

# Određivanje prisutnosti magnetita kod fosilnih i recentnih ptica u smislu njihove orijentacije u prostoru

---

Šoštarko, Kristijan

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:761831>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

GEOLOŠKI ODSJEK

KRISTIJAN ŠOŠTARKO

**ODREĐIVANJE PRISUTNOSTI MAGNETITA KOD FOSILNIH I  
RECENTNIH PTICA U SMISLU NJIHOVE ORIJENTACIJE U PROSTORU**

Diplomski rad predložen Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta  
Sveučilišta u Zagrebu radi stjecanja akademskog stupnja magistra geologije

Zagreb, 2017.

Zahvaljujem:

- *Dr. sc. Aleksandru Mezgi, docentu Geološkog odsjeka PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, na pomoći, velikoj podršci i prijedlozima tijekom izrade ovog diplomskog rada*
- *Dr. sc. Zlatanu Bajraktareviću, redovitom profesoru Geološkog odsjeka PMF-a Sveučilišta u Zagrebu u mirovini, na velikom znanju, brojnim korisnim savjetima i životnim mudrostima koje sam usvojio tijekom dosadašnjeg studija, kao i pri izradi ovog diplomskog rada*
- *Dr. sc. Ivanu Gušiću, redovitom profesoru Geološkog odsjeka PMF-a Sveučilišta u Zagrebu u mirovini i redovitom članu HAZU-a, na prepoznavanju zanimljive znanstvene teme interdisciplinarnog tipa, savjetima oko prigodne literature i neuništivom elanu*
- *Dr. sc. Goranu Pichleru, redovitom profesoru Instituta za fiziku u Zagrebu u mirovini i redovitom članu HAZU-a, na velikoj pomoći i susretljivosti pri izvođenju analiza lubanja ptica laserski induciranom fluorescencijom*
- *Dr. sc. Mariu Rakiću, višem asistentu i poslijedoktorandu Instituta za fiziku u Zagrebu, na brojnim korisnim savjetima oko izrade i interpretacije rezultata laserskih analiza*
- *Gospodinu Otonu Glihi, ing. med. rada na IX. Odjelu radiološke dijagnostike Kliničkog zavoda za radiološku dijagnostiku Ortopedske klinike KBC-a Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, na velikoj pomoći, srdačnosti i susretljivosti pri izvođenju rendgenskih analiza lubanja ptica*
- *Dr. sc. Damiru Miheliću, redovitom profesoru Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, na ustupljenim lubanjama ptica za potrebe praktičnog dijela ovog diplomskog rada*

- *Dr. sc. Jadranki Mauch Lenardić, upraviteljici Zavoda za paleontologiju i geologiju kvartara HAZU-a, na ustupljenim lubanjama ptica za potrebe praktičnog dijela ovog diplomskog rada*
- *Gospodinu Šimunu Aščiću, profesoru geologije i geografije i stručnom suradniku Geološkog odsjeka PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, na susretljivosti i izvrsnim fotografijama rendgenskih snimaka*
- *Gospodinu Robertu Koščalu, tehničkom suradniku Geološkog odsjeka PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, na susretljivosti, uređivanju fotografija i korisnim savjetima u svrhu poboljšanja njihove kvalitete*
- *Svojoj obitelji na bezuvjetnoj i nepresušnoj podršci*

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

GEOLOŠKI ODSJEK

Diplomski rad

ODREĐIVANJE PRISUTNOSTI MAGNETITA KOD FOSILNIH I RECENTNIH PTICA U SMISLU  
NJIHOVE ORIJENTACIJE U PROSTORU

KRISTIJAN ŠOŠTARKO

Rad je izrađen u: Prirodoslovno-matematički fakultet

Geološki odsjek, Geološko-paleontološki zavod

Horvatovac 102a

Sažetak:

Magnetizam je skup pojava od velikog značaja za naš planet. Njegova veza sa živim bićima prilično je očaravajuća, no i dalje relativno nejasna. Ptice (AVES) su u tom kontekstu na naprednijoj razini, jer se zahvaljujući vrećicama s mineralima željeza u gornjem dijelu kljuna lako orijentiraju i primaju složene vrste podražaja. Stoga je svrha ovog rada bila pokušaj da se na temelju spoznaja o mineralnim vrećicama kod recentnih ptica upoznaju neke od najčešćih fizikalnih metoda istraživanja, radi moguće primjene u detekciji i kod fosilnih ptica.

Ključne riječi: ptice, magnetit, magnetorecepcija, orijentacija, fluorescencija, rendgen

Rad sadrži: 41 stranicu, 18 slika, 21 tablicu, 21 dijagram, 14 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: Središnja geološka knjižnica, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

Mentor: Dr. sc. Aleksandar Mezga, docent PMF-a

Ocjenjivači: Dr. sc. Aleksandar Mezga, docent PMF-a

Dr. sc. Đurđica Pezelj, docentica PMF-a

Dr. sc. Nenad Tomašić, redoviti profesor PMF-a

Rad prihvaćen: 10. ožujka 2017.

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

Master of Science Thesis

DETERMINATION OF MAGNETITE PRESENCE IN FOSSIL AND RECENT BIRDS CONSIDERING  
THEIR SPATIAL ORIENTATION

KRISTIJAN ŠOŠTARKO

Thesis completed in: Faculty of Science

Department of Geology, Division of Geology and Paleontology  
Horvatovac 102a

Abstract:

Magnetism is a phenomenon of great importance for our planet. Its connection with living beings is quite astonishing, but still pretty unclear. In this context, birds (AVES) seem a bit advanced, thanks to iron-mineral patches, which enable them to navigate through air and receive series of complex stimuli. Therefore, the purpose of this thesis was an attempt to clarify most common physical methods used in scientific research, based on known facts about iron-mineral patches for possible analogical application in fossil birds.

Keywords: birds, magnetite, magnetoreception, orientation, fluorescence, X-ray

Thesis contains: 41 pages, 18 figures, 21 tables, 21 diagrams, 14 references

Original in: croatian

Thesis deposited in: Central geological library, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

Supervisor: Aleksandar Mezga, Ph.D., Assistant Professor

Reviewers: Aleksandar Mezga, Ph.D., Assistant Professor

Đurđica Pezelj, Ph.D., Assistant Professor

Nenad Tomašić, Ph.D., Full Professor

Thesis accepted: 10th March 2017

## Sadržaj:

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 1. Uvod .....                                                 | 1  |
| 2. Magnetoreceptorni sustav .....                             | 2  |
| 2.1. Predloženi model magnetoreceptornog sustava .....        | 3  |
| 2.2. Teorijski model magnetoreceptornog sustava .....         | 4  |
| 2.3. Model transduktornog mehanizma geomagnetskog polja ..... | 5  |
| 2.4. Model radikalnog para .....                              | 6  |
| 2.5. Uloga nemagnetskog mjehurića .....                       | 6  |
| 2.5.1. Pregradna funkcija .....                               | 7  |
| 2.5.2. Spremnik željeza .....                                 | 7  |
| 3. Metode istraživanja .....                                  | 7  |
| 3.1. Laserom inducirana fluorescencija .....                  | 7  |
| 3.2. Rendgensko zračenje .....                                | 8  |
| 3.3. Primjena metoda na odabranim uzorcima .....              | 8  |
| 4. Rezultati .....                                            | 12 |
| 4.1. Rezultati laserom inducirane fluorescencije .....        | 13 |
| 4.2. Rezultati rendgenske analize .....                       | 34 |
| 5. Rasprava.....                                              | 38 |
| 6. Zaključak .....                                            | 39 |
| 7. Popis literature .....                                     | 40 |

## 1. UVOD

Magnetizam i životinje povezane su na vrlo zanimljiv način. Čak bi se moglo reći da šesto čulo kod životinja odgovara upravo sposobnosti orijentacije unutar Zemljinog magnetnog polja. Ovisno o mediju u kojem se životinja kreće (zrak, voda, zemlja) osjećaj magnetizma na različite načine olakšava njezin život. Tako se, primjerice, lososi u sezoni mriještenja uvijek vraćaju na isto mjesto. S druge strane, ptice selice s lakoćom odlaze u toplije krajeve tijekom jeseni, tj. u hladnije krajeve tijekom proljeća. Štoviše, one gotovo da predvide nadolazeću oluju, pa shodno tome u jatima traže najpovoljniji zaklon. Unatoč desetljećima istraživanja ovog fenomena i dalje nije sasvim jasan mehanizam koji životinjama omogućuje razumijevanje Zemljinog magnetnog polja. Nadalje, fizikalni i kemijski procesi koji se odvijaju na razini živčanih stanica također predstavljaju nastavak ove zagonetke. Logičkim promišljanjem javlja se ideja kako mora postojati neka željezovita komponenta u životinjskom (ovdje ptičjem) organizmu koja ostvaruje vezu s magnetnim silama zračnog prostora. Zaista, potonja postoji u obliku kristala hematita, magnetita i magemita mikroskopskih i submikroskopskih dimenzija. Taj zatvoreni neurokemijski sustav predstavlja nevjerojatno usklađenu petlju koja precizno funkcionira tijekom čitavog životnog stadija jedinke. S paleontološkog stajališta ova domena otvara brojna pitanja. Jedno od najbitnijih svakako se bavi prvom pojavom magnetorecepcije kod ptica u geološkoj prošlosti i naravno postepenim razvojem iste s evolucijom ptica, od pernatih dinosaura i karika koje nedostaju ('missing links' - ARCHAEOORNITHES) do današnjih modernih ptica (NEORNITHES). Ne smije se umanjiti ni značaj ptica stanarica, koje magnetorecepciju doživljavaju na nešto drugačiji način od selica zbog znatno manjeg područja kretanja. U okviru ovog diplomskog rada sam, vođen aktualističkim pristupom, proučavao lubanje živućih ptičjih vrsta. Cilj istog bio je ustanoviti mogu li u paleontologiji netipične metode laserom inducirane fluorescencije i medicinske rendgenske analize dati pokazatelje magnetorecepcije. Samim time napravljen je svojevrsni pomak od klasične paleontologije prema nužnoj interdisciplinarnosti. S obzirom na okolnosti koje su prethodile izradi ovog diplomskog rada (izostanak kvalitetnog fosilnog materijala na području Hrvatske), ali i trenutne mogućnosti (nedostupnost fosilnog materijala pronađenog na svjetskim lokalitetima i sofisticiranijih metoda istraživanja) analizirane lubanje novijeg su datuma, dakle, pripadaju recentnim vrstama ptica, dok su korištene metode novčano dostupne i obećavajuće. Iako se isprva, u paleontološkom smislu, ovakvo istraživanje ne čini značajnim za razumijevanje pojave magnetorecepcije kod ptica, ono predstavlja drugi kraj

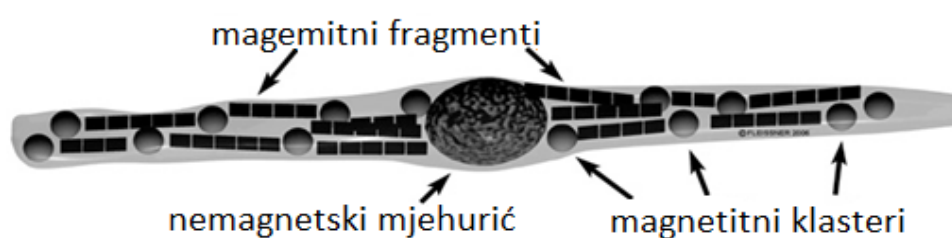
vremenskog spektra od jednakog značaja kao i prvi, u kojem je težište na fosilnim vrstama ptica. Drugim riječima, ovo istraživanje predstavlja tek polovicu puta na kojem će završni korak biti usporedba rezultata istraživanja lubanja recentnih ptica sa rezultatima budućeg istraživanja lubanja fosilnih ptica, čime se mogu donijeti najbolji zaključci.

## **2. MAGNETORECEPTORNI SUSTAV**

Magnetoreceptorni sustav odlikuje se visokom preciznošću, povezujući pritom ptičji živčani sustav sa osjetilima vida i ravnoteže, te navigacijom. Unatoč brojnim provedenim istraživanjima ovog biološkog fenomena i dalje nije sasvim jasan način rada tog sustava. Iako se istraživanja veze između magnetizma i životinja javljaju još u prvoj polovici prošlog stoljeća (Griffin 1944, 1952) mali broj nepouzdatih dokaza zaustavio je daljnji razvoj ideja. Čak su mnogi znanstveni krugovi ismijavali ovo područje, smatrajući ga odličnim primjerom pseudoznanosti. Međutim, sredinom 80-ih godina prošloga stoljeća zagonetka magnetorecepcije počela je dobivati jasnije i konkretnije dokaze, te stvarati sve veće zanimanje - znanstvenici su otkrićem biokemijski precipitiranog magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) kod pčela, gradskih golubova i bakterija razvili pretpostavku, tj. hipotezu prema kojoj bi životinje mogle imati jednostavnu vrstu kompasnih receptora. William Keeton (1972) i Charles Doolittle Walcott sa suradnicima (1974, 1978, 1979) prvi su dokazali postojanje magnetskog kompasa u gradskih golubova. Oni su, ravnajući se po suncu i oblacima, puštali golubove i promatrali njihovu orijentaciju. Za sunčanog dana uvježbane ptice su se vrlo brzo mogle orijentirati i vratiti prema svom domu. Međutim, za oblačnog dana, s malim magnetima pričvršćenim za leđa ili sparenim zavojsnicama omotanima oko glave, golubovi su bili dezorijentirani. Njihov zaključak bio je da ptice, očigledno, magnetski kompas koriste tek kada primarni Sunčev kompas nije dostupan. Kao trenutno najizglednije teorije nameću se mehanizam kemijskih reakcija potpomognut specijaliziranom fotoreceptornom molekulom, tj. model radikalnog para (Ritz et al. 2000) i model temeljen na željezovitom mineralu - magnetitu, tj. magemitu (Beason et al. 1984, 1995).

## 2.1. PREDLOŽENI MODEL MAGNETORECEPTORNOG SUSTAVA

Zahvaljujući iscrpnim histološkim istraživanjima u gornjem dijelu kljuna gradskih golubova (*Columba livia*) pronađeno je šest mineralnih zakrpa - tvorevina sličnih malim vrećicama, u kojima su smješteni željezoviti minerali. Isti su također pronađeni u blizini lateralnog ruba kože gornjeg dijela kljuna, unutar dendrita<sup>1</sup> živčanih stanica (Fleissner et al. 2003, 2007). Ovdje valja istaknuti kako je ustanovljen simetričan raspored spomenutih vrećica, što zasigurno omogućuje punu iskoristivost u ptičjem letu. Mineralne zakrpe u dendritima su u pogledu veličine uglavnom jednake - dugačke  $350\text{ }\mu\text{m}^2$  i široke  $200\text{ }\mu\text{m}$ . Unutar svake vrećice željezoviti minerali se pružaju usporedno sa snopovima aksona, u tri okomita smjera: prednji slijede dorzalno - ventralni smjer, srednji slijede lateralni središnji, a stražnji rostralni<sup>3</sup>. Pokazalo se da i sami dendriti stvaraju pravilne strukture, što dodatno pokazuje visoku organizaciju čestica. Unutar pojedinog dendrita nalaze se tri različita substanična odjeljka koji sadrže nekoliko magnetitnih klastera, željezom obavijen mjehurić i mnogo magemitnih fragmenata (Fleissner et al. 2003, 2007). Svaki dendrit sadrži 10-15 klastera magnetitnih nanokristala, prosječne veličine  $5\text{ nm}^4$  (Fleissner et al. 2007). Klasteri su prosječnog promjera  $1\text{ }\mu\text{m}$  i prijanjaju na staničnu membranu. Spomenuti mjehurić najčešće se nalazi u samom središtu dendrita, prosječnog je promjera  $5\text{ }\mu\text{m}$ , a tvar koja ga obavija nije kristalizirana (sl. 1). Magemitni fragmenti stvaraju lance koji se protežu duž čitavog dendrita. Svaki fragment dužine je i širine  $1\text{ }\mu\text{m}$ , te debljine manje od  $0,1\text{ }\mu\text{m}$  (Fleissner et al. 2003, 2007).



Slika 1. Smještaj ferimagnetnih čestica unutar dendrita (Fleissner et al. 2007)

<sup>1</sup> Kratki ogranci, tj. krajevi živčanih stanica.

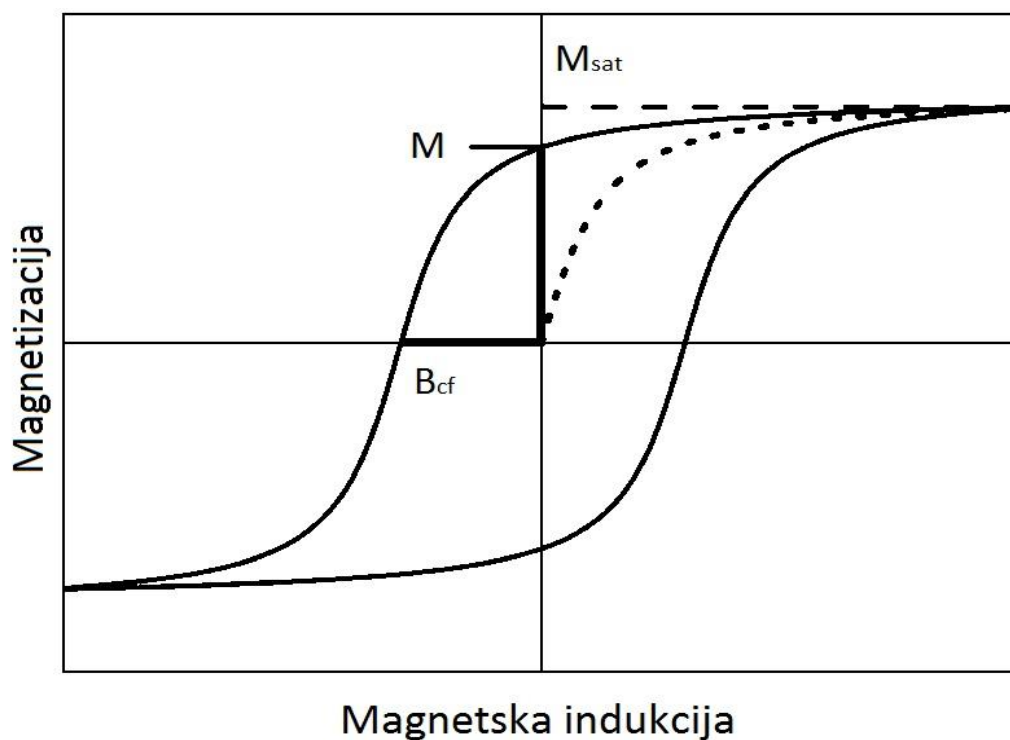
<sup>2</sup> Mikrometar ili mikron, mjerna jedinica dužine SI-sustava veličine  $1 \times 10^{-6}$ .

<sup>3</sup> Smjer pružanja struktura glave prema vrhu kljuna.

<sup>4</sup> Nanometar, mjerna jedinica dužine SI-sustava veličine  $1 \times 10^{-9}$ .

## 2.2. TEORIJSKI MODEL MAGNETORECEPTORNOG SUSTAVA

Teorijski model temelji se na dva željezovita minerala - magnetitu i magemitu. Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) željezoviti je oksid i član grupe spinela, koji se ističe po istom kemijskom elementu različitih valencija ( $2^+$  i  $3^+$ ) na kationskim položajima. Magemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) možemo smatrati magnetitom s manjkom  $\text{Fe}^{2+}$ , koji kao i magnetit posjeduje magnetska svojstva. Magnetoreceptorna jedinica sastoji se od 10 magemitnih fragmenata i magnetitnog klastera, koji sadrži ferimagnetične minerale, pa bi stoga trebao imati i moment magnetske sile. Magnetski momenti u ovom su slučaju različite prirode - fragmenti se ponašaju poput manjih trajnih magneta, dok klaster pokazuje inducirani moment magnetske sile. Magnetizacija magnetita i magemita u grafičkom smislu ima oblik histereze<sup>5</sup>. Petlju histereze (sl. 2) opisuju remanentna magnetizacija ( $M$ ), magnetizacija zasićenja ( $M_{\text{sat}}$ ) i prinudna sila ( $B_{\text{cf}}$ ). Vrijednosti parametara histereze ovise o temperaturi i veličini čestica.

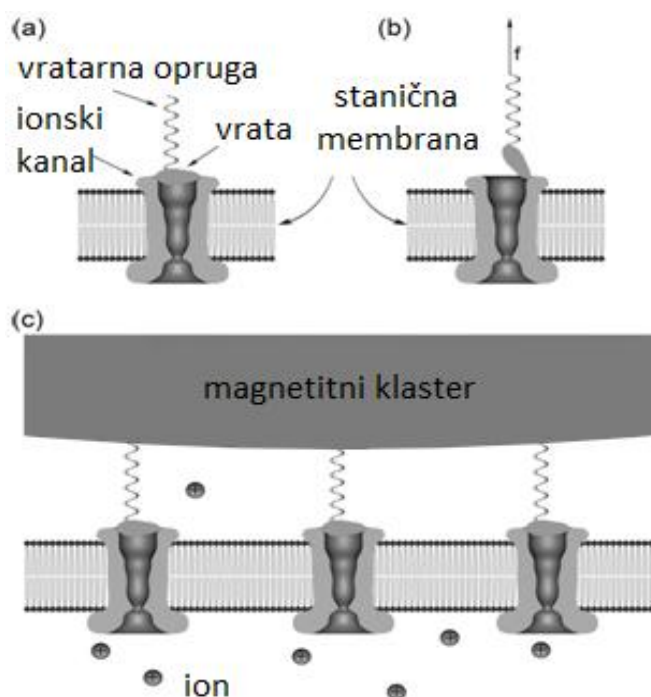


Slika 2. Profil histereze ferimagneta (Horák et al. 2004)

<sup>5</sup> Pojava kašnjenja magnetske indukcije u odnosu na promjenu jakosti magnetskog polja.

### 2.3. MODEL TRANSDUKTORNOG MEHANIZMA GEOMAGNETSKOG POLJA

Potonji model temelji se na magnetskim interakcijama između magnetitnih klastera i lanca magnetitnih čestica (sl. 3). Krajevi koji sadrže magnetit ugrađeni su u slojeve masnog tkiva, što očigledno stvara učinak absorbera šokova, dok je čitav skup poduprt dodavanjem kostiju za stabilnost (Solov'Yov & Greiner 2007). Rad sustava s ugradnjom u mišićno ili neko drugo meko tkivo ne bi bio moguć. Tehnički bi trebalo biti izvedivo uklanjanje sloja kože sa senzornim krajevima pričvršćenim za dovodne živce, uz izvođenje blagih deformacija koje bi mogle oponašati učinke magnetskih polja. Ova vrsta podataka mogla bi dovesti do povoljnog položaja i magnitude očekivanih živčanih deformacija. Ovisno o jakosti magnetnog polja magnetitni klaster može vršenjem sile na staničnu membranu aktivirati mehanički osjetljive ionske kanale, čime se pospješuje priljev iona u samu stanicu. Vrata ionskog kanala mijenjaju potencijal stanične membrane, čime stvaraju receptorni potencijal koji se može prenijeti na druge stanice i time utjecati na ponašanje ptice u zračnom prostoru (Solov'Yov & Greiner 2007).



Slika 3. Shema transduktornog mehanizma geomagnetskog polja (Hudspeth et al. 2000)

#### 2.4. MODEL RADIKALNOG PARA

Ovaj model prvi puta je predložen 80-ih godina prošloga stoljeća, a usavršen 2000. godine (Ritz et al.). Potonji je temeljen na međudjelovanju specijaliziranih fotopigmenata s magnetskim poljem. U prvoj fazi apsorpcija fotona dovodi do premještanja elektrona. Elektron donor i elektron akceptor stvaraju jedinice radikalnih parova, koje se multipliciraju u trojke. Magnetsko polje mijenja dinamiku u tranziciji, tako da prinos trojki ovisi o poravnanju receptorne molekule u okolnom magnetskom polju, čime se pruža informacija o magnetskim smjerovima. Kako bi dobile tu informaciju ptice moraju usporediti prinose u različitim smjerovima, što zahtjeva mnoštvo specijaliziranih fotopigmenata orijentiranih u različitim smjerovima. Stoga se smatra da bi se magnetoreceptori mogli nalaziti u njihovim očima, zbog zaobljenog oblika i razmještaja receptora (Ritz et al. 2000).

#### 2.5. ULOGA NEMAGNETSKOG MJEHURIĆA

Kao što je spomenuto u uvodu, dendriti sadrže magemitne čestice, magnetitne klastere i nemagnetski mjehurić. U prethodnim poglavljima (Fleissner et al. 2007) pokazano je kako magemitne čestice i magnetitni klasteri igraju vrlo važnu ulogu u magnetoreceptorskom mehanizmu. Međutim, uloga nemagnetskog mjehurića još uvijek je predmet rasprava, budući da je prisutno vrlo malo eksperimentalnih podataka. Posljednje istraživanje pokazuje kako bi mjehurić mogao biti smješten u središtu dendrita i prekriven nekom nekristalastom željezovitom tvari. Promjer mjehurića procijenjen je na 3-5  $\mu\text{m}$  (Fleissner et al. 2003, 2007). Vjeruje se da bi upravo taj mjehurić mogao igrati bitnu ulogu u magnetorecepciji kod ptica. Stoga su predložene dvije hipoteze koje bi mogle objasniti ovaj fenomen (Solov'Yov & Greiner 2007).

### 2.5.1. PREGRADNA FUNKCIJA

Prema ovoj hipotezi djelovanje sile na magnetitne klasterne rapidno se povećava ukoliko se udaljenost između čestica i klastera smanjuje. Dakle, bez nemagnetskog mjehurića magnetitni klasteri se mogu slobodno ugraditi na bilo koje mjesto u lancu magnetitnih čestica, uslijed čega učinci magnetskog polja više neće biti mogući. Nadalje, jedna od mogućih uloga mjehurića je i udaljavanje klastera od lanca magnetitnih čestica.

### 2.5.2. SPREMNIK ŽELJEZA

Prema ovoj hipotezi mjehurić bi mogao biti spremnik željeza za opskrbu magnetitnih čestica i magnetitnih klastera. Istraživanjima se pokazalo kako je mjehurić zaista prekriven nekim nemagnetskim željezovitim materijalom, čime je postavljen zdrav temelj za razvoj ove hipoteze (Fleissner et al. 2003, 2007). Međutim, još uvijek nije poznato kako se čestice i klasteri javljaju u kljunu ptica, te kako se magnetoreceptorska jedinica razvija sa starošću jedinke.

## **3. METODE ISTRAŽIVANJA I MATERIJALI**

### 3.1. LASEROM INDUCIRANA FLUORESCENCIJA (LIF)

Laserom inducirana fluorescencija je spektroskopska metoda kojom se atom ili molekulu pobuđuje do viših energetske stanja apsorpcijom laserske zrake i spontanom emisijom svjetlosti. Najčešće se koristi za ispitivanje brzine, koncentracije, temperature i tlaka fluida, poput Ne, Ar i He. Laseri svojstveni ovoj metodi okarakterizirani su diskretnom ili kontinuirano promjenjivom valnom duljinom. Standardni postav za izvođenje ove metode čine: izvor laserskog zračenja, optičko vlakno, digitalni spektrometar i računalo sa odgovarajućim programom za analizu i obradu podataka (sl. 4). Kada uzorak izložimo laserskom zračenju digitalni spektrometar<sup>6</sup> putem optičkog vlakna registrira spektar i mjeri njegov intenzitet. Potom nastupa obrada podataka, da bi, naposljetku, računalni program izradio dijagrame koji prikazuju odnose valnih duljina i intenziteta laserskog zračenja. Rezultati dobiveni ovom metodom predstavljeni su tablicama i dijagramima, koji odražavaju brojčane, tj. grafičke

---

<sup>6</sup> Uređaj koji elektronskim detektorom izravno registrira spektar i mjeri njegov intenzitet, te digitalno pohranjuje dobivene podatke na računalo

vrijednosti. Uočena su zanimljiva odstupanja u smislu tzv. sekundarnih efekata laserskog zračenja, što može upućivati na prisutnost željeza, kao i drugih kemijskih elemenata u lubanjama ptica. Budući da se ova fizikalna metoda koristi za ispitivanje uzoraka u tekućem i plinovitom agregatnom stanju, dobivene rezultate u ovom istraživanju ne možemo interpretirati koristeći se tom analogijom. Međutim, sekundarni efekti laserskog zračenja pokazatelj su prisutnosti određenih kemijskih elemenata u ispitivanom uzorku. Shodno tome, različiti oblici dobivenih sekundarnih efekata kod ptica selica i stanarica mogu polučiti smislene hipoteze, s uporištem u veličini zračnog prostora u kojem obitavaju.

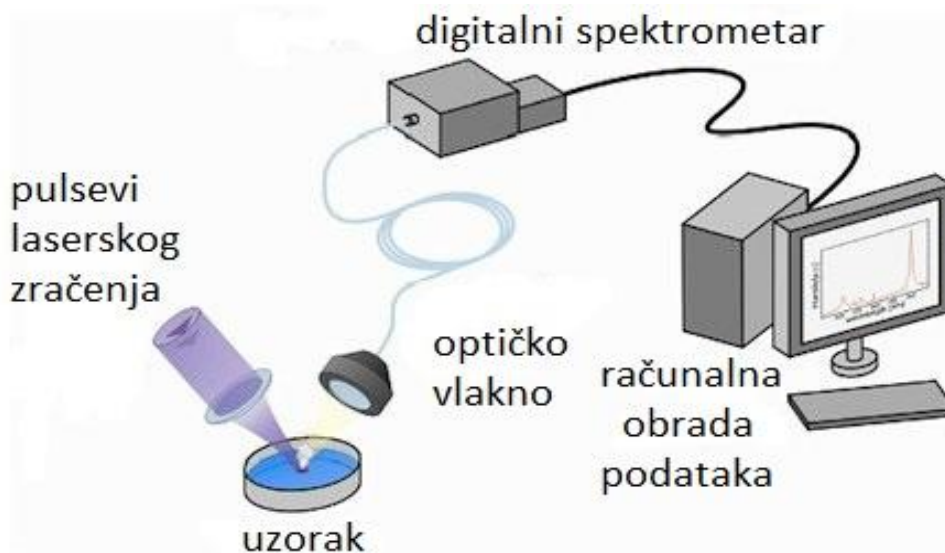
### 3.2. RENDGENSKO ZRAČENJE

Rendgensko zračenje je vrsta elektromagnetskog zračenja koje nastaje u rendgenskoj cijevi uslijed kočenja brzih elektrona u električnim poljima teških jezgara ili relaksacijom, tj. prijelazima elektrona u niže ljuske u teškim atomima. U medicinskom smislu spomenuto zračenje počiva na specifičnim interakcijama upadnih fotona rendgenskih zraka s atomima različitih tkiva, da bi se, naposljetku, iz parametara snopova koji su transmitirani kroz tijelo dobila pregledna rendgenska slika. Rezultati dobiveni ovom metodom predstavljeni su rendgenskim snimkama. Iako medicinska rendgenska analiza ne spada u standardne metode korištene u paleontologiji ista je korištena u ovom diplomskom radu kako bi se dobio jasniji uvid u strukturu lubanja istraživanih ptica. Budući da između mineralnih vrećica sa magnetitom i gornjeg dijela kljuna ptice stoji tek tanki sloj kože, ovim snimkama se želi dati predodžba smještaja te strukture. Tkiva i kosti čine zatvorenu cjelinu - kosti apsorbiraju i trajno pohranjuju tvari koje u njih dospijevaju iz tkiva. Imajući to na umu smisleno je da bi lubanje ptica u sebi mogle sadržavati i određeni udio željeza, što se u tom slučaju može nadovezati na sekundarne efekte dobivene LIF-om.

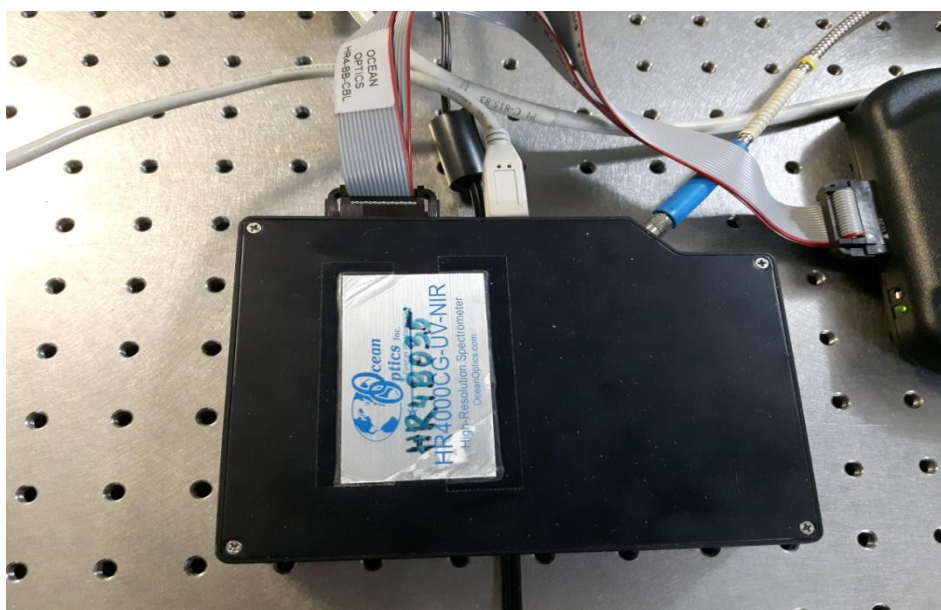
### 3.3. PRIMJENA METODA NA ODABRANIM UZORCIMA

Skup uzoraka na kojima su provedene prethodno opisane metode čine lubanje: gradskog goluba (*Columba livia*), orla štekavca (*Haliaeetus albicilla*), bjeloglavog supa (*Gyps fulvus*), crne rode (*Ciconia nigra*), bijele rode (*Ciconia ciconia*), domaće patke (*Anas platyrhynchos domesticus*), jastreba kokošara (*Accipiter gentilis*) i labuda (*Cygnus olor*). Najprije je obavljena

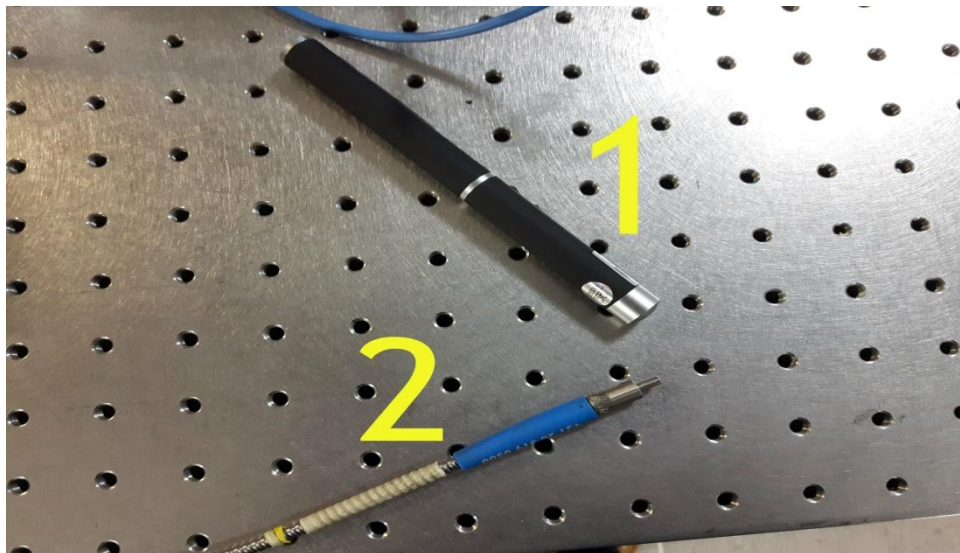
laserska analiza uzoraka, korištenjem kontinuiranih lasera valnih duljina 405 nm i 450 nm koji u vidljivom spektru ostvaruju detekciju, te digitalnog spektrometra koji na principu optičkih vlakana ostvaruje reflektivnu spektroskopsku analizu (sl. 5 i 6).



Slika 4. Standardni postav za izvođenje laserom inducirane fluorescencije  
(<http://www.tut.fi/cs/groups/public/@l611/@web/@p/documents/kuva/mdbw/mdqy/~edisp/p042755.jpg>)



Slika 5. Digitalni spektrometar korišten za LIF analizu



Slika 6. Kontinuirani laser valne duljine 405 nm (1) i optičko vlakno (2) korišteni za LIF analizu

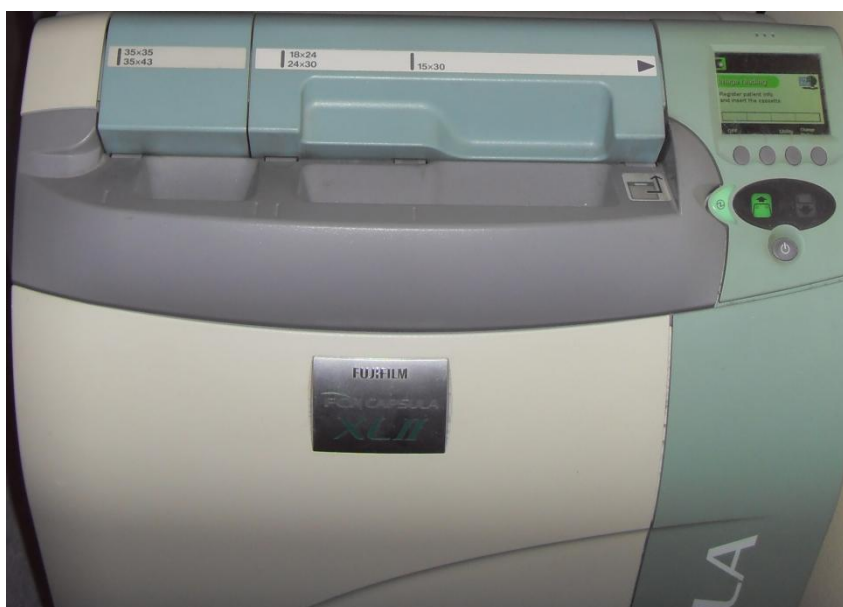
Naposljetku, obavljena je i rendgenska analiza. Uređaj korišten za analizu koji ostvaruje rendgensko zračenje je Shimadzu 0,6/1.2P364DK-85 (sl. 7 i 8). Za obradu podataka i izradu preglednih rendgenskih snimaka zaslužni su uređaji Fujifilm DryPix 2000 i Fujifilm FCR Capsula XL II (sl. 9 i 10).



Slike 7 i 8. Instrument Shimadzu korišten za rendgensku analizu



Slika 9. Instrument Fujifilm DryPix 2000 korišten za izradu rendgenskih snimki



Slika 10. Instrument Fujifilm FCR Capsula XL II korišten za izradu rendgenskih snimki

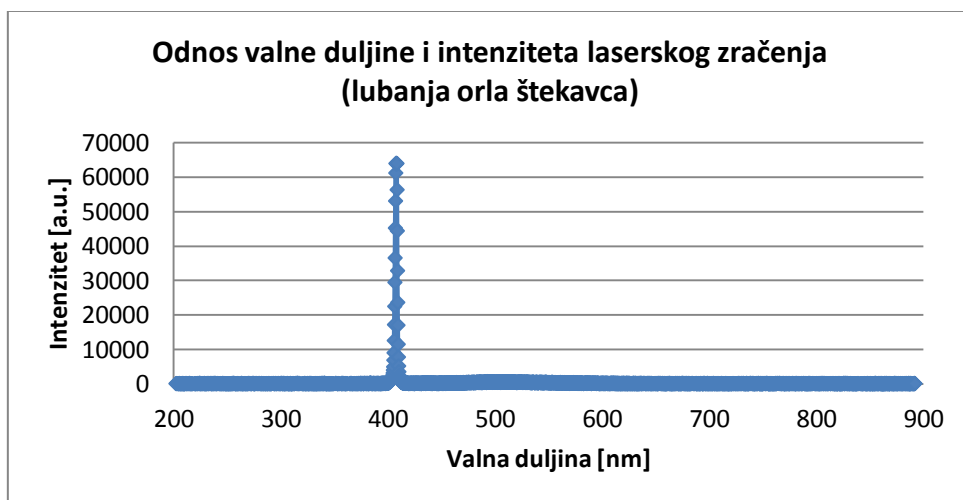
## 4. REZULTATI

Nakon LIF analize uzoraka na Institutu za fiziku u Zagrebu uslijedila je izrada grafičkih prikaza dobivenih rezultata, kao i interpretacija istih. Služeći se parametrima valne duljine laserskog zračenja i njegovim intenzitetom u Microsoft Excelu izradio sam tablice i dijagrame rezultata dobivenih LIF-om za svaku od analiziranih lubanja. Budući da je LIF analizom dobiven širok spektar vrijednosti valne duljine i intenziteta laserskog zračenja zbog preglednosti i jednostavnosti svaka od tablica sadrži 29 redova sa odgovarajućim podacima spomenutih parametara. Međutim, dijagrami su odraz čitavog skupa podataka dobivenih ovom analizom. Nakon rendgenske analize uzoraka na Ortopedskoj klinici KBC-a na Kliničkom zavodu za radiološku dijagnostiku Medicinskog fakulteta u Zagrebu korištenjem ranije spomenutih uređaja izrađene su pregledne rendgenske snimke.

#### 4.1. REZULTATI LASEROM INDUCIRANE FLUORESCENCIJE

| Valna duljina | Intenzitet |
|---------------|------------|
| 200,19        | -36,86     |
| 225,18        | 73,73      |
| 250,02        | -32,77     |
| 275,16        | 20,48      |
| 300,15        | 126,97     |
| 325,2         | 14,34      |
| 350,09        | -32,77     |
| 375,03        | -24,58     |
| 404,77        | 3979,20    |
| 405,81        | 17178,36   |
| 406,22        | 29462,08   |
| 407,05        | 61228,12   |
| 500,13        | 454,65     |
| 525,17        | 477,18     |
| 550           | 356,35     |
| 575           | 258,04     |
| 600,16        | 153,6      |
| 625,08        | 137,21     |
| 650,14        | 43,01      |
| 675,12        | 112,64     |
| 700,02        | -16,38     |
| 725,01        | -88,06     |
| 750,08        | -28,67     |
| 775,01        | -12,29     |
| 800,16        | -86,01     |
| 825,15        | -28,67     |
| 850,13        | 36,86      |
| 875,08        | 8,19       |
| 891,11        | 77,82      |

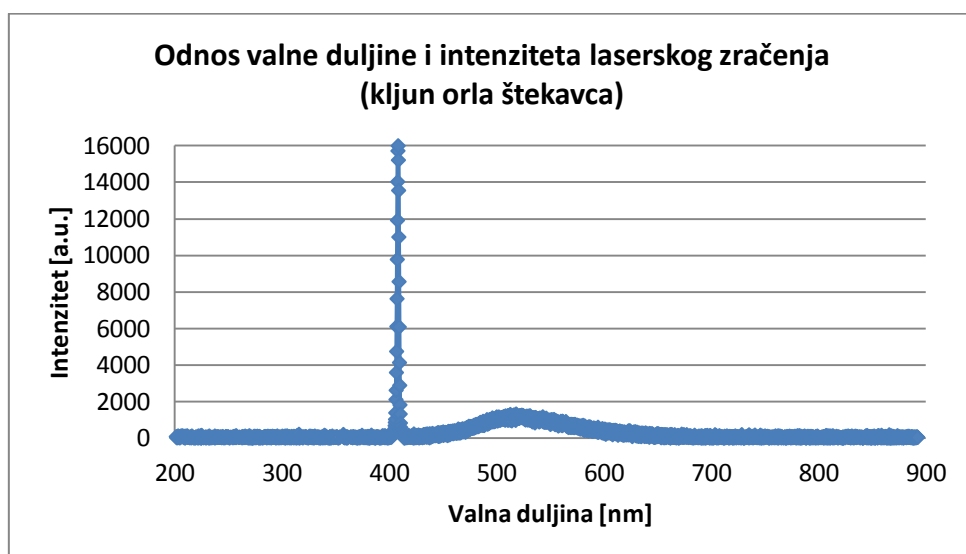
Tablica 1. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod lubanje orla štekavca



Dijagram 1. Rezultati laserske analize lubanje orla štekavca

| Valna<br>duljina | Intenzitet |
|------------------|------------|
| 200,19           | -45,06     |
| 225,18           | 55,3       |
| 250,02           | -71,68     |
| 275,16           | -26,62     |
| 300,15           | 49,15      |
| 325,2            | 98,3       |
| 350,09           | -59,39     |
| 375,03           | -20,48     |
| 407,67           | 15701,78   |
| 425,42           | 139,26     |
| 450,25           | 305,15     |
| 475,49           | 579,58     |
| 500,13           | 980,98     |
| 525,17           | 1101,81    |
| 550              | 878,58     |
| 575              | 696,31     |
| 600,16           | 323,58     |
| 625,08           | 264,19     |
| 650,14           | 219,13     |
| 675,12           | 92,16      |
| 700,02           | 14,34      |
| 725,01           | -20,48     |
| 750,08           | -55,3      |
| 775,01           | -55,3      |
| 800,16           | -75,77     |
| 825,15           | -20,48     |
| 850,13           | 79,87      |
| 875,08           | 16,38      |
| 891,11           | 40,96      |

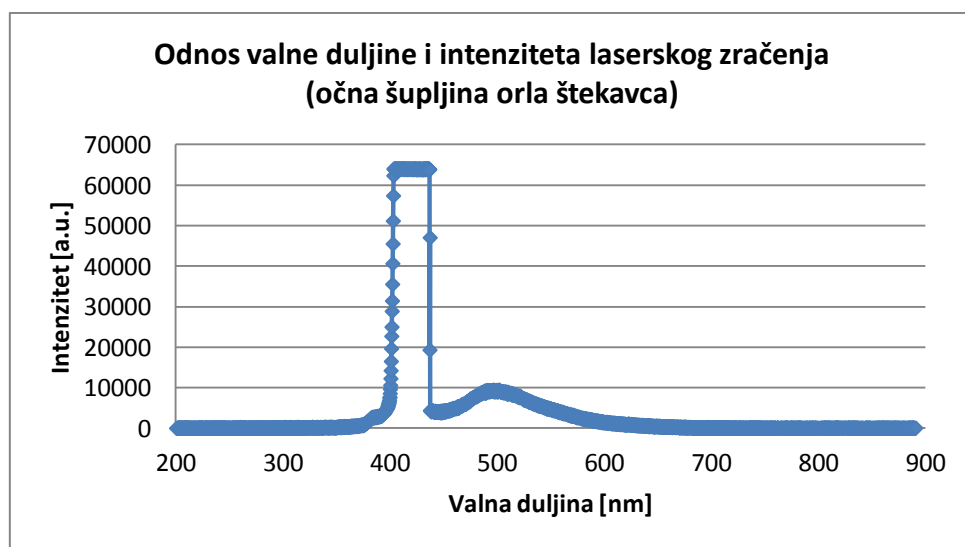
Tablica 2. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod kljuna orla štekavca



Dijagram 2. Rezultati laserske analize kljuna orla štekavca

| Valna<br>duljina | Intenzitet |
|------------------|------------|
| 200,19           | -8,19      |
| 225,18           | 22,53      |
| 250,02           | 34,82      |
| 275,16           | 71,68      |
| 300,15           | 139,26     |
| 325,2            | 124,93     |
| 350,09           | 196,61     |
| 375,24           | 925,68     |
| 400,42           | 10602,33   |
| 425,01           | 63929,39   |
| 450,04           | 3946,44    |
| 475,08           | 7253,91    |
| 500,13           | 9109,36    |
| 525,17           | 6918,04    |
| 550              | 4720,57    |
| 575              | 2828,24    |
| 600,16           | 1439,72    |
| 625,08           | 999,41     |
| 650,14           | 495,61     |
| 675,12           | 212,99     |
| 700,02           | 53,25      |
| 725,01           | 55,3       |
| 750,08           | 18,43      |
| 775,01           | 59,39      |
| 800,16           | -75,77     |
| 825,15           | -16,38     |
| 850,13           | 26,62      |
| 875,08           | 75,77      |
| 891,11           | -59,39     |

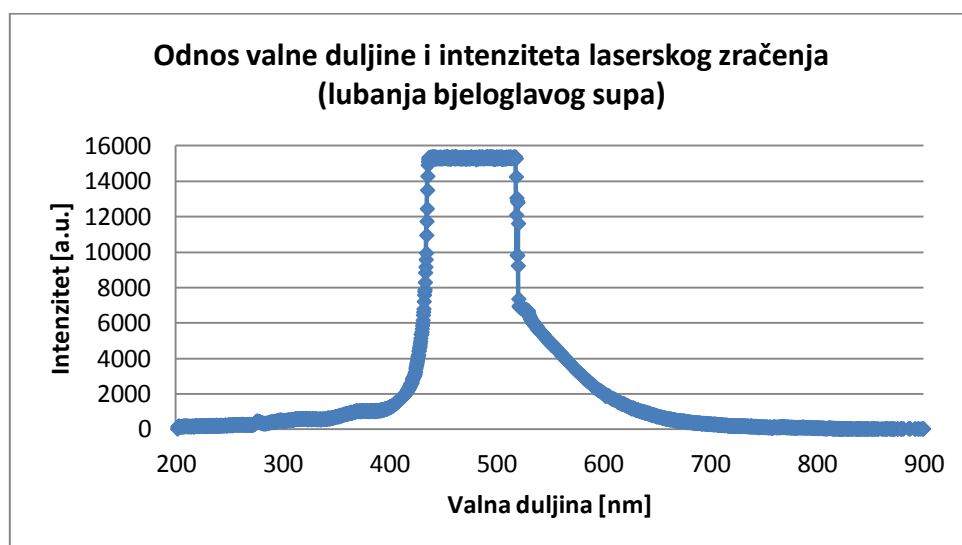
Tablica 3. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod očne šupljine orla štekavca



Dijagram 3. Rezultati laserske analize očne šupljine orla štekavca

| Valna duljina | Intenzitet |
|---------------|------------|
| 200,09        | -35        |
| 225,18        | 174        |
| 250,2         | 194        |
| 275,16        | 419        |
| 300,04        | 468        |
| 325,12        | 582        |
| 350,13        | 708        |
| 375,06        | 1040       |
| 400,19        | 1223       |
| 425,24        | 3617       |
| 450,74        | 15286      |
| 475,63        | 15248      |
| 500,45        | 15268      |
| 525,2         | 6744       |
| 550,12        | 4837       |
| 575,22        | 3284       |
| 600,23        | 1991       |
| 625,17        | 1225       |
| 650,02        | 687        |
| 675,03        | 423        |
| 700,21        | 284        |
| 725,06        | 162        |
| 750,06        | 91         |
| 775,22        | 76         |
| 800,04        | 61         |
| 825,02        | -9         |
| 850,14        | 1          |
| 875,17        | 6          |
| 900,1         | -4         |

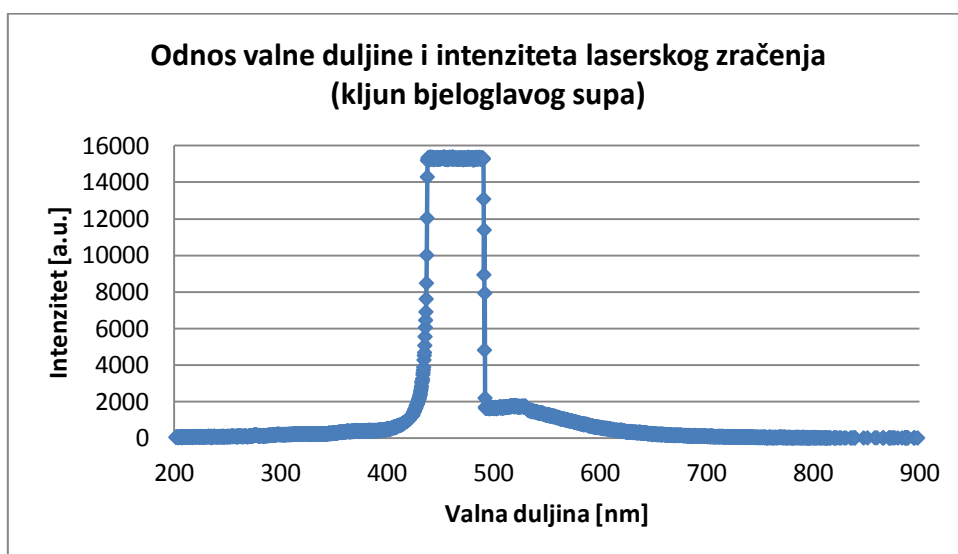
Tablica 4. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod lubanje bjeloglavog supa



Dijagram 4. Rezultati laserske analize lubanje bjeloglavog supa

| Valna<br>duljina | Intenzitet |
|------------------|------------|
| 200,09           | -34        |
| 225,18           | 72         |
| 250,2            | 58         |
| 275,16           | 158        |
| 300,04           | 180        |
| 325,12           | 226        |
| 350,13           | 256        |
| 375,06           | 397        |
| 400,19           | 470        |
| 425,24           | 1420       |
| 450,48           | 15319      |
| 475,37           | 15322      |
| 500,2            | 1645       |
| 525,2            | 1695       |
| 550,12           | 1270       |
| 575,22           | 900        |
| 600,23           | 577        |
| 625,17           | 333        |
| 650,02           | 230        |
| 675,03           | 154        |
| 700,21           | 109        |
| 725,06           | 35         |
| 750,06           | 35         |
| 775,22           | -6         |
| 800,04           | 4          |
| 825,02           | 2          |
| 850,14           | -40        |
| 875,17           | -13        |
| 900,1            | -18        |

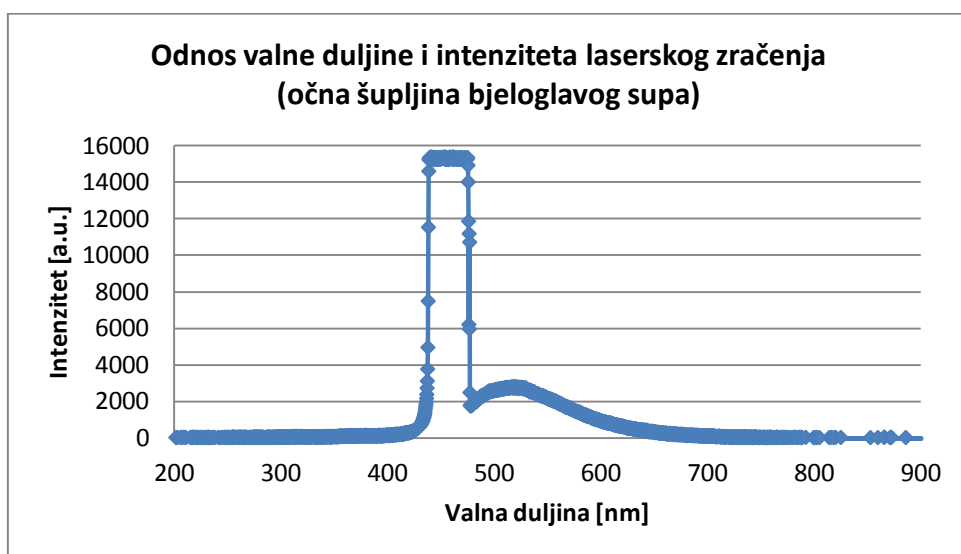
Tablica 5. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod kljuna bjeloglavog supa



Dijagram 5. Rezultati laserske analize kljuna bjeloglavog supa

| Valna<br>duljina | Intenzitet |
|------------------|------------|
| 200,09           | -30        |
| 225,18           | 10         |
| 250,2            | -24        |
| 275,16           | 34         |
| 300,04           | 50         |
| 325,12           | 35         |
| 350,13           | 50         |
| 375,06           | 108        |
| 400,19           | 131        |
| 425,24           | 389        |
| 450,48           | 15319      |
| 475,63           | 14906      |
| 500,2            | 2573       |
| 525,2            | 2712       |
| 550,12           | 2162       |
| 575,22           | 1487       |
| 600,23           | 890        |
| 625,17           | 564        |
| 650,02           | 286        |
| 675,03           | 165        |
| 700,21           | 92         |
| 725,06           | 18         |
| 750,06           | -1         |
| 775,22           | -10        |
| 800,04           | -4         |
| 825,02           | -27        |
| 850,14           | -38        |
| 875,17           | -37        |
| 900,1            | -26        |

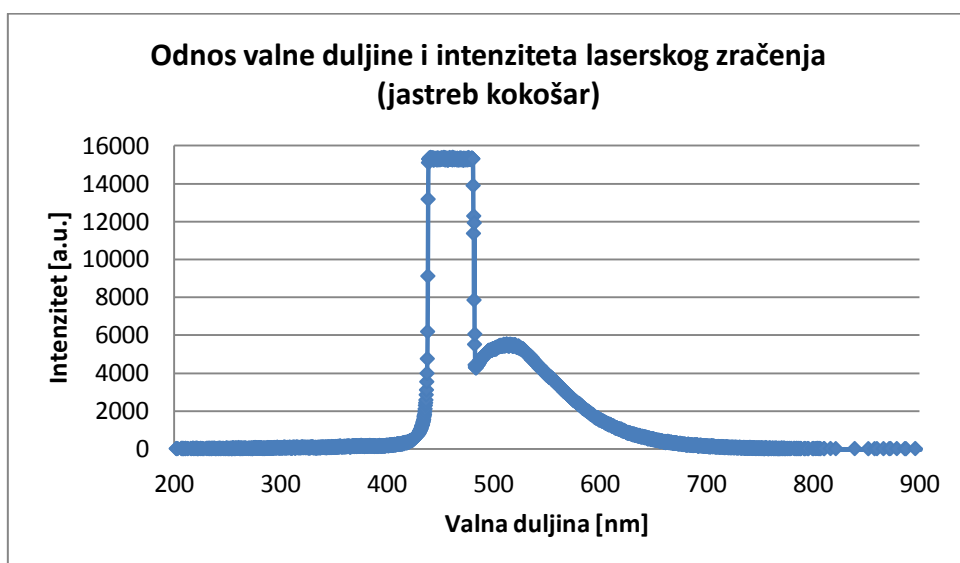
Tablica 6. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod očne šupljine bjeloglavog supa



Dijagram 6. Rezultati laserske analize očne šupljine bjeloglavog supa

| Valna duljina | Intenzitet |
|---------------|------------|
| 200,09        | -35        |
| 225,18        | 13         |
| 250,2         | -14        |
| 275,16        | 42         |
| 300,04        | 53         |
| 325,12        | 74         |
| 350,13        | 76         |
| 375,06        | 140        |
| 400,19        | 166        |
| 425,24        | 528        |
| 450,22        | 15320      |
| 475,12        | 15317      |
| 500,2         | 5238       |
| 525,2         | 5325       |
| 550,12        | 3881       |
| 575,22        | 2559       |
| 600,23        | 1525       |
| 625,17        | 846        |
| 650,02        | 471        |
| 675,03        | 249        |
| 700,21        | 135        |
| 725,06        | 43         |
| 750,06        | 23         |
| 775,22        | -6         |
| 800,04        | -14        |
| 825,02        | -33        |
| 850,14        | -31        |
| 875,17        | -26        |
| 900,1         | -22        |

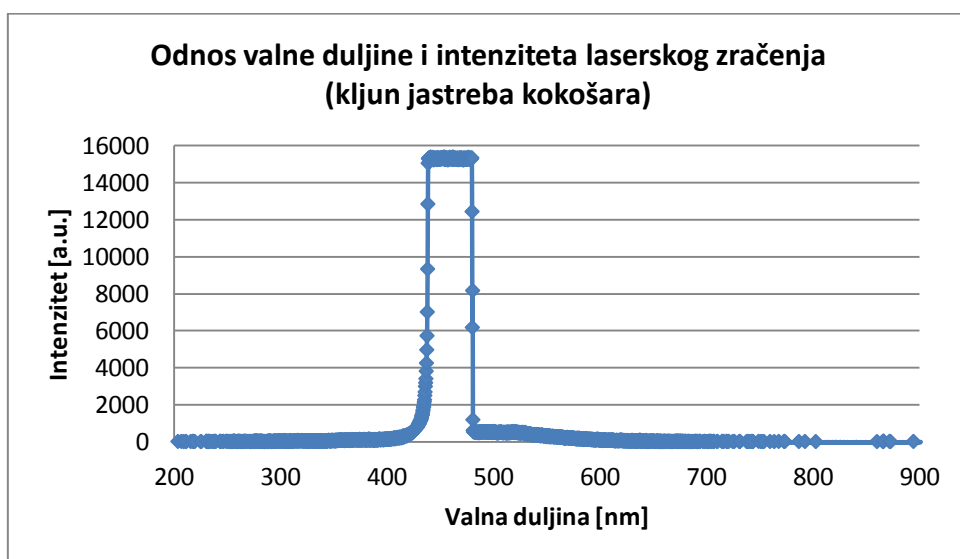
Tablica 7. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod lubanje jastreba kokošara



Dijagram 7. Rezultati laserske analize lubanje jastreba kokošara

| Valna<br>duljina | Intenzitet |
|------------------|------------|
| 200,09           | -33        |
| 225,18           | -9         |
| 250,2            | -22        |
| 275,16           | 21         |
| 300,04           | 38         |
| 325,12           | 35         |
| 350,13           | 63         |
| 375,06           | 96         |
| 400,19           | 118        |
| 425,24           | 609        |
| 450,22           | 15320      |
| 475,12           | 15317      |
| 500,2            | 548        |
| 525,2            | 445        |
| 550,12           | 306        |
| 575,22           | 177        |
| 600,23           | 80         |
| 625,17           | 50         |
| 650,02           | 13         |
| 675,03           | 13         |
| 700,21           | -10        |
| 725,06           | -7         |
| 750,06           | -25        |
| 775,22           | -18        |
| 800,04           | -27        |
| 825,02           | -49        |
| 850,14           | -40        |
| 875,17           | -11        |
| 900,1            | -13        |

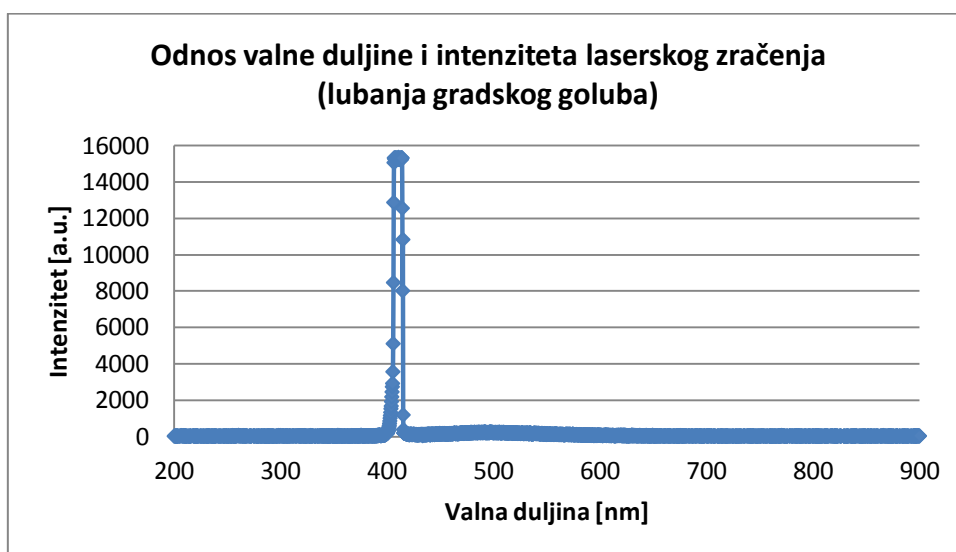
Tablica 8. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod kljuna jastreba kokošara



Dijagram 8. Rezultati laserske analize kljuna jastreba kokošara

| Valna<br>duljina | Intenzitet |
|------------------|------------|
| 200,09           | 5          |
| 225,18           | 8          |
| 250,2            | -2         |
| 275,16           | 16         |
| 300,04           | 39         |
| 325,12           | 5          |
| 350,13           | -1         |
| 375,06           | 17         |
| 403,06           | 1140       |
| 404,89           | 2720       |
| 405,94           | 8454       |
| 406,72           | 15312      |
| 500,2            | 201        |
| 525,2            | 146        |
| 550,12           | 131        |
| 575,22           | 79         |
| 600,23           | 58         |
| 625,17           | 19         |
| 650,02           | 20         |
| 675,03           | 13         |
| 700,21           | 24         |
| 725,06           | 0          |
| 750,06           | -14        |
| 775,22           | 0          |
| 800,04           | 11         |
| 825,02           | -19        |
| 850,14           | -11        |
| 875,17           | 6          |
| 900,1            | -11        |

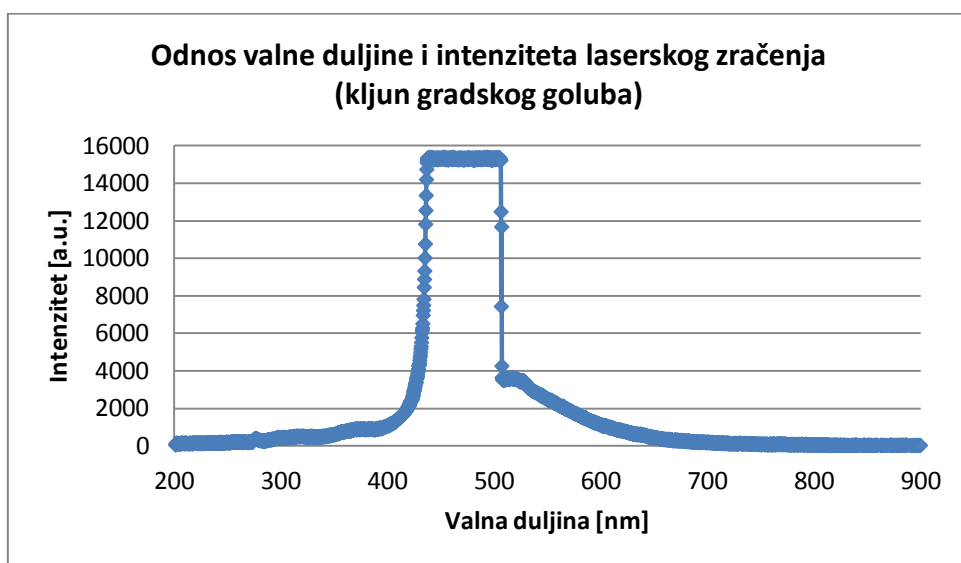
Tablica 9. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod lubanje gradskog goluba



Dijagram 9. Rezultati laserske analize lubanje gradskog goluba

| Valna duljina | Intenzitet |
|---------------|------------|
| 200,09        | -17        |
| 225,18        | 376        |
| 250,2         | 433        |
| 275,16        | 891        |
| 300,04        | 1023       |
| 325,12        | 1190       |
| 350,13        | 1465       |
| 375,06        | 2102       |
| 400,19        | 2451       |
| 425,24        | 6766       |
| 450,22        | 15320      |
| 475,12        | 15317      |
| 500,2         | 15343      |
| 525,2         | 15259      |
| 550,12        | 4756       |
| 575,22        | 3246       |
| 600,23        | 2065       |
| 625,17        | 1386       |
| 650,02        | 831        |
| 675,03        | 519        |
| 700,21        | 367        |
| 725,06        | 252        |
| 750,06        | 155        |
| 775,22        | 146        |
| 800,04        | 93         |
| 825,02        | 29         |
| 850,14        | 3          |
| 875,17        | 26         |
| 900,1         | -4         |

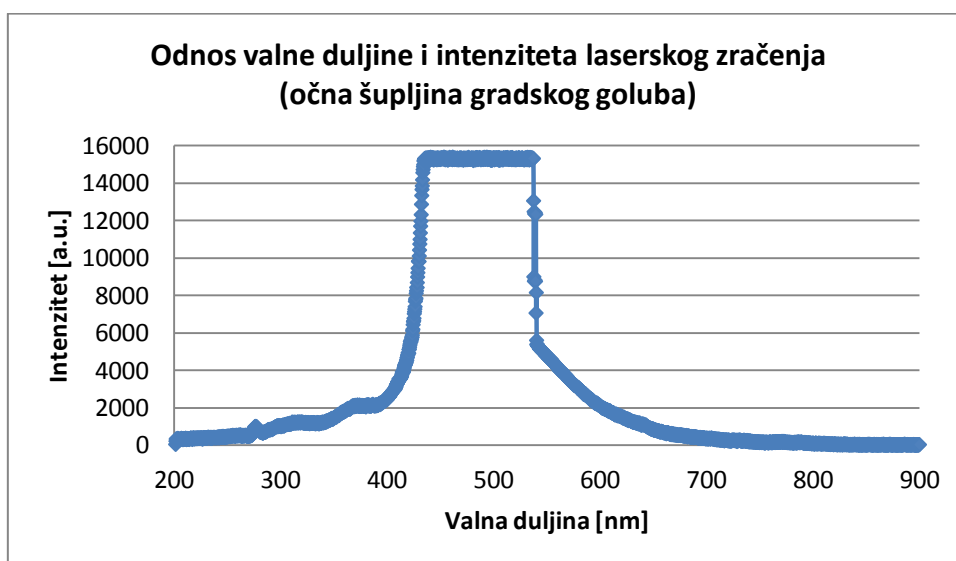
Tablica 10. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod kljuna gradskog goluba



Dijagram 10. Rezultati laserske analize kljuna gradskog goluba

| Valna<br>duljina | Intenzitet |
|------------------|------------|
| 200,09           | -16        |
| 225,18           | 131        |
| 250,2            | 138        |
| 275,16           | 349        |
| 300,04           | 393        |
| 325,12           | 460        |
| 350,13           | 572        |
| 375,06           | 881        |
| 400,19           | 1046       |
| 425,24           | 2927       |
| 450,22           | 15320      |
| 475,12           | 15317      |
| 500,2            | 15343      |
| 525,2            | 3379       |
| 550,12           | 2474       |
| 575,22           | 1710       |
| 600,23           | 1080       |
| 625,17           | 725        |
| 650,02           | 404        |
| 675,03           | 261        |
| 700,21           | 170        |
| 725,06           | 93         |
| 750,06           | 45         |
| 775,22           | 46         |
| 800,04           | 7          |
| 825,02           | -17        |
| 850,14           | -18        |
| 875,17           | 4          |
| 900,1            | -28        |

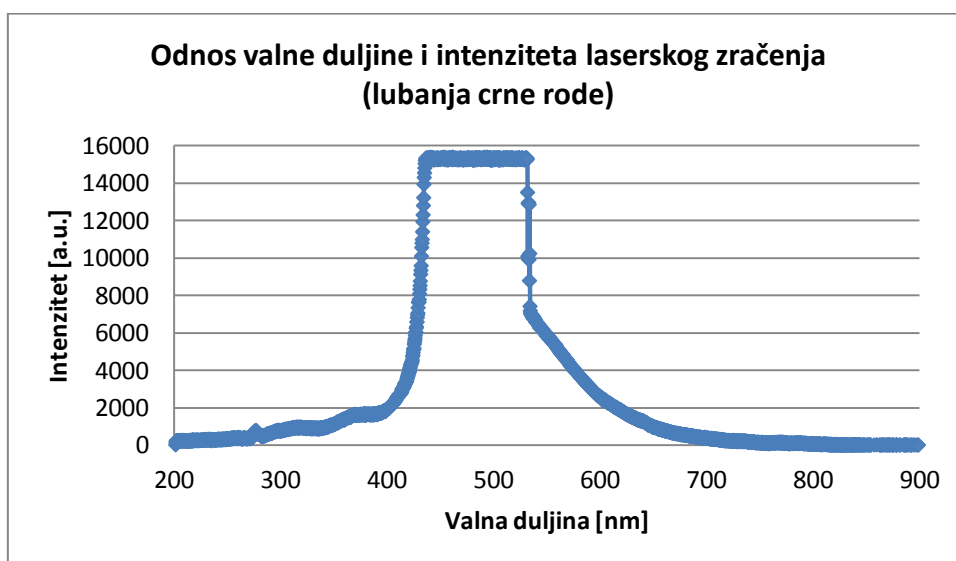
Tablica 11. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod očne šupljine gradskog goluba



Dijagram 11. Rezultati laserske analize očne šupljine gradskog goluba

| Valna duljina | Intenzitet |
|---------------|------------|
| 200,09        | -44        |
| 225,18        | 269        |
| 250,2         | 306        |
| 275,16        | 691        |
| 300,04        | 766        |
| 325,12        | 907        |
| 350,13        | 1115       |
| 375,06        | 1616       |
| 400,19        | 1926       |
| 425,24        | 5178       |
| 450,22        | 15320      |
| 475,12        | 15317      |
| 500,2         | 15343      |
| 525,2         | 15259      |
| 550,12        | 5867       |
| 575,22        | 4052       |
| 600,23        | 2532       |
| 625,17        | 1661       |
| 650,02        | 943        |
| 675,03        | 599        |
| 700,21        | 376        |
| 725,06        | 210        |
| 750,06        | 132        |
| 775,22        | 91         |
| 800,04        | 67         |
| 825,02        | 0          |
| 850,14        | 1          |
| 875,17        | -5         |
| 900,1         | -8         |

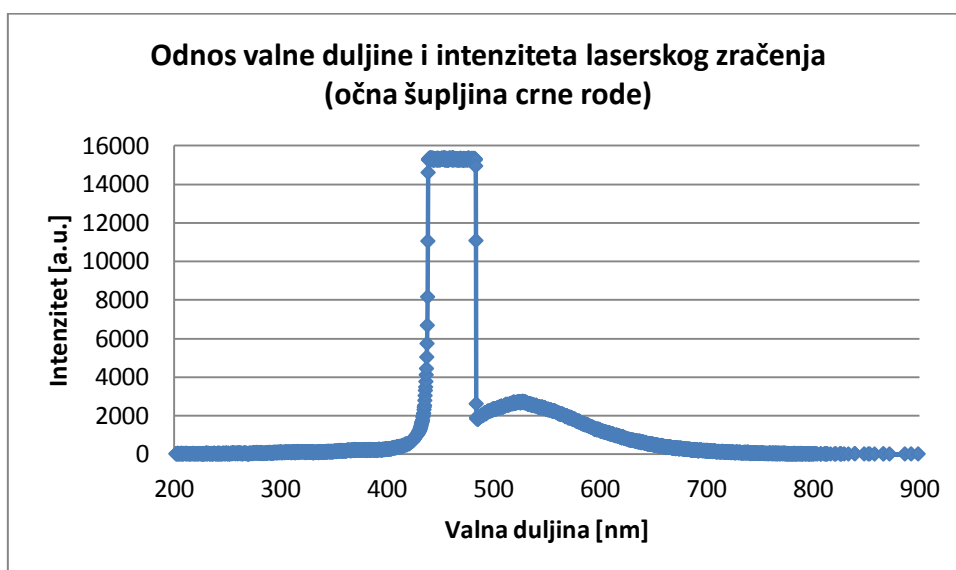
Tablica 12. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod lubanje crne rode



Dijagram 12. Rezultati laserske analize lubanje crne rode

| Valna<br>duljina | Intenzitet |
|------------------|------------|
| 200,09           | -37        |
| 225,18           | 22         |
| 250,2            | 2          |
| 275,16           | 62         |
| 300,04           | 96         |
| 325,12           | 101        |
| 350,13           | 143        |
| 375,06           | 205        |
| 400,19           | 260        |
| 425,24           | 789        |
| 450,22           | 15320      |
| 475,12           | 15317      |
| 500,2            | 2312       |
| 525,2            | 2643       |
| 550,12           | 2328       |
| 575,22           | 1800       |
| 600,23           | 1182       |
| 625,17           | 793        |
| 650,02           | 471        |
| 675,03           | 302        |
| 700,21           | 181        |
| 725,06           | 88         |
| 750,06           | 44         |
| 775,22           | 20         |
| 800,04           | 7          |
| 825,02           | -12        |
| 850,14           | -32        |
| 875,17           | -28        |
| 900,1            | -40        |

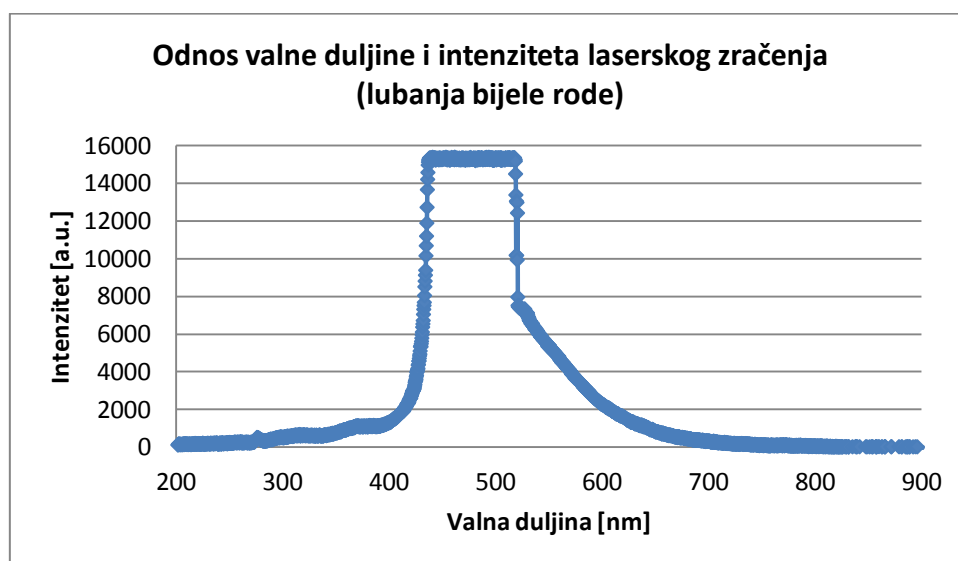
Tablica 13. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod očne šupljine crne rode



Dijagram 13. Rezultati laserske analize očne šupljine crne rode

| Valna duljina | Intenzitet |
|---------------|------------|
| 200,09        | -37        |
| 225,18        | 194        |
| 250,2         | 198        |
| 275,16        | 431        |
| 300,04        | 501        |
| 325,12        | 608        |
| 350,13        | 757        |
| 375,06        | 1080       |
| 400,19        | 1307       |
| 425,24        | 3591       |
| 450,22        | 15320      |
| 475,12        | 15317      |
| 500,2         | 15343      |
| 525,2         | 7264       |
| 550,12        | 5394       |
| 575,22        | 3642       |
| 600,23        | 2261       |
| 625,17        | 1415       |
| 650,02        | 801        |
| 675,03        | 497        |
| 700,21        | 313        |
| 725,06        | 154        |
| 750,06        | 104        |
| 775,22        | 64         |
| 800,04        | 19         |
| 825,02        | 1          |
| 850,14        | -13        |
| 875,17        | -23        |
| 900,1         | -25        |

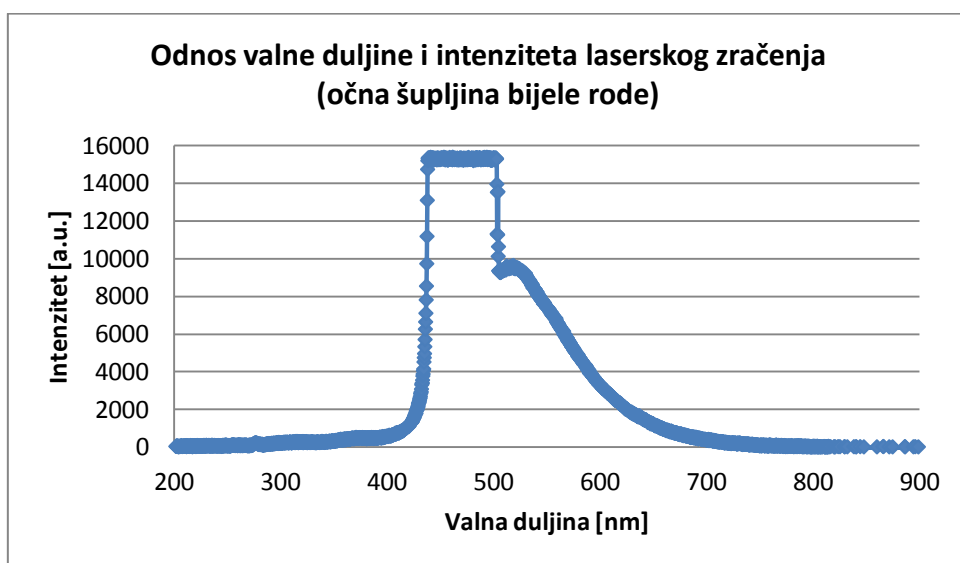
Tablica 14. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod lubanje bijele rode



Dijagram 14. Rezultati laserske analize lubanje bijele rode

| Valna<br>duljina | Intenzitet |
|------------------|------------|
| 200,09           | -50        |
| 225,18           | 53         |
| 250,2            | 58         |
| 275,16           | 177        |
| 300,04           | 218        |
| 325,12           | 225        |
| 350,13           | 297        |
| 375,06           | 480        |
| 400,19           | 561        |
| 425,24           | 1540       |
| 450,22           | 15320      |
| 475,12           | 15317      |
| 500,2            | 15343      |
| 525,2            | 9332       |
| 550,12           | 7391       |
| 575,22           | 5178       |
| 600,23           | 3289       |
| 625,17           | 1996       |
| 650,02           | 1199       |
| 675,03           | 650        |
| 700,21           | 367        |
| 725,06           | 202        |
| 750,06           | 72         |
| 775,22           | 30         |
| 800,04           | 13         |
| 825,02           | -12        |
| 850,14           | -24        |
| 875,17           | -28        |
| 900,1            | -46        |

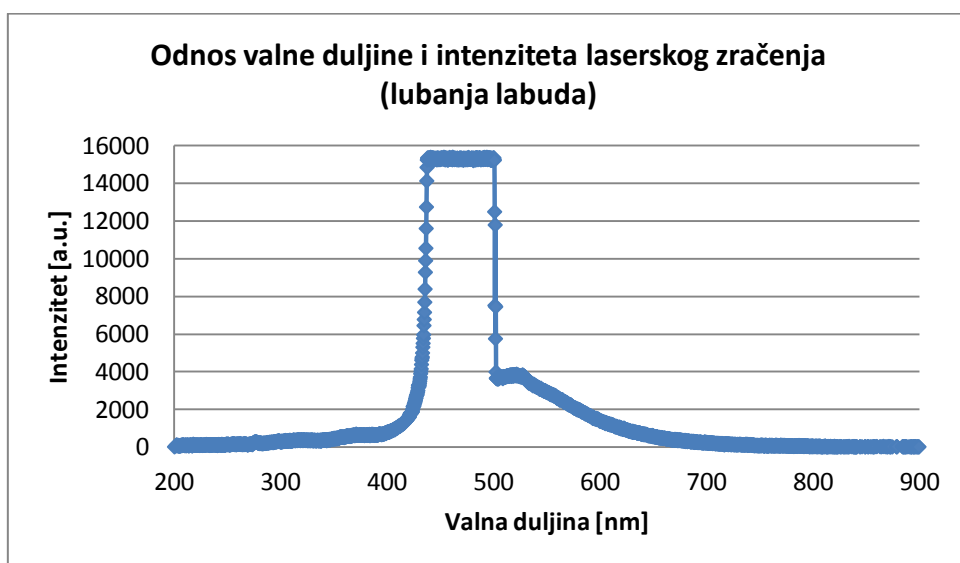
Tablica 15. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod očne šupljine bijele rode



Dijagram 15. Rezultati laserske analize očne šupljine bijele rode

| Valna<br>duljina | Intenzitet |
|------------------|------------|
| 200,09           | -26        |
| 225,18           | 96         |
| 250,2            | 115        |
| 275,16           | 244        |
| 300,04           | 275        |
| 325,12           | 328        |
| 350,13           | 429        |
| 375,06           | 641        |
| 400,19           | 785        |
| 425,24           | 2199       |
| 450,22           | 15320      |
| 475,12           | 15317      |
| 500,2            | 15343      |
| 525,2            | 3715       |
| 550,12           | 2882       |
| 575,22           | 2084       |
| 600,23           | 1366       |
| 625,17           | 899        |
| 650,02           | 538        |
| 675,03           | 351        |
| 700,21           | 232        |
| 725,06           | 126        |
| 750,06           | 58         |
| 775,22           | 57         |
| 800,04           | 20         |
| 825,02           | -22        |
| 850,14           | -29        |
| 875,17           | -5         |
| 900,1            | -15        |

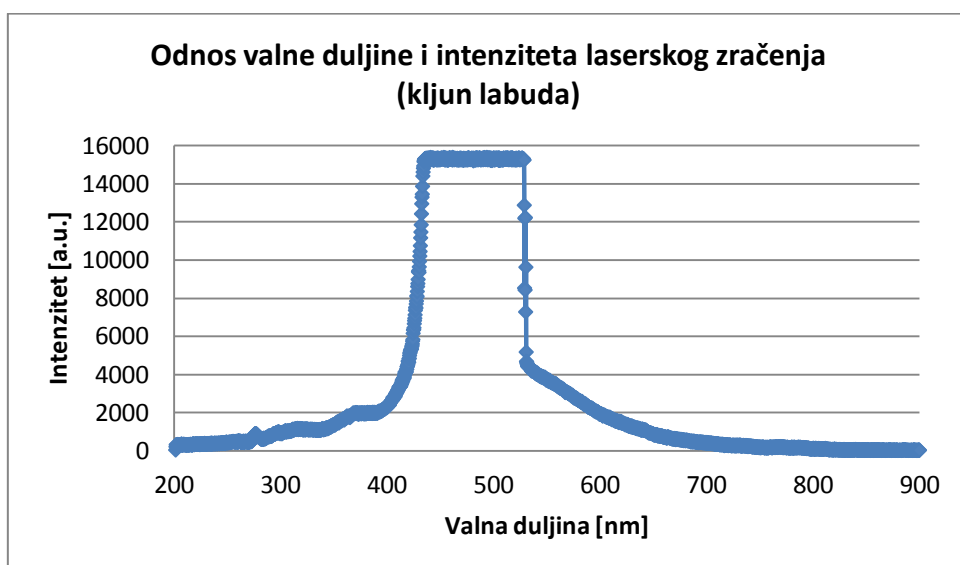
Tablica 16. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod lubanje labuda



Dijagram 16. Rezultati laserske analize lubanje labuda

| Valna<br>duljina | Intenzitet |
|------------------|------------|
| 200,09           | -34        |
| 225,18           | 336        |
| 250,2            | 409        |
| 275,16           | 804        |
| 300,04           | 905        |
| 325,12           | 1108       |
| 350,13           | 1329       |
| 375,06           | 1956       |
| 400,19           | 2304       |
| 425,24           | 6433       |
| 450,22           | 15320      |
| 475,12           | 15317      |
| 500,2            | 15343      |
| 525,2            | 15259      |
| 550,12           | 3730       |
| 575,22           | 2814       |
| 600,23           | 1936       |
| 625,17           | 1350       |
| 650,02           | 830        |
| 675,03           | 566        |
| 700,21           | 413        |
| 725,06           | 262        |
| 750,06           | 187        |
| 775,22           | 136        |
| 800,04           | 77         |
| 825,02           | 15         |
| 850,14           | 14         |
| 875,17           | -2         |
| 900,1            | -12        |

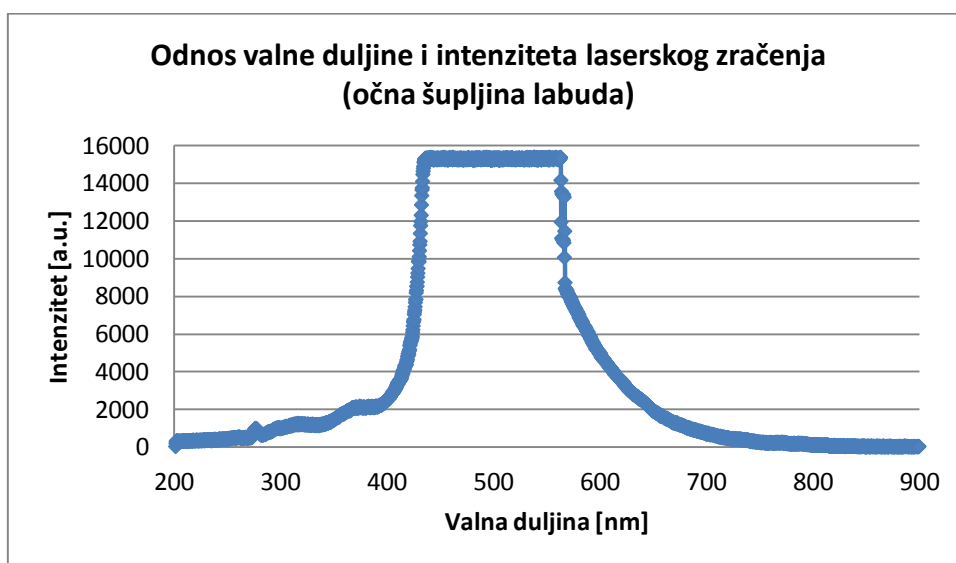
Tablica 17. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod kljuna labuda



Dijagram 17. Rezultati laserske analize kljuna labuda

| Valna<br>duljina | Intenzitet |
|------------------|------------|
| 200,09           | -20        |
| 225,18           | 341        |
| 250,2            | 415        |
| 275,16           | 869        |
| 300,04           | 983        |
| 325,12           | 1177       |
| 350,13           | 1433       |
| 375,06           | 2099       |
| 400,19           | 2486       |
| 425,24           | 6763       |
| 450,22           | 15320      |
| 475,12           | 15317      |
| 500,2            | 15343      |
| 525,2            | 15259      |
| 550,12           | 15256      |
| 575,22           | 7487       |
| 600,23           | 4909       |
| 625,17           | 3149       |
| 650,02           | 1886       |
| 675,03           | 1174       |
| 700,21           | 694        |
| 725,06           | 430        |
| 750,06           | 238        |
| 775,22           | 191        |
| 800,04           | 114        |
| 825,02           | 42         |
| 850,14           | 2          |
| 875,17           | 4          |
| 900,1            | -1         |

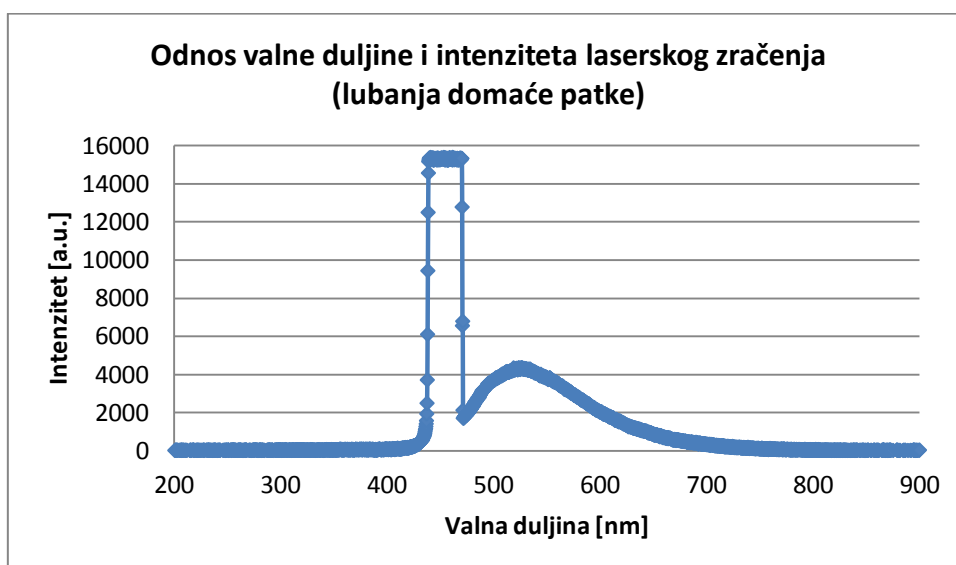
Tablica 18. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod očne šupljine labuda



Dijagram 18. Rezultati laserske analize očne šupljine labuda

| Valna<br>duljina | Intenzitet |
|------------------|------------|
| 200,09           | -12        |
| 225,18           | 3          |
| 250,2            | -3         |
| 275,16           | -8         |
| 300,04           | 24         |
| 325,12           | 20         |
| 350,13           | 30         |
| 375,06           | 53         |
| 400,19           | 53         |
| 425,24           | 224        |
| 450,22           | 15320      |
| 475,37           | 1960       |
| 500,2            | 3712       |
| 525,2            | 4260       |
| 550,12           | 3770       |
| 575,22           | 2923       |
| 600,23           | 2002       |
| 625,17           | 1325       |
| 650,02           | 850        |
| 675,03           | 513        |
| 700,21           | 323        |
| 725,06           | 174        |
| 750,06           | 80         |
| 775,22           | 55         |
| 800,04           | 23         |
| 825,02           | -8         |
| 850,14           | -6         |
| 875,17           | 0          |
| 900,1            | -6         |

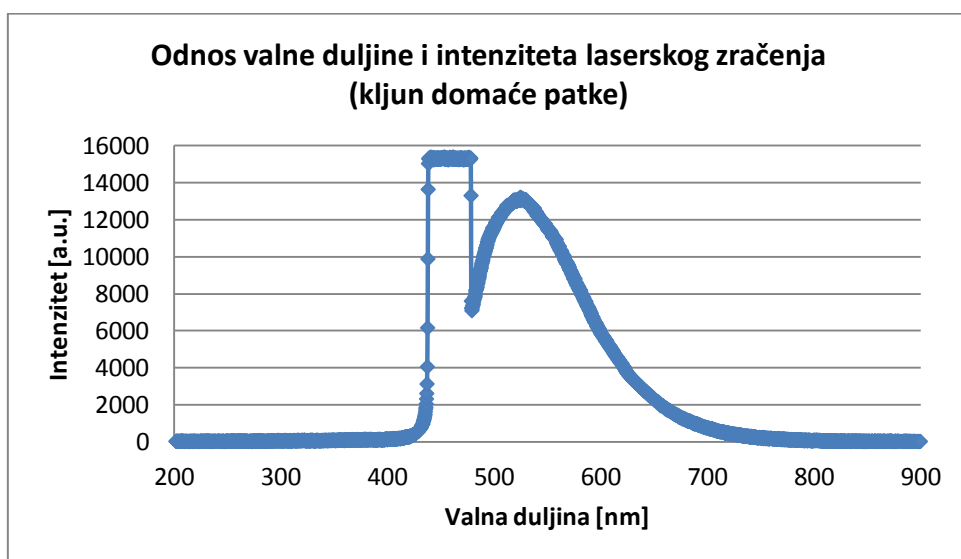
Tablica 19. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod lubanje domaće patke



Dijagram 19. Rezultati laserske analize lubanje domaće patke

| Valna<br>duljina | Intenzitet |
|------------------|------------|
| 200,09           | -23        |
| 225,18           | 33         |
| 250,2            | -4         |
| 275,16           | 26         |
| 300,04           | 51         |
| 325,12           | 43         |
| 350,13           | 72         |
| 375,06           | 94         |
| 400,19           | 103        |
| 425,24           | 382        |
| 450,22           | 15320      |
| 475,12           | 15317      |
| 500,2            | 11553      |
| 525,2            | 13015      |
| 550,12           | 11471      |
| 575,22           | 8781       |
| 600,23           | 5834       |
| 625,17           | 3703       |
| 650,02           | 2300       |
| 675,03           | 1318       |
| 700,21           | 737        |
| 725,06           | 378        |
| 750,06           | 203        |
| 775,22           | 95         |
| 800,04           | 37         |
| 825,02           | 18         |
| 850,14           | 0          |
| 875,17           | 1          |
| 900,1            | -10        |

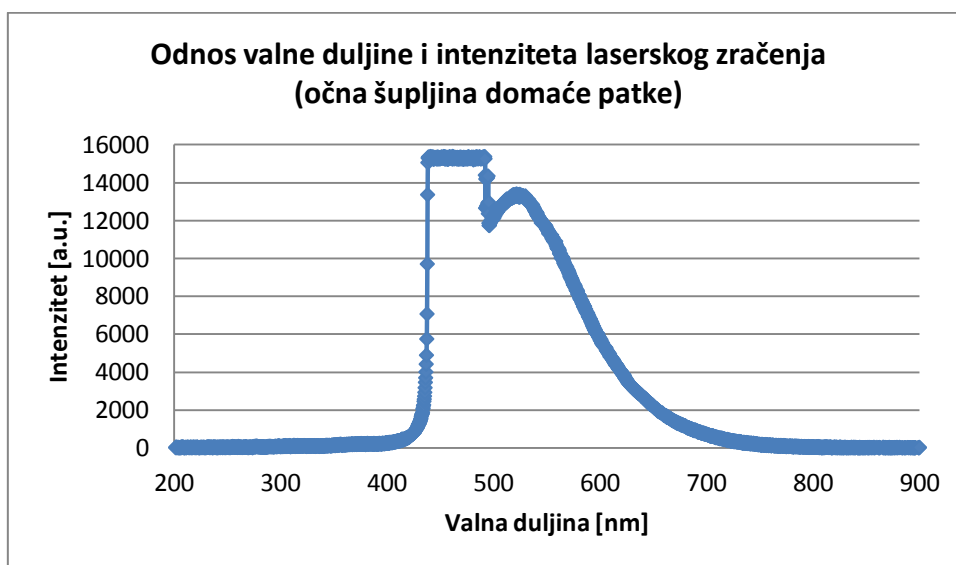
Tablica 20. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod kljuna domaće patke



Dijagram 20. Rezultati laserske analize kljuna domaće patke

| Valna duljina | Intenzitet |
|---------------|------------|
| 200,09        | -9         |
| 225,18        | -2         |
| 250,2         | 19         |
| 275,16        | 59         |
| 300,04        | 68         |
| 325,12        | 95         |
| 350,13        | 162        |
| 375,06        | 212        |
| 400,19        | 250        |
| 425,24        | 773        |
| 450,22        | 15320      |
| 475,12        | 15317      |
| 500,2         | 12121      |
| 525,2         | 13255      |
| 550,12        | 11523      |
| 575,22        | 8631       |
| 600,23        | 5662       |
| 625,17        | 3552       |
| 650,02        | 2192       |
| 675,03        | 1241       |
| 700,21        | 709        |
| 725,06        | 353        |
| 750,06        | 177        |
| 775,22        | 81         |
| 800,04        | 49         |
| 825,02        | 6          |
| 850,14        | -22        |
| 875,17        | -6         |
| 900,1         | 0          |

Tablica 21. Vrijednosti valnih duljina i intenziteta zračenja kod očne šupljine domaće patke

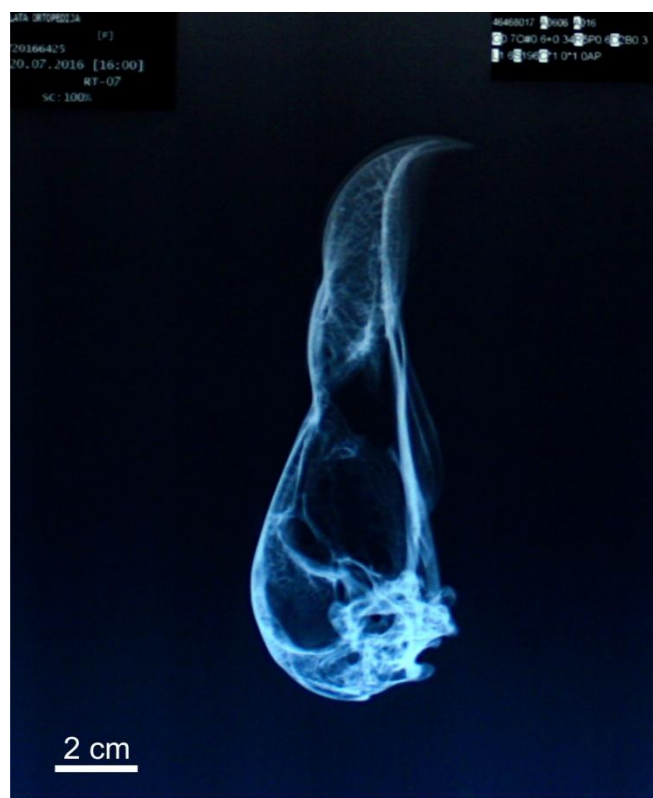


Dijagram 21. Rezultati laserske analize očne šupljine domaće patke

#### 4.2. REZULTATI RENDGENSKE ANALIZE



Slika 11. Rendgenska snimka lubanje orla štekavca



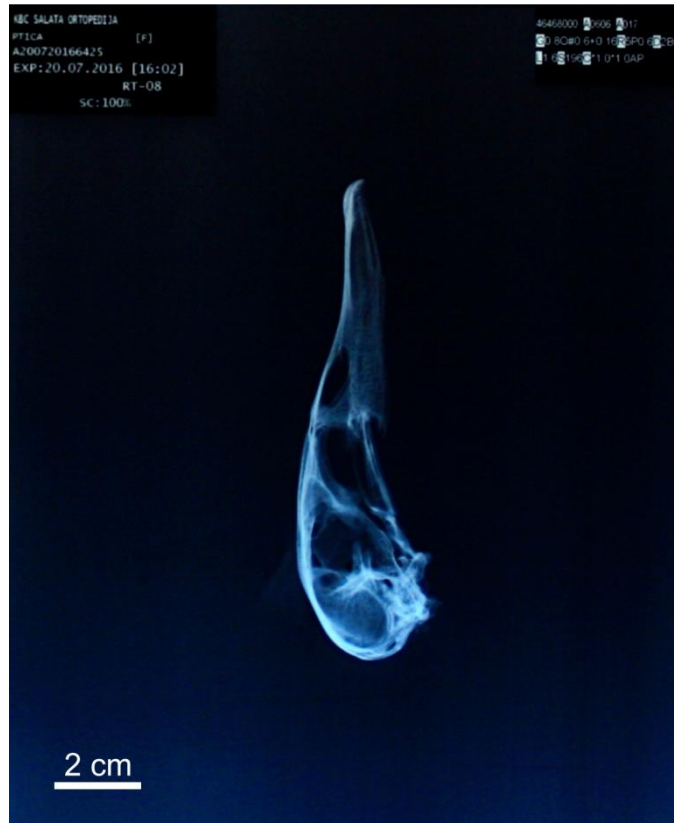
Slika 12. Rendgenska snimka lubanje bjeloglavog supa



Slika 13. Rendgenska snimka lubanje gradskog goluba



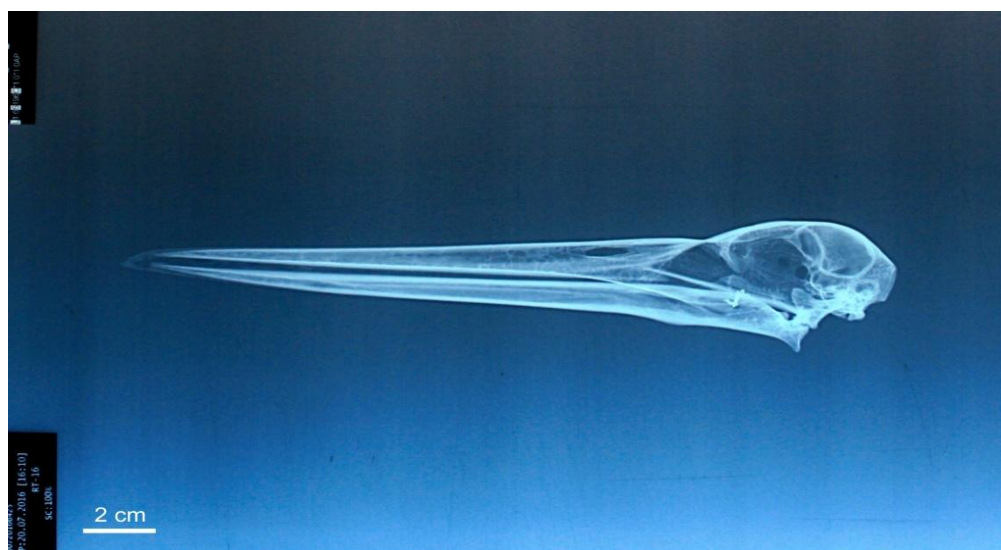
Slika 14. Rendgenska snimka lubanje labuda



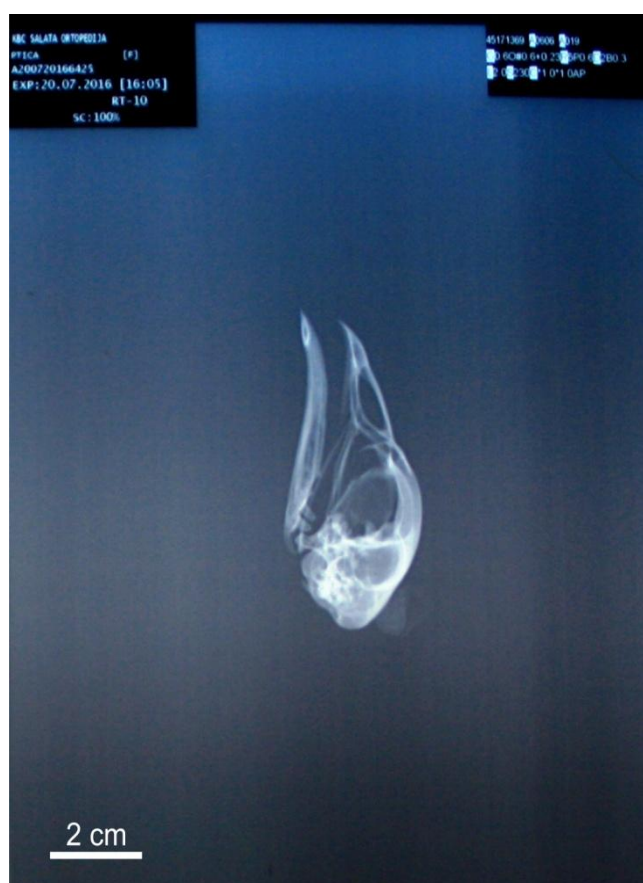
Slika 15. Rendgenska snimka lubanje domaće patke



Slika 16. Rendgenska snimka lubanje bijele rode



Slika 17. Rendgenska snimka lubanje crne rode



Slika 18. Rendgenska snimka lubanje jastreba kokošara

## 5. RASPRAVA

Dobiveni dijagrami prikazuju odnose valne duljine laserskog zračenja korištenog za ispitivanje lubanja ptica i njegova intenziteta. Odmah se uočava neobičan trend u izgledu krivulja - pikovi su 'odrezani', a u podnožju (idući prema većim vrijednostima valnih duljina zračenja) nailazimo na uzvišenja. Umjesto pikova dijagrami prikazuju tzv. plato vrijednosti, na koje se progresijom prema većim vrijednostima valnih duljina nadovezuju sekundarni efekti laserskog zračenja. Ovakva pojava praktične je prirode. Naime, odstranjivanje pikova omogućava vidljivost sekundarnih efekata zračenja i njihovo razlučivanje od primarne detekcije predstavljene plato vrijednostima. Valja naglasiti kako je svaka lubanja rostralno analizirana, vodeći računa o smještaju mineralnih vrećica u gornjem dijelu kljuna ptica. Analiza lubanje gradskog goluba pokazala je vrlo slabo izražen sekundarni efekt. To se može objasniti činjenicom da se gradski golub kao ptica stanarica kreće u relativno ograničenom zračnom prostoru u odnosu na neku pticu selicu poput rode. Shodno tome, može se pretpostaviti da gradski golub ima blaže razvijen magnetoreceptorni sustav u mjeri koja mu u potpunosti odgovara. Kod lubanja orla štekavca i bjeloglavog supa uočeni su zanimljivi rezultati - obje su polučile lijepo izražene sekundarne efekte, ali i zanimljivu pojavu - izostanak plato vrijednosti. Nadalje, lubanja bjeloglavog supa pripada beščutno otrovanoj jedinki, pa je moguće da su laserske zrake drugačije reagirale na kemijske komponente otrova, koji su možebitno utjecali na kemijski sastav njihovih lubanja. Lubanje crne i bijele rode, te domaće patke također su dale zanimljive rezultate - analiza lateralnog dijela lubanja nije pokazala sekundarne efekte, no u području gornjeg kljuna dobivene su vrlo izražene vrijednosti sekundarnih efekata, što bi moglo upućivati na visok udio magnetita u mineralnim vrećicama gornjeg dijela kljuna, a time i u samom kljunu. Lubanja labuda pokazala se kao prava zagonetka - dijagrami pokazuju proširene plato vrijednosti sa strmim spuštanjem krivulje prema većim valnim duljinama, uz izostanak sekundarnih efekata. Budući da labud voli obitavati na stajaćoj vodi, ali isto tako bez problema prevale nekoliko tisuća kilometara do svojih sjevernih gnijezdišta ovakvi rezultati čine se logičnima. Kod jastreba kokošara vidljiv je zanimljiv prekid, koji nastupa približavanjem kraju laserskog spektra - sličan nalazimo i kod bjeloglavog supa, te orla štekavca. Budući da su spomenute ptice srodne (pripadaju istom redu Accipitriformes), za očekivati je dobivanje sličnih rezultata. Općenito, brojni čimbenici mogu utjecati na ishod laserom inducirane fluorescencije i same grafičke rezultate: starost i očuvanost lubanja, način tretiranja (čišćenja i obrade) lubanja, veličina i čvrstoća lubanja.

## 6. ZAKLJUČAK

Laserom inducirana fluorescencija nesvakidašnjom je primjenom u paleontologiji polučila relevantne rezultate, iz kojih je moguće postavljanje hipoteza vezanih za magnetorecepciju kod ptica. Na taj način postavlja se poligon za daljnja, sofisticiranija i novčano izdašnija istraživanja. Također, medicinska rendgenska analiza lubanja daje jasniji uvid u strukturu gornjeg dijela kljuna, što omogućuje bolje razumijevanje smještaja mineralnih vrećica s magnetitom i daljnje postavljanje hipoteza. Rezultati LIF-a bi, prvenstveno u obliku sekundarnih efekata koji variraju od jedne lubanje ptice do druge, mogli upućivati na pohranu magnetita u lubanjama ovih ptica. Dijagrami sa rezultatima spomenute metode međusobno se značajno razlikuju po veličini plato vrijednosti i smještaju sekundarnih efekata koji nakon njih nastupaju. Ako uzmemo u obzir jaku izraženost tih efekata kod crne i bijele rode, domaće patke i labuda, kao i ujednačeniju izraženost kod gradskog goluba, jastreba kokošara, orla štekavca i bjeloglavog supa, tada vidimo da određeni obrazac mora postojati. S druge strane, medicinska rendgenska analiza pokazala je intrigantnu uređenost gornjeg dijela kljuna. Sitne šupljine mogle bi upućivati na svojevrsna ugibališta željezovitih minerala, tj. vezu gornjeg dijela kljuna sa tkivom u njegovoj unutrašnjosti. Također, ne smijemo umanjiti činjenicu da veličina ptice, kao i njen način života (selica ili stanarica) mogu doprinijeti ovakvoj strukturi gornjeg dijela kljuna. Sljedeći korak svakako će biti primjena preciznijih i raznovrsnijih metoda na fosilnim, ali i na recentnim uzorcima. Po svemu sudeći, možda najpouzdanija metodologija leži u domeni molekularne biologije. Valja naglasiti kako njene brojne metode sve više pronalaze svoju primjenu upravo u paleontologiji. Govoreći o zatvorenom sustavu tkiva i kostiju organizama, analize na staničnoj i substaničnoj razini mogle bi pružiti još precizniji uvid u mikrostrukturu kostiju - kako kod recentnih, tako i (po opće poznatom principu aktualizma) kod fosilnih oblika.

## 7. POPIS LITERATURE

1. Beason, R. C. and Nichols, J. E. (1984). Magnetic orientation and magnetically sensitive material in a transequatorial migratory bird. *Nature* **309**:151-153.
2. Beason, R. C., Dussord, N. and Deutschlander, M. E. (1995). Behavioral evidence for the use of magnetic material in magnetoreception by a migratory bird. *J. Exp. Biol.* **198**:141-146.
3. Fleissner, G., Holtkamp-Rötzler, E., Hanzlik, M., Winklhofer, M., Fleissner, G., Petersen, N. and Wiltshko, W. (2003). Ultrastructural analysis of a putative magnetoreceptor in the beak of homing pigeons. *J. Comp. Neurol.* **458**:350-360.
4. Fleissner, G., Stahl, B., Thalau, P., Falkenberg, G. and Fleissner, G. (2007). A novel concept of Fe-mineral based magnetoreception: histological and physiochemical data from the upper beak of homing pigeons. *Naturwissenschaften*. DOI: 10.1007/S00114-007-0236-0.
5. Griffin, D. R. (1944). The sensory basis of bird navigation. *Q. Rev. Biol.* **19**:15-31.
6. Griffin, D. R. (1952). Bird navigation. *Biol. Rev. Cambridge Philos. Soc.* **27**:359-393.
7. Horák, D., Lednický, F., Petrovský, E. and Kapička, A. (2004). Magnetic characteristics of ferrimagnetic microspheres prepared by dispersion polymerization. *Macromol. Mater. Eng.* **289**:341-348.
8. Hudspeth, A. J., Choe, Y., Mehta, A. and Martin, P. (2000). Putting ion channels to work: mechanoelectrical transduction, adaptation and amplification by hair cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* **97**:11765-11772.
9. Keeton, W. T. (1972). Magnets interfere with pigeon homing, in: *Animal Orientation and Navigation* (S. R. Galler, K. Schmidt-Koenig, G. J. Jacobs and R. E. Belleville eds.), NASA SP-262, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., p.p. 579-594.

10. Ritz, T., Adem, S. and Schulten, K. (2000). A model for photoreceptor-based magnetoreception in birds. *Biophys. J.* **78**:707-718.
11. Solov'Yov, I.A. and Greiner, W. (2007). Theoretical analysis of an iron mineral-based magnetoreceptor model in birds. *Biophysical Journal* 93(5) 1493-1509.
12. Walcott, C. and Green, R. P. (1974). Orientation of homing pigeons altered by a change in the direction of an applied magnetic field. *Science* **184**:180.
13. Walcott, C. (1978). Anomalies in the Earth's magnetic field increase the scatter of pigeon's vanishing bearings, in: *Animal migration, navigation and homing* (K. Schmidt-Koenig and W. T. Keeton eds.). *Springer-Verlag*, Berlin, pp. 143-151.
14. Walcott, C., Gould, J. L. Kirschvink, J L. (1979). Pigeons have magnets. *Science* **205**:1027-1029.