

# Mineraloška analiza kaolinitiziranih granita Prosare i Motajice

---

**Asić, Lucija**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:102705>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-04**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij Geologije mineralnih sirovina i geofizičkih istraživanja

**„MINERALOŠKA ANALIZA KAOLINITIZIRANIH GRANITA PROSARE I  
MOTAJICE“**

Diplomski rad

Lucija Asić

G 403

Zagreb, 2022.



KLASA: 602-01/22-01/19  
URBROJ: 251-70-15-22-2  
U Zagrebu, 15. 2. 2022.

**Lucija Asić, studentica**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/19, URBROJ: 251-70-15-22-1 od 27. 1. 2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### MINERALOŠKA ANALIZA KAOLINITIZIRANIH GRANITA PROSARE I MOTAJICE

Za mentoricu ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Prof. dr. sc. Sibila Borojević Šoštarčić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentorica:

(potpis)

Prof. dr. sc. Sibila Borojević  
Šoštarčić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

**„MINERALOŠKA ANALIZA KAOLINITIZIRANIH GRANITA PROSARE I  
MOTAJICE“**

**LUCIJA ASIĆ**

Završni rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

**Sažetak**

Na području planinskog masiva Motajice sakupljeno je i analizirano 10 uzoraka kaolinitiziranog granita i 1 uzorak kaolinitiziranog pegmatita, dok je na planinskom masivu Prosare analiziran 1 uzorak kaolinitiziranog granita. Na većim izdanicima uočene su tipične hidrotermalne kvarcne žile ispunjene muskovitom/bijelim tinjcima i sulfidima. Makroskopskom analizom prikupljenih uzoraka utvrđeno je da su uzorci sličnog mineralnog sastava. U uzorcima su prisutni kvarc, feldspati, tinjci te minerali glina, pretpostavljeno kaolinit. Netretirani uzorci i uzorci tretirani etilenglikolom, dimetilsulfoksidom i žarenjem na 350 °C i 550 °C podvrgnuti su XRD analizi. Navedene metode korištene su u svrhu određivanja mineralnog sastava, identifikacije minerala glina i određivanja postanka ležišta kaolinitiziranog granita. XRD analizom potvrđen je makroskopski određen mineralni sastav, prisutnost kaolinita i tipičnih hidrotermalnih minerala dijaspora, dikita i topaza koji ukazuju na hidrotermalan način postanka ležišta kaolinita. Nakon sušenja uzoraka, utvrđen je mineralni sastav u kojem dominiraju kvarc, muskovit, K-feldspat, plagioklas i kaolinit. Na tretiranim uzorcima potvrđeno je postojanje kaolinita. Hidrotermalna aktivnost imala je važnu ulogu u formiranju ležišta kaolinita što je utvrđeno na temelju prisutne hidrotermalne mineralizacije. Međutim, budući da su uzorci uzeti s površinskih izdanaka, supergeni način postanka se ne može isključiti.

Ključne riječi: Motajica, Prosara, granitoidi, kaolinizacija, mineraloški sastav

Diplomski rad sadrži: 51 stranicu, 30 slika, 6 tablica i 37 referenci

Jezik izvornika: Hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Prof. dr. sc. Sibila Borojević Šoštarić

Ocjenjivači: : 1. Prof. dr. sc. Sibila Borojević Šoštarić

2. Prof. dr. sc. Goran Durn

3. Izv. prof. dr. sc. Stanko Ružičić

Datum obrane: 17. veljače 2022.

**„MINERALOGICAL ANALYSIS OD KAOLINITIZED GRANITES OF PROSARA  
AND MOTAJICA MOUNTAINS“**

**LUCIJA ASIĆ**

Thesis completed at: University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Department of Mineralogy, Petrology and Mineral Resources

Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

**Abstract**

In the area of the Motajica mountain massif, 10 samples of kaolinitized granite and 1 sample of kaolinitized pegmatite were collected and analyzed, while 1 sample of kaolinitized granite was analyzed in the Prosara mountain massif. On the larger outgrowths, typical hydrothermal quartz veins were observed, which were filled with muscovite/white mica and sulfides. Macroscopic analysis of the collected samples determined that the samples had a similar mineral composition. In the samples, quartz, feldspars, mica and clay minerals are present, and presumably, kaolinite. Untreated samples and samples treated with ethyleneglycol, dimethylsulfoxide and annealing at 350 °C and 550 °C were exposed to XRD analysis. These methods were used for determination of the mineral composition, identification of clay minerals and determination of the formation of deposits of kaolinitized granite. XRD analysis confirmed the macroscopically determined mineral composition, the presence of kaolinite and typical hydrothermal minerals of diaspora, dickite and topaz, which indicate the hydrothermal way of origin of kaolinite deposits. After drying, diffraction records of XRD analysis gave a mineral composition dominated by quartz, muscovite, K-feldspar, plagioclase and kaolinite. The existence of kaolinite was confirmed in treated samples. Hydrothermal activity had a big role in the forming of the kaolinite deposits which is confirmed by the presence of hydrothermal mineralization. On the other hand, samples were taken from the surface outcrops so supergene origin can not ruled out.

**Keywords:** Motajica mountain, Prosara mountain, granitoids, kaolinitization, mineral composition

Thesis contains: 51 pages, 30 pictures, 6 tables i 37 references

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6,  
Zagreb

Supervisor: Full Prof. Sibila Borojević Šoštarić, PhD

Reviewers: Full Prof. Sibila Borojević Šoštarić, PhD

Full Prof. Goran Durn, PhD

Assoc. Prof. Stanko Ružičić, PhD

Date of defense: February 17, 2022

## ZAHVALA

*Posebno zahvaljujem svojoj mentorici prof. dr. sc. Sibili Borojević Šoštarić na trudu, strpljenju i savjetima koje mi je davala tijekom izrade ovoga rada.*

*Zahvaljujem se kolegici Luciji Hergotić na pomoći tijekom terenskog rada te sa uzorkovanjem.*

*Zahvaljujem asistentu Tomislavu Brenku na pomoći pri uzorkovanju te sa uređivanjem karata korištenih u ovom radu.*

*Zahvaljujem se svojoj obitelji i svim svojim prijateljima kao najvećoj podršci tijekom izrade ovog rada i tijekom cijelog fakultetskog obrazovanja.*

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE PROSARE I MOTAJICE .....	3
3. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE .....	5
3.1 MOTAJICA.....	6
3.2. PROSARA .....	9
4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA .....	12
5. TERENSKA ISTRAŽIVANJA.....	16
6. METODE ISTRAŽIVANJA.....	28
6.1. METODA RENDGENSKE DIFRAKCIJE .....	28
6.1.1. METODA TRETIRANJA UZORAKA ETILENGLIKOLOM.....	31
6.1.2. TERMIČKA METODA TRETIRANJA UZORAKA .....	32
6.1.3. METODA TRETIRANJA UZORAKA DIMETIL-SULFOKSIDOM (DMSO).....	33
7. REZULTATI.....	34
7.1. MINERALOŠKI SASTAV KAOLINITIZIRANIH GRANITA .....	34
7.1.1. MOTAJICA.....	34
7.1.2. PROSARA .....	37
7.2. ODREDBA MINERALA GLINA .....	38
7.2.1. MOTAJICA.....	38
7.2.2. PROSARA .....	41
8. DISKUSIJA.....	42
8.1. USPOREDBA MINERALNOG SASTAVA KAOLINITIZIRANIH GRANITA MOTAJICE I PROSARE.....	42
8.2. USPOREDBA MINERALA GLINA U KAOLINITIZIRANIM GRANITIMA MOTAJICE I PROSARE .....	43
8.3. POSTANAK KAOLINITIZIRANIH GRANITA .....	44
9. ZAKLJUČAK .....	46
10. POPIS LITERATURE .....	48

## POPIS SLIKA:

SLIKA 1.1. STRUKUTRA KAOLINITA (URL1) .....	4
SLIKA 2.1. GEOGRAFSKI POLOŽAJ ISTRAŽIVANOG TERENA U ODNOSU NA SUSJEDNE DRŽAVE. B) ISJEČAK TOPOGRAFSKE KARTE MOTAJICE IZVORNOG MJERILA 1 : 300 000 (DINARSKO GORJE: MOTAJICA. URL3). C) ISJEČAK TOPOGRAFSKE KARTE PROSAREIZVORNOG MJERILA 1 : 300 000 (DINARSKO GORJE: PROSARA. URL4) .....	7
SLIKA 3.1. POLOŽAJ SAVA–VARDAR ZONE U ODNOSU NA TEKTONSKE JEDINICE DINARIDA I HELENIDA (USTASZEWSKI I SUR., 2010).....	8
SLIKA 3.3. SLIKA 3.2. ISJEČAK LISTA OSNOVNE GEOLOŠKE KARTE OGK 1:100.000 LIST NOVA KAPELA, (ŠPARICA I DR., 1972) NA KOJOJ SE NALAZI PLANINA PROSARA S OZNAČENIM MJESTIMA UZORKOVANJA KAOLINITIZIRANOG GRANITA. ....	14
SLIKA 5.1. SNIMAK ODABIRA NAJPOVOLJNIJE LOKACIJE ZA UZORKOVANJE KAOLINITIZIRANOG GRANITA NA MOTAJICI (UZORCI MT67 I MT68).....	20
SLIKA 5.2. A) SNIMAK TERENA S OZNAČENOM LOKACIJOM UZORKOVANJA B) FOTOGRAFIJA UZORKA MT60A .....	22
SLIKA 5.3. A) SNIMAK TERENA S OZNAČENOM LOKACIJOM UZORKOVANJA B) FOTOGRAFIJA UZORKA MT60C .....	23
SLIKA 5.4. FOTOGRAFIJE UZORKA MT61 .....	24
SLIKA 5.5. FOTOGRAFIJE UZORKA MT62 .....	25
SLIKA 5.6. FOTOGRAFIJE UZORKA MT64 .....	26
SLIKA 5.7. FOTOGRAFIJE UZORKA MT65 .....	26
SLIKA 5.8. A) SNIMAK TERENA S OZNAČENIM LOKACIJAMA UZORKOVANJA B) FOTOGRAFIJA UZORKA MT68 C) FOTOGRAFIJA UZORKA MT67 .....	28
SLIKA 5.9. FOTOGRAFIJE UZORKA MT70 .....	28
SLIKA 5.10. FOTOGRAFIJE UZORKA MT79 .....	29
SLIKA 5.11. FOTOGRAFIJE UZORKA MT72A .....	29
SLIKA 5.12. FOTOGRAFIJE UZORKA PR5. ....	30
SLIKA 6.1. RENDGENSKI DIFRAKTOMETAR EMPYREAN (URL5).....	31
SLIKA 6.2. BRAGGOV ZAKON (URL6).....	32
SLIKA 6.3. TRETIRANJE UZORAKA ETILEN GLIKOLOM (EG) .....	33
SLIKA 6.4. ŽARENJE UZORAKA NA 350 °C I 550 °C.....	34



SLIKA 7.1. DIFRAKCIJSKA SLIKA NETRETIRANOG UZORKA MT64 (LEGENDA: CHL-KLORIT, MS-MUSKOVIT, KLN-KAOLINIT, PL-PLAGIOKLAS, KFS-K-FELDSPAT, QTZ-KVARC). .....	38
SLIKA 7.2. DIFRAKCIJSKA SLIKA NETRETIRANOG UZORKA MT68 (LEGENDA: MS-MUSKOVIT, KLN-KAOLINIT, PL-PLAGIOKLAS, KFS-K-FELDSPAT, QTZ-KVARC). .....	38
SLIKA 7.3. DIFRAKCIJSKA SLIKA NETRETIRANOG UZORKA MT79 (LEGENDA: MS-MUSKOVIT, KLN-KAOLINIT, PL-PLAGIOKLAS, KFS-K-FELDSPAT, QTZ-KVARC, VER-VERMIKULIT). .....	39
SLIKA 7.4. DIFRAKCIJSKA SLIKA NETRETIRANOG UZORKA MT72A (LEGENDA: MS-MUSKOVIT, KLN-KAOLINIT, PL-PLAGIOKLAS, KFS-K-FELDSPAT, QTZ-KVARC). .....	39
SLIKA 7.5. DIFRAKCIJSKA SLIKA NETRETIRANOG UZORKA PR5 (LEGENDA: MS-MUSKOVIT, KLN-KAOLINIT, QTZ-KVARC) .....	40
SLIKA 7.6. PRIKAZ DIFRAKCIJSKE SLIKE UZORKA MT64 NETRETIRANOG, TRETIRANOG DIMETILSULFOKSIDOM (DMSO METODA), TRETIRANOG ETILENGLIKOLOM TE ŽARENOG NA 350 °C I 550 °C.....	42
SLIKA 7.7. PRIKAZ DIFRAKCIJSKE SLIKE UZORKA MT68 NETRETIRANOG, TRETIRANOG DIMETILSULFOKSIDOM (DMSO METODA), TRETIRANOG ETILENGLIKOLOM TE ŽARENOG NA 350 °C I 550 °C.....	42
SLIKA 7.8. PRIKAZ DIFRAKCIJSKE SLIKE UZORKA MT79 NETRETIRANOG, TRETIRANOG DIMETILSULFOKSIDOM (DMSO METODA), TRETIRANOG ETILENGLIKOLOM TE ŽARENOG NA 350 °C I 550 °C.....	43
SLIKA 7.9. PRIKAZ DIFRAKCIJSKE SLIKE UZORKA MT72A NETRETIRANOG, TRETIRANOG DIMETILSULFOKSIDOM (DMSO METODA), TRETIRANOG ETILENGLIKOLOM TE ŽARENOG NA 350 °C I 550 °C.....	43
SLIKA 7.10. PRIKAZ DIFRAKCIJSKE SLIKE UZORKA PR5 NETRETIRANOG, TRETIRANOG DIMETILSULFOKSIDOM (DMSO METODA), TRETIRANOG ETILENGLIKOLOM TE ŽARENOG NA 350 °C I 550 °C.....	44

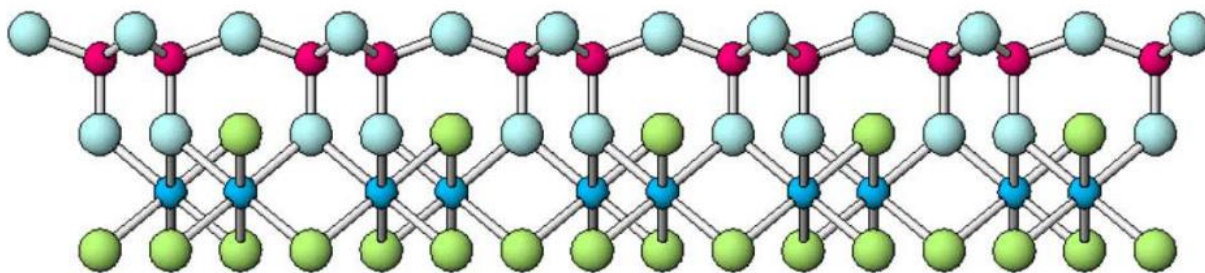
## 1. UVOD

Minerali glina spadaju u skupinu hidratiziranih aluminosilikata te prilikom trošenja i erozije primarnih silikata dolazi do promjene rasporeda atoma i strukture (BRATON & KARATHANASIS, 2002).

Minerali glina se dijele prema broju i rasporedu tetraedarskih i oktaedarskih paketa u kristalnoj ćeliji ili slojevima na:

- 1:1 tip (T-O) glina
- 2:1 tip (T-O-T) glina
- 2:1:1 tip (T-O-T O) glina

Najpoznatiji član 1:1 tipa glina je kaolinit. Sastavljen je od jedne ravnine tetraedara i ravnine oktaedara (Slika 1.1.). Tetraedarska i oktaedarska ravnina međusobno su povezane preko atoma kisika. Jake vodikove veze povezuju slojeve i zbog toga ne dolazi do bubrenja ovakvog tipa glina (BRATON & KARATHANASIS, 2002).



*Slika 1.1. Strukutra kaolinita (URL1)*

Grupa kaolinita uključuje dioktaedarske minerale kao što su kaolinit, dikit, nakrit i haloizit, te trioktaedarske minerale antigorit, kamožit, krizotil i kronstedit. U dioktaedarskim mineralima oktaedarsko mjesto zauzima aluminij, dok u trioktaedarskim mineralima ova mjesta zauzimaju magnezij i željezo (SLOVENEK & BERMANEK, 2006).

Svi članovi grupe kaolinita nastaju prvenstveno tijekom hidrotermalnih promjena ili supergenih procesa. U slučaju hidrotermalnih promjena, ležišta kaolinita nastaju na temperaturama većim od 100 °C, dok na temperaturama manjim od 40 °C nastaju ležišta supergenim procesima (GILD i sur., 1999).

Koji će minerali nastati hidrotermalnim izmjenama ovisi o mineraloškom i kemijskom sastavu primarnih stijene, kao i o temperaturi, tlaku i sastavu fluida tijekom procesa kaolinizacije. Na temelju mineralnih asocijacija vezanih uz ležišta kaolinita može se zaključiti o njegovom postanku. Tipični hidrotermalni minerali vezani uz hidrotermalnu aktivnost su pirofilit, dijaspor, topaz ili dikit u uvjetima s visokom temperaturom. Uz kaolinite koji su nastali supergenim procesom pojavljuju se minerali nastali na nižim temperaturama poput gibbsita ili haloazita (SWINDALE & HUGHES, 1968).

Neki visokotemperaturni minerali mogu potjecati od ranijih hidrotermalnih aktivnosti te mogu ili ne moraju biti povezani s kaolinitizacijom nego se mogu pojaviti kao rezidualni minerali u kasnijoj fazi površinskog trošenja ili oksidacije. Gibbsit se javlja kod supergenih kaolinita i nije tipičan mineral kod kaolinita hidrotermalnog podrijetla. Hidrotermalna ležišta kaolinita pokazuju karakteristično zoniranje, gdje se u središtu nalazi zona s mineralnom asocijacijom kaolinit+alunit+pirofilit, dok je vanjska zona karakterizirana illit-smektit asocijacijom. Ovakvo zoniranje nije prisutno u ležištima supergenog kaolinita. Prisutnost gibbsita i odsutnost viskotemperaturnih minerala poput pirofilita, dijaspora, dikita ili nakrita ukazuju na supergeno podrijetlo kaolinita (GILD i sur., 1999).

Metoda ispitivanja stabilnog kisikovog i vodikovog izotopa kaolinita i povezanih minerala može dati bitne podatke za određivanje temperature kaolinitizacije, a samim time i podrijetlo kaolinita (GILD i sur., 1999).

Postoje korelacije između stupnja kaolinitizacije i fluidnih inkluzija. Intenzivna kaolinitizacija može biti povezana s niskotemperaturnim (<170 °C) bogatim fluidima. Proučavanje fluidnih inkluzija u kvarcu vrlo je važan način za otkrivanje cirkulacije fluidnih inkluzija i rekonstrukciju termalnog režima hidrotermalnih sustava (GILD i sur., 1999).

Cilj ovog rada je mineraloška analiza kaolinitiziranih granita istraživanih na području Motajice i Prosare u svrhu određivanja minerala glina i definiranja postanka ležišta kaolinita. Na uzorcima su provedene sljedeće analize: makroskopska odredba mineralnog sastava, metoda rendgenske difrakcije netretiranih uzoraka, metoda rendgenske difrakcije uzoraka tretiranih etilenglikolom, žarenih na 350 °C i 550 °C i tretiranih dimetilsulfoksidom (DMSO).

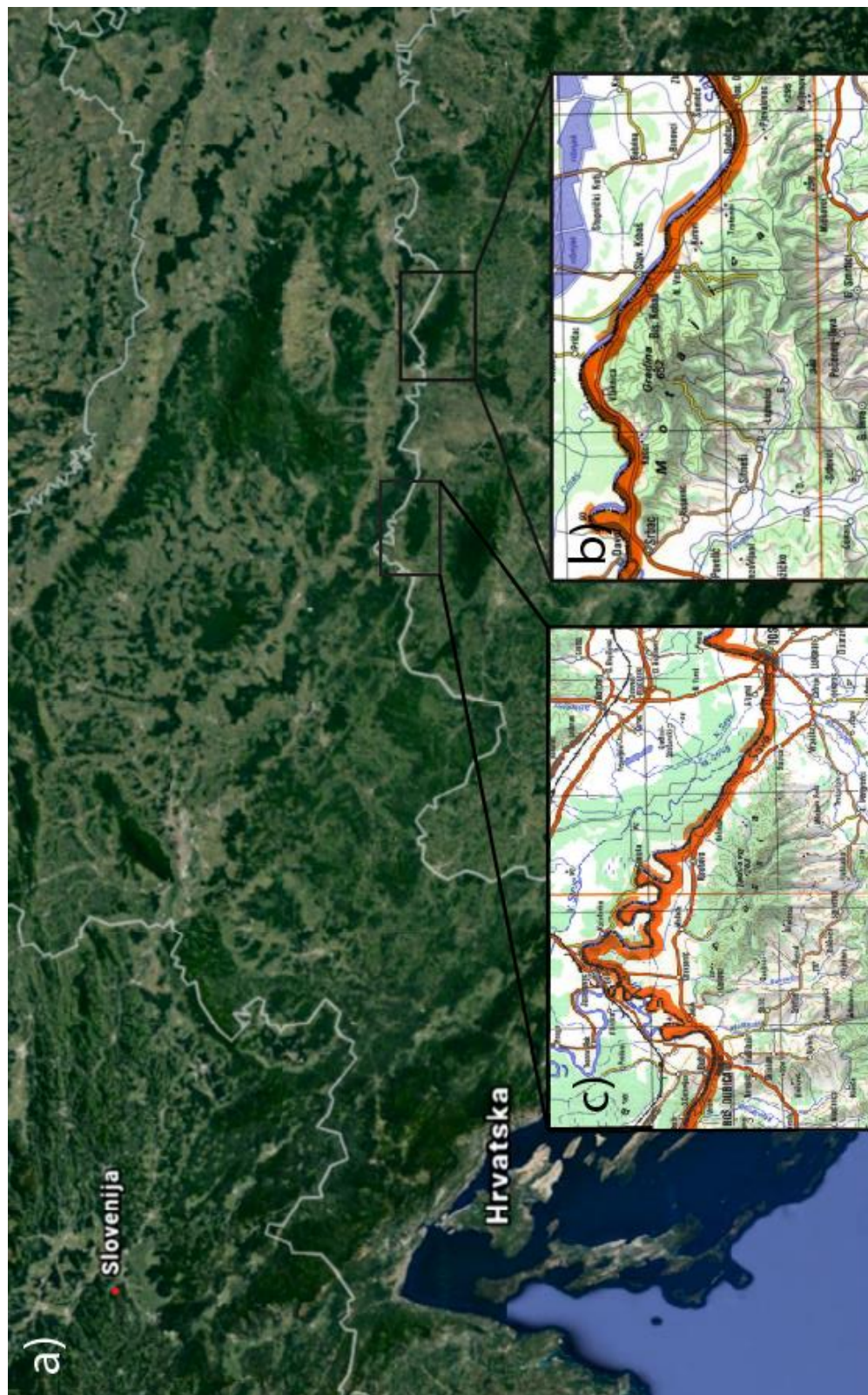
## **2. GEOGRAFSKE ZNAČAJKE PROSARE I MOTAJICE**

Planinski masiv Motajica, 652 m, nalazi se na sjevernom dijelu Bosne, južno od Save, između rijeke Vrbas na istočnoj strani i Velike Ukrine na zapadnoj strani. Planina Prosara smještena je između rijeke Une na zapadu, Jablanice na istoku i rijeke Save na sjeveru. Najviši vrh je na 363 m nadmorske visine te se smatra vrlo niska planina (Slika 2.1.).

Ravničarski reljef izrazit je oko rijeke Save i Vrbas, ali Motajica se izdvaja svojom masom i djeluje kao prava planina, iako su njeni vrhovi na malim visinama. Postoji nekoliko vrhova približno iste visine te nema jedinstvenog grebena.

Relativno gusta hidrografska mreža Motajice karakterizirana je s glavnim drenažnim pravcima orijentiranim na smjer izduženja masiva. Vodeni tokovi s južnog dijela teku preko rijeke Povelic u rijeku Vrbas, odnosno Veliku Ukrinu, a tokovi sjeverno od masiva teku u rijeku Savu.

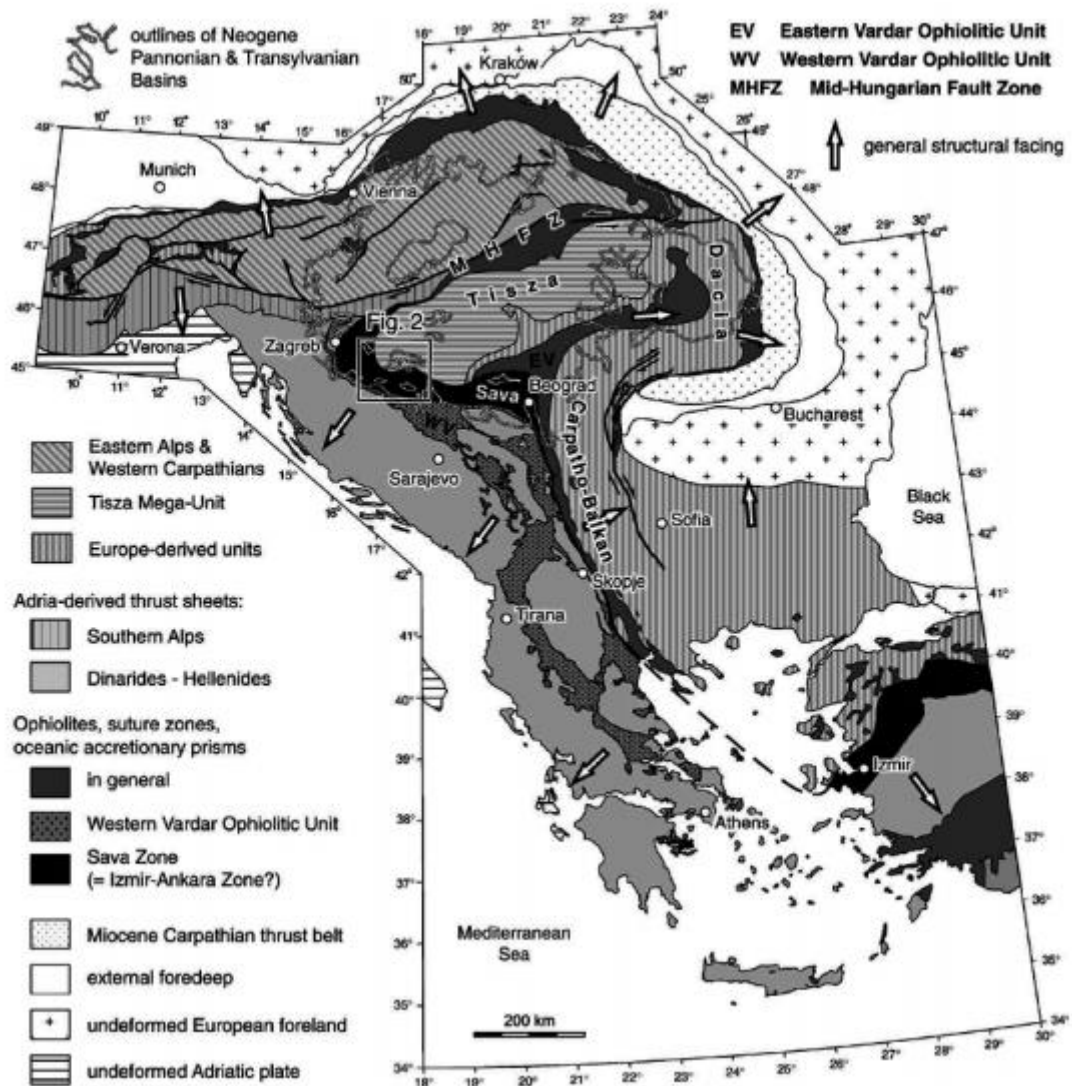
Prosara je determinirana kao niska horst planina, koja regionalno pripada Bosanskoj Posavini. Nalazi se na području općina Kozarska Dubica i Gradiška. Prosarom teku tokovi bogati vodom, a izgrađuje je bogata vegetacija.



Slika 2.1. Geografski položaj istraživanog terena u odnosu na susjedne države. b) Isječak topografske karte Motajice izvornog mjerila 1 : 300 000 (Dinarsko gorje: Motajica. URL3). c) Isječak topografske karte Prosare izvornog mjerila 1 : 300 000 (Dinarsko gorje: Prosara. URL4)

### 3. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE

Istraživano područje Motajice i Prosare dio je Sava–Vardar zone s vrlo složenom geološkom građom (PAMIĆ 2002). Kolizijom Jadranske ploče krajem krede s pločama koje su bile dio Europske ploče nastali su današnji Dinaridi i Helenidi (Slika 3.1.).



Slika 3.1. Položaj Sava–Vardar zone u odnosu na tektonske jedinice Dinarida i Helenida (Ustaszewski i sur., 2010)

Sava–Vardar zona predstavlja unutarnju tektonostratigrafsku jedinicu Dinarida i Helenida, dugačku oko 1000 km. Sačinjavaju je oligocenski graniti i vulkanogeno–sedimentni kompleksi gornje krede i paleogena te paleogenske metamorfne stijene metamorfozirane do amfibolitnog facijesa (SCHMID i sur., 2008).

Između Egejskog mora i Beograda Sava zone proteže se nekoliko kilometara širok pojas gornjokrednog fliša. U blizini Beograda dolazi do otvaranja 50 km širokog pojasa gornjokrednih ofiolitnih jedinica, magmatskih i metamornih stijena paralelnog pružanja s tokom rijeke Save. Između Zagreba i Beograda stijene Sava zone izložene su na površini na nekoliko izoliranih područja. Metamorfozirane gornjokredne magmatske i sedimentne jedinice Sava zone prekrivene su paleogenkim sedimentima (USTASZEWSKI, 2010).

Sava–Vardar zona sastoji se od sljedećih magmatskih asocijacija: 1. sinkolizijski eocenski granitoidi, 2. postkolizijski oligocenski granitoidi i srodne magmatske stijene, 3. oligocenski trahiandeziti i kalk–alkalni vulkaniti s lamprofirima s visokim udjelom kalija, 4. eger–egenburški kalk–alkalni vulkaniti, 5. eger–egenburški granitoidi (PAMIĆ, 2002).

### **3.1 MOTAJICA**

Južni i zapadni rub granitoidnog plutona Motajice (Slika 3.2.) čine kontaktno metamorfne stijene, a to su tinjčasti škriljavci i para–gnajsevi kredne starosti. Para–gnajsevi pripadaju amfibolitnom facijesu zajedno s amfibolitima i metapelitima. Navedene stijene nastale su krajem paleogena kontaktim metamorfizmom kao posljedica granitne intruzije. Na postignute uvjete facijesa zelenih škriljavaca ukazuje progradni rast klorita, biotita i bijelih tinjaca te prisutnost epidota i coisita/klinocoisita u strukturno nižim dijelovima (USTASZEWSKI i sur., 2010).

Periferne dijelove masiva izgrađuju regionalno metamorfozirane stijene. Niskotemperaturni šejlovi i umjereno do dobro sortirani pješčenjaci čine južni dio Motajice. Analizama određenih frakcija zaključeno je da se radi o niskom stupnju regionalnog metamorfizma. Na tanki sloj amfibolita naliježu filiti, a na filite niskotemperaturni šejlovi i pješčenjaci (USTASZEWSKI i sur., 2010).

Sedimenti miocena i gornjeg pliocena nalaze se kao pokrov sedimenata gornje krede, naliježu diskordantno na granit, paleogenske škriljavce i na gornjokredne sedimente. Uglavnom su to pelitni sedimenti vrlo niskog stupnja dijageneze (USTASZEWSKI i sur., 2010).

Središnji i sjeverni dijelovi Motajice izgrađeni su od granita oligocenske starosti. Starost iznosi oko 26,7 mil.god., a dobivena je U–Pb metodom datiranja cirkona i monacita. Granitoidi Motajice čine plutonsko tijelo koje je intrudiralo kroz gornjokredne i paleogenske fliševe koji su prilikom toga metamorfozirani do srednjeg stupnja metamorfoze (USTASZEWSKI i sur., 2010).

PAMIĆ i sur. (2002) utvrđuju da granitoid Motajice pripada S-tipu granita te u manjoj mjeri prelazi između S i I tipa. Istraživači su ovaj rezultat temeljili na izotopskim vrijednostima stroncija i kisika.

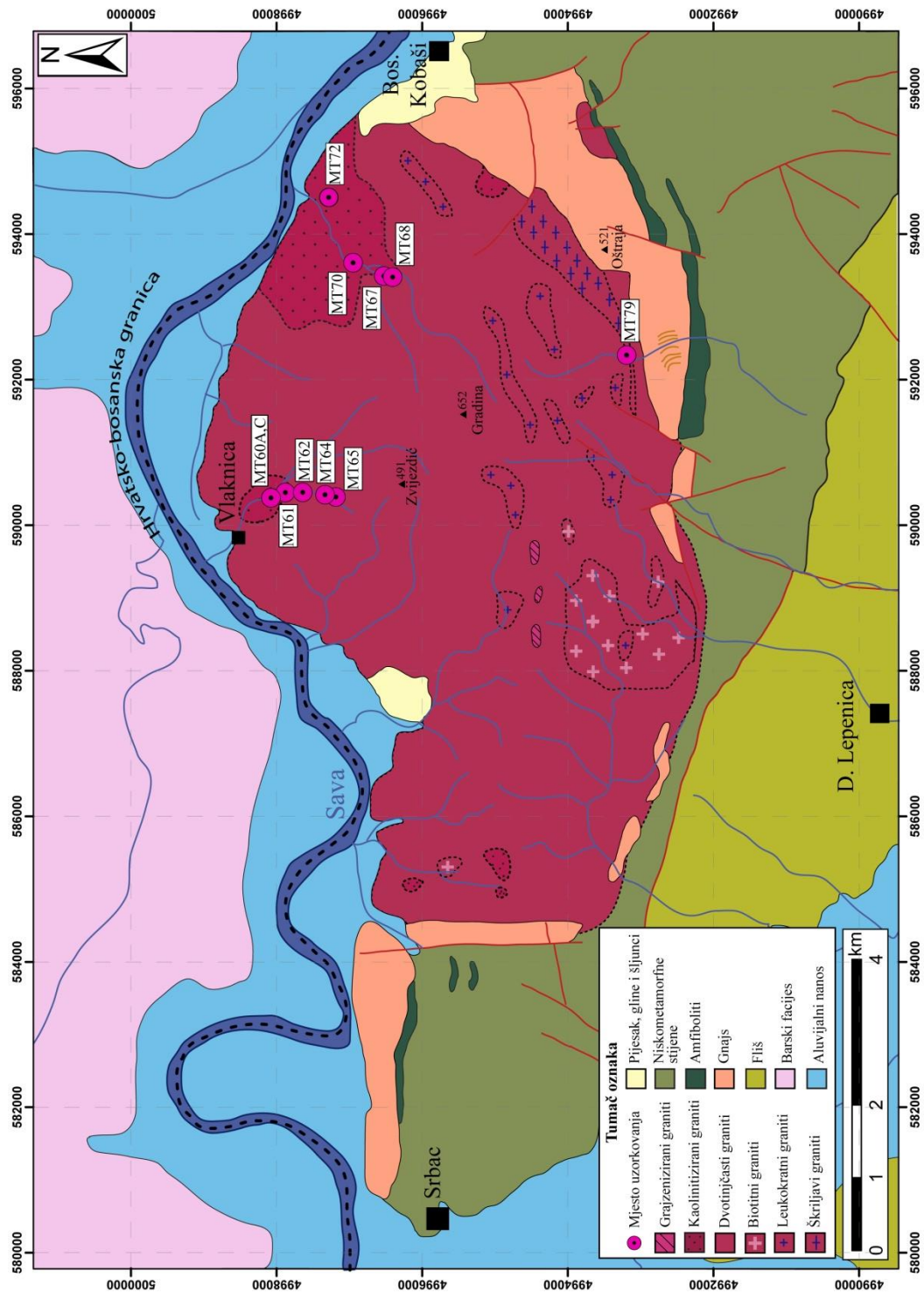
VARIČAK (1966) u svom radu opisuje postojanje 6 tipova granita na području plutona Motajice, a to su graniti "zamrznutih rubova", "normalni" graniti, leukokratni graniti, aplitoidni graniti, grajzenizirani graniti i kaolinitizirani graniti.

- Najzastupljeniji tip granita koji obuhvaća 75% granitoidnog plutona je "**normalni**" **dvotinjčasti granit**. Kao glavni minerali u ovoj masivnoj, sitnozrnatoj stijeni sive boje su kvarc, feldspat, muskovit i biotit. U ovom tipu granita 30 % sastava stijene su feldspati koji su najčešće sericitizirani i kaolinitizirani, 35% čini kvarc (VARIČAK, 1966).
- **Granit "zamrznutih rubova"** kao glavnu mineralnu fazu sadrži kvarc, feldspat i biotit. Sadržaj kvarca je 30-40% sastava stijene dok sericitizirani i kaolinitizirani feldspati čine oko 10–20%. Ova stijena je masivna, izrazito sitnozrnata i sive boje (VARIČAK, 1966).
- **Leukokratni granit** je stijena izgrađena od kvarca, feldspata i muskovita. Kvarc čini 30-40% stijene (VARIČAK, 1966).
- **Aplitoidni granit** je sitnozrnata bijela stijena izgrađena od kvarca, feldspata, muskovita i biotita. Oko 40–50% mineralnog sastava ove stijene čini kvarc, a K–feldspat je u prisutnosti 20% (VARIČAK, 1966).
- **Grajzenitizirani granit** je sitnozrnata bijela stijena s kvarcom, muskovitom i sericitom kao glavnim mineralima. Krupnokristalasti kvarc čini 60–80% ove stijene, a muskovita zajedno sa sericitom ima oko 10–30% (VARIČAK, 1966).
- **Kaolinitizirani granit** je stijena koja sadrži iznad 5% kaolinita. Ovakav tip granita je najmlađi granitni tip, a njegov nastanak se veže uz površinsko trošenje normalnog, leukokratnog i aplitoidnog granita (VARIČAK, 1966).



Granitnom intruzijom krajem paleogena nastale su **kontakno–metamorfne stijene (kontaktoliti)** kontaktnim metamorfizmom okolnih gornjokrednih fliševa, a nalaze se uz južni i zapadni rub granitog plutona (USTASZEWSKI i sur., 2010).

Periferne dijelove masiva izgrađuju **regionalno–metamorfne** stijene kao što su facijes zelenih škriljavaca, paragnajsevi i amfiboliti (USTASZEWSKI i sur., 2010).



Slika 3.2. Isječak lista Osnovne geološke karte OGK 1 : 100 000 list Nova Kapela, (Šparica i sur., 1972) na kojoj se nalazi planina Motajica s označenim mjestima uzorkovanja kaolinitiziranog granita.

### 3.2. PROSARA

Na sjevernom dijelu Prosare (Slika 3.3.) nađena je sukcesija facijesa zelenih škriljavaca koja se sastoji od metariolita, epidot–amfibolit zelenih škriljavaca, klorit–epidot škriljavaca, albit–biotit škriljavaca, metapješčenjaka, filita te podređeno orotgnajseva i kalcitičnih mramora (USTASZEWSKI i sur., 2010).

Filiti strukturno čine podlogu u osnovi niskometamorfnih škriljavaca i pješčenjaka. Progresivni rast klorita, biotita i bijelog tinjca ukazuje da su postignuti uvjeti srednjeg do gornjeg facijesa zelenog škriljavca, ograničeni na strukturno niže dijelove (USTASZEWSKI i sur., 2010).

Rijetke pojave krupnozrnatih leukratnih granita pokazuju škriljavost konkordantnu s okolnim filitima (ortognajsevima). Sve to ukazuje na niski stupanj metamorfizma granitoida.

Na jugu je nađena nemetamorfna sukcijesija šejlova i pješčenjaka gornjokredne do vjerojatno paleogenske starosti (USTASZEWSKI i sur., 2010).

Eocenski sinkolizijski granitoidi Prosare u obliku dajkova i silova intrudiraju u metamorfni slijed. Na temelju cirkona i apatita prisutnih u gnajsu Prosare određena je starost od 21 Ma "Fission track" metodom datiranja (USTASZEWSKI i sur., 2010).

PAMIĆ & INJUK (1988) tumače da središnji dio Prosare čine metamorfne stijene nastale naknadnim metamorfizmom krednih i paleogenih sedimenata.

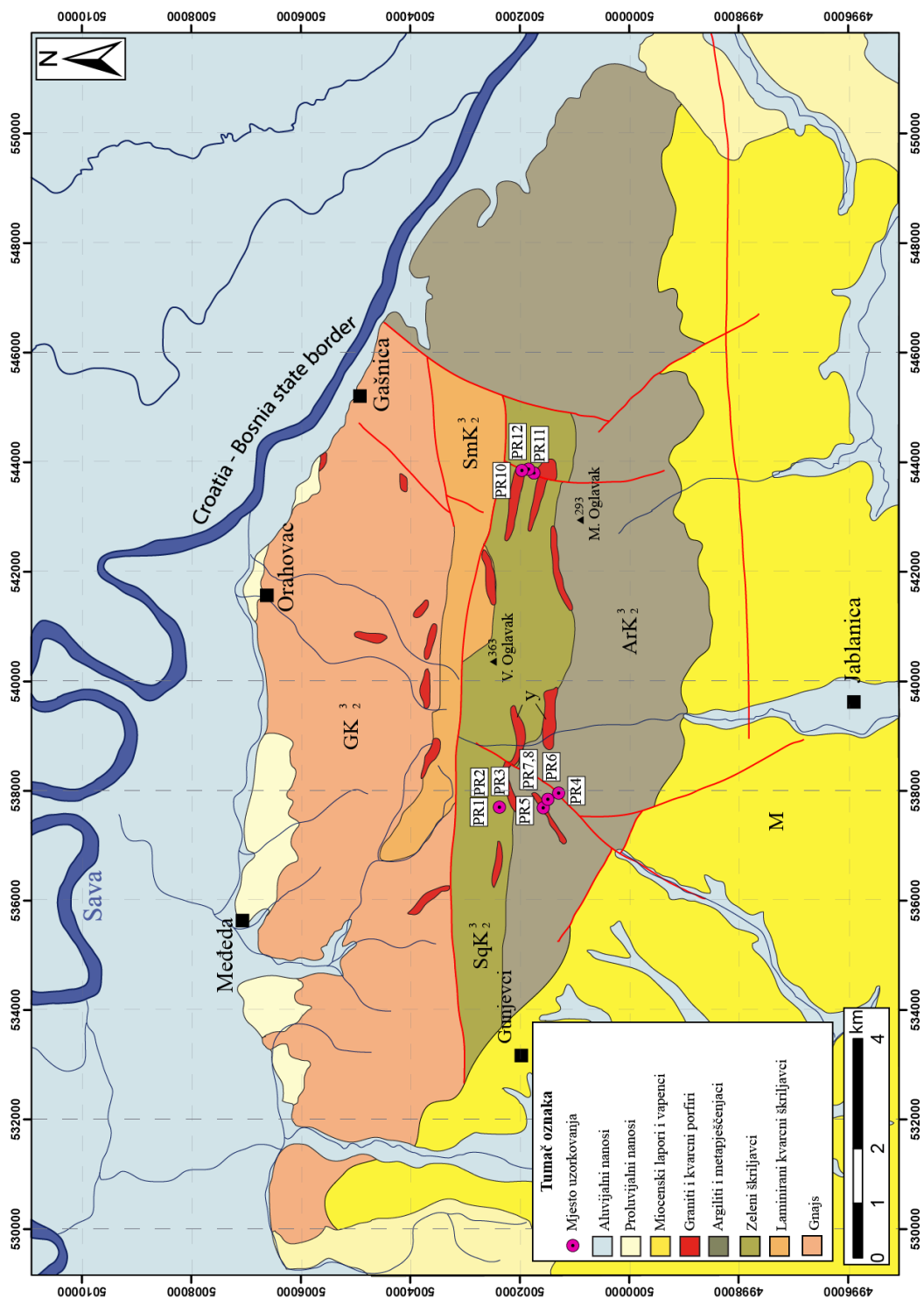
Na Prosari su nađeni brojni granitoidi građeni od alkanih–feldspat granita te sijenita i rijetkih diorita (LANPHERE & PAMIĆ, 1992).

PAMIĆ & BALEN (2001) predlažu da su eocenski sinkolizijski granitoidi povezani s glavnom fazom alpske orogenze. Nađeno je oko 150 dajkova, debljine do 10 m, koji intrudiraju u eocenski metamorfni slijed.

Brojna mala granitoidna tijela, koja su intrudirala u eocenski metamorfni slijed, otkrivena su na Prosari. Postmagmatske promjene uočene na granitoidnim stijenama Prosare su: intenzivna sericitizacija, česta kaolinitizacija, rijetka epidotizacija albita, limonitizacija te ponekad kloritizacija s epidotizacijom. Postoje marginalni učinci kontaktne toplinske metamorfoze okolnih stijena koje karakterizira povećana kristalizacija. U nekim granit–porfirima na Prosari

postoji pojava epidota u obliku žila dimenzija od mm do cm i nepravilnih oblika. Žile su ispunjene sekundarnim epidotom ± kvarcom, ponekad i s albitom (JURKOVIĆ, 2004).

Motajica i Prosara su dijelovi istog kompleksa metamorfnog kompleksa koji je odvojen normalnim rasjedom. Prosara, za razliku od Motajice, pokazuje nižu razinu metamorfita. Budući da je u strukturno višem položaju, pretpostavlja se da je intenzivnije erodirana (USTASZEWSKI i sur., 2010).



Slika 3.3. Isječak lista Osnovne geološke karte OGK 1:100.000 list Nova Kapela, (Šparica i sur., 1972) na kojoj se nalazi planina Prosara s označenim mjestima uzorkovanja kaolinitiziranog granita.

#### 4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

PAUL (1872) daje najstarije podatke o masivu Motajice kao prvi geolog koji je stupio na njeno tlo. Prvi je uočio da su sjeverne padine masiva rasprostranjene na području Bosanskog Kobaša izrađene od gnajsa.

MOJSISOWICZ i suradnici (1880) na temelju istraživanja osnovnih stratigrafskih, tektonskih i petroloških karakteristika navode da Motajica pripada zasebnoj tektonskoj jedinici bosansko–hercegovačkih planina. Nagovještavaju i postojanje izvjesnih poveznica Motajice i Sljemena na temelju geotektonskog položaja i stratigrafskih obilježja. Navode granit kao jezgru planine te ga opisuju kao masivnu stijenu mjestimice ispresjecanu kvarcnim žilama, koja kao glavne minerale sadrži raspadnuti otoklas, kvarc, muskovit i ponekad biotit. U svome radu daju i informacije o eksploataciji motajičkog granita.

PILAR (1882) na temelju ranije determinirane mineralne faze motajičkog granita utvrđuje prisutstvo lamelnog plagioklasa, relativno obilno zastupljenog apatita i rijetkog magnetita u granitu. KOCH (1889), kao autor prvog mineraloškog rada o masivu Motajice spominje postojanje amfibolitski škriljavaca na Motajici. Detaljno opisuje motajički beril i pegmatite kao njihove stijene domaćine. KATZER (1903) dovodi u vezu motajičke paleozojske filitoidne škriljavce s onim na području Drine te upozorava na problem njihove korelacije s predstavnicima starih škriljavaca Slavonije.

KOCH (1908) u svom posljednjem istraživačkom radu opisuje nekoliko varijeteta granita isto tako i metamorfita. Otkriva i opisuje dotad nepoznate sastojke kod granita, a to su mikroklin, turmalin, epidot, hematit, cirkon, granat i rutil. Kao metamorfite determinira gnajseve, amfibolitske, tinjčaste i aktinolitske škriljavce te filit.

KATZER (1910; 1912) je istražujući Motajicu izvršio modifikaciju ranijih istraživanja te dao temelj za rješavanje problema starosti i porijekla metamorfita. Ukazujući da su njihovi primarni materijali razni sedimenti i eruptivi predkarbonske do najviše karbonske starosti. Uspoređuje metamorfite i granitoidni pluton te utvrđuje njihovu konkordanciju. Prvi put su uočeni granit porfiri i apliti te je opisan granit s visokim stupnjem kaolinitizacije.

ILIĆ (1953) i STANGAĆILOVIĆ (1956) na temelju mineraloških i kemijskih ispitivanja utvrđuju da kvarc, ortoklas, plagioklas, kaolinit i illit te podređeno biotit, sericit i magnetit predstavljaju mineralne faze kaolinitiziranog granita Motajice.

VARIĆAK (1957) je determinirao razne škriljavce koji grade Prosaru, smatrajući ih regionalno metamorfoziranim stijenama nastalih iz pelitno-psamitskog protolita ispod uvjeta facijesa zelenog škriljavca i niskog amfibolitnog facijesa. BARIĆ (1960) u svom radu opisuje novu formu berila koristeći motajički beril iz pegmatita. NIKOLIĆ (1962) je ustanovio da je berilska mineralizacija na Motajici pretežito pegmatitsko-metasomatskog tipa. DELEON (1963) na temelju deformacije kristalne ćelije cirkona određuje apsolutnu starost granita Motajice. Dobivena starost je oko 9 milijuna godina, ali se dobiveni rezultat uzima s rezervom.

PAMIĆ i JELASKA (1975) ističu postupni metamorfizam krednih vulkano-sedimentnih serija na južnim padinama Motajice. PAMIĆ (1975) u svome radu tvrdi da su metamorfizmom sedimenata gornje krede nastali metamorfiti Motajice. Postoje i teorije kako metamorfne stijene na Prosari imaju porijeklo iz sedimenata gornje krede i paleogena.

KARAMTA (1976) je ukazao na razlike dublje razine erozije Motajičkog granitnog plutona u usporedbi s vrlo plitkom razinom erozije na Prosari.

ŠPARICA i suradnici (1984) su utvrdili da su magmatske stijene Prosare kvarc-porfiri i granit-porfiri nastali za vrijeme Alpske orogeneze. Metamorfne stijene Prosare su kao i na susjednoj Motajici produkti metamorfizma okolnih sedimenata gornje krede i paleogena.

PAMIĆ I INJUK (1988) tumače kako srednji dio Prosare čine razne metamorfne stijene nastale naknadnom metamorfozom sedimenata gornje krede i paleogena.

PAMIĆ I PROHIĆ (1989) dali su dokaz postupne promjene motajičkih gornjokrednih sedimenata pod metamorfnim PT uvjetima vrlo niskog i niskog stupnja.

PAMIĆ I LANPHERE (1991 i 1992) objavili su starost granitoida Motajice i Prosare datiranu pomoću Rb-Sr metode iz tri granitna uzorka. Dobivena starost je  $48,7 \pm 1,5$  milijuna godina, dok je starost biotita 18,1 milijuna godina te to može ukazivati razdoblje hlađenja intruzije.

PAMIĆ I BALEN (2001.) smatraju da su magmatske stijene Motajice i Prosare eocenski sinkolizijski granitoidi.

JURKOVIĆ (2004) na porijeklo magme ukazuju podatci o paragenezama elemenata pegmatita, migmatita, grajzena i kvarcnih žila te je velika vjerojatnost da je formirana "slabim break-off modelom". Brojna ležišta pegmatita otvorila su se kao posljedica duboke erozije motajičkog granitnog plutona. Osim uobičajenih procesa izmjene uočenih na Prosari

(silicifikacija, sericitizacija, kaolinitizacija, klorizacija, epidotizacija i piritizacija) pronađene su samo male vene i gnijezda izrađena od kvarca, epidota, muskovita i opakih minerala. Potencijalno je moguće da erozija nije djelovala na mali pluton Prosare.

Tijekom erozije motajičkog plutona moguće je da su niskotemperaturne hidrotermalne naslage erodirane. Ostali su samo dijelovi visokotemperaturnih hidrotermalnih kvarcnih pojava, a ima i nekoliko pojava galenita, željeza i bakra koji nemaju ekonomski značaj (JURKOVIĆ, 2004).

Autohtone naslage kaolinita na Motajici, u prosjeku 13,4%, predstavljaju vrijednu industrijsku sirovinu. Podrijetlo naslaga je posljedica kaolinitizacije svih tipova motajičkih granitoida tijekom kasnog neogena (JURKOVIĆ, 2004).

KRENN i suradnici (2008) metodom datiranja Th–U–Pb uz pomoć monacita iz metapelita amfibolitnog facijesa Motajice uspjeli su odrediti starost od  $63 \pm 9$  mil. god.

USTASZEWSKI i suradnici (2010) definiraju Savsku zonu sjevernih Dinarida kao suturnu granicu između Jadranske i Europske ploče te sadrži kasnokredne ostatke Melliaata-Vardar oceana. Sava zona je nastala uslijed zatvaranja Melliaata-Vardar oceana između Jadranske ploče i tektonskog mega-bloka Tisza koji je dio Euroazijske ploče, pri čemu se Jadranska ploča podvlačila pod Tiszu. Starost motajičkog granita dobivena je "Fission track" metodom datiranja zatim je modelirana na 27 milijuna godina. Apatiti i cirkoni su mlađi, starosti između 21 i 14 milijuna godina te ukazuju na ekshumaciju i hlađenje do facijesa zelenih škriljavaca. Facijesi zelenog škriljavca Prosare sadrže cirkone datirane na 21 milijuna godina, a zajedno sa strukturnim značajkama ukazuju da je hlađenje koje je utjecalo na Prosaru vjerojatno započelo između 25 i 21 milijuna godina.



## 5. TERENSKA ISTRAŽIVANJA

U sklopu istraživanja kaolinitiziranih granita, uzeti su uzorci (MT60A, MT60C, MT61, MT62, MT64, MT65, MT67, MT68, MT70, MT72A, MT79) (Tablica 5.1.) na planinskom masivu Motajica, nedaleko od općine Srbac te uzorak kaolinitiziranog granita PR5 na planini Prosara koja najvećim dijelom pripada općini Kozarska Dubica. Na Prosari je uzeto sveukupno 12 uzoraka, ali samo je jedan determiniran kao kaolinitizirani granit.

Tablica 5.1. Popis uzoraka i provedene metode. \*

UZORAK	STIJENA	METODE
PR5	kaolinitizirani granit	XRD, EG, 350 °C, 550 °C, DMSO
MT60A	kaolinitizirani granit	XRD
MT60C	kaolinitizirani granit	XRD
MT61	kaolinitizirani granit	XRD
MT62	kaolinitizirani granit	XRD
MT64	kaolinitizirani granit	XRD, EG, 350 °C, 550 °C, DMSO
MT65	kaolinitizirani granit	XRD
MT67	kaolinitizirani granit	XRD
MT68	kaolinitizirani granit	XRD, EG, 350 °C, 550 °C, DMSO
MT70	kaolinitizirani granit	XRD
MT79	kaolinitizirani granit	XRD, EG, 350 °C, 550 °C, DMSO
MT72A	kaolinitizirani pegmatit	XRD, EG, 350 °C, 550 °C, DMSO

\* oznaka „XRD“ označava metodu rendgenske difrakcije, oznaka „EG“ označava da je uzorak tretiran etilenglikolom, „DMSO“ da je uzorak tretiran dimetilsulfoksidom, oznaka „350 °C“ označava da je uzorak žaren na 350 °C, a oznaka „550 °C“ da je uzorak žaren na 550 °C.

## 5.1. OPIS UZORAKA

Uzorci su uzimani na područjima gdje se najbolje vidjela svježa stijena, u vodotocima ili zasjecima (Slika 5.1.). Uzorci su stavljeni u plastične vrećice, voodotpornim markerom označen je terenski broj te napisan kratki opis stijene.



*Slika 5.1. Snimak odabira najpovoljnije lokacije za uzorkovanje kaolinitiziranog granita na Motajici (uzorci MT67 i MT68).*

### 5.1.2. OPIS UZORAKA MOTAJICE

Makroskopski sastav svakog uzorka pojedinačno prikazan je u tablici 5.1.

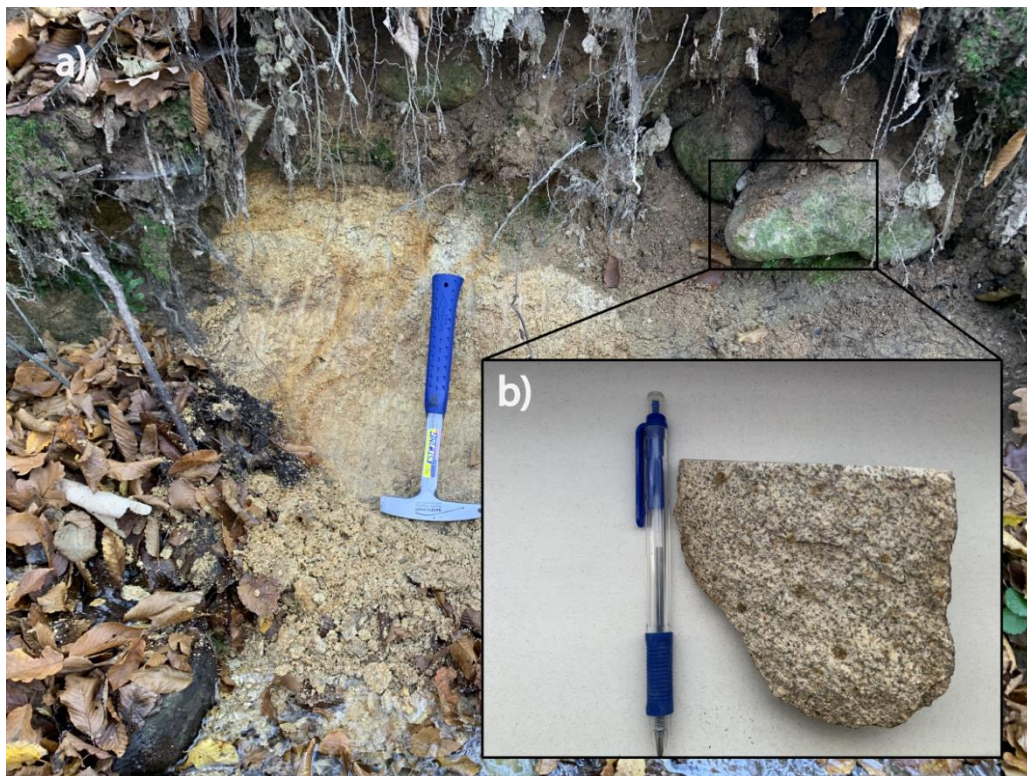
Tablica 5.2. Popis uzoraka s mineralnim sastavom. \*

UZORAK	Qzt	Muskovit	Biotit	Feldspat	Kaolinit
MT60A	+	+	+	+	?
MT60C	+	+	+	+	+
MT61	+	?	+	+	+
MT62	+	?	+	+	?
MT64	+	?	?	?	+
MT65	+	?	?	?	+
MT67	+	-	+	+	+
MT68	+	?	?	?	+
MT70	+	+	+	+	+
MT79	+	?	?	+	+
MT72A	+	+	+	+	+

\* znak „+“ označava da je mineral sa sigurnošću prisutan u uzorku, znak „-“ da mineral nije prisutan u uzorku, a znak „?“ označava da se prisutnost minerala ne može sa sigurnošću utvrditi.

Nizak stupanj kaolinitizacije odnosi se na svježe stijene koje sadrže 10–30 % minerala glina, pretpostavljeno kaolinita. Takve stijene nisu jako trošne i imaju veću mehaničku čvrstoću. Srednji stupanj kaolinitizacije odnosi se na stijene koje sadrže 30–60 % minerala glina te je vidljiva dezintegracija zrna. Visoki stupanj kaolinitizacije odnosi se na stijene s najmanjom mehaničkom čvrstoćom i najizraženijom dezintegracijom zrna kao posljedica velikog udjela minerala glina > 60 %.

Uzorak MT60A (Slika 5.2.) građen je od kvarca, feldspata i tinjaca. Tekstura stijene je homogena. Zrna kvarca su veličine 2 do 3 mm, dok su zrna feldspata nešto manja otprilike 1 do 2 mm. Između kvarca i feldspata nalaze se tinjci, čija veličina je otprilike 1 mm. Oblici zrna minerala su alotriomorfni do hipidiomorfni. Udio pojedinih zrna u uzorku: feldspati (50 vol.%), kvarc (30 vol.%) i tinjci (20 vol.%). Stupanj kaolinitizacije je nizak. Stijenu determiniramo kao kaolinitizirani granit.



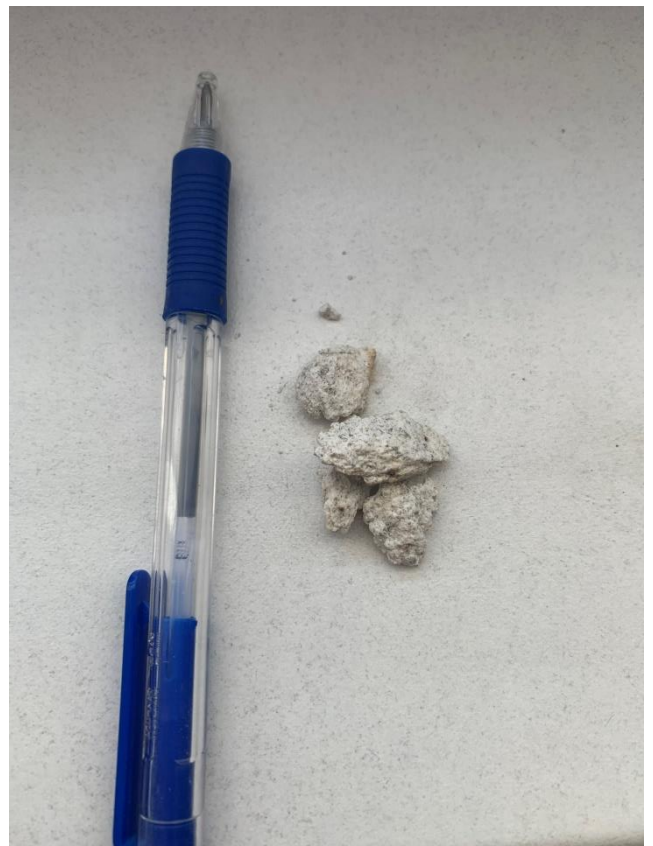
*Slika 5.2. a) Snimak terena s označenom lokacijom uzorkovanja b) Fotografija uzorka MT60A*

Uzorak MT60C (Slika 5.3.) homogene je tekture, svijetlosive boje te se uočavaju trošeni feldspati, kvarc, tamni listići biotita i muskovita te minerali glina, pretpostavljeno kaolinit. Stijena pokazuje srednji stupanj kaolinitizacije, zbog čega je teže odrediti udio pojedinih minerala i veličinu zrna. Udio feldspata je najveći, zatim slijedi kvarc pa tinjci. Ova stijena je determinirana kao kaolinitizirani granit.



*Slika 5.3. a) Snimak terena s označenom lokacijom uzorkovanja b) Fotografija uzorka MT60C*

Makroskopskim pregledom uzoraka MT61 (Slika 5.4.) i MT62 (Slika 5.5.) utvrđeno je da uzorci imaju homogenu teksturu i boja im je svijetlosiva. Oba uzorka dominantno se sastoje od zrna kvarca i feldspata, čija je veličina oko 2 mm, a podređeno od listića tinjaca veličine 1 mm. Zrna u uzorku pretežito su alotriomornog oblika. Visoki stupanj kaolinitizacije vidljiv je u uzorku MT61, dok je uzorak MT62 srednje kaolinitiziran. Obje stijene su determinirane kao kaolinitizirani granit, a udio pojedinih zrna u uzorku teško je odrediti.



*Slika 5.4. Fotografije uzorka MT61*

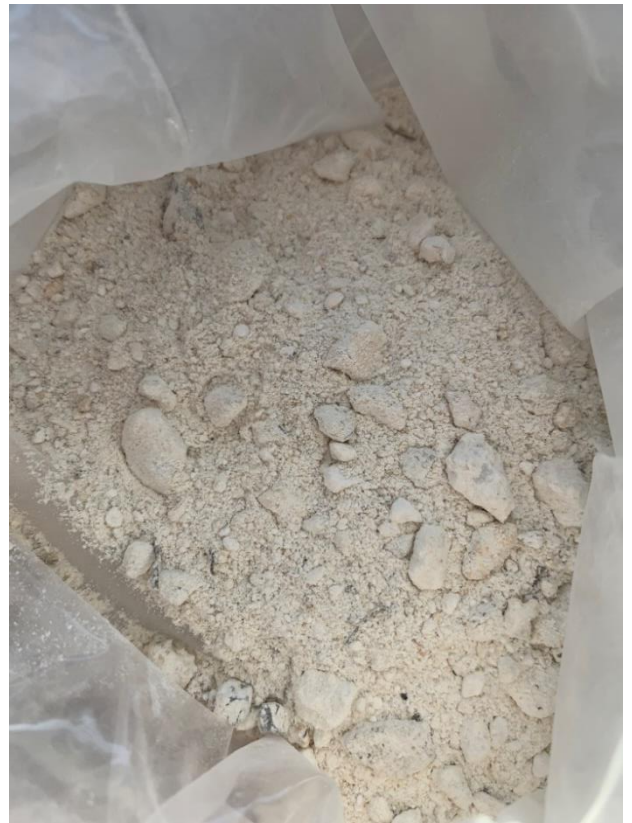


*Slika 5.5. Fotografije uzorka MT62*

Uzorak MT64 (Slika 5.6.) je svijetlosmeđe boje, dok je uzorak MT65 (Slika 5.7.) svijetlosive. Homogena tekstura karakteristična je za oba uzorka. Izrazit stupanj kaolinitizacije prisutan je i u jednom i drugom uzorku. Zbog toga se sa sigurnošću jedino potvrđuje kvarc. Udio pojedinog minerala u uzorku ne može se točno definirati, ali pretpostavlja se da je udio kaolinita u uzorcima značajan. Stijena je determinirana kao kaolinitizirani granit.



*Slika 5.6. Fotografije uzorka MT64*



*Slika 5.7. Fotografije uzorka MT65*



Uzorak MT67 (Slika 5.8.c) ima homogenu teksturu, a boja mu je siva do svijetlosmeđa. Vidljiva su zrna kvarca alotriomornog oblika dimenzija 2 do 3 mm, listići crnog biotita veličine 1 do 2 mm te zrna feldspata veličine oko 2 mm. Uočava se i pojava čestica minerala glina, pretpostavljeno kaolinita. Udio pojedinih zrna u uzorku: feldspati (60 vol.%), kvarc (30 vol.%) i tinjci (10 vol.%). Izdanak je presječen kvarcnom žilom s limonitiziranim sulfidima. Stijena je determinirana kao kaolinitizirani granit, iako je intenzitet kaolinitizacije slabiji.

Uzorak MT68 (Slika 5.8.b) svijetlosive je boje i homogene teksture. Vidljiv je kvarc, tinjci, trošeni feldspati i minerali glina, koji odgovaraju najvjerojatnije kaolinitu. Na izdanku su vidljive manje hidrotermalne žilice sa sulfidima. Udio pojedinih minerala, kao i veličinu zrna teško je odrediti zbog vrlo visokog stupnja kaolinitizacije. Stijena odgovara kaolinitiziranom granitu.

Makroskopskim pregledom, u uzorku MT70 (Slika 5.9) utvrđeno je postojanje kvarca, feldspata, biotita i muskovita. Zrna kvarca su alotriomornog oblika i veličine 2 do 3 mm, staklasta su i prozirna. Feldspati su veličine zrna 1 do 2 mm, boja im je svijetlosiva te je zaključeno da je riječ o plagioklasima. Tinjci su dimenzija 1 do 2 mm, a oko biotita se pojavljuju alteracije na rubovima zrna, točnije limonitizacija. Udio pojedinih zrna u uzorku: feldspati (60 vol.%), kvarc (30 vol.%) i tinjci (10 vol.%). Prema udjelu mineralnih sastojaka i niskom stupnju kaolinitizacije, stijena je determinirana kao kaolinitizirani granit.

Uzorak MT79 (Slika 5.10.) svijetlosmeđe je boje i homogene teksture. Sastoji se od kvarca i alteriranih feldspata, dok se postojanje tinjaca ne može sa sigurnošću potvrditi. Zbog jako izraženog stupnja kaolinitizacije, stijena je determinirana kao kaolinitizirani granit.

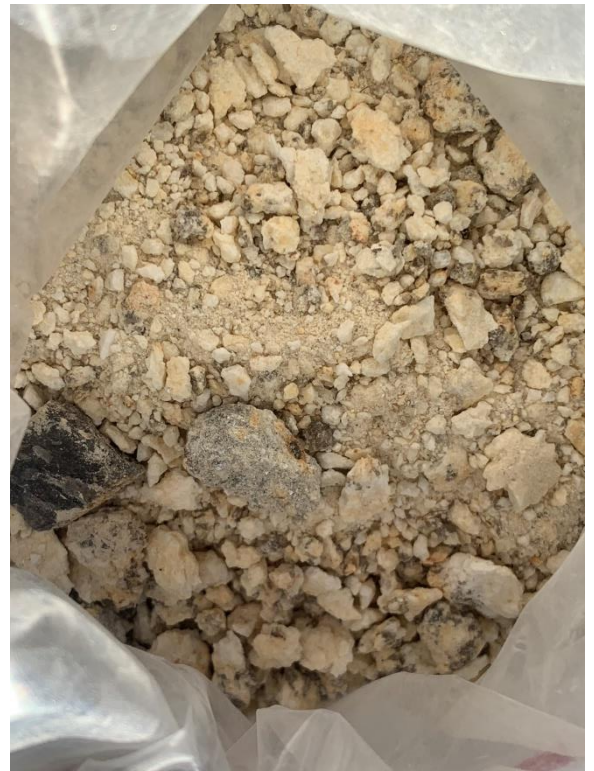
U uzorku MT72A (Slika 5.11.) determinirani su kvarc, biotit, muskovit, trošeni feldspati i kaolinit. Boja uzorka je svijetlosiva, a tekstura je homogena. Zrna kvarca, tinjaca i feldspata su alotriomornog oblika, dimenzije kvarca su oko 2 do 3 mm, dok su tinjci i feldspati 1 do 2 mm. Udio pojedinih minerala teže je odrediti zbog trošnosti, ali prema manjim odlomcima utvrđeno je 60 vol.% feldspata, 30 vol.% kvarca i 10 vol.% tinjaca. Makroskopskim pregledom uočena je i hidrotermalna kvarcna žilica ispunjena muskovitom i sulfidima. Na temelju mineralnog sastava i srednjeg stupnja kaolinitizacije stijena je determinirana kao kaolinitizirani pegmatit.



*Slika 5.8. a) Snimak terena s označenim lokacijama uzorkovanja b) Fotografija uzorka MT68 c) Fotografija uzorka MT67*



*Slika 5.9. Fotografije uzorka MT70*



*Slika 5.10. Fotografije uzorka MT79*



*Slika 5.11. Fotografije uzorka MT72A*

### 5.1.2. OPIS UZORAKA PROSARE

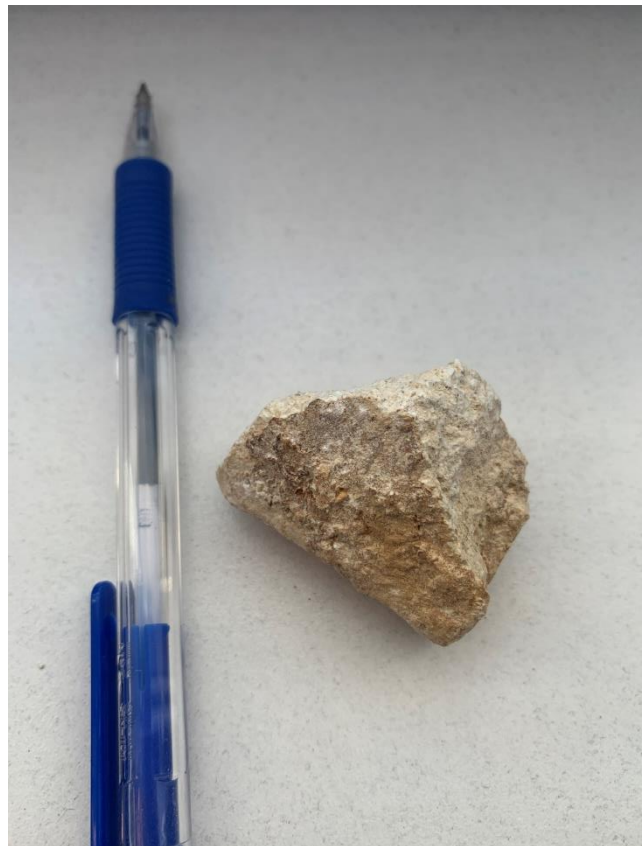
Uzorak stijene PR5 (Slika 5.12.) ima homogenu teksturu te je svijetlosive do svijetložute boje. Makroskopski se može odrediti da stijena sadrži kvarc, feldspate i pretpostavljeno kaolinit te muskovit i biotit koji se ne mogu sa sigurnošću odrediti. Kvarc je staklast i poluproziran, a veličina zrna ne prelazi 3 mm. Zrna kvarca i feldspata su većinom alotriomorfno oblika. Trošnost stijena otežava odredbu pojedinih udjela minerala u uzorku. Određen je srednji stupanj kaolinitizacije u uzorku, a stijena je determinirana kao kaolinitizirani granit.

Makroskopski sastav uzorka PR5 prikazan je u tablici 5.2.

*Tablica 5.3. Prikaz mineralnog sastava uzorka uzetog na Prosari. \**

UZORAK	Qzt	Muskovit	Biotit	Feldspat	Kaolinit
PR5	+	?	?	+	+

\* znak „+“ označava da je mineral sa sigurnošću prisutan u uzorku, a znak „?“ označava da prisutnost minerala ne može sa sigurnošću utvrditi.



*Slika 5.12. Fotografije uzorka PR5.*

## 6. METODE ISTRAŽIVANJA

Za izradu ovog diplomskog rada na uzorcima kaolinitiziranog granita provedena je rendgenska difrakcijska analiza cijelog uzorka, prema čijim se rezultatima dobio mineralni sastav uzoraka i odredilo uzorke za daljnju obradu u svrhu određivanja minerala glina.

### 6.1. METODA RENDGENSKE DIFRAKCIJE

Uzorke su pripremljeni na način da su ostavljeni da se osuše, zatim su samljeveni u ahatnom tarioniku u prah.

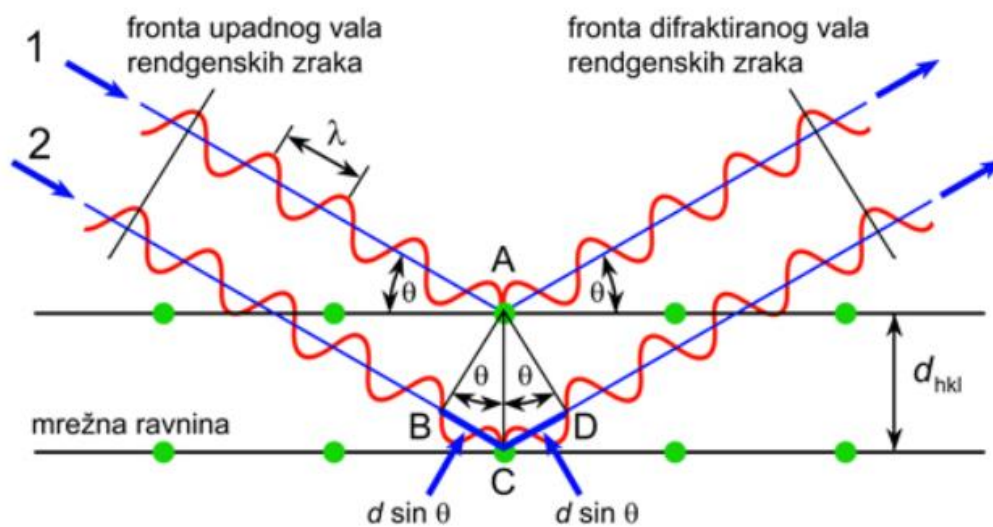
Za određivanje minerala korišten je rendgenski difraktometar Empyrean te su sve analize provedene u Zavodu za mineralogiju, petrografiju i mineralne sirovine Rudarsko–geološko–naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (Slika 6.1.). Napon i jakost struje za stvaranje rendgenskih zraka iznosili su 45kV i 40 mA. Dobiveni rendgenogrami analizirani su pomoću XPert MPD difraktometra. Određivan je mineralni sastav cjelokupnog uzorka, isto tako i sastav glinovite frakcije.



*Slika 6.1. Rendgenski difraktometar Empyrean (URL5)*

Metoda rendgenske difrakcije predstavlja jednu od osnovnih metoda u istraživanju mineralnog sastava, a osobito za analizu minerala glina. Primarni snop rendgenskih zraka, emitiran iz izvora zračenja, pada na uzorak, difraktira se na uzorku i detektira na brojaču. Ispod brojača smješten je grafitni monokromator koji omogućava da se u brojaču propušta samo  $K\alpha$  zračenje. Time se pokušava smanjiti pojava „šuma“ na difrakcijskoj slici. Svaka kristalna tvar ima niz karakterističnih međumrežnih razmaka ( $d$ ) i pripadajućih intenziteta ( $I$ ), tj. imaju svoju difrakcijsku sliku praha. Difrakcijske slike uspoređuju se sa difrakcijskim slikama pojedinačnog standardnog uzorka (SLOVENEK, 2014).

Braggov zakon (Slika 6.2.) objašnjava da do refleksa na nekom skupu mrežnih ravnina s međumrežnim razmakom  $d$  dolazi uz onaj kut  $\theta$  za koji je razlika u hodu između zraka reflektiranih s dviju susjednih ravnina jednaka cijelom broju valnih duljina, odnosno  $2d\sin\theta = n\lambda$ , gdje je  $n$  cijeli prirodni broj. Različite mrežne ravnine i međumrežni razmaci daju difrakcijski maksimum pri različitim kutevima  $\theta$ . Samim time, uzorak se mora zakretati do položaja u kojem je zadovoljen Braggov zakon (SLOVENEK, 2014).



Slika 6.2. Braggov zakon (URL6)

Ovisnost intenziteta zračenja o kutu  $\theta$ , odnosno rezultat snimanja difraktometrom je difraktogram. Kako je intenzitet zračenja karakterističan za svaku kristaliziranu tvar, služi nam za određivanje ispitivanih tvari i određivanje drugih strukturnih parametara. Nepoznate tvari određuju se uspoređivanjem dobivenih difraktograma s difraktogramima poznatih tvari (SLOVENEK, 2014).

Na temelju praha uzoraka snimljene su difrakcijske slike u području od 2 do 70° (2 $\theta$ ).

Nakon dobivenih difraktograma svih uzoraka, uzorci MT64, MT68, MT72A, MT79 i PR5 snimljeni su ponovno nakon tretmana etilenglikolom (Slika 6.3.), žarenja na 350 °C i 550 °C (Slika 6.4.) te tretmana DMSO metodom.



*Slika 6.3. Tretiranje uzoraka etilen glikolom (EG)*



*Slika 6.4. Žarenje uzoraka na 350 °C i 550 °C*

### **6.1.1. METODA TRETIRANJA UZORAKA ETILENGLIKOLOM**

Za kvalitativnu analizu minerala glina najbolja metoda je rendgenska difrakcija praha. S obzirom da različiti minerali glina daju slične difraktograme, uzorci se u svrhu dobivanja preciznijih rezultata tretiraju etilenglikolom. Kao posljedica tretiranja uzoraka na ovaj način, dolazi do razlike u međuslojnoj udaljenosti ili raspada struktura što se jasno uočava na difraktogramima nakon obrade. Takve promjene olakšavaju raspoznavanje minerala glina u uzorku.

Obrada uzoraka etilenglikolom naziva se još i glikolacija. Može se koristiti i glicerini, ali uobičajena obrada je s etilenglikolom. Kod nekih minerala glina postupak tretiranja



etilenglikolom pomaže pri identifikaciji jer se razlikuju difraktogrami prije i poslije tretiranja, odnosno dolazi do pomaka intenziteta reflektiranog zračenja pri određenom kutu upada.

Postoje dvije metode obrade etilenglikolom, prva je obrada parom, a druga metoda se naziva brza metoda. Prilikom obrade parom, na dno eksikatora ulije se etilenglikol na oko 1 cm od dna, a uzorci se postavu u eksikator na postolje. Zatim se eksikator prenosi u sušionik i tamo se zagrijava do 60–70 °C na oko 4 sata. Kod brze metode tretiranja etilenglikolom, na površinu uzorka gline pomoću staklenog štapića se nanese kap etilenglikola i po potrebi razmaže. Čim je glina upila kapljevitu fazu etilenglikola, uzorci su spremni za analizu. Kapljicu je potrebno nanijeti desetak minuta prije same analize. Nakon upijanja uzorak se prebacuje u nosač uzorka i zatim se uz pomoć difraktometra započinje analiza. Uočene promjene u položaju i intenzitetu difrakcijskih maksimuma ukazuju na promjene u strukturi gline (MILEUSNIĆ, 2007).

Za potrebu ovog rada primjenjivana je brzua metoda tretiranja etilenglikolom. Na osušene uzorke stavljena je kapljica etilenglikola te su formirane kuglice, koje su stavljene na analizu.

### **6.1.2. TERMIČKA METODA TRETIRANJA UZORAKA**

Promjene u položaju i intenzitetu difrakcijskih maksimuma u strukturama minerala glina također su vidljive i nakon termičke obrade uzoraka. Uzorci su obrađeni pri temperaturama od 350 °C i 550 °C tijekom 2 sata u laboratorijskoj peći. Zatim je ponovljena rendgenska difrakcijska analiza (MILEUSNIĆ, 2007).

Zagrijavanjem na vrlo visoke temperature dolazi do fizikalnih i mehaničkih promjena u svojstvima gline te samim time i u strukturi što uvelike pomaže pri identifikaciji minerala gline. Termičkom obradom dolazi do promjene strukture ili moguće potpunog uništenja kristalne strukture uslijed dehidracije, ovisno o temperaturi minerala gline. Za ovu metodu analize potrebna je peć za žarenje unutar koje se postavu uzorci (MILEUSNIĆ, 2007).

U ovome radu peć je zagrijana na 350 °C, uzorci su žareni najmanje pola sata te nakon toga je slijedila analiza rendgenskom difrakcijom. Postupak je ponovljen na temperaturi od 550 °C.

### **6.1.3. METODA TRETIRANJA UZORAKA DIMETIL-SULFOKSIDOM (DMSO)**

Uzorci tretirani kalijem stavljaju se u petrijevu zdjelicu na fiterpapir natopljen s dimetilsulfoksidom (DMSO). Zdjelica se dobro obloži aluminijskom folijom i ostavi se 48 sati na 70 °C. Ova metoda analize je jako bitna budući da se pomoću nje potvrđuje prisutstvo kaolinita (MILEUSNIĆ, 2007), a to je i primarni cilj ovog rada.

## 7. REZULTATI

### 7.1. MINERALOŠKI SASTAV KAOLINITIZIRANIH GRANITA

#### 7.1.1. MOTAJICA

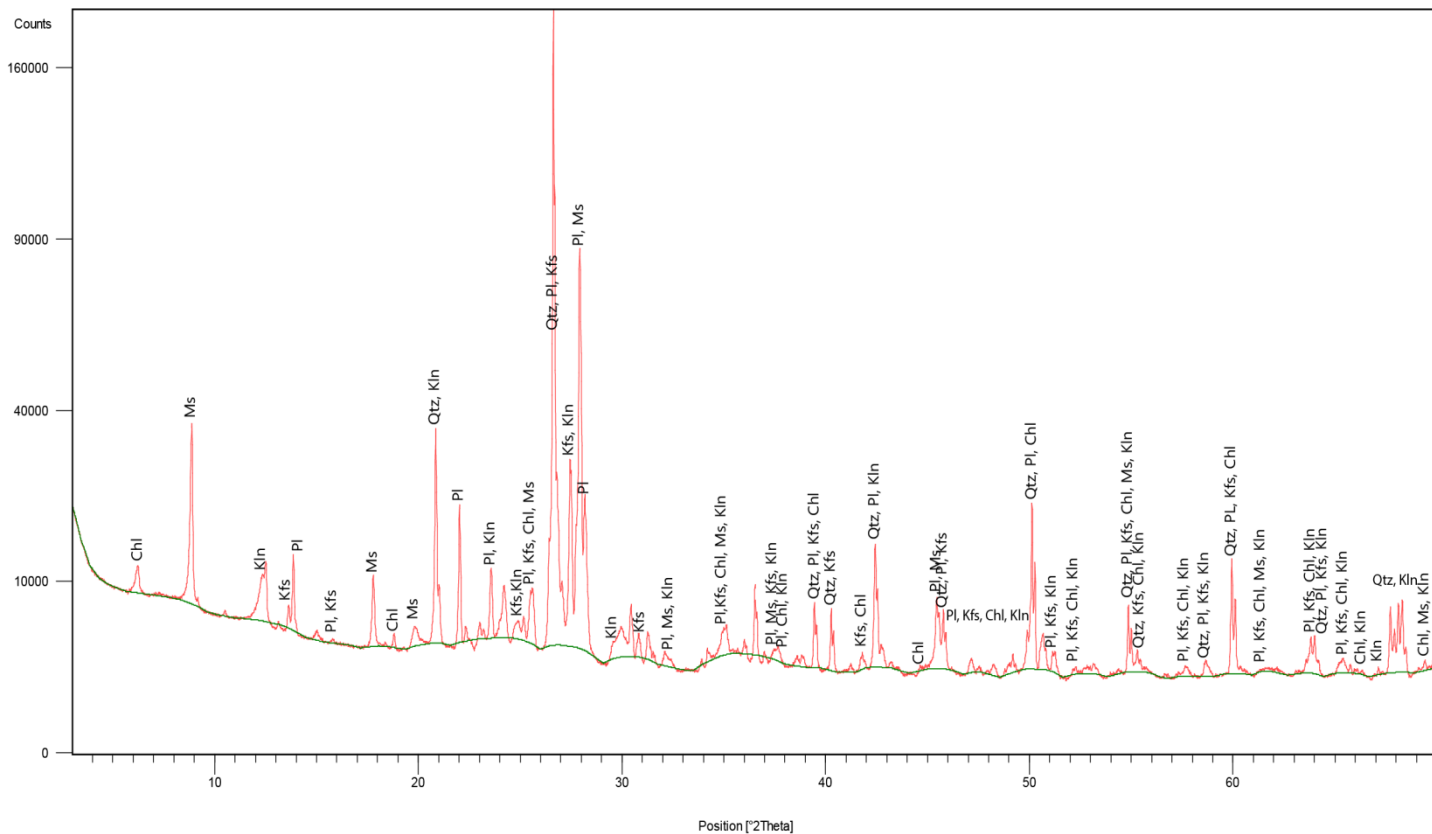
XRD analizom uzorka MT64, MT68, MT79 i MT72A na temelju rendgenograma (Slika 7.1. do 7.5.) zaključeno je da su svim uzorcima prisutne sljedeće mineralne faze: kvarc, muskovit, K-feldspat, plagioklas i kaolinit. Dijaspor je prisutan u uzorku MT72A i moguće u uzorku MT68, isto tako u ova dva uzorka moguća je prisutnost dikita. Topaz je prisutan u uzorku MT79, a moguće i u ostalim uzorcima. Moguće postojanje vermikulita je u uzorku MT79, dok su ostalim uzorcima nije utvrđen.

Kvantitativni i semikvantitativni sastavi mineralnih faza u uzorcima rezultat su rendgenske difrakcijske metode. Na temelju rezultata difrakcijske analize svih netretiranih uzoraka napravljena je tablica okvirnih udjela minerala u uzorcima (Tablica 7.1.)

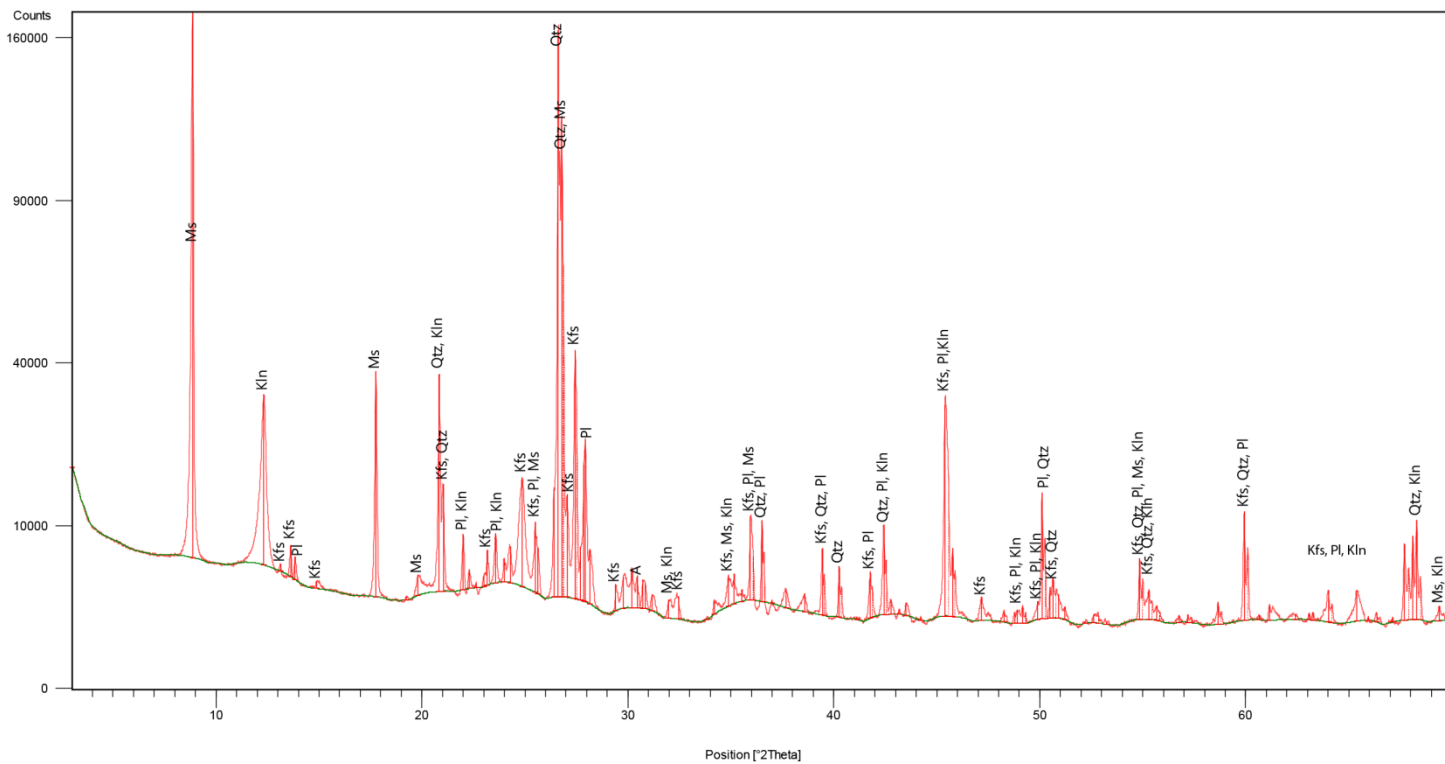
*Tablica 7.1. Mineralni sastav netretiranih uzoraka kaolinitiziranog granita Motajice dobiven metodom rendgenske difrakcije na prahu.\**

UZORAK	KVARC	K-FELDSPATI	PLAGIOKLAS	TINJCI	KAOLINIT	VERMIKULIT	DIASPOR	DICKIT	TOPAZ
MT64	+++	+	++	+	+	-	-	-	?
MT68	+++	+	+/++	++	+	-	?	?	?
MT79	+++	+	++	+	+	?	-	-	+
MT72A	++	+	++	+	+	-	+	?	?

\* znak „+++“ označava puno, znak „++“ srednje, znak „+“ označava malo, znak „?“ označava moguću prisutnost, a znak „-“ nije utvrđen.



Slika 7.1. Difrakcijska slika netretiranog uzorka MT64 (Legenda: Chl-klorit, Ms-muskovit, Kln-kaolinit, Pl-plagioklas, Kfs-K-feldspat, Qtz-kvarc).



Slika 7.2. Difrakcijska slika netretiranog uzorka MT68 (Legenda: Ms-muskovit, Kln-kaolinit, Pl-plagioklas, Kfs-K-feldspat, Qtz-kvarc).





## 7.2. ODREDBA MINERALA GLINA

Uzorci označeni kao netretirani analizirani su nakon sušenja, bez dodatne obrade. Uzorci označeni oznakama žarenje 350°C i 550°C su termički obrađeni u laboratorijskoj peći pri 350°C i 550°C. Uzorci označeni oznakom EG su obrađeni s etilen glikolom, a uzorci označeni s DMSO obrađeni su dimetilsulfoksidom.

### 7.2.1. MOTAJICA

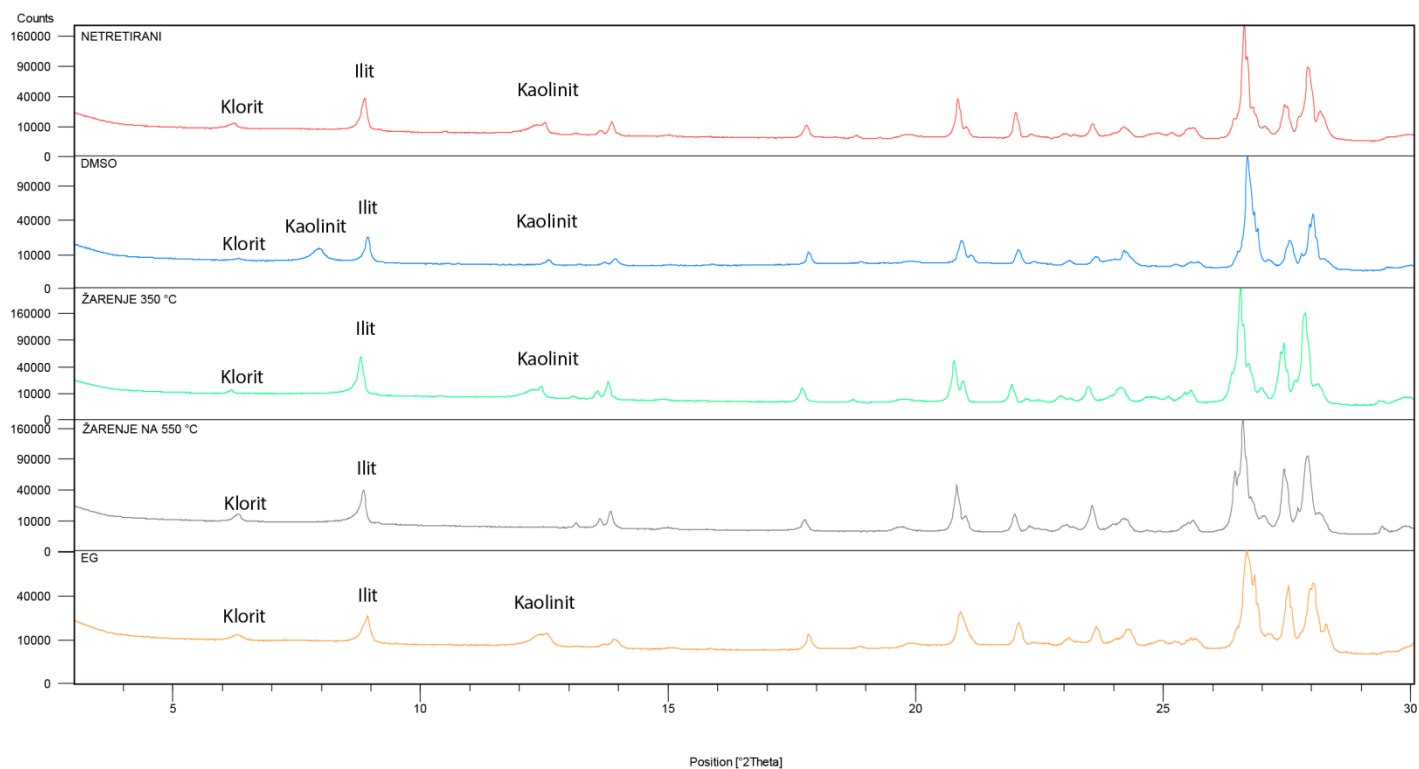
Uzorci označeni kao netretirani analizirani su nakon sušenja, bez dodatne obrade. Uzorci označeni oznakama žarenje 350°C i 550°C su termički obrađeni u laboratorijskoj peći pri 350°C i 550°C. Uzorci označeni oznakom EG su obrađeni s etilen glikolom, a uzorci označeni s DMSO obrađeni su dimetilsulfoksidom.

Difraktogrami tretiranih uzoraka MT64, MT68, MT79 i MT72A prikazani su na slikama od 7.6. do 7.9. Difrakcijski maksimum najjačeg intenziteta u svim uzorcima potječe od illita, kojem je pik na 10 Å. Sljedeći po intenzitetu difrakcijskog maksimuma je pik na 7 Å, koji odgovara kaolinitu.

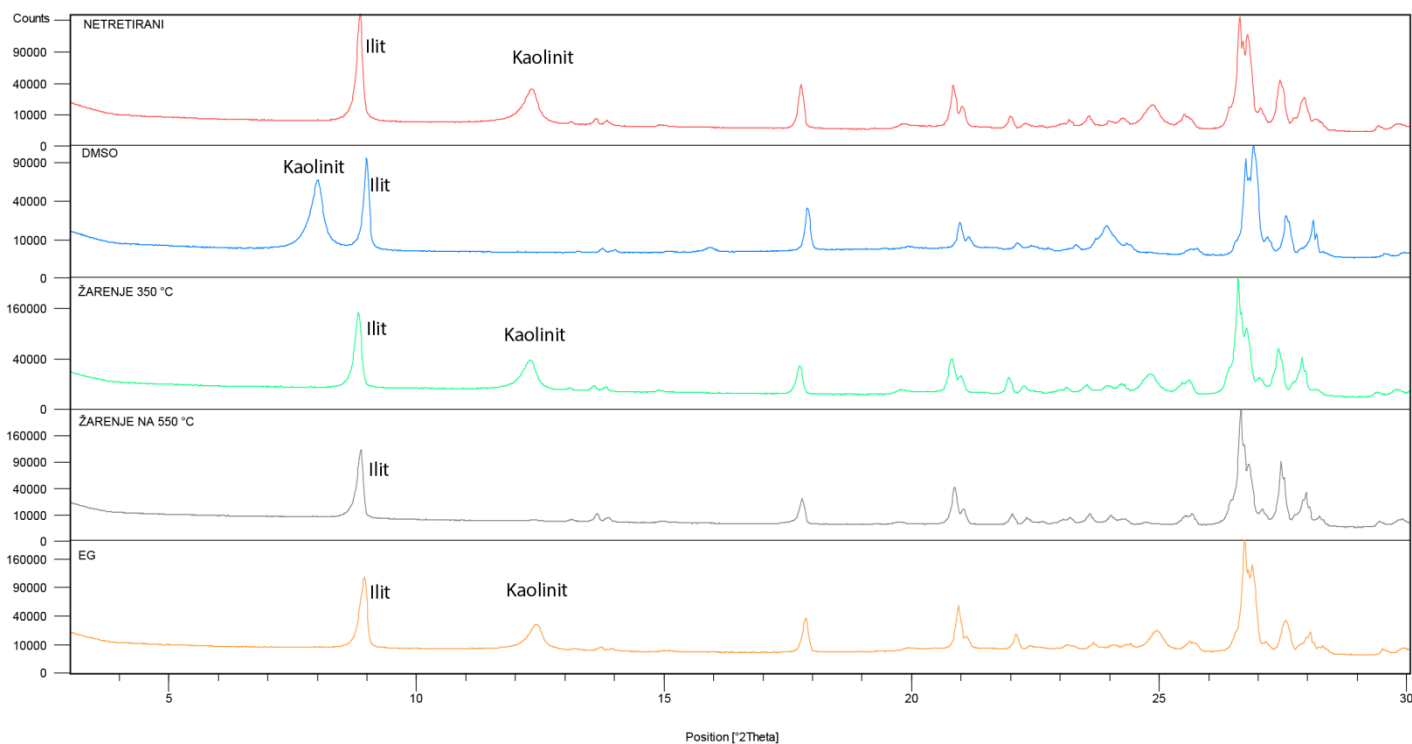
Karakterističan difrakcijski maksimum na difraktogramima uzoraka MT64, MT68, MT79 i MT72A nalazi se pri 12,57 °2θ, a ukazuje na 7 Å kaolinit. Termičkom obradom pri 350 °C može se uočiti da se refleks kaolinita ne razlikuju od izvornog, odnosno, netretiranog uzorka. Pri termičkoj obradi pri 550 °C difrakcijski maksimum kaolinita, u svim uzorcima, potpuno je nestao. Do promjene refleksa nije došlo nakon tretiranja uzoraka etilenlikolom. Kaolinit je DMSO metodom jasno pokazao promjenu kuta na kojem se nalazi difrakcijski maksimum sa 7 Å na 11 Å.

Illit, koji se nalazi na 10 Å, nije promijenio svoj položaj nakon tretmana s navedenim metodama.

Klorit, koji se pojavljuje u uzorcima MT64 (Slika 7.6.) i MT79 (Slika 7.8.) prepoznat je po difrakcijskom maksimumu na 6,25 ° 2θ. To je 14 Å klorit, koji u uzorku MT64 ostaje nepromijenjen nakon žarenja na 350 °C i 550 °C, kao i nakon tretmana etilenglikolom. Nakon tretmana DMSO metodom dolazi do malog smanjenja njegovog pika, ali kut 2θ ostaje isti. U uzorku MT79 pik klorita je slabije izražen, tako da se nakon žarenja i DMSO metode teže uočava. Vidljivo je da kaolinitima nakon tretmana DMSO metodom raste maksimum sa 7 Å na 11 Å, ali u onim uzorcima u kojima je prisutan klorit, uočava se postojanje difrakcijskog maksimuma kaolinita na 7 i na 11 Å.

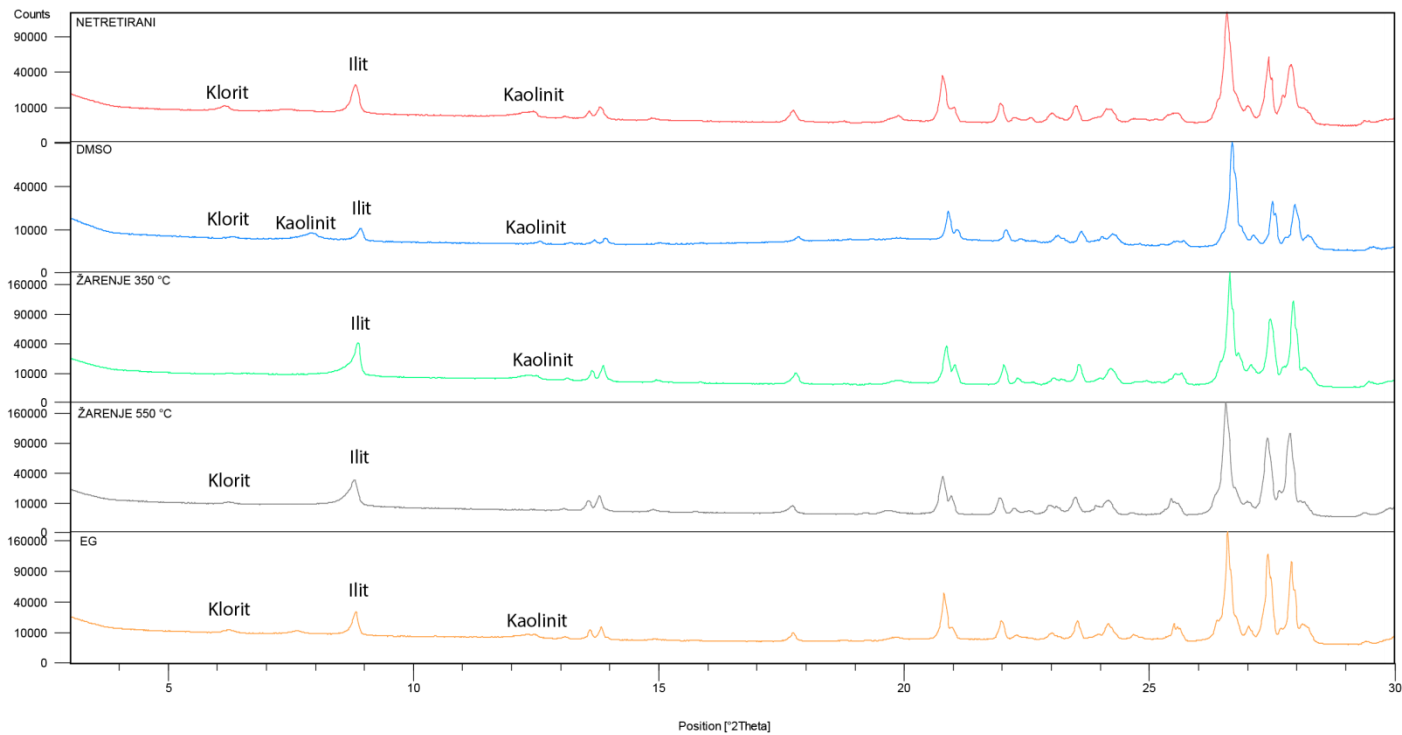


Slika 7.6. Prikaz difrakcijske slike uzorka MT64 netretiranog, tretiranog dimetilsulfoksidom (DMSO metoda), tretiranog etilenglikolom te žarenog na 350 °C i 550 °C.

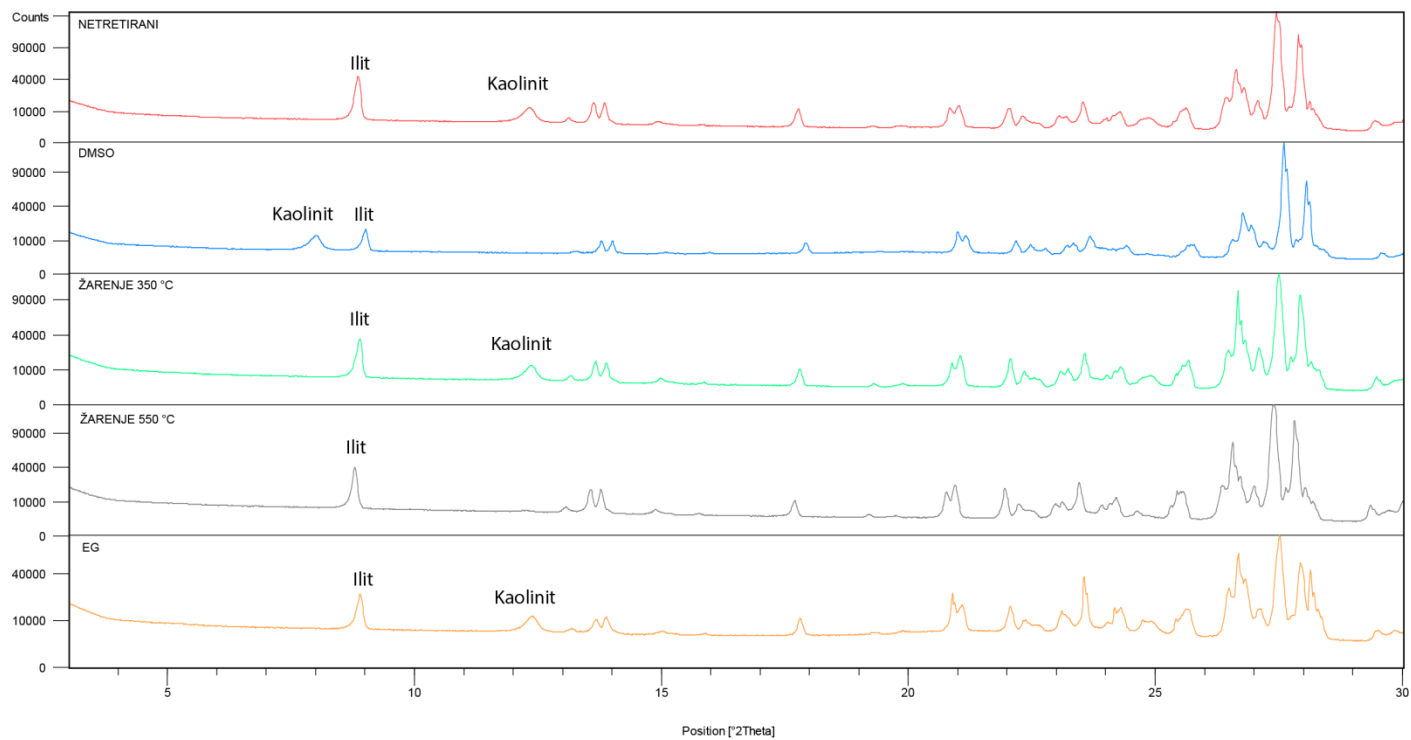


Slika 7.7. Prikaz difrakcijske slike uzorka MT68 netretiranog, tretiranog dimetilsulfoksidom (DMSO metoda), tretiranog etilenglikolom te žarenog na 350 °C i 550 °C.





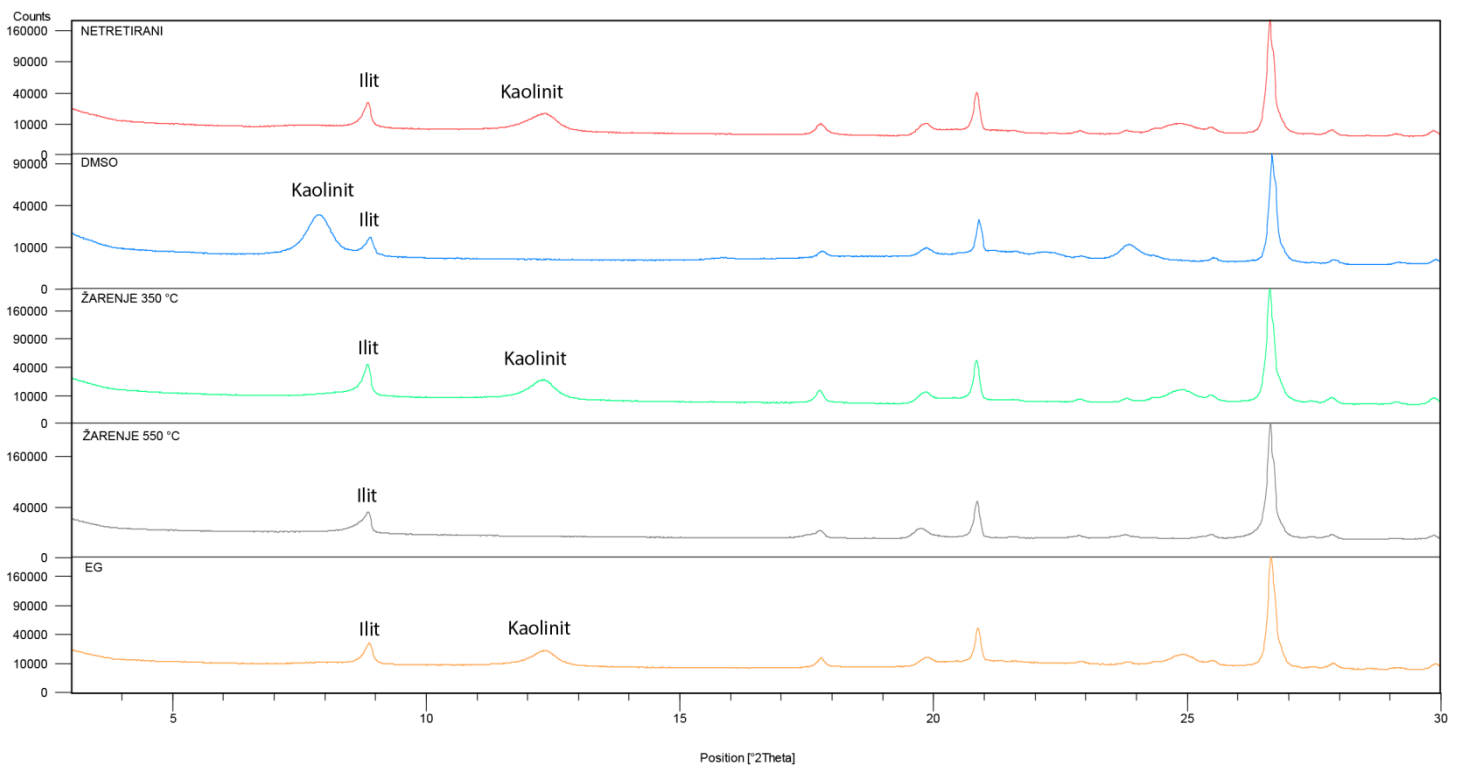
Slika 7.8. Prikaz difrakcijske slike uzorka MT79 netretiranog, tretiranog dimetilsulfoksidom (DMSO metoda), tretiranog etilenglikolom te žarenog na 350 °C i 550 °C.



Slika 7.9. Prikaz difrakcijske slike uzorka MT72A netretiranog, tretiranog dimetilsulfoksidom (DMSO metoda), tretiranog etilenglikolom te žarenog na 350 °C i 550 °C.

### 7.2.2. PROSARA

Na temelju difrakcijske slike uzorka PR5 (Slika 7.10.) difrakcijski maksimum najjačeg intenziteta potječe od illita na  $10\text{\AA}$ . Kaolinit, čiji se pik nalazi na  $\sim 12,57^\circ 2\theta$ , određen je kao  $7\text{\AA}$ . Nakon žarenja na  $350^\circ\text{C}$  njegov položaj refleksa ostaje nepromijenjen, dok žarenjem na  $550^\circ\text{C}$  upotpunosti nestaje. Također nakon obrade etilenglikolom kut difrakcijskog maksimuma ostaje isti. DMSO metodom položaj difrakcijskog maksimuma kaolinita se mijenja, pomiče svoj refleks sa  $7\text{\AA}$  na  $11\text{\AA}$



Slika 7.10. Prikaz difrakcijske slike uzorka PR5 netretiranog, tretiranog dimetilsulfoksidom (DMSO metoda), tretiranog etilenglikolom te žarenog na  $350^\circ\text{C}$  i  $550^\circ\text{C}$

## 8. DISKUSIJA

### 8.1. USPOREDBA MINERALNOG SASTAVA KAOLINITIZIRANIH GRANITA MOTAJICE I PROSARE

Makroskopska analiza jedanaest kaolinitiziranih uzoraka s područja Motajice te jednog uzorka s Prosare, pokazala je veliku sličnost u mineralnom sastavu. Iz tablice 5.1. vidi se da je u uzorcima prisutan kvarc, tinjci, feldspati i kaolinit.

Najveći stupanj kaolinitizacije imaju uzorci MT61, MT64, MT65, MT68 i MT79, samim time makroskopski mineralni sastav teže je odrediti, isto tako i udio pojedinih minerala. U tim uzorcima utvrđeni su kvarc i kaolinit, dok u uzorku MT61 se može još utvrditi biotit i feldspat.

U uzorcima srednjeg stupnja kaolinitizacije (PR5, MT60C, MT72A) na temelju manjih odlomaka se može uočiti da stijena uz kvarc i kaolinit sadrži tinjce i feldspate.

Najmanje izražen stupanj kaolinitizacije pokazuju odlomci stijena, koji su vidljivo najmanje trošeni. To su uzorci MT60A, MT62, MT67 i MT70. U takvim uzorcima lakše je odrediti mineralni sastav makroskopskom analizom i odrediti udjele pojedinih minerala. Glavne mineralne faze su kvarc, tinjci i feldspati te podređeno kaolinit. Udio feldspata je 50 do 60 vol.%, kvarca 30 vol.% i tinjaca 10 do 20 vol.%.

Uzorci MT64, MT68, MT79, MT72A i PR5 nakon XRD analize nakon sušenja pokazali su najbolje difrakcijske zapise te su odabrani za daljnja tretiranja. Difraktogrami uzoraka MT64, MT68, MT79 i MT72A prije tretiranja pokazali su da u njima dominiraju kvarc, plagioklas, K-feldspat, kaolinit i muskovit. Uzorak PR5 ima nešto drukčiji sastav, dominiraju muskovit, kvarc i kaolinit.

U uzorku MT72A potvrđen je dijaspor, dok u uzorku MT68 postoji mogućnost njegovog postojanja. Dikit je sigurno potvrđen u uzorku PR5, pritom u uzorcima MT68 i MT72A nije sa sigurnošću potvrđen. Topaz je prisutan u uzorku MT79, ali moguće je postojanje i u ostalim uzorcima Motajice. U uzorku MT64 potvrđen je još i klorit, a u uzorku MT79 je moguće prisutan i vermikulit.

Semikvantitativni mineralni sastav kaolinitiziranih granita dobiven XRD analizom pokazao je da u mineralnom sastavu istraživanih stijena planine Motajice, najveći udio čini kvarc, zatim u nešto manjoj koncentraciji plagioklas, K-feldspat, tinjci i kaolinit. U istraživanom

uzorku koji je uzet na Prosari kvarc također čini najveći udio mineralnog sastava te manji udio muskovita i kaolinita.

Prema radu VARIĆAKA (1966), koji je granitoidni pluton podijelio u šest grupa, istraživani uzorci klasificirani su kao kaolinitizirani graniti.

## **8.2. USPOREDBA MINERALA GLINA U KAOLINITIZIRANIM GRANITIMA MOTAJICE I PROSARE**

U svrhu potvrđivanja prisutnosti kaolinita i određivanja ostalih minerala glina, uzorci su još analizirani nakon tretmana žarenjem na 350 °C i 550 °C, obradom etilenglikolom te dimetilsulfoksidom (DMSO).

Pregledom difrakcijskih zapisa (Slike 7.6 do 7.10.) dobivenih nakon tretiranja uzoraka odabranim metodama, u svim uzorcima primjećuje se relativno jaki difrakcijski maksimum illita na 10Å i difrakcijski maksimum kaolinita na 7Å. U uzorcima MT64 i MT79 vidljivi su i slabi difrakcijski refleksi klorita.

Difrakcijski maksimum na  $12,57^\circ 2\theta$  odgovara 7 Å kaolinitu. Nakon termičke obrade na 350 °C kaolinit i klorit ostaju nepromijenjeni, dok pri temperaturi od 550 °C dolazi do raspada kaolinita i njegovog refleksa nestaje. Nakon obrade etilenglikolom difrakcijski maksimumi kaolinita i klorita ne razlikuju se od netretiranog uzorka. DMSO metoda koristi se za utvrđivanje kaolinita i njegovog stupnja kristalizacije.

Ovom metodom potvrđena je prisutnost kaolinita u istraživanim uzorcima time što se difrakcijski maksimum pomaknuo sa 7 Å na 11 Å (MILEUSNIĆ, 2007).

Ovaj pomak ukazuje i na uređenost njegove strukture tako što neuređeni kaolinit ima maksimum na 7 Å, a uređeni na 11 Å.

U uzorcima MT64 i MT79 u kojima je prisutan i klorit uočava se da se refleks kaolinita pomakao na 11 Å, ali vidi se i zaostali refleks na 7 Å. Taj zaostali refleks bi mogao pripadati kloritu, a ne neuređenom kaolinitu.

Na osnovi XRD rezultata mogu se izdvojiti dva tipa kaolinitiziranih granita Motajice, a to su kaolinitizirani graniti s kloritom i kaolinitizirani graniti bez klorita. Uzorci s kloritom nastali su trošenjem dvotinjastih granita, dok su uzorci bez klorita nastali trošenjem leukokratnih granita. Ovaj zaključak donesen je na temelju završnog rada HERGOTIĆ (2020), koji je

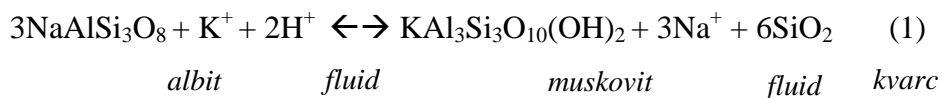
rađen na granitima Motajice. Dvotinčasti granit je stijena u kojoj dominiraju kvarc, feldspati i tinjci, a od sekundarnih minerala sadrži klorit, sericit i limonit. Klorit nastaje alteracijom biotita. Leukokratni granit je leukokratna stijena koja je pretežito izgrađena od kvarca, feldspata i muskovita. Do pojave klorita u ovom tipu granita nije došlo jer leukokratni graniti u svom sastavu nemaju biotit.

Uzorak s Prosare ne sadrži klorit te je na temelju toga zaključeno da je nastao trošenjem leukokratnih granita.

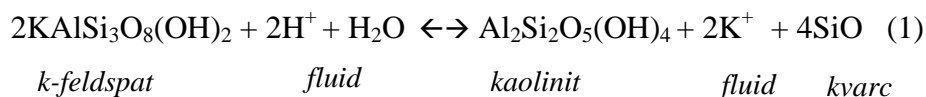
### 8.3. POSTANAK KAOLINITIZIRANIH GRANITA

Ležišta primarnog kaolinita mogu nastati in situ iz aluminosilikatnih stijena supergenim procesima (<40°C), hidrotermalnom aktivnošću (100°C–350°C) ili u nekim slučajevima kombinacijom dvaju procesa.

Hidrotermalna alteracija feldspata u granitu iz kojih nastaju bijeli tinjci, većinom sitnolistićavi muskovit (sericit) naziva se sericitizacija. Odvija se na temperaturama od oko 300–100°C, a posljedica ovakve alteracije je gubitak Ca i Na iz sustava, a unos (2) ili gubitak K, ovisno o tipu feldspata (Mathieu, 2018).



Kaolinitizacija feldspata (2) javlja se kao rezultat alteracije k-feldspata pri temperaturama <300°C (URL7):



Hidrotermalna ležišta kaolinita često su povezana s alteracijom minerala na temperaturama većim od 100 °C. Alterirani minerali karakteristični za hidrotermalna ležišta su pirofilit, dijaspor, dikit, nakrit, topaz i sl. Drugi uobičajeni minerali hidrotermalnih ležišta kaolinita su illit, illit-smektit, mješanoslojni minerali, kristobalit, alunite i kompleksniji fosfati i sulfati kao što su crandallite,svanbergite, woodhouseite i goyazite (GILD i sur., 1999).

Nije dovoljno poznavati samo geološke značajke, mikroteksture i kemijski sastav za razlikovanje hidrotermalnih ležišta od ležišta nastalih supergenim procesima. Prisutnost karakterističnih minerala, kao što su pirofilit, dijaspor ili dikit u uvjetima visoke temperature ili gibbsit u uvjetima niske temperature može otkriti na podrijetlo kaolinitnog ležišta. Identifikacija kaolinita i pripadajućih minerala najbolja je metoda za određivanje temperature kaolinitizacije, a samim time i nastanka kaolinita.

Tipična posljedica djelovanja hidrotermalnih otopina je prisutstvo kvarcnih žila na otvorenim kopovima ležišta kaolinita. Nastaju kao produkt precipitacije otopljene  $\text{Si(OH)}_4$  iz vruće vodene otopine, a ukazuju na hidrotermalno podrijetlo formiranja ležišta kaolinita. Veliki izdanak kaolinitiziranog granita s prisutnim kvarcnim žilama ispunjenim sulfidima vidljiv je na slici 5.8.b i slici 5.8.c. Kvarcna žila s muskovitom također ukazuje na hidrotermalnu fazu formiranja ležišta, a prisutna je u uzorku MT72 koji je klasificiran kao kaolinitizirani pegmatit (Slika 5.11.).

Razlike između kaolinita nastalih supergenim procesima i hidrotermalnim procesima vidljive su na temelju prisutnosti karakterističnih minerala i mineralnih asocijacija (Tablica 8.1.)

*Tablica 8.1. Mineralne asocijacije i karakteristični minerali kod hidrotermalnog postanka kaolinita i supergenog postanka (GILD i sur., 1999).*

POSTANAK	MINERALNE ASOCIJACIJE I MINERALI
<b>HIDROTERMALNI</b>	kvarc+kaolinit±dikit±tinjci±sulfidi, pirofilit+kvarc+kaolinit±kristobalit±dikit±pirit, kaolinit+pirofiliti+kvarc±dikit±dijaspor±pirit,dijaspor+kaolinit±pirofilit±kvarc±pirit pirofilit,dijaspor,dikit,nakrit,topaz,ilit,ilit-smektit,kristobalit,alunit
<b>SUPERGENI</b>	gibbsit, kaolinit+ Fe-vermikulit, kaolinit+Ca-Mg montmorilonit, bentonit+Fe-vermikulit, haloazit

## 9. ZAKLJUČAK

Cilj rada bio je utvrditi mineralni sastav istraživanih stijena te potvrditi postojanje kaolinita i drugih minerala glina. Na temelju makrokopske analize jedanaest uzoraka s područja Motajice i jednog uzorka s područja Prosare utvrđeno je da se radi o kaolinitiziranim granitima, s tim da je jedan uzorak s Motajice determiniran kao kaolinitizirani pegmatit. Utvrđeno je da su uzorci sličnog mineralnog sastava. Sastoje se od kvarca, feldspata, tinjaca i kaolinita. Na onim uzorcima, na kojima se mogao odrediti udio pojedinih minerala, određeno je da je udio feldspata najveći, zatim slijedi kvarc te podređeno tinjci i minerali glina.

XRD analizom uzoraka nakon sušenja dobiveni su difrakcijski zapisi. Najbolje zapise o prisutnosti kaolinita i ostalih minerala glina dali su oni uzorci u kojima je stupanj kaolinitizacije najizraženiji. To su uzorci MT64, MT68, MT72A, MT79 i PR5 te je tako XRD analizom prije tretiranja uzoraka potvrđen makroskopski mineralni sastav.

Uzorci MT64, MT68, MT72A, MT79 i PR5 dali su nove difrakcije zapise nakon termičke analize, tretmana etilenglikolom i tretmana dimetilsufoksidom. Utvrđeno je, kod svih pet uzoraka, postojanje kaolinita. Netretirani uzorci pokazuju difrakcijski maksimum kaolinita na 7 Å. Termičkom obradom uzoraka pri 350 °C kaolinit ostaje nepromijenjen, dok pri 550 °C dolazi do raspada kaolinita i njegov refleks nestaje. Kaolinit, čiji se maksimum nalazi na 7 Å, nakon tretmana DMSO metodom pomaknuo se na 11 Å. Utvrđeno je da se difrakcijski maksimum kaolinita kod svih uzoraka pomaknuo sa 7 Å na 11 Å, što ukazuje da se radi o dobro kristaliziranim kaolinitima. Na difraktogramima uzoraka MT64 i MT79 određen je klorit na temelju slabijeg difrakcijskog maksimuma. Međutim kod uzoraka u kojima je prisutan klorit vidljiv je i pomak difrakcijskog maksimuma, ali i zaostali refleks na 7 Å te na temelju toga se ne može zaključiti o kakvim je kaolinitima riječ jer zaostali pik može ukazivati i na klorit.

Na osnovu mineralnog sastava istraživanih stijena i rada HERGOTIĆ (2020) zaključeno je da uzorci koji sadrže klorit nastali su trošenjem dvotinjčastih granita, a oni koji ne sadrže klorit trošenjem leukokratnih granita. Razlika između ove dvije vrste granita je ta što dvotinjčasti graniti sadrže biotit, koji biva podvrgnut alteracijama te nastane klorit, a leukokratni graniti u svom sastavu nemaju biotit.

Na temelju karakterističnih minerala, prisutnih uz kaolinit može se zaključiti o postanku ležišta kaolinitiziranih granita. Pregledom XRD snimaka netretiranih uzoraka potvrđeni su

tipični minerali vezani za hidrotermalan način postanka kaolinita. U svim uzorcima nalaze se tragovi karakterističnih hidrotermalnih minerala poput dijaspora, dikita i topaza. Postojanje hidrotermalnih žilica na istraživanim uzorcima definitivno ukazuje na hidrotermalnu fazu koja je imala glavnu ulogu u formiranju istraživanih kaolinita. Ne može se u potpunosti isključiti postojanje supergene faze kaolinizacije, obzirom da se ležišta nalaze na površini, ali sa sigurnošću se može zaključiti da je postojala inicijalna hidrotermalna kaolinitizacija.



## 10. POPIS LITERATURE

- BARIĆ, LJ. (1960): Beril iz Motajice Planine. Acta geol. JAZU, knjiga 29, Zagreb, str. 71–78.
- BARTON, C.D., KARATHANASIS, A.D. (2002): Clay Minerals. U: R. Lal, Encyclopedia of Soil Science. 187-192, Dekker, New York.
- DELEON, A. (1963): Prikaz dosadašnjih iskustava pri određivanju apsolutnih geoloških starosti. Ref. II jug.–polj. sav. o geol. i met. ispit. nukl. sir., Beograd.
- FULIGNATI, P. (2020): Clay Minerals in Hydrothermal Systems. Minerals 2020, Dipartimento di Scienze della Terra, University of Pisa.
- GILG, H.A., HÜLMMEYER, S., MILLER, H., SHEPPARD, S.M.F. (1999): Supergene origin of the lastarria kaolin deposit, South-Central Chile, and paleoclimatic implications, Clays and Clay minerals., 47, str. 201-211
- HERGOTIĆ, L. (2020): Mineraloška analiza granita i pripadajućih alteracija Motajice, Bosna i Hercegovina, Završni rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.
- ILIĆ, S. (1953): Motajički kaolin. Glas. hem. druš. NRBiH, 7, Sarajevo.
- JURKOVIĆ, I. (2004): Metallogeny of Eocene syncollisional granites of Motajica and Prosara Mountains, 16, str. 31–36.
- KATZER, F. (1903): Geologischer Führer durch Bosnien und die Hercegovina. Sarajevo, str. 5, 61–52.
- KATZER, F. (1921): Geološka pregledna karta Bosne i Hercegovine. 3. list, Banja Luka, Sarajevo.
- KATZER, F. (1926): Geologija Bosne i Hercegovine. Sarajevo, str. 65–92.
- KATZER, F., LIPOLD, V., ŠRAJN, W. (1910): Geologische Übersichtskarte von Bosnien–Hercegovina. Sarajevo.
- KATZER, F., TURINA, J. (1912): Geologische Formationsumriss–Spezialkarten von Bosnien und der Hercegovina: Svinjau und Orlovac, Sarajevo.

KOCH, F. (1889): Berilj iz Motajice planine u Bosni. Glas. zem. muz. BIH, Sarajevo, str. 1–12.

KOCH, F. (1908): Prilog petrografskom poznavanju Motajice Planine u Bosni. Glas. zem. muz. BIH, Sarajevo, str. 1–22.

KRENN, E., USTASZEWSKI, K., FINGER, F. (2008): Detrital and newly formed metamorphic monazite in amphibolite-facies metapelites from the Motajica Massif, Bosnia. Chem. Geol., str. 254, 164–174.

LANPHERE, M., PAMIĆ, J. (1992): K-Ar and Rb-Sr ages of Alpine granite-metamorphic complexes in the northwestern Dinarides and the southwestern part of the Pannonian Basin in northern Croatia, Acta Geol., 22, str. 97–111.

MATHIEU, L. (2018): Quantifying Hydrothermal Alteration: A Review of Methods. [https://www.researchgate.net/publication/326162674\\_Quantifying\\_Hydrothermal\\_Alteration\\_A\\_Review\\_of\\_Methods](https://www.researchgate.net/publication/326162674_Quantifying_Hydrothermal_Alteration_A_Review_of_Methods), 13.12.2021.

MILEUSNIĆ, M. (2007): Podrijetlo, uvjeti nastanka i sastav glinovitih naslaga taloženih tijekom alpsko-alpske emerzije u Istri, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

MILJUŠ, P. (1961): Rezultati geološkog kartiranja Bosanske Posavine. Geol. glasnik, br. 5, Sarajevo, str. 78–80, 88–90.

MEUNIER, A., VELDE, B., DUDOIGNON, P., BEAUFORT, D. (1983): Identification of weathering and hydrothermal alteration in acidic rocks: petrography and mineralogy of clay minerals, str. 93–99, [https://www.persee.fr/doc/sgeol\\_0302-2684\\_1983\\_act\\_72\\_1\\_2014](https://www.persee.fr/doc/sgeol_0302-2684_1983_act_72_1_2014), 13.12.2021.

MOJSISOWICS E.V., TIETZE, E., BITTNER, A., NEUMAYR, M., JOHN, C.V. (1880): Grundlinien der Geologie von Bosnien–Hercegovina, str. 182, 192, 261, 269–272, 341, 351–252, 440.

NIKOLIĆ, D. (1962): Berili Jugoslavije. Ref V sav. geol. SFRJ, dio 2, Beograd, str 11–12.

PAMIĆ, J., BALEN, D. (2001): Tertiary magmatism of the adjoining South Pannonian Basin. Acta vulcanologica, Pisa–Roma, str. 9–24.

PAMIĆ, J., JELASKA, V. (1975): Pojave vulkanogeno–sedimentnih tvorevina gornje krede i ofiolitnog melanža u sjevernoj Bosni i njihov značaj u geološkoj građi Unutrašnjih Dinarida. Drugi. god. znanstveni skup JAZU, 5, Zagreb, str. 109–117.

PAMIĆ, J., LANPHERE, M.A. (1991): Alpine A–type granites from the collisional area of the northernmost Dinarides and Pannonian Basin. N. Jb. Mineral., Abh., str. 162, 215–236.

PAMIĆ, J., PROHIĆ, E. (1989): Novi prilog petrološkom poznavanju aplinskih granitnih i metamorfnih stijena Motajice u sjevernim Dinaridima u Bosni. Geološki glasnik, knjika XIII, Izd. Zav. za geol. istr. SR Crne Gore, Titograd, str. 145–176.

PAUL, K. M. (1872): Geologische Notiz aus Bosnien, Verhandl., 16, str. 323.

PILAR, DŽ. (1882): Geološka opažanja u Zapadnoj Bosni, Rad JAZU, Zagreb, str. 15.

SCHMID, S.M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, D., MATENCO, L., SCHUSTER, R., SCHEFER, S., TISCHLER, M., USTASZEWSKI, K. (2008): The Alpine–Carpathian–Dinaridis orogenic system: Correlation and evolution of tectonic units, Swiss J. Geosci., 101, str. 139–183.

SLOVENEK, D. (2014): Opća mineralogija. Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 225 str.

SLOVENEK, D., BERMANEC V. (2006): Sistematska mineralogija–mineralogija silikata, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 359 str.

STANGAĆILOVIĆ, D. (1956): Motajički primarni kaolin. Glas. prirod. muz. srp. zem., knjiga 7, svezak 1, Beograd.

SWINDALE, L.D., HUGHES, I.R. (1968): Hydrothermal association of pyrophyllite, kaolinite, diaspore, dickite, and quartz in the Coromandel Area, New Zealand, New Zealand Journal of Geology and Geophysics, str 1163–1183.

ŠPARICA, M., JURIŠA, M., CRNKO, J., ŠIMUNIĆ, A., JOVANOVIĆ, Č., ŽIVANOVIĆ, D. (1972): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Nova Kapela L33-108.- Geol. zavod Zagreb & Institut za geologiju Sarajevo (1972), Sav. geol. zavod, Beograd.

USTASZEWSKI, K., KOUNOV, A., SCHMID S.M., SCHALTEGGER U., KRENN E., FRANK, W., FÜGENSCHUH B. (2010.): Evolution of the Adria–Europe plate boundary in

the northern Dinarides: From continent–continent collision to back–arc extension. *Tectonics*, 29, str. 1–24.

VARIĆAK, D. (1966): Petrološka studija motajičkog granitskog masiva. Sarajevo: Geološki zavod.

WEB citati:

URL1: [https://moodle.srce.hr/2020-2021/pluginfile.php/4505687/mod\\_resource/content/1/MG1%202020.pdf](https://moodle.srce.hr/2020-2021/pluginfile.php/4505687/mod_resource/content/1/MG1%202020.pdf) 13.12.2021.

URL2: <https://pubs.usgs.gov/of/2001/of01-041/htmldocs/flow/index.htm> 13.12.2021.

URL3: <https://www.dinarskogorje.com/motajica.html> 13.12.2021.

URL4 : <https://www.dinarskogorje.com/prosara.html> 13.12.2021.

URL5: [https://sestar.irb.hr/instrumenti\\_show.php?ID=3432&page=01](https://sestar.irb.hr/instrumenti_show.php?ID=3432&page=01) 14.12.2021.

URL6: [http://eskola.chem.pmf.hr/udzbenik/u104/Kristalografija.htm#\\_Toc37856291](http://eskola.chem.pmf.hr/udzbenik/u104/Kristalografija.htm#_Toc37856291) 14.12.2021.

URL7: <http://clay.uga.edu/courses/8550/stability.html> 08.02.2022.