

---

*Jelena Pajović, Aleksandra Alorić  
i Stojan Đorđević*

## Ispitivanje osobina mikrosočiva dobijenih u tankom sloju želatina

---

*Želatin sa dodatim substraktima se pokazao kao odličan materijal za proizvodnju mikrosočiva. Dodaci nisu otrovni, jedan od glavnih dodataka je metilen (plavi pigment) koji je povećao osetljivost želatina na laserski snop svetlosti crvenog dela spektra, a drugi je to thema (jedinjenje gvožda) koja je smanjivala isparavanje vode, a samim tim i promenu strukture želatina. Izlaganjem tankog sloja želatina za kuvanje laserskom snopu, talasne dužine 632.8 nm, uočava se formiranje paraboličnog udubljenja za koje je daljim ispitivanjem utvrđeno da poseduje osobine sočiva. U izvedenom eksperimentu, na sloju želatina debljine 0.1 mm, dobijeno je mikrosočivo čiji je prečnik konture 1.5 mm. Do formiranja sočiva dolazi veoma brzo, nakon ekspozicije od 30 sekundi moguće je videti nastanak difrakcione slike. Pored jednostavnijeg, jeftinijeg i bržeg načina pravljenja sočiva u ovom projektu su i ispitivane karakteristike tako dobijenog sočiva. Značaj ovako dobijenih sočiva jeste mogućnost njihove primene u nanotehnologiji, medicini i svim oblastima prime-njene optike.*

---

### Uvod

Mikrosočivima smatramo sva sočiva čije su dimenzije reda veličine nekoliko milimetara. Mikrosočiva su sve zastupljenija i potrebnija sa razvojem medicine, nanotehnologije, primenjene optike, kao i umetnosti. U svim tim oblastima mikrosočiva su potrebna za bilo koji vid primene u mikrokamerama ili sastavnim delovima mikroaparature. Postoji nekoliko načina za njihovo dobijanje: mehaničkim brušenjem, topljenjem, fotolitografijom ili direktnim

laserskim "zapisivanjem". Dobijanje mikrosočiva vrši se na različitim materijalima, od bioloških polimera do fotoosetljivog stakla i raznih vrsta plastike. U odnosu na materijal od kojeg se dobija mikrosočivo razlikuju se i karakteristike proizvodnje sočiva po ekspoziciji, kvalitetu, jednostavnosti pravljenja, postojanosti samog sočiva i njegovoj primeni. Razlozi našeg odabira želatina su lako i jeftino nabavljanje, velika osetljivost na promenu temperature i velika brzina formiranja sočiva u sloju želatina. U želatin je dodat plavi pigment metilen, kao i to thema. Cilj našeg rada je pronalaženje efikasnijeg, ekonomičnijeg načina dobijanja mikrosočiva, ispitivanje osobina tog sočiva kao i ispitivanje metoda za poboljšanje karakteristika sočiva.

### Opis aparature i metoda

Aparatura (slika 1) koja je korišćena za dobijanje mikrosočiva se sastojala iz antivibracionog optičkog stola, He-Ne lasera talasne dužine 632.8 nm, mikroskopske pločice sa tankim slojem želatina i zaklonu na kojem je beležena difrakciona slika (slika 2) kao posledica ponašanja sloja želatina kao sočiva.

U toku kuvanja želatina u želatin je dodat metilen i to thema. Metilen je zbog plave boje povećao apsorpciju laserskog snopa, a to thema usporila isparavanje vode. To thema, jedinjenje gvožda koje se koristi u medicinske svrhe (kod lečenja anemije), održava sloj želatina nepromenjenim. Na početku rada to thema nije korišćena i posmatrani efekat bio

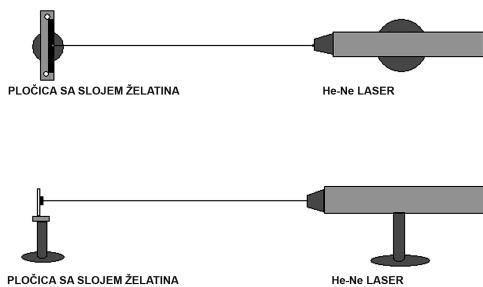
---

*Jelena Pajović (1988), Beograd, Karađordev trg 9, učenica 3. razreda Matematičke gimnazije u Beogradu*

*Aleksandra Alorić (1988), Beograd, Lička 36, učenica 3. razreda Matematičke gimnazije u Beogradu*

*Stojan Đorđević (1988), Kragujevac, Spasenije Cane Babović V2-7, učenik 3. razreda Prve kragujevačke gimnazije*

*MENTOR:  
Kristina Milinković, student Fizičkog fakulteta u Beogradu*



Slika 1. Šematski prikaz aparature odozgo i sa bočne strane

Figure 1. Experimental setup



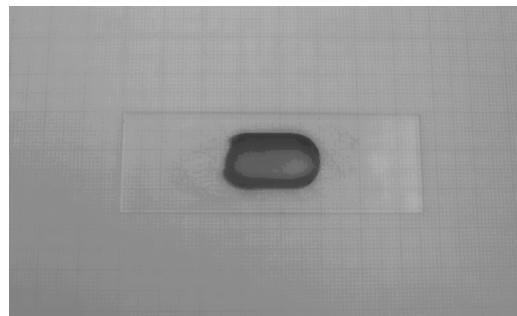
Slika 2. Difrakciona slika na zaklonu

Figure 2. Diffraction pattern on the plane barrier

je kratkotrajan, dok je njenim dodavanjem u rastvor novonastalo sočivo zadržavalo svoje osobine. Usporavanjem isparavanja vode to thema značajno produžava postojanost sočiva.

Nakon kuvanja želatina (potrebno je oko 15 minuta, 3 g želatina za kuvanje i 30 mL vode), pipetom se na mikroskopsku pločicu nanosi ravnomerni sloj, debljine reda veličine par mikrometara. Izuzetno mala debljina sloja dobija se tako što se na staklenu pločicu pričvršćuje kalup u koji se zatim nakapa mala količina želatina koji se razlije i pod uticajem sile površinskog napona obloži rubove. Od velike važnosti je

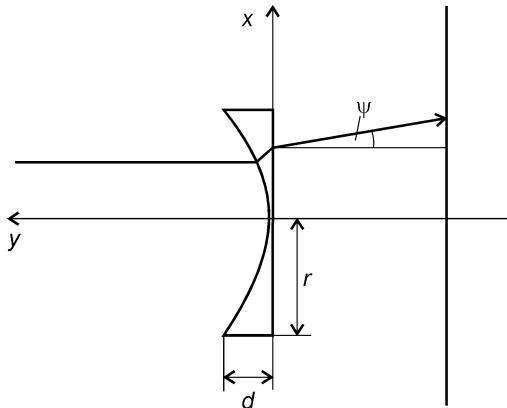
da pločica bude veoma čista da ne bi dolazilo do neželenog prelamanja svetlosti, kao i zbog lakšeg odvajanja sočiva, bez njegovog deformisanja, od pločice u daljem radu. Na slici 3 je prikazan izgled pločice sa želatinom preko milimetarskog papira.



Slika 3. Mikrosočivo na mikroskopskoj pločici

Figure 3. Microlens on the microscopic plate

Nakon 10 minuta sušenja želatina, pločica se postavi na uspravan stalak, na razdaljini 10 cm od lasera. Tada počinjemo eksponiranje sloja želatina. U toku ekspozicije, usled promene temperature, želatin na mestu apsorbovanja laserskog snopa menja svoj oblik, na ravnometernom sloju nastaje parabolično udubljenje. Promenom strukture želatina dolazi i do promene slike na zaklonu. Od crvene tačke nastaje difrakciona slika sa difrakcionim maksimumima i minimumima, koja se širi tokom vremena. Nakon 2-3 minuta širina difrakcione slike dostiže svoj maksimum. Brzina formiranja difrakcione slike zavisi od intenziteta laserskog snopa. Ako snop fokusiramo, slika će nastati znatno brže ali će biti manje jasna, tako da su za obradu korišćene slike dobijene nefokusiranim snopom. Ono što je karakteristično kod dobijene difrakcione slike je to da su prstenovi koji su bliži centru manje intenzivni nego oni na periferiji. Kod difrakcije na kružnom otvoru raspodela intenziteta ima suprotan raspored, tj. prstenovi su najsjajniji u centru, a sve manje sjajni ka periferiji. Do difrakcije dolazi zbog malog promera konture sočiva, međutim, razlika u difrakcionim slikama nastaje zato što laserski snopovi ne prelaze iste dužine optičkih puteva kroz želatin i kroz vazduh, pa po prolasku kroz sloj želatina imaju različite faze usled čega interferiraju.



Slika 4. Optička šema eksperimenta

Figure 4. Optical scheme of the experiment

Analogno izvođenju zavisnosti intenziteta kod difracije na kružnom otvoru, dobijena je sledeća formula:

$$E = \int_{-r}^r \frac{E_0 dx}{2r} \cos \left\{ \omega r + \frac{2\pi}{\lambda} [ n_0 (d - f(x))] + n f(x) + (r - x) \sin \psi \right\}$$

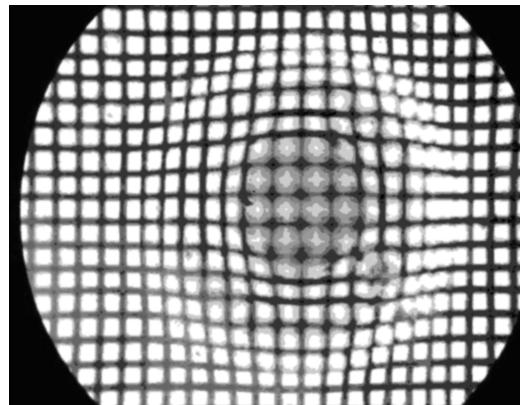
gde je  $f(x)$  – jednačina krive sočiva,  $n_0$  – indeks prelamanja vazduha,  $n$  – indeks prelamanja želatina, član  $\frac{E_0 dx}{2r}$  predstavlja amplitudu delića talasa koji pada između  $x$  i  $x + dx$ ;  $d$  – debljina sloja želatina,  $r$  – poluprečnik konture sočiva,  $\psi$  – ugao koji zrak zaklapa sa horizontalom po prolasku kroz želatinu (slika 4).

Kada je reč o difraciji, izraz ovog tipa se integrali i dobija se analitički izraz:

$$E = E_0 A \cos B \Rightarrow I = I_0 A^2$$

gde su  $A$  i  $B$  izrazi koji su nastali kada se početna jednačina integrali.

S obzirom da je  $f(x)$  jednačina krive drugog stepena, postojeći integral  $E$  se svodi na integraciju kosinusa, čiji je argument kvadratna funkcija po  $x$ . Međutim, integral tog oblika nema analitičko rešenje, pa se raspodela intenziteta ne može analitički predstaviti.



Slika 5. Mikroskopski snimak mikrosočiva

Figure 5. Microscopic image of the microlens

Problem raspodele intenziteta rešen je uz pomoć programa *MatLab*. Formiranje sočiva, tačnije formiranje difracione slike na zaklonu, snimano je digitalnom kamerom, a najjasnije slike su korišćene za obradu. Softver *Matlab* pruža mogućnost da se uz pomoć funkcije *RGB-plot* duž jedne linije slike odredi raspodela RGB intenziteta. Prisustvo zelene i plave boje je zanemarljivo, tako da se dobija raspodela intenziteta laserske svjetlosti duž prečnika difracione slike. Nakon formiranja sočiva, sočivo je stavljan u naparenu posudu radi dodatnog održavanja vlažnosti sloja zbog kasnijih merenja. Na formiranom sočivu mogu se vršiti merenja. U našem slučaju izmeren je indeks prelamanja sočiva, kao i debljina sloja želatina.

Posmatranjem mikrosočiva pod mikroskopom omogućeno je merenje prečnika konture sočiva, uz pomoć mikrometarske mreže koja je postavljena ispod sočiva a kod koje su poznate dužine ivica kvadratiča. Izgled kroz mikroskop pokazan je na slici 5.

## Rezultati

Parametri mikrosočiva koji su izmereni su: debljina sloja želatina, odnosno debljina sočiva, prečnik konture sočiva, indeks prelamanja i raspodela intenziteta snopa duž prečnika sočiva.

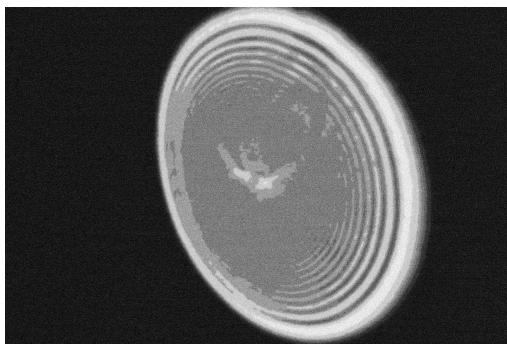
Prilikom merenja debljine sočiva sloj želatina je morao biti odvojen od mikroskopske pločice i

ostavljen da se osuši. Nakon sušenja, pomoću digitalnog nonijusa dobijena je debljina sloja koja je iznosila  $0.09 \pm 0.02$  mm.

Prečnik konture sočiva je meren pomoću mikroskopa i mikrometarske mrežice. Pošto su nam bile poznate dimenzije kvadratična na mrežici, a kontura sočiva je bila jasno uočljiva, prebrojavanjem kvadratiča koje je ta kontura obuhvatala izmeren je prečnik sočiva. Prečnik tako izmerenog sočiva iznosio je  $1.5 \pm 0.1$  mm.

Indeks prelamanja želatina meren je pomoću refraktometra po Abbeu. Postupak merenja je sledeći: želatin se, dok je još u tečnom stanju, nakapa između dve prizme, a sa instrumenta se direktno očitava vrednost indeksa prelamanja. U našem slučaju, dobijena je vrednost  $1.66 \pm 0.01$ .

Raspodela intenziteta laserskog snopa propuštenog kroz sočivo duž prečnika sočiva, određivana je sa dobijenih difrakcionih slika i njihovom obradom u Matlab-u. Analizirana je difrakcionala slika prikazana na slici 6.



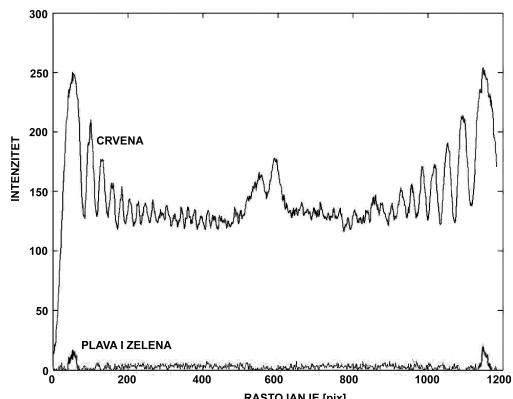
Slika 6. Difrakcionala slika analizirana u programu Matlab

Figure 6. Difractional pattern analysed in Matlab

Grafik raspodele intenziteta prikazan je na slici 7.

## Diskusija

Pri formiranju mikrosočiva u sloju želatina primetili smo da je veoma bitno vreme sušenja želatina, kao i debljina nanetog sloja, pre izlaganja laserskom snopu. Ako se želatin ne osuši dovoljno, sloj neće biti stabilan i sočivo, ako uopšte dođe do njegovog



Slika 7. Intenzitet svetlosti (u arbitarnim jedinicama) duž poprečnog preseka difrakcione slike

Figure 7. The profile of light intensity (in arbitrary units) on the diffraction pattern

stvaranja, neće biti postojano. Ako se sloj želatina previše osuši veliki deo vode će ispariti i pri eksponiraju laserski snop neće moći uočljivo da promeni strukturu želatina tako da do stvaranja sočiva takođe neće doći. Optimalno vreme koje je određeno za sušenje želatina je 13 minuta. Još jedan od važnih faktora je i vreme trajanja ekspozicije. Ako želatin ne osvetljavamo dovoljno, laserski snop neće uspeti da zagreje sloj želatina i time mu promeni strukturu, a samim tim nećemo dobiti sočivo. Ako se sloj želatina previše eksponira, laserski snop će toliko uticati na želatin da će voda potpuno ispariti. Tako bi se i mikrometarski sloj na tom delu povukao sa pločice i uništio bi dobijeno sočivo. Optimalno vreme ekspozicije iznosilo je 25 minuta.

Prilikom formiranja sočiva uočena je još jedna interesantna pojava. Pored difrakcione slike koja nastaje od zraka koji prolaze kroz sočivo, postoji još jedna koja nastaje interferencijom zraka koji se odbijaju od sočiva. Ta slika je manje jasna, stoga ne-pogodnija za obradu. Početno stanje ove difrakcione slike su dve tačke iz kojih se difrakcione slike šire, međutim, različitim brzinama, pa po stapanju tih slika dobija se jedna difrakcionala slika koja se širi jednom brzinom, a u centralnom delu se primećuje deo koji pulsira, što nastaje kao posledica različitih brzina širenja koje su dve početne tačke imale. Uzrok ove pojave je paraboličan oblik sočiva koje se stvara.

Pri merenju debljine sloja želatina treba biti pažljiv da ne bi došlo do oštećenja samog sloja i time do fizičke promene njegove debljine. Zbog ograničenja koja korišćeni merni instrumenti nameću, za određivanje debljine sloja treba izvršiti što veći broj merenja, kako bi se njihovim usrednjavanjem dobio što tačniji rezultat. Za određivanje raspodele intenziteta duž prečnika sočiva bitan je položaj aparata kojim se fotografira difrakciona slika na zaklonu, da ne bi došlo do asimetričnosti u odnosu na centar sočiva. Tačnije, aparat mora biti postavljen upravno u odnosu na zaklon na kome se nalazi dobijena difrakciona slika.

S obzirom na to da je reč o mikrosočivu, standardni metodi određivanja žižne daljine (samim tim uvećanja i poluprečnika krivine) nisu mogli biti iskorišćeni, pa je jedna od mogućnosti korišćenjem softvera *Oslo Light*. Softver može izračunati žižnu daljinu sistema optičkih elemenata, za zadate parametre (indeks prelamanja, debljina sočiva, talasna dužina lasera, prečnik konture...). Međutim, ono što je nas sprečilo u izračunavanju iste je nedostupnost ovog softvera. Na internetu je dostupna verzija *Oslo Edu* koja nema mogućnost zadavanja sočiva sa paraboličnim profilom.

Dobijene rezultate je teško uporediti sa već postojećim jer je formiranje mikrosočiva u želatinu relativno nova oblast istraživanja i njih postoji veoma malo. Rezultate koje smo mogli uporediti jesu dimenzije sočiva, i ti rezultati se slažu sa već postojećim rezultatima ("Properties of microlenses produces in a layer of tothema and eosin sensitized gelatin", B. D. Murić, D. V. Pantelić, D. M. Vasiljević, B. M. Panić). Takođe, dodatne prepreke u upoređivanju rezultata jesu nastale zbog činjenice da su se u ostalim eksperimentima koristili argonski laseri daleko veće jačine nego onaj koji smo mi imali na raspolaganju.

## Zaključak

Rad je usmeren na pronađenje efikasnijeg i ekonomičnijeg načina dobijanja mikrosočiva i ispitivanje njegovih osobina, kao i ispitivanje metoda za poboljšanje karakteristika samog mikrosočiva. U našem radu je za dobijanje mikrosočiva u tankom sloju želatina prvi put korišćen He-Ne laser. Osim toga, pirema želatina, uz dodavanje samo pigmenta

i totheme, bez štetnih i otrovnih materija, bila je jednostavnija od do sada korišćenog postupka. Međutim, nedostatak našeg postupka je slaba postojanost dobijenih sočiva. U daljem radu trebalo bi koristiti jači laser, kao i preciznije instrumente za određivanje dimenzija sočiva. Takođe, bilo bi zanimljivo naći postupak za određivanje prečnika sočiva bez korišćenja numeričkih modela.

**Zahvalnost.** Zahvaljujemo se dr Dejanu Panteliću sa Instituta za fiziku u Zemunu na ideji, strpljenju i pruženoj pomoći, kao i Kristini Milinković, studentu Fizičkog fakulteta u Beogradu i Igoru Paštiju, studentu Fakulteta za fizičku hemiju u Beogradu na neposrednoj pomoći tokom realizacije eksperimenta.

---

*Jelena Pajović, Aleksandra Alorić  
and Stojan Djordjević*

## Examining Properties of Microlenses Produced in a Layer of Gelatin

Gelatin with added substrates has proven to be an excellent material for creating microlenses. Additives are not poisonous, and one of the main additives is methyl (blue pigment) that increases the sensitivity of gelatin to the laser beam of light of the red part of spectrum, and the other is tothema (iron compound) which decreases water evaporation and with that the change of the gelatin structure. By exposing the thin layer of cooking gelatin to the laser beam (632.8 nm) we can see the forming of the parabolic dip which possesses lens properties. In the performed experiment on top of the gelatin layer 0.1 mm wide, we got a micro lens whose contour diameter is 1.5 mm. Lens formation is a very quick process – after 30 seconds of exposition it is possible to see the commencement of a diffraction image. Apart from a simpler, cheaper and quicker way of making lenses, in this project we also examine characteristics of different ways of making lens. The importance of this way of making lenses is the possibility of their use in nano technology, medicine and in all forms of applied optics.

