

# Mikrofiziografija i geneza granata iz pegmatita kamenoloma Srednja rijeka (Moslavačka gora)

---

Hromiš, Fran

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:532863>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-29**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Fran Hromiš

**MIKROFIZIOGRAFIJA I GENEZA GRANATA  
IZ PEGMATITA KAMENOLOMA SREDNJA  
RIJEKA (MOSLAVAČKA GORA)**

Seminar III  
Sveučilišni prijediplomski studij Geologija

Mentor:  
prof. dr. sc. Dražen Balen

Zagreb, 2024.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Seminar III

### MIKROFIZIOGRAFIJA I GENEZA GRANATA IZ PEGMATITA KAMENOLOMA SREDNJA RIJEKA (MOSLAVAČKA GORA)

**Fran Hromiš**

**Rad je izrađen:** Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-matematički fakultet Geološki odsjek Mineraloško-petrografski zavod, Horvatovac 95, 10 000 Zagreb

Hrvatski geološki institut Zavod za mineralne sirovine i marinsku geologiju, Milana Sachsa 2, 10 000 Zagreb

**Sažetak:**

Na lokalitetu Srednja rijeka (Moslavačka gora) pronađeni su granati. Nalazili su se unutar leukogranitskih žila koje presjecaju dvotinjčasti granit. Makroskopskom i mikroskopskom analizom leukogranita utvrđene su glavne mineralne vrste: kvarc, K-feldspati, tinjci, andaluzit uz turmalin i granat.

Rendgenskom difrakcijom na prahu izdvojenog granata ustanovljeno je da se radi o almandinskom varijetetu granata s dimenzijom jedinične ćelije  $a_0 = 11,54$  [Å].

Usporedbom prikupljenih podataka o opaženoj mineralnoj zajednici te podataka prikupljenih rendgenskom difrakcijom na prahu s drugim znanstvenim istraživanjima ustanovljeno je da je temperatura kristalizacije leukogranitnog magmatskog sustava koji sadrži almandinski granat morala biti na početku kristalizacije u okvirima raspona temperatura između 700 i 800 stupnjeva celzijusa te na kraju kristalizacije tlak manji od 400 MPa

**Ključne riječi:** granati, Moslavačka gora, leukogranit

**Rad sadrži:** 27+VI stranica, 11 slika, 5 tablica, 26 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski ...

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

**Mentor:** prof. dr. sc. Dražen Balen

**Ocjenjivači:** prof. dr. sc. Dražen Balen

doc. dr. sc. Zorica Petrinec

izv. prof. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

**Datum završnog ispita:** 13.09.2024.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### Seminar III

## MICROTEXTURAL RELATIONS AND GENESIS OF GARNET FROM SREDNJA RIJEKA QUARRY (MT. MOSLAVAČKA GORA)

**Fran Hromiš**

**Thesis completed in:** Institute of Mineralogy and Petrology, Faculty of Science,  
University of Zagreb, Horvatovac 95, 10 000 Zagreb, Croatia

Croatian Geological Survey, Department for Mineral Resources and Marine Geology,  
Milana Sachsa 2, 10 000 Zagreb, Croatia

#### **Abstract:**

Minerals from the garnet mineral group were found at the Srednja rijeka site (Moslavačka gora). They were located within the leucogranite veins that cut through the two-mica granite. Macroscopic and microscopic analysis of leucogranite revealed the main mineral types: quartz, K-feldspars, mica, andalusite along with tourmaline and garnet.

By X-ray powder diffraction of the isolated garnet, it was established that it is an almandine variety of garnet with a unit cell dimension of  $a_0 = 11.54$  [Å].

By comparing the collected data on the observed mineral and the data collected by X-ray powder diffraction with other scientific research, it was established that the crystallization temperature of the leucogranite magmatic system containing almandine garnet must have been at the beginning of crystallization within the temperature range between 700 and 800 degrees Celsius and at the end of crystallization pressure less than 400 MPa

**Keywords:** garnets, Moslavačka gora massive, pegmatites

**Seminar contains:** 27+VI pages, 11 figures, 5 tables, 26 references

**Original in:** Croatian ...

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

**Supervisor:** prof. dr. sc. Dražen Balen

**Reviewers:** prof. dr. sc. Dražen Balen

doc. dr. sc. Zorica Petrinec

izv. prof. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter

**Date of the final exam:** September 13th, 2024.

Zahvaljujem se ...

... mentoru, prof. dr. sc. Draženu Balenu na velikoj pomoći, izdvojenom vremenu, svim sugestijama i uputama koje su bile ključne za završni rad

... dr.sc. Nikolini Ilijanić na ukazanoj mogućnosti snimanja granata, odvojenom vremenu i velikoj pomoći oko provedbe i opisa rendgenske analize

... svima koji su doprinijeli ovom radu i mom studiranju

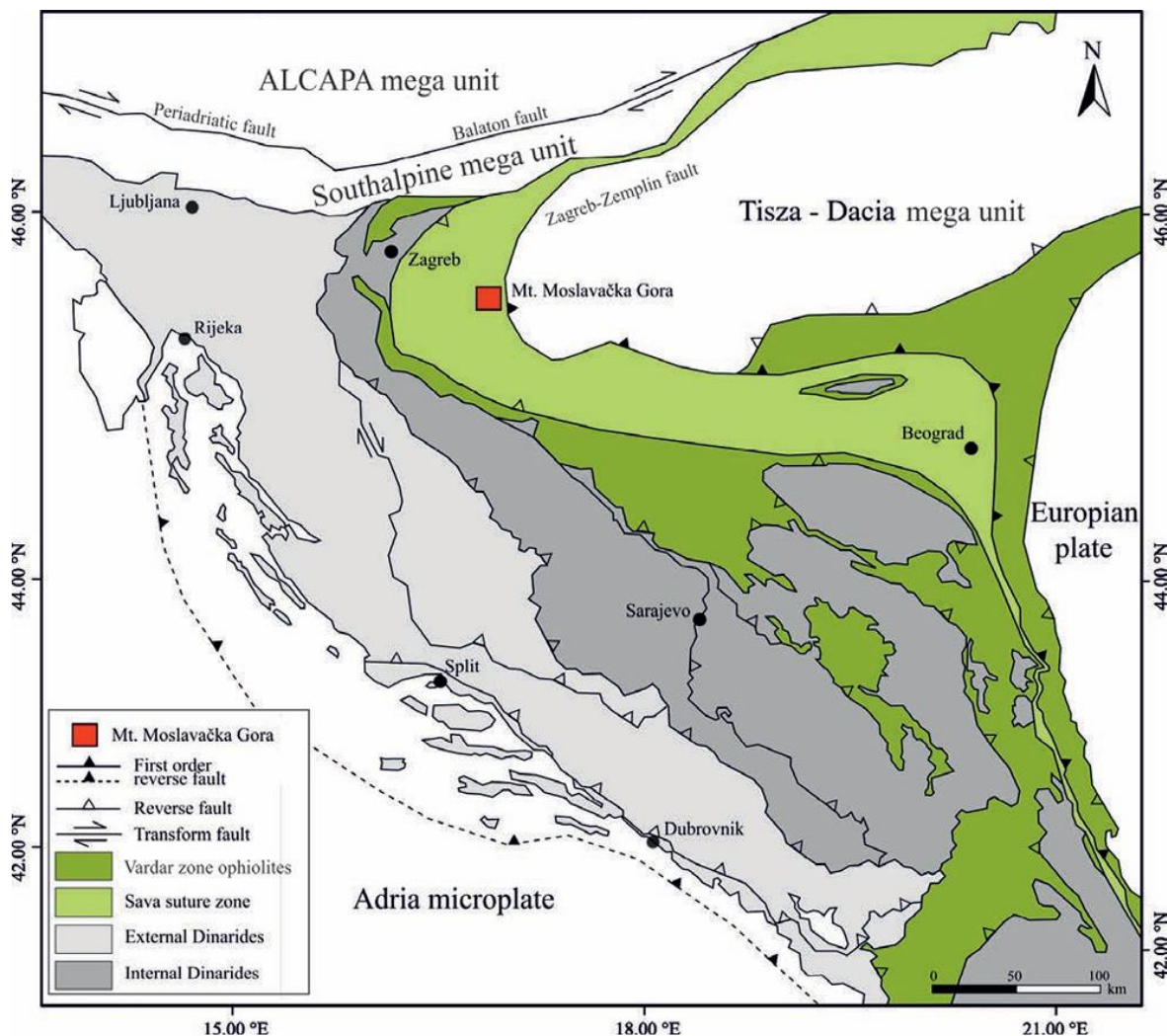
## Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Pregled recentnih istraživanja .....	7
3.	Materijali i metode istraživanja .....	8
4.	Rezultati .....	10
4.1.	Makroskopska opažanja .....	10
4.2.	Mikroskopska opažanja .....	10
4.3.	XRD analiza .....	13
5.	Rasprava.....	16
6.	Zaključak.....	24
7.	Literatura.....	25
8.	Table .....	V
9.	Popis slika.....	VI

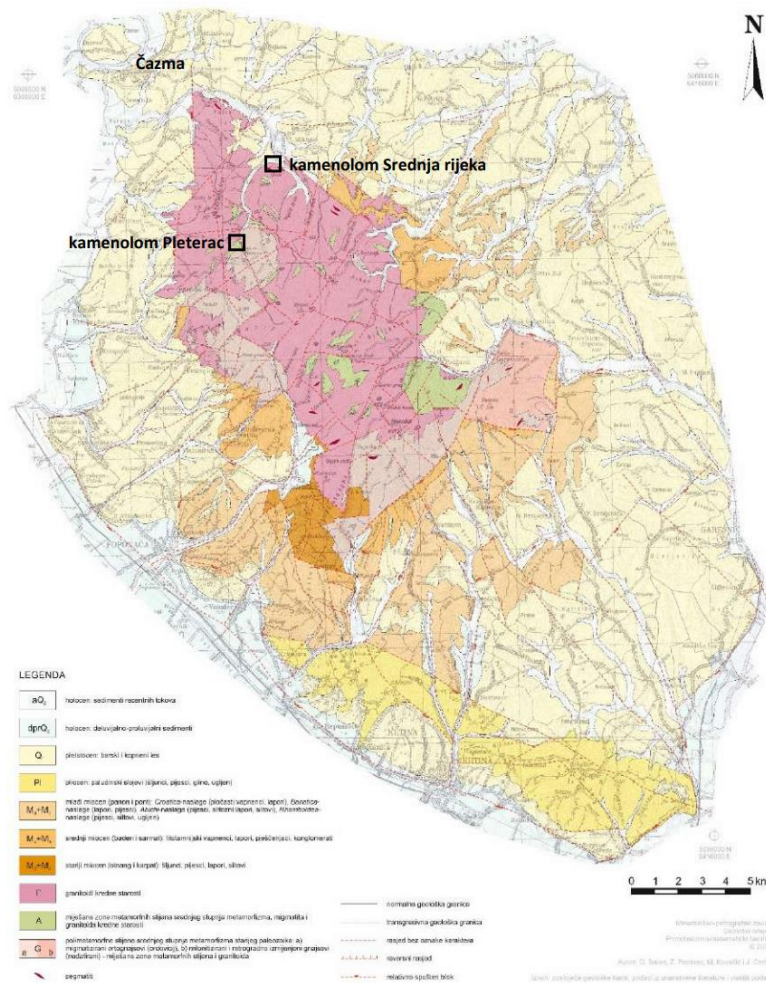
## 1. Uvod

Moslavačka gora smještena je u središnjoj Hrvatskoj između Ivanić-Grada, Čazme, Kutine i Garešnice te omeđena rijekama Česmom, Lonjom i Ilovom. Sredinom Moslavačke gore prolazi granica Bjelovarsko-bilogorske i Sisačko-moslavačke županije. Površina Moslavačke gore iznosi 1350 km<sup>2</sup> a najviša točka je na 489 m n.v. (vrh Humka).

Geološka interpretacija na regionalnoj skali locira kristalinsku osnovu Moslavačke gore u Savsko-vardarsku zonu koja predstavlja suturnu zonu između Jadranske mikroploče i Europe te označava jugozapadni rub Panonskog bazena prema Dinaridima. Područje Savske zone karakterizirano je značajnom magmatskom aktivnošću (popraćenu metamornim procesima) tijekom krede (SCHMID et al. 2008).



Slika 1 Regionalni tektonski položaj Moslavačke gore prema Schmid et al. 2008, preuzeto iz Garašić et al. 2024



Slika 2 Geološka karta Moslavačke gore, preuzeto iz : iz Inventarizacija geološke baštine i značajnih geolokaliteta Moslavačke gore, PMF, Zagreb, 2009

Sukladno tome Moslavačka gora se sastoji od raznih magmatskih i metamornih stijena. Magmatske stijene pretežno su granitoidi, dok površinske ekspozicije metamornih stijena uključuju litologije srednjeg do visokog stupnja metamorfizma.

Detaljnije granitoidi Moslavačke gore su monzograniti, graniti koji sadrže andaluzit i silimanit, granodioriti i pegmatiti koji sadrže andaluzit i turmalin (KOROLIJA & CRNKO, 1985; PAMIĆ, 1990). Također se pojavljuje olivinski gabro nepoznatog primarnog položaja koji je zahvaćen metamornim overprintom visoke temperature-niskog tlaka (HT/LP). (BALEN et al. 2003).

Metamorni kompleks sastoji se uglavnom od kiselih anateksita – migmatita i ortognajseva granitnog sastava, metapelita (paragnajs i tinjčev škriljavac) i amfibolita.



Smatra se da dio metamorfnog kompleksa predstavlja protolite ranoordovicijske granitne serije. (STARIJAŠ et al. 2010) koji su dodatno podvrgnuti metamorfizmu tijekom razdoblja gornje krede (PAMIĆ 1990; BALEN & PETRINEC, 2023).

Česte pojave unutar granitnog plutona Moslavačke gore su pegmatiti, iznimno krupnozrnate stijene granitnog sastava i mogu se naći na više lokacija na Moslavačkoj gori. Pegmatiti Moslavačke gore nalaze se npr. na lokalitetu Srednja rijeka unutar trenutno neaktivnog kamenoloma. Lokalitet Srednja rijeka nalazi se na sjevernom rubu kristalina Moslavačke gore (slike 2 i 3).



Slika 3. Kamenolom Srednja rijeka (stanje 2024.)

Geokemijski i geokronološki podaci pokazuju da se ovaj masiv sastoji od krednog S-tip granitnog plutona koji prodire u kredni metamorfni omotač niskog tlaka/visoke temperature (LP/HT) (BALEN & PETRINEC, 2023).

Granitoidni pluton Moslavačke gore sastoji se od otprilike 110 km<sup>2</sup> izloženog kristalina i sadrži nekoliko tipova granitnih stijena što je ustanovljeno petrografskim i geokemijskim istraživanjima (npr. PAMIĆ, 1990). Geokemija otkriva opću prevlast dva glavna granitoidna varijeteta: dvotinjčasti granit i leukograniti. Dvotinjčasti granit (biotit>>muskovit) kao najčešći tip, presječen s dva podtipa leukogranita (krupnozrnati i sitnozrnati) s muskovitom. Geokemijske karakteristike pokazuju da dva podtipa granita vuku porijeklo iz različitih dijelova kore odnosno da leukogranit više porijeklo iz dubljih dijelova kore dok dvotinjčasti granit više porijeklo iz plićih dijelove kore. Oba varijeteta

su prema glavnim klasifikacijskim kriterijima (količine Al, Ca, Na+K odnosno makrokemija uvjetovana protolitom i posljedično minerali koji iz toga proizlaze) graniti S-tipa. Važno je istaknuti da dva glavna podtipa granita (dvotinjčasti i leukogranit) ne pokazuju bitne razlike po sastavu glavnih minerala odnosno oba podtipa su karakterizirana mineralnim vrstama kao što su: kvarc, K-feldspati te oba sadrže tinjce (biotit i muskovit). Međutim bitnu razliku predstavljaju geokemijske karakteristike. Naime leukograniti Moslavačke gore imaju manje koncentracije elemenata rijetkih zemalja, izrazitu europsku anomaliju te uzorak karakterističan za I-tip granita. Geokemijske karakteristike leukogranita dakle upućuju na I-tip granita iako po glavnim elementima i mineralima spada u S-tip granita. (PAMIĆ, 1990; BALEN & BROSKA, 2011; BALEN & PETRINEC 2011).



*Slika 4. Žila leukoganita koja presjeca sitnozrnati dvotinjčasti granit, širina žile oko 1 cm*

Dvije različite pojave turmalina u granitima Moslavačke gore, diseminirani schorl u leukogranitu i dravit (obod zrna) do schorl (jezgra zrna) u turmalinskim nodulama iz dvotinjčastog granita ukazuju na neovisno podrijetlo ovih faza kao i različitu evoluciju njihovih stijena domaćina (BALEN & PETRINEC, 2023).

Datiranjem muskovita iz pegmatita s lokaliteta Srednja rijeka metodom Ar/Ar utvrđena je starost od  $73,2 \pm 0,8$  Ma godina. Pri uzorkovanju nije uočen overprint te se datirana starost muskovita uzima kao vrijeme kristalizacije plutona (PALINKAŠ et al. 2000).

Na lokalitetu Srednja rijeka (slika 3) nalaze se sitnozrnati dvotinjčasti graniti i krupnozrnati leukograniti – pegmatiti (slika 4) u kojima se nalaze sljedeći minerali: mikropertit, mikroklin, ortoklas, albit, kvarc, muskovit i biotit. (PALINKAŠ et al. 2000) Od ostalih minerala u pegmatitima se mogu naći:

- turmalini

nalazimo ih kao crne, štapičaste ili kuglaste forme u pegmatitnim žilama koje presjecaju sitnozrnate granite. Pojave turmalina mogu biti nodularne i diseminirane (BALEN & BROSKA 2011, BALEN & PETRINEC 2011, 2023).

Prva vrsta turmalina, nodularni turmalin (NT) tvori kompaktne kuglaste agregate (turmalinske nodule) unutar dvotinjčastog granita dok leukograniti često sadrže prizmatične kristale diseminiranog turmalina (DT) i radijalne agregate, prizmatične kristale (“turmalinska sunca”) – slika 5.



Slika 5 a) masivni uzorak diseminiranih turmalina u pegmatitu b) uvećani prikaz radijalnih agregata turmalina (turmalinska sunca), promjer štapićastih turmalina oko 3-4 mm c) nodularni turmalini unutar dvotinčastog granita, preuzeto iz (BALEN & PETRINEC, 2023)

- Granati

Granati pronađeni na lokalitetu Srednja rijeka pojavljuju se unutar leukogranita, crveno smeđe su boje te hipidiomorfnog pseudoheksagonskog habitusa. Veličine su u promjeru do 2 cm. Kao iznimno dobri pokazatelji petrogenetskih uvijeta upravo su oni predmet ovog rada

## 2. Pregled recentnih istraživanja

Moslavačka gora se prvi put spominje još u 19. stoljeću na karti WOLFA 1862. godine. U ovom poglavlju nalazi se pregled recentnih istraživanja relevantnih za ovaj rad;

KOROLIJA, B. & CRNKO, J. opisuju stijene Moslavačke gore (1985) pri izradi Osnovne geološke karte SFRJ 1 : 100 000, list Bjelovar, L 33-82 te pri izradi Osnovne geološke karte Republike Hrvatske 1:100 000, list Kutina L 33-90 (1990).

PAMIĆ, J. istražuje granite i s njima asocirane monzodiorite i gabro (1984, 1987) te granite, migmatite i metamorfne stijene s okolnom podlogom panonskog bazena te ih korelira s Alpskim orogenetskim ciklusom (1990).

GARAŠIĆ, V. proučava stijene amfibolitnog facijesa te uvijete njihovog nastanka (1993) te leukogranite lokaliteta Srednja rijeka.

PALINKAŠ et al (2000) datiraju starost muskovita iz pegmatita lokaliteta Srednja rijeka rijeka metodom K/Ar te utvrđuju starost od 73,2 + 0,8 Ma koja potvrđuje gornju kredu kao razdoblje nastanka masiva.

STARIJAS et al (2010) proučavaju granitni pluton Moslavačke gore unutar ordovicijske podloge te diskutiraju u kojem trenutku geološke povijesti se dogodio metamorfizam te koja je starost amfibolitnog facijesa i granitnog magmatizma (kreda).

BALEN, D. zajedno sa suradnicima proučava niz geoloških pojava Moslovačke gore kao što su; metamorfni paragnajs (2000), olivinski gabro s lokaliteta Kamenjača (2003), geokronologija i evolucija masiva iz analize granita te dvije različite vrste turmalina unutar leukogranita. Eksperimentalno je utvrđena temperatura i tlak pri kojem su graniti kristalizirali (2010), turmalini unutar leukogranita Moslavačke gore te geokemijske karakteristike granita Moslavačke gore gdje su utvrđene dvije vrste turmalina s razlikama u sastavu i porijeklu te detalji o magmatsko - hidrotermalnim procesima unutar masiva (2011., 2023).

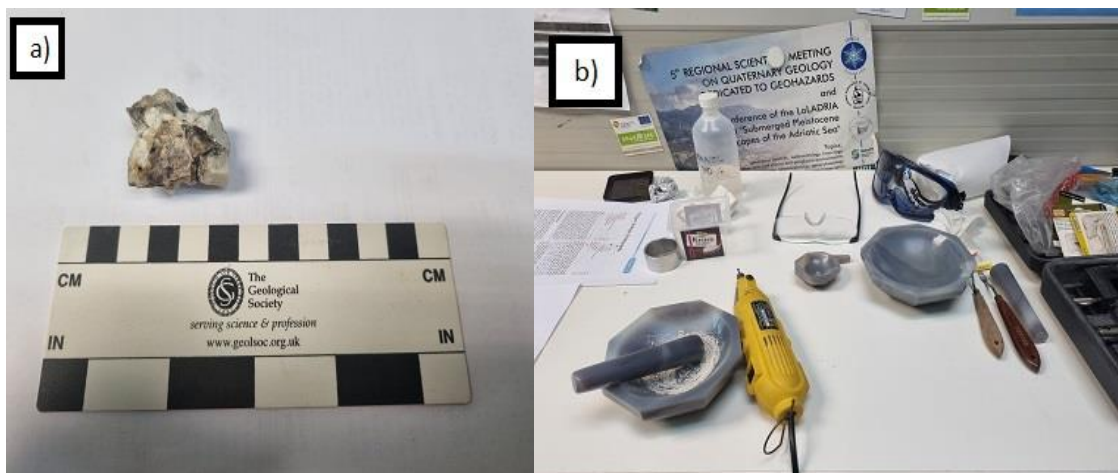
### 3. Materijali i metode istraživanja

Analize u okviru ovog rada provedene su na uzorcima krupnozrnatih leukogranita koji su prikupljeni 2023. i 2024. godine u okviru terenskih istraživanja u kamenolomu Srednja rijeka. Unutar tih uzoraka uočene su glavne mineralne faze te različite pojave turmalina. Granati unutar leukogranita uočeni su prema karakterističnoj pseudoheksagonskoj formi te crveno-smeđoj boji.

Daljnja analiza provođena je na mikroskopskom preparatu leukogranita s lokaliteta Srednja rijeka. Izrada preparata te mikroskopska analiza provedeni su na Mineraloško-petrografskom zavodu Prirodoslovno-matematičkog fakulteta u Zagrebu. Preparati su prvo dijamantnom brusilicom stanjeni na 0,4 cm te potom stanjeni na veličinu predmetnog stakalca te zalijepljeni kanada balzomom na stakalce. Potom su prahom granulacije 90 dodatno stanjeni na rotirajućoj ploči te je uzorak dodatno stanjen na debljinu 30 mikrometara tako da budu pogodni za mikroskopsku analizu. Promatrani su na mikroskopu Zeiss Axiolab s povećanjem 25x te snimljeni fotoaparatom Canon EOS 500D.

XRD analiza provedena je u sklopu stručne prakse na Hrvatskom geološkom institutu na zavodu za mineralne sirovine i marinsku geologiju pod stručnim nadzorom dr. sc. Nikoline Ilijanić.

Uzorak je granata izdvojen je i usitnjen dijamantnom bušilicom te dodatno usitnjen u ahatnom tarioniku. Fino usitnjen uzorak je potom pripremljen u nosač za male količine – na silicijsku pločicu koja je stavljena na aluminijski nosač za uzorke i potiskom je dobivena ravna površina praškastog uzorka spremna za snimanje.





Slika 6. a) uzorak granata u pegmatitu b) pribor za pripremu uzorka c) usitnjeni uzorak i nosač za uzorke d) rendgenski difraktometar X'Pert PRO

Glavni podaci vezani za mineralošku XRD analizu su uvjeti snimanja:

Korišten je PANalyticalov rendgenski difraktometar X'Pert Powder (slika 6). Opremljen je keramičkom rendgenskom cijevi Cu anode (CuK $\alpha$  zračenje valne duljine  $\lambda=1,5405 \text{ \AA}$ ), vertikalnim goniometrom  $\theta$ - $\theta$  geometrije i PIXcel detektorom s grafitnim monokromatorom. Napon i jakost struje za generiranje rendgenskih zraka iznosili su:  $U = 45 \text{ kV}$  i  $I = 40 \text{ mA}$ . Korišteni su  $0,02 \text{ rad}$  Sollerovi slitovi,  $1^\circ$  divergentni slit primarnog snopa zračenja i  $1^\circ$  primarni i sekundarni slit protiv raspršenja. Snimalo se u step-scan modu, pri čemu je veličina koraka bila  $0,02^\circ 2\theta$ , a trajanje koraka  $100 \text{ s}$ . Snimani su u području od  $4$  do  $66^\circ 2\theta$ , u trajanju oko  $30 \text{ minuta}$ . Podaci su mjereni i interpretirani pomoću kompjuterskih programa X'Pert Quantify i X'Pert HighScore Plus te je u njima napravljen pregled analiziranog uzorka.

## 4. Rezultati

### 4.1. Makroskopska opažanja

Na makroskopskoj razini, stijene s lokaliteta Srednje rijeke pokazuju sitnozrnatu teksturu (dvotinjčasti graniti). Duž dvotinjčastih granita su vidljive leukogranitne žile sa krupnijim mineralima, dimenzije žila variraju od centimetarskih do metarskih dimenzija a veličine zrna (npr. turmalina) od milimetarskih do 10 centimetara dugačkih minerala.

Pegmatiti s lokaliteta su iznimno krte i tvrde stijene ako nisu trošene no zbog velikog potencijala trošenja feldspata i tinjaca, svježi uzorci pegmatita su nešto rjeđi te su češće iznimno trošene stijene koje se dezintegriraju pod malim mehaničkim pritiscima te je cijeli kamenolom ispunjen pijeskom nastalim trošenjem stijena (tzv. grus) i eksploatacijskim radovima na lokalitetu.

Granati s lokaliteta Srednja rijeka nađeni su unutar leukogranita te su krupnozrnati pravilnih formi (ukoliko nisu trošeni), krti, crveno smeđe boje. Analizirani granat bio je hipidiomorfan šesterokutnog presjeka, veličine promjera oko 2 centimetra, crveno smeđe boje. Nalazio se unutar svježeg uzorka pegmatita te je bio okružen kremenom i feldspatima te preostalim tinjcima koji nisu do tada već potrošeni. Granat se odlikovao visokom tvrdoćom odnosno bio je rezistentan na grebanje noktom i čekićem (karakteristična tvrdoća piralspita je 7 - 7,5 po Mohsovoj skali) pa je s obzirom na to uzorak za analizupripreman dijamantnom bušilicom.

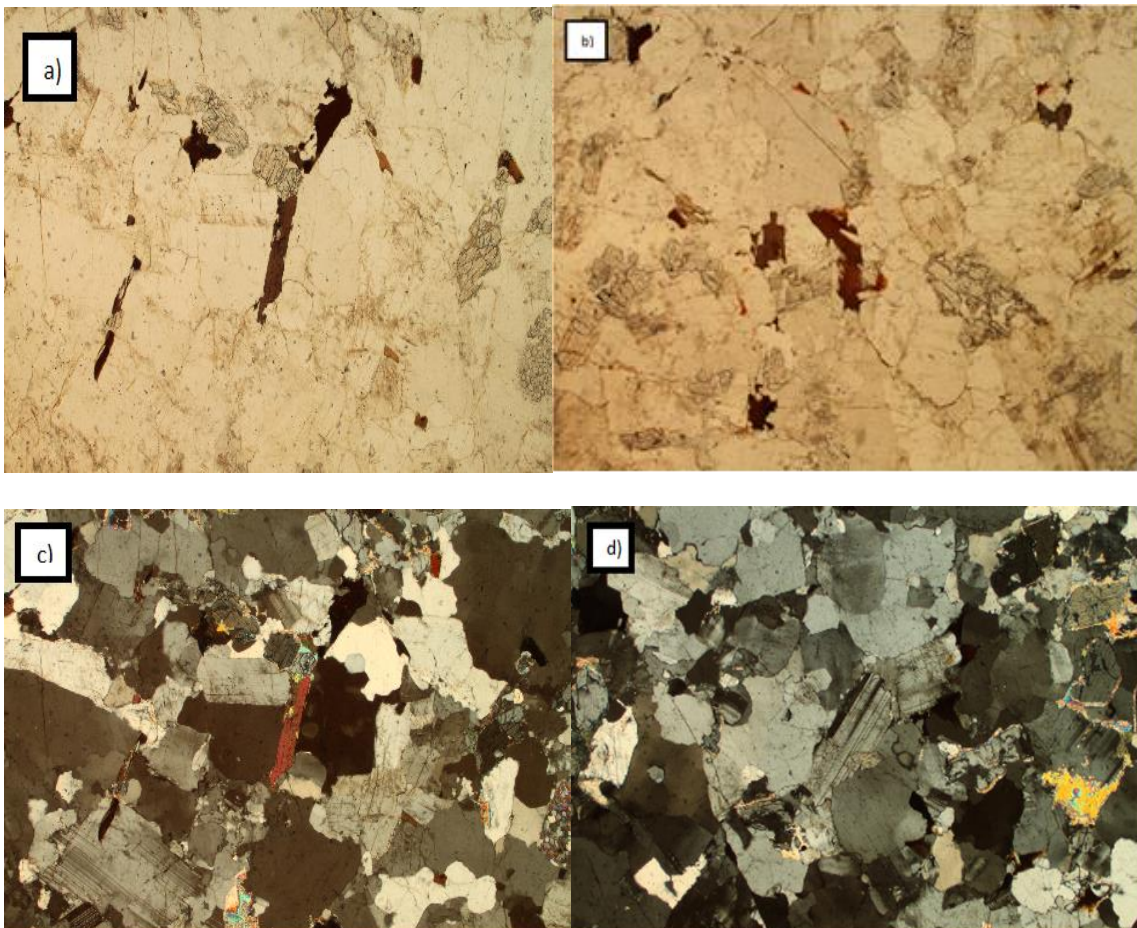
### 4.2. Mikroskopska opažanja

Mikroskopskom analizom identificirane su sljedeće mineralne vrste

- Kremen: bezbojni minerali nepravilnog do hipidiomorfog šesterostranog presjeka. Imaju nizak pozitivan reljef i nemaju kalavost. U uvjetima s uklopljenim analizatorom pokazuju karakteristično undulozno potamnjenje.
- Ortoklas – bezbojan mineral, nepravilnog je presjeka te posjeduje nizak negativan reljef. Kao i kremen interferira u bojama nižeg reda. Od mikrokлина ga razlikuje odsustvo karakterističnog potamnjenja prema dva okomita sustava polisintetskog srastanja u odgovarajućim presjecima.



- Plagioklas – bezbojan mineral, posjeduje nizak negativan reljef, izduženi su, nepravilnog presjeka. Posjeduju karakteristične polisintetske sraslačke lamele koje koso potamne.
- Muskovit – bezbojan, pločast po {001} reljef je nizak pozitivan. Minerali pokazuju izrazitu pseudoapsorpciju te interferiraju u živim bojama II. i III. reda. Optički karakter je negativan.
- Biotit – minerali pločasti po {001}, crvene boje. Crvena boja biotita u uzorku ukazuje na kasnu termalnu alteraciju, takozvani foxy biotit karakterističan za granite (LLOYD et al, 2002). Interferira u živim bojama II. i III. reda. Pri uvjetima s uklopljenim analizatorom vidljiva je karakteristična struktura ptičjeg oka.



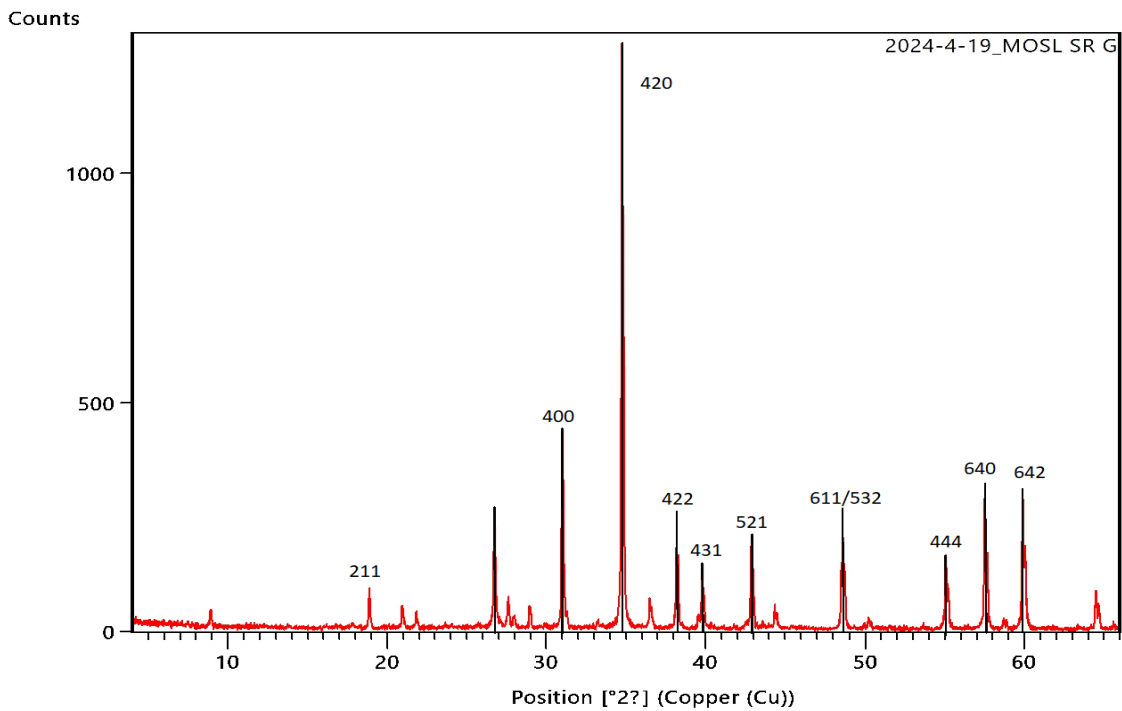
Slika 7. a) uzorak leukogranita u mikroskopskim uvjetima bez analizatora s vidljivim biotitom, turmalinom i andaluzitom c) i d) uzorak s leukogranita u uvjetima s uklopljenim analizatorom s vidljivim sraslačkim lamelama plagioklasa te unduloznim potamnjenjem kremena, povećanje 25x

- Andaluzit – bezbojan mineral umjerenog do visokog pozitivnog reljefa. Vidljiva su karakteristična dva seta pukotina kalavosti koji se sijeku pod kutom od približno 90 stupnjeva. U uvjetima s uklopljenim analizatorom mineral interferira u bojama I. reda slično kao kremen.
- Turmalin – izduženi, štapićasti minerali kratko do dugoprizmatskog habitusa. Ne zapaža se kalavost (dok je u makroskopskim uvjetima jasno izražena). Minerali pokazuju jak pleokroizam. Reljef je umjeren do visok pozitivan. U uvjetima s uklopljenim analizatorom pokazuju paralelno potamnjenje te interferiraju u bojama II. reda koje su djelomično prekrivene vlastitom bojom.

U uzorku je jasno vidljivo da prevladavaju kremen i K-feldspati (ortoklas) među kojima se nalaze tinjci, turmalin, andaluzit te se opaža da je u uzorku više biotita nego muskovita (slika 7). Mineralna zrna u uzorku zadiru jedna u druga. Tekstura je sitnozrnata do porfirna. Turmalini se u uzorku pojavljuju kao prizmatske forme koje presjecaju sitnozrnatu do porfirnu teksturu. Granati koji se javljaju relativno sporadično u stijeni nisu nigdje zahvaćeni u preparatu, a s obzirom da su centimetarskih dimenzija nisu ni pogodni za mikroskopsku analizu.

### 4.3. XRD analiza

Rendgenskom difrakcijom dobiveni su sljedeći rezultati:



Slika 8. Dobiveni rendgenogram analiziranog uzorka granata s pripadajućim indeksima za glavne maksimume

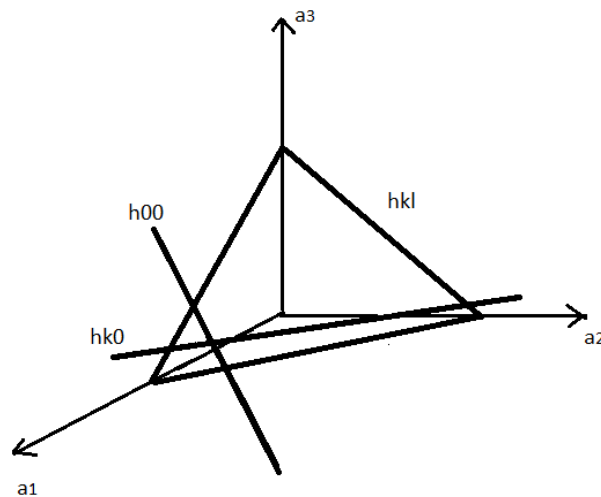
**Tablica 1 lista maksimuma za analizirani granat uz maksimume drugih minerala iz pegmatita (maksimumi granata su označeni žutom a muskovit/illit crvenom bojom)**

Pos. [°2θ]	Height [cts]	FWHM Left [°2θ]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
8.9278	39.01	0.0768	9.90522	3.03
18.8682	84.38	0.0768	4.70334	6.55
20.9465	45.85	0.1023	4.24112	3.56
21.8061	38.18	0.0768	4.07584	2.96
23.8425	5.95	0.6140	3.73214	0.46
25.7745	8.69	0.3582	3.45660	0.67
26.7261	267.37	0.1023	3.33565	20.74
27.6086	58.38	0.1535	3.23100	4.53
28.0225	27.45	0.1791	3.18422	2.13
28.9590	41.07	0.1535	3.08333	3.19
29.9615	7.99	0.1535	2.98242	0.62
30.9952	435.85	0.0936	2.88287	33.81
31.0890	295.09	0.0468	2.88154	22.89
31.3070	37.93	0.0936	2.85487	2.94
33.2472	16.29	0.1560	2.69257	1.26
34.7504	1289.10	0.0780	2.57946	100.00
34.8539	803.39	0.0624	2.57843	62.32

36.4982	66.79	0.0624	2.45985	5.18
38.1842	261.44	0.0624	2.35503	20.28
38.2943	146.08	0.0624	2.35434	11.33
39.5623	28.61	0.0936	2.27611	2.22
39.7889	129.35	0.0780	2.26366	10.03
42.8992	208.77	0.0936	2.10647	16.19
42.9981	133.41	0.0624	2.10708	10.35
43.6071	11.78	0.0936	2.07390	0.91
44.3521	41.12	0.1248	2.04078	3.19
48.5753	248.92	0.0936	1.87276	19.31
48.7249	103.87	0.0624	1.87200	8.06
50.2150	22.13	0.1248	1.81538	1.72
52.5696	2.23	0.2496	1.73948	0.17
53.6274	8.25	0.1872	1.70764	0.64
55.0349	136.11	0.0936	1.66725	10.56
55.2274	70.67	0.0624	1.66602	5.48
57.5147	324.32	0.1092	1.60112	25.16
57.6698	171.96	0.0780	1.60115	13.34
58.7054	21.87	0.0936	1.57145	1.70
58.8877	19.09	0.0936	1.56702	1.48
59.8982	312.47	0.1092	1.54297	24.24
60.0796	160.36	0.0936	1.54257	12.44
63.4386	6.56	0.3744	1.46512	0.51
64.4811	79.12	0.0936	1.44393	6.14
64.6796	46.38	0.1248	1.43998	3.60
65.6003	11.40	0.1872	1.42198	0.88

Rendgenskom difrakcijom (slika 8, tablica 1) je utvrđeno da su u uzorku osim granata prisutni kvarc, vjerojatno muskovit/illit na 9,9 Å i moguće K-feldspat na 3,22 Å.

Daljnjom analizom i eliminacijom nepoželjnih maksimuma, uzimajući u obzir najistaknutije maksimume, proveden je sljedeći računski postupak izračunavanja parametra  $a_0$  jedinične ćelije:



Slika 9 Prikaz mogućih tipova indeksa kod granata (hkl, hk0 i h00) u odnosu na kristalografske osi kubičnog sustava

Za izračun jedinične ćelije korišteni su određeni odabrani indeksi (slika 9) pojedinih maksimuma na rendgenogramu (tablica 2) te Braggov zakon:  $n\lambda = 2d\sin\theta$ ,

s parametrima  $\text{CuK}\alpha \Rightarrow \lambda = 1,5405 \text{ \AA}$

$$n = 1$$

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} \Rightarrow a = d\sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \text{ , za } d_{100} \Rightarrow h = 1, k = 0, l = 0$$

$$[\theta] = 30,99 \Rightarrow a = 2,88287x\sqrt{16 + 0 + 0} = 11,53148 \text{ \AA}$$

$$[\theta] = 34,75 \Rightarrow a = 2,57946x\sqrt{16 + 4 + 0} = 11,53569 \text{ \AA}$$

$$[\theta] = 38,18 \Rightarrow a = 2,35503x\sqrt{16 + 4 + 4} = 11,53724 \text{ \AA}$$

rezultati su svedeni na sljedeće uzimajući kao referentne podatke iz baze RRUFF-a :

**Tablica 2 rezultati rendgenske analize te iz njih izračunati parametri jedinične ćelije**

Pos. $[\theta]$	d $[\text{\AA}]$	hkl	a $[\text{\AA}]$
18,87	4.70334	211	11,52078

30,99	2,88287	400	11,53148
34,75	2,57946	420	11,53569
38,18	2,35503	422	11,53724
39,79	2.26366	431	11,54245
42,89	2,10647	521	11,53761
48,57	1,87276	611/532	11,54447
55,03	1.66725	444	11,55104
57,5	1,60112	640	11,54584
60,07	1,54257	642	11,54354
$\bar{a} = \frac{\sum_{i=0}^n a}{n} = 11,539014 \text{ \AA}$			

Iz navedenih 10 maksimuma (tablica 2) dobivena je srednja vrijednost parametra jedinične ćelije koja iznosi 11,539014 Å.

## 5. Rasprava

Općenito, granati su nezosilikati općeg sastava  $R_3^{2+}R_2^{3+}[S_iO_4]_3$ . Dijeleg se u dvije skupine; piralspiti u koje spadaju pirop, spessartin i almandin te ugrandite u koje spadaju grossular, andradit i uvarovit. Kristaliziraju u kubičnom sustavu u formi deltoidskog ikozitetraedra (piralspiti) i rompskog dodekaedra (ugranditi) te njihovim kombinacijama. Nemaju kalavost a boja im ovisi o kemijskom sastavu.

Granati kao skupina minerala prema svom kemijskom sastavu ukazuju na PT uvjete pri nastanku stijene odnosno mineralne parageneze te su zbog tog svojstva iznimno dobri indikatori petrogenetskih uvjeta.

Spessartin, manganski granat se obično nalazi u pegmatitnim žilama (također u skarnskim ležištima i tinjčevim škriljevcima) (SLOVENEK & BERMANEC, 2004) asociiranim s regionalnim metamorfizmom te su crveno-smeđe boje.

Slijedeći radnu pretpostavku da se u slučaju lokaliteta Srednja rijeka radi o granatima dominantno spessartinske komponente provedene su prethodno navedene analize od kojih

je rendgenska analiza pokazala rezultate koji su se nakon uspoređivanja maksimuma analiziranog granata s bazom RRUFF-a za spessartin (tablica 3) poklapali. Međutim nakon provedenog izračuna dimenzija jedinične ćelije dobiveni rezultat je bio bliži veličini jedinične ćelije almandinskog granata. Maksimumi i parametar  $a[\text{Å}]$  jedinične ćelije su zatim uspoređeni s bazom RRUFF-a za almandin (tablica 4) te su se poklapali. Naime, maksimumi su se prvotno poklapali sa podacima za spessartin jer piralspiti (pirop, almandin i spessartin) pokazuju vrlo sličan položaj maksimuma pošto kristaliziraju u istom sustavu tj. imaju istu kristalnu strukturu i predstavljaju gotovo idealne minerale mješance svojih krajnjih članova.

**Tablica 3 podatci dobiveni rendgenskom difrakcijom za spessartin, preuzeto sa: [https://rruff.info/repository/sample\\_child\\_record\\_powder/by\\_minerals/Spessartine\\_\\_R060447-1\\_\\_Powder\\_\\_DIF\\_File\\_\\_3089.txt](https://rruff.info/repository/sample_child_record_powder/by_minerals/Spessartine__R060447-1__Powder__DIF_File__3089.txt)**

Spessartin			
Izvor: Gemological Institute of America			
Lokalitet nepoznat			
CELL PARAMETERS = a: 11.6205 b: 11.6205 c: 11.6205 alpha: 90. beta: 90. gamma: 90. volume: 1569.19 crystal system: cubic			
2-THETA	INTENSITY	D-SPACING	H K L
30.78	38.43	2.9051	4 0 0
34.52	100.00	2.5984	4 2 0
36.26	8.94	2.4775	3 3 2
37.93	19.86	2.3720	4 2 2
39.54	14.35	2.2790	4 3 1
42.61	13.99	2.1216	5 2 1
44.08	3.24	2.0542	4 4 0
48.28	11.08	1.8851	6 1 1
48.28	9.33	1.8851	5 3 2
49.62	1.60	1.8374	6 2 0
54.73	15.06	1.6773	4 4 4
57.16	30.82	1.6115	6 4 0
58.35	1.26	1.5813	5 5 2
59.53	43.23	1.5529	6 4 2
64.11	9.96	1.4526	8 0 0
65.23	1.62	1.4304	7 4 1
72.79	9.47	1.2992	8 4 0
74.89	16.35	1.2679	8 4 2
76.97	6.92	1.2387	6 6 4
78.01	1.11	1.2249	8 5 1
78.01	1.16	1.2249	7 5 4
82.10	1.80	1.1738	9 4 1
82.10	2.15	1.1738	8 5 3

85.15	1.77	1.1395	10 2 0
-------	------	--------	--------

**Tablica 4 podatci dobiveni rendgenskom difrakcijom za almandin, preuzeto sa:**  
[https://rruff.info/repository/sample\\_child\\_record\\_powder/by\\_minerals/Almandine\\_\\_R040076-1\\_\\_Powder\\_\\_DIF\\_File\\_\\_3353.txt](https://rruff.info/repository/sample_child_record_powder/by_minerals/Almandine__R040076-1__Powder__DIF_File__3353.txt)

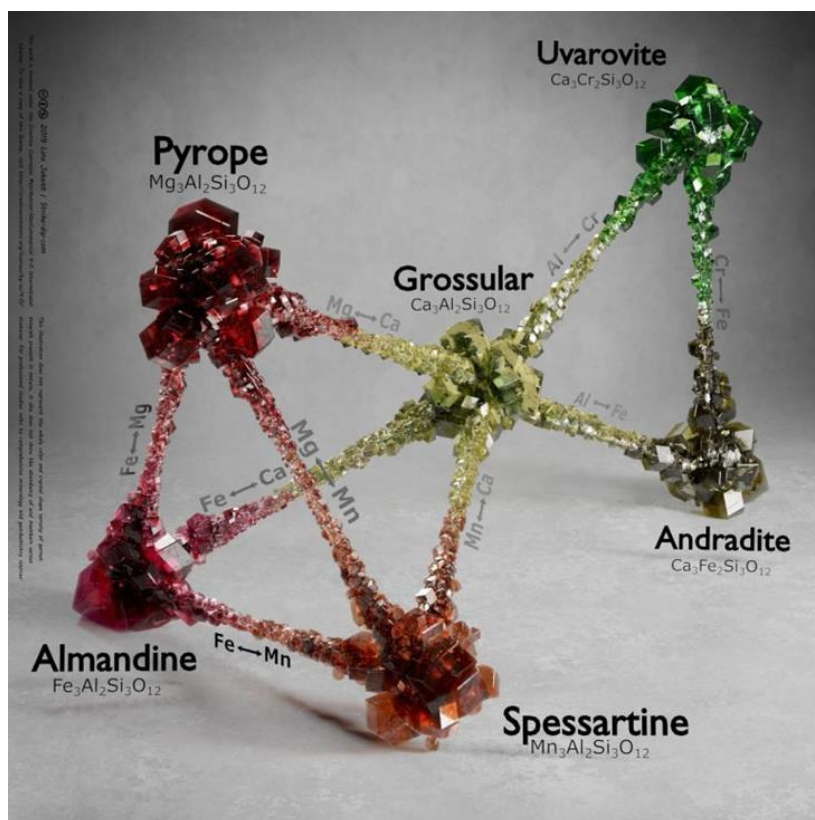
Almandin			
Izvor: Quartieri S, Chaboy J, Merli M, Oberti R, Ungaretti L Physics and Chemistry of Minerals 22 (1995) 159-169 Lokalitet: metasedimentary rocks of the Ivrea-Verbano Zone, Italy			
CELL PARAMETERS = a: 11.5389 b: 11.5389 c: 11.5389 alpha: 90. beta: 90. gamma: 90. crystal system: cubic			
2-THETA	INTENSITY	D-SPACING	H K L
18.84	1.18	4.7107	2 1 1
31.00	37.89	2.8847	4 0 0
34.77	100.00	2.5802	4 2 0
36.52	7.72	2.4601	3 3 2
38.21	20.89	2.3554	4 2 2
39.84	13.17	2.2630	4 3 1
42.93	14.94	2.1067	5 2 1
44.41	3.34	2.0398	4 4 0
48.64	9.61	1.8719	5 3 2
48.64	10.97	1.8719	6 1 1
49.99	1.19	1.8245	6 2 0
55.15	15.42	1.6655	4 4 4
57.60	32.53	1.6002	6 4 0
58.81	1.45	1.5702	5 5 2
60.00	42.44	1.5420	6 4 2
64.62	10.22	1.4424	8 0 0
65.74	1.44	1.4203	7 4 1
73.39	9.04	1.2901	8 4 0
75.52	16.61	1.2590	8 4 2
77.62	6.71	1.2301	6 6 4
78.66	1.00	1.2163	8 5 1
78.66	1.12	1.2163	7 5 4
82.81	1.93	1.1656	8 5 3
82.81	1.55	1.1656	9 4 1
85.90	1.71	1.1315	10 2 0



Pošto je radna hipoteza bila da se radi o granatima dominantno spessartinske komponente, ovakvi rezultati analize potaknuli su drugačiju interpretaciju od one prvotne.

Naime manganski granati karakteristični su za nisko temperaturne magmatske sustave u kojima tlak može varirati no najčešće se radi o niskom do srednjem tlaku. S druge strane za nastanak bazičnih magmatskih stijena potrebni su znatno viši P-T uvjeti i s time povezana veća dubina na kojoj iste nastaju. Za takve sustave karakterističan granat kao geotermobarometar bio bi piroop, magnezijski granat (SLOVENEK & BERMANEC, 2004).

Nadalje, spessartin i almandin čine kontinuiranu seriju kao dva krajnja člana gdje varira udio mangana odnosno željeza, a općenito sastav granata kao niza od dvije skupine (kalcijskih i aluminijskih) može značajno varirati. Piralspiti su aluminijski granati i predstavljaju trokomponentni sustav (magnezij, željezo, mangan) koji se može kretati po sva tri navedena pravca a dodatno u smjeru grossulara ovisno o udjelu kalcija u sustavu gdje se onda radi o pomicanju prema ugranditima (kalcijskim granatima) – slika 10.



Slika 10. slikovni prikaz serije granata s njenim krajnjim članovima, preuzeto sa: <https://cdn1.strike-dip.com/visualizations/20200324181007/garnets-1920x1920-cc-by-nc-lina-jakaite-strike-dip-com.jpg>

Sukladno navedenim činjenicama kada se promotri vrijednost izvedena iz rezultata rendgenske analize i usporedi s nekim već postojećim parametrima karakterističnim za

pojedini granat jasno se uviđa da se radi o seriji između almandina i spessartina te trokomponentnom sustavu koji se još dodatno neznatno može pomaknuti prema ugranditima.

Naime uzimajući u obzir podatke iz SLOVENEK & BERMANEC (2004) tablice sa vrijednostima dimenzija jedinične ćelije za krajnje članove gdje vrijednost parametra  $a_0$  (tablica 5) za almandin iznosi 11,53 a za spessartin 11,62 i jako odstupa od ugranditskih komponenata, analizirani granat sa vrijednošću 11,54 pripada piralspitima te se nalazi između dva krajnja člana bliže almandinskom, željeznom kraju unatoč činjenici da se u leukogranitima najčešće očekuju manganski granati (SLOVENEK & BERMANEC, 2004).

**Tablica 5 veličina parametra  $a[\text{Å}]$  glavnih krajnjih članova u grupi granata, preuzeto iz "Sistematska mineralogija - mineralogija silikata" (Slovenec & Bermanec, 2004)**

Naziv	Pirop	Almandin	Spessartin	Grossular	Andradit	Uvarovit
$a[\text{Å}]$	11,459	11,526	11,621	11,851	12,048	12,05

Uzimajući podatke iz baze RRUFF-a i (SLOVENEK & BERMANEC, 2004) tablice sa vrijednostima dimenzija jedinične ćelije (tablica 5), ustanovljeno je da je granat s lokalitet Srednja rijeka prevladavajuće almandinskog sastava

Pri razmatranju zašto u navedenom magmatskom sustavu ima toliko obogaćenja na željezo treba razmotriti više različitih faktora.

Kao što je već navedeno granati se nalaze unutar leukogranita koji sadrže geokemijske karakteristike I-tipa granita koji je karakterističan za dublje dijelove kore za koje su karakteristični viši P-T uvjeti.

Nadalje sama priroda pegmatita je da sadrže visoke koncentracije nekompatibilnih elemenata unutar minerala koji ih izgrađuju. Pegmatiti su krajnji produkt frakcijske kristalizacije te kao takvi ugrađuju sve dostupne elemente u sastav minerala koji ih izgrađuju, upravo je to jedan od razloga pojave rijetkih elemenata u sastavu pegmatita te moguć razlog veće koncentracije željeza unutar granata.

Željezo je također vrlo kompatibilan element koji vrlo lako ulazi u strukturu raznih minerala te ga je u prirodi mnogo više od mangana.

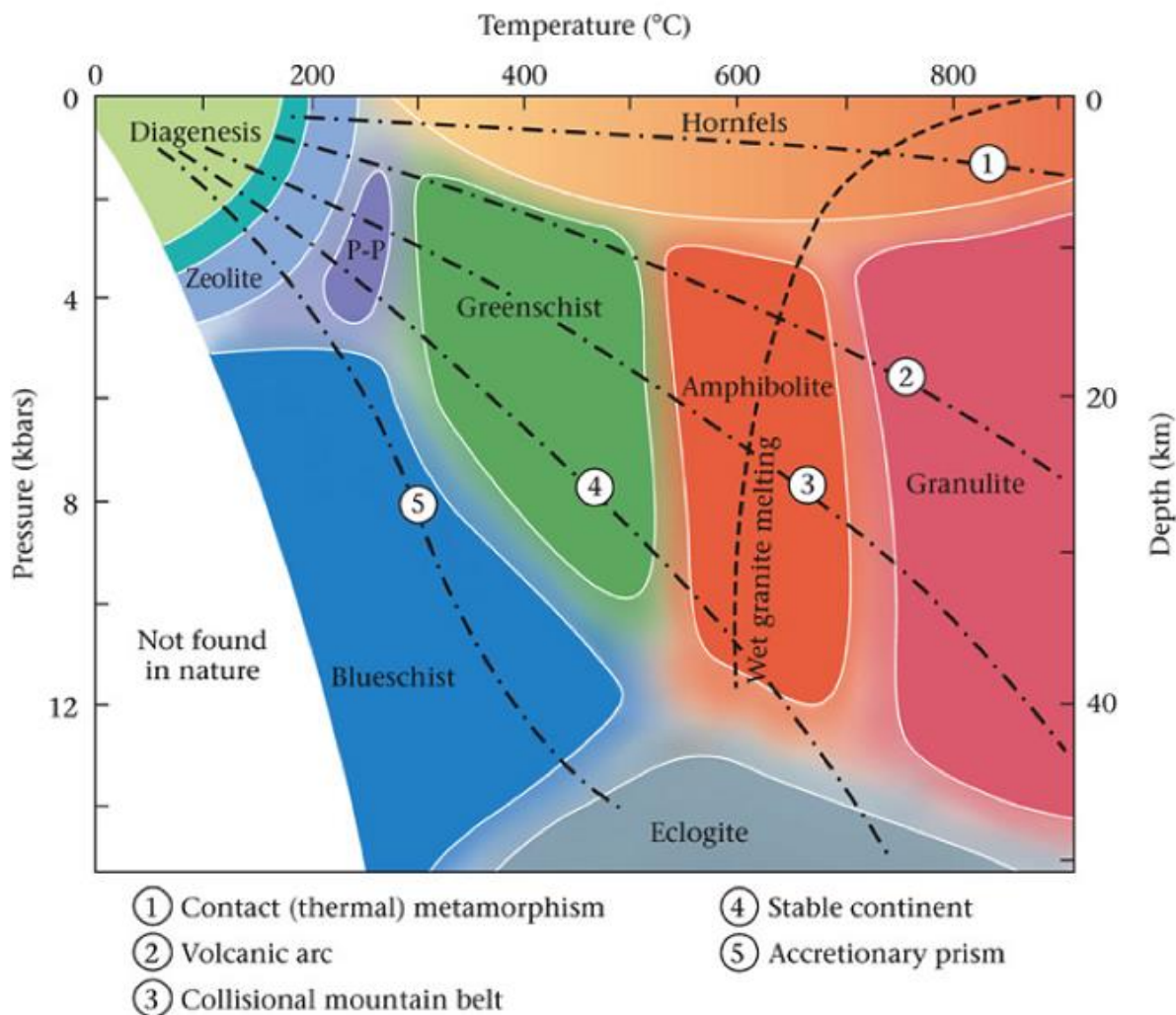
Granitni pluton Moslavačke gore presječen pegmatitnim žilama okružen je stijenama amfibolitnog facijesa srednjeg do visokog stupnja regionalnog metamorfizma. Za takve facijese upravo je tipičan almandin te je unutar stijena takvog facijesa na moslavačkoj gori i nađen te analiziran metamorfni granat koji po sastavu odgovara granatu s lokaliteta Srednja rijeka (GARAŠIĆ, V. 1993).

Međutim almandin u pegmatitima svakako ukazuje na petrogenetske uvijete drugačije od pretpostavljenih.

Naime spessartin u pegmatitima je čest i očekivan mineral te potvrđuje P-T uvijete tipične za magmatski sustav dominantno granitoidnih stijena. Konkretno spessartinski granati ukazuju na relativno nisku temperaturu magmatskog sustava tek nešto iznad solidusa mokrog granita (temperaturu ispod koje su svi konstituenti granita u čvrstom stanju) koja iznosi 630-650 °C te umjeren tlak pošto se radi o plitkim dubinama u zemljinoj kori. Solidus će biti viši ako je sadržaj vode u granitu manji. (BOUCHEZ et al, 1997).

Analizirani granat je magmatskog porijekla a po sastavu odgovara almandinu. Prema literaturi (SLOVENEK & BERMANEC 2004), almandin je granat tipičan za srednji do visok stupanj regionalnog metamorfizma, najčešće se nalazi u škriljevcima i gnajsima nastalim iz pelitnih protolita no rijede se može naći u nekim riolitima i granitima. Granat s lokaliteta Srednja rijeka dosad nije analiziran te ga iz tog razloga nemamo s čime usporediti.

Govorimo li o uvijetima srednjeg do visokog stupnja regionalnog metamorfizma radi se temperaturama od 400 - 800 °C te tlaku od 6 do 10 kbar (slika 11). U slučaju npr. stijena amfibolitnog facijesa unutar kojih su na Moslavačkoj gori nađeni almandinski granati radi se o temperaturi od 500 – 750 °C te tlaku od 3 – 12 kbar što odgovara dubini od 10 do 30 km.



Slika 11 Stabilnost pojedinih metamorfnih facijesa ovisno o temperaturi i tlaku, preuzeto sa: <https://www.alexstrekeisen.it/english/meta/amphibolite.php>

Mogu li nam takvi podatci poslužiti u slučaju analiziranog granata s lokaliteta Srednja rijeka gdje se ne radi o granatima metamorfnog porijekla već su nađeni unutar magmatske stijene što je ipak rjeđi slučaj? Temperatura kristalizacije leukogranita unutar kojeg je nađen granat svakako je negdje između 450 i 800 stupnjeva celzijusa, konkretno 720 stupnjeva što je utvrđeno analitičkim metodama i usporedbom s eksperimentalnim istraživanjima (BALEN & BROSKA, 2011).

U svakom slučaju zbog razlika u genezi granata (magmaško nasuprot metamorfnog porijekla) usporedbu je bolje potražiti u sličnim stijenama i procesima vezanim za magmatske sustave.

Eksperimentalna istraživanja su pokazala da almandinski granati obogaćeni kalcijem kristaliziraju iz granitoidne taljevine bogate vodom pri temperaturi 900-950 °C te tlaku manjem od 7 kbar dok almandinski granati bogati manganom iz iste silikatne taljevine kristaliziraju pri tlaku manjem od 5 kbar (GREEN et al, 1992).

Što se tiče tlaka pri kojem su kristalizirali proučavani granati, s obzirom na pojavu andaluzita u uzorku leukogranita, tlak bi morao biti ispod 400 MPa (VISONÀ et al, 2012).

U radu GARAŠIĆ et al (2007) spominje se granat unutar leukogranita s lokaliteta Srednja rijeka homogenog sastava ( $X_{Fe} = 0,6$ ,  $X_{Mn} = 0,4$ ) što se poklapa s dominantno almandinskim sastavom. Navedeni granat ne sadrži značajne inkluzije osim pojedinih uklopaka andaluzita što znači da su ostali minerali već kristalizirali kao veći (+ reakcije na kontaktu s kvarcom), a granat je uklopio sitni andaluzit što ukazuje da je završetak kristalizacije granata bio pri tlaku ispod 400 MPa. Podatci u citiranom radu podupiru rast granata na većoj dubini pri većoj temperaturi zatim uzdizanje i završetak rasta pri nižem tlaku uz tekture s kvarcom i uklopke andaluzita.

U radu GOSWAMI et al. (2020), spominje se pronalazak almandina u željezom bogatom granitu na lokalitetu Chhotanagpur, gnajnsnom kompleksu u istočnoj Indiji. Navedeni granat je bio iznimno obogaćen na kalcij ( $CaO = 7-11.3$  wt%) te je pokazivao odstupanje od granta iz S-tipa, A-tipa, I-tipa granita, metamorfnog granata i granata porijeklom iz plašta. Granit u kojem je almandin pronađen je klasificiran kao izrazito frakcionirani I-tip granita obogaćen na inkompatibilne elemente te je nastao od granulitnog protolita bogatog hornblendom s visokim udjelom aluminijske i kalij. Kompleks se sastoji od granitnog plutona koji intrudira u okolne metapelite slično kao u slučaju Moslavačke gore. Nizom analiza utvrđeno je da su granati kristalizirali iz taljevine bogate vodom ( $H_2O = 6-9$  tež.%) pri temperaturi oko 760 °C, tlaku od 6 kbar te fugacitetu kisika  $fO_2 = 15$  log unit (bar).

Uzevši u obzir sličnosti između podataka u navedenom radu i podacima prikupljenim u kamenolomu Srednja rijeka, može se povući paralela što se tiče petrogenetskih uvijeta pošto daljnje analitičke metode trenutno nije moguće provesti na analiziranom magmatskom granatu s Moslavačke gore.

## 6. Zaključak

Granati pronađeni u pegmatitima Moslavačke gore odgovaraju kemijskom sastavu almandina, željezovitog granata što je potvrdila rendgenska analiza čiji podatci su uspoređeni s bazom RRUFF-a.

Almandin u granitu nije čest i očekivan mineral te ukazuje na višu temperaturu kristalizacije. Viša temperatura rane kristalizacije granata, npr 760 stupnjeva celzijusa (GOSWAMI et al, 2020) ukazuje i na moguću veću dubinu kristalizacije granata u granitu što je u skladu s leukogranitom koji iako je prema glavnim klasifikacijskim parametrima klasificiran kao S-tip granita ima geokemijske karakteristike I-tipa a I-tip granita nastaje na većim dubinama. Ipak za točnu temperaturu kristalizacije granata bilo bi potrebno provesti daljnju analizu jer je udio kalcija (uz druge bitne faktore) u granatu također bitan faktor u određivanju petrogenetskih uvjeta. Također pojava andaluzita u istoj stijeni uvjetuje završetak kristalizacije stijene na tlakovima nižim od ca. 400 MPa.

Ono što je sigurno, almandinski granat ukazuje na početak kristalizacije uz više uvijete tlaka i temperature nego što bi to bilo u slučaju pronalaska spessartina koji bi ukazivao na temperaturu blisku temperaturi solidusa mokrog granita. U ovom slučaju uzevši u obzir gore navedene reference najvjerojatnije se radi o temperaturi od oko 700 - 800 stupnjeva te sudeći po pojavi andaluzita završetak kristalizacije stijene pri tlaku manjem od 400 MPa što je također u skladu s uvjetima magmatskih procesa tijekom krede determiniranim drugačijim pristupima na lokalitetima Moslavačke gore uključujući istraživani lokalitet Srednja rijeka

## 7. Literatura

BALEN, D. & PAMIĆ, J. (2000): Crystalline Complex of Mt. Moslavačka Gora. In: J. Pamić & B. Tomljenović (Eds) PANCARDI 2000 fieldtrip guidebook (pp. 44–47). Dubrovnik.

BALEN, D., SCHUSTER, R., & GARAŠIĆ, V. (2001): A new contribution to the geochronology of Mt. Moslavačka Gora (Croatia). PAN CARDI 2001 Abstracts II, Sopron, DP-2.

BALEN, D., SCHUSTER, R., GARAŠIĆ, V., MAJER, V. (2003): The Kamenjača olivine gabbro from Moslavačka Gora (South Tisia, Croatia) // Rad Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti. Prirodne znanosti, 486 (2003), 57-76-x

BALEN D, BROSKA I (2011): Tourmaline nodules– products of devolatilization within the final evolutionary stage of granitic melt? In: Sial AN, Bettancourt JS, De Campos CP, Ferreira VP (eds) Granite-Related Ore Deposits. Geological Society, London, Special Publications 350:53–68

BALEN D, PETRINEC Z (2010): Complex Cretaceous evolution of the Moslavačka Gora crystalline: different aspects from various types of “foreign” and “cognate” enclaves inside granites. In: Horvat M (ed). 4. Hrvatski geološki kongres Abstracts Book, pp 135–136

BALEN, D. & PETRINEC, Z. (2011): Contrasting tourmaline types from peraluminous granites: a case study from Moslavačka Gora (Croatia).– *Miner. Petrol.* 102, 117–134. doi: 10.1007/s00710-011-0164-8

BALEN, D & PETRINEC, Z. (2023): Infrared spectra study of the Moslavacka Gora (Croatia) tourmalines O-H stretching region: Inference of fluid involvement in the Late Cretaceous igneous evolution of a complex Adria-Europe convergence zone. *Geoloski anali Balkanskoga poluostrva.* 84. 3-3. 10.2298/GABP230301003B.

BOUCHEZ, J. L., HUTTON, D. H. W., STEPHENS W. E. (Eds.) (1997): *Granites: From Segregation of Melt to Emplacement Fabrics*, 358 pp., Kluwer Acad., Dordrecht, Netherlands

CRNKO, J. (1990): Osnovna geološka karta Republike Hrvatske 1:100 000, list Kutina L 33-90. [Basic Geological Map of the Republic of Croatia, scale 1 : 100.000, sheet Kutina L33-94 – in Croatian].– Hrvatski geološki institut (Zavod za geolog iju) Zagreb, 2014.

GARAŠIĆ, V. (1993): Metamorfni uvjeti stijena amfibolitnog facijesa Moslavačke gore [Metamorphic conditions of rocks of amphibolite facies of Mt. Moslavačka Gora – in Croatian].– Unpubl. Magister Thesis, Faculty of Science, University of Zagreb, 171 p.

GARAŠIĆ V, KRŠINIĆ A, SCHUSTER R, VRKLJAN M (2007): Leucogranite from Srednja Rijeka (Moslavačka Gora, Croatia). In: 8th Workshop on Alpine Geological Studies Abstract volume, pp 21–21

GARAŠIĆ, V., LUGOVIĆ †, B., KRSNIK, M., BILIĆ, Š., MEYER, H., SCHUSTER, R. I., VRKLJAN, M. (2024). First occurrence of dumortierite in Croatia: its chemical composition and appearance as an igneous mineral in leucogranite-hosted pegmatite. *Geologia Croatica*, 77 (1), 41-56. <https://doi.org/10.4154/gc.2024.01>

GREEN TH. (1992): Experimental phase equilibrium studies of garnet-bearing I-type volcanics and high-level intrusives from Northland, New Zealand. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*. 1992;83(1-2):429-438. doi:10.1017/S0263593300008105

GOSWAMI, B., BASAK, A., DAS, S., BHATTACHARYYA, C. (2020): A Grenvillian magmatic almandine garnet-bearing ferroan granite intrusion in the Chhotanagpur Gneissic Complex, Eastern India: Petrology, petrochemistry, petrogenesis and geodynamic implications. *Lithos*. 376-377. 10.1016/j.lithos.2020.105749.

KOROLIJA B, CRNKO J (1985) Basic Geological Map of Yugoslavia in scale 1:100000, L 33–82 sheet Bjelovar. Institute for Geology Zagreb, Federal Geological Institute Belgrade

LLOYD, F., WOOLLEY, A., STOPPA, F., EBY, N.(2002): Phlogopite-biotite parageneses from the K-mafic-carbonatite effusive magmatic association of Katwe-Kikorongo, SW Uganda. *Mineralogy and Petrology*. 74. 299-322. 10.1007/s007100200008.

PALINKAŠ, L. A., BALOGH, K., STRMIĆ, S., PAMIĆ, J., & BERMANEC, V. (2000): Ar/Ar dating and fluid inclusions study of muscovite from the pegmatite Srednja Rijeka, within granitoids of Moslavačka Gora Mt., North Croatia. In: B. Tomljenović, D. Balen, & B. Saftić (Eds.) PANCARDI 2000 Special Issues Abstracts (pp. 95–96). *Vijesti* 37/3.

PAMIĆ, J. (1987): Granites and associated monzodiorites and gabbros from Kamenac Creek on Mt. Moslavačka Gora (Northern Croatia, Yugoslavia).– *Rad JAZU*, 431/22, 179–199.



PAMIĆ, J. (1990): Alpine granites, migmatites and metamorphic rocks from Mt Moslavačka Gora and the surrounding basement of the Pannonian Basin (Northern Croatia, Yugoslavia). *Rad Jugoslovenske Akademije Znanosti i Umjetnosti*, 10, 7–121.

RRUFF 2024. Almandine R040076

<https://rruff.info/almandine/R040076>

RRUFF 2024. Spessartine R060447

<https://rruff.info/spessartine/R060447>

SLOVENEČ, D., BERMANEC, V. (2003): *Sistematska mineralogija- mineralogija silikata*. Učbenici sveučilišta u Zagrebu

SCHMID, S. M., BERNOULLI, D., FUGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., (2008): The Alpine–Carpathian–Dinaridic orogenic system: Correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences*, 101, 139–183

STARIJAŠ, BILJANA ; BALEN, DRAŽEN ; TIBLJAŠ, DARKO ; FINGER, FRITZ. (2005): Zircon typology in crystalline rocks of Moslavačka Gora (Croatia) – preliminary petrogenetic insight from transmitted light (TL) and scanning electron microscopy (SEM) // Abstracts book / Tomljenović, Bruno ; Balen, Dražen ; Vlahović, Igor (ur.). Zagreb: Hrvatski geološki institut, 2005. str. 89-90

STARIJAŠ, B., GERDES, A., BALEN, D. (2010): The Moslavačka Gora crystalline massif in Croatia: a Cretaceous heat dome within remnant Ordovician granitoid crust. *Swiss J Geosci* 103, 61–82 (2010).

VISONÀ, D., CAROSI, R., MONTOMOLI, C., TIEPOLO, M., PERUZZO, L., (2012): Miocene andalusite leucogranite in central-east Himalaya (Everest-Masang Kang area): Low-pressure melting during heating. *LITHOS.* 144. 194-208. 10.1016/j.lithos.2012.04.012.

## 8. Tablice

Tablica 1 lista maksimuma za analizirani granat uz maksimume drugih minerala iz pegmatita (maksimumi granata su označeni žutom a muskovit/illit crvenom bojom) ..... 13

Tablica 2 rezultati rendgenske analize te iz njih izračunati parametri jedinične ćelije . 15

Tablica 3 podatci dobiveni rendgenskom difrakcijom za spessartin, preuzeto sa: [https://rruff.info/repository/sample\\_child\\_record\\_powder/by\\_minerals/Spessartine\\_\\_R060447-1\\_\\_Powder\\_\\_DIF\\_File\\_\\_3089.txt](https://rruff.info/repository/sample_child_record_powder/by_minerals/Spessartine__R060447-1__Powder__DIF_File__3089.txt) ..... 17

Tablica 4 podatci dobiveni rendgenskom difrakcijom za almandin, preuzeto sa: [https://rruff.info/repository/sample\\_child\\_record\\_powder/by\\_minerals/Almandine\\_\\_R040076-1\\_\\_Powder\\_\\_DIF\\_File\\_\\_3353.txt](https://rruff.info/repository/sample_child_record_powder/by_minerals/Almandine__R040076-1__Powder__DIF_File__3353.txt) ..... 18

Tablica 5 veličina parametra  $a[\text{Å}]$  glavnih krajnjih članova u grupi granata, preuzeto iz "Sistematska mineralogija - mineralogija silikata" (Slovenec & Bermanec, 2004)..... 20

## 9. Popis slika

<i>Slika 1 Regionalni tektonski položaj Moslavačke gore prema Schmid et al. 2008, preuzeto iz Garašić et al. 2024 .....</i>	1
<i>Slika 2 Geološka karta Moslavačke gore, preuzeto iz : preuzeto iz Inventarizacija geološke baštine i značajnih geolokaliteta Moslavačke gore, PMF, Zagreb, 2009.....</i>	2
<i>Slika 3. Kamenolom Srednja rijeka (2024.).....</i>	3
<i>Slika 4. Žila leukoganita koja presjeca sitnozrnati dvotinjčasti granit, širina žile oko 1 cm.....</i>	4
<i>Slika 5 a) masivni uzorak diseminiranih turmalina u pegmatitu b) uvećani prikaz radijalnih agregata turmalina (turmalinska sunca), promjer štapićastih turmalina oko 3-4 mm c) nodularni turmalini unutar dvotinjčastog granita, preuzeto iz (Balen &amp; Petrinc, 2023).....</i>	6
<i>Slika 6. a) uzorak granata u pegmatitu b) pribor za pripremu uzorka c) usitnjeni uzorak i nosač za uzorke d) rendgenski difraktometar X' Pert PRO.....</i>	9
<i>Slika 7. a) uzorak leukoganita u mikroskopskim uvjetima bez analizatora s vidljivim biotitom, turmalinom i andaluzitom c) i d) uzorak s leukoganita u uvjetima s uklopljenim analizatorom s vidljivim sraslačkim lamelama plagioklasa te unduloznim potamnjenjem kremenca, povećanje 25x.....</i>	11
<i>Slika 8. Dobiveni rendgenogram analiziranog uzorka granata s pripadajućim indeksima za glavne maksimume .....</i>	13
<i>Slika 9 Prikaz mogućih tipova indeksa kod granata (hkl, hk0 i h00) u odnosu na kristalografske osi kubičnog sustava .....</i>	15
<i>Slika 10. slikovni prikaz serije granata s njenim krajnjim članovima, preuzeto sa: <a href="https://cdn1.strike-dip.com/visualizations/20200324181007/garnets-1920x1920-cc-by-nc-lina-jakaite-strike-dip-com.jpg">https://cdn1.strike-dip.com/visualizations/20200324181007/garnets-1920x1920-cc-by-nc-lina-jakaite-strike-dip-com.jpg</a> .....</i>	19
<i>Slika 11 Stabilnost pojedinih metamorfnih facijesa ovisno o temperaturi i tlaku, preuzeto sa: <a href="https://www.alexstrekeisen.it/english/meta/amphibolite.php">https://www.alexstrekeisen.it/english/meta/amphibolite.php</a> .....</i>	22