.openprof.com/wb/opti%C4%8Dna_preslikava_-_le%C4%8De?ch=205) (24. 2. 2020)

## 2.2 Konkavna ali razpršilna leča

Žarki se po prehodu skozi lečo razpršijo. Pri tej leči se realni žarki ne bodo nikoli sekali, vendar sliko tvorijo navidezni žarki, ki jih označimo s prekinjeno črto. Tako nastane navidezna, pokončna in pomanjšana slika na isti strani leče kot stoji predmet. S-slika, b-razdalja med lečo in sliko in f-goriščna razdalja so vedno negativni.



Slika 5: Konkavna leča

[https://si.openprof.com/wb/opti%C4%8Dna\\_preslikava\\_-\\_le%C4%8De?ch=205#Konkavna\\_ali\\_razpr%C5%A1ilna\\_le%C4%8Da](https://si.openprof.com/wb/opti%C4%8Dna_preslikava_-_le%C4%8De?ch=205#Konkavna_ali_razpr%C5%A1ilna_le%C4%8Da) (24. 2. 2020)

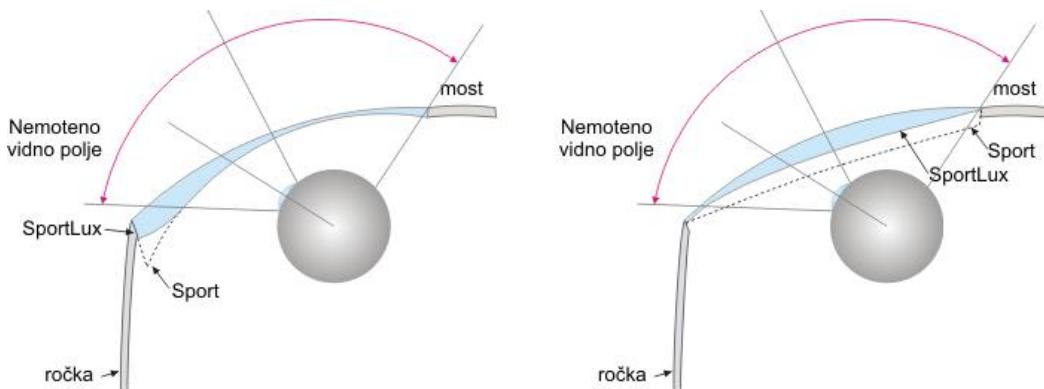
## 3. VRSTE OČALNIH STEKEL

Poznamo različne vrste stekel za korekcijo vida, glede na žarišča pa jih delimo na:

- enožariščna,
- dvožariščna in
- večžariščna ali multifokalna stekla.

### 3.1 Enožariščna stekla

Enožariščna stekla so stekla, ki jih imajo ljudje za korekcijo daljnovidnosti ali kratkovidnosti. Pri korekciji daljnovidnosti nosijo očala s pozitivno lomnostjo, pri kratkovidnosti pa očala z negativno lomnostjo očalnih stekel.



Slika 6: Stanjšava stekel

<http://www.alcom.si/lux-stanjsava/> (17. 2. 2020)

### 3.2 Dvožariščna ali bifokalna stekla

Dvožariščna stekla so bila nekoč zelo uporaben optični pripomoček, saj je lahko oseba z njimi brala in tudi gledala na daljavo.

Očalno steklo je razdeljeno na dva dela, pri katerem zgornji del služi gledanju na daljavo, spodnji pa gledanju na bližino, npr. branju.

Najbolj pogosti sta okrogli segment z ravnim delom za blizu (telezin) ali okrogli segment s polkrožnim delom za bližino (strazin). Poznamo še tretjo vrsto segmenta: okrogli, uporablja pa se pri večjih dioptrijah. Deluje kot lupa za določeno delo na blizu, ta segment imenujemo kriptar.



Slika 7: Dvožariščna stekla



Slika 8: Primer bifokalnega stekla

[https://www.clarus.si/aktualno/blog/33/vrste\\_in\\_materijali\\_ocalnih\\_stekel\\_z\\_dioptrijo/](https://www.clarus.si/aktualno/blog/33/vrste_in_materijali_ocalnih_stekel_z_dioptrijo/) (17. 2. 2020)

<http://www.optika-ofthalmos.si/ocalnastekla.html> (17. 2. 2020)

### 3.3 Večžariščna ali progresivna stekla

So očalna stekla, s katerimi vidimo na vse razdalje (daleč, vmes in blizu). Dioptrija v tem steklu prehaja nevidno navzdol od polja za daljavo do polja za bližino. Uporabna so za branje, delo na računalniku in vožnjo z avtomobilom. S temi očalnimi stekli ima uporabnik oster pogled na vse oddaljenosti.



Slika 9: Večžariščna stekla



Slika 10: Primer multifokalnega stekla

[https://www.clarus.si/aktualno/blog/33/vrste\\_in\\_materijali\\_ocalnih\\_stekel\\_z\\_dioptrijo/](https://www.clarus.si/aktualno/blog/33/vrste_in_materijali_ocalnih_stekel_z_dioptrijo/) (17. 2. 2020)

<http://www.firbec.net/ali-veste-kaj-so-progresivna-stekla/> (17. 2. 2020)

### 3.4 Ostala stekla

Stekla delimo tudi po tem, za katero očesno napako jih uporabljamo. V ta namen delimo napake na stekla za:

- kratkovidnost,
- daljnovidnost,
- starostna slabovidnost,
- astigmatizem in
- škiljavost oziroma strabizem.

Za kratkovidnost, daljnovidnost in starostno slabovidnost sva že omenili, da uporabljamo predvsem enožariščna očalna stekla. Pri korekciji astigmatizma se uporabljujo cilindrična stekla, pri korekciji prizmatičnosti pa prizmatična očalna stekla.

## 4. NAPAKE PRI LEČAH

V tem poglavju se bova omejili le na enožariščna očalna stekla in njihove napake. Leče niso idealni elementi, saj imajo slike, ki jih leče dajejo večje ali manjše optične napake – aberacije, ki so lahko povezane s spremembami barve ali pa samo s popačenjem slike. Najbolj znane napake leč so:

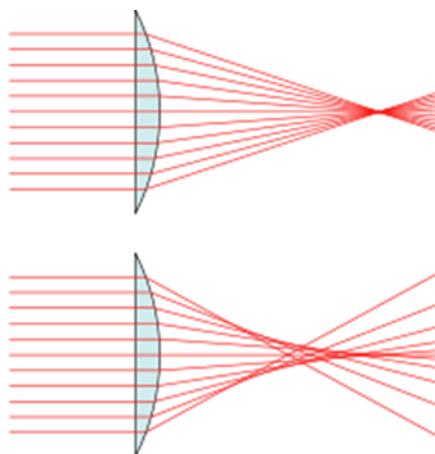
- sferična aberacija,
- astigmatizem,
- koma,

## Napaka pasov pri posamičnih sferičnih očalnih lečah

- kromatična aberacija,
- distorzija.

### 1. SFERIČNA ABERACIJA

Je napaka, ki se pojavlja pri optičnih telesih. Nastane zaradi lomljenja žarkov skozi optično napravo ozziroma lečo. Žarki, ki se lomijo na robovih leče, se lomijo drugače kot žarki, ki se lomijo v bližini optičnega središča leče. Zaradi tega pojava nastane napaka slike preslikave, zunanj deli slike niso ostri. Aberacija vpliva na ostrost slike in na njeno obliko (leča, ki ima to vrsto napake, slike ne popači).



Slika 11: Sferična aberacija

[https://sl.wikipedia.org/wiki/Sferna\\_aberacija](https://sl.wikipedia.org/wiki/Sferna_aberacija) (17. 2. 2020)

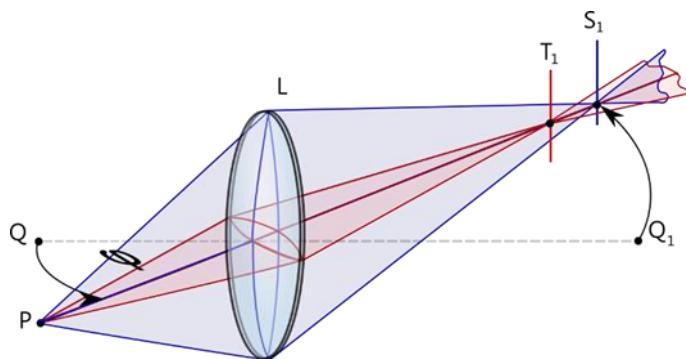
### 2. ASTIGMATIZEM

Je napaka, pri kateri leča ni enakomerno ukrivljena – namesto okrogla ima jajčasto obliko. Ko svetlobni žarki potujejo skozi lečo, ki ima astigmatizem, je nastala slika na eni strani bolj ovalna.

V primeru, ko ima oko astigmatizem, je situacija bolj zapletena, saj obstaja več vrst ukrivljenosti roženice. Kot sva že prej omenili, je pri leči z astigmatizmom nastala slika na eni strani bolj ovalna, pri očesni napaki pa je slika na eni strani bolj zamegljena in tudi bolj raztegnjena kot običajno.

Očala in kontaktne leče astigmatizem popravijo tako, da svetlobo, ki potuje skozi nepravilno ukrivljeno roženico, enakomerno razporedijo. Leče v očalih se imenujejo cilindrične leče

## Napaka pasov pri posamičnih sferičnih očalnih lečah



Slika 12: Astigmatizem

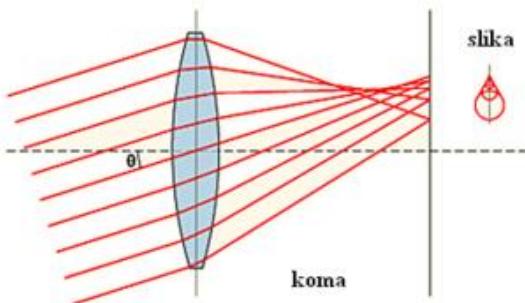
[https://sl.wikipedia.org/wiki/Astigmatizem\\_\(optika\)](https://sl.wikipedia.org/wiki/Astigmatizem_(optika)) (17. 2. 2020)

## 3. KOMA

Je napaka, ki se pojavlja kot popačenje slike pri predmetih, ki so na optični osi. Točka, ki se nahaja na optični osi, se na sliki prikaže kot slika v obliki kroga.

Koma se pojavlja kot sprememba povečave za različne zenice. V napravah, ki temeljijo na lomu svetlobe, je koma odvisna od valovne dolžine svetlobe.

Koma kot napaka se iz optičnih naprav, leč zmanjšuje s pomočjo kombinacije leč. Naprave, ki odpravljajo komo, so Schmidtov daljnogled, Maksutov daljnogled in Ritchey-Crétienov daljnogled. Napaka pa se odstrani tudi z lečo, ki ima obliko pravilne krivulje.



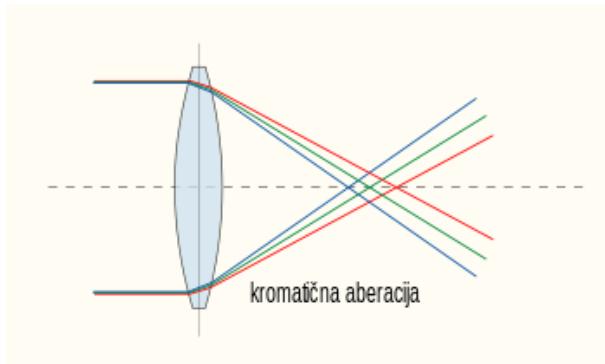
Slika 13: Koma

[https://sl.wikipedia.org/wiki/Koma\\_\(optika\)](https://sl.wikipedia.org/wiki/Koma_(optika)) (17. 2. 2020)

## 4. KROMATIČNA (BARVNA) ABERACIJA

Je napaka, ki se pojavlja na fotografijah, ker se svetloba različno lomi na posameznih valovnih dolžinah. Leča ne more zbrati svetlobe različnih dolžin v enaki točki, zato nastane napaka, imenovana kromatična aberacija. Odpraviti jo poskušajo z dvema tankima lečama v kontaktu.

## Napaka pasov pri posamičnih sferičnih očalnih lečah



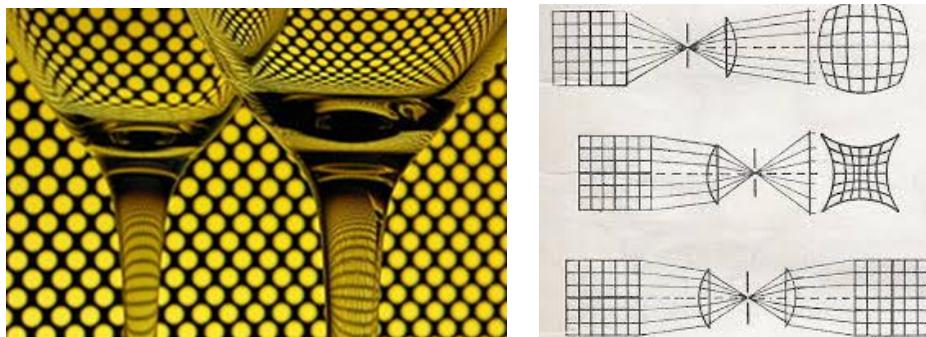
Slika 14: Kromatična aberacija

[https://sl.wikipedia.org/wiki/Kromati%C4%8Dna\\_aferacija](https://sl.wikipedia.org/wiki/Kromati%C4%8Dna_aferacija) (17. 2. 2020)

## 5. DISTORZIJA

Je napaka, ki je odvisna od lege zaslonke glede na zbiralno lečo, ki se vstavi v objektiv za zmanjšanje/odpravo sferične aberacije. Lega zaslonke upravlja obliko in stopnjo distorzije slike.

Poznamo dve obliki distorzije slike, in sicer sodasta- izbočena distorzija oz. romski sodček in vbočena distorzija oz. romski blazina.



Slika 15: Distorzija

[https://hr.wikipedia.org/wiki/Optika\\_aferacija](https://hr.wikipedia.org/wiki/Optika_aferacija) (17. 2. 2020)

[https://www.google.com/search?q=distorzija+slike&tbs=isch&ved=2ahUKEwiai9OlouHpAhWLr6QKcCegQIABAA&oq=distorzija+&gs\\_lcp=CgNpbWcQARgCMgQIixAnMgQIixAnMgQIABATMgQIABATMgQIABATMgYIABAeEBMyBggAEB4QEzIGCAAQHhATUPyCAVihkAFgt7cBaABwAHgAgAGxAYgB9gWSAQMxLjWYAQCgAQGgAQnd3Mtd2I6LWltZw&sclient=img&ei=2kvVXpq2NovfkgXM1ZDoDg&bih=674&biw=1536](https://www.google.com/search?q=distorzija+slike&tbs=isch&ved=2ahUKEwiai9OlouHpAhWLr6QKcCegQIABAA&oq=distorzija+&gs_lcp=CgNpbWcQARgCMgQIixAnMgQIixAnMgQIABATMgQIABATMgQIABATMgYIABAeEBMyBggAEB4QEzIGCAAQHhATUPyCAVihkAFgt7cBaABwAHgAgAGxAYgB9gWSAQMxLjWYAQCgAQGgAQnd3Mtd2I6LWltZw&sclient=img&ei=2kvVXpq2NovfkgXM1ZDoDg&bih=674&biw=1536) (1. 6. 2020)

## 6. KAJ DOLOČA LOMNOST LEČE

Lom je optični pojav, ki ga imenujemo tudi lom valov. Da dokažemo, da je oko zdravo, mora biti mrežnica v sredini optičnega sistema, tako da se predmeti preslikajo v slike na mrežnici. Testni pregled se izvaja na napravi, imenovani avtorefraktometer. V napravo stranka pogleda in glede na to, kako se oko odziva pri pogledu na daljavo in bližino, aparat preračuna vrednost dioptrije. Na ta način se izpiše lomnost očalnih leč, ki jih stranka dobi. Na to, kako izgledajo očala in kolikšno lomnost imajo leče, ki so vstavljene v očalni okvir, pa vplivajo krivinski pomeri leč, debelina in lomni količnik stekla, iz katerega je leča narejena.

### 6.1 Krivinski radij

Meri se z napravo, imenovano sferometer. Način merjenja temelji na merjenju višine krogelne kapice nad trikotnikom, ki je določen s tremi točkami površja krogle.



Slika 16: Sferometer

<https://www.vosinstrumenten.nl/onderwijs/natuurkunde/meten-wegen/afstand/precisie-sferometer.html> (17. 2. 2020)

Enačba za izračun krivinskega radija:

$$R = \left( \frac{a^2 + 3h^2}{6h} \right)$$

R ... krivinski radij

a ... razdalja med nogicami sferometra

h ... višina kapice

Na osnovi teh parametrov je izračunan krivinski polmer in tudi lomnost posamezne krivine.

$$D_1 = \frac{n_2 - n_1}{R_1}$$

$$D_2 = \frac{n_3 - n_2}{R_2}$$

$$D = D_1 + D_2$$

Napaka pasov pri posamičnih sferičnih očalnih lečah

Zgornji enačbi sta enačbi za tanke leče, kjer njihova debelina ne vpliva na njihovo lomnost. Ker pa imajo leče debelino, je prav, da spoznamo še enačbo debele leče:

$$D = D_1 + D_2 - \frac{d}{n_2} D_1 D_2$$

## 6.2 Lom svetlobe

Svetloba potuje v različnih snoveh različno hitro. Razmerje med hitrostjo širjenja svetlobe v vakuumu in v snovi imenujemo lomni količnik snovi, ki ga izračunamo po naslednji enačbi:

$$n = \frac{c_0}{c'}$$

n ... lomni količnik neke snovi

c' ... hitrost svetlobe v tej snovi

c<sub>0</sub> ... hitrost svetlobe v vakuumu

Za svetlobo velja, da se lomi, ko prehaja iz ene optične snovi v drugo, npr. iz zraka v vodo. Pri tem velja lomni zakon:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

Svetloba se lomi k pravokotni vpadnici, če prehaja iz optično redkejše k optično gostejši snovi. Snov je optično gostejša, če ima večji lomni količnik.

## 7. LOMNOST LEČE – DIOPTRIJA

Kadar gremo na pregled k okulistu zaradi nepravilnosti očesa, nam ta predpiše dioptrijo. To pomeni, da bo oko potrebovalo dodatne leče z lomnostjo oz. dioptrijo, da bo pravovidno.

Dioptrija je merska enota za lomnost leče in merjenje optične moči leče. Na dioptrijo vplivajo krivine leč. Njena merska enota je dpt, kar je obratno od merske enote za merjenje dolžine torej metra:

$$1 \text{ dpt} = \text{m}^{-1}$$

Dioptrijo lahko tudi izračunamo po enačbi:

$$\frac{1}{f} = D$$

D ... dioptrija

f ... goriščna razdalja

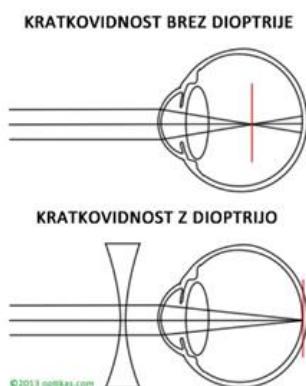
## 8. OČESNE NAPAKE

V svetu optike poznamo različne očesne napake, v grobem pa jih delimo na:

- kratkovidnost,
- daljnovidnost in
- starovidnost.

### 1. KRATKOVIDNOST (miopija)

Je očesna napaka, pri kateri oseba ne bo videla na daleč. Taka oseba bo dobila očala, katerih leče bodo imele negativno lomnost. Ta napaka lahko nastane zaradi nepravilne oblike zrkla. V zadnjih letih se kratkovidnost povečuje pri mladostnikih, uporabniki očal pa morajo imeti v okvir vstavljen razpršilno (konkavno) lečo.

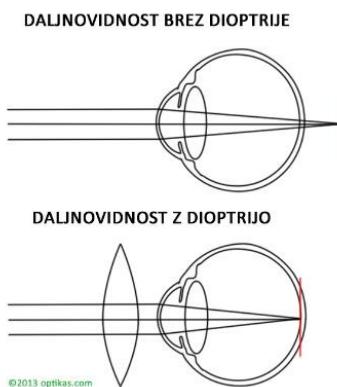


Slika 17: Kratkovidnost

<https://www.optikas.com/kratkovidnost-ali-miopija.html> (17. 2. 2020)

### 2. DALJNOVIDNOST (hiperopija)

Je očesna napaka, pri kateri oseba ne bo videla na blizu pri branju knjige, pisalu itd. Taka oseba bo dobila očala, katerih leče bodo imele pozitivno lomnost. Daljnovidnost je napaka, ki po 40. letu starosti postane tudi starostna slabovidnost, za katero so tudi potrebna očala z zbiralno oziroma konveksno lečo.

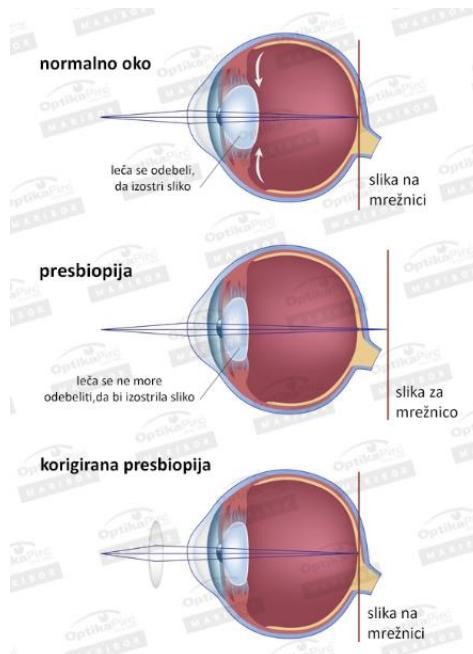


Slika 18: Daljnovidnost

<https://www.optikas.com/daljnovidnost.html> (17. 2. 2020)

### 3. STAROVIDNOST (presbiopija)

Je očesna napaka, ki se pojavi po 40. letu starosti. Leče lahko imajo pozitivno lomnost. Starovidnost poteka enakomerno pri vseh očeh, ne glede na to, ali so oči dobro vidne, kratkovidne ali daljnovidne. Tisti, ki so dobro vidni, potrebujejo v starosti 45–75 let očala z lomnostjo vsaj  $+1,00 \text{ m}^{-1}$ , pozneje pa vedno več, dokler akomodacijska zmožnost popolnoma ne popusti, in to je približno pri 60. letih. Od tedaj naprej ostane dioptrija nespremenjena.



Slika 19: Starovidnost

<https://www.optika-pirc.com/project/starovidnost-presbyopia/> (17. 2. 2020)

## 9. KONTAKTNE LEČE

Kontaktne leče so leče oziroma zdravstveni pripomočki, ki so namenjeni odpravi dioptrije, izenačenosti zenice/šarenice ali pa zgolj kot modni dodatek, s katerim spremenimo barvo oči.

Ločimo dve skupini kontaktnih leč, in sicer poltrde in mehke.

Poltrde kontaktne leče so narejene iz sodobnega materiala, ki mu pravimo polimetilmetakrilat. Nosi jih le 10–20 % ljudi. Za nošnjo so neudobne, saj jih uporabnik čuti kot tujek v očesu, ampak bolje korigirajo lomnost. Namenjene so tudi ljudem, ki imajo očesno napako astigmatizem. Po velikosti so manjše kot mehke in plavajo na solznem filmu roženice.

Mehke kontaktne leče so lahko narejene iz hidrogela ali pa silikon hidrogela. So večje od trdih leč in pokrivajo celotno roženico in manjši del beločnice. Dobro odpravljajo zamegljen vid, vendar se pri astigmatizmu ne obnesejo vedno najbolje. Mehke leče moramo menjavati pogosteje kot trde, zato jih več vrst:

- dnevne,
- tedenske,
- dvotedenske,
- mesečne,
- trimesečne in
- letne.



Slika 20: Kontaktne leče kontaktnih leč



Slika 21: Primer vstavljanja

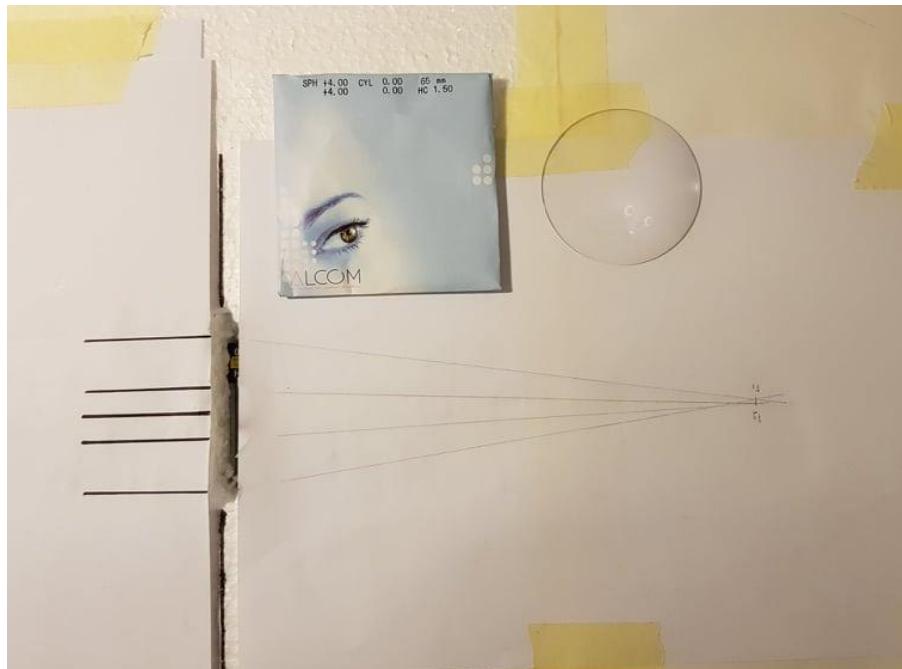
<https://www.lekarnar.com/clanki/nega-in-higiena-kontaktnih-lec> (17. 2. 2020)

<https://www.optika-keber.si/kontaktne-lece.html> (17. 2. 2020)

## 10. PRAKTIČNI DEL

V praktičnem delu sva leče različnih dioptrij in lomnih količnikov merili s snopom vzporedne svetlobe in s posebno napravo, imenovano elektronski merilnik dioptrije leč oziroma fokometer. Merili sva leče z lomnim količnikom 1,5 in 1,6 ter dioptrije očalnih leč od  $-6,00 \text{ m}^{-1}$  do  $-1,00 \text{ m}^{-1}$  in od  $1,00 \text{ m}^{-1}$  do  $6,00 \text{ m}^{-1}$ . Pri elektronskem merilniku sva premerili leče z lomnostmi od  $0,25 \text{ m}^{-1}$  do  $6,00 \text{ m}^{-1}$  in od  $-6,00 \text{ m}^{-1}$  do  $-0,25 \text{ m}^{-1}$ .

Najprej sva meritve opravili ročno. Za to merjenje sva potrebovali podlago, za katero sva uporabili stiroporno ploščo. Vanjo sva izrezali režo, debeline 1 cm, v katero sva namestili lečo. Zraven reže sva namestili list papirja, na katerega sva narisali štiri črte, ki so nama pomagale določevati zunanje in notranje žarke. Na drugo stran reže sva položili snop vzporedne svetlobe. Žarke sva namestili na narisane črte, in ko so se žarki ob prehodu skozi lečo lomili, sva določili presečišče zunanjih ( $f_1$ ) in notranjih ( $f_2$ ) žarkov. Pri negativni lomnosti leče pa sva snop vzporedne svetlobe postavili na list z narisanimi črtami, saj se žarki ob prihodu skozi lečo razpršijo.

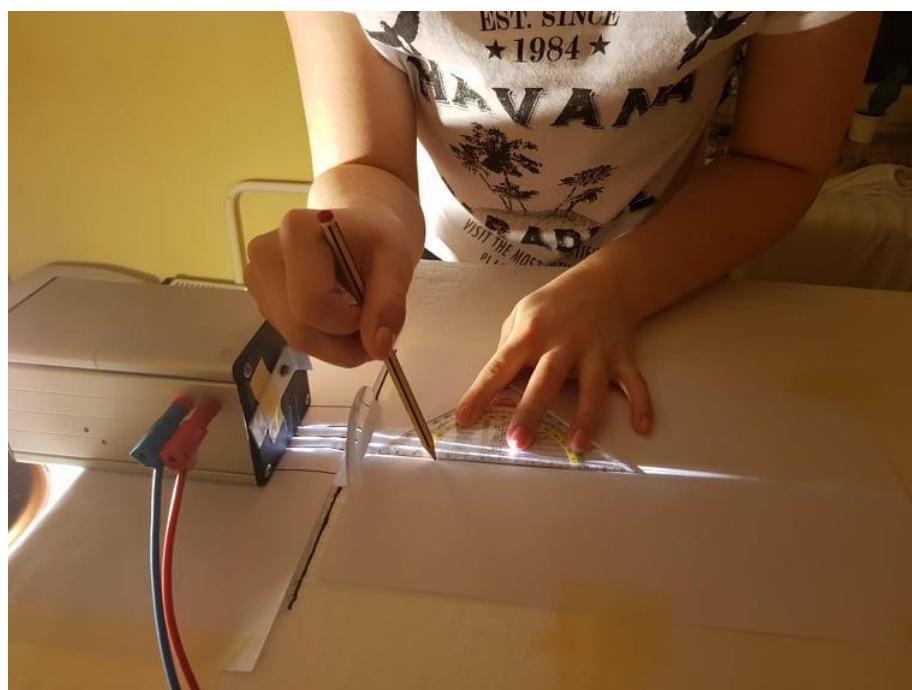


Slika 22: Merjenje konveksne leče

## Napaka pasov pri posamičnih sferičnih očalnih lečah



Slika 23: Merjenje konkavne leče



Slika 24: Prehajanje žarkov skozi lečo

## Napaka pasov pri posamičnih sferičnih očalnih lečah

Vse izmerjene podatke sva nato prenesli v tabelo, kjer sva izračunali napako leč (sferično aberacijo) in s programom excel narisali grafe.

Druge meritve sva izvedli s fokometrom. Na manjši list sva si ponovno narisali štiri črte, s katerimi sva se orientirali, kam položiti lečo. Na zunanjih črtah sva dioptrijo merili na zunanjem delu leče, na notranjih, ki so bili 1 cm odmaknjeni od središča leče, pa notranjo dioptrijo. Med tem dvojicama je bila razlika, ki nama je povedala, kolikšno napako ima leča.



Slika 25: Fokometer

<http://www.optikci.net/tr/makineDetay.aspx?hbr=195> (26. 2. 2020)

## 11. TABELE IN GRAFI

### 11.1 ROČNE MERITVE

Dioptrija od  $0,00 \text{ m}^{-1}$  do  $-6,00 \text{ m}^{-1}$  in lomni količnik 1,50

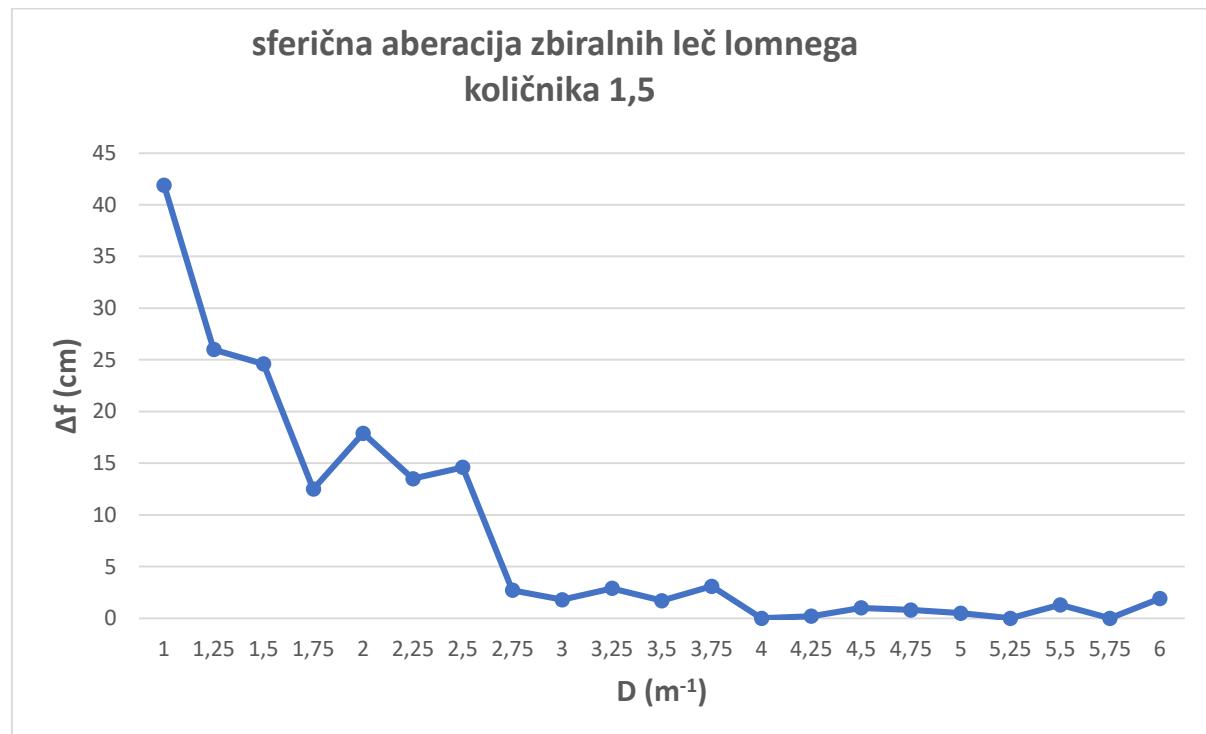
$D (\text{m}^{-1})$	$f_1 (\text{cm})$	$f_2 (\text{cm})$	$\Delta f (\text{cm})$
-1,00	57,0	80,1	23,1
-1,25	50,9	73,3	22,4
-1,50	54,3	46,3	8,0
-1,75	53,0	46,3	6,7
-2,00	44,2	40,3	3,9
-2,25	38,2	30,0	8,2
-2,50	36,9	30,6	6,3
-2,75	36,4	34,3	2,1
-3,00	30,6	24,8	5,8
-3,25	29,8	27,1	2,7
-3,50	24,0	33,1	9,1
-3,75	23,2	27,6	4,4
-4,00	20,8	17,3	3,5
-4,25	20,1	21,1	1,0
-4,50	20,1	20,2	0,1
-4,75	18,8	21,9	3,1
-5,00	16,8	18,8	2,0
-5,25	16,8	19,1	2,3
-5,50	15,9	17,0	1,1
-5,75	14,3	20,2	5,9
-6,00	15,0	16,8	1,8



## Napaka pasov pri posamičnih sferičnih očalnih lečah

Dioptrija od  $0,00 \text{ m}^{-1}$  do  $+6,00 \text{ m}^{-1}$ : lomni količnik 1,50

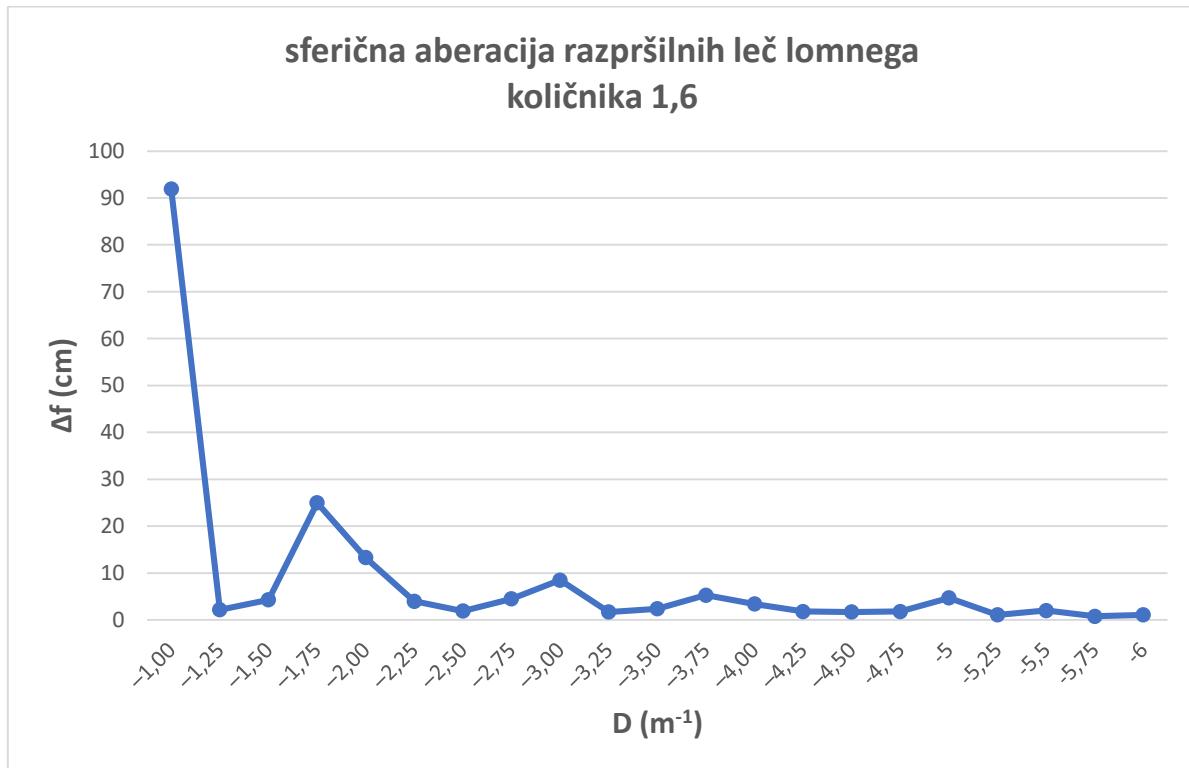
$D (\text{m}^{-1})$	$f_1 (\text{cm})$	$f_2 (\text{cm})$	$\Delta f (\text{cm})$
1,00	103,9	62,0	41,9
1,25	82,7	56,7	26,0
1,50	63,4	38,8	24,6
1,75	50,0	37,5	12,5
2,00	51,9	34,0	17,9
2,25	49,4	35,9	13,5
2,50	44,9	30,3	14,6
2,75	33,5	30,8	2,7
3,00	32,5	30,7	1,8
3,25	29,9	27,0	2,9
3,50	26,0	27,7	1,7
3,75	25,3	22,2	3,1
4,00	21,2	21,2	0
4,25	21,8	21,6	0,2
4,50	20,2	19,2	1,0
4,75	17,4	18,2	0,8
5,00	16,4	16,9	0,5
5,25	15,3	15,3	0
5,50	15,1	16,4	1,3
5,75	15,0	15,0	0
6,00	15,9	14,0	1,9



## Napaka pasov pri posamičnih sferičnih očalnih lečah

Dioptrija od  $0,00 \text{ m}^{-1}$  do  $-6,00 \text{ m}^{-1}$ : lomni količnik 1,60

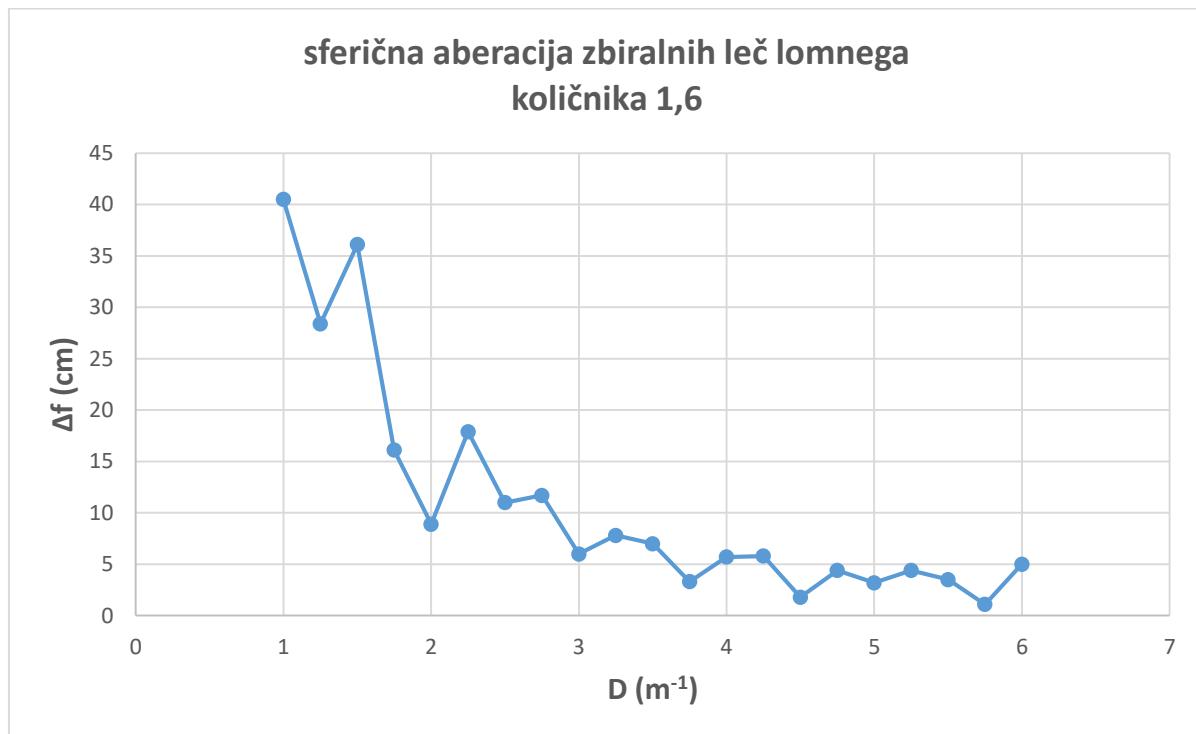
$D (\text{m}^{-1})$	$f_1 (\text{cm})$	$f_2 (\text{cm})$	$\Delta f (\text{cm})$
-1,00	173,1	81,2	91,9
-1,25	126,0	124,2	2,2
-1,50	91,4	95,7	4,3
-1,75	62,4	87,4	25,0
-2,00	48,3	35,0	13,3
-2,25	41,1	45,1	4,0
-2,50	47,2	45,3	1,9
-2,75	38,1	33,6	4,5
-3,00	29,8	38,3	8,5
-3,25	27,9	26,2	1,7
-3,50	24,4	26,8	2,4
-3,75	27,5	22,2	5,3
-4,00	25,2	21,8	3,4
-4,25	24,3	26,1	1,8
-4,50	22,0	20,3	1,7
-4,75	20,8	19,0	1,8
-5,00	21,1	16,4	4,7
-5,25	18,0	16,9	1,1
-5,50	18,4	16,4	2,0
-5,75	17,2	18,0	0,8
-6,00	15,9	14,8	1,1



## Napaka pasov pri posamičnih sferičnih očalnih lečah

Dioptrija od  $0,00 \text{ m}^{-1}$  do  $+6,00 \text{ m}^{-1}$ : lomni količnik 1,60

$D (\text{m}^{-1})$	$f_1 (\text{cm})$	$f_2 (\text{cm})$	$\Delta f (\text{cm})$
1,00	124,4	83,9	40,5
1,25	81,5	53,1	28,4
1,50	83,6	47,5	36,1
1,75	65,4	49,3	16,1
2,00	52,6	43,7	8,9
2,25	55,1	37,2	17,9
2,50	48,5	37,5	11,0
2,75	44,7	33,0	11,7
3,00	37,9	31,9	6,0
3,25	38,5	30,7	7,8
3,50	37,1	30,1	7,0
3,75	31,3	28,0	3,3
4,00	31,3	25,6	5,7
4,25	32,4	26,6	5,8
4,50	25,3	23,5	1,8
4,75	26,6	22,2	4,4
5,00	24,1	20,9	3,2
5,25	25,5	21,1	4,4
5,50	22,1	18,6	3,5
5,75	17,7	16,6	1,1
6,00	20,5	15,5	5,0



## 11.2 ELEKTONSKE MERITVE

Dioptrija od  $0,00 \text{ m}^{-1}$  do  $-6,00 \text{ m}^{-1}$ : lomni količnik 1,50

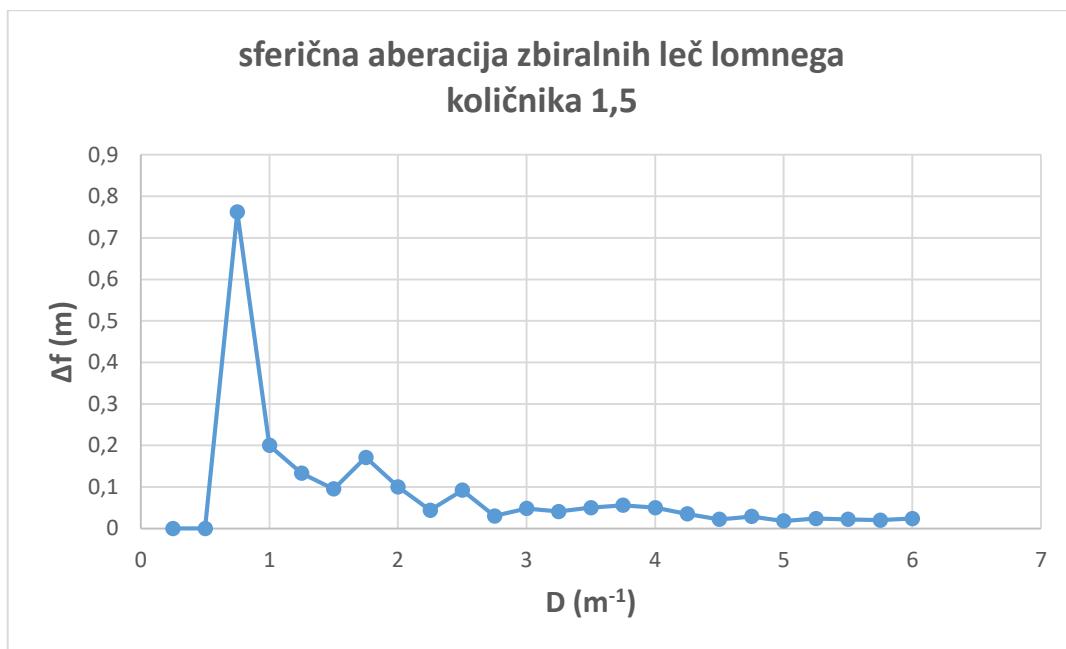
$D (\text{m}^{-1})$	$D_1 (\text{m}^{-1})$	$f_1 (\text{m})$	$D_2 (\text{m}^{-1})$	$f_2 (\text{m})$	$\Delta f (\text{m})$	$\Delta D (\text{m}^{-1})$
-0,25	0,25	4,000	0,25	4,000	0,000	0
-0,50	0,5	2,000	0,5	2,000	0,000	0
-0,75	0,75	1,333	0,75	1,333	0,000	0
-1,00	1,25	0,800	1	1,000	0,200	0,25
-1,25	1,5	0,667	1,25	0,800	0,133	0,25
-1,50	1,75	0,571	1,5	0,667	0,095	0,25
-1,75	2	0,500	1,75	0,571	0,071	0,25
-2,00	2,25	0,444	2	0,500	0,056	0,25
-2,25	2,5	0,400	2,25	0,444	0,044	0,25
-2,50	2,75	0,364	2,5	0,400	0,036	0,25
-2,75	3,25	0,308	2,75	0,364	0,056	0,5
-3,00	3,5	0,286	3	0,333	0,048	0,5
-3,25	3,75	0,267	3,25	0,308	0,041	0,5
-3,50	4	0,250	3,5	0,286	0,036	0,5
-3,75	4,25	0,235	3,75	0,267	0,031	0,5
-4,00	4,5	0,222	4,25	0,235	0,013	0,25
-4,25	4,75	0,211	4,25	0,235	0,025	0,5
-4,50	5	0,200	4,75	0,211	0,011	0,25
-4,75	5,5	0,182	4,75	0,211	0,029	0,75
-5,00	5,75	0,174	5,25	0,190	0,017	0,5
-5,25	6	0,167	5,5	0,182	0,015	0,5
-5,50	6	0,167	5,75	0,174	0,007	0,25
-5,75	6,5	0,154	6	0,167	0,013	0,5
-6,00	6,5	0,154	6,25	0,160	0,006	0,25



## Napaka pasov pri posamičnih sferičnih očalnih lečah

Dioptrija od  $0,00 \text{ m}^{-1}$  do  $+6,00 \text{ m}^{-1}$ : lomni količnik 1,50

$D (\text{m}^{-1})$	$D_1 (\text{m}^{-1})$	$f_1 (\text{m})$	$D_2 (\text{m}^{-1})$	$f_2 (\text{m})$	$\Delta f (\text{m})$	$\Delta D (\text{m}^{-1})$
0,25	4,000	0,25	4,000	0,25	0,000	0
0,5	2,000	0,5	2,000	0,5	0,000	0
0,75	1,333	1,75	0,571	0,75	0,762	1
1	1,000	1,25	0,800	1	0,200	0,25
1,25	0,800	1,5	0,667	1,25	0,133	0,25
1,5	0,667	1,75	0,571	1,5	0,095	0,25
1,75	0,571	2,5	0,400	1,75	0,171	0,75
2	0,500	2,5	0,400	2	0,100	0,5
2,25	0,444	2,5	0,400	2,25	0,044	0,25
2,5	0,400	3,25	0,308	2,5	0,092	0,75
2,75	0,364	3	0,333	2,75	0,030	0,25
3	0,333	3,5	0,286	3	0,048	0,5
3,25	0,308	3,75	0,267	3,25	0,041	0,5
3,5	0,286	4,25	0,235	3,5	0,050	0,75
3,75	0,267	4,75	0,211	3,75	0,056	1
4	0,250	5	0,200	4,25	0,050	0,75
4,25	0,235	5	0,200	4,5	0,035	0,5
4,5	0,222	5	0,200	4,5	0,022	0,5
4,75	0,211	5,5	0,182	5	0,029	0,5
5	0,200	5,5	0,182	5,25	0,018	0,25
5,25	0,190	6	0,167	5,5	0,024	0,5
5,5	0,182	6,25	0,160	5,75	0,022	0,5
5,75	0,174	6,5	0,154	6,25	0,020	0,25
6	0,167	7	0,143	6,5	0,024	0,5

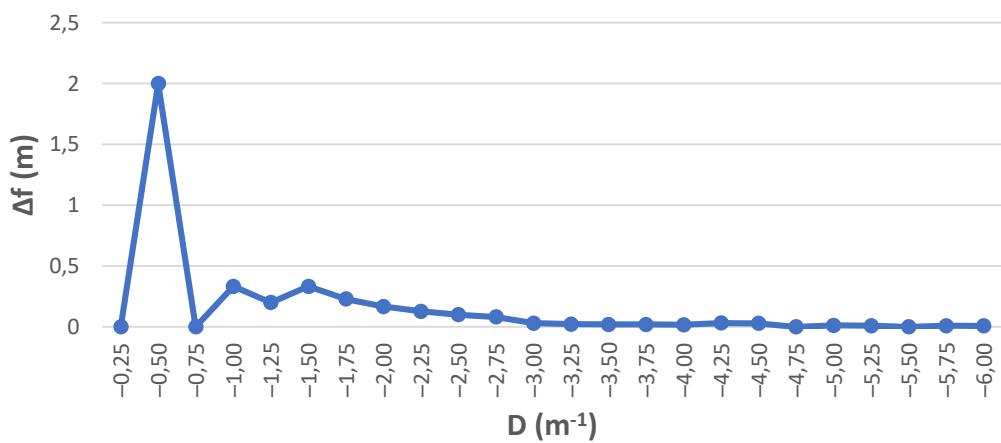


## Napaka pasov pri posamičnih sferičnih očalnih lečah

Dioptrija od  $0,00 \text{ m}^{-1}$  do  $-6,00 \text{ m}^{-1}$ : lomni količnik 1,60

$D (\text{m}^{-1})$	$D_1 (\text{m}^{-1})$	$f_1 (\text{m})$	$D_2 (\text{m}^{-1})$	$f_2 (\text{m})$	$\Delta f (\text{m})$	$\Delta D (\text{m}^{-1})$
-0,25	4,000	0,25	4,000	0,25	0,000	0
-0,50	4,000	0,25	2,000	0,5	2,000	0,25
-0,75	1,333	0,75	1,333	0,75	0,000	0
-1,00	1,333	0,75	1,000	1	0,333	0,25
-1,25	1,000	1	0,800	1,25	0,200	0,25
-1,50	1,000	1	0,667	1,5	0,333	0,5
-1,75	0,800	1,25	0,571	1,75	0,229	0,5
-2,00	0,667	1,5	0,500	2	0,167	0,5
-2,25	0,571	1,75	0,444	2,25	0,127	0,5
-2,50	0,500	2	0,400	2,5	0,100	0,5
-2,75	0,444	2,25	0,364	2,75	0,081	0,5
-3,00	0,364	2,75	0,333	3	0,030	0,25
-3,25	0,286	3,5	0,308	3,25	0,022	0,25
-3,50	0,267	3,75	0,286	3,5	0,019	0,25
-3,75	0,286	3,5	0,267	3,75	0,019	0,25
-4,00	0,267	3,75	0,250	4	0,017	0,25
-4,25	0,267	3,75	0,235	4,25	0,031	0,5
-4,50	0,250	4	0,222	4,5	0,028	0,5
-4,75	0,211	4,75	0,211	4,75	0,000	0
-5,00	0,211	4,75	0,200	5	0,011	0,25
-5,25	0,182	5,5	0,190	5,25	0,009	0,25
-5,50	0,182	5,5	0,182	5,5	0,000	0
-5,75	0,182	5,5	0,174	5,75	0,008	0,25
-6,00	0,160	6,25	0,167	6	0,007	0,25

sferična aberacija razpršilnih leč lomnega  
količnika 1,6

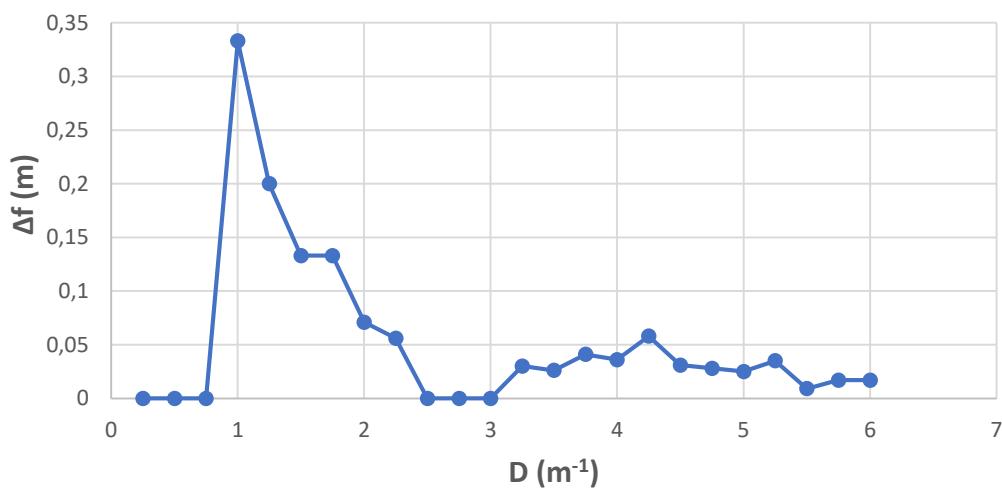


## Napaka pasov pri posamičnih sferičnih očalnih lečah

Dioptrija od  $0,00 \text{ m}^{-1}$  do  $+6,00 \text{ m}^{-1}$ : lomni količnik 1,60

$D (\text{m}^{-1})$	$D_1 (\text{m}^{-1})$	$f_1 (\text{m})$	$D_2 (\text{m}^{-1})$	$f_2 (\text{m})$	$\Delta f (\text{m})$	$\Delta D (\text{m}^{-1})$
0,25	4,000	0,25	4,000	0,25	0,000	0
0,5	2,000	0,5	2,000	0,5	0,000	0
0,75	1,333	0,75	1,333	0,75	0,000	0
1	1,333	0,75	1,000	1	0,333	0,25
1,25	1,000	1	0,800	1,25	0,200	0,25
1,5	0,800	1,25	0,667	1,5	0,133	0,25
1,75	0,800	1,25	0,667	1,5	0,133	0,25
2	0,571	1,75	0,500	2	0,071	0,25
2,25	0,500	2	0,444	2,25	0,056	0,25
2,5	0,444	2,25	0,444	2,25	0,000	0
2,75	0,400	2,5	0,400	2,5	0,000	0
3	0,333	3	0,333	3	0,000	0
3,25	0,364	2,75	0,333	3	0,030	0,25
3,5	0,333	3	0,308	3,25	0,026	0,25
3,75	0,308	3,25	0,267	3,75	0,041	0,5
4	0,286	3,5	0,250	4	0,036	0,5
4,25	0,308	3,25	0,250	4	0,058	0,75
4,5	0,267	3,75	0,235	4,25	0,031	0,5
4,75	0,250	4	0,222	4,5	0,028	0,5
5	0,235	4,25	0,211	4,75	0,025	0,5
5,25	0,235	4,25	0,200	5	0,035	0,75
5,5	0,182	5,5	0,190	5,25	0,009	0,25
5,75	0,190	5,25	0,174	5,75	0,017	0,5
6	0,190	5,25	0,174	5,75	0,017	0,5

sferična aberacija zbiralnih leč lomnega  
količnika 1,6



Napaka pasov pri posamičnih sferičnih očalnih lečah

### **UGOTOVITVE ROČNEGA MERJENJA:**

Ugotovili sva, da ima/-jo:

1. Največjo napako oziroma aberacijo leča z dioptrijo  $-1,00 \text{ m}^{-1}$  in lomnim količnikom 1,60, in sicer 91,9 cm.
2. Najmanjšo napako oziroma aberacijo leče z dioptrijo  $4,00 \text{ m}^{-1}$ ,  $5,25 \text{ m}^{-1}$  in  $5,75 \text{ m}^{-1}$  in lomnim količnikom 1,50, in sicer 0 cm.
3. Pri lomnem količniku 1,50 in dioptriji od  $-1,00 \text{ m}^{-1}$  do  $-6,00 \text{ m}^{-1}$  največjo napako leča z dioptrijo  $-1,00 \text{ m}^{-1}$ , in sicer 23,1 cm.
4. Pri lomnem količniku 1,50 in dioptriji od  $1,00 \text{ m}^{-1}$  do  $6,00 \text{ m}^{-1}$  največjo napako leča z dioptrijo  $1,00 \text{ m}^{-1}$ , in sicer 41,9 cm.
5. Pri lomnem količniku 1,60 in dioptriji od  $-1,00 \text{ m}^{-1}$  do  $-6,00 \text{ m}^{-1}$  največjo napako leča z dioptrijo  $-1,00 \text{ m}^{-1}$ , in sicer 91,9 cm.
6. Pri lomnem količniku 1,60 in dioptriji od  $1,00 \text{ m}^{-1}$  do  $6,00 \text{ m}^{-1}$  največjo napako leča z dioptrijo  $1,00 \text{ m}^{-1}$ , in sicer 40,5 cm.

### **UGOTOVITVE ELEKTRONSKEGA MERJENJA:**

1. Največja napaka se pojavi pri lečah z dioptrijo  $0,75 \text{ m}^{-1}$  in  $3,75 \text{ m}^{-1}$  in lomnim količnikom 1,50, in sicer z napako 1,00 dpt.
2. Najmanjša napaka je bila  $0,00 \text{ m}^{-1}$ , in sicer pri obeh lomnih količnikih pri manjših dioptrijah.

## 12. POTRDITEV ALI ZAVRNITEV HIPOTEZ

1. Leče z večjim lomnim količnikom bodo imele večjo napako oz. sferično aberacijo kot leče z manjšim lomnim količnikom. **POTRJENO**

Ko sva primerjali rezultate v tabelah, sva prišli do ugotovitve, da imajo leče z lomnim količnikom 1,60 za vsaj 1 cm večje odstopanje od leč z lomnim količnikom 1,50.

2. Razpršilne leče imajo večjo napako oz. sferično aberacijo kot zbiralne. **ZAVRNJENO**

Glede na najine rezultate meritve sva ugotovili, da imajo zbiralne leče skoraj za polovico večjo sferično aberacijo kot razpršilne leče. Čeprav imajo v nekaterih meritvah razpršilne leče večjo napako, so vseeno večja odstopanja pri zbiralnih lečah.

3. Leče z večjo lomnostjo imajo večjo napako oz. sferično aberacijo kot leče z manjšo. **ZAVRNJENO**

Pri merjenju sva ugotovili, da se rezultati ročnega in elektronskega merjenja razlikujejo. Ročne meritve so prikazale večjo napako pri manjši lomnosti, elektronske meritve pa večjo napako pri večji lomnosti. Ker je fokometer natančnejši, sva to hipotezo zavrnili.

4. Največja napaka ne bo presegala 50 cm. **ZAVRNJENO**

Glede na ročne meritve sva ugotovili, da ena meritve presega 50 centimetrov, in sicer pri lomnem količniku 1,60 dioptrije  $-1,00 \text{ m}^{-1}$ .

## 13. ZAKLJUČEK

Skozi raziskovanje leč, njihove lomnosti in merjenja sva se naučili veliko zanimivega o optiki. Ugotovili sva, da napaka leč (sferična aberacija) ni sorazmerna z lomnostjo leč, saj je pri nekaterih lomnostih mnogo manjša. Zanimivo je bilo tudi to, kako velike napake pasov nastanejo. Na začetku sva mislili, da odstopanja ne bodo tako velika, vendar so že ročne meritve pokazale ravno nasprotno. Najina največja napaka je znašala kar 91 cm. Prikazala se je pri leči z dioptrijo  $-1,00$ . Manjše lomnosti bi zagotovo imele še večjo napako, ampak je nisva mogli izmeriti, saj je bila prevelika.

Za nadaljnje raziskovanje bi lahko med sabo še primerjali leče enakih lomnosti in lomnih količnikov, različnih proizvajalcev leč, itd.

S to raziskovalno nalogo sva pridobili ogromno znanja, tako strokovnega kot tudi splošnega. Upava, da bova to lahko uporabili tako v nadalnjem življenju kot pri študiju.

## 14. VIRI IN LITERATURA

- <http://eucbeniki.sio.si/fizika8/143/index4.html> (15. 10. 2019)
  - <http://www2.arnes.si/~bivsic/fizika/lece/uvod.htm> (15. 10. 2019)
  - [https://sl.wikipedia.org/wiki/Le%C4%8Dna\\_\(optika\)](https://sl.wikipedia.org/wiki/Le%C4%8Dna_(optika)) (17. 10. 2019)
  - <http://www.ung.si/~arcon/fizika/okolje/vsebina/prosojnice/Napake-pri-lecah.pdf> (20. 10. 2019)
  - [https://si.openprof.com/wb/opti%C4%8Dna\\_preslikava\\_le%C4%8De?ch=205](https://si.openprof.com/wb/opti%C4%8Dna_preslikava_le%C4%8De?ch=205) (20. 10. 2019)
  - [https://sl.wikipedia.org/wiki/Lomni\\_koli%C4%8Dnik](https://sl.wikipedia.org/wiki/Lomni_koli%C4%8Dnik) (5. 12. 2019)
  - [http://projlab.fmf.uni-lj.si/arhiv/2010\\_11/naloge/izdelki/enacba\\_lece/teorija.html](http://projlab.fmf.uni-lj.si/arhiv/2010_11/naloge/izdelki/enacba_lece/teorija.html) (5. 12. 2019)
  - [https://sl.wikipedia.org/wiki/Sferna\\_aberacija](https://sl.wikipedia.org/wiki/Sferna_aberacija) (11. 12. 2019)
  - [https://sl.wikipedia.org/wiki/Astigmatizem\\_\(oko\)](https://sl.wikipedia.org/wiki/Astigmatizem_(oko)) (11. 12. 2019)
  - <https://www.optikas.com/kaj-je-astigmatizem.html> (21. 12. 2019)
  - <https://sites.google.com/site/sudnusa1213/kromaticna-aberacija> (21. 12. 2019)
  - <https://www.optikas.com/dioptrija.html> (21. 12. 2019)
  - <https://optika24.si/razlaga-oznak> (23. 12. 2019)
  - <https://sl.wikipedia.org/wiki/Dioptrija> (23. 12. 2019)
  - <https://vizita.si/zdravozivljenje/kaj-je-dobro-vedeti-preden-kupite-kontaktne-lece.html> (6. 1. 2020)
  - <https://www.viva.si/O%C4%8Dni-Oftalmologija/254/Kontaktne-le%C4%8De> (6. 1. 2020)
  - <https://sites.google.com/site/osiam2012/napake-lec/ukrivljenost-slikovnega-polja-alidistorzija> (26. 2. 2020)
- 
- MOHORIČ, Aleš, in BABIČ, Vitomir. 2013. Fizika 2: Učbenik za fiziko v 2.letniku gimnazij in štiriletnih strokovnih šol. Ljubljana: Mladinska knjiga Založba. ISBN 978-961-01-2647-8
  - PETELINŠEK, Zdenka. 2004. Optika z meritvami 1. Velenje: Modart. ISBN 961-90648-3-6