

MIKRO OBRADA RGP KONTAKTNIH SOČIVA

1. UVOD

Tehnologija materijala, tehnologija mašinske obrade i tehnologija površina učestvuju u stvaranju kontaktnog sočiva, kao jednog od najpopularnijih sredstava za korekciju vida. Hemijski sastav i struktura polimera predstavljaju osnovu tehnologije materijala, obradni proces osnovu tehnologije mašinske obrade, a hrapavost osnovu tehnologije površina.

Kontaktne sočiva su, prema [1] optički elementi koji se koriste za korekciju refrakcionih anomalija oka: miopije (kratkovidosti), hipermetropije (dalekovidosti), astigmatizma, prezbiopije (staračke dalekovidosti), afakije i dr. Uloga kontaktnog sočiva je da na odgovarajući način skrene (konvergira ili divergira) svetlosne snopove i time omogući formiranje lika na makuli (žutoj mrlji). Mera tog skretanja se definiše kao optička moć. Kontaktno sočivo se postavlja na rožnjaču i mora da obezbedi:

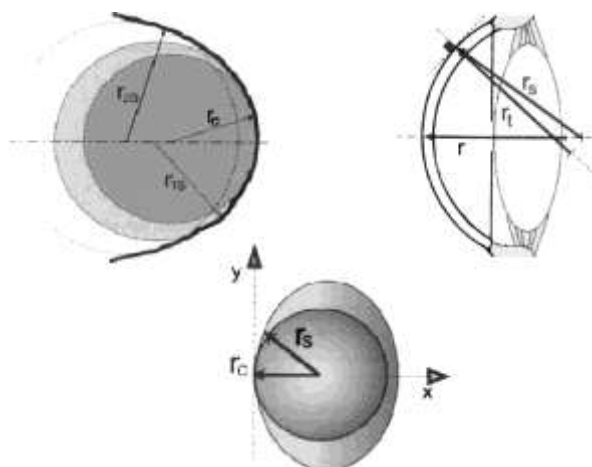
- odgovarajuću optičku moć izraženu u dioptrijama,
- udobnost nošenja,
- prolaz kiseonika i hranljivih materija do rožnjače u dovoljnoj meri i
- dobro ovlaživanje između sočiva i suza što sprečava da sočivo ne padne sa rožnjače, tj. odgovarajuću adhezionu silu.

Većina ljudske populacije (oko 80%) ima osno simetričnu rožnjaču složene geometrije: u centralnoj optičkoj zoni ona je najbliža sferi tj. *elipsa prolate* (sa koeficijentom ekscentričnosti $p \approx 0.8$). Ka periferiji, ona je sve ravnija i ima oblik parabole ili hiperbole. Preostalih 20% populacije ima tzv. "astigmatsku rožnjaču" (oblik kašike za supu, lopte za ragbi, ...). U jednom meridijanu, najčešće vertikalnom, rožnjača je najstrmija (najviše zakrivljena), a u horizontalnom najblaža (najmanje zakrivljena). Konstrukcija sočiva mora da obezbedi što bolje naleganje na rožnjaču.

Na slici 1. je predstavljeno oko sa karakterističnim poluprečnicima, prema [2], koji se moraju uzeti u obzir prilikom dizajniranja sočiva u cilju što boljeg "fitovanja" predstavljenog punom linijom. Dobrom konstrukcijom (dizajnom) se ostvaruje biokompatibilnost kontaktnog sočiva u smislu najboljeg

BIOMEDICINSKO OPTOINŽENJERSTVO

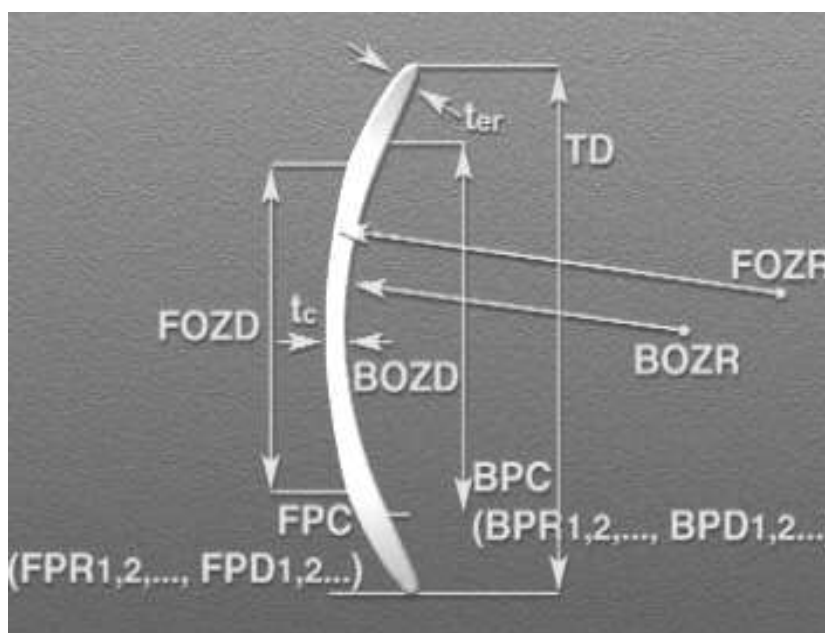
naleganja, a samim tim i udobnosti. Takođe se postiže najbolja optička moć.



Slika 1. Oko sa karakterističnim veličinama [2]

2. METOD

U konstrukciji kontaktnog sočiva, prema [4] razlikujemo prednju (frontalnu) površinu, koja definiše optičku snagu sočiva (dioptriju) i zadnju (baznu) površinu, koja naleže (fituje) na rožnjaču. Potrebno je da sočivo ima tanku i zaobljenu ivicu zbog interakcije sa očnim kaptima, čime se poboljšava udobnost nošenja. Sve ovo čini konstrukciju kontaktnog sočiva dosta složenom. Pod konstrukcijom se podrazumeva određivanje karakterističnih mera, zadatih na slici 2.

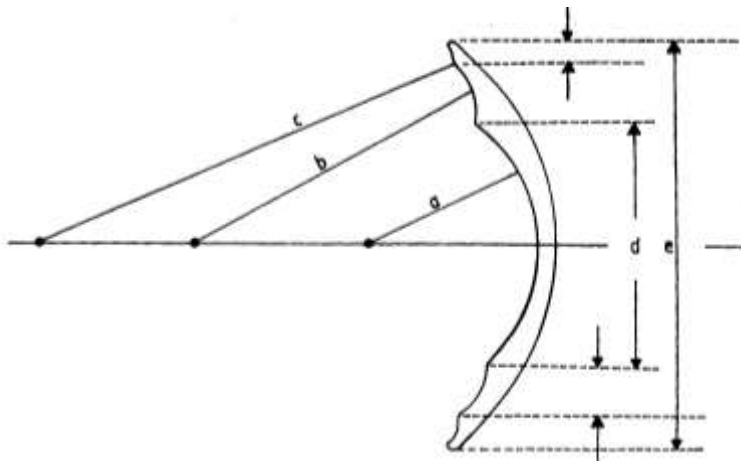


Slika 2. Konstrukcija kontaktnog sočiva [4]

BIOMEDICINSKO OPTOINŽENJERSTVO

Pod karakterističnim merama se podrazumevaju: prečnik sočiva **TD**, poluprečnika zadnje optičke zone **BOZR**, prečnik zadnje optičke zone **BOZD**, krivina zadnje periferije **BPC**, centralna debljina t_c , poluprečnik prednje optičke zone **FOZR**, prečnik prednje optičke zone **FOZD**, debljina ivice t_{er} , krivina prednje periferije **FPC**.

Referentni konstruktori i proizvođači kontaktnih sočiva preporučuju različit dizajn: sferni, asferični, torični, progresivni, progresivno torični. Za fitovanje osno simetričnih rožnjača koriste se višekrivinska sferična ili asferična kontaktna sočiva. Njihova optička zona je najčešće sfera ili elipsa, a periferija se sastoji od više sferičnih ili asferičnih površi progresivno sve ravnijih (manje zakrivljenih). Na slici 3. je prikazano sočivo sa tri krivine: poluprečnik bazne krivine a , poluprečnik intermedijalne krivine b , poluprečnik periferne krivine c , prečnik optičke zone d , prečnik sočiva e , prema [5].



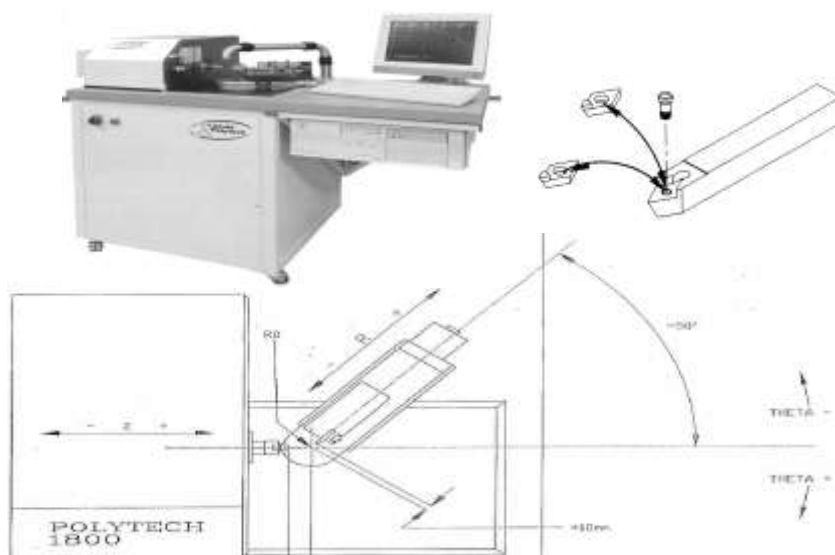
Slika 3. Konstrukcija sferičnih sočiva [5]

Za fitovanje astigmatičkih rožnjača koriste se tzv. torična kontaktna sočiva. To su sočiva čija je, najčešće bazna, a ponekad i frontalna površina, astigmatička. Za korekciju prezbiopije u kombinaciji sa miopijom, hipermetropijom ili astigmatizmom, koriste se progresivne ili progresivno torične geometrije. Kod takvih kontaktnih sočiva, najčešće je frontalna površina definisana kao složena kombinacija asferičnih (koničnih) površi različitih koeficijenata ekscentričnosti.

Kontaktne sočiva se obrađuju na CNC dvoosnim ili troosnim strugovima dvostranim rezanjem dijamantskim alatima. Obrada gas propusnih kontaktnih sočiva od novih nanofotoničnih materijala se obavlja procesom rezanja na troosnom CNC strugu POLITECH 1800 Aspheric - Toric proizvođača LAMDA POLITECH iz Engleske, koji je prikazan na slici 4. Ovo je prema [6] kompjuterski upravljani strug, visoke tačnosti, sa aero pinolom i zatvorenim sistemom upravljanja translatorskim (linearnim) i obrtnim osama. Strug koristi DC servo motor, sub-mikronske rezolucije i glavno vreteno sa

BIOMEDICINSKO OPTOINŽENJERSTVO

aerostatičkim ležištima i vakuumskim priborom za pripremak na svom kraju, za rezanje složenih oblika kontaktnih sočiva uz visok kvalitet obrađene površine koja zahteva minimalno poliranje. Za rezanje se koriste alati sa dijamantskim vrhom za generisanje sferičnih i/ili asferičnih baznih i frontalnih površina na gas-propusnim kontaktnim sočivima. Korisiti se “insert” sistem gde se vrši zamena ili oštrenje samo dijamantskog vrha.

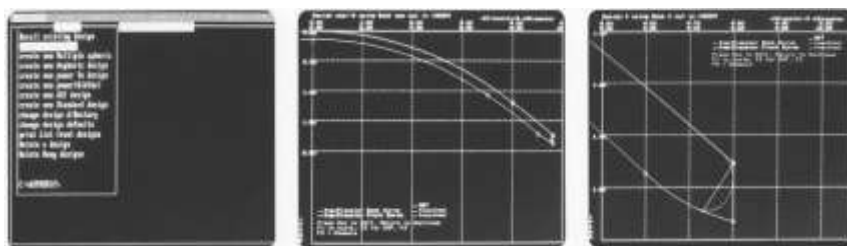


Slika 4. CNC strug POLYTECH 1800 Aspheric – Toric sa radnim prostorom [6]

Specifikacija troosnog CNC struga POLYTECH 1800 Aspheric – Toric:

- R osa: 50mm radnog hoda; DC servo motor sa enkoderom; rezolucija 0.02 μ m
- Z osa: 70mm radnog hoda; DC servo motor sa enkoderom; rezolucija 0.1 μ m
- Teta osa: 185° radnog ugla; DC servo motor sa enkoderom; rezolucija 0.00045° (1.62'')
- Napajanje: 6A, 220-240V; 50-60Hz
- Vreteno sa mogućim brojem obrta: 0, 6500, 8000, 9500 i 11000°/min. Neophodan je komprimovani vazduh od minimalno 8.5m³/h, na 7.5bar sa hlađenjem vazduha i filterom, sa rezervoarom od 1.500l vazduha. Filteri su postavljeni u dva nivoa. Prvi je za otklanjanje čestica prašine većih od 25 μ m, a drugi za otklanjanje sub-mikronskih čestica 0.01 μ m. Vazduh mora biti suv. Zato se primenjuje hladnjak (na 1-2°C) pri čemu se sva vlaga iz vazduha pretvara u tečnost, a zatim drenira.
- Radna sredina: 20-22°C, 40-50% relativne vlažnosti
- Veličina i masa: 1220mm x 730mm x 1200mm; 272 kg

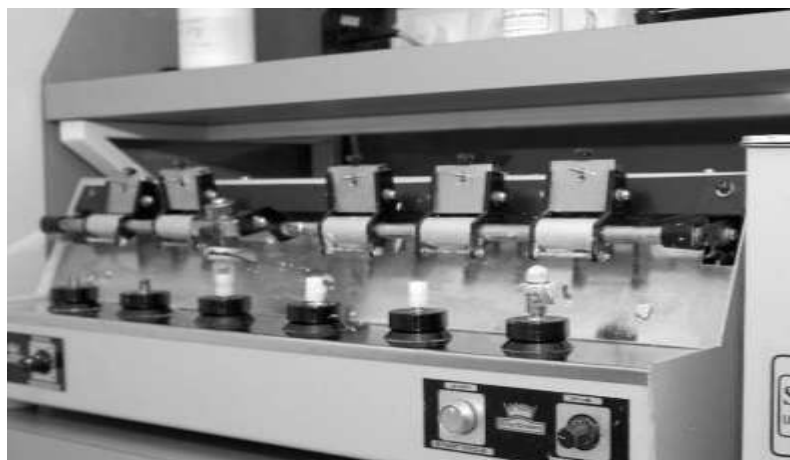
BIOMEDICINSKO OPTOINŽENJERSTVO



Slika 5. Ekranski prikaz softvera, geometrija kontaktnog sočiva, izgled ivice

Specijalni softver (slika 5.), pridružen upravljačkoj jedinici struga, omogućava fleksibilnost obrade sočiva i obezbeđuje upravljanje obradom optičkih i perifernih zona kod sferičnih i kod asferičnih sočiva. On takođe olakšava profilisanje ivice, realizaciju tzv. “ski” ivice i redukciju ivice.

Poliranje bazne i frontalne površine, kao i ivice, vrši se na polir mašini sa više vretena (slika 6.), fiber krpicom postavljenom na odgovarajuće alate od kaučuka. Kao sredstvo za poliranje koristi se pasta i to: za gas-propusna kontaktna sočiva aluminijum oksid rastvoren u vodi granulacije $0.3\div 0.5\mu\text{m}$. Vreme poliranja je $20\div 30\text{s}$, a broj obrta vretena je $80\div 100^\circ/\text{min}$.



Slika 6. Viševretena mašina za poliranje CITY CROWN [7]

Tokom završne kontrole prvo se proverava kompletna geometrija sočiva: bazni i frontalni poluprečnici na uređaju pod nazivom radijuskop (slika 7-gore levo), debljina u centru, prečnik, debljina i oblik ivice na šedografu (slika 7-gore desno). Zatim se kontroliše optička snaga na fokometru (slika 7-dole levo). Na kraju se vrši parna sterilizacija sočiva (slika 7-dole desno).



Slika 7. Radijuskop (gore levo), fokometar (dole levo), šedograf (gore desno), parna sterilizacija sočiva (dole desno) [7]

3. REZULTATI

Realizovati neka od navedenih konstrukcijskih rešenja od novih nanofotoničnih materijala je izazov koji stoji pred tehnologijom mašinske obrade kontaktnih sočiva. Pripremak (slika 8) je u obliku cilindra dimenzija $\varnothing 12.8 \times 5.5$ mm.



Slika 8. Pripreмки za kontaktna sočiva

Rezanje gas propusnih kontaktnih sočiva od baznog i nanofotoničnih materijala se obavlja u više operacija: rezanje struganjem bazne površine, rezanje struganjem ivice i rezanje struganjem frontalne površine (slika 9). Pri obradi rezanjem frontalne i bazne površine, prethodna obrada (gruba obrada) se vrši strugarskim nožem sa dijamantskim vrhom čiji je poluprečnik zaobljenja vrha alata $r=0.5$ mm. Završna (fina)

BIOMEDICINSKO OPTOINŽENJERSTVO

obrada, se vrši strugarskim nožem čiji je poluprečnik zaobljenja vrha alata $r=0.2\text{mm}$. Tokom rezanja strugotina se uklanja usisivačem. Za sva tri tipa materijala primenjeni su isti režimi obrade.



Slika 9. Obrada sočiva struganjem [7]

Vrednosti elemenata režima obrade bazne površine su:

- Gruba obrada: dubina rezanja $a=0.4\text{mm}$, ugaona brzina $10^\circ/\text{s}$, broj obrta $n=8000^\circ/\text{min}$
- Fina obrada: dubina rezanja $a=0.05\text{mm}$, ugaona brzina $4^\circ/\text{s}$, broj obrta $n=8000^\circ/\text{min}$

Vrednosti elemenata režima obrade frontalne površine su:

- Gruba obrada: dubina rezanja $a=0.35\text{mm}$, ugaona brzina $8^\circ/\text{s}$, broj obrta $n=8000^\circ/\text{min}$
- Fina obrada: dubina rezanja $a=0.03\text{mm}$, ugaona brzina $3^\circ/\text{s}$, broj obrta $n=8000^\circ/\text{min}$

Obrada ivice: po režimu grube obrade obrađuje se strugarskim nožem poluprečnika zaobljenja vrha alata $r=0.2\text{mm}$.

Poliranje gas propusnih sočiva od baznog i nanofotoničnih materijala se obavlja primenom alata od kaučuka, čija geometrija odgovara geometriji bazne i frontalne površine, a koja je prilagođena debljini fiber krpice. Na slici 10-desno je prikazan obradak i alat za baznu površinu, a na slici 10-levo obradak i alat za frontalnu površinu. Vreme poliranja je oko 20s, a broj obrta vretena je $100^\circ/\text{min}$.

Kvalitet obrađene površine kontaktnog sočiva utiče na udobnost nošenja, te bi tako posmatrano biokompatibilna površina trebala da bude glatka. Ipak previše ispolirana površina nije dobra jer ne obezbeđuje dovoljno prijanjanje sočiva uz rožnjaču, s obzirom da intenzitet adhezione sile zavisi od hrapavosti površine. Ostvarenje biokompatibilnosti podrazumeva istovremeno zadovoljavanje oba zahteva: da površina bude glatka i da se dobro prilagođava rožnjači. Prilikom izrade sočiva poštuje se preporučeno vreme poliranja u okviru intervala. Postizanje adekvatne hrapavosti je, uglavnom,

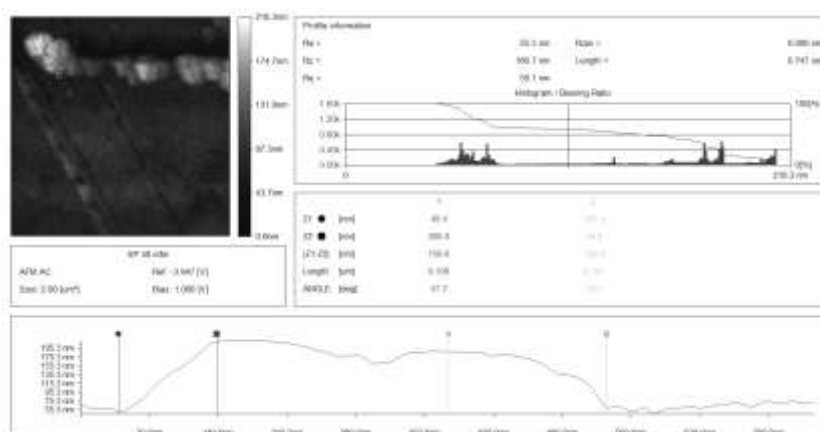
BIOMEDICINSKO OPTOINŽENJERSTVO

stvar iskustva, što se potvrđuje i u slučaju novih nanofotoničnih materijala.

Kontrola gas-propusnih sočiva od novih nanofotoničnih materijala se ne razlikuje od one koja se i do sada primenjivala. Analiza hrapavosti obrađene površine, koja se nakon skeniranja primenom međuatomskih sila (AFM) polukontaktним modom sprovodi, pruža standardne parametre hrapavosti, [8] kojima se može kvantifikovati stanje površine, ali ne i predvideti njeno funkcionalno ponašanje (slika 11).



Slika 10. Desno: alat za poliranje bazne površine fiber krpicom na vretenu i obradak,
Levo: alat za poliranje frontalne površine fiber krpicom i obradak na vretenu [7]



Slika 11. AFM snimak površine gas propusnog sočiva od baznog materijala, sa izveštajem vezanim za parametre hrapavosti [8]

4. DISKUSIJA

Proizvodnja gas propusnih sočiva u okviru aktivnosti ovog projekta je izvršena na mikro mašinama: troosnom CNC strugu POLITECH 1800 Aspheric - Toric proizvođača LAMDA POLITECH i viševretnoj mašini za poliranje CITY CROWN. Alati koji su pri obradi rezanjem korišćeni su strugarski noževi sa dijamantskim vrhom i alati od kaučuka za poliranje pastom sa granulama aluminijum oksida rastvorenim u vodi. Vođeni idejom da dopiran materijal ne menja značajno svojstva u poređenju sa osnovnim materijalom, što su testovi i potvrdili, izbor režima obrade za mikro struganje i poliranje je bio u skladu sa preporučenim vrednostima za komercijalni materijal SP40.

Vrednosti elemenata režima obrade bazne površine su:

- Gruba obrada: dubina rezanja $a=0.4\text{mm}$, ugaona brzina $10^\circ/\text{s}$, broj obrta $n=8000^\circ/\text{min}$
- Fina obrada: dubina rezanja $a=0.05\text{mm}$, ugaona brzina $4^\circ/\text{s}$, broj obrta $n=8000^\circ/\text{min}$

Vrednosti elemenata režima obrade frontalne površine su:

- Gruba obrada: dubina rezanja $a=0.35\text{mm}$, ugaona brzina $8^\circ/\text{s}$, broj obrta $n=8000^\circ/\text{min}$
- Fina obrada: dubina rezanja $a=0.03\text{mm}$, ugaona brzina $3^\circ/\text{s}$, broj obrta $n=8000^\circ/\text{min}$

Vreme poliranja za obe površine je oko 20s, pri broju obrta vretena od $100^\circ/\text{min}$.

Obrada je uspešno sprovedena pod navedenim uslovima i za gas propusna kontaktna sočiva od novih nanofotoničnih materijala.

Analiza obrađene površine za sva tri materijala je sprovedena u okviru podprojekta vezanog za karakterizaciju. Rezultati kontrole samog sočiva, kao i rezultati analiza AFM snimaka (detaljnije prikazani u ostalim izveštajima) potvrđuju, između ostalog, i izbor režima obrade.

5. ZAKLJUČAK

Uspešno sprovedena mikro obrada gas propusnih sočiva od novih nanofotoničnih materijala daje osnovu za dalja planirana istraživanja. Kvalitet obrađene površine, u slučaju kontaktnog sočiva, je dominantni pokazatelj obradnog procesa. Glavno vreme obrade (za rezanje struganjem i poliranje) iako ima udela u ukupnom vremenu izrade, koje bi trebalo iz ekonomskih razloga da bude što kraće, u ovom konkretnom slučaju treba da bude u funkciji kvaliteta obrađene površine. Analiza hrapavosti obrađene površine standardnim i nestandardnim, ali prethodno dokazanim metodama [9], je sledeći korak u prikupljanju potrebnih podataka za planiranje, a zatim i realizaciju eksperimenata na osnovu čijih rezultata se može izvršiti optimizacija procesa obrade. Stoga će se, već u

BIOMEDICINSKO OPTOINŽENJERSTVO

nekim segmentima započete analize topografskih AFM snimaka [8], nastaviti u cilju utvrđivanja veze između režima obrade i parametara hrapavosti obrađene površine.

6. LITERATURA

- [1] Parunović, A., *Upoznajte svoje oči*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1997.
- [2] Barthelemy, B., Thiebaut T., *Contactologie*, Lavoisier, 2004.
- [3] SP40 nano-particles, Interni izveštaj firme Soleko, Italija, 2010.
- [4] Fitting GP lenses, Institute for eye research, Polymer Technology, 2001.
- [5] Parunović, A., Cvetković, D. i dr., *Korekcija refrakcionih anomalija oka*, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1995.
- [6] Instruction manual for Polytech 1800A aspheric toric lathe, Lamda Polytech UK, 1992.
- [7] Stamenković, D., Interna prezentacija, Optix d.o.o. Zemun, 2006.
- [8] Bojovic, B., Stamenkovic, D., Mileusnic, I., Djuricic, I., Miljkovic, Z., Koruga, Dj., Lacunarity analysis of contact lens surface, Contemporary Materials 2011, Poster Session, Book of Abstracts, pp.27., 2011. Banja Luka, Republic of Srpska
- [9] Bojović, B., Istraživanje interakcije stanja inženjerskih površina i fraktalne geometrije, Doktorska disertacija, Beograd, 2009.