

# Karakterizacija odabranih uzoraka obojanog gemološkog materijala

---

**Kozina, Petra**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:336895>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-29**



*Repository / Repozitorij:*

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



*Petra Kozina, Seminar III*

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Petra Kozina

**KARAKTERIZACIJA ODABRANIH UZORAKA  
OBOJANOG GEMOLOŠKOG MATERIJALA**

Seminar III  
Preddiplomski studij geologije

Mentor:  
Doc. dr. sc. Andrea Čobić

Zagreb, 2022.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Seminar III

### KARAKTERIZACIJA ODABRANIH UZORAKA OBOJANOG GEMOLOŠKOG MATERIJALA

**Petra Kozina**

**Rad je izrađen:** Mineraloško-petrografski zavod, Geološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Horvatovac 102a

#### **Sažetak:**

Gemološki materijal su minerali (ili materijali organskog podrijetla) koji su odabrani zbog svoje ljepote i izdržljivosti, a kasnije rezani i polirani kako bi poslužili za uljepšavanje ili ukrašavanje. U ovom radu obrađuje se devet gemoloških materijala koji su određeni kao korund. Ovi uzorci se međusobno primarno razlikuju bojom, rezom, sjajem, te drugim karakteristikama. Odabrani gemološki materijal je analiziran sa šest metoda kojima su određena njihova fizička i optička svojstva. Fizička svojstva materijala određena su vizualnim promatranjem, te promatranjem pod lupom i UV lampom. Instrumenti korišteni za metode određivanja optičkih svojstva su polariskop i refraktometar. Posljednja metoda korištena na ovim uzorcima je FT-IR spektroskopija (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) kojom se može odrediti o kojoj vrsti gemološkog materijala je riječ. Nakon provođenja svih metoda na svakom uzorku, na temelju njihovih fizičkih i optičkih svojstva utvrđeno je da nisu svi uzorci korund, te se zapravo radi o pet uzoraka korunda, jednom granatu, jednom topazu i dva kvarca.

**Ključne riječi:** gemologija, gemološki materijal, dragi kamen, dragulj, karakteristike

**Rad sadrži:** 37+VI stranica, 18 slika, 4 tablice, 18 literaturnih navoda i 2 table

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je pohranjen u:** Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, PMF

**Mentor:** doc.dr.sc. Andrea Čobić

**Ocjenjivači:**

**Datum završnog ispita:**

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### **Seminar III**

## **CHARACTERIZATION OF SELECTED SAMPLES OF COLOURED GEMSTONES**

**Petra Kozina**

**Thesis completed in:** Division of Mineralogy and Petrology, Department of geology, Faculty of Science, Horvatovac 102a, Zagreb

#### **Abstract:**

Gems are minerals (or organic materials) that have been chosen for their beauty and durability, then cut and polished for use as human adornment or decoration. This paper observes nine gemstones that are classified as corundum. These gemstones are primarily different by colour, cut, luster and other characteristics. Chosen gemstones are analyzed by six methods that define their physical and optical properties. Physical properties are determined by visual examination, examination by a magnifying glass and under the UV lamp. Instruments used to determine their optical properties are polariscope and refractometer. Last method used on this samples is FT – IR spectroscopy (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) which can determine which gemological material it is. After analyzing all samples with all methods, based on their physical and optical properties it is established that not all samples are corundum, in fact there are five samples of corundum, one garnet, one topaz and two samples of quartz.

**Keywords:** gemology, gems, gemstone, jewel, characteristics

**Seminar contains:** 37+VI pages, 18 figures, 4 tables, 18 references, and 2 plates

**Original in:** Croatian

**Thesis deposited in:** Central Geological Library, Department of Geology, Faculty of Science

**Supervisor:** PhD Andrea Čobić, assistant professor

**Reviewers:**

**Date of the final exam:**

**Sadržaj**

1. UVOD .....	1
2. OPĆENITO .....	3
2.1. Korund .....	3
2.2. Pregled dosadašnjih istraživanja .....	4
3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA .....	5
3.1. Gemološki materijal .....	6
3.2. Metode određivanja fizičkih svojstava gemološkog materijala .....	8
3.3. Metode određivanja optičkih svojstava gemološkog materijala .....	9
3.3.1. Ispitivanje optičkih svojstava polariskopom.....	10
3.3.2. Ispitivanje optičkih svojstava refraktometrom .....	10
3.4. FT - IR spektroskopija .....	12
4. REZULTATI .....	13
4.1. CRN1 .....	13
4.2. CRN2 .....	14
4.3. CRN3 .....	15
4.4. CRN4 .....	16
4.5. CRN5 .....	17
4.6. CRN6 .....	18
4.7. CRN7 .....	19
4.8. CRN8 .....	20
4.9. CRN9 .....	21
5. RASPRAVA .....	25
5.1. Fizičke karakteristike gemološkog materijala .....	25
5.2. Optička karakteristike gemološkog materijala .....	28
5.3. FT - IR spektroskopija .....	32
6. ZAKLJUČAK.....	36
7. LITERATURA .....	37
8. PRILOZI .....	V

## KORIŠTENE KRATICE:

I	Izotropan
B	Anizotropan
J	Jednososan
D	Dvoosan
+	Pozitivan
-	Negativan
s	Vibracijska vrpca jakog intenziteta
m	Vibracijska vrpca srednjeg intenziteta
w	Vibracijska vrpca slabog intenziteta
sh	Vibracijska vrpca koja se pojavljuje kao „rame“

## POPIS TABLICA:

Tablica 1: Popis gemološkog materijala sa podacima iz zbirke i slikama materijala

Tablica 2: Fizičke karakteristike gemološkog materijala

Tablica 3: Optičke karakteristike gemološkog materijala

## POPIS SLIKA:

Slika 1: Gemološki materijal korišten u ovom radu

Slika 2: Primjer fluorescencije na uzorku CRN8

Slika 3: Polariskop

Slika 4: a) refraktometar sa ugrađenim izvorom svjetlosti, b) rezultat refraktometra za izotropni materijal, c) rezultat refraktometra za anizotropni materijal

Slika 5: Pojava pleokroizma na uzorku CRN1; a) prva boja, b) druga boja

Slika 6: Uzorak CRN2; a) fluorescencija, b) prva boja pleokroizma, c) druga boja pleokroizma

Slika 7: Uzorak CRN3 sa velikom bočnom pukotinom na desnoj strani

Slika 8: a) zonalno obojenje uzorka CRN4; pojava potamnjenja bez uključenog analizatora  
b) svijetli položaj, c) tamni položaj

Slika 9: a) pojava ljubičastih ploha na uzorku nakon izlaganja UV svjetlu; pojava  
potamnjenja bez uključenog analizatora b)svjetli položaj, c) tamni položaj

Slika 10: a) pojava ljubičastih ploha pod UV lampom na uzorku CRN6; pojava potamnjenja  
bez uključenog analizatora, b) svijetli položaj, c) tamni položaj

Slika 11: a) pojava ljubičastih ploha pod UV lampom na uzorku CRN7; pojava  
potamnjenja bez uključenog analizatora, b) svijetli položaj, c) tamni položaj

Slika 12: Uzorak CRN8; a) fluorescencija, b) prva boja pleokroizma, c) druga boja  
pleokroizma

Slika 13: Uzorak CRN9; a) fluorescencija, b) prva boja pleokroizma, c) druga boja  
pleokroizma

Slika 14: Rezultati dobiveni FT – IR spektroskopijom

Slika 15: Efekt refleksije UV svjetlosti na uzorcima CRN6, CRN7, CRN5 (gledajući s lijeva  
na desno)

Slika 16: Neuspješno otklonjen spektar pozadinskog zračenja na uzorku CRN3

Slika 17: a) uzorak CRN6 sa neuspješno otklonjenim spektrom pozadinskog zračenja,  
b) uzorak CRN7 sa uspješno otklonjenim spektrom pozadinskog zračenja

Slika 18: Prikazani spektri dobiveni FT – IR spektroskopijom;

a) uzorak CRN1, b) uzorak CRN3, c) uzorak CRN5, d) uzorak CRN7

## 1. Uvod

Gemološki materijali su materijali koji se koriste za uljepšavanje ili ukrašavanje i moraju zadovoljiti nekoliko kriterija: moraju biti relativno rijetki, tvrdi i dovoljno čvrsti da mogu podnijeti svakodnevno nošenje i koroziju koja se može javiti pri kontaktu sa kožom (znojem) i kozmetičkim sredstvima (FRITSCH i RONDEAU, 2009). Glavne karakteristike gemološkog materijala su ljepota, otpornost, rijetkost i prirodno podrijetlo.

Ljepota gemološkog materijala određuje se obzirom na boju, sjaj, prozirnost i čistoću. Ona se može dodatno istaknuti kvalitetnim rezom. Rez i poliranje ovise do majstora koji obrađuje gemološki materijal, te kako on smatra najbolje iskoristiti sirovi materijal. Otpornost materijala je kombinacija njegove tvrdoće, čvrstoće i stabilnosti. Tvrdoća materijala je otpornost na grebanje materijalom određene tvrdoće, čvrstoća je otpornost materijala na pucanje i kalanje, a stabilnost je sposobnost materijala da se odupire kemijskom trošenju, toplini i svjetlu. Većina gemološkog materijala ima veliku tvrdoću i nema kalavost, a ukoliko je ima teško ju je postići. Otpornost se uglavnom odnosi na mogućnost materijala da ostane nepromijenjen nakon izlaganja različitim komercijalnim sredstvima poput parfema, kozmetičkih proizvoda i slično. Rijetkost je relativan pojam, a u ovom slučaju znači da materijal ne smije biti niti prerijedak niti komercijalan. Prerijedak gemološki materijal se smatra onaj manje poznat, te onaj kojeg količinski nema dovoljno da izgradi tržište i postane poznatiji. Za razliku od njega komercijalnim se materijalom smatra onaj koji se vrlo često nalazi, ima ga mnogo i na tržištu je jako dugo vremena. Komercijalnim gemološkim materijalom smatra se nešto manje od 200 materijala, a ostali se smatraju rijetkima. Materijal ima veću vrijednost ukoliko je prirodnog podrijetla, što znači da je nastao u prirodi, a nakon njegovog pronalaska slijedi oblikovanje samog materijala. Ukoliko materijal nije prirodan najčešće je sintetiziran, odnosno stvoren u laboratoriju. Osim samih karakteristika materijala, bitan faktor su i preference kupaca.

U ovom radu obrađuje se devet gemoloških materijala prikazanih na slici 1, koji su međusobno različiti bojom, rezom, sjajem i drugim karakteristikama. Odabrani gemološki materijal u zbirci je klasificiran kao korund. Ovi materijali su odabrani kako bi se ustanovilo radi li se uistinu o devet uzoraka korunda i koje su njegove karakteristike. Kako bi se odredilo o kojem je točno gemološkom materijalu riječ korištene su metode kojima se određuju njihove fizičke i optičke karakteristike. Fizičke karakteristike određene su vizualnim pregledom, te pregledom pod lupom i UV lampom dok su optičke karakteristike



određene pomoću instrumenata, polariskopa i refraktometra. Osim određivanja karakteristika materijala korištena je i metoda FT – IR spektroskopija kojom se identificira sama vrsta materijala pomoću karakterističnih vibracijskih vrpca.



*Slika 1: Gemološki materijal korišten u ovom radu*

## 2. Općenito

### 2.1. Korund

Korund je aluminijski oksid (formula:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) koji kristalizira u heksagonskom sustavu, te najčešće ima skalenoedarski habitus. Prema Mohsovoj skali tvrdoća mu iznosi 9, a kalavost nema. Sjaj ovisi o kvaliteti površine, a može biti dijamantan do staklast. Korund se pojavljuje u kalcitnim i dolomitnim mramorima, gnajsevima, granitima i drugim stijinama siromašnim silicijem. Minerali uz koje se često pojavljuje su anortit, oligoklas, hematit, magnetit, spinel i drugi. Neki od poznatijih lokaliteta gdje je pronađen korund su: Afganistan, Burma, Indija, Madagaskar, Šri Lanka i drugi (BERMANEC, 1999).

Fizička svojstva korunda se razlikuju od uzorka do uzorka, ali optička svojstva uvijek su jednaka. Korund je anizotropan materijal. Jednoosnog je optičkog karaktera, a optički znak mu je negativan. Indeks loma svjetlosti varira između vrijednosti 1.760 – 1.768 ili 1.770 – 1.779. Njegov dvolom varira od 0.008 do 0.010 (O'DONOGHUE, 2006). Također, kod obojanog korunda prisutna je snažna pojava pleokroizma, a boje se najčešće manifestiraju kao svjetlija nijansa boje samog materijala. Ova pojava vidljiva je i na običnoj (nepolariziranoj) svjetlosti, te je pomoću nje moguće razlikovati korund od drugih minerala koji bi mu mogli sličiti, poput spinela ili granata (PRATT, 1906).

Korund je najčešće poznat preko svojih gemoloških (dragih) varijeteta, poput rubina i safira. Rubinom se smatra samo crveni korund, a svi ostali korundi se klasificiraju kao safir i javljaju se u različitim bojama. Najpoznatiji varijetet safira je plave boje, a naziva se plavi safir. Osim karakterističnog rubina i plavog safira, drugi varijeteti su: leukosafir (bezbojan), padparadscha (narančasto-ružičaste boje), indigosafir (tamnoplave boje), orijentalni ametist (ljubičaste boje), orijentalni akvamarin (zelenkastoplave boje), orijentalni smaragd (zelene boje), orijentalni krizolit (žutozelene boje), klorsafir (tamnozelene boje), orijentalni topaz (žute boje), orijentalni hijacint (žutonarančaste boje).

Boja korunda ovisi o njegovom kemijskom sastavu. Za razliku od nekih materijala korund je alokromatski, što znači da je uzrok njegovog obojenja prisutnost manjih nečistoća odnosno prisutnost nekog elementa u tragovima. Čisti korund bio bi bezbojan, ali prisutnošću kromatofora (elementa u tragovima koji uzrokuje boju) dolazi do njegovog obojenja. Korund se može pronaći u svim bojama, ali najmanje u smaragdno zelenoj (DUBINSKY i drugi, 2020). Na slici 1 može se primijetiti velika razlika u boji danih

uzoraka. Prema njihovoj boji sedam uzoraka analiziranih u ovom radu odredilo bi se kao safir dok bi dva crvena uzorka (CRN2 i CRN3) bila svrstana kao rubin.

## 2.2. Pregled dosadašnjih istraživanja

Gemološki materijal su minerali (ili materijali organskog podrijetla) koji su odabrani zbog svoje ljepote i izdržljivosti, a kasnije rezani i polirani kako bi poslužili za uljepšavanje ili ukrašavanje. Ovakve materijale još nazivamo dragim kamenjem, draguljima i slično. Kroz povijest ljudi su sakupljali predmete koji su ih privukli svojom ljepotom, pa su tako skupljali i različite minerale koji su im bili dostupni na tom području. Takvi materijali najčešće su se koristili za nakit, a otkrivanjem svijeta došlo je i do razmjene različitog dragog kamenja koje prije nije bilo dostupno (HALL, 1994).

Gemološki materijal se često klasificirao samo po boji, pa su tako često svi zeleni minerali klasificirali kao smaragd, svi plavi kao safir i svi crveni kao rubin. Zbog prezasićenja tržišta sa istim vrijednim gemološkim materijalom, došlo je do sumnji da nije možda sve isti materijal, te je tako došlo do razvoja gemologije kao znanosti [1]. Napretkom tehnologije omogućena je brža i bolja identifikacija gemološkog materijala korištenjem različitih metoda od pregleda lupom i UV lampom do pregleda pomoću instrumenata kao što su polariskop i refraktometar. Danas se gemološki materijal također može dijeliti po boji, tako ćemo ga najčešće i odabrati za nakit, ali zahvaljujući napretku tehnologije danas je poznato da na primjer nisu svi crveni minerali rubin.

Rubin i plavi safir, najpoznatiji varijeteti korunda, poznati su još od davnina. Ovi varijeteti koristili su se još za doba Rimljana i Grka, te su služili kao nakit, ali i kao novac. Osim toga, već onda su istraživali njihova fizička svojstva i opisali njihovu pojavu (PRATT, 1906). Varijeteti su bili poznati, ali nije bilo poznato da se radi o istom mineralu odnosno mineralnoj vrsti. Tek 1798. u časopisu *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* je opisan do tada rijedak materijal, u članku imenovan kao korund. Cilj tog članka bila je pokazati da je korund sličan rubinu i plavom safiru, ili su čak identični te se radi o istom materijalu. Tadašnje kemijske analize nisu bile dovoljne da podupru ovakvo istraživanje, te su bile potrebne dodatne analize iz područja kristalografije (IRISH, 2017).

### 3. Materijali i metode istraživanja

Prilikom promatranja gemološkog materijala prvo pitanje koje se postavlja je 'Koji je ovo dragi kamen?', a nakon njega dolazi pitanje 'Da li je pravi ili ne?'. Pod pojmom „pravi“ gemološki materijal uobičajeno se smatra onaj nastao u prirodi, dok je sintetizirani gemološki materijal onaj napravljen u laboratoriju od strane čovjeka. Kako bi se dobili odgovori na ta pitanja potrebno je primijeniti određene metode kojima će se odrediti fizička i optička svojstva samog materijala, na temelju kojih se može doći do zaključka o kojem se točno materijalu radi, te je li on prirodan ili sintetiziran. Metode variraju od jednostavnog pregleda lupom do onih gdje je potrebna naprednija oprema i instrumenti. Osim opreme, potrebno je i iskustvo kako bi se znalo čemu točno obratiti pažnju, te kako bi određivanje bilo jednostavnije i brže.

Samo određivanje svojstava gemološkog materijala kreće od provjere fizičkih svojstava. Prvo slijedi vizualni pregleda ili pregled golim okom, nakon kojeg slijedi promatranje lupom sa standardnim povećanjem 10x. Daljnjim metodama najčešće se potvrđuje mišljenje o vrsti materijala nakon pregleda lupom, ali isto tako mogu pokazati da se radi o nekom sasvim drugom materijalu. Metoda pregleda UV-lampom omogućuje provjeru prisutnosti fluorescencije.



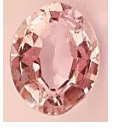


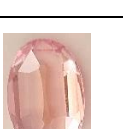
Nakon provjere fizičkih svojstava materijala, slijedi provjera optičkih svojstava materijala koja se određuju pomoću polariskopa i refraktometra. Polariskopom se utvrđuje optički karakter te prisutnost pleokroizma i dvoloma, a refraktometrom se određuje indeks loma svjetlosti, vrijednost dvoloma, optički karakter i optički znak. Određivanje indeksa loma uvelike pomaže pri samoj identifikaciji materijala.

Sljedeći korak je promatranje gemološkog materijala pod gemološkim mikroskopom. Mikroskopom se određuje prisutnost uklopaka koji mogu dati jasnije objašnjenje radi li se o sintetiziranom materijalu ili je riječ o prirodnom. Kako bi se detaljnije odredila vrsta pomoću apsorpcijskog spektra gemološkog materijala potrebno je primijeniti ručni spektroskop. Osim toga koristi se još i metoda FT – IR spektroskopije koja daje informaciju koji je točno materijal u pitanju. Na kraju se još određuje specifična težina gemološkog materijala pomoću piknometra ili hidrostatske vage ukoliko postoji potreba.

### **3.1. Gemološki materijal**

U ovom radu obrađeno je devet gemoloških materijala. Radi se o obrađenom materijalu, rezanom i poliranom. Gemološki materijal se uvelike razlikuje bojom i veličinom kao što je moguće primijetiti na slici 1. Materijali su posuđeni iz Mineraloške zbirke Mineraloško-petrografskog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, te privatne zbirke.

U svakoj zbirci vodi se evidencija svega što ta zbirka sadrži, pa tako i ovaj gemološki materijal ima svoje podatke. U evidenciji nalazimo redni broj tog materijala u zbirci, koji je to materijal i odakle dolazi (ukoliko je nalazište poznato). Dodatno na kutijici materijala može pisati još nešto više o samom materijalu, poput varijeteta, te dodatni podaci iz zbirke poput rednog broja pod kojim se mineral nalazi u zbirci, inventarskog broja i slično. U tablici 1 nalazi se popis svih materijala obrađenih u ovome radu sa podacima iz zbirki.

Kratice gemološkog materijala	CRN1	CRN2	CRN3	CRN4	CRN5	CRN6	CRN7	CRN8	CRN9
Naziv	Korund	Korund	Korund	Korund	Korund - sintetički safir	Korund - sintetički safir	Korund - sintetički safir	Korund	Korund
Sistematski broj	III-4-1-2-013	III-4-1-2-017	III-4-1-2-016	III-4-1-2-014	III-4-1-2-015	III-4-1-2-015	III-4-1-2-015	Privatna zbirka	Privatna zbirka
Inv. broj	1297	1301	1300	1298	1299	1299	1299	/	/
Min. Pet. Inst.	51-60	51-52	51-58	51-54	51-61	51-61	51-61	/	/
Slika materijala s gornje strane - kruna									
Slika materijala s donje strane - paviljon									

Tablica 1: Popis gemološkog materijala sa podacima iz zbirke i slikama materijala

### 3.2. Metode određivanja fizičkih svojstava gemološkog materijala

Glavni parametar gemoloških metoda je da ona bude nedestruktivna, kako bi gemološki materijal mogao ostati isti i kako bi se nakon analiza on mogao dalje koristiti, na primjer za nakit. Gemološke metode primjenjuju se određenim redoslijedom. Materijalu se prvo određuju fizička svojstva. Počinje se sa vizualnim pregledom, zatim slijedi pregled lupom te na kraju pregled UV lampom.

Vizualni pregled odnosi se na pregled golim okom. Samim promatranjem materijala primjećuje se boja materijala, njegov sjaj, rez, te prisutnost uklopaka. Kako bi se obavio kvalitetan vizualni pregled, materijal se uzima s pincetom i približava se oku kako bi se detaljno proučio. Ovakva osnovna metoda daje prve rezultate koji se dalje nadopunjuju i dodatno promatraju. Vizualnim pregledom mogu se uočiti na primjer neki uklopci, koji će se onda detaljnije istražiti slijedećim metodama.

Lupa je osnovni instrument kojim se opisuju fizička svojstva gemološkog materijala. Dovoljna je ručna lupa sa povećanjem 10x (deset puta), a za sve što se treba vidjeti pod većim povećanjem potrebno je upotrijebiti mikroskop. Lupom se detaljnije uočavaju osnovna svojstva poput boje, prozirnosti, nečistoća, uklopaka, vrste i kvalitete reza. Prije nego što se krene promatrati kroz lupu, treba namjestiti svjetlo na temelju onoga što želimo promatrati. Ukoliko promatramo rez ili samu površinu materijala svjetlost se mora reflektirati s plohe materijala (dovoljno je svjetlo u prostoriji), a ukoliko se promatraju inkluzije ili nešto u samom materijalu svjetlost treba prolaziti kroz materijal kako bi se bolje vidjela njegova unutrašnjost [2]. Lupa se koristi tako da se približi oku, gemološki materijal se primi s pincetom i prinese lupi otprilike na istu udaljenost od lupe na kojoj je i oko. Nakon toga potrebno je izoštriti sliku, što se radi udaljavanjem ili približavanjem materijala od lupe. Sa lupom se može promatrati vanjski i unutrašnji izgled materijala. Za vrijeme promatranja vanjskog izgleda materijala obraća se pažnja na površinska oštećenja (ili nedostatak istih), rez, sjaj i boju, dok se promatranjem unutrašnjeg izgleda materijala mogu uočiti pukotine ili inkluzije. Inkluzije mogu biti minerali, praznine, mjehurići zraka i druge [2].

Nakon pregleda lupom, kako bi se završio vizualni pregled, potrebno je materijal promotriti pod UV lampom. Ovom metodom uočava se prisutnost fluorescencije. Fluorescencija je pojava vidljive svjetlosti koju emitira materijal nakon izlaganja izvoru UV svjetlosti (WILKINS, 2008). Za promatranje pojave fluorescencije na gemološkom materijalu kao izvor UV svjetlosti koristi se UV lampa. UV svjetlost dobiva se

ultraljubičastim (UV) zračenje, što je najčešći izvor radijacije za promatranje fluorescencije. Ultraljubičasta svjetlost je oku nevidljiva jer je niže valne duljine (10 – 400nm) od vidljivog dijela spektra (400 – 700nm). Rezultat fluorescencije gemološkog materijala su specifične, izrazito žarke boje kao što je vidljivo na slici 2. Kako bi se izvela ova metoda potrebno je zamračiti prostoriju, pripremiti materijal i osvijetliti ga UV lampom.



Slika 2: Primjer fluorescencije na uzorku CRN8

### 3.3. Metode ispitivanja optičkih svojstava gemološkog materijala

Nakon određivanja fizičkih svojstava gemološkog materijala, potrebno je odrediti njegova optička svojstva. Optička svojstva materijala su svojstva koja se uočavaju u prolaznoj polariziranoj ili monokromatskoj svjetlosti. Kako bi se analizirala optička svojstva u gemološkom materijalu koriste se polariskop i refraktometar. Ovi instrumenti su jednostavni za korištenje, prenosivi, relativno mali i moguće je promatrati cijeli gemološki materijal.

Prema optičkim svojstvima minerale dijelimo na optički izotropne i optički anizotropne. Izotropni materijali imaju jedan indeks loma, jer se kod njih svjetlost širi u svim smjerovima jednakom brzinom. Anizotropni materijali imaju više indeksa loma, jer kod njih brzina širenja svjetlosti ovisi o smjeru širenja. Kod anizotropnih materijala dolazi do pojave dvoloma što je razlika između dva indeksa loma. Dvolom nastaje prilikom ulaska zrake svjetlosti u materijal, koja se lomi na dvije polarizirane zrake koje titraju u međusobno okomitim titrajnim ravninama. Obzirom na dvolom razlikuju se anizotropni jednoosni i anizotropni dvoosni materijali. U jednoosnim materijalima duž jednog smjera širenja svjetlosti ne dolazi do dvoloma, dok kod dvoosnih ne dolazi do dvoloma duž dva smjera širenja svjetlosti. Smjerovi duž kojih ne dolazi do dvoloma nazivaju se optičke osi. Anizotropne jednoosne i dvoosne materijale s obzirom na optički znak još dijelimo na pozitivne i negativne (NESSE, 1991).



### 3.3.1. Ispitivanje optičkih svojstava polariskopom

Polariskop (slika 3) je instrument koji omogućuje analizu gemološkog materijala pomoću polariziranog svjetla. Sadrži dva polarizirajuća filtera, polarizator na dnu i analizator na vrhu. Kako bi se analizirao materijal, on se postavi na prozirni stolić za uzorak, te se taj stolić postavi na polarizator. Na polariskopu se može odrediti da li je gemološki materijal optički izotropan ili anizotropan, te se može uočiti pojava pleokroizma i anomalnog dvoloma. Kako bi uočili pleokroizam dovoljno je staviti uzorak na prozirni stolić, postaviti stolić na polariskop te gledajući kroz ugašen analizator rotirati stolić. Ukoliko prilikom rotacije stolića dolazi do promjene boje uzorka pri zakretu od  $90^\circ$  radi se o pleokroizmu. Za daljnje analize potrebno je imati uključen analizator (kroz analizator mora biti vidljiva crna podloga), te nakon toga ponovno okretati stolić. Ako gemološki materijal ostaje stalno taman prilikom okretanja, radi se o izotropnom materijalu. Također može biti riječ i o anizotropnom materijalu koji u toj plohi siječe optičku os, te je zato potrebno analizu provesti u nekoliko položaja. Ukoliko materijal potamni četiri puta prilikom rotacije stolića za  $360^\circ$  riječ je o anizotropnom materijalu.



Slika 3: Polariskop

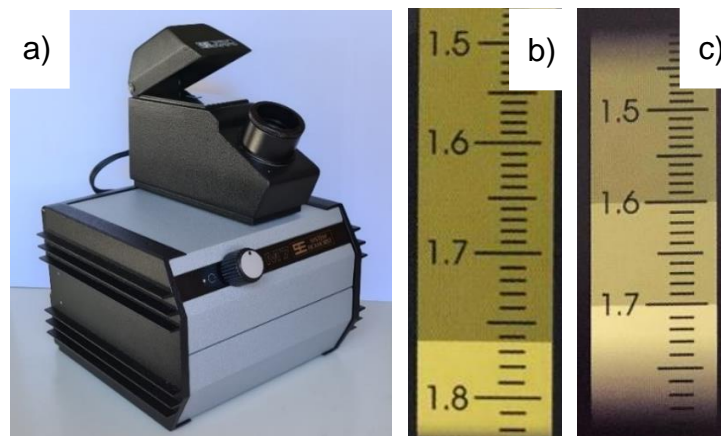
### 3.3.2. Ispitivanje optičkih svojstava refraktometrom

Za daljnja određivanja optičkih svojstva gemološkog materijala koristi se metoda mjerenja refraktometrom (slika 4a). Refraktometar je instrument koji ima veliki značaj prilikom određivanja vrste gemološkog materijala. On mjeri indeks refrakcije, odnosno indeks loma svjetlosti na gemološkom materijalu, u vrijednostima od 1.30 do 1.81. Maksimalna mjerljiva vrijednost je 1.81 zbog kontaktne tekućine, čiji indeks loma ne može biti veći od tog iznosa. Sav materijal čiji je indeks loma veći od 1.81 nije moguće točno odrediti zato jer vrijednosti

indeksa loma prelaze vrijednosti indeksa loma kontaktne tekućine. Vrijednost indeksa loma kontaktne tekućine korištene u ovom radu je 1.79. Kontaktna tekućina je nužna zbog uspostavljanja optičkog kontakta između stakalca i samog materijala. Kako bi dobili što točnije rezultate potrebno je obaviti što više mjerenja. Materijal je potrebno pomalo zakretati i zapisivati rezultat za svaki položaj, dok materijal nije napravio jedan krug od 360°. Mjerenje indeksa loma materijala započinje stavljanjem kapljice kontaktne tekućine na stakalce ispod poklopca, a na kapljicu se položi gemološki materijal sa svojom stolnom plohom. Nakon toga treba uključiti izvor svjetlosti, koje mora biti monokromatsko, kako bi se mogla dobiti očitavanja na refraktometru. Na okularu se promatra skala. Svjetlost koja prolazi kroz refraktometar i materijal upada na skalnu, bacajući sjenu na skali ovisno o graničnom kutu materijala. Rezultati na skali izgledaju različito ovisno o optičkom karakteru materijala i njegovom optičkom znaku, a prikazuju vrijednosti indeksa loma. Ukoliko se radi o izotropnom materijalu na skali ćemo vidjeti jedno područje sa sjenom kao što je vidljivo na slici 4b, čija linija prikazuje iznos indeksa loma materijala. Kod anizotropnih materijala uočava se područje sa sjenom i ispod njega područje blaže sjene kao što je prikazano na slici 4c. Svako područje završava linijom koja se očitava kao indeks loma, pa će rezultat biti dva indeksa loma čija maksimalna razlika daje dvolom materijala. Točan optički karakter materijala utvrđuje se nakon provedenih nekoliko mjerenja. Nakon svakog mjerenja materijal se zakreće te se vrši novo mjerenje. Kod anizotropnih jednoosnih materijala kroz mjerenja se uočava pomak jedne linije. Ukoliko se pomiče donja numerička vrijednost, dok gornja ostaje konstanta, radi se o jednoosnom negativnom materijalu. U suprotnom slučaju (pomak gornje numeričke vrijednosti, dok je donja konstantna) riječ je o jednoosnom pozitivnom materijalu. U slučaju dvoosnih materijala dolazi do pomaka obje numeričke vrijednosti, te je potrebno ustanoviti koja vrijednost se više pomiče. Prilikom određivanja da li je materijal dvoosan pozitivan ili negativan potrebno je ustanoviti središnju zajedničku točku, odnosno vrijednost koja se nalazi na polovici puta između dvije vrijednosti indeksa loma. Ako dolazi do pomicanja donje numeričke vrijednosti preko zajedničke točke, radi se o dvoosnom negativnom materijalu. U suprotnom slučaju (pomicanje gornje numeričke vrijednosti preko zajedničke točke) radi se o pozitivnom dvoosnom materijalu.

Na kraju, konačan odgovor dobiva se iz identifikacijskih tablica pomoću vrijednosti indeksa loma, dvoloma, optičkog karaktera i znaka gemološkog materijala. Identifikacijske tablice korištene u ovom radu nalaze se u Gems (O'DONOGHUE, 2006). U tablicama se pretražuju vrijednosti indeksa loma koje odgovaraju vrijednostima dobivene mjerenjima.

Nakon provjere podudaranja indeksa loma potrebno je provjeriti podudaraju li se i ostale vrijednosti sa vrijednostima u tablicama.



Slika 4: a) refraktometar sa ugrađenim izvorom svjetlosti, b) rezultat refraktometra za izotropni materijal, c) rezultat refraktometra za anizotropni materijal

### 3.4. FT – IR spektroskopija

Posljednja metoda korištena u ovom radu je FT – IR spektroskopija (infracrvena spektroskopija s Fourierovom transformacijom). Ova metoda se temelji na apsorpciji zračenja u infracrvenom dijelu elektromagnetskog spektra. Infracrveni spektar se nalazi u rasponu valnih duljina od 800 nm do 1000000 nm tj. valnih brojeva od  $13000\text{ cm}^{-1}$  do  $10\text{ cm}^{-1}$ . Za ovu metodu potrebno je prvo snimiti pozadinski šum odnosno spektar pozadinskog zračenja. Nakon njegovog snimanja slijedi snimanje spektra samog uzorka (SKOOG i drugi, 2016). Na stakalce za uzorak postavi se obrisani gemološki materijal na svoju najveću plohu (stolnu plohu). Mjerenje traje otprilike minutu, tijekom koje se materijal ne smije dirati. Rezultati se dobivaju u obliku spektra koji predstavlja ovisnost valne duljine i intenziteta. Od dobivenog spektra uzorka oduzima se spektar pozadinskog zračenja kako bi se smanjio utjecaj atmosfere. Na spektru se primjećuju vibracijske vrpce sa različitim intenzitetom. One predstavljaju područje spektra koji je apsorbirao uzorak [3]. Rezultati ove metode omogućavaju identifikaciju samog materijala na temelju karakterističnih vibracijskih vrpca. Vibracijske vrpce okarakterizirane su intenzitetom, te mogu biti jakog intenziteta, srednjeg intenziteta, slabog intenziteta ili se mogu pojaviti kao „rame“ (CHUKANOV i CHERVONNYI, 2016). Identifikacija materijala pomoću dobivenog spektra je moguća zbog prisutnosti velikog broja vibracijskih vrpca i zbog velike količine već izmjerenih infracrvenih spektara dostupnih za usporedbu (GÜNZLER i GREMLICH, 2006).

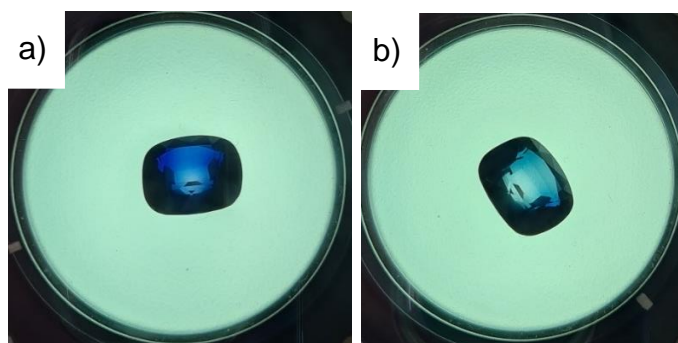
## 4. Rezultati

Rezultati ovog istraživanja su podaci dobiveni metodama opisanim u prijašnjem poglavlju. Obzirom na količinu i različitost samih uzoraka, rezultati su podijeljeni u poglavlja prema uzorcima u kojima se nalaze rezultati svih metoda za taj uzorak.

### 4.1. CRN1

Vizualnim pregledom materijala uočava se da je materijal proziran i plave boje (tablica 1). Primjećuje se da je materijal tamnije obojen na rubovima dok je u središtu boja puno svjetlija. Rez je miješani cushion cut. Gornja strana podsjeća na cushion rez, ali sadrži 10 ploha oko stolne plohe umjesto osam, a donja ploha je različita od tipičnog cushion reza. Daljnjim promatranjem nisu uočena nikakva površinska ni dubinska oštećenja. Međutim, promatrajući isti materijal pod lupom uočava se manje površinsko oštećenje na jednom kutu materijala. Promatrajući mineral dubinski, na par mjesta uočava se niz sitnih mjehurića, a gledajući kroz stolnu plohu, pri dnu se uočava veća mrlja sastavljena od vrlo sitnih mjehurića. Pregledom pomoću UV lampe ne uočava se prisutnost fluorescencije.

Na polariskopu se prvo uočava prisutnost pleokroizma (slika 5). Prva boja koja se pojavljuje je indigo plava do ljubičasta (slika 5a). Druga boja koja se pojavljuje je blijeda plavo zelena kao što je prikazano na slici 5b. Uključivanjem analizatora uočava se da materijal potamni četiri puta unutar jednog kruga što ukazuje da je materijal anizotropan. Pojava pleokroizma i optički karakter provjereni su u više položaja.



Slika 5: Pojava pleokroizma na uzorku CRN1; a) indigo plava do ljubičasta boja, b) blijedo plavo zelena boja

U prilogu 2 prikazani su rezultati dobiveni refraktometrom. Najniža vrijednost indeksa loma dobivena mjerenjima je 1.760, a najviša je 1.769. Razlikom najviše i najniže vrijednosti

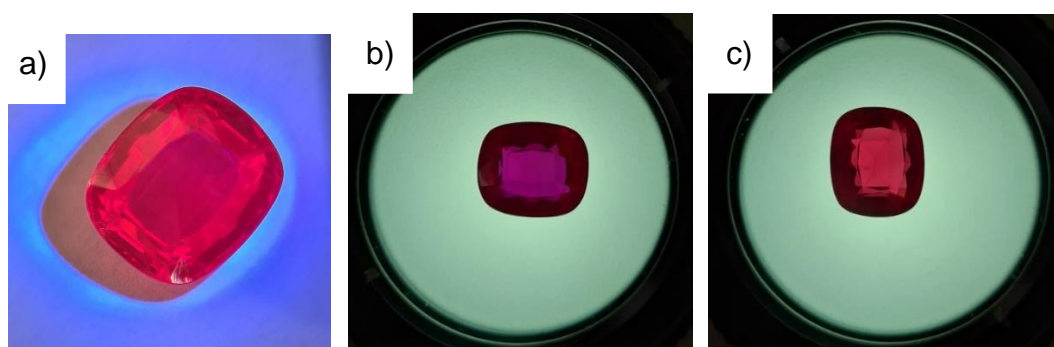
dobivene mjerenjima dobiva se dvolom, koji ovdje iznosi 0.009. Uočava se pomak niže numeričke vrijednosti, dok viša ostaje konstantna.

FT – IR spektroskopijom dobiven je spektar prikazan na slici 14. Na spektru se uočava 6 vibracijskih vrpca čije su vrijednosti ispisane u prilogu 1. Od 6 vibracijskih vrpca, dvije su izrazito jakog intenziteta, dvije vrpce pojavljuje se kao „rame“, a dvije su slabog intenziteta.

## 4.2. CRN2

Ovaj uzorak je roze boje i proziran (tablica 1). Boja ovog uzorka svugdje je jednako intenzivna. Rez je isti kao kod CRN1, miješani cushion cut. Vizualnim pregledom nisu uočena nikakva površinska ni unutrašnja oštećenja. Pregledom pomoću lupe nisu pronađena nikakva dubinska oštećenja, a od površinskih prisutna je uglavnom trošnost bridova. Promatranjem ovog uzorka pod UV lampom dolazi do jake pojave fluorescencije. Osvjetljen UV svjetlošću, materijal fluorescira u žarko crveno-rozjoj boji kao što je vidljivo na slici 6a.

Na polariskopu se također uočava pleokroizam kao i kod uzorka CRN1. U krugu od 360° dvaput se pojavljuje ljubičasta boja (slika 6b), a dvaput se pojavljuje ružičasto narančasta boja (slika 6c). Uključivanjem analizatora i okretanjem stolića dolazi do potamnjenja materijala 4 puta unutar jednog kruga što pokazuje da je materijal anizotropan.



Slika 6: Uzorak CRN2; a) fluorescencija, b) ljubičasta boja, c) ružičasto narančasta boja

Rezultati mjerenja refraktometrom, prikazani u prilogu 2, pokazuju da dolazi do pomaka donje numeričke vrijednosti dok gornja vrijednost ostaje konstantna. Najviša vrijednost indeksa loma dobivena mjerenjima iznosi 1.770, dok najniža iznosi 1.761. Oduzimanjem te dvije vrijednosti, dobiva se vrijednost dvoloma koja iznosi 0.009 kao i kod prethodnog uzorka.

Infracrvenom spektroskopijom dobiven je spektar prikazan na slici 14. Na spektru se može uočiti 6 vibracijskih vrpca, od kojih su dvije jakog intenziteta, dvije se pojavljuju kao „rame“, a dvije su vrlo slabog intenziteta. Vrijednosti vibracijskih vrpca su prikazane u tablici 1 u priložima.

### 4.3. CRN3

Na prvi pogled uočava se boja materijala. Boja je tamno crvena (slika 7) i budući da nije žarka pomalo odskače od ostalih uzoraka. Uzorak je također dosta manji od ostalih uzoraka, proziran je, a rez je miješani. Promatrajući donju stranu materijala rez bi bio emerald, ali gornja strana je nešto jednostavnija, te je rez ovog materijala miješani rez. Vizualnim pregledom na materijalu se jasno uočava velika pukotina s njegove bočne strane kao što je vidljivo na slici 7. Nasuprot te pukotine, s donje strane materijala vidljivo je još površinskih oštećenja. Promatrajući materijal pod lupom, osim spomenutih površinskih oštećenja vidljivih golim okom, uočava se još ogrebotina. Unutrašnja oštećenja nisu vidljiva niti golim okom niti pod lupom. Pregledom UV lampom na materijalu nema promjena, odnosno ne dolazi do fluorescencije.



*Slika 7: Uzorak CRN3 sa velikom bočnom pukotinom na desnoj strani*

Promatrajući materijal pod polariskopom nema pojave pleokroizma. S uključenim analizatorom ne uočava se potamnjenje kao kod prethodna dva uzorka, već se vidi crna linija koja prolazi kroz materijal, iz jednog kraja u drugi. Rotacijom za  $360^\circ$ , osim pojave crne linije, uočava se da na materijalu nema prisutnosti najsvjetlijeg položaja.

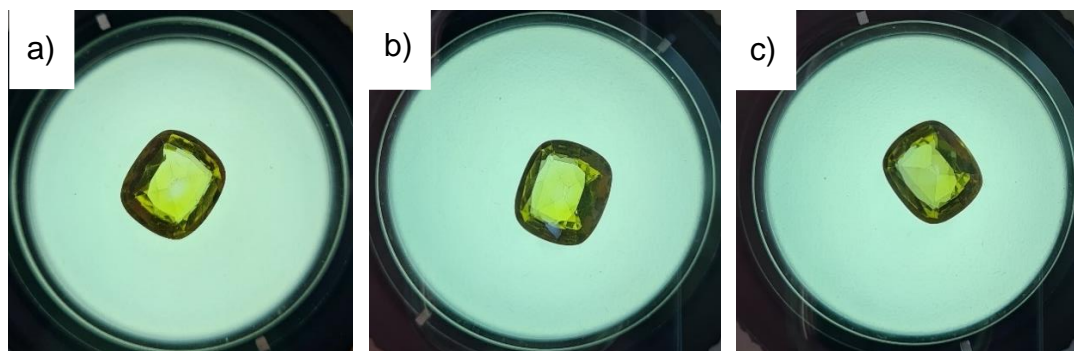
Prilikom analize refraktometrom, kroz sva mjerenja uočava se pojava samo jedne numeričke vrijednosti, kao što je vidljivo u prilogu 2. Ta jedna numerička vrijednost varira između 1.771 i 1.772, odnosno varira za 0.001 decimalu. Obzirom na pojavu jedne numeričke vrijednosti, ne može se izračunati dvolom, te dvoloma nema.

Spektar ovog uzorka dobiven FT – IR spektroskopijom razlikuje se od spektra prva dva uzorka. Na ovom spektru, prikazanom na slici 14, može se uočiti 11 vibracijskih vrpca. Od njih 11, jedna je jakog intenziteta, jedna je srednjeg intenziteta, 6 vrpca je slabog intenziteta, a njih 3 pojavljuje se kao „rame“. Vrijednosti vibracijskih vrpca prikazane su u prilogu 1.

#### 4.4. CRN4

Ovaj materijal veličinom i oblikom izgleda vrlo slično kao i prva dva materijala. Žute je boje, proziran, a rez je miješani cushion cut (tablica 1). Za razliku od prva dva materijala, ovaj materijal ima 12 ploha oko stolne plohe i njegova donja strana izgleda drugačije. Vizualnim promatranjem materijala ne uočavaju se ikakva površinska ni dubinska oštećenja. Detaljnijim proučavanjem lupom, na materijalu se uočavaju sitne površinske ogrebotine i paralelne linije po ploham. Promatranjem materijala s njegove gornje strane vidljivi su sitni mjehurići uz rub kristala. Promatranjem materijala pod UV lampom ne dolazi do fluorescencije.

Na polariskopu bez uključenog analizatora uočava se zonalno obojenje. Materijal je obojen žuto, ali u jednoj zoni primjećuje se puno bljeđa žuta od ostatka materijala kao što je vidljivo na slici 8a (gornji desni kut materijala). Također uočava se pojava potamnjenja materijala bez uključenog analizatora (slike 8b i 8c). Okrećući stolić, materijal potamni četiri puta u jednom krugu, ali tamnjenje nije kompletno već se manifestira u vidu sjene. S uključenim analizatorom dolazi do tipičnog potamnjenja materijala četiri puta unutar jednog kruga što ukazuje da je materijal anizotropan. Dodatno su provjereni tamni i svijetli položaji sa i bez uključenog analizatora. Tamni položaj materijala gledan bez analizatora je svijetli položaj materijala nakon što se upali analizator, ali nije položaj maksimalnog posvjetljenja. Također, svijetli položaj gledan bez analizatora nakon uključivanja analizatora postaje taman, ali nije u pitanju položaj maksimalnog potamnjenja.



Slika 8: a) zonalno obojenje uzorka CRN4; pojava potamnjenja bez uključenog analizatora  
b) svjetli položaj , c) tamni položaj

Na refraktometru se uočavaju donja i gornja numerička vrijednost. Najviša vrijednost indeksa loma je 1.769 dok najniža vrijednost iznosi 1.760. Dvolom, računat oduzimanjem najviše i najniže numeričke vrijednosti, iznosi 0.009. Gornja numerička vrijednost je konstantna, dok se donja numerička vrijednost pomiče.

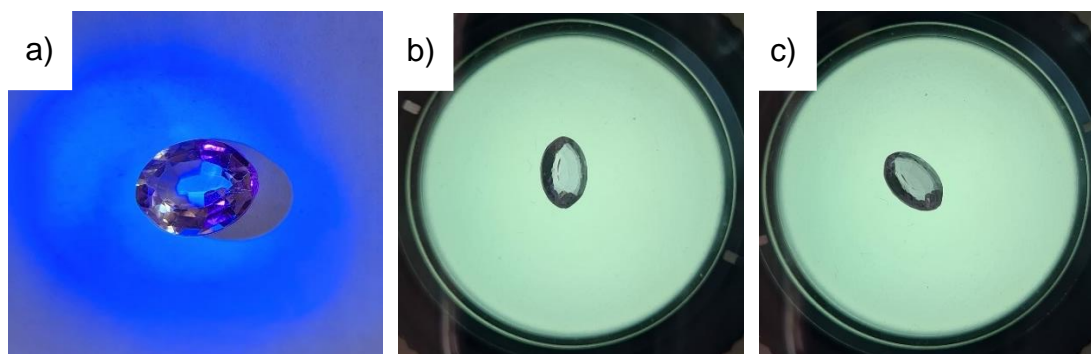
FT – IR spektroskopijom dobiven je spektar prikazan na slici 14. Na spektru se može uočiti 6 vibracijskih vrpca, od kojih su dvije jakog intenziteta, jedna je srednjeg intenziteta, dvije su slabog intenziteta, a jedna vrpca se pojavljuje kao „rame“. Vrijednosti opisanih vrpca nalaze se u prilogu 1.

#### 4.5. CRN5

Ovaj gemološki materijal je proziran i blijedo ružičaste boje (tablica 1). Veličinom je sličan uzorku CRN3. Rez je mješani ovalni. Gornji dio odgovara ovalnom rezu, ali donja strana odstupa od standardnog ovalnog reza. Vizualnim pregledom nisu uočena nikakva površinska ni dubinska oštećenja. Promatrajući lupom na materijalu se uočava trošnost bridova kao površinska oštećenja, a gledajući u dubinu samog materijala uočavaju se nizani mjehurići uz jedan rub materijala. Promatranjem pod UV lampu uočava se ljubičasta boja na ponekim rubnim ploham. Pomicanjem izvora svjetlosti mijenjaju se i plohe obojane ljubičastom bojom. Sumnja se na pojavu slabe fluorescencije (slika 9a).

Na polariskopu ne uočava se pojava pleokroizma, ali bez uključenog analizatora uočava se ista pojava potamnjenja kao što je opisana kod uzorka CRN4 (slike 9b i 9c). Bez uključenog analizatora materijal tamni prilikom okretanja stolića. Nakon uključivanja analizatora uočava se potamnjenje materijala 4 puta što znači da je materijal anizotropan.





Slika 9: a) pojava ljubičastih ploha na uzorku nakon izlaganja UV svjetlu; pojava potamnjenja bez uključenog analizatora b)svjetli položaj, c) tamni položaj

Na refraktometru se prikazuju dvije numeričke vrijednosti. Gledajući same brojčane vrijednosti prikazane u prilogu 2, uočava se razlika u odnosu na prijašnje materijale. Najviša vrijednost indeksa loma iznosi 1.637 dok najniža iznosi 1.629. Oduzimanjem tih vrijednosti dobiva se dvolom, koji iznosi 0.008. Za razliku od numeričkih vrijednosti dvolom se ne razlikuje previše od prijašnjih uzoraka. Može se uočiti da je donja numerička vrijednost konstantna, dok gornja numerička vrijednost mijenja iznos.

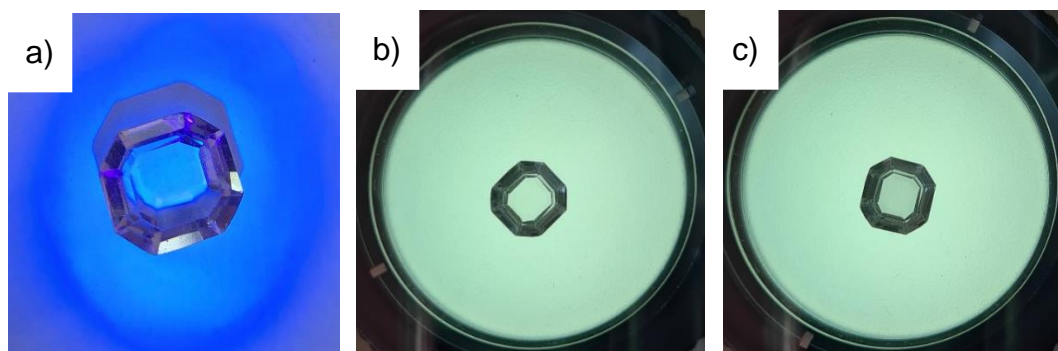
Spektar dobiven FT – IR spektroskopijom, prikazan na slici 14, sadrži 12 vibracijskih vrpci. Njihove vrijednosti prikazane su u prilogu 1. Od 12 vrpci, jedna je jakog intenziteta, njih pet je srednjeg intenziteta, dvije su slabog intenziteta, a četiri se pojavljuju kao „rame“.

#### 4.6. CRN6

Za razliku od prijašnjih uzoraka, ovaj materijal je bezbojan (tablica 1). Proziran je, a rez ovog materijala je miješani octagon. Gornja strana je octagon rez, dok je donja strana puno jednostavnija od klasičnog izgleda donje strane octagon reza. Vizualnim pregledom uočljive su male pukotine na rubovima materijala dok unutrašnja oštećenja nisu vidljiva. Promatranjem materijala pod lupom uočavaju se ogrebotine po ploham, a u unutrašnjosti materijala vidljivi su vrlo sitni mjehurići. Promatrajući materijal pod UV lampom događa se isti efekt kao i kod uzorka CRN5 (slika 10a). Nekoliko rubnih ploha poprimi ljubičastu boju, a promjenom položaja svjetlosti mijenjaju se i plohe koje postaju ljubičaste boje.

Promatranjem materijala na polariskopu ne uočava se prisutnost pleokrozma. Bez uključenog analizatora, događa se pojava potamnjenja kao kod uzoraka CRN4 i CRN5. Ova

pojava prikazana je na slikama 10b i 10c. Nakon uključivanja analizatora i okretanjem stolića materijal u jednom krugu potamni 4 puta što ukazuje da je materijal anizotropan.



*Slika 10: a) pojava ljubičastih ploha pod UV lampom na uzorku CRN6; pojava potamnjenja bez uključenog analizatora, b) svijetli položaj, c) tamni položaj*

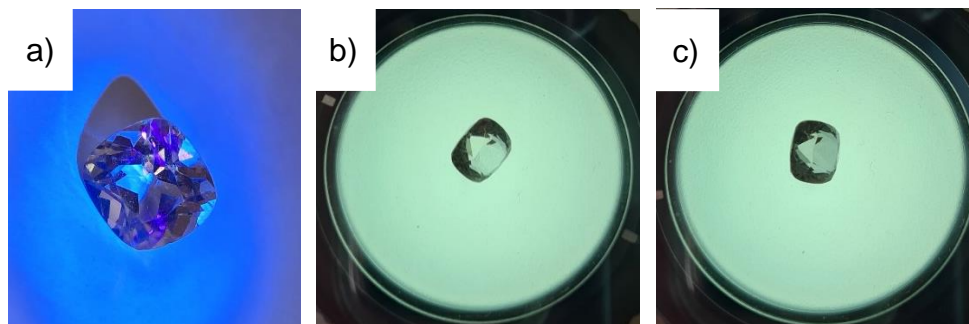
Rezultati refraktometra drugačiji su od svih prijašnjih rezultata. Vrijednosti su još manje nego kod prijašnjeg uzorka što je vidljivo u prilogu 2. Najviša vrijednost indeksa loma iznosi 1.553, a najniža vrijednost iznosi 1.544. Razlika ove dvije vrijednosti daje dvolom, koji iznosi 0.009. Može se primijetiti da je donja numerička vrijednost konstantna, dok se gornja numerička vrijednost pomiče.

Infracrvenom spektroskopijom dobiven je spektar prikazan na slici 14. Na spektru je vidljivo 12 vrpci čije su vrijednosti prikazane u prilogu 1. Na dobivenom spektru, jedna vrpca je jakog intenziteta, jedna je srednjeg intenziteta, tri se pojavljuju kao „rame“, a 7 ih je slabog intenziteta.

#### **4.7. CRN7**

Ovaj uzorak je bezbojan i proziran poput CRN6 (tablica 1), a ono što ih razlikuje je rez. Rez ovog uzorka je miješani antique cushion. Gornja strana kompletno odgovara ovom rezu, dok je donja strana promijenjena. Vizualnim promatranjem materijala nisu vidljiva nikakva površinska ni dubinska oštećenja. Promatranjem istog materijala pod lupom na površini se uočavaju ogrebotine, a u samom mineralu može se uočiti poneki sitan mjehurić. Promatranjem materijala pod UV lampom dolazi do ljubičastog obojenja nekoliko rubnih ploha, kao kod uzoraka CRN5 i CRN6 (slika 11a).

Promatranjem na polarikopu ne uočava se pojava pleokroizma, a bez uključenog analizatora pojavljuje se pojava potamnjenja kao kod uzorka CRN4, CRN5 i CRN6 (slika 11b i 11c). Nakon uključivanja analizatora u krugu od  $360^\circ$  uočava se da materijal potamni 4 puta što ukazuje da je materijal anizotropan.



*Slika 11: a) pojava ljubičastih ploha pod UV lampom na uzorku CRN7; pojava potamnjenja bez uključenog analizatora, b) svijetli položaj, c) tamni položaj*

Rezultati dobiveni refraktometrom brojčano su vrlo slični rezultatima od uzorka CRN6. Najviša vrijednost indeksa loma iznosi 1.552, a najniža 1.543. Obje vrijednosti od prošlog uzorka razlikuju se za samo 0.001 decimalu, ali vrijednostima jako odstupaju od ostalih uzoraka. Oduzimanjem najviše i najniže vrijednosti dobiva se dvolom koji iznosi 0.009. Donja numerička vrijednost ovog uzorka ostaje konstantna dok dolazi do promjene gornje numeričke vrijednosti.

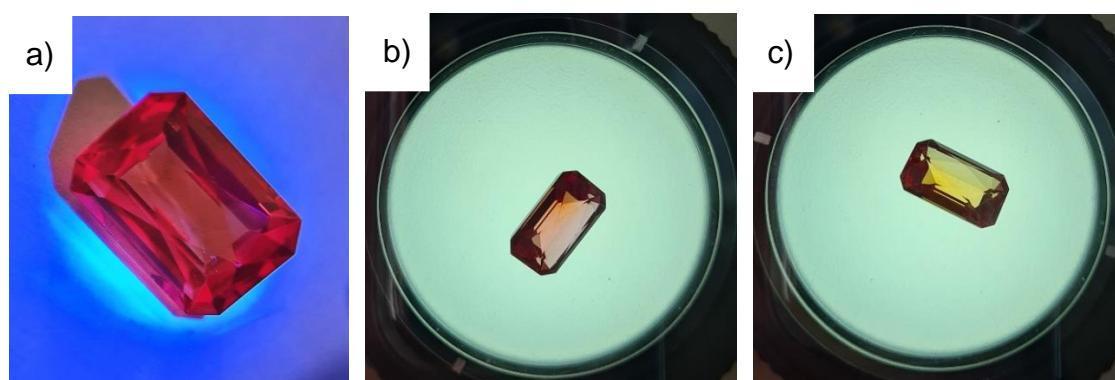
Spektar dobiven FT – IR spektroskopijom prikazan je na slici 14. Na njemu se može vidjeti 11 vibracijskih vrpci, čije su vrijednosti prikazane u prilogu 1. Od 11 vrpci, jedna je jakog intenziteta, osam ih je slabog intenziteta, a tri se pojavljuju kao „rame“.

#### **4.8. CRN8**

Kao prvi mineral posuđen iz privatne zbirke, ovaj materijal se ističe svojom narančastom bojom (tablica 1). O njemu se ne zna puno, osim da bi trebao biti korund. Materijal je proziran, a rez je tako zvani „No name“ ili „New Name“. Ovi rezovi nisu imenovani i ima ih mnogo, a označavaju rezove koji nisu tipični i ne mogu se klasificirati kao neki već postojeći rezovi [4]. Vizualnim promatranjem materijala nema vidljivih površinskih ni unutrašnjih oštećenja. Pod lupom uočavaju se male površinske pukotine, a u samom materijalu vidljivi su sitni mjehurići, koji se ponegdje pojavljuju i u nizu. Pod UV lampom

dolazi do pojave fluorescencije, a materijal fluorescira u žarko crvno-rozjoj boji. Pojava fluorescencije na ovom materijalu najizraženija je na njegovim rubovima, a prikazana je na slici 12a.

Promatranjem materijala na polariskopu bez uključenog analizatora uočava se pojava pleokroizma. U jednom krugu dolazi do promjene boje 4 puta, svakih 90°. Dvaput se pojavljuje blijeda ružičasta do narančasta boja (slika 12b), a dvaput blijedo zelenkasta (slika 12c). Nakon uključivanja analizatora, okretanjem stolića materijal potamni četiri puta u jednom krugu što znači da je materijal anizotropan.



Slika 12: Uzorak CRN8; a) fluorescencija, b) blijeda ružičasto do narančasta boja, c) blijedo zelenkasta boja

Rezultati dobiveni na refraktometru prema vrijednostima slične rezultatima prvih uzoraka. Najviša vrijednost indeksa loma iznosi 1.768, dok najniža iznosi 1.760. Dvolom čini razlika tih vrijednosti, te on iznosi 0.008. Gornja numerička vrijednost ostaje konstantna dok dolazi do promjene donje numeričke vrijednosti.

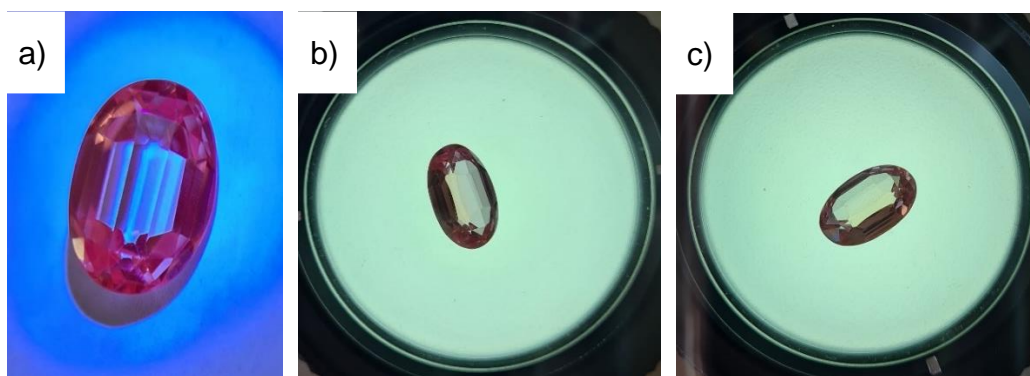
Infracrvenom spektroskopijom dobiven je spektar prikazan na slici 14. Na spektru se može uočiti šest vibracijskih vrpca, ali očitano ih je samo pet, te su njihove vrijednosti prikazane u prilogu 1. Jedna vibracijska vrpca je jakog intenziteta, dvije su srednjeg intenziteta, dvije su slabog intenziteta i jedna se pojavljuje kao „rame“ te njezina vrijednost nije očitana.

#### 4.9. CRN9

Drugi gemološki materijal posuđen iz privatne zbirke ružičaste je boje i bezbojan, a također je ne tipičnog reza poput uzorka CRN8 (tablica 1). Ovaj „No name“ rez omogućuje vidljivost

narančaste boje na bočnim rubovima materijala. Vizualnim pregledom nisu vidljiva nikakva površinska ni unutrašnja oštećenja na materijalu. Pod lupom na materijalu se uočava nekoliko sitnih ogrebotina i pukotina, a uočava se i nakupina vrlo sitnih mjehurića uz jednu plohu. Stavljanjem materijala pod UV svjetlo prisutna je pojava fluorescencije. Materijal fluorescira u žarko rozo-crvenoj boji kao što je vidljivo na slici 13a.

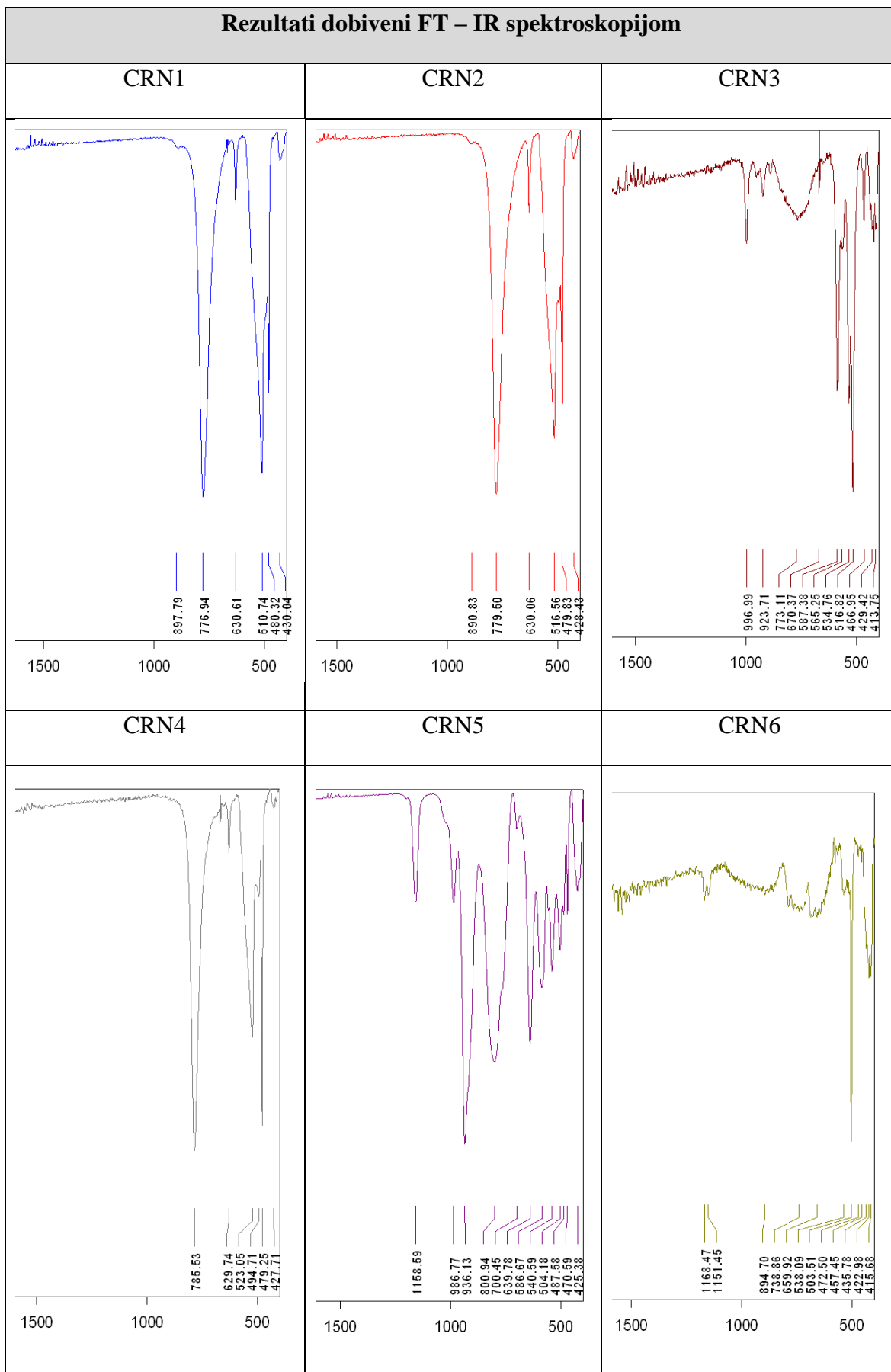
Na polariskopu se uočava blaga pojava pleokroizma. Zakretanjem stolića, svakih  $90^\circ$  dolazi do promjene boje. Prva boja koja se pojavljuje je blijedo ljubičasta (slika 13b), a druga je blijedo zelena (slika 13c). Sa uključenim analizatorom materijal tamni četiri puta unutar jednog kruga što ukazuje da je materijal anizotropan.

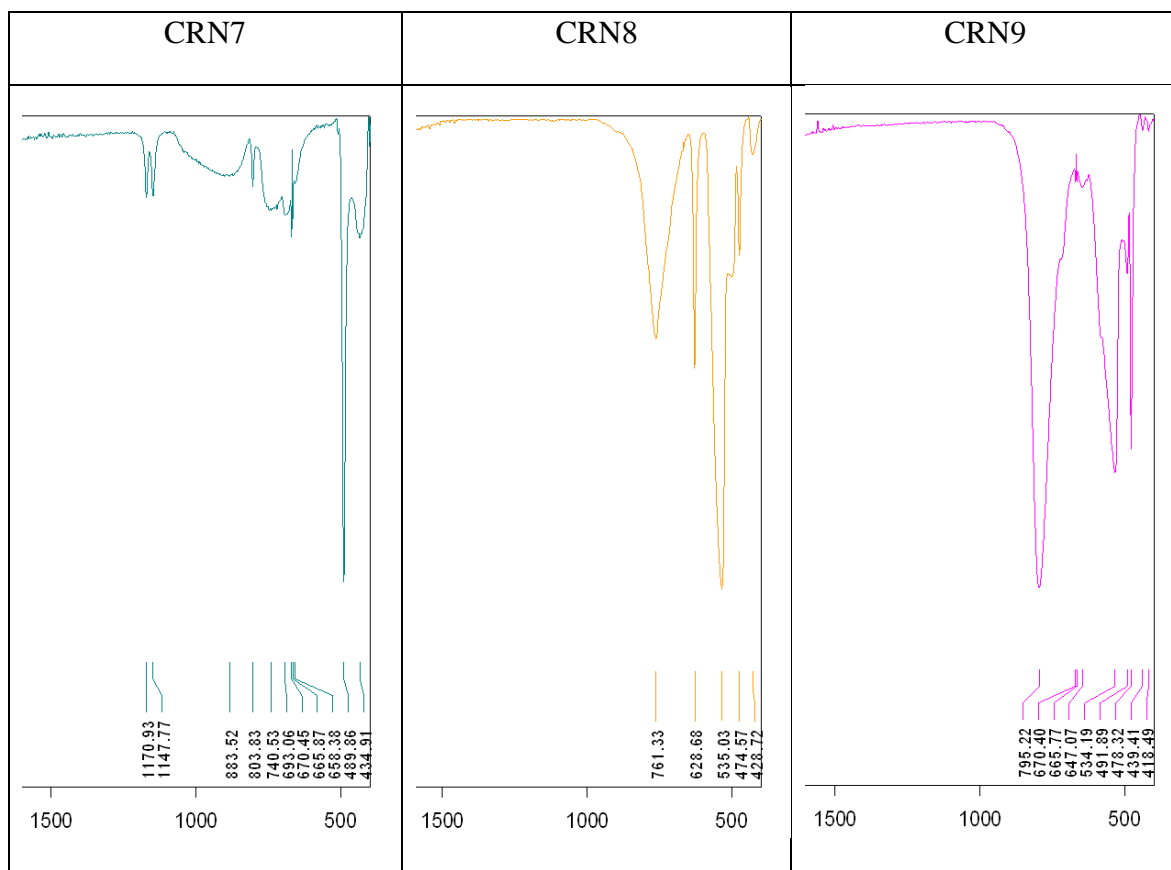


Slika 13: Uzorak CRN9; a) fluorescencija, b) prva boja pleokroizma, c) druga boja pleokroizma

Refraktometrom su dobiveni rezultati slični uzorku CRN8 i prvim uzorcima, kao što je vidljivo u prilogu 2. Najviša vrijednost indeksa loma iznosi 1.769, a najniža iznosi 1.760. Dvolom se računa kao razlika najviše i najniže vrijednosti indeksa loma, te ovdje iznosi 0.009. Dolazi do promjene iznosa donje numeričke vrijednosti dok gornja ostaje konstantna.

FT – IR spektroskopijom dobiven je spektar prikazan na slici 14. Na njemu se može uočiti devet vibracijskih vrpca čije su vrijednosti prikazane u prilogu 1. Od očitanih devet vibracijskih vrpca, njih sedam je glavnih, dok su dvije pozicionirane vrlo blisko na spektru. Jedna vrpca je jakog intenziteta, dvije su srednjeg intenziteta, tri ih je slabog intenziteta, a tri se pojavljuju kao „rame“.





Slika 14: Rezultati dobiveni FT – IR spektroskopijom

## 5. Rasprava

### 5.1. Fizičke karakteristike gemološkog materijala

Nakon pregleda lupom pobliže smo upoznati sa samim materijalom. Ovom metodom ustanovljava se boja, prozirnost, rez, površinska i dubinska oštećenja. Ova metoda nužno ne identificira sam materijal, ali može pomoći primarno klasificirati materijal na temelju nekih općih karakteristika.

Boja igra veliku ulogu kod gemološkog materijala. U ovom slučaju materijali nisu birani prema boji već prema sastavu zbog svrhe istraživanja. Većina uzoraka je obojena osim dva (uzorci CRN6 i CRN7) koji su bezbojni. Svi materijali su prozirni što je ujedno i uvjet da gemološki materijal bude kvalitetan. Rez se razlikuje od materijala do materijala, a ovisi samo o odluci majstora koji je obrađivao taj gemološki materijal. Od površinskih oštećenja uglavnom se javljaju pukotine i ogrebotine, koje najčešće nisu vidljive golim okom pa ne utječu na samu ljepotu materijala. Pukotina na uzorku CRN3 vidljiva na slici 7, je većih dimenzija i uočava se odmah na prvi pogled. To je najveće površinsko oštećenje uočeno na ovim uzorcima. Površinska oštećenja javljaju se kao rezultat korištenja gemološkog materijala, te prolaskom po nekoj neočišćenoj podlozi dolazi do oštećenja. Promatranjem pod lupom, na uzorku CRN4 uočene su paralelne linije na stolnoj plohi i ostalih ploham. Te linije su površinsko oštećenje koje je nastalo poliranjem materijala. Proces poliranja trebao bi materijalu donijeti veći sjaj i učiniti ga ljepšim i privlačnijim, a ne ostaviti tragove. To je dokaz grubog i nepažljivog poliranja, što ukazuje na mogućnost da je materijal sintetiziran, te se zbog toga nije previše pazilo na detalje. Dubinska oštećenja su nešto teže uočljiva. Nakon duljeg promatranja ponegdje se primjećuje prisutnost mjehurića ili više njih u nizu. Mjehurići, odnosno inkluzije mogu se javiti kod prirodnih i sintetskih materijala. Kod prirodnih materijala inkluzije nastaju tijekom rasta samog kristala, što je isti slučaj i kod sintetskih materijala, samo je rast umjetno uzrokovan (FRITSCH i RONDEAU, 2009). Prirodne i sintetske inkluzije se razlikuju. Sintetske inkluzije se pojavljuju češće od prirodnih te su uvijek monofazne, odnosno sadrže jednu fazu koja je gotovo uvijek plin. Sintetske inkluzije se nalaze uz rubove materijala i najčešće u nizu, kao što je slučaj u ovim materijalima. Osim toga inkluzije kod ovih materijala su vrlo sitne, jedva vidljive i u maloj količini. U slučaju inkluzija u nizu, radi se o nizu od tri mjehurića. Obzirom na sve navedeno, na temelju promatranih inkluzija, uzorci CRN1, CRN4, CRN5, CRN6, CRN7, CRN8 i CRN9 su vjerojatno sintetizirani.



Lupa služi za pobliži pregled materijala, a pregled UV lampom već pomaže pri samoj identifikaciji. Fluorescencija je prisutna samo kod 15% svih poznatih minerala, što je velika pomoć pri samoj identifikaciji. Sama fluorescencija ovisi o prisutnosti određenih kemijskih elemenata koji potiču ili sprječavaju fluorescenciju, te se zato pregled UV lampom koristi samo kao dodatna pomoć pri identifikaciji [2]. U primjeru obrađenih uzoraka, fluorescirala su samo tri materijala, a to su CRN2 (slika 6a), CRN8 (slika 12a) i CRN9 (slika 13a). Kod materijala CRN5, CRN6 i CRN7 primjećuje se prisutnost ljubičaste boje na nekoliko rubnih ploha. Te plohe nisu stalno ljubičaste već pomicanjem izvora svjetlosti obojene plohe postanu bezbojne, dok druge plohe poprime ljubičastu boju. Ovaj efekt može se zamijeniti za fluorescenciju, a riječ je o refleksiji UV svjetlosti. Materijal reflektira UV svjetlost zbog čega nekoliko ploha poprime ljubičastu boju [2]. Na slici 15 prikazan je spomenuti efekt na sva tri uzorka. Korundi, prirodni i sintetski, generalno prikazuju prisutnost fluorescencije. Sintetski korundi pokazuju vrlo snažnu fluorescenciju za razliku od prirodnih. Kod korunda prisutnost željeza može uzrokovati smanjenje fluorescencije, te je tada ona minimalna ili je nema [5]. Na temelju fluorescencije može se zaključiti da su tri uzorka (CRN2, CRN8, CRN9) korundi. Obzirom na manjak fluorescencije u ostalim uzorcima, ali i manjak informacija o točnom kemijskom sastavu materijala, moguća je prisutnost željeza pa pretpostavka sa početka ostaje ne promijenjena. U tablici 2 nalaze se sažeti rezultati fizičkih karakteristika odabranih uzoraka.



*Slika 15: Efekt refleksije UV svjetlosti na uzorcima CRN6, CRN7, CRN5  
(gledajući s lijeva na desno)*

GEMOLOŠKI MATERIJAL		CRN1	CRN2	CRN3	CRN4	CRN5	CRN6	CRN7	CRN8	CRN9	
<b>Lupa</b>	Boja	plava	roza	tamno crvena	žuta	blijedo roza	bezbojan	bezbojan	narančast	ružičast	
	Prozirnost	proziran	proziran	proziran	proziran	proziran	proziran	proziran	proziran	proziran	
	Rez	miješani cushion	miješani cushion	miješani emerald	miješani cushion	miješani ovalni	miješani octagon	miješani antique cushion	„no name“	„no name“	
	Površinska oštećenja	/	/	veliko oštećenje na rubu uzorka	/	/	male pukotine	/	/	/	/
		Golim okom	/	/	/	/	male pukotine	/	/	/	/
	Dubinska oštećenja	Lupa	manje oštećenje	trošnost bridova	ogrebotine	ogrebotine	trošnost bridova	ogrebotine	ogrebotine	male pukotine	sitne ogrebotine i pukotine
		Golim okom	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Fluorescencija	Lupa	niz sitnih mjehurića	/	/	sitni mjehurići	mjehurići u nizu	vrlo sitni mjehurići	poneki sitni mjehurići	sitni mjehurići	sitni mjehurići
		/	/	/	/	/	/	/	/	prisutna	prisutna
	<b>UV lampa</b>	Boja	/	crveno roza	/	/	/	/	/	crveno roza	rozo crvena
/		/	/	/	/	/	/	/	/	/	

Tablica 2: Fizičke karakteristike gemološkog materijala

## 5.2. Optičke karakteristike gemološkog materijala

Polariskopom se određuje optički karakter materijala odnosno da li je on izotropan ili anizotropan. Optički karakter moguće je znati i ukoliko se zna u kojem sustavu kristalizira mineral. Korund kristalizira u heksagonskom (trigonskom) sustavu što ga čini jednoosnim anizotropnim materijalom. To što je korund anizotropan materijal znači da bi na polariskopu svi uzorci trebali potamniti 4 puta unutar jednog kruga od 360°. Pojava potamnjenja koja klasificira materijal kao anizotropan javlja se kod 8 uzoraka, a jedino odstupanje je uzorak CRN3. Za razliku od ostalih, uzorak CRN3 nema jasno potamnjenje već se uočava tamna linija koja prolazi kroz sam mineral. Ova pojava ukazuje sumnju na prisutnost anomalnog dvoloma koji se javlja kod izotropnih materijala zbog anomalija u strukturi samog minerala. Da bi se stvarno ustanovilo da se radi o anomalnom dvolomu potrebno je provjeriti mineral pod refraktometrom. Ukoliko rezultati mjerenja refraktometrom pokažu da je mineral izotropan, riječ je o anomalnom dvolomu, u suprotnom materijal je anizotropan i ovo je samo pojava potamnjenja koja se drugačije manifestira.

Na polariskopu se može uočiti i pojava pleokroizma. Pleokroizam je pojava koja se javlja kod anizotropnih materijala. Boja koju vidimo ovisi o tome koja se zraka polarizirane svjetlosti poklopi sa optičkom osi u materijalu. Obzirom da se polarizirana svjetlost dijeli na dvije zrake, ordinarnu i ekstraordinarnu, u anizotropnom jednoosnom materijalu (kao što je korund) vidljive su dvije boje (NASSAU, 2001). Obzirom da su ordinarna i ekstraordinarna zraka međusobno okomite, promjena boje vidljiva je zakretom uzorka za 90°. Ova pojava uočava se golim okom te je dovoljan samo izvor polarizirane svjetlosti. Od analiziranih materijala četvero ih pokazuje pojavu pleokroizma, a to su CRN1, CRN2, CRN8 i CRN9. Obzirom na jasan pleokroizam ovi uzorci odgovaraju opisu korunda kao što je i zabilježeno u literaturi (PRATT, 1906). Potamnjenje koje se javlja bez uključenog analizatora kod uzoraka CRN4, CRN5, CRN6 i CRN7 je zapravo naznaka pleokroizma. Zbog toga što su materijali sintetizirani moguće da su dijelovi materijala drugačije orijentirani, pa se poklapanjem sa polariziranom svjetlosti pleokroizam manifestira u vidu sjene. Posljednji uzorak, CRN3, ne pokazuje nikakav pleokroizam pa ni njegove naznake, čime dolazi do sumnje da možda nije riječ o korundu.

U prilogu 2 mogu se vidjeti sva mjerenja napravljena na refraktometru. Ono što se prvo može uočiti je nedostatak druge numeričke vrijednosti kod uzorka CRN3. Do sada se uzorak klasificirao kao korund, čak i rezultati refraktometra brojčano odgovaraju

vrijednostima korunda (O'DONOGHUE, 2006). Ali jedna numerička vrijednost znači da je materijal izotropan, a s obzirom da se druga numerička vrijednost nije pojavila nijednom unutar 8 mjerenja uzorak CRN3 je izotropan i time ne može biti korund. Obzirom na utvrđen optički karakter, efekt viđen pod polariskopom, opisan u prošlom potpoglavlju, je anomalni dvolom.

Prisutnost dvije numeričke vrijednosti znači da je mineral anizotropan. Kako bi odredili je li riječ o jednoosnom ili dvoosnom materijalu potrebno je pobliže promotriti način na koji se numeričke vrijednosti pomiču. Kod svih uzoraka pomiče se samo jedna vrijednost, što znači da su svi uzorci, osim CRN3 koji je izotropan, optički anizotropni jednoosni materijali. Ovisno koja se vrijednost pomiče materijali mogu imati pozitivan ili negativan optički znak. Ukoliko se pomiče donja numerička vrijednost dok je gornja konstantna radi se o jednoosnom negativnom materijalu. U slučaju pomicanja gornje numeričke vrijednosti dok je donja konstantna riječ je o jednoosnom pozitivnom materijalu. Obzirom na pomicanje gornje i donje numeričke vrijednosti CRN1, CRN2, CRN4, CRN8 i CRN9 su jednoosni negativni materijali, dok su CRN5, CRN6 i CRN7 jednoosni pozitivni materijali. Samim time što im je optički znak pozitivan, uzorcni CRN5, CRN6 i CRN7 ne mogu biti korundi, jer je korund negativnog optičkog znaka (O'DONOGHUE, 2006).

Rezultati dobiveni refraktometrom provjeravaju se pomoću identifikacijskih tablica iz literature (O'DONOGHUE, 2006). U tablicama se nalazi popis materijala sa optičkim karakteristikama koje se uočavaju pomoću refraktometra, a to su indeks loma, dvolom, optički karakter i optički znak. Indeks loma prikazuje se u rasponima vrijednostima, te kako bi uzorak odgovarao materijalu u tablici, indeks loma nakon mjerenja mora biti unutar tog raspona. Dvolom materijala određuje se oduzimanjem maksimalne i minimalne vrijednosti indeksa loma koje čine njegov raspon. Dvolom uzoraka kreće se oko iste vrijednosti, te ona varira između 0.008 i 0.009. Obje vrijednosti odgovaraju vrijednosti dvoloma korunda. Međutim, uzorci se razlikuju u vrijednostima indeksa loma. Uzorak CRN3 brojčano ima slične vrijednosti korundu, ali je prisutan samo jedan indeks loma. Uzorci CRN1, CRN2, CRN4, CRN8 i CRN9 imaju sličan raspon indeksa loma. Vrijednosti variraju za 0.001 decimalu, a uglavnom se kreću oko 1.760 – 1.769. Ove vrijednosti odgovaraju vrijednostima korunda. Uzorci CRN5, CRN6 i CRN7 ne odgovaraju vrijednostima korunda te se brojčano razlikuju. Osim toga, uzorak CRN5 odstupa i od uzoraka CRN6 i CRN7. CRN5 ima brojčane vrijednosti indeksa loma u rasponu 1.629 – 1.637. Za razliku od njega vrijednosti uzoraka CRN6 i CRN7 su međusobno slične, ali se razlikuju za otprilike 0.1 decimalu od uzorka

CRN5, odnosno njihovi indeksi loma nalaze se u rasponu oko otprilike 1.544 – 1.553. Na temelju optičkog znaka i vrijednosti dobivenih kroz mjerenja na refraktometru dolazi se do zaključka da uzorci CRN3, CRN5, CRN6 i CRN7 sigurno nisu korund.

Kako bi se ustanovilo radi li se o točno tom materijalu, uz provjeru vrijednosti indeksa loma potrebno je provjeriti i da li druge karakteristike iz tablica odgovaraju promatranom uzorku. Ukoliko se sve informacije poklapaju zna se o kojem je materijalu riječ. Uzorci CRN1, CRN2, CRN4, CRN8 i CRN9 prema svim vrijednostima odgovaraju podacima iz tablice koji pripadaju korundu (O'DONOGHUE, 2006). Jedini izotropan materijal, uzorak CRN3, svojim parametrima (tablica 3) odgovara vrijednostima granata, piropu ili almandinu. Oba granata imaju slične vrijednosti, a o kojem je točno granatu riječ ustanovit će se infracrvenom spektroskopijom. Nakon pretraživanja vrijednosti uzoraka CRN6 i CRN7, ovi uzorci odgovaraju parametrima kvarca. Ono što ih razlikuje od korunda je raspon vrijednosti indeksa loma i optički znak. Parametrima uzorka CRN5 ne uspijevaju zadovoljiti sve parametre niti jednog materijala. Ponovnim promatranjem rezultata dobivenih refraktometrom zaključuje se da je materijal zapravo dvoosan. To znači da se njegova gornja i donja numerička vrijednost obje pomiču. Obzirom da se njegova donja numerička vrijednost pomiče sa vrlo malim razlikama u decimali lako je proglasiti tu numeričku vrijednost konstatnom i materijal jednoosnim. Kako je za klasifikaciju dvoosnog materijala potrebno ustanoviti koja numerička vrijednost prelazi vrijednost zajedničke točke, u ovom slučaju to nije bio problem. Male oscilacije donje numeričke vrijednosti i velike oscilacije decimala gornje numeričke vrijednosti, jasno ukazuju na to da gornja numerička vrijednost prelazi vrijednost zajedničke točke. Time je materijal dvoosan pozitivan. Sa novim podacima, u tablicama ovaj materijal odgovara vrijednostima topaza. U tablici 3 nalaze se sažeti rezultati optičkih karakteristika uzoraka dobiveni metodama polariskopa i refraktometra.

Gemološki materijal	Pretpostavka	POLARISKOP				REFRAKTOMETAR				Zaključak
		Anomalni dvolom	Pleokroizam		Optički karakter	Indeks loma	Dvolom	Optički karakter	Optički znak	
			Boja 1	Boja 2						
Korund (O'DONOGHUE, 2006)		/	prisutan		B	1.760 – 1.768 / 1.770 – 1.779	0.008 / 0.010	J	-	KORUND
CRN1	korund	/	Plava ljubičasta	do plavo zelena	B	1.760 – 1.769	0.009	J	-	korund
CRN2	korund	/	Ljubičasta	Rozo narančasta	B	1.761 – 1.770	0.009	J	-	korund
CRN3	korund	prisutan	/	/	I	1.771 – 1.772	/	I	/	granat
CRN4	korund	/	/	/	B	1.760 – 1.769	0.009	J	-	korund
CRN5	korund	/	/	/	B	1.629 – 1.637	0.008	D	+	topaz
CRN6	korund	/	/	/	B	1.544 – 1.553	0.009	J	+	kvarc
CRN7	korund	/	/	/	B	1.543 – 1.552	0.009	J	+	kvarc
CRN8	korund	/	Bijedo ružičasto narančasta	Bijedo zelenkasta	B	1.760 – 1.768	0.008	J	-	korund
CRN9	korund	/	Bijedo ljubičasta	Bijedo zelena	B	1.760 – 1.769	0.009	J	-	korund

Tablica 3: Optičke karakteristike gemološkog materijala

### 5.3. FT – IR spektroskopija

U tablici 3 i prikazanim rezultatima može se uočiti da nisu sve početne pretpostavke bile krive, ali 4 materijala sigurno nisu korund. IR spektroskopijom će se dodatno potvrditi o kojim se materijalima radi.

Kao i ranije spomenuto, rezultat dobiven IR spektroskopijom su spektri sa karakterističnim vibracijskim vrpama koje definiraju neki kemijski element, spoj, mineral i slično. Na svakom uzorku provedena je IR spektroskopija. Nakon odrađene spektroskopije na istraživanim uzorcima, samo određivanje materijala radi se pomoću literature (CHUKANOV, CHERVONNYI, 2016). U literaturi se nalaze sistematski posloženi analizirani minerali, a od podataka je moguće pronaći opis samog minerala, njegovo nalazište, spektar dobiven IR spektroskopijom i ispisane vibracijske vrpce karakteristične za taj mineral. Spektri dobiveni IR spektroskopijom nalaze se u prilogu 1.

Kod analize spektara dobivenih IR spektroskopijom potrebna je usporedba s drugim spektrom istog materijala (CHUKANOV, CHERVONNYI, 2016). Ukoliko dođe do poklapanja vibracijskih vrpce radi se o istom materijalu, a vrijednosti vibracijskih vrpce neće se savršeno poklapati. Razlog tome je različiti kemijski sastav uzorka. Iako je formula korunda  $Al_2O_3$ , nijedan korund se ne sastoji isključivo samo od aluminija i kisika. U korundu je moguće pronaći različite kemijske elemente u malim postocima (elementi u tragovima), koji na primjer uzrokuju boju korunda. Upravo takva prisutnost drugih elemenata uzrokuje brojčanu razliku vrijednosti vibracijskih vrpce.

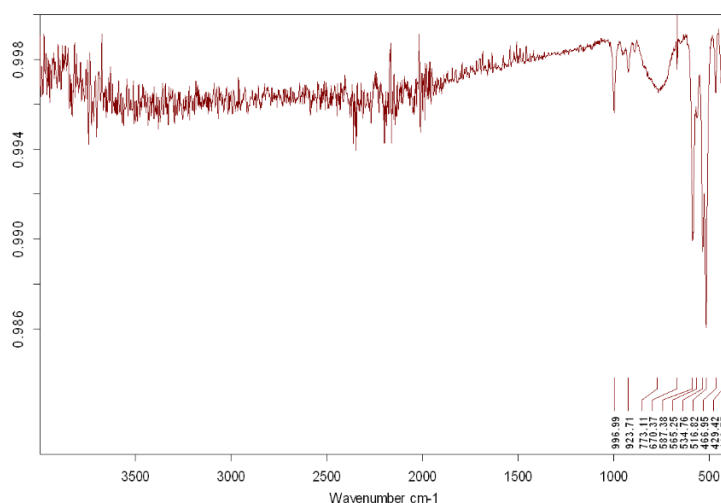
Na većini uzoraka uspješno je uklonjen spektar pozadinskog zračenja. Na slici 16 može se vidjeti spektar uzorka CRN3 kojem nije uspješno uklonjen spektar pozadinskog zračenja. On ne predstavlja problem prilikom analize i određivanja samog materijala, ali je teže očitati karakteristične vibracijske vrpce. Na uzorcima CRN6 i CRN7 (slika 17) može se vidjeti jasna razlika između otklonjenog i neotklonjenog spektra pozadinskog zračenja. Naizgled oni izgledaju slično, te su im vrijednosti vibracijskih vrpce približno jednake, ali je podatke malo teže očitati na uzorku CRN6 nego na uzorku CRN7.

Na slici 18 prikazani su usporedni spektri uzoraka CRN1, CRN3, CRN5 i CRN7. Ovi spektri prikazuju 4 različita materijala. CRN1 je kroz sve metode potvrđen kao korund, te usporedbom njegovog spektra sa ostala tri spektra primjećuje se da ostali spektri nisu slični ovome od uzorka CRN1. Prva razlika koja se uočava je količina vibracijskih vrpce. Na uzorku CRN1 prisutno ih je 6, dok je na uzorku CRN3 prisutno njih 11, a na uzorcima CRN5

i CRN7 njih 12. Osim toga na uzorku CRN1 prisutne su dvije vrpce jakog intenziteta, dok je na ostalima prisutna samo jedna. Vibracijske vrpce uglavnom su prisutne do valnog broja  $1000\text{ cm}^{-1}$ , dok Uzorci CRN5 i CRN7 prelaze te vrijednosti.

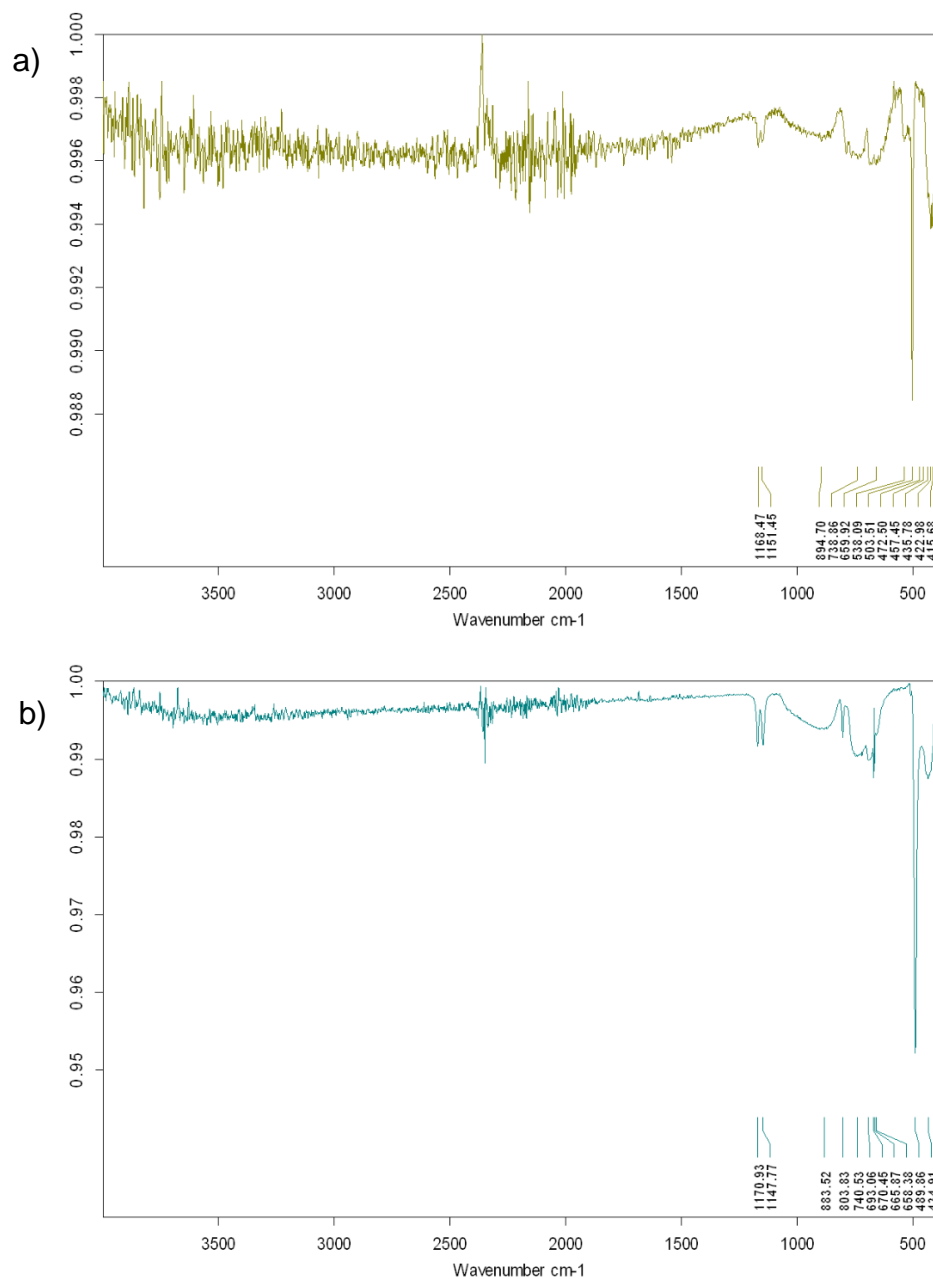
Osim vizualne razlike među spektrima različitih materijala, postoje i razlike između spektara korunda. Uzorci CRN1, CRN2 i CRN4 imaju spektre koji izgledaju vrlo slično, te su im i vrijednosti približno jednake. Uzorci CRN8 i CRN9 imaju nešto drugačije spektre. Primjećuje se veća količina vibracijskih vrpca kod uzorka CRN9, ali one vrijednostima odgovaraju korundu. Razlog povećanog broja vibracijskih vrpca je prisutnost određenih kemijskih elemenata koji ostali uzorci ne sadrže. Sličan problem uočljiv je i kod uzorka CRN8. Kod ovog uzorka očitano je ukupno 5 vrpca. Gledajući sami spektar vidljivo ima 6 vrpca, ali tu zadnju vrpcu program nije uspio očitati. Osim toga vibracijska vrpca najvećeg valnog broja je puno manjeg intenziteta nego što bi trebala biti. Razlog tome je nedostatak određenog kemijskog sastava koji apsorbira infracrveno zračenje te valne duljine.

Provjerom podataka u literaturi (CHUKANOV i CHERVONNYI, 2016), te usporedbom spektra koji se u njoj nalaze ustanovljeno je da 5 uzoraka (CRN1, CRN2, CRN4, CRN8, CRN9) odgovara vrijednostima korunda (slika 18a), uzorak CRN5 odgovara vrijednostima topaza (slika 18c), uzorak CRN3 odgovara vrijednostima granata točnije almandina (slika 18b), te 2 uzorka (CRN6, CRN7) odgovaraju vrijednostima kvarca (slika 18d). Spektri se poklapaju sa karakterističnim vibracijskim vrpcama uz minimalne razlike. Brojčane vrijednosti vibracijskih vrpca prikazane u prilogu 1 približno odgovaraju vrijednostima danih uzoraka u literaturi. Razlike između vibracijskih vrpca na spektru i njihovog iznosa ovise samo o kemijskom sastavu, te udjelu drugih elemenata u tragovima.

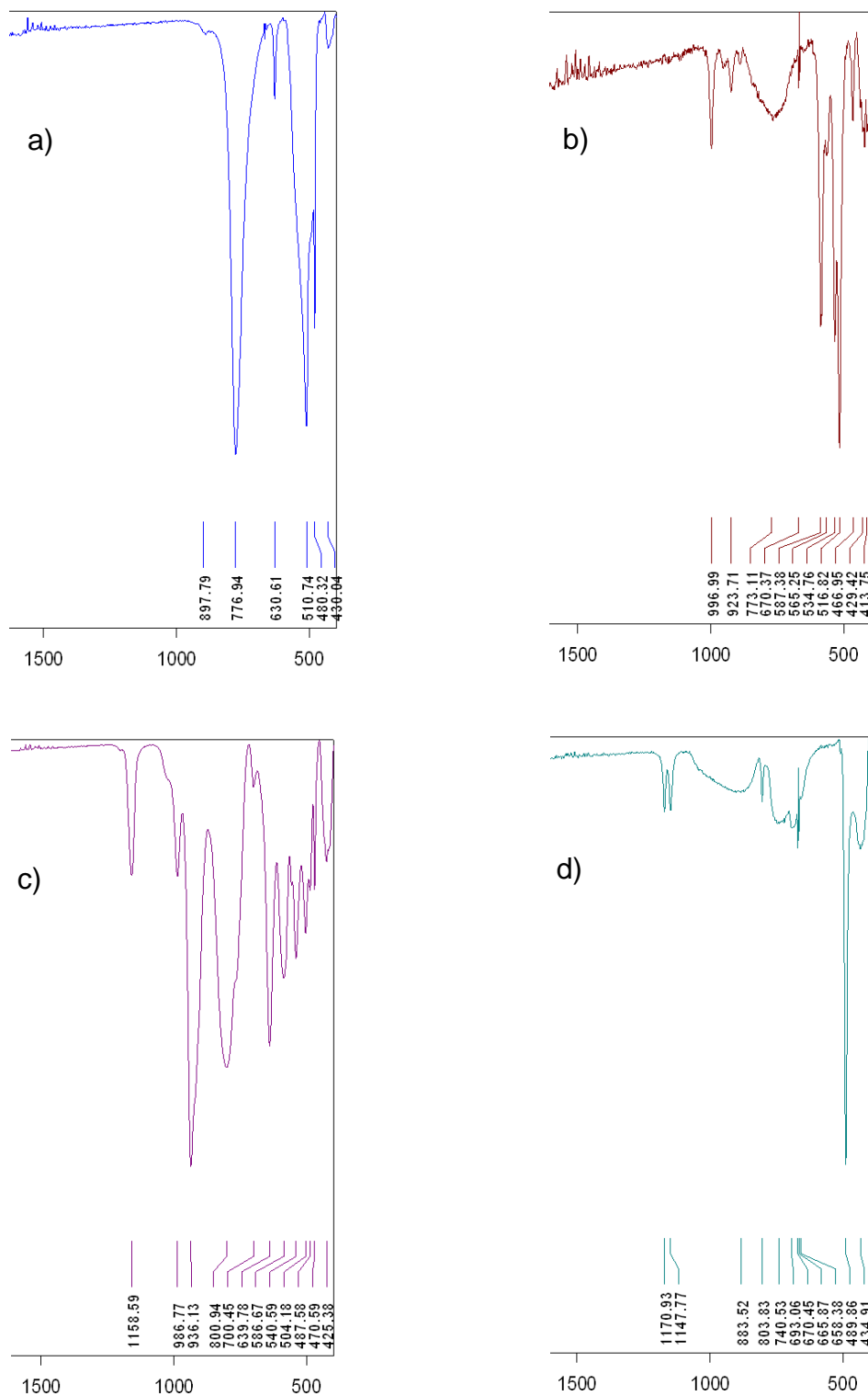


Slika 16: Neuspješno otklonjen spektar pozadinskog zračenja na uzorku CRN3





Slika 17: a) uzorak CRN6 sa neuspješno otklonjenim spektrom pozadinskog zračenja, b) uzorak CRN7 sa uspješno otklonjenim spektrom pozadinskog zračenja



Slika 18: Prikazani spektri dobiveni FT – IR spektroskopijom;  
 a) uzorak CRN1, b) uzorak CRN3, c) uzorak CRN5, d) uzorak CRN7

## 6. Zaključak

Pomoću šest analitičkih metoda provedenih u ovom radu utvrđeno je da nisu svi odabrani uzorci dobro klasificirani. Na početku, prema podacima iz zbirke, svih devet uzoraka klasificiralo se kao korund. Kako bi se ustanovilo da li je pretpostavka točna, provedene su tri metode određivanja fizičkih svojstava uzoraka i tri metode određivanja optičkih svojstava uzoraka. Fizička svojstva su boja materijala, njegov sjaj, rez i prisutnost uklopaka. Navedena svojstva analizirana su vizualnim promatranjem i promatranjem pod lupom, a pojava fluorescencije promatrana je pod UV lampom. Materijal može biti optički izotropan ili anizotropan, a optička svojstva koja se određuju su indeks loma, dvolom, optički karakter i optički znak. Ova svojstva određena su polariskopom i refraktometrom, a FT – IR spektroskopijom potvrđeno je o kojem se točno materijalu radi.

Određivanjem fizičkih i optičkih svojstava uzoraka došlo se do konačnog zaključka. Od odabranih uzoraka, njih 5 (CRN1, CRN2, CRN4, CRN8, CRN9) zadovoljava sva svojstva korunda i time potvrđuje svoje podatke iz zbirke i početnu pretpostavku. Jedan uzorak (CRN3) određen je kao granat, točnije almandin. Dva uzorka su nakon analiza određeni kao kvarc (CRN6, CRN7), a jedan je određen kao topaz (CRN5).

## 7. Literatura

- BERMANEC, V. (1999): Sistematska mineralogija – mineralogija nesilikata, Targa, Zagreb
- CHUKANOV N.V., CHERVONNYI A.D. (2016) – Infrared Spectroscopy of Minerals and Related Compounds, Springer International Publishing, Switzerland
- DUBINSKY E.V., STONE-SUNDBERG J., EMMETT J.L. (2020) – A quantitative description of the causes of color in corundum, *Gems & Gemology*, Vol. 56, 2–28
- FRITSCH E., RONDEAU B. (2009) – *Gemology: The Developing Science of Gems, Elements*, VOL. 5, 147–152
- GÜNZLER H., GREMLICH H.U. (2006) – Uvod u infracrvenu spektroskopiju, Školska knjiga, Zagreb
- HALL C. (1994) – *Gemstones*, Dorling Kindersley, London
- IRISH S.T. (2017) – The Corundum Stone and Crystallographic Chemistry, *Ambix*, 64:4, 301-325
- NASSAU K. (2001) – *The physics and chemistry of color*, John Wiley & Sons Inc, United States of America
- NESSE W.D. (1991) – *Introduction to Optical Mineralogy*, 2. izdanje, Oxford University Press, New York
- O'DONOGHUE M. (2006) – *Gems Their Sources, Descriptions and Identification*, 6. izdanje, Elsevier, Oxford
- PRATT J. H. (1906) – *Corundum and its occurrence and distribution in the United States*, Department of the interior United States geological survey, Washington
- SKOOG D.A., HOLLER F.J., CROUCH S.R. (2016) - *Principles of Instrumental Analysis*, 7. izdanje, Cengage Learning, United States of America
- WILKINS A. (2008) – *Ultraviolet Light and its Use with Fluorescent Minerals*, The Fluorescent Mineral Society, California

Internetski izvori:

- [1] [www.gemsociety.org/article/what-is-a-gem](http://www.gemsociety.org/article/what-is-a-gem)
- [2] [www.gemsociety.org/article/10x-loupe-the-gemologists-best-friend](http://www.gemsociety.org/article/10x-loupe-the-gemologists-best-friend)
- [3] [www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/spectrpy/infrared/infrared.htm](http://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/spectrpy/infrared/infrared.htm)
- [4] <https://www.gemsociety.org/article/gem-cutting-terms/>
- [5] <https://gem-a.com/gem-hub/gem-knowledge/focus-on-fluorescence>

## 8. Prilozi

Uzorak	Vibracijske vrpce
CRN1	430w, 480sh, 511s, 631w, 777s, 898sh
CRN2	428w, 480sh, 517s, 630w, 780s, 891sh
CRN3	414sh, 429w, 467w, 517s, 535sh, 565sh, 587m, 670w, 773w, 924w, 997w
CRN4	428w, 479s, 495sh, 523m, 630w, 786s
CRN5	425w, 471sh, 488sh, 504m, 541m, 587m, 640m, 700sh, 801m, 936s, 987sh, 1159w
CRN6	416sh, 423m, 436sh, 457w, 473w, 504s, 538sh, 660w, 739w, 895w, 1151w, 1168w
CRN7	435sh, 490s, 658sh, 666sh, 670w, 693w, 741w, 804w, 884w, 1148w, 1171w
CRN8	429w, 475w, 535s, 629m, 761m
CRN9	418w, 439w, 478m, 492sh, 534m, 647w, 666sh, 670sh, 795s

*Prilog 1: Vrijednosti vibracijskih vrpce dobivenih FT – IR spektroskopijom*

CRN1		CRN2		CRN3		CRN4		CRN5	
Donja n.v.	Gornja n.v.	Donja n.v.	Gornja n.v.	Donja n.v.	Gornja n.v.	Donja n.v.	Gornja n.v.	Donja n.v.	Gornja n.v.
1.	1.760	1.762	1.770	/	1.771	1.765	1.769	1.630	1.633
2.	1.762	1.767	1.770	/	1.772	/	1.768	1.629	1.637
3.	/	/	1.770	/	1.772	1.765	1.769	1.629	1.634
4.	1.763	1.763	1.769	/	1.772	1.760	1.769	1.629	1.630
5.	1.761	1.761	1.769	/	1.771	1.764	1.768	1.630	1.635
6.	1.765	1.767	1.769	/	1.771	/	1.768	1.629	1.637
7.	/	/	1.769	/	1.771	1.765	1.768	1.629	1.634
8.	1.765	1.763	1.770	/	1.771	1.760	1.768	1.630	1.631
Dvolom: 1.769 – 1.760 = 0.009		Dvolom: 1.770 – 1.761 = 0.009		Dvolom: /		Dvolom: 1.769 – 1.760 = 0.009		Dvolom: 1.637 – 1.629 = 0.008	
CRN6		CRN7		CRN8		CRN9			
Donja n.v.	Gornja n.v.	Donja n.v.	Gornja n.v.	Donja n.v.	Gornja n.v.	Donja n.v.	Gornja n.v.		
1.	1.545	1.547	/	/	1.768	1.760	1.768		
2.	1.545	1.553	1.550	1.766	1.768	1.762	1.768		
3.	1.545	1.553	1.552	1.760	1.768	/	1.768		
4.	1.545	1.550	1.549	1.760	1.767	1.765	1.769		
5.	1.545	1.548	/	/	1.767	1.760	1.768		
6.	1.545	1.551	1.550	1.765	1.768	1.762	1.768		
7.	1.545	1.553	1.552	1.760	1.768	/	1.768		
8.	1.544	1.549	1.548	1.761	1.768	/	1.768		
Dvolom: 1.553 – 1.544 = 0.009		Dvolom: 1.552 – 1.543 = 0.009		Dvolom: 1.768 – 1.760 = 0.008		Dvolom: 1.769 – 1.760 = 0.009			

Prilog 2: Rezultati mjerenja dobiveni refraktometrom