

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Iva Olič

Intruzija krednog granita  
u stijene starijeg metamorfnog sklopa:  
proces fragmentacije, smještavanja i lokalne interakcije  
na području kristalina Moslavačke gore

Zagreb, 2018.

Ovaj rad izrađen je na Mineraloško-petrografskom zavodu Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom doc. dr. sc. Zorice Petrince i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade u akademskoj godini 2017./2018.

# SADRŽAJ RADA

1. UVOD .....	1
1.1. Zalamanje .....	1
2. GEOLOŠKA GRAĐA TERENA .....	5
2.1. Metamorfne stijene .....	6
2.1.1. Metasedimentne stijene .....	6
2.1.2. Metabaziti (amfibolske stijene) .....	7
2.1.3. Metagraniti (ortognajsevi) .....	8
2.1.4. Migmatiti .....	8
2.2. Magmatske stijene .....	9
2.2.1. Granitoidi .....	9
2.2.2. Ostale pojave magmatskih stijena .....	9
3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA .....	10
4. MATERIJALI I METODE .....	12
4.1. Terenska istraživanja i uzorci .....	12
4.2. Optička istraživanja .....	12
4.3. Cijelostijenske kemijske analize .....	13
5. REZULTATI .....	14
5.1. Terenski rezultati .....	15
5.2. Mikroskopski rezultati .....	19
5.2.1. Amfiboliti .....	19
5.2.1.1. I skupina .....	19
5.2.1.2. II skupina .....	24
5.2.1.3. III skupina .....	26
5.2.1.4. IV skupina .....	30
5.2.2. Graniti .....	32
5.2.2.1. Preparat 130a .....	32

5.2.2.2.	Preparat 130b.....	34
5.2.2.3.	Preparat 130c.....	36
5.3.	Rezultati kemijskih analiza.....	38
6.	DISKUSIJA .....	42
6.1.	Varijacije sastava granitnih stijena Pleterca: potpis lokalnih specifičnosti tijekom intruzije glavne mase granita.....	42
6.2.	Opažene mikrostrukture u amfibolitima: odraz metamorfnih reakcija koje su prethodile intruziji granita? .....	44
6.3.	Ksenoliti amfibolita: usputni promatrači ili aktivni sudionici u procesima modifikacije intrudirajuće magme? .....	45
7.	PLETERAC: SKRIVENI DRAGULJ MOSLAVAČKE GORE.....	49
7.1.	Gospodarska iskoristivost: tehničko-građevinski kamen .....	49
7.2.	Zaokret u „zeleno“: Čazma Natura.....	50
8.	ZAKLJUČAK .....	51
9.	ZAHVALE.....	53
10.	LITERATURA.....	54
11.	SAŽETAK.....	56
12.	SUMMARY .....	57
13.	ŽIVOTOPIS .....	58

# 1. UVOD

Granitne intruzije su važan tektonski element unutar srednjeg i gornjeg dijela kontinentalne kore te njihovo smještanje predstavlja važan izvor topline i proces izmjene materijala. Smještanje plutona može se odviti na nekoliko načina, a jedan od procesa je zalamanje (eng. *stoping*) starijih stijena u koje intrudira sam pluton. Navedeni proces nije volumno značajan nego se očituje u završnim fazama smještanja plutona. Moslavačka gora primjer je granitoidnog plutona nastalog u gornjoj kredi prilikom kompleksnih geodinamskih procesa uključenih u zatvaranje oceana Tethys te predstavlja dio kenozojskog šava Jadranske mikroploče i europskog kontinenta. Taj uski pojas naziva se Savska zona (Schmid i dr., 2008).

Budući da je Moslavačka gora niska gora i prekrivena vegetacijom, mogući tragovi procesa zalamanja uglavnom su teško uočljivi. No, prilikom izgradnje putova ili pak gospodarskim iskorištavanjem stijena u malobrojnim kamenolomima omogućeno je otkrivanje većih površina i čistih izdanaka s vidljivim geološkim kontaktima. Jedan takav lokalitet je i kamenolom Pleterac, danas neaktivan, smješten na sjevernom obodu Moslavačke gore. U njemu su jasno vidljivi veliki blokovi metabazitnih ksenolita s oštrim kontaktima prema okolnoj granitnoj masi te veće i manje žile granita koje uglavnom diskordantno presijecaju okolne stijene. Zbog takvih makroskopskih elemenata koji mogu upućivati na proces zalamanja, kamenolom Pleterac je detaljnije terenski istražen, uz provođenje detaljnog fotodokumentiranja te uzorkovanja. Ciljevi rada su: 1) upoznati se s procesom zalamanja i potražiti njegove elemente unutar kamenoloma Pleterac, 2) na temelju opaženih pojava veće količine ksenolita u granitoidnim stijenama definirati proces kojim su nastali, 3) definirati petrološku evoluciju ksenolita, 4) potražiti mikrostrukturne i geokemijske pokazatelje koji ukazuju na interakciju ksenolita i intrudirajuće magme te opisati takve procese na lokalnoj razini, i 5) ukazati na značaj lokaliteta Pleterac u smislu interpretacije geološke evolucije moslavačkog kristalina i potrebu njegove adekvatne valorizacije i zaštite.

## 1.1. Zalamanje

Magmatski ciklus opisuje evoluciju magme od njezinog nastanka procesima parcijalnog taljenja u izvorištu, izdvajanja ili segregacije iz tog područja, zatim uzdizanja prema površini, smještanja u pliće položenu magmatsku komoru, sve do moguće erupcije. Smještanje granitoidnih plutona unutar kontinentalne kore predstavlja dakle jednu od faza

magmatskog ciklusa i kao takvo značajno doprinosi stvaranju nove kontinentalne kore, njezinom zadebljanju te recikliranju i diferencijaciji. U magmatskoj petrologiji danas je uvriježeno shvaćanje da se smještanje plutona odvija kroz sedam osnovnih procesa: 1) stvaranjem kupola ili doma, 2) asimilacijom okolnih stijena, zonskim taljenjem i parcijalnim taljenjem materijala u koji se utiskuje pluton, 3) formiranjem dajkova i silova, 4) procesima zalamanja, 5) plastičnom deformacijom okolnih stijena i njihovim potiskivanjem u dublje dijelove, 6) lateralnim pomicanjem okolnih stijena duž rasjeda i bora, i 7) smještanjem vezanim uz esktenzijske pokrete (Winter, 2001). Većina navedenih procesa dobro je opisana u literaturi i lako se prepoznaju na terenu. Jedan od slabije objašnjenih procesa je zalamanje, proces kojeg je prvi opisao Daly (1903) u svojem doktorskom radu i koji do danas još uvijek nije do kraja razjašnjen.

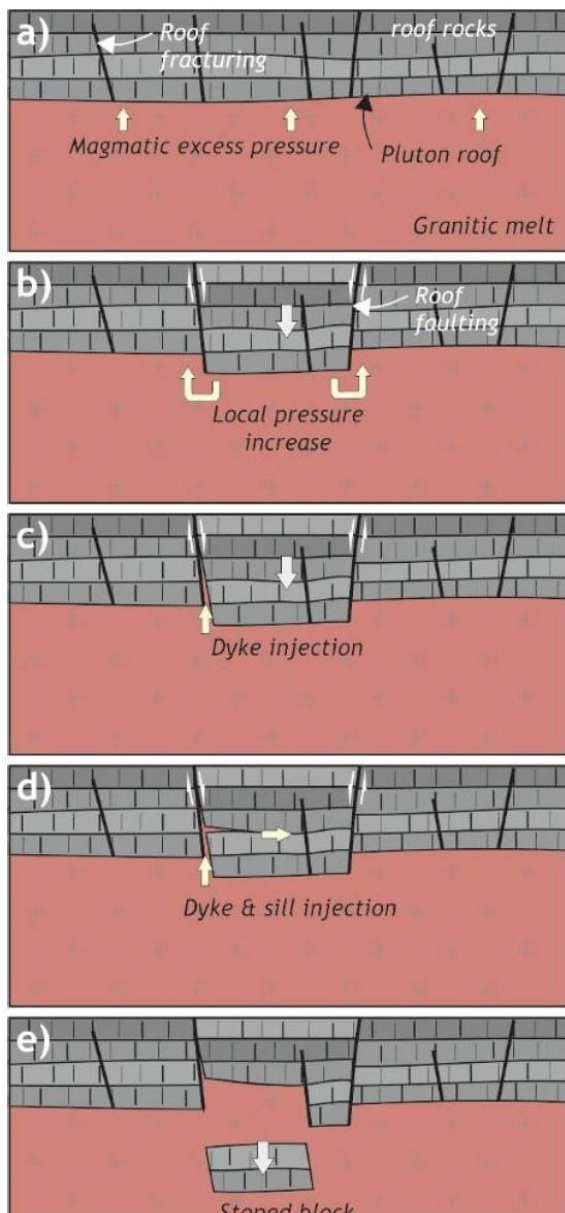
Zalamanje, u engleskom izvorniku proces poznat pod nazivom *stoping*, može se opisati kao proces smještanja plutona prilikom kojeg dolazi do odlamanja ksenolita odnosno blokova od okolnih stijena u koje je intrudirala magma i njihovog tonjenja unutar magme, ovisno o razlikama u gustoći samih odlomljenih stijena i magme. Ovaj mehanizam ograničen je na nekoliko gornjih kilometara debljine unutar kontinentalne kore jer su za njegovo djelovanje potrebni krti uvjeti ponašanja stijena. Kao glavne dokaze za mehanizam smještanja putem zalamanja najčešće se navode: 1) oštri kontakti između plutona i okolne stijene, 2) odsutnost plastične deformacije povezane sa smještanjem plutona, 3) prisutnost fragmenata okolnih stijena odnosno ksenolita, 4) raznolike populacije ksenolita, 5) strukturni dokazi rotacije ksenolita, i 6) geokemijski dokazi kontaminacije magme (Glazner i Bartley, 2006).

Do zalamanja dolazi kada intrudirajuća magma biva dovedena u kontakt s hladnijom stijenom domaćinom, koja puca zbog temperaturne razlike, zbog pritiska magme unutar ograničenog volumena magmatskog ognjišta ili zbog porasta pritiska prilikom izdvajanja volatila iz magme (pr. Fowler i Paterson, 1997; Pinotti i dr, 2002, Yoshinoba i dr, 2003). Širenjem pukotina, magma ulazi u njih te dolazi do slabljenja bloka okolne stijene koji se odlama i tone u magmu (Slika 1.). Postojanje primarnih i sekundarnih slabosti, kao što su plohe slojevitosti, odnosno različite pukotine ili rasjedi, dodatno olakšava širenje pukotina i napredovanje procesa zalamanja.

Kako bi se određen volumen magme mogao uzdignuti iz izvorišta i smjestiti u plitko magmatsko ognjište unutar kore pomoću mehanizma zalamanja, jednaki volumen okolnih

stijena mora se odlomiti i potonuti unutar magme. Ovisno o viskozitetu magme i gustoći blokova, razlikovat će se i brzina tonjenja od slučaja do slučaja. Kako bi blokovi bili očuvani kao ksenoliti čvrste, nerastaljene stijene kakve se onda opaža na terenu, magma mora relativno brzo prijeći solidusnu liniju i prijeći u kruto agregatno stanje, odnosno postati stijena, kako ne bi došlo do značajnije asimilacije blokova. Prisustvo takvih blokova ili ksenolita jedan je od glavnih dokaza zalamanja (Slika 2.). Količina ksenolita unutar plutona prema teoriji bi trebala biti velika, do nekoliko desetaka volumnih postotaka, ali na terenu

postoji mnogo primjera izdanaka zalamanja s manje od jednog volumnog postotka ksenolita.



**Slika 1.** Ilustrirani prikaz procesa zalamanja kroz nekoliko faza (preuzeto iz Lagergren, 2012).

- a) Zbog utjecaja magme i pritiska prema stijenama u krovini, dolazi do pucanja stijena.
- b) U krovini dolazi do formiranja rasjeda i spuštanja dijela bloka čime se pojačava pritisak na pukotine.
- c) Kroz pukotine ulazi magma te se one postupno šire.
- d) Magma pronalazi slabosti u stijeni (kao što je slojevitost) i intrudira u njih što dovodi do slabljenja stijene.
- e) Kada se blok odvoji od matične stijene, odnosno kada se odvoji procesom zalamanja, tone u magmu te može biti očuvan kao ksenolit.



**Slika 2.** Terenski primjeri manifestacija procesa zalamanja. a) Rotirani zalomljeni blokovi s oštrim rubovima i granicama prema okolnoj granitnoj masi. b) Tri seta pukotina ispunjenih granitnom taljevinom u meta-andezitnom bloku (preuzeto iz Paterson i dr., 2012).

(Fowler i Paterson, 1997; Pinotti i dr., 2002; Yoshinobu i dr., 2003). U područjima uz rub plutona količina ksenolita je veća, dok se u unutrašnjosti i pri dnu plutona postotak naglo smanjuje. Veličina ksenolita se razlikuje i može biti od nekoliko centimetara do metarskih i hektametarskih dimenzija. Prilikom pucanja blokova, najbrojniji su oni najmanji (milijuni njih), a količina blokova opada s povećanjem prosječne veličine bloka (Glazner i Bartley, 2006).

Asimilacija generalno predstavlja proces promjene kemijskog sastava magme zbog reakcije s okolnom stijenom. Tonjenjem blokova u magmu, veći će potonuti i tek se djelomično asimilirati, dok će manji blokovi ostati pri vrhu i uglavnom se u potpunosti asimilirati. Glazner i Bartley (2006) iznose sumnju općenito u sam mehanizam zalamanja i asimilaciju manjih blokova, jer zbog veće površine međusobne interakcije dolazi do bržeg hlađenja magme uz same ksenolite i njezine kristalizacije, što bi dovelo do njihovog „zamrzavanja“ u plutonu. Međutim, Paterson i dr. (2008) naglašavaju važnost asimilacije i definiraju ostatke manjih blokova u obliku refraktornih ostataka drugačijeg mineralnog sastava. Dakle, uz prisutnost ksenolita, važan dokaz za mehanizam zalamanja je i kontaminacija magme, odnosno kemijski zapis interakcije ksenolita i intrudirajuće magme.

Prema Pignotta i Paterson (2007) i tamo navedenim referencama, prividni nedostatak zalomljenih blokova proizlazi iz razlike u brzini tonjenja blokova i brzini hlađenja magme. Brzina tonjenja blokova iznosi nekoliko sati ili dana, a brzina hlađenja magme  $10^3$  do  $10^6$  godina. Dakle, samo blokovi koji su upali u magmu blizu solidusne temperature mogu biti



zarobljeni unutar komore. Također iznose tvrdnju da pojava i brojnost ksenolita, odnosno zalomljenih blokova, nije nužan preduvjet za dokazivanje procesa zalamanja, već su značajni i diskordantni odnosi između okolne stijene i plutona te nedostatak plastične deformacije i metamorfne aureole. Manjak zalomljenih blokova, kako ističu Glazner i Bartley (2006), dokaz je da proces zalamanja nije značajan u smještavanju plutona, nego obuhvaća tek nekoliko postotnih volumena plutona. To potvrđuju Paterson i dr. (2008; 2012) i navode kako proces zalamanja nije jedini djelatan proces te se da obično događa u završnim fazama smještavanja plutona.

Kao što je već navedeno, zalamanje je proces koji se odvija relativno plitko u kori, u krtim uvjetima, kako bi mogle nastati pukotine i doći do odlamanja blokova. U dubljim dijelovima kore dolazi do kombinacije zalamanja i većeg stupnja asimilacije, odnosno do procesa tzv. zonskog taljenja (Winter, 2001). Za razliku od zalamanja, prilikom kojeg dolazi do izdizanja magme odlamanjem i tonjenjem blokova, u procesu zonskog taljenja u bitno većoj mjeri dolazi do prijenosa topline magme prema okolnoj stijeni, taljenja iste i miješanja dviju ili više magmi.

## **2. GEOLOŠKA GRAĐA TERENA**

Moslavačka gora izgrađena je od kristalinskih stijena koje prekrivaju površinu od 180 km<sup>2</sup>, od kojih približno 2/3 površine čine granitoidne stijene, a ostatak metamorfne stijene (Slika 3.). Prema Pamić (1990), građa magmatsko-metamornog kompleksa u potpunosti je očuvana na južnom i jugoistočnom dijelu gore između Mikleuške i Gornje Garešnice, gdje je vidljiv slijed od jezgre granitoidnog sastava, koju obavija pojas migmatita, do rubne zone koju sačinjavaju metamorfne stijene amfibolitnog facijesa te facijesa zelenih škriljavaca, koji je registriran samo u okolnim bušotinama. No, vrijedi spomenuti da je zbog pokrivenosti terena vegetacijom te malog broja poznatih i pogodnih izdanaka ovakve međuodnose teško pratiti čak i u tom južnom, a posebno u ostalim dijelovima moslavačkog masiva.

Vrlo detaljan pregled geološke građe Moslavačke gore dan je u Tumaču OGK list Bjelovar (Korolija i dr. (1986)), monografiji Pamića (1990) te Vodiču geološke ekskurzije HGD-a (Crnko, 1998), stoga su upravo te tri publikacije poslužile kao osnova za sažeti prikaz pojedinih tipova stijena u nastavku.

## 2.1. Metamorfne stijene

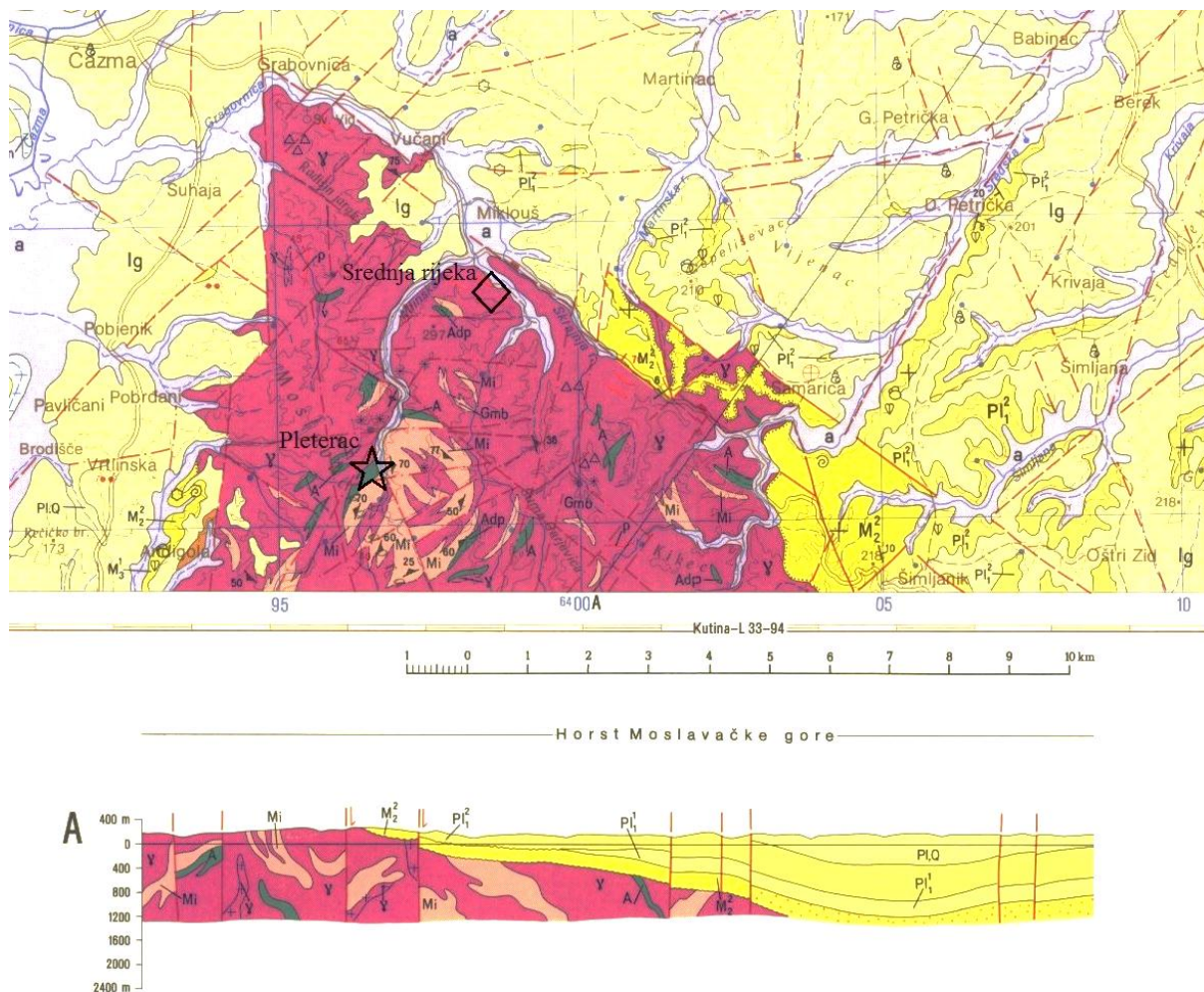
Metamorfne stijene najveće rasprostiranje imaju u rubnim dijelovima kompleksa, pogotovo u južnom i jugoistočnom dijelu gdje izgrađuju nejednoliku široku i rascjepkanu zonu. Na ostalom području javljaju se u obliku manjih zona ili nepravilnih tijela decimetarskih do hektametarskih veličina. Među njima se pronalaze razni varijeteti metasedimentnih stijena, metabazita, metagranita i migmatita. Iako su ove stijene podzastupljene u odnosu na granitoidne, one predstavljaju ostatke starijeg metamorfnog sklopa i potencijalno izvorište ksenolita, pa stoga prvo slijedi njihov opis.

### 2.1.1. Metasedimentne stijene

Od metasedimentnih stijena na Moslavačkoj gori pronalaze se *paragnajsevi* koji se pojavljuju u obliku uskih zona metarskih debljina u izmjeni s drugim varijetetima škriljavaca. Unutar paragnajseva Korolija i dr. (1986) te Crnko (1998) opisali su kvarc, plagioklas, biotit, muskovit, ponegdje cordierit i rijetko kalijski feldspat, a kada se javljaju uz granite sadrže i granat. Od akcesornih minerala prisutni su turmalin, cirkon, apatit i opaki minerali (Crnko, 1998).

*Kordijeritski škriljavci* pojavljuju se u obliku tanjih proslojaka unutar opisanih paragnajseva i amfibolskih škriljavaca. Uz cordierit, glavne mineralne vrste su andaluzit, biotit, kvarc, spinel i granat, a podređeno se nalaze silimanit, magnetit, muskovit i mikroklin. Apatit, cirkon i pirit su akcesorni minerali (Crnko, 1998).

Od drugih vrsta metasedimentnih stijena pojavljuju se kvarciti i mramori. *Kvarciti* su pronađeni na dva lokaliteta (rijeka Kutina i Mustafina klada) unutar granita u obliku proslojka metarske debljine i kao dvije leće metarske debljine. *Mramori* su pronađeni samo u potoku Zorovac te dolaze u obliku leća milimetarskih do centimetarskih debljina i kao proslojci debljine 50-ak centimetara. Uz kalcit i dolomit kao glavne mineralne vrste, zapažen je cijeli niz kontaktno-metamorfni minerala (Crnko, 1998).



**Slika 3.** Isječak Osnovne geološke karte SFRJ List Bjelovar (Korolija i Crnko, 1985) koji obuhvaća sjeverne padine Moslavačke gore. Profil prikazuje područja stijena amfibolitnog facijesa (zeleno) te migmatita (svijetloružičasta) kao izdvojene mase uklopljene u granitnu osnovu. Zvijezda označava kamenolom Pleterac, a romb lokalitet Srednja rijeka.

### 2.1.2. Metabaziti (amfibolske stijene)

*Amfibolske stijene* najrasprostranjenije su na području južno od Podgarića. Često su asociirane s varijetetima škriljavaca, a dolaze i kao samostalna tijela u granitima, što je izrazito dobro vidljivo u kamenolomu Pleterac. Mineralni sastav im je ujednačen i glavni minerali su amfiboli (hornblenda) i neutralni do bazični plagioklas. Sporadično se javlja diopsid, a od akcesornih minerala prisutni su kvarc, zoisit, epidot, biotit, titanit, ilmenit, apatit i pirit (Korolija i dr, 1986; Crnko, 1998) te klinozoisit i skapolit (Balen, 1999).

### 2.1.3. Metagraniti (ortognajsevi)

*Ortognajsevi* formiraju takozvani „rog“ Moslavačke gore (jugoistok), rasjedima odvojen od kristalinskih i neogenskih stijena te sačinjavaju nešto više od 1/4 površine gore (Crnko, 1998). Prema Korolija i dr. (1986) i Pamić (1990), ove stijene spadaju u migmatite. Mineralni sastav im je vrlo ujednačen. Glavne mineralne vrste su kvarc, mikroklin i kiseli plagioklas te biotit i klorit, a akcesorni minerali su cirkon, granat, magnetit, apatit i opaki minerali. Milonitizirani ortognajsevi javljaju se na potezu od Mikleuške do Prokopa, a karakteriziraju ih veliki porfiroklasti mikroklina koji ukazuju na sjeveroistočni smjer pomaka krovine nekadašnje smične zone.

### 2.1.4. Migmatiti

Prema ranije navedenim literaturnim tumačenjima, *migmatiti* su nastali pretaljivanjem starijeg metamorfnog kompleksa prilikom intruzije moslavačkog granita, pri čemu je formiran migmatitni pojas oko granita. Pojas migmatita je nejednake širine i heterogenog sastava te se razlikuju homogeni i heterogeni migmatiti (Crnko, 1998).

*Homogeni migmatiti* većeg su prostornog obuhvata nego heterogeni i pokazuju postepene prijelaze prema granitima i heterogenim migmatitima. Pretežito su nastali od ortognajseva, pa im je mineralni sastav isti kao i kod opisanih ortognajseva, uz prisutnost silimanita i/ili andaluzita. Najčešći su porfiroblastični varijeteti s porfiroblastima mikroklina, rijetko kiselih plagioklasa. Vrlo je čest mirmekit koji nastaje na dodiru mikroklina i kiselog plagioklasa. Osim navedenih minerala, pristune su i dvije generacije muskovita, čiji je sadržaj redovito povećan (Crnko, 1998). Osim porfiroblastičnih migmatita, Crnko (1998) navodi i trakaste gnajseve kod kojih je došlo do napredne granitizacije pa listićave mineralne vrste formiraju paralelne i obično isprekidane lamine koje difuzno prelaze u kvarcno-feldspatsku osnovu. Anateksiti (Crnko, 1998) predstavljaju sitnoborane i nebulitske varijetete s mineralnim sastavom koji odgovara sastavu moslavačkih granita i granodiorita.

*Heterogeni migmatiti* pronalaze se na područjima kontakta granita s različitim varijetetima škriljavaca i amfibolita u obliku leća i zona dekametarskih širina. Prema međusobnim odnosima paleosoma i neosoma, javljaju se kao raznovrsne stijene. Neosome imaju isti mineralni sastav kao i graniti i granodioriti, a paleosome kao paragnajsevi i škriljavci.

## 2.2. Magmatske stijene

Magmatske stijene zastupljene su različitim varijetetima granitoidnih stijena koje čine glavnu masu moslavačkog kristalina, a iz literature su poznate i rijetke pojave andezita i gabra.

### 2.2.1. Granitoidi

Na Moslavačkoj gori razlikuju se graniti glavne mase, žilni graniti te pegmatiti i apliti (Korolija i dr., 1986; Crnko, 1998). *Graniti glavne mase*, koji se često nazivaju „moslavačkim granitima“, homogene su teksture, ali se mjestimično može uočiti folijacija definirana planparalelnim slaganjem tinjaca na rubnim dijelovima plutona (Korolija i dr., 1986; Pamić, 1990; Crnko, 1998). Granice granita prema okolnim stijenama ponekad su oštre, a ponekad difuzne, pa se ističe kako je moslavački granit utisnut u stariju seriju metamorfnih stijena (Crnko, 1998). Glavne mineralne vrste moslavačkih granita su kvarc, K-feldspat, kiseli plagioklas te biotit i muskovit koji nisu značajno zastupljeni. Za moslavački granit značajna je pojava silimanita i andaluzita koji se sporadično pojavljuju u cijeloj masi granita. Od akcesornih minerala prisutni su turmalin, granat, apatit, cirkon, sericit, klorit i sagenit te vrlo rijetko opaki minerali.

U kristalinu se mjestimično pronalaze i *leukokratski žilni graniti* koji presijecaju ili su konkordantno uloženi u varijetete migmatita, paragnajseva i granita. Glavni mineralni sastojci su kvarc, mikroklin i kiseli plagioklas, uz pojavu muskovita i vrlo rijetko biotita koji može i izostati. Od akcesornih minerala u njima se može pronaći relativno krupni crni turmalin, cirkon, granat i apatit (Korolija i dr., 1986; Crnko, 1998).

Prema Korolija i dr. (1986) i Crnko (1998), pegmatiti i apliti pojavljuju se u obliku žica, leća, gnijezda i manjih nepravilnih tijela varijabilnih dimenzija. Apliti su rijetki i njihove žice su tanje s kraćim pružanjem. Po mineralnom sastavu odgovaraju granitu, uz puno manji sadržaj biotita.

### 2.2.2. Ostale pojave magmatskih stijena

Na jugozapadnim padinama gore zabilježene su pojave *andezita* i *gabra*. Gabro je prisutan južno od Podgarića u potocima Kamenac i Zorovac, kod Gornje Jelenske u potoku Kamenjača i kod Grabovnice. Mineralni sastav gabra iz Kamenjače obuhvaća plagioklas, dijalag (diopsid) i olivin te amfibol nastao u retrogradnoj fazi metamorfizma iz feromagnezijskih minerala (Balen i dr., 2003). U metagabrima potoka Kamenac određeni su

amfibol i plagioklas uz kvarc, diopsit i biotit te akcesorna pojava apatita, cirkona i opákih sastojaka (Crnko, 1998). Još se izdvaja i *diorit* (Pamić, 1990) kao leukokratska stijena koja se sastoji od plagioklasa, podređeno kvarca, biotita, hornblende, klorita i ortoklasa.

### 3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Evolucija Moslavačke gore i danas nije u potpunosti i jednoznačno razriješena. Prema Tumaču Geološke karte Republike Hrvatske 1:300000 (Velić i Vlahović (ur.), 2009) metamorfne stijene Moslavačke gore se interpretiraju kao dio stare pretkambrijske i paleozojske mase te se mogu podijeliti u tri skupine. Prvu skupinu čine amfibol-diopsidne stijene, koje uz granite predstavljaju okosnicu ovog rada. One pripadaju „Kompleksu metamorfnih stijena (prekambrij)“, kao i ortognajsevi koji se terenski pojavljuju kao manje mase unutar migmatita i granita. Drugu skupinu metamorfnih stijena čine migmatitni gnajsevi (homogeni i heterogeni) u kontekstu kako ih opisuju Korolija i dr (1986), Pamić (1990) i Crnko (1998), koji pripadaju „Kompleksu metamorfnih stijena (ordovicij, silur, devon)“. Treću skupinu čine razni varijeteti granitoidnih stijena koji su uvršteni u jedinicu „Graniti (perm)“. U Tumaču je postavljena teza kako su graniti utisnuti tijekom hercinske orogeneze u starije metamorfne stijene, odnosno u prekambrijske i paleozojske metamorfne komplekse, u kojima su izazvali kontaktnometamorfne promjene. Važno je naglasiti da u Tumaču nema podataka o apsolutnoj starosti stijena te da je vrijeme intruzije granitnog plutona sporno, što ističu i sami autori. Radiometrijski podaci ukazuju na kredno-paleogensku starost, dok geološki odnosi na terenu ukazuju na hercinsku starost.

Pamić (1990) iznosi pregled dotadašnjih dobivenih K-Ar i Rb-Sr starosti te definira granitno-metamorfni kompleks kao alpinski. U međuvremenu, provedene su brojne studije stijena Moslavačke gore te su dobivene potpunije i točnije informacije o starostima i evoluciji kristalina u odnosu na one iznesene u Tumaču Geološke karte Republike Hrvatske 1:300000. Petrincec (2013) daje sveobuhvatan pregled podataka i relevantnih izvora vezanih za starosti granitoidnih i metamorfnih stijena te ih dijeli u nekoliko osnovnih skupina: 1) ortognajseve, migmatite (metagranite) starosti ~490 milijuna godina (kambrij-ordovicij); 2) (meta)gabr starosti ~108, odnosno 83 milijuna godina; 3) amfibolite i metapelite starosti u rasponu od 80 do 90 milijuna godina (gornjokredne starosti), s napomenom kako su u metapelitima zabilježene pojave monacita permske starosti, 4) granite glavne mase starosti ~82 milijuna godina; i 5) leukogranitne i pegmatitne žile starosti ~74 milijuna godina. Sve metamorfne

stijene najvjerojatnije su pripadale starijem metamorfnom kompleksu na koji je utjecao kredni granit u posljednoj fazi magmatsko-metamorfne evolucije kristalina Moslavačke gore.

Prve, vrlo grube odredbe uvjeta metamorfizma Moslavačke gore daju Vragović i Majer (1979) iznoseći vrijednosti temperature od 580-660 °C i tlaka od 2-6 kbara. Garašić (1993) u svom magistarskom radu daje suvremena određivanja p-T uvjeta upotrebom klasičnih geotermobarometara. Temeljem kemijskog sastava mineralnih faza u mramorima, kordijeritnim škriljavcima i klinopiroksen-plagioklas-amfibolskim škriljavcima određuje polifazni metamorfizam. Prva faza karakterizirana je višim tlakom i temperaturom, što predstavlja regionalni metamorfizam, a druga niskim tlakom i povišenom temperaturom (580-590 °C), što interpretira kao kontaktni metamorfizam odnosno retrogradni metamorfizam. Balen (1999) također određuje uvjete metamorfizma proučavajući različite varijetete amfibolita. Definira dvije vremenski razdvojene faze metamorfizma: 1) stariju, odnosno pretpostavljeno predvariscijsku do variscijsku, određuje kao fazu regionalnog tipa koju karakterizira tlak između 7.3 i 9.6 kbara i temperatura između 550 °C i 820 °C; i 2) mlađu, alpinske starosti, s dvije podfaze vezane uz kredne magmatske procese s niskim tlakom između 5.2 i 5.8 kbara i visokom temperaturom između 550 °C i 660 °C. Nadalje, Starijaš i dr. (2010) određuju vršne uvjete krednog metamorfizma (3-4 kbara i ~750 °C) i retrogradne evolucije zabilježene u metapelitima (1-3 kbar i ~520-630 °C). Proučavanjem blokovskih ksenolita metapelitnih stijena, Petrinc (2013) određuje raspon vršnih uvjeta metamorfizma s tlakom od 3.6 do 4.5 kbara i temperaturom od 715 °C do 755°C. Takvi uvjeti odgovaraju dubinama oko 13-16 km. Također je odredila da su se metamorfne reakcije odvijale uz prisutnost taljevine te je definirala odvijanje retrogradne reakcije u rasponu temperature od 600°C do 650 °C i tlaka uglavnom nižeg od 2 kbara. Proučavajući metabazite, odnosno amfibol-diopsidni tip amfibolskih stijena, dobiveni su rezultati slični kao i kod Balen (1999) s temperaturom oko 720 °C, ali s višim tlakovima (~8 kbara) u usporedbi s metapelitima. U tim stijenama retrogradni događaji nisu definirani, iako su uočeni njihovi mineralni i mikrostrukturni potpisi.

U radovima Balen i Broska (2011), Balen i Petrinc (2011) te u disertaciji Petrinc (2013), izneseni su podaci o evoluciji moslavačkog granitnog tijela. Balen i Broska (2011) odredili su temperaturu zasićenja cirkonijem glavne granitne mase (~730 °C) uz dijagram stabilnosti andaluzita (koji je vrlo čest u moslavačkim granitima) prema Clarke i dr. (2005). Također su za taj stadij granitnog tijela dobili raspon tlaka od 0.7 do 2.7 kbara, što odgovara dubini smještanja oko 5-6 km. Temperature od ~770 °C za solidifikaciju glavnog,

dvotinčastog granitnog tijela Moslavačke gore definira Petrinec (2013), a niže temperature vrijednosti od ~660 °C definira za leukogranite. Također opisuje hibridne tipove granitoidnih stijena u kamenolomu Pleterac koji su nastali interakcijom granitoidne magme s magmom (ili magmama) drugačijeg sastava te određuje uvjete njihove solidifikacije (610-680 °C i 0.4-2.2 kbara). Petrinec (2013) na temelju sinteze vlastitih i ranijih istraživanja magmatskih i metamorfnih stijena Moslavačke gore iznosi zaključak kako je završno smještanje granitnog plutona, odnosno njegova kristalizacija, praćena oslobađanjem fluida i hlađenjem sustava u vršnim, plitkim predjelima kontinentalne kore utjecalo na i ostalo zabilježeno unutar svih litologija moslavačkog kristalina.

## **4. MATERIJALI I METODE**

U ovom poglavlju dan je teorijski pregled korištenih metoda istraživanja. Prvo je opisana terenska metoda s detaljima uzorkovanja, a zatim je navedena temeljna metoda korištena pri ovom radu, metoda optičkog istraživanja. Na kraju je opisana metoda pripreme uzoraka i same cijelostijenske kemijske analize.

### **4.1. Terenska istraživanja i uzorci**

Analizirani uzorci prikupljeni su u nekad povremeno aktivnom, a danas zapuštenom kamenolomu Pleterac (Slika 4.) na sjevernom obodu Moslavačke gore i obuhvaćaju razne varijete amfibolita i granita. Prilikom terenskog rada i samog uzorkovanja, kamenolom je podijeljen u tri segmenta (segment A, segment B i segment C) zbog lakše sistematizacije opažanja i uzoraka (Slika 4.). Daljnji opis segmenata dan je u poglavlju Rezultati.

Uzorci amfibolita prikupljeni su u nekoliko terenskih kampanja tijekom 2017. godine, dok su graniti prikupljeni prilikom ranijih istraživanja, ali su obrađeni tek za potrebe ovog rada.

### **4.2. Optička istraživanja**

Temeljna metoda provedenog istraživanja je korištenje polarizacijskog mikroskopa za rad u prolaznom svjetlu. Za potrebe istraživanja izabrano je 17 reprezentativnih uzoraka iz kojih je izrađen isti broj mikroskopskih preparata standardne debljine 0.02-0.03 mm. Optičko istraživanje provedeno je na Mineraloško-petrografskom zavodu Geološkog odsjeka, na petrografskom mikroskopu Zeiss AxioLab s korištenim rasponom povećanja od 25x do 200x. Također je tijekom mikroskopiranja provedeno fotografiranje uzoraka digitalnom refleksnom



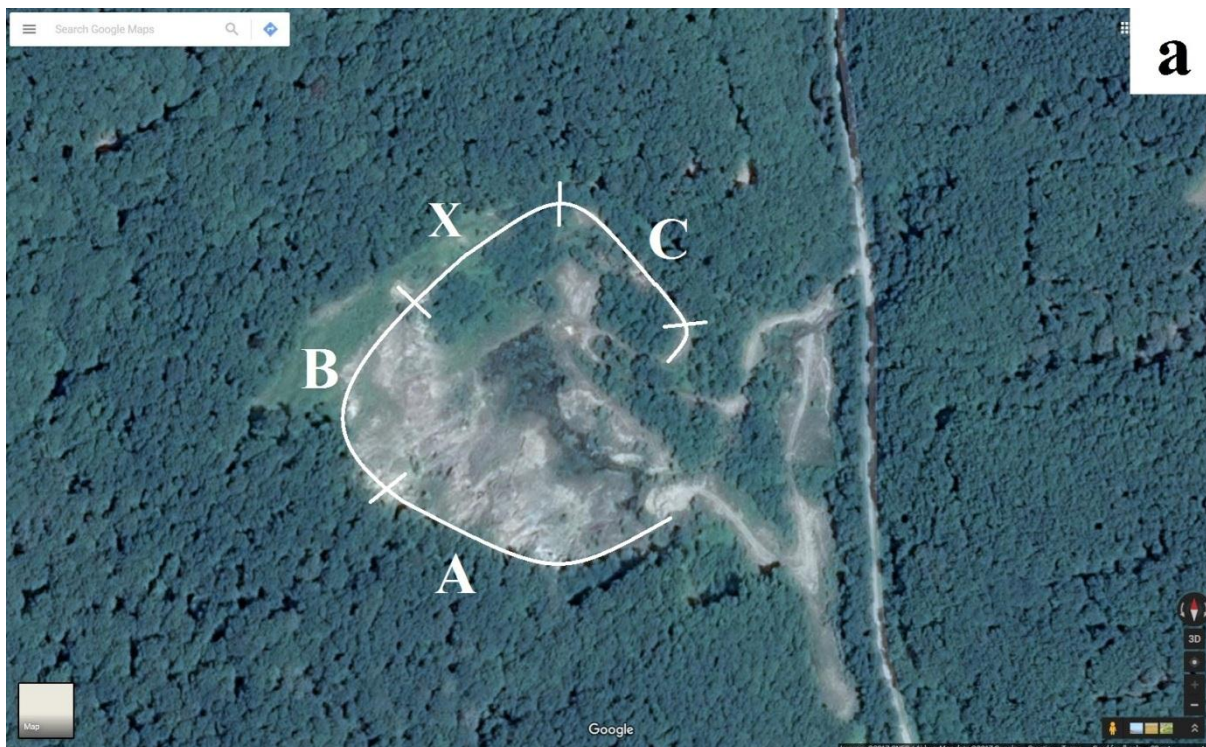
kamerom Canon EOS 500D uz korištenje programa kamere EOS Utility kojim je omogućeno kontroliranje postavki kamere i izravno snimanje putem računala. Kalibracija kamere napravljena je pomoću Carl Zeiss mikrometra u programu Zeiss AxioVision Rel. 4.8.

Opisanim istraživanjem u prolaznom svjetlu provedena je detaljna mineraloška, petrografska i mikrotektonska analiza uzoraka amfibolitnih i granitnih stijena kamenoloma Pleterac, čiji detalji su navedeni u poglavlju Rezultati.

#### 4.3. Cijelostijenske kemijske analize

Priprema uzoraka za cijelostijensku kemijsku analizu obuhvaćala je izbor manjeg broja reprezentativnih uzoraka na temelju optičkih istraživanja, čime je prije svega provjerena eventualna zahvaćenost uzoraka izmjenama odnosno njihova pogodnost za kemijsku analizu. Odabrani uzorci su zatim ručno usitnjeni u fragmente manje od 0.5 cm, zatim usitnjeni u automatiziranom ahatnom mlinu (cca. 40 minuta) te prosijani kroz set sita, od kojih je najfinije imalo promjer otvora 0.125 mm. Za potrebe dobivanja statistički reprezentativnog uzorka, provedena je metoda četvrtanja pri čemu je izdvojeno oko 12 grama uzorka za kemijsku analizu.

Cijelostijenske kemijske analize provedene su u ACME Analytical Laboratories Ltd., Vancouver, Kanada, koje su napravljene metodom induktivno spregnute plazme s emisijskom spektroskopijom (ICP-ES) i metodom induktivno spregnute plazme s masenom spektroskopijom (ICP-MS). Analize su obuhvaćale odredbu glavnih elemenata i elemenata u tragovima pri čemu su analizirani navedeni elementi: Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P, Cr, As, B, Ba, Be, Co, Cs, Cu, Ga, Hf, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Y, Zn, Zr, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb i Lu.



**Slika 4.** Kamenolom Pleterac. a) Satelitski snimak kamenoloma podjeljenog na segmente (satelitska podloga: Google Maps). b) Panoramski snimak C segmenta kamenoloma (stanje 2009 g., fotografija iz arhive Z. Petrincec).

## 5. REZULTATI

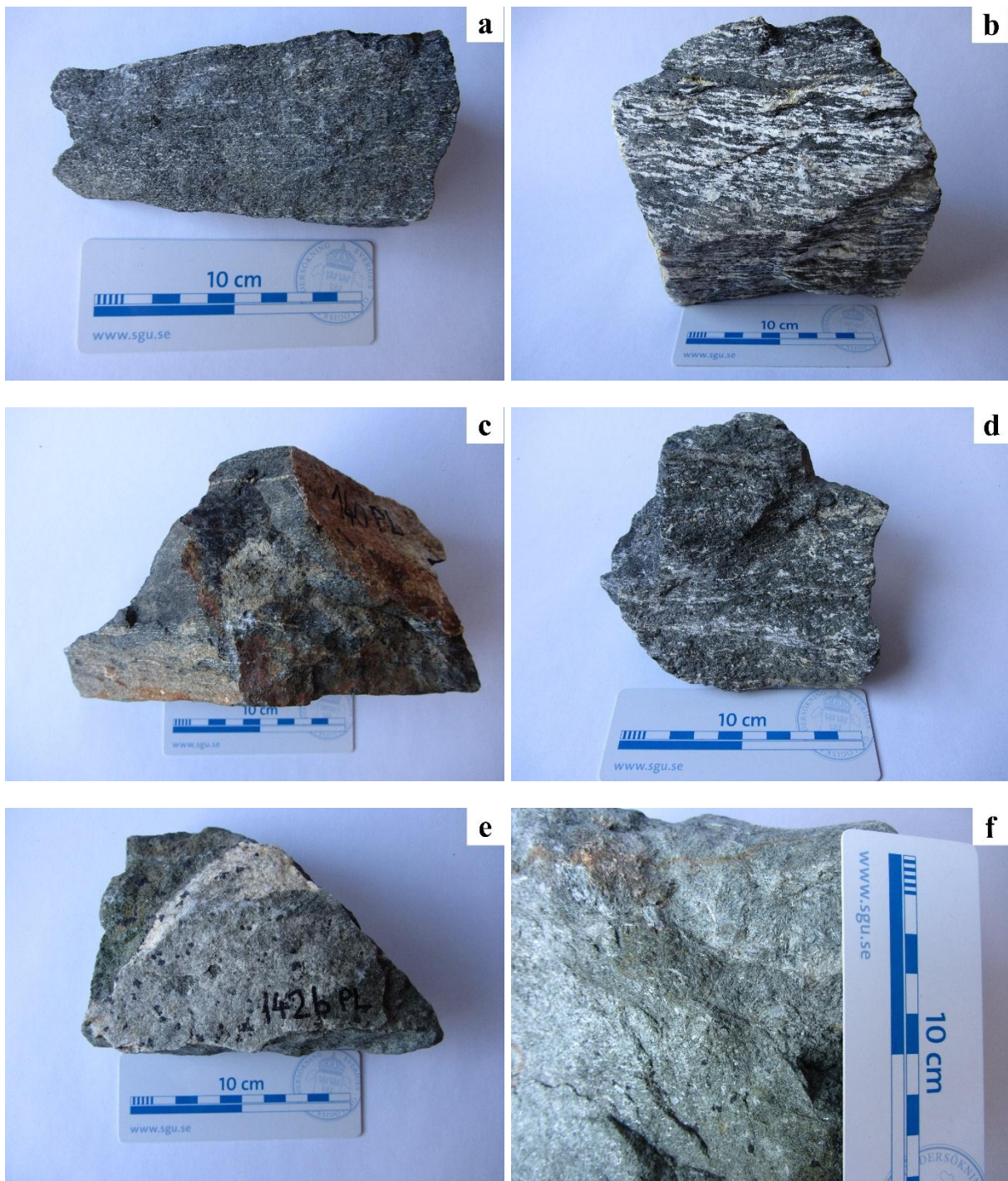
U ovom poglavlju dan je pregled rezultata terenskih i optičkih istraživanja te kemijskih cijelostijenskih analiza. Terenska istraživanja obuhvaćala su analizu izdanaka u kamenolomu Pleterac, kao i naknadnu detaljniju analizu tada prikupljenog fotomaterijala. Naime, pojedine pojave koje nose značajne informacije o mehanizmima uključenim u

razlamanje blokova metabazita te njihovu interakciju s granitom zbog njihovih dimenzija nije bilo moguće uzorkovati, a bit će vrlo bitne za interpretaciju rezultata istraživanja.

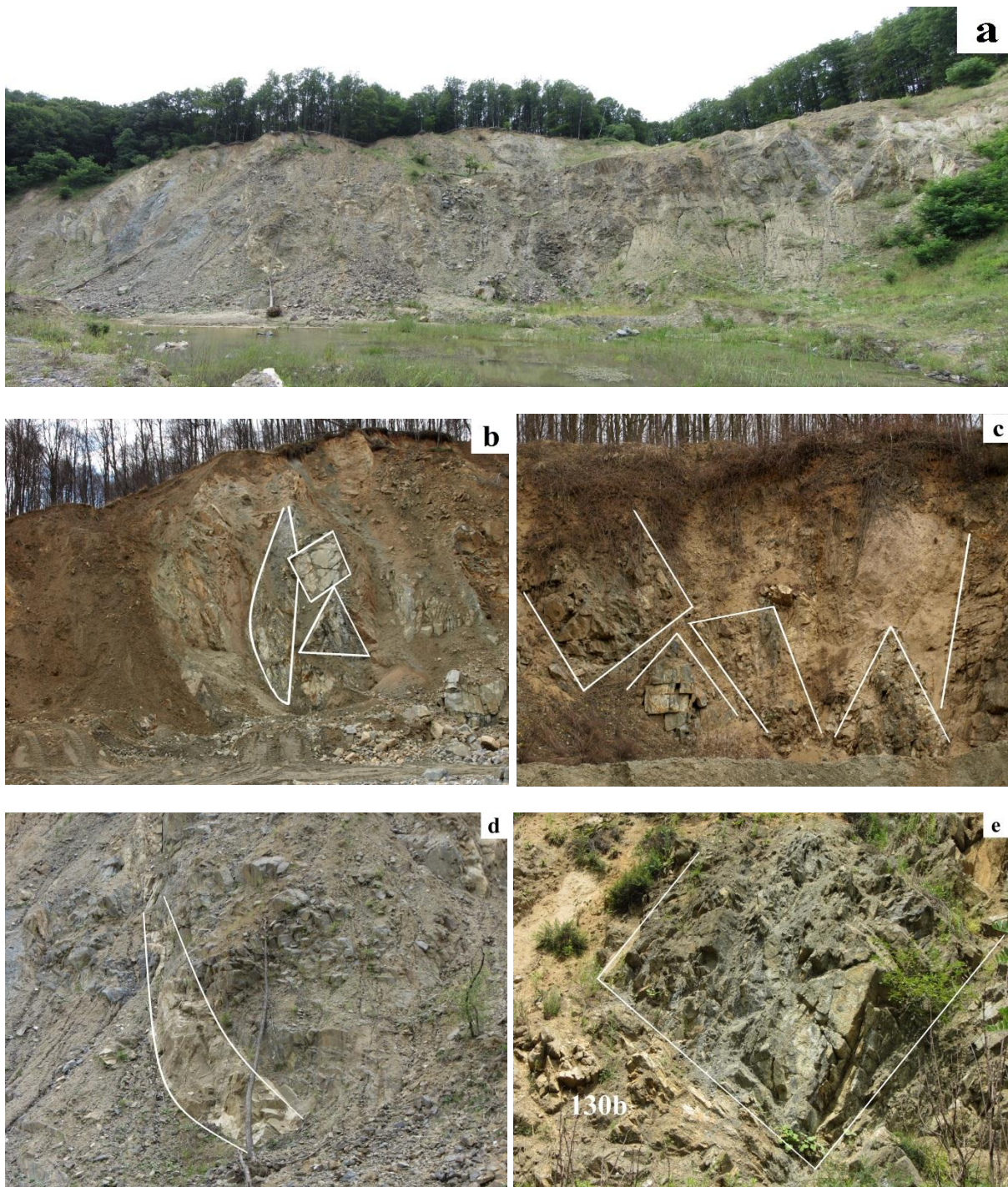
### 5.1. Terenski rezultati

Kamenolom Pleterac ima kružni oblik sa strmim stranama. Glavnu stijensku masu čine graniti sa jasno vidljivim ksenolitima amfibolita. Prilikom uzorkovanja, radi lakše sistematizacije, ali i zbog otežanog pristupa izdancima pojedinih tipova ksenolita, kamenolom je podijeljen je u tri segmenta: A, B i C (Slika 4.a). Makroskopski su se mogle razlikovati tri grupe amfibolita. Prvu čine izdaleka sivkastiji, prilično homogeni uzorci karakterizirani ritmičnom izmjenom tanjih tamnih i svijetlih proslojaka koji često tvore gustu mrežu (Slika 5.a i c). Drugu skupinu čine izrazito prugasti varijeteti tamnijeg izgleda, u kojima se opažaju zeleni i bijeli proslojci nejednake debljine koji ne pokazuju ritmičnost u ponavljanju (Slika 5.b i d). Treću skupinu čine masivni amfiboliti koji na izdancima djeluju tamnozeleno i homogeno, dok su u samim uzorcima ustvari bitno svjetlije boje od prethodna dva tipa (Slika 5.e i f). Svi uzorci od broja 135 do 143 prikupljeni su u A segmentu kamenoloma. Granitne stijene u A segmentu su trošne te čine sipare nastale kao posljedica eksploatacije i zarušavanja nakon zapuštanja kamenoloma po kojima je bio omogućen prilazak inače ranije nedostupnim stijenama. U istom segmentu uzorkovana su dva granita, 130a i 130c, iz nakupina preostalih iz vremena aktivne eksploatacije u kamenolomu. Segment B zbog strmine stijenskog zida nije bio pristupačan za uzorkovanje, što djelomično vrijedi i za segment C, u kojem je uzorkovanje provedeno tek u jednom manjem, dostupnom dijelu. No, u B i C segmentu su se makroskopski pratili ksenoliti već uzorkovang prugastog varijeteta koji su također fotodokumentirani. U C segmentu dominira granitna osnova s podređenim blokovima amfibolita te je iz tog segmenta također uzorkovan granit, 130b, na kontaktu sa ksenolitom prugastog amfibolita .

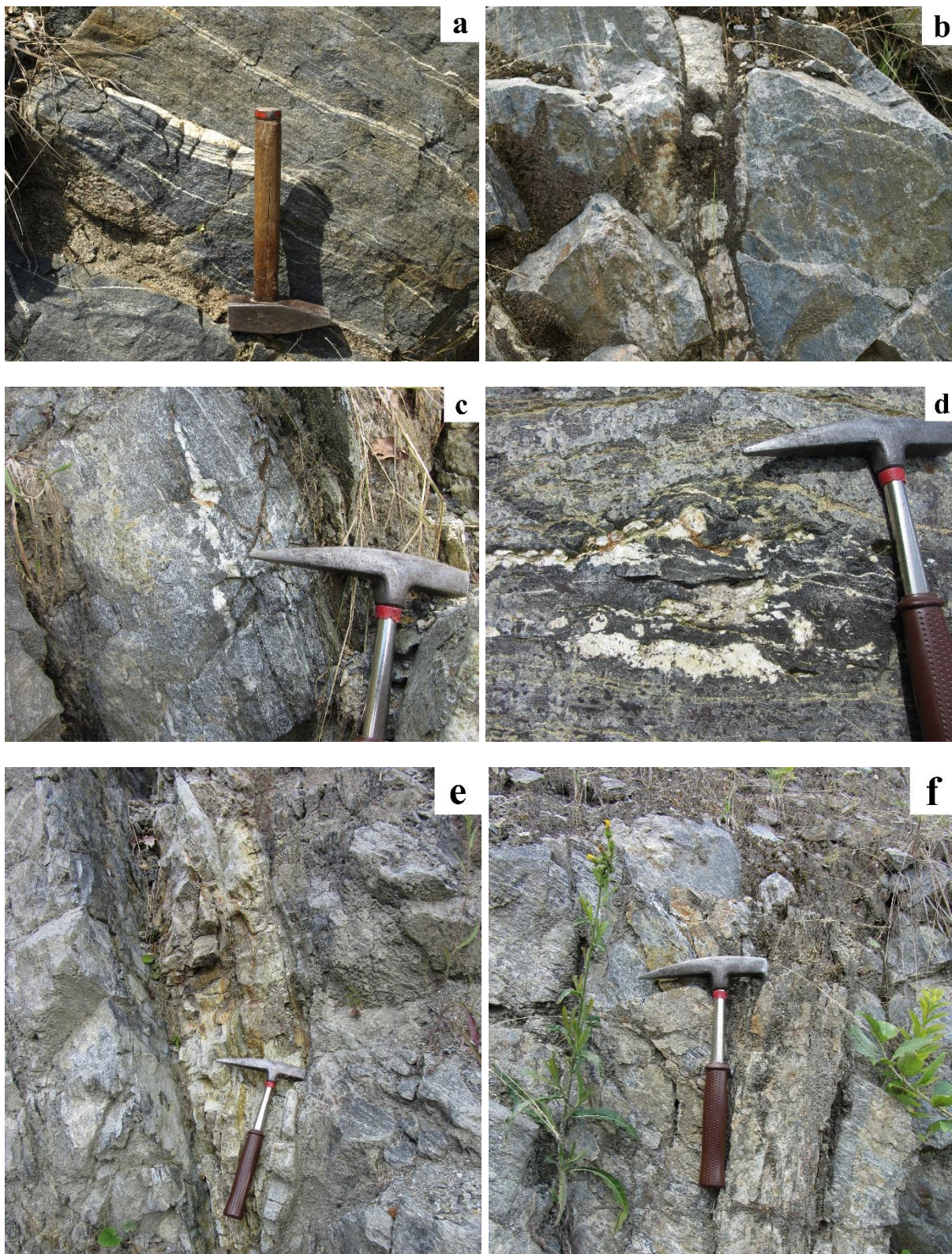
Glavna karakteristika kamenoloma Pleterac, a time i njegov najveći značaj u promatranju djelatnih procesa prilikom intruzije moslavačkog granita, je pojava ksenolita odnosno blokova različitih veličina u granitnoj osnovi (Slika 6.). Također se uočava u segmentu A pojava manje zone plastično deformiranih amfibolita (Slika 6.b). Graniti se pojavljuju u obliku osnovne mase, ali i u obliku većih žila, koje „lome“ blokove, i manjih, odnosno tanjih, koje presijecaju amfibolite (Slika 7.b, e i f). Na odlomljenim fragmentima amfibolita na dnu kamenoloma lijepo su uočljivi proslojci bogati leukokraskim mineralima, ali i dijelovi gdje je došlo do akumulacije taljevine (Slika 7.a, c i d).



**Slika 5.** Slike makroskopskih uzoraka prije pripreme za izradu mikroskopskih preparata. a) uzorak 136 pripada I skupini uzoraka; b) uzorak 139 pripada III skupini uzoraka; c) uzorak 140 pripada II skupini uzoraka; d) uzorak 142a pripada I skupini uzoraka; e) uzorak 142b pripada IV skupini uzoraka, f) 142c pripada IV skupini uzoraka. (Vidi poglavlje Mikroskopski rezultati)



**Slika 6.** Terenski međuodnosi između granita i ksenolita u kamenolom Pleterac. a) Panoramski snimak kamenoloma, segment A i B (stanje 2013); b) i c) zalomljeni blokovi (označeno bijelo); d) granitna žila metarske širine (označeno bijelo) između dva bloka amfibolita; e) zalomljeni blok (označeno bijelo) i mjesto uzorkovanja granita 130b.



**Slika 7.** Detalji strukturnih karakteristika unutar blokova amfibolita. a), c) i d) Konkordantne žile i lećaste tvorbe leukokraskog materijala unutar amfibolitnih blokova; b) diskordantna granitna žila centimetarske širine, oštrog kontakta prema okolnim amfibolitima; e) blago konveksni završetak granitne žile koja diskordantno lomi dva bloka amfibolita; f) diskordantni kontakt granitne žile i amfibolita.

## 5.2. Mikroskopski rezultati

Prilikom optičkih istraživanja analizirano je 17 mikroskopskih preparata koji su prvo podijeljeni u dvije osnovne grupe – amfibolite i granite. Dalje su amfiboliti po strukturno-teksturnim karakteristikama i po razlikama u mineralnom sastavu podijeljeni u četiri različite podgrupe. Osim strukturno-teksturnih karakteristika, promatrane su osnovne mikroskopske karakteristike mineralnih vrsta bez analizatora i s uključenim analizatorom, a to su: pukotine kalavosti, reljef, vlastita boja, pleokroizam, interferencijska boja i maksimalni kutovi kosog potamnjenja. Na temelju navedenih karakteristika izvršena su određivanja prisutnih mineralnih vrsta te su procijenjeni njihovi volumeni udjeli u svakom od preparata. Od mikrotektonskih značajki proučavani su kontakti među zrnima, plastična ili krta ponašanja mineralnih faza, postojanje deformacijskih sraslaca, pojava unduloznog potamnjenja te generalne karakteristike strukturno-teksturnog sklopa.

### 5.2.1. Amfiboliti

Analizirano je 14 mikroskopskih preparata različitih varijeteta amfibolita koji su uzorkovani u različitim dijelovima A segmenta kamenoloma. Prema strukturno-teksturnim karakteristikama i razlikama u mineralnom sastavu podijeljeni su u četiri skupine. Prvu skupinu amfibolita čini osam preparata: 135-2, 136-2, 136-3, 137, 138, 142a, 143-1 i 143-2. Drugu skupinu čini jedan preparat i to preparat 140. Drugačije strukturno-teksturne karakteristike u odnosu na druge skupine, izdvajaju ovaj preparat u zasebnu cjelinu. Treću skupinu čine tri preparata: 139, 141-1 i 141-2. Glavna razlika između treće i prve dvije skupine je što, osim spomenutih mineralnih vrsta, dolazi i diopsid. Četvrtu skupinu čine dva preparata: 142b i 142c. Ova skupina se razlikuje od drugih po mineralnom sastavu jer kao glavna mineralna faza dolaze amfiboli iz aktinolit-tremolitne serije.

#### 5.2.1.1. I skupina

Uzorci pokazuju nematoblastičnu strukturu. Folijacija je definirana dužom osim zrna amfibola i izmjenom proslojaka plagioklasa (Slika 8.). Dominantni mineralni sastojci su amfiboli (~60 vol. %) i plagioklasi (~30 vol. %) te skapoliti (~10 vol. %). U područjima koja su bogata amfibolima prisutni su opaki minerali, a kao akcesorni minerali pojavljuju se kvarc, cirkoni, biotiti, apatiti i kloriti. Unutar preparata varira volumni udio amfibola i plagioklasa, odnosno postoje područja bogatija amfibolima i područja s jasno definiranim proslojcima plagioklasa.

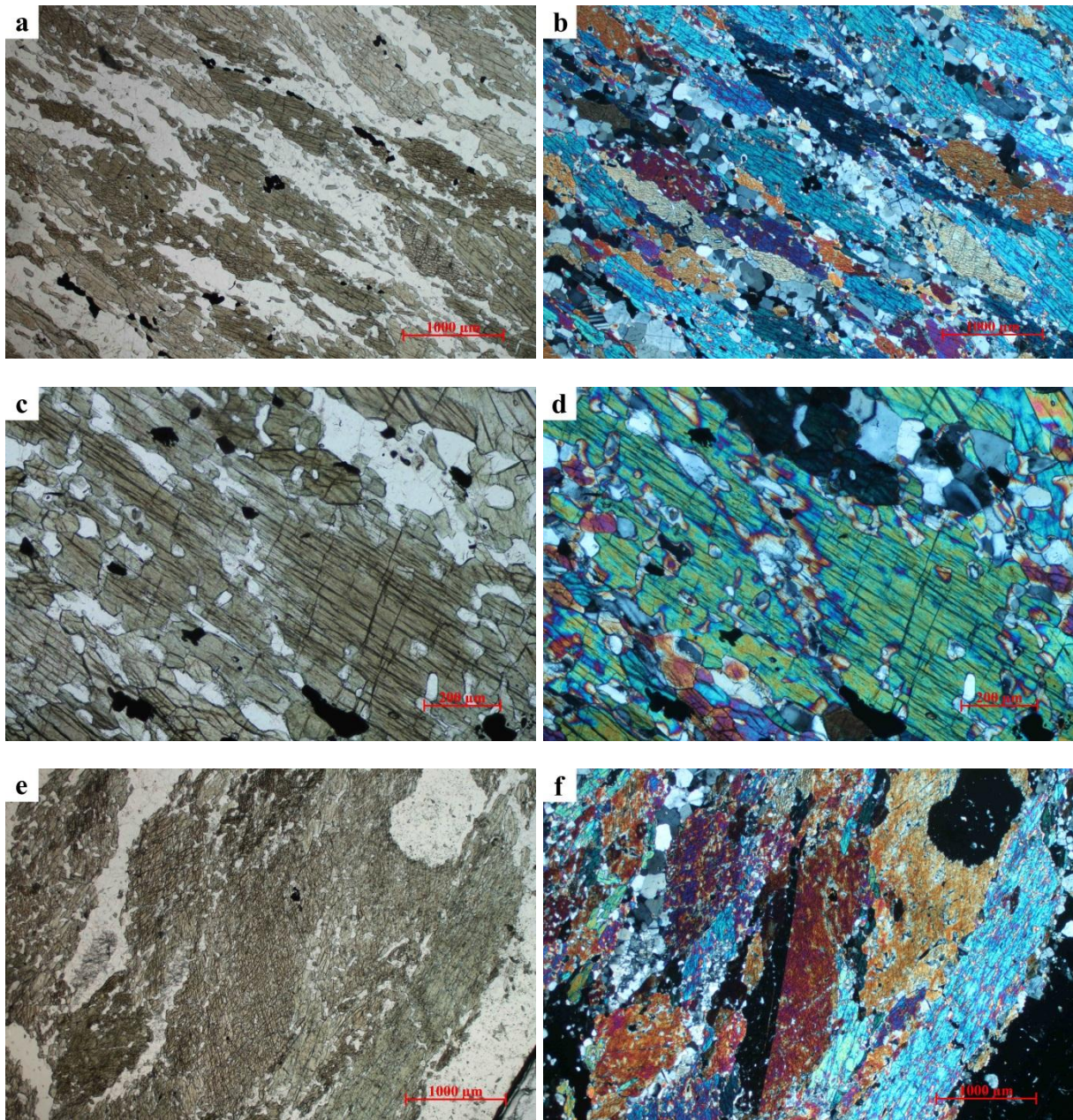
U uzorcima se opaža bimodalna raspodjela veličina zrna amfibola. Veća zrna amfibola su hipidiomorfno do alotriomorfno habitusa. Na pojedinim zrnima uočava se promjena vlastite boje gdje je u središtu zrna ona pokazuje više smeđe nijanse, za razliku od ruba gdje je ona zelenija. Manja zrna amfibola su alotriomorfno habitusa kod kojih je vlastita boja konstantna. Amfiboli jasno pokazuju pleokroizam u svijetlosmeđe-zelenoj boji i smeđezelenoj boji. Česta su izdvajanja sitnih plagioklasa unutar amfibola. Na pojedinim većim zrnima uočeni su sraslaci dvojci. Po svim opaženim karakteristikama, amfibol je definiran kao hornblenda.

Plagioklasi uglavnom formiraju proslojke različite debljine, dok se rjeđe javljaju raspršeni među amfibolima. Alotriomorfno su habitusa, vrlo neujednačenih veličina. Granice između sitnijih zrna plagioklasa su nepravilne, kao i između plagioklasa i amfibola. Kod sitnijih plagioklasa uočeno je undulozno potamnjenje. Veća zrna međusobno i između amfibola imaju jasne, ravne granice, odnosno pokazuju poligonalan kontakt. Uočeno je nekoliko većih zrna koja pokazuju zonalnost. Na pojedinim zrnima vidljive su polisintetske sraslačke lamele koje su nejednake debljine, ne protežu se duž cijelog zrna i imaju igličast završetak, što ukazuje da se radi o deformacijskim sraslacima, a ne o sraslacima rasta.

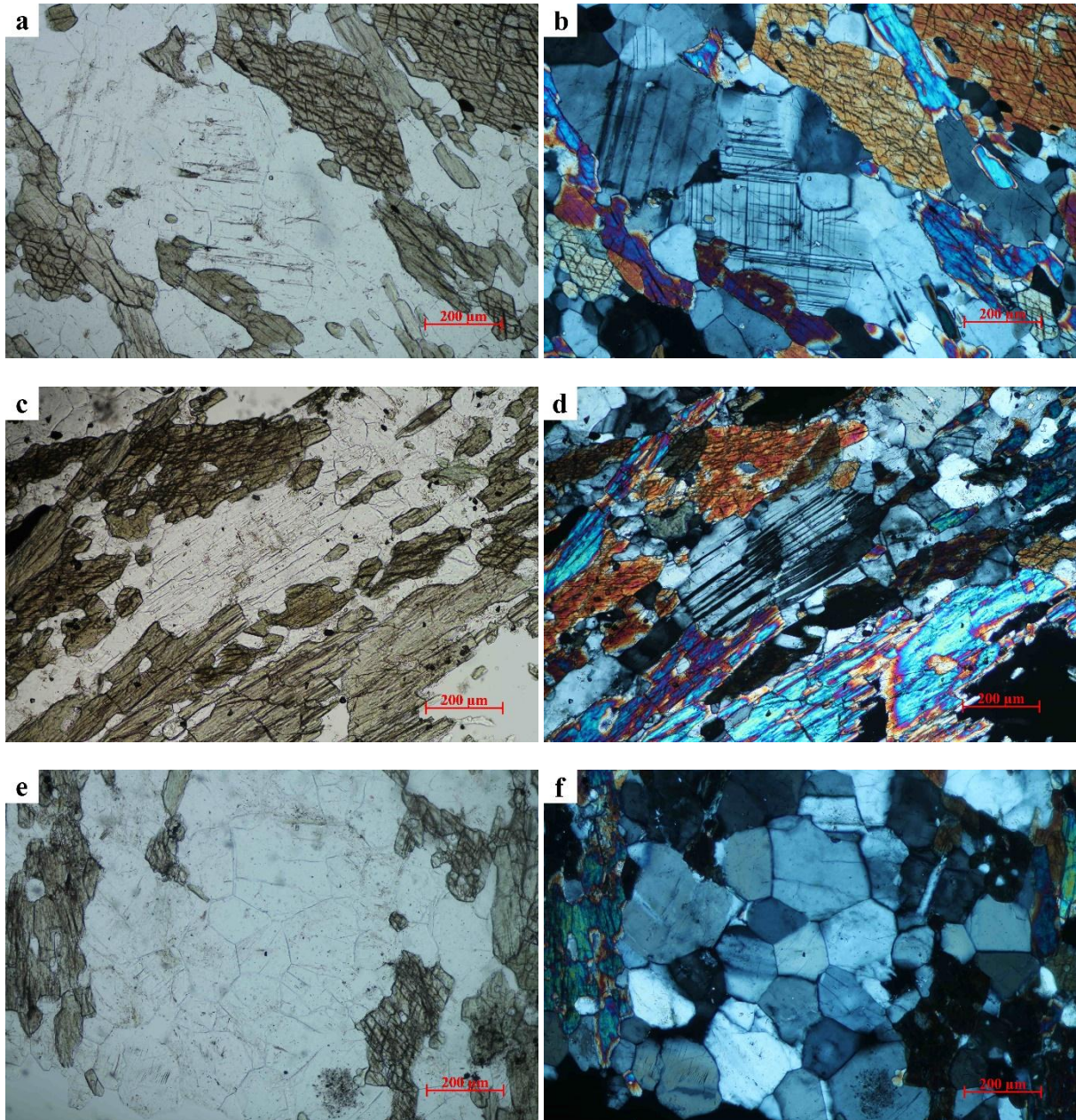
Skapoliti se pojavljuju u obliku alotriomorfni zrna. Pojavljuju se raspršeni po uzorcima, a u nekima formiraju dijelove bogate skapolitom. Karakterizira ih visok reljef i zamućenost zrna. U dijelovima koji su bogati skapolitima, zrna pokazuju poligonalne kontakte.

Cirkoni su tipičnog prizmatskog habitusa i pojavljuju se raspršeno po uzorcima unutar proslojaka plagioklasa. Biotiti su alotriomorfno do hipidiomorfno habitusa. Rijetko se pronalaze unutar uzoraka, a imaju karakterističnu tamnosmeđe-crvenu vlastitu boju koja prekriva interferencijsku boju. Apatiti se također pronalaze raspršeni unutar uzoraka i alotriomorfno su habitusa. Također im veličine zrna variraju.

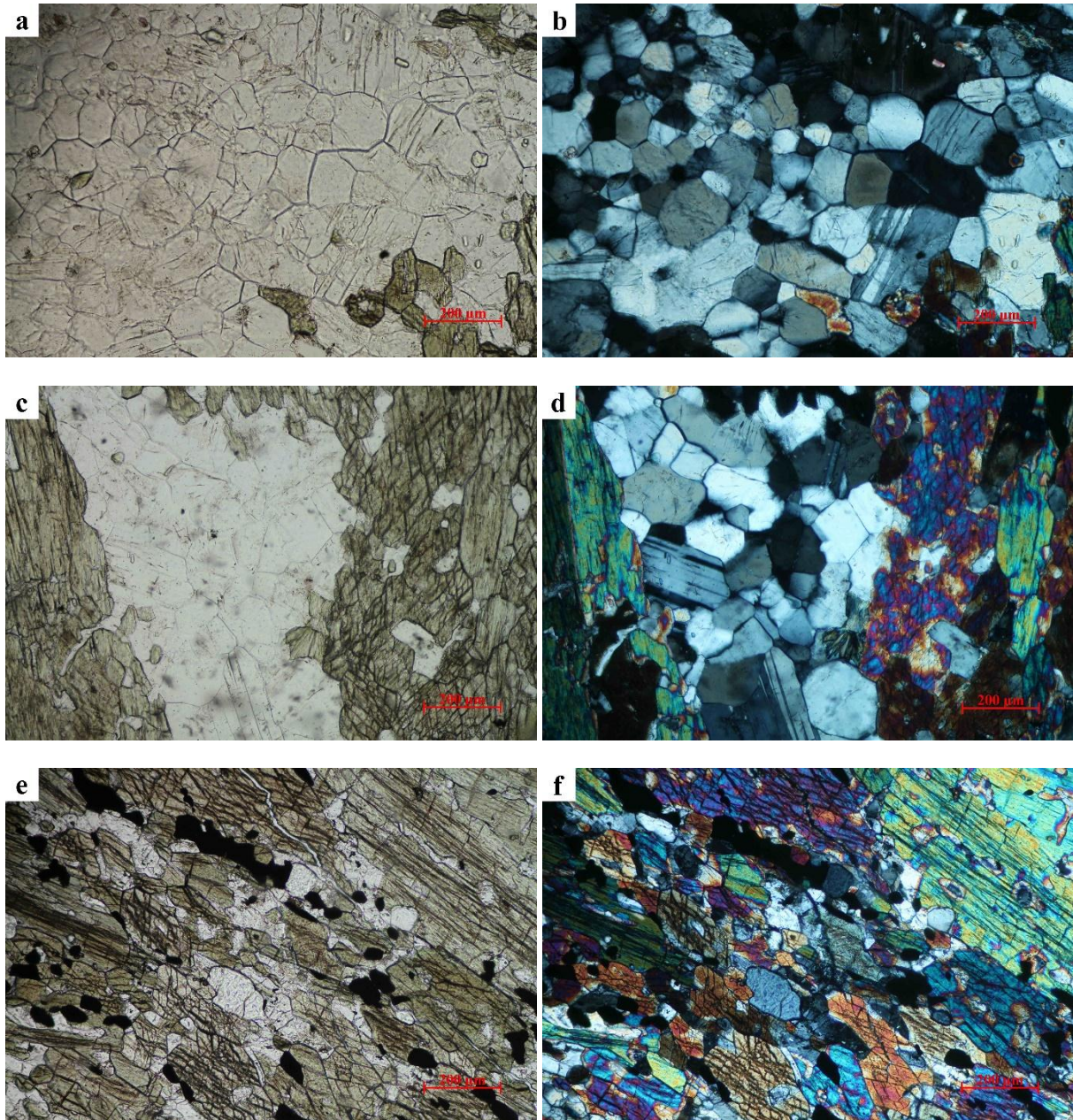




**Slika 8.** Mikrostrukturne i petrografske karakteristike uzoraka I skupine: a) folijacija uzorka koju definiraju izduženi amfiboli (hornblenda) i proslojci plagioklasa, N-; b) isto kao a), N+; c) zrno amfibola s uklopljenim amfibolima, N-; d) isto kao c), N+; e) prikaz velikog zrna amfibola, N-; f) sraslaci dvojci hornblende, N+.



**Slika 9.** Mikrostrukturne i petrografske karakteristike uzoraka I skupine: a) središnja domena bogata plagioklasima s jasno vidljivim polisintetskim sraslačkim lamelama uslijed alteracija, N-; b) na zrnju plagioklasa u sredini vidljive su međusobno okomite polisintetske sraslačke lamele. Na manjem zrnju iznad vidljive polisintetske sraslačke lamele s igličastim završetkom, deformacijskog postanka, N-. c) Zrno plagioklasa u sredini i hornblenda s nepravilnim granicama prema plagioklasu, N-; d) polisintetske sraslačke lamele plagioklasa markiraju mjesto krtog pucanja plagioklasnog zrna, N+; e) poligonalan kontakt plagioklasa, N-; f) isto kao e), N+.



**Slika 10.** Mikrostrukturne i petrografske karakteristike uzoraka I skupine: a) nakupina skapolita, N-; b) skoro pravilan, poligonalan kontakt među zrnima skapolita, N+; c) na rubu zrna hornblende (desno) vidljiv klorit, odnosno kloritizacija amfibola, N-; d) isto kao c), N+; e) u središtu poveće zrno apatita. Opaki minerali slažu se duž folijacije, N-; f) isto kao e), N+.

#### 5.2.1.2. II skupina

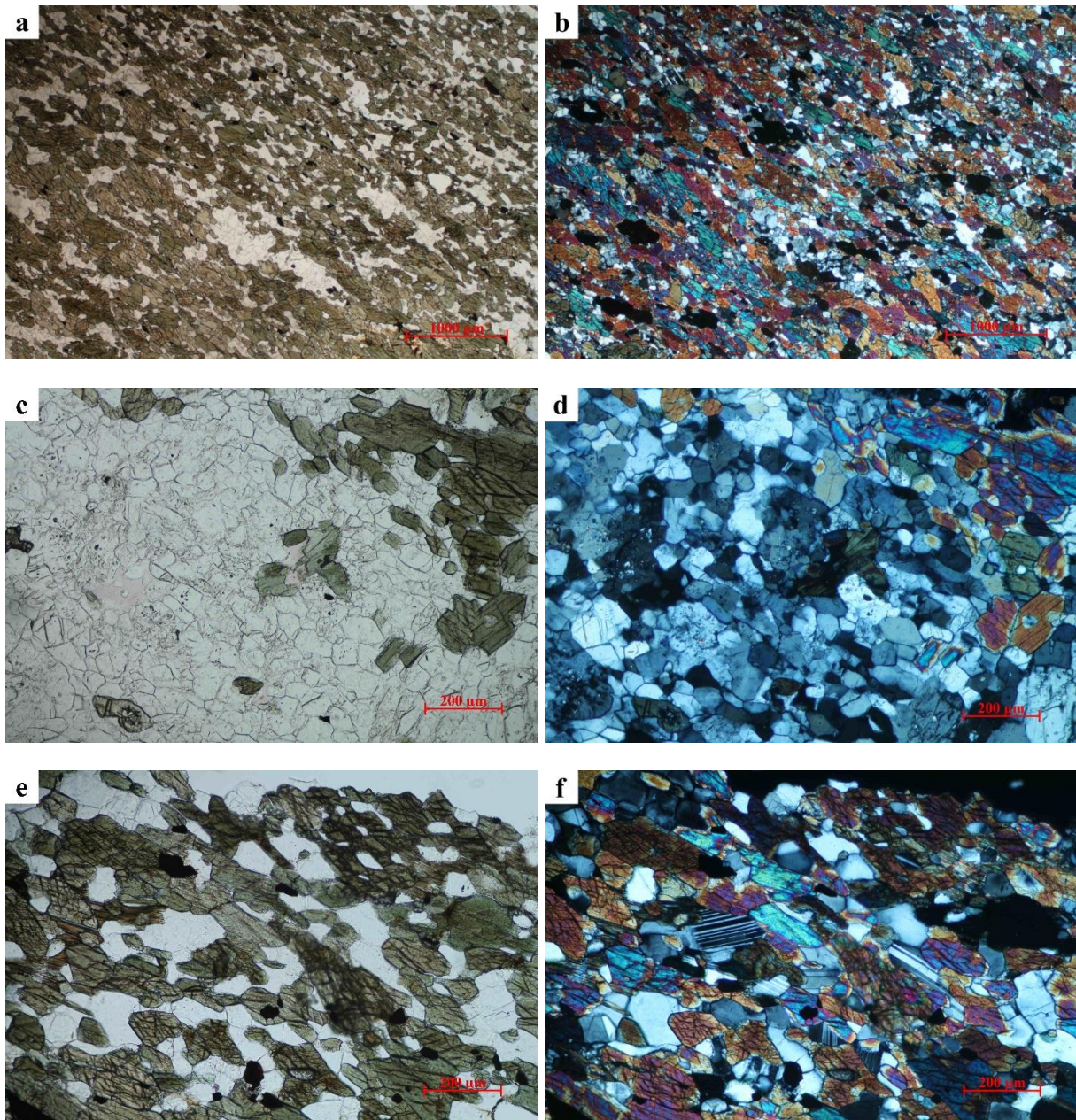
Uzorak 140 ima nematogranoblastičnu strukturu. Folijacija je blago definirana dužom osi mineralnih zrna amfibola. Glavni mineralni sastojci su amfiboli (~60 vol. %) i plagioklasi (~25 vol. %) te skapoliti (15 vol. %). Uz glavne mineralne vrste, prisutni su biotit, cirkon, apatit, titanit i opaki minerali kao akcesorni minerali.

Amfiboli, koji su određeni kao hornblenda, su alotriomorfne do hipidiomorfne habitusa. Zrna su većinom ujednačene veličine, rijetko se pojavljuje koje veće zrno. Unutar većih zrna uočena je pojava zaobljenih uklopaka plagioklasa. Na pojedinim zrnima vidljiva je varijacija vlastite boje gdje se u središtima zrna pojavljuje smeđezelena boja, a na rubovima boja s prevladavajućim zelenim tonom. Pleokroizam je u svijetlozelenoj i smeđezelenoj boji.

Plagioklasi su alotriomorfne habitusa i nalaze se raspršeni među zrnima amfibola s kojima formiraju nepravilne granice. Rijetko pokazuju polisintetske sraslačke lamele nejednakih debljina sa igličastim vrhom. Uočeno je i undulozno potamnjenje. Oba opažanja ukazuju na djelovanje mehanizama plastične deformacije.

Alotriomorfna zrna skapolita neravnomjerno su raspoređena u uzorku i uglavnom formiraju područja koja su bogata tom mineralnom vrstom. U takvim područjima zrna ponegdje imaju poligonalan kontakt, a u unutrašnjosti nakupina kontakti su nepravilni s unduloznim potamnjenjem.

Akcesorni minerali, odnosno opaki minerali, biotit, cirkon, apatit i titanit, pojavljuju se neravnomjerno unutar uzorka.



**Slika 11.** Mikrostrukturne i petrografske karakteristike uzorka 140, II skupina. a) Nematoblastična struktura uzorka s blago uočljivom folijacijom koju definiraju amfiboli i plagioklasi, N-; b) isto kao a), N+. c) Nakupina skapolita s kloritom u sredini, N-; d) isto kao c), N+. e) Plagioklasi okruženi manjim zrnima amfibola, N-; f) plagioklasi s polisintetskim sraslačkim lamelama koje na pojedinim zrnima imaju igličast završetak, N+.

### 5.2.1.3. III skupina

Uzorci treće skupine imaju nematoblastičnu strukturu, a folijacija im je definirana dužom osi zrna amfibola i prosljocima plagioklasa. Dominantna mineralna vrsta su amfiboli (~40 vol. %), plagioklasi (~30 vol. %), diopsid (~20 vol. %) i skapolit (~10 vol. %), a akcesorno se javljaju apatit, granat, cirkon, kvarc i opaki minerali.

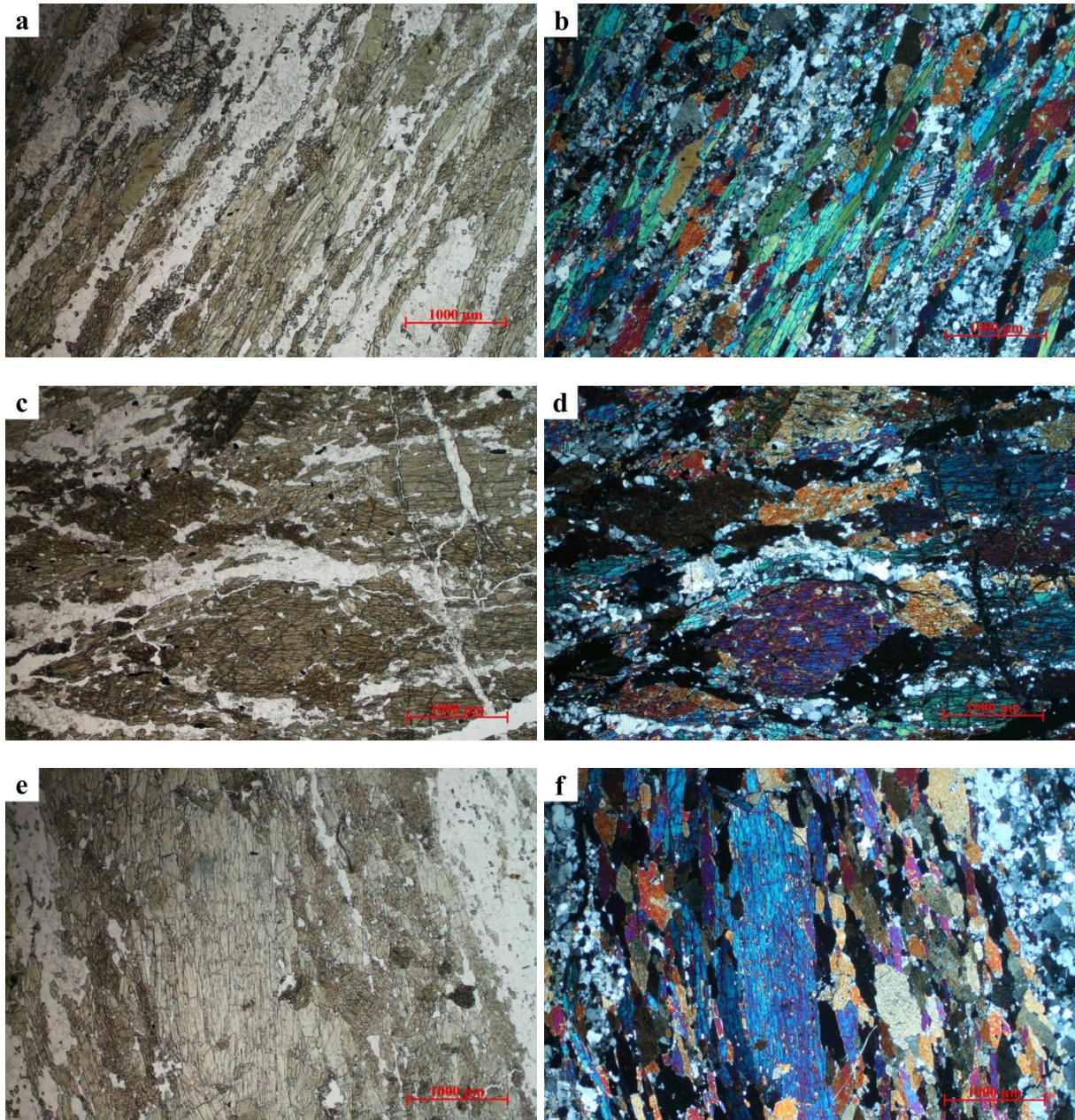
Zrna amfibola su hipidiomorfno do alotriomorfno habitusa, ujednačenih veličina. Središta amfibola smeđezelene su boje, dok su rubovi zeleniji, a pojedina manja zrna na rubovima prosljoka amfibola su u potpunosti zelena. Pleokroizam je vidljiv u smeđezelenoj i svijetlosmeđezelenoj boji, odnosno u tamnozelenoj i svijetlo zelenoj boji. U uzorku 141-1, gdje je uzorkovan kontakt amfibolita i granitne žile, amfiboli na kontaktu s plagioklasom pokazuju zelenu vlastitu boju. Granice amfibola s krupnijim zrnima plagioklasa su ravne, a s diopsidom i skapolitom te manjim zrnima plagioklasa su nepravilne. Unutar uzorka 139, uočen je krti lom amfibola koji presijeca naknadno formirana plagioklasna žila. Amfiboli su određeni kao hornblende.

Plagioklasi su alotriomorfno habitusa. Veća zrna imaju međusoban poligonalan kontakt, a manja nepravilan. Poneka zrna imaju polisintetske sraslačke lamele koje imaju igličast završetak odnosno ukazuju na plastičnu deformaciju. Veća zrna, koja se pojavljuju oko diopsida, imaju ravne i pravilne polistintetske sraslačke lamele, nastale kao posljedica rasta minerala bez vidljivog utjecaja deformacije.

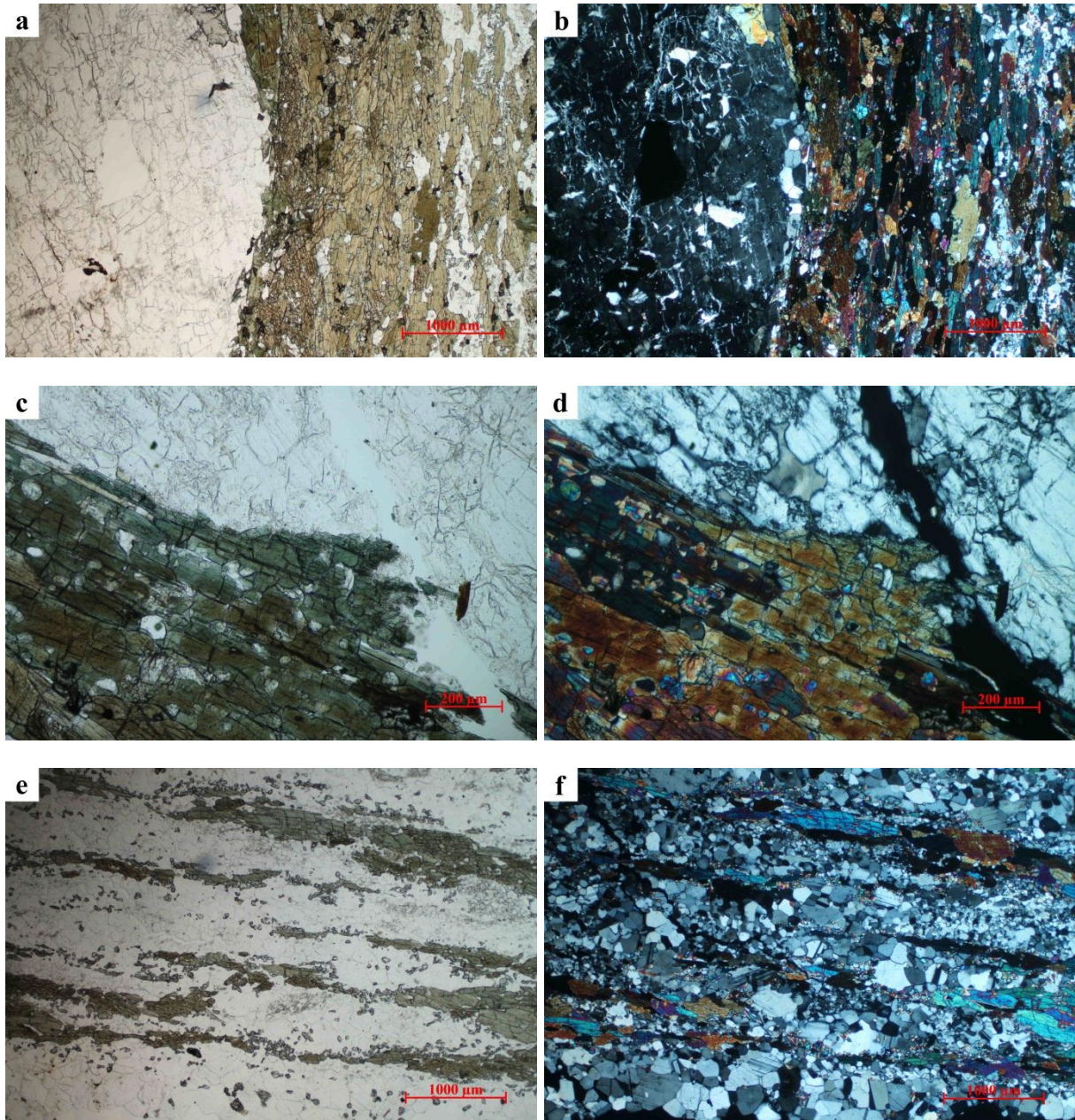
Diopsidi su alotriomorfno habitusa, različite veličine. Nalaze se u nakupinama, kada dolaze unutar plagioklasa, te u obliku vrpce uz amfibole kada markiraju folijaciju. U uzorku 141-2 ponekad formiraju lećaste nakupine unutar leukokraskog sloja.

Skapoliti uglavnom dolaze kao sitna alotriomorfna zrna nepravilnih međusobnih granica. Čine manje ili veće nakupine. Rijetke su male nakupine skapolita s međusobno poligonalnim kontaktima.

Akcesorni minerali pojavljuju se u različitim veličinama, sporadično po preparatima, bez jasnog grupiranja ili koncentracije. Rjeđe pojave kvarca povezane su uz plagioklasne prosljoke s većim zrnima gdje pokazuju poligonalne granice među zrnima.

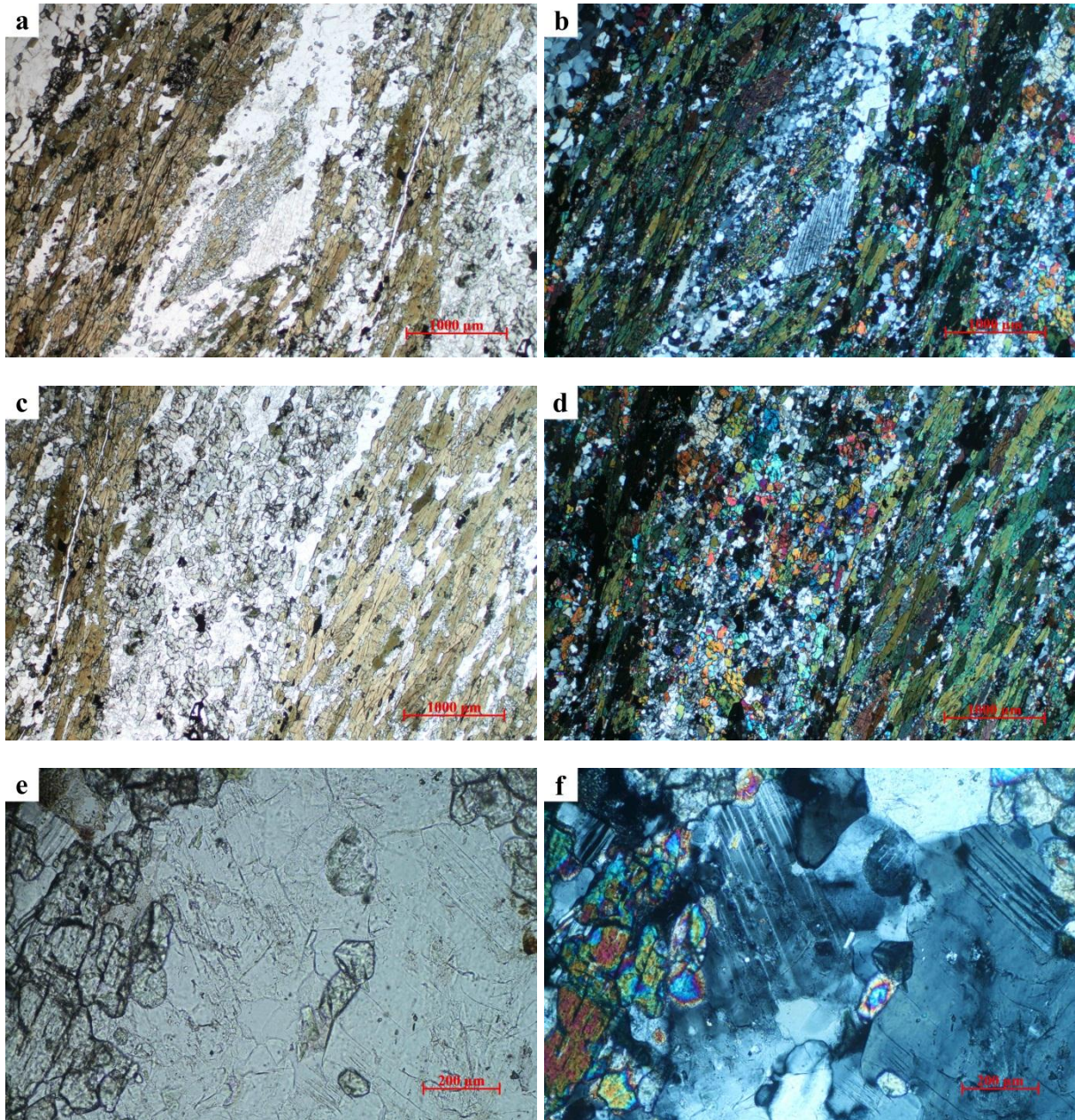


**Slika 12.** Mikrostrukturne i petrografske karakteristike uzoraka III skupine: a) izražena folijacija definirana amfibolima i proslojcima plagiklasa i diopsida, N-; b) isto kao a), N+. c) Veća zrna amfibola presječena leukokraskom žilicom, N-; d) isto kao c), N+. e) Velika zrna amfibola okružena manjima, N-. f) Veće zrno amfibola u sredini s drugom generacijom manjih amfibola oko tog zrna, N+.



**Slika 13.** Mikrostrukturne i petrografske karakteristike uzoraka III skupine. a) Kontakt amfibolita i leukokratske nakupine, N-; b) isto kao a), N+. c) Amfibol na kontaktu s velikim plagioklasom iz leukokratske stijene pokazuje promjenu vlastite boje koja je zelena na rubu, a smeđa u središtu zrna, uslijed promjene u kemijskom sastavu, N-; d) isto kao c), N+. e) Proslojci amfibola, diopsida i plagioklasa paralelni s folijacijom s dvije različite veličine plagioklasa, N-; f) isto kao e), N+.





**Slika 14.** Mikrostrukturne i petrografske karakteristike uzoraka III skupine: a) lećasta nakupina diopsida u plagioklasnom proslojku, N-; b) isto kao a) s vidljivim većim zrnom plagioklasa s polisintetskim sraslačkim lamelama, N+. c) Nepravilna nakupina diopsida, N-; d) isto kao c), N+. e) Zrna plagioklasa sa uklopljenim cirkonima, N-; f) isto područje, pri čemu su bolje vidljivi plagioklasi s polisintetskim sraslačkim lamelama koje imaju igličast završetak i ne pružaju se duž cijelog zrna, N+.

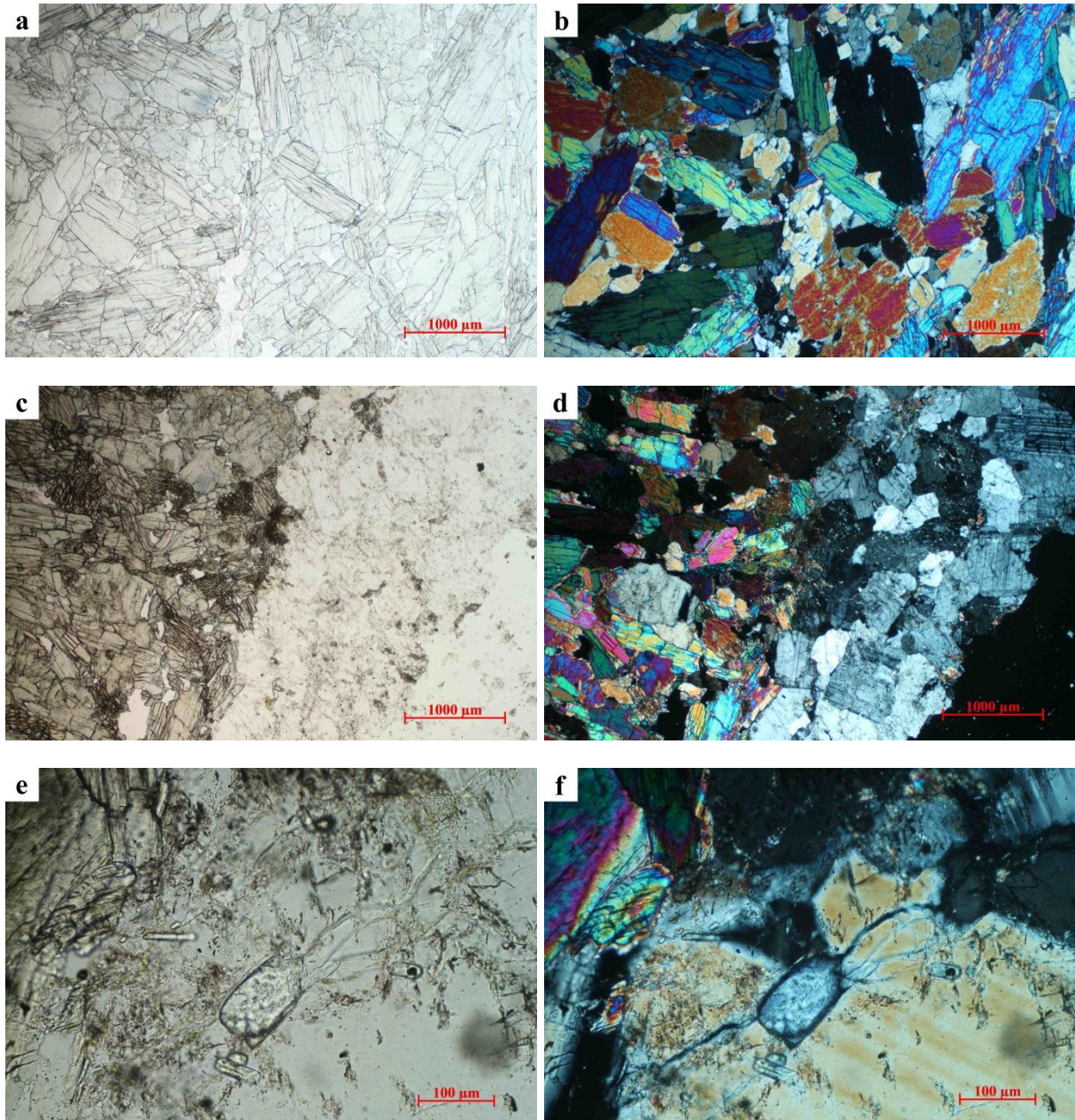
#### 5.2.1.4. IV skupina

Uzorci pokazuju granoblastičnu stukturu, bez jasne preferirane orijentacije. Dominantno ih izgrađuju amfiboli iz aktinolit-tremolitne serije, a sporadično se javljaju skapolit i plagioklasi.

Amfiboli su alotriomornog habitusa, ujednačene veličine. Različito su orijentirani s jasnim granicama zrna. Uočena je i plagioklasna žila sa sitnim zrnima cirkona. Amfiboli pripadaju aktinolit-tremolit seriji.

Skapolit i plagioklasi se pojavljuju vrlo rijetko, nepravilno raspoređeni po uzorcima. U uzorku 142b zahvaćen je kontakt s okolnom stijenom koja je pretežito plagioklasnog sastava unutar kojih se pronalaze cirkoni, apatiti i granati.

Na temelju mineralnog sastava odnosno dominantnog amfibola koji pripada tremolit-aktinolitnoj seriji, ove su stijene određene kao amfibolski škriljavci, a ne amfiboliti.



**Slika 15.** Mikrostrukturne i petrografske karakteristike uzoraka IV skupine. a) Nematoblastična struktura uzorka bez jasno uočljive preferirane orijentacije, N-; b) isto kao a), N+. c) Kontakt amfiboske stijene s leukokratskom stijenom, N-; d) leukokratska stijena izgrađena je od plagioklasa alteriranih procesom sericitizacije cijelim volumenom zrna, N+. e) Zrno apatita te prateći cirkoni kao uklopci u u plagioklasu, N-; f) isto kao e), N+.

## 5.2.2. Graniti

Optički su analizirana tri mikroskopska preparata granita koja se mogu razlikovati makroskopski i mikroskopski po svojem mineralnom sastavu.

### 5.2.2.1. Preparat 130a

Uzorak granita ima homogenu teksturu i zrnatu strukturu. Glavna mineralna vrsta su plagioklasi (~40 vol. %), mikroklin (~30 vol. %), kvarc (~20 vol.%) i biotit (~10 vol. %). Akcesorni minerali su apatiti, zirkon, granat i opaki.

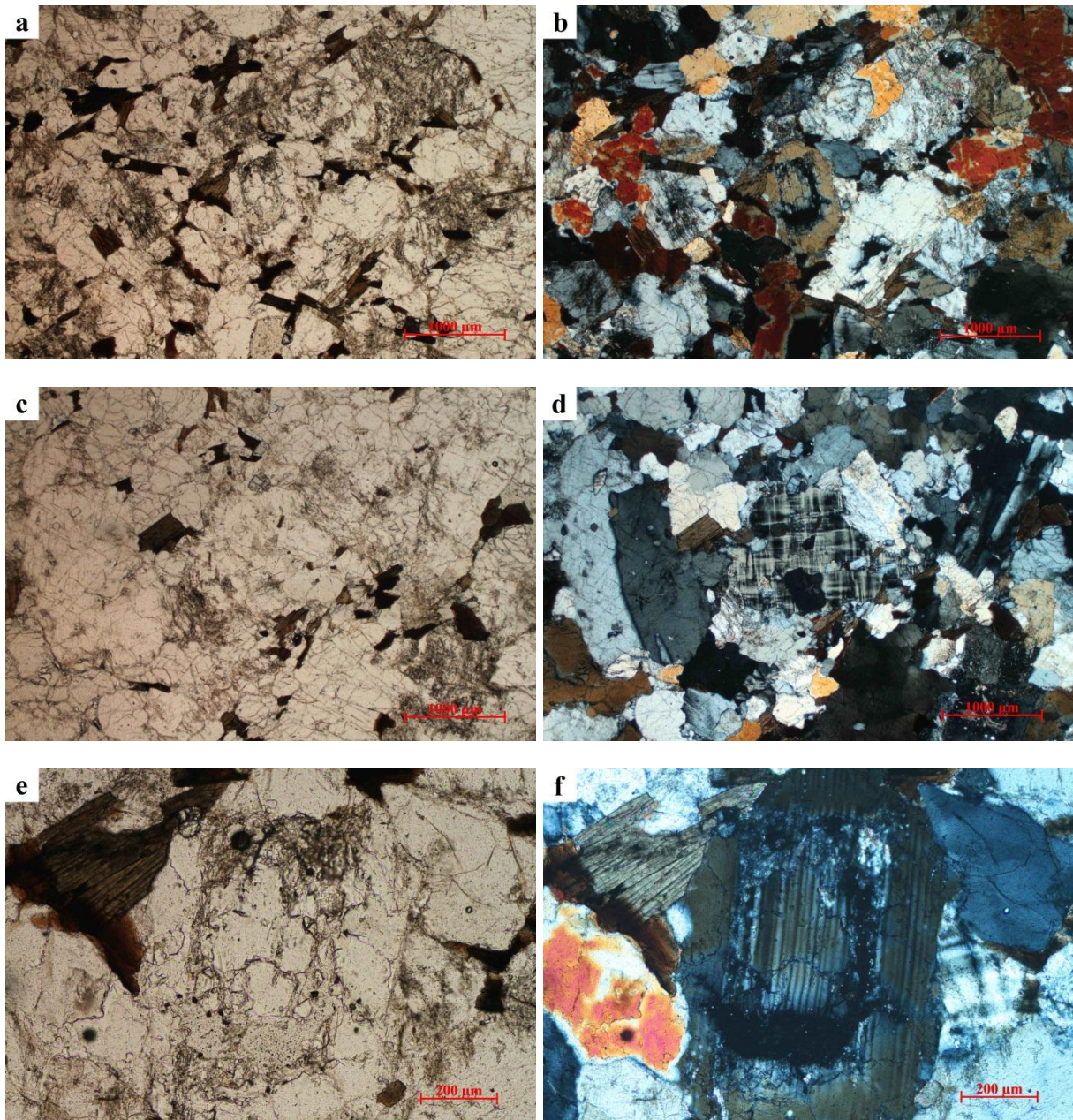
Plagioklasi su alotriomorfnog habitusa. Uglavnom imaju polisintetske sraslačke lamele, a poneki pokazuju zonalni rast. Pokazuju izmjene procesom sericitizacije i to uglavnom od središta zrna prema rubu. Na pojedinim zrnima uočena je sericitizacija duž kristalografskih smjerova odnosno pukotina kalavosti.

Zrna mikrokлина alotriomorfnog su oblika. Karakterizira ih tipična struktura za mikroklin, odnosno takozvana rešetkasta struktura. Sericitizacija zahvaća cijeli volumen zrna, ali slabijeg intenziteta nego kod plagioklasa.

Kvarc dolazi u obliku manjih, alotriomorfnih zrna. Čist je, ali uklapa niz sitnih inkluzija. Uočeno je undulozno potamnjenje sugestivno za plastičnu deformaciju.

Hipidiomorfni do alotriomorfni biotiti razasuti su po cijelom uzorku, rijetko formirajući manje nakupine. Uglavnom pokazuju pleokroizam u svijetlosmeđoj i tamnosmeđe-crvenoj boji, a interferencijska boja je prekrivena vlastitom bojom. Uočena su i svjetlija zrna sa slabijim intenzitetom pleokroizma smeđih tonova.

Akcesorni minerali, odnosno apatit, cirkon, granat i opaki, nepravilno razasuti po uzorku.



**Slika 16.** Mikrostrukturne i petrografske karakteristike uzorka 130a. a) Homogena tekstura s vidljivim zrnima biotita, plagioklasa i K-feldspata različitog inteziteta alteracije, N-; b) isto kao a), N+. c) K-feldspat u sredini, okružen plagioklasima i biotitima, N-; d) isto područje, jasno vidljiv mikroklin s tipičnom rešetkastom strukturom u sredini, N+. e) U središtu zrno plagioklasa, a gore lijevo biotit, N-; f) isto kao e), plagioklas pokazuje jasne polisintetske sraslačke lamelama u središtu zrna s izraženom alteracijom u obliku prstena (zonalnost), N+.

#### 5.2.2.2. *Preparat 130b*

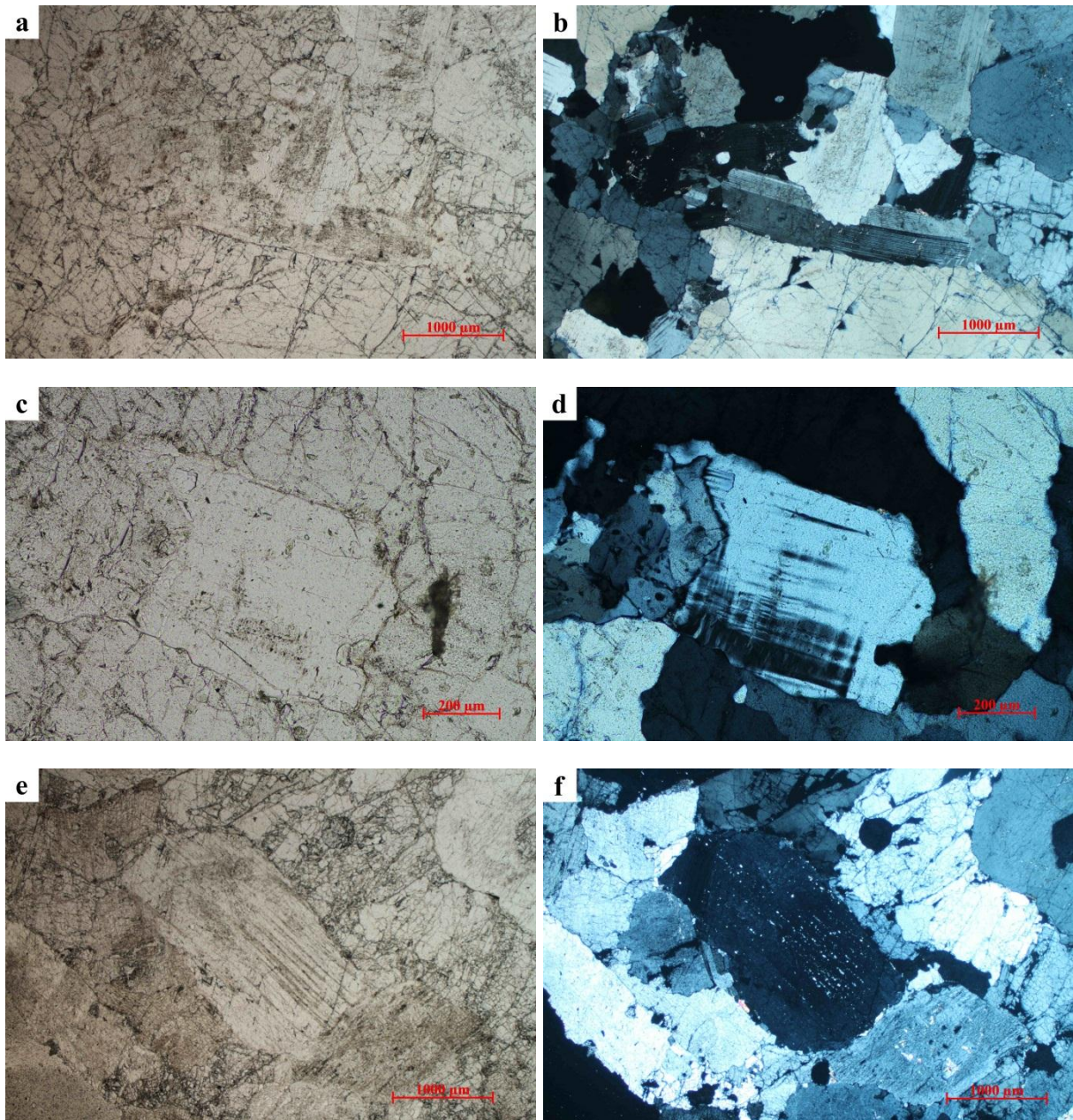
Uzorak ima homogenu teksturu i zrnatu strukturu. Dominantno je izgrađen od plagioklasa (~50 vol. %) i kvarca (~45 vol. %) te mikrokлина (~5 vol. %). Od akcesornih minerala uočeni su granat i biotit.

Plagioklasi su hipidiomorfne do alotriomorfne habitusa. Često pokazuju polisintetske sraslačke lamelle. Uočena su zrna s pojavom okomitih sraslačkih lamela, ali i zrna s blagim povijanjem lamela koje ponovno ukazuju na plastičnu deformaciju. Zahvaćeni su procesom sericitizacije koja ponekad prati određena kristalografska pružanja, a često je izraženija u središtu zrna. Mjestimično su vidljive i krupnije razvijena zrna sekundarnog muskovita.

Kvarc dolazi u obliku alotriomorfne zrna s uklopljenim sitnim inkluzijama. Često je vrlo raspucan. Uočeno je undulozno potamnjenje.

Alotriomorfna zrna mikrokлина su nepravilno razasuta duž uzorka. Karakterizira ih rešetkasta struktura. Izmijenjeni su, ali slabijeg intenziteta od plagioklasa.

Biotiti se javljaju akcesorno u obliku hipidiomorfne zrna s pleokroizmom u tamnosmeđoj i svijetlosmeđoj boji. Granati su tipično kugličastog oblika s izrazitim reljefom.



**Slika 17.** Mikrostrukturne i petrografske karakteristike uzorka 130b. a) Plagioklasi s alteriranom površinom i krto deformirani kvarc, N-; b) isto područje, zno plagioklasa s blago povnutim polisintetskim sraslačkim lamelama, N+. c) U središtu zno mikroklin, N-; d) isto područje, mikroklin s djelomično razvijenom rešetkastom strukturom, N+. e) Plagioklas s polisintetskim sraslačkim lamelama koje su dodatne definirane pojavom sericita, N-, f) isto kao e), N+.

### 5.2.2.3. Preparat 130c

Uzorak također ima homogenu teksturu i zrnatu strukturu. Dominante mineralne vrste su plagioklasi (~40 vol.%), kvarc (~35 vol. %) i mikroklin (~20 vol. %), a akcesorno se javljaju biotit, muskovit, cirkon i turmalin.

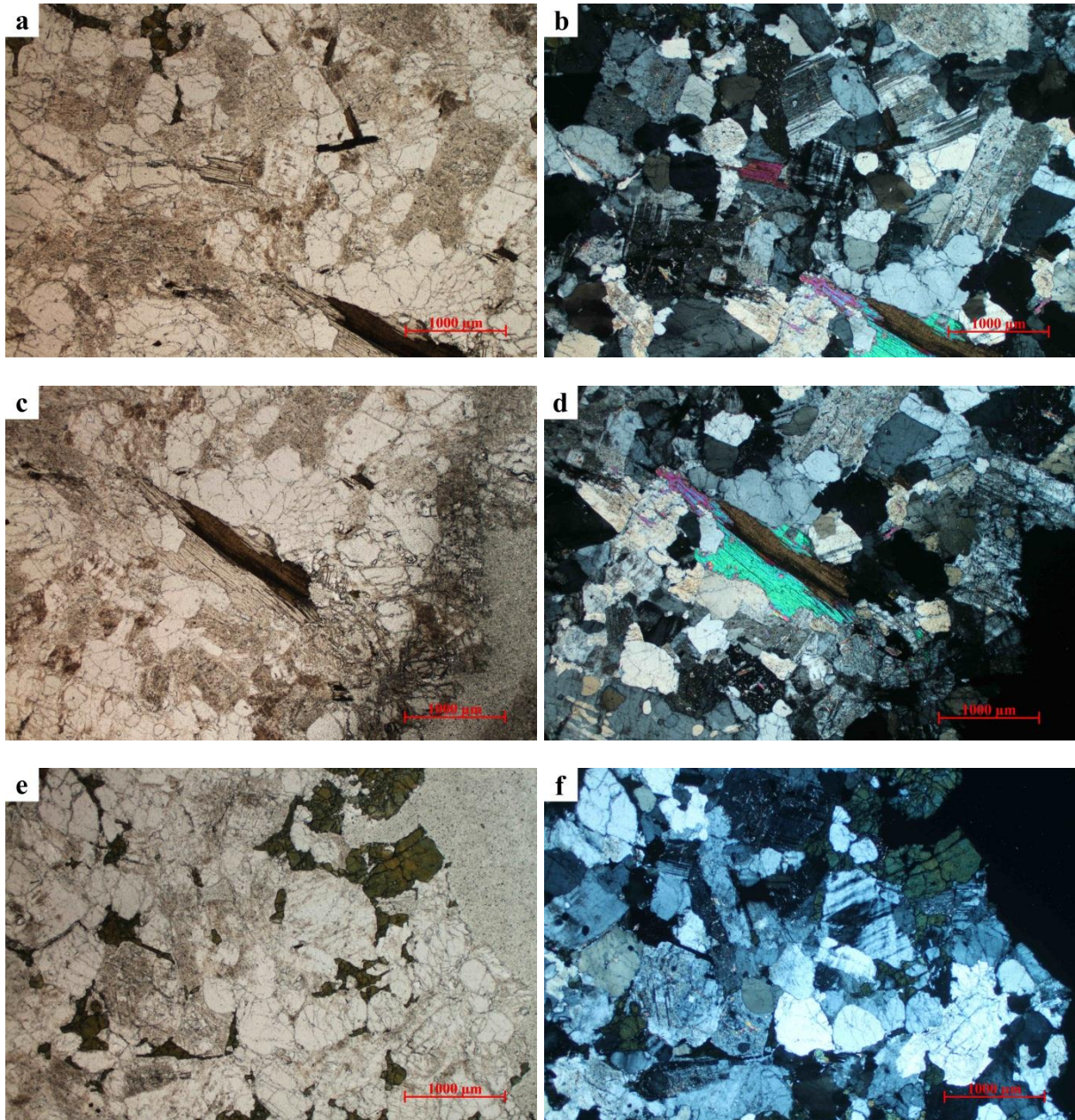
Plagioklasi su alotriomorfni. Česte su jedinice s polisintetskim sraslačkim lamelama koje se nerijetko ne protežu kroz cijelo zrno. Zahvaćeni su procesom sericitizacije cijelom površinom zrna, a pojedini uklapaju i manje muskovite.

Zrna kvarca su alotriomorfna. Pojedina veća zrna pokazuju pojavu podzrna.

Mikroklin je alotriomorfan s rešetkastom strukturom. Također je zahvaćen procesom sericitizacije manjeg obujma za razliku od plagioklasa.

Od akcesornih minerala su važni biotit i muskovit koji su neravnomjerno razasuti po uzorku. Muskoviti pokazuju jasnu pseudoapsorpciju, a biotiti pokazuju pleokroizam u svijetlosmeđoj i tamnosmeđoj boji. Hipidiomornog su habitusa. Također uz tinjce, prisutan je i turmalin koji se pronalazi rijetko u nakupinama. Alotriomornog je habitusa i pokazuje pleokroizam u smeđozelenoj i svijetlozelenoj boji. Uočena je zonalnost zrna.

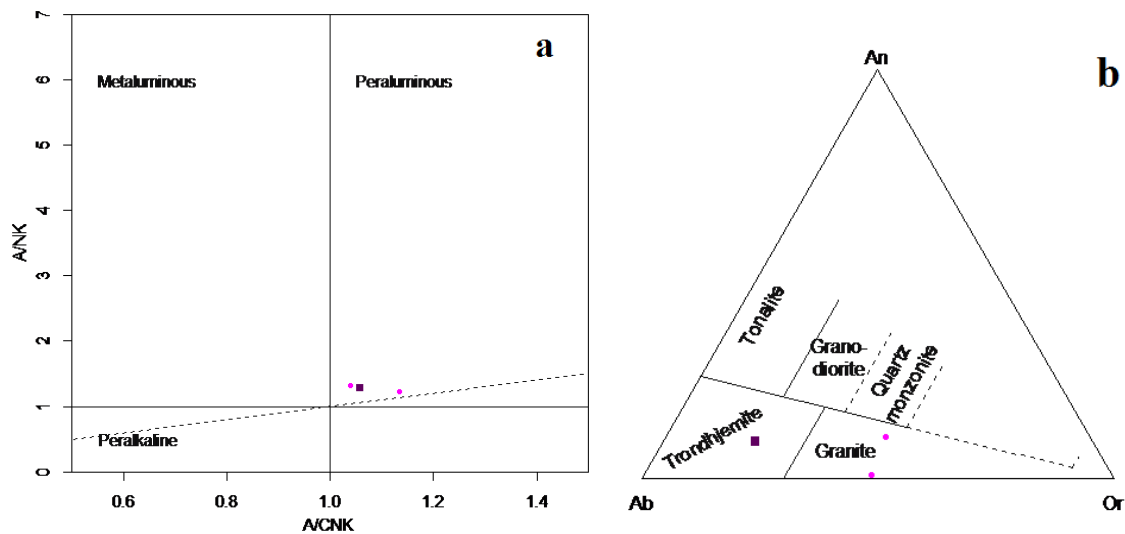




**Slika 18.** Mikrostrukturne i petrografske karakteristike uzorka 130c. a) Homogena tekstura s kvarcom, plagioklasom, mikroklinom i biotitom, N-; b) istokao a), N+. c) U središtu proraslac tinjca s vlastitom smeđom bojom (biotit) i bezbojanog (muskovit), N-; d) isto područje, muskovit s vidljivom interferencijskom bojom i biotiti čija vlastita boja prekriva interferencijsku boju, N+. e) Lokalno razvijena pojava turmalina izraženo zelene i smeđe boje, s jasnom pojavom zonalnosti, N-; f) vlastita boja prekriva interferencijsku kod zrna turmalina u gornjem desnom uglu, N+.

### 5.3. Rezultati kemijskih analiza

Cijelostijenska kemijska analiza tri uzorka granita, s oznakama 130a, 130b i 130c, prikazana je u Tablici 1. Svi uzorci pokazuju peraluminozni karakter. Klasifikacijom pomoću glavnih elemenata uzorci 130a i 130c su određeni kao graniti, a uzorak 130b kao trondhjemit (Slika 19.). Uzorci pokazuju visok sadržaj  $\text{SiO}_2$ , s jasnim izdvajanjem uzorka 130b koji ima nešto veće vrijednosti (85.45 tež. %) od uzorka 130a (69.79 tež. %) i uzorka 130c (73.67 tež. %). Visoke vrijednosti  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pokazuju uzorci 130a i 130b (14.47, 15.04 tež. %), dok su kod uzorka 130b vrijednosti nešto niže (8.61 tež. %).



**Slika 19.** a) Dijagram A/CNK-A/NK prema Shand (1943) smještava uzorke 130a i 130c (ružičasti kružići) te uzorak 130b (ljubičasti kvadrat) u polje peraluminoznih stijena; c) feldspatski trokut prema O'Connor (1965) koji klasificira uzorke 130a i 130b kao granite, a uzorak 130b kao trondhjemit.

Uzorak s najmanjom količinom  $\text{SiO}_2$ , 130a, pokazuje blago povišene vrijednosti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (2.4 tež. %) ,  $\text{MgO}$  (0.9 tež. %) i  $\text{CaO}$  (1.71 tež. %) za razliku od uzoraka 130b i 130c ( $\text{Fe}_2\text{O}_3=0.08, 0.88$ ;  $\text{MgO}=0.01, 0.14$ ;  $\text{CaO}=0.79, 0.5$  tež. %). Sva tri uzorka imaju visoke koncentracije  $\text{Na}_2\text{O}$  (3.42, 3.24, 3.8 tež. %), a koncentracije  $\text{K}_2\text{O}$  su povišene u uzorcima 130a i 130c (5.31, 5.17 tež. %) za razliku od uzorka 130b gdje su niske (1.27 tež. %). Indeks zasićenja aluminijem (eng. *alumina saturation index*, ASI) iznosi 1.04 za 130a, 1.06 za 130b i 1.13 za 130c (Slika 19.). Koncentracije učestalih elemenata u tragovima, kao što su Ba, Sr, Cs, Rb i Zr, variraju od uzorka do uzorak. Generalno, uzorak 130b pokazuje niske koncentracije navedenih elemenata (Ba=63 ppm; Sr=48.6 ppm, Cs=1.2 ppm, Rb=30.3 ppm, Zr=26.4 ppm), uzorak 130a povišene koncentracije u odnosu na uzorak 130b (Ba=631 ppm, Sr=180.5 ppm, Cs=4 ppm, Rb=169.3 ppm, Zr=112.1ppm), dok uzorak 130c pokazuje varijacije (Ba=133 ppm, Sr=38.1 ppm, Cs=12.3 ppm, Rb=249.2 ppm, Zr=39.5 ppm).

**Tablica 1.** Cijelostijenske kemijske analize uzoraka granita, hibridnih stijena i amfibolita. Uzorci AP3, PE4, TP4, SSP i 018 predstavljaju leukogranite te uzorci 029c i 030c dvotinjčaste granite preuzete iz Balen & Petrinc (2011). Uzorci 130a, 130b i 130c analizirani su u svrhu izrade ovog rada. Hibridni varijeteti granita iz Pleterca, 001 i 100, kao i amfibolit iz Pleterca 027 i diopsidni amfibolit iz Kamenjače, preuzeti su iz Petrinc (2013).

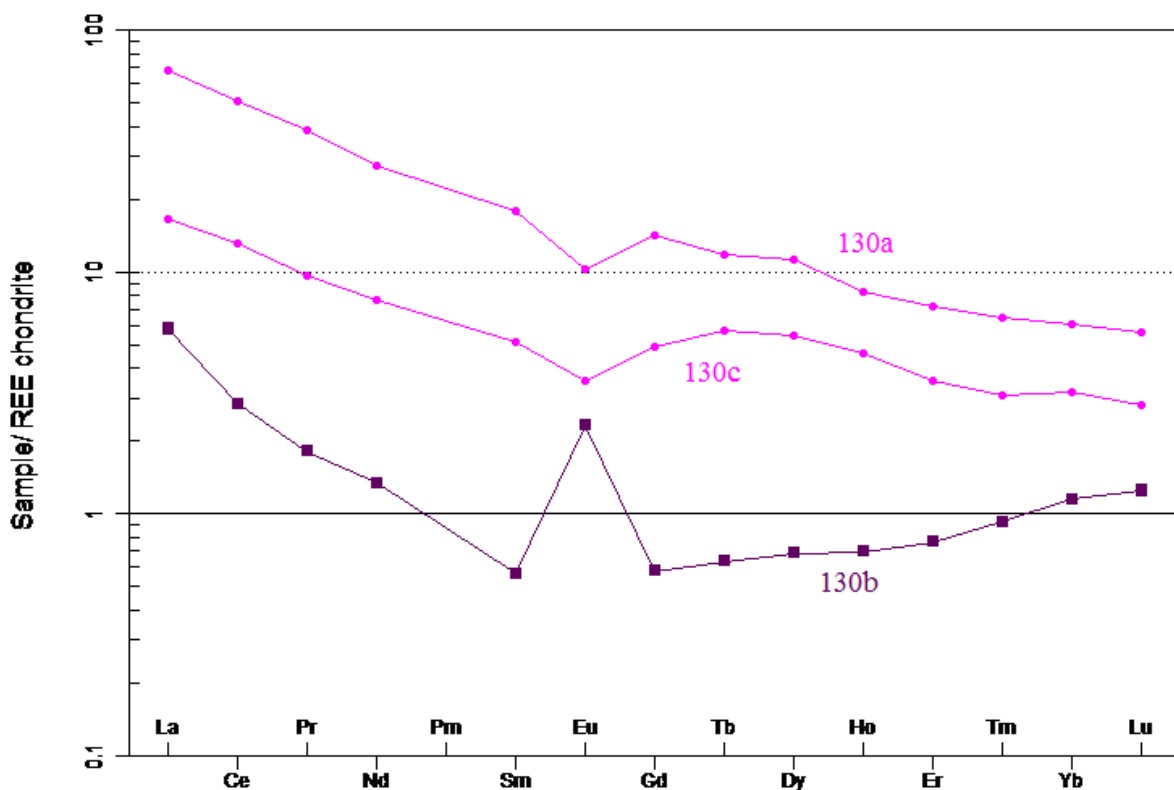
Oznaka uzorka	AP3	PE4	TP4	SSP	018	029c	030c	130a	130b	130c	001	027	028	100
Tip stijene	leukograniti				dvotinjčasti graniti				trondhjemit	leukogranit	hibridni varijetet	amfiboliti		hibridni varijetet
SiO <sub>2</sub>	76,50	74,66	74,80	74,83	75,31	72,09	73,64	69,79	85,45	73,67	51,82	51,66	44,25	57,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,96	13,89	14,10	14,29	14,51	14,64	13,92	15,04	8,61	14,47	14,51	15,87	14,98	17,28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,77	0,62	0,55	0,68	0,63	1,68	1,36	2,40	0,08	0,88	8,44	6,78	11,09	7,53
MgO	0,06	0,04	0,07	0,05	0,14	0,52	0,41	0,90	0,01	0,14	6,87	8,95	8,78	5,01
CaO	0,42	0,19	0,52	0,39	0,40	0,86	0,61	1,71	0,79	0,50	9,89	12,13	16,22	4,44
Na <sub>2</sub> O	2,83	2,58	4,67	3,80	3,00	3,55	3,01	3,42	3,24	3,80	3,06	2,19	1,52	3,75
K <sub>2</sub> O	3,47	7,10	3,98	5,09	4,75	4,53	5,73	5,31	1,27	5,17	1,62	0,13	0,37	2,00
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05	0,26	0,21	0,35	0,01	0,07	1,86	0,38	1,27	0,77
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,31	0,25	0,30	0,28	0,25	0,21	0,21	0,27	0,07	0,29	0,27	0,01	0,08	0,28
MnO	0,03	0,02	0,02	0,02	0,06	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,13	0,13	0,17	0,12
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,02	0,04	0,02
LOI*	0,60	0,60	1,00	0,50	0,90	1,50	0,80	0,60	0,40	0,90	1,20	1,50	1,00	1,40
Suma	99,97	100,00	100,01	100,00	99,98	99,90	99,90	99,82	99,92	99,92	99,75	99,81	99,78	99,75
As	2,00	0,70	3,70	11,00	1,70	0,70	29,90	1,00	3,40	0,25	1,80	1,00	55,40	3,20
B	10,00	10,00	10,00	10,00	852,00	58,00	69,00							8,00
Ba	4,00	1,00	11,00	4,00	44,00	428,00	502,00	631,00	63,00	133,00	153,00	30,00	83,00	502,00
Be	0,50	0,50	2,00	0,50	2,00	1,00	2,00	5,00	6,00	8,00	1,00	0,50	0,50	2,00
Co	0,10	0,20	0,20	0,60	0,30	1,30	1,00	4,00	0,10	0,90	33,40	35,40	50,80	21,30
Cs	15,70	13,20	10,50	15,10	8,80	20,30	22,50	4,00	1,20	12,30	2,40	0,40	0,40	4,40
Cu	1,20	0,80	1,30	1,10	0,60	0,90	1,10	1,00	1,20	0,80	77,20	9,60	34,90	44,80
Ga	24,60	16,10	17,10	18,60	19,50	18,20	15,10	17,00	9,50	16,50	18,60	13,00	17,30	21,50
Hf	1,40	0,60	1,60	1,00	1,20	3,90	3,40	3,00	0,80	1,70	4,10	0,50	2,00	4,40
Mo	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,40	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10	1,00
Nb	17,00	10,30	11,40	14,90	20,70	17,70	11,80	12,00	1,10	9,50	20,90	0,30	5,20	9,50
Ni	0,20	0,60	0,70	0,90	0,70	2,70	1,60	7,50	0,40	0,50	62,00	8,60	55,10	43,80
Pb	2,80	5,40	7,80	7,70	3,70	2,60	6,50	2,20	1,50	4,20	2,80	1,90	2,30	2,50
Rb	243,80	364,60	229,30	287,90	265,40	237,90	263,90	169,30	30,30	249,20	51,60	3,70	6,70	65,70
Sn	15,00	13,00	7,00	11,00	18,00	11,00	12,00	2,00	0,50	7,00	2,00	0,50	8,00	2,00
Sr	4,20	2,10	11,70	3,30	23,80	122,00	102,80	180,50	48,60	38,10	559,20	204,60	296,20	439,20
Ta	3,10	1,30	2,10	2,00	6,10	2,00	1,60	1,20	0,80	2,90	1,40	0,05	0,40	0,70

Th	1,30	0,40	2,00	0,70	1,00	9,40	9,00	7,30	0,50	2,00	4,10	0,10	0,30	7,50
U	2,30	1,80	2,50	2,40	1,20	3,70	4,80	2,50	0,30	2,00	1,40	0,05	0,10	2,00
V	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	15,00	12,00	23,00	4,00	4,00	249,00	177,00	238,00	127,00
W	107,10	2,30	22,90	2,90	11,90	2,10	1,30	0,25	0,60	0,25	0,90	0,25	0,60	0,25
Y	10,70	4,20	9,30	4,00	3,40	19,10	24,70	17,10	1,50	9,80	18,90	10,50	15,30	23,80
Zn	21,00	23,00	8,00	30,00	2,00	34,00	26,00	36,00	0,50	11,00	21,00	5,00	19,00	63,00
Zr	34,00	10,70	35,40	18,00	24,40	122,30	90,40	112,10	26,40	39,50	135,60	20,10	78,40	156,80
Oznaka uzorka	AP3	PE4	TP4	SSP	018	029c	030c	130a	130b	130c	001	027	028	100
La	3,20	1,40	3,70	1,60	1,90	22,70	16,50	21,30	1,80	5,10	17,50	0,70	4,60	33,40
Ce	6,80	2,40	7,70	2,90	3,90	43,80	33,70	41,10	2,30	10,60	37,80	2,20	11,90	65,90
Pr	0,87	0,32	0,95	0,37	0,42	5,00	4,16	4,74	0,22	1,18	4,81	0,39	1,80	7,62
Nd	3,40	1,20	3,40	1,30	1,40	18,70	15,80	16,50	0,80	4,60	21,30	2,20	9,70	25,90
Sm	1,11	0,42	1,07	0,45	0,43	3,90	3,69	3,50	0,11	1,00	4,70	0,91	2,55	5,06
Eu	0,01	0,01	0,04	0,01	0,09	0,55	0,59	0,76	0,17	0,26	1,51	0,52	0,91	1,25
Gd	1,28	0,54	1,16	0,50	0,41	3,49	3,71	3,66	0,15	1,27	4,55	1,41	3,13	4,76
Tb	0,30	0,14	0,26	0,13	0,10	0,63	0,75	0,56	0,03	0,27	0,74	0,28	0,53	0,76
Dy	1,94	0,88	1,70	0,84	0,62	3,62	4,37	3,63	0,22	1,76	4,00	1,83	3,15	4,06
Ho	0,34	0,14	0,29	0,14	0,11	0,61	0,87	0,59	0,05	0,33	0,73	0,39	0,64	0,84
Er	0,98	0,36	0,85	0,33	0,34	1,86	2,51	1,52	0,16	0,75	1,89	1,15	1,60	2,44
Tm	0,15	0,06	0,15	0,07	0,06	0,27	0,40	0,21	0,03	0,10	0,28	0,16	0,24	0,38
Yb	1,15	0,45	1,07	0,46	0,48	1,78	2,53	1,27	0,24	0,66	1,59	1,09	1,54	2,43
Lu	0,15	0,06	0,15	0,06	0,08	0,25	0,35	0,18	0,04	0,09	0,22	0,17	0,22	0,37
ASI**	1,63	1,13	1,09	1,15	1,34	1,19	1,14	1,04	1,06	1,13	0,59	0,62	0,46	1,05
mg***												0,72	0,61	
Eu/Eu* ****	0,03	0,06	0,11	0,06	0,66	0,46	0,49	0,65	4,05	0,71	1,00	1,40	0,98	0,78
(La/Yb) <sub>N</sub>	1,88	2,10	2,33	2,35	2,67	8,60	4,40	11,31	5,06	5,21	7,42	0,43	2,01	9,27
(La/Sm) <sub>N</sub>	1,81	2,10	2,18	2,24	2,78	3,66	2,81	3,83	10,29	3,21	2,34	0,48	1,13	4,15
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	0,07	0,17	0,27	0,14	1,50	2,04	1,48	3,62	5,67	2,60	5,39	3,25	3,79	3,29
ΣREE	21,68	8,38	22,49	9,16	10,34	107,16	89,93	99,52	6,32	27,97	101,62	13,40	42,51	155,17

\* LOI = gubitak vode žarenjem (razlika u težini nakon žarenja na 1000 °C u trajanju od četiri sata); \*\* ASI=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)

\*\*\* mg (Niggli) = mol. MgO/(mol. MgO+FeO+MnO)

Na temelju usporedbe glavnih elemenata moguće je izdvojiti uzorak 130b kao drugačiji od uzoraka 130a i 130c, što potvrđuje i analiza elemenata rijetkih zemalja, prikazana na multielementnom normalizacijskom dijagramu rijetkih zemalja (Slika 20). Glavna karakteristika uzorka 130b je izrazita pozitivna europijeva anomalija ( $Eu/Eu^*=4.05$ ) koja je negativna za uzorke 130a i 130c (0.65 i 0.71). Uzorak 130a pokazuje nešto izraženiju frakcionaciju elemenata rijetkih zemalja ( $(La/Yb)_N=11.31$ ) u odnosu na uzorak 130c ( $(La/Yb)_N=5.21$ ), ali trend ponašanja rijetkih zemalja im je sličan. Frakcionacija unutar lakih rijetkih zemalja uzorka 130b je prilično izražena u odnosu na ostala dva uzorka ( $(La/Sm)_N=10.29$ ; za 130a  $(La/Sm)_N=3.83$ , za 130c  $(La/Sm)_N=3.21$ ). Sva tri uzorka također pokazuju razliku u raspodjeli teških rijetkih zemalja čiji trend pokazuje rast od 130b ( $(Gd/Yb)_N=0.50$ ) preko 130c ( $(Gd/Yb)_N=1.55$ ) do 130a ( $(Gd/Yb)_N=2.33$ ), (Slika 19.). Ukupni zbroj REE iznosi 99.52 ppm (130a), 6.32 ppm (130b) i 27.97 ppm (130c).



**Slika 20.** Multielementni dijagram rijetkih zemalja, normalizacija na hondrite prema Boynton (1984). Vidljivo je jasno razdvajanje uzoraka 130a i 130b sa sličnim trendom te uzorka 130b s izraženom pozitivnom europijevom anomalijom.

## 6. DISKUSIJA

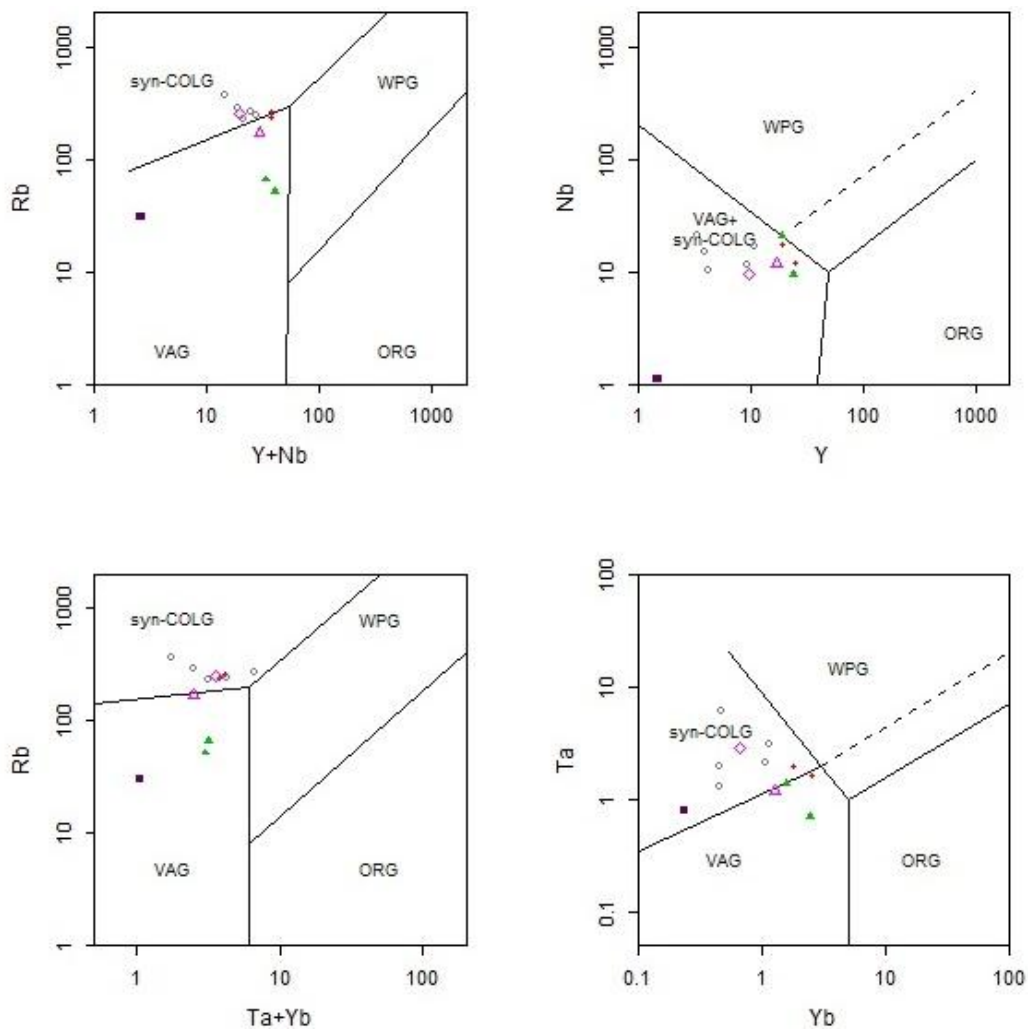
U ovom poglavlju iznesena je kemijska usporedba s već analiziranim granitima Moslavačke gore uz određivanje geotektonskog smještaja, uključujući i još dodatna dva hibridna uzorka iz Pleterca. Zatim je napravljen osvrt na mikrostrukturne karakteristike amfibolita i u njima opažene reakcije na temelju kojih su definirani uvjeti metamorfizma zabilježeni u ksenolitima.

### 6.1. Varijacije sastava granitnih stijena Pleterca: potpis lokalnih specifičnosti tijekom intruzije glavne mase granita

Dva najčešća varijeteta granita kristalina Moslavačke gore, posebno u sjevernim dijelovima masiva, su dvotinjčasti granit i leukogranit. Zbog toga je napravljena usporedba s kemijskim analizama objavljenim u Balen i Petrinc (2011) za uzroke s područja Srednje rijeke, za koju se pretpostavlja da čini istu granitnu masu kao i Pleterac. Glavna usporedba temelji se na elementima rijetkih zemalja budući da je u navedenom radu napravljena jasna razdioba spomenutih varijeteta. Slika 20. pokazuje trend elemenata rijetkih zemalja (REE) za tri granita analizirana za potrebe ovog rada (130a, 130b, 130c) te za pet leukogranita i tri dvotinjčasta granita iz rada Balen i Petrinc (2011). Jasno se uočava razdioba dvotinjčastih granita i leukogranita koji se mogu podijeliti u dva trenda. Uzorak 130a djelomično se preklapa s trendom dvotinjčastih granita te će se smatrati dijelom skupine takvog varijeteta. U grupu leukogranita, odnosno u jednu od podgrupa leukogranita, može se uvrstiti uzorak 130c, dok uzorak 130b odstupa po trendu od svih do sada kemijski analiziranih varijeteta granita na Moslavačkoj gori. Izdvaja ga izražena frakcionacija lakih elemenata rijetkih zemalja ( $(La/Sm)_N=10.29$ ) te pozitivna europijeva anomalija ( $Eu/Eu^*=4.05$ ). Ono što ga još razlikuje od dosadašnjih opisanih i ovdje analiziranih granita je drugačiji mineralni sastav koji kojim dominiraju dvije mineralne vrste, plagioklasi i kvarc, s podređenim mikroklinom i akcesornim granatom i cirkonom (Slika 17.).

Ako se promatra šira slika, a to su uvjeti nastanka granitnih stijena istraživanog lokaliteta u usporedbi s ranije istraživanim granitima sjevernog oboda Moslavačke gore (Petrinc, 2013), može se zaključiti da pleterački graniti ne odskaču od opće slike. Najbolje se to vidi analizom podataka o geotektonskom smještaju granitoidnih stijena iz Pleterca određenom pomoću dijagrama koje su razvili Pearce i dr. (1984) korištenjem nemobilnih elemenata u tragovima (Slika 21.). Pomoću tih dijagrama mogu se generalno međusobno razlikovati graniti oceanskih hrptova (*ocean ridge granite, ORG*), graniti vulkanskih lukova

(*volcanic arc granites, VAG*), graniti nastali unutar ploča (*within plate granites, WPG*) i sinkolizijski graniti (*syncollisional granites, syn-COLG*). Osim leukratskih i dvotinjčastih granita, u dijagram su uvrštene dvije granitoidne stijene iz Pleterca, takozvane hibridne stijene (Petřinec, 2013), za koje postoje jasni dokazi miješanja magmi. U uzorku 001 prisutni su specifična kružna tjelešca kvarca i kalijevih feldspata okružena vijenčićem amfibola, tzv. oceli, tipični dokazi za miješanje magmi, dok uzorak 100 pokazuje jasnu asimilaciju mafitnog materijala, najvjerojatnije prethodno fragmentiranog amfibolita. Najbolji diskriminacijski dijagrami (Pearce i dr., 1984) su Nb nasuprot Y i Ta nasuprot Yb te Rb nasuprot (Y+Nb) i Rb nasuprot (Yb+Ta). Uključivanjem Rb u dijagram dobiveno je izraženo i jasno razdvajanje granita vulkanskih lukova i sinkolizijskih granita te granita nastalih unutar ploča i granita oceanskih hrptova.



**Slika 21.** Diskriminacijski dijagrami za granite i hibridne varijetete prema Pearce i dr. (1984). Oznake: ORG – graniti oceanskih hrptova, VAG – graniti vulkanskih lukova, WPG – graniti nastali unutar ploča, syn-COLG – kolizijski, tj. sinkolizijski graniti. Prazni kružići – leukograniti; puni crveni kružići – dvotinjčasti graniti; ružičasti trokut – uzorak 130a, ružičasti romb – uzorak 130c; ljubičasti kvadrat – uzorak 130b, zeleni trokut – hibridni varijeteti.

Slika 21. pokazuje kako leukograniti padaju u polje sinkolizijskih granita, a dvotinjčasti graniti (Balen i Petrincec, 2011) na granicu između granita vulkanskih lukova i sinkolizijskih granita. Uzorak 130a se ponaša slično kao i dvotinjčasti graniti, ali s većom tendencijom prema polju granita vulkanskog luka, dok uzorak 130c pada u polje sinkolizijskih granita, kao i leukograniti. Uzorak 130b, kao i hibridni graniti, pada u polje granita vulkanskog luka. Dakle, u neakvim širim okvirima, svi graniti i miješane stijene ukazuju na generalno isti stil geodinamskih zbivanja koja su dovela do njihova nastanka, a uzroke varijacija među granitima Pleterca treba tražiti lokalno.

## 6.2. Opažene mikrostrukture u amfibolitima: odraz metamorfnih reakcija koje su prethodile intruziji granita?

Mikrostrukturne karakteristike iz kojih je moguće dobiti informacije o uvjetima metamorfne evolucije amfibolitnih ksenolita uglavnom su promatrane na hornblendama i plagioklasima budući da su te dvije mineralne vrste dominantne u amfibolitima. Plagioklasi se pojavljuju kao manja i kao veća zrna. Ona manja pokazuju undulozno potamnjenje i proces dinamičke rekristalizacije (rotacija podrzna, *subgrain rotation*) dok su veća prošla kroz proces statičke rekristalizacije i formiranja poligonalnih kontakata među zrnima. Također iste mikrotektonske karakteristike pokazuje skapolit. Ovako ponašanje plagioklasa ukazuje na temperature iznad 600 °C (Passchier i Rudolph, 2005). Nadalje, pojava manjeg broja zrna s tipičnim deformacijskim polisintetskim sraslačkim lamelama ukazuje na temperature iznad 600 °C. Glavna mikrotektonska karakteristika hornblende je pojava sraslaca dvojaca koji su općenito rijetki, a pojavljuju se u temperaturnom rasponu od 650 °C do 700 °C. Passchier & Rudolph (2005) navode kako iznad 700 °C može doći do dinamičke rekristalizacije, ali vrlo često amfiboli pokazuju takozvane „garben“ strukture, odnosno formiraju lepezast oblik paralelan s folijacijom. U uzorcima je odsutna „garben“ struktura i tipične strukture za dinamičku rekristalizaciju (kao što su mehanizam nastanka ispupčenja (*bulging*, BLG), rotacija podrzna (*subgrain rotation*, SGR) i migracija granica zrna (*grain boundary migration*, GBM)), ali su uočene i tzv. „pinning“ i „left-over grains“ mikrostrukture.

Mineralna parageniza hornblenda + plagioklas također govori o temperaturi metamorfnog sustava. Tipična mineralna asocijacija u facijesu zelenih škriljavaca je klorit + plagioklas (albit) + epidot + aktinolit + kvarc dok je u amfibolitnom facijesu tipična mineralna asocijacija hornblenda + plagioklas ± kvarc. Mineralne promjene iz jednog u drugi facijes uvjetovane su dominantno temperaturom. Osnovne promjene uključuju povećanje anortitne



komponente u plagioklasu i promjenu aktinolita u hornblendu. Nadalje, s povećanjem temperature smanjuje se udio klorita do temperature ~550 °C, kada on izostaje iz mineralne parageneze (početak epidot-amfibolitnog facijesa). Amfibolitni facijes započinje potpunim izostankom epidota što se događa na maksimalnoj temperaturi od 690 °C (Spear, 1993). Budući da se metamorfizam odvijao pri tlakovima u rasponu 5.2 – 5.8 i 7.3 i 9.6 kbar (Balén, 1999), temperatura početka amfibolitnog facijesa je ipak nešto niža od spomenute literaturne vrijednosti, a nije ispod 650 °C. Nakon izostanka epidota, ostaje parageneza hornblenda + plagioklas (oligoklas) ± kvarc ± ilmenit, odnosno parageneza tipična za dio analiziranih amfibolita kamenoloma Pleterac (I i II skupina prema mineralnim karakteristikama).

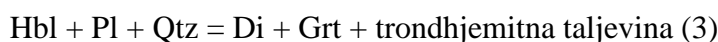
No, opažene mineralne parageneze koje uključuju pojavu diopsida, pojave konkordantnih leukokratskih izdvajanja unutar ksenolita diopsidnih amfibolita (III skupina prema mineralnim karakteristikama), kao i specifičan uzorak granita, 130b, ukazuju na odvijanje procesa koji se ne mogu objasniti isključivo reakcijama u čvrstom stanju odnosno metamorfizmom u uvjetima amfibolitnog facijesa.

IV skupina amfibolitskih stijena, blokovi bez jasno izražene preferirane orijentacije izgrađeni dominantno od amfibola tremolit-aktinolit serije, jedina su skupina koja se može izravno vezati uz intruziju granita. Naime, kristalizacijom intrudirajuće magme oslobađa se određena količina volatila koji su mogli lokalno uzrokovati retrogradne izmjene manjih ksenolita amfibolita i reorganizaciju njihovog originalnog strukturno-teksturnog sklopa. Retrogradne reakcije uzrokovane oslobađanjem volatila prilikom solidifikacije granitne taljevine opisala je Petrinc (2013) prilikom proučavanja reakcija u metapelitnim ksenolitima, a slične reakcije definirane su i u amfibolitima (Balén, 1999; Petrinc, 2013). Ovdje procijenjene temperature vjerojatno ukazuju na temperaturu pri kojima je došlo do strukturnog uravnoteženja nakon jenjavanja glavne deformacijske faze koja je ostala zabilježena u razvoju folijacije i mineraloške „slojevitosti“ unutar uzoraka.

### 6.3. Ksenoliti amfibolita: usputni promatrači ili aktivni sudionici u procesima modifikacije intrudirajuće magme?

Terenska, optička i kemijska istraživanja idu u prilog tome da su u amfibolitnim ksenolitima na području Pleterca ostali zabilježeni procesi parcijalnog taljenja. Ono je vidljivo u kamenolomu u obliku izdvajanja debljih proslojaka leukosoma te u obliku džepičastih i lećastih nakupina taljevine unutar amfibolita koja su prikazana u terenskom dijelu rezultata

(Slika 7.). Materijal iz kojeg je nastala taljevina pretpostavljeno su blokovi amfibolita koje dominantno izgrađuju hornblenda i plagioklasi s akcesornim mineralima kao što je kvarc, odnosno materijal najbližiji prvoj skupini prema mineralnim karakteristikama. Ako se takav primarni mineralni sastav podvrgne taljenju bez prisutnosti dodatne, vanjske vode u sustavu odnosno dehidracijskom parcijalnom taljenju, doći će do nastanka bezvodnih minerala, kao što su pirokseni i granati, iz minerala koji u kristalnoj rešetci imaju vodu u obliku OH-skupine, odnosno iz amfibola. Takve su reakcije parcijalnog taljenja u metabazitnim stijinama vrlo detaljno definirali Hartel i Pattison (1996). Da bi reakcija bila potpuna, u procesu dehidracijskog parcijalnog taljenja amfibolita, uz sam amfibol, sudjeluju i plagioklas i kvarc, pri čemu nastaju diopsid i granat te se oslobađa voda, što je opisano reakcijom (1). Voda zatim sudjeluje u taljenju i nastanku trondhjemitne taljevine (2). Cijeli proces dehidracijskog taljenja i nastanka taljevine može se prikazati u obliku reakcije (3) :



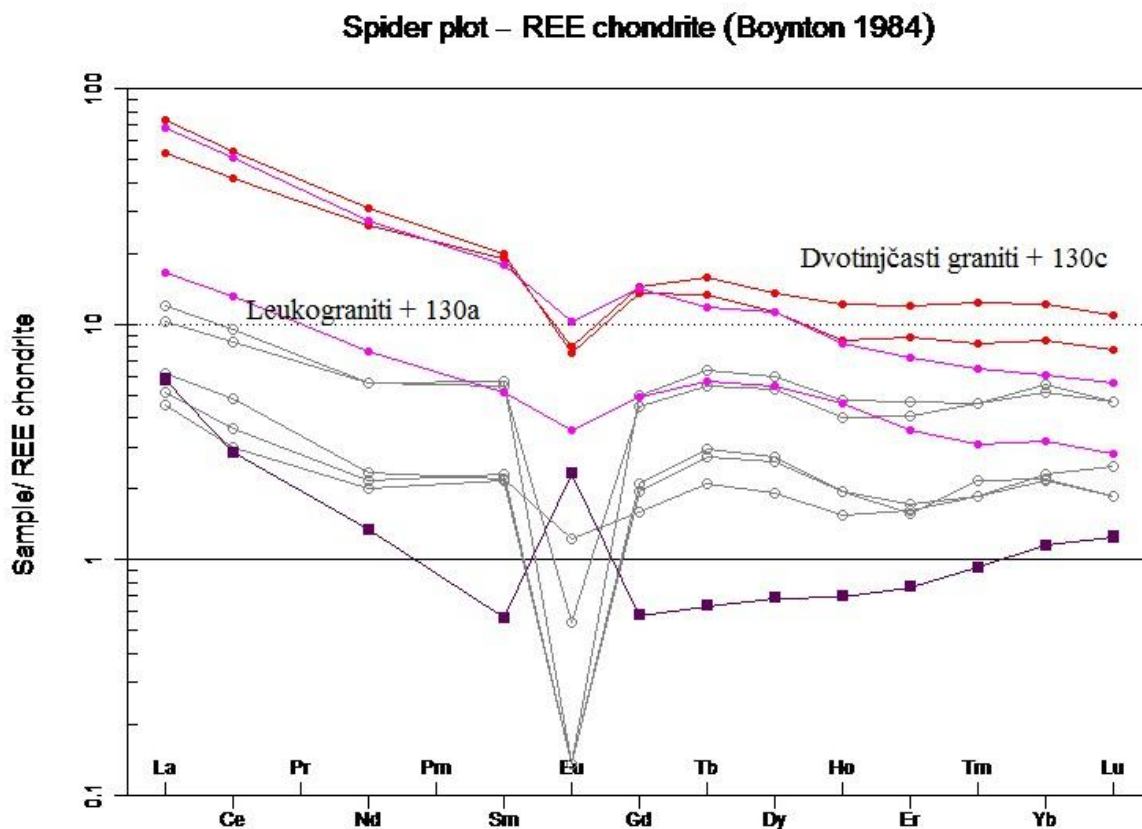
Dakle, nakon parcijalnog taljenja inicijalnog amfibolita, očekuje se drugačiji mineralni sastav, odnosno uz primarne minerale (amfibol i plagioklas te kvarc) pojava diopsida i granata te izdvojena trondhjemitna taljevina. Uzorak 130b prema klasifikacijskom dijagramu prikazanom na Slici 19. određen je kao trondhjemit tj. izgrađuju ga dominantno plagioklas i kvarc. Budući da je granit 130b uzorkovan na kontaktu s prugastim, diopsidnim amfibolitom sastavljenim dominantno od hornblende, plagioklasa i diopsida (III skupina definirana u Rezultatima po mikroskopskim svojstvima), mogući razlog tolike razlike u kemijskim obilježjima je doprinos trondhjemitne komponente nastale upravo kao posljedica parcijalnog taljenja amfibolita. Iz spomenutog mineralnog sastava može se zaključiti da je došlo do parcijalnog taljenja tog ili sličnih blokova, pri čemu su nastali uzorci III skupine bogati diopsidom, koji je zadržan u amfibolskoj stijeni, te mobilnija taljevina koja je mogla svojim komponentama značajno doprinijeti nastanku granita označenog kao uzorak 130b. Terenski dokazi da trondhjemitne taljevine nastaju opisanim reakcijama unutar samih blokova diopsidnih amfibolita jasno su vidljivi u slučajevima kada nije došlo do izdvajanja taljevine iz blokova, već je ona ostala zarobljena u vidu konkodrantskih žila i/ili lećastih tijela (Slika 7).

Na temelju ranijih opisa mineraloških i petrografskih karakteristika analiziranih uzoraka moglo bi se postaviti pitanje nedostatka granata u diopsidnim amfibolitima Pleterca, koji su pak jedna od bitnih komponenata u navedenim reakcijama parcijalnog taljenja. Kao uzrok se može navesti selektivnost pri uzorkovanju gdje su uzeti samo manji fragmenti stijena iz kojih su napravljena tri preparata, odnosno da sami uzorci statistički možda ne opravdavaju cjelokupnu situaciju. Ali drugo, realnije rješenje, temelji se na kemijskom sastavu amfibolita. Kemijski sastav amfibolita iz Pleterca, kao i diopsidni amfibolit uzorkovan u potok Kamenjača koji po mineralnim i strukturno-teksturnim karakteristikama odgovara diopsidnim amfibolitima iz Pleterca, preuzeti su iz Petrincec (2013) (Tablica 1). Pojavu granata u amfibolitu kontroliraju dva faktora (Leak, 1972): mg indeks ( $\text{mol. MgO/mol. MgO} + \text{FeO} + \text{MnO}$ ; Niggli) i udio MnO. Kako bi amfibolit bio bogat granatima, potrebna je niska vrijednost mg indeksa i visoki udio MnO, dok je u slučaju diopsidnih amfibolita iz Pleterca, visoka vrijednost mg indeksa i nizak udio MnO. Prema Leak (1972), granati se pojavljuju u amfibolitima s mg indeksom manjim od 0.55 i koncentracijom MnO iznad 0.80 tež. %. Vrijednosti mg indeksa za oba uzorka amfibolita, iz Pleterca i Kamenjače, su visoke i iznose 0.72 (Pleterac) i 0.61 (Kamenjača), a koncentracije MnO su izrazito niske s 0.13 tež. % (Pleterac) i 0.17 tež. % (Kamenjača). Nadalje, Leak (1972) navodi kako u slučaju visoke vrijednosti mg indeksa i niske koncentracije MnO neće doći do nastanka granata nego do nastanka opákih minerala, koji se u proučavanim uzorcima i javljaju kao akcesorne faze. Po svemu navedenom, razlog za nedostatak granata koji su očekivani po reakciji parcijalnog taljenja (3) u ovom bi slučaju bio kemijski sastav stijene s niskom koncentracijom MnO i visokim mg indeksom.

Trondhjemitni uzorak, odnosno uzorak 130b, nije građen samo od plagioklasa i kvarca nego je u stijeni prisutan podređeno i mikroklin, a vrlo rijetko biotit i granat. Također, po položaju na multielementom dijagramu rijetkih zemalja (Slika 22.), taj uzorak pokazuje sličnosti s ostalim skupinama granita (ako se izuzme pozitivna europska anomalija). Pretpostavljeno je da takav mineralni i kemijski sastav ukazuje na miješanje trondhjemitne taljevine s intrudirajućom granitnom taljevinom sličnom preostalim tipovima granita uzorkovanim u Pletercu.

Na temelju terenskih međuodnosa blokova amfibolitnih ksenolita i okolnog granita, koji su karakterizirani oštrim kontaktima, krtime ponašanjem amfibolitnih stijena te dominantno diskordantnim žilama granitnog sastava centimetarskih do metarskih debljina, može se zaključiti da opažene reakcije parcijalnog taljenja ne predstavljaju posljedice

interakcije intrudirajućeg granita i amfibolitnih ksenolita već se radi o karakteristikama koje su prethodile samoj intruziji i da su one naslijeđene iz originalne metamorfne stijene čijom su fragmentacijom nastali proučavani ksenoliti Tome u prilog ide i vrlo jasno izražena folijacija te mineraloška „slojevitost“ uzoraka s diopsidom, što je moralo nastati procesima regionalnometamornog karaktera s naglašenim djelovanjem tlaka, a ne kontaktnim metamorfizmom uzrokovanim granitnom intruzijom. Usporedive procese u metapelitnim ksenolitima detaljno je opisala Petrincec (2013).



**Slika 22.** Multielementni dijagram rijetkih zemalja, normalizacija na hondrite (Boynton, 1984). Vidljivo je izdvajanje leukogranita (sive oznake) i dvotinjčastih granita (crvene oznake) te preklapanje uzorka 130a s leukogranitima i uzorka 130c s dvotinjčastim granitima. Uzorak 130b sukupnim trendom i pozitivnom anomalijom europija jasno odskaka od ostalih skupina granita na Moslavačkoj gori.

## 7. PLETERAC: SKRIVENI DRAGULJ MOSLAVAČKE GORE

U ovom poglavlju, tik prije zaključka, izneseni su osnovni podaci o položaju kamenoloma Pleterac i njegovoj gospodarskoj iskoristivosti te su izneseni dosadašnji planovi zaštite kamenoloma i njegov mogući (geo)turistički potencijal. Razlog uključivanja ovakvog, možda neobičnog i neočekivanog poglavlja u ovaj rad, leži u prethodnim poglavljima – Pleterac je jedinstveni lokalitet u okvirima Moslavačke gore koji skriva odgovore na brojna nerazjašnjena pitanja o dijelu geološke evolucije moslavačkog kristalina. Trenutno stanje kamenoloma i aktualna zbivanja vezana uz njegovu budućnost možda su prilika da ovo vrelo geoloških informacija bude adekvatno vrednovano i zaštićeno.

### 7.1. Gospodarska iskoristivost: tehničko-građevinski kamen

Kamenolom Pleterac nalazi se na sjevernom obodu Moslavačke gore, 8 km jugoistočno od grada Čazme (Bjelovarsko-bilogorska županija). Prema „Izvešću o obavljenoj reviziji: Gospodarenje mineralnim sirovinama na području Bjelovarsko-bilogorske županije“<sup>[1]</sup> iz 2016. godine, kamenolom Pleterac jedan je od 15 eksploatacijskih polja za tehničko-građevinski kamen. Obuhvaća površinu od 11.2 ha i ima odobrenje kao eksploatacijsko polje mineralnih sirovina za proizvodnju tehničko-građevinskog kamena s odobrenjem za eksploataciju do 31.12.2029. godine. Plan predviđa sanaciju i zatvaranje kamenoloma nakon isteka ugovora o koncesiji koji od 2010. godine nije produžen.



**Slika 23.** Prikaz kamenoloma u aktivnoj fazi eksploatacije (2009)

[1] [http://www.revizija.hr/datastore/filestore/99/bjelovarsko-bilogorska\\_zupanija.pdf](http://www.revizija.hr/datastore/filestore/99/bjelovarsko-bilogorska_zupanija.pdf)

[2] <https://zavod.pgz.hr/docs/zzpuHR/documents/301/Original.pdf>

Danas je kamenolom napušten i postepeno ga sve više prekriva vegetacija pa određeni dijelovi više nisu dostupni. U „Strategiji gospodarenja mineralnim sirovinama Republike Hrvatske“<sup>[2]</sup> iz 2008. godine, Kamenolom Pleterac se navodi kao „do sada poznato i iskorišteno, a u budućnosti potencijalno ležište“ za tehničko-građevinski kamen.

## 7.2. Zaokret u „zeleno“: Čazma Natura

Osim gospodarskog iskorištavanja, u zadnje vrijeme se razmišlja u smjeru zaštite kamenoloma i turističkog iskorištavanja Moslavačke gore. Tako je Grad Kutina 2015. godine pokrenio projekt „Upoznaj Moslavinu!“<sup>[3]</sup> u kojem, između kulturnih, povijesnih, etnoloških i gastronomskih vrijednosti, promovira i geološku turu po Moslavini, odnosno obilasku kamenoloma i geoloških lokaliteta među koje spada i kamenolom Pleterac. No, još 2003. godine prema Prostornu planu Grada Čazme<sup>[4]</sup>, ističe se zaštita krajobraznih i prirodnih vrijednosti i kulturno-povijesnih cjelina čime se obuhvaća moguća zaštita kamenoloma Pleterac kao geološkog lokaliteta. Iz tog razloga pokrenut je projekt „Čazma Natura“<sup>[5]</sup> kojeg je osmislio grad Čazma, a provodit će se u partnerstvu s Javnom ustanovom za zaštitu prirode Bjelovarsko-bilogorske županije. Grad Čazma je aplicirao za sredstva iz Europske unije te je projekt vrijedan 26 milijuna kuna prošao dvije faze provjere i korak je do ostvarenja. Projekt „Čazma Natura“ obuhvaća obnovu i razvoj društvenih, kulturnih i obrazovnih sadržaja te zaštitu i revitalizaciju zaštićenih dijelova prirode uključujući i područje Nature 2000, ekološke mreže zaštićenih područja na prostoru Europske Unije. Osim toga se posebno ističe i razvoj Regionalnog parka Moslavačka gora u čijem bi se sklopu zaštitio i obnovio geološki lokalitet Pleterac te prezentirao postanak Moslavačke gore.

[3] [http://www.turizamkutina.hr/portals/0/RUBRIKE/Brosure/brosura\\_moslavina\\_FINAL.pdf](http://www.turizamkutina.hr/portals/0/RUBRIKE/Brosure/brosura_moslavina_FINAL.pdf)

[4] <https://www.cazma.hr/urbanisticki-plan/>

[5] <http://hrturizam.hr/odobren-projekt-cazma-natura-u-2018-krece-realizacija/>

## 8. ZAKLJUČAK

Glavnina granitoidnog plutona Moslavačke gore svoj je konačni položaj u vršnim nivoima kontinentalne kore zauzela u vrijeme krede. Jedan od procesa vezanih uz intruziju bio je zasigurno i proces zalamanja, koji se mogao odvijati tijekom završne faze smještavanja plutona. Kamenolom Pleterac, zbog svoje otkrivenosti uslijed eksploatacije tehničko-građevinskog kamena, nudi pregršt dokaza. Pojava ksenolita tj. velikih blokova amfibolita, odsutnost plastične deformacije povezane s intruzijom granita te oštri kontakti između granitnih stijena i okolnih amfibolita, već na samom izdanku u kamenolomu upućuju na lokalni značaj procesa zalamanja. Također su u kamenolomu vidljive granitne žile centimetarskih do metarskih dimenzija koje presijecaju i odvajaju blokove amfibolita, kao i manje diskordantne žile. Dominanti varijeteti granita Moslavačke gore, dvotinjčasti graniti i leukograniti, kao i hibridni varijeteti, generalno su vezani uz okoliše aktivnog kontinentalnog ruba odnosno nekadašnje Savske zone. Kemijskom analizom granita i amfibolita traženi su geokemijski dokazi kontaminacije odnosno interakcije magme. Pravi primjer su ranije obrađeni hibridni uzorci (Petrinec, 2013), ali i ovom prilikom obrađen uzorak granita 130b, uzorkovan na kontaktu s diopsidnim amfibolitom. Granitni uzorak 130b predstavlja drugačiji geokemijski zapis od do sada obrađenih granita zbog visokog udjela  $\text{SiO}_2$  (85.45 tež. %) i niskog udjela  $\text{K}_2\text{O}$  (1.27 tež. %), a najviše zbog izražene pozitivne europijeve anomalije ( $\text{Eu}/\text{Eu}^*=4.05$ ). Njegov se nastanak može objasniti reakcijom dehidracijskog parcijalnog taljenja i djelomičnim miješanjem s granitnom magmom te kristalizacijom, pri čemu je nastala specifična granitoidna stijena, trondhjemit. Takvom reakcijom u amfibolitu bi trebao uz diopsid nastati i granat, koji je u istraživanim uzorcima izostao zbog kemijskog sastava, odnosno visoke vrijednosti mg indeksa i niske koncentracije MnO koji uvjetuju stabilnost nastanka granata. Iako su na temelju mikrostrukturnih karakteristika i mineralnih parageneza u istraživanim amfibolitima određeni su temperaturni uvjeti odvijanja metamorfnih reakcija (minimalna temperatura  $\sim 650$  °C, dok je vršna temperatura određena na  $\sim 720$  °C), pojava diopsida u paragenezama te strukturni i kemijski dokazi formiranja i izdvajanja leukokratske taljevine ukazuju na odvijanje reakcija parcijalnog taljenja. Njihov doprinos krednom magmatskom sustavu predstavlja izazov za buduća istraživanja moslavačkog kristalina.

Geološke tajne zarobljene u ksenolitima jedan su od razloga zašto kamenolom Pleterac, osim svoje gospodarske vrijednosti kao kamenolom za tehničko-građevinski kamen, u budućnosti može predstavljati značajan (geo)turistički lokalitet. Nedavno je grad Čazma pokrenuo projekt „Čazma Natura“ koji će se, između ostalog, baviti i zaštitom Pleterca u

okviru Regionalnog parka Moslavačka gora i obrazovnom sferom širenja znanja o načinu postanka Moslavačke gore. Ovaj rad se dotaknuo tek jedne vrste procesa uključene u smještavanje moslavačkog granitnoidnog plutona koji je vidljiv upravo u tom kamenolomu, te predstavlja jedan od prvih koraka detaljnijih budućih istraživanja vezanih uz završne faze formiranja kristalinske mase Moslavačke gore unutar uske i vrlo specifične Savske zone.



## **9. ZAHVALE**

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. sc. Zorici Petrincec na ukazanoj prilici i velikom povjerenju te na literaturi, pomoći u svako doba dana, strpljenju i ogromnom prenesenom znanju. Također joj zahvaljujem što je prepoznala moje interese i uvela me u nepoznatu i zanimljivu geološku prošlost Moslavačke gore.

Zahvaljujem se tehničaru Deanu Vončini na pomoći pri izradi mikroskopskih preparata.

Zahvaljujem se i najboljoj prijateljici na savjetima te mojoj osobi koja je u najtežim trenucima bila uz mene.

## 10. LITERATURA

- Balen, D. (1999): Metamorfne reakcije u amfibolskim stijenama Moslavačke gore. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 264 str.
- Balen, D., Broska, I. (2010): Tourmaline nodules – products of devolatilization within the final evolutionary stage of granitic melt? Geological Society, London, Special Publications, 350, 53–68.
- Balen, D., Petrinc, Z. (2011): Contrasting tourmaline types from peraluminous granites: a case study from Moslavačka Gora (Croatia). *Mineralogy and Petrology*. 102: 117-134.
- Balen, D., Schuster, R., Garašić, V., Majer, V. (2003): The Kamenjača olivine gabbro from Moslavačka Gora (South Tisia, Croatia). *Rad HAZU*, 486, knj. 27, 57-76.
- Crnko, J. (1998): Vodič geološke ekskurzije na Moslavačku goru. Hrvatsko geološko društvo, Zagreb, 58 + 27 str.
- Daly, R. A. (1903): The mechanics of igneous intrusion. *American Journal of Science* 15, 269-298.
- Fowler, T. K. & Paterson, S. R. (1997): Timing and nature of magmatic fabrics from structural relations around stopped blocks. *Journal of Structural Geology* 19, 2, 209-224.
- Garašić, V. (1993): Uvjeti metamorfizma stijena amfibolitnog facijesa Moslavačke gore. Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 142 str.
- Glazner, A. F. & Bartley, J. M. (2006): Is stopping a volumetrically significant pluton emplacement process?. *GSA Bulletin* 118, 9/10, 1185-1195.
- Velić, I. & Vlahović, I., ur. (2009): Tumač Geološke karte Republike Hrvatske 1:300 000. Hrvatski geološki institut, Zagreb,
- Korolija, B., Crnko, J. (1985): Osnovna geološka karta SFRJ. List Bjelovar 1:100 000 L 33-82. Geološki zavod Zagreb (1975-1985), Savezni geološki zavod Beograd, Beograd.
- Korolija, B., Vragović, M., Crnko, J., Mamužić, P. (1986): Osnovna geološka karta 1:100 000. Tumač za list L 33-82 Bjelovar. Geološki zavod Zagreb (1985), Savezni geološki zavod Beograd, Beograd.
- Lagergren, H. (2012): Magmatic Stopping and a Case Study from the Åva Ring Complex, Finland. *Självständigt arbete*, nr. 38, 31 str.
- Leake, B. E. (1972): Garnetiferous striped amphibolites from Connemara, Western Ireland. *Mineralogical magazine* 38, 298, 649-665.
- Pamić, J. (1990): Alpinski granitoidi, migmatiti i metamorfiti Moslavačke gore i okolne podloge Panonskog bazena (Sjeverna Hrvatska, Jugoslavija). *Rad JAZU*, knj. 10, 7-121.
- Passchier, C. W. & Trouw, R. A. J. (2005): *Microtectonics*. Springer, 366 str.
- Paterson, S. R., Pignotta, G. S., Farris, D., Memeti, V., Miller, R. B., Vernon, R. H. & Žák, J. (2008): Is stopping a volumetrically significant pluton emplacement process? Discussion. *GSA Bulletin* 120, 7/8, 1075-1079.

- Paterson, S. R., Memeti, V., Pignotta, G., Erdmann, S., Žák, J., Chambers, J. & Ianno, A. (2012): Formation and transfer of stoped blocks into magma chambers: The high-temperature interplay between focused porous flow, cracking, channel flow, host-rock anisotropy, and regional deformation. *Geosphere* 8, 2, 443-469.
- Petrinec, Z. (2013): Strane i kognatne enklave u krednim granitoidima Moslavačke gore: Mikrostrukturni i geokemijski uvid u kompleksnu evoluciju moslavačkog kristalina. Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 264 str.
- Pignotta, G. S. & Paterson, S. R. (2007): Voluminous stoping in the Mitchell Intrusive Suite, Sierra Nevada batholith, California. *Canadian Mineralogist* 45, 87-106.
- Pinotti, L. P., Coniglio, J. E., Esparza, A. M., D'Eramo, F. J. & Llambías, E. J. (2002): Nearly circular plutons emplaced by stoping at shallow crustal levels, Cerro Aspero batholith, Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 15, 251-265.
- Schmid, S. M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M., Ustaszewski, K. (2008): The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences*, 101, 139–183.
- Spear, F. S. (1993): *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Path*. Mineralogical Society of America. 799 str.
- Starijaš, B., Gerdes, A., Balen, D., Tibljaš, D., Finger, F. (2010): The Moslavačka Gora crystalline massif in Croatia: a Cretaceous heat dome within remnant Ordovician granitoid crust. *Swiss Journal of Geosciences*, 103, 61-82.
- Vragović, M., Majer, V. (1979): Prilozi za poznavanje metamorfnih stijena Zagrebačke gore, Moslavačke gore i Papuka (Hrvatska, Jugoslavija). *Geološki vjesnik*, 31, 295-308.
- Winter, J.D. (2001): *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice-Hall, New Jersey, 697 str.
- Yoshunobu, A. S., Fowler, T. K., Patterson, S. R., Llambias, E., Tickyj, H. & Sato, A. M. (2003): A view from the roof; magmatic stoping in the shallow crust, Chita Pluton, Argentina. *Journal of Structural Geology* 25, 1037-1048.

## 11. SAŽETAK

Iva Olič

Intruzija krednog granita u stijene starijeg metamorfnog sklopa: procesi fragmentacije, smještavanja i lokalne interakcije na području kristalina Moslavačke gore

Proces zalamanja (eng. *stoping*) jedan je od sedam osnovnih načina smještavanja granitoidnih plutona u kontinentalnoj kori i uglavnom nije volumno značajan, nego se pojavljuje lokalno u vršnim dijelovima plutona. Glavna obilježja procesa zalamanja su: 1) oštri kontakti između plutona i okolne stijene, 2) odsutnost plastične deformacije povezane sa smještavanjem plutona, 3) prisutnost fragmenata okolnih stijena odnosno ksenolita, 4) raznolike populacije ksenolita, 5) strukturni dokazi rotacije ksenolita, i 6) geokemijski dokazi kontaminacije magme. Moslavačka gora predstavlja kredni granitoidni pluton, a kamenolom Pleterac njegov vršni dio. Uslijed eksploatacije tehničko-građevinskog kamena, otkrivena je velika površina granitnih stijena i blokova amfibolita te je stoga moguće proučavati međusobne geološke odnose. Sukladno navedenom, u ovom radu provedena su terenska istraživanja, analiziran je fotomaterijal kamenoloma iz različitih faza eksploatacije, napravljena je mikroskopska analiza uzoraka amfibolitnih blokova i granitne osnove te geokemijska cijelostijenska analiza uzoraka i usporedba s uzorcima iz dosadašnjih istraživanja. Pomoću mikrostrukturnih karakteristika i mineralne parageneze amfibolita određeni temperaturni uvjeti metamorfnog sustava s minimalnom temperaturom ~650 °C i maksimalnom ~720 °C. Uz to, opaženi su jasni tragovi odvijanja procesa parcijalnog taljenja koji se, prema mikrostrukturnim karakteristikama, vezuju uz regionalnometamorfne događaje koji su prethodili intruziji granita. Dobiveni rezultati koji ukazuju na kontaminaciju i miješanje magmi, kao i geološki odnosi u kamenolomu (oštri kontakti između blokova amfibolita i granitne osnove, krto ponašanje amfibolitnih stijena, granitne žile različitih debljina), lokalno dokazuju proces zalamanja na Moslavačkoj gori. Geološki značaj ovog lokaliteta prepoznala je i lokalna zajednica grada Čazme koja je pokrenula projekt „Čazma Natura“ s ciljem zaštite kamenoloma u okviru Regionalnog parka Moslavačke gore.

Ključne riječi: zalamanje (*stoping*), Moslavačka gora, Pleterac, amfiboliti, graniti

## 12. SUMMARY

Iva Olič

Intrusion of Cretaceous granite into the rocks of older metamorphic complex: the processes of fragmentation, emplacement, and local interaction in Moslavačka Gora crystalline complex

Magmatic stoping is one of the basic processes of pluton emplacement within continental crust. Usually, stoping is not volumetrically significant, but appears locally in top parts of the pluton. The main features of stoping are: 1) the sharp discordant contacts between plutons and wall rocks, 2) the lack of pluton-related ductile deformation of wall rocks, 3) the xenoliths in plutons, 4) the mixed populations of xenoliths, 5) the evidence for rotation of xenoliths, and 6) the geochemical evidence for magma contamination. Mt. Moslavačka Gora is an example of Cretaceous granite pluton and Pleterac quarry his apical part. During the exploitation of technical-construction stone, the great surface of granite rocks and amphibolite blocks has been uncovered, which has enabled the study of geological relations. According to this, in this paper is given a field and photographic analysis of materials from the quarry from various phases of exploitation, microscopic analysis of amphibolite blocks and granite host rock samples, geochemical whole-rock sample analysis as well as comparison with samples discussed in previous studies. Also, using microtectonic characteristics and mineral paragenesis found in xenoliths, temperature conditions of the metamorphic system are determined with minimal temperature of  $\sim 650$  °C and maximal of  $\sim 720$  °C. Beside that, clear microstructural and mineral evidence of partial melting processes preceding the granite intrusion have been described. The results presented here point to contamination and magma mixing, which in combination with the geological relations in quarry (sharp discordant contacts between plutons and wall rocks, brittle deformation of amphibolite rocks, granite veins of various thickness), prove stoping as a locally important process on Mt. Moslavačka Gora. The geological importance of this locality has been recognized by the local community of the town of Čazma, which has initiated the project called “Čazma Natura”. The project’s goal is, among others, to protect the Pletarac quarry as a significant locality inside the Regional park of Mt. Moslavačka Gora.

Key words: stoping, Mt. Moslavačka Gora, Pleterac, amphibolites, granites

### 13. ŽIVOTOPIS

Iva Olić rođena je u Slavonskom Brodu 1994. godine. U Varaždinu je završila Drugu gimnaziju Varaždin i Srednju glazbenu školu u Varaždinu. Godine 2013. upisala je Preddiplomski studij geologije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Naziv prvostupnice geologije stekla je 2016. godine obranivši temu završnog rada: „Mikrotektonska i petrografska analiza milonita juga Moslavačke gore“ (mentor: prof. dr. sc. D. Balen). Iste godine upisala je Diplomski studij geologije, smjer mineralogija i petrologija. 2018. godine dobila je nagradu Fakultetskog vijeća PMF-a za izvrstan uspjeh. Kroz studij sudjelovala je u Otvorenom danu geologije vođenjem i pomaganje tijekom radionica.