

Vijeću Prirodno-matematičkog fakulteta

PREDMET: Izvještaj Komisije za ocjenu master rada kandidata Rajka Dragojevića.

Na osnovu Odluke br. 2032/16-2226 od 17. 10. 2023. godine, a u skladu sa članom 24 Pravila studiranja na postdiplomskim studijama Univerziteta Crne Gore, podnosimo Vijeću Prirodno-matematičkog fakulteta

IZVJEŠTAJ

o ocjeni master rada pod nazivom „**Elementalna analiza međunskih istorijskih uzoraka tehnikom spektroskopije laserski indukovano probija**“, studenta Rajka Dragojevića.

Master rad „Elementalna analiza međunskih istorijskih uzoraka tehnikom spektroskopije laserski indukovano probija“ je napisan na 74 stranice, sa 53 slike i 10 tabela i sadrži poglavlja:

1. Spektroskopija laserski indukovano probija
 - 1.1 Komponente LIBS uređaja
 - 1.2 Laserski indukovana plazma
 - 1.3 Lokalna termodinamička ravnoteža
 - 1.4 Kalibracione metode spektroskopije laserski indukovano probija
 - 1.5 Bezkalibraciona metoda
 - 1.6 Primjena spektroskopije laserski indukovano probija
2. Međunsko nalazište. Meteor
3. Eksperiment i rezultati
 - 3.1 Eksperimentalna postavka
 - 3.2 Eksperimentalni uzorci
 - 3.3 LIBS++ softver
 - 3.4 Rezultati
 - 3.5 Zaključak.

Predmet rada je proučavanje arheoloških uzoraka iz Crne Gore iz predrimskog perioda, sa područja grada Meteona, lokaliteta Medun, podignutog između IV i II vijeka prije nove ere, upotrebom spektroskopije laserski indukovano probija. Prostor Crne Gore u predrimskom periodu bio je naseljen ilirskim plemenima o kojima se vrlo malo zna.

Spektroskopija laserski indukovano probija, en. *Laser induced breakdown spectroscopy* - LIBS je spektroskopska tehnika zasnovana na analizi zračenja laserski indukovane plazme i koristi se od '80-ih godina prošlog vijeka (Leon J. Radziemsky i Time R. Loree, Los Alamos Nacionalna laboratorija, SAD). Laserki snop je fokusiran optičkim sistemom na malu površinu, mikroskopski komad uzorka biva ablatiran i pretvoren u plazmu iz koje se dobijaju kvalitativne i kvantitativne informacije o elementalnoj kompoziciji uzorka. Spektroskopija laserski indukovano probija nije ograničena samo na čvrste materijale već se može primjenjivati i na uzorke u gasovitom i tečnom stanju. Jedna od glavnih prednosti LIBS je što ne zahtijeva pred-tretman uzorka, i što je uređaj prenosiv što omogućava in-situ analizu uzoraka. LIBS tehnika primjenjuje se u brojnim oblastima uključujući očuvanje kulturne baštine, arheologiju, ekologiju, geologiju, astronomiju kao i forenziku i kontrolu kvaliteta proizvoda u prehrambenoj industriji i metalurgiji.

Koristeći beskalibracionu spektroskopiju laserski indukovano probija vršene su elementalne analize uzoraka koji su pronađeni u međunaskom arheološkom nalazištu. Za mjerenja je korišćen duplo pulsirajući Nd:YAG laser, pulsevima frekvencije 10 Hz sa vremenskim razmakom između pulseva od 1μs i energije od 60 mJ.

Eksperiment je vršen na četiri uzorka od metala i gline. Inicijalne pretpostavke su da je jedan metalni uzorak sačinjen od bronce služio u dekorativne svrhe dok je drugi uzorak od metala sačinjen od gvožđa bio glava od koplja. Za analizu spektra korišćen je LIBS++ softver.

Mjerenjem elementalnog sastava glinenog uzorka može se zaključiti da se radi o keramici bogatoj oksidima silicijuma i gvožđa, kao i oksidima aluminijuma. Dakle, glina od koje je načinjen predmet potiče od zemlje bogate ovim jedinjenjima. Drugi keramički uzorak je sačinjen od drugačijeg tipa gline – elementalna kompozicija ove gline odgovara glinama sačinjenim od kaolinita $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, aluminosilikata.

Intrinsična složenost uzoraka gline čini analizu nepouzdanijom, rezultati ne daju jasan odgovor o sastavu crnog pigmenta. Međutim, Ramanov spektar pokazuje prisustvo Hausmanita ($Mn^{2+}Mn^{3+}_2O_4$), koji može biti dio crnog pigmenta.

Rezultati analize malog metalnog uzorka ukazuju na željezo. Proizvodnja čelika nije bila zastupljena u Evropi za vrijeme boravka Leambeata na ovom prostoru. Elementi poput kalcijuma, kalijuma, aluminijuma i magnezijuma potiču iz sredine u kojoj je uzorak boravio kroz vjekove.

Veliki metalni uzorak je od bakra. Prisustvo drugih elemenata (Al, K, Ca, Ti...) je znatno manje nego kod malog metalnog uzorka. Svrha ovog uzorka je bila, najvjerovatnije, dekorativna.

Rad detaljno opisuje prednosti i nedostatke spektroskopije laserski indukovano probija u odnosu na druge tehnike kada je u pitanju arheologija. U radu je takođe objašnjen princip rada LIBS uređaja kao i softvera korišćenog za analizu spektra.

Zaključak

Na osnovu analize master rada, Komisija je ustanovila da je zadata tema dobro istražena, korišćenjem odgovarajućih metoda naučnoistraživačkog rada, i stoga predlaže Vijeću da odobri odbranu master rada „**Elementalna analiza međunskih istorijskih uzoraka tehnikom spektroskopije laserski indukovanoog proboja**“, kandidata Rajka Dragojevića.

U Podgorici 15. 2. 2024.

Komisija:

Prof. dr Jovan Mirković, mentor



Prof. dr Slavoljub Mijović, član



Prof. dr Gordana Jovanović, član

