Petrografske karakteristike gredenskih pješčenjaka

Sudar, Vedran

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:499433

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-20**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geologije

PETROGRAFSKE KARAKTERISTIKE GREDENSKIH PJEŠČENJAKA

Diplomski rad

Vedran Sudar
G 143

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

PETROGRAFSKE KARAKTERISTIKE GREDENSKIH PJEŠČENJAKA

VEDRAN SUDAR

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Sažetak

U diplomskom radu analiziran je petrografski sastav 6 uzoraka gredenskih pješčenjaka (stratigrafska starost – srednji perm) od kojih je pet iz doline Pikovačkog potoka (okolica Brušana, Velebit) te jedan uzorak pješčenjaka s tipskog lokaliteta Gröden (Italija). Na osnovi mikropetrografske analize, modalne analize sastava te analiza sastava teške mineralne frakcije bilo je moguće interpretirati porijeklo materijala, indekse trošenja, klimu i reljef u vrijeme taloženja pješčenjaka ova dva lokaliteta.

Četiri uzorka iz Pikovačkog potoka determinirani su kao litične grauvake, jedan kao gusto pakirani litični arenit dok uzorak Gröden pš. *locus typicus* predstavlja feldspatsku grauvaku. Litične grauvake/arenit iz Pikovačkog potoka svjedoče o nezrelim pješčenjacima koji ukazuju na blizinu izvorišnog područja i vjerojatno aktivnu tektoniku u zaleđu. Provenijencijski dijagrami ukazuju da je materijal bio deriviran iz područja recikliranog orogena. Sastav teške mineralne frakcije u kojem dominiraju dobro zaobljena stabilna zrna cirkona, turmalina i rutila ukazuju na porijeklo iz pretaloženih sedimentnih stijena. Prisustvo distena i klorita u sastavu teške mineralne frakcije sugerira porijeklo iz metamorfnih stijena. Stoga se pretpostavlja taloženje gredenskih pješčenjaka Pikovačkog potoka u okolišu lepezne delte ili delte prepletenog rječnog sustava unutar riftnog tektonskog sklopa (recikliranog orogena).

Sastav uzorka Gröden pš. *locus typicus* projicira se u područje na granicu izdignutog kontinentalnog bloka (sustav riftnih dolina) i magmatskog luka što ukazuje da su se u blizini nalazila moguća izvorišta magmatskih stijena.

Crvena boja svih analiziranih uzoraka kao i relativno veliki postotak tzv. limonitiziranih zrna u sastavu teške mineralne frakcije ukazuju na aridnu klimu u vrijeme taloženja. Projekcije sastava prema dijagramu indeksa trošenja upućuju također na aridnu/semiaridnu klimu i visoki reljef izvorišnog područja u kojem dominiraju metamorfne ili sedimentne stijene za sve uzorke Pikovačkog potoka te na aridnu/semiaridnu klimu visokog reljefa, ali plutonskog izvorišnog područja za uzorak Gröden pš. *locus typicus*. Ovaj je podatak u skladu s analizama teške frakcije koja se razlikuje za *locus typicus* i gredenske pješčenjake iz Pikovačkog potoka.

Ključne riječi: Grödenski pješčenjaci, srednji perm, Velebit, mikropetrografski sastav, asocijacija teških minerala, porijeklo materijala.

Diplomski rad sadrži: 50 stranica, 30 slika, 2 tablice i 20 referenci.

Jezik izvornika: hrvatski

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

Voditelj: Izv. prof. dr. sc. Dunja Aljinović, RGNF
Pomoć pri izradi: Duje Smirčić, dipl. ing., asistent/znanstveni novak

Ocjenjivači: Izv. prof. dr. sc. Dunja Aljinović, RGNF
Prof. dr. sc. Goran Durn, RGNF
Prof. dr. sc. Frankica Kapor, RGNF

Datum obrane: 17. rujan 2015.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

PETROLOGICAL CHARACTERISTICS OF GRÖDEN SANDSTONES

VEDRAN SUDAR

Thesis completed in: Univesity of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Institute of Mineralogy, Petrology and Mineral deposits,
Pierottijeva 6, 10000 Zagreb

Abstract

Six samples of Gröden sandstones (Middle Permian) were analysed: Five of them were from Pikovac creek (vicinity of Brušane, Mts. Velebit) and one was from the *locus typicus* Gröden (Italy). Based on micropetrographical characteristics of sandstones, as well as on modal analysis of mineral composition and heavy mineral association, origin of material, weathering index of source rocks, climate and relief in period of deposition have been suggested.

Four samples from Pikovac creek were determined as lithic greywackes, one as densly packed lithic arenite, while the sample from Gröden sandstone *locus typicus* represent feldspar greywacke. Lithic graywackes/arenite imply very low maturity and suggest close proximity of source rocks as well as the active tectonic in the hinterland of depositional basin. Heavy mineral association with large amount of fairly rounded stabile grains – zircon, turmaline, rutile points to recycled sedimentary origin. Presence of dystene and chlorite in the heavy mineral assemblage suggest metamorphic origin. These data assume that Gröden sandstones from Pikovac creek were possibly deposited in fan delta and briaded delta depositional environment as a part of rift system (recycled orogen).

Composition of Gröden *locus typicus* has been plotted on the boundary area between basement uplift block (rift valley system) and magmatic arc, which suggests vicinity of magmatic rocks in the source area.

All analysed samples are red colored and have a large amount of limonitized grains in the heavy mineral assemblage which point to the arid climate in time of deposition. Weathering index diagram for Pikovac sandstones implies arid/semiarid climate and high relief of source area where metamorphic or sedimentary rocks dominate, while arid/semiarid climate and high relief with plutonic source rocks were supposed for provenance of Gröden sandstone *locus typicus.*

Keywords: Gröden sandstone, Middle Permian, Mts. Velebit, micropetrographical compossition, heavy mineral association, provenance area.

Thesis contains: 50 pages, 30 figures, 2 tables and 20 references.

Original in: Croatian

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

Supervisor: PhD Dunja Aljinović, Assistant Professor
Technical support and assistance: Duje Smirčić, MSc.

Reviewers: PhD Dunja Aljinović, Assistant Professor
PhD Goran Durn, Full Professor
PhD Frankica Kapor, Full Professor

Date of defense: September 17, 2015.

Sadržaj:

Sadržaj: I

Popis slika: III

Popis tablica: V

1. Uvod 1

2. Geološka građa istraživanog područja Velebita 3

2.1. Stratigrafija 5

2.2. Tektonika 6

3. Pregled dosadašnjih istraživanja 7

4. Metode 9

4.1. Laboratorijske metode 9

4.1.1. Priprema uzoraka 9

4.1.2. Separacija ili izdvajanje mineralnih frakcija pomoću teške tekućine 9

4.2. Kabinetski rad 10

4.2.1. Mikroskopska analiza petrografskim mikroskopom 10

4.2.2. Modalna analiza mineralnog sastava 11

4.2.3. Modalna analiza teške mineralne frakcije 12

5. Osnovne optičke karakteristike čestih minerala teške mineralne frakcije 14

5.1. Cirkon 14

5.2. Turmalin 15

5.3. Rutil 16

5.4. Hornblenda 16

5.5. Apatit 17

5.6. Disten (kijanit) 18

6. Rezultati istraživanja 19

6.1. Mikroskopska analiza petrografskim mikroskopom 19

6.1.1. Uzorak Gröden pš. *locus typicus* 19

6.1.2. Uzorak G-1 21
6.1.3. Uzorak G-1 gröden 22
6.1.4. Uzorak G-2 23
6.1.5. Uzorak G-2a 24
6.1.6. Uzorak G-3 25
6.2. Modalna analiza mineralnog sastava 27
6.2.1. Klasifikacijski trokomponentni dijagrami 28
6.2.2. Provenijencijski trokomponentni dijagrami 29
6.2.3. Dijagram indeksa trošenja 33
6.3. Modalna analiza teške mineralne frakcije 34
6.3.1. Opisi čestih minerala teške mineralne frakcije 34
6.3.2. Prikaz rezultata modalne analize teške mineralne frakcije 43
7. Rasprava 45
8. Zaključak 48
9. Literatura 49

Popis slika:

Slika 1-1. Topografska karta istraživanog područja 2
Slika 2-1. Isječak OGK istraživanog područja 3
Slika 2-2. Geološka karta istraživanog područja 4
Slika 6-1. Mikropetrografski sastav uzorka Gröden pš. *locus typicus*, a 20
Slika 6-2. Mikropetrografski sastav uzorka Gröden pš. *locus typicus*, b 20
Slika 6-3. Mikropetrografski sastav uzorka G-1 21
Slika 6-4. Mikropetrografski sastav uzorka G-1 gröden 22
Slika 6-5. Mikropetrografski sastav uzorka G-2 23
Slika 6-6. Mikropetrografski sastav uzorka G-2a 24
Slika 6-7. Mikropetrografski sastav uzorka G-3, a 25
Slika 6-8. Mikropetrografski sastav uzorka G-3, b 26
Slika 6-9. Klasifikacijski trokomponentni dijagrami 28
Slika 6-10. Provenijencijski trokomponentni dijagram Q_mFL_t izmjenjen prema DICKINSON et al., (1983) i DICKINSON (1985) 29
Slika 6-11. Provenijencijski trokomponentni dijagrami Q_mFL_t izmjenjeni prema WELTJE (2006) 31
Slika 6-12. Dijagram indeksa trošenja 33
Slika 6-13. Zaobljeni cirkon, uzorak G-3 35
Slika 6-14. Cirkon, uzorak G-3 35
Slika 6-15. Nezaobljeni zonalni cirkon, uzorak Gröden pš. *locus typicus* 36
Slika 6-16. Nezaobljeni cirkon u kojem su vidljive inkluzije u središtu zrna, uzorak Gröden pš. *locus typicus* 36
Slika 6-17. Cirkon dugoprizmatskog habitusa, uzorak Gröden pš. *locus typicus* 37
Slika 6-18. Turmalin, uzorak G-3 37
Slika 6-19. Turmalin, uzorak G-2a, a 38
Slika 6-20. Turmalin, uzorak G-2a, b 38
Slika 6-21. Zaobljeno zrno rutila, uzorak G-3 39
Slika 6-22. Apatit, uzorak Gröden pš. *locus typicus* 40
Slika 6-23. Apatit i klorit, uzorak Gröden pš. *locus typicus* 40
Slika 6-24. Biotit, uzorak Gröden pš. *locus typicus* 41
Slika 6-25. Klorit, uzorak Gröden pš. *locus typicus* 42
Slika 6-26. Grafički prikaz rezultata modalne analize teške mineralne frakcije. 44

Slika 7-1. Paleorekonstrukcija prema ZIEGLER & STAMPFLI (2001) 47

Popis tablica:

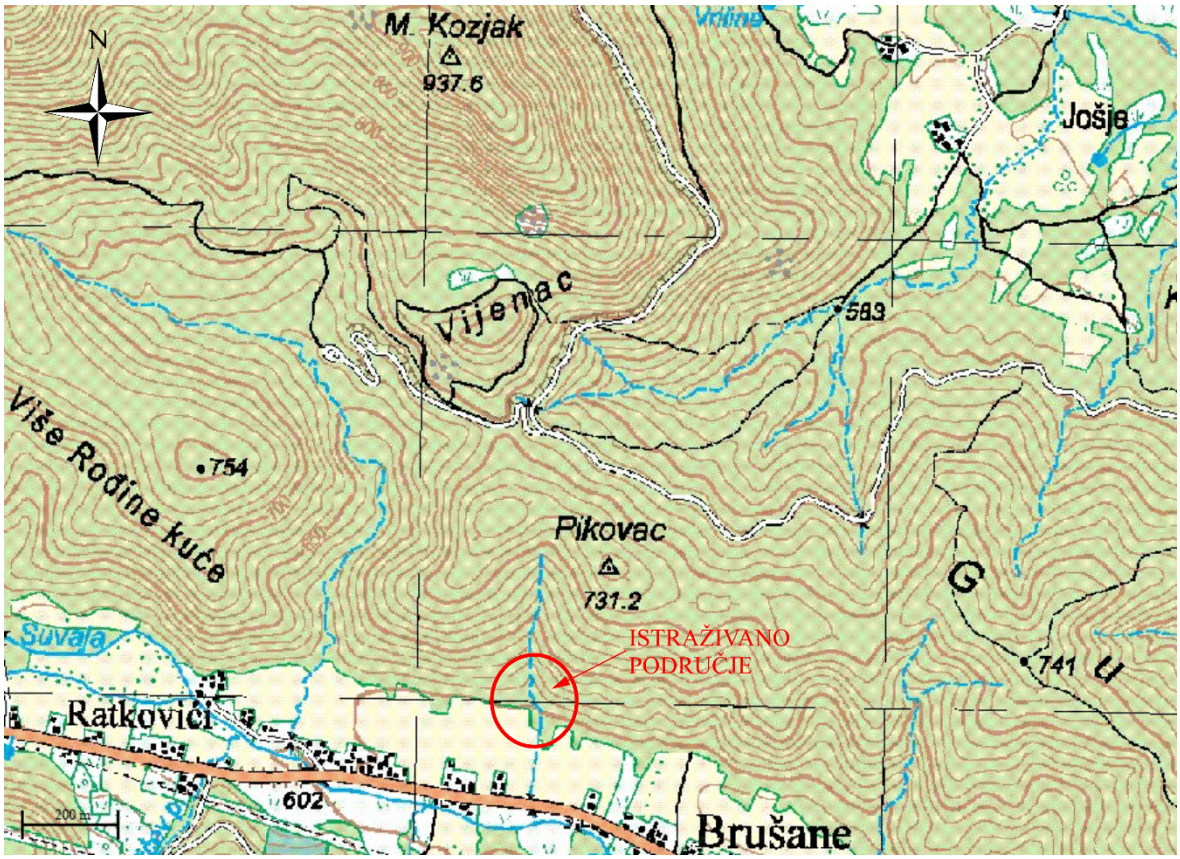
Tablica 6-1. Rezultati modalne analize mineralnog sastava..... 27
Tablica 6-2. Rezultati modalne analize teške mineralne frakcije. 43

1. Uvod

Ovaj diplomski rad bavi se istraživanjem pješčenjaka srednjega perma tzv. **gredenskih pješčenjaka** (terminologija prema SALOPEK, 1942; SOKAČ et al., 1967a,b). Cilj rada bio je što detaljnije petrografski determinirati pet uzoraka pješčenjaka s lokaliteta Pikovački potok koji se nalazi sjeverno od sela Brušane odnosno južno od vrha M. Kozjak u središnjem dijelu Velebita. Pikovački potok je ujedno lijevi pritok potoka Suvaja koji protiče kroz Brušane. Nadmorska visina područja istraživanja (Slika 1-1) varira od 450 do 750 m. Najveća prometnica je D25 koja prolazi kroz Brušane te njih povezuje s Baškim Oštarijama na sjeverozapadu i Gospićem na sjeveroistoku.

U literaturi postoji vrlo malo podataka o petrografskom sastavu gredenskih pješčenjaka ovoga lokaliteta i uopće. Analitičkim postupcima u okviru ovoga rada bili su obuhvaćeni: petrografska determinacija stijena, analiza modalnog mineralnog sastava te analiza teške mineralne frakcije. Dobiveni podatci predstavljaju osnovu za raspravu o porijeklu detritičnog materijala gredenskih pješčenjaka, o karakteristikama transporta detritusa te o klimi u vrijeme trošenja/taloženja. Dobiveni podatci s lokaliteta Pikovačkog potoka su također uspoređeni s petrografskim podatcima uzorka analiziranog srednjepermskog pješčenjaka s tipskog lokaliteta Gröden (Val Gardena) u Dolomitima, Italija.

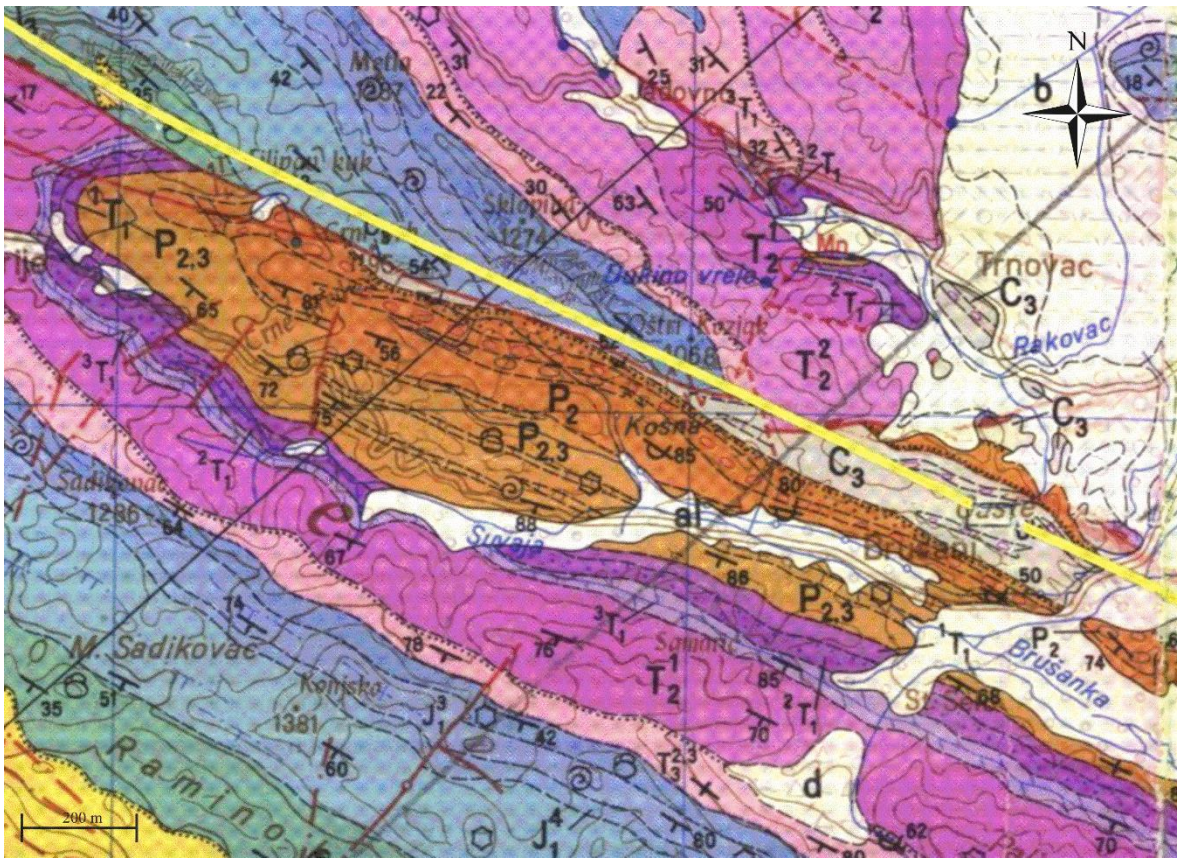
Rad je izrađen na Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i predstavlja rijetki doprinos poznavanju petrografskih karakteristika gredenskih srednjopermskih pješčenjaka.



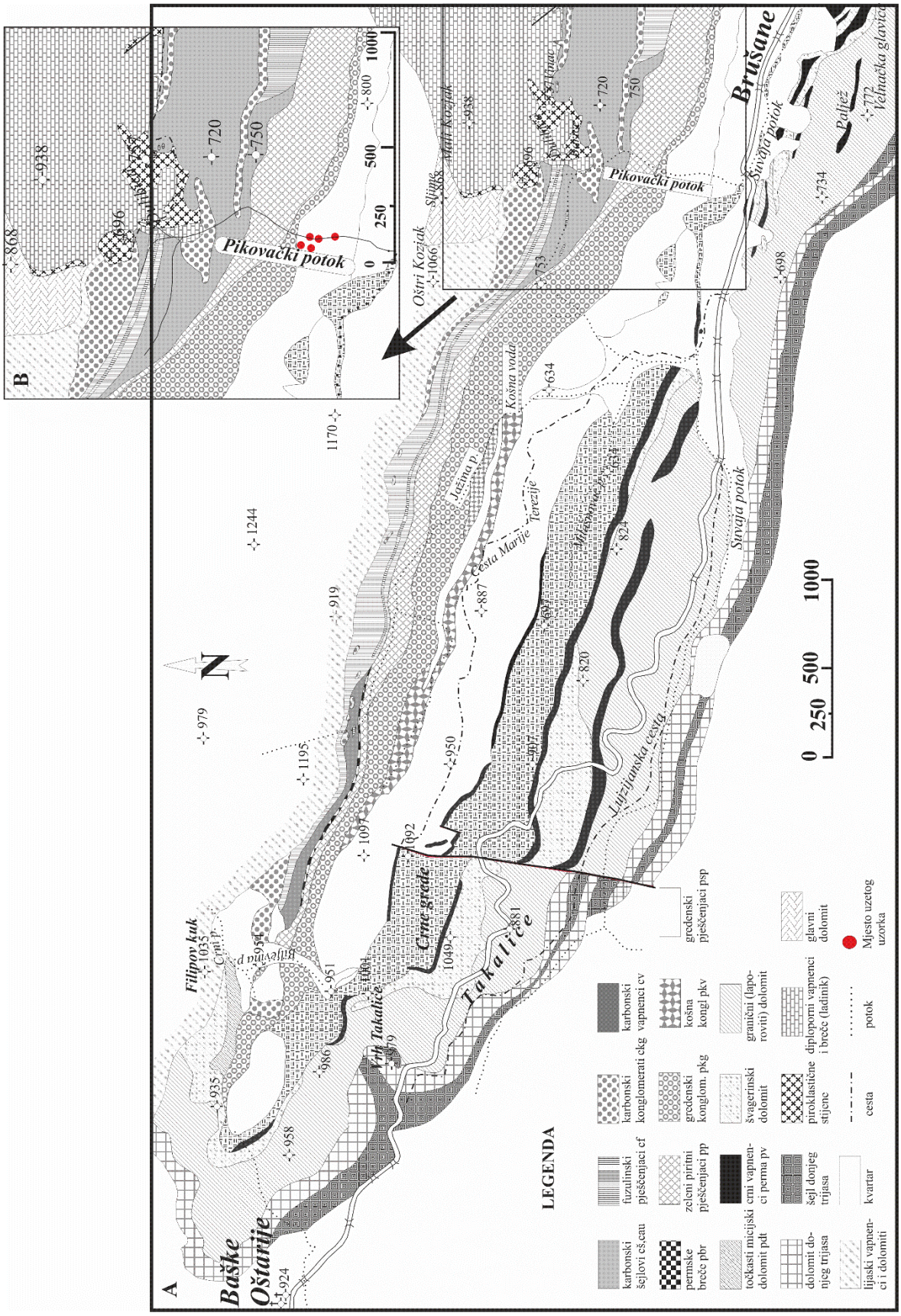
Slika 1-1. Topografska karta istraživanog područja. Mjerilo je duljine 200 m. Izmjenjeno prema DGU (2007).

2. Geološka građa istraživanog područja Velebita

Područje istraživanja nalazi se na srednjem Velebitu, a obuhvaća okolicu Brušana. Sakupljeno je 5 uzoraka gredenskih pješčenjaka iz doline Pikovačkog potoka koji je pritok potoka Suvaje. Područje točkasto sakupljenih uzoraka prikazano je na jugozapadnom dijelu topografske karte 1:25 000, list Gospić (zapad), 419-4-3 – Slika 1-1, i geološkoj karti – slika 2-2. Osnovne geološke građe date su prema Osnovnoj geološkoj karti 1:100 000, list Gospić (SOKAČ, et al., 1967a), čiji je isječak slika 2-1, i tumaču Osnovne geološke karte (SOKAČ, et al., 1967b).



Slika 2-1. Isječak OGK istraživanog područja. Mjerilo je duljine 200 m. (prema SOKAČ et al., 1967a)



Slika 2-2. Geološka karta istraživanog područja. A) Geološka karta okolice Brušana i Baških Oštarija. B) Uže istraživano područje s oznakama mjesta uzorkovanja. Izmjenjeno prema SALOPEK (1942).

2.1. Stratigrafija

Najstarije naslage pripadaju gornjem karbonu, koje se nalaze na sjevernom dijelu istraživanog područja. Predstavljene su kontinuiranom serijom klastičnih sedimenata (SOKAČ, et al., 1967b). Građene su pretežito od pješčenjaka i glinenih škriljavaca koji se izmjenjuju s kvarcnim konglomeratima u donjem dijelu i vapnencima u gornjem.

U normalnoj superpoziciji na karbonske naslage naliježu donjopermski klastiti i karbonati. Klastični sedimenti su u donjim dijelovima zastupljeniji, dok su u gornjem dijelu vapnenci značajno potisnuli klastične sedimente. Starost permskih vapnenaca je utemeljena asocijacijom fosila koja odgovara fosilnoj zajednici *retendorfskih naslaga* (SOKAČ, et al., 1967b).

Srednji perm kontinuirano naliježe na donjopermske naslage. Predstavljen je piritičnim pješčenjacima u donjim dijelovima koji bočno prelaze u pješčenjake **gredenskog tipa**, kvarcnim i petromiktnim konglomeratima te karbonatima koji dominiraju u gornjem dijelu (SOKAČ, et al., 1967b). Starost klastičnih sedimenata određena je na temelju stratigrafske pripadnosti i kontinuiranom prijelazu u karbonate srednjeg i gornjeg perma.

U gornjem permu istaložene su karbonatne naslage čiji se kontinuitet taloženja nastavlja na karbonate srednjeg perma. Karbonati su pretežito dolomiti koje ponegdje bočno zamjenjuju vapnenci. Dolomiti postupno prelaze u pjeskovite dolomite donjeg trijasa.

Naslage donjeg trijasa su predstavljene dolomitom promjenjive debljine 80–100 m. Prema litologiji, superpoziciji i paleontologiji ti dolomiti pripadaju *sajskim naslagama* (SOKAČ, et al., 1967b). U gornjim dijelovima, pojavom sve češćiš klastita, dolomiti postupno prelaze u tinjčaste pješčenjake i listaste tinjčaste siltite koji također pripadaju *sajskim naslagama*. Završetak ovih naslaga predstavljen je horizontom kvarcnih pješčenjaka, debljine 1–2 m, sličnog sastava kao neki permski pješčenjaci, te vjerojatno predstavljaju pretaloženi materijal istih (SOKAČ, et al., 1967b). Kontinuirano na sajske naslage naliježu dolomiti *verfenskih naslaga*. Debljina tih dolomita oscilira između 100 i 140 m.

Kvartarne, odnosno holocenske naslage razvijene su u dolini rijeke Suvaja. Naslage su aluvijalnog karaktera čiji sastav čine fragmenti i čestice stijena koje izgrađuju okolno područje (SOKAČ, et al., 1967b).

2.2. Tektonika

SOKAČ et al., (1967b) su OGK, list Gospić, prema morfološkim, stratigrafskim i tektonskim elementima, podjelili na 2 strukturne jedinice: *Ličko sredogorje* i *Velebit* te geotektonsku jedinicu *Istra – Dalmacija.* Dvije masivne strukturne jedinice međusobno dijeli uzdužni *Lički rasjed* pružanja SZ–JI. Navedeni rasjed se proteže od Velike Plane preko Brušana do Ribnika te dalje u smjeru jugoistoka gdje se može pratiti na OGK listu Udbina. Tim su rasjedom u kontakt dovedene naslage trijasa i jure gdje naslage jure imaju karakter spuštenog bloka.

Strukturna jedinica Velebit predstavlja tercijarnom tektonikom reaktiviranu antiformu – Brušansko-oštarijsku antiklinalu, s karakteristikama područja tektonskog suženja (SOKAČ, et al., 1967b).

Područje istraživanja pripada strukturnoj jedinici *Velebit,* a nalazi se neposredno uz Lički rasjed. Paralelno tim rasjedom, istog, dinarskog pružanja ustanovljen je *Brušansko–oštarijski rasjed* (SOKAČ, et al., 1967b). Njegovo pružanje prati sustav kraćih lokalnih rasjeda s istim karakterom pomaka kao i Lički rasjed. Obzirom da je pružanje stratigrafskih jedinica paralelno pružanju rasjeda, dolazi do ponavljanja stratigrafskog slijeda. Za Brušanko-oštarijski rasjed SOKAČ et al., (1967b) smatraju da je rezultat tektonskog suženja u krilima antiforme.

Brušanko–oštarijska antiklinala južno od Ličkog rasjeda od velikog je značaja zajedno sa navedenim rasjedom jer su na površinu izdanile naslage paleozoika sve do gornjeg karbona. Antiklinala je dinarskog pružanja, a u području maksimalne amplitude je došlo do izrazitog ustrmljivanja slojeva, a djelomično i do njihovog prebacivanja. Os antiklinale blago ponire u smjeru azimuta 147° pod kutem od 4° (SOKAČ, et al., 1967b).

3. Pregled dosadašnjih istraživanja

Ponukan činjenicom da se do 1935. godine vrlo oskudno znalo o sastavu paleozoika na području Velebita, posebice u okolini Brušana i Baških oštarija, SALOPEK, M. je pokrenuo niz istraživanja. Zajedno sa suradnicima objavio je rad *O gornjem paleozoiku Velebita u okolini Brušana i Baških Oštarija*, 1942. god. Rad obuhvaća opširno opisane jedinice karbona i perma, a spada u vrlo citirane radove i danas.

SALOPEK (1942) je za gredenske pješčenjake utvrdio da naliježu ili se bočno izmjenjuju s košna konglomeratima, facijesom do tada poznatim pod imenom *verukano*. Za gredenske pješčenjake navodi da su pretežito sitnozrnati do srednjezrnati klastiti, pretežno crvene, a rijeđe zelene boje. Zeleni pješčenjaci se najčešće pojavljuju kao ulošci u crvenima. Varijateti zelenkastosive, smećkaste ili žućkaste boje pojavljuju se na sjevernoj strani Kose u Guštama i Pikovcu te ponegdje u sastavu imaju pirit. SALOPEK (1942) smatra da na području Pikovca gredenski pješčenjaci naliježu na krupne permske karbonatne breče, a da im se u krovini nalaze crveni pelitni sedimenti u koje postupno prelaze. Debljina gredenskih pješčenjaka na južnoj strani Kose se kreće do 100 m (SALOPEK, 1942).

U svom radu iz 1948. god. SALOPEK navodi da se na Visuću nalaze krupni ljubičasti kvarcni pješčenjaci koji bočno prelaze u crvenkaste i žute pješčenjake.

SALOPEK (1948) navodi i da se na području između Raduča i Metka pojavljuju sitnozrnasti, slabo tinjčasti te ponegdje glinoviti gredenski pješčenjaci. Da dolaze u obliku crvenih, žućkastih, ljubičastih čvrstih pješčenjaka koji trošeći poprimaju svjetlosmeđu boju te zelenih pješčenjaka koji trošeći poprimaju zelenkastosmeđu boju. SALOPEK (1948) također smatra da znaju biti listasti.

U okolini Košna voda KOCHANSKY-DEVIDÉ et al., (1982), navodi da crveni, masivno uslojeni „gredenski“ pješčenjaci inverzno leže na točkastom dolomitu gornjeg perma. Pješčenjake navode kao pješčenjake subgrauvaknog ili grauvaknog tipa, srednje do krupne veličine zrna. Dalje navode da se sastoje od čestica kvarca, litičnih fragmenata, feldspata i biodetritusa vezanih kloritno – sericitnim agregatom, a rijeđe karbonatnim cementom. KOCHANSKY-DEVIDÉ et al., (1982) smatraju da je crvenosmeđa boja pješčenjaka posljedica oksidacije dvovalentnog željeza [Fe^{2+}] u površinskim uvjetima. Također su ustanovili da su pješčenjaci tipa subgrauvaka češći na prijelazu prema dolomitima gornjeg perma, a da je ukupna debljina gredenskih pješčenjaka debljine oko 150 – 200 m.

Najnovija istraživanja SOKAČ et al., (1967b) u svrhu izrade OGK i pripadajućeg tumača svrstavaju gredenske pješčenjake u jedinicu *pješčenjaci gredenskog tipa (P_2)*. Klasificiraju ih kao srednjezrnate do krupnozrnate, rijetko mikrobrečaste grauvake. Navode da sadrže osrednje do loše sortirani angularni detritus, koji se sastoji od kvarca, litičnih čestica (uključujući sedimente, metamorfne i eruptivne fragmente), feldspata, muskovita i klorita. Čestice su vezane matriksom od kloritno – sericitnog agregata sa ili bez kvarca siltnih dimenzija. Varijatete koji imaju karbonatni cement (dolomit i ankerit) klasificiraju kao subgrauvake, a smatraju kao i KOCHANSKY-DEVIDÉ et al., (1982) da se češće pojavljuju na prijelazu u dolomite gornjeg perma.

S obzirom na dvovalentno željezo u karbonatima te osobito često prisutan pirit SOKAČ et al., (1967b) ustanovili su da se sedimentacija odvijala u reduktivnim uvjetima. A pojavljivanje autigenog kompleksa matriksa (klorit-sericit-ilit) zajedno s piritom i dvovalentnim željezom upućuje na morsku sredinu taloženja. Sredina koja je sa svojim sadržajem Mg i K-iona omogućila rekoinstituciju donesenog terigenog mulja u minerale, stabilne u tim uvjetima (SOKAČ, et al., 1967b).

Nadalje SOKAČ et al., (1967b) svode pojavu teških minerala u gredenskim pješčenjacima na tri najizrazitije vrste, a to su cirkon, turmalin i rutil. Međutim smatraju sporadičnu pojavu apatita karakterističnu, kao i veći broj akcesornih teških minerala – granat, epidot, brukit, titanit i kloritoid.

4. Metode

Prilikom izrade ovog rada korištene su različite metode koje se mogu okvirno podijeliti u 2 skupine – laboratorijske metode i kabinetski rad. Terenske metode nisu navede jer terenska istraživanja nisu obavljena. Pet uzoraka korištenih u ovom radu prikupili su izv. prof. dr. sc. Dunja Aljinović i asistent Duje Smirčić točkastim uzorkovanjem u dolini Pikovačkog potoka. Uzorci predstavljaju različite litološke tipove gredenskih pješčenjaka. Šesti uzorak je uzorak srednjepermskog pješčenjaka s tipskog lokaliteta Gröden (Val Gardena) u Dolomitima, Italija.

4.1. Laboratorijske metode

Od laboratorijskih metoda korištena je metoda separacije ili izdvajanja mineralnih frakcija pomoću teških tekućina.

4.1.1. Priprema uzoraka

Jedan dio uzoraka je piljen u svrhu izrade mikropetrografskih preparata čiji će se postupak objasniti kasnije. Ostatak uzoraka je dezintegriran kako bi se dobili pojedinačni mineralni sastojci.

Postupak dezintegracije i pripreme za separaciju teške i lake mineralne frakcije izvodi se na slijedeći način: Prije izdvajanja uzorci su usitnjeni u manje komade koji su razdrobljeni i umrvljeni kladivom na metalnoj ploči s ciljem dobivanja frakcije zrna 0,063 – 0,125 mm (frakcija 0,063) i 0,125 – 0,2 mm (frakcija 0,125). Odvajanje tih frakcija je obavljeno suhim sijanjem pomoću rupičastih i pletenih sita prilikom čega su dobivene i frakcije 0,2 – 0,5 mm te prosjev odnosno frakcija manja od 0,063 mm.

Frakcije 0,063 i 0,125 su isprane u destiliranoj vodi i ostavljene u ultrazvučnoj kupelji preko noći čime je uzorak klastične stijene dalje dezintegriran. Nakon toga bilo je moguće naknadnim sijanjem sitima dobiti i sitnije frakcije. Nakon mokrog sijanja na pletenim sitima, veličine 0,125 mm i 0,063 mm, frakcije su osušene i spremljene u papirnate vrečice.

4.1.2. Separacija ili izdvajanje mineralnih frakcija pomoću teške tekućine

Nakon pripreme uzoraka načinjena je separacija teške i lake frakcije pješčenjaka. Izdvajanje se temelji na zakonu gravitacije gdje teže tvari u otopini, odnosno, tvari veće gustoće od otopine tonu. Lakše tvari plutaju na površini otopine, a tvari jednake gustoće lebde u otopini. Otopina koja se koristi za izdvajanje spada u tzv. teške tekućine zbog svoje visoke specifične

gustoće. Najčešće korištena teška tekućina je bromoform [$CHBr_3$], gustoće 2,85 – 2,88 g/ml (ALJINOVIĆ, 2013), a u sklopu ovog rada korištena je druga tekućina – natrijev volframat, čija se otopina priprema u laboratoriju.

Tvari za pripremu te otopine su demineralizirana voda [H_2O] i krutina. Komercijalni naziv krutine je natrijev volframat dihidrat [Na_2WO_4 x $2H_2O$] (SIGMA-ALDRICH, 2015). Prednost natrijeva volframata dihidrata je ta što nije kancerogen, razrijeđuje se samo s vodom i pri tome se trajno ne mijenja kemijski spoj krutine. Također se preciznije može kontrolirati željena gustoća teške tekućine. Nedostatak natrijeva volframata dihidrata je tržišna cijena.

Gustoća teške tekućine korištene prilikom izrade ovog rada bila je 2,89 g/ml. Gustoća je određena i kontrolirana pomoću piknometra.

Prema Aljinović (2013) za izdvajanje teških mineralnih frakcija uzeta je frakcija 0,063 – 0,125 mm. Kao dodatna kontrola za analizu teške mineralne frakcije, učinjeno je i izdvajanje za frakciju 0,125 – 0,2 mm. Od izdvojenih teških mineralnih frakcija izrađeni su rasuti mikroskopski preparati, a ostalo je spremljeno u petrijeve zdjelice.

4.2. Kabinetski rad

Za vrijeme kabinetskih istraživanja korištene su 3 metode. Mikroskopska analiza petrografskog sastava preparata načinjena je petrografskim mikroskopom kao temeljna metoda geoloških istraživanja. Zatim je načinjena modalna analiza mineralnog sastava mikroskopskog preparata te modalna analiza teške mineralne frakcije rasutog mikroskopskog preparata.

4.2.1. Mikroskopska analiza petrografskim mikroskopom

Analiza stijena petrografskim mikroskopom početna je analiza mnogih geoloških istraživanja. Kvalitativni i kvantitativni analitički podatci su samo neki od podataka koji se mikroskopskom analizom mogu dobiti (VRKLJAN, 2006).

Analiza se obavlja na mikroskopskom preparatu pomoću polarizacijskog mikroskopa u linearno polariziranoj svjetlosti. Cilj analize je odrediti mineralni sastav mikroskopskog preparata, a time i klasificirati stijenu te odrediti druga mikrofiziografska svojstva stijene i pripadajućih minerala.

Polarizacijski mikroskop je instrument za optičko istraživanje minerala i stijena (VRKLJAN, 2006). Sastoji se od mehaničkih i optičkih dijelova. Glavni mehanički dijelovi

su stativ, stolić i tubus, a glavni optički polarizator, analizator, objektiv i okular. S obzirom da je najveći broj petrografskih minerala u preparatu proziran instrument se naziva i petrografskim mikroskopom.

Za promatranje minerala petrografskim mikroskopom potrebno je izraditi mikroskopski preparat. Preparat se sastoji od izbruska, tanka pločica uzorka stijene debljine približno 0,03 mm, koji je učvršćen između podložnog i pokrovnog stakalca nekim cementom. Kao cement se obično koriste smole i balzami, a izbrusci napravljeni u svrhu ovog rada su učvršćeni kanadskim balzamom. Kandaski balzam je prirodna smola indeksa loma 1,537 (VRKLJAN, 2006).

4.2.2. Modalna analiza mineralnog sastava

Analiza mineralnog sastava, odnosno kvantitativno određivanje mineralnog sastava se zove modalna analiza mineralnog sastava. Analiza se obavlja na mikroskopskom preparatu stijene, a služi i za preciznu klasifikaciju stijena. Temelji se na određivanju udjela pojedinih komponenti u uzorku kao što su, za pješčenjake bitni, kvarc, feldspat i odlomci stijena.

Pri jednostavnim analizama uzoraka najčešće se radi vizualna procjena udjela pojedinih komponenti. Takva analiza značajno je podložna subjektivnim greškama koje ovise o iskustvu i pažnji osobe koja obavlja analizu. Da bi se smanjile pogreške mogu se koristiti razna pomagala kao npr. korištenje vizualnih shema udjela. Najznačajnija je vizualna usporedba sa shemom udjela prema Terry i Chillingara iz 1955. godine (ALJINOVIĆ, 2013).

U svrhu ovoga rada bilo je potrebno preciznije procjeniti udio pojedinih komponenti. Za takvu analizu koristio se instrument koji se zove točkasti brojač, a omogućuje kvantitativnu analizu na mikroskopskom preparatu (CHAYES, 1949). Instrument se sastoji od dijela koji je pričvršćen za stolić mikroskopa i dijela koji broji pozicije. Mikroskopski preparat se učvrsti na stolić i tako je pričvršćen cijelo vrijeme, odnosno položaj tijekom mjerenja mu se ne mijenja. Dio instrumenta koji broji pozicije se nalazi pokraj mikroskopa, kablom je povezan s prvim dijelom i ima 10 pozicija (tipki) koje imaju svoje brojače.

Prilikom analize svakoj se poziciji (tipki) pridoda ime komponente koja se broji čije tipke se pritišću samo onda kada nitni križ dođe na položaj te komponente na preparatu. U trenutku pritiska preparat se pomiče za određenu vrijednost skoka. Pomak se odvija u jednom pravcu. Kada se pomak više ne može ostvariti, pomoću vijka se ručno pomiče preparat za iznos skoka i postavlja novi paralelni pravac. Skok je određen zasebno za svaki mikroskopski preparat jer ovisi o srednjoj veličini zrna uzorka koji odgovara prvoj kvartili.

Brojač koji se nalazi u drugom dijelu instrumenta mjeri ukupni broj pritisaka tipki te broj pritisaka zasebno za svaku poziciju. Udio određene komponente se izračunava iz omjera ukupnog broja pritisaka i broja pritisaka za svaku komponentu zasebno te predstavlja postotni udio određene komponente u ukupnom sastavu. Glavne komponente kojima se mjerio udio u preparatu su monomineralni kvarc, feldspati i litični fragmenti. U litične fragmente se pribrojavao i polimineralni kvarc. Ostale komponente koje su se dodatno mjerile su opaki minerali, tinjci, hornblenda i klorit.

Rezultati analize, odnosno udio glavnih komponenti, uobičajeno se prikazuju diskriminantnim trokomponentnim dijagramima pomoću kojih je olakšano donositi zaključke.

4.2.3. Modalna analiza teške mineralne frakcije

Modalna analiza teške mineralne frakcije nastavak je laboratorijske metode izdvajanje mineralnih frakcija teškim tekućinama. Cilj metode je odrediti udio zrna određenog mineralnog sastava u rasutom mikroskopskom preparatu, dakle nakon dezintegracije.

Rasuti mikroskopski preparat teške mineralne frakcije izrađuje se na način koji je sličan pripremi mikroskopskog preparata za promatranje u polariziranoj svjetlosti: Na objektno stakalce stavi se kap kanadskog balzama u koji se ravnomjerno usipa sadržaj teške ili lake mineralne frakcije te pokrije pokrovnim stakalcem prilikom čega nema brušenja. Nakon izrade preparat se promatra petrografskim mikroskopom u svrhu određivanja mineralnog sastava posebno za laku i posebno za tešku mineralnu frakciju. Određivanje se radi ortoskopom (paralelna polarizirana svjetlost) i konoskopom (konvergirana polarizirana svjetlost), a istovremeno se mineralna zrna pomiču pomoću vodilice i broje.

Za određivanja udjela teške mineralne frakcije najprije se u preparatu određuje postotni udio najčešćih komponenti na 400 zrna. Te komponente obično nemaju značajnu vrijednost za određivanje porijekla materijala, a u uzorku ih može biti sadržana veća količina. Među njima mogu biti ubrajani opaki minerali, minerali koji imaju limonitizirane prevlake pa se njihova optička svojstva ne vide i tinjčasti minerali. U ovom radu određen je postotni udio sljedećih mineralnih faza brojanjem na ukupno 300 zrna: limonitizirana zrna, opaki minerali i prozirna zrna. Unutar tih 300 zrna prisutan je i određeni, obično vrlo mali, postotak ostalih prozirnih minerala. Unutar prozirnih minerala determinira se svaka mineralna faza brojanjem na ukupno 150 do 200 zrna te se i ona izražava postotnim udjelom od ukupnog broja prozirnih zrna. U ovom radu izbrojane su sljedeće prozirne mineralne faze:

cirkon, turmalin, rutil, leukoksen, klorit, biotit, muskovit, hornblenda, apatit, disten, korund, granat, spinel, anatas i pumpeleit.

Podatci dobiveni ovom analizom se prikazuju numerički i grafički.

5. Osnovne optičke karakteristike čestih minerala teške mineralne frakcije

U sljedećim potpoglavljima biti će opisana optička svojstva samo onih minerala koji se u većem udjelu pojavljuju u sastavu teške mineralne frakcije analiziranih uzoraka gredenskih pješčenjaka. Podatci su preuzeti iz MANGE & MAURER (1992) ako nije drugačije naznačeno.

5.1. Cirkon

$ZrSiO_4$

Cirkon kristalizira u tetragonskom sustavu. Jednoosni je te optički pozitivan.

BOJA: Bezbojan, ružičast, ljubičast, crven, narančast, žut, rijetko plavi ili sivi. Detritični cirkon je dominatno bezbojan.

PLEOKROIZAM: Vrlo slab u jače obojenim varijatetima.

INTERFERENCIJA: Cirkon ima jaku interferenciju stoga su njegove boje bijele visokog reda , blijedo – žute ili ružičaste za deblja zrna. Tanji kristali i fragmenti pokazuju svijetlo žute, narančaste, zelene i crvene nijanse, obično nekoliko zona boja istovremeno.

POTAMNJENJE: Izdužena zrna pokazuju paralelno potamnjenje.

IZDUŽENJE: Pozitivni karakter izduženja, međutim teško ga je promatrati.

KARAKTERISTIČNA SVOJSTVA: Visok reljef, karakteristična morfologija i snažna interferencija zajedno sa nedostatkom vlastite boje su osnovna svojstva cirkona. Jedan je od lako prepoznatljivih minerala i samo u rijetkim se slučajevima može zamjeniti s drugim mineralnim zrnima kao što su titanit, monazit, rutil, kasiterit i ksenotim.

POJAVA: Cirkon je širokorasprostranjen akcesorni mineral u stijenama Zemljine kore. Obično je čest u silikatnim magmatskim stijenama. Također kristalizira u plaštnim ksenolitima, mjesečevim stijenama i meteoritima. Može biti visoko koncentriran u plažnim sedimentima i rudnicima.

NAPOMENA: Zbog svoje učestalosti u stijenama, cirkon je danas jedan od naistraženijih minerala. Morfologija cirkona koristi se za određivanje porijekla i geneze stijena. U granitnim intruzijama je generalno euhedralan. Karakter reliktnih cirkona u metamorfnim stijenama (osim u migmatitima) može biti ključan pokazatelj tipa protolita. Zaobljen oblik zrna visokog indeksa sfericiteta ukazuje na detritično porijeklo. Ponekad to može biti rezultat magmatske korozije.

Cirkon se smatra jedan od najstabilnijih minerala. Prema tome odnos teške mineralne frakcije se izražava indeksom cirkon – turmalin – rutil.

POJAVA U SEDIMENTIMA: Cirkon se prepoznaje po visokom reljefu i obrubljen je tamnim rubom. Kristali su generalno manjih dimenzija. Morfološka svojstva cirkona su uvjetovana fizičkim i kemijskim uvjetima tijekom njegovog rasta stoga se također koristi kao petrogenetski indikator. U sedimentima cirkon je od izrazito euhedralnog do anhedralnog oblika. Vrlo slabog do vrlo visokog indeksa sfericiteta. Zaobljenost je izraženija na većim zrnima.

5.2. Turmalin

$Na(Mg,Fe,Mn,Li,Al)_3Al_6[Si_6O_{18}](BO_3)_3(OH,F)_4$

Turmalin kristalizira u trigonskom sustavu, jednoosni je mineral negativnog optičkog karaktera.

BOJA: Boja turmalina u ovisnosti o sastavu se kreće od bezbojne, preko tamno plave do tamno smeđe. Često se uočava zonalnost.

PLEOKROIZAM: U turmalinima bogatima željeznom komponentom uočljiv je jaki i jasan pleokroizam.

INTERFERENCIJA: Zbog izražene vlastite boje, snažna interferencija turmalina i interferencijske boje visokog reda su nerijetko prekrivene.

POTAMNJENJE: Zrna izdužena u smjeru osi c imaju paralelno potamnjenje.

IZDUŽENJE: Negativni karakter izduženja, osim za ona zrna koja se vide u bazalnom presjeku koja imaju pozitivan karakter izduženja.

KARAKTERISTIČNA SVOJSTVA: Turmalin je jedan od učestalih i lako prepoznatljivih detritičnih minerala. Prepoznatljiv po srednje visokom reljefu, različitoj morfologiji i bojama, jakom pleokroizmu, negativnom izduženju i nedostatku pukotina.

POJAVA: Kristalizira u granitima, granitnim pegmatitima, pneumatolitskim žilama i na kontaktu metamorfoziranih stijena.

NAPOMENA: Prisutan je u svim tipovima sedimenata. Kemijski i mehanički je nestabilan. Svojstva zasebnih turmalina služi za korelaciju tipova sedimenata, određivanje izvora sedimentog materijala i njegovu disperziju.

POJAVA U SEDIMENTIMA: S obzirom na habitus pojavljuje se u trima različitim morfološkim oblicima. Najčešće kao tanke, kratke prizme s ravnim jednim krajem, rijetko oba. Rijeđe kao zaobljeni trokutasti ili šesterostrani bazalni presjeci i stupičasti (igličasti)

agregati. Naslage s detritusom različite provenijencije mogu sadržavati turmaline vrlo različite morfologije. Inkluzije su česte i mogu upućivati na određene parageneze, stoga mogu služiti za određivanje provenijencije.

5.3. Rutil

TiO_2

Rutil kristalizira u tetragonskom sustavu. Jednoosni je mineral s pozitivnim optičkim izduženjem.

BOJA: Nijanse crvene.

PLEOKROIZAM: Izrazit, a očituje se kao potamnjenje vlastite boje.

INTERFERENCIJA: Visoka interferencijska boja prekrivena vlastitom.

POTAMNJENJE: Prizmatična i ovalna zrna pokazuju paralelno potamnjenje.

IZDUŽENJE: Zbog izražene vlastite boje izduženje je teško promatrati. Na prizmatičnim mineralima vidljiv je pozitivan karakter izduženja.

KARAKTERISTIČNA SVOJSTVA: Rutil se prepoznaje prema svojem visokom reljefu, jasnim i tamnim bojama, pleokroizmu i visokoj interferenciji.

POJAVA: Širokorasprostranjen je akcesorni mineral u metamorfnim stijenama. Najčešće se nalazi u škriljavcima, gnajsovima i amfibolitima. Manje je zastupljen u vulkanskim stijenama, gdje se pojavljuje u pegmatitima i plutonskim stijenama bogatima hornblendom.

NAPOMENA: Rutil je vrlo stabilan mineral i koristi se za određivanje mineraloške zrelosti sedimenata zajedno s cirkonom i turmalinom.

POJAVA U SEDIMENTIMA: Detritični rutili su uobičajeno manja zrna koja rijetko prelaze duljinu od 200 μm. Zbog visokog indeksa refleksije zrna su obrubljena tzv. „*halo pojavom*“. Zrna su najčešće zaobljena i sferična. Nezaobljena su zrna euhedralna, tanke prizme ili prizmatični fragmenti. Ponekad se mogu uočiti zrna koljenastog ili paralelnog rasta kristala.

5.4. Hornblenda

$(Na,K)_{0\text{-}1}Ca_2(Mg,Fe^{2+},Fe^{3+},Al)_5[OH|(Si,Al)_4O_{11}]_2$ (VRKLJAN, 2006)

Kristalizira u monoklinskom sustavu.

BOJA: Najčešće plavkasto zelena, smeđe zelena i smeđa. Česta je pojava zonalnosti. Raspadanje varijateta bogatih željezom često imaju prevlaku željeznog oksida.

PLEOKROIZAM: Jaki pleokroizam.

INTERFERENCIJA: Srednja do jaka interferencija s bojama koje se kreću od boja viših boja prvog reda do drugog i trećeg reda, često prekrivenima vlastitom.

POTAMNJENJE: Koso potamnjenje, osim u presjecima paralelnima {100}.

IZDUŽENJE: Pozitivni karakter izduženja.

KARAKTERISTIČNA SVOJSTVA: Hornblenda ima karakterističnu prizmatsku morfologiju, kalavost i izraženu vlastitu boju.

POJAVA: Pojavljuje se u uvjetima različitih tlakova i temperatura, prema tome i u brojnim magmatskim i metamorfnim stijenama.

POJAVA U SEDIMENTIMA: Zrna su dominantno fragmenti puknuti paralelno prizmatskom kalavošću {110}. Morfologija zrna varira od kratkih i tankih prizmi, nepravilnih ili pravokutnih fragmenata do dugih i tankih ljuskica. Krajevi prizmi su često zaobljeni. Zrna vulkanskog porijekla su euhedralna s čestim pravilno oblikovanim, ravnim krajevima s jedne ili ponekad obje strane. Inkluzije su uobičajene.

5.5. Apatit

$Ca_5[F,Cl,OH] \mid (PO_4)_3]$ (VRKLJAN, 2006)

Kristalizira u heksagonalnom sustavu. Jednoosni je mineral s negativnim optičkim izduženjem.

BOJA: Zrna su pretežito bezbojna, međutim zbog primjesa može poprimiti sivkasto-zelenkastu ili crveno-smećkastu boju.

PLEOKROIZAM: Nema, osim crvenkasto-žučkastih varijateta koji imaju pleokroizam u tim tonovima.

INTERFERENCIJA: Interferencija je slaba do srednja u sivim bojama prvog reda. Vrlo debela zrna imaju žutu boju prvog reda, a njihov srednji dio plavu.

POTAMNJENJE: Paralelno potamnjenje.

IZDUŽENJE: Negativni karakter izduženja.

KARAKTERISTIČNA SVOJSTVA: Apatit je prepoznatljiv po srednje visokom reljefu, bezbojnosti zrna, karakteristične morfologije i niske interferencije.

POJAVA: Apatit je česti akcesorni mineral gotovo svih vulkanskih stijena. Fluoroapatit je najčešći i genetski povezan je s granitnim stijenama.

NAPOMENA: Vrlo je stabilan mineral, međutim rastapa se u kontaktu s kiselinom. Koristi se u metodi fisijskih tragova.

POJAVA U SEDIMENTIMA: Apatit se najviše koncentrira u sitnozrnatom sedimentu. Euhedralna zrna su kratka i zdepasta ili duga i tanka s piramidalnim krajevima ili kombinacijom piramide i bazalnog pinakoida. Najčešća su zaobljena zrna jajolikog oblika i sferične morfologije.

5.6. Disten (kijanit)

$Al_2O[SiO_4]$

Kristalizira u triklinskom sustavu. Dvoosni je, negativan mineral.

BOJA: Zrna su dominantno bezbojna ili rijetko plava i kao takva često imaju neujednačenu raspodjelu boje.

PLEOKROIZAM: Plavo obojena zrna imaju slabi pleokroizam.

INTERFERENCIJA: Interferira u sivoj i žutoj boji prvog reda, a deblja zrna imaju narančastu, ljubičastu i plavu boju drugog reda.

POTAMNJENJE: Zrna koja leže na {010} imaju paralelno potamnjenje, a ostala zrna koso s kutom potamnjenja od 27° do 32°.

IZDUŽENJE: Disten ima pozitivan karakter izduženja.

KARAKTERISTIČNA SVOJSTVA: Habitus i kombinacija savršene kalavosti i listanja zajedno s velikim kutom potamnjenja čine svojstva na temelju kojih se može determinirati disten.

POJAVA: Disten se pojavljuje u gnajsovima, granulitima i pelitičnim škriljavcima formiranim regionalnim metamorfizmom pelitnih stijena.

NAPOMENA: Disten je uobičajen detritični mineral. Otporan je na kemijsko trošenje i srednje stabilan je tijekom dijageneze.

POJAVA U SEDIMENTIMA: Zrna distena mogu biti vrlo velika i česta u krupnijim sedimentima, ali zbog vrlo dobre kalavosti pojavljuju se i u sitnijim sedimentima. Uobičajeno su zrna uglatog, listastog ili prizmatičnog habitusa izduženog osi c. Zaobljenost rubova može biti česta, a rijetko se pojavljuju zrna visokog sfericiteta. Fluidne inkluzije, a i mineralne inkluzije, su uobičajene.

6. Rezultati istraživanja

Uzorci stijena točkasto su sakupljeni u kanjonu povremenog pritoka potoka Suvaja u okolici Brušana. Sakupljeno je 5 uzoraka gredenskih pješčenjaka na kojima su se obavile analize petrografskih karakteristika. Uzorci su označeni **G-1**, **G-1 gröden**, **G-2**, **G-2a** i **G-3**.

Radi usporedbe podataka dobivenih analizama navedenih uzoraka, analiziran je još jedan mikroskopski preparat. Preparat ima oznaku **Gröden pš. *locus typicus***, a porijeklo mu je iz Grödena (Val Gardenae) u Dolomitima (Italija).

Petrografsku analizu mikroskopskog preparata kao i modalnu analizu mineralnog sastava bilo je moguće načiniti na svih 6 uzoraka.

Analizu teške mineralne frakcije bilo je moguće načiniti na sljedeća 4 uzorka: **G-1 gröden, G-2a, G-3** i **Gröden pš. *locus typicus***. Sastav teške mineralne frakcije uzoraka **G-1** i **G-2** nije bilo moguće napraviti zbog nedovoljnog broja zrna frakcije.

6.1. Mikroskopska analiza petrografskim mikroskopom

Od 5 mikroskopskih preparata izrađenih iz uzoraka skupljenih na istraživanom području i jednog preparata, Gröden pš. *locus typicus*, dobiveni su sljedeći podatci:

6.1.1. Uzorak Gröden pš. *locus typicus*

Uzorak pješčenjaka sa lokaliteta Gröden u Dolomitima je crvene boje. Crvena boja uglavnom se odnosi na vezivo, dok su klasti uglavnom svijetli.

U mikropetrografskom sastavu ovog pješčenjaka vidi se matriks potporna psamitno – klastična struktura (Slika 6-1, 6-2). Prisutni su krupni poluzaobljeni i uglasti klasti koji su međusobno vezani glinovito – kvarcnim matriksom.

Uzorak je loše sortiran sa srednjom veličinom zrna 0,45 mm.

Podjednako su zastupljena zrna kvarca i feldspata, a podređeno listići tinjaca (biotit). Rijetko su vidljivi litični fragmenti. Izdužena zrna pokazuju preferiranu orijentaciju.

Kvarcna zrna u uzorku se mogu podijeliti u dva tipa. Jedan dio predstavljaju zaobljena zrna s prepoznatljivim resorpcijskim rubovima (Slika 6-2c), a drugi djelomično uglata (Slika 6-1b). Često su u zrnima vidljive inkluzije te okruglaste šupljine nalik vezikulama.

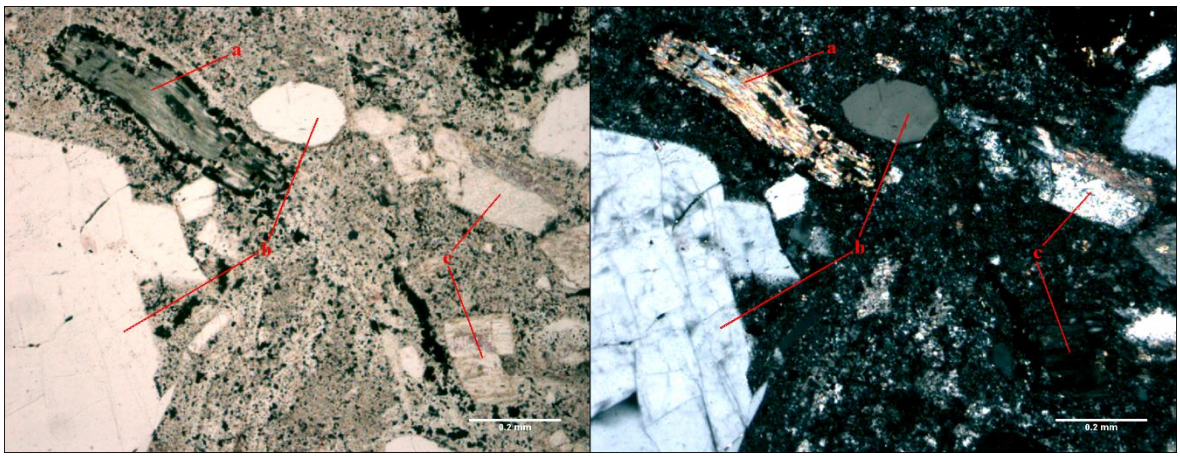
Zrna feldspata odgovaraju plagioklasima i K-feldspatima. Djelomično su uglata i pokazuju jake znakove trošenja. Alteracije se vide kao iskristalizirani kalcit unutar zrna plagioklasa (Slika 6-2b).

Dominantni tinjci su listići biotita koji su alterirani ili djelomično alterirani u klorite. Takva su zrna obavijena opacitnim rubom željeznog oksida (Slika 6-1a). Listići pokazuju preferiranu orijentaciju.

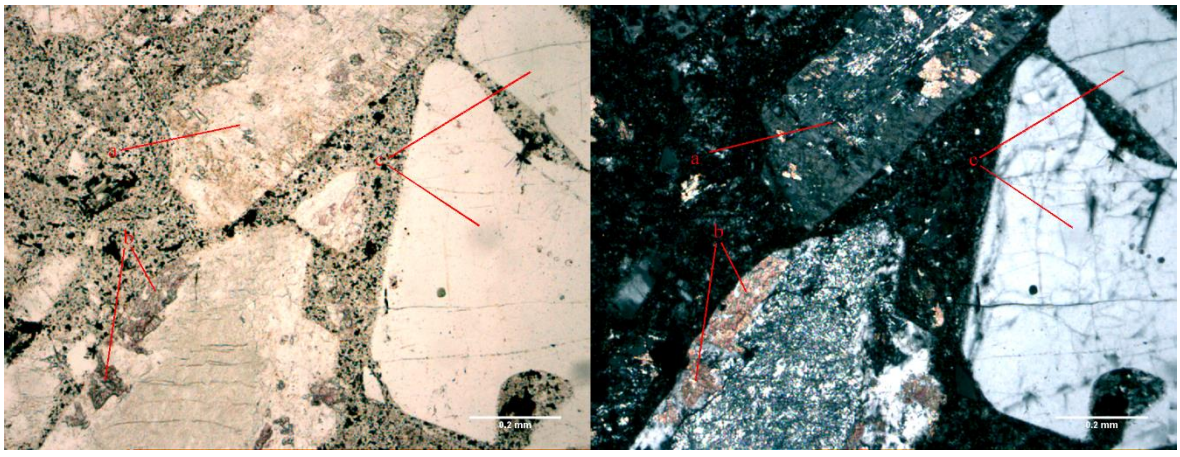
Rijetko uočeni litični fragmenti su djelomično uglata zrna polimineralnog kvarca.

Uzorak je determiniran kao **feldspatska grauvaka**.

Obzirom na prisustvo zrna kvarca sa vezikularnim šupljinama te sanidina smatra se da je porijeklo klastičnog materijala od kiselih vulkanskih stijena. Obilje glinovito – kvarcnog matriksa i biotita, iako alteriranog, ukazuje na nezreli pješčenjak vjerojatno taložen neposredno uz izvorišne stijene.



Slika 6-1. Mikropetrografski sastav uzorka Gröden pš. *locus typicus*, a. Desno je fotografija s uključenim analizatorom, a lijevo bez. Oznake: a-klorit, b-kvarc, c-feldspat. Mjerilo je duljine 0,2 mm.



Slika 6-2. Mikropetrografski sastav uzorka Gröden pš. *locus typicus*, b. Desno je fotografija s uključenim analizatorom, a lijevo bez. Oznake: a-feldspat, b-karbonatne alteracije, c-kvarc. Mjerilo je duljine 0,2 mm.

6.1.2. Uzorak G-1

Makroskopski promatrana stijena je crveno – smeđe boje. Vidljiva je izmjena tamnije i svjetlije crvenih lamina.

Mikropetrografska svojstva pokazuju strukturu sitnozrnastog pješčenjaka s matriksnom potporom. Uzorak je srednje dobro sortiran. Srednja veličina zrna je 0,12 mm. Matriks je glinovit, crvene boje. Rijetko su vidljivi kontakti između zrna, a oni vidljivi su točkasti do linijski. Zrna su poluzaobljena do uglata, premda se njihovi rubovi nejasno vide jer su obavijeni prevlakama željeznih oksida (Slika 6-3). U sastavu su zastupljena zrna kvarca, a podređeno zrna feldspata i litičnih fragmenata. Rijetko su uočeni listići tinjaca.

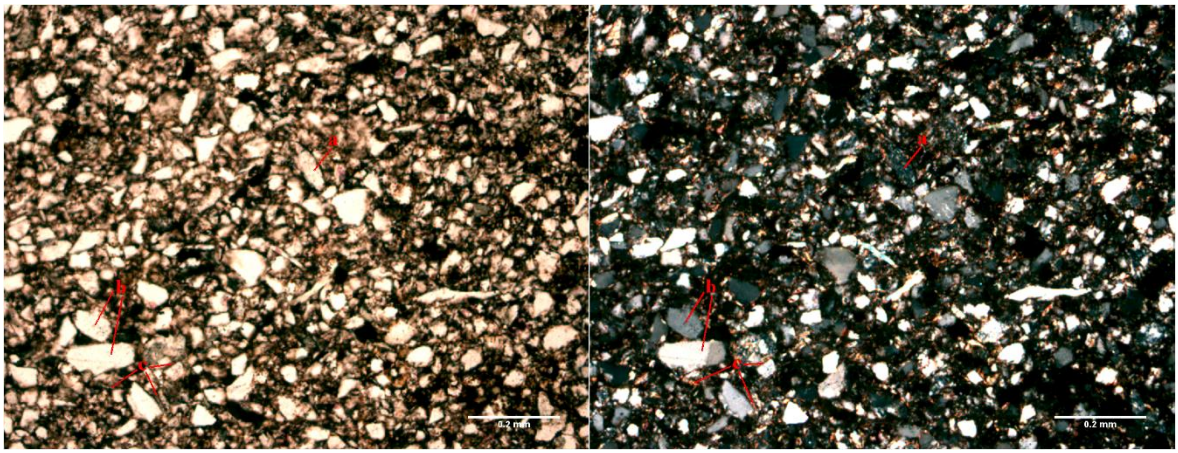
Zrna kvarca pokazuju izraženo undulozno potamnjenje (Slika 6-3b). U nekim se zrnima raspoznaju inkluzije.

Zrna feldspata odgovaraju dominantno plagioklasima. Djelomično su zaobljena, dimenzija su manjih kvarcnih zrna i nejasnih rubova. Prepoznati su prema paralelnim jasno vidljivim sraslačkim lamelama.

Litički fragmenti odgovaraju fragmentima šejla ili slejta te rijetko zrnima polimineralnog kvarca (Slika 6-3a). U takvim su pojedinačnim zrnima minerali kvarca u linijskom i suturiranom kontaktu.

Listići tinjaca dominantno odgovaraju muskovitu, a podređeno biotitu prepoznatom po smeđoj boji i pleokroizmu (Slika 6-3c). Listići pokazuju preferiranu orijentaciju paralelno laminama.

Stijena je determinirana kao **litična grauvaka**.



Slika 6-3. Mikropetrografski sastav uzorka G-1. Desno je fotografija s uključenim analizatorom, a lijevo bez. Oznake: a-litični fragment, b-kvarc, c-biotit. Mjerilo je duljine 0,2 mm.

6.1.3. Uzorak G-1 gröden

Prema mikropetrografskim karakteristikama ovaj je uzorak vrlo sličan uzorku G-1. Pokazuje matriks potpornu strukturu srednjezrnatog pješčenjaka (srednje veličine 0,04 mm). Sortiranost je srednje dobra, a kontakt između njih je točkast i linijski. Zrna su vezana matriksom crvene boje (Slika 6-4). Mineralno porijeklo matriksa ne može se odrediti zbog visokog udijela željezovitih oksida. Uzorak se dominantno sastoji od zrna kvarca, a podređeno od litičnih fragmenata. Rijetko su uočena zrna feldspata. Vidljivi su i opaki, vjerojatno feromagnezijski minerali.

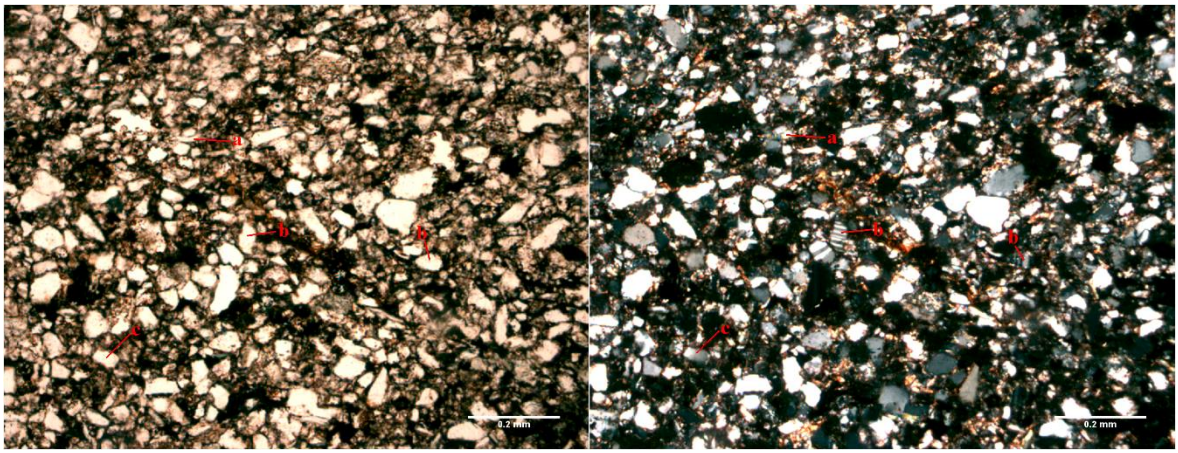
Kvarcna su zrna djelomično uglata s unduloznim potamnjenjem. U pojedinačnim zrnima su vidljive inkluzije (Slika 6-4c).

Podređeno zastupljeni, djelomično uglati litični fragmenti su zrna polimineralnog sastava u kojima dominira kvarc.

Djelomično uglata zrna feldspata odgovaraju zrnima plagioklasa (Slika 6-4b).

Lističasti minerali su dominantno listići biotita koji su započeli alterirati u klorit (Slika 6-4a). Savinuti su i pokazuju preferiranu orijentaciju zrna.

Uzorak je determiniran kao **litična grauvaka** s višim udjelom monomineralnog kvarca.



Slika 6-4. Mikropetrografski sastav uzorka G-1 gröden. Desno je fotografija s uključenim analizatorom, a lijevo bez. Oznake: a-klorit, b-plagioklas, c-kvarc. Mjerilo je duljine 0,2 mm.

6.1.4. Uzorak G-2

U uzorku je jasno vidljivo gusto pakiranje psamitno – klastične stijene. Srednja veličina zrna u uzorku je 0,23 mm. Zrna su uglata do slabo zaobljena, a kontakti između njih linijski do suturirani. Gusto pakiranje i izuzetno dobro slaganje zrna bitno reducira udio veziva (Slika 6-5). U sastavu veziva može se prepoznati kvarc i sericit.

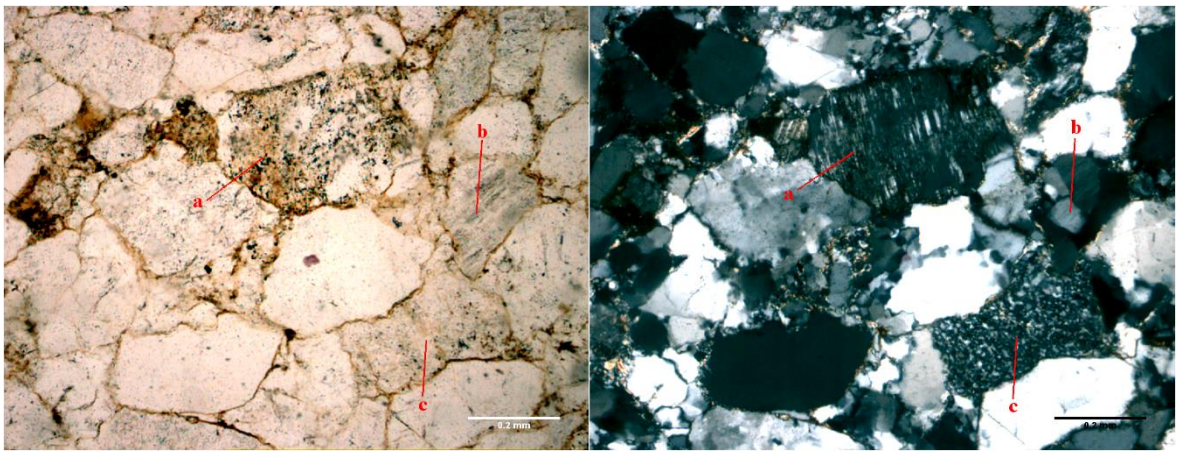
U sastavu uzorka dominiraju zrna litičnih fragmenata, a podređeno su zastupljena zrna kvarca i feldspata. Akcesorni mineral je hornblenda.

Litični fragmenti dominantno se sastoje od polimineralnog kvarca (Slika 6-5b), a podređeno su vidljivi fragmenti čiji se sastav ne može jasno razaznati. Ta su zrna vjerojatno fragmenti pelitnih sedimentnih stijena (Slika 6-5c). Minerali kvarca su različite veličine, u linijskom i suturiranom kontaktu. U nekim je fragmentima vidljiv preferirani štapičasti rast hipidiomorfnih minerala.

Zrna kvarca imaju undulozno potamnjenje i jasno vidljive inkluzije.

Zrna feldspata dominantno odgovaraju ortoklasima prepoznatima zbog lamela izlučivanja i predstavljaju pertit (Slika 6-5a). Površina zrna pokazuje znakove trošenja. Podređeno feldspati odgovaraju plagioklasima s jasnim sraslačkim lamelama.

Uzorak je determiniran kao **litični arenit** (**litoarenit**).



Slika 6-5. Mikropetrografski sastav uzorka G-2. Desno je fotografija s uključenim analizatorom, a lijevo bez. Oznake: a-ortoklas, b-litični fragment (polimineralni kvarc), c-litični fragment (fragment sedimentne stijene). Mjerilo je duljine 0,2 mm.

6.1.5. Uzorak G-2a

Uzorak G-2a pokazuje gusto pakiranje umjereno sortiranih klasta. Srednja veličina zrna u uzorku je 0,20 mm. Zrna su poluzaobljena, a dobro slaganje se očituje kroz niz linijskih, tangencijalnih i čak suturiranih kontakata. Količina matriksa je vrlo mala. U matriksu je prisutan željezoviti pigment zbog čega se mineralni sastav matriksa ne može odrediti (Slika 6-6).

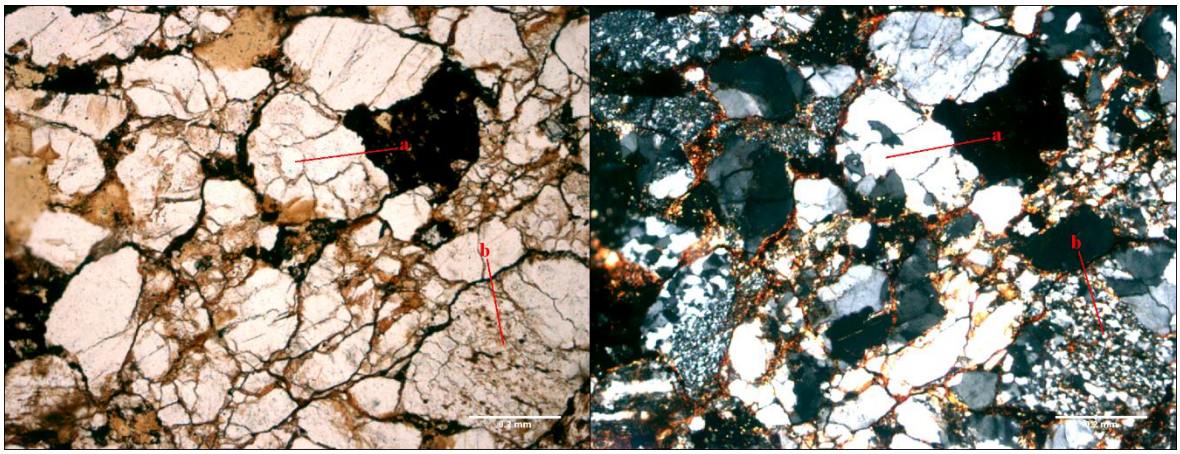
U sastavu dominira kvarc. Osim kvarca prisutna je znatna količina litičnih fragmenata te mala količina feldspata.

Zrna kvarca su prozirna, nealterirana te često obavijena tamnim neprozirnim rubom željeznih oksida. Pokazuju undulozno potamnjenje i jasno su vidljive inkluzije.

Litični fragmenti odgovaraju zrnima od kojih su neka kvarcit prepoznata po polimineralnom kvarcnom sastavu sa suturiranim rubovima (Slika 6-6a). Dio litičnih fragmenata ima mikrokristalastu strukturu u kojoj se raspoznaje kvarc te bi mogla odgovarati fragmentima vulkanita sa rekristaliziranim vulkanskim staklom ili fragmentima rožnjaka (Slika 6-6b). Ima i vrlo malo zrna koja pokazuju kristalastu strukturu intruzivnih vulkanskih stijena.

Feldspati su rijetki i znantno alterirani te vjerojatno odgovaraju zrnima ortoklasa.

Uzorak je determiniran kao **litična grauvaka**.



Slika 6-6. Mikropetrografski sastav uzorka G-2a. Desno je fotografija s uključenim analizatorom, a lijevo bez. Oznake: a-litični fragment (fragment kvarcita), b-litični fragment (fragment vulkanita ili rožnjaka). Mjerilo je duljine 0,2 mm.

6.1.6. Uzorak G-3

Uzorak pokazuje srednje dobro sortiranu sitno – klastičnu stijenu. Građen je od zrna srednje veličine 0,12 mm koja su slabo zaobljena i vezana matriksom. Dominantno se sastoji od zrna kvarca i litičnih fragmenata, a podređeno od feldspata i tinjaca. U matriksu se nalazi puno Fe-oksida zbog čega je mineralno porijeklo matriksa nejasno (Slika 6-7, 6-8).

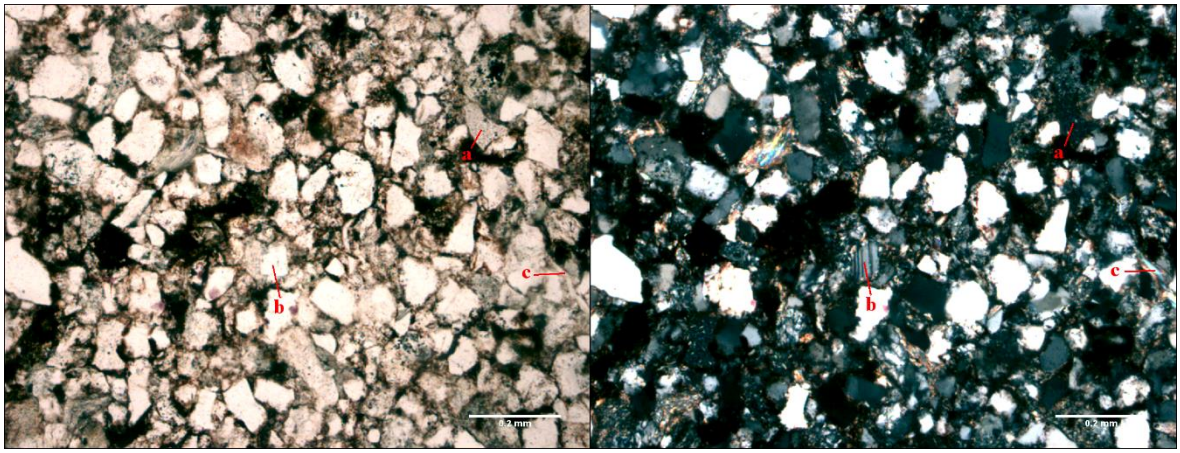
Kvarcna su zrna nepravilnog oblika, često uglata, obavijena tamnim željezovitim oksidom u matriksu zbog čega su njihovi rubovi nejasni. Pojedinačna zrna imaju undulozno potamnjenje i inkluzije.

Litični fragmenti odgovaraju fragmentima metamorfnih stijena (kvarcita i škriljavaca) (Slika 6-7a), a dio fragmenata ima mikrokristalastu strukturu koja upućuje da su zrna fragmenti vulkanita s rekristaliziranim vulkanskim staklom ili fragmenti rožnjaka (Slika 6-8c). Ima i vrlo malo zrna koja pokazuju mikrokristalastu strukturu intruzivnih vulkanskih stijena.

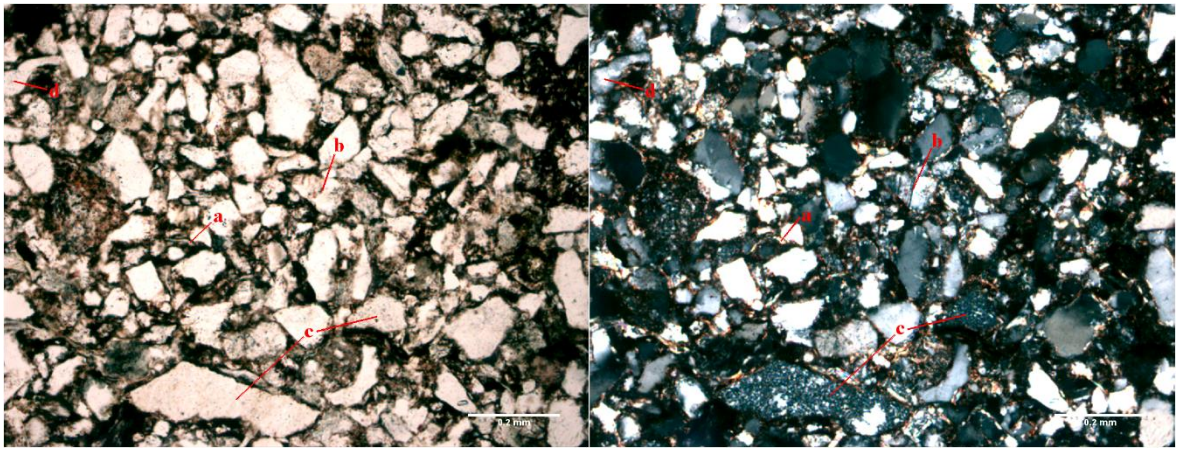
Deformirani listići tinjaca odgovaraju muskovitu djelomično ili u potpunosti kloritizirani (Slika 6-7c).

Feldspati dominantno odgovaraju plagioklasima koji u sebi imaju uklopke ili inkluzije (Slika 6-7a, 6-8b). Zrna su jako trošna.

Uzorak je determiniran kao **litična grauvaka** s visokim udjelom polimineralnog kvarca.



Slika 6-7. Mikropetrografski sastav uzorka G-3, a. Desno je fotografija s uključenim analizatorom, a lijevo bez. Oznake: a-litični fragment (fragment škriljavca), b-plagioklas, c-muskovit. Mjerilo je duljine 0,2 mm.



Slika 6-8. Mikropetrografski sastav uzorka G-3, b. Desno je fotografija s uključenim analizatorom, a lijevo bez. Oznake: a-muskovit, b-plagioklas, c-litični fragment (fragment vulkanita ili rožnjaka), d-litični fragment (fragment kvarcita). Mjerilo je duljine 0,2 mm.

6.2. Modalna analiza mineralnog sastava

Modalnom analizom mineralnog sastava pomoću točkastog brojača mjerio se broj zrna monomineralnog kvarca, feldspata i litičnih fragmenata u svrhu određivanja udjela tih komponenti. U litične fragmente se ubrajao i polimineralni kvarc. Osim navedenih komponenata bitnih za klasifikaciju pješčenjaka, bilježio se broj opakih minerala, tinjaca, hornblende i klorita. Podatci dobiveni modalnom analizom mineralnog sastava na 6 mikroskopskih preparata prikazani su tablicom 6-1.

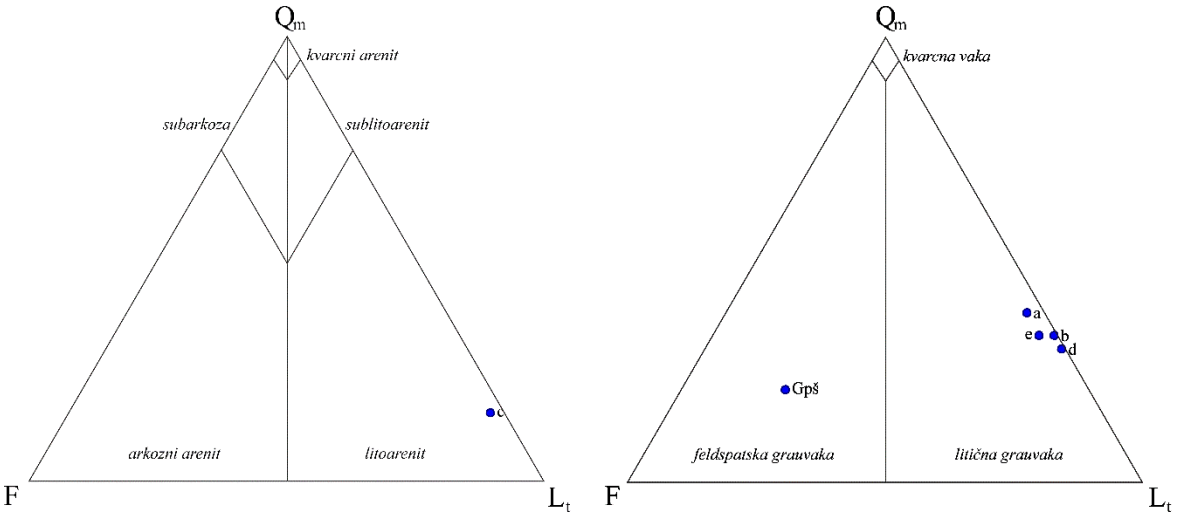
Tablica 6-1. Rezultati modalne analize mineralnog sastava

Oznaka uzorka	**Qm**		**F**		**Lt**		**suma (QmFLt)**	**Op**	**tinjci**	**Hb**	**klorit**	**suma (svih zrna)**
Gröden pš. ***locus typicus***	62	20,7%	177	59,0%	61	20,3%	300	9	∅	13	9	331
G-1	114	37,7%	10	3,3%	178	58,9%	302	3	14	∅	15	334
G-1 gröden	100	32,9%	2	0,7%	202	66,4%	304	7	26	∅	13	350
G-2	50	15,4%	8	2,5%	267	82,2%	325	∅	∅	∅	∅	325
G-2a	91	29,6%	2	0,7%	214	69,7%	307	17	1	∅	2	327
G-3	101	32,7%	11	3,6%	197	63,8%	309	12	16	∅	9	346

Tablica 6-1 prikazuje broj zrna pojedinih komponenti, broj ukupnih prebrojanih zrna te udjele komponenata bitnih za klasifikaciju pješčenjaka (prema PETTIJOHN et al., 1987).

6.2.1. Klasifikacijski trokomponentni dijagrami

Da bi klasificirali stijene podatci iz tablice su se uvrstili u trokomponentne dijagrame (Slika 6-9).



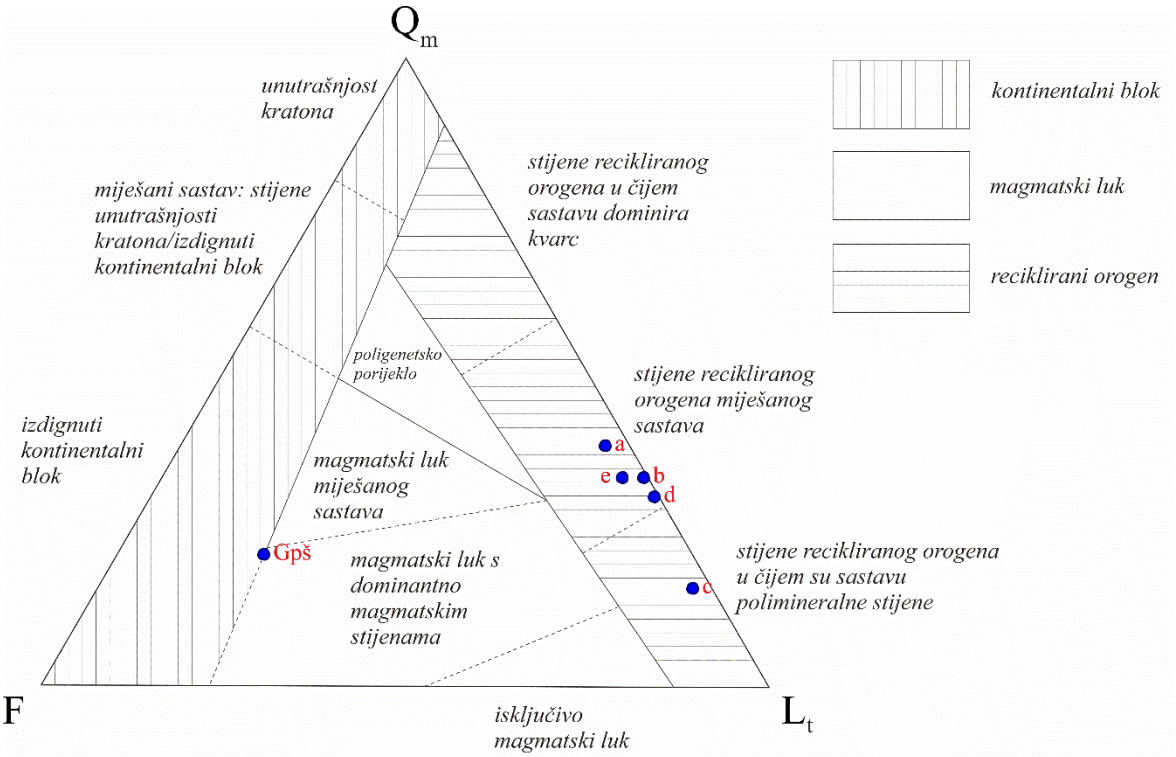
Slika 6-9. Klasifikacijski trokomponentni dijagrami. Lijevo je klasifikacijski dijagram za arenite (<15% matriksa), a desno je dijagram za vake (između 15% i 75% matriksa). Oznake: Gpš-Gröden pš. *locus typicus*, a-G-1, b-G-1 gröden, c-G-2, d-G-2a, e-G-3. Izmjenjeno prema PETTIJOHN (1987).

Trokomponentni dijagrami su izrađeni prema PETTIJOHN et al., (1987) dijagramima. Prikazuje međusobne odnose udjela monomineralnog kvarca, feldspata i litičnih fragmenata svih 6 uzoraka. Iščitavanjem iz dijagrama uzorci se klasificiraju kao sljedeći:

Gröden pš. *locus typicus* – **feldspatska grauvaka**,
G-1 – **litična grauvaka**,
G-1 gröden – **litična grauvaka**,
G-2 – **litoarenit** (**litični arenit**),
G-2a – **litična grauvaka**,
G-3 – **litična grauvaka**.

6.2.2. Provenijencijski trokomponentni dijagrami

U svrhu određivanja najvjerojatnijeg ishodišnog područja pojedinih uzoraka izrađen je diskriminantni trokomponentni dijagram (Slika 6-10a) izmjenjeno prema DICKINSON et al., (1983) i DICKINSON (1985) i provenijencijski trokomponentni dijagrami (Slika 6-11) izmjenjeni prema WELTJE (2006).



Slika 6-10. Provenijencijski trokomponentni dijagram Q_mFL_t izmjenjen prema DICKINSON et al., (1983) i DICKINSON (1985). Oznake: Gpš-Gröden pš. *locus typicus*, a-G-1, b-G-1 gröden, c-G-2, d-G-2a, e-G-3.

Provenijencijski trokomponentni dijagram Q_mFL_t (Slika 6-10) prikazuje međusobni odnos postotnih udjela monomineralnog kvarca, feldspata i litičnih fragmenata pojedinih analiziranih uzoraka. Dijagram je podijeljen na tri globalna provenijencijska područja – kontinentalni blok, magmatski luk i reciklirani orogen, a svako glavno područje je podijeljeno na tri različita podpodručja kao što je vidljivo na slici 6-10. Iz dijagrama se može iščitati da su najvjerojatnija izvorišna područja analiziranih uzoraka sljedeća:

Gröden pš. *locus typicus* – **izdignuti kontinentalni blok**,

G-1 – **stijene recikliranog orogena miješanog sastava**,

G-1 gröden – **stijene recikliranog orogena miješanog sastava**,

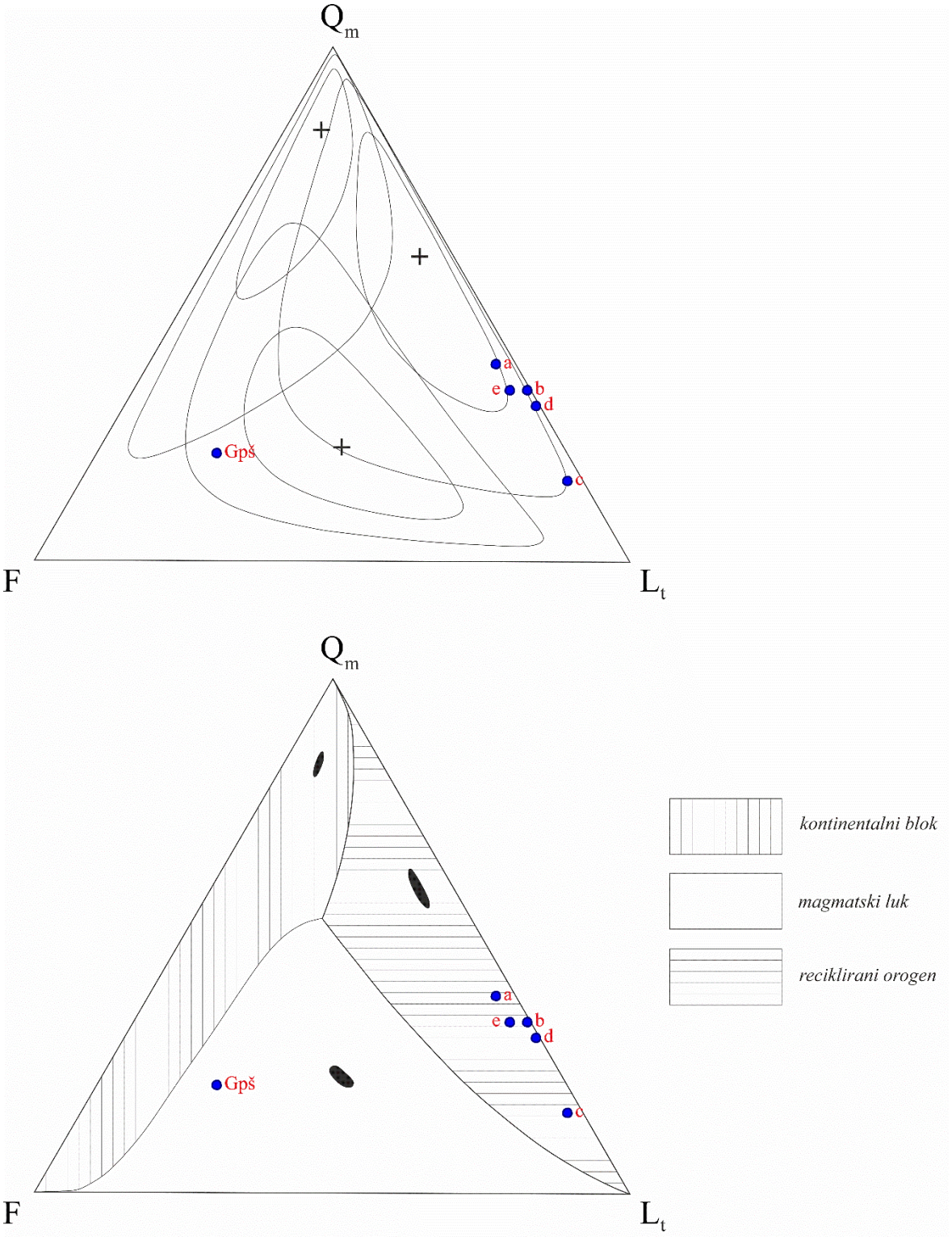
G-2 – **stijene recikliranog orogena u čijem su sastavu polimineralne stijene**,

G-2a – **stijene recikliranog orogena miješanog sastava**,

G-3 – **stijene recikliranog orogena miješanog sastava**.

Porijeklo materijala uzoraka s lokaliteta Pikovački potok najvećim dijelom odgovara stijenama recikliranog orogena miješanog sastava što ove uzorke čini bitno različitima od uzorka Gröden pš. *locus typicus*. Iz dijagrama prema DICKINSONU et al., (1983) i DICKINSONU (1985) može se iščitati da uzorak potonjeg pokazuje porijeklo materijala iz izdignutog kontinentalnog bloka.

Jedan od nedostataka Dickinsonovog modela je nedovoljno točno određivanje i interpretacija ishodišnog područja ukoliko točka oznake uzorka pada na granicu provenijencijskih područja (WELTJE, 2002 i 2006). Obzirom na taj nedostatak izrađeni su dijagrami (Slika 6-11) izmjenjeni prema WELTJE (2006).



Slika 6-11. Provenijencijski trokomponentni dijagrami Q_mFL_t izmjenjeni prema WELTJE (2006). Oznake: Gpš-Gröden pš. *locus typicus*, a-G-1, b-G-1 gröden, c-G-2, d-G-2a, e-G-3.

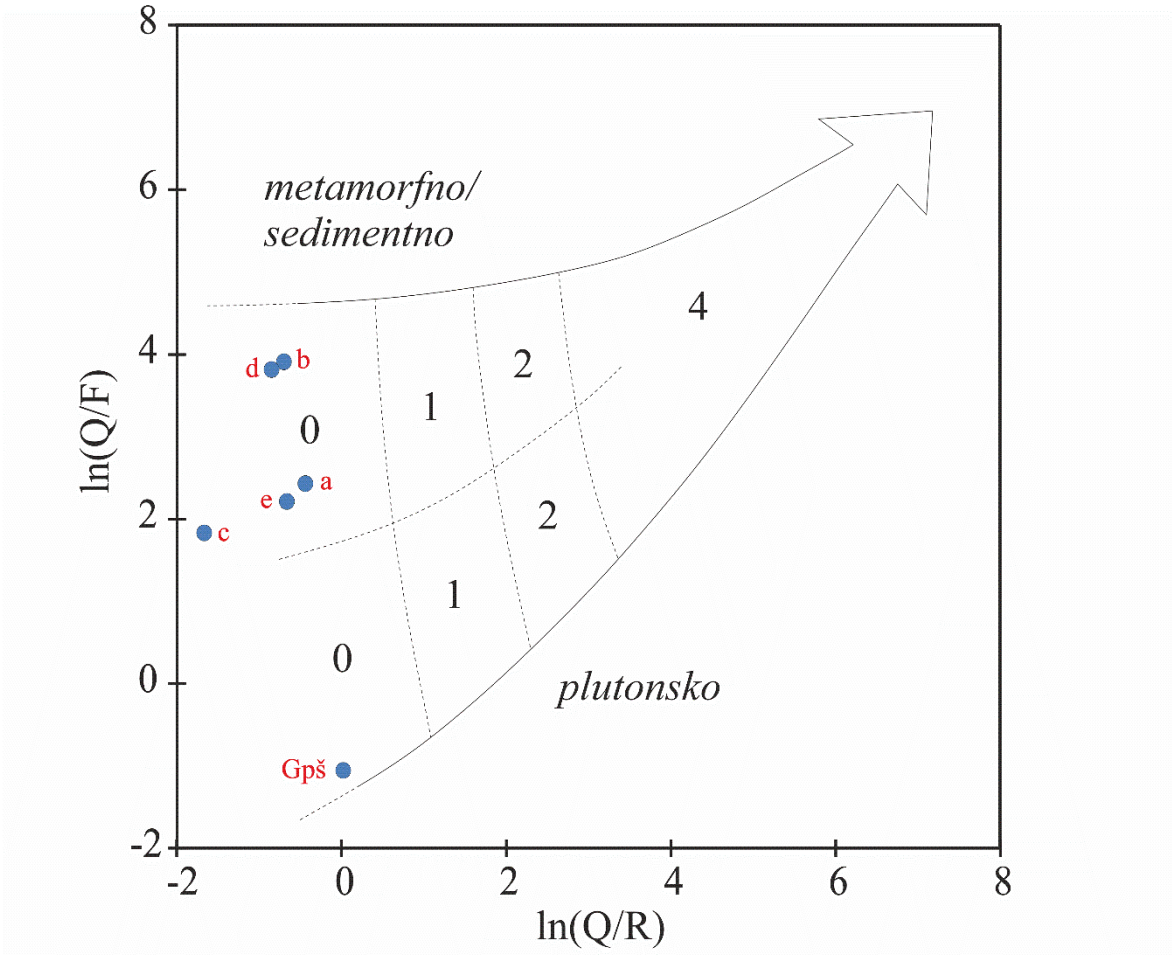
Provenijencijski trokomponentni dijagrami (Slika 6-11) izrađeni su prema WELTJE (2002). Dijagrami prikazuju područja vjerojatnosti za globalna provenijencijska područja. Gornji dijagram prikazuje područja vjerojatnosti u vrijednosti od 50% i 90%, a donji

dijagram granice područja vjerojatnosti i područja 99%-tne vjerojatnosti. Ako točka oznake uzorka pada na granice područja vjerojatnosti provenijencijskih područja, WELTJE (2006) smatra da u tom slučaju možemo zaključiti da je uzorak deriviran iz određenog izvorišnog područja s 50%-tnom vjerojatnošću.

Iščitavanjem iz provenijencijskih trokomponentnih dijagrama (Slika 6-11) dobiveni su sljedeći rezultati: Uzorci G-1 i G-3 pripadaju s 90%-tnom vjerojatnošću izvorišnom području **reciklirani orogen**, a uzorci G-1 gröden, G-2 i G-2a s 50%-tnom vjerojatnošću. Uzorak Gröden pš. *locus typicus* pripada izvorišnom području **magmatski luk** s vjerojatnošću od 60% – 70%.

6.2.3. Dijagram indeksa trošenja

U svrhu određivanja indeksa trošenja, i shodno tome određivanje tipa klime (precipitacije), fiziografije (reljefa) i porijekla materijala izrađen je dijagram indeksa trošenja izmjenjen prema WELTJE (1994) i WELTJE et al., (1998) – Slika 6-12.



semi-kvantitativni indeks trošenja		fiziografija (reljef) visoka (planine) 0	srednja (brda) 1	niska (nizine) 2
klima (precipitacija) (semi) aridna mediteranska	0	0	0	0
srednje-temperaturna djelomično humidna	1	0	1	2
tropska humidna	2	0	2	4

Slika 6-12. Dijagram indeksa trošenja. Oznake: Gpš-Gröden pš. *locus typicus*, a-G-1, b-G-1 gröden, c-G-2, d-G-2a, e-G-3. Izmjenjeno prema WELTJE (1994) i WELTJE et al., (1998).

Dijagram indeksa trošenja (Slika 6-12) prikazuje izračunati prirodni logaritam omjera udjela kvarca i feldspata (te se vrijednosti unose na os ordinate dijagrama) i prirodni logaritam omjera udjela kvarca i litičnih fragmenata (vrijednosti se unose na os apscise navedenog dijagrama). Empirijski je podijeljen na 2 područja ovisno o tipu stijena prema postanku (metamorfne/sedimentne i magmatske). Također je podijeljen na 4 područja ovisno o klimi i reljefu. Iščitavanjem ovog dijagrama dobiveni su sljedeći podatci:

Točke koje označavaju uzorke G-1, G-1 gröden, G-2, G-2a i G-3 prikupljene u Pikovačkom potoku (Slika 6-12) grupirane su u gornjem (metamorfno/sedimentnom) dijelu dijagrama u području označenim brojem 0. Točka koja predstavlja uzorak Gröden pš. *locus typicus* projicira se u područje označeno brojem 0 donjeg dijela grafa.

6.3. Modalna analiza teške mineralne frakcije

Modalna analiza teške mineralne frakcije načinjena je na 4 od ukupno 6 uzoraka, odnosno, na 4 rasuta mikroskopska preparata uzoraka Gröden pš. *locus typicus*, G-1 gröden, G-2a i G-3. Analiza preparata G-1 i G-2 nije bila moguća zbog nedovoljnog broja zrna teške mineralne frakcije. Rezultati analize u obliku postotnih udijela mineralnih zrna prikazani su tablicom 6-2 i grafički trakastim dijagramom (Slika 6-26).

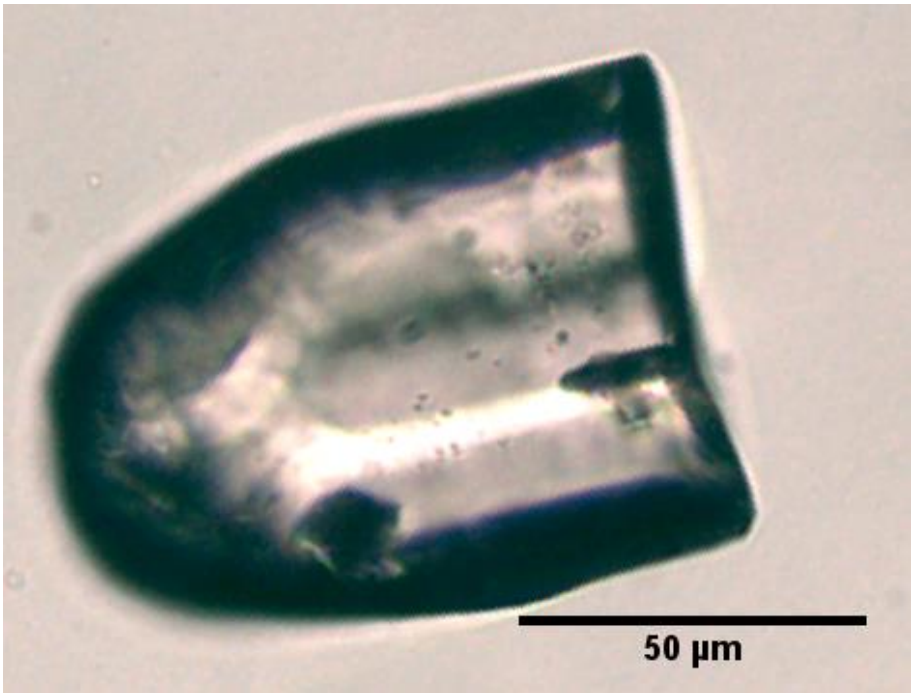
6.3.1. Opisi čestih minerala teške mineralne frakcije

U sljedećim potpoglavljima biti će opisana uočena optička svojstva samo onih minerala koji se u većem udjelu pojavljuju u sastavu teške mineralne frakcije analiziranih uzoraka.

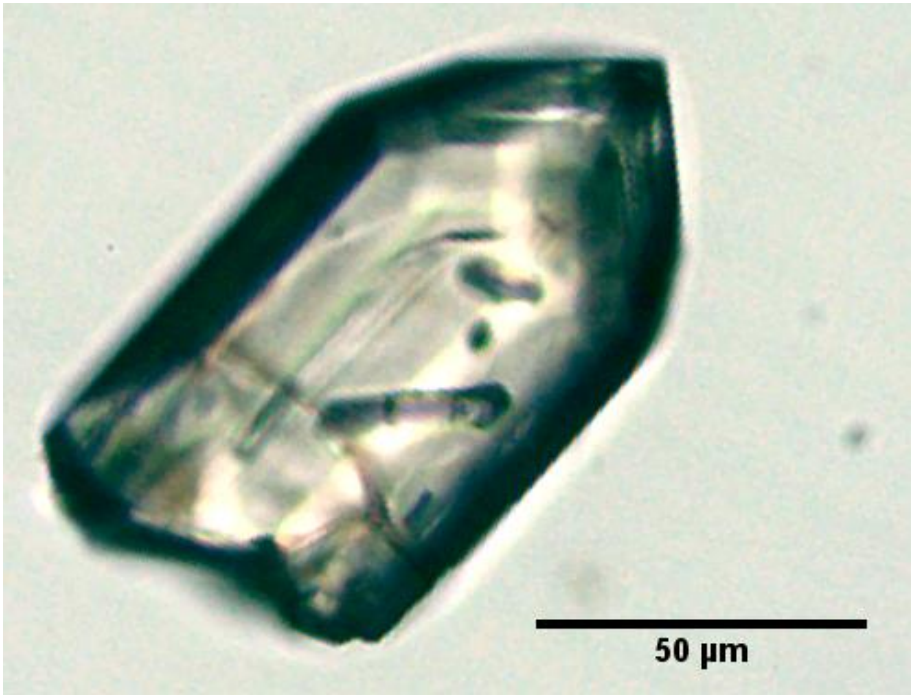
6.3.1.1. Cirkon

Zrna cirkona mogu se raspoznati kao bezbojna zaobljena (Slika 6-13) i nezaobljena (Slika 6-14, 6-15) zrna visokog reljefa i visoke interferencijske boje (Slika 6-17). Potamnjenje je paralelno, a habitus izometričan i prizmatičan. U preparatima G-2a i Gröden pš. *locus typicus* česta su zrna s izraženim terminalnim plohama – prizmatskim (Slika 6-17) i bipiramidalnim (Slika 6-14), dok su u uzorku G-3 terminalne plohe slabo vidljive. Cirkoni zonalne građe najčešće su uočeni u uzorku Gröden pš. *locus typicus* (Slika 6-15, 6-16). Krhotine cirkona najčešće su u uzorku G-2a prepoznate po slabom stupnju zaobljavanja (Slika 6-13, 6-14). Uklopci u zrnima cirkona jasno su vidljivi u njihovim središtima (Slika 6-16). Postotni udio cirkona je najviši u preparatu G-2a (56%), manje ga ima u G-3 (36%) dok je najmanje i

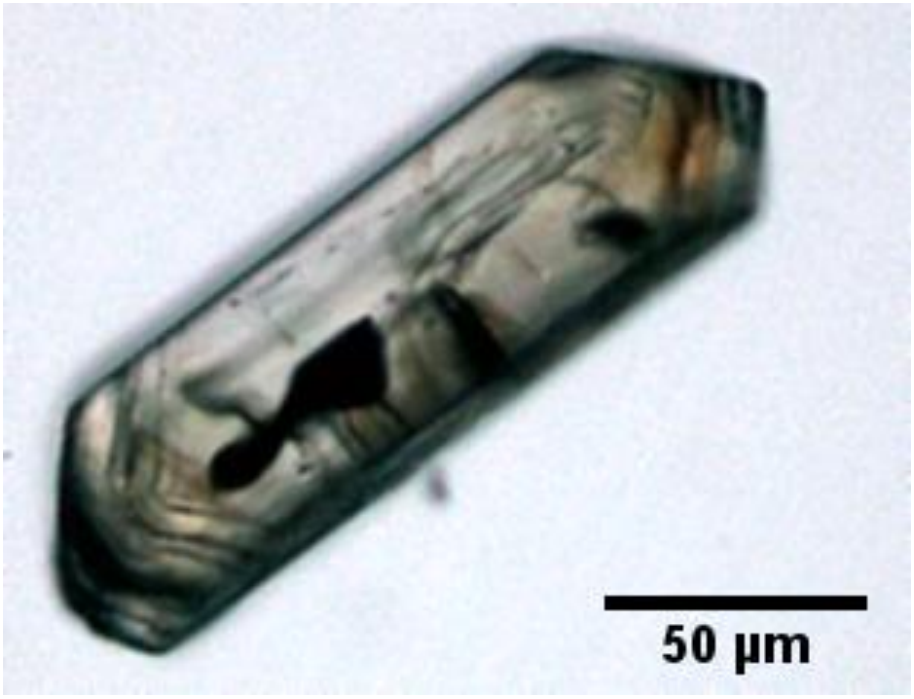
podjednako zastupljen u odnosu na ostala zrna u preparatim Gröden pš. *locus typicus* (15%) i G-1 gröden (13%).



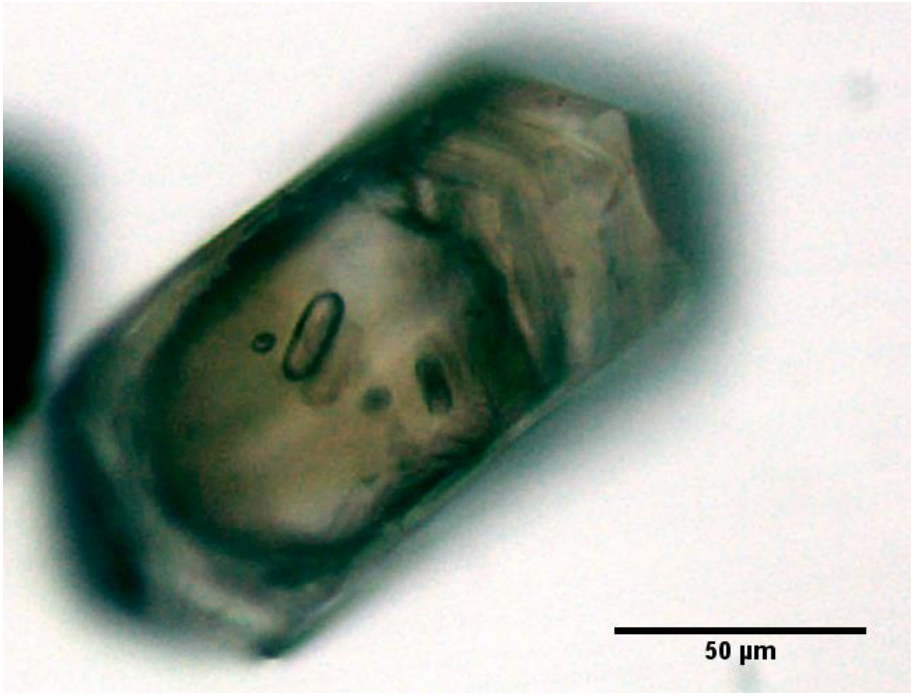
Slika 6-13. Zaobljeni cirkon, uzorak G-3.



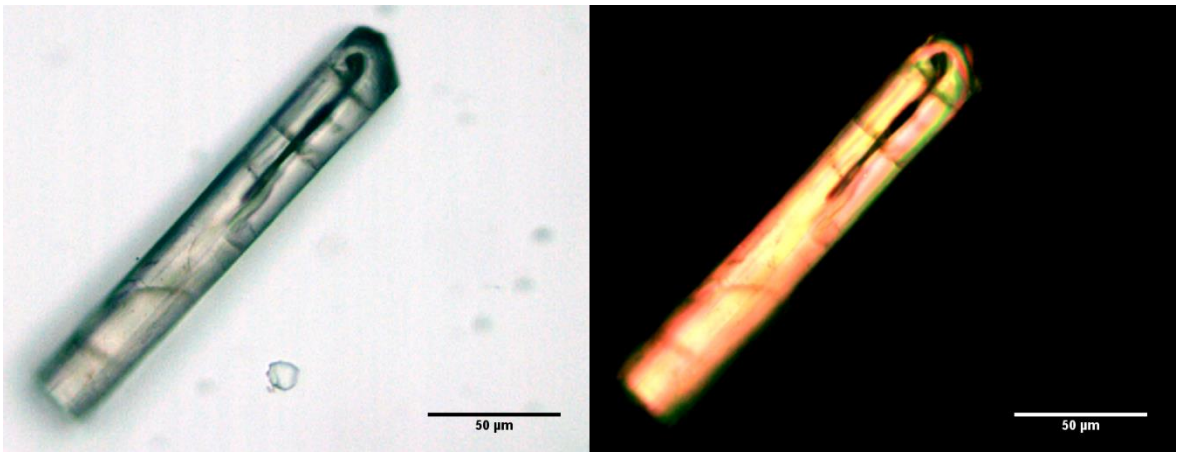
Slika 6-14. Cirkon, uzorak G-3.



Slika 6-15. Nezaobljeni zonalni cirkon, uzorak Gröden pš. *locus typicus*.



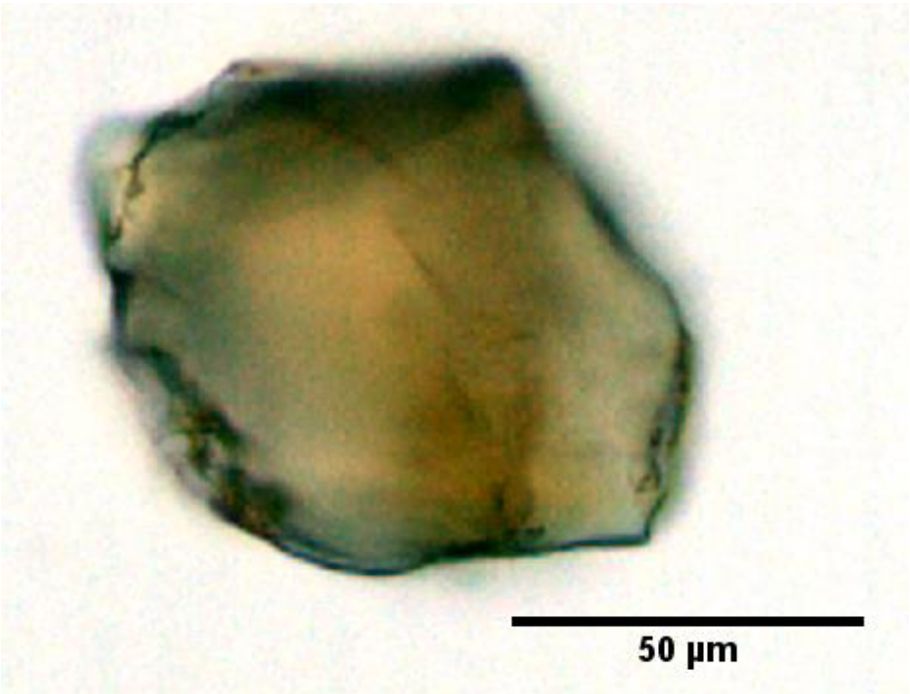
Slika 6-16. Nezaobljeni cirkon u kojem su vidljive inkluzije u središtu zrna, uzorak Gröden pš. *locus typicus*.



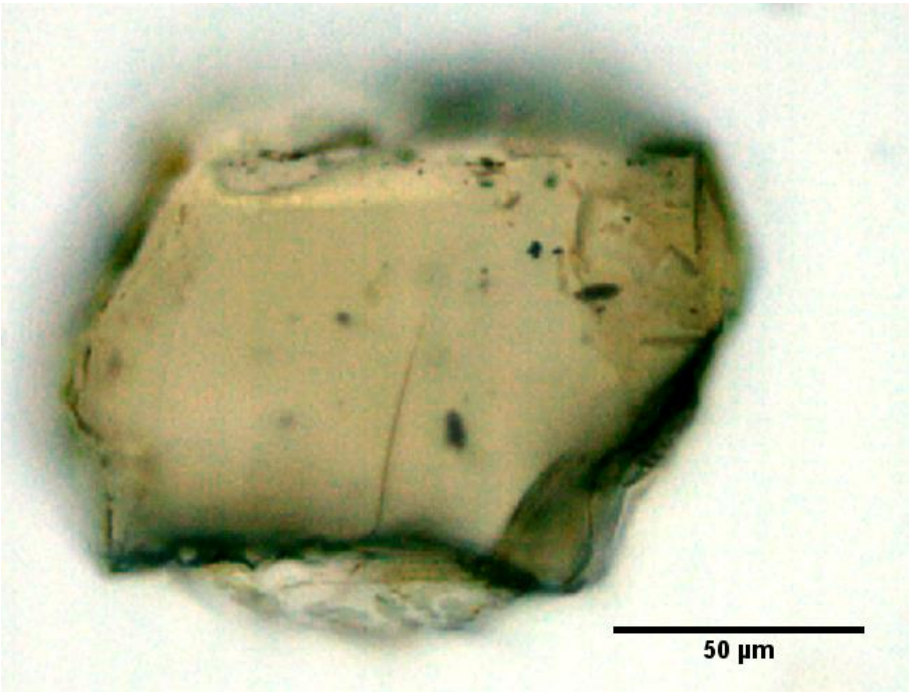
Slika 6-17. Cirkon dugoprizmatskog habitusa, uzorak Gröden pš. *locus typicus*. Desno je fotografija s uključenim analizatorom, a lijevo bez. Mjerilo je duljine 50 µm.

6.3.1.2. Turmalin

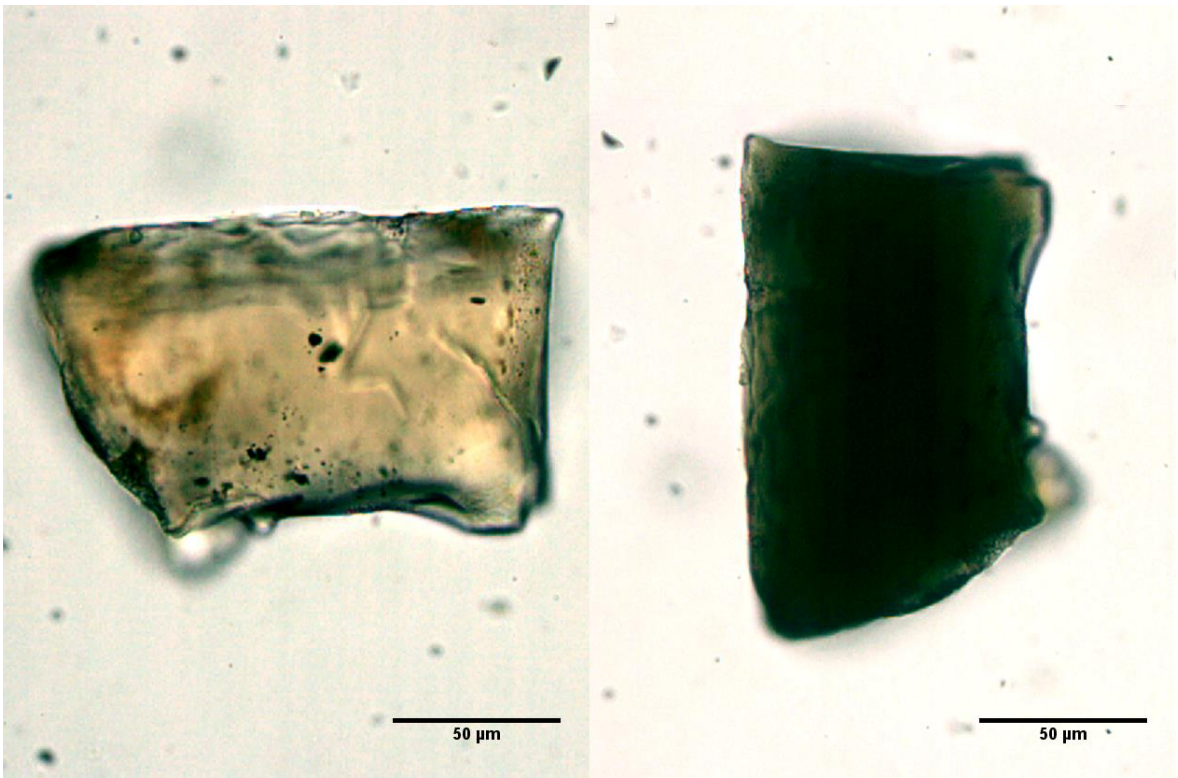
Turmalini se u preparatima nalaze kao zaobljena zrna i vrlo često izometričnog su habitusa (Slika 6-19). Izometrična zrna su atipična za inače izdužene turmaline, a zaobljena zrna najčešća su u preparatu G-3 (Slika 6-18). Zrna imaju paralelno potamnjenje i izražen pleokroizam od svijetlo zelene do tamno zelene boje (Slika 6-20). Najviša zastupljenost turmalina je u preparatu G-2a (20%), dok je u ostalim preparatima manja od 10%. U preparatu Gröden pš. *locus typicus* nije uočen.



Slika 6-18. Turmalin, uzorak G-3. Izometrično, zaobljeno zrno.



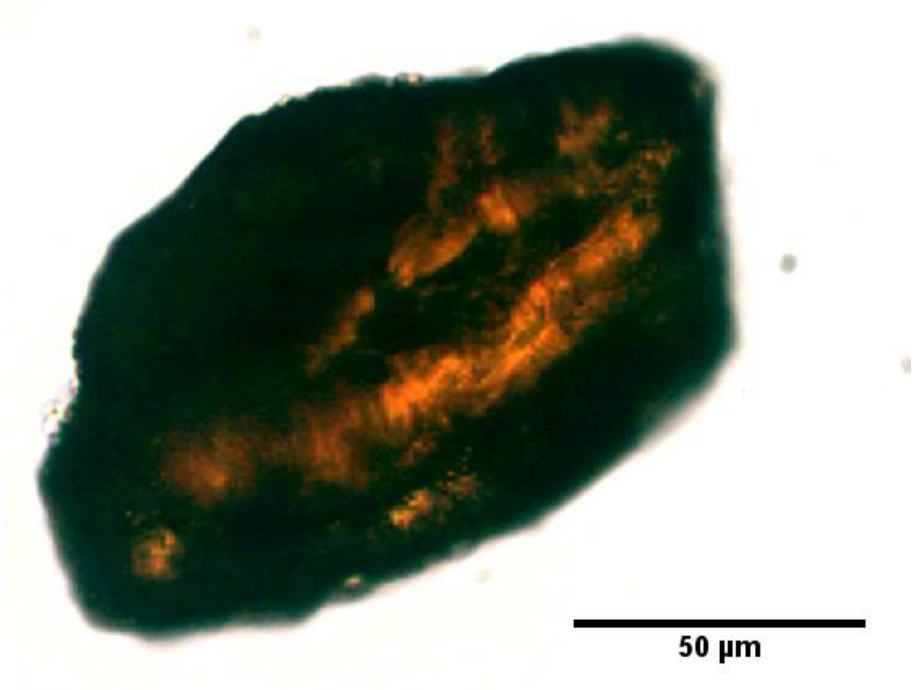
Slika 6-19. Turmalin, uzorak G-2a, a. Izometrično, djelomično zaobljeno zrno.



Slika 6-20. Turmalin, uzorak G-2a, b. Zrno turmalina u dva različita položaja s najjačim pleokroizmom. Mjerilo je duljine 50 µm.

6.3.1.3. Rutil

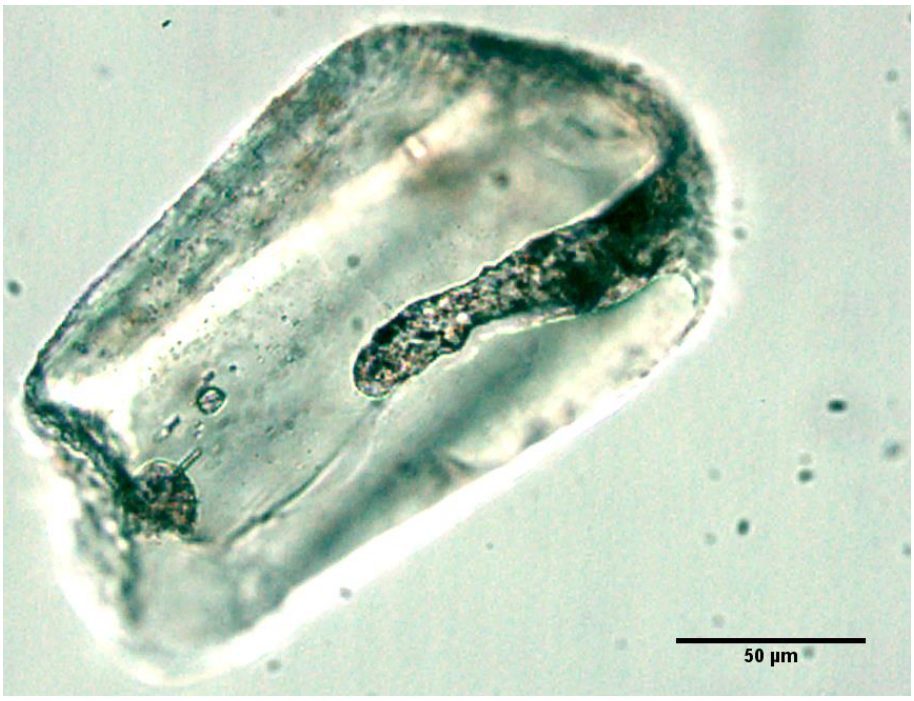
Zrna rutila karakteristične su smeđe boje (Slika 6-21), a pleokroizma gotovo da i nemaju. Interferencijska boja je prekrivena vlastitom. U zrnima se često uočava paralelno prutanje što je najvjerojatnije odlika izdvajanja titanovih minerala. Udio rutila u preparatu G-3 je najviši (18%), u G-2a je 6%, a u ostalim preparatima nije uočen.



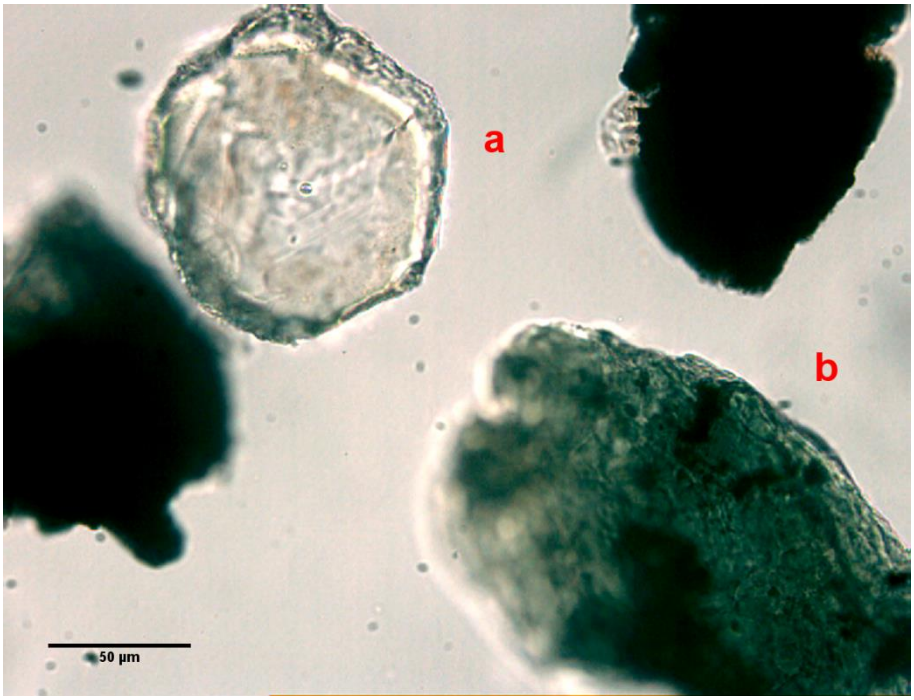
Slika 6-21. Zaobljeno zrno rutila, uzorak G-3.

6.3.1.4. Apatit

Zrna apatita u preparatima su podjednako zaobljena i nezaobljena, a habitus im se kreće od izometričnog (Slika 6-23a) do prizmatičnog oblika (Slika 6-22). Bezbojna su i niskog do srednjeg reljefa. Interferencijske boje zrna se kreću od sive do žute boje I. reda. Optički karakter izduženja apatita je negativan, po čemu je bilo moguće razlikovati ga od distena. Udio apatita je podjednak u svim preparatima. Najviše ga ima u Gröden pš. *locus typicus* (14%). U preparatu G-1 gröden ga ima 6%, u G-3 7%, a u G-2a najmanje – 2%.



Slika 6-22. Apatit, uzorak Gröden pš. *locus typicus*. Prizmatično zrno, djelomično zaobljeno.



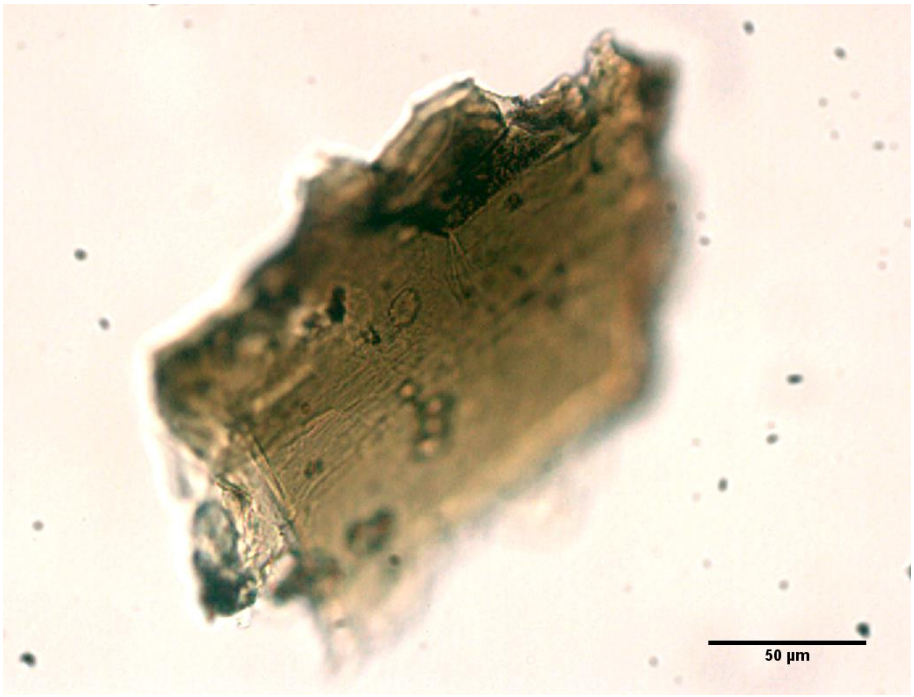
Slika 6-23. Apatit i klorit, uzorak Gröden pš. *locus typicus*. Oznake: a-izometrično zrno apatita, visokog stupnja zaobljenosti i sfericiteta, b-zrno klorita.

6.3.1.5. Disten

Zrna distena su prozirna i imaju blago zelenu boju i slab pleokroizam u zelenim tonovima što je neobično za disten. Atipično za zrna distena je i njihov kratko-prizmatičan habitus. Disten u preparatima vrlo često ima pravilne i gotovo pravokutne uglove. Niskih je interferencijskih boja, siva i žuta I. reda. Vrlo je sličan apatitu, a raspoznat je pomoću konoskopa s kojim se prepoznaje kao dvoosni mineral koji ima pozitivan optički karakter izduženja. Prisutan je samo u uzorcima G-1 gröden (9%) i G-3 (5%).

6.3.1.6. Biotit

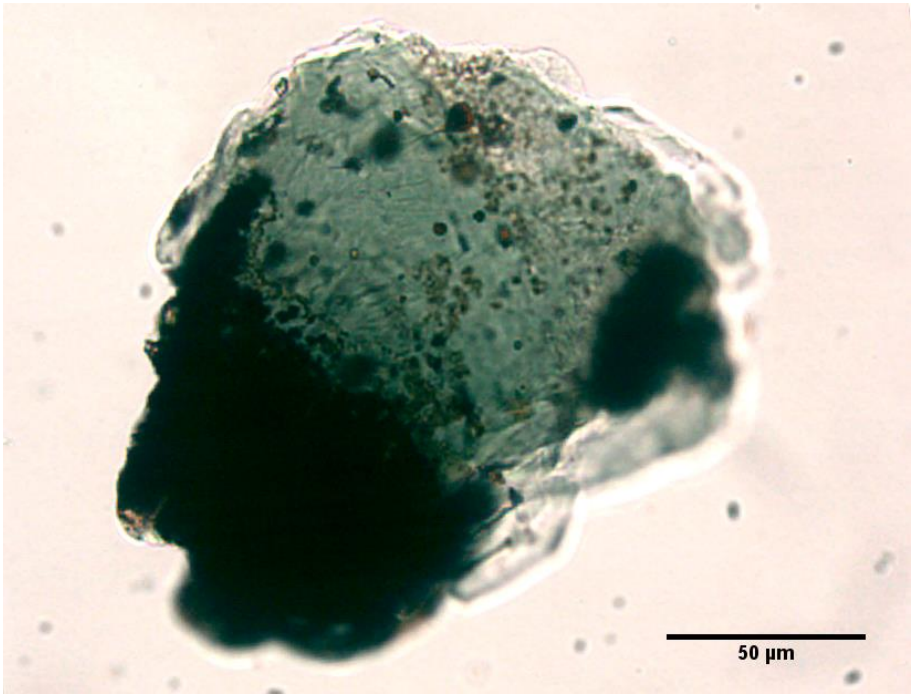
Biotit je prisutan u preparatima kao smeđi mineral listićastog habitusa (Slika 6-24). Zrna su djelomično zaobljena i rijetka. S obzirom na položaj koji je gotovo okomit na optičku os ne vidi se jasan pleokroizam. Udio biotita u preparatima je nizak, a prisutan je samo u Gröden pš. *locus typicus* (8%) i G-2a (8%).



Slika 6-24. Biotit, uzorak Gröden pš. *locus typicus*.

6.3.1.7. Klorit

Klorit je prepoznat po lističastom habitusu, vrlo slabom pleokroizmu i karakterističnim nijansama zelene boje (Slika 6-23b). Zrna su gotovo izometrična, a položaj u preparatu je paralelan baznom pinakoidu (Slika 6-25). Postotni je udio klorita u preparatima Gröden pš. *locus typicus* (50%) i G-1 gröden (59%) visok. Udio u preparatu G-3 je nizak (11%), a u preparatu G-2a klorit nije uočen.



Slika 6-25. Klorit, uzorak Gröden pš. *locus typicus*.

6.3.2. Prikaz rezultata modalne analize teške mineralne frakcije

Tablica 6-2. Rezultati modalne analize teške mineralne frakcije.

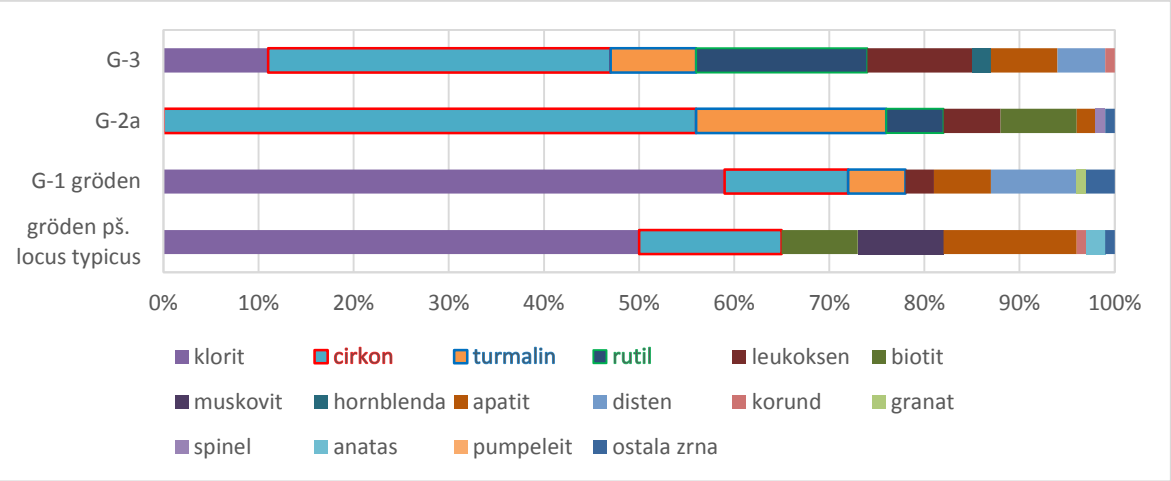
Oznaka uzorka	Lokalitet	Starost	Ukupni sastav teške frakcije - % na ~300 zrna		
			limonitizirana zrna	opaka zrna	prozirna zrna
Gröden pš. ***locus typicus***	Val Gardena (Gröden)	P_2	86%	3%	11%
G-1 gröden	Pikovački p.	P_2	96%	+	4%
G-2a	Pikovački p.	P_2	90%	9%	2%
G-3	Pikovački p.	P_2	87%	8%	5%

Oznaka uzorka	Sastav prozirnih teških minerala - % na ~150 prozirnih zrna														
	klorit	cirkon	turmalin	rutil	leukoksen	biotit	muskovit	hornblenda	apatit	disten	korund	granat	spinel	anatas	pumpeleit	ostala zrna
Gröden pš. ***locus typicus***	50%	15%	0%	0%	0%	8%	9%	0%	14%	0%	1%	0%	0%	2%	+	1%
G-1 gröden	59%	13%	6%	0%	3%	0%	0%	0%	6%	9%	0%	1%	0%	0%	0%	3%
G-2a	0%	56%	20%	6%	6%	8%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%
G-3	11%	36%	9%	18%	11%	0%	0%	2%	7%	5%	1%	+	0%	0%	0%	0%

Tablica 6-2 prikazuje udio mineralnih zrna teške mineralne frakcije izražen u postotcima za svaki analizirani uzorak zasebno. Rezultati predočeni tablicom 6-2 okvirno se mogu podijeliti u dvije grupe – ukupni sastav teške frakcije i sastav prozirnih teških minerala. Ukupni sastav čine limonitizirana zrna, opaka zrna i prozirna zrna koja su izražena postotnim udjelom na približno 300 zrna zasebno za svaki analizirani uzorak. Među njima dominiraju tzv. limonitizirana zrna koja predstavljaju minerale prekrivene tankim filmom Fe-oksida.

Sastav prozirnih teških minerala čine prozirna zrna koja su izražena postotnim udjelom na približno 150 prozirnih zrna zasebno za svaki analizirani uzorak.

Rezultati modalne analize teške mineralne frakcije grafički su prikazani trakastim dijagramom (Slika 6-26).



Slika 6-26. Grafički prikaz rezultata modalne analize teške mineralne frakcije.

U trakastom dijagramu su u bojama prikazani postotni udijeli pojedinih mineralnih zrna u pojedinim preparatima uzoraka. Svakoj mineralnoj fazi je dodijeljena drugačija boja na temelju čega je olakšano međusobno uspoređivanje uzoraka.

7. Rasprava

U diplomskom radu analiziran je petrografski sastav gredenskih pješčenjaka (srednji perm) i to 5 uzoraka iz doline Pikovačkog potoka (okolica Brušana, Velebit) te jedan uzorak pješčenjaka s tipskog lokaliteta Gröden u Dolomita (Italija). Načinjena je usporedba sastava pješčenjaka s oba lokaliteta te interpretacija porijekla materijala, indeksa trošenja, klime i reljefa u vrijeme taloženja.

O porijeklu i taložnom okolišu gredenskih pješčenjaka s područja Pikovačkog potoka vrlo se malo zna. Navedeni su podatci o glavnim i sporednim mineralnim komponentama u SOKAČ et al., (1967b), ali se gotovo ništa ne zna o njihovom taložnom okolišu. Suprotno tome opće je poznato da gredenski pješčenjaci s tipskog lokaliteta u Dolomitima predstavljaju rječne taloge. Sličnih su karakteristika i gredenski pješčenjaci u Sloveniji (SKABERNE, 1995). Smatra se da je za gredenske pješčenjake, općenito, karakteristično vrijeme taloženja – srednji perm, te izrazita crvena boja i obilje čestica feldspata u sastavu (arkoze) što odražava uvjete taloženja u aridnoj klimi.

Razmatrajući sastav analiziranih uzoraka, četiri uzorka iz Pikovačkog potoka determinirani su kao litične grauvake, jedan kao gusto pakirani litični arenit dok je uzorak Gröden pš. *locus typicus* determiniran kao feldspatska grauvaka. Činjenica da se radi o grauvakama koje sadrže obilje glinovito-sericitno-kvarcnog matriksa ukazuje da se vjerojatno ne radi o rječnom sedimentu gdje je matriks obično ispran tijekom dugotrajnog transporta, već o kraćem transportu odnosno o taloženju u blizini izvorišnog područja odakle je materijal deriviran.

Analiza modalnog sastava pri čemu se u slučaju uzoraka iz Pikovačkog potoka radi o litičnim grauvakama/arenitu svjedoči o nezrelim pješčenjacima što također ukazuje na neposrednu blizinu izvorišnog područja i moguće taloženje u sustavu graba (riftnih dolina) u taložnom okolišu lepezne delte ili delte prepletenog rječnog sustava.

Projekcija analiziranog sastava uzoraka iz Pikovačkog potoka ukazuje prema DICKINSON et al., (1983) da je sastav četiri uzorka projiciran u područje recikliranog orogena (podpodručje: stijene recikliranog orogena miješanog sastava) i jedan u područje recikliranog orogena (podpodručje: stijene recikliranog orogena u čijem su sastavu polimineralne stijene) – Slika 6-10. Prema izmjenjenom dijagramu izvorišnog područja prema WELTJE (2006) – Slika 6-11, sastav se projicira u isto područje s velikom vjerojatnošću (60-70% – uzorci G-1 i G-3) te s nešto manjom vjerojatnošću (50% – uzorci G-1 gröden, G-2 i G-2a).

Ovakvu interpretaciju izvorišnog područja (provenijencije) može potkrijepiti i sastav teške mineralne frakcije u kojem dominiraju stabilna zrna – cirkon, turmalin i rutil. Štoviše, uglavnom zaobljena zrna cirkona, turmalina i rutila ukazuju na višekratno pretaloživanje odnosno na porijeklo iz pretaloženih sedimentnih stijena što je sukladno projekciji sastava u područje recikliranog orogena. Prisustvo distena i klorita u sastavu teške mineralne frakcije sugerira porijeklo iz metamorfnih stijena što je također sukladno projekciji u područje recikliranog orogena. Za apatit se smatra da potječe iz primarnog područja izgrađenog (barem djelomično) od magmatskih stijena. Magmatske stijene također se nalaze u sastavu recikliranog orogena, odnosno, u kompleksu tektonski aktivnog izdignutog područja. Stoga je pretpostavka o taloženju gredenskih pješčenjaka Pikovačkog potoka sukladna pretpostavci o taloženju u okolišu lepeznih delti ili delti prepletenih rječnih sustava jer razvoju upravo tih okoliša pogoduje prisustvo tektonski aktivnog zaleđa.

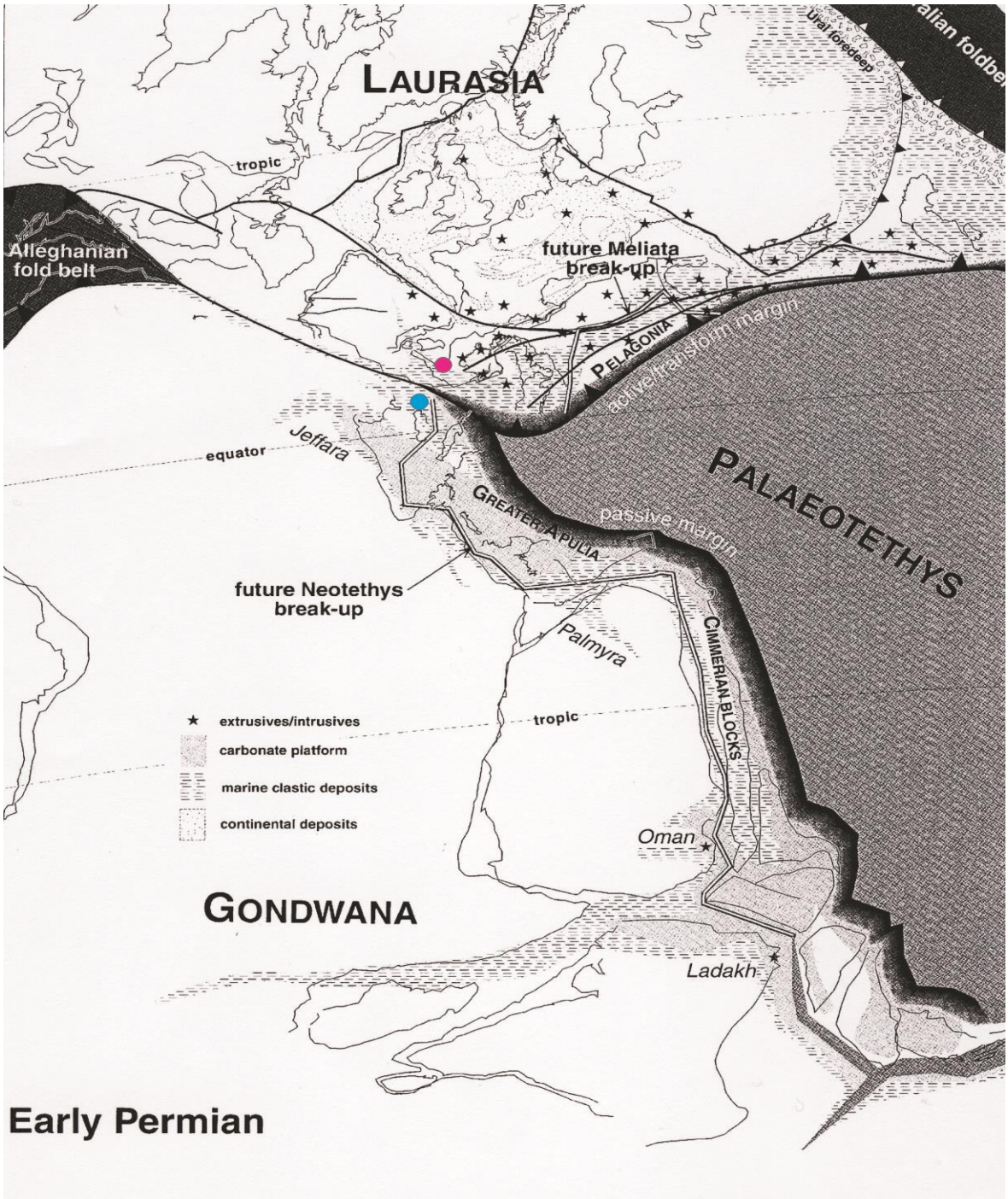
Suprotno tome, sastav uzorka Gröden pš. *locus typicus* projicira se u područje na granicu izdignutog kontinentalnog bloka i magmatskog luka s dominantno magmatskim stijenama (prema DICKINSON et al., 1985). To govori da je materijal, moguće, bio deriviran s izdignutog Variscijskog gorja, ali da su se u blizini nalazila i izvorišta magmatskih stijena.

Obzirom na navedeno, načinjena je pretpostavka o paleopoložaju uzoraka gredenskih pješčenjaka Pikovačkog potoka i pješčenjaka Gröden pš. *locus typicus* (paleorekonstrukcija prema ZIEGLER & STAMPFLI, 2001) – Slika 7-1.

Svi su analizirani uzorci crvene boje, a u sastavu teške mineralne frakcije prisutan je relativno visoki postotak tzv. limonitiziranih zrna odnosno zrna koja imaju po sebi prevlake Fe-oksida. Ovaj podatak generalno ukazuje na aridnu klimu u vrijeme taloženja. Na istu vrstu klime ukazuje i projekcija sastava prema dijagramu indeksa trošenja WELTJE (1994) te WELTJE et al., (1998) – Slika 6-12. Projekcije sastava upućuju na aridnu/semiaridnu klimu i visok reljef izvorišnog područja u kojem dominiraju metamorfne ili sedimentne stijene za sve uzorke Pikovačkog potoka te na aridnu/semiaridnu klimu visokog reljefa, ali plutonskog izvorišnog područja za uzorak Gröden pš. *locus typicus*. Ovo ukazuje na jednake klimatske i reljefne karakteristike, ali bitno drugačiji tip stijena u izvorišnom području. *Locus typicus* gredenskih pješčenjaka za izvorište je imao magmatske stijene.

Ovaj je podatak u skladu s analizama teške frakcije koja se razlikuje po tome što se u uzorku Gröden pš. *locus typicus* uglavnom nalaze nezaobljeni, zonalni cirkoni što ih razlikuje od gredenskih pješčenjaka iz Pikovačkog potoka.

Materijal za nastanak pješčenjaka Pikovačkog potoka deriviran je iz visokog izdignutog gorja građenog od metamorfnih ili sedimentnih stijena dok je na tipskom lokalitetu materijal gredenskih pješčenjaka deriviran iz magmatskih stijena (nezaobljeni cirkoni) koje su se nalazile u neposrednoj blizini taloženja. Prema ovim podatcima izvorišna područja za nastanak gredenskih pješčenjaka iz Pikovačkog potoka i tipičnih gredenskih pješčenjaka bila su bitno različita, no klimatski uvjeti na oba područja bili su isti.



Slika 7-1. Paleorekonstrukcija prema ZIEGLER & STAMPFLI (2001). Pretpostavljeni položaj lokaliteta Gröden *locus typicus* označen je crvenim krugom, a lokaliteta Pikovački potok plavim krugom.

8. Zaključak

U diplomskom radu analiziran je petrografski sastav 6 uzoraka gredenskih pješčenjaka (srednji perm) od kojih je 5 iz doline Pikovačkog potoka (okolica Brušana, Velebit) te jedan uzorak pješčenjaka s tipskog lokaliteta Gröden u Dolomitima (Italija). Na osnovi sastava pješčenjaka oba lokaliteta (mikropetrografska analiza, modalna analiza sastava te analiza sastava teške mineralne frakcije) bilo je moguće interpretirati porijekla materijala, indekse trošenja, uvjete klime i reljefa u vrijeme taloženja za ova dva lokaliteta.

Četiri uzorka iz Pikovačkog potoka determinirani su kao litične grauvake, jedan kao gusto pakirani litični arenit dok uzorak Gröden pš. *locus typicus* predstavlja feldspatsku grauvaku. Litične grauvake/arenit iz Pikovačkog potoka svjedoče o nezrelim pješčenjacima koji ukazuju na blizinu izvorišnog područja i vjerojatno aktivnu tektoniku. Projekcija sastava u provenijencijske dijagrame ukazuje da je materijal bio deriviran iz područja recikliranog orogena (podpodručje stijene recikliranog orogena miješanog sastava i podpodručje stijene recikliranog orogena u čijem su sastavu polimineralne stijene).

Sastav teške mineralne frakcije u kojem dominiraju stabilna zrna – cirkon, turmalin i rutil, pri čemu su zrna zaobljena ukazuju na višekratno pretaloživanje, odnosno na porijeklo iz pretaloženih sedimentnih stijena. Prisustvo distena i klorita u sastavu teške mineralne frakcije sugerira porijeklo iz metamorfnih stijena što je također sukladno projekciji u područje recikliranog orogena. Stoga se pretpostavlja taloženje gredenskih pješčenjaka Pikovačkog potoka u okolišu lepezne delte ili delte prepletenog rječnog sustava unutar riftnog tektonskog sklopa.

Sastav uzorka Gröden pš. *locus typicus* projicira se u područje na granicu izdignutog kontinentalnog bloka (sustav riftnih dolina) i magmatskog luka s dominantno magmatskim stijenama što ukazuje da su se u blizini nalazila i moguća izvorišta magmatskih stijena.

Crvena boja svih analiziranih uzoraka kao i relativno veliki postotak tzv. limonitiziranih zrna, odnosno zrna koja imaju po sebi prevlake Fe-oksida, u sastavu teške mineralne frakcije ukazuju na aridnu klimu u vrijeme taloženja. Projekcije sastava prema dijagramu indeksa trošenja upućuju na aridnu/semiaridnu klimu i visok reljef izvorišnog područja u kojem dominiraju metamorfne ili sedimentne stijene za sve uzorke Pikovačkog potoka te na aridnu/semiaridnu klimu visokog reljefa, ali plutonskog izvorišnog područja za uzorak Gröden pš. *locus typicus*. Ovaj je podatak u skladu s analizama teške frakcije koja se razlikuje za *locus typicus* i gredenske pješčenjake iz Pikovačkog potoka.

9. Literatura

ALJINOVIĆ, D., 2013. *Skripta za kolegij Metode istraživanja sedimentnih stijena.* Zagreb: Arhiv RGN fakulteta.

CHAYES, F., 1949. A simple point counter for thin-section. *The American mineralogist,* Svezak 34.

DICKINSON, W. R., 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. U: *Provenance of arenites.* Dordrecht: D. Reidel, str. 331-361.

DICKINSON, W. R. i dr., 1983. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological society of America Bulletin,* Svezak 94, str. 222-235.

KOCHANSKY-DEVIDE, V., SREMAC, J., JELASKA, V. & PALČIĆ, I., 1982. Geološka ekskurzija. U: *Terenski sastanak 1982, Velebit 4.-6.6., Vodič ekskurzije.* Zagreb: IGCP-Projekt br. 5, Jugoslavenska radna grupa.

MANGE, M. & MAURER, H., 1992. *Heavy minerals in color.* 1st ed. London: Chapman & Hall.

PETTIJOHN, F. J., PORTER, P. E. & SIEVER, R., 1987. *Sand and sandstone.* New York: Springer-Verlag.

SALOPEK, M., 1942. *O gornjem paleozoiku Velebita u okolini Brušana i Baških Oštarija,* Zagreb: Geološko-paleontološki zavod Hrvatskog sveučilišta u Zagrebu.

SALOPEK, M., 1948. O gornjem paleozoiku sjeveroistočnog podnožja Velebita i Like. U: *Prirodoslovna istraživanja, knjiga 24.* Zagreb: Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti.

SKABERNE, D., 1995. *Sedimentacijski in postsedimentacijski razvoj Grödenske formacije med Cerknim in Žirovskim vrhom. Doktorska disertacija.* Ljubljana.

SOKAČ, B., NIKLER, L., VELIĆ, I. & MAMUŽIĆ, P., 1967a. *Osnovna geološka karta 1:100000, list Gospić K 33-127.* Zagreb: Savezni geološki zavod, Beograd.

SOKAČ, B., ŠČAVNIČAR, B. & VELIĆ, I., 1967b. *Osnovna geološka karta 1:100000: Tumač za list Gospić, K 33-127.* Zagreb: Savezni geološki zavod, Beograd.

VRKLJAN, M., 2006. *Optička mineralogija za studente geološkog inženjerstva (skripta za internu upotrebu).* Zagreb: Rudarsko-geološko naftni fakultet.

WELTJE, G. J., 1994. Provenance and dispersal of sand-sized sediments: Reconstruction of dispersal patterns and sources of techniques. Doktorska disertacija, Sveučilište Utrecht. *Geologica ultraiectina,* Svezak 121.

WELTJE, G. J., 2002. Quantitative analysis of detrital modes: statisticaly rigorous confidence regions in ternary diagrams and their use in sedimentary petrology. *ELSEVIER, Earth-science reviews,* Svezak 57, str. 211-253.

WELTJE, G. J., 2006. Ternary sandstone composition and provenance: An evaluation of the 'Dickinson model'. *Geological Society London Special Publications,* 01, str. 79-99.

WELTJE, G. J., MEIJER, X. D. & DE BOER, P. L., 1998. Stratigraphic inversion of siliciclastic basin fills: a note on the distinction between supply resulting from tectonic and climatic forcing. *Basin research,* Svezak 10, str. 129-153.

ZIEGLER, P. A. & STAMPFLI, G. M., 2001. Late Paleozoic-Early Mesozoic plate boundary reogranization: Collapse of the Variscan orogen and opening of Neothetys. *Natura Bresciana, Ann. Mus. Civ. Sc. Nat.,* Svezak 25, str. 17-34.

WEB izvori (11. kolovoz 2015., 21:44):

DGU, D. g. u., 2007. *Geoportal.* http://geoportal.dgu.hr/preglednik/?fsb=false

SIGMA-ALDRICH, 2015. *Katalog proizvoda.* http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sial/14304?lang=en&region=HR