

UNIVERZITET U BEOGRADU

MAŠINSKI FAKULTET

Marija M. Tomić

**Opto-magnetne karakteristike polimernih
materijala za kontaktna sočiva sa različitim
koncentracijama nanomaterijala**

Doktorska disertacija

Beograd, 2016.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Marija M. Tomić

**Opto-magnetic characteristics of polymer
materials for contact lenses with different
concentrations of nanomaterials**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2016.

Komisija za pregled i odbranu:

Mentor: dr Aleksandra Vasić-Milovanović, redovni profesor

Članovi komisije:

1. dr Aleksandra Vasić-Milovanović, redovni profesor (Mentor), Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
2. dr Lidija Matija, vanredni profesor, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
3. dr Aleksandar Sedmak, redovni profesor, Inovacioni centar, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
4. dr Petar Lukić, redovni profesor, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
5. dr Dragomir Stamenković, docent, Fakultet za specijalnu edukaciju i rehabilitaciju Univerziteta u Beogradu

Datum odbrane:

Ovaj rad je nastao posle višegodišnjeg istraživanja u laboratoriji Nanolab na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu pod rukovodstvom profesora dr Đure Koruge, redovnog profesora u penziji Mašinskog fakulteta u Beogradu. Eksperimentalno istraživanje je izvršeno u okviru projekta Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije pod nazivom "Funkcionalizacija nanomaterijala za dobijanje nove vrste kontaktnih sočiva i ranu dijagnostiku dijabetesa" – III45009. Ovom prilikom se zahvaljujem profesoru Đuri Korugi na prepoznavanju mog interesovanja za nauku, na pruženoj šansi da se bavim istraživačkim radom i strpljenju koje je izdvojio da bi se ovaj rad napisao. Istovremeno se zahvaljujem na podršci pri eksperimentalnom istraživanju profesorki Božici Bojović i dr Dragomiru Stamenkoviću koji je obezbedio deo uzoraka materijala koji su upotrebljeni u ovom radu. Zahvaljujem se mojoj mentorki profesorki Aleksandri Vasić-Milovanović i profesorki Lidiji Matija na savetima, smernicama i velikoj pomoći u izradi ovog doktorata. Saradnja sa kompanijom Contamac iz Velike Britanije je omogućila sintezu materijala. Za karakterizaciju materijala primenjena je metoda određivanja remanentne magnetizacije spinner magnetometrom JR-6A kao i opto-magnetna imidžing spektroskopska (OMIS).

Beograd, Septembar, 2016.

Marija M. Tomić

Sadržaj

| | |
|---|----|
| 1. PREDGOVOR | 8 |
| 2. UVOD | 10 |
| 2.1. Magnetizam | 10 |
| 2.2. Biomagnetizam | 17 |
| 2.3. Svetlost..... | 18 |
| 2.3.1. Energetska stanja materije | 20 |
| 2.3.2. Polarizovana svetlost | 22 |
| 2.3.3. Ultraljubičasto zračenje | 22 |
| 2.4. Pregled predmeta istraživanja | 24 |
| 2.5. Analiza prethodnih istraživanja | 25 |
| 3. UOČAVANJE PROBLEMA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA..... | 29 |
| 4. MATERIJAL..... | 30 |
| 4.1 . Silikon hidrogelovi | 30 |
| 4.1.1. Prednosti i nedostaci silikon hidrogel materijala..... | 31 |
| 4.1.2. Definitive74 | 32 |
| 4.2. Fulereni i fulleroli | 33 |
| 4.2.1. Fizičke i hemijske osobine fulerena i fullerola..... | 36 |
| 4.2.2. Magnetne osobine fulerena i fullerola | 37 |
| 4.3. Nanofotonični materijali | 41 |
| 5. METODE I TEHNIKE..... | 42 |
| 5.1. Spinner magnetometar JR-6A..... | 42 |
| 5.1.1. Principi merenja..... | 45 |
| 5.2. Opto-magnetna imidžing spektroskopija (OMIS) | 47 |
| 5.2.1. Fizičke osnove OMIS metode | 50 |
| 5.2.2. Spektralna obrada slike..... | 51 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 5.2.3. | Hardversko rešenje uređaja za OMIS..... | 54 |
| 5.3. | Protokol istraživanja | 54 |
| 5.3.1. | Materijal | 54 |
| 5.3.2. | Metoda | 55 |
| 5.3.3. | Uporedna merenja na JR-6A i OMIS | 56 |
| 5.3.4. | Merenja sa rastvorom fullerola..... | 58 |
| 5.3.5. | Merenja sa ultraljubičastim svetlom..... | 59 |
| 6. | REZULTATI I DISKUSIJA | 60 |
| 6.1. | Uporedna merenja na JR-6A i OMIS..... | 60 |
| 6.1.1. | JR-6A rezultati..... | 60 |
| 6.1.2. | OMIS rezultati | 63 |
| 6.2. | Merenja sa rastvorom fullerola | 71 |
| 6.3. | Merenja sa ultraljubičastim svetlom na izabranom uzorku | 72 |
| 6.4. | Merenja sa UV lampom sa tri uzorka od istog materijala | 73 |
| 6.4.1. | JR-6A rezultati..... | 73 |
| 6.4.2. | OMIS rezultati | 76 |
| 6.5. | Drugi i treći set merenja-Diskusija | 84 |
| 6.5.1. | Drugi set merenja na uređaju JR-6A | 84 |
| 6.5.2. | Drugi set merenja na OMIS-u | 87 |
| 6.5.3. | Treći set merenja na uređaju JR-6A | 89 |
| 7. | ZAKLJUČAK | 92 |
| | LITERATURA | 98 |
| | PRILOZI..... | 108 |
| | Biografija | 129 |

Opto-magnetne karakteristike polimernih materijala za kontaktna sočiva sa različitim koncentracijama nanomaterijala

Rezime: Fulereni i njihovi derivati imaju značajnu osobinu da istovremeno poseduju i paramagnetna i dijamagnetna svojstva zahvaljujući rasporedu ugljenikovih atoma u petouglove i šestouglove. Kada se fulereni ili fulleroli nađu u polimernim materijalima njihova magnetna svojstva će uticati na magnetna svojstva polimera. Svrha dodavanja fullerola u smešu monomera pa zatim njihova polimerizacija je modifikacija postojećih materijala za meka kontaktna sočiva sa poboljšanim optičkim i mehaničkim karakteristikama. Određivanjem vrednosti remanentne magnetizacije može se sagledati uticaj dodatog fullerola na magnetne osobine polimernog materijala, a uz pomoć opto-magnetnog spektra se mogu odrediti paramagnetna i dijamagnetna svojstva materijala. Cilj je da se pokažu razlike u magnetnim osobinama materijala koje utiču na biološko tkivo pre i posle spoljašnjih uticaja različitih vrsta svetlosti kao što su: bela difuzna, bela polarizovana i ultraljubičasta svetlost. Pored toga određen i je uticaj biološkog sistema (čoveka) na magnetne osobine materijala. Očekivani rezultati bi pokazali kako se menjaju opto-magnetna svojstva nanofotoničnih materijala pod različitim spoljašnjim uticajima i kakav je uticaj inkorporiranog fullerola u polimerne materijale. Materijali su sintetisani ugrađivanjem fullerola $C_{60}(OH)_{24}$ u komercijalni materijal za meka kontaktna sočiva (Definitive74 koje je napravila kompanija Contamac, Velika Britanija). Za ova istraživanja upotrebljene su tri različite koncentracije fullerola: 0,003%, 0,010% i 0,015%. Na taj način su dobijena tri različita materijala za meka kontaktna sočiva, a četvrti materijal, standardni, upotrebljen je kao referentni uzorak. Za istraživanja je korišćen uređaj za merenje remanentne magnetizacije JR-6A kao i opto-magnetna imidžing spektroskopija (OMIS).

Ključne reči: fuleren, fullerol, remanentna magnetizacija, dijamagnetizam, paramagnetizam, opto-magnetna imidžing spektroskopija, silikon hidrogelovi

Naučna oblast: Mašinstvo

Uža naučna oblast: Biomedicinsko inženjerstvo

UDK Br. 678.7:546.26:544.344.015.4(043.3)

66.017-022.53(043.3)

Opto-magnetic characteristics of polymer materials for contact lenses with different concentrations of nanomaterials

Abstract: Fullerene and its derivatives are specific for having both paramagnetic and diamagnetic properties since carbon atoms are structured into pentagons and hexagons. Fullerenes and fullerols in polymer materials affect magnetic properties of those materials. The purpose of incorporating fullerol into monomer compound and their polymerization was the modification of existing materials for soft contact lenses with improved optical and mechanical characteristics. By measuring remanent magnetization it is possible to establish the influence of added fullerol on magnetic properties of polymer material and by opto-magnetic spectrum it is possible to define paramagnetic and diamagnetic properties of materials. The goal is to show the differences in magnetic properties of materials before and after external influences of different types of light sources: white, polarized and ultraviolet light because magnetic material has an influence on biological tissue. The influence of biological factor (human being) on magnetic properties of materials was measured as well. The results will show the changes of opto-magnetic properties of nanophotonic materials under different external influences and the affect of incorporated fullerol in polymer material. The materials are synthesized by incorporating fullerol $C_{60}(OH)_{24}$ into commercial material for soft contact lenses (Definitive74) made by Contamac, Great Britain. Three different concentrations are used: 0.003%, 0.01% i 0.015%. Three materials for soft contact lenses have been synthesized and the fourth one, the basic material, used as a reference sample. Spinner magnetometer JR-6A and Opto-magnetic imaging spectroscopy were used in this investigation.

Key words: fullerene, fullerol, remanent magnetization, diamagnetism, paramagnetism, opto-magnetic imaging spectroscopy, silicon hydrogel

Scientific discipline: Engineering

Scientific subdiscipline: Biomedical Engineering

UDK N° 678.7:546.26:544.344.015.4(043.3)

66.017-022.53(043.3)

Skraćenice i glavni pojmovi ili nomenklatura

B – jačina magnetnog polja unutar supstance

H – jačina primenjenog magnetnog polja

I - intenzitet magnetizacije

χ - magnetna susceptibilnost

Dijamagnetizam – osobina materijala da formira magnetno polje koje je suprotno spoljašnjem magnetnom polju.

Paramagnetizam – osobina materijala kod kojih je magnetizam njegovih konstituenata nasumično orijentisan, ali da se pod uticajem spoljašnjeg magnetnog polja orijentišu u pravcu spoljašnjeg magnetnog polja.

Dk – propustljivost kiseonika kod kontaktnih sočiva

SQUID - superprovodljivi kvantni interferirajući uređaj

Polarizacija - pojava kod koje su talasi svetlosti ograničeni u pravcu vibracije i predstavlja osobinu talasa koja opisuje orijentaciju njihovih oscilacija.

Ultraljubičasto zračenje - deo elektromagnetnog spektra koji obuhvata region talasnih dužina od 100-400 nm

HOMO – najviša okupirana molekulska orbitala (eng. Highest Occupied Molecular Orbital)

LUMO - najniža neokupirana molekulska orbitala (eng. Lowest Unoccupied Molecular Orbital)

JR-6A – uređaj za merenje remanentne magnetizacije

OMIS – opto-magnetna imidžing spektroskopija

Remanentna magnetizacija - magnetizacija koja ostane u permanentnom magnetu nakon uklanjanja spoljašnjeg magnetnog polja.

Brusterov ugao - vrednost upadnog ugla pri kojoj se postiže polarizacija svetlosti prilikom reflektovanja od uzorka.

n.a.u – normalizovana arbitrarna jedinica

1. PREDGOVOR

Predmet ove doktorske disertacije je ispitivanje magnetnih i optičkih osobina novih polimernih materijala sa inkorporiranim derivatom fulerena, fulerolom, za izradu mekih kontaktnih sočiva.

Nanofotonični materijali predstavljaju novu vrstu materijala za kontaktna sočiva sa poboljšanim optičkim i mehaničkim karakteristikama. Prvi materijali ove vrste sintetisani su za tvrda gas propusna kontaktna sočiva na bazi poli metilmetakrilata, čije su karakteristike ispitane i pokazane u doktoratu dr Dragomira Stamenkovića [1]. Nakon toga su sintetisani i materijali na bazi hidroksietil metakrilata za meka kontaktna sočiva. Ideja za inkorporiranje nanomaterijala u standardne polimere za kontaktna sočiva nastala je na osnovu istraživanja profesora Đure Koruge koja su rađena na staklima sa tankim filmovima fulerena. Tanki slojevi naneti naparavanjem na optičke materijale, podložni su uticaju spoljne sredine i moguće je njihovo potpuno ili delimično skidanje sa materijala. Inkorporiranjem fulerena i njegovih derivata u strukturu polimera značajno je smanjen rizik od otpuštanja nanočestica što je jako važno s obzirom da se kontaktna sočiva koriste u direktnom kontaktu sa okom.

S obzirom na slabu rastvorljivost fulerena u neorganskim rastvaračima pa i u smešama nekih materijala za kontaktna sočiva, ideja je bila dodati fulerol kao derivat fulerena koji je rastvorljiv u vodi. Poznate su izuzetne električne, mehaničke [2], optičke [3] i magnetne osobine [4] fulerena i njegovih derivata [5]. A inkorporirani u strukturu polimera za materijale za kontaktna sočiva čine te materijale dobrim filterima za plavu i ultraljubičastu svetlost [6-10]. Fulereni i njegovi derivati imaju značajnu osobinu da istovremeno poseduju i paramagnetna i dijamagnetna svojstva zahvaljujući dinamici oscilovanja i rasporedu ugljenikovih atoma u petouglove i šestouglove [11, 12]. Kada se fulereni ili fuleroli nađu u polimernim materijalima njihova magnetna svojstva će uticati na magnetna svojstva polimera.

Polazna ideja za istraživanja koja su prezentovana u ovom radu baziraju se na prethodno urađenim karakterizacijama prvobitnih nanofotoničnih materijala za tvrda gas propusna kontaktna sočiva [1]. Takođe prezentovana ispitivanja predstavljaju nastavak ranijih ispitivanja magnetnih svojstava tankih filmova fulerena [13-15]. Za potrebe projekta III45009 Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, u okviru koga je i rađena ova doktorska disertacija, ideja je bila da se sintetišu materijali za kontaktna

sočiva sa tri različite koncentracije fullerola, kako bi se pokazao uticaj koncentracije na osobine standardnih materijala.

Prirodna remanentna magnetizacija je magnetni sadržaj očuvan u materijalu (na primer steni) tokom njegovog formiranja u prisustvu preovlađujućeg magnetnog polja a zatim i tokom dugogodišnjeg postojanja tokom kojeg je bila izložena mnogim fizičkim i hemijskim faktorima. Remanentna magnetizacija je zapravo magnetizacija koja ostane permanentno u materijalu nakon uklanjanja spoljašnjeg magnetnog polja, a takođe predstavlja i magnetnu memoriju u vidu skladištenja i izvora informacija [16, 17]. Paramagnetizam i dijamagnetizam su tipovi magnetizma koji su u potpunosti kvantno-mehanički fenomeni jer u klasičnoj fizici, kao što je feromagnetizam, ne postoje. U svim prirodnim supstancama koje imaju magnetni moment postoje oba efekta ali paramagnetni dominira.

Zahvaljujući saradnji sa italijanskom kompanijom SOLEKO™, uspešno je obavljena polimerizacija prvih nanofotoničnih materijala za proizvodnju gas propusnih i mekih kontaktnih sočiva. Za potrebe ove disertacije materijali su sintetisani u britanskoj kompaniji Contamac.

Ova istraživanja su sastavni deo projekta Ministarstva prosvete, nauke i tehnologije Republike Srbije sa oznakom III45009 i na temu Funkcionalizacija nanomaterijala za dobijanje nove vrste kontaktnih sočiva i ranu detekciju dijabetesa. Projekat traje od 2011. godine pod rukovodstvom profesora Đure Koruge.

Doktorska disertacija je podeljena u pet osnovnih poglavlja:

1. U poglavlju *Uvod* obrađene su teme koje obuhvataju: magnetizam, paramagnetizam i dijamagnetizam, biomagnetizam. Ovo poglavlje daje uvid u polarizovanu i ultraljubičastu svetlost, kao i u energetska stanja materije. Takođe je dat pregled predmeta istraživanja i prikazana su prethodna istraživanja na kojima se zasnivaju istraživanja predstavljena u ovom radu.
2. U poglavlju *Uočavanje problema i ciljevi istraživanja*, a na osnovu analize radova i istraživanja prikazanih u poglavlju 1, uočeni su glavni problemi i definisani ciljevi istraživanja.
3. U poglavlju *Materijal* predstavljene su sledeće teme: osnovne osobine silikon hidrogel materijala, njihove prednosti i nedostaci, osobine komercijalnog

materijala Definitive⁷⁴, fulereni i fulleroli i njihove fizičke i hemijske osobine, magnetne osobine fulerena i na kraju nanofotonični materijali.

4. U poglavlju *Metode i tehnike* prikazane su: metode i instrumentacija korišćeni u ovim eksperimentima. Predstavljen je uređaj za merenje remanentne magnetizacije Agico JR-6A i principi merenja, Opto-magnetna imidžing spektroskopija, fizičke osnove metode, spektralna obrada slike, hardversko rešenje metode.
5. U poglavlju *Rezultati i diskusija* prezentovani su kompletni rezultati laboratorijskih merenja i to: rezultati merenja remanentne magnetizacije nanofotoničnih materijala i referentnog uzorka pre i posle spoljašnjih uticaja, opto-magnetni dijagrami za sve materijale pre i posle spoljašnjih uticaja. Takođe je data i diskusija ponovljenih merenja remanentne magnetizacije i opto-magnetne imidžing spektroskopije, u drugom i trećem setu merenja.
6. U poglavlju *Zaključak* dati su glavni rezultati istraživanja dobijeni u toku rada i donet zaključak o nivou ostvarenih ciljeva postavljenih na početku istraživanja kao i naučnom doprinosu rezultata tih istraživanja.

2. UVOD

2.1. Magnetizam

Magnetizam je pojava koja se javlja usled kretanja naelektrisanja, kao što je kretanje struje kroz žicu ili kalem. U materijalu kroz koji ne prolazi struja takođe postoje magnetne interakcije. Atomi se sastoje iz naelektrisanih čestica (protona i elektrona) koje se neprestano kreću. Pojava magnetnog polja prati svako kretanje elektriciteta, bez obzira da li se radi o makroskopskim strujama, kretanju elektrona u atomima i obrtanju elektrona oko sopstvene ose (spin). Nije moguće proučavati magnetna polja nezavisno od električnih polja, već se može govoriti samo o elektromagnetnom polju.

Procesi koji u atomu stvaraju magnetno polje jesu:

1. Nuklearni spin – neka jezgra (kao što je vodonikov atom) imaju neto spin koji stvara magnetno polje.
2. Elektronski spin – elektron ima dva sopstvena spinska stanja koji se zovu spin na gore i spin na dole ili alfa i beta spinovi.

3. Elektronsko orbitalno kretanje – postoji magnetno polje usled kretanja elektrona oko jezgra.

Svako od navedenih magnetnih polja interaguje međusobno a takođe i sa spoljašnjim magnetnim poljem. Međutim, neke od ovih interakcija su jake dok su druge zanemarljive.

Osnovna veličina kojom se kvantitativno karakteriše magnetno polje je vektor magnetne indukcije \vec{B} , koji se može definisati u svakoj tački magnetnog polja. Jedinica magnetne indukcije je „tesla“ i obeležava se simbolom T, u čast jednog od najpoznatijih svetskih pronalazača i naučnika u oblasti elektrotehnike, radiotehnike i fizike, Nikoli Tesli. Pored vektora magnetne indukcije, za kumulativno opisivanje magnetnog polja koristi se još jedna vektorska veličina, vektor jačine magnetnog polja \vec{H} . Jedinica jačine magnetnog polja je A/m. U vakuumu važi:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} \quad (1)$$

gde je $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Tm}{A}$. Svako magnetno polje u vakuumu može da se opiše bilo pomoću magnetne indukcije \vec{B} ili pomoću jačine magnetnog polja \vec{H} .

Klasična teorija o magnetizmu je postavljena mnogo pre kvantne mehanike. Lencov zakon iz 1834. godine kaže da kada se supstanca nađe u magnetnom polju, H, polje unutar supstance, B, se razlikuje od H za indukovano polje $4\pi I$, koje je proporcionalno intenzitetu magnetizacije, I (2):

$$B = H + 4\pi I \quad (2)$$

Ova jednačina se takođe može napisati i u drugom obliku (3, 4):

$$\frac{B}{H} = 1 + \frac{4\pi I}{H} \quad (3)$$

$$\frac{B}{H} = 1 + 4\pi\kappa \quad (4)$$

gde je $\frac{B}{H}$ magnetna propustljivost materijala, a κ je magnetna susceptibilnost po jedinici zapremine $\left(\frac{I}{H}\right)$. Po definiciji, κ u vakuumu iznosi nula, pa je $B = H$.

Magnetna susceptibilnost (od latinskog *susceptibilis* što znači receptivan, onaj koji može da primi) je bezdimenzionalna veličina koja predstavlja meru magnetnih osobina materijala. Susceptibilnost ukazuje na to da li će materijal biti privučen ili odbijen od strane magnetnog polja.

Međutim, pogodnije je meriti masenu susceptibilnost, χ_g , koja je u vezi sa zapreminskom susceptibilnošću po gustini (5):

$$\chi_g = \frac{\kappa}{\rho} \quad (5)$$

gde je ρ gustina. Konačno kako bismo izvršili željena merenja na atomskom nivou, masenu susceptibilnost pretvaramo u molarnu susceptibilnost (6):

$$\chi_m = \chi_g \cdot M \quad (6)$$

gde je M molekulska težina uzorka.

Eksperimentalno izmeren magnetni moment (μ) prema jednačini $\mu = 2,282\sqrt{\chi_m T}$ može da pruži neke važne informacije o samim jedinjenjima kao što su [18]:

1. Broj prisutnih nesparenih elektrona
2. Spektralno ponašanje i
3. Struktura kompleksa.

Magnetna svojstva materijala mogu se razumeti iz razmatranja ponašanja elektrona u čvrstim telima. Elektroni imaju naelektrisanje i kreću se po kružnoj putanji u atomu ili molekulu pri čemu stalno dobijaju ubrzanje (usled kružnog kretanja). Tako se generiše magnetno polje upravno na smer kretanja elektrona čime se stvara orbitalni magnetni moment. Pošto se elektroni pored kretanja oko jezgra okreću i oko svoje ose oni imaju spin tj. dobijaju i spinski magnetni moment [18]. Atomi nemaju permanentni magnetni moment u mnogim supstancama tj. svi magneti u atomu su uravnoteženi tako da je neto

moment atoma nula. Kada se ove supstance uvedu u magnetno polje indukcijom se generišu dodatne struje unutar atoma [19].

Ako su elektroni u datoj supstanci spareni, njihova magnetna polja su jednaka i suprotna (upareni spin). Kada se supstanca sa sparenim elektronima uvede u jako spoljašnje magnetno polje, to polje će indukovati dodatnu struju koja sama stvara magnetno polje suprotno spoljašnjem magnetnom polju (Lencov zakon). Kao posledica ovoga, magnetna indukcija unutar uzorka ($B_{unutrašnje}$) će biti slabija od magnetne indukcije spoljašnjeg polja ($B_{spoljašnje}$) (slika 2.1) dok je B' magnetna indukcija koja potiče od samog materijala, a primenjeno polje odbija uzorak (7):

$$B_{unutrašnje} = B_{spoljašnje} + B' \quad (7)$$

Na ovaj način se indukuje magnetni dipol koji je suprotan primenjenom magnetnom polju. Ova pojava koja je prisutna u svakom uzorku kod koje primenjeno polje odbija uzorak koji sadrži sparene elektrone se naziva dijamagnetizam. Svaki spareni elektron doprinosi dijamagnetizmu supstance pa je dijamagnetizam prisutan u svakom uzorku. Prethodna jednačina se može napisati i u drugačijem obliku (8, 9):

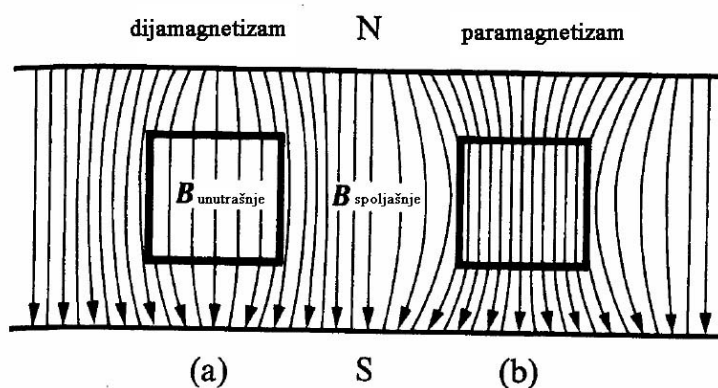
$$B_{unutrašnje} = \mu_r B_{spoljašnje} \quad (8)$$

ili

$$B_{unutrašnje} = (1 + \chi_v) B_{spoljašnje} \quad (9)$$

gde je μ_r relativna magnetna permeabilnost, a $B' = \chi_v B_{spoljašnje}$ a χ_v je zapreminska magnetna susceptibilnost. Za dijamagnetne uzorke χ_v je negativno. Veličina dijamagnetne susceptibilnosti je funkcija broja elektrona i poluprečnika orbite elektrona.

Kod supstanci čiji atomi imaju permanentni magnetni moment neto struja nije nula. U tom slučaju orbitala sadrži nespareni elektron usled čega se i dobija permanentno magnetno polje. Ova pojava se naziva paramagnetizam i proizilazi iz spinskog i orbitalnog ugaonog momenta elektrona s obzirom da se oni potiru kad su elektroni spareni. Paramagnetici se poravnaju sa primenjenim poljem i pojačava se magnetno polje u uzorku.



Slika 2.1. Ponašanje materijala sa sparenim elektronima u jakom spoljašnjem magnetnom polju [18]

Pojave dijamagnetizma i paramagnetizma su u potpunosti kvantno-mehanički fenomeni, jer u klasičnoj fizici oni ne postoje. U svim supstancama koje imaju magnetni moment postoje oba efekta ali paramagnetni dominira. Paramagnenti doprinos je dva reda veličine veći od dijamagnetnog doprinosa. Stoga će jedan nespareni elektron kao paramagnetni centar zamaskirati dijamagnetizam svih sparenih elektrona u uzorku. Za paramagnetne supstance, B' i paramagnetna susceptibilnost su pozitivne.

Paramagnetizam je osetljiv na temperaturu pa je u slučaju manje temperature ova pojava jača [19]. Kod ovakvih supstanci magnetna susceptibilnost (paramagnetna susceptibilnost) zavisi od temperature prema Kirijevom zakonu (10):

$$\chi_M = \frac{C}{T} \quad (10)$$

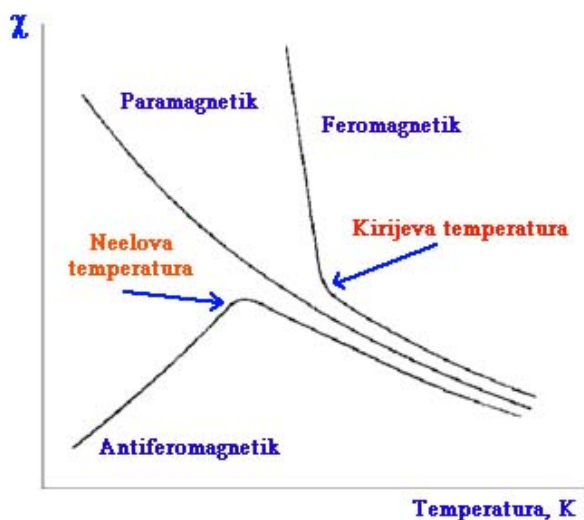
gde je C Kirijeva konstanta. Sa povećanjem temperature elektroni će se kretati više nasumično što će dovesti do smanjenja paramagnetnog doprinosa.

Tabela 2.1. Klasifikacija magnetnog ponašanja [18]

| Tip magnetizma | Susceptibilnost, χ (mks jedinice) | Zavisnost polja |
|--------------------|---|-------------------|
| Dijamagnetizam | od $-1,256 \times 10^{-6}$ do $-12,56 \times 10^{-3}$ | Ne zavisi od H |
| Paramagnetizam | od $12,56 \times 10^{-6}$ do $12,56 \times 10^{-2}$ | Ne zavisi od H |
| Feromagnetizam | od $12,56 \times 10^{-2}$ do $12,56 \times 10^{-4}$ | Zavisi od H |
| Antiferomagnetizam | od 12,56 do $12,56 \times 10^{-4}$ | Često zavisi od H |

Za jedinjenja kod kojih su paramagnetni centri odvojeni dijamagnetnim atomima unutar uzorka kaže se da su magnetno oslabljeni. Ako se dijamagnetni atomi uklone iz sistema onda paramagnetni centri interaguju međusobno. Ova vrsta interakcije dovodi do feromagnetizma (u slučaju kada su susedni magnetni dipoli poravnati u istom smeru) i do antiferomagnetizma (kod koga su susedni magnetni dipoli poravnati u suprotnim smerovima). U tabeli 2.1 je prikazana klasifikacija magnetnog ponašanja izražena po susceptibilnosti.

U slučaju feromagnetizma, iznad Kirijeve temperature materijal pokazuje "normalno" paramagnetno ponašanje, dok ispod Kirijeve temperature materijal pokazuje jake magnetne osobine (slika 2.2). Feromagnetizam se najčešće javlja kod jedinjenja koja sadrže gvožđe i u legurama.



Slika 2.2. Dva oblika paramagnetizma pokazuju varijacije magnetne susceptibilnosti u odnosu na temperaturu [Web 1]

U slučaju antiferomagnetizma, iznad Neelove temperature (slika 2.2) materijal pokazuje "normalna" paramagnetna svojstva, dok ispod ove temperature materijal pokazuje slaba magnetna svojstva koja na nižim temperaturama mogu da postanu izrazito dijamagnetna. Antiferomagnetizam je pojava koja je mnogo češća i javlja se kod halida i oksida prelaznih metala, kao što su $TiCl_3$ i VCl_2 .

Tabela 2.2. Paramagnetni metali [20]

| Materijal | Magnetna susceptibilnost, χ_v[10⁻⁵] |
|------------------|---|
| Volfram | 6,8 |
| Cezijum | 5,1 |
| Aluminijum | 2,2 |
| Litijum | 1,4 |
| Magnezijum | 1,2 |
| Natrijum | 0,72 |

Ukupna magnetna susceptibilnost supstance, χ , je suma svih dijamagnetnih i paramagnetnih doprinosa svih elektrona u uzorku. Kada su oni orijentisani nasumično, merenje celokupnog uzorka je zapravo merenje prosečne susceptibilnosti (11):

$$\chi = \chi^{dija} + \chi^{para} \quad (11)$$

Vazduh sadrži paramagnetni kiseonik, dok staklo sadrži neke paramagnetne nečistoće. Bizmut, bakar i argon kao dijamagnetike (tabela 3) odbija magnetno polje, dok aluminijum, kalcijum i magnezijum kao paramagnetike privlači (tabela 2.2). Natrijum je element koji ima neparan broj elektrona što znači da ima magnetni moment. U nepopunjenoj ljusci postoji jedan elektron koji daje atomu spin i magnetni moment pa je stoga natrijum paramagnetik. Molekuli nemaju magnetni moment jer se u jedinjenju nespareni elektroni spare. Slobodni radikali tj. reaktivne kiseonične vrste imaju neparan broj valentnih elektrona. Kod njih veze nisu u potpunosti zadovoljene i postoji neto ugaoni moment. Kod takozvanih "bulk" materijala postoji neto magnetni moment ako postoje atomi čija unutrašnja elektronska ljuska nije popunjena. Takvi atomi postoje kod prelaznih elemenata kao što su hrom, mangan, gvožđe, nikl, kobalt, paladijum i platina kao i kod retkih zemnih metala [19].

Tabela 2.3. Dijamagnetni materijali [20]

| Materijal | Magnetna susceptibilnost, χ_v[10⁻⁵] |
|----------------------|---|
| Superprovodnik | -10 ⁵ |
| Pirolitični ugljenik | -40,9 |
| Bizmut | -16,6 |
| Živa | -2,9 |
| Srebro | -2,6 |
| Ugljenik (dijamant) | -2,1 |
| Olovo | -1,8 |
| Ugljenik (grafit) | -1,6 |
| Bakar | -1,0 |
| Molekul vode | -0,91 |

2.2. Biomagnetizam

Još su 1963. godine Gerhard Baul i Ričard MekFi sa Odeljenja za elektrotehniku Sirakuza univerziteta, SAD prvi put detektovali biomagnetno polje koje daje ljudsko srce. To su uradili uz pomoć dva indukciona kalema sa 2 miliona žica koje su povezali na osjetljivi pojačivač [21]. Baul i MekFi su kasnije radili na razvoju različitih modela magnetnih polja i dizajniranju odgovarajućih kalema za detekciju iako indukcionim kalemima pokazuju ograničenu senzitivnost [22-25]. Njihovim metodama nije bilo moguće proučavati slaba magnetna polja ljudskih organa dok Koen, Edelsak i Cimerman nisu pronašli superprovodljivi kvantni interferirajući uređaj (SQUID) [26].

Biomagnetizam se odnosi na proučavanje magnetnih polja koja proizilaze iz bioloških sistema. Izvor magnetnih polja u biološkim sistemima mogu da budu električne struje koje proizvodi kretanje jona, magnetni momenti u magnetnim kontaminantima, magnetni momenti magnetnih materijala koje stvaraju biohemijski procesi i paramagnetni i dijamagnetni konstituenti u organizmu kada je izložen spoljašnjem magnetnom polju [27].

Suprotno od termina biomagnetizam postoji termin magnetobiologija koja proučava uticaj magnetnih polja na organizam. Primer za to mogu da budu ptice i insekti koji mogu da osećaju relativno slabo magnetno polje Zemlje zahvaljujući magnetnim česticama koje se mogu naći u nekim tkivima. Biomagnetna polja van tela su reda veličine slabija od jačine primenjenog polja za koje je poznato da proizvodi magnetobiološki efekat [27]. Takođe postoje termini koji se odnose na magnetna polja određenih organa kao što su kardiomagnetizam i pneumomagnetizam koji redom predstavljaju biomagnetizam srca i pluća [28].

Poznata magnetna polja različitih izvora imaju opseg snage od četiri reda veličine. Najjače polje je povezano sa koncentracijom magnetizovanih kontaminanata u plućima inhaliranim tokom zavarivanja čelika gde remanentno polje van grudi može da ide i do približno 1 nT ($1 \text{ nT} = 10^{-9} = 10^{-5} \text{ gaussa}$) [27]. Mnogo je slabije magnetno polje blizu glave koje potiče od struje jona u mozgu koja protiče frekvencijom alfa ritma i ima amplitudu od približno 1 pT ($1 \text{ pT} = 10^{-12} \text{ T}$). Još je slabije polje koje potiče iz mozga a prouzrokovano je vizuelnim stimulisanjem i ono iznosi oko 20 fT ($1 \text{ fT} = 10^{-15} \text{ T}$). Sva ova magnetna polja su više redova veličine slabija od magnetnog polja Zemlje koje iznosi oko 70 μT ($1 \mu\text{T} = 10^{-6} \text{ T}$) [27].

Magnetizam se takođe koristi i u tretiranju različitih oboljenja ili poremećaja, kao što su anoreksija [29], preterana želja za hranom [30], depresija [31] ili zavisnosti od alkohola, droge ili nikotina [32, 33]. U te svrhe se koristi repetitivna transkranijalna magnetna stimulacija (rTMS) koja predstavlja neinvazivnu tehniku stimulacije mozga. Ova tehnika koristi promenljiva magnetna polja primenjena na istoj frekvenciji kako bi se indukovale električne struje u kortikalnom tkivu [34]. Niža frekvencija koja je manja ili jednaka 1 Hz, inhibira reakciju neurona na lokalnom nivou i koristi se da indukuje virtuelne lezije kako bi se ispitala uloga te regije mozga u obavljanju različitih zadataka. Repetitivna transkranijalna magnetna stimulacija frekvencije veće od 1 Hz može da prouzrokuje neuronsku depolarizaciju pod uticajem stimulativnog navoja.

2.3. Svetlost

Elektromagnetno zračenje je kombinacija oscilujućeg električnog i magnetnog polja koja zajedno putuju kroz prostor u obliku međusobno upravni talasa. Ovo zračenje je nosilac elektromagnetne interakcije (sile) i može se interpretirati kao talas ili kao

čestica, u zavisnosti od slučaja. Za interakciju sa atomima i molekulima supstanci od značaja je da zračenje sadrži električnu i magnetnu komponentu, na šta ukazuje i odrednica „*elektromagnetno*”.

Svetlost se sastoji iz diskretnih paketa energije odnosno kvantova. Količina energije po kvantu svetlosti se određuje Plankovom jednačinom (12):

$$E = h\nu \quad (12)$$

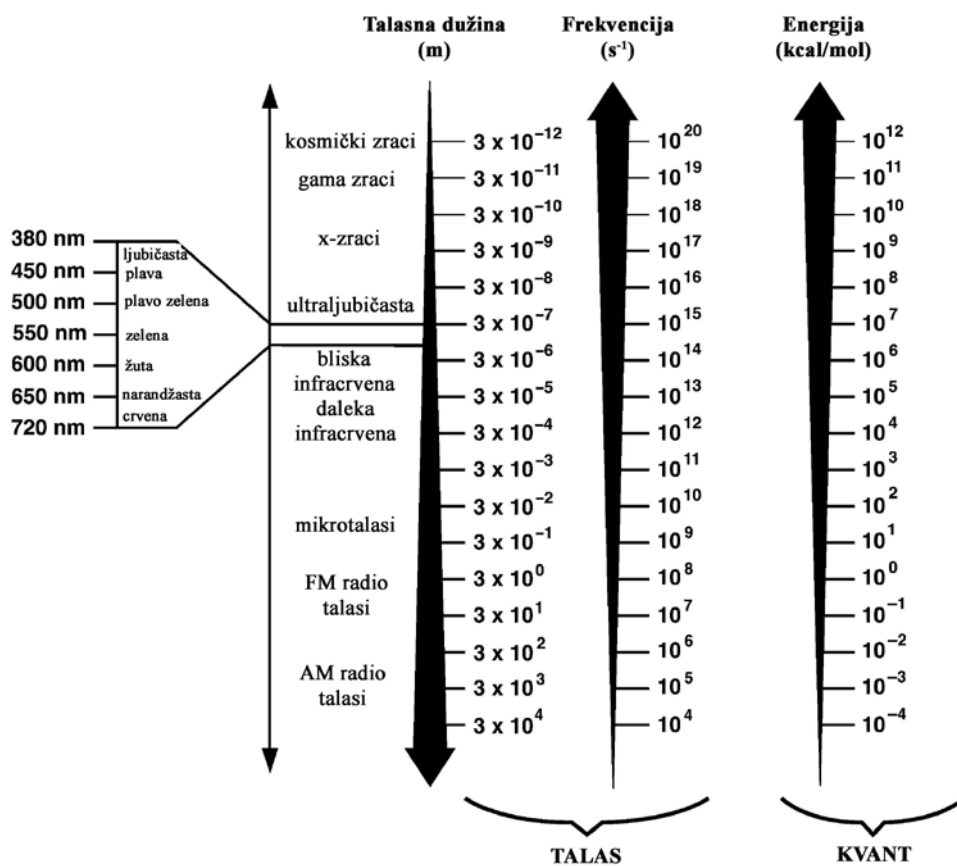
gde je E - energija po kvantu, h - Plankova konstanta (6.626×10^{-37} J/Hz), ν - frekvencija, ili:

$$E = hc / \lambda \quad (13)$$

gde je c - brzina svetlosti (3×10^8 m/s), λ - talasna dužina.

Navedene jednačine ukazuju na to da kvanti svetlosti manje talasne dužine imaju veći sadržaj energije nego kvanti većih talasnih dužina. Kvanti visoke energije uzrokuju veća oštećenja na biološkim tkivima prilikom apsorbovanja nego što je to slučaj sa kvantima manje energije [35].

Ako se snop svetlosti propusti kroz prizmu od pogodnog providnog materijala (staklo, kvarc i sl.) dolazi do razlaganja svetlosti na zrake različitih talasnih dužina, koji se praktično bez prekida nadovezuju jedan za drugim i koji predstavljaju spektar razložene sunčeve svetlosti (slika 2.3). Takav spektar je kontinualan i na beloj površini na koju padaju zraci vide se neprekidne promene boje, od crvene, koja postepeno prelazi u narandžastu, ova u žutu, pa zelenu, zatim plavu i na kraju ljubičastu. Svaku boju u spektru određuje skup svetlosnih zraka definisanih talasnih dužina, koje mogu da se izmere. Za opseg koji vidi čovečije oko vrednosti dužina se kreću između približno 700 nm (početak crvene) i 400 nm (kraj ljubičaste). Vidljiva svetlost predstavlja samo neznatan deo spektra elektromagnetnog zračenja koji čovek danas poznaje. Vidljiva svetlost deli se na kratko (plavo), srednje (zeleno) i dugotalasno (crveno) zračenje [36]. Na manjim talasnim dužinama od vidljivog svetla se nalazi ultraljubičasto zračenje, pa zatim X zraci tj. rentgenski zraci i zatim dolazi Gama zračenje. Na većim talasnim dužinama su infracrveni spektar, mikro-talasi i zatim radio-talasi.



Slika 2.3. Elektromagnetni spektar (preuzeto i modifikovano iz [37])

2.3.1. Energetska stanja materije

S obzirom da je energetska sadržaj materije kvantovan, potencijalna ili unutrašnja energija atoma ili molekula ne variraju kontinualno već u serijama diskretnih energetske paketa. Atomi i molekuli, pod normalnim uslovima, prevashodno postoje u osnovnom stanju, što je stanje niske energije. U ovom stanju mogu da dobiju energiju, pri čemu će zauzeti jedno od viših energetske stanja, koja se nazivaju pobuđena stanja. Kvantna priroda atoma i molekula ograničava energetske nivoe koji su im dostupni. Iz tog razloga, postoje "dozvoljeni" unutrašnji energetske nivoe za svaki atom ili molekul. Skup dostupnih energetske nivoe za bilo koji atom ili molekul biće različit za tu vrstu čestica. Isto tako će i prostor između dozvoljenih unutrašnjih energetske nivoe biti karakterističan za određenu vrstu materije, pa se samim tim oni mogu smatrati otiskom prsta te materijel. Kvalitativna apsorpciona i emisiona spektroskopija koriste ovu pojavu

u pronalaženju nepoznatih jedinjenja, merenjem prelaza između dozvoljenih energetske nivoa.

Relativna potencijalna energija atoma ili molekula odgovara razlici energije između energetske stanja u kome se atom ili molekul nalazi i osnovnog stanja. Najniže energetske stanje predstavlja osnovno stanje. Postoje tri elektronske energetske stanja, svako sa odgovarajućim vibracionim i rotacionim energetske nivoima. Svako elektronske stanje odgovara datoj elektronske orbitali. Elektroni u različitim orbitalama imaju različite potencijalne energije. Kada elektron menja orbitale, kao što se dešava pri apsorpciji i emisiji fotona odgovarajuće energije, to se naziva elektronski prelaz. Svaka promena potencijalne energije elektrona će rezultovati odgovarajućom promenom potencijalne energije atoma ili molekula [37].

Vrednost razlike energije između osnovnog stanja i prvog pobuđenog stanja za valentne elektrone atoma i vezujućih elektrona molekula je otprilike istog dometa kao i energetske sadržaj fotona u vezi sa ultraljubičastim i vidljivim zračenjem [37]. Šire linije unutar svakog elektronske nivoa prikazuju vibracione energetske nivoa. Atomi koji se nalaze u molekulu se stalno kreću i vibriraju na različite načine. Međutim, u svim slučajevima energija ovih vibracionih kretanja odgovara definisanim kvantizovanim energetske nivoima. Razlike energije između susednih vibracionih energetske nivoa su mnogo manje od onih između susednih elektronske energetske nivoa. Razlike energije između dozvoljenih vibracionih energetske nivoa su iste magnitude kao energija fotona kod zračenja u infracrvenom regionu.

Potencijalna energija molekula je takođe kvantizovana u pogledu energije rotacije molekula oko centra gravitacije. Ovi rotacioni energetske nivoi imaju manji razmak od odgovarajućih vibracionih nivoa, što je prikazano uskim linijama unutar svakog elektronske stanja. Energija razmaka između rotacionih energetske nivoa su iste magnitude kao energija fotona mikrotalasnog zračenja.

Sveukupno gledano, unutrašnja energija atoma se može opisati preko elektronske energetske nivoa, dok unutrašnja energija molekula zavisi od elektronske, vibracione i rotacione energije (14, 15). Algebarski izrazi koji opisuju ove činjenice glase:

$$E_{atom} = E_{elektronska} \quad (14)$$

$$E_{molekula} = E_{elektronska} + E_{rotaciona} + E_{vibraciona} \quad (15)$$

Energija elektrona, koja odgovara oblasti ultraljubičastog i vidljivog zračenja (200 do 700 nm), ima vrednosti između 10^5 i 10^6 kJ/mol, dok vibraciona energija, koja odgovara infracrvenom regionu (800 nm do 350 μ m), ima vrednosti između 10 i 40 kJ/mol. Rotaciona energija, koja odgovara mikrotalasnom regionu (10^{-3} do 1 m), ima vrednost od oko 10 kJ/mol. Pored ovih vrsta energije koje su od najvećeg značaja, molekul ima i energiju spina kao i translacionu energiju koje imaju manje vrednosti [37].

2.3.2. Polarizovana svetlost

Polarizacija je pojava kod koje su talasi svetlosti ograničeni u pravcu vibracije i predstavlja osobinu talasa koja opisuje orijentaciju njihovih oscilacija. Koherentno zračenje potiče od grupe oscilatora koji su sinhronizovani odnosno u fazi, dok inkoherentno zračenje potiče od oscilatora koji nisu u fazi. Nekoherentno zračenje je prirodno zračenje. Interferencija talasa se može desiti samo u slučaju kada elektromagnetni talasi imaju istu frekvenciju i polarizaciju. Polarizaciono stanje svetlosti omogućava da dva identična zraka drugačije interaguju sa materijom ako su njihova polarizaciona stanja različita.

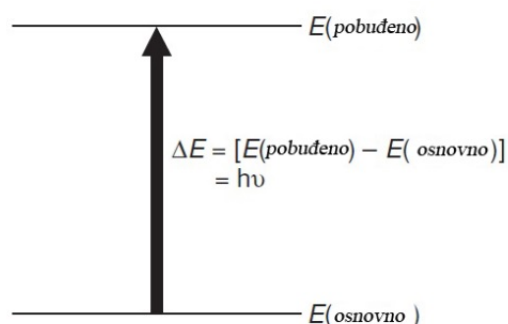
Polarizaciona svetlost deluje na materiju tako što povećava broj sparenih elektrona odnosno pospešuje uređenje materijala. Usled sparivanja elektrona pojačavaju se dijamagnetna svojstva materijala.

2.3.3. Ultraljubičasto zračenje

U vidljivom delu spektra ljubičasta svetlost ima najmanju talasnu dužinu, tj. najvišu energiju. Deo elektromagnetnog spektra koji vrši interakciju sa okom predstavlja optičko zračenje i obuhvata ultraljubičasti deo spektra (100-400 nm), vidljivi deo spektra (400-760 nm) i infracrveni deo spektra (760-10000 nm). Ultraljubičasto zračenje naziva se i „crna svetlost“, jer je čine elektromagnetni talasi koje ne vidimo [1] i podeljeno je na podgrupe: UVA (315-400 nm), UVB (260-315 nm), UVC (100-260 nm). Zbog manje talasne dužine, odnosno mnogo više energije po kvantu ovo zračenje može da izazove značajno oštećenje ćelija kože i očnih tkiva [38]. Izloženost UV

zračenju može da uzrokuje kataraktu i pterigijum, a ovo zračenje može biti i uzročnik razvoja senilne degeneracije makule. Iz ovih razloga, uobičajeno je da lekari preporučuju naočare sa UV zaštitom. Naočare, kontaktna sočiva i intraokularna sočiva u koje su inkorporirani UV apsorberi, mogu blokirati prodor UV zračenja u oko. Preporučena su pomagala koja apsorbuju 99% UV spektra od 400 nm, dok se dodatna zaštita može obezbediti sočivima koja smanjuju transmisiju ljubičaste/ plave svetlosti. Ipak, to ne rešava probleme pojačanog štetnog zračenja.

U spektru Sunčevog zračenja samo 5% je ultraljubičasto zračenje. UVC zraci vrlo malo prodiru do površine Zemlje, pa tako i do naše kože ili očiju, jer se apsorbuju u ozonskom sloju atmosfere [39]. UVA i UVB zraci prodiru kroz spoljašnji sloj kože ili kroz strukture oka pa su samim tim potencijalni uzročnici degenerativnih promena, opekotina, raka ili alergije. UVA zračenje može dopreti do mrežnjače pa zato dugotrajno izlaganje može povećati opasnost od degeneracije žute mrlje a šteta od UV zračenja je kumulativna. Postoje dobri naučni razlozi koji ukazuju da apsorpcija UV zračenja izaziva mnoge bolesti oka i prevremeno starenje [40].

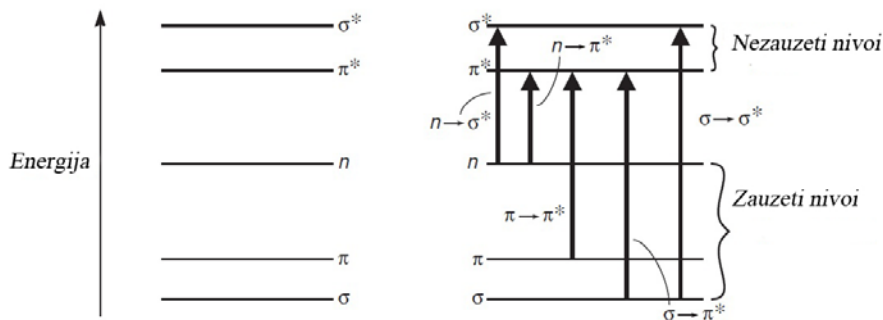


Slika 2.4. Kvantovan proces pobude kod koga apsorbovano elektromagnetno zračenje ima energiju tačno jednaku razlici [41]

Kada kontinualno zračenje prolazi kroz providni materijal, deo zračenja može biti apsorbovan. Ako dođe do apsorpcije, ostatak zračenja, kada prođe kroz taj materijal, daje spektar sa razmacima, koji se zove apsorpcioni spektar. Kao rezultat apsorpcije energije, atomi ili molekuli prelaze iz stanja niske energije (početnog stanja) u stanje više energije (pobuđeno stanje) (slika 2.4).

U slučaju interakcije UV zračenja sa materijom, prelazi koji su rezultat apsorpcije elektromagnetnog zračenja u ovom delu spektra su prelazi između elektronsko -

energetskih nivoa. Kako molekul upija energiju, elektron je unapređen sa okupirane orbitale na slobodnu orbitalu veće potencijalne energije. Generalno, najverovatniji prelazi su sa najviše okupirane molekulske orbitale (HOMO) na najnižu neokupiranu molekulsku orbitalu (LUMO). Razlika u energijama između elektronskih nivoa varira od molekula do molekula (slika 2.5).



Slika 2.5. Elektronski nivoi i elektronski prelazi [41]

Za većinu molekula, orbitala sa najnižom energijom je σ orbitala, π orbitale leže negde na višim energetskim nivoima, a nevezujuće (n) orbitale, leže na još višim nivoima. Slobodne, ili antivezujuće orbitale (π^* i σ^*), su orbitale sa najvišom energijom. Energija koja je potrebna za prelaz sa najviše okupirane orbitale u osnovno stanje najnižeg neokupiranog energetskog nivoa je manja od energije koja je potrebna za prelaz sa niže okupirane orbitale [41].

2.4. Pregled predmeta istraživanja

Predmet istraživanja ove disertacije je inkorporiranje fullerola u silikon hidrogel materijal tj. standardni, komercijalni materijal za proizvodnju mekih kontaktnih sočiva. Takođe, kao predmet istraživanja postavlja se uticaj inkorporiranog fullerola u različitim koncentracijama na osnovni materijal, tj. na njegove magnetne osobine. Fullereni i njihovi derivati imaju značajnu osobinu da istovremeno poseduju i paramagnetna i dijamagnetna svojstva zahvaljujući rasporedu ugljenikovih atoma u petouglove i šestouglove [11, 12].

Fulleren C_{60} nije u potpunosti rastvoran u polimernoj smeši, pa je to jedan od razloga zašto je za ovo istraživanje upotrebljen fullerol $C_{60}(OH)_{24}$. Fullerol je rastvoran u vodi i pokazano je da u određenoj koncentraciji nije toksičan. i da ima sposobnost

”sakupljanja” slobodnih radikala odnosno nesparenih elektrona. Dodavanje različitih koncentracija fulerola treba da pokaže kako se materijal ponaša u njihovom prisustvu.

Za istraživanje su upotrebljene dve metode, spinner magnetometar JR-6A i opto-magnetna imidžing spektroskopija (OMIS). Spinner magnetometrom određujemo remanentnu magnetizaciju celokupne zapremine uzorka, dok OMIS metodom određujemo površinske i tankoslojne karakteristike uzorka.

Izučavanje magnetizma materijala, odnosno na kvantnom nivou izučavanje paramagnetizma i dijamagnetizma je takođe predmet istraživanja. Određivanjem vrednosti remanentne magnetizacije može se sagledati uticaj dodatog fulerola na magnetne osobine polimernog materijala, a uz pomoć opto-magnetnog spektra se mogu odrediti paramagnetna i dijamagnetna svojstva materijala. Pored određivanja uticaja inkorporiranog fulerola, predmet istraživanja je i određivanje uticaja određenih spoljašnjih magnetnih polja na navedene materijale. Tako su predmet istraživanja uticaji magnetnog polja tri svetlosna izvora kao što su bela difuzna svetlost, polarizovana svetlost i ultraljubičasto zračenje. Kao interesantan slučaj takođe je izvedena i studija slučaja uticaja biološkog faktora tj. biološkog subjekta na magnetne osobine polimernih materijala. Pored navedenog, istraživanje uključuje i uticaj vodenog rastvora fulerola na magnetizam materijala sa fulerolom koji se nalazi u eksperimentalnoj posudi.

2.5. Analiza prethodnih istraživanja

Prvobitna istraživanja na materijalima za kontaktna sočiva sa inkorporiranim fulerenom C₆₀ i njegovim derivatima, urađena su na materijalima za tvrda gas propusna sočiva i ovi rezultati su prikazani u doktoratu dr Dragomira Stamenkovića [1]. Cilj istraživanja je bio da se razvije novi materijal za proizvodnju tvrdih gas propusnih kontaktnih sočiva, koji bi, posle odgovarajuće obrade na strugu, poboljšao njihova optička svojstva pri transmisiji vidljive i bliske vidljive svetlosti, kao i da poveća osetljivost na kontrast i percepciju boje smanjujući i propustljivost ultraljubičastog zračenja.

Između ostalog eksperimentalno su utvrđene optičke osobine transmisije materijala u vidljivom i UV spektru, a pokazana su i magnetna svojstva. Na osnovu spektara dobijenih UV/VIS spektroskopijom zaključak je bio da sva tri nanofotonska materijala

mogu da oku obezbede značajno bolju UV zaštitu u odnosu na bazni materijal SP-40 [8].

Rezultati merenja gradijenta magnetnih sila mikroskopijom magnetnih sila (MFM), tvrdih gas propusnih kontaktnih sočiva sa fulerenom i njegovim derivatima kao i referentnog materijala, pokazali su da po negativnim uglovima faznih pomeraja svi materijali iskazuju paramagnetna svojstva. Primećeno je da su uglovi faznog pomeraja materijala A (sa fulerenom) i materijala B (sa fullerolom), pomereni na negativnu stranu u odnosu na bazni materijal, što znači da oni imaju jača paramagnetna svojstva. Materijal C (sa metformin hidroksilat fulerenom) je, po svojim magnetnim karakteristikama, nešto manji paramagnetik od materijala A i materijala B ali jači od SP-40 [1].

Takođe, mnogi radovi potvrđuju moguću ulogu fulerena u oblasti nelinearne optike ili raznovrsnih filtriranja elektromagnetnih zračenja. Tako su u radu [9] pokazane optičke karakteristike transparentnih filmova fulerena na poli metilmetakrilatu. UV/VIS i FTIR spektroskopijom je pokazano da se opseg spektralne propustljivosti filmova PMMA/fuleren smanjivao sa porastom koncentracije fulerena.

Istraživanje prikazano u [10] odnosi se na sintezu nanokompozitnih filmova od PMMA, PVAc i PMMA/PVAc dopiranih fulerenom i na njihovu karakterizaciju transmissionom elektronskom spektroskopijom (TEM). Ova metoda je pokazala da je u pitanju uniformna disperzija nanočestica u polimernim matricama. Spektroskopska svojstva ovakvih filmova pokazuju moguću primenu u fotonici i konverziji solarne energije.

Uočeno je još jedno istraživanje predstavljeno u [42] gde je ispitivan uticaj fulerena C_{60} na termička, mehanička i optička svojstva polimetilmetakrilata (PMMA) izloženog jonizujućem zračenju. Zaključeno je da se fuleren C_{60} ponaša kao efikasan antirad u odnosu na PMMA. Adicija fulerena C_{60} poboljšava mehanička svojstva PMMA: za filmove koji sadrže dodatak C_{60} i one koji su izloženi postupku zračenja elektronima smanjenje prekidne čvrstoće je 10-15%, za uzorke koji ne sadrže fuleren je 25%. Došli su do zaključka da interakcije slobodnih radikala sa fulerenom postupkom zračenja utiču na optičke karakteristike PMMA filmova.

Opto-magnetne karakteristike materijala za meka kontaktna sočiva sa inkorporiranim fulerenom i fullerolom su pokazane u [43]. U ovom istraživanju su jasno

pokazane različite karakteristike između osnovnog materijala i materijala sa nanomaterijalima. Uočena su četiri pika, dva pozitivna i dva negativna, za sve vrste materijala, međutim razlike su uočene u talasnim dužinama pikova. Talasne dužine pikova kod materijala sa inkorporiranim fulerenom i fullerolom su iste, ali pomerene za 2 nm u odnosu na talasne dužine pikova osnovnog materijala, dok su najveće razlike uočene u intenzitetima pikova.

Opto-magnetne karakteristike tvrdih gas propusnih kontaktnih sočiva su prvi put pokazane u [44]. Autori su zaključili da konformaciona stanja materijala određuju njihove paramagnetne i dijamagnetne osobine i da se one mogu odrediti opto-magnetnom spektroskopijom.

Takođe, opto-magnetnom spektroskopijom su pokazane i karakteristike tankog filma fulerena debljine 100 nm na staklu [45]. Upoređivanjem opto-magnetnih karakteristika samog stakla i stakla sa tankim filmom, uočeno je da tanki film ima manje intenzitete na približno istim talasnim dužinama u odnosu na samo staklo.

Pošto se svetlost može prenositi na velike udaljenosti i s obzirom da je ne-invazivna, ona ima sposobnost da aktivira magnetni odgovor [46] pa se tako kontrolisanjem magnetnih karakteristika preko spoljašnjih uticaja mogu napraviti materijali koji su magnetno aktivni [47, 48]. Promene magnetnih osobina polimernih materijala su takođe ispitivane pod uticajem svetlosti kako bi se sagledala potencijalna primena u konverziji svetlosnog signala u magnetnu memoriju [49]. U ovom istraživanju su prikazani hibridni nanokompoziti elastomera tečnih kristala i maghemitnih nanovretna koji pod uticajem svetlosti ili promenom temperature mogu da se koriste kao aktuatori, transduseri ili magnetni uređaji za skladištenje.

Istraživanja navedena u ovoj disertaciji su takođe zasnovana na istraživanjima izvedenim 2005. godine. Cilj istraživanja je bilo merenje intenziteta magnetnog polja tankih filmova fulerena C_{60} debljine 60 nm i 100 nm, bez uticaja i pod uticajem polarizovanog svetla [13]. Na osnovu podataka dobijenih nakon 200 urađenih merenja posle uticaja polarizovane svetlosti određene su prosečne vrednosti razlike između intenziteta magnetizacije osvetljenog i neosvetljenog tankog filma. Za film debljine 60 nm došlo je do povećanja vrednosti kod osvetljenih filmova u odnosu na neosvetljeni film za 3,9 nT dok je za film debljine 100 nm povećanje bilo 9,9 nT. Razlika između referentne vrednosti i vrednosti magnetizacije neosvetljenog tankog filma od 60 nm

iznosila je 45,7 nT, dok je razlika između referentne vrednosti i vrednosti osvetljenog tankog filma bila 46,8 nT. Intenzitet magnetnog polja uzorka prati promenu magnetnog polja Zemlje s tim što je taj intenzitet veći. Stoga tanak film fullerena je paramagnetik odnosno povećava intenzitet magnetnog polja u prisustvu spoljašnjeg magnetnog polja. Polarizovana svetlost će kod bioloških i polimernih materijala da smanjuje broj nesparenih elektrona, ali će kod metala da povećava zbog postojanja plazmona na površini metala koji apsorbuju energiju polarizovane svetlosti i pojačavaju svoj efekat paramagnetizma. Tako na primer i kod dijamagnetika kao što je bakar, zbog malih nečistoća javiće se efekat plazmona na površini i on će poprimiti ponekada male vrednosti paramagnetizma.

Drugo istraživanje pokazano je u [14] gde su ispitivani tanki filmovi fullerena C₆₀ debljine 30 nm i 250 nm pod uticajem magnetnog polja Zemlje i pod uticajem polarizovane svetlosti u magnetnom polju Zemlje. Pokazano je u navedenom eksperimentu da je intenzitet magnetnog polja uzoraka promenjen u prisustvu tankog filma fullerena bez osvetljenja i pod uticajem polarizovane svetlosti. Kao i u [13] i u ovom istraživanju je pokazano da tanak film fullerena pod uticajem polarizovane svetlosti pojačava magnetno polje, a takođe je pokazano i da veća debljina filma još više pojačava intenzitet magnetnog polja ispitivanog tankog filma. Pokazano je da tanki filmovi fullerena mogu imati primenu u dizajniranju novih tipova nanofotoničnih uređaja za nanomedicinu s obzirom na to da su neki biomolekuli osetljivi na promene magnetnog polja na nivou nano tesle.

Kao nastavak istraživanja pokazanih u [13, 14] urađena su istraživanja gde je cilj bio da se izmeri remanentna magnetizacija tankih filmova fullerena, debljine 100 nm i 250 nm u mraku i kada su izloženi polarizovanoj svetlosti. Tanki filmovi fullerena imaju značajno veću remanentnu magnetizaciju od samog stakla bez nanešenog filma, a takođe je pokazano da tanak film fullerena debljine 250 nm ima značajno veću remanentnu magnetizaciju od filma debljine 100 nm. Zbog uticaja magnetnog polja od svega 100-200 pT na biološko tkivo vrednost remanentne magnetizacije je veoma važna. Uočeno je da polarizovana svetlost nema značajan uticaj na magnetizaciju tankog filma, kao i da fuleren C₆₀ u velikoj meri doprinosi povećanju vrednosti remanentne magnetizacije sa povećanjem debljine filma [15].

U novijoj literaturi je objavljeno i istraživanje tankih filmova ugljeničnih nanotuba sa elektrohemijski nanetim nanočesticama gvožđa [50, 51]. Hemijska karakterizacija filmova gvožđa izvedena je u funkciji vremena taloženja i dovedena je u vezu sa magnetnim osobinama koje su merene spinner magnetometrom dvostruke brzine Aric JR-6. Rezultati ukazuju na to da ugljenične nanotube utiču na veličinu kristala, mehanizam rasta gvožđa i rezultatne magnetne osobine filma, dok se sposobnost da se odupre spoljašnjem magnetnom polju smanjuje sa povećanjem metalnog sadržaja u filmu.

3. UOČAVANJE PROBLEMA I CILJEVI ISTRAŽIVANJA

Svrha nanošenja tankih filmova fulerena na staklene pločice je bila izrada svojevrsnog svetlosnog filtera za konvertovanje difuzne svetlosti u harmonizovanu svetlost što je predstavljeno u patentu profesora Koruge [52]. Prolaskom difuzne svetlosti kroz pripremljenu ploču, dolazi do njene modifikacije koja dovodi do harmonizacije energetskih stanja fotona na bazi vrednosti ikosaedarske simetrijske grupe. Par tako dobijenih filtera za harmonizaciju fotona upotrebljen je za pravljenje „nanofotonskih“ naočara. Kao druga vrsta pomagala za korekciju vida postoje kontaktna sočiva, pa se došlo na ideju da se sintetišu materijali sa inkorporiranim fulerenom i fulerolom u polimerni materijal jer bi nanošenje tankog filma na sočiva bio složen proces. Tako se došlo na ideju koju obuhvata ova disertacija, a to je određivanje remanentne magnetizacije materijala sa fulerolom u strukturi polimera i uticaja različitih spoljašnjih magnetnih polja na navedene materijale koji su u kontaktu sa biološkim tkivom i imaju uticaja na njega.

Najčešći faktori koji utiču na kvalitet vida pri nošenju kontaktnih sočiva vezani su za činjenicu da vidljiva svetlost, na svom putu do makule, mora da prođe kroz sam materijal za kontaktna sočiva pri čemu se karakteristike mogu značajno modifikovati. Zato je važno napraviti materijal koji neće uticati na prostiranje svetlosti ali koji će dati određenu zaštitu oku od negativnih uticaja svetlosti kao elektromagnetnog zračenja.

Materijali sa inkorporiranim fulerenom i njegovim derivatima su upravo materijali koji mogu da pruže zaštitu od UV zračenja, pre svega, što je i pokazano u eksperimentima u [1]. Na osnovu ovih istraživanja napravljeni su novi materijali, ovoga

puta sa tri različite koncentracije fullerola, kako bi se video uticaj različitih koncentracija na karakteristike osnovnog materijala.

Na osnovu izučavanja literature i dosadašnjih istraživanja postavljena je hipoteza da se inkorporiranjem fullerola u polimerni materijal može uticati na magnetne osobine materijala i da spoljašnja magnetna polja različitih izvora kao što su bela svetlost, polarizovana svetlost, ultraljubičasta svetlost i biološki faktor, mogu da utiču na magnetne osobine pomenutih materijala. Svi materijali na kvantnom nivou imaju paramagnetna i dijamagnetna svojstva, pa se ovim istraživanjima utvrđuje koja od navedenih svojstava preovlađuju. Osnovne naučne hipoteze od kojih se polazi u ovom radu su:

1. Da prisustvo fullerola u polimernom materijalu utiče na magnetna svojstva materijala.
2. Da određene vrste spoljašnjih uticaja odnosno različiti tipovi magnetnih polja utiču na magnetna svojstva materijala.
3. Određivanjem remanentne magnetizacije nanofotoničnih materijala i referentnog materijala pre i posle uticaja utvrdio bi se uticaj fullerola kao i uticaj različitih spoljašnjih magnetnih polja.

Uskladu sa uočenim problemima su postavljeni i osnovni ciljevi istraživanja u ovoj disertaciji.

- određivanje uticaja različitih koncentracija fullerola u polimernom materijalu za kontaktna sočiva na magnetne i optičke osobine
- određivanje remanentne magnetizacije materijala
- određivanje paramagnetnih i dijamagnetnih osobina pomenutih materijala.

4. MATERIJAL

4.1. Silikon hidrogelovi

Silikon hidrogelovi su se pojavili tokom 1999. godine kada su predstavljali veliki napredak u tehnologiji materijala kombinovanjem silikonske gume sa monomerima hidrogela [53]. Ovi materijali se klasifikuju sufiksom –filcon. U ovim materijalima silikon propušta veoma velike količine kiseonika dok hidrogel obezbeđuje da sočiva budu meka i udobna, a uz to omogućava i transport fluida kroz sočivo. Materijali koji su

bazirani na silikonu su u suštini hidrofobni i zahtevaju površinski tretman kako bi konačno sočivo bilo hidrofilno i udobno. Taj tretman pre svega ne sme da utiče na transmisiju kiseonika i takođe mora da postane sastavni deo sočiva kako se ne bi uklonio nakon upotrebe, rukovanja ili interakcije sa dezinfekcionim rastvorom.

Sadržaj vode kod silikon hidrogelova je relativno nizak i iznosi između 20% i 40% u zavisnosti od marke sočiva. Jedna od najvažnijih osobina kontaktnih sočiva je propustljivost kiseonika (Dk), što je zapravo nerazdvojiva osobina samog materijala (kao na primer indeks prelamanja). Izuzetno je važno da materijal od koga je kontaktno sočivo napravljeno propušta dovoljne količine kiseonika, s obzirom da oko dobija kiseonika direktno iz vazduha. Kada razmatramo vrednosti Dk postoji jedna vrlo značajna razlika u odnosu na standardna hidrogel sočiva kod kojih je Dk direktno povezan sa sadržajem vode. S obzirom da se kod silikon hidrogelova većina protoka kiseonika odigrava unutar silikonske komponente, niži sadržaj vode može da ima veći Dk [53]. Transmitivnost kiseonika kod silikon hidrogelova je takođe veća u odnosu na obična hidrogel sočiva i iznosi više od 100×10^{-9} (cm²/sec) [mlO²/(ml x mmHg)] [54].

4.1.1. Prednosti i nedostaci silikon hidrogel materijala

Pre svega kod silikon hidrogel materijala je važno da imaju vrlo visoke vrednosti Dk, pa su stoga pogodni za produženo nošenje. Sočiva napravljena od ovih materijala omogućavaju brzu adaptaciju pacijenta, a takođe su pogodna i za pacijente sa vaskularizacijom. Silikon hidrogelovi imaju dobre karakteristike dehidracije, a zbog svoje čvrstoće pružaju lakše rukovanje. Opasnost od stvaranja depozita na ovim sočivima je smanjena. Silikon hidrogel sočiva imaju dobru zateznu čvrstoću sa niskom lomljivošću.

Sa druge strane silikon hidrogel sočiva nisu dostupna u vidu složenijih oblika kao što su na primer torična ili bifokalna sočiva, već su dostupna samo kao sočiva za jednokratnu upotrebu. Takođe je kod ovih sočiva česta pojava mucinskih ugrušaka kao i veća verovatnoća stvaranja mrlja. Vrlo važan nedostatak ovog tipa sočiva je što su izuzetno skupa.

4.1.2. Definitive74

Materijal pod oznakom Definitive74 koji je korišćen u ovim istraživanjima je razvijen u kompaniji Contamac, Velika Britanija. To je nova generacija silikon hidrogel materijala koji se mogu rezati na strugu. Sa jedinstvenim kvalitetom površine i visokim nivoom Dk, ovaj materijal pruža izuzetnu udobnost na oku i obezbeđuje manje taloženje neželjenih naslaga čime rožnjača ostaje zdravija [55]. Propustljivost kiseonika materijala Definitive74 je trenutno najveća dostupna na tržištu i postignuta je upotrebom fluorosilikona i hidrofilnih monomera [Web2]. Osobine materijala Definitive74 su prikazane u tabeli 4.1. Sastav ovog polimera je optimizovan da obezbedi lako procesiranje kao i kod drugih hidrogel materijala. Definitive materijali imaju sličan modul kao i hidrogel materijali sa istim sadržajem vode pa stoga ne postoje mehanički problemi koji se inače javljaju kod drugih silikon hidrogelova. Ova vrsta materijala po prvi put pruža mogućnost velikog spektra kontaktnih sočiva. Pored izrade sferičnih kontaktnih sočiva za jednokratnu upotrebu moguće je izraditi i složenija sočiva uključujući i ona sa visokim dioptrijama i za rožnjače sa nepravilnostima.

Tabela 4.1. Karakteristike materijala Definitive74 [Web2]

| | |
|---|-----------------------|
| Klasifikacija | Filcon V3 |
| USAN* | Efrolcon A |
| Jonični ili ne-jonični materijali | Ne-jonični |
| Propustljivost kiseonika na 35°C x10⁻¹¹ (cm²/sec)[mlO²/(ml x mmHg)] | 60 |
| Transmisija kiseonika na 35°C x10⁻⁹ (cm²/sec)[mlO²/(ml x mmHg)] | 75 |
| Sadržaj vode | 74% na 20°C po težini |
| Indeks prelamanja | 1,375 na20°C |
| Transmisija svetlosti (%) na 380-780nm | 99% |
| Modul (MPa) | 0,35 |
| Tvrdoća (Shore D) | 84 |

*USAN-United States Adopted Name

Definitive materijali spadaju u grupu ne-joničnih materijala što znači da postoje mesta sa naelektrisanjem u mreži polimera. Ali ta naelektrisanja su usmerena ka unutrašnjosti polimera, pa polarnih krajeva nema ka spoljašnjosti. Zbog toga nema naelektrisane površine. Međutim, sama količina naelektrisanja je klinički važnija od njegovog prisustva ili odsustva. Prednosti ne-joničnih materijala su što su otporni na

depozite jer ne vezuju naelektrisane čestice. Sa druge strane nedostatak ove vrste materijala je što više denaturišu proteine iz suznog filma, iako neke studije pokazuju suprotne rezultate. Ne-jonični materijali su manje vlažljivi usled odsustva polarnih grupa na površini sočiva što smanjuje njihovu privlačnost za vodene dipole [56].

4.2. Fulereni i fuleroli

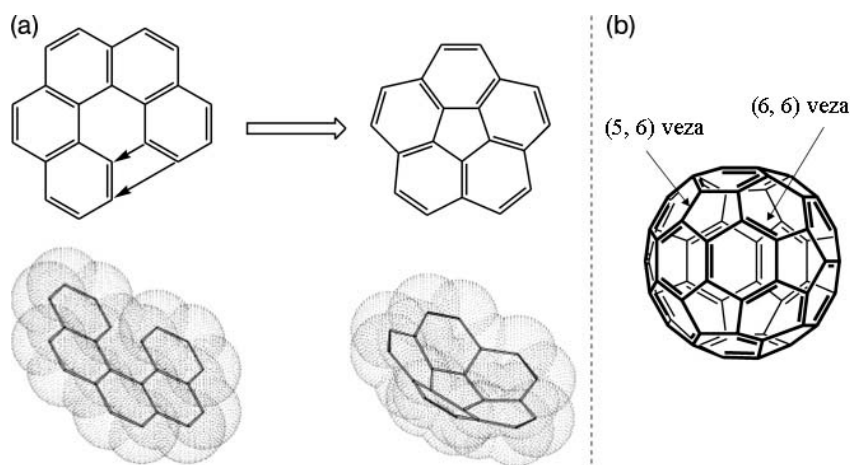
Fulereni su velika porodica super-atomskih trodimenzionalnih molekula koje su otkrili 1985. godine Kroto, Krl i Smoli (*H. W. Kroto, R. F. Curl, R. E. Smalley*) [57], dok je njihove neobične magnetne osobine predvideo Hadon (*R. C. Haddon*) 1987. godine [58]. Međutim, gramske količine fulerena postale su dostupne tek 1990. godine kada su Krečmer i Hafman (*Wolfgang Krätschmer, Donald Huffman*) postavili proceduru za njihovu proizvodnju [59]. Jedna od istraživačkih grupa koja se bavila fulerenima je bila i jugoslovensko-američka Koruga-Hamerof, koja je pokušavala da pronađe odgovarajuće materijale za molekularne kompjutere, 1978. godine. Strukture koje su oni ispitivali kao inteligentne ćelijske molekule (klatrin i mikrotubule) sa aspekta njihove simetrije su identične familiji fulerena i ugljeničnim nanotubama. Ovaj tim je bio prvi koji je napravio STM sliku molekula C_{60} u Istraživačkom centru za molekularne mašine na Univerzitetu u Beogradu, 1992. godine [60]. A 1993. godine je tim Koruga-Hamerof, sa saradnicima objavio i prvu knjigu o fulerenima [61].



Slika 4.1. Geodetske kupole R. Buckminster Fullera su dale inspiraciju za naziv fulerena [62]

Fulereni sadrže sp^2 hibridizovane atome ugljenika raspoređene u šestouglove i petouglove. Petouglovi su zaduženi za raspodelu deformacije koju izaziva jedinstveni molekularni oblik ugljeničnog kaveza. Geodetske kupole Ričarda Bakminstera Fullera (*Richard Buckminster Fuller*) su poslužile kao inspiracija za naziv fulerena. Njegove kupole koje se sastoje iz različitih poligona, pokazuju slične strukturne karakteristike kao ugljenični kavezi, i u njegovu čast su ovi molekuli i nazvani fulerenima ili "bakminster fulerenima". Jedan od primera je američki paviljon sagrađen za EXPO76 u Montrealu (slika 4.1).

Najpoznatiji fuleren je C_{60} ili *Buckyball*. Prema Ojlerovoj teoremi o poliedrima, da bi se napravila sferna struktura od n šestouglova potrebno je tačno 12 petougona, izuzev za $n=1$. Kada bi se kod grafena nekoliko šestočlanih prstenova zamenilo petočlanim prstenovima, taj sloj bi bio istisnut van svoje ravni i postao bi savijen (Slika 4.2a). Postavljanjem petouglova u odgovarajuće pozicije, dobija se sferna struktura sastavljena iz 60 ugljenikovih atoma – bakminster fuleren koji liči na klasičnu fudbalsku loptu.



Slika 4.2. a) Prethodno planarna aromatična struktura postaje zakrivljena zatvaranjem petočlanog prstena; b) C_{60} sadrži 12 petočlanih i 20 šestočlanih prstenova pokazujući karakteristike radijalena ili cikloheksatrijena, redom. Veze smeštene između dva susedna šestočlana prstena se nazivaju (6, 6) – veze, a one između petočlanog i šestočlanog prstena su (5, 6) – veze [62]

Fulereni mogu da budu uređeni egzohedralno sa velikim brojem različitih funkcionalnih grupa zahvaljujući dvostrukim C-C vezama na spojevima šestougona. Kidanjem ovih veza otvaraju se mesta za adicije, a ne narušava se sam sferni oblik

fulerena. Preko π elektronskog oblaka fulereni takođe mogu da stvaraju vrstu slabih klastera. Sa druge strane, zbog svog sfernog oblika nanometarskog prečnika, nekoliko atoma i manjih molekula se može virtuelno zarobiti unutar njegovog kaveza. Kombinacija ovih neobičnih karakteristika čini fulerene veoma privlačnom porodicom molekula za široki spektar biomedicinskih primena: nosioci lekova, inhibicija enzima HIV virusa, kontrasti za MRI i tomografiju X-zracima, radioimunoterapiju, kao i lekovi protiv neurodegenerativnih poremećaja kao što su Parkinsonova, Alchajmerova i Lu- Gerigova bolest, kod kojih se fulereni mogu ponašati kao "čistači" slobodnih radikala [63].

Jedan od ključnih nedostataka u primeni fulerena je njihova mala rastvorljivost u vodi. Kako bi ih načinili rastvornim u vodi, moraju se funkcionalizovati polarnim grupama kao što su $-OH$ i $-COOH$. Od svih fulerena rastvorljivih u vodi, oni sa nekoliko adiranih $-OH$ grupa, poznati kao fuleroli ili fulerenoli, su najviše ispitivani. Oni su odlični čistači slobodnih radikala, i njihova anti-oksidativna svojstva su testirana na kortikalnim neuronima [63].

Modifikovani fulereni su rastvorni u vodi i interaguju sa vodom preko vodoničnih veza. Podložni su degradaciji usled hemijskih uticaja i uslova iz okoline što može dovesti do uklanjanja funkcionalnih grupa sa modifikovanog fulerena. Ovo nije poželjno jer je pokazano da su nemodifikovani ili "goli" fulereni C_{60} citotoksični [64]. Nanočestice fulerola imaju vrlo nizak stepen fluorescencije i vrlo ga je teško detektovati in vivo i in vitro [65].

Pokazano je da se modifikovani fulereni mogu stabilizovati procesom harmonizacije, tačnije oni se mogu dobiti na više načina [66]. Ovako modifikovani fulereni se mogu naći u kozmetičkim proizvodima [67] zajedno sa drugim supstancama koje se koriste u kozmetici. To su kozmetički proizvodi kao losioni, gelovi i ulja, losioni za sunčanje. Proizvodi koji sadrže harmonizovani modifikovani fuleren su korisni za tretiranje kože, kancer kože, rane, ožiljke, ekceme, hiper-pigmentacije, herpes i ostala stanja kože [66].

Prva primena fulerola $C_{60}(OH)_{24}$ na mikrotubulama, pokazala je potencijalno antikancerogeno dejstvo [68]. Polihidroksilovani derivat fulerena $C_{60}(OH)_{24}$ pruža zaštitu od smrtnosti ćelija usled jonizujućeg zračenja, najverovatnije pojačavanjem imunološke funkcije, smanjenjem oksidativnih oštećenja i poboljšanjem funkcije

mitohondrija [69]. Pokazano je i da fullerol ima zaštitno dejstvo na tkiva jetre i srca protiv hronične toksičnosti koju prouzrokuje doksorubicin [70]. Pokazani rezultati u navedenim istraživanjima ukazuju upravo na sposobnost fullerola da "sakuplja" slobodne radikale odnosno naelektrisane čestice zahvaljujući neokupiranim molekulskim orbitalama.

Takođe, prema in vivo eksperimentima prikazanim u [71] fullerol inicira proizvodnju ćelija fibroblasta i nakon dvomesečnog tretmana kože on poboljšava proizvodnju kolagena i elastina. Fullerol $C_{60}(OH)_{24}$ pokazuje obećavajuće osobine za primenu u prenošenju lekovitih supstanci kroz krvno moždanu i očnu membranu [72].

4.2.1. Fizičke i hemijske osobine fulerena i fullerola

Fulereni pokazuju jak afinitet prema elektronima i ponašaju se kao "radikalni suđeri". Rastvorljivost u organskom medijumu zavisi od tipa rastvarača, a aromatične i halogenizovane aromatične supstance su najpodesnije i to su najčešće toluen i benzen. Spektroskopske osobine fulerena su usko povezane sa njihovom simetrijom pa se tako strukturne informacije mogu dobiti iz broja veza, na primer, u infracrvenom spektru. U poređenju sa grafitom, svi fulereni imaju veću energiju, sa povećanjem veličine, međutim, njihova standardna entalpija formiranja približna je vrednosti grafita.

Fulereni lako ulaze u adicione reakcije sa nukleofilima (molekuli koji poseduju višak elektrona i u odgovarajućim uslovima imaju sklonost ka tome da budu donori elektrona drugom atomu) [73]. Fizička i elektronska struktura fulerena C_{60} su zaslužne za reaktivnost ovog molekula. Elektronska struktura je specifična zbog HOMO-LUMO energetske razmaka dok je fizička struktura specifična zbog deformacija veza i alteracija u dužini veze. Vrlo slaba rastvorljivost i visoka kristaliničnost C_{60} , čine ga suštinski neupotrebljivim kao materijal za inženjerske primene [73-75].

Zbog toga nije iznenađujuće što su naučnici i inženjeri, odmah nakon njegovog pronalaska, ispitivali metode za inkorporiranje fulerena u polimere, čiji je krajnji cilj bila proizvodnja materijala koji se može obrađivati i koji će imati uobičajene osobine organskih polimernih materijala. Prvo inkorporiranje u tradicionalni polimer, polistiren je izvedeno 1992. godine [76, 77], i pokazivao je vrlo neobične osobine samosastavljanja. Od tada je napravljen veliki broj različitih polimera sa C_{60} , i kao što je

očekivano nekoliko polimera je pokazalo izvrsne karakteristike kao što fotoindukovani transfer elektrona i optičko limitiranje [9].

Takođe, fuleren C_{60} i njegovi derivati pokazuju različite izvrsne elektronske, provodne, fotohemijske i magnetne osobine, ali je njihova obrada slaba. Stoga, oni imaju mnoge potencijalne primene ako se nalaze u polimerima, kao na primer C_{60} inkorporiran u PMMA [78, 79]. Ovakav materijal je rastvoran u mnogim organskim rastvaračima kao što su tetrahidro furan, $CHCl_3$, aceton i td. Polimeri su braon boje i boja postaje tamnija sa povećanjem sadržaja C_{60} u polimeru, čijim dodavanjem se takođe poboljšava i termalna stabilnost polimera. Hidrogelovi imaju široku primenu u biomedicini, a jedna od njih je i u proizvodnji materijala za kontaktna sočiva. Zato inkorporiranje fulerola u poliakrilni hidrogel ima obećavajuće biomedicinske primene. Što se tiče kinetike vezivanja fulerola za poliakrilni hidrogel istraživanja su pokazala da je taj proces složen i višefazan (uključuje bubrenje i vezivanje) i da se odvija difuzijom [80].

Sistemi polimera koji sadrže molekul C_{60} pokazuju rastvorljivost i formiraju različite agregate na nano nivou, koji imaju zanimljive morfologije. Sinteza novih nanoskopskih materijala kombinovanjem jedinstvenih osobina molekula C_{60} sa specifičnim osobinama polimera, prevazilazi njihove željene aplikacije.

4.2.2. Magnetne osobine fulerena i fulerola

Prva pretpostavka u vezi molekula C_{60} je da on nema nesparenih elektrona. Ta pretpostavka je i eksperimentalno dokazana s obzirom da uzorci fulerena ni u gasovitom niti u čvrstom stanju nisu pokazali značajnu elektronsku paramagnetnu rezonancu. Kao posledica toga javlja se izuzetno slab dijamagnetizam ovog molekula [81].

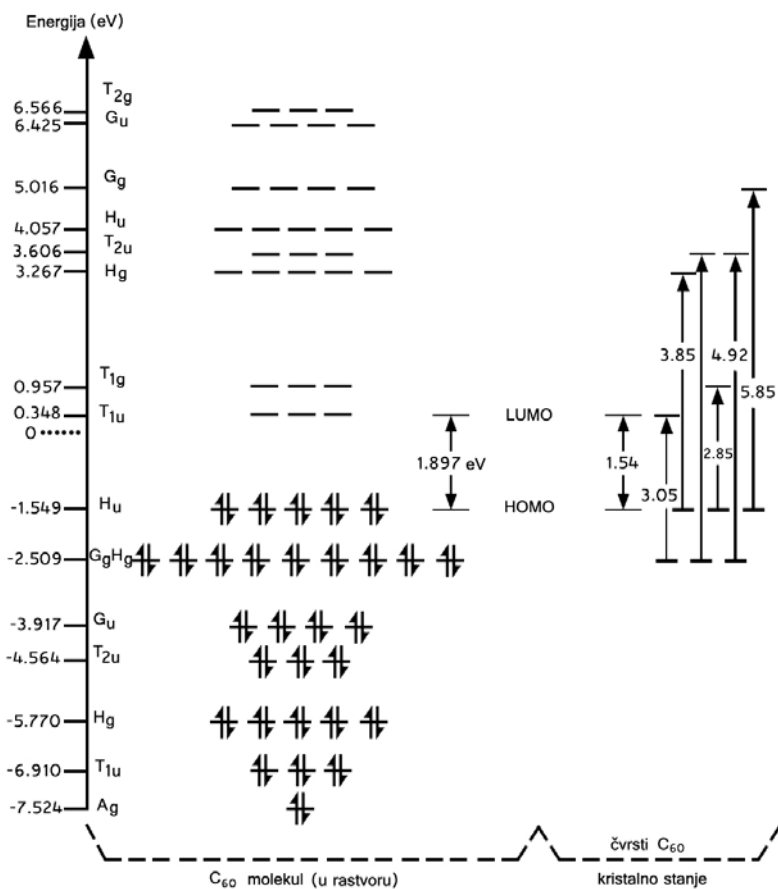
Značaj fulerena je što ima i dijamagnetna i paramagnetna svojstva u svojoj osnovnoj strukturi, za razliku od aluminijuma gde jedan atom ima samo paramagnetna svojstva, dok bakar ima samo dijamagnetna. Ovi elementi tek u molekulu u bulk obliku imaju oba svojstva. U kompleksnim jedinjenjima fulerena C_{60} dijamagnetizam potiče od samog molekula C_{60} , dok paramagnetizam potiče od C_{60}^- kompleksa [11]. Magnetne osobine C_{60} određuju sledeći faktori [12]:

1. Sastoje se od ugljenika

2. Sadrže petougaoonike koji doprinose paramagnetnim efektima i šestougaoonike koji doprinose dijamagnetnim efektima.

Postojanje molekula fulerena C_{60} kao i njegov aromatični karakter predvideo je Osava (*Eiji Osawa*) još 1970. godine [82, 83]. Kroto i saradnici su nakon otkrivanja fulerena C_{60} predložili da bi to mogao biti prvi primer sferičnog aromatičnog molekula [57], što je i bilo potvrđeno u kasnijim radovima [58, 84, 85]. Međutim, kasnija istraživanja nisu pokazala jasan aromatični karakter fulerena C_{60} [86-88], imajući u vidu neke osobine koje podržavaju njegovu aromatičnost dok druge osobine to opovrgavaju.

Nakon toga su prikazana mnoga istraživanja na temu ponašanja fulerena u magnetnom polju zbog svoje aromatičnosti. Sferični aromatični fulereni pokazuju mnoge uobičajene karakteristike aromatičnih jedinjenja, kao što su, pojačana stabilnost, ujednačenost dužine veze i visoko dijamagnetnu zaštitu u centru strukture [89]. Ono što je takođe pokazano je da se struje u molekulu fulerena kreću u suprotnim smerovima, gde se dijamagnetna struja kreće spolja, a paramagnetna unutra [89].

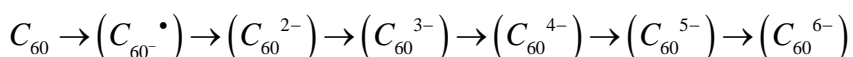


Slika 4.3. Elektronska konfiguracija molekula fulerena C_{60} [61]

Magnetne osobine fulerena se jasno ogledaju u delokalizovanom karakteru konjugovanog π sistema, koji u zavisnosti od broja π elektrona, može da prouzrokuje pojavu dijamagnetnih ili paramagnetnih struja unutar šestougona i petougona. Delokalizacija elektrona u aromatičnim jedinjenjima je izvor karakterističnih magnetnih osobina koje se mogu uočiti putem pomeraja kod nuklearne magnetne rezonance i dijamagnetnim susceptibilnostima [90]. Kada se upravno magnetno polje primeni na aromatični prsten, delokalizovani π elektroni počinju da cirkulišu oko prstenova proizvodeći malo lokalno magnetno polje [91].

Fuleren C_{60} se predstavlja kao konfiguracija zatvorene školjke sa 30 vezujućih molekularskih orbitala sa 60 p elektrona. Na ovaj način se dobija kompletna petostruka najviša okupirana molekularska orbitala (HOMO, $1h_u$) koja se energetske nalazi niže od odgovarajuće antivezujuće najniže neokupirane molekularske orbitale (LUMO, $2t_{1u}$). Ove dve molekularske orbitale imaju najveći doprinos u ponašanju ovog molekula [92] i povezane su umerenim energetske razmakom od 1,8 eV (slika 4.3).

Prvi elektron redukcijom C_{60} se dodaje u trostruku neokupiranu molekularsku orbitalu koja je visoko delokalizovana. Ova trostruka degeneracija zajedno sa niskom energijom najniže neokupirane molekularske orbitale (LUMO t_{1u} simetrija i LUMO+1 t_{1g} simetrija) čine fuleren C_{60} akceptorom elektrona sa mogućnošću da reverzibilno primi do šest elektrona nakon redukcije [93, 94]. Redukcija fulerena se obavlja po sledećim koracima:



Na osnovu redukcionih sposobnosti, fuleren i njegovi funkcionalizovani derivati imaju potencijal da prihvate druge naelektrisane entitete.

Koliko je redukcija olakšana toliko je oksidacija otežana. Visok stepen simetrije i organizacije molekularskih orbitala kod C_{60} predstavlja odličnu osnovu za zavidne fizičko-hemijske, elektronske i magnetne osobine ovog molekula [74]. Strukturna formula fulerena je C_{20+2n} , gde je n broj šestouglova, dok je broj petouglova 12. Za fuleren C_{60} broj šestouglova je n=20. S obzirom da je broj šestouglova veći od broja petouglova kod fulerena C_{60} su dominantne dijamagnetne osobine.

Paramagnetne struje koje prolaze petougonicima fulerena su gotovo jednake strujama koje prolaze kroz prsten benzena. Međutim, dijamagnetni doprinos

šestougaonika u potpunosti kompenzuje paramagnetni doprinos struja u petougaonicima [87]. Pokazano je da su paramagnetne struje u petočlanim prstenovima generisane aktivnim kretanjem elektrona oko dvostrukih veza koje su u blizini vrhova petougaonika [95]. Pošto je poznato da šestougaonici daju dijamagnetni doprinos a petougaonici paramagnetni doprinos može se zaključiti da sa porastom veličine fulerena dolazi do smanjenja paramagnetnog doprinosa. Broj šestougaonika raste dok broj petougaonika ostaje isti što znači da dijamagnetna susceptibilnost treba da raste sa porastom molekula i da na kraju dostigne susceptibilnost grafita [96]. Tako fuleren C_{5000} ima susceptibilnost jednaku onoj koju ima grafit [97]. Dijamagnetna susceptibilnost molekula sa brojem atoma manjim od 100 varira nasumično i to se pripisuje zavisnosti karakteristika veza u petougaonicima i šestougaonicima od strukture [98].

U svojoj strukturi fuleren ima dve karakteristične dužine C-C veze: C_5-C_5 jednostruke veze (0,146 nm) u petougaonicima i C_5-C_6 dvostruke veze (0,139 nm) u šestougaonicima. U čvrstom stanju i u rastvoru molekul C_{60} nasumično rotira frekvencijom od $10^{10} s^{-1}$ [99]. Kod tankih filmova energetski spektar molekula C_{60} se sastoji iz elektronskih, vibracionih i rotacionih traka [100]. Elektronske promene svih petougaonih prstenova generišu rotaciju u istom smeru dok "struja" koja prolazi kroz prsten tokom rotacije fulerena generiše magnetno polje [100], preko orbitalnih magnetnih momenata. Makarova i saradnici [4] su pokazali da postoje jaki magnetni signali od $2 \mu T$ do $8 \mu T$ kod dvodimenzionalnih rombohedralnih polimera fulerena ($Rh-C_{60}$). Materijal je pokazivao tipične osobine feromagneta sa velikim histerezisom.

U eksperimentalnim istraživanjima obične pijaće vode uočen je paramagnetno/dijamagnetno oscilatorni proces stvaranja i razgradnje klastera vode oko pozitivnih i negativnih jona. Ova istraživanja prikazana su u radu profesora Koruge "Water diamagnetic/paramagnetic property and golden mean "memristor" [101]. Eksperiment je urađen pomoću protonskog magnetometra (Overhauser efekt, GSM-10, Kanada). Uočeno je da se kod vode naizmenično smenjuju paramagnetna i dijamagnetna svojstva jer se voda uređuje u dimere, trimere i mnogo složenije klastere. Kada se voda izloži oscilatornom magnetnom polju odgovarajućeg intenziteta i frekvencije tada se proces klasterizacije menja, pa klasteri postaju stabilniji, a i ceo vodeni sistem poprima paramagnetna svojstva. Fulerol koji se nađe u vodenom rastvoru takođe dovodi do promena paramagnetnih i dijamagnetnih doprinosa s obzirom da je

poznato da se fullerol ponaša kao "sakupljač" nesparenih elektrona. Na taj način fullerol utiče da preovlađuju dijamagnetna svojstva, a isti je slučaj i kada se fullerol nađe u polimeru.

Mogućnost da se u kapsulu fulerena mogu ubaciti medicinski korisni metali i da se tako prenose do različitih delova tela u dijagnostičke ili terapijske svrhe, presudila je u potrazi za vrlo efikasnim, ne toksičnim kontrastnim agensom. Mikava i saradnici [102] su sintetisali endohedralne metalofulere sa gadolinijumom (Gd,) rastvorne u vodi, a njihove paramagnetne osobine su pokazale da se oni mogu koristiti kao kontrastni agensi kod magnetne rezonance.

Dalja istraživanja su pokazala da se fulereni i ugljenične nanotube obogaćene ugljenikom-13 mogu koristiti kod pojačanja signala kod magnetne rezonance. Prednost ovako obogaćenih fulerena i ugljeničnih nanotuba se ogleda u tome što su one suštinski magnetne i ne zahtevaju prisustvo unutrašnjih paramagnetnih jona ili spoljašnje veze sa magnetnim funkcionalnim grupama kako bi postigle relaksaciju [103].

Drugo istraživanje gadolinijuma u metalofulerenima kao kontrastnim agensima kod magnetne rezonance pokazala su da broj atoma u fulerenu daje značajno različite magnetne osobine. Tako metalofuleren $Gd_3N@C_{84}$ pokazuje mnogo veće magnetne momente od metalofulere $Gd_3N@C_{80}$ [104].

Novija istraživanja endohedralnih fulerena zasnivaju se na inkapsuliranju različitih molekula GdSc u fuleren C_{80} i ukazuju na to da neki molekuli pokazuju feromagnetno ponašanje (Gd_2ScN i Gd_3N) iako se očekuje da joni GdC_3 pokazuju magnetne susceptibilnosti paramagnetika [105].

4.3. Nanofotonični materijali

Prvobitni nanofotonični materijali [1] su bili sintetisani u saradnji sa kompanijom Soleko, Italija, inkorporiranjem fulerena C_{60} i njegovih derivata u osnovne polimerne materijale za proizvodnju tvrdih gas propusnih (RGP) i mekih kontaktnih sočiva. Nanomaterijali upotrebljeni za ovu svrhu su bili fuleren C_{60} , fullerol $C_{60}(OH)_{24}$ i metformin hidroksilat fuleren $C_{60}(OH)_{12}(OC_4N_5H_{10})_{12}$. Svrha ovih novih materijala za kontaktna sočiva jeste bilo povećanje osetljivosti oka na kontrast i percepciju boja,

smanjenje propustljivosti UV i bliske UV svetlosti, kao i smanjenje efekata svetlosnih aberacija nižeg i više reda. Rezultati dobijeni karakterizacijom nanofotoničnih materijala za tvrda kontaktna sočiva su prikazani u doktorskoj disertaciji dr Dragomira Stamenkovića [1]. Zaključak tih istraživanja je bio da prvi nanofotonični materijali u potpunosti odgovaraju standardima koji se postavljaju za proizvodnju kontaktnih sočiva.

Kao nastavak ispitivanja nanofotoničnih materijala ideja je bila da se sintetišu novi materijali samo ovoga puta za meka kontaktna sočiva i sa različitim koncentracijama nanomaterijala. Odabran je fullerol $C_{60}(OH)_{24}$ kao modifikacija fulerena C_{60} koja je rastvorljiva u vodi i koja nije toksična. Ideja je bila da se sagleda kako različite koncentracije fullerola utiču na osobine osnovnog materijala za kontaktna sočiva. Sintetisani su novi materijali za meka kontaktna sočiva inkorporiranjem fullerola $C_{60}(OH)_{24}$ u silikon hidrogel materijal pod nazivom Definitive74. Novi materijali su sintetisani u saradnji sa kompanijom Contamac iz Velike Britanije.

5. METODE I TEHNIKE

Merenja remanentne magnetizacije nanofotoničnih materijala su rađena na spinner magnetometru, JR-6A i uređaju za opto-magnetnu imidžing spektroskopiju, OMIS.

5.1. Spinner magnetometar JR-6A

Spinner magnetometar je instrument za merenje remanentne magnetizacije (RM) uzoraka stena u istraživanjima magnetnih osobina stena. Međutim, uz adekvatnu pripremu uzoraka može se koristiti i za druge vrste materijala. Prirodna remanentna magnetizacija je magnetni sadržaj očuvan u steni tokom njenog formiranja u prisustvu preovlađujućeg magnetnog polja a zatim i tokom dugogodišnjeg postojanja tokom kojeg je bila izložena mnogim fizičkim i hemijskim faktorima. Stoga, različite vrste remanentne magnetizacije mogu da postoje istovremeno i u različitim odnosima u istoj steni [16]. Remanentna magnetizacija je zapravo magnetizacija koja ostane u permanentnom magnetu nakon uklanjanja spoljašnjeg magnetnog polja. Ona takođe predstavlja i magnetnu memoriju u vidu skladištenja i izvora informacija.

Neki materijali (gvožđe, kobalt, nikel i njihove legure) imaju permanentne magnetne momente, paralelno usmerene unutar malih domena u materijalu, ali je ukupna magnetizacija materijala nula, zbog haotične orijentacije domena. Ovakvi materijali su

poznati kao feromagnetici i pokazuju histerezisna svojstva, što zapravo govori da magnetizacija ovih materijala zavisi od istorije materijala i od primenjenog polja [106]. U spoljašnjem magnetnom polju oni se trajno namagnetišu tako da van magnetnog polja poseduju remanentnu magnetizaciju.

Drugi tip remanentne magnetizacije, meren spinner magnetometrom, odnosi se na paramagnetne i dijamagnetne materijale. Na osnovu originalne ideje profesora Đure Koruge rađena su istraživanja na zdravom i obolelom tkivu debelog creva [107]. Za razliku od feromagnetnih materijala paramagnenti materijali ne zadržavaju magnetizaciju van spoljašnjeg magnetnog polja.

Kod paramagnetnih materijala kada su van spoljašnjeg magnetnog polja, dipoli su nasumično orijentisani i tako daju magnetni moment vrlo male vrednosti. Kada se paramagnet nađe u spoljašnjem magnetnom polju dipoli će se orijentisati u pravcu primenjenog magnetnog polja. Kada se nakon namagnetisanja ovakav materijal stavi u spinner magnetometar, koji se ponaša kao Faradejev kavez, merenjem se može odrediti da li je materijal poprimio namagnetisanje ili se vratio u prvobitno stanje .

Bez uticaja spoljašnjeg magnetnog polja, dijamagnetni materijali takođe nisu permanentni materijali za razliku od feromagnetika. Kada se na dijamagnetike primeni spoljašnje magnetno polje dipoli će se orijentisati suprotno od primenjenog magnetnog polja. Kada se nakon namagnetisanja ovakav materijal stavi u spinner magnetometar, merenjem se može odrediti njegova remanentna magnetizacija tj. da li je materijal zadržao namagnetisanje.



Slika 5.1. Spinner magnetometar JR-6A (AGICO, Češka, NanoLab, Mašinski fakultet, Beograd)

Uređaj JR-6A (slika 5.2) kompanije Agico je dvo brzinski spinner magnetometar zasnovan na klasičnom dizajnu spinner magnetometra sa Helmholtcovim navojima. Instrument ima najmodernije mikroelektronske komponente, gde dva mikroprocesora kontrolišu i testiraju brzinu rotacije uzorka, pojačanje signala, akviziciju podataka, izvode digitalno filtriranje i kontrolišu autopozicioniranje manipulatora. Magnetometar u potpunosti kontroliše kompjuter putem serijskog kanala RS232C [108]. Spinner magnetometar meri ukupnu remanentnu magnetizaciju koja je suma nekoliko RM vektora. Jačine magnetizacije su reda veličine 10^{-6} Am^{-1} za slabo namagnetisane sedimente do 10^2 Am^{-1} [16].



Slika 5.2. Spinner magnetometar – postavljanje držača uzorka [108]

Spinner magnetometar JR-6A poseduje automatski držač uzorka koji omogućava automatsko merenje svih komponenti RM vektora. Niska brzina rotacije povećava mogućnost merenja krhkih i mekih uzoraka, a takođe postoji i mogućnost ponavljanja merenja u trenutnoj poziciji uzorka bez zaustavljanja motora.

Uzorak za kalibraciju uređaja može biti u vidu kocke stranice 20 mm ili cilindra prečnika 25,4 mm i dužine 22 mm. Jedna strana kod obe vrste uzoraka je označena strelicom koja određuje koordinatni sistem uzorka u kojem se meri RM vektor. Komponente RM vektora se izračunavaju uz pomoć Furijeove harmonične analize u okviru programskog paketa.

5.1.1. Principi merenja

Spinner magnetometar ima vrlo jednostavan princip merenja zasnovan na zakonu elektromagnetne indukcije koji je formulisao Majkl Faradej još 1831. godine. Uzorak određene veličine i oblika se fiksira u držač uzorka koji rotira konstantnom ugaonom brzinom u blizini detektora. Pošto je uzorak fiksiran u držaču procedura merenja i dizajn pozicije uzorka bi trebalo da eliminišu rezidualnu vrednost RM samog držača. Ukoliko to nije moguće mora se uraditi korekcija držača u slučaju slabog uzorka tako što bi se vrednosti praznog držača oduzele od izmerenih podataka.

Standardna merenja RM vektora se sastoje iz uzastopnih merenja u četiri pozicije uzorka u odnosu na držač. Ukupno merenje daje četiri vrednosti z komponente RM vektora i dve vrednosti x i y komponente iz kojih se izračunavaju srednje vrednosti. Ovakav način merenja eliminiše neželjene vrednosti držača i smanjuje grešku merenja izazvanu nepravilnim oblikom uzorka i šumom instrumenta. Čak i u slučaju da korekcija držača nije urađena, vrednost remanentne magnetizacije držača će biti eliminisana za merenja u četiri ili šest pozicija. U slučaju kada je upotrebljeno manje od četiri pozicije za merenja, zaostale komponente držača nisu automatski eliminisane pa se mora obaviti korekcija držača oduzimanjem od vrednosti praznog držača.

Kod modela JR-6A omogućena su automatska merenja pa se tako uzorak fiksira samo jednom unutar držača, a pozicije se menjaju automatski. Uzorak nije izložen spoljašnjem magnetnom polju tokom menjanja pozicije s obzirom da ostaje zatvoren unutar trostruke zaštite od legure nikla i gvožđa. Automatski držač se sastoji iz delimično sferične spoljašnje ljuske i rotirajućeg unutrašnjeg sferičnog jezgra u koji se uzorak pričvrsti plastičnim navrtanjem. Uzorak rotira oko imaginarne dijagonale kocke koja ima trostruku simetriju. Iz ovog razloga je nemoguće pronaći kombinaciju pozicija koje bi eliminisale vrednost remanentne magnetizacije držača kao što je to slučaj kod merenja sa četiri ili šest orijentacija magnetometra. Neophodno je da se u potpunosti oslonimo na korekciju koju sam instrument napravi što može negativno da utiče na rezultat. To je posebno slučaj kod mekih i krhkih uzoraka kada male nečistoće mogu da daju nerealne rezultate. Uzorci koji se razlikuju u veličini ili obliku od nominalnih vrednosti mogu da prouzrokuju jake vibracije ili neravnotežu tokom okretanja pa se ovakvi uzorci ne mogu meriti upotrebom automatskog držača.

Uređaj JR-6A meri u opsegu od 0 do 12500 A/m sa senzitivnošću 2,4 $\mu\text{A/m}$ i mernom nesigurnošću 1% odnosno $\pm 2,4 \mu\text{A/m}$. Vrednosti magnetizacije se iz uređaja dobijaju u amperima po metru (A/m), međutim potrebno je jedinicu prebaciti u tesle (T) tj. u piko tesle (pT) (16). Kako bismo dobili vrednost u teslama potrebno je $\frac{A}{m}$ pomnožiti sa $\frac{N}{A^2}$ tako se dobija:

$$\frac{A}{m} \cdot \frac{N}{A^2} = \frac{N}{A \cdot m} = T \quad (16)$$

S obzirom da je $1G = 10^{-4} W / m^2$ a $W = A^2$, $1G = 10^3 A / m$ odnosno $1G = 10^{-4} T$. Zbog pretvaranja jedinica iz CGS sistema (centimetar-gram-sekunda) u MKS merni sistem (metar-kilogram-sekunda)

$$1A / m = 10^{-3} G = 4\pi 10^{-3} \cdot 10^{-4} = 4\pi 10^{-7} T \quad (17)$$

Dakle, uređaj JR-6A meri u opsegu od 0 do 15,7 mT sa senzitivnošću:

$$4\pi \cdot 2,4 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-7} = 30,1 \cdot 10^{-13} \approx 3 \cdot 10^{-12} = 3 pT \quad (18)$$

i mernom nesigurnošću:

$$\pm 2,4 \cdot 4\pi \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-7} = \pm 3 pT \quad (19)$$

Uređaj ima dve brzine rotacije, viša i niža, i one iznose 87,7 rev/s ili 16,7 rev/s. Viša brzina rotacije omogućava dostizanje maksimalne senzitivnosti. Niža brzina rotacije omogućava merenje mekih i krhkih uzoraka, kao i uzoraka sa značajnijim varijacijama u obliku i veličini. Senzitivnost uređaja prilikom merenja višom brzinom iznosi $2,4 \cdot 10^{-6}$ A/m sa vremenom integracije od 10 s, dok je merenja manjom brzinom senzitivnost iznosi $1,0 \cdot 10^{-5}$ A/m.

Merenja na spinner magnetometru ometaju različite vrste šumova, kao što su termalni šum detektora, šum električnih kola i šumovi koji potiču iz različitih izvora (nečistoće držača uzorka, neobična spoljašnja magnetna polja i td.).

Spinner magnetometar Agico JR-6A se kontroliše putem kompjuterskog programa Rema6W. Ovaj program omogućava merenje vektora remanentne magnetizacije putem

automatskog, poluautomatskog ili manualnog moda [Web3]. Dobijeni podaci se čuvaju u ASCII tekstualnom obliku koji se može lako koristiti ili menjati.

5.2. Opto-magnetna imidžing spektroskopija (OMIS)

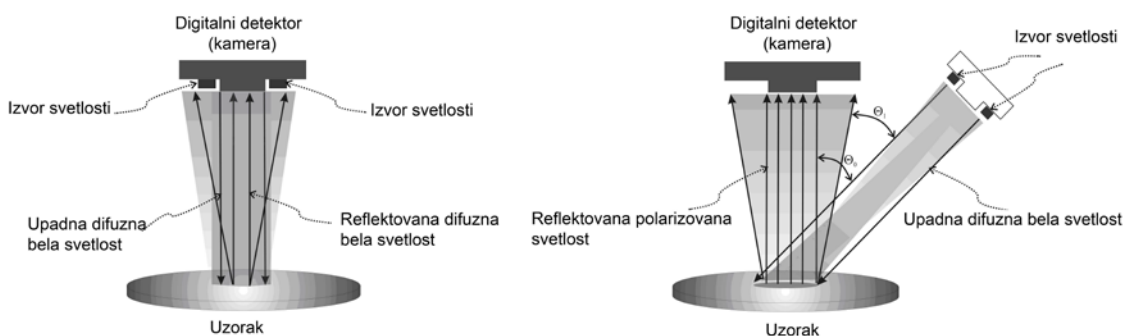
Opto-magnetna imidžing spektroskopija je tehnika zasnovana na interakciji elektromagnetnog zračenja sa valentnim elektronima i intermolekularnim vezama materije. Metoda koristi belu difuznu svetlost talasnih dužina između 400 i 800 nm. S obzirom da je orbitalna brzina valentnih elektrona približno 10^6 m/s može se reći da je odnos magnetne sile i električne sile (20):

$$\frac{F_M}{F_E} \sim 10^{-4} \quad (20)$$

Prema Plankovoj jednačini sila je u vezi sa kvantnim efektom preko formule (21) [108]:

$$h = F \cdot d \cdot t = 6,62 \times 10^{-34} \text{ Js} \quad (21)$$

Što znači da su promene magnetne sile četiri reda veličine bliže kvantnom efektu od električnih sila. Pošto je sila na nanonivou, možemo govoriti o kvantnim stanjima [109]. Kod ove metode svetlost se koristi kao sonda kojom se ispituju osobine materijala. Razlog potiče od toga što je foton dovoljno mali senzor, kojim se može ostvariti dovoljna osetljivost i neinvazivnost interakcije sa materijom.



Slika 5.3. Šematski prikaz principa rada opto-magnetne imidžing spektroskopije [110]

Albert Ajnštajn je 1905. godine pošao od pretpostavke da se svetlost sastoji od "čestica energije" i da je njihova energija proporcionalna frekvenciji te svetlosti, što je prikazano Plankovom jednačinom (12). Međutim, foton ispoljava i izvesna korpuskularna svojstva, jer pri udaru o površinu metala predaje svu svoju energiju elektronu sa kojim se sudari. Jedan deo te energije elektron potroši na savlađivanje privlačnih sila koje ga drže u masi metala, preostali deo energije javlja se kao kinetička energija emitovanog elektrona (22):

$$h \cdot \nu = E_i + m \cdot v^2 / 2 \quad (22)$$

gde je $h\nu$ energija fotona, E_i je energija potrebna da elektron izađe iz metala (izlazni rad elektrona), $m \cdot v^2/2$ je kinetička energija (E_k) emitovanog elektrona. Ova jednačina je poznata pod nazivom Ajnštajnova jednačina za fotoelektrični efekat. Preuređenjem te jednačine dobija se:

$$E_k = mv^2 / 2 = h \cdot \nu - E_i \quad (24)$$

Iz prethodne jednačine (24) se vidi da je kinetička energija emitovanog elektrona proporcionalna frekvenciji svetlosti. Kada je frekvencija svetlosti manja od kritične veličine (ν_0), elektron prima od fotona upravo toliko energije koliko je potrebno da izađe iz metala, ali je njegova kinetička energija jednaka nuli. Vrednost frekvencije ν_0 naziva se fotoelektričnim pragom (crvena granica fotoefekta). Sa povećanjem frekvencije svetlosti iznad ν_0 , emituju se elektroni čija je kinetička energija utoliko veća, ukoliko je veća i frekvencija.

Svetlost se dakle može zamisliti kao čestice energije koje se kreću kroz prostor sa osobinama talasa što nagoveštava da energija povezana sa zrakom svetlosti nije raspodeljena kontinualno u prostoru već je koncentrisana u diskretne pakete. Iz tog razloga se kaže da svetlost ima dvojnu prirodu: čestičnu i talasnu. Međutim, interakcija svetlosti sa materijom se najbolje može razumeti preko čestične prirode svetlosti. Svetlost nije uniformna u posedovanju talasnih i čestičnih osobina jer na primer, fundamentalne čestice materije, kao što su elektroni, protoni i neutroni, ispoljavaju talasna svojstva.

Američki fizičar Kompton (*Arthur Holly Compton*) dao je potvrdu o dvojnoj prirodi fotona 1922-23. godine [111]. On je eksperimentalno utvrdio da X-zraci, kada prođu kroz kompaktnu supstancu (grafit) po izlasku imaju veću talasnu dužinu (manju energiju) i promenjen pravac kretanja. Ova pojava nazvana je "*Komptonov efekat*". Upravo je gubitak dela energije kroz supstancu dokaz da fotoni imaju masu, što ukazuje da se oni sudaraju sa drugim česticama. i kod fotoelektričnog efekta i kod Komptonovog efekta pretpostavka je da fotoni stupaju u interakciju sa elektronima, kao česticama vrlo male mase. Na osnovu ove dve pojave izvedena je i druga logična pretpostavka, da i elektroni, kao i fotoni, imaju dvojni prirodu, tj. da pored korpuskularnih svojstava (mase) imaju i talasna svojstva.

Ovu hipotezu prvi je izložio de Broj (*Louis-Victor de Broglie*), koji je zatim izveo i jednačine za izračunavanje talasnih dužina i fotona i elektrona, na bazi sledećih jednačina. Ako se imaju u vidu talasna svojstva fotona, njegova energija je, prema Plankovoj jednačini $E = h \cdot \nu$. Međutim, ako se uzme u obzir da foton ima i masu, njegova energija se može izračunati iz Ajnštajnovе jednačine $E = mc^2$. Kada se ove dve jednačine izjednače $mc^2 = h\nu$, pa se nova jednačina podeli sa "c", dobija se $mc = h\nu/c$.

Pošto odnos frekvencije i brzine svetlosti predstavlja recipročnu vrednost talasne dužine $\nu/c = 1/\lambda$ biće:

$$mc = h / \lambda \quad (25)$$

na osnovu čega se dobija jednačina za izračunavanje talasne dužine fotona:

$$\lambda_{fotona} = h / mc \quad (26)$$

Ako se pretpostavi da i elektron ima dvojni prirodu, za izračunavanje njegove talasne dužine može se upotrebiti prethodna jednačina, gde umesto m unosimo masu elektrona m_e i umesto brzine svetlosti c unosimo brzinu kretanja elektrona v :

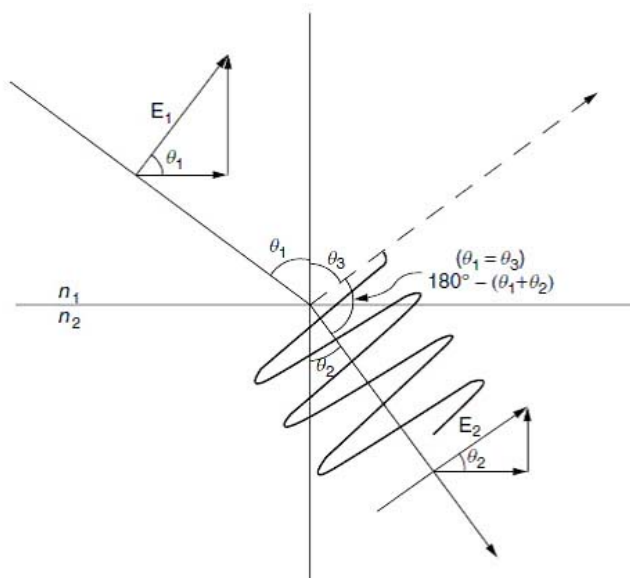
$$\lambda_{elektrona} = h / m_e v \quad (27)$$

Na osnovu jednačine (27) očigledno je da talasna dužina elektrona raste ukoliko se smanjuje njegova brzina. Kada bi elektron mirovao, tj. za $v=0$, njegova talasna dužina bila bi beskonačno velika.

5.2.1. Fizičke osnove OMIS metode

Klasične spektroskopske metode daju sliku koja je zasnovana na elektromagnetnim osobinama izvora i materije, dok je opto-magnetna imidžing spektroskopija zasnovana na razlici efekata dejstva difuzne bele svetlosti i polarizovano reflektovane bele svetlosti. Polarizovano reflektovana svetlost nastaje kada upadna bela svetlost u interakciji sa uzorkom, poprimi karakteristike polarizovane svetlosti. Polarizacija bele svetlosti zavisi od pravca prostiranja reflektovane svetlosti tj. od upadnog ugla. Posebna vrednost upadnog ugla pri kojoj se postiže ovaj efekat naziva se *Brusterov ugao*.

Svetlost je elektromagnetne prirode tj. sastoji se od dva spregnuta talasa, električnog i magnetnog, koji su međusobno upravni i koji se, pod određenim uslovima mogu razdvojiti (polarizovati). Kod linearno polarizovane svetlosti, polarizaciona ravan svetlosnog zraka se poklapa sa pravcem magnetnog vektora, koji je upravan na pravac prostiranja zraka. Svetlost se uglavnom polarizuje kada se reflektuje ili prelomi od/na graničnoj površini dva optička materijala različitog indeksa prelamanja. Posebno pri uglu koji se zove *Brusterov ugao*, polarizacija je linearna i reflektovani i prelomni zrak stoje pod pravim uglom (slika 5.4).



Slika 5.4. Prikaz refleksije svetlosti pod Brusterovim uglom (preuzeto iz [109])

Jednačina Brusterovog uslova glasi:

$$\Theta_B = \arctan \frac{n_2}{n_1} = \arctan \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \quad (28)$$

gde su n_2 i n_1 indeksi prelamanja prelomne i upadne sredine, dok su ϵ_2 i ϵ_1 njima odgovarajuće statičke permitivnosti. Prema pokazanoj jednačini (28), vrednost *Brusterovog ugla* zavisi od indeksa prelamanja sredina kroz koje se prostire svetlost. Tako je $\theta_B = 53^\circ$ za diopter vazduh-voda (n za vodu = 1,333) a $\theta_B = 57^\circ$ za diopter vazduh-staklo (n za staklo = 1,515).

Kako svetlost polarizovana pod Brusterovim uglom gubi značajan deo intenziteta magnetne komponente, to znači da, ako napravimo razliku odziva bele difuzne svetlosti (ravnomerna električna i magnetna komponenta) i reflektovane polarizovane svetlosti (prigušena magnetna komponenta) dobićemo izraženije magnetne oscilacije. Kako su magnetne i optičke osobine viskoelastičnih materijala najbliže konformacionim stanjima u biomaterijalima i uslovljene su prigušenjem upadne svetlosti od strane materijala, to je metoda nazvana *Opto-magnetnom imidžing spektroskopijom*.

5.2.2. Spektralna obrada slike

Uređaj koji se upotrebljava za realizaciju OMIS-a (slika 5.5) sastoji se iz standardnog digitalnog fotoparata prilagođenog sa odgovarajućim svetlosnim izvorom postavljenim pod Brusterovim uglom. Oblast na kojoj je moguće ostvariti snimanje (vidno polje) je kružnog oblika prečnika 25 mm.

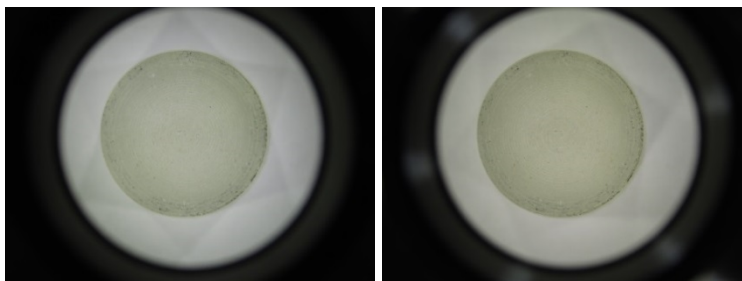


Slika 5.5. Uređaj za Opto-magnetnu imidžing spektroskopiju

Obradom digitalne slike moguće je sliku transformisati u histogram zasićenja koji prikazuje intenzitete piksela na skali od 0 do 255 tako da 0 odgovara nijansi minimalnog intenziteta dok 255 odgovara nijansi maksimalnog intenziteta. Histogramima se slika

prikazuje kao spektar kod koga je raspodela svih intenziteta prikazana na skali od 0 do 255. Kako svaka od komponenti potiče iz odgovarajućeg opsega talasnih dužina vidljivog dela spektra (plava svetlost odgovara opsegu od 400 – 500 nm, zelena opsegu od 520 – 565 nm a crvena opsegu od 625 -740 nm), to na osnovu 256 nijansi svake od komponenti (zabeleženih CCD senzorom fotoaparata) možemo organizovati spektralni zapis većeg dela vidljive svetlosti, u $256 \times 3 = 768$ nivoa. Na taj način digitalni zapis sadrži implicitnu informaciju o talasnim dužinama i intenzitetu difuzno i polarizovano reflektovane bele svetlosti.

U ovoj metodi koristimo sistem RGB boja, koji odgovara vizuelnoj percepciji ljudskog oka i koji se sastoji iz crvene, zelene i plave boje. Algoritam obrade slike i dobijene hromatske informacije su zasnovani, na dijagramu hromatičnosti, pod nazivom “Maksvelov trougao” i operaciji spektralne konvolucije u odnosu na plavi (B) i crveni kanal (R) u oznaci: (R-B)&(W-P). Oznaka predstavlja operaciju konvolucije plavih i crvenih kanala “polarizovanog odziva” i “difuznog odziva” (eng. R: red - crvena, B: blue - plava), čime se formira konvolucionni spektar nakon čega se iz razlike konvolucionih spektara reflektovane bele (W) i polarizovane svetlosti (B) dobijaju opto-magnetni konvolucionni spektri [109].



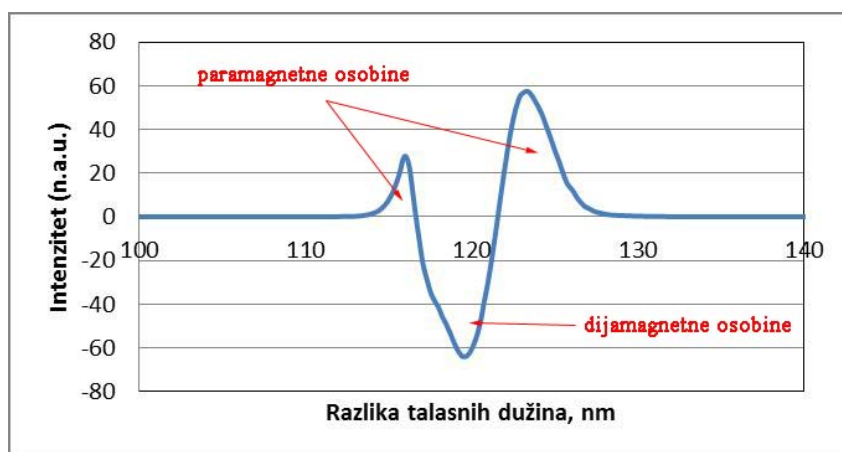
Slika 5.6. Digitalni snimak dobijen nakon osvetljavanja uzorka belom difuznom svetlošću (levo) i digitalni snimak dobijen nakon osvetljavanja uzorka belom difuznom svetlošću pod Brusterovim uglom (desno)

Postupak snimanja se sastoji iz :

1. Osvetljavanja uzorka belom difuznom svetlošću.
2. Akvizicije prvog digitalnog snimka.
3. Osvetljavanja uzorka belom difuznom svetlošću pod Brusterovim uglom.
4. Akvizicije drugog digitalnog snimka.

Nakon snimanja (koje traje 5-10 s po uzorku, za oba digitalna snimka) sledi postupak spektralne obrade slike koji se odvija u tri faze:

1. U prvoj fazi se iz snimaka izdvaja regija od interesa, na kojoj se sprovede sve dalje operacije. Potom se izdvojena regija razlaže na komponentne kanale: crveni (R-red), zeleni (G-green) i plavi (B-blue), iz kojih se dobijaju tri monohromatske slike koje predstavljaju raspodele intenziteta podoblasti vidljivog spektra koje se prikazuju u obliku histograma kod koga su nivoi intenziteta kodirani skalom talasnih dužina. [110]
2. U drugoj fazi se sprovodi konvolucija spektara u oblasti plavog i crvenog kanala nakon čega se formira razlika između odziva dobijenog belom svetlošću i polarizovanom svetlošću.
3. U trećoj fazi se vrši analiza spektara tako što se uzorci klasifikuju po intenzitetima i talasnim dužinama.



Slika 5.7. Konvolucioni spektar dobijen nakon formiranja razlike između odziva dobijenog belom svetlošću i polarizovanom svetlošću (primer: materijal NL/CONT0.003) i predstavlja odnos paramagnetizma/dijamagnetizma za različite vrednosti razlika talasnih dužina

Pored klasifikovanja uzoraka po intenzitetima i talasnim dužinama, konvolucioni spektar odnosno dobijeni dijagram daje i informacije o paramagnetnim i dijamagnetnim osobinama uzorka. Tako gornji deo dijagrama tj. površine pozitivnih pikova pokazuju paramagnetne osobine materijala, dok donji deo dijagrama tj. površine negativnih pikova pokazuju dijamagnetne osobine. Kada je površina pozitivnih pikova veća od površine negativnih pikova u pitanju su paramagnetna svojstva materijala i obrnuto.

Dijagram predstavlja usrednjeno dinamičko stanje (paramagnetno-dijamagnetno) materije u toku dobijanja deset snimaka (slika 5.7).

5.2.3. Hardversko rešenje uređaja za OMIS

Uređaj za snimanje OMIS-om u potpunosti je razvijen na Mašinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu, u laboratoriji *NanoLab*, pod rukovodstvom profesora Koruge, a koja je u sklopu modula za Biomedicinsko inženjerstvo. Glavne komponente uređaja su:

- Digitalni fotoaparati: proizvođač *Canon*, tip *Power Shot SD1000* (CCD senzor od 7.1MP, 3072 x 2304 pix, 5,75 x 4,31 mm, 0,25 cm²), sa pridruženim elementima za usklađivanje žižnih daljina senzora i sistema za uvećanje.
- Osvetljenje i napajanje: napajanje difuznog belog diodnog osvetljenja (1 svetlosna dioda) i sklopa za osvetljenje pod Brusterovim uglom (6 svetlosnih dioda postavljenih pod uglom od ~52° u odnosu na vertikalnu osu i sa međusobnim uglovnim razmakom u horizontalnoj ravni od 60°).
- Kućište: Digitalni aparat je smešten i pričvršćen na kućište sa odeljkom za postavljanje uzorka.

Vreme snimanja po jednom paru slika (difuzna-polarizovana) je, oko 5-10 sekundi a vreme obrade slike oko 5-6 sekundi, po uzorku, što znači za 10 pari slika je oko 120 sekundi za celokupan postupak. To je znatno kraće vreme u poređenju sa trajanjem snimanja istih uzoraka klasičnim uređajima.

5.3. Protokol istraživanja

5.3.1. Materijal

Za merenja su korišćeni materijali izrađeni u kompaniji Contamac u Engleskoj. Materijali su sintetisani dodavanjem različitih koncentracija fullerola (0,003%, 0,01% i 0,015%) u smešu monomera od kojih se dobija već postojeći komercijalni materijal pod nazivom Definitive 74. Nakon dodavanja fullerola izvršena je polimerizacija. Na taj način su dobijeni novi materijali koji su za potrebe ovih istraživanja dobili radni naziv NanoLens/Contamac ili skraćeno NL/CONT.



Slika 5.8. Uzorci materijala: NL/CONT0.003, NL/CONT0.01, NL/CONT0.015 i CONT (redom)

Nakon polimerizacije materijala dobiju se šipke koje se seku na cilindrične uzorke (dugmad) prečnika 12,8 mm i visine 5,2 mm. Za svaku vrstu spoljašnjeg uticaja su korišćeni različiti uzorci od svakog materijala. Materijali su označeni na sledeći način:

1. NL/CONT0.003
2. NL/CONT0.01
3. NL/CONT0.015
4. CONT (osnovni materijal, Definitive 74, dugme plave boje)

Tabela 5.1. Ukupan broj uzoraka koji su bili na raspolaganju na početku eksperimenta

| Materijal | Broj uzoraka |
|---------------|--------------|
| NL/CONT 0.003 | 15 |
| NL/CONT 0.01 | 7 |
| NL/CONT 0.015 | 7 |
| CONT | 3 |

Tabela 5.2. Broj uzoraka upotrebljen u eksperimentima

| Materijal | Bela difuzna svetlost | Polarizovana svetlost | UV lampa | Biološki faktor | Ukupno |
|---------------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------------|--------|
| NL/CONT 0.003 | 1 | 1 | 4 | 2 | 8 |
| NL/CONT 0.01 | 1 | 1 | 4 | 1 | 7 |
| NL/CONT 0.015 | 1 | 1 | 4 | 1 | 7 |
| CONT | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 |

5.3.2. Metoda

Merenja su vršena u laboratoriji NanoLab. Za eksperiment je korišćen uređaj JR-6A za merenje remanentne magnetizacije. Za merenja je korišćen beli kontejner (22 mm širine, 25 mm visine, zapremine 2 cm³) napravljen od poliacetala (specifične težine 1,42 g/cm³), prikazan na slici 5.8, sa oznakom 15. U kontejner je stavljena pluta kako bi se popunio prostor da bi dugme stabilno stajalo i da ne bi šetalo prilikom merenja. Pošto

kontejner sa kojim se rade merenja nije prazan, urađen je holder correction za kontejner sa plutom.

5.3.3. Uporedna merenja na JR-6A i OMIS

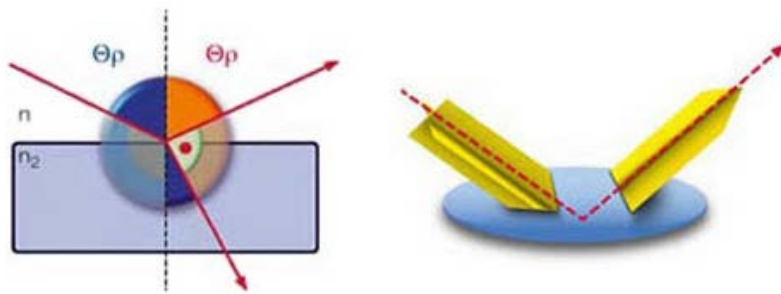
Merenja su podeljena na osnovu spoljašnjih uticaja kojima su uzorci bili izloženi: uticaj bele difuzne svetlosti (diode sa OMIS-a), uticaj linearno polarizovane svetlosti (BIOPTRON lampa) i kao studija slučaja uticaj biološkog faktora. Uporedo je korišćena i opto-magnetna imidžing spektroskopija za određivanje magnetnih svojstava materijala tj. za pokazivanje paramagnetnih ili dijamagnetnih svojstava ispitivanih materijala. Protokol ovog dela istraživanja je dat u Prilogu B.



Slika 5.9. Postavljanje uzorka u kontejner

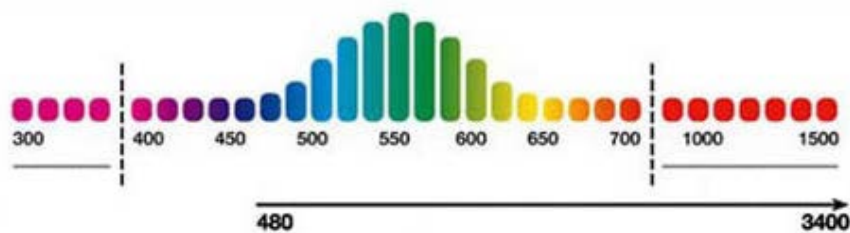
Bela difuzna svetlost je dobijena od LED dioda koje su postavljene na OMIS uređaju. Uzorak je stajao određeno vreme unutar crne kutije OMIS uređaja. Difuzna svetlost se javlja kao posledica odbijanja svetlosti na hrapavim površinama. Snop upadnih svetlosnih zraka pada paralelno na hrapavu površinu, dok se odbojni zraci prostiru u svim pravcima. Ova pojava takođe nastaje i u optičkim sredinama kao što su na primer zamućena voda, staklo ili vazduh.

Kao izvor polarizovane svetlosti upotrebljena je BIOPTRON lampa koja koristi polarizovanu svetlost tj. svetlost čiji talasi osciluju u paralelnim ravnima. Polarizacija se postiže uz pomoć Brusterovog sistema višeslojnih ogledala. Svetlost koju emituje BIOPTRON lampa dostiže stepen polarizacije do 95% (slika 5.10). U pitanju je zapravo halogena lampa snage 20 W i intenziteta osvetljenosti 40 mW/cm^2 na udaljenosti lampe 10 cm od tretiranog uzorka.



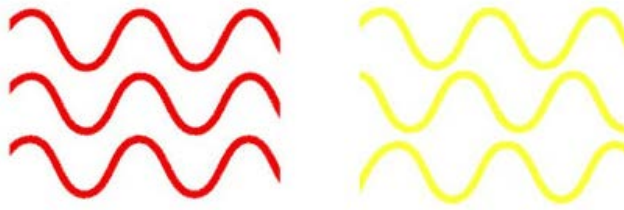
Slika 5.10. Polarizacija 95% emitovanog spektra (levo) i polarizacija refleksijom [Web4]

Svetlost koju emituje BIOPTRON lampa je polihromatska (slika 5.11) što znači da ne sadrži samo jednu talasnu dužinu (kao što je slučaj kod lasera) već širok opseg talasnih dužina. Ovaj opseg uključuje vidljivu svetlost i deo infracrvenog spektra talasnih dužina od 480 do 3400 nm. Očigledno je da ovaj opseg ne obuhvata ultraljubičasti deo elektromagnetnog spektra.



Slika 5.11. Opseg talasnih dužina koje obuhvata polihromatska svetlost BIOPTRON lampe [Web4]

Takođe, svetlost ove lampe je inkoherentna (slika 5.12) tj. van faze što znači da talasi nisu sinhronizovani, za razliku od svetlosti koju emituje laser koja je u fazi. BIOPTRON svetlost ima malu gustinu energije koja daje biostimulativne efekte i dozvoljava da svetlost stimuliše različite pozitivne biološke procese u telu. Ti pozitivni procesi se ogledaju u stimulisanju intracelularnih struktura i molekula koji su osetljivi na svetlost. BIOPTRON lampa ima primenu u zaceljivanju rana, otklanjanju bolova ili smanjenju intenziteta bola, kod poremećaja kože ili kod sezonskih poremećaja raspoloženja, što je i pokazano u brojnim naučnim radovima [112-116].



Slika 5.12. Koherentna svetlost lasera (levo) i inkoherentna svetlost BIOPTRON lampe (desno)
[Web4]

Uticaj biološkog faktora je zapravo bio uticaj jedne ženske osobe koja je držala uzorak u ruci određeno vreme tj. dejstvovao je preko kože. Ova vrsta uticaja je uzeta kao interesantan slučaj za dalja ispitivanja s obzirom na biomagnetizam odnosno mogućnost uticaja ljudskog organizma na magnetne osobine polimernih materijala. Rezultati i diskusija ove studije slučaja su dati u Prilogu A.

5.3.4. Merenja sa rastvorom fullerola

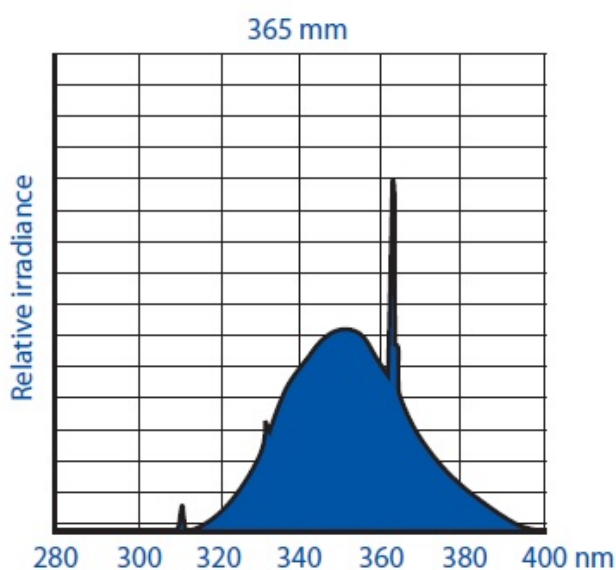
Pored navedenih merenja izvršeno je i ispitivanje uticaja rastvora fullerola na remanentnu magnetizaciju materijala. Merenja su izvršena na sobnoj temperaturi od 21,7 °C dok je vlažnost vazduha bila 40%. Za ovo merenje je uzeto potpuno novi uzorak od materijala sa najmanjom koncentracijom fullerola, sa oznakom NL/CONT 0.003.

Prvobitno je izvršeno pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije na uređaju JR-6A. Nakon toga je uzorak stavljen u papirnatu maramicu pa onda između dva magneta jačine 0,45 T. Uzorak je bio pod uticajem magneta 2 sata. Nakon toga je ponovo izvršeno pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije. Uzorak je nakon toga stavljen u rastvor fullerola (8%). Uzorak je u rastvoru stajao 24h.

Nakon 24h u rastvoru fullerola izvršeno je pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije pod istim uslovima kao i prethodnog dana. Uočeno je da je uzorak koji je stajao 24h u rastvoru fullerola nabubreo, što je bilo očekivano jer je materijal od koga je uzorak napravljen hidrofilan. Dimenzije uzorka su promenjene usled bubrenja, pa je uzorak isečen na dimenzije uzorka u suvom stanju. Izvršeno je pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije u cilju dobijanja srednjih vrednosti za relevantni materijal.

5.3.5. Merenja sa ultraljubičastim svetlom

Pored ispitivanja spoljašnjih uticaja kao što su biološki faktor, bela difuzna svetlost i polarizovana svetlost, odrađen je i set merenja pod uticajem ultraljubičaste svetlosti na jednom uzorku. Kao izvor ultraljubičastog zračenja upotrebljena je UV lampa Vilber Lourmat, Francuska sa oznakom VL-6.L. Lampa ima snagu od 6W, talasnu dužinu od 365 nm (što pripada UVA delu elektromagnetnog spektra) i intenzitet na 15 cm udaljenosti od $700 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (slika 5.13). Protokol dela istraživanja sa ultraljubičastim svetlom na jednom uzorku je dat u Prilogu C.



Slika 5.13. Spektralna karakteristika UV lampe

Nakon izvršenih merenja na jednom uzorku, došlo se do zaključka da bi trebalo proveriti da li različiti uzorci od istog materijala imaju iste ili različite vrednosti remanentne magnetizacije pre i posle uticaja. U ovom delu karakterizacije materijala upotrebljena su po tri uzorka od svakog nanofotoničnog materijala koji su bili izloženi UV zračenju. Uzorci su bili potpuno novi, tj. nisu korišćeni uzorci iz prethodnih merenja. Uzorci su označeni na sledeći način: NL/CONT0.003_1, NL/CONT0.003_2, NL/CONT0.003_3, NL/CONT0.01_1, NL/CONT0.01_2, NL/CONT0.01_3, NL/CONT0.015_1, NL/CONT0.015_2 i NL/CONT0.015_3. Protokol dela istraživanja sa ultraljubičastim svetlom na tri uzorka od istog materijala je dat u Prilogu D.

6. REZULTATI I DISKUSIJA

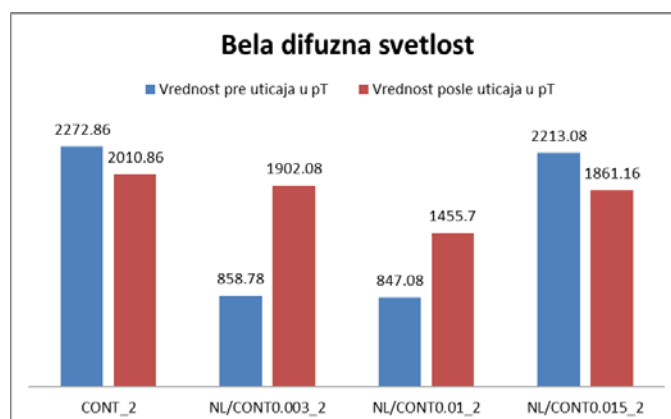
6.1. Uporedna merenja na JR-6A i OMIS

6.1.1. JR-6A rezultati

Pod uticaje bele difuzne svetlosti došlo je do promene stanja valentnih elektrona tj. do njihovog pobuđivanja što je zaključeno na osnovu promene vrednosti remanentne magnetizacije. Vrednosti remanentne magnetizacije osnovnog materijala CONT i materijala sa najvećom koncentracijom fullerola NL/CONT0.015 su gotovo iste pre uticaja (tabela 6.1). Nakon uticaja je došlo do blagog smanjenja vrednosti kod oba uzorka i to kod materijala CONT sa 2272,86 pT na 2010,86 pT a kod materijala NL/CONT0.015 sa 2213,08 pT na 1861,16 pT.

Tabela 6.1. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti

| Bela difuzna svetlost | Vrednost pre uticaja, pT | Vrednost posle uticaja, pT |
|-----------------------|--------------------------|----------------------------|
| CONT_2 | 2272,86 | 2010,86 |
| NL/CONT0.003_2 | 858,78 | 1902,08 |
| NL/CONT0.01_2 | 847,08 | 1455,7 |
| NL/CONT0.015_2 | 2213,08 | 1861,16 |



Slika 6.1. Uporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti

Materijali NL/CONT0.003 i NL/CONT0.01 pokazuju približno istu vrednosti remanentne magnetizacije pre uticaja bele difuzne svetlosti. Nakon uticaja dolazi do

povećanja vrednosti remanentne magnetizacije kod oba uzorka i to kod materijala sa 0,003% fullerola sa 858,78 pT na 1902,08 pT, a kod materijala sa 0,01% sa 847,08 pT na 1455,7 pT.

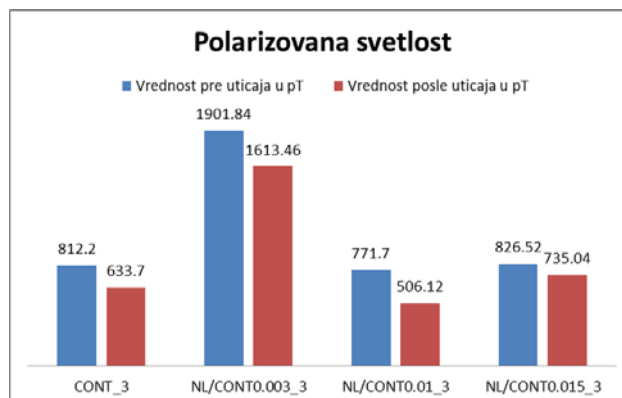
Očigledno je kod osnovnog materijala i kod materijala sa najvećom koncentracijom fullerola došlo do takvog uređenja materijala koji u interakciji sa belom difuznom svetlošću smanjuje remanentnu magnetizaciju nakon uticaja kod oba uzorka. To ukazuje da i dalje nema nesparenih elektrona u konfiguraciji materijala tj. da bela difuzna svetlost nije značajno poremetila ove uzorke. Ovi uzorci su ostali pretežno dijamagnetični.

Drugačiji je slučaj kod materijala sa 0,003% i 0,01% fullerola gde je bela difuzna svetlost očigledno uticala na pojavu nesparenih elektrona odnosno na povećanje remanentne magnetizacije i na pospešivanje paramagnetnih svojstava materijala. Uporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti prikazan je na slici 6.1

Tabela 6.2. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja polarizovane svetlosti

| Polarizovana svetlost | Vrednost pre uticaja, pT | Vrednost posle uticaja, pT |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| CONT_3 | 812,2 | 633,7 |
| NL/CONT0.003_3 | 1901,84 | 1613,46 |
| NL/CONT0.01_3 | 771,7 | 506,12 |
| NL/CONT0.015_3 | 826,52 | 735,04 |

Pod uticajem polarizovane svetlosti uočljivo je da je došlo do stabilizacije konformacionih stanja što opravdava dobar uticaj Bioptron lampe. Svi materijali pokazuju smanjenje vrednosti remanentne magnetizacije u odnosu na vrednosti pre uticaja (tabela 6.2). Kod standardnog materijala CONT vrednost je smanjena sa 812,2 pT na 633,7 pT, dok je kod materijala sa najmanjom koncentracijom fullerola NL/CONT0.003 smanjena sa 1901,84 pT na 1613,46 pT. Nešto veće smanjenje je zabeleženo kod materijala NL/CONT0.01 i to sa 771,7 pT na 506,12 pT, dok je vrednost remanentne magnetizacije za materijal sa najvećom koncentracijom fullerola NL/CONT0.015 smanjena sa 826,52 pT na 735,04 pT.



Slika 6.2. Uporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja polarizovane svetlosti

Smanjenje vrednosti remanentne magnetizacije može se pripisati pozitivnom uticaju polarizovane svetlosti na konformaciona stanja materije. Navedeno je u potpoglavlju 5.3.2. da BIOPTRON lampa ima pozitivan uticaj na tkiva upravo zbog nekoherentne, polihromatske i polarizovane svetlosti. U tom smislu u materijalima koji su ispitivani u ovim eksperimentima je nakon uticaja polarizovane svetlosti došlo do stabilizacije konformacionih stanja materijala, tj. do sparivanja nesparenih elektrona. Sparivanjem elektrona se smanjuje vrednost remanentne magnetizacije tj. pojačavaju se dijamagnetna svojstva materijala. Uporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja polarizovane svetlosti dat je na slici 6.2.

U istraživanjima pokazanim u [14] pokazano je da tanki filmovi fullerena poseduju sopstveno magnetno polje zahvaljujući "strujama" koje prolaze kroz petougao i šestougao i prirodnoj rotaciji molekula C₆₀. Pojačan intenzitet magnetnog polja ukazuje na to da tanak film fullerena povećava intenzitet magnetnog polja u prisustvu polarizovane svetlosti i spoljašnjeg magnetnog polja. U skladu sa tim, merenja remanentne magnetizacije, takođe dokazuju sposobnost fullerola da "sakuplja" nesparene elektrone [70, 71] i da indukuje promenu u namagnetisanju materijala.

Određivanjem remanentne magnetizacije dobijamo uvid u magnetne osobine celokupne zapremine materijala. Na osnovu rezultata se može zaključiti da različiti uzorci od istog materijala nemaju iste vrednosti remanentne magnetizacije što može da ukazuje na nehomogenost samih materijala. Ovom metodom su određene magnetne osobine svih uzoraka, i određeno je kako spoljašnja magnetna polja menjaju paramagnetna i dijamagnetna svojstva materijala.

6.1.2. OMIS rezultati

Uporedo sa merenjima na uređaju JR-6A urađena je i karakterizacija materijala OMIS metodom. Problem kod ovog dela istraživanja je bio što su uzorci osnovnog materijala (CONT) bili plave boje, za razliku od uzoraka nanofotoničnih materijala koji su bili bele boje. OMIS metoda je osetljiva na boje pa iz tog razloga ti materijali nisu ni slikani. Dijagrami dobijeni za plave uzorke osnovnog materijala nisu relevantan i pouzdan rezultat, što je nedostatak svih spektroskopskih metoda.

Očigledno je da svi nanofotonični materijali nisu pokazali velike promene pre i posle izlaganja spoljašnjim uticajima. Uzorci uglavnom pokazuju promene intenziteta pikova dok su talasne dužine uglavnom nepromenjene. Najveće promene se javljaju kod materijala sa najvećom koncentracijom fullerola NL/CONT0.015, a odnosi površina pozitivnih i negativnih pikova pokazuju da materijali imaju dijamagnetna svojstva.

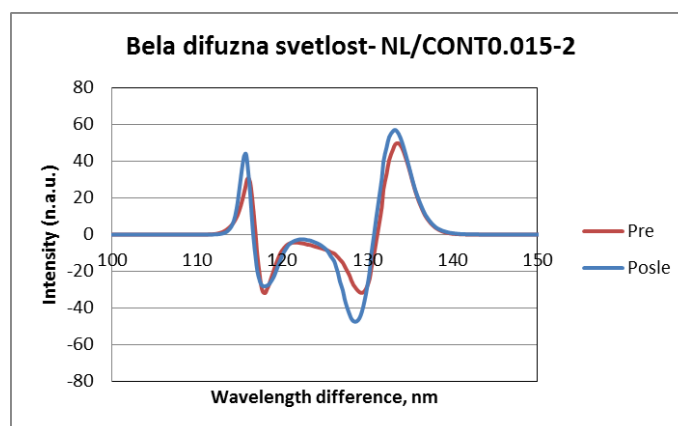
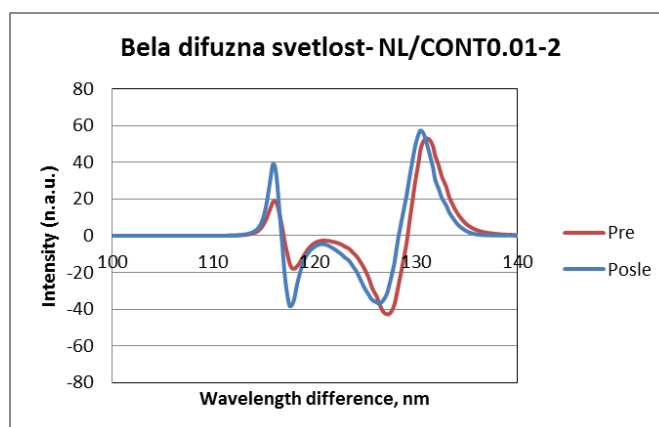
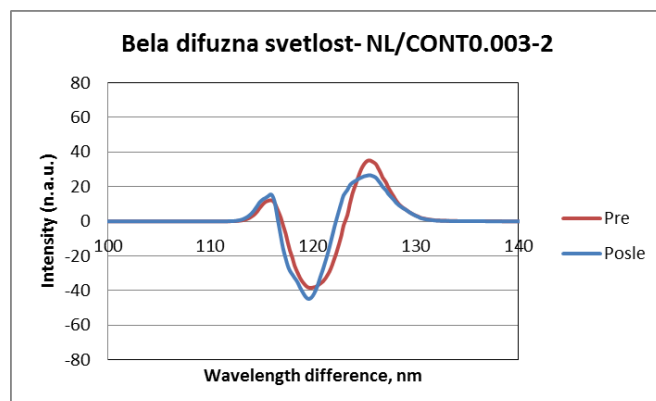
Tabela 6.3. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.003 pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti

| NL/CONT 0.003_pre | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | NL/CONT 0.003_posle | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|-------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 119,9 | -38,20 | Pik 1- | 119,5 | -44,66 |
| Pik 1+ | 115,5 | 11,72 | Pik 1+ | 115,5 | 14,16 |
| Pik 2+ | 125,5 | 35,21 | Pik 2+ | 124,9 | 26,03 |

Kada su uzorci bili pod uticajem bele difuzne svetlosti kod materijala NL/CONT0.003 imamo gotovo istu karakteristiku pre i posle uticaja, gde su talasne dužine nepromenjene (slika 6.3). Negativni pik se nalazi na talasnoj dužini od 119,9 nm, prvi pozitivni pik je na talasnoj dužini od 115,5 nm dok je drugi pozitivni pik na talasnoj dužini od oko 125 nm. Intenziteti pikova su promenjeni nakon uticaja s tim što je najveće smanjenje intenziteta uočljivo na drugom pozitivnom piku. Pre uticaja intenzitet tog pika je bio 35,21 n.a.u. a nakon uticaja 26,03 n.a.u.. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.003 pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti date su u tabeli 6.3. Odnos površina pozitivnih i negativnih pikova za slučaj pre uticaja iznosi 0,90, dok u slučaju posle uticaja iznosi 0,89. Očigledno je neznatno smanjenje odnosa površina, što ukazuje na to da bela difuzna svetlost nije u značajnoj meri promenila magnetne osobine materijala (tabela 6.9).

Tabela 6.4. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.01 pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti

| NL/CONT 0.01_pre | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | NL/CONT 0.01_posle | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 117,7 | -17,53 | Pik 1- | 117,5 | -38,25 |
| Pik 2- | 127,1 | -42,73 | Pik 2- | 126,1 | -36,22 |
| Pik 1+ | 115,9 | 18,3 | Pik 1+ | 115,9 | 38,92 |
| Pik 2+ | 131,1 | 53,03 | Pik 2+ | 130,3 | 55,46 |



Slika 6.3. Dijagrami razlike talasnih dužina (nm) i intenziteta (n.a.u.) za sva tri materijala pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti

Kod materijala NL/CONT0.01 imamo istu karakteristiku pre i posle uticaja. Talasne dužine su gotovo nepromenjene, dok su intenziteti prvog negativnog i prvog pozitivnog pika sa najvećim promenama (slika 6.3). Talasne dužine prvog i drugog negativnog pika su 117 nm i 127 nm, respektivno. Talasne dužine prvog i drugog pozitivnog pika su 115,9 nm i oko 131 nm, respektivno. Tako je intenzitet prvog negativnog pika pre uticaja bio -17,53 n.a.u. a nakon uticaja je iznosio -38,25 n.a.u.. Intenzitet prvog pozitivnog pika je iznosio pre uticaja 18,3 n.a.u. a nakon uticaja 38,92 n.a.u.. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.01 pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti date su u tabeli 6.4.

Kod materijala NL/CONT0.015 imamo istu karakteristiku pre i posle uticaja, gde su talasne dužine pikova iste, a najveće promene intenziteta su uočljive kod drugog negativnog pika (slika 6.3). Talasne dužine prvog i drugog negativnog pika su 117,7 nm i oko 129 nm, respektivno. A talasne dužine prvog i drugog pozitivnog pika su 115 nm i 133 nm, respektivno. Intenzitet drugog negativnog pika pre uticaja je iznosio -31,74 n.a.u., a nakon uticaja -47,35 n.a.u.. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.015 pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti date su u tabeli 6.5. Odnos površina pozitivnih i negativnih pikova za slučaj pre uticaja iznosi 0,74, dok u slučaju posle uticaja iznosi 0,75. Očigledno je neznatno povećanje odnosa površina, ali kao i kod prethodnih uzoraka materijal pokazuje dijamagnetna svojstva. U slučaju merenja pod uticajem bele difuzne svetlosti, odnosi površina pozitivnih i negativnih pikova su neznatno promenjeni pre i posle uticaja. Smanjenje odnosa površina je uočljivo jedino u slučaju materijala NL/CONT0.003 (tabela 6.9).

Tabela 6.5. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.015 pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti

| NL/CONT 0.015_pre | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | NL/CONT 0.015_posle | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|-------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 117,7 | -31,21 | Pik 1- | 117,7 | -28,06 |
| Pik 2- | 129,4 | -31,74 | Pik 2- | 128,7 | -47,35 |
| Pik 1+ | 115,9 | 29,98 | Pik 1+ | 115,5 | 43,03 |
| Pik 2+ | 133,3 | 49,3 | Pik 2+ | 133,0 | 56,36 |

Odnos površina pozitivnih i negativnih pikova za slučaj pre uticaja iznosi 0,87, dok u slučaju posle uticaja iznosi 0,88. Očigledno je neznatno povećanje odnosa površina, ali materijali imaju prevlađujuća dijamagnetna svojstva (tabela 6.9).

U fazi merenja kod koje su uzorci materijala bili pod uticajem polarizovane svetlosti kod materijala NL/CONT0.003 imamo istu karakteristiku pre i posle uticaja, sa istim talasnim dužinama pikova i blagim smanjenjem intenziteta pikova (slika 6.4). Talasna dužina negativnog pika je 118 nm, dok su talasne dužine prvog i drugog pozitivnog pika oko 115 nm i 122,2 nm, respektivno. Najveće smanjenje intenziteta pika zabeleženo je na prvom pozitivnom piku gde je pre uticaja intenzitet iznosio 54,27 n.a.u. a nakon uticaja 44,13 n.a.u.. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.003 pre i posle uticaja polarizovane svetlosti date su u tabeli 6.6.

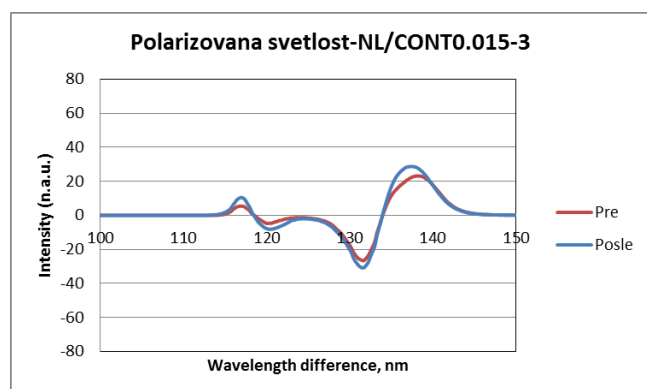
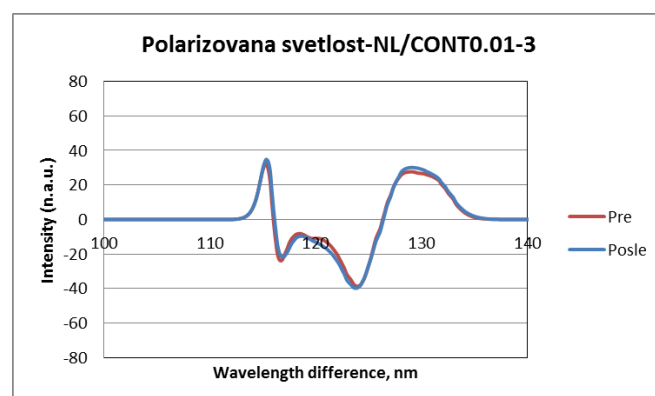
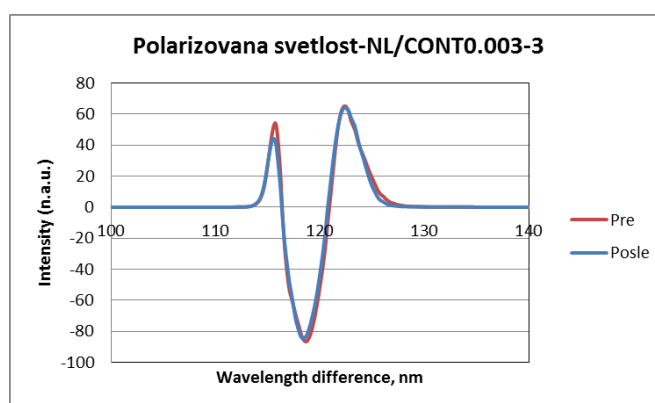
Tabela 6.6. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.003 pre i posle uticaja polarizovane svetlosti

| NL/CONT 0.003_pre | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | NL/CONT 0.003_posle | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|-------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 118,7 | -86,58 | Pik 1- | 118,5 | -84,75 |
| Pik 1+ | 115,7 | 54,27 | Pik 1+ | 115,5 | 44,13 |
| Pik 2+ | 122,2 | 64,64 | Pik 2+ | 122,2 | 63,56 |

Kod materijala NL/CONT0.01 imamo istu karakteristiku pre i posle uticaja, gde su talasne dužine prvog negativnog i drugog pozitivnog pika smanjene, a intenziteti svih pikova su vrlo malo povećani (slika 6.4). Talasne dužine prvog i drugog negativnog pika su 116,6 nm i 123,8 nm, respektivno. Prvi i drugi pozitivni pik imaju talasne dužine od 115 nm i 129,1 nm, respektivno. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.01 pre i posle uticaja polarizovane svetlosti date su u tabeli 6.7. Odnos površina pozitivnih i negativnih pikova za slučaj pre uticaja iznosi 0,79, dok u slučaju posle uticaja iznosi 0,74. Očigledno je smanjenje odnosa površina, ali materijal i dalje ima prevashodno dijamagnetna svojstva, kao što je slučaj i kod svih ostalih materijala (tabela 6.9).

Tabela 6.7. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.01 pre i posle uticaja polarizovane svetlosti

| NL/CONT 0.01_pre | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | NL/CONT 0.01_posle | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 116,6 | -23,63 | Pik 1- | 116,6 | -20,18 |
| Pik 2- | 123,8 | -38,49 | Pik 2- | 123,8 | -39,72 |
| Pik 1+ | 115,1 | 30,8 | Pik 1+ | 115,3 | 34,78 |
| Pik 2+ | 129,1 | 27,69 | Pik 2+ | 129,1 | 30,17 |



Slika 6.4. Dijagrami razlike talasnih dužina (nm) i intenziteta (n.a.u.) za sva tri materijala pre i posle uticaja polarizovane svetlosti

Kod materijala NL/CONT 0.015 imamo istu karakteristiku pre i posle uticaja. Talasne dužine su nepromenjene, dok su intenziteti pikova neznatno povećani kod svih pikova (slika 6.4). Tako se prvi i drugi negativni pikovi nalaze na 120 nm i 131 nm, respektivno, dok se prvi i drugi pozitivni pikovi nalaze na 116 nm i oko 138 nm, respektivno. Najveće povećanje intenziteta se javlja kod drugog pozitivnog pika, gde je pre uticaja intenzitet bio 23,13 n.a.u., a nakon uticaja 28,69 n.a.u.. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.015 pre i posle uticaja polarizovane svetlosti date su u tabeli 6.8. Odnosi površina pozitivnih i negativnih pikova za slučaj pre i posle uticaja je isti i iznosi 0,91. Očigledno je odnos površina nepromenjen, što ukazuje na to da polarizovana svetlost nije uticaja na promene magnetnih svojstava materijala sa najmanjom koncentracijom fullerola. I u ovom slučaju materijal pokazuje dijamagnetna svojstva (tabela 6.9).

Tabela 6.8. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.015 pre i posle uticaja polarizovane svetlosti

| NL/CONT 0.015_pre | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | NL/CONT 0.015_posle | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|-------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 120,5 | -4,56 | Pik 1- | 120,0 | -7,65 |
| Pik 2- | 131,4 | -26,13 | Pik 2- | 131,7 | -30,84 |
| Pik 1+ | 116,9 | 5,52 | Pik 1+ | 116,9 | 10,43 |
| Pik 2+ | 138,4 | 23,13 | Pik 2+ | 137,2 | 28,69 |

Odnos površina pozitivnih i negativnih pikova za slučaj pre uticaja iznosi 0,93, dok u slučaju posle uticaja iznosi 0,92. Očigledno je neznatno smanjenje odnosa površina, ali materijal ima prevashodno dijamagnetna svojstva (tabela 6.9).

Očigledno je da materijal NL/CONT0.003 ima karakteristiku sa tri pika, dva pozitivna i jednim negativnim. Negativni pik se nalazi na talasnoj dužini od oko 119 nm u svim slučajevima. Prvi pozitivni pik je na oko 116 nm, dok je drugi pozitivni između 122 nm i 125 nm. Do promena talasnih dužina nakon svih uticaja nije došlo, ali postoje razlike u intenzitetima, kako za tri uzorka pre uticaja tako i za svaki uzorak ponaosob nakon uticaja. Najmanje promena u intenzitetima ima nakon uticaja polarizovane svetlosti.

Materijal NL/CONT0.01 ima karakteristiku sa četiri pika, dva pozitivna i dva negativna. Prvi negativni se nalazi na oko 117 nm, drugi negativni između 124 nm i 127 nm, prvi pozitivni između 115 nm i 118 nm, a drugi pozitivni na oko 130 nm. Do promena talasnih dužina nakon svih uticaja nije došlo, ali postoje razlike u intenzitetima, kako za tri uzorka pre uticaja tako i za svaki uzorak ponaosob nakon uticaja. Najmanje promena u intenzitetima ima nakon uticaja polarizovane svetlosti, a najveće promene se javljaju nakon uticaja bele difuzne svetlosti. Kod drugog pozitivnog pika gotovo da nema promena ni u intenzitetima nakon uticaja.

Materijal NL/CONT0.015 kao i prethodni materijal ima isto karakteristiku od četiri pika, dva pozitivna i dva negativna. Za razliku od prethodnih slučajeva kod ovog materijala je došlo do blagih promena u talasnim dužinama pikova. Pa se tako pre uticaja prvi negativni pik nalazi između 117 nm i 120 nm, a drugi negativni pik između 129 nm i 135 nm. Prvi pozitivni pik se nalazi između 116 nm i 121 nm, dok se drugi pozitivni pik nalazi između 133 nm i 139 nm.

Kod svih materijala se javljaju prvi negativni pik i prvi i drugi pozitivni pik, što može da bude potvrda prisustva fulerola u polimeru. Drugi negativni pik je specifičan za materijale NL/CONT0.01 i NL/CONT0.015, što može da bude potvrda veće koncentracije fulerola. A pošto su ove dve koncentracije sa malom razlikom tako je i ponašanje ovih materijala nakon uticaja slično, što samo potvrđuje neveliku razliku u koncentracijama fulerola u polimerima.

Tabela 6.9. Odnosi površina pozitivnih i negativnih pikova za sve materijale u svim merenjima

| | Bela difuzna svetlost | | Polarizovana svetlost | |
|----------------------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|
| | Pre | Posle | Pre | Posle |
| NL/CONT 0.003 | 0,90 | 0,89 | 0,93 | 0,92 |
| NL/CONT 0.01 | 0,87 | 0,88 | 0,79 | 0,74 |
| NL/CONT 0.015 | 0,74 | 0,75 | 0,91 | 0,91 |

Karakteristični drugi negativni pik pre uticaja kod materijala NL/CONT0.01 se nalazi na 126,6 nm, 127,1 nm i 123,8 nm (redom za tri uzorka od istog materijala), dok su talasne dužine ovog pika kod materijala NL/CONT0.015 na 135,2 nm, 129,4 nm i

131,4 nm (redom za tri uzorka o istog materijala). Očigledno je da veća koncentracija daje i veću talasnu dužinu ovog pika. Kod materijala NL/CONT0.01 se talasna dužina drugog negativnog pika gotovo nije promenila nakon uticaja. Pod uticajem bele difuzne svetlosti talasna dužina ovog pika je smanjena na 128,7 nm, dok posle uticaja polarizovane svetlosti nije došlo do promene talasne dužine. Intenziteti ovog pika kod oba materijala su približni pre uticaja, gde je kod materijala NL/CONT0.015 intenzitet nešto manji. Nakon bele difuzne svetlosti je smanjen sa -42,73 n.a.u. na -36,22 n.a.u., a nakon polarizovane svetlosti je blago povećan sa -38,49 n.a.u. na -39,72 n.a.u.. Kod materijala NL/CONT0.015 intenzitet ovog pika je posle bele difuzne svetlosti je povećan sa -31,74 n.a.u. na -47,35 n.a.u., dok je nakon polarizovane svetlosti takođe povećan sa -26,13 n.a.u. na -30,84 n.a.u..

Na osnovu odnosa površina pozitivnih i negativnih pikova pokazuje se da svi materijali imaju pretežno dijamagnetna svojstva uz prisustvo paramagnetnih svojstava. Elektroni u materijalu generalno cirkulišu po orbitalama sa nula otpornosti i ponašaju se ako petlje koje provode struju. Zbog toga efekat dijamagnetizma može da bude vrlo čest jer bilo koje magnetno polje može da generiše struju kroz te petlje koja će da se suprotstavi promeni. Međutim, pošto naelektrisanje protona čvrsto drži elektrone u orbitali (Kulonova sila) a istovremeno ih sputava i Paulijev princip isključenja, mnogi materijali pokazuju dijamagnetna svojstva, ali najčešće slabo reaguju na primenjeno magnetno polje. U tom smislu Opto-magnetna imidžing spektroskopija je dokazala dijamagnetna svojstva nanofotoničnih materijala.

U ranijim istraživanjima [43, 44] u kojima su opto-magnetnom imidžing spektroskopijom ispitivani materijali za meka i tvrda kontaktna sočiva, zaključeno je da konformaciona stanja materijala određuju njihove paramagnetne i dijamagnetne osobine i da se one mogu odrediti ovom metodom. Različite koncentracije fullerola u polimeru utiču na paramagnetne i dijamagnetne osobine materijala, što je i pokazano u navedenim rezultatima. Iako preovlađuju dijamagnetna svojstva, fullerol kao skupljač nesparenih elektrona čini da dođe do promena paramagnetnih i dijamagnetnih doprinosa [101].

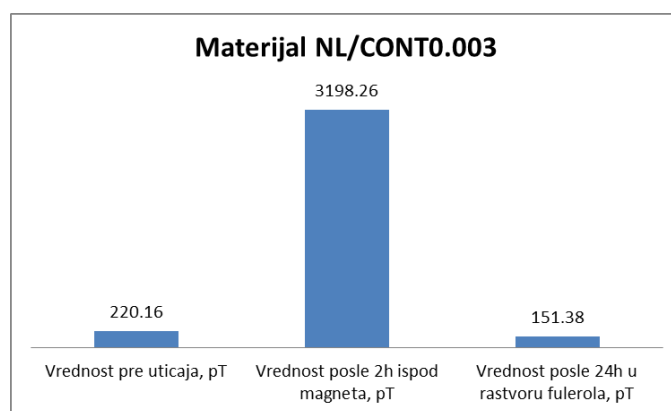
6.2. Merenja sa rastvorom fullerola

Kako je navedeno u protokolu eksperimenta merenja remanentne magnetizacije su izvršena prvo na uzorku pre uticaja, pa nakon dva sata provedenog ispod magneta tj. nakon magnetizacije uzorka i treće merenje je izvršeno nakon što je uzorak stajao 24 sata u rastvoru fullerola. Cilj ovih merenja je bilo da se sagleda kako i da li rastvor fullerola utiče na magnetna svojstva materijala.

Pokazano je da se vrednost remanentne magnetizacije uzorka sa najmanjom koncentracijom fullerola NL/CONT0.003 znatno povećala nakon uticaja magneta. Tako je srednja vrednost remanentne magnetizacije na početku iznosila 220,16 pT a nakon 2 sata ispod magneta se povećala na 3198,26 pT. Vrednosti remanentne magnetizacije uzorka NL/CONT0.003 pre uticaja, posle dva sata ispod magneta i posle 24 sata u rastvoru fullerola prikazane su u tabeli 6.10.

Tabela 6.10. Vrednosti remanentne magnetizacije uzorka NL/CONT0.003 pre uticaja, posle dva sata ispod magneta i posle 24 sata u rastvoru fullerola

| Materijal | Vrednost pre uticaja, pT | Vrednost neposredno posle 2h uticaja magneta, pT | Vrednost posle 24h u rastvoru fullerola, pT |
|-------------------------|--------------------------|--|---|
| NL/CONT0.003-1 | 228,8 | 3207,8 | 156,1 |
| NL/CONT0.003-2 | 219,2 | 3197,8 | 151,9 |
| NL/CONT0.003-3 | 217,5 | 3199 | 150,1 |
| NL/CONT0.003-4 | 219,4 | 3196,5 | 149,9 |
| NL/CONT0.003-5 | 215,9 | 3190,2 | 148,9 |
| Srednja vrednost | 220,16 | 3198,26 | 151,38 |



Slika 6.5. Uporedni prikaz vrednosti remanentne magnetizacije uzorka NL/CONT0.003 pre uticaja, posle dva sata ispod magneta i posle 24 sata u rastvoru fullerola

Pošto je uzorak stajao 24 sata u rastvoru fullerola vrednost remanentne magnetizacije je smanjena sa prethodnih 3198,26 pT na 151,38 pT, što je i manje od vrednosti prvog merenja. Smanjenje vrednosti remanentne magnetizacije ukazuje na to da fullerol hvata nesparene elektrone nastale nakon magnetizacije materijala. Dobijeni rezultat predstavlja konkretnu potvrdu da se fullerol ponaša kao "hvatač" slobodnih radikala tj. naelektrisanih čestica, što ukazuje na njegove pozitivne uticaje [65, 70, 71]. Ovo je značajan doprinos dosadašnjim istraživanjima s obzirom da se radi o materijalima za kontaktna sočiva koja su u dodiru sa okom.

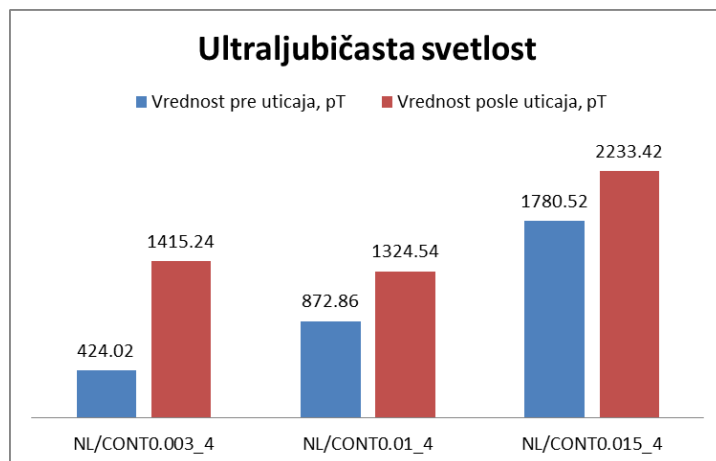
Takođe primena fullerola može biti i šira jer ovaj nanomaterijal ima antikancerogena svojstva, na koži inicira proizvodnju ćelija fibroblasta [72], a može da ima i primenu u prenošenju lekovitih supstanci kroz očnu ili krvno moždanu membranu [78]. Smanjenje remanentne magnetizacije ukazuje na to da preovlađuju dijamagnetna svojstva, što je i pokazano u ranijem istraživanju uticaja fullerola na vodu [101].

6.3. Merenja sa ultraljubičastim svetlom na izabranom uzorku

U ovoj fazi uzorci su bili izloženi ultraljubičastoj svetlosti, međutim nedostatak je što se u ovoj fazi merenja nije raspolagalo sa još jednim uzorkom osnovnog materijala CONT kako bi se dobila vrednost tog referentnog materijala. Uočljivo je da su se vrednosti remanentne magnetizacije kod svih uzoraka povećale u odnosu na vrednosti pre uticaja (tabela 6.11 i slika 6.6). Najveće povećanje je zabeleženo kod materijala sa najmanjom koncentracijom fullerola NL/CONT0.003 i to sa 424,02 pT na 1415,24 pT, pa je redom povećanje vrednosti bilo sve manje sa porastom koncentracije fullerola. Tako je kod materijala NL/CONT0.01 vrednost povećana sa 872,86 pT na 1324,54 pT, a kod materijala NL/CONT0.015 vrednost je povećana sa 1780,52 pT na 2233,42 pT.

Tabela 6.11. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

| Ultraljubičasta svetlost | Vrednost pre uticaja, pT | Vrednost posle uticaja, pT |
|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| NL/CONT0.003_4 | 424,02 | 1415,24 |
| NL/CONT0.01_4 | 872,86 | 1324,54 |
| NL/CONT0.015_4 | 1780,52 | 2233,42 |



Slika 6.6. Uporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

Ultraljubičastom delu elektromagnetnog spektra, koji ima malu talasnu dužinu, ali veliku energiju, odgovara elektronska energija u opsegu od 10^5 do 10^6 kJ/mol. Ultraljubičasto zračenje podstiče valentne elektrone da naprave prelaz između elektronskih energetske nivoa, tj. da pređu u pobuđeno stanje. Takvo stanje u kome se elektroni nalaze nije stabilno pa elektroni teže da se vrate u osnovno, stabilno stanje [40, 41]. Upravo to je objašnjenje zašto je došlo do povećanja vrednosti remanentne magnetizacije nakon uticaja UV svetlosti. Valentni elektroni daju veću vrednost remanentne magnetizacije tj. pojačavaju paramagnetna svojstva materijala. Dobijeni rezultat predstavlja potvrdu o štetnom uticaju ultraljubičaste svetlosti, međutim predstavlja i inovaciju s obzirom da merenja remanentne magnetizacije materijala pre i nakon uticaja UV svetlosti nisu poznata u literaturi.

6.4. Merenja sa UV lampom sa tri uzorka od istog materijala

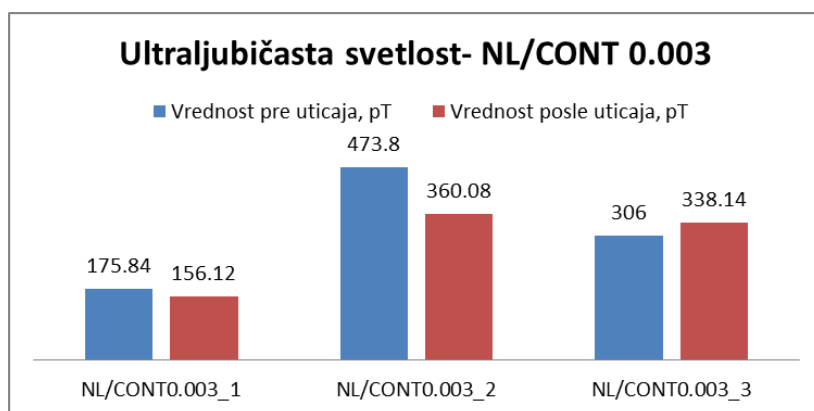
6.4.1. JR-6A rezultati

Merenja remanentne magnetizacije pre i nakon uticaja ultraljubičaste svetlosti su ponovljena ali ovoga puta na po tri uzorka od svakog materijala. Kod ovih merenja je pokazano da vrednosti remanentne magnetizacije pre uticaja za tri uzorka od istog materijala nisu iste. Pretpostavlja se da je razlog tome što materijal nije homogen nakon dodavanja fullerola u polimernu smešu.

Tabela 6.12. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

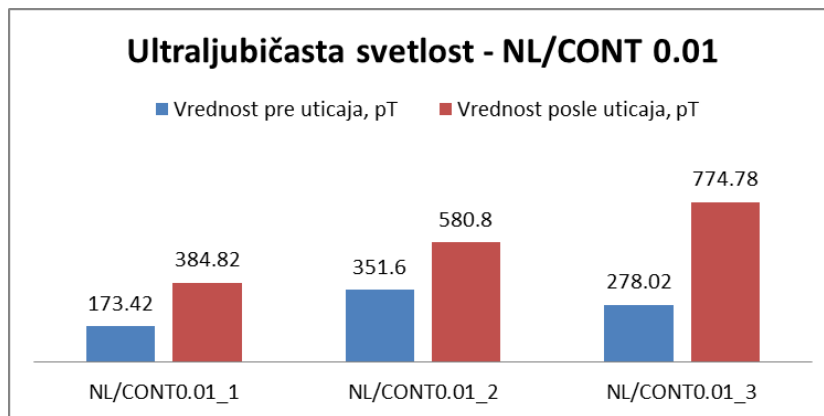
| Ultraljubičasta svetlost | Vrednost pre uticaja, pT | Vrednost posle uticaja, pT |
|--------------------------|--------------------------|----------------------------|
| NL/CONT0.003_1 | 175,84 | 156,12 |
| NL/CONT0.003_2 | 473,8 | 360,08 |
| NL/CONT0.003_3 | 306 | 338,14 |
| NL/CONT0.01_1 | 173,42 | 384,82 |
| NL/CONT0.01_2 | 351,6 | 580,8 |
| NL/CONT0.01_3 | 278,02 | 774,78 |
| NL/CONT0.015_1 | 385,74 | 212,38 |
| NL/CONT0.015_2 | 758,9 | 377,96 |
| NL/CONT0.015_3 | 303,9 | 130,34 |

Tako su vrednosti remanentne magnetizacije uzoraka od materijala sa najmanjom koncentracijom fullerola NL/CONT0.003 (slika 6.7) pre uticaja 175,84 pT za prvi uzorak, 473,8 pT za drugi uzorak i 306 pT za treći uzorak. Nakon uticaja ultraljubičaste svetlosti vrednosti su se promenile tako što su se kod uzoraka jedan i dva smanjile na 156,12 pT i 360,08 pT, redom. Kod trećeg uzorka se vrednost remanentne magnetizacije blago povećala na 338,14 pT. Promene su ovoga puta daleko manje nego u slučaju koji je predstavljen u prethodnom poglavlju, gde je vrednost remanentne magnetizacije povećana čak tri puta. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti date su u tabeli 6.12.

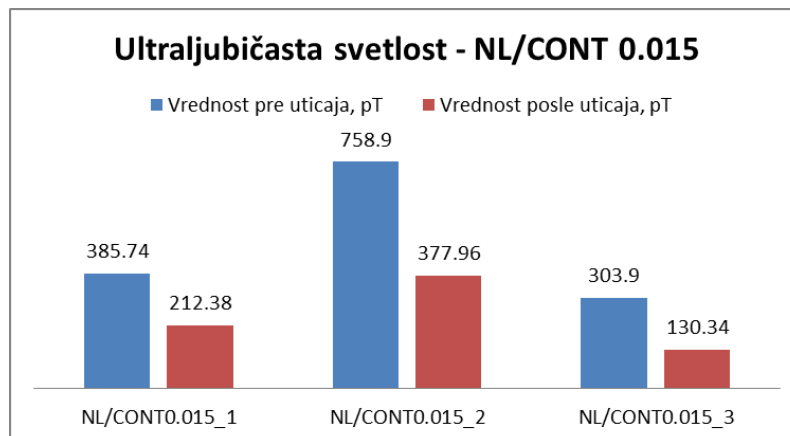


Slika 6.7. Uporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije tri uzorka materijala NL/CONT0.003 pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

Kod materijala sa 0,01% fullerola uzorci su takođe imali različite vrednosti remanentne magnetizacije pre uticaja, ali su varijacije vrednosti mnogo manje nego kod ostala dva materijala (slika 6.8). Vrednosti prvog, drugog i trećeg uzorka NL/CONT0.01 redom su bile: 173,42 pT, 351,6 pT i 278,02 pT. Kod svih uzoraka je došlo do povećanja vrednosti remanentne magnetizacije, kao i u merenjima sa jednim uzorkom predstavljenim u prethodnom poglavlju. Tako su se vrednosti remanentne magnetizacije tri uzorka povećale redom na: 384,82 pT, 580,8 pT i 774,78 pT.



Slika 6.8. Upporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije tri uzorka materijala NL/CONT0.01 pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti



Slika 6.9. Upporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije tri uzorka materijala NL/CONT0.015 pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

Kod materijala sa najvećom koncentracijom fullerola NL/CONT0.015 vrednosti remanentne magnetizacije pre uticaja su takođe bile različite kod tri uzorka i iznosile su 385,74 pT, 758,9 pT i 303,9 pT, redom (slika 6.9). Nakon 10 minuta pod

ultraljubičastom lampom vrednosti remanentne magnetizacije kod sva tri uzorka su se smanjile i to na 212,38 pT, 377,96 pT i 130,34 pT, redom. U prethodnim merenjima vrednosti remanente magnetizacije su se povećale ali u slučaju materijala sa najmanjom koncentracijom fulerola NL/CONT0.015 je povećanje bilo najmanje. U ovom slučaju merenja sa tri uzorka od materijala NL/CONT0.015 vrednosti remanentne magnetizacije su se smanjile oko dva puta.

Rezultat i ovoga puta pokazuje da na osnovu vrednosti remanentne magnetizacije možemo da zaključimo da su uzorci nehomogeni, tj. da fulerol nije ravnomerno raspoređen u polimeru. Materijal sa 0,01% fulerola i u ovoj fazi merenja pokazuje najkonzistentnije rezultate na osnovu čega može da se zaključi da je ovaj materijal najhomogeniji. Rezultati dobijeni za ovaj materijal su u skladu sa očekivanim rezultatima, što je pokazano u merenjima remanentne magnetizacije na izabranom uzorku.

6.4.2. OMIS rezultati

Na osnovu dijagrama dobijenih opto-magnetnom imidžing spektroskopijom očigledna je ista karakteristika materijala pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti. Kod sva tri uzorka od materijala NL/CONT0.003 javljaju se četiri pika, dva pozitivna i dva negativna. Talasne dužine pikova su iste pre i posle uticaja i kod svih uzoraka. Pa su tako prvi i drugi pozitivni pikovi na talasnim dužinama 106 nm i 113 nm, dok su prvi i drugi negativni pikovi na 107 nm i 110 nm, redom. Razlike se javljaju u intenzitetima pikova nakon uticaja ultraljubičaste svetlosti kod svih uzoraka od materijala NL/CONT0.003 (slika 6.10).

Intenziteti pikova kod tri uzorka se približno poklapaju, ali se najveće neslaganje javlja kod prvog negativnog pika. Intenziteti prvog negativnog pika kod prvog, drugog i trećeg uzorka su -17,17 n.a.u., -29,42 n.a.u. i -36,56 n.a.u.. Intenziteti pikova kod prvog uzorka nakon uticaja su povećani kod prvog negativnog, prvog pozitivnog i drugog pozitivnog pika (tabela 6.13). Intenziteti tih pikova su nakon uticaja redom iznosili: -42,47 n.a.u., 12,5 n.a.u. i 106,37 n.a.u.. Drugi negativni pik ima smanjen intenzitet nakon uticaja i iznosi -63,59 n.a.u..

Kod drugog uzorka materijala NL/CONT0.003 intenziteti svih pikova su povećani i iznose: prvi negativni -34,38 n.a.u., drugi negativni -92,99 n.a.u., prvi pozitivni 22,76 n.a.u. i drugi pozitivni 126,04 n.a.u. (tabela 6.14).

Kod trećeg uzorka materijala NL/CONT0.003 dolazi do smanjenja intenziteta prvog negativnog i drugog pozitivnog pika na -20,25 n.a.u. i 91,56 n.a.u., redom. Drugi negativni pik ima povećan intenzitet na -92,75 n.a.u., dok dolazi do odsustva prvog pozitivnog pika (tabela 6.15).

Tabela 6.13. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za uzorak NL/CONT0.003-1 pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

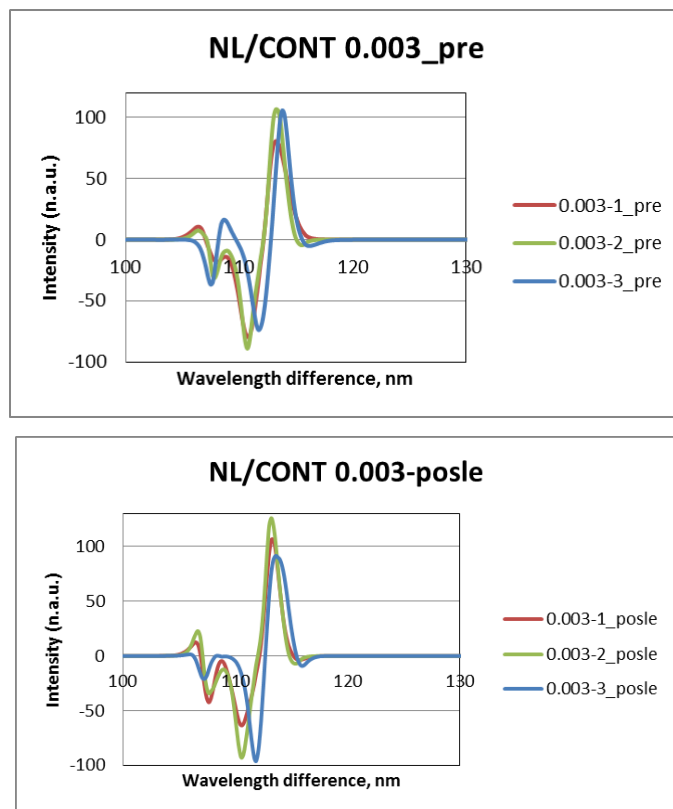
| Pre uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | Posle uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|---------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 107,9 | -17,17 | Pik 1- | 107,7 | -42,47 |
| Pik 2- | 110,7 | -79,74 | Pik 2- | 110,5 | -63,59 |
| Pik 1+ | 106,3 | 10,6 | Pik 1+ | 106,5 | 12,5 |
| Pik 2+ | 113,2 | 80,75 | Pik 2+ | 113,2 | 106,37 |

Tabela 6.14. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za uzorak NL/CONT0.003-2 pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

| Pre uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | Posle uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|---------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 107,7 | -29,42 | Pik 1- | 107,7 | -34,38 |
| Pik 2- | 110,7 | -89,04 | Pik 2- | 110,5 | -92,99 |
| Pik 1+ | 106,1 | 6,37 | Pik 1+ | 106,7 | 22,76 |
| Pik 2+ | 113,2 | 106,55 | Pik 2+ | 113,2 | 126,04 |

Tabela 6.15. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za uzorak NL/CONT0.003-3 pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

| Pre uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | Posle uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|---------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 107,57 | -36,56 | Pik 1- | 107,0 | -20,25 |
| Pik 2- | 111,7 | -73,78 | Pik 2- | 111,7 | -92,75 |
| Pik 1+ | 108,6 | 16,27 | Pik 1+ | | |
| Pik 2+ | 113,8 | 105,92 | Pik 2+ | 113,6 | 91,56 |



Slika 6.10. Dijagrami razlike talasnih dužina (nm) i intenziteta (n.a.u.) za tri uzorka materijala NL/CONT0.003 pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

Kod materijala NL/CONT0.01 su takođe talasne dužine pikova ostale nepromenjene kako kod uzoraka pre uticaja, tako i nakon uticaja ultraljubičaste svetlosti. Javljaju se četiri pika, dva pozitivna i dva negativna (slika 6.11). Talasne dužine prvih i drugih negativnih pikova su 106 nm i 114 nm dok su prvi i drugi pozitivni pikovi na talasnim dužinama 108 nm i 117 nm. Sva tri uzorka od ovog materijala su pokazala istu karakteristiku pre uticaja ultraljubičaste svetlosti. Tako su intenziteti pikova kod sva tri uzorka približno isti ali se najveća odstupanja javljaju kod prvo i drugog negativnog pika. Intenziteti prvog pika kod tri uzorka iznose -59,16 n.a.u., -50,41 n.a.u. i -37,35 n.a.u., dok su intenziteti drugog pika za tri uzorka redom -47,8 n.a.u., -51,56 n.a.u. i -32,91 n.a.u..

Nakon uticaja intenziteti pikova kod prvog uzorka materijala NL/CONT0.01 su gotovo nepromenjeni i iznose redom za prvi negativni pik -58,9 n.a.u., za drugi negativni pik -52,1 n.a.u., za prvi pozitivni pik 37,1 n.a.u. i za drugi pozitivni pik intenzitet je 49,38 n.a.u. (tabela 6.16).

Tabela 6.16. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za uzorak NL/CONT0.01-1 pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

| Pre uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | Posle uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|---------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 106,9 | -59,16 | Pik 1- | 106,9 | -58,9 |
| Pik 2- | 114,9 | -47,8 | Pik 2- | 114,8 | -52,1 |
| Pik 1+ | 108,4 | 39,95 | Pik 1+ | 108,0 | 37,1 |
| Pik 2+ | 117,5 | 43,27 | Pik 2+ | 117,3 | 49,38 |

Tabela 6.17. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za uzorak NL/CONT0.01-2 pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

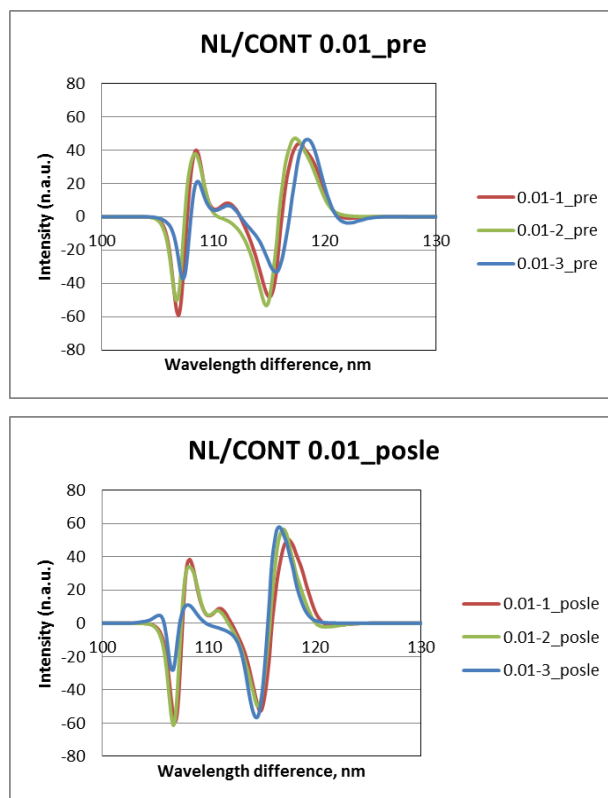
| Pre uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | Posle uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|---------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 106,7 | -50,41 | Pik 1- | 106,7 | -61,29 |
| Pik 2- | 114,6 | -51,56 | Pik 2- | 114,6 | -49,58 |
| Pik 1+ | 108,2 | 37,04 | Pik 1+ | 108,0 | 33,68 |
| Pik 2+ | 117,1 | 45,66 | Pik 2+ | 116,9 | 55,71 |

Tabela 6.18. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za uzorak NL/CONT0.01-3 pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

| Pre uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | Posle uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|---------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 107,3 | -37,35 | Pik 1- | 106,5 | -27,83 |
| Pik 2- | 115,5 | -32,91 | Pik 2- | 114,4 | -56,2 |
| Pik 1+ | 108,4 | 19,78 | Pik 1+ | 107,8 | 10,56 |
| Pik 2+ | 118,4 | 46,42 | Pik 2+ | 116,4 | 56,25 |

Kod drugog uzorka od materijala NL/CONT0.01 intenziteti pikova blago promenjeni dok se najveća promena uočava na prvom negativnom pik (tabela 6.17). Intenzitet pre uticaja je bio -50,41 n.a.u. dok je nakon uticaja iznosio -61,29 n.a.u.. Drugi negativni pik ima intenzitet nešto manji nakon uticaja kada je iznosio -49,58 n.a.u. nego pre uticaja kada je bio -51,56 n.a.u.. Prvi pozitivni pik je pre uticaja imao intenzitet 37,04 n.a.u. a nakon uticaja 33,68 n.a.u., dok je drugi pozitivni pik pre uticaja imao intenzitet 45,66 n.a.u. a nakon 55,71 n.a.u..

Treći uzorak materijala NL/CONT0.01 pokazuje smanjenje intenziteta kod prvog negativnog i prvog pozitivnog pika koji nakon uticaja iznose -27,83 n.a.u. i 10,56 n.a.u.. Drugi negativni i pozitivni pikovi imaju povećane intenzitete i iznose nakon uticaja -56,2 n.a.u. i 56,25 n.a.u. (tabela 6.18).



Slika 6.11. Dijagrami razlike talasnih dužina (nm) i intenziteta (n.a.u.) za tri uzorka materijala NL/CONT0.01 pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

Kod uzoraka od materijala NL/CONT0.015 se takođe javljaju četiri pika, dva pozitivna i dva negativna (slika 6.12). Za prvi, drugi i treći uzorak pre uticaja talasne dužine su bile nepromenjene. Tako su prvi i drugi negativni pik na talasnoj dužini od 107 nm i 119 nm, dok su prvi i drugi pozitivni pik na 108 nm i 122 nm. Intenziteti navedenih pikova su takođe približno jednaki kod sva tri uzorka.

Nakon uticaja ultraljubičaste svetlosti imamo isto ponašanje kod sva tri uzorka od materijala NL/CONT0.015. Talasne dužine pikova su gotovo nepromenjene ili blago smanjene. Talasne dužine prvog i drugog negativnog pika su nakon uticaja na oko 106 nm i 117 nm, dok su talasne dužine prvog i drugog pozitivnog pika nakon uticaja na oko 107 nm i 120 nm.

Tabela 6.19. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za uzorak NL/CONT0.015-1 pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

| Pre uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | Posle uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|---------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 107,1 | -45,71 | Pik 1- | 105,9 | -33,1 |
| Pik 2- | 119,5 | -15,44 | Pik 2- | 116,6 | -31,36 |
| Pik 1+ | 108,6 | 39,38 | Pik 1+ | 107,1 | 22,39 |
| Pik 2+ | 122,5 | 17,81 | Pik 2+ | 119,5 | 46,7 |

Tabela 6.20. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za uzorak NL/CONT0.015-2 pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

| Pre uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | Posle uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|---------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 107,3 | -45,03 | Pik 1- | 106,5 | -19,3 |
| Pik 2- | 119,9 | -16,92 | Pik 2- | 117,3 | -30,94 |
| Pik 1+ | 108,8 | 36,12 | Pik 1+ | 109,9 | 8,8 |
| Pik 2+ | 122,8 | 24,64 | Pik 2+ | 120,5 | 48,05 |

Tabela 6.21. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za uzorak NL/CONT0.015-3 pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

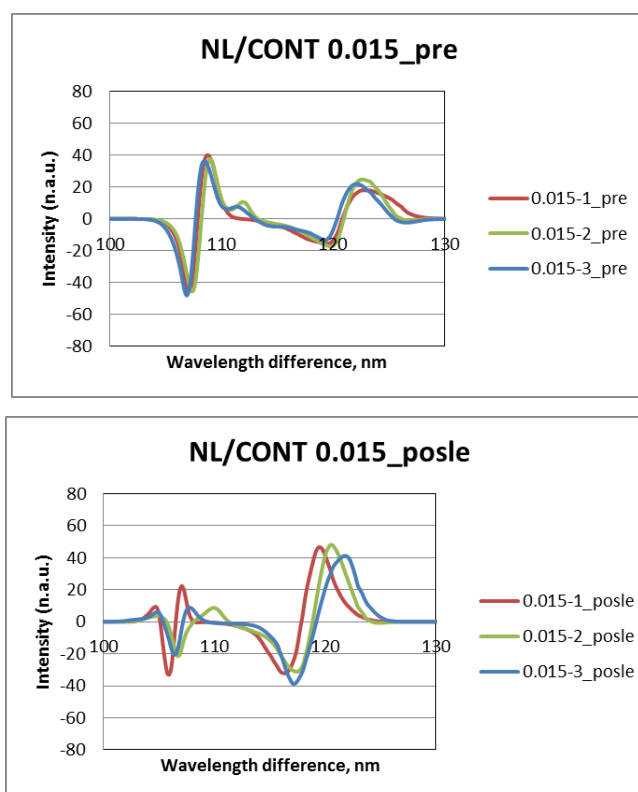
| Pre uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | Posle uticaja | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|---------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 106,9 | -48,06 | Pik 1- | 106,3 | -19,96 |
| Pik 2- | 119,0 | -12,62 | Pik 2- | 117,3 | -33,46 |
| Pik 1+ | 108,4 | 36,32 | Pik 1+ | 107,7 | 8,71 |
| Pik 2+ | 122,0 | 21,84 | Pik 2+ | 121,5 | 40,3 |

Kod sva tri uzorka je došlo do istih promena intenziteta pikova i to do smanjenja intenziteta prvog negativnog i prvog pozitivnog pika i do povećanja intenziteta drugog negativnog i drugog pozitivnog pika. Kod prvog uzorka je intenzitet prvog negativnog pika smanjen sa -45,71 n.a.u. na -33,1 n.a.u. nakon uticaja, a intenzitet prvog pozitivnog pika je smanjen sa 39,38 n.a.u. na 22,39 n.a.u.. Intenzitet drugog negativnog pika je povećan sa -15,44 n.a.u. na -31,36 n.a.u., dok je intenzitet drugog pozitivnog pika povećan sa 17,81 n.a.u. na 46,7 n.a.u. nakon uticaja (tabela 6.19).

Kod drugog uzorka materijala NL/CONT0.015 je intenzitet prvog negativnog pika smanjen sa -45,03 n.a.u. na -19,3 n.a.u. nakon uticaja, a intenzitet prvog pozitivnog pika je smanjen sa 36,12 n.a.u. na 8,8 n.a.u.. Intenzitet drugog negativnog pika je povećan sa

-16,92 n.a.u. na -30,94 n.a.u., dok je intenzitet drugog pozitivnog pika povećan sa 24,64 n.a.u. na 48,05 n.a.u. nakon uticaja (tabela 6.20).

Kod trećeg uzorka materijala NL/CONT0.015 je intenzitet prvog negativnog pika smanjen sa -48,06 n.a.u. na -19,96 n.a.u. nakon uticaja, a intenzitet prvog pozitivnog pika je smanjen sa 36,32 n.a.u. na 8,71 n.a.u.. Intenzitet drugog negativnog pika je povećan sa -12,62 n.a.u. na -33,46 n.a.u., dok je intenzitet drugog pozitivnog pika povećan sa 21,84 n.a.u. na 40,3 n.a.u. nakon uticaja (tabela 6.21).



Slika 6.12. Dijagrami razlike talasnih dužina (nm) i intenziteta (n.a.u.) za tri uzorka materijala NL/CONT0.015 pre i posle uticaja ultraljubičaste svetlosti

Analiziranjem odnosa površina (tabela 6.22) pozitivnih i negativnih pikova mogu se izvesti dublji zaključci o ponašanju materijala pre i nakon uticaja ultraljubičaste svetlosti. Na osnovu dobijenih odnosa može se zaključiti da svi materijali imaju dijamagnetna svojstva jer su površine negativnih pikova u svim slučajevima veće od površina pozitivnih pikova. Kod materijala sa najmanjom koncentracijom fullerola NL/CONT0.003 odnos površina nakon uticaja ultraljubičaste svetlosti je blago smanjen kod prvog i trećeg uzorka sa 0,99 na 0,96 i 0,97, redom.

Tabela 6.22. Odnosi površina pozitivnih i negativnih pikova za sve uzorke od sva tri materijala pre i nakon uticaja ultraljubičaste svetlosti

| | Pre | Posle |
|-----------------------|------------|--------------|
| NL/CONT0.003-1 | 0,99 | 0,96 |
| NL/CONT0.003-2 | 0,96 | 0,97 |
| NL/CONT0.003-3 | 0,99 | 0,97 |
| | | |
| NL/CONT0.01-1 | 0,83 | 0,84 |
| NL/CONT0.01-2 | 0,82 | 0,89 |
| NL/CONT0.01-3 | 0,93 | 0,8 |
| | | |
| NL/CONT0.015-1 | 0,84 | 0,62 |
| NL/CONT0.015-2 | 0,95 | 0,86 |
| NL/CONT0.015-3 | 0,99 | 0,77 |

Kod drugog uzorka je blago povećan odnos površina sa 0,96 na 0,97. Kod materijala NL/CONT0.01 dolazi do povećanja odnosa površina nakon uticaja sa 0,83 na 0,84 i sa 0,82 na 0,89, redom. Kod trećeg uzorka od ovog materijala dolazi do smanjenja odnosa površina sa 0,93 na 0,8. Najkonzistentnije rezultate pokazuje materijal NL/CONT0.015, kod koga dolazi do smanjenja odnosa površina nakon uticaja ultraljubičaste svetlosti. To ukazuje na izraženije dijamagnetne osobine navedenog materijala nakon uticaja. Tako prvi uzorak pokazuje smanjenje odnosa površina sa 0,84 na 0,62, drugi uzorak sa 0,95 na 0,86 a treći uzorak sa 0,99 na 0,77.

Rezultati dobijeni opto-magnetnom imidžing spektroskopijom kao i merenja remanentne magnetizacije na tri uzorka od sva tri materijala, ukazuju na nehomogenost uzoraka od istih materijala. S obzirom da OMIS metodom određujemo osobine površine i tankih slojeva materijala, pokazano je da ni u površinskim strukturama uzorci nisu homogeni. U tom smislu OMIS metoda i metoda JR-6A se dopunjavaju.

Na osnovu dijagrama se može odrediti koji su materijali u pitanju, odnosno koje su koncentracije fullerola u pitanju. Takođe, OMIS metodom su potvrđene paramagnetne i dijamagnetne osobine materijala. Međutim, ovom metodom se ne može precizno odrediti uticaj spoljašnjih magnetnih polja, s obzirom da su razlike pre i nakon uticaja jako male.

6.5. Drugi i treći set merenja-Diskusija

Nakon prvobitno dobijenih rezultata remanentne magnetizacije na uređaju JR-6A, ista merenja su ponovljena još dva puta. Uporedo sa tim merenjima uzorci su slikani opto-magnetnom imidžing spektroskopijom (OMIS) u drugom setu merenja. Cilj ponovljenih merenja na JR-6A uređaju je bio sagledati da li se remanentna magnetizacija uzoraka menja nakon vremena provedenog u mraku i na koji način se menja. Opto-magnetnom imidžing spektroskopijom je ponovo korišćena kao uporedna metoda za potvrdu magnetni svojstava materijala. U trećem setu merenja urađena su samo ponovljena merenja na JR-6A. Rezultati dobijeni u ovom delu istraživanja nisu primarni jer su rađeni na uzorcima koji su već u prethodnom delu istraživanja bili izloženi spoljašnjim uticajima. Protokoli za ponovljena merenja i uporedna merenja OMIS metodom dat je u prilogima E i F.

6.5.1. Drugi set merenja na uređaju JR-6A

Nakon prvobitnih merenja na uređaju JR-6A svi uzorci su ostavljeni da stoje u mraku, pa su merenja ponovljena po istoj proceduri po kojoj su izvedena i prvi put. Cilj je bio uočiti da li se materijali koji su već bili ranije izloženi spoljašnjim uticajima ponašaju isto kao i u prvobitnim merenjima tj. da li će se vrednosti remanentne magnetizacije pre i nakon spoljašnjih uticaja promeniti po istom principu.

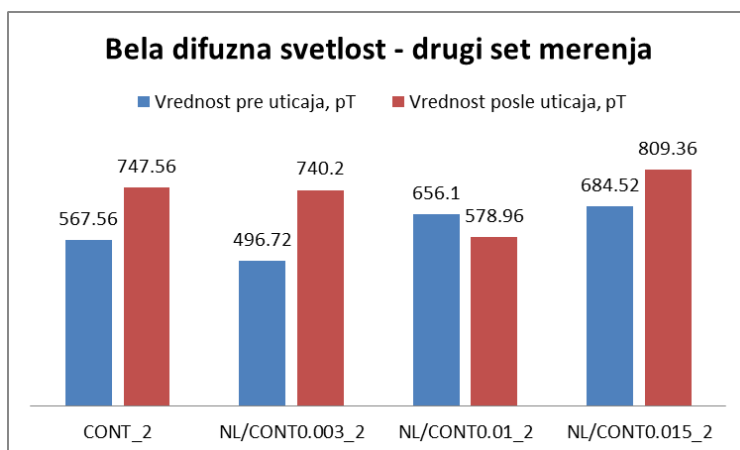
Tabela 6.23. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti

| Bela difuzna svetlost | Vrednost pre uticaja, pT | Vrednost posle uticaja, pT |
|-----------------------|--------------------------|----------------------------|
| CONT_2 | 567,56 | 747,56 |
| NL/CONT0.003_2 | 496,72 | 740,2 |
| NL/CONT0.01_2 | 656,1 | 578,96 |
| NL/CONT0.015_2 | 684,52 | 809,36 |

U ponovljenoj fazi merenja vrednosti remanentne magnetizacije kod referentnog materijala CONT, materijala NL/CONT0.003 i materijala NL/CONT0.015 su se povećale nakon uticaja bele difuzne svetlosti. Tako je kod materijala CONT pre uticaja

vrednosti bila 567,56 pT a nakon uticaja 747,56 pT. Kod materijala NL/CONT0.003 pre uticaja je vrednosti iznosila 496,72 pT dok je nakon uticaja bila 740,2 pT, a kod materijala sa najmanjom koncentracijom pre uticaja je vrednost bila 684,52 pT a nakon uticaja 809,36 pT. Kod materijala NL/CONT0.01 vrednost remanentne magnetizacije je smanjena sa 656.1 pT pre uticaja na 578,96 pT nakon uticaja. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti prikazane su u tabeli 6.24 i na slici 6.13.

Nakon stajanja u mraku, početne vrednosti u ovom setu merenja su se smanjile u odnosu na vrednosti dobijene u prvom setu merenja, što ukazuje na to da je došlo do promene u elektronskoj konfiguraciji materijala odnosno do sparivanja elektrona. Za razliku od prethodnih merenja vrednosti remanentne magnetizacije bile su značajno manje, a nakon uticaja je došlo do blagog povećanja vrednosti kod svih uzoraka osim kod materijala sa 0.01% fullerola.



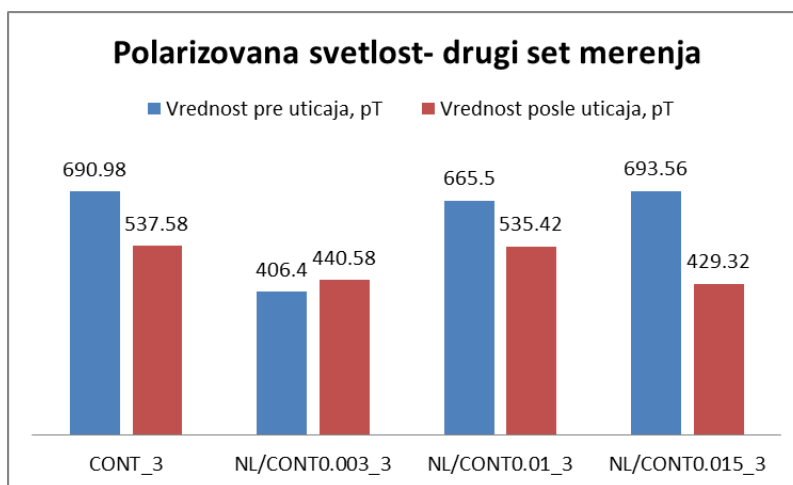
Slika 6.13. Uporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti

Tabela 6.24. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja polarizovane svetlosti

| Polarizovana svetlost | Vrednost pre uticaja, pT | Vrednost posle uticaja u pT |
|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|
| CONT_3 | 690,98 | 537,58 |
| NL/CONT0.003_3 | 406,4 | 440,58 |
| NL/CONT0.01_3 | 665,5 | 535,42 |
| NL/CONT0.015_3 | 693,56 | 429,32 |

U ovoj merenja uzorci su pokazali gotovo isto ponašanje kao i u prvom setu merenja, odnosno vrednosti remanentne magnetizacije su smanjene nakon uticaja polarizovane svetlosti. Izuzetak je materijal NL/CONT0.003 koji je pokazao blago povećanje vrednosti sa 406,4 pT na 440,58 pT. Vrednosti kod drugih materijala su blago smanjene i to kod referentnog materijala CONT sa 690,98 pT na 537,58 pT. Kod materijala NL/CONT0.01 je vrednost smanjena sa 665,5 pT na 535,42 pT, a kod materijala NL/CONT0.015 sa 693,56 pT na 429,32 pT. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja polarizovane svetlosti prikazane su u tabeli 6.24 i na slici 6.14.

U prvom setu merenja pod uticajem polarizovane svetlosti vrednosti remanentne magnetizacije svih materijala su se smanjile nakon uticaja, što ukazuje na sparivanje elektrona odnosno pojačavanje dijamagnetnih svojstava. Početne vrednosti u drugom setu merenja su bile manje nego u prethodnom, a nakon uticaja imamo isto ponašanje kao i pre, osim blagog povećanja kod materijala sa najmanjom koncentracijom fullerola. Može se zaključiti da nakon prvobitnih uticaja na materijale različitih vrsta svetlosti, paramagnetna i dijamagnetna svojstva materijala su promenjena, pa tako nakon novih spoljašnjih uticaja više ne pokazuju isto ponašanje. Promena se najverovatnije ogleda u konformacionim stanjima materijala nakon spoljašnjih uticaja, na osnovu čega se može zaključiti da prvobitna merenja daju relevantne rezultate.



Slika 6.14. Uporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja polarizovane svetlosti

6.5.2. Drugi set merenja na OMIS-u

Uparedo sa drugim setom merenja na uređaju JR-6A urađen je i drugi set karakterizacije materijala OMIS metodom. Očigledno je da svi nanofotonični materijali imaju iste karakteristike kao i u prvom setu merenja, odnosno nisu pokazali velike promene pre i posle izlaganja spoljašnjim uticajima. Uzorci uglavnom pokazuju promene intenziteta pikova dok su talasne dužine uglavnom nepromenjene.

U fazi merenja kada su uzorci bili pod uticajem bele difuzne svetlosti kod materijala NL/CONT0.003 imamo istu karakteristiku kao i kod prvog merenja, s tim što je uočena blaga promena talasnih dužina. Negativni pik se nalazi na talasnoj dužini od 121 nm, prvi pozitivni pik je na talasnoj dužini od 116 nm dok je drugi pozitivni pik na talasnoj dužini od oko 125 nm, što je isto kao i u prvom merenju. Intenziteti pikova su samo blago promenjeni nakon uticaja.

Kod materijala NL/CONT0.01 imamo istu karakteristiku pre i posle uticaja i uočena je ista karakteristika kao i kod prvog merenja. Razlika je jedino u drugom pozitivnom piku, koji se u ovom setu merenja javlja sam izuzetno malim intenzitetom. Talasne dužine su blago promenjene posle uticaja, dok su intenziteti prvog negativnog i prvog pozitivnog pika sa najvećim promenama. Talasne dužine prvog i drugog negativnog pika su 118 nm i 127 nm, respektivno. Talasne dužine prvog pozitivnog pika je oko 131 nm. Tako je intenzitet prvog negativnog pika pre uticaja bio -17,22 n.a.u. a nakon uticaja je iznosio -13,74 n.a.u.. Intenzitet prvog pozitivnog pika je iznosio pre uticaja 47,03 n.a.u. a nakon uticaja 39,25 n.a.u..

Kod materijala NL/CONT0.015 imamo istu karakteristiku kao i kod prvog merenja, sa nešto manjim intenzitetima pikova. Pre i posle uticaja talasne dužine pikova su gotovo iste, a najveće promene intenziteta su uočljive kod pozitivnih pikova. Talasne dužine prvog i drugog negativnog pika su, kao i u prvom merenju, 117 nm i 129 nm, respektivno. A talasne dužine prvog i drugog pozitivnog pika su 115 nm i 133 nm, respektivno, kao i u prvom merenju. Intenziteti svih pikova su smanjeni nakon uticaja bele difuzne svetlosti. Očigledno je da i u ovoj fazi merenja sa uticajem bele difuzne svetlosti svi materijali pokazuju dijamagnetna svojstva.

U fazi merenja kod koje su uzorci materijala bili pod uticajem polarizovane svetlosti kod materijala NL/CONT0.003 imamo istu karakteristiku kao i u prvom merenju. Pre i posle uticaja, sa istim talasnim dužinama pikova i blagim smanjenjem intenziteta

pikova. Talasna dužina negativnog pika je 118 nm, dok su talasne dužine prvog i drugog pozitivnog pika oko 115 nm i 123 nm, respektivno.

Kao i kod prethodnog uzorka i kod materijala NL/CONT0.01 imamo istu karakteristiku kao u prvom merenju. Pre i posle uticaja talasne dužine pikova su nepromenjene, a intenziteti svih pikova su vrlo malo promenjeni. Talasne dužine prvog i drugog negativnog pika su 117 nm i 123,8 nm, respektivno. Prvi i drugi pozitivni pik imaju talasne dužine od 115 nm i 129 nm, respektivno.

Kod materijala NL/CONT 0.015 imamo takođe istu karakteristiku kao i u prvom merenju. Razlika je što u ovom drugom merenju nedostaju drugi pozitivni i drugi negativni pik, odnosno njihovi intenziteti su izuzetno mali. Talasne dužine kao i intenziteti pikova su nepromenjeni pre i nakon uticaja polarizovane svetlosti. I u ovom slučaju svi materijali pokazuju preovlađujuća dijamagnetna svojstva.

Kao i u prvom merenju i kod drugog seta merenja materijal NL/CONT0.003 ima karakteristiku sa tri pika, dva pozitivna i jednim negativnim. Do promena talasnih dužina nakon svih uticaja nije došlo, ali postoje razlike u intenzitetima, kako za tri uzorka pre uticaja tako i za svaki uzorak ponaosob nakon uticaja. Najmanje promena u intenzitetima ima nakon uticaja polarizovane svetlosti.

Materijal NL/CONT0.01 kao i u prvom merenju ima karakteristiku sa četiri pika, dva pozitivna i dva negativna. Do promena talasnih dužina je došlo samo u slučaju nakon uticaja bele difuzne svetlosti, ali postoje razlike u intenzitetima, kako za tri uzorka pre uticaja tako i za svaki uzorak ponaosob nakon uticaja. Najmanje promena u intenzitetima ima nakon uticaja polarizovane svetlosti, a najveće promene se javljaju nakon uticaja bele difuzne svetlosti. Kod drugog pozitivnog pika gotovo da nema promena ni u intenzitetima nakon uticaja.

Materijal NL/CONT0.015 kao i prethodni materijal ima isto karakteristiku od četiri pika, dva pozitivna i dva negativna. Za razliku od prethodnih slučajeva kod ovog materijala je došlo do blagih promena u talasnim dužinama pikova.

Na osnovu odnosa površina pozitivnih i negativnih pikova pokazuje se da svi materijali imaju pretežno dijamagnetna svojstva uz prisustvo paramagnetnih svojstava, što je drugim setom merenja opto-magnetnom imidžing spektroskopijom i potvrđeno. Uopšteno gledano, razlike u opto-magnetnim spektrima su nezatne u prvom i drugom setu merenja. Iako su te razlike male, ipak se ovom metodom može odrediti da li na

površini materijala preovlađuju dijamagnetna ili paramagnetna svojstva, što je i važno s obzirom da su u pitanju materijali za kontaktna sočiva kod kojih je i najvažnija sama površina materijala. Takođe, OMIS metodom je utvrđeno kakav je uticaj različitih koncentracija fullerola, s obzirom da svaki materijal ima svoj karakteristični dijagram i pikove na karakterističnim talasnim dužinama.

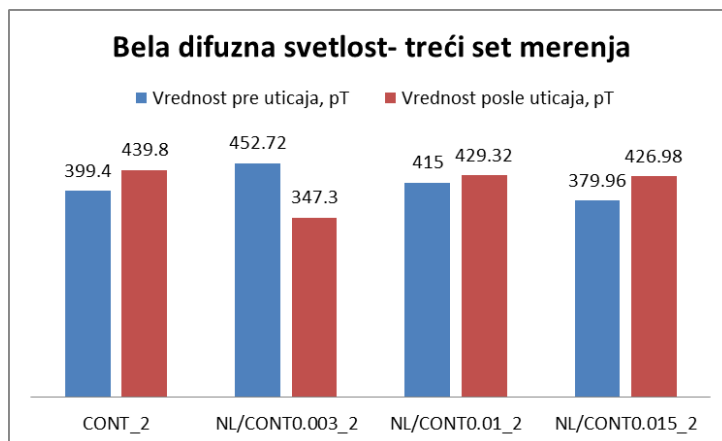
6.5.3. Treći set merenja na uređaju JR-6A

U ponovljenom merenju pod uticajem bele difuzne svetlosti vrednosti remanentne magnetizacije svih uzoraka su bile približno iste pre uticaja, a takođe nakon uticaja nije došlo do značajnih promena u vrednostima. Tako je vrednost kod materijala CONT pre uticaja bila 399,4 pT a nakon uticaja je povećana na 439,8 pT. Do blagog povećanja je došlo i kod materijala NL/CONT0.01 i NL/CONT0.015 i to sa 415 pT na 429,32 pT i sa 379,96 pT na 426,98 pT, redom. Kod materijala NL/CONT0.003 došlo je do smanjenja vrednosti remanentne magnetizacije sa 452,72 pT na 347,3 pT. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti prikazane su u tabeli 36 i na slici 38.

I u ovoj fazi merenja je očigledno da su se vrednosti remanentne magnetizacije smanjile u odnosu na početne vrednosti izmerene u prvom i drugom setu merenja. Vrednosti nakon uticaja bele difuzne svetlosti su blago promenjene, a materijali pokazuju prevashodno dijamagnetna svojstva.

Tabela 6.25. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti

| Bela difuzna svetlost | Vrednost pre uticaja, pT | Vrednost posle uticaja, pT |
|-----------------------|--------------------------|----------------------------|
| CONT_2 | 399,4 | 439,8 |
| NL/CONT0.003_2 | 452,72 | 347,3 |
| NL/CONT0.01_2 | 415 | 429,32 |
| NL/CONT0.015_2 | 379,96 | 426,98 |



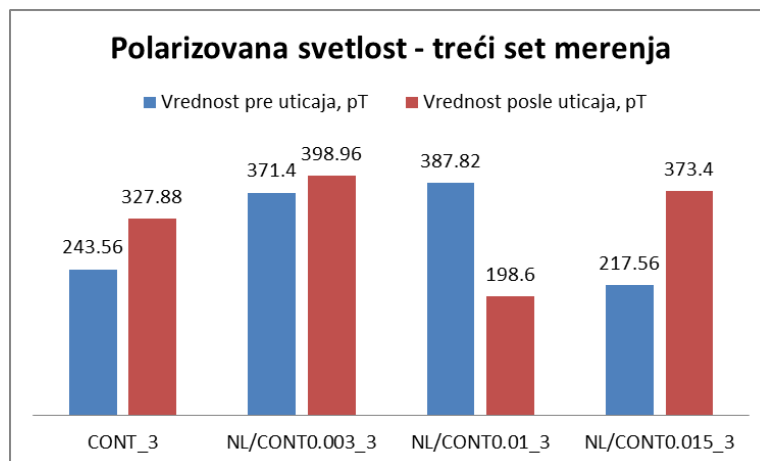
Slika 6.15. Uporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja bele difuzne svetlosti

U fazi merenja vrednosti remanentne magnetizacije nakon uticaja polarizovane svetlosti su bile blago promenjene i za razliku od prethodnih merenja nisu se sve vrednosti smanjile. Do smanjenja vrednosti je došlo jedino kod materijala NL/CONT0.01 i to sa 387,82 pT na 198,6 pT. Kod ostalih uzoraka je došlo do povećanja vrednosti nakon uticaja. Kod materijala CONT sa 243,56 pT na 327,88 pT, kod materijala NL/CONT0.003 sa 371,4 pT na 398,96 pT i kod materijala NL/CONT0.015 sa 271,56 pT na 373,4 pT. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja polarizovane svetlosti prikazane su u tabeli 6.26 i na slici 6.16.

Ponovljena merenja remanentne magnetizacije uzoraka koji su bili pod uticajem polarizovane svetlosti pokazuju da su se vrednosti značajno smanjile u odnosu na prvobitna merenja i gotovo izjednačile pre uticaja. Nakon uticaja očigledna je promena u odnosu na prvobitna merenja kod kojih su se vrednosti remanentne magnetizacije smanjile, a u ovom slučaju imamo povećanje vrednosti, osim kod materijala sa 0.01% fullerola.

Tabela 6.26. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja polarizovane svetlosti

| Polarizovana svetlost | Vrednost pre uticaja, pT | Vrednost posle uticaja, pT |
|-----------------------|--------------------------|----------------------------|
| CONT_3 | 243,56 | 327,88 |
| NL/CONT0.003_3 | 371,4 | 398,96 |
| NL/CONT0.01_3 | 387,82 | 198,6 |
| NL/CONT0.015_3 | 217,56 | 373,4 |



Slika 6.16. Uporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja polarizovane svetlosti

Može se zaključiti da su se vrednosti remanentne magnetizacije uzoraka smanjivale tokom vremena i da su nakon tri izlaganja uzoraka različitim uticajima njihove vrednosti bile gotovo jednake. Na osnovu dobijenih rezultata se može izvesti zaključak da se nakon određenog vremena i dva izlaganja spoljašnjim uticajima konfiguracija materijala menja odnosno da se stabilizuje. Vrednosti remanentne magnetizacije pokazuju magnetna svojstva celokupne zapremine materijala, pa se može na osnovu gotovo izjednačenih vrednosti kod različitih uzoraka zaključiti da fullerol utiče na ta svojstva i da apsorpcijom nesparenih elektrona dovodi do stabilizacije materijala.

7. ZAKLJUČAK

Predmet ove doktorske disertacije, pod nazivom "Opto-magnetne karakteristike polimernih materijala sa različitim koncentracijama nanomaterijala" je određivanje remanentne magnetizacije materijala sa fullerolom kao i određivanje magnetnih osobina navedenih materijala. Rezultati prikazani u ovoj disertaciji predstavljaju preliminarnu studiju optičkih i magnetnih osobina materijala za meka kontaktna sočiva sa različitim koncentracijama fullerola.

Naučno područje istraživanja u radu pripada području biomedicinskog inženjerstva, a u užem smislu tretira problematiku primene nano-tehnoloških dostignuća u istraživanju i razvoju novih biokompatibilnih materijala. Šire gledano, istraživanja prikazana u ovom radu su interdisciplinarna i multidisciplinarna, s obzirom da pokrivaju polje nauke o materijalima i nanomaterijalima, polje biofizike kao i optike.

Polazna ideja za istraživanja koja su prezentovana u ovom radu baziraju se na prethodno urađenim karakterizacijama prvobitnih materijala za tvrda gas propusna kontaktna sočiva sa fulleronom i njegovim derivatima [1]. Takođe, prezentovana ispitivanja predstavljaju nastavak ranijih ispitivanja magnetnih svojstava tankih filmova fullerena. Za potrebe ovog rada ideja je bila da se sintetišu materijali za meka kontaktna sočiva sa tri različite koncentracije fullerola, kako bi se pokazao uticaj koncentracije na osobine standardnih materijala. Ovi materijali su novina u odnosu na prethodna istraživanja s obzirom da nikada ranije nisu tri različite koncentracije fullerola inkorporirane u jedan silikon hidrogel materijal za kontaktna sočiva.

Fuleren C_{60} kao samostalni molekul nema nesparenih elektrona i zato preovlađuju dijamagnetna svojstva. Međutim, kada se nađe u reakciji sa drugim molekulima fullerena ili inkorporiran u polimerni materijal, njegova magnetna svojstva se menjaju. U reakciji sa drugim molekulima kod fullerena dolazi do raskidanja C-C veza i do uspostavljanja novih veza. Kada se fuleren nađe u prisustvu jakog organskog donora i primi elektrone pronađeno je da pokazuje slaba feromagnetna svojstva, dok dvodimenzionalni polimerizovani rombohedralni C_{60} pokazuje jaki magnetni signal [4, 117, 118].

U istraživanjima magnetnih svojstava tankih filmova fullerena [13-15] pokazano je da se intenzitet magnetnog polja povećava sa povećanjem debljine fullerenskog filma, a

takođe je i magnetno polje pločice osvetljene polarizovanom svetlošću jače od neosvetljene pločice. S obzirom na povećanje intenziteta magnetnog polja i remanentne magnetizacije, navedeni rezultati ukazuju na to da preovlađuju paramagnetna svojstva tankih filmova fullerena što je važno zbog dejstva svetlosti na mozak preko čula vida, tj. za potencijalnu izradu senzora za promenu magnetnog polja. Indukcija magnetnog polja je i bila očekivana s obzirom da molekuli fullerena u tankom filmu ima tri stepena slobode [13]. Rotacija molekula fullerena takođe utiče na njegova magnetna svojstva, a kako je navedeno u [100] u tečnom i čvrstom stanju fuleren rotira brzinom od oko 10^{10} s⁻¹.

Detaljni mehanizam koji je odgovoran za magnetizaciju tankih filmova fullerena je i dalje nepoznat. Međutim, rezultati dobijeni za materijale navedene u ovoj disertaciji pružaju uvid u magnetizam drugačijih materijala s obzirom da se radi ovoga puta o fulerolu a ne fulerenu. Takođe, razlika je u tome što nisu u pitanju tanki filmovi već fulerol polimerizovan zajedno sa silikon hidrogel materijalom, što je važno jer su u pitanju materijali za kontaktna sočiva novijeg datuma koji imaju sve veću potražnju.

Rezultati prikazani u ovoj disertaciji ukazuju da pod različitim spoljašnjim uticajima materijali sa inkorporiranim fulerolom pokazuju i paramagnetna i dijamagnetna svojstva. Fuleren u vidu tankog filma je pokazivao isključivo paramagnetna svojstva, što ukazuje na prisustvo nesparenih elektrona u tankom filmu. Za razliku od tankih filmova derivat fullerena, fulerol, inkorporiran u silikon hidrogel materijal, dobio je drugačiju konformaciju pa pod uticajem spoljašnjih magnetnih polja dolazi do sparivanja elektrona (dijamagnetizam) ili do nastanka nesparenih elektrona (paramagnetizam).

Rezultati merenja na uređaju JR-6A pokazuju razlike remanentne magnetizacije pre i posle različitih spoljašnjih uticaja. Uočeno je da uzorci istog materijala imaju različite remanentne magnetizacije usled nehomogenosti materijala. Najpribližnije vrednosti remanentne magnetizacije pre uticaja su pokazane za materijal NL/CONT0.01 odnosno varijacije kod različitih uzoraka istog materijala su najmanje. Ova činjenica može da ukazuje na to da je materijal najhomogeniji upravo sa koncentracijom fulerola od 0,01%. Uticaj različite koncentracije fulerola je očigledan i značajan je u odnosu na referentni materijal.

U fazi u kojoj su uzorci bili izloženi beloj svetlosti došlo je do promene stanja valentnih elektrona tj. do njihovog pobuđivanja. Pa tako osnovni materijal i materijal sa najvećom koncentracijom fullerola pokazuju dijamagnetna svojstva, dok materijali sa 0,003 % i 0.01 % fullerola pokazuju paramagnetna svojstva. U fazi u kojoj su uzorci bili pod uticajem polarizovane svetlosti uočljivo je da je došlo do stabilizacije konformacionih stanja tj. do sparivanja nesparenih elektrona što opravdava dobar uticaj polarizovane svetlosti. Svi materijali pokazuju smanjenje vrednosti remanentne magnetizacije u odnosu na vrednosti pre uticaja što potvrđuje pozitivan uticaj polarizovane svetlosti na konformaciona stanja materije. Sparivanjem elektrona smanjuje se vrednost remanentne magnetizacije tj. pojačavaju se dijamagnetna svojstva materijala.

Studija slučaja uticaja biološkog faktora na polimerne materijale je samo početak ispitivanja i interesantan slučaj za dalja istraživanja. Dalja istraživanja bi trebalo postaviti za veći broj ljudi gde bi se mogao prvo izmeriti biomagnetizam te grupe ljudi i onda ispitati njihov uticaj na materijale. Uticaj magnetnog polja ljudskog organizma može biti zanimljiv za dalja istraživanja zbog činjenice da su u pitanju materijali za kontaktna sočiva koja su u direktnom kontaktu sa okom. Zbog malih vrednosti promene u magnetnom polju bilo bi interesantno dalje razvijati ovu ideju.

Ultraljubičasto zračenje podstiče valentne elektrone da naprave prelaz između elektronskih energetske nivoa, tj. da pređu u pobuđeno stanje. Takvo stanje u kome se elektroni nalaze nije stabilno pa elektroni teže da se vrate u osnovno, stabilno stanje. Upravo to je objašnjenje zašto je došlo do povećanja vrednosti remanentne magnetizacije nakon uticaja UV svetlosti, a samim tim i do pojačanja paramagnetnih svojstava.

Merenja remanentne magnetizacije na više uzoraka od sve tri vrste materijala pod uticajem UV svetlosti su pokazala malo drugačije rezultate od merenja sa jednim uzorkom. Ono što se očekivalo u prethodnom merenju, a to je da će se pod uticajem UV svetlosti remanentna magnetizacija povećati, je merenjima i pokazano. Međutim, merenja na više uzoraka od istog materijala su pokazala da jedino materijal sa koncentracijom fullerola od 0.01% pokazuje povećanje vrednosti remanentne magnetizacije. Za uzorke druga dva materijala očigledno je da nisu homogeni te stoga ne pokazuju konzistentne rezultate.

Dijagrami dobijeni opto-magnetnom imidžing spektroskopijom nam daju uvid u to koji su materijali u pitanju, odnosno koje su koncentracije fulerola u polimernom materijalu. To se može zaključiti po karakterističnim pikovima za određene materijale jer se i u slučaju različitih uzoraka materijala, dijagrami poklapaju međusobno. Kao i po vrednostima remanentne magnetizacije i po OMIS dijagramima se može zaključiti da materijali nisu homogeni.

Prema ponovljenim merenjima remanentne magnetizacije uzoraka u drugom i trećem setu može se zaključiti da nakon prvobitnih uticaja na materijale, biološkog faktora i različitih vrsta svetlosti, paramagnetna i dijamagnetna svojstva materijala su promenjena, pa tako nakon novih spoljašnjih uticaja više ne pokazuju isto ponašanje. Iz tog razloga su prvobitna merenja, koja su dokazala očekivane rezultate, relevantna. Za razliku od određivanja remanentne magnetizacije, opto-magnetna imidžing spektroskopija je pokazala isto ponašanje površinskih struktura upotrebljenih uzoraka i u drugom setu merenja. OMIS metoda je u tom smislu korisna jer potvrđuje površinsku strukturu, odnosno njome može da se odredi koji je materijal u pitanju, bez obzira na spoljašnje uticaje.

Merenja remanentne magnetizacije materijala pod uticajem rastvora fulerola su pokazala da je došlo do nastanka nesparenih elektrona s obzirom da se vrednost remanentne magnetizacije povećala. Samim tim paramagnetna svojstva materijala su pojačana. Nakon 24h stajanja u 8% rastvoru fulerola vrednost remanentne magnetizacije je znatno smanjena, što dokazuje da je fulerol izuzetan "skupljač" nesparenih elektrona odnosno slobodnih radikala. Slobodni elektroni su ostali u rastvoru a u materijalu su ostali sparni elektroni zbog kojih je vrednost remanentne magnetizacije smanjena tj. preovlađuju dijamagnetna svojstva. Dobijeni rezultat predstavlja značajan doprinos dosadašnjim istraživanjima s obzirom da se radi o materijalima za kontaktna sočiva koja su u dodiru sa okom. Takođe primena fulerola može biti i šira jer ovaj nanomaterijal ima antikancerogena svojstva, na koži inicira proizvodnju ćelija fibroblasta, a može da ima i primenu u prenošenju lekovitih supstanci kroz očnu ili krvno moždanu membranu. Smanjenje remanentne magnetizacije ukazuje na to da preovlađuju dijamagnetna svojstva, što je i pokazano u ranijem istraživanju uticaja fulerola na vodu [101].

Iako dijagrami dobijeni opto-magnetnom imidžing spektroskopijom pokazuju male razlike pre i posle spoljašnjih uticaja, razlike postoje i najznačajnije za vrednosti

intenziteta pre nego za vrednosti talasnih dužina. Na osnovu dijagrama se jasno mogu uočiti razlike između materijala sa različitim koncentracijama fullerola, s obzirom da svaki materijal ima karakteristični spektar i odgovarajuće pikove.

Tokom snimanja opto-magnetnom imidžing spektroskopijom, koje je trajalo oko 3 minuta za 10 snimanja, svi materijali su pokazali paramagnetne osobine (aktivnost petougona fullerena) i dijamagnetne osobine (aktivnost šestougona fullerena), ali dijamagnetne osobine su dominantne. Ovaj rezultat je i bio očekivan s obzirom da fuleren poseduje kako paramagnetna tako i dijamagnetna svojstva, međutim dijamagnetna svojstva prevlađuju upravo zbog većeg broja šestougona u strukturi fullerena.

Kao što je ranije navedeno i poznato iz literature u svim supstancama koje imaju magnetni moment postoje oba efekta ali paramagnetni dominira. U istraživanjima koja su bila predmet ove disertacije pokazano je da kod nanofotoničnih materijala dominira dijamagnetni doprinos. Upravo ti rezultati potvrđuju prisustvo fullerola, kao nanomaterijala koji ima prevashodno dijamagnetna svojstva.

Obe metode korišćene u ovim eksperimentima zajedno doprinose boljem razumevanju magnetnih svojstava polimernih materijala sa inkorporiranim fullerolom. Upotrebom ove dve metode dobijamo kvalitetniju sliku o samim materijalima i njihovom ponašanju u magnetnom polju. Merenjem remanentne magnetizacije dobijamo vrednosti koje se odnose na celokupnu zapreminu uzorka, dok opto-magnetnom imidžing spektroskopijom dobijamo uvid u površinske osobine uzorka od određenog materijala. OMIS metodom pokazujemo konformacione promene molekula na površini uzorka i to na dubini od nekoliko nanometara do nekoliko milimetara u zavisnosti od prozirnosti uzorka. Ovom metodom su pokazana dijamagnetna svojstva površine uzoraka, odnosno na osnovu dijagrama se može reći koje su karakteristike različitih uzoraka od istog materijala. S obzirom da OMIS metoda karakteriše površinu ova metoda ima prednost jer su u pitanju kontaktna sočiva koja su u direktnom dodiru sa okom. Ova metoda je i brža jer ne zahteva posebnu pripremu materijala, dok je za merenja spinner magnetometrom potrebno pripremiti uzorak na poseban način.

Na osnovu odnosa površina pozitivnih i negativnih pikova pokazuje se da svi materijali imaju pretežno dijamagnetna svojstva uz prisustvo paramagnetnih svojstava. Elektroni u materijalu generalno cirkulišu po orbitalama sa nula otpornosti i ponašaju se

kao petlje koje provode struju. Zbog toga efekat dijamagnetizma može da bude vrlo čest jer bilo koje magnetno polje može da generiše struju kroz te petlje koja će da se suprotstavi promeni. U tom smislu Opto-magnetna imidžing spektroskopija je dokazala dijamagnetna svojstva nanofotoničnih materijala. Nedostatak ove metode je što njome ne mogu da se snime uzorci koji su u boji, kao što je bio slučaj sa uzorkom osnovnog materijala Definitive⁷⁴.

Ispitivani materijali predstavljaju inovaciju u proizvodnji i karakterizaciji materijala za kontaktna sočiva, dok se dobijeni rezultati mogu i praktično primeniti u sferi razvoja novih materijala za kontaktna sočiva. Pristup istraživanjima je originalan jer se u tezi obrađuju novi silikon hidrogel materijali sa različitim koncentracijama fullerola i njihovo ponašanje u prisustvu spoljašnjeg magnetnog polja. Inovacija se ogleda i u tome što su za karakterizaciju upotrebljene i dve tehnike, spinner magnetometar i opto-magnetna imidžing spektroskopija, što je prvi slučaj u literaturi.

Naučni doprinosi teze:

1. Prvi put je urađena karakterizacija silikon hidrogel materijala sa tri različite koncentracije funkcionalizovanog derivata fullerena, fullerola.
2. Prvi put su uporedno korišćene dve dopunjujuće metode: spinner magnetometar i opto-magnetna imidžing spektroskopija.
3. Prvi put su izmerene remanentne magnetizacije materijala za kontaktna sočiva koji sadrže fullerol.
4. Dobijeni rezultati doprinose boljem razumevanju uticaja spoljašnjih magnetnih polja, ljudskog tela i različitih vrsta svetlosti, na magnetne osobine polimernih materijala sa fullerolom.
5. Takođe dobijeni rezultati pokazuju kakav uticaj na magnetna svojstva imaju različite koncentracije fullerola u polimernom materijalu.
6. Rezultati potvrđuju dijamagnetna svojstva derivata fullerena i demagnetizujuća svojstva vodenog rastvora fullerola.

LITERATURA

- [1] D. Stamenković, Istraživanje i razvoj gaspropusnih nanofotonskih sočiva na bazi polimetilmetakrilata i fulerena, doktorska disertacija, Beograd, 2012.
- [2] A. Hirsch, M. Brettreich, Fullerenes: Chemistry and Reactions, Wiley - VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany. 2006.
- [3] D.M. Guldi, Fullerenes: three dimensional electron acceptor materials, Chem. Commun., Issue 5, 321-327, 2000.
- [4] T. Makarova, B. Sundqvist, R. Hohne, P. Esquinazi, Magnetic carbon, Nature, 413:716, 2001.
- [5] N. Martín, New challenges in fullerene chemistry, Chem. Commun., Issue 20, 2093-2104, 2006.
- [6] J. Qing-xiu, L. Xiao-ning, F. Zhong-yu, Y. Zhong-kai, L. Cong-ju, Structure and Properties of Micro-/nano-sized Electrospun Fullerene/PMMA Mats, Synthetic Fiber in China, 2008.
- [7] H. Peng, F.S.M. Leung, A.X. Wu, Y. Dong, Y. Dong, N.T. Yu, X. Feng, B. Zhong Tang, Using Buckyballs To Cut Off Light! Novel Fullerene Materials with Unique Optical Transmission Characteristics, Chem. Mater., 16, 4790-4798, 2004.
- [8] D. Stamenković, M. Tomić, A. Debeljković, J. Munćan, L. Matija, How incorporated nanomaterials in contact lenses affect their mechanical and optical properties, Proceedings of the 29th Danubia-Adria-Symposium, str. 158-161, 2012.
- [9] A. F. Mansour, Optical properties of fullerene/PMMA, International Journal of Polymeric Materials, 54: 227-235, 2005.
- [10]-R. M. Ahmed, S. M. El-Bashir, Structure and Physical Properties of Polymer Composite Films Doped with Fullerene Nanoparticles, International Journal of Photoenergy, Volume 2011, Article ID 801409, doi:10.1155/2011/801409, 2011.
- [11] S.V. Demishev, L. Weckhuysen, J. Vanacken, N.G. Spitsina, Magnetic properties of the fullerene-based molecular complexe in strong magnetic field, Physica B, 294-295: 324-327, 2001.
- [12] T. Makarova, Magnetism of carbon-based materials, u Studies of High-T_c Superconductivity, ed. A. Narlikar, vol. 44-45, Nova Science Publishers, New York, 2003.

- [13] Đ. Koruga, A. Nikolić, S. Mihajlović, L. Matija, Nanomagnetic behavior of fullerene thin films in earth magnetic field in dark and under polarization light influences, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol 5., 1660-1664, 2005.
- [14] A. Nikolić, Lj. Petrov, Đ. Koruga, S. Mihajlović, Nanoscale magnetic behavior of C₆₀ thin films in earth magnetic field under polarization light influences, *Fullerenes, Nanotubes, and Carbon Nanostructures*, 13(1): 53-59, 2005.
- [15] I. Đuričić, L. Matija, B. Bojović, S. Mihajlović, B. Kosić, Đ. Koruga, Remanent magnetisation measurements of the fullerene thin films, *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 23(11): 938-941, 2015.
- [16] J. Pokorný, poglavlje Spinner magnetometer, str. 920-922, *Encyclopedia of geomagnetism and paleomagnetism*, urednici D. Gubbins, E. Herrero-Bervera, Springer Netherlands, 2007.
- [17] N.D. Nurgalieva, P.G. Yassonov, Magnetic susceptibility, remanent magnetization and coercivity variations along soil profile, *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(5):357-361, 2013.
- [18] M. Gerken, Introduction to magnetochemistry, lecture notes, Poglavlje 7, str.67-70,2004,
(http://classes.uleth.ca/200403/chem3820a/3820%20lecture%20chapter_8_2004.pdf)
- [19] R. Feynman, The Magnetism of Matter, Vol 2 Poglavlje 34 u knjizi *Lectures of Physics*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1964.
- [20] C. L. Nave, Magnetic Properties of Solids, HyperPhysics, Retrieved 11.09.2008.
- [21] G. M. Baule, R. McFee, Detection of the magnetic field of the heart, *Am. Heart J.*, 66: 95, 1963.
- [22] G. M. Baule, R. McFee, Theory of Magnetic Detection of the Heart's Electrical Activity, *J. Appl. Phys.*, 36: 2066, 1965.
- [23] G. M. Baule, Instrumentation for measuring the heart's magnetic field, *Trans. N.Y. Academy of Sciences Ser. II*, 27, 689, 1965.
- [24] G. M. Baule, R. McFee, The magnetic heart vector, *Am. Heart J.* 79: 223, 1970.
- [25] G. M. Battle. u: *Advances in Cardiology*, Vol. 10, urednici S. Rush i E. Lepeschkin str. 304, Karger, Basel, 1974.

- [26] D. Cohen, E. Edelsack, J.E. Zimmerman, Magnetocardiograms taken inside a shielded room with a superconducting point-contact magnetometer, *Appl. Phys. Lett.*, 16: 278, 1970.
- [27] S.J. Williamson, L. Kaufman, Biomagnetism, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 22: 129-201, 1981.
- [28] S.J. Williamson, *Advances in biomagnetism*, Plenum press, New York, 1989.
- [29] J. McClelland, M. Kekić, N. Bozhilova, S. Nestler, T. Dew, F. Van den Eynde et al., A randomised controlled trial of neuronavigated repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) in anorexia nervosa, *PLoS ONE* 11(3): e0148606, 2016.
- [30] K. S. Barth, S. Rydin-Gray, S. Kose, J. J. Borckardt, P. M. O'Neil, D. Shaw et al., Food cravings and the effects of left prefrontal repetitive transcranial magnetic stimulation using an improved sham condition, *Frontiers in psychiatry*, 2: 9, 2011.
- [31] B. N. Gaynes, S. W. Lloyd, L. Lux, G. Gartlehner, R. A. Hansen, S. Brode et al., Repetitive transcranial magnetic stimulation for treatment-resistant depression: a systematic review and meta-analysis, *J Clin Psychiatry*, 75(5): 477–89, 2014.
- [32] M. Grall-Bronnec, A. Sauvaget, The use of repetitive transcranial magnetic stimulation for modulating craving and addictive behaviours: a critical literature review of efficacy, technical and methodological considerations, *Neurosci Biobehav Rev.*, 47: 592–613, 2014.
- [33] D. A. Gorelick, A. Zangen, M. S. George, Transcranial magnetic stimulation in the treatment of substance addiction, *Ann N Y Acad Sci.*, 1327:79–93, 2014.
- [34] M. S. Barr, F. Farzan, V. C. Wing, T. P. George, P. B. Fitzgerald, Z. J. Daskalakis, Repetitive transcranial magnetic stimulation and drug addiction, *International Review of Psychiatry*, 23(5):454–66, 2011.
- [35] P. Kelter, M. Mosher, A. Scott, *Chemistry: The Practical Science*, Houghton Mifflin Company, 2009.
- [36] D. Sliney, How light reaches the eye and its components, *International Journal of Toxicology*, 21(6): 501-509, 2002.
- [37] M.H. Penner, poglavlje Basic principals of spectroscopy, u knjizi *Food analysis*, fourth edition, ed. S. S. Nielsen, Springer Science & Business Media, New York, 2010.
- [38] P.N. Youssef, N. Sheibani, D.M. Albert, Retinal light toxicity, *Eye*, 25:1–14, 2011.

- [39] E. Kitchel, The effect of the blue light on ocular health, *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 94(6): 399, 2000.
- [40] H. Y. Youn, A. P. Cullen, B. R. Chou, J. G. Sivak, Phototoxicity of ultraviolet (UV) radiation: Evaluation of UV-blocking efficiency of intraocular lens (IOL) materials using retinal cell culture and in vitro bioassays, *The Open Toxicology Journal*, 4:13-20, 2010.
- [41] D. L. Pavia, G. M. Lampman, G. S. Kriz, J. R. Vyvyan, Introduction to spectroscopy, četvrto izdanje, Brooks/Cole Cengage Learning, 2009.
- [42] K.B. Zhogova, I.A. Davydov, V.T. Punin, B.B. Troitskii, G.A. Domvachiev, Investigation of fullerene C₆₀ effect on properties of polymethylmethacrylate exposed to ionizing radiation, *European Polymer Journal*, 41(6): 1260–1264, 2005.
- [43] A. Debeljković, V. Veljić, Vera Šijački-Žeravčić, L. Matija, Đ. Koruga, Characterization of materials for commercial and new nanophotonic soft contact lenses by optomagnetic spectroscopy, *FME Transactions*, 42: 88-93, 2014.
- [44] D. Stamenković, D. Kojić, L. Matija, Z. Miljković, B. Babić, Physical properties of contact lenses characterized by Scanning Probe Microscopy and optomagnetic fingerprint, *International Journal of Modern Physics B*, 24 (6 & 7): 825-834, 2010.
- [45] J. Šakota Rosić, M. Conte, J. Munćan, L. Matija, Đ. Koruga, Characterization of fullerenes thin film on glasses by UV/VIS/NIR and opto-magnetic imaging spectroscopy, *FME Transactions*, 42: 172-176, 2014.
- [46] R. R. Kohlmeier, J. Chen, Wavelength-selective, IR light-driven hinges based on liquid crystalline elastomer composites, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 52(35): 9234 – 9237, 2013.
- [47] T. A. Ostler, J. Barker, R. F. L. Evans, R. W. Chantrell, U. Atxitia, O. Chubykalo-Fesenko, S. El Moussaoui, L. Le Guyader, E. Mengotti, L. J. Heyderman, F. Nolting, A. Tsukamoto, A. Itoh, D. Afanasiev, B. A. Ivanov, A. M. Kalashnikova, K. Vahaplar, J. Mentink, A. Kirilyuk, Th. Rasing, Ultrafast heating as a sufficient stimulus for magnetization reversal in a ferrimagnet, *Nat. Commun.*, 3: 666, 2012.
- [48] S. Ohkoshi, K. Imoto, Y. Tsunobuchi, S. Takano, H. Tokoro, Light-induced spin-crossover magnet, *Nat. Chem.*, 3: 564–569, 2011.

- [49] J. M. Haberl, A. Sánchez-Ferrer, A. M. Mihut, H. Dietsch, A. M. Hirt, R. Mezzenga, Light-controlled actuation, transduction, and modulation of magnetic strength in polymer nanocomposites, *Adv. Funct. Mater.*, 24: 3179–3186, 2014.
- [50] N. Brack, P. Kappen, A. I. R. Herries, A. Trueman, A. N. Rider, Evolution of Magnetic and Structural Properties during Iron Plating of Carbon Nanotubes, *J. Phys. Chem. C*, 118: 13218–13227, 2014.
- [51] N. Brack, P. Kappen, M. J. S. Spencer, A. I. R. Herries, A. N. Rider, Manipulation of carbon nanotube magnetism with metal-rich iron nanoparticles, *J. Mater. Chem. C*, 4: 1215, 2016.
- [52] Đ. Koruga, Apparatus for harmonizing light, US Patent Pub. No.: US 2008/0286453 A1, 20. 11. 2008.
- [53] A. Gasson, J. Morris, *The contact lens manual: A practical guide to fitting*, Chapter 6: Lens types and materials, Butterworth-Heinemann, 2003.
- [54] R. Uras, M. J. Rah, Poglavlje 9: Fitting spherical hydrophilic soft contact lenses for daily and extended wear, u: *Contact lenses in ophthalmic practice*, urednici M. J. Mannis, K. Zadnik, Springer-Verlag New York, 2004.
- [55] E. S. Bennett, Options Abound: A 2015 Report on Custom Contact Lenses, *Review of Cornea and Contact Lenses*, Issue September 2015, Jobson Medical Information LLC.
- [56] IACLE (International Association of Contact Lens Educators), *Materijali za kontaktna sočiva i proizvodnja*
- [57] H. W. Kroto, J. R. Heath, S. C. O'Brien, R. F. Curl, R. E. Smalley, C_{60} : Buckminsterfullerene, *Nature*, 318: 162–163, 1985.
- [58] V. Elser, R.C. Haddon, Icosahedral C_{60} : An aromatic molecule with a vanishingly small ring current magnetic susceptibility, *Nature*, 325:792–94, 1987.
- [59] W. Krätschmer, L. D. Lamb, K. Fostiropoulos, D. R. Huffman, Solid C_{60} : a new form of carbon, *347 (6291)*: 354-358, 1990.
- [60] Đ. Koruga, J. Simić-Krstić, M. Trifunović, S. Janković, S. Hameroff, J. C. Withers, R. O. Loutfy, Imaging fullerene C_{60} with atomic resolution using Scanning Tunneling Microscope, *Fullerene Science and Technology*, 1:1, 93-100, 1993.
- [61] Đ. Koruga, S. Hameroff, R. Loutfy, J. Withers, M. Sundareshan, *Fullerene C_{60} , History, Physics, Nanobiology, Nanotechnology*, Elsevier, Amsterdam, 1993.

- [62] A. Krueger, Carbon Materials and Nanotechnology, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2010.
- [63] G. Catão Alves et al., Synthesis of $C_{60}(OH)_{18-20}$ in aqueous alkaline solution under O_2 -atmosphere, *J. Braz. Chem. Soc.*, 17(6): 1186-1190, 2006.
- [64] C.M. Sayes, J.D. Fortner, W. Guo, D. Lyon, A.M. Boyd, K.D. Ausman, Y.J. Tao, B. Sitharaman, L.J. Wilson, J.B. Hughes, J.L. West, V.L. Colvin, The Differential Cytotoxicity of Water-Soluble Fullerenes, *Nanoletters*, 4(10), 1881-1887, 2004.
- [65] P. Taroni, C. D'Andrea, G. Valentini, R. Cubeddu, D. N. Hu, J. E. Roberts, Fullerol in human lens and retinal pigment epithelial cells: time domain fluorescence spectroscopy and imaging, *Photochem. Photobiol. Sci.*, 10: 904, 2011.
- [66] Đ. Koruga, Composition of matter containing harmonized hydroxyl modified fullerene substance, US Patent Pub. No.: US 2008/0188415 A1, 8. 7. 2008.
- [67] SCCP (Scientific Committee on Consumer Products), Safety of nanomaterials in cosmetic products, 19. 6. 2007.
- [68] J. Simić-Krstić, Đ. Koruga, Effects of $C_{60}(OH)_{24}$ on microtubule assembly, *Electrochemical Society*, 98-1, 695, 1998.
- [69] X. Cai, J. Hao, X. Zhang, B. Yu, J. Ren, C. Luo, Q. Li, Q. Huang, X. Shi, W. Li, J. Liu, The polyhydroxylated fullerene derivative $C_{60}(OH)_{24}$ protects mice from ionizing-radiation-induced immune and mitochondrial dysfunction, *Toxicology and Applied Pharmacology*, 243: 27–34, 2010.
- [70] R. Injac, M. Perse, M. Černe, N. Potočnik, N. Radić, B. Govedarica, A. Đorđević, A. Cerar, B. Štrukelj, Protective effects of fullerol $C_{60}(OH)_{24}$ against doxorubicin-induced cardiotoxicity and hepatotoxicity in rats with colorectal cancer, *Biomaterials*, 30: 1184–1196, 2009.
- [71] M. Lidija, Đ. Koruga, J. Jovanović, D. Dobrosavljević, N. Ignjatović, In vitro and in vivo investigation of collagen- $C_{60}(OH)_{24}$ interaction, *Progress in Advanced Materials and Processes*, 453-454, 561-566, 2004.
- [72] T. Da Ros, M. Prato, Medicinal chemistry with fullerenes and fullerene derivatives, *Chem. Commun.*, 663–669, 1999.
- [73] R. Taylor, Addition reactions of fullerenes, *Comptes Rendus Chimie*, 9(7–8):982–1000, 2006.
- [74] Y. Gogotsi, *Nanomaterials Handbook*, Taylor & Francis Group, 2006.

- [75] F. Wudl, Fullerene materials, *J. Mater. Chem.*, 12:1959–1963, 2002.
- [76] E.T. Samulski, J.M. DeSimone, M.O. Hunt, Y.Z. Menceloglu, R.C. Jarnagin, G.A. York, K.B. Labat, H. Wang, Flagellenes: nanophase-separated, polymer-substituted fullerenes, *Chem. Mater*, 4: 1153, 1992.
- [77] D.A. Loy, R.A. Assink, Synthesis of a fullerene C₆₀-p-xylylene copolymer, *J. Am. Chem. Soc.*, 114:10 3977, 1992.
- [78] F. Giacalone, N. Martín, Fullerene polymers: synthesis, properties and applications, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2009.
- [79] F. Giacalone, N. Martín, Fullerene polymers: synthesis and properties, *Chem. Rev.*, 106:5136-5190, 2006.
- [80] L. Matija, J. Jovanović, B. Adnađević, D. Koruga, Kinetics of interaction between fullerol C₆₀(OH)₂₄ and polyacrylic hydrogels, *Materials Science Forum*, 494: 555-560, 2005.
- [81] E. Sheka, Fullerenes: nanochemistry, nanomagnetism, nanomedicine, nanophotonics, Taylor & Francis Group, Florida, 2011.
- [82] Osawa, E. 1970. Superaromaticity, *Kagaku (Kyoto)* 25:854–63;
- [83] Z. Yoshida, E. Osawa, Aromaticity, *Chemical monograph Series* 22, 174–78, 1971.
- [84] M. Bühl, A. Hirsh, Spherical aromaticity of fullerenes, *Chem. Rev.*, 101:1153–83, 2001.
- [85] R. Taylor, D.R.M. Walton, The chemistry of fullerenes, *Nature*, 325:685–92, 1987.
- [86] R.C. Haddon, L.F. Schneemeyer, J.V. Waszczak, S.H. Glarum, R. Tycko, G. Dabbagh, A.R. Kortan, A.J. Muller, A.M. Mujsce, M.J. Rosseinsky, S.M. Zahurak, A.V. Makhija, F.A. Thiel, K. Raghavachari, E. Cockayne, V. Elser, Experimental and theoretical determination of the magnetic susceptibility of C₆₀ and C₇₀, *Nature*, 350:46–48, 1991.
- [87] R.C. Haddon, Chemistry of the fullerenes: The manifestation of strain in a class of continuous aromatic molecules, *Science*, 261:1545–50, 1993.
- [88] T.M. Krygowski, A. Ciesielski, Local aromatic character of C₆₀ and C₇₀ and their derivatives, *J. Chem. Inf. Comp. Sci.*, 35:1001–3, 1995.
- [89] M.P. Johansson, J. Juselius, D. Sundholm, Sphere currents of Buckminsterfullerene, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 44: 1843 –1846, 2005.

- [90] V. H. Grassian, Nanoscience and nanotechnology environmental and health impacts, John Wiley & Sons, Inc. 2008.
- [91] P. v. R. Schleyer, Introduction: Aromaticity, *Chem Rev*, 101:1115–1118, 2001.
- [92] A. V. Nikolaev, Expansion of the π -molecular orbitals of the C_{60} fullerene in spherical harmonics, *International Journal of Quantum Chemistry*, 111: 2478–2481, 2011.
- [93] L. Echegoyen, L. E. Echegoyen, Electrochemistry of fullerenes and their derivatives, *Acc Chem Res*, 31:593–601, 1998.
- [94] M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, P. C. Eklund, Science of fullerenes and carbon nanotubes, Academic Press, San Diego, 1996.
- [95] R. Zanasi, P. Fowler, Ring currents and magnetisability in C_{60} , *Chem. Phys. Lett.*, 238: 270, 1995.
- [96] T. Makarova, Unconventional magnetism in carbon based materials, str. 209-246, u *Frontiers in magnetic materials*, urednik A. V. Narlikar, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
- [97] R. C. Haddon, A. Pasquarello, Magnetism of carbon clusters, *Phys. Rev. B*, 50(16): 459, 1994.
- [98] M. Saunders, A. Jimenez-Vazquez, R. J. Cross, W. E. Billups, C. Gesenberg, A. Gonzalez, W. Luo, R. C. Haddon, F. Diederichm A. Herrmann, Analysis of isomers of the higher fullerenes by ^3He NMR spectroscopy, *Am. Chem. Soc.*, 117: 9305, 1995.
- [99] R. D. Johnson, S. C. Yannoni, H. C. Dorn, J. R. Salem, D. S. Bethune, C_{60} rotation in the solid state: Dynamics of a faceted spherical top, *Science*, 255, 1235, 1992.
- [100] E.A. Katz, D. Faiman, B. Mishori, Y. Shapira, I.A. Shames, S. Shtutina, S. Goren, Changes in the photoelectrical properties and generation of photoinduced defects under light/air exposure of C_{60} thin films, *J. Appl. Phys.* 84: 3333, 1998.
- [101] Đ. Koruga, Water diamagnetic/paramagnetic property and golden mean "memristor", The Second Scientific Conference Water and Nanomedicine, Book of abstracts, Banja Luka, Avgust 2011.
- [102] M. Mikawa, H. Kato, M. Okumura, M. Narazaki, Y. Kanazawa, N. Miwa, H. Shinohara, Paramagnetic water-soluble metallofullerenes having the highest relaxivity for MRI contrast agents, *Bioconjugate Chem*, 12:510-514, 2001.

- [103] R. E. Hurd, Magnetic resonance imaging (MRI) agents: water soluble carbon-13 enriched fullerene and carbon nanotubes for use with dynamic nuclear polarization, US Patent Pub. No.: US 2007/0025918, 1. 2. 2007.
- [104] J. Zhang, J. Younguing, C. Ying, C. Pregot, T. Li, S. Balasubramaniam, D. Hobart, Y. Zhang, S. Wi, $Gd_3N@C_{84}(OH)_x$: A new egg-shaped metallofullerene magnetic resonance imaging contrast agent, *J. Am.Chem. Soc.*, 136: 2630-2636, 2014.
- [105] A. L. Svitova, N. Samoylova, R. Kraus, J. Geck, L. Dunsch, A. A. Popov, Magnetic moments and exchange coupling in nitride clusterfullerenes $Gd_xSc_{3-x}N@C_{80}$ ($x=1-3$), *Dalton Trans.*, 43: 7387-7390, 2014.
- [106] S. Chikazumi, *Physics of ferromagnetism*, str. 118, Oxford: Oxford University Press, 2009.
- [107] A. Dragičević, L. Matija, Z. Krivokapić, A. Ilanković, Đ. Koruga, Remanent Magnetism on Nano and Pico Tesla Level of Biological Tissues, Book of abstracts, 3rd International Translational Nanomedicine Conference, Miločer, str. 23, 2015.
- [108] Spinner magnetometer JR6/JR6A, User's manual Ver. 2.1 May 2004., AGICO, Brno, Republika Češka.
- [109] Đ. Koruga, A. Tomić, System and Method for Analysis of Light-matter Interaction Based on Spectral Convolution, US Patent Pub. No.: 2009/0245603, 1. 10. 2009.
- [110] D. Kojić, Karakterizacija strukturalnih mehaničkih, električnih i magnetnih osobina kože pomoću optičkog i nanoprobe mikroskopa, Doktorska disertacija, Beograd 2011.
- [111] M. Dragojević, M. Popović, S. Stević, V. Šćepanović, *Opšta hemija, I deo*, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1999.
- [112] D.A. Avery, D. Kizer, M.A. Bolte et al., Bright light therapy of subsyndromal seasonal affective disorders in the workplace: morning vs. afternoon exposure, *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 103:267 -274, 2001.
- [113] M.A. Khan, S.I. Erdes, Clinical efficiency of BIOPTRON polychromatic polarized light in the treatment of atopic dermatitis and frequent respiratory diseases in children, *Allergology and Immunology in Paediatrics*, N3 (14), 2008.

- [114] A. Charakida, E.D. Deaton, M. Charakida, P. Mouser et al., Phototherapy in the Treatment of Acne Vulgaris. What is the Role?, *Am J Clin Dermatol*, 5(4):211-216, 2004.
- [115] D. Stasinopoulos, I. Stasinopoulos, M.I. Johnson, Treatment of carpal tunnel syndrome with polarized polychromatic noncoherent light (Bioptron light): a preliminary, prospective, open clinical trial, *Photomedicine and Laser Surgery*, 23(2):225-228, 2005.
- [116] M.M. Colić, N. Vidojković, M. Jovanović, G. Lazović, The use of polarized light in aesthetic surgery, *Aesthetic Plast.Surg.*, 28(5):324-7, 2004.
- [117] B.G. Levi, Can polymeric carbon-60 be magnetic?, *Phys. Today*, 54(12):18, 2001.
- [118] R.A. Wood, M.H. Lewis, M.R. Lees, S.M. Bennington, M.G. Cain, N. Kitamura, Ferromagnetic fullerene, *J. Phys. Condens Matt.*, 14(22): L385-L391, 2002.
- [Web1] Magnetism, Prof. Robert J. Lancashire, The Department of Chemistry, University of the West Indies, Mona Campus, Kingston 7, Jamaica, July 2000.
<http://wwwchem.uwimona.edu.jm/courses/magnetism.html>
- [Web2] <http://www.contamac.com/Products/Silicone-Hydrogel/>
- [Web3] <http://www.agico.com/software/jr6soft.html>
- [Web4]
<http://www.zepter.com/MainMenu/Products/Medical/Bioptron/ProductRange.aspx>

PRILOZI

PRILOG A

Uticaj biološkog faktora

JR-6A

Ideja da se uzorci izlože uticaju magnetizma ljudskog organizma je bila da se uoči da li biomagnetizam ljudskog organizma može da promeni vrednost remanentne magnetizacije materijala sa fullerolom. Ljudski organizam je dinamičan sistem zbog prisustva vode i jona i ima intenzitet magnetnog polja između 4 nT i 6 nT. Ova dinamika ljudskog tela utiče na remanentnu magnetizaciju materijala. Rezultati pokazuju da je došlo do promene vrednosti remanentne magnetizacije nakon 10 minuta uticaja, tj. da biomagnetizam jedne osobe ženskog pola ima uticaja na materijal.

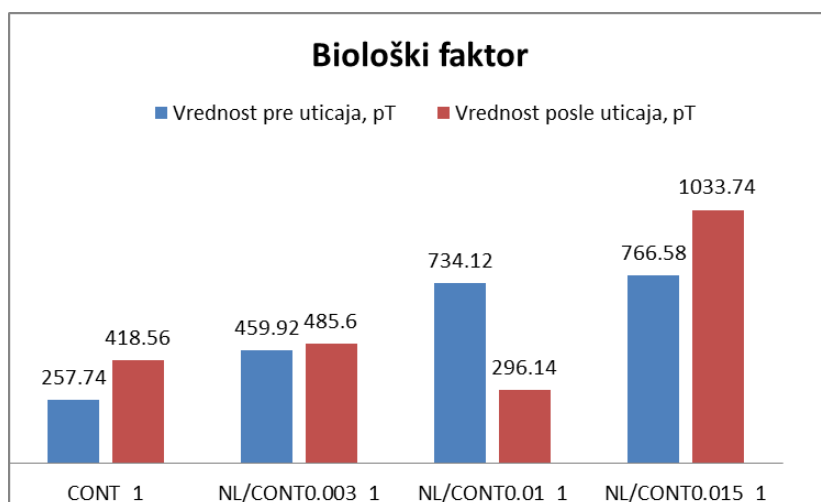
Tabela A.1. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja biološkog faktora

| Biološki faktor | Vrednost pre uticaja, pT | Vrednost posle uticaja, pT |
|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| CONT_1 | 257,74 | 418,56 |
| NL/CONT0.003_1 | 459,92 | 485,6 |
| NL/CONT0.01_1 | 734,12 | 296,14 |
| NL/CONT0.015_1 | 766,58 | 1033,74 |

Smatra se da je došlo do promene u konformacionim stanjima materijala. Očigledno je kod svih materijala došlo do povećanja vrednosti remanentne magnetizacije osim kod materijala NL/CONT0.01 (tabela A.1). U ovom slučaju se remanentna magnetizacija smanjila nakon uticaja biološkog faktora što je upravo posledica dinamike ljudskog tela. Telo je postalo dijamagnetno i nije imalo uticaja na povećanje, već je smanjilo broj nesparenih elektrona u materijalu.

Najmanja promena remanentne magnetizacije je uočljiva kod materijala sa najmanjom koncentracijom fullerola NL/CONT0.003 gde je vrednost povećana sa 459,92 pT na 485,6 pT. Najveća promena vrednosti remanentne magnetizacije uočena je kod osnovnog materijala, CONT gde se vrednost povećala sa 257,74 pT na 418,56 pT.

Takođe je očigledno da se sa povećanjem koncentracije fullerola u materijalu povećava i vrednost njegove remanentne magnetizacije. Tako materijal CONT ima najmanju vrednost pre uticaja 257,74 pT, a materijal NL/CONT0.015 ima najveću vrednost, 766,58 pT. Uporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja biološkog faktora prikazan je na slici A.1.



Slika A.1. Uporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja biološkog faktora

Studija slučaja uticaja biološkog faktora na polimerne materijale je samo početak ispitivanja i interesantan slučaj za dalja istraživanja. Dalja istraživanja bi trebalo postaviti za veći broj ljudi gde bi se mogao prvo izmeriti biomagnetizam te grupe ljudi i onda ispitati njihov uticaj na materijale. Uticaj magnetnog polja ljudskog organizma može biti zanimljiv za dalja istraživanja zbog činjenice da su u pitanju materijali za kontaktna sočiva koja su u direktnom kontaktu sa okom. Zbog malih vrednosti promene u magnetom polju bilo bi interesantno dalje razvijati ovu ideju.

OMIS

Pod uticajem biološkog subjekta kod materijala NL/CONT0.003 imamo gotovo istu karakteristiku pre i posle uticaja, jer su talasne dužine pikova pre i posle uticaja nepromenjene (slika A.2). Negativni pik se nalazi na 119 nm, prvi pozitivni pik je na talasnoj dužini od 116 nm, dok je drugi pozitivni pik na 123,3 nm. Promene su uočene na intenzitetima pikova, gde je došlo do povećanja intenziteta nakon uticaja, s tim što je

najveće povećanje intenziteta uočljivo na negativnom piku. Negativni pik je pre uticaja imao intenzitet od -64,02 n.a.u. dok je nakon uticaja povećan na -74,94 n.a.u.. Odnos površina pozitivnih i negativnih pikova za slučaj pre uticaja iznosi 0,95, dok u slučaju posle uticaja iznosi 0,93. Očigledno je blago smanjenje, ali u oba slučaja odnos površina govori o preovlađujućim dijamagnetnim svojstvima. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.003 pre i posle uticaja biološkog subjekta prikazane su u tabeli A.2.

Tabela A.2. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.003 pre i posle uticaja biološkog subjekta

| NL/CONT 0.003_pre | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | NL/CONT 0.003_posle | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|-------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 119,5 | -64,02 | Pik 1- | 119,7 | -74,94 |
| Pik 1+ | 116,0 | 27,74 | Pik 1+ | 116,2 | 36,55 |
| Pik 2+ | 123,3 | 57,46 | Pik 2+ | 123,3 | 64,66 |

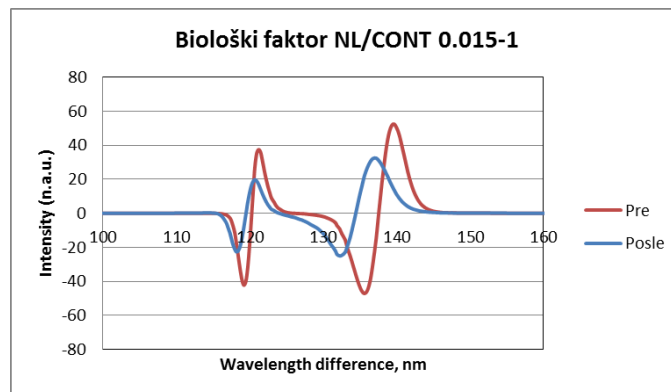
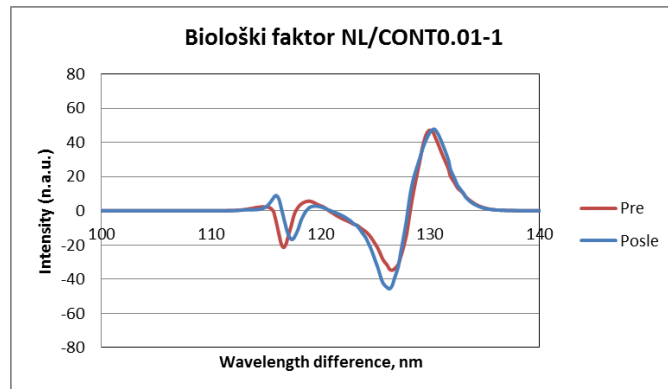
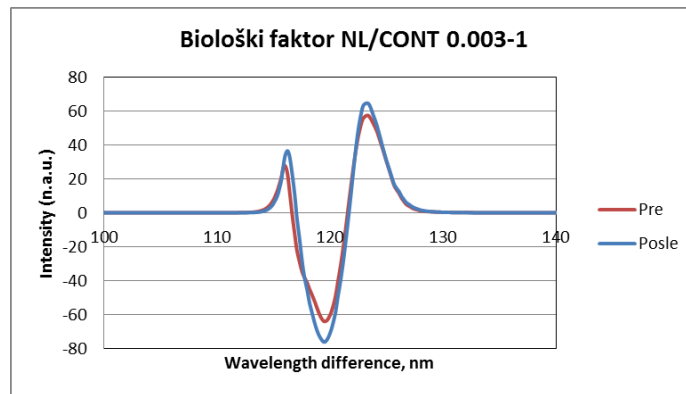
Kod materijala NL/CONT0.01 imamo istu karakteristiku pre i posle uticaja, odnosno talasne dužine pikova su gotovo nepromenjene (slika A.2). Najveći pomeraj je nastao na prvom pozitivnom piku, gde je talasna dužina pre uticaja bila 118,9 nm a nakon uticaja 115,9 nm. Najveće povećanje intenziteta uočljivo je na drugom negativnom piku i to sa -34,76 n.a.u. pre uticaja na -44,91 n.a.u. nakon uticaja. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.01 pre i posle uticaja biološkog subjekta su date u tabeli A.3. Odnos površina pozitivnih i negativnih pikova za slučaj pre uticaja iznosi 0,86, dok u slučaju posle uticaja iznosi 0,89. Očigledno je blago povećanje odnosa površina, ali i u ovom slučaju preovlađuju dijamagnetna svojstva materijala.

Tabela A.3. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.01 pre i posle uticaja biološkog subjekta

| NL/CONT 0.01_pre | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | NL/CONT 0.01_posle | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 116,6 | -21,43 | Pik 1- | 117,3 | -16,59 |
| Pik 2- | 126,6 | -34,76 | Pik 2- | 126,1 | -44,91 |
| Pik 1+ | 118,9 | 6,57 | Pik 1+ | 115,9 | 10,44 |
| Pik 2+ | 129,9 | 47,09 | Pik 2+ | 130,3 | 47,51 |

Tabela A.4. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.015 pre i posle uticaja biološkog subjekta

| NL/CONT 0.015_pre | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. | NL/CONT 0.015_posle | Razlika talasnih dužina, nm | Intenzitet, n.a.u. |
|-------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------|
| Pik 1- | 119,2 | -42,26 | Pik 1- | 118,2 | -22,66 |
| Pik 2- | 135,2 | -45,54 | Pik 2- | 132,3 | -25,03 |
| Pik 1+ | 121,2 | 37,38 | Pik 1+ | 120,5 | 18,88 |
| Pik 2+ | 139,6 | 52,48 | Pik 2+ | 136,8 | 32,19 |



Slika A.2. Dijagrami razlike talasnih dužina (nm) i intenziteta (n.a.u.) za sva tri materijala pre i posle uticaja biološkog faktora

Kod materijala NL/CONT 0.015 imamo istu karakteristiku pre i posle uticaja, s tim što je uočljivo da su talasne dužine pikova u slučaju posle uticaja manje odnosno pomerene u levo (slika A.2). Tako je talasna dužina prvog negativnog pika 119,2 nm pre uticaja a nakon uticaja 118,2 nm, dok je kod drugog negativnog pika talasna dužina pre uticaja iznosila 135,2 nm a nakon uticaja 132,3 nm. Kod prvog i drugog pozitivnog pika talasne dužine pre uticaja su bile 121,2 nm i 139,6 nm, respektivno. Nakon uticaja su smanjene na 120,5 nm i 136,8 nm, respektivno. Intenziteti svih pikova su smanjeni u slučaju posle uticaja. Tako su kod prvog i drugog negativnog pika intenziteti pre uticaja iznosili -42,26 n.a.u. i -45,54 n.a.u., respektivno. Nakon uticaja su smanjeni na -22,66 n.a.u. i -25,03 n.a.u., respektivno. Kod prvog i drugog pozitivnog pika intenziteti pre uticaja su bili 37,38 n.a.u. i 52,48 n.a.u., respektivno. Nakon uticaja intenziteti su smanjeni na 18,88 n.a.u. i 32,19 n.a.u., respektivno. Razlike talasnih dužina i intenziteti pikova za materijal NL/CONT0.015 pre i posle uticaja biološkog subjekta date su u tabeli A.4. Odnos površina pozitivnih i negativnih pikova za slučaj pre uticaja iznosi 0,96, dok u slučaju posle uticaja iznosi 0,79. Očigledno je smanjenje odnosa površina, ali u svakom slučaju materijali pokazuju dijamagnetna svojstva.

JR-6A drugi set merenja

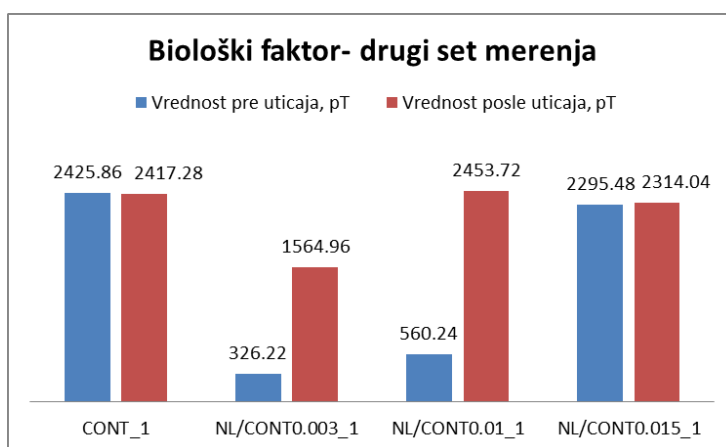
U ovom merenju već korišćeni uzorci su ponovo bili izloženi uticaju ljudskog bića. Ovoga puta su vrednosti remanente magnetizacije osnovnog materijala CONT i materijala sa najvećom koncentracijom fullerola NL/CONT0.015 gotovo nepromenjene nakon uticaja. Vrednost kod materijala CONT pre uticaja je bila 2425,86 pT a nakon uticaja 2417,28 pT. Kod materijala NL/CONT0.015 vrednost pre uticaja je bila 2295,48 pT a nakon uticaja 2314,04 pT. Kod materijala sa nanomaterijalom vrednosti remanentne magnetizacije su se povećale i to kod materijala NL/CONT0.003 je pre uticaja bila 326,22 pT a nakon uticaja 1564,96 pT. Kod materijala NL/CONT0.01 vrednost je pre uticaja bila 560,24 pT a posle uticaja je povećana na 2453,72 pT. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja biološkog faktora prikazani su u tabeli A.5 i na slici A.3.

Početne vrednosti remanentne magnetizacije materijala u ovom setu merenja su različite u odnosu na vrednosti dobijene u prethodnom merenju. U prvom setu merenja vrednosti remanentne magnetizacije nakon spoljašnjeg uticaja su povećanje, osim kod

materijala sa 0,01% fullerola. Međutim, u drugom setu merenja došlo je do povećanja vrednosti kod svih materijala osim kod osnovnog, gde je promena bila neznatna. Očigledno kod materijala bez fullerola nije imao uticaja na vrednost remanentne magnetizacije. Na osnovu drugačijih početnih vrednosti može se zaključiti da je došlo do promene u konfiguraciji materijala nakon stajanja u mraku pa samim tim su i nakon ponovnog uticaja biološkog faktora vrednosti bile drugačije.

Tabela A.5. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja biološkog faktora

| Biološki faktor | Vrednost pre uticaja, pT | Vrednost posle uticaja, pT |
|-----------------|--------------------------|----------------------------|
| CONT_1 | 2425,86 | 2417,28 |
| NL/CONT0.003_1 | 326,22 | 1564,96 |
| NL/CONT0.01_1 | 560,24 | 2453,72 |
| NL/CONT0.015_1 | 2295,48 | 2314,04 |



Slika A.3. Uporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja biološkog faktora

OMIS drugi set merenja

U fazi merenja pod uticajem biološkog subjekta kod materijala NL/CONT0.003 i u ovom setu merenja imamo istu karakteristiku kao i u prvom setu. Negativni pik se nalazi na 119 nm, prvi pozitivni pik je na talansoj dužini od 116 nm, dok je drugi pozitivni pik na 123,3 nm. Promene su uočene na intenzitetima pikova, gde je došlo do

povećanja intenziteta nakon uticaja, s tim što je najveće povećanje intenziteta uočljivo na negativnom pik. Negativni pik je pre uticaja imao intenzitet od $-73,26$ n.a.u. dok je nakon uticaja povećan na $-90,6$ n.a.u..

Kod materijala NL/CONT0.01 imamo istu karakteristiku pre i posle uticaja, odnosno talasne dužine pikova su gotovo nepromenjene. Najveća promena intenziteta uočljiva je na drugom negativnom pik i to sa $-47,00$ n.a.u. pre uticaja na $-39,38$ n.a.u. nakon uticaja.

Kod materijala NL/CONT 0.015 imamo istu karakteristiku pre i posle uticaja, kao što je slučaj i u prvom setu merenja. Za razliku od prvog merenja gde su talasne dužine svih pikova smanjene nakon uticaja, u ovom slučaju imamo nepromenjen drugi pozitivni i drugi negativni pik. Prvi negativni pik je pomeren ka većoj talasnoj dužini sa $117,5$ nm pre uticaja na $118,5$ nm nakon uticaja. Prvi pozitivni pik je pomeren ka manjoj talasnoj dužini i to sa $120,7$ nm pre uticaja na $116,4$ nm nakon uticaja. Intenziteti svih pikova su neznatno promenjeni nakon uticaja biološkog faktora, a u odnosu na prvi set merenja malo niži. Odnos površina pozitivnih i negativnih pikova kao i u prvom merenju pokazuje da preovlađuju dijamagnetna svojstva.

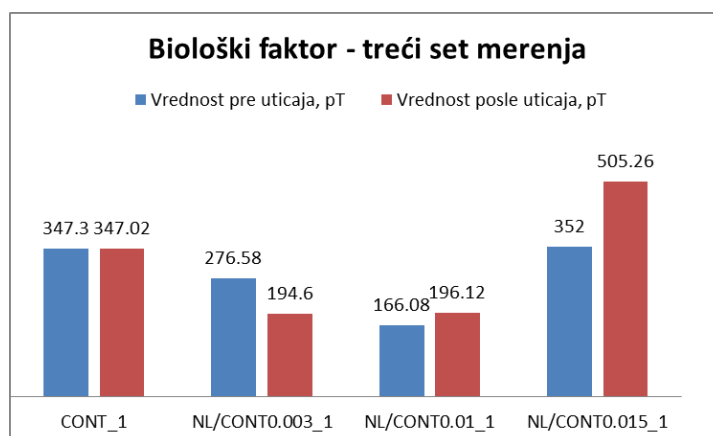
JR-6A – treći set merenja

U trećem merenju remanentne magnetizacije uzoraka u prvoj fazi, materijal CONT takođe ne pokazuje razliku u vrednostima pre i nakon uticaja, pa tako iznosi 347 pT. Vrednost kod materijala NL/CONT0.003 je smanjena sa $276,58$ pT na $194,6$ pT. Kod materijala NL/CONT0.01 i NL/CONT0.015 vrednosti su se povećale i to sa $166,08$ pT na $196,12$ pT i sa 352 pT na $505,26$ pT, redom. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja biološkog faktora prikazane su u tabeli A.6 i na slici A.4. Vrednosti remanentne magnetizacije su se nakon ponovnog stajanja u mraku znatno smanjile u odnosu na prethodne vrednosti iz prvog i drugog seta merenja. I u ovom slučaju možemo zaključiti da se u uzorcima nalazi zaostali magnetizam koji je uticao na merenja.

Tabela A.6. Srednje vrednosti od pet uzastopnih merenja remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja biološkog faktora

| Biološki faktor | Vrednost pre uticaja, pT | Vrednost posle uticaja, pT |
|-----------------|--------------------------|----------------------------|
| CONT_1 | 347,3 | 347,02 |
| NL/CONT0.003_1 | 276,58 | 194,6 |
| NL/CONT0.01_1 | 166,08 | 196,12 |
| NL/CONT0.015_1 | 352 | 505,26 |

Biološki faktor ovoga puta nije imao uticaja na osnovni materijal, dok je kod materijala sa 0.01% i 0.015% fullerola došlo do povećanja vrednosti, a kod materijala sa najmanjom koncentracijom je došlo do smanjenja. Očigledno materijali nakon stajanja i tri izlaganja spoljašnjem uticaju menjaju konfiguraciju tako da se elektroni sparuju i dolazi do pojačanja dijamagnetizma.



Slika A.4. Uporedni prikaz srednjih vrednosti remanentne magnetizacije uzoraka pre i posle uticaja biološkog faktora

PRILOG B

Uporedna merenja na JR-6A i OMIS – Protokol istraživanja

Bela difuzna svetlost

Merenja su rađena na sobnoj temperaturi od 21,9 °C dok je vlažnost vazduha iznosila 42% i izvršena su na sledeći način:

Uzorak NL/CONT0.003_2

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.003_2 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_2. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak je bio pod uticajem bele difuzne svetlosti 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_2 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.003_2 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak NL/CONT0.01_2

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.01_2 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_2. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak je bio pod uticajem bele difuzne svetlosti 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_2 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.01_2 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak NL/CONT0.015_2

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.015_2 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_2. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak je bio pod uticajem bele difuzne svetlosti 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_2 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.015_2 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak CONT_2

1. Slikanje uzorka CONT_2 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.

2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom CONT_2. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak je bio pod uticajem bele difuzne svetlosti 10 minuta.
1. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom CONT_2 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
2. Slikanje uzorka CONT_2 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Polarizovana svetlost

Merenja su rađena na sobnoj temperaturi od 22,2 °C dok je vlažnost vazduha iznosila 39% i izvršena su na sledeći način:

Uzorak NL/CONT0.003_3

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.003_3 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_3. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak je bio pod uticajem polarizovane svetlosti 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_3 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.003_3 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak NL/CONT0.01_3

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.01_3 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_3. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak je bio pod uticajem polarizovane svetlosti 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_3 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.01_3 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak NL/CONT0.015_3

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.015_3 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_3. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak je bio pod uticajem polarizovane svetlosti 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_3 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.015_3 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak CONT_3

1. Slikanje uzorka CONT_3 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom CONT_3. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak je bio pod uticajem bele difuzne svetlosti 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom CONT_3 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka CONT_3 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Biološki faktor

Merenja su rađena na sobnoj temperaturi od 20,9 °C dok je vlažnost vazduha iznosila 42% i izvršena su na sledeći način:

Uzorak NL/CONT0.003_1

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.003_1 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_1. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak NL/CONT0.003_1 je bio u ruci od 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_1 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.003_1 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak NL/CONT0.01_1

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.01_1 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_1. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak NL/CONT0.01_1 je bio u ruci 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_1 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.01_1 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak NL/CONT0.015_1

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.015_1 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_1. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak NL/CONT0.015_1 je bio u ruci 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_1 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.015_1 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak CONT_1

1. Slikanje uzorka CONT_1 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom CONT_1. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak CONT_1 je bio u ruci 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom CONT_1 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.

Slikanje uzorka CONT_1 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

PRILOG C

Merenja sa ultraljubičastim svetlom na jednom uzorku

Merenja su izvršena na sobnoj temperaturi od 20,8 °C dok je vlažnost vazduha iznosila 40% i izvršena su na sledeći način:

1. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_4. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
2. Uzorak NL/CONT0.003_4 je bio pod uticajem UV lampe 10 minuta. Za to vreme je merena remanentna magnetizacija uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_4. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_4 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja. Za to vreme je uzorak sa oznakom NL/CONT0.01_4 bio pod uticajem UV lampe 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_4 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_4. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
6. Uzorak NL/CONT0.015_4 je bio pod uticajem UV lampe 10 minuta.
7. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_4 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.

Kod ove faze merenja je bio problem nedostatka uzorka standardnog materijala, pa merenje remanentne magnetizacije ovog uzorka nije izvršeno.

PRILOG D

Merenja sa ultraljubičastim svetlom na tri uzorka od istog materijala

Merenja su izvršena na sobnoj temperaturi od 22,4°C dok je vlažnost vazduha iznosila 52% i izvršena su prema sledećem protokolu:

1. Slikanje sva tri uzorka materijala NL/CONT0.003 OMIS aparatom pre uticaja ponaosob, dva puta po 10 slika.

2. Merenje remanentne magnetizacije sva tri uzorka materijala NL/CONT0.003 ponaosob pre uticaja. Izvršeno po pet uzastopnih merenja.
3. Sva tri uzorka materijala NL/CONT0.003 su bila pod uticajem UV lampe 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije sva tri uzorka materijala NL/CONT0.003 ponaosob nakon uticaja. Izvršeno po pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje sva tri uzorka materijala NL/CONT0.003 OMIS aparatom nakon uticaja ponaosob, dva puta po 10 slika.
6. Slikanje sva tri uzorka materijala NL/CONT0.01 OMIS aparatom pre uticaja ponaosob, dva puta po 10 slika.
7. Merenje remanentne magnetizacije sva tri uzorka materijala NL/CONT0.01 ponaosob pre uticaja. Izvršeno po pet uzastopnih merenja.
8. Sva tri uzorka materijala NL/CONT0.01 su bila pod uticajem UV lampe od 10 minuta.
9. Merenje remanentne magnetizacije sva tri uzorka materijala NL/CONT0.01 ponaosob nakon uticaja. Izvršeno po pet uzastopnih merenja.
10. Slikanje sva tri uzorka materijala NL/CONT0.01 OMIS aparatom nakon uticaja ponaosob, dva puta po 10 slika.
11. Slikanje sva tri uzorka materijala NL/CONT0.015 OMIS aparatom pre uticaja ponaosob, dva puta po 10 slika.
12. Merenje remanentne magnetizacije sva tri uzorka materijala NL/CONT0.015 ponaosob pre uticaja. Izvršeno po pet uzastopnih merenja.
13. Sva tri uzorka materijala NL/CONT0.015 su bila pod uticajem UV lampe 10 minuta.
14. Merenje remanentne magnetizacije sva tri uzorka materijala NL/CONT0.015 ponaosob nakon uticaja. Izvršeno po pet uzastopnih merenja.
15. Slikanje sva tri uzorka materijala NL/CONT0.015 OMIS aparatom nakon uticaja ponaosob, dva puta po 10 slika.

PRILOG E

Drugi set merenja na JR-6A i OMIS

Bela difuzna svetlost

Merenja su rađena na sobnoj temperaturi od 20,8 °C dok je vlažnost vazduha iznosila 43%. Merenja su vršena na sledeći način:

Uzorak NL/CONT0.003_2

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.003_2 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_2. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak je bio pod uticajem bele difuzne svetlosti 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_2 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.003_2 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak NL/CONT0.01_2

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.01_2 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_2. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak je bio pod uticajem bele difuzne svetlosti 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_2 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.01_2 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak NL/CONT0.015_2

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.015_2 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_2. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak je bio pod uticajem bele difuzne svetlosti 10 minuta.

4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_2 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.015_2 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak CONT_2

1. Slikanje uzorka CONT_2 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom CONT_2. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak je bio pod uticajem bele difuzne svetlosti 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom CONT_2 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka CONT_2 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Polarizovana svetlost

Merenja su rađena na sobnoj temperaturi od 21,1°C dok je vlažnost vazduha iznosila 43%. Merenja su vršena na sledeći način:

Uzorak NL/CONT0.003_3

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.003_3 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_3. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak je bio pod uticajem polarizovane svetlosti 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_3 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.003_3 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak NL/CONT0.01_3

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.01_3 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_3. Izvršeno pet uzastopnih merenja.

3. Uzorak je bio pod uticajem polarizovane svetlosti 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_3 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.01_3 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak NL/CONT0.015_3

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.015_3 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_3. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak je bio pod uticajem polarizovane svetlosti 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_3 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.015_3 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Biološki faktor

Merenja su rađena na sobnoj temperaturi od 21°C dok je vlažnost vazduha iznosila 42%. Merenja su vršena na sledeći način:

Uzorak NL/CONT0.003_1

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.003_1 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_1. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak NL/CONT0.003_1 je bio u ruci 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_1 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.003_1 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak NL/CONT0.01_1

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.01_1 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.

2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_1. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak NL/CONT0.01_1 je bio u ruci 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_1 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.01_1 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak NL/CONT0.015_1

1. Slikanje uzorka NL/CONT0.015_1 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_1. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak NL/CONT0.015_1 je bio u ruci 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_1 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka NL/CONT0.015_1 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

Uzorak CONT_1

1. Slikanje uzorka CONT_1 OMIS aparatom, dva puta po 10 slika.
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom CONT_1. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Uzorak CONT_1 je bio u ruci 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom CONT_1 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Slikanje uzorka CONT_1 OMIS aparatom nakon uticaja, dva puta po 10 slika.

PRILOG F

Treći set merenja (samo JR-6A)

Merenja su podeljena na sledeći način:

1) Bela difuzna svetlost

1. Merenje remanentne magnetizacije uzorka pre spoljašnjeg dejstva
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka nakon 10 minuta pod uticajem bele difuzne svetlosti (diode sa OMIS-a)

2) Polarizovana svetlost

1. Merenje remanentne magnetizacije uzorka pre spoljašnjeg dejstva
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka nakon 10 minuta pod uticajem polarizovane svetlosti (BIOPTRON lampa)

3) Biološki faktor

1. Merenje remanentne magnetizacije uzorka pre spoljašnjeg dejstva
2. Merenje remanentne magnetizacije uzorka nakon 10 minuta pod uticajem biološkog faktora

Bela difuzna svetlost

Merenja su izvršena na sobnoj temperaturi od 21,1 °C dok je vlažnost vazduha iznosila 36%. Merenja su vršena na sledeći način:

1. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_2. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
2. Uzorak NL/CONT0.003_2 je bio pod uticajem bele difuzne svetlosti 10 minuta. Za to vreme je merena remanentna magnetizacija uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_2. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_2 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja. Za to vreme je uzorak sa oznakom NL/CONT0.01_2 bio pod uticajem bele difuzne svetlosti 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_2 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_2. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
6. Uzorak NL/CONT0.015_2 je bio pod uticajem bele difuzne svetlosti 10 minuta. Za to vreme je merena remanentna magnetizacija uzorka sa oznakom CONT2. Izvršeno pet uzastopnih merenja.

7. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_2 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja. Za to vreme je uzorak sa oznakom CONT2 bio pod uticajem bele difuzne svetlosti 10 minuta.
8. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom CONT2 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.

Polarizovana svetlost

Merenja su izvršena na sobnoj temperaturi od 20,5 °C dok je vlažnost vazduha iznosila 44%. Merenja su vršena na sledeći način:

1. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_3. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
2. Uzorak NL/CONT0.003_3 je bio pod uticajem polarizovane svetlosti BIOPTRON lampe 10 minuta. Za to vreme je merena remanentna magnetizacija uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_3. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_3 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja. Za to vreme je uzorak sa oznakom NL/CONT0.01_3 bio pod uticajem polarizovane svetlosti BIOPTRON lampe 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_3 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_3. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
6. Uzorak NL/CONT0.015_3 je bio pod uticajem polarizovane svetlosti BIOPTRON lampe 10 minuta. Za to vreme je merena remanentna magnetizacija uzorka sa oznakom CONT3. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
7. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_3 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja. Za to vreme je uzorak sa oznakom CONT3 bio pod uticajem polarizovane svetlosti BIOPTRON lampe od 10 minuta.
8. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_1 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.

Biološki faktor

Merenja su rađena na sobnoj temperaturi od 21,6 °C dok je vlažnost vazduha iznosila 41%. Merenja su vršena na sledeći način:

1. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom CONT1. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
2. Uzorak CONT1 je bio u ruci 10 minuta. Za to vreme je merena remanentna magnetizacija uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_1. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
3. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom CONT1 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja. Za to vreme je uzorak sa oznakom NL/CONT0.003_1 bio u ruci 10 minuta.
4. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.003_1 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
5. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_1. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
6. Uzorak sa oznakom NL/CONT0.01_1 bio u ruci 10 minuta. Za to vreme je merena remanentna magnetizacija uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_1. Izvršeno pet uzastopnih merenja.
7. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.01_1 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja. Za to vreme je uzorak sa oznakom NL/CONT0.015_1 bio u ruci 10 minuta.
8. Merenje remanentne magnetizacije uzorka sa oznakom NL/CONT0.015_1 nakon uticaja. Izvršeno pet uzastopnih merenja.

Biografija

Marija Tomić rođena je 18.12.1983. godine u Čupriji. Završila je Gimnaziju opšteg smera u Čupriji 2002. godine i iste godine upisuje Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu, smer Biotehnologija i biohemijsko inženjerstvo. Diplomira 2009. godine kod prof. dr Gordane Kokeza na diplomskom radu "Uticaj primene Project management-a na efikasnost ekonomskih subjekata", sa ocenom deset. Tokom studiranja je bila član studentske organizacije BEST, gde je bila u izvršnom odboru i gde je organizovala brojne događaje za studente iz cele Evrope. Takođe je bila učesnik i koorganizator događaja širom Evrope.

U oktobru 2009. godine upisuje master studije na Mašinskom fakultetu, na modulu Biomedicinsko inženjerstvo. U avgustu 2011. godine završava master studije sa prosečnom ocenom 9.55 i sa master radom kod profesora Đure Koruge na temu "Istraživanje uticaja klasičnog i fullerenskog kontaktnog sočiva na biološke tečnosti pomoću optomagnetne spektroskopije".

Od oktobra 2011. je student doktorskih studija na istom modulu. Kandidatkinja je od upisa na doktorske studije u školskoj godini 2011/12., redovno upisala drugu godinu (školska godina 2012/13.) i treću godinu (školska godina 2013/14.). U školskoj godini 2014/15. je prvi put obnovila treću godinu, a u školskoj godini 2015/16. je drugi put obnovila treću godinu.

Od januara 2011. zaposlena je na projektima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja: "Funkcionalizacija nanomaterijala za dobijanje nove vrste kontaktnih sočiva i ranu dijagnostiku dijabetesa" – III45009 i „Razvoj novih metoda i tehnika za ranu dijagnostiku kancera grlića materice, debelog creva i melanoma na bazi digitalne slike i ekscitaciono-emisionih spektara u vidljivom i infracrvenom domenu" – III41006.

Učestvovala je na nekoliko međunarodnih konferencija, kao i na konferenciji Nanosafe u Grenoblu, Francuska o bezbednosti upotrebe i proizvodnje nanomaterijala. Autor je i koautor 24 rada koji su saopšteni na naučnim skupovima ili objavljeni u časopisima različitih kategorija. Takođe je i koautor nekoliko poglavlja u dve monografije nacionalnog značaja.

Aktivno se služi engleskim jezikom, a koristi se grčkim, italijanskim i francuskim jezikom.

Прилог 1.

Изјава о ауторству

Потписана Марија Томић

број индекса Д13/11

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

ОПТО-МАГНЕТНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПОЛИМЕРНИХ МАТЕРИЈАЛА ЗА
КОНТАКТНА СОЧИВА СА РАЗЛИЧИТИМ КОНЦЕНТРАЦИЈАМА
НАНОМАТЕРИЈАЛА

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршила ауторска права и користила интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 25.8.2016. год.



Handwritten signature of Marija Tomić in blue ink, written over a horizontal line.

Прилог 2.

**Изјава о истоветности штампане и електронске
верзије докторског рада**

Име и презиме аутора Марија Томић
Број индекса Д13/11
Студијски програм Биомедицинско инжењерство
Наслов рада ОПТО-МАГНЕТНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПОЛИМЕРНИХ
МАТЕРИЈАЛА ЗА КОНТАКТНА СОЧИВА СА РАЗЛИЧИТИМ КОНЦЕНТРАЦИЈАМА
НАНОМАТЕРИЈАЛА
Ментор Проф. др Александра Васић-Миловановић

Потписана Марија Томић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предала за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 25.08.2016. год.



Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

ОПТО-МАГНЕТНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ПОЛИМЕРНИХ МАТЕРИЈАЛА ЗА КОНТАКТНА СОЧИВА СА РАЗЛИЧИТИМ КОНЦЕНТРАЦИЈАМА НАНОМАТЕРИЈАЛА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предала сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучила.

1. Ауторство

2. Ауторство - некомерцијално

3. Ауторство – некомерцијално – без прераде

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима

5. Ауторство – без прераде

6. Ауторство – делити под истим условима

Потпис докторанда

У Београду, 25.08.2016. год.

