

# Strukturna karakterizacija različitih granita

---

**Podvezanec, Daniel**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:149:944785>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-28**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ EKOINŽENJERSTVO

Daniel Podvezanec

**DIPLOMSKI RAD**

Zagreb, rujan 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE  
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ EKOINŽENJERSTVO

Daniel Podvezanec

Strukturna karakterizacija različitih granita

DIPLOMSKI RAD

Mentor: Doc. dr. sc. Vilko Mandić

Članovi ispitnog povjerenstva: Doc. dr. sc. Vilko Mandić

Prof. dr. sc. Stanislav Kurajica

Izv. prof. dr. sc. Krunoslav Žižek

Zagreb, rujan 2019.

## *Zahvala*

*Zahvaljujem mentoru, doc. dr. sc. Vilku Mandiću na predloženoj temi, stručnom vodstvu, uloženom trudu te nesebičnoj pomoći koju mi je pružio pri izradi ovog rada.*

*Također, zahvaljujem se svojim prijateljima i kolegama koji su bili uz mene tijekom dosadašnjeg studiranja te bez kojih studiranje ne bi bilo toliko zabavno.*

*Posebno zahvaljujem djevojci Ivi na ukazanom strpljenju i pruženoj podršci u dobrim i lošim trenucima.*

*Veliko hvala cijeloj obitelji, posebice roditeljima, Renatu i Blaženki.*

## SAŽETAK

Granit svrstavamo u kisele stijene magmatskog postanka. Sastoji se od brojnih minerala čija boja ovisi o udjelu i vrsti glavne komponente, tj. glavne faze. Posljedica geneze, morfoloških i strukturnih svojstava granita je materijal izražene mehaničke kvalitete te dojmljive vizualne komponente. Stoga graniti su možda i najpriznatiji ukrasni kamen. U ovom eksperimentalnom istraživanju koristi se metoda difrakcijske rendgenske analize kako bi se usporedila svojstva različitih granita i dovela u vezu sa strukturnim razlikama tj. kvalitativno kvantitativnim karakteristikama različitih granita.

Ključne riječi: stijene, mineral , geneza, granit, rendgenska difrakcijska analiza

## **ABSTRACT**

Granite is classified as an acidic rock with magmatic origin. It is composed of several minerals that significantly preclude the colour of the material. The visual appearance is the consequence of the formation parameters and achieved morphologic and structural properties. Granites show good mechanical properties but on behalf of visual characteristics, granites are maybe the most prominent decorative rocks. In this investigation, the aim is to determine and confirm the structural characteristics of different granites using diffraction X-ray analysis, and correlate qualitative and quantitative structural properties to decorative properties of different granites.

Keywords: rocks, mineral, genesis, granite, X-ray diffraction analysis

# SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Teorijski dio .....	2
2.1 Mineralogija .....	2
2.2 Stijene.....	2
2.2.1 Sedimente stijene .....	4
2.2.2 Metamorfne stijene .....	4
2.2.3 Magmatske stijene .....	4
2.3 Geneza.....	6
2.3.1 Minerali magmatskog postanka .....	6
Minerali magmatskog postanka .....	6
2.3.2 Minerali sedimentnog postanka .....	6
2.3.3 Minerali metamorfnog postanka .....	7
2.3.4 Minerali kore trošenja .....	7
2.4 Kameni materijali građevinski, tehnički, ukrasni.....	7
2.4.1 Tehnički građevni kamen.....	7
2.4.2 Ukrasni građevinski kamen.....	8
2.4.3 Fizikalna i mehanička svojstva kamena.....	8
2.5 Graniti.....	10
2.5.1 Svojstva granita.....	11
3. Strukturna karakterizacija granita .....	14
3.1 Rendgenska difrakcijska analiza (XRD).....	14
4. Eksperimentalni dio .....	16
4.1 Priprava uzorka .....	16
4.2 Popis uzoraka .....	17
4.3 Metode karakterizacije .....	18
4.3.1 Rendgenska difrakcijska analiza.....	18
5. Rezultati .....	19
6. Rasprava.....	44

7. Zaključak.....	49
8. Literatura.....	50



# 1. UVOD

Od početka ljudskog života na Zemlji, kamen je pronašao upotrebu u mnogim poljima čovjekova vijeka. Upotrebljavao se u svrhe borbe i obrane kao alat i oružje. Upotrebljavao se u svrhe graditeljstva kao građevinski materijal. Upotrebljavao se u vizualne svrhe kao nakit. Bio je jedno od trajnih sredstava čovjekova stvaralaštva, od prapočetka ljudske povijesti do danas.

Mineral, prema definiciji Komisije za nove minerale i mineralna imena, možemo definirati kao element ili kemijski spoj, koji je u pravilu kristaliziran i nastao geološkim procesima. Ima određeni kemijski sastav koji se može mijenjati unutar određenih granica, te se njegov sastav može izraziti kemijskom formulom. Grana znanosti koja se bavi proučavanjem minerala i njihovih fizikalno-kemijskih svojstava naziva se mineralogija. Napretkom ostalih znanosti kao što su kemija i biologija, napredovala je i mineralogija. Proučavanje minerala i ostalih anorganskih tvari datira još u drevne civilizacije. Grčki filozof Aristotel bio je jedan od prvih ljudi koji su intenzivno teoretizirali o podrijetlu i svojstvima minerala. Njegove su ideje i pretpostavke za to vrijeme bile nove i napredne, ali uglavnom pogrešne. Ipak, te su teorije dale polazište za razvoj mineralogije onako kako ju danas poznajemo. U 16. stoljeću mineralogija počiva poprimiti oblik koji nam je prepoznatljiv, velikim dijelom zahvaljujući radu njemačkog znanstvenika Georgiusa Agricole.

Granit je jedna od mnogobrojnih stijena silikatnog sastava, vrlo raširen i učestali tip kiselih magmatskih stijena. Gotovo uvijek je masivan, tvrd i čvrst, zbog čega je vrlo raširena njegova upotreba kao građevinski (tehnički) i arhitektonski (ukrasni) kamen. S obzirom na pojedinu vrstu minerala, granit se sastoji od glinenca, konkretnije plagioklasa, kvarca te tinjca. Granit prije svega odlikuje izrazita tvrdoća i čvrstoća njegove strukture. Osim toga granitni elementi otporni su na vanjske vremenske utjecaje, na niske temperature i smrzavanje, kao i na utjecaj kiselina. Granit je zbog svoje rasprostranjenosti i kvalitete, postao sinonim za sve vrste kamena silikatnoga porijekla koje se koriste kao arhitektonsko-građevinski kamen. Građevinski kamen je materijal čija je karakteristika visoka tlačna čvrstoća, dok su mu ostale čvrstoće (na zatezanje, savijanje i smicanje) znatno manje. Arhitektonski kamen svestrano se koristi za oblaganje horizontalnih i vertikalnih površina interijera i eksterijera, pogotovo u uvjetima „onečišćene atmosfere“ urbanog okoliša, za spomenike, arhitekturu groblja, kiparstvo i sl.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1 Mineralogija

Mineralogija je znanost o mineralima koja proučava njihov oblik, unutarnju građu, fizikalna i kemijska svojstva, postanak, metode određivanja i kriterije klasifikacije.[1] Mineralogija kao znanost započinje djelovanjem G. Bauera-Agricole u 16. stoljeću. Minerali su prirodne, čvrste, većinom anorganske tvari definiranog kemijskog sastava, stalnih fizikalnih svojstava, stabilne unutar određenih temperaturnih granica, tlaka i kemijskog sastava okoliša, te većinom pravilne unutrašnje građe izražene kristalnom rešetkom. U trenutku kada nemaju pravilnu unutrašnju strukturu tada ih nazivamo amorfnima. Kod amorfnih minerala problem je dokazati njihov stalan kemijski sastav. Vanjski, pravilan, poliedarski oblik kristala ovisi o pravilnom rasporedu materijalnih čestica unutar samog kristala. Svaki kristal iste mineralne vrste ima jednaka svojstva. Temeljna svojstva kristala su:

- Homogenost (jednakost svojstava u svakom njegovom dijelu)
- Anizotropija (jednaka svojstva u paralelnim, a različita u neparalelnim smjerovima)
- Simetrija (vanjska ili geometrijska, unutarnja ili kristalografska)
- Rast (pravilno slaganje materijalnih čestica usporedno sa kristalnim plohama)

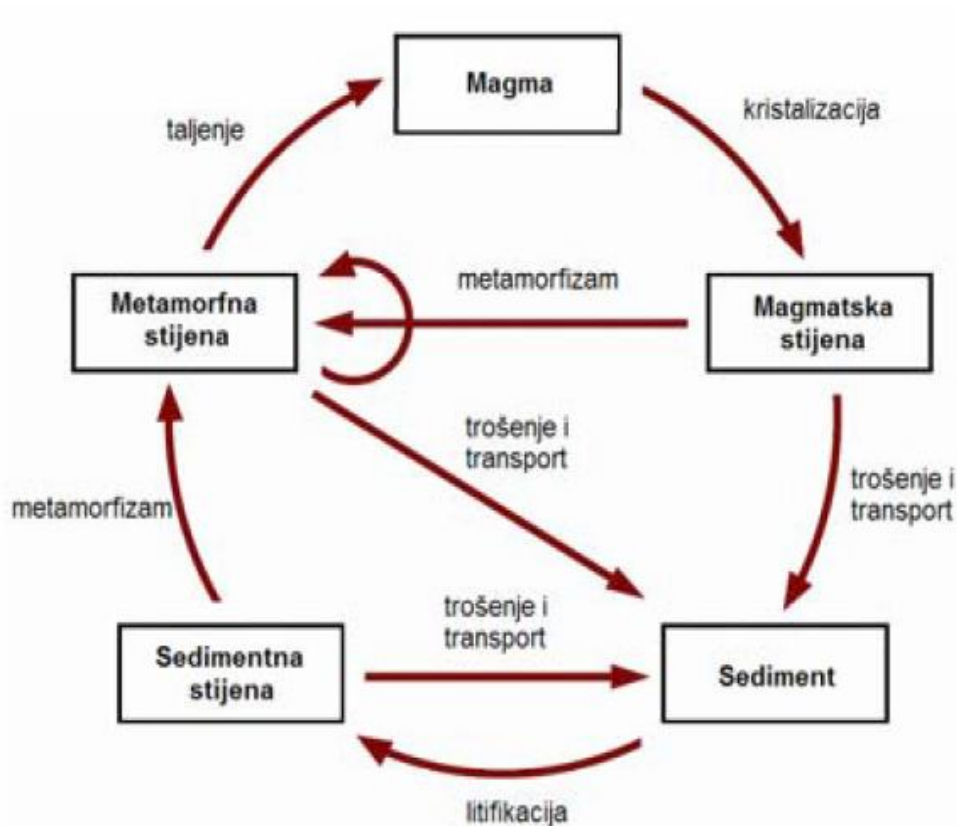
Minerali koji nisu nastali u Zemljinoj litosferi, a odgovaraju mineralima po svojim svojstvima, nazivaju se lunarnim, odnosno, meteoritnim mineralima (svemirskog postanka) ili sintetskim mineralima (nastali u laboratoriju oponašanjem prirodnih uvjeta). Rudni minerali su oni iz kojih se tehnološkim putem dobivaju ekonomski isplative sirovine. Petrogeni minerali su minerali koji izgrađuju stijene. [2]

### 2.2 Stijene

Stijena je bilo koja prirodna kruta masa ili agregat minerala. Ulaze u sastav zemljine kore kao samostalno i jasno ograničene mase. Stijene čine Zemljin vanjski čvrsti sloj litosferu. Stijene su sastavljene od zrnaca minerala, koji su homogene krutine formirane od kemijskog spoja raspoređenog na uredan način. Vrste i udio minerala u stijeni određuju način na koji je formiran.

Mnoge stijene sadrže silicij ( $\text{SiO}_2$ ). Spoj silicija i kisika koji tvori 74,3% Zemljine kore. Ovaj materijal stvara kristale s drugim spojevima u stijeni. Udio silicija u stijenama i mineralima glavni je čimbenik u određivanju njihovih imena i svojstava. [3]

Stijene su klasificirane prema karakteristikama kao što su mineralni i kemijski sastav, propusnost, tekstura sastavnih čestica i veličina čestica. Ta fizička svojstva rezultat su procesa koji su stvorili stijene. Tijekom vremena, stijene se mogu transformirati iz jednog tipa u drugi, kao što je opisano u geološkom modelu nazvanom “ciklus izmjene stijena”(Slika 1.). Ova transformacija proizvodi tri opće klase stijena: magmatske, sedimentne i metamorfne.



Slika 1. Ciklus izmjene stijena [4]

### **2.2.1 Sedimente stijene**

Sedimente stijene su stijene nastale taloženjem ostataka drugih stijena djelovanjem vode, leda i vjetra, taloženjem kao rezultatom biološke aktivnosti te taloženjem iz otopine. Takve stijene prekrivaju 75% površine Zemlje. Postanak sedimentnih stijena rezultat je složenog i dugotrajnog procesa koji sadrži nekoliko faza:

- mehaničko i kemijsko trošenje postojećih magmatskih, sedimentnih i metamorfnih stijena;
- transport (prijenos) usitnjenih dijelova stijene i otopljenih tvari;
- taloženje (sedimentacija) rastrošenog materijala;
- okamenjivanje (litifikacija) sedimenta.[5]

### **2.2.2 Metamorfne stijene**

Metamorfne stijene su stijene koje nastaju kao rezultat transformacije već postojećeg tipa stijene koji još nazivamo protolit, odnosno metamorfne stijene nastaju preobrazbom tj. metamorfozom postojećih magmatskih, sedimentnih ili već postojećih metamorfnih stijena. Metamorfizam je mineraloška i morfološka promjena u stijeni u čvrstom stanju izazvana povećanjem temperature i tlaka. Protolit je podvrgnut djelovanju topline i tlaka što uzrokuje duboke fizikalne i/ili kemijske promjene. Sve promjene posljedica su potrebe prilagođavanja minerala novim uvjetima viših temperatura i tlakova od onih u kojima su prvotno nastali. [5]

### **2.2.3 Magmaške stijene**

Magmaške stijene nastaju hlađenjem i očvršćivanjem (kristalizacijom) magme ili lave. Lava je rastaljena masa stijene izbačena iz vulkana tijekom erupcije. Kada je u početku istisnuta iz otvora, u tekućem je stanju i ima temperaturu od 700°C do 1200°C, može teći do velikih udaljenosti prije nego se ohladi i skrutne. Magmaške stijene čine približno 95% Zemljine kore, ali njihovo obilje skriveno je na Zemljinoj površini relativno tankim, ali raširenim slojem sedimentnih i metamorfnih stijena. Opisano je preko 700 vrsta magmatskih stijena, većinom nastalih ispod površine Zemljine kore. Dijelimo ih prema mjestu nastanka, kiselosti i mineralnom sastavu.

### *Podjela prema mjestu nastanka*

Intruzivne magmatske stijene nastaju iz magme koja se hladi i skrutnjava unutar Zemlje. Okružena s već postojećim stijenama, magma se polagano hladi, što rezultira u krupnozrnatosti ovih stijena. Najčešće se mineralna zrna u ovakvim stijenama mogu razlikovati golim okom i sva su približno iste veličine – zrnata struktura. Najčešća intruzivna magmatska stijena je granit (Slika 2).



Slika 2. Granit [7]

Efuzivne magmatske stijene nastaju hlađenjem i skrućivanjem lave na površini kopna ili na morskom dnu. Dolazi do naglog hlađenja lave uslijed nagle promjene temperature te nastaju sitnozrnati kristali. Već kristalizirana krupnija mineralna zrna nastala u dubini Zemlje ostaju nepravilno razasuta u sitnozrnatoj kristaliziranoj masi – porfirna struktura. Najčešća efuzivna stijena je bazalt. [8]

### *Podjela prema kiselosti:*

Prema količini silicijske komponente (udio  $\text{SiO}_2$ , tablica 1), magmatske se stijene dijele na

- Kisele
- Neutralne
- Bazične
- Ultrabazične.

Tablica 1. Podjela prema kiselosti

PODJELA PREMA KISELOSTI	UDIO SiO <sub>2</sub>	PRIMJER STIJENE
Kisela	> 65%	Granit
Neutralna	55 – 65%	Andezit
Bazična	45 – 55%	Bazalt
Ultrabazična	< 45%	Peridotit

## 2.3 Geneza

Geneza ili nastajanje minerala razmatra način postanka kristalnih klica i rast kristala te promjene njihove unutarnje građe, vanjskog oblika, kemijskih i fizikalnih svojstava. S obzirom na nastanak minerale dijelimo na magmatske, sedimentne, metamorfne i minerale nastali trošenjem. Najčešći mehanizam postanka minerala je kristalizacija. Kristalizacija je prijelaz tekuće ili plinovite faze u čvrstu, i to pravilnim trodimenzionalnim raspoređivanjem materijalnih čestica u kristalnu rešetku. [9]

### 2.3.1 Minerali magmatskog postanka

Minerali magmatskog postanka su minerali nastali kristalizacijom iz magme. Magma je prirodna taljevina kompleksnog, pretežno silikatnog sastava koja potječe iz unutrašnjosti Zemlje.

### 2.3.2 Minerali sedimentnog postanka

Minerali sedimentnog postanka nastaju u površinskim dijelovima Zemljine kore. Hidratogeni minerali nastaju kristalizacijom iz hladnih zasićenih vodenih otopina koje nisu magmatskog postanka. Evaporitni minerali kristaliziraju iz slanih jezera i salina, prirodno visoko koncentriranih otopina koje se isparavaju zbog zagrijavanja Sunčevom energijom. Organogeni minerali kristaliziraju biokemijskim procesima.

### **2.3.3 Minerali metamorfnog postanka**

Minerali metamorfnog postanka nastaju od ranije stvorenih mineral procesima u čvrstom stanju metamorfozom ili preobrazbom. Metamorfoza je preraspodjela mineralne tvari u skladu s fizikalno-kemijskim uvjetima koji su različiti od uvjeta postanka minerala koji se metamorfizira.

### **2.3.4 Minerali kore trošenja**

Minerali kore trošenja su minerali koji nastaju trošenjem (relativno nizak tlak i temperatura). Trošenje uzrokuju promjena temperature i tlaka, kisik, vodene otopine različitog pH, ugljikov dioksid, vjetar, pokretanje leda i organizmi.

## **2.4 Kameni materijali građevinski, tehnički, ukrasni.**

### **2.4.1 Tehnički građevni kamen**

Tehnički građevni kamen pripada skupini nemetalne mineralne sirovine koje se eksploatiraju, miniraju i koriste kao drobljeni kamen kod izgradnje i održavanja cesta, kamena sitnež za izradu materijala od smole na cestama, lomljeni kameni agregat za izradu betona, tucanik za izradu zastora željezničkih pruga, lomljeni kamen za zidanje, te kao sirovina za proizvodnju raznih drugih građevinskih materijala, poput veziva i termoizolacijskih materijala. U ovu skupinu još ubrajamo pijesak i šljunak kao jedni od temeljnih građevinskih materijala. Drugi aspekt korištenja je u metalurgiji kod proizvodnje abrazivnih sredstava te kao punila u proizvodnji boja i lakova, polimera, papira. Također mineraloškom i petrografskom sastavu tehnički građevni kamen dijelimo u dvije grupe:

- Silikatni kamen
- Karbonatni kamen

U grupu silikatnih kamena pripada tehnički građevni kamen koji se eksploatira u magmatskim i metamorfnim ležištima silikatnog sastava, dok se karbonatni kamen eksploatira u sedimentnim i metamorfnim ležištima karbonatnog sastava. [10]

## 2.4.2 Ukrasni građevinski kamen

Ukrasni građevinski kamen (arhitektonski kamen) počeo se češće primjenjivati za oblaganje zgrada i uređenje prostora u odnosu na prirodne materijale. Razlog za to je niska cijena, visoka čvrstoća, razne boje i tekstura. Glavna prednost ukrasnog kamena je dobra provodnost topline. Osim toga, ovaj materijal je otporan na mehanička opterećenja tj. otpornost na lom. Na površini umjetnog kamena nema mikropukotina i pora pa se na njemu ne razmnožavaju bakterije i štetni organizmi. Jedini nedostatak ukrasnog kamena je da lako dolazi do malih površinskih oštećenja, međutim ista se vrlo lagano uklanjaju poliranjem.

Arhitektonski građevni kamen koristi se u graditeljstvu kao zidani element, u vidu ploča i elemenata različitih profila, za unutarnja i vanjska oblaganja, za izradu raznih nekonstruktivnih elemenata građevina, uređenje interijera, odnosno kao dekorativno-zaštitni i funkcijski element građevnih objekata svih namjena, te u kiparstvu, arhitekturi spomen obilježja i groblja, za izradu fontana, uređenje terasa, trgova i parkova, te za različit proizvode zanatske djelatnosti. [10]

## 2.4.3 Fizikalna i mehanička svojstva kamena

Tlačna čvrstoća (veličina naprezanja do trenutka loma), a jednaka je aksijalnom opterećenju probnog uzorka (kocke ili valjka) po jedinici površine kod kojeg nastaje razorna deformacija i njegov lom. Ispituje se na suhim uzorcima kamena. Obzirom na vrijednosti tlačne čvrstoće, arhitektonski kamen može se klasificirati u pet skupina (Tablica 2.):

Tablica 2. Klasifikacija kamena na temelju tlačne čvrstoće

Kategorija čvrstoće	Tlačna čvrstoća (Mpa)
vrlo niska	< 40
niska	40-80
srednje visoka	80-180
visoka	180-280
vrlo visoka	> 280



Čvrstoća na savijanje predstavlja razarajuću deformaciju do koje dolazi djelovanjem sile normalno na os probnog uzorka kamena oslonjenog na dva oslonca. Čvrstoća na savijanje različitih vrsta arhitektonskog kamena uglavnom se kreće u rasponu od 7-20% njihove tlačne čvrstoće, odnosno iznosi od 0,5 do 25 MPa.

Otpornost kamena na habanje je otpornost koju kamen pruža prema abraziji struganjem. Izražava se kao prostorni gubitak mase, a može se izraziti i kao gubitak mase u mm (za arhitektonski kamen). Prema otpornosti na habanje kamen se može klasificirati u šest kategorija (Tablica 3).

Tablica 3. Klasifikacija kamena na temelju otpornosti na habanje

Kategorija kamena	Otpornost na habanje (cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup> )
izrazito tvrd	< 5
vrlo tvrd	5-10
tvrd	10-20
umjereno tvrd	20-30
mekan	30-40
izrazito mekan	> 40

Upijanje vode je sposobnost kamena da pod određenim uvjetima, u izravnom dodiru s vodom, primi i u svojoj unutrašnjosti zadrži određenu količinu vode. Kvantitativno se ovo svojstvo definira odnosom mase destilirane vode koju kamen upije pri propisanoj temperaturi i atmosferskom pritisku, i mase suhog kamena, izraženim u postotcima. Prema upijanju vode kamen je razvrstan u sedam kategorija (Tablica 4.).

Tablica 4. Klasifikacija kamena na temelju upijanja vode

Kategorija kamena	Upijena voda (% mase)
Vrlo malo	< 0.5
malo	0.5-1
umjereno	1-2.5
osjetno	2.5-5
veliko	5-15
Vrlo veliko	15-30
Iznimno veliko	> 30

Boja i površinska obrada kamena predstavljaju odlučujuće estetske činitelje pri izboru kamena. Pritom se, međutim, nikako ne smiju zanemariti važna svojstva prirodnih pigmenata kamena. Boja kamena ovisi o boji dominantnih minerala, njihovom prostornom rasporedu i veličini zrna, te udjelu prirodnih pigmenata koji mogu biti različitog stupnja stabilnosti. U kamenu eruptivnog i metamorfnog podrijetla prirodni pigmenti su redovito stabilni minerali (poput hematita), dok kamen sedimentnog podrijetla pored ovih može sadržavati i nestabilne sastojke, poput organogene, bituminozne supstancije. [11]

## 2.5 Graniti

Granit je jedna od mnogobrojnih stijena silikatnoga sastava, vrlo učestao i raširen tip kiselih intruzivnih magmatskih stijena. Obično su srednje do krupno kristalni, mogu biti ružičasti do tamnosivi, što ovisi o njihovom kemijskom i mineralnom sastavu. Najčešće se pojavljuje u obliku batolita, koji grade čitave kontinente. Granit je gotovo uvijek masivan, čvrst i tvrd, zbog čega je vrlo raširena njegova upotreba kao građevinskog (tehničkog) i arhitektonskog (ukrasnog) kamena. Prosječna gustoća granita je  $2,75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , ali varira od  $1,74 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  do  $2,80 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Riječ „granit“ potječe iz latinskog jezika, što upućuje na krupnozrnatu strukturu te kristalne stijene. Sastoji se, s obzirom na pojedinu vrstu, od minerala glinenca (20% - 40%, na primjer biotit ili muskovit), konkretnije plagioklasa, tinjca i kvarcnog kamena. U granitnim stijenama mogu se pronaći cirkon, apatit, titanit, uran i rubidij. Proces formiranja kamena granita usko je povezan sa zgušnjavanjem i kristalizacijom same vulkanske lave u dubini Zemljine kore. [12].

### 2.5.1 Svojstva granita

Snaga granita uglavnom ovisi o njegovoj strukturi, veličini zrna i prisutnosti šupljina ispunjenih mineralima. Međutim, uspoređujući se s mramorom, sigurno je reći da je granit kao materijal za doradu mnogo jači od mramora, koji vremenom gubi svojstva. Granit je nepromijenjen tijekom čitavog životnog vijeka. Čak i ozbiljni klimatski učinci vlage, mraza, vrućine i vjetra ne mijenjaju izvrsnu pojavu granita. Materijal se ne propada pod utjecajem ekstremno niskih temperatura do -60 stupnjeva, visokih temperatura do +50 stupnjeva. Osobito korisno svojstvo granitna je otpornosti na vodu i otpornosti na gljivične infekcije. Struktura granitnog granuliranog kompozitnog materijala nastala pod utjecajem ogromnog pritiska hlađenja magme, koji je tijekom hlađenja dobio kristalnu granuliranu strukturu. [13]

Ovisno o veličini frakcije koja čini granit, sve vrste materijala su podijeljene na:

- grubo zrnati granit
- srednje zrnati granit
- fino zrnati granit

Najslabiji granit čine gruba zrna sa svojim promjerom od 10 mm. U srednje zrnatih frakcija s granitom s promjerom od 2 do 10 mm. Najgušće najizdržljiviji fino granulirani graniti sastoje se od frakcija čija veličina zrna ne prelazi 2 mm. Gustoća granita izravno utječe na svojstva apsorpcije vlage materijala, a time i na operativnu snagu granita. Velika otpornost na toplinu jer granit ne propada pod utjecajem otvorenog plamena i temperaturama do 700 stupnjeva (Tablica 5.). Takva otpornost na visoke temperature dopušta upotrebu granita gdje su drugi materijali nemoćni.

Tablica 5. Svojstva granita

Gustoća	2,6 - 2,8 g/cm <sup>3</sup>
Tlačna čvrstoća	130-270 N/mm <sup>2</sup>
Čvrstoća na savijanje	5-18 N/mm <sup>2</sup>
Otpornost na habanje	5-8 cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup>
Termalna ekspanzija	0,8 mm/m100K
Apsorpcija vode	0,1-0,9% težine
Poroznost	0,4-1.5% vol.
Toplinska provodljivost	1,6-3.4 W/mK
Otpornost na smrzavanje	Normalna

## 2.2 Sastav granita

Najveći dio sastava granita čine ovi minerali (Slika 3.):

- kvarc
- feldspat (alkalni feldspat i plagioklas)
- biotit

Kvarc je jedan od najrasprostranijih minerala u prirodi . Polimorfna modifikacija silicijeva dioksida (SiO<sub>2</sub>). Heksagonske kristalne strukture, bezbojan je ili različito obojen te proziran i optički aktivan mineral.

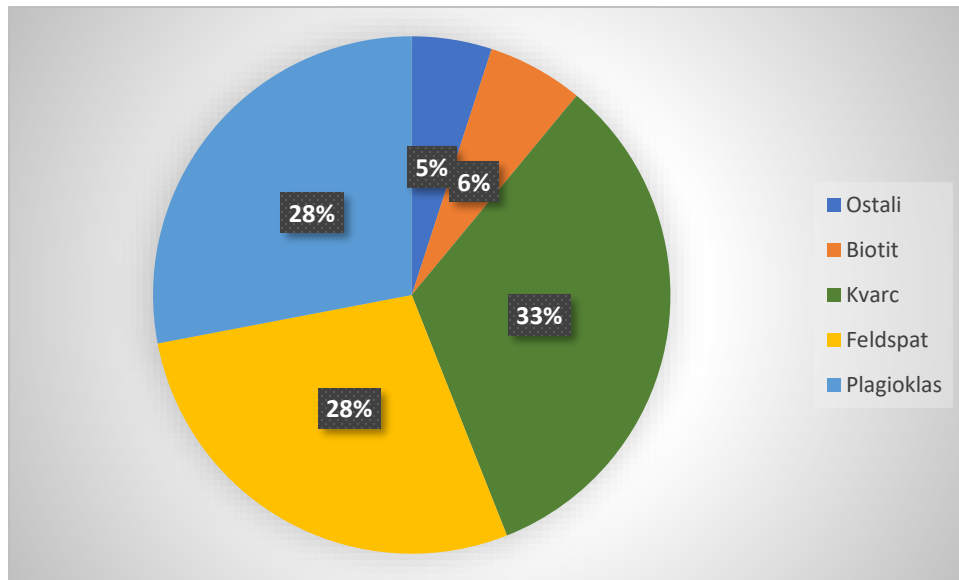
Feldspat (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) petrogen mineral koji tvore više od 60% Zemljine kore. Nalaze se u intruzivnim i u efuzivnim magmatskim stijenama. Dijelev se na dvije skupine alkalne feldspate i plagioklase.

Biotit je uobičajena skupina filosilikatnih minerala iz skupine mica, s približnom kemijskom formulom K(Mg,Fe)<sub>3</sub>AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>(F,OH)<sub>2</sub> . Međunarodno mineraloško udruženje biotit je smatralo mineralnom vrstom sve do 1998., kada je svoj status promijenio u mineralnu skupinu.

Kvarc (30-36%), feldspat (24-32%), biotit ili mica (4-9%), turmalin i muskovit, te apatit, cirkon i drugi kao sekundarni sastojci (Slika 3). Različiti feldspati tvore najveće, obično jasno

vidljive kristale. Kvarc ispunja međuprostor. Meki, obično tamni biotit javlja se ili kao jednoliko raspodijeljen ili akumuliran i odgovoran je za kontrast. [14]

Slika 3. Grafički prikaz sastava granita



Tablica 6. Udio pojedinih kemijskih spojeva

Spoj	Udio (%)	Spoj	Udio (%)
SiO <sub>2</sub>	72,04	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,42	MgO	0,71
K <sub>2</sub> O	4,12	TiO <sub>2</sub>	0,3
Na <sub>2</sub> O	3,69	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,12
CaO	1,82	MnO	0,05
FeO	1,68		

## 2.3 Primjena

Materijal se koristi za ukrasne radove, za stvaranje nadgrobnih spomenika, skulpturalnih skladbi, fontana, itd. Stari Egipćani su piramide gradili od granita i vapnenca. Ostale uporabe u drevnom Egiptu su stubovi, nadvratnici za vrata, pragovi, lajsne i zidne i podne obloge. Dinastija Chola u Južnoj Indiji u 11. stoljeću poslije Krista u gradu Tanjore u Indiji učinila je prvi hram na svijetu potpuno granitnim. Primjenjuje se još kod građevinskih radova za izradu temelja guste, fino zrnate stijene. Uređenje interijera može biti od grubo zrnatih stijena i granita srednjeg zrna u većoj mjeri zahvaljujući visokim ekološkim značajkama materijala. [14]

## 3. STRUKTURNA KARAKTERIZACIJA GRANITA

### 3.1 Rendgenska difrakcijska analiza (XRD)

Rendgenska difrakcijska analiza je tehnika koja pruža detaljne informacije o kemijskoj i kristalnoj strukturi prirodnih i sintetskih materijala. To je tehnika za ispitivanje kristalnih tvari, koja koristi difrakcijsku sliku (difraktogram) dobivenu difrakcijom rendgenskog zračenja na ispitivanom kristalnom materijalu. Osnovni cilj rendgenske difrakcijske analize je određivanje kristalne i molekulske strukture (dužine veza između atoma, kutovi među vezama, apsolutne konformacije) ispitivanog uzorka.

Osnovni uvjet koji treba ispuniti da bi došlo do difrakcije elektromagnetnog zračenja je da valna duljina zračenja i dimenzije rešetke budu bliske. Valna duljina rendgenskog zračenja je  $10^{-9} - 10^{-11}$  m, što je istog reda veličine kao i razmak susjednih ravnina u kristalu ( $1 - 10 \text{ \AA}$ ). Kada rendgenske zrake padnu na kristal, atomi ili ioni počinju djelovati kao novi, sekundarni izvori zračenja, tj. dolazi do rasipanja rendgenskih zraka na elektronskim oblacima atoma. Između rasutih zraka dolazi do međudjelovanja, pri čemu se dio valova pojačava, a dio slabi ili čak poništava. Ova pojava poznata je kao difrakcija.

Postoje dva načina objašnjavanja fenomena difrakcije: Braggov zakon i Laueovi uvjeti za difrakciju, kao i pristup preko recipročne rešetke. Rezultati su ekvivalentni za različite pristupe. Engleski fizičari William Bragg i njegov sin Lawrence Bragg dali su interpretaciju difrakcije

rendgenskih zraka na kristalima. Pojačanje intenziteta rendgenskog zračenja nastupa kada je:

$$n \lambda = 2 d \sin \theta$$

gdje je:

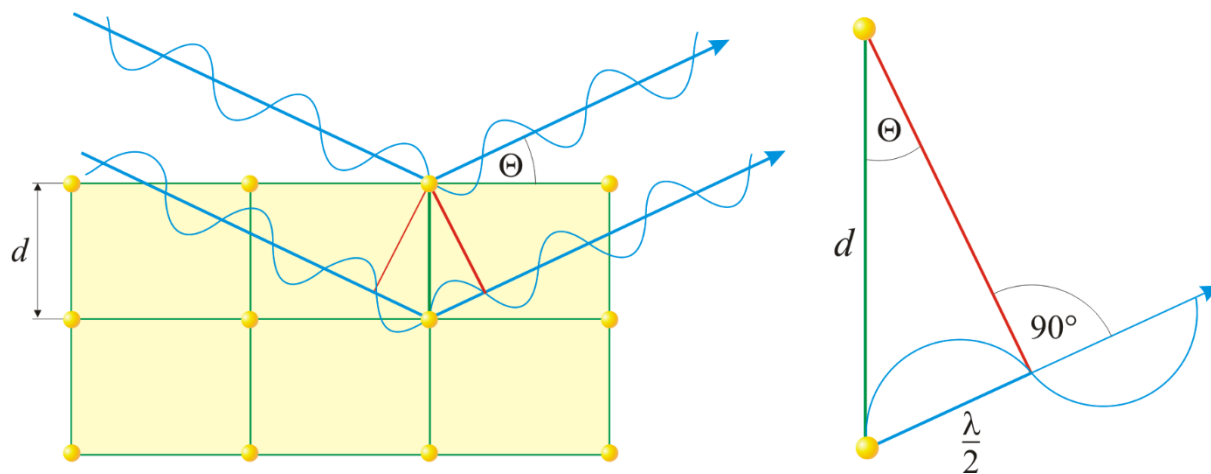
$n$  – cijeli broj,

$\lambda$  – valna duljina,

$d$  – razmak između ravnina atoma,

$\theta$  – Braggov kut.

Ovaj izraz naziva se Braggova jednadžba, a kut pri kojem se pojačava rendgenska zraka naziva se Braggovim kutem sjaja. Braggov kut ( $\theta$ ) je kut između upadnih rendgenskih zraka i kristalnih ravnina za koji sekundarna radijacija pokazuje maksimalni intenzitet, kao rezultat konstruktivne interferencije (slika 4). Iz Braggove jednadžbe možemo odrediti razmak između ravnina atoma  $d$  u kristalnoj rešetki eksperimentalnim određivanjem Braggovog kuta i poznavanjem valne duljine upotrijebljenih rendgenskih zraka,  $\lambda$ . Uz pomoć položaja difrakcijskih maksimuma, tj.  $d$  vrijednosti, i njihovog intenziteta moguće je odrediti o kojoj se kristalnoj tvari radi. Iz Braggove jednadžbe možemo izračunati i valnu duljinu ispitivanih rendgenskih zraka, ako su poznati  $d$  i  $\theta$ . [15]



Slika 4. Shematski prikaz interferencije rendgenskih zraka

## 4. EKSPERIMENTALNI DIO

Kranji cilj nam je bio pripremit uzorak u praškastom obliku da bude pogodan za rendgensku difrakcijsku analizu.

### 4.1 Priprava uzorka

Uzorak iz kamenog oblika prvo mehanički (korišten čekić) odlomiti da se dobije sitan komad granita, te takav probat tarionikom usitniti da bude pogodan daljnjem razdvajanju na pojedine komponente na temelju boje (Slika 5.). Razdvajanje se izvršilo na temelje vizualne percepcije.



Slika 5. Prikaz razdvajanja čestica na temelju vizualne percepcije

Kao što vidimo na slici iznad naš uzorak je u ovom slučaju skroz roze boje ali cilj nam je bio izabrati uzorke za analizu čiji udio je najmanje zastupljen. Na slici je razvidno da je skoro 90% crnog dijela uzorka (barem vizualno razabranog) bilo moguće i separirati. U nastavku se koristio tarionik za usitnjavanje uzorka do razine finog praška pogodnog za daljnju rendgensku analizu.



## 4.2 Popis uzoraka

Ime uzorka	Slika
1. Berocca	
2. Baltic Brown	
3. Kashmir White	
4. Cream Violet	
5. Zimbabwe	
6. Roso Porino	
7. Multicolor	
8. Verde Butterfly	
9. India	
10. Africa Red	
11. Grafcit	

Na slici 6. imamo svih 15 korištenih granita za našu analizu. Pripremili smo 24 uzoraka različitih na temelju vizualnog razlikovanja. Uvijek kod mjerenja koristimo početni kao srednji sastav te uspoređujući sa njime izdvajamo naše rezultate.

12. Paradize	
13. Red Brazil	
14. Salmon	
15. Gialo California	

Slika 6. Popis svih granitnih uzoraka

## 4.3 Metode karakterizacije

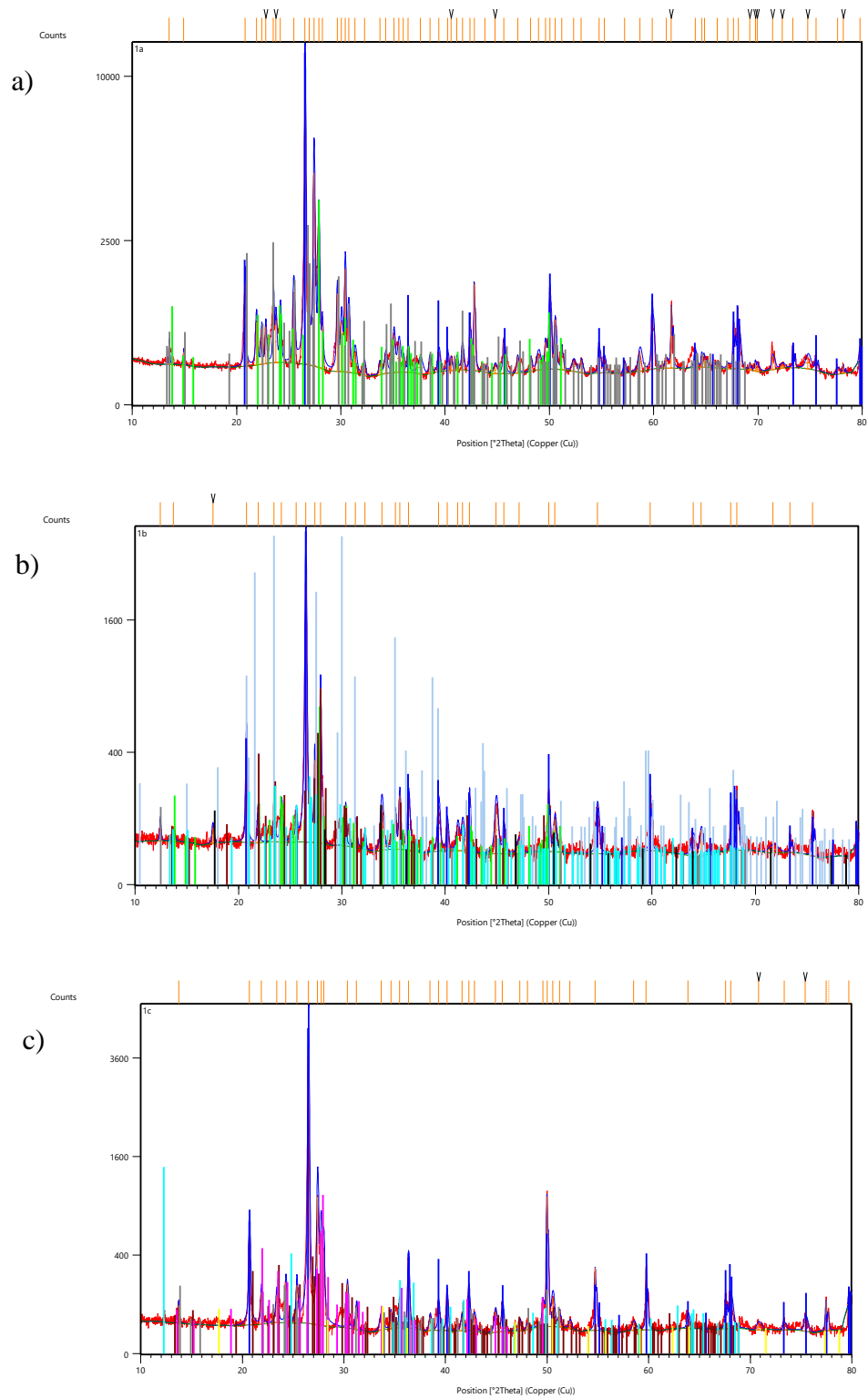
### 4.3.1 Rendgenska difrakcijska analiza

Uzorke pripremljeni u oblik pogodan za daljnju analizu podvrgnuti su analizi na rendgenskom difraktometru Shimadzu XRD 6000 (Slika 7.). Mjerenja smo izvodili pri naponu od 40 kV i jakosti struje 30mA. Vrijeme trajanja svakog mjerenja je bilo cca 20 minuta pri čemu je područje mjerenja bilo 10-80 °2θ, korak je bio 0,02 °2θ, a zadržavanje 0,3 s. Provedena su 24 različitih mjerenja od naših 15 početnih uzoraka.

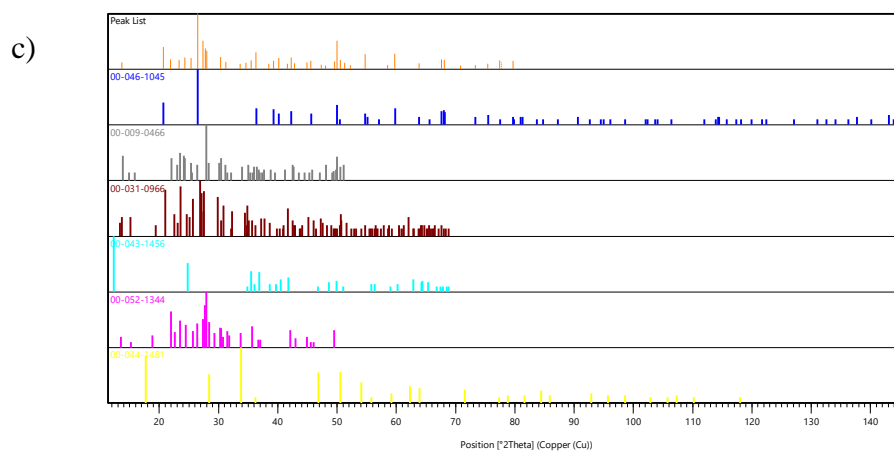
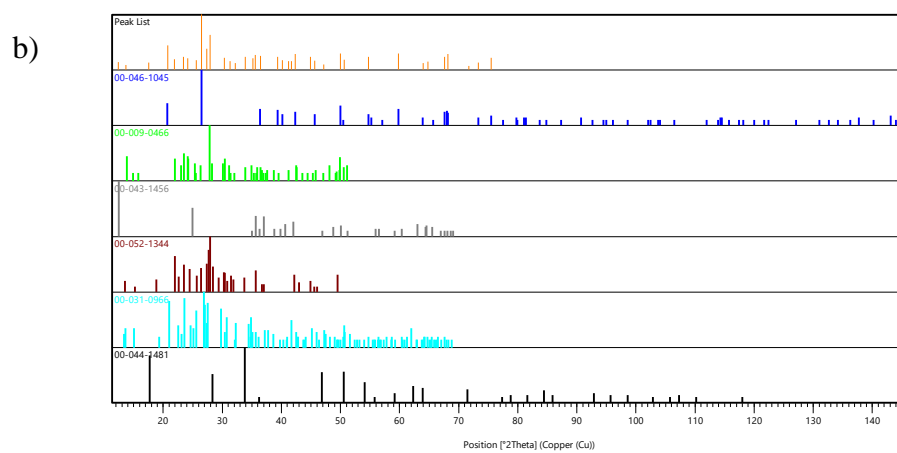
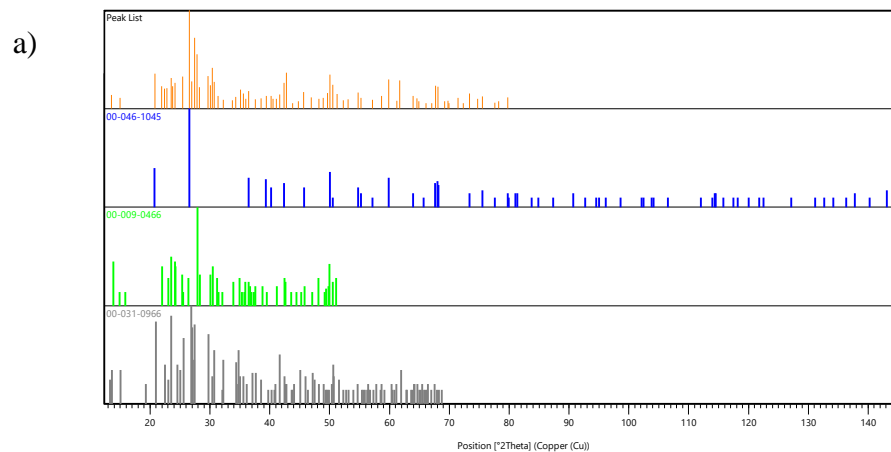


Slika 7. XRD 6000 (uređaj na kojem je odrađena rendgenska difrakcijska analiza)

## 5. REZULTATI



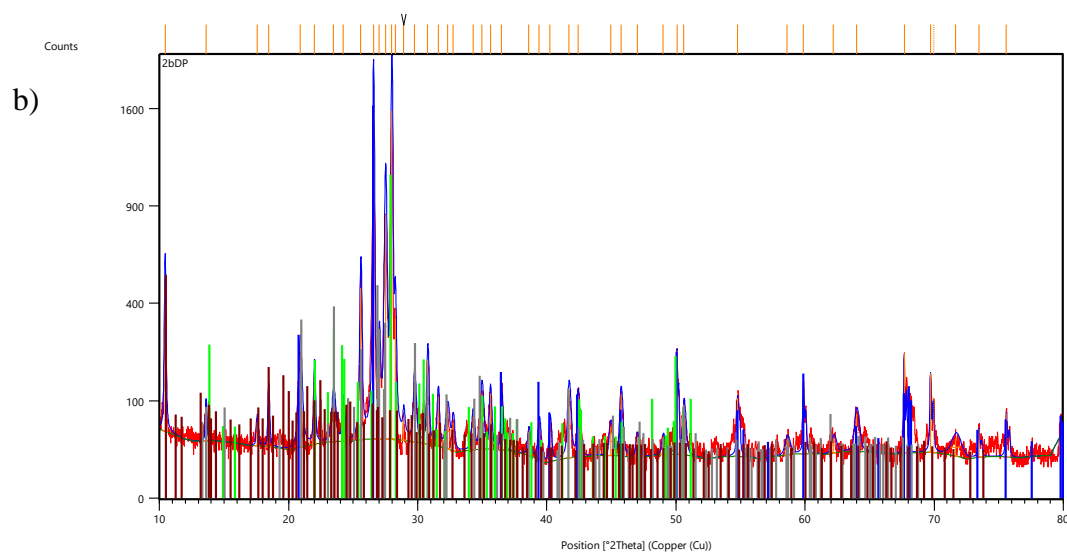
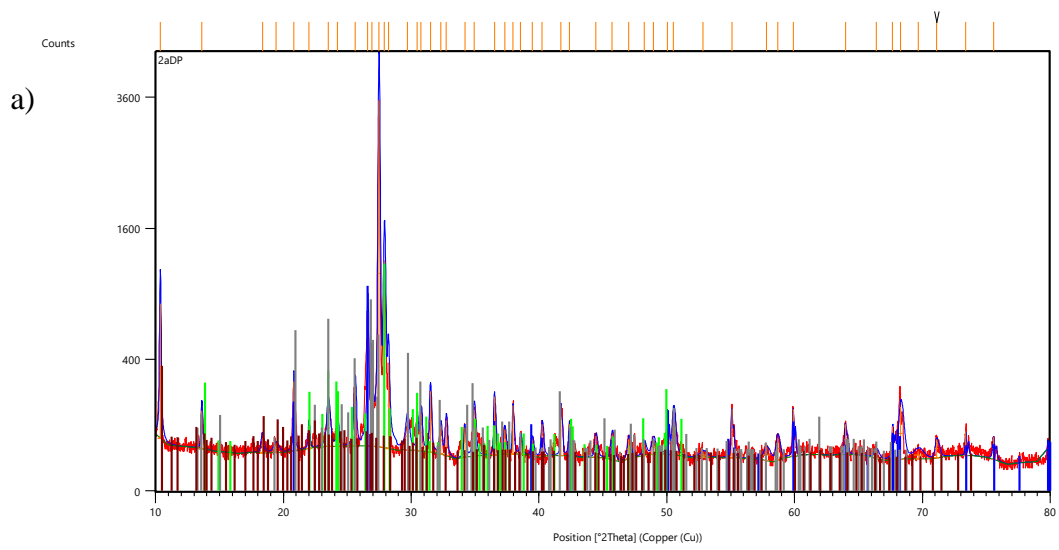
Slika 8. Drifraktogrami uzorka Berocca a) 1a Bijeli udio b) 1b crni udio c) 1c Početni uzorak



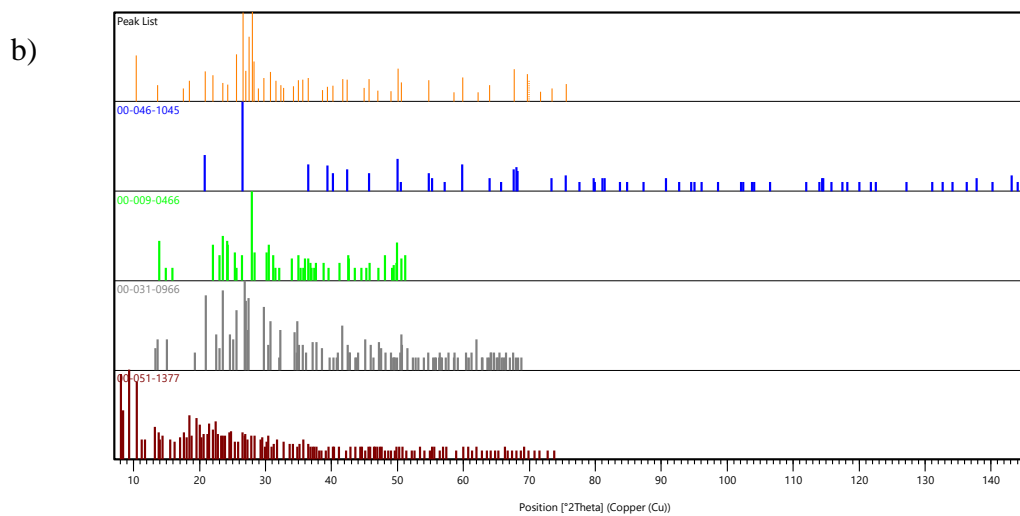
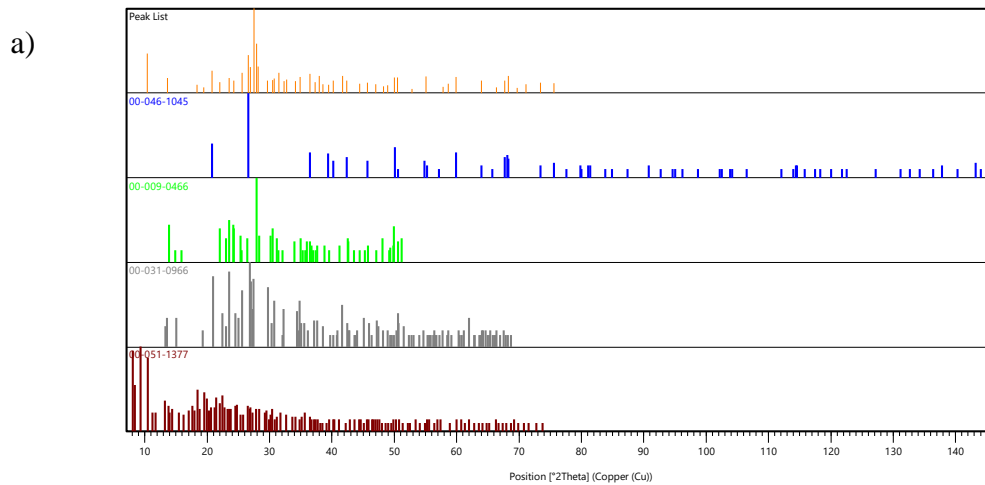
Slika 9. Asignirane faze za uzorak Berocca a) 1a bijeli udio b) 1b crni udio c) 1c početni uzorak

Tablica 7. Assignirane faze za uzorak Berocca

Uzorak	Ime komponente	Referentni kod	Faktor skaliranja	Kemijska formula
1.a	Silicijev dioksid	046-1045	0,927	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,306	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	031-0966	0,232	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
1.b	Silicijev dioksid	046-1045	0,952	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,233	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalcijev aluminijev silikat	052-1344	0,284	Al <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> O <sub>15</sub> Si <sub>5</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	031-0966	0,076	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalcijev hidroksid	044-1481	0,040	Ca(OH) <sub>2</sub>
	Natrijev mangan-oksidi hidrat	043-1456	0,032	Na <sub>0,55</sub> Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x 1.5 H <sub>2</sub> O
1.c	Silicijev dioksid	046-1045	0,855	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,151	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	031-0966	0,070	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalcijev aluminijev silikat	052-1344	0,199	Al <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> O <sub>15</sub> Si <sub>5</sub>
	Kalcijev hidroksid	044-1481	0,014	Ca(OH) <sub>2</sub>
	Natrijev mangan-oksidi hidrat	043-1456	0,275	Na <sub>0,55</sub> Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x 1.5 H <sub>2</sub> O



Slika 10. Drifraktogrami uzorka Baltic Brown a) 2.a početni uzorak b) 2.b crni udio

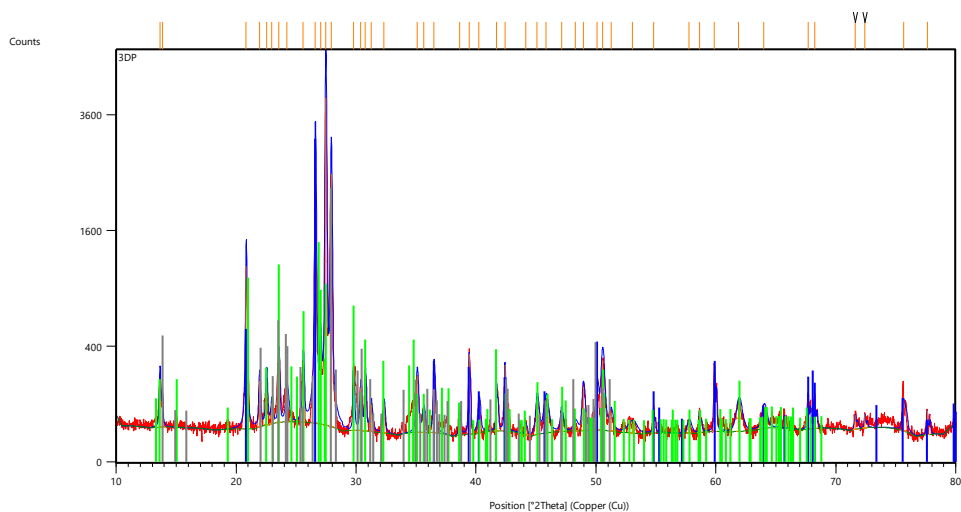


Slika 11. Asignirane faze za uzorak Baltic Brown a) 2.a početni uzorak b) 2.b crni udio

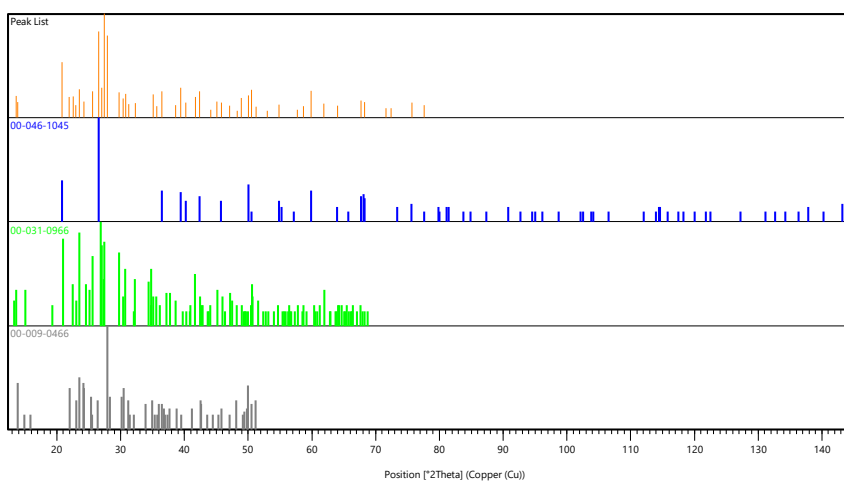
Tablica 8. Asignirane faze za uzorak Baltic Brown

Uzorak	Ime komponente	Referentni kod	Faktor skaliranja	Kemijska formula
2.a	Silicijev dioksid	046-1045	0,206	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,256	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	031-0966	0,178	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
2.b	Silicijev dioksid	046-1045	0,760	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,510	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	031-0966	0,211	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>





Slika 12. Drifraktogram uzorka Kashmir White

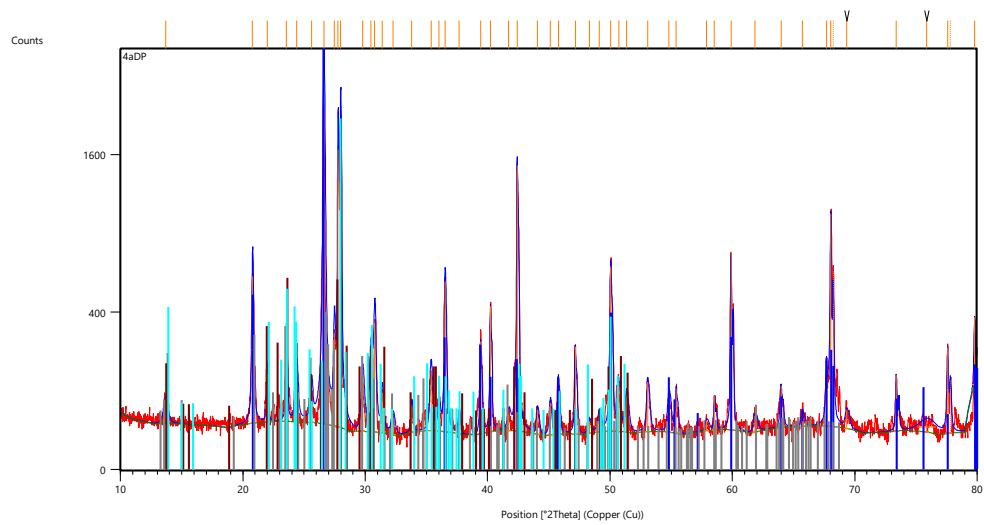


Slika 13. Asignirane faze za uzorak Kashmir White

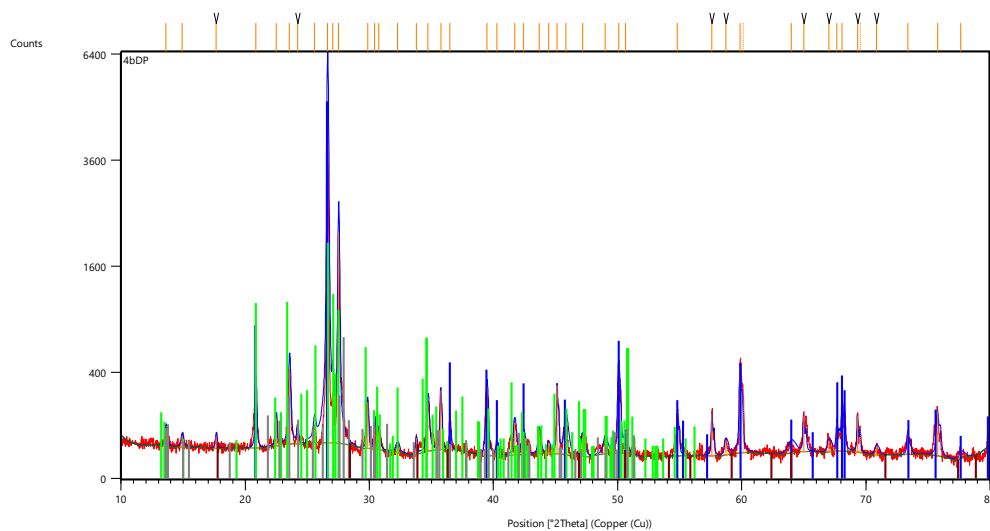
Tablica 9. Asignirane faze za uzorak Kashmir White

Uzorak	Ime komponente	Referentni kod	Faktor skaliranja	Kemijska formula
3	Silicijev dioksid	046-1045	0,603	$\text{SiO}_2$
	Kalijev aluminijev silikat	031-0966	0,274	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,432	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

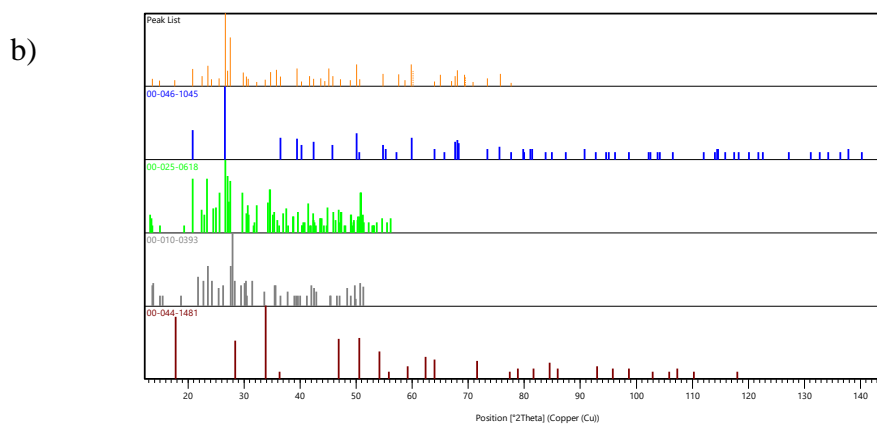
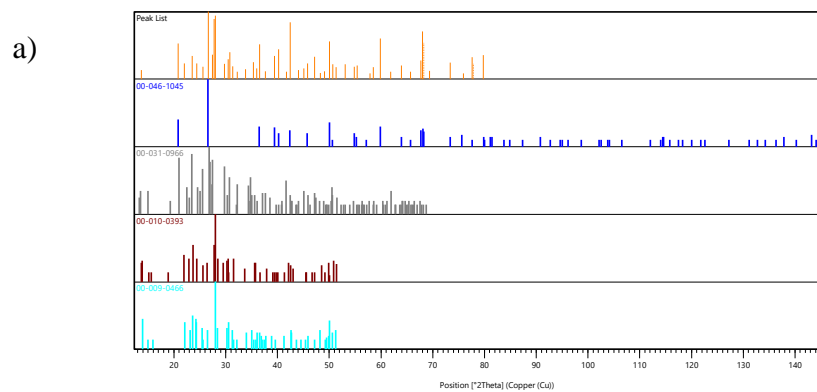
a)



b)



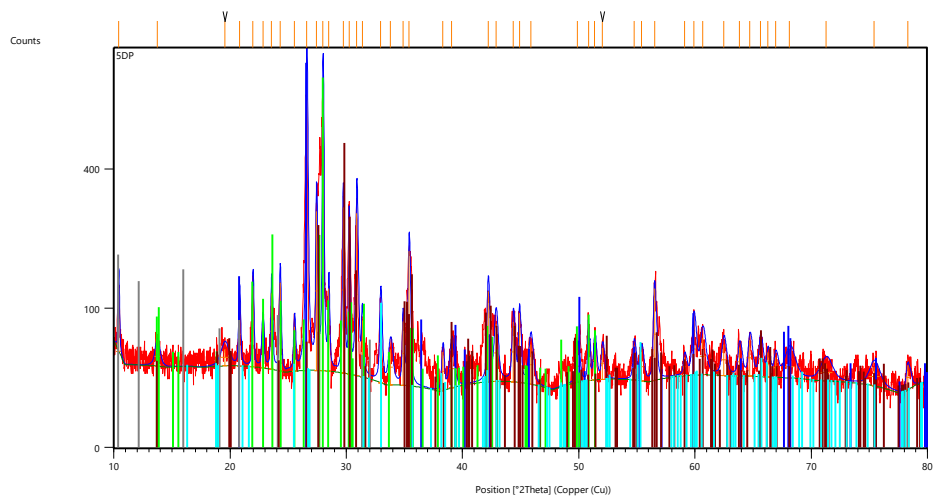
Slika 14. Difraktogrami uzorka Cream Violet a) 4.a početni uzorak b) 4.b roza ljubičasti udio



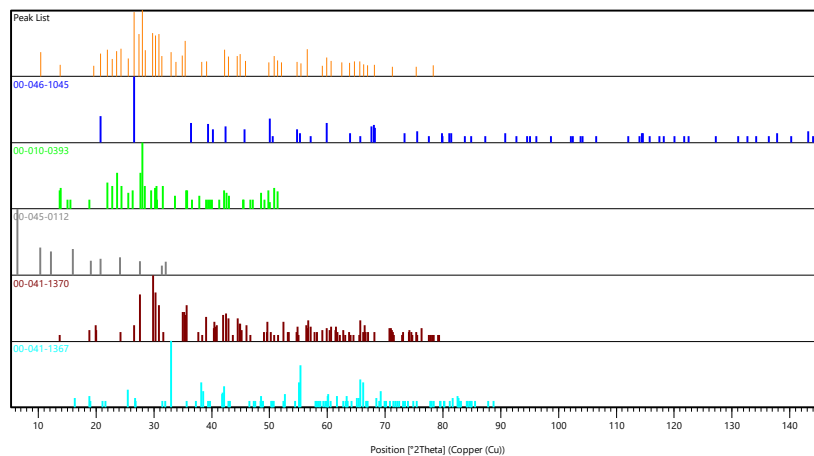
Slika 15. Asignirane faze za uzorak Cream Violet. a) 4.a početni uzorak b) 4.b roza ljubičasti udio

Tablica 10. Asignirane faze za uzorak Cream Violet.

Uzorak	Ime komponente	Referentni kod	Faktor skaliranja	Kemijska formula
4.a	Silicijev dioksid	046-1045	1,074	SiO <sub>2</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	031-0966	0,128	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	010-0393	0,642	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,684	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
4.b	Silicijev dioksid	046-1045	0,769	SiO <sub>2</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	025-0618	0,297	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	010-0393	0,103	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalcijev hidroksid	044-1481	0,003	Ca(OH) <sub>2</sub>



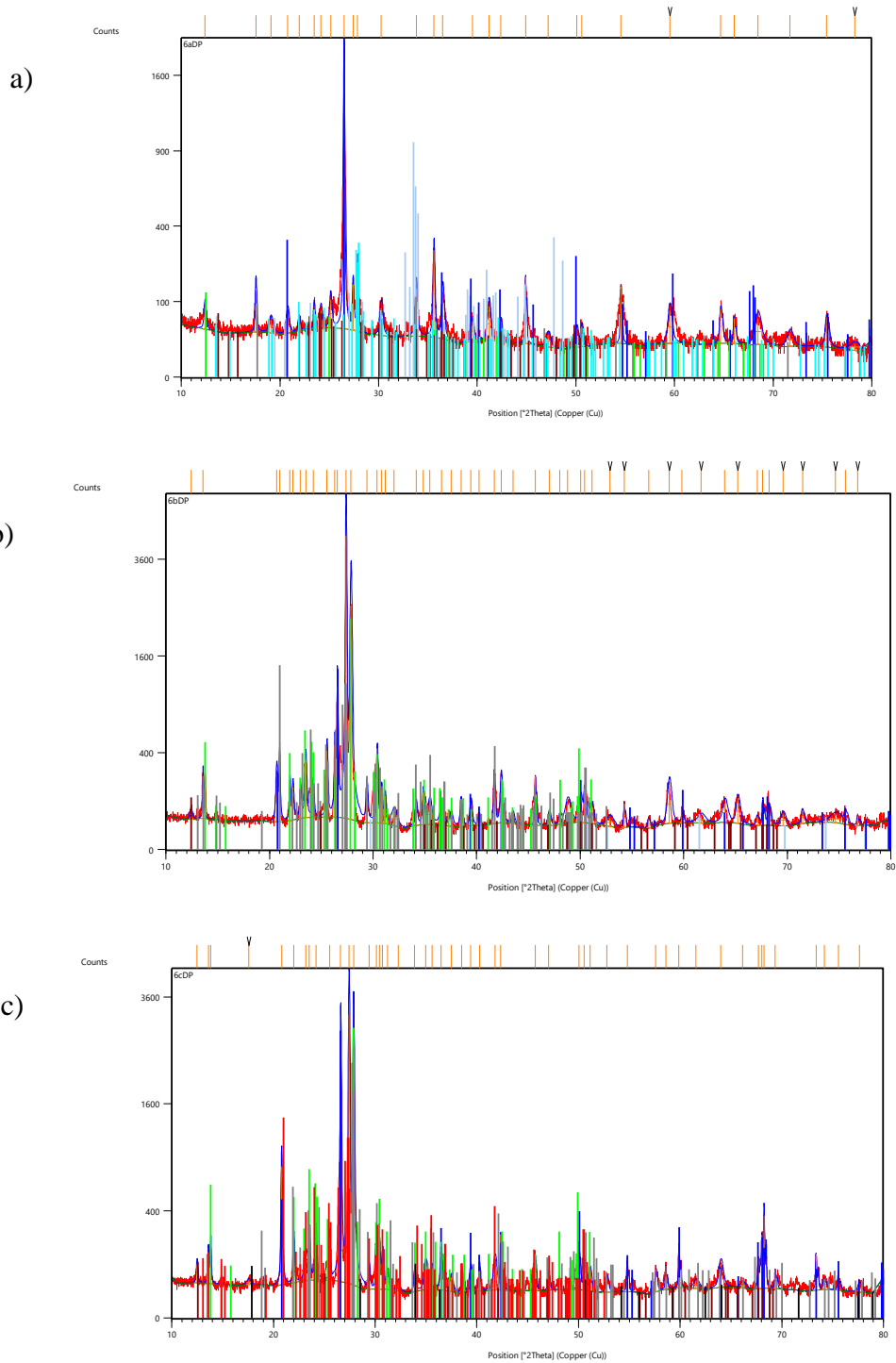
Slika 16. Drifraktogram uzorka Zimbabve



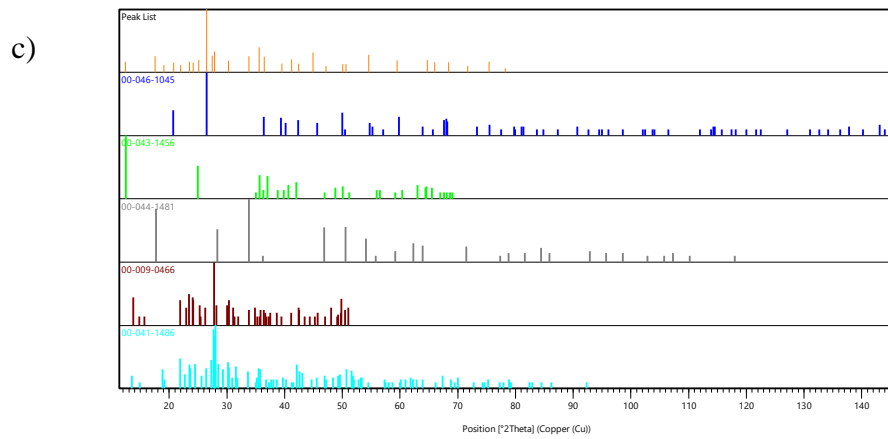
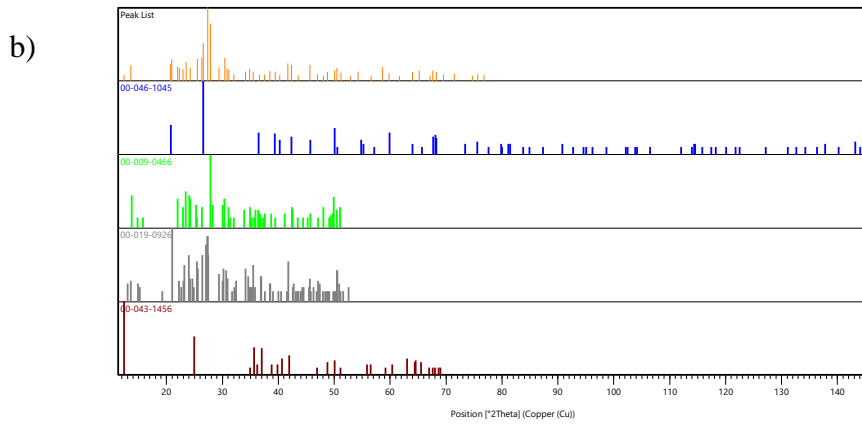
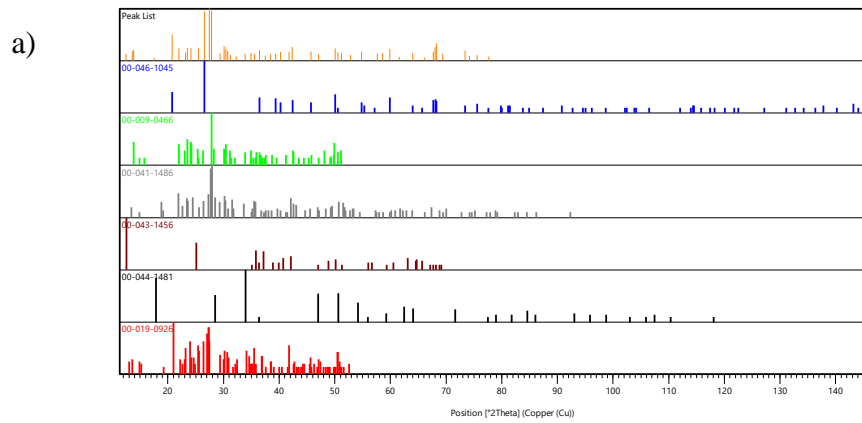
Slika 17. Asignirane faze za uzorak Zimbabve

Tablica 11. Asignirane faze za uzorak Zimbabve

Uzorak	Ime komponente	Referentni kod	Faktor skaliranja	Kemijska formula
5	Silicijev dioksid	046-1045	0,884	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	010-0393	0,816	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalcijev magnezijev aluminijev silikat	041-1370	0,543	Ca(Mg, Al) (Si, Al) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
	Manganov silikat	041-1367	0,104	Mn <sub>6</sub> SiO <sub>12</sub>



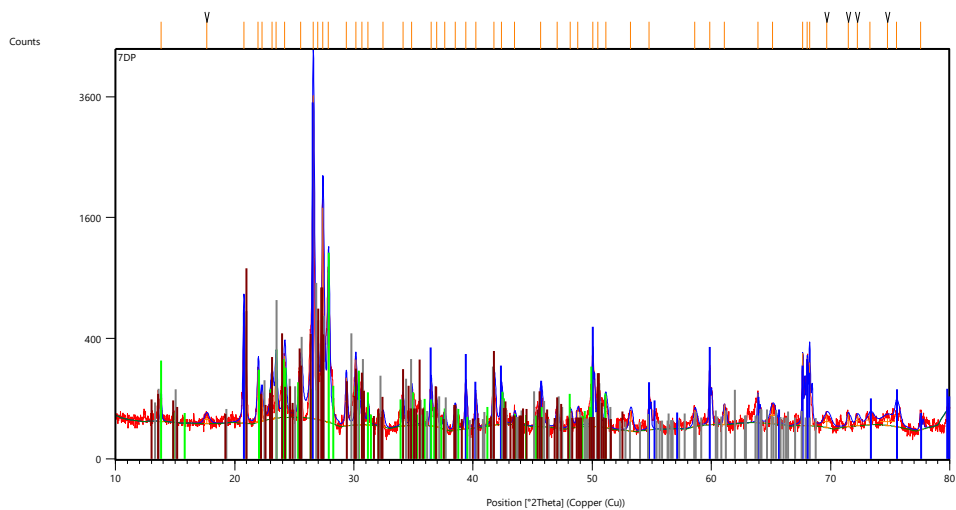
Slika 18. Difraktogrami uzorka Roso Porino a) 6.a crni udio b) 6.b rozi udio c) 6.c početni uzorak



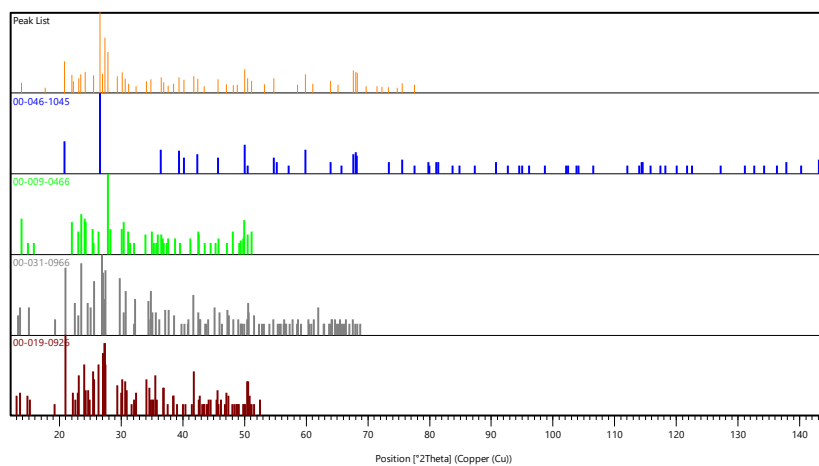
Slika 19. Asignirane faze za uzorak Roso Porino a) 6.a crni udio b) 6.b rozi udio c) 6.c početni uzorak

Tablica 12. Asignirane faze za uzorak Roso Porino

Uzorak	Ime komponente	Referentni kod	Faktor skaliranja	Kemijska formula
6.a	Silicijev dioksid	046-1045	0,915	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev mangan-oksidi hidrat	043-1456	0,042	Na <sub>0,55</sub> Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x 1.5 H <sub>2</sub> O
	Kalcijev hidroksid	044-1481	0,041	Ca(OH) <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,088	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalcijev aluminijev silikat	041-1486	0,138	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>
6.b	Silicijev dioksid	046-1045	0,248	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,413	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	019-0926	0,261	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Natrijev mangan-oksidi hidrat	043-1456	0,047	Na <sub>0,55</sub> Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x 1.5 H <sub>2</sub> O
6.c	Silicijev dioksid	046-1045	0,661	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,677	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalcijev aluminijev silikat	041-1486	0,591	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>
	Natrijev mangan-oksidi hidrat	043-1456	0,016	Na <sub>0,55</sub> Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> x 1.5 H <sub>2</sub> O
	Kalcijev hidroksid	044-1481	0,018	Ca(OH) <sub>2</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	019-0926	0,318	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>



Slika 20. Drifraktogram uzorka Multicolor

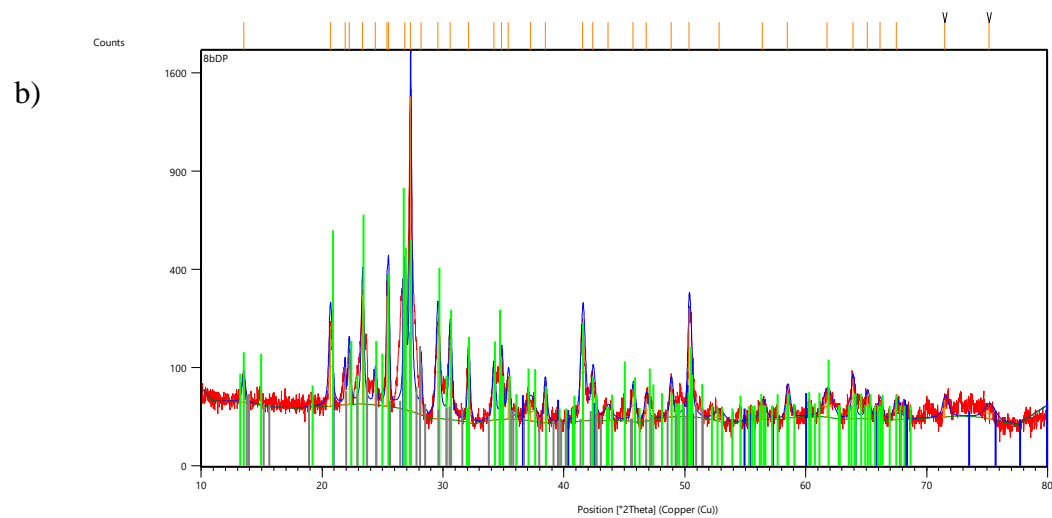
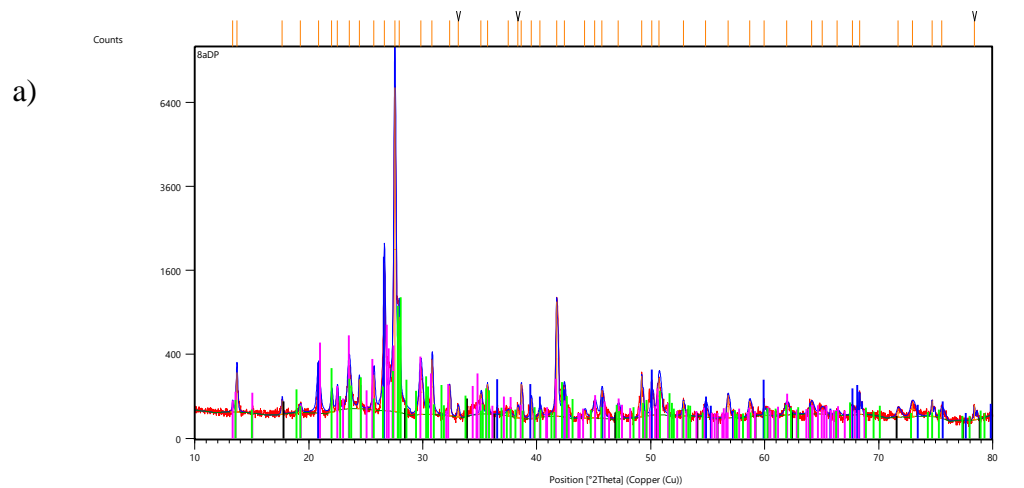


Slika 21. Asignirane faze za uzorak Multicolor

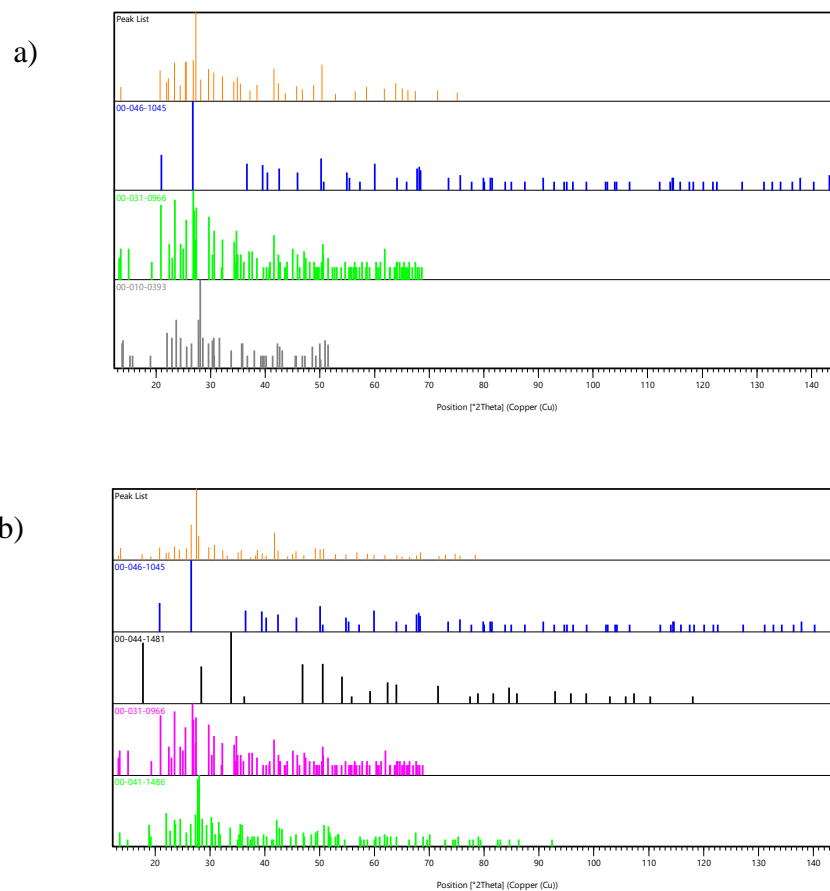
Tablica 13. Asignirane faze za uzorak Multicolor

Uzorak	Ime komponente	Referentni kod	Faktor skaliranja	Kemijska formula
7	Silicijev dioksid	046-1045	0,744	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,244	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	031-0966	0,174	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	019-0926	0,207	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>





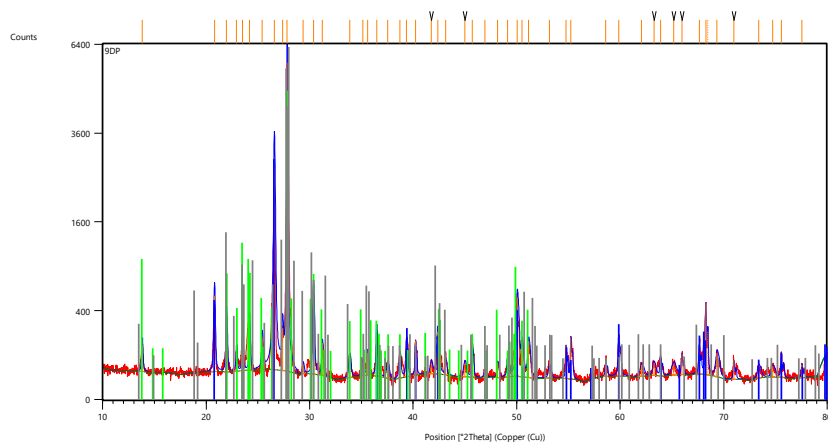
Slika 22. Drifraktogrami uzorka Verde Butterfly. a) 8.a početni uzorak b) 8.b staklasti udio



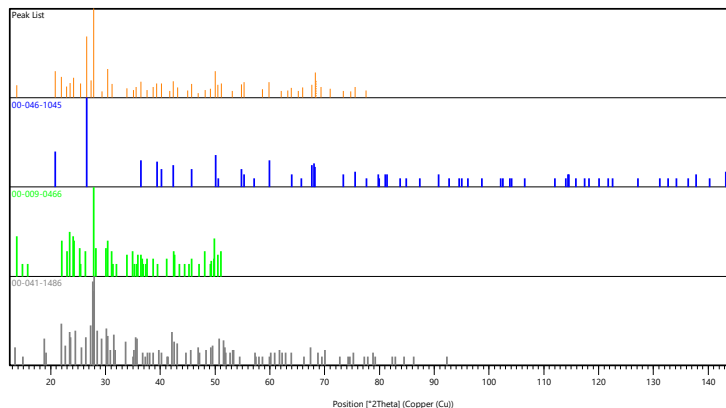
Slika 23. Asignirane faze za uzorak Verde Butterfly. a) 8.a početni uzorak b) 8.b staklasti udio

Tablica 14. Asignirane faze za uzorak Verde Butterfly.

Uzorak	Ime komponente	Referentni kod	Faktor skaliranja	Kemijska formula
8.a	Silicijev dioksid	046-1045	0,209	$\text{SiO}_2$
	Kalcijev hidroksid	044-1481	0,007	$\text{Ca(OH)}_2$
	Kalijev aluminijev silikat	031-0966	0,079	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$
	Kalcijev aluminijev silikat	041-1486	0,125	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
8.b	Silicijev dioksid	046-1045	0,183	$\text{SiO}_2$
	Kalijev aluminijev silikat	031-0966	0,426	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$
	Natrijev aluminijev silikat	010-0393	0,067	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$



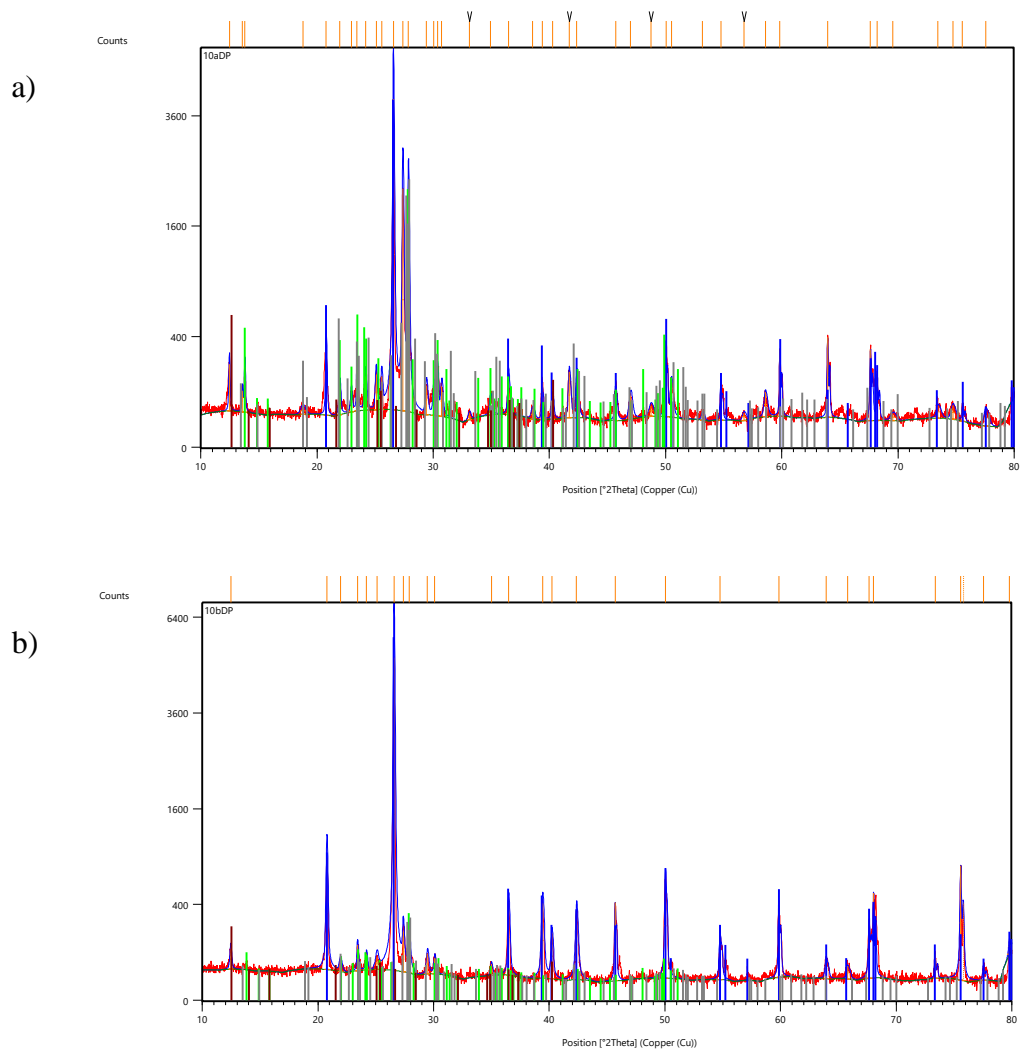
Slika 24. Drifraktogram uzorka India



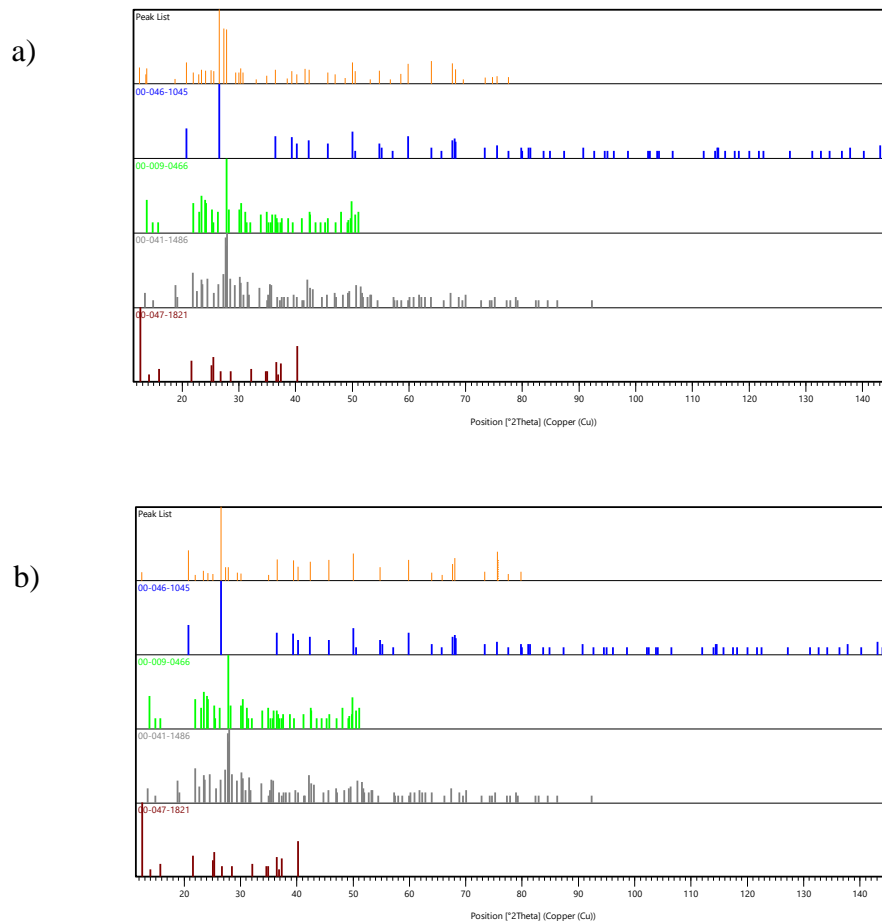
Slika 25. Asignirane faze za uzorak India

Tablica 15. Asignirane faze za uzorak India.

Uzorak	Ime komponente	Referentni kod	Faktor skaliranja	Kemijska formula
9	Silicijev dioksid	046-1045	0,447	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,744	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalcijev aluminijev silikat	041-1486	0,971	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>



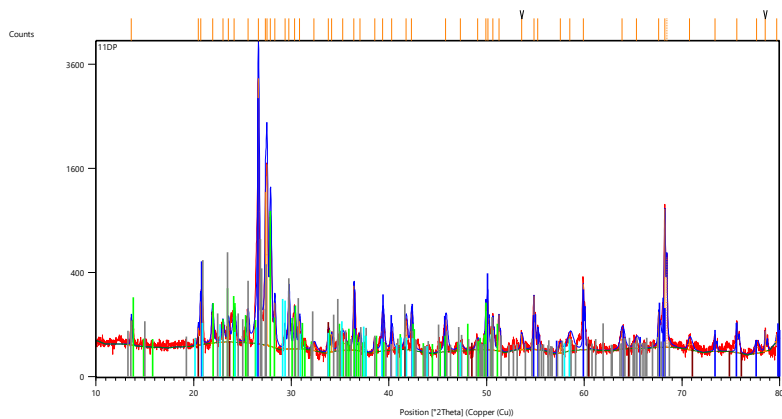
Slika 26. Drifraktogrami uzorka Africa Red. a) 10.a početni uzorak b) 10.b metalno sivi udio



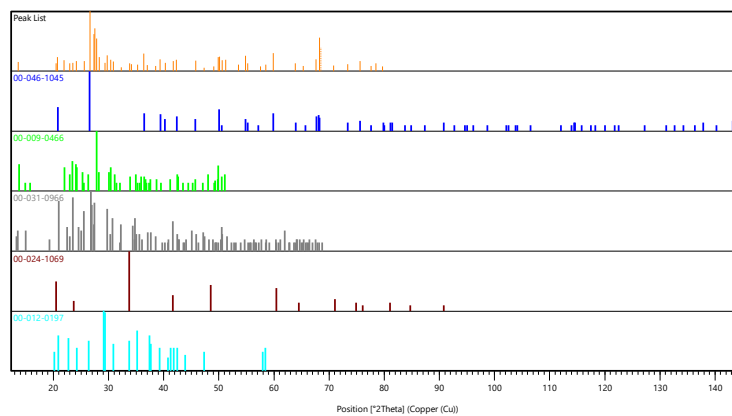
Slika 27. Asignirane faze za uzorak Africa Red. a) 10.a početni uzorak b) 10.b metalno sivi udio

Tablica 16. Asignirane faze za uzorak Africa Red.

Uzorak	Ime komponente	Referentni kod	Faktor skaliranja	Kemijska formula
10.a	Silicijev dioksid	046-1045	0,744	$\text{SiO}_2$
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,407	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
	Kalcijev aluminijev silikat	041-1486	0,440	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
	Magnezijev manganov oksid hidrat	047-1821	0,101	$(\text{Mg}, \text{Mn}^{+2}) \text{Mn}_3+4\text{O}_2 \times 3\text{H}_2\text{O}$
10.b	Silicijev dioksid	046-1045	0,824	$\text{SiO}_2$
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,043	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
	Kalcijev aluminijev silikat	041-1486	0,038	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
	Magnezijev manganov oskid hidrat	047-1821	0,028	$(\text{Mg}, \text{Mn}^{+2}) \text{Mn}_3+4\text{O}_2 \times 3\text{H}_2\text{O}$



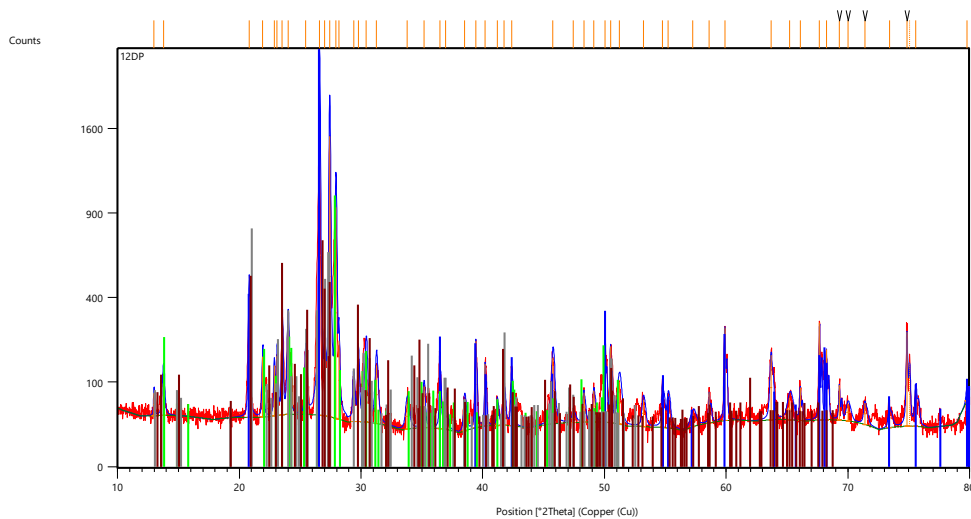
Slika 28. Drifraktogram uzorka Grafcit.



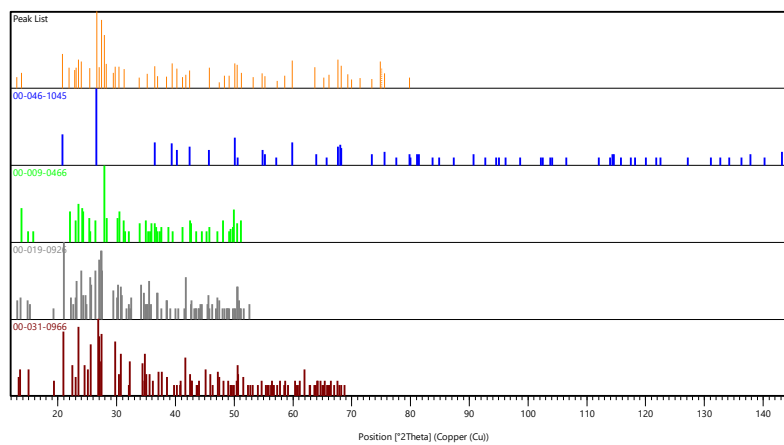
Slika 29. Asignirane faze za uzorak Grafcit.

Tablica 17. Asignirane faze za uzorak Grafcit.

Uzorak	Ime komponente	Referentni kod	Faktor skaliranja	Kemijska formula
11	Silicijev dioksid	046-1045	0,674	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,234	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	031-0966	0,157	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Natrijev kalcijev silikat	024-1069	0,021	Na <sub>2</sub> CaSiO <sub>4</sub>
	Kalijev natrijev aluminij silikat	012-0197	0,047	(K, Na) AlSiO <sub>4</sub>



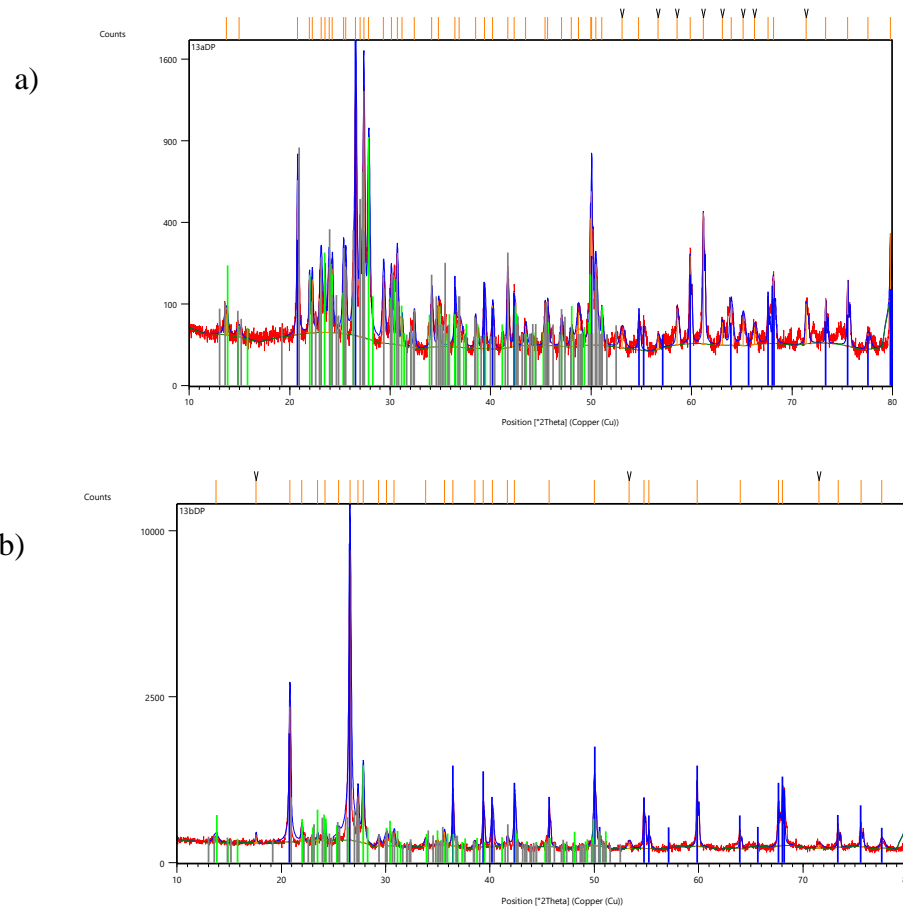
Slika 30. Drifraktogram uzorak Paradize



Slika 31. Asignirane faze za uzorak Paradize.

Tablica 18. Asignirane faze za uzorak Paradize.

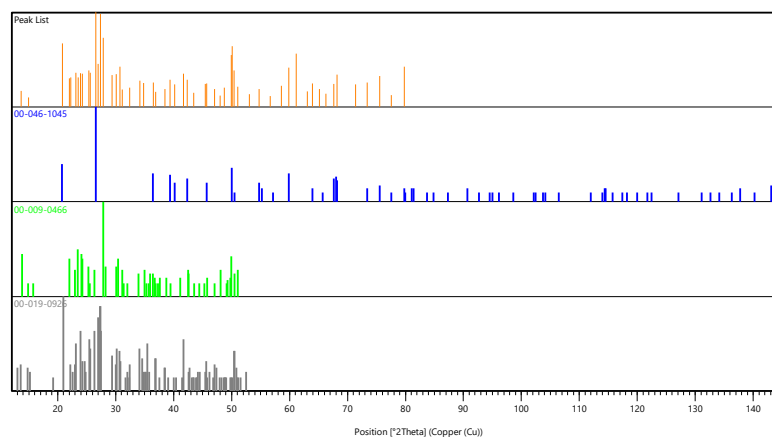
Uzorak	Ime komponente	Referentni kod	Faktor skaliranja	Kemijska formula
12	Silicijev dioksid	046-1045	0,977	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,404	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	019-0926	0,309	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	031-0966	0,276	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>



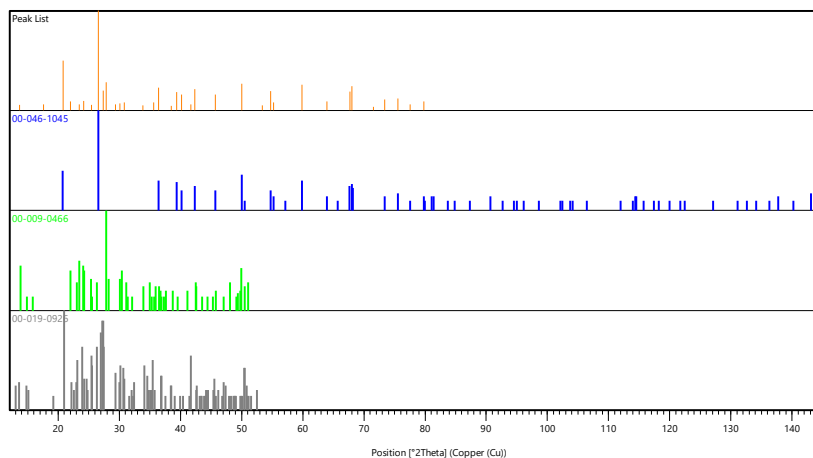
Slika 32. Asignirane faze za uzorak Red Brazil. a) 13.a početni uzorak b) 13.b crni udio

a)





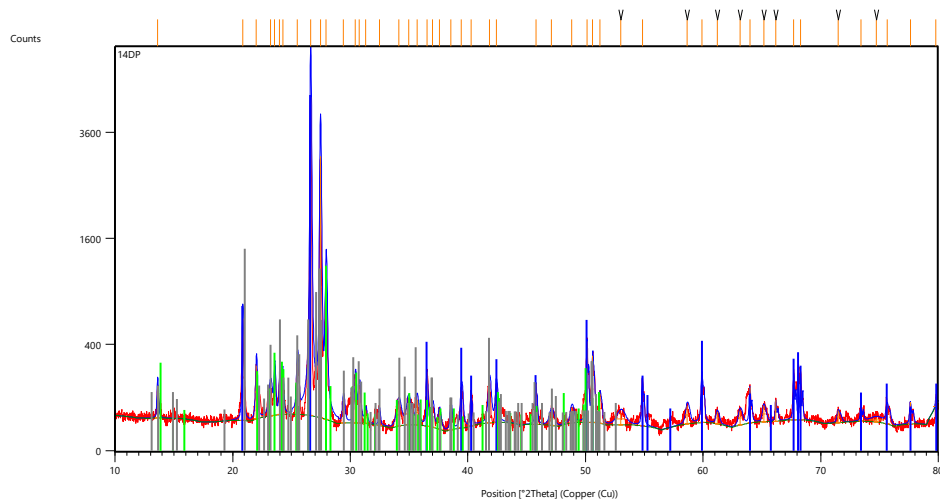
b)



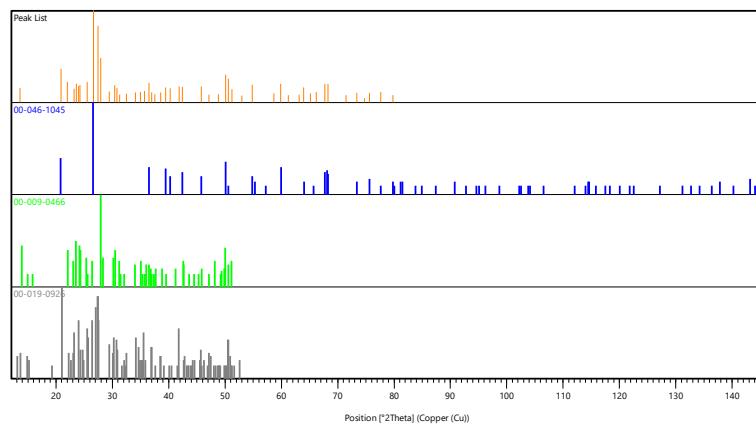
Slika 33. Asignirane faze za uzorak Red Brazil a) 13.a početni uzorak b) 13.b crni udio

Tablica 19. Asignirane faze za uzorak Red Brazil.

Uzorak	Ime komponente	Referentni kod	Faktor skaliranja	Kemijska formula
13.a	Silicijev dioksid	046-1045	0,974	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,498	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	019-0926	0,451	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
13.b	Silicijev dioksid	046-1045	0,784	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,071	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	019-0926	0,030	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>



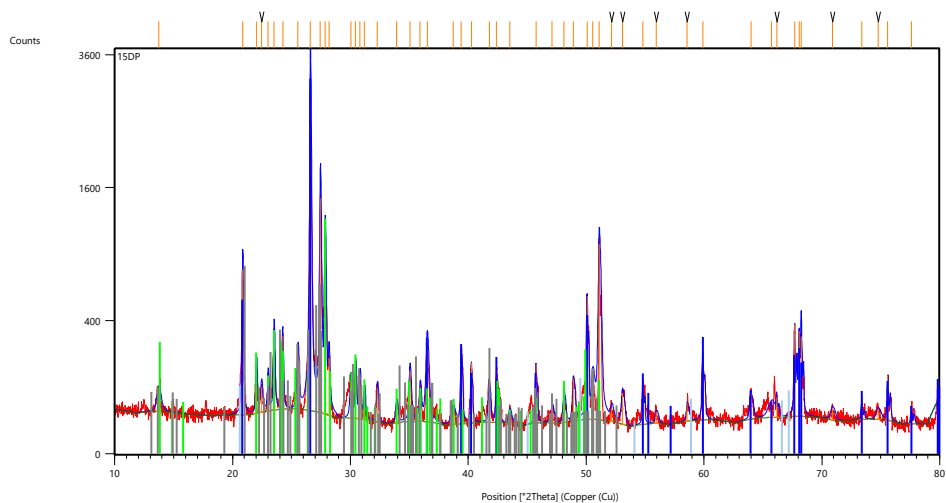
Slika 34. Drifraktogram uzorak Salmon



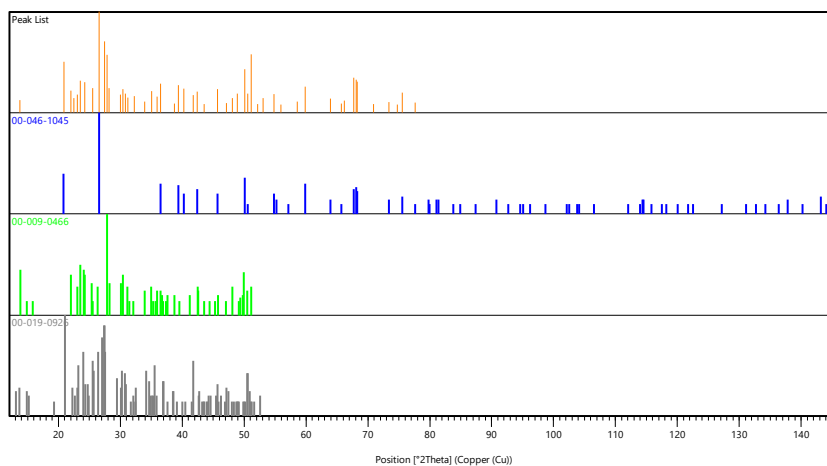
Slika 35. Asignirane faze za uzorak Salmon.

Tablica 20. Asignirane faze za uzorak Salmon.

Uzorak	Ime komponente	Referentni kod	Faktor skaliranja	Kemijska formula
14	Silicijev dioksid	046-1045	0,763	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,202	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	019-0926	0,243	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>



Slika 36. Drifraktogram uzorak Gialo California



Slika 37. Assignirane faze za uzorak Gialo California.

Tablica 21. Assignirane faze za uzorak Gialo California.

Uzorak	Ime komponente	Referentni kod	Faktor skaliranja	Kemijska formula
15	Silicijev dioksid	046-1045	0,842	SiO <sub>2</sub>
	Natrijev aluminijev silikat	009-0466	0,325	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
	Kalijev aluminijev silikat	019-0926	0,204	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>

## 6. RASPRAVA

Dobiveni difraktogrami dobro prikazuju kristalni uzorak s velikim brojem difrakcijski refleksa i značajnim stupnjem preklapanja. Takva difrakcijska slika karakteristična je za polidisperzne sustave i čvrste otopine kakvi graniti zapravo jesu.

Uzorak broj 1 je granit Berocca. Mljevenjem uzorka moguće je bilo odvojiti bijeli i crni dio granita Berocca-e. Uzorak 1a predstavlja bijeli udio granita kod kojeg je bijela tvar prisutna u 90% udjelu, dok je crni udio numeriran s oznakom 1b i u njemu je crna tvar prisutna u 90% udjelu. Uzorak u cijelosti je označen s 1c. Kristalni sastav u uzorku 1a asigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) te kalijev aluminijev silikat ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) kao sporedne faze. Kristalni sastav u uzorku 1b asigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), kalijev aluminijev silikat ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), kalcijev aluminijev silikat ( $\text{Al}_2\text{Ca}_2\text{O}_{15}\text{Si}_5$ ), kalcijev hidroksid ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) i natrijev mangan oksid hidrat ( $\text{Na}_{0.55}\text{Mn}_2\text{O}_4 \times 1.5 \text{H}_2\text{O}$ ). Kristalni sastav uzorka 1c asigniran je istim fazama kao i uzorak 1b, ali su faze prisutne u različitim udjelima. Primjetne su razlike u sastavu između zrna različitih boja. Bijeloj boji primarno doprinosi kvarc. Za crnu boju uzorka 1b i 1c odgovoran je birnesit te albit. Nema neasigniranih maksimuma i neasigniranih faza. Sastav je tipičan za granite. Kalcijev hidroksid je vjerojatno prisutan kao kontaminacija.

Uzorak broj 2 je granit Baltic Brown. Mljevenjem uzorka moguće je bilo odvojiti sivi udio granita Baltic Brown. Uzorak 2a predstavlja početni granit, dok je sivi udio numeriran s oznakom 2b i u njemu je siva tvar prisutna u 80% udjelu. Kristalni sastav u uzorku 2a asigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) te kalijev aluminijev silikat ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) kao sporedne faze. Kristalni sastav uzorka 2b asigniran je istim fazama kao i uzorak 2a, ali su faze prisutne u različitim udjelima. Primjetne su razlike u sastavu između zrna početnog uzorka te sivog uzorka. Udio aluminata u uzorku 2b znatno je veći od uzorka 2a. Svjetlije komponente su bogatije na kvarcu. Za tamniju odgovoran je albit. Nema neasigniranih maksimuma i neasigniranih faza. Sastav je tipičan za granite.

Uzorak broj 3 je granit Kashmir White. Mljevenjem uzorka nije bilo moguće odvojiti faze jer je po cijelom sastavu bijele boje. Kristalni sastav u uzorku 3 asigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) te kalijev aluminijev silikat ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) kao sporedne faze. Bijela boja uzorka potječe zbog značajnog udjela silicijevog oksida. Nema neasigniranih maksimuma i neasigniranih faza. Sastav je tipičan za granite.

Uzorak broj 4 je granit Cream Violet. Mljevenjem uzorka moguće je bilo odvojiti ružičasti udio granita Cream Violet. Uzorak 4a predstavlja početni granit, dok je ružičasti dio numeriran s oznakom 4b i u njemu je ružičasta tvar prisutna u 70% udjelu. Kristalni sastav u uzorku 4a asigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) te kalijev aluminijev silikat ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) kao sporedne faze. Kristalni sastav uzorka 4b asigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), kalijev aluminijev silikat ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) i kalcijev hidroksid ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) kao sporedne faze. Bijeloj boji primarno doprinosi kvarc. Za ružičasta notu uzorka odgovoran je neuređeni albit. Nema neasigniranih maksimuma i neasigniranih faza. Sastav je tipičan za granite.

Uzorak broj 5 je Zimbabwe. Mljevenjem uzorka nije bilo moguće odvojiti faze jer je po cijelom sastavu crne boje. Kristalni sastav u uzorku 5 asigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), kalcijev magnezijev aluminijev silikat ( $\text{Ca(Mg, Al)}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ ) i manganov silikat ( $\text{Mn}_6\text{SiO}_{12}$ ) kao sporedne faze. Crna boja uzorka potječe zbog prisutnosti braunita. Nema neasigniranih maksimuma i neasigniranih faza. Sastav je tipičan za granite.

Uzorak broj 6 je Roso Porino. Mljevenjem uzorka moguće je bilo odvojiti ružičasti i crni dio granita Roso Porino. Uzorak 6a predstavlja crni udio granita kod kojeg je crna tvar prisutna u 90% udjelu, dok je ružičasti udio numeriran s oznakom 6b i u njemu je ružičasta tvar prisutna u 80% udjelu. Uzorak u cijelosti je označen s 6c. Kristalni sastav u uzorku 6a asigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), kalcijev aluminijev silikat

(CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>), kalcijev hidroksid (Ca(OH)<sub>2</sub>) te natrijev mangan oksid hidrat (Na<sub>0.55</sub>Mn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> x 1.5 H<sub>2</sub>O) kao sporedne faze. Crna boja uzorka potječe zbog prisutnosti birnesita. Nema neassigniranih maksimuma i neassigniranih faza. Sastav je tipičan za granite. Kristalni sastav u uzorku 6b assigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid (SiO<sub>2</sub>), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), kalijev aluminijev silikat (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) i natrijev mangan oksid hidrat (Na<sub>0.55</sub>Mn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> x 1.5 H<sub>2</sub>O). kao sporedne faze. Ružičasta boja potječe od kombinacije albita. Nema neassigniranih maksimuma i neassigniranih faza. Sastav je tipičan za granite. Kristalni sastav u uzorku 6c assigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid (SiO<sub>2</sub>), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), kalcijev aluminijev silikat (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>), kalcijev hidroksid (Ca(OH)<sub>2</sub>) te natrijev mangan oksid hidrat (Na<sub>0.55</sub>Mn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> x 1.5 H<sub>2</sub>O) te kalijev aluminijev silikat (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) kao sporedne faze. Nema neassigniranih maksimuma i neassigniranih faza. Sastav je tipičan za granite.

Uzorak broj 7 je Multicolor. Mljevenjem uzorka nije bilo moguće odvojiti faze. Kristalni sastav u uzorku 7 assigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid (SiO<sub>2</sub>), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) te kalijev aluminijev silikat (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>). Nema neassigniranih maksimuma i neassigniranih faza. Sastav je tipičan za granite a boja isto tipična za kombinaciju albita, mikrolina i ortoklasa.

Uzorak broj 8 je Verde Butterfly. Mljevenjem uzorka moguće je bilo odvojiti transparentni dio uzorka od ostatka granita Verde Butterfly koji je crne boje. Uzorak 8a predstavlja početni granit, dok je transparentni dio numeriran s oznakom 8b i u njemu je transparentna tvar prisutna u 80% udjelu. Kristalni sastav u uzorku 8a assigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid (SiO<sub>2</sub>), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i kalijev aluminijev silikat (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>), kalcijev hidroksid (Ca(OH)<sub>2</sub>) i kalcijev aluminijev silikat (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) kao sporedne faze. Nije najjasnije od čega potječe tamna boja uzorka. Kristalni sastav u uzorku 8b assigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid (SiO<sub>2</sub>), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat (NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) te kalijev aluminijev silikat (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) kao sporedne faze. Transparentnost dijela uzorka se može protumačiti prisutnošću bezbojnih kristala. Nema neassigniranih maksimuma i neassigniranih faza. Sastav je tipičan za granite.

Uzorak broj 9 je India. Mljevenjem uzorka nije bilo moguće odvojiti faze. Kristalni sastav u uzorku 9 asigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) te kalcijev aluminijev silikat ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) kao sporedne faze. Za blago žuto-bijelu boju odgovorni su silicijevi, natrijevi i kalcijevi spojevi. Nema neasigniranih maksimuma i neasigniranih faza. Sastav je tipičan za granite. Specifična boja potječe od specifične kombinacije albita i anortita.

Uzorak broj 10 je Africa Red. Mljevenjem uzorka moguće je bilo odvojiti sivu fazu uzorka od ostatka granita Africa Red. Uzorak 10a predstavlja početni granit, dok je metalno sivi dio numeriran s oznakom 10b i u njemu je transparentna tvar prisutna u 70% udjelu. Kristalni sastav u uzorku 10a asigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), kalcijev aluminijev silikat ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) i magnezijev manganov oksid hidrat ( $(\text{Mg}, \text{Mn}^{+2})\text{Mn}_3+4\text{O}_2 \times 3\text{H}_2\text{O}$ ) kao sporedne faze. Crvenkasto smeđa boja uzorka 10a posljedica je prisutnosti jianshuita. Nema neasigniranih maksimuma i neasigniranih faza. Sastav je tipičan za granite. Kristalni sastav u uzorku 10b asigniran je istim fazama kao i uzorak 10a, ali su faze prisutne u različitim udjelima. Metalno siva boja uzorka 10b također je posljedica različitih udjela navedenih spojeva. Nema neasigniranih maksimuma i neasigniranih faza. Sastav je tipičan za granite.

Uzorak broj 11 je Graficit. Mljevenjem uzorka nije bilo moguće odvojiti faze. Kristalni sastav uzorka 11 asigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), kalijev aluminijev silikat ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), natrijev kalcijev silikat ( $\text{Na}_2\text{CaSiO}_4$ ) te kalijev natrijev aluminij silikat ( $(\text{K}, \text{Na})\text{AlSiO}_4$ ). Nema neasigniranih maksimuma i neasigniranih faza. Sastav je tipičan za granite. Blago crvena boja uzorka potječe zbog specifične kombinacije a ne pojedinačnog doprinosa neke faze. Nema neasigniranih maksimuma i neasigniranih faza. Sastav je tipičan za granite.

Uzorak broj 12 je Paradize. Mljevenjem uzorka nije bilo moguće odvojiti faze. Kristalni sastav uzorka 12 asigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) i kalijev aluminijev silikat ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) kao sporedne faze. Nema neasigniranih maksimuma i

neassigniranih faza. Sastav je tipičan za granite. Blago crvena boja uzorka potječe zbog specifične kombinacije a ne pojedinačnog doprinosa neke faze.

Uzorak broj 13 je Red Brazil. Mljevenjem uzorka moguće je bilo odvojiti sivo-crnu fazu uzorka od ostatka granita Red Brazil. Uzorak 13a predstavlja početni granit, dok je sivo-crni dio numeriran s oznakom 13b i u njemu je crna tvar prisutna u 70% udjelu. Kristalni sastav u uzorku 13a assigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) i kalijev aluminijev silikat ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) kao sporedne faze. Nema neassigniranih maksimuma i neassigniranih faza. Sastav je tipičan za granite. Kristalni sastav u uzorku 13b assigniran je istim fazama kao i uzorak 13a, ali su faze prisutne u različitim udjelima. Sivo-crna boja uzorka 13b također je posljedica različitih udjela navedenih spojeva. Nema neassigniranih maksimuma i neassigniranih faza. Sastav je tipičan za granite.

Uzorak broj 14 je Salmon. Mljevenjem uzorka nije bilo moguće odvojiti faze. Kristalni sastav uzorka 14 assigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) i kalijev aluminijev silikat ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) kao sporedne faze. Nema neassigniranih maksimuma i neassigniranih faza. Sastav je tipičan za granite. Sivkasta boja uzorka posljedica je prisutnosti albita.

Uzorak broj 15 je Gialo California. Mljevenjem uzorka nije bilo moguće odvojiti faze. Kristalni sastav uzorka 14 assigniran je sljedećim fazama: silicijev dioksid ( $\text{SiO}_2$ ), ICDD PDF#46-1045 koja je prisutna kao glavna faza, dok su prisutne i natrijev aluminijev silikat ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) i kalijev aluminijev silikat ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) kao sporedne faze. Nema neassigniranih maksimuma i neassigniranih faza. Sastav je tipičan za granite. Boju nije bilo moguće argumentirati kroz kristalni sastav uzorku.



## 7. ZAKLJUČAK

Uzorci granita uspješno su smrvljeni, zrna su selektirana po boji. Zrna su mljevenjem prevedena u oblik pogodan za karakterizaciju. Metodom rendgenske difrakcijske analize analizirani su uzorci različitih granita. Pokušalo se povezati vizualni dojam granita sa strukturnim karakteristikama. Utvrđeno je da kristalni sastav doista utječe na boju granita. Kako se pokazalo, kvantitativni omjeri također značajno utječu na vizualni dojam boje. Ipak sam nastanak karakteristične morfologije, dinamika rasta zrna i posljedična morfološka svojstva primarno su odgovorna za privid određenih boja. Granitne materijale moguće je grupirati u određene skupine s obzirom na boje koje određeni kvalitativni kristalni sastav omogućuje. Međutim egzaktne i nedvosmislene poveznice kvalitativnih i kvantitativnih parametara strukture s vizualnim karakteristikama uzorka granita nisu moguće.

## 8. LITERATURA

- [1] W.D Nesse, Introduction to mineralogy. Oxford University Press, Oxford, 2000.
- [2] D.Tibljaš, Interna skripta, Prirodoslovno matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu 2006/07.
- [3] J.R.Wilson ,A collector's guide to rock, mineral & fossil localities of Utah, Utah Geological Survey, 1996.
- [4] S.Kurajica, Interna skripta, Anorganski nemetalni materijali, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilšte u Zagrebu.
- [5] S. Šestanović i A. Toševski, Stijene litosfere, 2008
- [6] S.Kurajica, Interna skripta, Stijene, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilšte u Zagrebu.
- [7] Preuzeto sa <http://ba.marbleup.com/other-stone/paving-stone-kerbstone/granite-paving-cube-stone.html>
- [8] J.Sremec, Interna skripta, Stijene, Prirodoslovno matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- [9] S.Kurajica, Interna skripta, Mineralogija 1, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilšte u Zagrebu.
- [10] S.Dunda, T.Kujundžić, M.Globan, V.Matošin, Eksploatacija i obrada arhitektonsko-gradevnog kamena, Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2003.
- [11] L Pletikosić , Interna skripta, Primjena kamena u graditeljstvu,2007.
- [12] J.Tišljar, Introduction to Mineralogy and Petrology, 2014.
- [13] J. Cobbing, Geology and Mapping of Granite Batholiths, Springer,2000.
- [14] H.Blatt, R.J.Tracy, Petrology New York,1997.
- [15] S.Kurajica, Interna skripta, Rendgenska difrakcija i inženjerstvu materijala, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilšte u Zagrebu,2016.
- [16] Preuzeteo sa: [https://www.periodni.com/gallery/bragg\\_angle.png](https://www.periodni.com/gallery/bragg_angle.png)

