

UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET

Faisal A. Abusahmin

**GEOLOGIJA I POTENCIJALNOST BAZALTA
PODRUČJA JABAL EGHEI (LIBIJA)**

doktorska disertacija

Beograd, 2020.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY

Faisal A. Abusahmin

**GEOLOGY AND POTENTIALITY OF BASALTS
IN JABAL EGHEI AREA (LIBYA)**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2020

Mentori:

dr Vladimir Simić, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, uža naučna oblast: Ekonomska geologija

dr Marinko Toljić, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, uža naučna oblast: Dinamička geologija

Članovi komisije:

dr Vladimir Simić, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, uža naučna oblast: Ekonomska geologija

dr Marinko Toljić, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, uža naučna oblast: Dinamička geologija

dr Rade Jelenković, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet, uža naučna oblast: Ekonomska geologija

dr Radmila Jančić-Heinemann, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Tehnološko-metalurški fakultet, uža naučna oblast: Inženjerstvo materijala

dr Jovan Kovačević, viši naučni saradnik, Geološki zavod Srbije, Beograd, uža naučna oblast: Ekonomska geologija

Datum odbrane _____

IZJAVE ZAHVALNOSTI

Prvo želim da se zahvalim mojoj divnoj porodici na podršci i strpljenju u prethodnim godinama. Bez njihove podrške, ovaj doktorski rad ne bi bio izvodljiv. Zahvaljujem se svojim mentorima prof. dr Vladimiru Simiću i prof. dr Marinku Toljiću za njihovo vođenje i inspiraciju tokom celog projekta. Veliku zahvalnost dugujem Zoranu Bojiću i Draganu Jovanoviću iz Geološkog zavoda Srbije na pomoći pri eksperimentalnom radu na karakterizaciji uzoraka i pripremi geoloških karata. Posebno se zahvaljujem prof. dr Radmili Jančić-Heinemann, u čijoj laboratoriji su vršena tehnološka proučavanja mogućnosti primene bazalta, kao i dr Jeleni Majstorović na izvršenim geomehaničkim i dinamičkim ispitivanjima bazalta. Zahvaljujem se Laboratoriji za skenirajuću elektronsku mikroskopiju (SEM) Rudarsko-geološkog fakulteta Univerziteta u Beogradu na mogućnosti da uradim ispitivanja uzoraka, kao i Jovani Malbašić na pomoći tokom rada na SEM.

Ovo istraživanje je sprovedeno na osnovu ugovora o naučno-tehničkoj saradnji između Industrijskog istraživačkog centra (IRC) iz Tripolija (Libija) i Geološkog zavoda Srbije (GZS) iz Beograda (Srbija). Zahvalan sam rukovodiocima IRC-u i GZS-u jer su mi omogućili laboratorijske analize uzoraka bazalta iz jugoistočne Libije, kao i na dozvoli za objavljivanje dobijenih rezultata.

GEOLOGIJA I POTENCIJALNOST BAZALTA PODRUČJA JABAL EGHEI (LIBIJA)

Sažetak

Bazalti pokrivaju veći deo područja Jabal Eghei i deo su vulkanske provincije Tibesti. To su stratifikovani bazalti, izliveni preko proterozojskih metamorfita i granita i preko litološki različitih stena tercijarne starosti. Nastali tokom tri odvojene faze vulkanske aktivnosti u periodu između 12 i 8 Ma (I faza), 7- 4 Ma (II faza) i mlađe od 4 Ma (III faza).

Osnovni minerali u bazaltima prema zastupljenosti su olivin, klinopiroksen i plagioklas, a od sporednih se javljaju minerali iz grupe spinela (magnetit ± ilmenit) i ostaci vulkanskog stakla. U bazaltima treće vulkanske faze utvrđeno je i prisustvo analcimiziranih leucita, analcima i renita, koji do sada nisu bili dokazani na ispitivanom području. Preovlađujuće strukture su porfirska i ofitska, a teksture masivna i vezikularna.

Fizičko-mehanička svojstva bazalta su u očekivanim granicama, a sa geomehničke tačke gledišta ispitivani bazalti su dosta homogeni. Iz rezultata tih proučavanja i ispitivanja metodom ultrazvuka, može se zaključiti da bazalti porfirske strukture i masivne teksture pokazuju najbolja svojstva sa aspekta kvaliteta kamena kao stenske mase.

Bazaltni prah kao punilo testiran je sa aspekta mogućnosti pripreme kompozitnog materijala pogodnog za izlaganje kavitaciji, a rezultati pokazuju da hibridni kompozitni materijal koji se sastoji od bazaltnog praha i čestica glinice ima poboljšanu kavitacijsku otpornost u odnosu na čistu matricu i mikro kompozit koji se sastoji od bazaltnog praha i materijala matriksa. Ovaj materijal, pored toga, ima veoma dobra estetska svojstva i svojstva materijala otpornog na abraziju.

Kod ocene potencijalnosti izdvojene su tri rudne formacije, koje obuhvataju bazalte sve tri vulkanske faze. Sa aspekta ukupne potencijalnosti područje Jabal Eghei predstavlja područje velike potencijalnosti za otkrivanje, istraživanje i definisanje budućih ležišta bazalta kao rudnih formacija velikog rasprostranjenja i dobrih kvalitativnih karakteristika, bilo da se radi o građevinskom kamenu, sirovini za bazaltna vlakna i kompozitne materijale.

Ključne reči:

Geologija, mineralogija, petrografija, kvalitet bazalta, mogućnost primene bazalta, ispitivanja metodom ultrazvuka, bazaltni kompozitni materijal

Naučna oblast:

Geo-nauke

Uža naučna oblast:

Ekonomska geologija

UDK broj:

552.323(612 Jebel Eghei)(043.3)

GEOLOGY AND POTENTIALITY OF BASALTS IN JABAL EGHEI AREA (LIBYA)

Abstract

Basalts cover most of the Jabal Eghei area and are part of the Tibesti volcanic province. These are stratified basalts, covering Proterozoic metamorphites and granites and lithologically different rocks of Tertiary age. Basalts were formed during three separate phases of volcanic activity between 12 and 8 Ma (Phase I), 7- 4 Ma (Phase II) and less than 4 Ma (Phase III).

The most abundant minerals in basalts are olivine, clinopyroxene and plagioclase, while the minor minerals are from the spinel group (magnetite \pm ilmenite) and volcanic glass residues. In the basalts of the third volcanic phase, the presence of analcimitised leucite, analcime and rhoenite was detected, which has not been proven in the studied area so far. The predominant textures are porphyric and ophitic, while the structures are massive and vesicular.

The physico-mechanical properties of basalt are within the expected limits, and from a geomechanical point of view, the tested basalts are quite homogeneous. From the results of these studies and tests by ultrasonic method, it can be concluded that the basalts of porphyric texture and massive structure exhibit the best properties in terms of stone quality as a rock mass.

Basalt powder as a filler has been tested for the possibility of preparing a composite material suitable for cavitation exposure, and the results show that a hybrid composite material consisting of basalt powder and alumina particles has improved cavitation resistance over a pure matrix and a micro composite consisting of basalt powder and matrix material. This material has also very good aesthetic and abrasion-resistant properties.

In the assessment of potentiality, three ore formations were identified, comprising basalts of all three volcanic phases. In terms of overall potential, the Jabal Eghei area is a high potential area for the discovery, exploration and definition of future basalt deposits as ore formations of large extent and of good qualitative characteristics, whether as building stone, basalt fiber raw materials and composite materials.

Key words:

Geology, mineralogy, petrography, basalt quality, basalt application, ultrasonic testing, basalt composite material

Scientific field:

Geosciences

Scientific subfield:

Economic geology

UDC number:

552.323(612 Jebel Eghei)(043.3)

SADRŽAJ:

| | |
|---|-----------|
| 1. UVOD | 6 |
| 1.1. Predmet rada | 6 |
| 1.2. Ciljevi istraživanja | 6 |
| 1.3. Metodika rada | 7 |
| 1.4. Uzorci i primenjeni metodi | 7 |
| 1.4.1. Mineraloško-petrološka ispitivanja | 7 |
| 1.4.2. Geohemijska ispitivanja | 7 |
| 1.4.3. Ispitivanja fizičkih svojstava kamena | 8 |
| 1.4.4. Ispitivanja mehaničkih svojstava kamena | 8 |
| 1.4.5. Priprema kompozita za ispitivanja tehnoloških svojstava bazalta i metodi karakterizacije | 8 |
| 1.4.6. Ispitivanja tehnoloških svojstava bazalta | 9 |
| 1.5. Praktična primena rezultata proučavanja | 10 |
| 2. OPŠTI PODACI O PROUČAVANOM PODRUČJU | 12 |
| 2.1. Pozicija proučavanog područja | 12 |
| 2.2. Pregled ranijih istraživanja proučavanog područja | 13 |
| 2.3. Opšta geološka građa područja Jabal Eghei | 14 |
| 2.3.1 Proterozojski metamorfiti i magmatiti | 15 |
| 2.3.2 Paleozojske formacije | 16 |
| 2.3.3 Mezozojske formacije | 17 |
| 2.3.4 Kenozojske sedimentne formacije i bazalti | 17 |
| 2.4. Tektonske karakteristike jugoistočne Libije | 19 |
| 2.4.1 Tektonska svojstva metamorfita i magmatita osnove platforme | 20 |
| 2.4.2 Kambrijumska do gornjosilurska tektonska oblikovanja | 20 |
| 2.4.3 Hercinska tektonska oblikovanja | 20 |
| 2.4.4 Paleogeno – neogena tektonska oblikovanja | 21 |
| 2.5. Geologija bazalta u području Jabal Eghei | 21 |
| 3. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE PODRUČJA WADI AL ATHAL | 24 |
| 3.1. Opšta geološka građa područja Wadi Al Athal | 24 |
| 3.2. Starost bazaltnih stena u proučavanom području | 24 |
| 3.3. Vulkanološke karakteristike bazalta | 26 |
| 3.3.1 Bazalti prve vulkanske faze (β_1) | 26 |
| 3.3.2 Bazalti druge vulkanske faze (β_2) | 27 |
| 3.3.3 Bazalti treće vulkanske faze (β_3) | 28 |
| 4. MINERALOGIJA, PETROGRAFIJA I GEOHEMIJA BAZALTNIH STENA PODRUČJA JABAL EGHEI | 32 |
| 4.1. Mineralogija i petrografija bazalta područja Jabal Eghei | 32 |
| 4.1.1. Optička mikroskopija | 32 |
| 4.1.2. Skenirajuća elektronska mikroskopija | 34 |
| 4.2. Geohemija bazalta područja Jabal Eghei | 42 |
| 4.2.1. Sadržaj glavnih elemenata | 43 |
| 4.2.2. Sadržaj elemenata u tragovima i elemenata retkih zemalja | 45 |
| 5. TEHNOLOŠKA SVOJSTVA I MOGUĆNOST PRIMENE BAZALTA | 49 |

| | |
|---|-----------|
| 5.1. Primena bazalta u industriji bazalnog vlakna | 49 |
| 5.2. Primena bazalta kao sirovine za agregate | 52 |
| 5.2.1. Fizičko-mehaničke karakteristike bazalta područja Jabal Eghei | 52 |
| 5.2.2. Rezultati ispitivanja bazaltnih stena kao radne sredine ultrazvukom | 55 |
| 5.3. Ispitivanja mogućnosti primene bazalta u proizvodnji kompozitnih materijala | 63 |
| 6. POTENCIJALNOST BAZALTA PODRUČJA JABAL EGHEI | 70 |
| 6.1. Kriterijumi prognozne ocene | 70 |
| 6.1.1. Petrološki kriterijum | 71 |
| 6.1.2. Tektonski (strukturni) kriterijum | 71 |
| 6.1.3. Klimatski kriterijum | 71 |
| 6.1.4. Stratigrafski kriterijum | 71 |
| 6.1.5. Tehnološki kriterijumi | 72 |
| 6.1.6. Geološko - ekonomski kriterijumi | 72 |
| 6.2. Mineragenetska analiza područja Jabal Eghei | 72 |
| 6.2.1. Rudna formacija Bazalti prve vulkanske faze | 72 |
| 6.2.2. Rudna formacija Bazalti druge vulkanske faze | 73 |
| 6.2.3. Rudna formacija Bazalti treće vulkanske faze | 73 |
| 6.3. Potencijalnost izdvojenih rudnih formacija | 74 |
| 6.4. Potencijalni resursi bazalta područja Jabal Eghei i koncepcija daljih istraživanja | 77 |
| 7. ZAKLJUČAK | 78 |
| 8. LITERATURA | 81 |

SPISAK TABELA

| | |
|--|----|
| Tabela 3.1: Rezultati K/Ar metode za određivanje starosti bazalta za proučavano područje (Bojić and Algerbi, 2014). | 25 |
| Tabela 4.1: Sadržaj fenokristala u ispitivanim bazaltima | 32 |
| Tabela 4.2.: Struktura i tekstura ispitivanih bazalta područja Jabal Eghei | 34 |
| Tabela 4.3: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1315. | 35 |
| Tabela 4.4: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1315. | 36 |
| Tabela 4.5: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1315. | 37 |
| Tabela 4.6: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 7100. | 37 |
| Tabela 4.7: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 7100. | 38 |
| Tabela 4.8: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 7100. | 39 |
| Tabela 4.9: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1337. | 39 |
| Tabela 4.10: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1337. | 40 |
| Tabela 4.11: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1337. | 41 |
| Tabela 4.12: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1337. | 42 |
| Tabela 4.13: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1337. | 42 |
| Tabela 4.14: Prosečne vrednosti hemijskog sastava bazalta po vulkanskim fazama. | 43 |
| Tabela 4.15: Sadržaj elemenata u tragovima u bazaltima sa područja Jabal Eghei (obrađeno prema Radivojević et al, 2015) | 45 |
| Tabela 4.16: Sadržaj elemenata retkih zemalja u bazaltima sa područja Jabal Eghei (obrađeno prema Radivojević et al, 2015) | 47 |
| Tabela 5.1: Optimalni hemizam bazalta za primenu u proizvodnji mineralne vune (Kužvart, 1984) | 50 |
| Tabela 5.2: Hemijski sastav bazalta Jabal Eghei (mas. %) i uporedna tabela sa ležištima Srbije | 51 |

| | |
|---|----|
| Tabela 5.3: Vrednosti izračunatog modula kiselosti za bazalt Jabal Eghei (mas. %), komparativna tabela sa reprezentativnim ležištima Srbije | 52 |
| Tabela 5.4: Fizičko-mehaničke karakteristike bazalta sa područja Jabal Eghei (Izvor: Analiza 1 - Uzorak 7033, prva vulkanska faza (Grubić and Ammar, 2014), Analiza 2 – kompozitni uzorak svih faza (Bojić and Algerbi, 2014) | 53 |
| Tabela 5.5: Upoređenje kvaliteta bazalta Jabal Eghei kao tehničko-građevinskog kamena sa relevantnim stenama sličnog sastava u Srbiji | 54 |
| Tabela 5.6: Rezultati ispitivanja uzoraka bazalta metodom ultrazvuka. | 58 |
| Tabela 5.7: Prosečne vrednosti dobijenih parametara za bazalte Jabal Eghei po vulkanskim fazama i pravcima merenja | 58 |
| Tabela 5.8: Prosečne vrednosti ispitivanih parametara po vulkanskim fazama | 61 |
| Tabela 5.9: Prosečne vrednosti dobijenih parametara za bazalte Jabal Eghei po prevladajućoj strukturi i teksturi bazalta i pravcima merenja | 62 |
| Tabela 5.10: Prosečne vrednosti ispitivanih parametara u odnosu na sklop bazalta, sa koeficijentima korelacije zapreminske težine i dinamičkog modula elastičnosti | 63 |
| Tabela 5.11. Odgovarajući izmereni dinamički modul elastičnosti uzorka korišćenog za pripremu kompozita (Abusahmin et al, 2020). | 65 |
| Tabela 5.12. Mehanička svojstva dobijenih kompozitnih materijala (Abusahmin et al, 2020) | 66 |
| Tabela 5.13. Karakterizacija jamica na uzorcima tokom testiranja (Abusahmin et al, 2020). | 68 |
| Tabela 6.1: Opšti kriterijumi i obeležja/indikatora rudonosti (Janković, 1994; Janković i dr. 2003) | 70 |
| Tabela 6.2: Kriterijumi kategorija potencijalnosti rudnih formacija | 74 |
| Tabela 6.3: Preliminarna procena potencijalnosti bazalta područja Jabal Eghei (na primeru regiona Wadi al Athal) | 75 |
| Tabela 6.4: Potencijalni resursi bazalta područja Jabal Eghei – deo Wadi al Athal | 77 |

SPISAK SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1.1. Satelitski snimak, na kome su prikazane pozicije prikupljenih uzoraka. | 8 |
| Slika 1.2. Šematski prikaz uređaja za određivanje brzine elastičnih V_p i V_s talasa | 10 |
| Slika 2.1: Pregledna geološka karta Libije sa označenom lokacijom proučavanog područja (Rubino and Blanpied, 2000, modifikovano). | 12 |
| Slika 2.2: Pregledna geološka karta severne Afrike sa prikazanom distribucijom segmenata beizmenta platforme (modifikovano prema geološkoj karti Afrike; Milesi et al., 2004). | 15 |
| Slika 2.3. Lokacije glavnih izdanaka tercijarnih vulkanskih regiona (crveno), (Lustrino et al., 2012, modifikovano); za područje Jabal Al Haruj starosti vulkanizma su inovirane sa podacima Toljić and Turki (2007), a za područje Jabal Nugay na osnovu podataka Toljić and Abu Agrab (2014) i Bojić and Algerbi (2014). | 19 |
| Slika 2.4: Rozeta pružanja padova izmerenih raseda (Toljić and Abu Agrab, 2014). | 20 |
| Slika 2.5: Pojednostavljena geološka karta područja Jabal Eghei. Na insertu (A) prikazan je raspored drugih vulkanskih polja libijske vulkanske provincije sa glavnim strukturama, a na (B) položaj istraživanog područja Wadi Al Athal. Objašnjenja: JE - Jabal Eghei; AH - Jabal Al Haruj Al Aswad; JS - Jabal as Soda; JH - Jabal Al Hasaunah; GH - Gerian provincija; TB - Tibesti Masiv. Rasedi i lineamenti: 1a - Tripoli–Tibesti; 1b - Al Haruj; 2a - Tibesti–Sirt; 2b - Al Karakaf (Radivojević et al, 2015, delom modifikovano). | 22 |
| Slika 2.6: Bazalti prekrivaju tercijarne kontinentalne sedimente (Stejić and Turki, 2014) | 23 |
| Slika 2.7: Kontakt gornjo-proterozojskih granitoidnih stena i povlatnih bazalta druge vulkanske faze (Toljić and Abu Agrab, 2014) | 23 |
| Slika 2.8: Tok lave iz južnog Jabal Darsu | 23 |
| Slika 2.9: Šupljikavi sliv tamnih bazalta treće generacije (Stejić and Turki, 2014) | 23 |

| | |
|---|----|
| Slika 3.1: Distribucija K/Ar starosti u bazaltima koji su produkti tri vulkanske faze (Bojić and Algerbi, 2014). | 25 |
| Slika 3.2: Konusne erozione forme izgrađene od eocenskih sedimenata koji su pokriveni bazaltima prve efuzivne faze (Bojić and Algerbi, 2014). | 26 |
| Slika 3.3: a) Fragmentirana lava (Bojić and Algerbi, 2014), i b) gomile blokova bazalta prve generacije (Fotografija Bojić Z.) | 27 |
| Slika 3.4: Bazalt druge vulkanske faze, predstavljen široko rasprostranjenim blokovima lave (Fotografija Bojić Z.) | 28 |
| Slika 3.5: Blok masivnog bazalta sa pukotinama u obliku oklopa kornjače (Fotografija Bojić Z.) | 28 |
| Slika 3.6: Bazalt druge faze, koji se javlja kao “prozor” ispod toka lave treće vulkanske faze (Bojić and Algerbi, 2014) | 28 |
| Slika 3.7: Bazalt druge faze je sivkast, masivan i sadrži retke vezikule (Fotografija Bojić Z.) | 28 |
| Slika 3.8: Bazaltna lava na vrhu i karbonatno-klastični sedimenti leže preko bazalta prve faze (Fotografija Bojić Z.) | 29 |
| Slika 3.9: Donji delovi bazalta druge faze (Fotografija Bojić Z.) | 29 |
| Slika 3.10: Tok bazaltne lave povezan sa trećom vulkanskom fazom; kaldera “Neimenovanog” vulkana je u pozadini (Bojić and Algerbi, 2014) | 29 |
| Slika 3.11: Relikti od nekoliko stotina metara dugog sliva lave (Bojić and Algerbi, 2014) | 29 |
| Slika 3.12: Površina fragmentiranog toka bazaltske lave treće vulkanske faze sa nekoliko grebena pritiska (Bojić and Algerbi, 2014) | 30 |
| Slika 3.13: Greben pritiska sastavljen od poligonalne bazaltske lave (Bojić and Algerbi, 2014) | 30 |
| Slika 3.14: Vulkanski krater na vrhu „Neimenovanog“ vulkana; zidovi su visoki do 10 m (Bojić and Algerbi, 2014) | 30 |
| Slika 3.15: Stratifikovani i delimično urušeni zidovi vulkanske kupe (Bojić and Algerbi, 2014) | 30 |
| Slika 3.16: Šljakasta, eliptična bomba (Fotografija Bojić Z.) | 31 |
| Slika 3.17: Fragment lave sa zidova spatter kupe (Bojić and Algerbi, 2014) | 31 |
| Slika 3.18: Ksenolit iz omotača (oko 5 cm u prečniku) unutar bazalta (Fotografija Bojić Z.) | 31 |
| Slika 4.1: Mikrofotografije tipičnih preparata bazalta sve tri vulkanske faze. | 33 |
| Slika 4.2: Uzorak 1315, polje 2: Olivin i klinopiroksen su osnovne komponente, uz prisustvo retkog analcima. Najzastupljeniji metalni mineral je titanomagnetit, a utvrđeno je i prisustvo sekundarnog barita, kao i apatita u analizi tačke 8. | 35 |
| Slika 4.3: Uzorak 1315, polje 3: Apatit se javlja u plagioklasu u vidu sitnih izduženih nagomilanja; metalni mineral je titanomagnetit. | 36 |
| Slika 4.4: Uzorak 1315, polje 5: Olivin, plagioklas i klinopiroksen su osnovne komponente, sa retkim analcimom izometričnog oblika i ilmenitom. | 36 |
| Slika 4.5: Uzorak 7100, polje 1: Olivin u vidu izometričnih zrna, klinopiroksen i izduženi plagioklas su osnovne komponente, uz prisustvo titanomagnetita i kalcita. | 37 |
| Slika 4.6: Uzorak 7100, polje 2: Sekundarni gips, olivin i titanomagnetit. | 38 |
| Slika 4.7: Uzorak 7100, polje 5: Izduženi kristali plagioklasa. | 38 |
| Slika 4.8: Uzorak 1337, polje 1: Tipičan izgled bazalta ovog uzorka, sa obiljem izduženih kristala renita praćenog izometričnim do tabličastim klinopiroksenom. | 39 |
| Slika 4.9: Uzorak 1337, polje 2: Izduženi kristali renita, apatit u vidu sitnih traka u osnovi od analcimiziranog leucita. | 40 |
| Slika 4.10: Uzorak 1337, polje 3: Olivin, klinopiroksen i dosta izduženih kristala renita, uz titanomagnetit kao dominantan metalni mineral. Žuto uokvireno područje prikazano je na sledećoj slici. | 40 |
| Slika 4.11: Uzorak 1337, polje 3, detalj prethodne slike: klinopiroksen i izduženi plagioklas su dominantni minerali u ovom polju, uz titanomagnetit i sekundarni barit. Indicirano je i prisustvo kaolinita uz moguće minimalno prisustvo liskuna ili analcimisanog leucita. | 41 |
| Slika 4.12: Uzorak 1337, polje 4: Olivin sa izraženim rubovima; centralni delovi zrna olivina izrazito magnezijskog sastava sa nižim sadržajem gvožđa, dok su rubovi sa visokim koncentracijama gvožđa i niskim magnezijuma usled idingsitizacije olivina. | 41 |

| | |
|---|----|
| Slika 4.13: Uzorak 1337, polje 6: Sekundarni barit i gips. | 42 |
| Slika 4.14: Varijacije sadržaja makroelemenata u bazaltima područja Jabal Eghei (na osnovu prosečnih vrednosti hemijskih analiza) | 44 |
| Slika 4.15: TAS dijagram za klasifikaciju bazalta sa područja Jabal Eghei (prema Le Bas et al, 1986, Le Maitre, 2002) | 45 |
| Slika 4.16: Varijacije sadržaja elemenata u tragovima po vulkanskim fazama. | 46 |
| Slika 4.17: Dijagram normalizovanih vrednosti prosečnog sadržaja elemenata u tragovima bazalta sve tri vulkanske faze; vrednosti za koeficijente za normalizaciju su iz McDonough and Sun (1995). | 47 |
| Slika 4.18: Varijacije sadržaja elemenata retkih zemalja po vulkanskim fazama. | 48 |
| Slika 4.19: Dijagram normalizovanih vrednosti prosečnog sadržaja elemenata retkih zemalja bazalta sve tri vulkanske faze; vrednosti za koeficijente za normalizaciju su iz McDonough and Sun (1995). | 48 |
| Slika 5.1: TAS dijagram sastava bazaltnih stena područja Jabal Eghei i reprezentativnih pojava Srbije. | 51 |
| Slika 5.2: Pravci merenja brzine longitudinalnih (V_p) i transverzalnih (V_s) talasa. | 55 |
| Slika 5.3: Pripremljena probna tela paralelopipednog oblika za merenje brzine longitudinalnih (V_p) i transverzalnih (V_s) talasa | 56 |
| Slika 5.4: Pripremljena probna tela paralelopipednog oblika za merenje brzine longitudinalnih (V_p) i transverzalnih (V_s) talasa | 57 |
| Slika 5.5: Vrednosti brzine prostiranja longitudinalnih i transverzalnih talasa u ispitivanim bazaltima po pravcima merenja | 59 |
| Slika 5.6: Vrednosti brzine prostiranja longitudinalnih i transverzalnih talasa u ispitivanim bazaltima po vulkanskim fazama | 59 |
| Slika 5.7: Odnos vrednosti dinamičkog modula elastičnosti i zapreminske težine po pravcima merenja. Vrednosti su iz tabele 5.6. | 60 |
| Slika 5.8: Odnos vrednosti dinamičkog modula elastičnosti i zapreminske težine po vulkanskim fazama. Vrednosti su iz tabele 5.6. | 60 |
| Slika 5.9: Odnos prosečnih vrednosti zapreminske težine i dinamičkog modula elastičnosti bazalta po vulkanskim fazama | 61 |
| Slika 5.10: Odnos vrednosti zapreminske težine i dinamičkog modula elastičnosti bazalta u odnosu na strukturu bazalta. | 62 |
| Slika 5.11: Odnos vrednosti zapreminske težine i dinamičkog modula elastičnosti bazalta u odnosu na teksturu bazalta. | 63 |
| Slika 5.12: Mikrofotografija petrografskog preparata uzorka bazalta korišćenog za tehnološka ispitivanja (Abusahmin et al, 2020) | 64 |
| Slika 5.13: Fotografija polaznog bazaltnog uzorka 1337 (Abusahmin et al, 2020) | 65 |
| Slika 5.14: Optička mikrofotografija praha bazalta koji se koristio u pripremi kompozita (Abusahmin et al, 2020) | 65 |
| Slika 5.15: FESEM mikrofotografije površine loma kompozita sa 40 tež. % čestica bazalta i glinice premazane gvožđe (III) oksidom (Abusahmin et al, 2020) | 66 |
| Slika 5.16: gubitak mase uzorka sa sadržajem bazalta od 40 wt.% i 1 wt. %, 3 wt. % i 5 wt. % čestica glinice dodate da poboljša ukupna svojstva kompozita u poređenju sa uzorkom sa čistim matriksom bez dodataka, (Abusahmin et al, 2020). | 67 |
| Slika 5.17. Rezultati površinske erozije tokom kavitacije utvrđeni metodom analize slike (Abusahmin et al, 2020). | 67 |
| Slika 5.18. Dobijene jamice tokom ispitivanja od 1h (Abusahmin et al, 2020). | 68 |
| Slika 5.19: a) Prosečan prečnik jamica na uzorcima tokom ispitivanja, i b) prosečna površina formiranih jamica tokom ispitivanja (Abusahmin et al, 2020). | 69 |

1. UVOD

1.1. Predmet rada

Za ekonomski razvoj privrede svih zemalja od vitalnog su značaja istraživanje, proizvodnja i korišćenje različitih mineralnih sirovina. U ovoj velikoj heterogenoj grupi jedno od ključnih mesta pripada bazaltnim magmatskim stenama kao važnoj sirovini za industriju.

Bazaltne stene se koriste za proizvodnju velikog broja različitih proizvoda u širokom opsegu raznih grana industrije:

- kao tehnički kamen: za putogradnju, zastore železničkih pruga, hidrotehničke radove i dr.
- kao arhitektonski kamen,
- u industriji punila, premaza
- bazaltna vlakna
- u industriji termoizolacionih materijala.

O ekonomskom i strateškom značaju bazalta govori i nekoliko sledećih podataka:

- Prema podacima udruženja BASALT.TODAY proizvodnja bazalnih vlakana stabilno raste, a najveći svetski proizvođači su Rusija i Ukrajina.
- Za vreme hladnog rata puno se koristio od strane svetskih sila za svemirsku i vojnu industriju.

1.2. Ciljevi istraživanja

Ciljevi istraživanja doktorske disertacije su sledeći:

- Kabinetsko proučavanje geološke građe područja Jabal Eghei, sa fokusom na region Wadi Al Athal i prikazom geološke osnove za korelaciju prostiranja i kvaliteta bazalta; Definisati rudonosne i/ili rudne formacije i izvršiti njihovu međusobnu korelaciju;
- Izvršiti oprobavanje stenske mase optimalnom metodom u skladu sa odgovarajućim standardima i određenim prirodnim uslovima (na osnovu raspoloživih uzoraka koji se nalaze u Srbiji);
- Utvrditi mineraloške i petrografske karakteristike stena;
- Proučiti hemijski sastav bazalta, kao i sadržaj elemenata u tragovima koji su bitni za tehnološku valorizaciju sirovine;
- Proučiti fizičko-mehaničke karakteristike mineralnih sirovina;
- Analiza rezultata laboratorijskih ispitivanja i ocena potencijalnosti ispitivanih sirovina sa aspekta primene u različitim granama industrije;
- Komparativna analiza, odnosno međusobno poređenje pojedinih ležišta i pojava bazalta, na osnovu geoloških karakteristika i rezultata laboratorijskih ispitivanja;
- Procena potencijalnosti istraživanog područja sa preporukama za dalja istraživanja i proučavanja.
- Ispitivanje mogućnosti korišćenja predloženih mineralnih sirovina za izradu kompozitnog materijala na bazi polimerne matrice – poliestra koji je široko industrijski dostupan, i mlevenog bazalta.
- Ispitivanje mogućih poboljšanja svojstava kompozitnog materijala kombinovanjem punilaca koji mogu modifikovati matricu, kako bi se postigla bolja mehanička svojstva kompozitnog materijala.

1.3. Metodika rada

Prilikom rada na doktorskoj disertaciji primenjena je sledeća metodika rada:

- Terenska i kabinetska proučavanja geološke građe područja Jabal Eghei;
- Analiza i sinteza rezultata terenskih proučavanja;
- Izdvajanje reprezentativnih uzoraka koji bi predstavljali prosečna svojstva stenske mase;
- Određivanje mineraloško-petrografskih karakteristika stena;
- Proučavanje hemijskog sastava bazalta sa aspekta primene u industriji;
- Određivanje i ispitivanje tehničkih svojstava kamena i od njega proizvedenog materijala primenom standardizovanih metoda ispitivanja;
- Izrada kompozitnog materijala na bazi poliestra i bazalnog praha u laboratorijskim uslovima;
- Ispitivanje fizičko-mehaničkih svojstava dobijenog kompozitnog materijala kako bi se dobili odgovarajući parametri koji će omogućiti njegovo korišćenje.

1.4. Uzorci i primenjeni metodi

Terenska istraživanja koja su bila osnova za nastavak proučavanja u ovoj doktorskoj disertaciji su izvedena u organizaciji Centra za industrijska istraživanja (Industrial Research Centre - IRC) iz Libije. Terenski rad je bio deo programa geološkog kartiranja u južnoj i jugoistočnoj Libiji, koji je za cilj imao izradu više listova geološke karte Libije u razmeri 1:250 000. Dodatna istraživanja i proučavanja uzoraka bazalta sprovedena su na 17 uzoraka čije su lokacije prikazane na slici 1.1 i na geološkoj karti u Prilogu 1.

1.4.1. Mineraloško-petrološka ispitivanja

Skup metoda za osnovnu karakterizaciju stenske mase obuhvatio je sledeće:

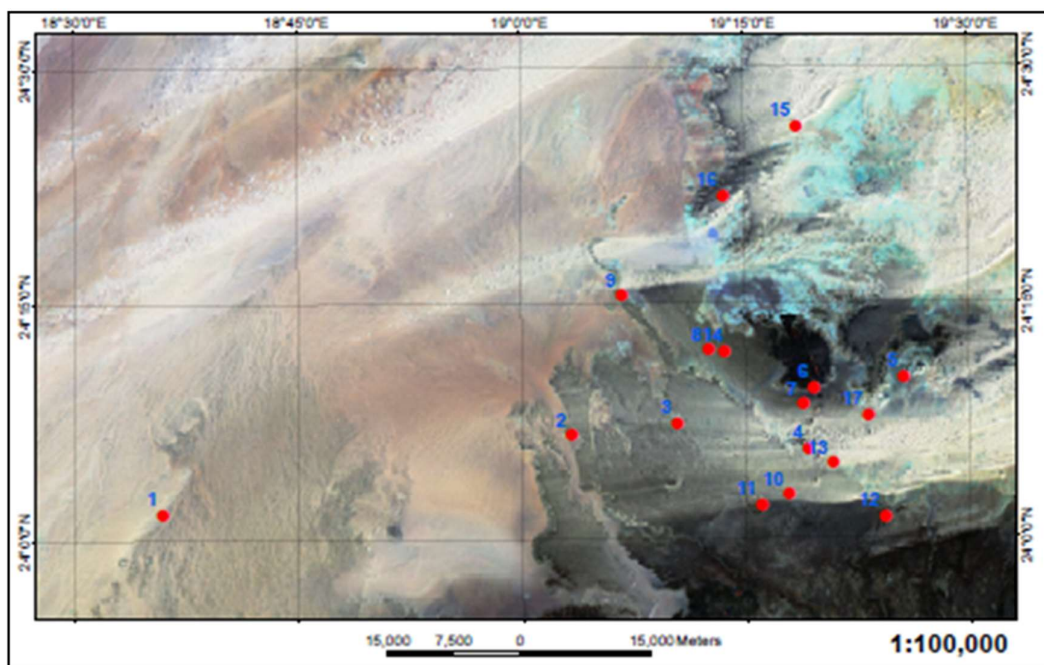
- Polarizaciona mikroskopija za propuštenu svetlost;
- Skenirajuća elektronska mikroskopija sa energetske-disperzivnim spektrometrom (SEM-EDS) – za utvrđivanje morfologije i hemizma minerala. Skenirajuća elektronska mikroskopija sa energetske - disperzivnim spektrometrom (SEM - EDS) korišćena je za utvrđivanje morfologije površina poliranih prirodnih stena, kao i za hemijske analize minerala. Analize su izvršene na poliranim preparatima na skenirajućem elektronskom mikroskopu Jeol JSM – 6610 LV opremljenim energetske - disperzivnim spektrometrom (EDS) u laboratoriji za SEM - EDS Univerziteta u Beogradu, Rudarsko - geološkog fakulteta. Analize su izvršene pri ubrzavajućem naponu od 20 kV, a radnoj udaljenosti od 10 mm. Uzorci su prije snimanja presvučeni ugljenikom kako bi se obezbedila provodljivost. Ukupno su analizirane 62 tačke i polja u raznim mineralima kako bi se utvrdio njihov mineralni sastav. Za kvantitativnu analizu mikroskop je kalabrisan korišćenjem sledećih standarda: ortoklas (K), albit (Na), volastonit (Ca), almandin (Si, Fe), MgF_2 (F), Ti 1 (Ti), GaP (P) i oksida (MgO , Al_2O_3).

Sva ova ispitivanja obavljena su u laboratorijama Univerziteta u Beogradu – Rudarsko-geološkog fakulteta.

1.4.2. Geohemijska ispitivanja

Geohemijska ispitivanja obuhvatila su analizu koncentracija glavnih oksida i elemenata u tragovima, uključujući elemente retkih zemalja (REE). Analize su izvedene u ACME Laboratorijama Ltd., u Vankuveru, Kanada, za potrebe izrade geološke karte južne Libije. Analiza sadržaj glavnih elemenata izvršena je metodom indukovanog kuplovanog plazme atomskog emisionog spektrometra (ICP-AES). Elementi u tragovima i koncentracije REE su analizirane metodom indukovanog kuplovanog plazme

opremljene masenim spektrometrom (ICP-MS). Pojedinačne vrednosti geohemijskih analiza prikazane su u radu Radivojević et al (2015).



Slika 1.1. Satelitski snimak, na kome su prikazane pozicije prikupljenih uzoraka.

1.4.3. Ispitivanja fizičkih svojstava kamena

Metode za određivanje fizičkih karakteristika kamena uključile su sledeće:

- metoda za određivanje upijanja vode prema standardu SRPS B.B8.010;
- metoda za određivanje zapreminske mase sa porama i šupljinama, zapreminske mase bez pora i šupljina i koeficijenta zapreminske mase i poroznosti kamena prema standardu SRPS B.B8.032;

1.4.4. Ispitivanja mehaničkih svojstava kamena

Metode za određivanje mehaničkih karakteristika kamena i od njega proizvedenog agregata obuhvataju sledeće:

- metoda za određivanje čvrstoće na pritisak prema standardu SRPS B.B8.012:1987;
 - metoda za određivanje otpornosti kamena prema habanju struganjem po Böhme-u, prema standardu SRPS B.B8.015:1984;
- Metode za određivanje postojanosti kamena i agregata prema dejstvu mraza su sledeće:
- metoda za ispitivanje postojanosti kamena prema mrazu metodom sa natrijum-sulfatom prema SRPS B.B8.002:1982;

1.4.5. Priprema kompozita za ispitivanja tehnoloških svojstava bazalta i metodi karakterizacije

Polimerni matriks korišćen za pripremu kompozita bio je C-RESIN AC200TP koju je Sinteza Smola doo Beograd ljubazno dobavila. Za pripremu čestica na bazi glinice korišćen je aluminijum hidroksid hlorid (Locron L; $Al_2(OH)_5Cl \times 2,5H_2O$, kompanija Clariant). Gvožđe-hlorid ($FeCl_3 \times 6H_2O$) je nabavljen od Sigma-Aldrich-a (Nemačka). Metil etil keton peroksid (MEKP) je nabavljen od Sigma-Aldrich (Nemačka).

Čestice glinice premazane gvožđe-oksidiom sintetizovane su sol-gel tehnikom dodavanjem 1,5 tež.% $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ u $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl} \times 2,5\text{H}_2\text{O}$, kako je opisano u radu Lazouzi et al (2018). Čestice su kalcinirane na 900 °C. Veličina čestica je određena pomoću laserskog analizatora veličine čestica (PSA) Mastersizer 2000 (Malvern Instruments Ltd., Velika Britanija) i dobijene vrednosti su: $d(0,1) = 0,412 \mu\text{m}$, $d(0,5) = 0,608 \mu\text{m}$, $d(0,9) = 1.208 \mu\text{m}$ (Algellai et al, 2018; Zec et al, 2018).

Kompoziti napravljeni od čiste smole pripremljeni su kako bi se uporedila svojstva matrice sa svojstvima dobijenih kompozita. Pripremljene su dve vrste kompozita: kompoziti ojačani bazaltom od 40 tež.% i kompoziti ojačani bazaltom (40 tež.% u odnosu na smolu) sa dodatkom 1, 3 i 5 tež. % (u odnosu na smolu) čestica glinice premazanih gvožđe-oksidiom. Za pripremu uzoraka koristi se dvokomponentni sistem: smola i 1,5 tež.% MEKP u odnosu na smolu. Uzorci su polimerizovani na sobnim uslovima tokom 24 sata, a zatim su termički obrađeni na 60 °C tokom 4 sata da bi se proces završio. Uzorci su cilindri prečnika 25,0 mm i visine 4,0 mm.

1.4.6. Ispitivanja tehnoloških svojstava bazalta

Hibridni kompozitni materijal sastojao se od bazalnog praha dodanog matriksu koji je bio sastavljen od čestica poliestera i glinice. Sirovine su testirane da bi se dobili relevantni podaci o komponentama kompozitnog materijala. Bazalt je ispitan merenjem dinamičkog modula, materijal je samleven i proučen pod optičkim mikroskopom kako bi se dobila informacija o izgledu čestica. Izmerena je raspodela veličine čestica mlevenog praha bazalta. Dinamički modul pripremljenih kompozita meren je istim postupkom ispitivanja. Tvrdoa kompozita merena je pomoću Shore-ovog ručnog testera.

Morfologija i oblik bazaltnih čestica definisani su optičkom mikroskopijom na instrumentu Carl Zeiss-Jena, NU2.A. Morfološka analiza kompozitnog preseka izvršena je korišćenjem elektronske mikroskopije za skeniranje polja (FE-SEM), TESCAN MIRA3 KSMU, koja radi na 20 kV. Alati softverskog paketa Image-Pro Plus 4.0 (Media Cybernetics, Rockville, MD) korišćeni su za obradu podataka slike i kvantifikaciju karakteristika oštećenja. Ultrazvučna metoda (merenje brzine ultrazvučnih talasa) vrši se korišćenjem opreme OYO modela 5210 standardnim postupkom ispitivanja (ICS 81,080 SRPS D. B8. 121).

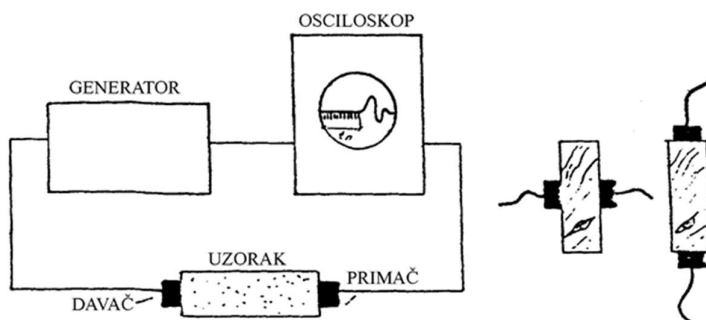
Otpor kavitacije testiran je standardom (ASTM G32-92), metod stacionarnog uzorka. Uređaj se sastojao od visokofrekventnog generatora od 360 V, elektrostrikcijskog pretvarača, transformatora za mehaničke vibracije i vodenog kupatila koji sadrži testni uzorak. Ispitivanje kavitacije izvršeno je korišćenjem preporučenih standardnih vrednosti:

- frekvencija vibracije: $20 \pm 0,5 \text{ kHz}$
- amplituda vibracija na vrhu transformatora: $50 \mu\text{m}$
- razmak između ispitnog uzorka i transformatora: $0,5 \text{ mm}$
- temperatura vode u kadi: $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$
- običan protok vode: od 5 do 10 ml/s

Zapremnska težina sa porama i šupljinama (SRPS B.B8.032.1980.) ispitivanih materijala određena je pomoću probnih tela pravilnog oblika koja svojom masom ($m \geq 150\text{g}$) zadovoljavaju uslove važećeg standarda.

Na probnim telima koja predstavljaju jedan reprezent po utvrđivanju zapremnske težine određene su brzine elastičnih talasa V_p i V_s (SRPS B.B8.121.1990.). Sva merenja obavljena su na uređaju SONIC viewer - MODEL 5210, čija je tačnost očitavanja najmanje vremenske jedinice $0.10 \mu\text{s}$. Šematski prikaz uređaja za određivanje brzine elastičnih V_p i V_s talasa, kao i položaj primača i davača impulsa

prikazani su na sl. 1.2. Vrednosti su prikazane u tabelama - zapisnicima, u kojima su date i vrednosti koeficijenta varijacije ($v - \%$).



Slika 1.2. Šematski prikaz uređaja za određivanje brzine elastičnih V_p i V_s talasa

Na osnovu utvrđenih vrednosti za brzine longitudinalnih (V_p) i transverzalnih (V_s) talasa, prema poznatoj vrednosti za zapreminsku težinu (γ), određen je dinamički modul elastičnosti E_{dyn} , kao i dinamički Poisson-ov (μ_{dyn}) koeficijent uz korišćenje sledećih izraza:

$$E_{dyn} = V_p^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1 + \mu_{dyn})(1 - 2 \cdot \mu_{dyn})}{1 - \mu_{dyn}}$$

gde je:

V_p - brzina longitudinalnih elastičnih talasa (m/s)

V_s - brzina transverzalnih elastičnih talasa (m/s)

μ_{dyn} - Poisson-ov koeficijent

γ - zapreminska težina (kN/m^3)

$$\rho = \frac{\gamma}{a} \quad \alpha = \frac{V_p}{V_s} \quad \mu_{dyn} = \frac{2 \cdot \alpha^2 - 1}{2 \cdot \alpha^2 - 2}$$

1.5. Praktična primena rezultata proučavanja

U doktorskoj disertaciji su pruženi novi podaci o geološkoj građi i sastavu bazalta sa područja Jabal Eghei, a naročito dela terena pod nazivom Wadi al Athal. Po prvi put izvršeno je izdvajanje pojedinih formacija bazalta sa aspekta rudonosti, odnosno izvršeno je izdvajanje rudnih formacija i prikazan njihov značaj za prognozu ocenu potencijalnosti primene bazalta u različitim industrijskim granama. Po prvi put kod nas ispitivani su bazalti Libije sa aspekta izbora optimalnog punioca za izradu kompozitnog materijala na bazi otpadnog bazalta i poliestarske smole, kao i utvrđivanje svojstava dobijenog kompozitnog materijala sa gledišta mogućnosti njegovog korišćenja.

Takođe prvi put kod nas izvršeno je detaljno proučavanje homogenosti bazaltnih stena kao radne sredine ultrazvukom i napravljena detaljna komparacija sa različitim vulkanskim fazama bazalta, pravcima merenja brzine prostiranja talasa, strukturom i teksturom stene.

U disertaciji je dat model kako treba procenjivati potencijalnost područja kroz minerogenetsku analizu i izdvajanje rudnih formacija određenih karakteristika, što je od velikog značaja pri daljim istraživanjima.

U disertaciji su procenjeni potencijalni resursa i rezervi mineralne sirovine sa aspekta njihove primene kao arhitektonsko-građevinskog kamena, tehničko-građevinskog kamena, industrije mineralne vune i punila;

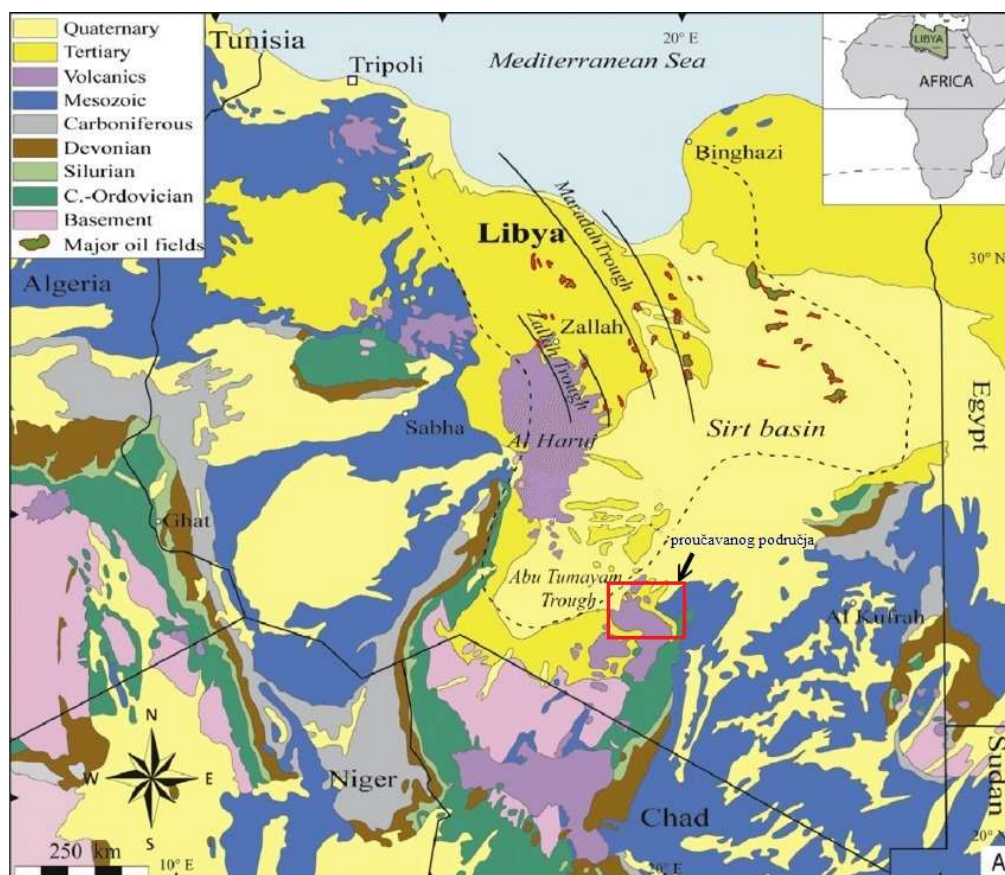
Rezultati ove doktorske disertacije, pored naučnog, imaće i veliki praktični značaj naročito u oblasti procene kvaliteta i resursa i rezervi mineralnih sirovina koje bi mogle da se koriste kao kameni agregati i punila u standardnim ali i veoma zahtevnim granama moderne industrije. Kao takvi mogu da predstavljaju podlogu za planiranje, usmeravanje i projektovanje detaljnih geoloških istraživanja kada se jednog dana za to steknu potrebni uslovi.

2. OPŠTI PODACI O PROUČAVANOM PODRUČJU

2.1. Pozicija proučavanog područja

Istraživana oblast Jabal Eghei nalazi se u jugoistočnom delu Libije. Prema administrativnoj podeli Libije, zapadni i centralni delovi pripadaju pokrajini Murzuq, dok istočni delovi pripadaju pokrajini Al Kufrah.

Područje je okontureno geografskom širinom 24°-25° N i geografskom dužinom 18°00' -19°30' E. Površina ovog poligona pokriva približno oko 16.000 km² (Slika 2.1). Na osnovu geomorfoloških karakteristika, moguće je razlikovati tri morfološke celine: šljunčanu pustinju šireg područja Wadi Al Athal, peskovito-šljunkovito-glinovito područje Ramlit Rebyanah i stenovitu pustinju „Bazaltne planine“ („Basalt Mountains“).



Slika 2.1: Pregledna geološka karta Libije sa označenom lokacijom proučavanog područja (Rubino and Blanpied, 2000, modifikovano).

Klima istraživanog područja je izuzetno suva, sa retkim periodičnim padavinama. Količina padavina je izuzetno niska, jedva nekoliko milimetara, što je gotovo zanemarljivo na godišnjem nivou. Efekat padavina je naglašen u području nepropusnih Bazaltnih planina gde se voda akumulira na bazaltnim platoima i u obliku periodičnih bujica prolazi kroz vade duž margine bazaltnog masiva. Varijacije u temperaturama su ekstremne, u intervalu od 0 °C do 50 °C. Vetar uglavnom duva pravcem severoistok – jugozapad, što se prepoznaje po orijentaciji dina.

2.2. Pregled ranijih istraživanja proučavanog područja

Geološka istraživanja i opisi teritorije Libije su započeti krajem 18. i početkom 19. veka. To su pre svega bila geografska istraživanja.

Prvi geološki podaci o tom području se odnose na vulkanske stene Jabal Al Haruj (Hornemann, 1802). Međutim, zapažanja o drugim formacijama su prvi put objavljena sredinom 19. veka (Overweg, 1851; Beyrich, 1852). Rolland (1881) je nacrtao prvu skicu karte severozapadne Sahare u razmeri 1: 5.000.000. Radovi Rohlfs (1881), Zittel (1883), Nachtigal (1879-1898), Quas (1902), Wanner (1902) su takođe značajni razmatrajući prisustvo gornjokrednih i tercijarnih stena.

Italijanski geolozi su vršili geološka istraživanja na području Tripolitanije, Kirenajke i Fezana u prvoj polovini 20. veka. Ova istraživanja su započeta 1901., uključivala su sporadična terenska istraživanja, čije su rezultate publikovali Vinassa de Regny (1901, 1913), Stefanini (1913, 1932), Dalloni (1934; 1948) i drugi. Pod nadzorom Desio (1942), Amato (1931), Principi (1932), Pagani (1934), Borghi (1939), Lipparini (1940) i drugi, izvršili su sistematsko rekognosciranje teritorije Libije, tumačenje prikupljenih podataka, a zatim i izradu geoloških karata. Geološke karte Libije prema Vinassa de Regny (1913, u razmeri 1: 5.000.000) i prema Desio (1935, u razmeri 1: 3.000.000) su štampane početkom 20. veka. Na ovim mapama se jasno vidi široka zastupljenost gornjokrednih i tercijarnih sedimentnih stena.

Geološka istraživanja Libije su se intenzivirala od 1955. godine (Geze, 1957; Vincent, 1963). Do 1970. godine, naftne kompanije su vršile duboka istražna bušenja i terenska istraživanja na prostorima sa odobrenim koncesijama. Većina prikupljenih geoloških podataka se nalazi u formi nepublikovanih izveštaja. Međutim, osnivanjem Društva za istraživanje nafte u Libiji 1957. godine počelo je selektivno publikovanje ovih podataka. Posebno je važan početak publikovanja prvog Stratigrafskog leksikona Libije (Burollet, 1960). Ovaj priručnik je sistematizovao sve objavljene i neobjavljene podatke sa celokupne teritorije Libije, takođe je uključio i podatke prikupljene od strane naftnih kompanija. Ova knjiga sadrži prve opise gornjokrednih i tercijarnih formacija, uključujući i podatke o formaciji Wādi Thāmat i formaciji Al Jir. Zbog navedenih podataka, ova knjiga je najvažnija publikacija o geologiji Libije. Pored toga, publikovani su brojni radovi o geologiji proučavane oblasti u zbirci Prvog simpozijuma o Sahari (Tripoli, 1963) i Simpozijum o geologiji Libije (Tripoli, 1971). Krajem 20. veka područje Libije su proučavali američki geolozi Conant and Goudarzi (1964, 1977) i Goudarzi (1970). Oni su prikupili i sistematizovali sve objavljene podatke koji se odnose na čitavu teritoriju Libije, kao i one prikupljene od strane naftnih kompanija. Izradili su geološki kartu Libije u razmeri 1: 2 000 000 na osnovu ovih sistematizovanih podataka, takođe su objavili i sistematski opis geologije i ležišta mineralnih sirovina cele Libije. Pregled geoloških podataka Libije je veoma važan, jer se u njemu nalaze skoro svi neobjavljeni podaci iz različitih fondova.

Industrijski istraživački centar (Industrial Research Centre - IRC) je osnovan 1970. godine, kao vladina institucija Libije koja ima pravo da vrši sistematsko istraživanje i geološko kartiranje nacionalne teritorije u razmeri 1: 250 000. Sledeće aktivnosti IRC-a su terenska istraživanja i izrada geoloških karata sa severa na jug i sa zapada na istok zemlje.

Jedna od osnovnih aktivnosti IRC-a je bila objavljivanje drugog Stratigrafskog leksikona Libije prema Banerjee (1980) i gornjokredne – tercijarne formacije severne Libije, sinteza podataka prema Megerisi and Mamgain (1980). Ove dve knjige daju sintezu svih dostupnih podataka o krednim i tercijarnim formacijama u proučavanom području. Štaviše, na osnovu prethodnih podataka IRC je napravio geološku kartu Libije u razmeri 1: 1.000.000. Brojni radovi koji govore o geologiji istočnog Fezana i severne oblasti Sirta, predstavljenih na Drugom (1978) i Trećem (1997) simpozijumu o geologiji Libije, uključeni su u dobro poznatu monografiju „Geologija Libije“ (sveske I – VII, 1980-1991). Radovi objavljeni u monografiji od tri toma pod nazivom „Geologija Sirt basena“ (1996), čiji su editori bili Salem, Busrewil, Misallati i Sola, posebno su važni za istraživanje tog područja. Najnovija i najsloženija istraživanja obavljena su u toku izrade geološke karte Libije u razmeri 1:

250.000. Ova proučavanja teritorije Libije su izvršena tokom 1980-ih godina u okviru međunarodne kampanje za geološko kartiranje. Češki geolozi su proučavali područje sledećih listova geološke karte Libije: Zallah, Abu Naim i Maradah. Mađarski i libijski geolozi su sproveli istraživanja na narednim listovima geološke karte Libije: Al Haruj Al Abyad (Peregi et al, 2003) i Waw Al Khabir (Less et al, 2006).

Najnovija geološka istraživanja su izvršena na području lista NG 34-9 (Vasić and Sherif, 2007). Rezultati geološkog kartiranja eocenskih sedimenata su u skladu sa ranijim istraživanjima, dok su istraživanja oligocenskih ležišta omogućila izdvajanje formacije Dūr At Talah. Donji član je predstavljen sedimentima spoljašnje i unutrašnje delte, a gornji član sedimentima deltne ravni.

Područje Jabal Eghei istraživano je tokom realizacije istraživanja opšte geološke građe jugoistočne Libije i izrade geoloških karata razmere 1 : 250.000. Istraživanja su izveli istraživači Industrijskog istraživačkog centra iz Tripolija i istraživači Geološkog zavoda Srbije. Tokom terenskih istraživanja prikupljeno je dosta podataka, na osnovu kojih je zatim objavljeno nekoliko radova koji su poslužili kao osnovna literatura na koju se oslanjaju novoizvedena istraživanja i analize (Cvetković et al, 2010; Bojić and Algerbi, 2014; Toljić and Abu Agrab, 2014; Radivojević et al, 2015).

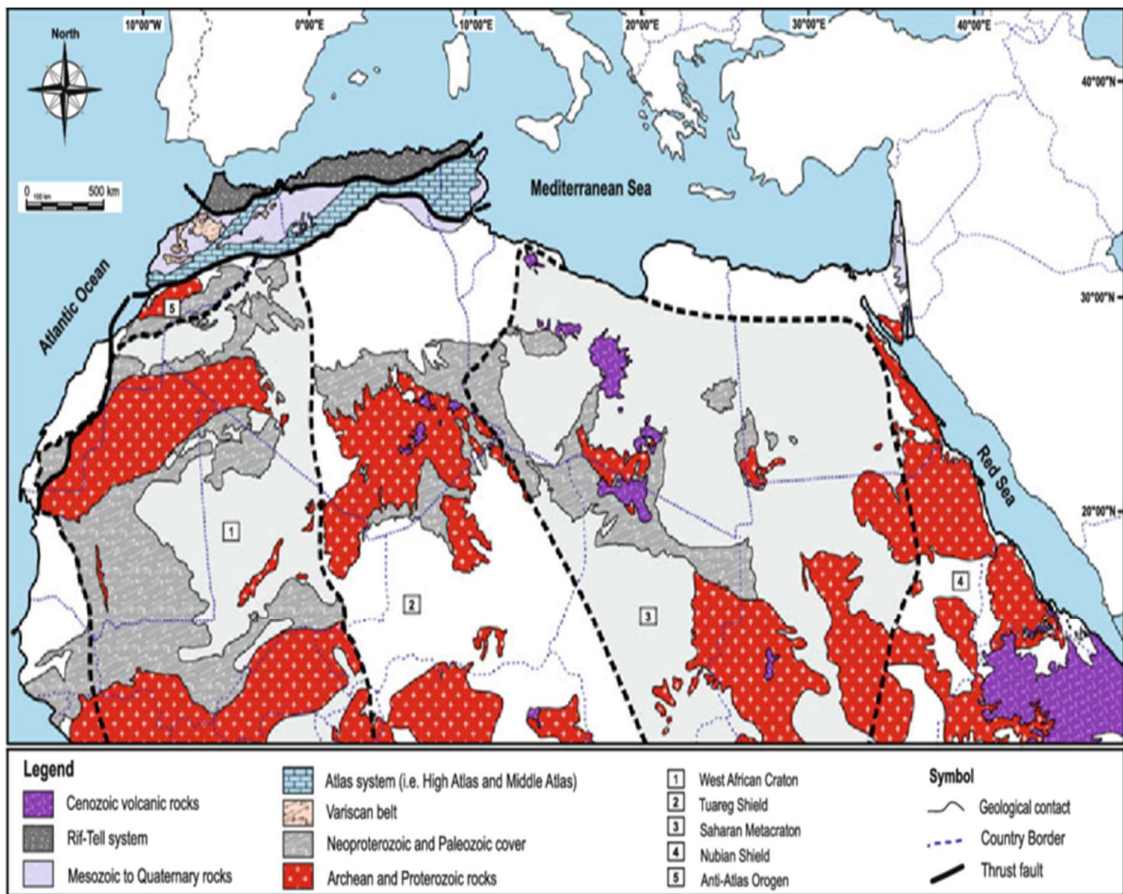
Ranija geološka istraživanja izvršena na definisanom području uglavnom su vezana za regionalno geološke, paleontološke, biostratigrafske i mineraloško-petrografske radove. Uprkos količini podataka dobijenih u toku pomenutih istraživanja bazalta, dosada nije izvršena njihova sistematizacija, odnosno korelacija u skladu sa mogućim primenama u raznim granama industrije, sa krajnjim ciljem da se prepoznaju produktivne formacije, odnosno celine koje odlikuju jedinstvene karakteristike i oceni njihova potencijalnost.

2.3. Opšta geološka građa područja Jabal Eghei

Od kenozoika do danas, su u severnoj i istočnoj Africi, anorogenom, bimodalnom i intra-kontinentalnom magmatskom aktivnošću formirane prostorno odvojene magmatske provincije: Hoggar-Tibesti, Al Haruj, Darfur, Istočno – afrički rift i Crveno more (Lucassen et al, 2013; slika 2.2). Oblast Jabal Eghei se nalazi u južnom delu Libije, tj. na severoistočnim obroncima planine Tibesti. Ova oblast je deo više od 1000 km dugog libijskog vulkanskog pojasa, pružanja pravca sever, severozapad-jug, jugoistok, a koji se proteže od mediteranske obale, blizu Tripolija, do planine Tibesti u Čadu.

Magmatske stene su uglavnom efuzivne, praćene manjim piroklastičnim naslagama. Oko 60 % su bazičnog do intermedijarnog sastava prema sadržaju SiO₂ (SiO₂ 45–57 tež. %), dok je ostatak predstavljen stenama kiselijeg sastava (trahit, fonolit, riolit) ili stenama ultrabazičnog sastava. Ranije izvedenim terenskim i laboratorijskim proučavanjima utvrđena je vremenska magmatska evolucija dva različita tipa magmatske aktivnosti, koje karakterišu razlike u geohemijskim i petrološkim svojstvima vulkanita Libije (Bojić and Algerbi, 2014; El Bakkali et al, 1998). Prvi tip magmatizma je oligocenske do miocenske starosti, dok je drugi tip vulkanita formiran od pliocena do danas. Predloženi geodinamički i petrološki modeli interpretirali su kenozojski magmatizam u severozapadnoj Africi kao rezultat kolizije između Afrike i Evrope, koje je prouzrokovala linearno raslojavanje duž postojećih Pan-afričkih zona mega smicanja, indukujući brzo astenosfersko izdizanje i parcijalno stapanje (Liégeois et al, 2005). Libijska vulkanska provincija se proteže od podnožja planinskog masiva Tibesti (Čad), preko centralne libijske ravnice, nadalje prema Tripoliju, pri čemu su glavna vulkanska polja Jabal Eghei, Al Haruj, As Soda, Al Hasaunah i Gerian (Slika 2.3).

Područje Jabal Eghei karakteriše različit stepen složenosti geoloških odnosa. Posebno su kompleksni odnosi između različitih litoloških jedinica koje su opservirane na terenu izgrađenom od prekambrijskih magmatskih i metamorfnihih stena. Ove formacije su na površini otkrivene kao deo tektonskog entiteta Tibesti-Sirt aplifta.



Slika 2.2: Pregledna geološka karta severne Afrike sa prikazanom distribucijom segmenata beizmenta platforme (modifikovano prema geološkoj karti Afrike; Milesi et al., 2004).

Paleozojsko-mezozojske sedimentne stene su nastale u oblasti Al Kufra basena, dok su sedimenti kenozojske starosti deponovani u južnom delu Sirt basena. Geološki odnosi stena metamorfno-magmatogene osnove su složeni, što je rezultat višefaznih deformacije metamornih i magmatskih stena. Fanerozojski sedimenti pokrova metamornog jezgra platforme, zajedno sa bazaltima, se karakterišu relativno jednostavnom geološkom građom, lokalno komplikovanom u područjima duž velikih raseda.

2.3.1 Proterozojski metamorfiti i magmatiti

Metamorfiti i magmatiti predstavljaju delove ekshumirane „Pan-afričke“ osnove platforme, izgrađene od proterozojskih metamorfita i granitoidnih stena (Vail, 1991), tj. metamorfita i granitoida istočnog Tibestija, kao dela Nil kratona (Hallet, 2002). U skladu sa interpretacijama Kusky et al., (2003), ovi tereni su interpretirani i kao delovi metakratona Sahare. Proterozojski metamorfiti i granitoidne stene su pozicionirani u jugozapadnom delu provincije Jabal Eghei. Preovlađuju stene granitskog afiniteta, dok su metamorfne stene daleko manjeg površinskog rasprostranjenja. Metamorfni kompleks se sastoji od različitih tipova regionalno metamorfisanih stena. Metamorfne stene su predstavljene amfibolitom, gnajsom, dvoliskunskim gnajsom, biotit-gnajsom, muskovitskim gnajsom, amfibolitskim gnajsom, amfibolitsko-muskovitskim gnajsom, granit-gnajsom i amfibolitskim škriljcima. Metamorfiti su bili polifazno deformisani i intenzivno ubrani u izokline nabore. Ove stene su proterozojske starosti (Grubić and Ammar, 2014). Kontaktno metamorfne stene, izmenjene u uslovima hornfels facije, nalaze se u zonama kontakta granita i okolnih metamornih stena. Magmatske stene u području Tibestija formiraju dve asocijacije. Starije su izgrađene od granita, granodiorita, kvarc-diorita, diorita, gabra i pratećih žičnih stene: mikro-granita, aplita i kvarcita.

Mlađa grupa magmatskih stena je predstavljena biotitskim granitom, sijenitom i riolitom sa riolitskim piroklastitima (Wacrenier, 1958). Starost sin-tektonski konsolidovanih magmatita se kreće od 687 Ma do 629 Ma, dok se starost post-tektonskih magmatskih stena kreće od 611 Ma do 604 Ma (Toljić and Abu Agrab, 2014).

2.3.2 Paleozojske formacije

Paleozojski sedimenti su sastavni deo zapadne periferije Al Kufrah basena. Formacija Murizide je najstarija jedinica u fanerozojskom sedimentnom pokrovu platforme. Sedimenti formacije Murizide transgresivno leže preko metamornih i granitoidnih stena osnove platforme, dok im se u povlati nalaze sedimenti formacije Hasauna. Formacija Murizide je generalno izgrađena od feldspatskih peščara i retkih milimetarskih kvarcnih zrna raspoređenih u stenskoj masi. Vezivni materijal je uglavnom kaolinit. Sastavni deo formacije su i alevritični peščari i alevroliti. Tragovi fosila poput *Cruziana sp.* i *Arthropycus sp.* (Gajić and Sherif, 2014), koji se pojavljuju u klastitima u donjem delu sedimentne sukcesije, posebno su karakteristični za sedimente Murizide. Ukrštena laminacija i kanalska subfacija, odgovaraju depozicionom modelu tajdalno-aluvijalnih sedimenata. Debljina sedimenata Murizide formacije se kreće od 90 do 140 m. Formacija je donjokambrijumske starosti, što je određeno na osnovu nalazaka malobrojnih palinomorfa (Grubić and Amar, 2014).

Sledeća jedinica u paleozojskoj sukcesiji je formacija Hasauna. Ova jedinica diskordantno pokriva sedimente formacije Murizide. Preko nje leže ili konkordantni peščari Ašebjat formacije ili transgresivni klastiti Memunijat formacije. Veliki setovi krupnozrnih peščara i konglomerata se pojavljuju u bazalnom delu sedimenata Hasauna formacije. Glavna teksturna karakteristika ovih stena su kašikasta i tabularna kosa slojevitost velikih razmera. Peščari Hasauna formacije se uglavnom sastoje od zrna kvarca u silicijskom matriksu. Gornji deo formacije sadrži proslojke i izdužena sočiva alevrolita i fino-zrnih peščara, svetlo žute i crvene do ljubičaste boje. Peščari Hasauna formacije su deponovani u deltnom sistemu sa periodično jačim tajdalnim strujanjima. Debljina formacije je oko 200 m. Starost deponata Hasauna formacije je srednji do gornji kambrijum (Grubić and Amar, 2014).

Stene Ašebjat formacije su konkordantne preko sedimenata Hasauna formacije. Sedimenti formacije Ašebjat su transgresivno pokriveni klastitima Memunijat formacije. Diskordancija je markirana bazalnim konglomeratima. Formacija Ašebjat je izgrađena od peščara i alevrolita. Najveća izmerena debljina sedimenata Ašebjat formacije je u području Jabal Kalnjah i iznosi oko 60 m. Sedimenti formacije Ašebjat su marinske geneze i reprezentovani su sa različitim litofacijama koje se smenjuju u horizontalnoj i vertikalnoj sukcesiji. Smatra se da su klastiti formacije Ašebjat donjoordovicijske starosti (Grubić and Amar, 2014).

Sedimenti Memunijat formacije su u transgresivnom odnosu sa podinskim stenama i povlatnim sedimentima predstavljenim donjosilurskim sedimentima formacije Tanezuft. Sukcesija jedinica počinje bazalnim konglomeratima. Slojevitost je slabo izražena. Litofacije i strukturne karakteristike ukazuju da se deponovanje formacije odvijalo u morskim uslovima. Debljina sedimenata Memunijat formacije je 145 m. Starost sedimenata ove formacije je gornjoordovicijumska (Stejić and Turki, 2014). Klastiti formacije Memunijat su transgresivno pokriveni siliciklastičnim stenama Tanezuft formacije.

Sukcesija Tanezuft formacije se sastoji od smene glinaca i belih, tanko slojevitih, fino-zrnih peščara. Deo sekvence sa glincima je deblji sa čestim laminama fino-zrnog peščara. Sedimenti ove formacije su nastali u morskoj sredini. Slojevi fino-zrnih klastita pokazuju različite sedimentne teksture i strukture kao što su brežuljkasta slojevitost, kosa laminacija, tragovi tečenja, talasasta laminacija i sočivasta laminacija. Debljina formacije ne prelazi 30 m. Superpozicioni odnosi ukazuju na donjosilursku starost (Radulović, 1984), dok je na području lista Majdul pronađena asocijacija silurskih graptolita i palinomorfi koji su starost sedimenata Tanezuft formacije odredili kao donjosilursku – landoverski kat (Žolnaj and Turki 2007).

Deponati formacije Akakus konkordantno pokrivaju naslage formacije Tanezulf. Klastiti Akakus formacije su finozrni peščari sa *Tigillites* sp. i alevritični peščari proslojeni tankim setovima kašikastih koso slojevitih finozrnih peščara. Maksimalna debljina sedimenata formacije Akakus je 35 m. Ovi sedimenti su gornjosilurske starosti (Mamgain, 1980).

Klastiti Tadrart formacije su diskordantni preko peščara formacije Akakus. Donji deo formacije Tadrart je izgrađen od grubozrnih klastita, u kojima je razvijena kosa slojevitost. Debljina sedimenata Tadrart formacije ne prelazi 80 m. Formacija je donjodevonske starosti (Mamgain, 1980).

Sedimenti formacije Tadrart su pokriveni naslagama formacije Blita. Sedimenti formacije Blita su predstavljeni pretežno peščarima i nastali su u marinskoj depozicionoj sredini. Deponati Blita formacije su u istočnom delu područja Jabal Eghei debljine oko 55 m, a njihova starost je određena kao gornjodevonska (Bellini and Massa, 1980).

2.3.3 Mezozojske formacije

Najstarije mezozojske stene su klastiti Kalnjah formacije. Ove stene leže transgresivno preko paleozojskih stena, a preko njih diskordantno leže kontinentalni peščari jurske starosti. Formacija Kalnjah počinje slabo cementiranim peščarima bez konglomerata. Sledi sukcesija horizontalnih slojeva mikrokonglomeratičnih srednjozrnih peščara. Klastične stene formacije Kalnjah su karakteristične za aluvijalne sisteme. Debljina formacije je promenjiva i iznosi od 35 do 45 m. Starost formacije Kalnjah je određena kao trijaska (Glavas and Turki, 2014).

Formacija Al Bab sledi u vertikalnoj sukcesiji. Kontakti sa podinskim i povlatnim jedinicama su markirani erozionim diskordancijama. Trijaski sedimenti leže ispod, a kredni sedimenti iznad. Formacija je predstavljena sukcesijom finozrnih peščara, glinovitih alevrolita i konglomeratična je. Ukupna debljina formacije Al Bab, u istočnom delu područja, je 250 m, a sedimenti su jurske starosti (Oweiss et al, 2007).

Formacija El Burg je izgrađena od raznobojnih alevrolita i finozrnih peščara. Opšti izgled sedimenata i litofacijalni sastav u vertikalnoj sukcesiji ukazuju na upleteni i meandrirajući rečni sistemi. Debljina sedimenata je oko 200 m, a starost je donjokredna (Issawi and Jux, 1982).

Sedimenti Nubia formacije su deponovani preko klastita El Burg formacije tokom gornje krede (Issawi, 1971). Sukcesija sedimenata Nubia formacije, debljine oko 70 m, izgrađena je od velikih setova koso slojevitih srednjo i krupnozrnih peščara, konglomeratičnih peščara i interkalacija alevritičnih peščara i alevrolita. Sedimenti Nubia formacije su deponovani u kontinentalnim uslovima.

2.3.4 Kenozojske sedimentne formacije i bazalti

Kenozojski sedimenti se nalaze u severnom delu područja Jabal Eghei i sastoje se od kontinentalnih paleocensko-eocenskih deponata, morskih formacija eocensko-oligocenskog sedimentacionog ciklusa, kontinentalnih sedimenata gornjomiocenskog sedimentnog ciklusa i genetski različitih kvartarnih naslaga. Debeli bazaltni slivovi, i sa njima asocirane kontinentalne naslage, takođe su tercijarne starosti. Najstarija formacija je kontinentalna Wadi Gudu formacija, a zatim slede formacija Al Žir i formacija Wadi Tamat, kao deo morskog sedimentacionog ciklusa, koji se završava prelaznim morsko-kontinentalnim sedimentima. Sedimenti formacije Wadi Gudu su nastali tokom gornjeg paleocena – donjeg eocena (Hunting Geology and Geophysics Ltd., 1974). Sedimenti formacije Al Žir su debljine oko 100 m. To su klastiti (laporci i glinci), karbonati (krečnjaci i dolomiti) i evaporiti (gips i anhidrit). Formacija Wadi Tamat je predstavljena sa tri člana: Al Gata, Tamed Al Kusur i Krarat Al Džifa.

Član Al Gata je izgrađen od plitkomorskih sedimenata deponovanih u subtajdalnim, zaštićenim intertajdalnim (laguna) i otvorenim intertajdalnim zonama interkontinentalnog mora. Predstavljen je

klaititima (laporac, alevrit i pešćar), biogenim krečnjacima, dolomitima i evaporitima (gips). Debljina sedimenata člana je od 60 do 80 m. Član Tamed Al Kusur je sastavljen od kredastih krečnjaka, dolomita, gipsa i rožnaca. Debljina svakog paketa slojeva je od 20 do 25 m. Član Krarat Al Džifa je sastavljen od laporaca, pešćara, krečnjaka i gipsa. Sedimenti donjeg člana formacije Dur At Talah su delte geneze. Litološki, u donjem delu sukcesije to su pretežno finozrni pešćari, dok u gornjem delu preovladavaju grubozrniji klastiti kanalskih facija. U sedimentima su nađeni ostaci silifikovanog drveća i retko polen. Starost formacije je oligocenska (Vasić and Sherif, 2007).

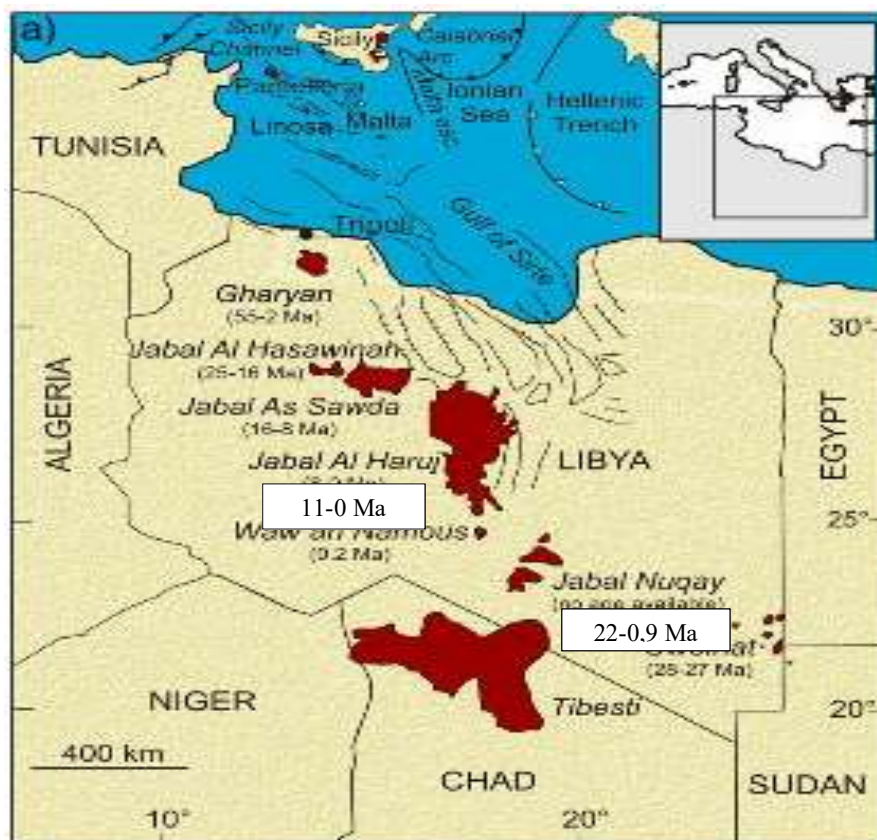
Bazaltne stene

Libija ima pet glavnih tercijarnih vulkanskih regiona (Gerijan, Jabal Al Hasauna, Jabal Soda, Jabal Al Haruj i Jabal Eghei; Slika 2.3) koje imaju površinu od oko 66 000 km² (Masoud, 2014). Vulkanizam je pretežno bazaltnog sastava, a lokalno fonolitskog i trahitskog karaktera. Bazaltske stene su dominantno alkalne i imaju prosečan sadržaj SiO₂ od 44.75 % u području Geariana; 47 % u regionu Jabal Al Hasauna; 48.09 % u okolini Jabal Soda; 47.22 % u domenu Jabal Al Haruj i 44.80 % u oblasti Jabal Eghei, dok fonolitske stene imaju sadržaj SiO₂ u opsegu 57.14 - 64.37 %. Uopšteno su ove stene predstavljene nizom nezasićenih alkalnih stena, u smislu njihovog visokog sadržaja Na₂O + K₂O, Nb i Zr, i po sastavu su u rasponu od alkalnog bazalta do fonolita.

Vulkanizam je bio aktivan tokom poslednjih 55 Ma, sa generalnim smanjenjem starosti idući od SSZ ka JJI. Inicijalni vulkanizam u provinciji Gerian dogodio se u periodu od 55 do 50 Ma, dok je najmlađi holocenski vulkanizam Al Haruj polja u centralnoj Libiji. Vulkanizam je interpretiran kao rezultat SSZ kretanja Afričke ploče preko fiksirane „hot spot“ u omotaču, u skladu sa hondrit – normalizovanim uzorcima elemenata retkih zemalja kenozojskih bazalta iz Libije, severne Afrike i južne Evrope (Nickel, 1986; Adam and Green, 2006). S druge strane linearna distribucija libijskih vulkana i varijacije starosti vulkanizma mogu se povezati i sa ekstenzijom ispoljenom duž regionalnih raseda, kao što je sugerisano za mnoge kontinentalne riftne zone, između ostalih i za libijske vulkane (Asran and Aboazom, 2004). Farahat et al (2006) su klasifikovali vulkanske stene Libije kao produkte riftova sa niskim intezitetom vulkanizma, zbog malih iznosa širenja kontinentalne kore, malog volumena magmi, diskontinuirane vulkanske aktivnosti, širokog spektra sastava bazaltnih magmi i podređenog učešća kiselih tipova magmi.

Bazalti pokrivaju veći deo područja Jabal Eghei, tercijarne su starosti i deo su vulkanske provincije Tibesti. To su stratifikovani bazalti, koji pokrivaju velike površine u severnom i južnom delu područja. Tercijarni bazalti su izliveni preko proterozojskih metamorfita i granita i preko litološki različitih stena tercijarne starosti.

Intenzivni bazaltni vulkanizam manifestovao u severnoj Africi tokom neogena i kvartara, a povezan je sa vulkanskom zonom Tibesti, koja je najjužniji segment složenog regionalnog raseda Tripoli – Tibesti, koji se pruža pravcem severozapad - jugoistok. Na osnovu lokacije vulkanskih centara i dajkova u regionu, može se zaključiti da se magmatizam manifestovao u ekstenzionom naponskom polju orijentisanom pravcem SI-JZ. Ove stene su nastale tokom nekoliko odvojenih vulkanskih epizoda trofazne vulkanske aktivnosti. Tokom miocena (torton) na ovom području je egzistirao kopneni (fluvijalni i jezerski) basen u kome su se deponovali konglomerati, pešćari i peskoviti krečnjaci Kan Jarav formacije. Ovi deponati su stratigrafski veoma važni jer odvajaju bazalte prve faze od bazalta nastalih tokom druge faze efuzivne aktivnosti. Debljina klastično-karbonatnih sedimenata Kan Jarav formacije je u rasponu od nekoliko metara do 30 m.



Slika 2.3. Lokacije glavnih izdanaka tercijarnih vulkanskih regiona (crveno), (Lustrino et al., 2012, modifikovano); za područje Jabal Al Haruj starosti vulkanizma su inovirane sa podacima Toljić and Turki (2007), a za područje Jabal Nugay na osnovu podataka Toljić and Abu Agrab (2014) i Bojić and Algerbi (2014).

Kvartarni sedimenti

Kvartarni deponati pokrivaju značajan deo istraživanog područja. Predstavljeni su pleistocenskim fluvijalnim i proluvijalnim naslagama i holocenskim eolskim (dine i pesak), aluvijalnim i sedimentima vade. Kaliče je bio formiran krajem pleistocena i početkom holocena.

2.4. Tektonske karakteristike jugoistočne Libije

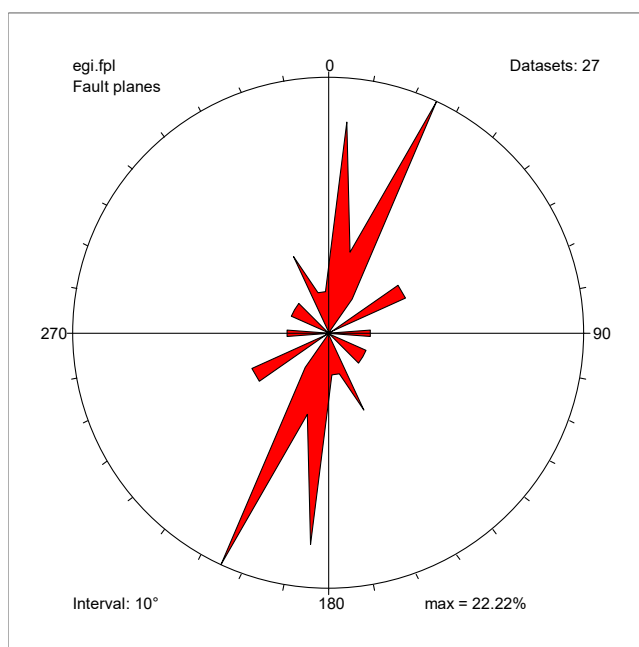
Tektonska svojstva formacija različite starosti su rezultat polifaznih tektonskih oblikovanja, izvedenih u vremenu od proterozoika do kraja neogena. Efekti najranijih tektonskih oblikovanja koja se mogu prepoznati odgovaraju rano proterozojskoj amalgamaciji kratonskih fragmenata iz kojih je formiran kraton Nila, kao deo superkontinenta Rodinia (Hallett, 2002). Rezultat fanerozojskih tektonskih oblikovanja prepoznajemo u niskom stepenu tektonizacije sedimentnog pokrova osnove platforme i razvoju nekoliko jasno individualisanih basenskih struktura. Proučavano područje jugoistočne Libije se nalazi u području tri regionalna tektonska entiteta:

1. Centralni i južni deo grade proterozojske magmatske i metamorfne stene koje su predstavljene sa dve grupe stena, koje se razlikuju po starosti stena, stepenu metamorfizma i intenzitetu tektonskih oblikovanja. Stariji kompleks se sastoji od metamorfita visokog stepena metamorfizma i magmatita i nalazi se u centralnom i južnom delu oblasti Jabal

- Eghei. Mlađi kompleks se sastoji od stena niskog stepena metamorfizma i magmatita, koje se nalaze u jugozapadnom delu područja Jabal Eghei.
2. Severni i istočni delovi područja Jabal Eghei pripada domenu Al Kufra basena. Litostratigrafski to su debele sekvence paleozojskih i mezozojskih sedimenata, koje se blago spuštaju prema istoku i jugoistoku.
 3. Tercijarni sedimenti i neogeni bazalti pripadaju domenu Sirt basena, odnosno njegovom južnom ogranku Abu Tumaja trogu. Tektonska istorija basena Sirt je karakteristična po smeni perioda ekstenzije i tektonske stabilnosti praćene termalnom subsidencijom. U južnom delu Sirt basena su dominantne strukture koje su nastale u uslovima tenzije orijentisane pravcem SI-JZ (Anketell, 1996; Van Der Meer and Cloething, 1993; Less et al., 2006).

2.4.1 Tektonska svojstva metamorfita i magmatita osnove platforme

Starije deformacije bejzmenta uglavnom su imale duktilni karakter. Analizirani podaci upućuju na polifazni razvoj nabornih struktura i mega zona smicanja. Opservirani rasedi u bejzmentu su uniformno grupisani u strukture pravca pružanja SSI-JJZ (Toljić and Abu Agrab, 2014; Slika 2.4).



Slika 2.4: Rozeta pružanja padova izmerenih raseda (Toljić and Abu Agrab, 2014).

2.4.2 Kambrijumska do gornjosilurska tektonska oblikovanja

Prvi značajniji impulsi kaledonske orogeneze manifestovani su na granici kambrijum-ordovicijum. Rezultirali su otvaranjem basena u kojem su deponovani kontinentalni sedimenti Hasauna formacije, a zatim i sedimenti Ašebjat formacije koji su morskog karaktera. Rano fanerozojska depoziciona područja su bila orijentisana pravcem SZ (SSZ) – JI (JJI), a između njih su se nalazila područja izdizanja, koja su od basena bila separisana rasedima iste orijentacije (Klitzsch, 2000).

2.4.3 Hercinska tektonska oblikovanja

Tokom hercinske tektonske faze na području severne Afrike je manifestovana relativno intenzivna unutar-platformna tektonska aktivnost. Na to ukazuju brojni strukturni fenomeni vezani za tektonsku aktivnost transkurentnih raseda i asociranih struktura na istočnom obodu Murzuk basena (Marović 2007a, u Toljić and El Mehdi, 2007; Marović 2007b, u Žolnaj and Turki, 2007). Tokom hercinskih

oblikovanja aktivirani su rasedi pravca pružanja SZ –JI i SI – JZ. Ovi rasedi su mogli biti aktivni u kompresionom naponskom polju orijentisanom po pravcu S – J (Marović, 2007b, u Žolnaj and Turki, 2007).

2.4.4 Paleogeno – neogena tektonska oblikovanja

Deo sedimenata platformnog pokrova, zajedno sa bazaltima, je nastao u domenu tercijarnog Abu Tumaja rova - južne grana Sirt basena. Saglasno ovome, paleogeno-neogeni strukturni sadržaji istraživanog područja su razvijani kao deo stuktura Sirt basena. Paleogena geološka evolucija basena korespondira sa paleocensko-eocenskim riftingom kontinentalne kore (Anketell, 1996). Glavne strukture u severozapadnom delu basena su pružanja SZ-JI, u istočnom delu su pružanja I-Z, a u južnim delovima Sirt basena rasedi su pružanja SSI-JJZ. Tokom neogena i kvartara u području severne Afrike ispoljen je intenzivan bazaltoidni vulkanizam. U ovom vremenu je formirano više bazaltnih polja koja se danas nalaze u području između Tripolija i Tibestija, od kojih su najveća Gerijan, Jabal Soda, Al Haruj (al Asuad), Jabal Eghei (Jabal Nugay) i Tibesti. Vullkanska aktivnost se pretežno odvijala u ekstenzionom naponskom polju sa horizontalnom osom minimalnog stresa orijentisanom po pravcu SI – JZ, pri čemu je osa kompresije bila vertikalna (Toljić, u Gajić and Sherif, 2014).

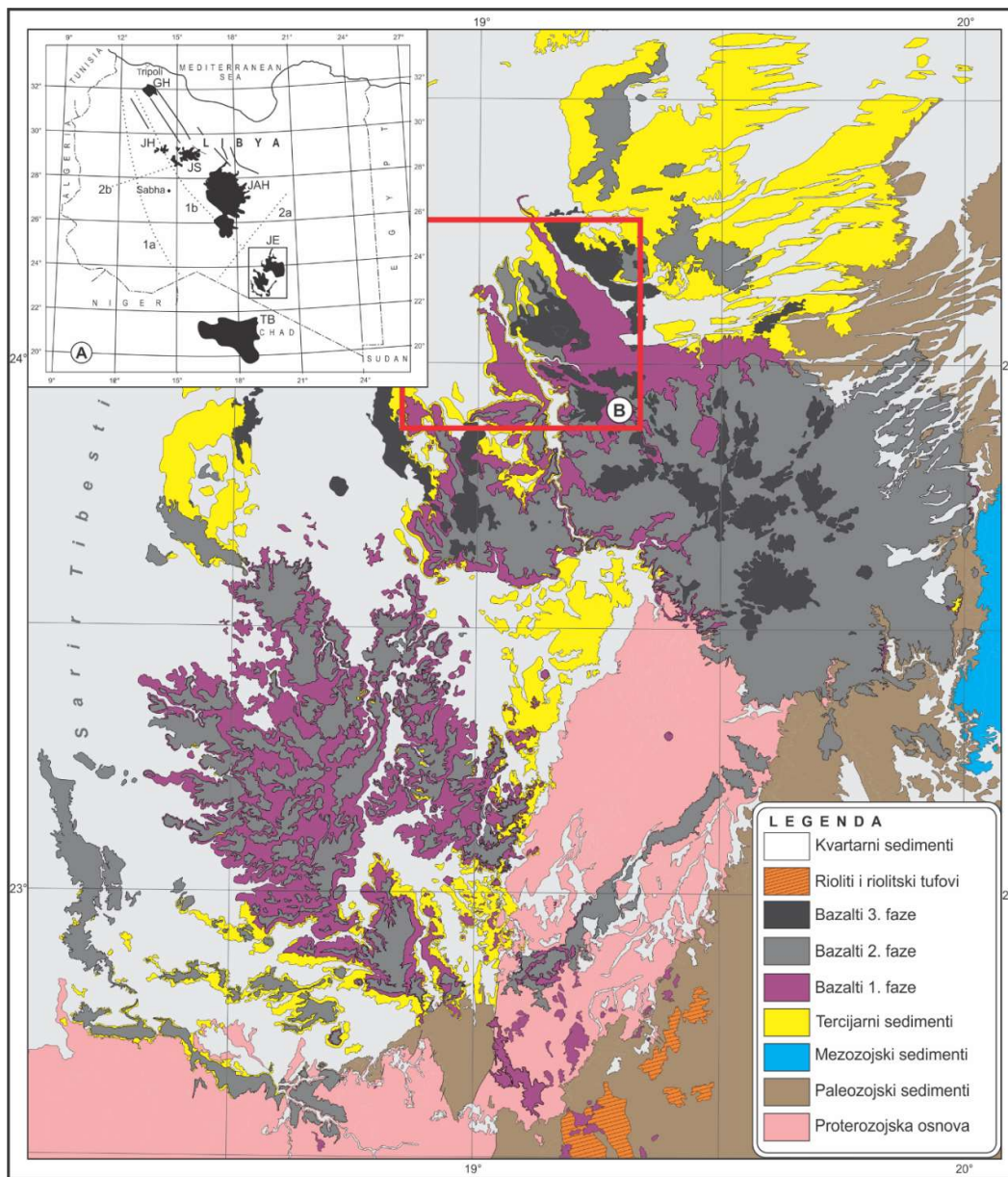
2.5. Geologija bazalta u području Jabal Eghei

Bazaltne stene područja Jabal Eghei geografski su locirane na severoistočnim padinama planinskog masiva Tibesti. Uzevši u obzir eksterne granice područja koje je pokriveno slivovima bazalta, a koji se delom nalaze i ispod kvartarnih deponata, procena je da bazalti pokrivaju površine od oko 17000 km² (Slika 2.5).

Severni delovi Tibestija su sa geološke tačke gledišta slabo istraženi; prve informacije su se odnosile na izveštaje sa geografsko-geoloških ekspedicija koje su bile u južnom delu Libije. Među njima najvažniji su izveštaji koje je dao Dalloni (1934). Kao član ekspedicije Dalloni-ja iz 1930-31, Lacroix (1934) je na osnovu proučavanja prikupljenih uzoraka publikovao prve podatke o petrografiji i geochemiji bazalta južne Libije. Pored drugih opservacija on navodi i da je plagioklas-olivin bazalt često bogat augitom i da lokalno preovlađuje titanaugit.

Dalloni (1948), Goudarzi (1970) i Vail (1991) su zaključili da je vulkanska aktivnost u regionu Jabal Eghei nastala u kasnom fanerozoiku. Bazaltne stene su pozicionirane na severoistočnoj periferiji vulkanske provincije Tibesti. Nekad integralan vulkanski pokrivač se sada pojavljuje u dva erozijom prostorno odvojena regiona. Bazalti na severu pokrivaju sedimente formacija Wadi Gudu, Al Žir, Wadi Tamat, Dur At Talah i Kan Jarav (Slika 2.6). Bazalti na jugu leže preko osnove izgrađene od prekambrijskih i donjopaleozojskih stena (slike 2.7 i 2.8), a delom i preko sedimenata paleocensko-eocenske starosti.

Paleoreljef podine bazalta izgleda da je bio pretežno subhorizontalan. Međutim, brze promene u debljini slivova lave, kao i niski uglovi nagiba slivova (do 5°) ukazuju na to da su najstariji slivovi lave ispunjavali negativne morfološke forme u paleoreljefu. Merenja linearnih struktura i smerova naginjanja gasnih inkluzija, razvijenih u bazi nekoliko slivova bazalta, ukazuju da je barem jedan deo slivova bazalta došao sa juga. Periferije bazaltnih stratimorfni kompleksa su ograničene strmim liticama duž kojih su ponekad šire oblasti pokrivene krupnim uglastim blokovima bazalta. Slivovi bazaltnih lava su uglavnom crne ili tamno sive do tamno braon boje (Slika 2.9) i fino- do srednjorne holokristalaste tekture.



Slika 2.5: Pojednostavljena geološka karta područja Jabal Eghei. Na insertu (A) prikazan je raspored drugih vulkanskih polja libijske vulkanske provincije sa glavnim strukturama, a na (B) položaj istraživanog područja Wadi Al Athal. Objašnjenja: JE - Jabal Eghei; AH - Jabal Al Haruj Al Aswad; JS - Jabal as Soda; JH - Jabal Al Hasaunah; GH - Gerian provincija; TB - Tibesti Masiv. Rasedi i lineamenti: 1a - Tripoli–Tibesti; 1b - Al Haruj; 2a - Tibesti–Sirt; 2b - Al Karakaf (Radivojević et al, 2015, delom modifikovano).

Tipično, bazalti sadrže male, braonkaste ili zelenkaste fenokristale olivina, delimično zamenjene idingzitom. Međutim, postoje i afanatični varijeteti bazalta sa retkim fenokristalima olivina, klinopiroksena i plagioklasa. Ovi fenokristali se nalaze u matriksu sastavljenom od plagioklasa bogatih kalcijumom, augitskog klinopiroksena. Glavni akcesorni minerali su Fe-Ti oksidi i kristali apatita (Bojić and Algerbi, 2014). Bazalt sa gotovo svih lokaliteta sadrži brojne inkluzije obično ispunjene kalcitom. Kalcitske zapune su obično prečnika manjeg od 5 mm i ponekad čine do 25% od celog volumena stene. Nezapunjene izdužene gasne inkluzije i cevčice često se nalaze u donjim delovima nekih slivova lave.



Slika 2.6: Bazalti prekrivaju tercijarne kontinentalne sedimente (Stejić and Turki, 2014)



Slika 2.7: Kontakt gornjo-proterozojskih granitoidnih stena i povlatnih bazalta druge vulkanske faze (Toljić and Abu Agrab, 2014)



Slika 2.8: Tok lave iz južnog Jabal Darsu (Toljić and Abu Agrab, 2014)



Slika 2.9: Šupljikavi sliv tamnih bazalta treće generacije (Stejić and Turki, 2014)

3. GEOLOŠKE KARAKTERISTIKE PODRUČJA WADI AL ATHAL

3.1. Opšta geološka građa područja Wadi Al Athal

Teren područja Wadi Al Athal izgrađuju marine formacije eocensko-oligocenskog sedimentacionog ciklusa, miocensko-kvartarni bazalti, kontinentalni sedimenti gornjo-miocenskog sedimentnog ciklusa i kvartarne naslage (Prilog 1).

Formacije Al Žir i Wadi Tamat pripadaju marinskom sedimentacionom ciklusu koji završava prelaznim marinsko-kontinentalnim naslagama formacije Dur at Talah. Debljina formacije Al Žir je oko 100 m. Izgrađuju je lagunsko-tajdalni, sebha-lagunski i tajdalni sedimenti unutarkontinentalnog mora, deponovanih tokom ipresiana i lutesiana (Vasić and Sherif, 2007). Klastiti (alevroliti i šejlovi), karbonati i evaporiti, formiraju sekvence sa tipičnom cikličnom sedimentacijom.

Centralni deo područja grade sedimenti formacije Wadi Tamat predstavljeni sa tri člana: Al Gata, Thmed Al Kusr i Krarat Al Džifa (Vasić and Sherif, 2007). Član Al Gata se sastoji od plitkomorskih sedimenata deponovanih u subtajdalnim, zaštićenim intertajdalnim (laguna) i otvorenim intertajdalnim zonama unutarkontinentalnog mora. Predstavljani su klastitima (laporac, alevrolit i peščar), biogenim krečnjacima, dolomitom i evaporitima (gips). Debljina se kreće od 60 m duž južne granice do 80 m duž severne margine područja. Član Al Gata je okarakterisan cikličnom sedimentacijom najčešće sa sekvencom sastavljenom od laporca i bioklastičnog krečnjaka. Konkrecije celestita izgrađene od kristala mm-cm veličine, koje se pojavljuju u sferičnim oblicima i družama, takođe su formirane tokom dijagenetskog procesa. Fosilna asocijacija je bogata i sadrži i makrofosile (Bivalvia, Gastropoda, Echinoidea, Nautiloidea) i mikrofosile (Foraminifera, Ostracoda i Bryozoa). Član Al Kusr se sastoji od laporca, karbonata, evaporita (gips) i rožnaca. Celestin se i ovde pojavljuje u nepravilnim družama. Debljina individualnih članova je od 20 do 25 m. Depozicija sedimenata se odvijala u plitkom interkontinentalnom moru. Sedimente Krarat Al Džifa člana karakteriše ciklična sedimentacija u plitkom epikontinentalnom moru. Ova jedinica se sastoji od laporca, peščara, breča, karbonata, evaporita i klastita (gvožđevite stene). Asocijacija mikrofosila je siromašna. Ukupna debljina formacije Wadi Thāmat je oko 155 m. Član Krarat Al Džifa je superpoziciono najviši član formacije Wadi Thāmat. Ove stene se nalaze na površini u sever – severozapadnom delu istraživanog područja. Sedimenti Krarat Al Džifa člana su predstavljeni klastitima, karbonatima i evaporitima. Izmerena ukupna debljina je oko 50 m. Starost ovih sedimenata je priabonijska (gornji eocen). Sedimenti formacije Dur At Talah leže iznad sedimenata člana Krarat Al Džifa. Litološki prelaz je postepen. Sedimenti formacije su klastično - karbonatnog i klastično – evaporitskog sastava. Naslage formacije Dur At Talah su pokriveni kontinentalnim tercijarnim i kvartarnim naslagama. Debljina sedimenata formacije je oko 50 m.

3.2. Starost bazaltnih stena u proučavanom području

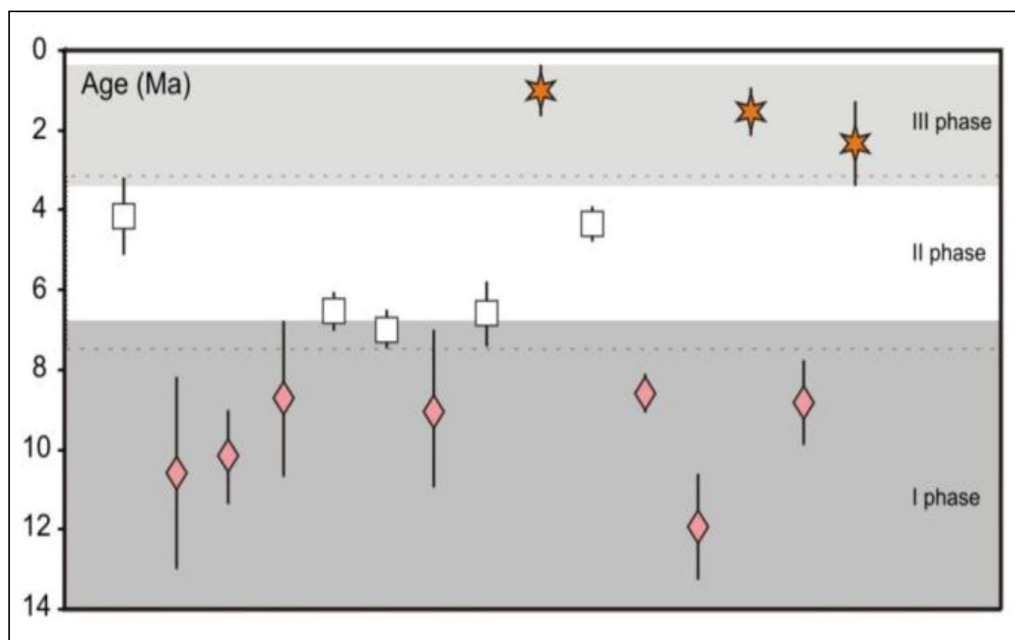
Prema podacima radiometrijske K/Ar analize (Tabela 3.1) bazalti u području Jabal Eghei su nastali tokom tri odvojene faze vulkanske aktivnosti. Bazalti prve faze su nastali u vremenu između 12 Ma (orton) i 8 Ma (mesinijan), bazalti druge faze u vremenskom intervalu od 7- 4 Ma, sto odgovara vremenskom periodu između mesinijana i zanklijana, dok je starost bazalta treće vulkanske faze manja od 4 Ma (Slika 3.1).

Bazalti prve vulkanske faze imaju veliko rasprostranjenje u severoistočnom i južnom delu oblasti Jabal Eghei. Bazalti su uglavnom izliveni preko sedimenata paleocenske i eocenske starosti, a u manjoj meri i preko stena beizmenta. Vulkanska aktivnost je povezana sa nekoliko izolovanih efuzivnih epizoda u vremenu između 12 - 8 Ma.

Tabela 3.1: Rezultati K/Ar metode za određivanje starosti bazalta za proučavano područje (Bojić and Algerbi, 2014).

| No. | Lab. No. | Phase | K (%) | 40Ar/39Ar (%) | K/Ar age (Ma) |
|-----|----------|-------|-------|---------------|---------------|
| 1. | 7487 | 2 | 0.75 | 5.6 | 4.12±0.98 |
| 2. | 7488 | 1 | 0.43 | 6.5 | 10.59±2.43 |
| 3. | 7489 | 1 | 0.62 | 12.3 | 10.18±1.19 |
| 4. | 7490 | 1 | 0.54 | 6.1 | 8.70±1.98 |
| 5. | 7491 | 2 | 0.54 | 16.5 | 6.55±0.55 |
| 6. | 7492 | 2 | 0.58 | 19.7 | 7.01±0.49 |
| 7. | 7493 | 1 | 0.42 | 6.2 | 8.95±2.00 |
| 8. | 7494 | 2 | 0.75 | 10.7 | 6.58±0.83 |
| 9. | 7495 | 3 | 1.09 | 2.0 | 0.97±0.68 |
| 10. | 7496 | 2 | 0.54 | 16.8 | 4.32±0.35 |
| 11. | 7497 | 1 | 0.53 | 27.4 | 8.58±0.45 |
| 12. | 7498 | 1 | 0.64 | 12.1 | 11.93±1.36 |
| 13. | 7499 | 3 | 1.14 | 9.8 | 1.52±0.21 |
| 14. | 7500 | 1 | 0.58 | 11.2 | 8.82±1.09 |
| 15. | 7501 | 3 | 1.04 | 3.0 | 2.30±1.07 |

Svi ovi bazalti imaju iste petrološke i geochemijske karakteristike. Slivovi bazalta su često interno razdvojeni tankim slojevima sedimenata, koji odvajaju produkte vulkanizma prve faze od bazalta koji se nastali tokom druge faze vulkanske aktivnosti. Osnovne morfološke karakteristike bazalta prve faze su visok stepen fizičko-hemijskih izmena stenske mase, što je rezultiralo sivom do svetlosivom bojom magmatita. Stepenn destrukcije bazalta se smanjuje idući naniže kroz stratifikovane vulkanite prve efuzivne faze.



Slika 3.1: Distribucija K/Ar starosti u bazaltima koji su produkti tri vulkanske faze (Bojić and Algerbi, 2014).

Bazalti druge efuzivne faze imaju praktično iste petrološke i geochemijske karakteristike kao bazalt prve faze. Ovi bazalti su nastali u vremenu između 7 - 4 Ma, tokom nekoliko sukcesivnih epizoda

vulkanske aktivnosti. Oni pokrivaju ili starije bazalte ili tercijarne limničke sedimente Kan Jarav formacije. U sekvenci su česti veoma debeli uniformni slivovo bazalta, u kojima se pojavljuje stubasto lučenje. Nekoliko vulkanskih kupa razvijenih iznad platoa napravljenog od bazalta druge faze, takođe je povezano sa ovom fazom vulkanske aktivnosti.

Bazalti treće faze imaju malo prostorno rasprostranjenje i malu debljinu. Starost bazalta je manja od 4 Ma. Važno je napomenuti da su bazaltne stene prve i druge faze vulkanološki i petrografski slične. S druge strane najmlađi bazalt se razlikuje od vulkanita prethodnih faza po tipu erupcije, petrografskim osobinama i geohemijskim karakteristikama.

3.3. Vulkanološke karakteristike bazalta

Tercijarni bazalti se prostorno nalaze u jugoistočnom delu Jabal Eghei područja. Kao glavni kriterijumi za razlikovanje bazalta različitih faza vulkanske aktivnosti, korišćene su sledeće karakteristike:

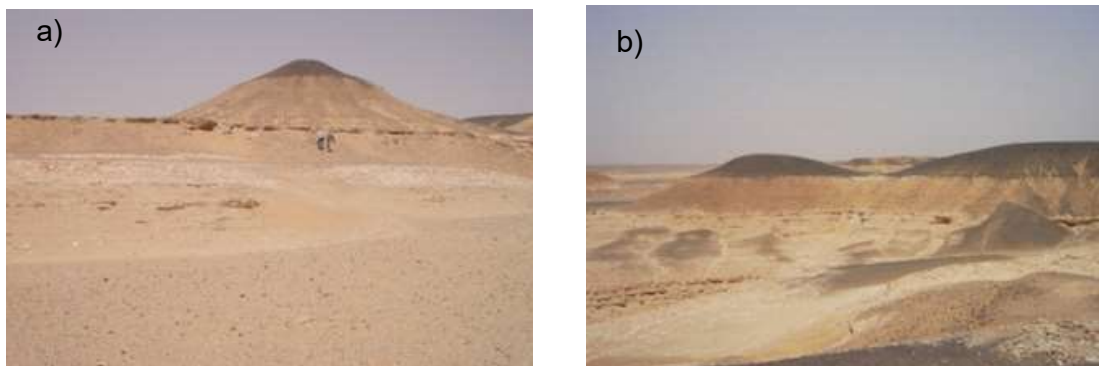
- 1- Morfološke karakteristike slivova lave utvrđene na terenu.
- 2- Radiometrijska starost vulkanskih stena.
- 3- Petrografska svojstva bazalta.
- 4- Geohemijske osobine bazalta.

Granica između bazaltnih slivova prve i druge vulkanske faze je bila utvrđena i na osnovu prisustva kontinentalnih fluvijalno – jezerskih sedimentata.

3.3.1 Bazalti prve vulkanske faze (β1)

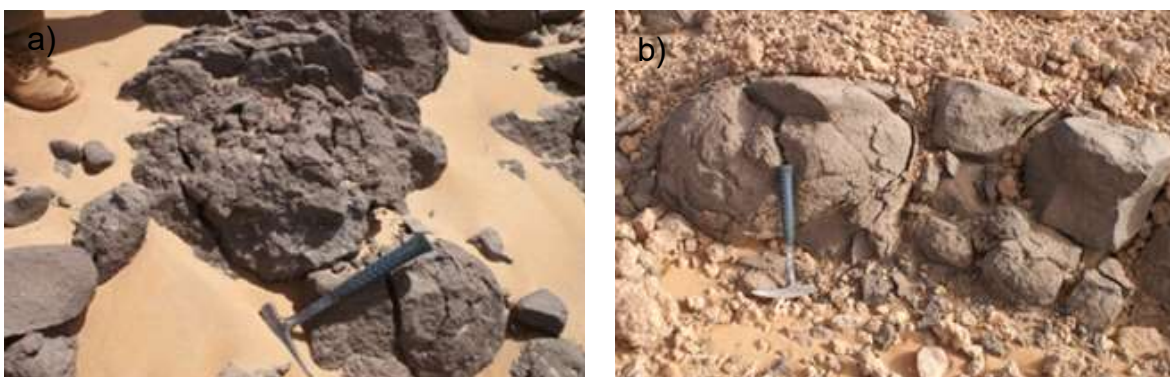
Bazalti nastali tokom prve vulkanske faze nalazi se na površinu u jugoistočnom delu istraživanog područja, blizu paralele 24°15'. Vulkanološke stene prve vulkanske faze se na površini pojavljuju samo u oblastima zahvaćenim dubokom erozijom i najčešće se nalaze preko eocenskih sedimentnih stena formacija Al Žir i Wadi Tamat. U povlati su direktno pokriveni mlađim vulkanskim stenama ili slabo sortiranim klastično – karbonatnim kontinentalnim sedimentima, debelim do nekoliko desetina metara. Prisustvo tih sedimentata obično predstavlja jedini univerzalni terenski kriterijum za razlikovanje stena prve i druge vulkanske faze.

Eocenski sedimenti i povlatni bazalti pokazuju karakteristične konične forme u reljefu (Slika 3.2 a, b). Bazalti grade vrhove ovih konusnih formi i debljine su do nekoliko metara. Debljina je retko veća, najverovatnije u nekim paleodepresijama. Na nekim profilima je tokom terenskih istraživanja konstatovano da podinske sedimentne stene pokazuju slabo uzražene efekte kontaktnog metamorfizma. Debljina kontaktno metamorfisanih stena je mala i iznosi od nekoliko centimetara do oko 0.5 m.



Slika 3.2: Konusne erozione forme izgrađene od eocenskih sedimentata koji su pokriveni bazaltima prve efuzivne faze (Bojić and Algerbi, 2014).

Bazalti prve faze su masivne vulkanske stene koje obično pokazuju poligonalno do pločasto, kao i nepotpuno stubasto lučenje. Na mnogo mesta je evidentirano da su ovi bazalti primarno bili spojeni u poligonalna i pločasta tela. Međutim, tokom hlađenja primarno koherentnih tankih slivova, slivovi bazalta su obično ispucali i transformisani u gomile blokova. Uočeno je da su primarno uglasti blokovi umereno ili totalno zaobljeni zbog izraženih procesa fizičko-hemijskog raspadanja. Pukotine duž margina ovih zaobljenih fragmenata su ispunjene blede – ružičastim sekundarnim mineralima. Sveže stene su tamnosive do sive boje i pokazuju grubo porfirsku ili subofitsku teksturu. Makroskopski se uočavaju euhedralni (pravilni) i blago izduženi kristali olivina i subhedralni (delimično pravilni) plagioklasa i iglice piroksena. Svi ovi minerali su obično alterisani i transformisani u mešavinu minerala glina, karbonata, hlorita i serpentinita. Olivin se uglavnom razlikuje po dobro razvijenom idiomorfom obliku i gotovo sveprisutnoj crvenkastoj boji (Bojić and Algerbi, 2014). Stenska masa pokazuje izraženu vezikularnu strukturu, posebno u apikalnim zonama nekadašnjih slivova lave. Vezikule su milimetarskih veličina i uglavnom su zaobljene i ispunjene sa belim sekundarnim mineralima.



Slika 3.3: a) Fragmentirana lava (Bojić and Algerbi, 2014), i b) gomile blokova bazalta prve generacije (Fotografija Bojić Z.)

Na nekim mestima postoji fragmentirana lava u kojoj se relativno sveži i uglasti blokovi pojavljuju istovremeno sa subuglastim i zaobljenim blokovima sa glatkih ivica (Slika 3.3 a, b). Ukupna debljina slivova bazalta prve vulkanske faze je od 100-130 metara.

3.3.2 Bazalti druge vulkanske faze (β2)

Bazalti druge vulkanske faze pokazuju isti tip vulkanske erupcije i iste vulkanološke i petrografske karakteristike kao bazalti prve vulkanske faze. Iz tih razloga se mogu smatrati mlađim ekvivalentima suštinski istih vulkanskih procesa. Pored toga što su za njih dobijene mlađe radiometrijske starosti, razlikuju se od starijih bazalta po svom svežijem izgledu i po tome što u formi kontinuiranih slivova različite morfologije, pokrivaju najveći deo područja izgrađenih od bazalta, a pokriveni su veoma tankim slivovima lava treće vulkanske faze. Bazalti druge vulkanske faze su tipično sive do tamnosive boje i sa relativno retkim vezikulama (šupljinama). Slivovi su asocirani sa rupturama odakle su se lave izlivala i u ovim područjima vulkanizam je bio voluminozan, tako da su ponegde formirani slivovi bazalta relativno velike debljine.

Tipičan način formiranja slivova bazalta druge faze je prepoznat u formi prostranih tankih slivova, sastavljenih od blokova lave različitih oblika i dimenzija (Slika 3.4). Debljina pojedinih blokovskih slivova bazalta je obično od nekoliko metara pa do 7-8 metara, dok koherentni slivovi bazalta imaju debljinu do 20 metara. Ukupna debljina bazalta koji su nastali kao produkt druge faze vulkanizma je nešto više od 100 metara. Blokofske facije bazalta su nastale kao posledica relativno brzog hlađenja tankih bazaltnih slivova, što je praćeno razvojem pukotina hlađenja, duž kojih je izvedena dekompozicija primarno homogenog sliva. U terenskim uslovima može se videti da veći i izvorno masivni blokovi bazalta sadrže pukotine (Slika 3.5).



Slika 3.4: Bazalt druge vulkanske faze, predstavljen široko rasprostranjenim blokovima lave (Fotografija Bojić Z.)



Slika 3.5: Blok masivnog bazalta sa pukotinama u obliku oklopa kornjače (Fotografija Bojić Z.)

Bazalti druge vulkanske faze su ponekad pokriveni tankim reliktima lava treće vulkanske faze. Na takvim mestima se stariji bazalti često nalaze otkriveni ispod mlađih lava (Slika 3.6). Starije lave se relativno lako razlikuju zbog svojih nešto većih fragmenata, koji su svetlije boje, i manje izražene vezikularne strukture (Slika 3.7). Ovi bazalti se ponekad pojavljuju na vrhu crvenkastih, karbonatno – klastičnih sedimenata, koji pokrivaju bazalte prve vulkanske faze. Pored toga, bazaltna lava je uzrokovala vidljive termo-kontaktne promene podinskih sedimenata (Slika 3.8). Lava koja leži direktno na vrhu sedimenta sadrži brojne vezikule. Vezikule su kružne do izdužene i veoma često ispunjene karbonatima, što ukazuje na to da su podinski sedimenti bili zasićeni u vodi, u vreme izlivanja lave (Slika 3.9).



Slika 3.6: Bazalt druge faze, koji se javlja kao “prozor” ispod toka lave treće vulkanske faze (Bojić and Algerbi, 2014)



Slika 3.7: Bazalt druge faze je sivkast, masivan i sadrži retke vezikule (Fotografija Bojić Z.)

3.3.3 Bazalti treće vulkanske faze (B3)

Tokom ove vulkanske faze nastali su dva tipa vulkanskih produkata: slivovi bazalta treće vulkanske faze (B₃) i vulkanske kupe bazalta treće vulkanske faze (B_{3C}). Ovi vulkanski produkti imaju različita vulkanološka svojstva, ali su stene koje ih grade veoma slične u pogledu petrografskih osobina.



Slika 3.8: Bazaltna lava na vrhu i karbonatno-klastični sedimenti leže preko bazalta prve faze (Fotografija Bojić Z.)



Slika 3.9: Donji delovi bazalta druge faze (Fotografija Bojić Z.)

3.3.3.1 Slivovi bazalta treće vulkanske faze (β_3)

Bazalti nastali tokom treće vulkanske faze generalno se razlikuju od starijih vulkanskih stena po: a) skoro crnoj boji, b) brojnim vezikulama koje su različitih dimenzija i orijentacije, c) promenjivim, ali visokim sadržajem stakla i d) prisustvom različitih ksenolita iz omotača i donje kontinentalne kore.

Pored toga, najmlađi slivovi lave su prostorno povezani sa vulkanskim kanalskim strukturama i najčešće su male debljine.



Slika 3.10: Tok bazaltne lave povezan sa trećom vulkanskom fazom; kaldera "Neimenovanog" vulkana je u pozadini (Bojić and Algerbi, 2014)



Slika 3.11: Relikti od nekoliko stotina metara dugog sliva lave (Bojić and Algerbi, 2014)

Okruženje „Neimenovanog“ vulkana (shield volcano) je pokriveno tankim slivovima bazaltnih lava treće generacije vulkanita (Slika 3.10) ispod kojih leže bazalti druge vulkanske faze. Najmlađe lave su veoma male debljine, možda dostižu nekoliko metara samo u nekim manjim depresijama. Na bokovima vulkana se nalaze izlivi pločastih do poligonalnih bazaltnih blokova (Slika 3.11) koji grade uzane slivove lava dugih nekoliko stotina metara. Ovi uzani, a dugački slivovi potiču od izliva lava formiranih na padinama aktivnih kaldera i nastali su tokom finalnih faza vulkanske aktivnosti.

Ove lave imaju karakteristike umereno šljakaste aa lave. Zbog male debljine ovi slivovi su često u potpunosti ispucali (Slika 3.12) ili su površine slivova karakterične po sistemima poligonalnih pukotina hlađenja koje sliv dele u blokove različite veličine (Slika 3.13).



Slika 3.12: Površina fragmentiranog toka bazaltske lave treće vulkanske faze sa nekoliko grebena pritiska (Bojić and Algerbi, 2014)



Slika 3.13: Greben pritiska sastavljen od poligonalne bazaltske lave (Bojić and Algerbi, 2014)

3.3.3.2. Vulkanske kupe (B3C)

Vulkanske kupe su zapažene na jugoistoku istraživanog područja. Obično postoji dva tipa vulkanskih kupa: a) spatter ili aglutinantne kupe i b) šljakaste kupe.

Preovlađuju facije kupa tipa spatter, koje su posebno dobro očuvane na vrhu „Neimenovanog“ vulkana (Slika 3.14). One se pojavljuju kao ostaci od zidova kupe sastavljenih od dobro stratifikovanih naslaga koje su u potpunosti sastavljene od komadića lave (spatters; Slika 3.15). Ova vulkanska aktivnost se karakteriše emisijom vruće bazaltne lave niske viskoznosti, čiji fragmenti su uglavnom izbačeni kroz multifazne fontane lave. Komadi ili grudve delimično stopljene lave su izbačene i deponovane blizu vulkanskog otvora, formirajući slojevite spatter naslage. Na mnogim mestima na zidovima kupa se može videti da je jako šupljikava lava egzistirala uz koherentne guste lave. Ovo ukazuje na to da su bazalti facije kupa najverovatnije nastali očvršćavanjem rastopljenih fragmenata lave izbačenih tokom erupcija. Lave koje su nastale tokom treće vulkanske faze su veoma niske viskoznosti.



Slika 3.14: Vulkanski krater na vrhu „Neimenovanog“ vulkana; zidovi su visoki do 10 m (Bojić and Algerbi, 2014)



Slika 3.15: Stratifikovani i delimično urušeni zidovi vulkanske kupe (Bojić and Algerbi, 2014)

Šljakaste kupe su pronađene samo u centralnom delu vulkanskog aparata „Neimenovanog“ vulkana. Ove piroklastične kupe su nastale tokom poslednjih vulkanskih epizoda treće vulkanske faze. Predstavljeni su aglomeratima, koji su pretežno sastavljeni od šljakastih vulkanskih bombi i veoma podređeno fragmenata lapila (Slika 3.16, 3.17). Bombe su elipsoidnih oblika i imaju površinu sličnu hlebu. Njihovi unutrašnji delovi su jako šupljikavi, dok su njihove margine masivnije ili sadrže sitne šupljine. Shodno tome, može se zaključiti da su ove šljakaste kupe nastale tokom kratkih pulsacija eksplozivne aktivnosti. Bazalti slivova lava i bazalti facije kupa treće vulkanske faze pokazuju veoma slične petrografske karakteristike.



Slika 3.16: Šljakasta, eliptična bomba
(Fotografija Bojić Z.)



Slika 3.17: Fragmenat lave sa zidova
spatter kupe (Bojić and Algerbi, 2014)

Najmlađi bazalti su gotovo crne boje i visokog sjaja, zbog visokog sadržaja stakla. Staklo je tamnobraon ili totalno crne boje. Stene se posebno karakterišu po brojnim sferičnim do izduženim šupljinama, koje ponekad iznose oko 30 % od ukupne zapremine stene, čije dimenzije su najčešće od 1 cm do nekoliko milimetara u prečniku. Lava sadrži ksenolite omotača centimetarskih veličina. Ksenoliti su žućkaste do zeleno – žućkaste boje i imaju srednjozrnu protogranularnu teksturu (Slika 3.18).



Slika 3.18: Ksenolit iz omotača (oko 5 cm u prečniku)
unutar bazalta (Fotografija Bojić Z.)

4. MINERALOGIJA, PETROGRAFIJA I GEOHEMIJA BAZALTNIH STENA PODRUČJA JABAL EGHEI

4.1. Mineralogija i petrografija bazalta područja Jabal Eghei

Dosadašnja mineraloško-petrografska ispitivanja bazalta sa područja Jabal Eghei vršena su tokom izrade geološke karte tog dela Libije, kao i od strane Radivojević et al (2015). Pošto je u ovoj disertaciji poseban naglasak dat na područje Wadi al Athal, izvršena je dodatna mineraloško-petrografska karakterizacija bazalta putem optičke mikroskopije i skenirajuće elektronske mikroskopije, što se pokazalo kao korisno pošto su u bazaltima treće vulkanske faze utvrđeni minerali koji nisu prethodno bili dokumentovani.

4.1.1. Optička mikroskopija

Mineralni sastav svih ispitanih uzoraka bazaltnih stena vrlo je sličan. Osnovni minerali prema zastupljenosti su olivin, klinopiroksen i plagioklas, a od sporednih se javljaju minerali iz grupe spinela (magnetit ± ilmenit) i ostaci vulkanskog stakla. Glavna razlika u mineralnom sastavu je samo njihova relativna zastupljenost i odsustvo piroksena i/ili plagioklasa u fenokristalima (tabela 4.1. i slika 4.1.). Što se tiče bazalta treće vulkanske faze utvrđeno je prisustvo analcimiziranih leucita, analcima i renita, koji do sada nisu bili dokazani na ispitivanom području.

U tekstu su sumirani najvažniji rezultati, dok su kompletni rezultati proučavanja dati u Prilogu 2 doktorske disertacije.

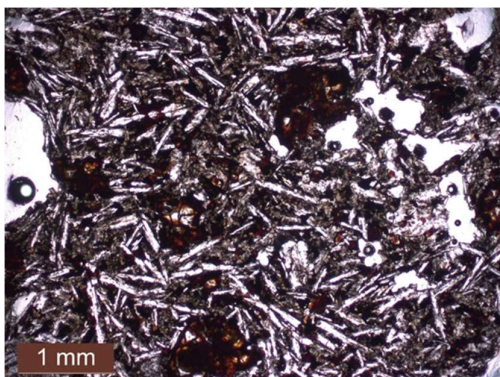
Tabela 4.1: Sadržaj fenokristala u ispitivanim bazaltima

| Redni broj uzorka | Oznaka uzorka | Vulkanska faza | Fenokristali |
|-------------------|---------------|----------------|---------------------------------|
| 1 | 1202/2/2 | III | Olivin 10 %, klinopiroksen 15 % |
| 2 | 1236/6/1 | II | Olivin <10 % |
| 3 | 1251/1/1 | III | Olivin <10 % |
| 4 | 1286/1/1 | III | Olivin <10 % |
| 5 | 1287/1/1 | III | Olivin <10 % |
| 6 | 1296/1/1 | II | Olivin 5 % |
| 7 | 1297/1/1 | III | Olivin <10 % |
| 8 | 1302/1/1 | III | Olivin <10 % |
| 9 | 1305/1/1 | I | Olivin <10 % |
| 10 | 1315/1/1 | I | Olivin <10 % |
| 11 | 1317/1/1 | I | Olivin 10 % |
| 12 | 1327/1/1 | I | Olivin 10 % |
| 13 | 1337/1/1 | III | Olivin 5 % |
| 14 | 1343/1/1 | III | Olivin 5 % |
| 15 | 7100/1/1 | II | Olivin <10 % Plagioklas 12 % |
| 16 | 7109/1/1 | II | Olivin <10 % Plagioklas 10 % |
| 17 | 7172/41/1 | III | Olivin 5 % |

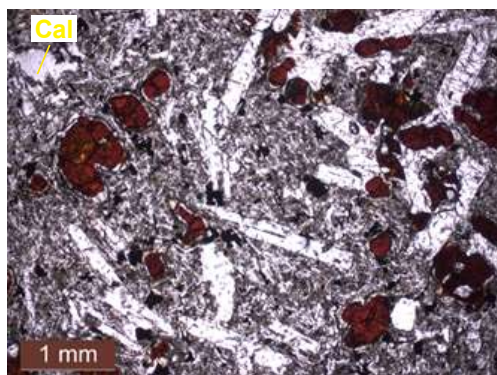
Olivin je uglavnom hipidiomorfan, ređe idiomorfan, veličine zrna do 2 mm a pojavljuje se i u rasutim manjim nagomilanjima,. Često je malo do veoma idingsitiziran.

Klinopiroksen se javlja u vidu hipidiomorfnih, ređe idiomorfnih fenokristala, lokalno bližnjenih (dužine do > 2.5 mm), obično u nagomilanjima i/ili u vidu manjih subhedralnih do anhedralnih zrna (agregata) u osnovnoj masi, a s pritkama plagioklasa ponekad formira ofitsku strukturu.

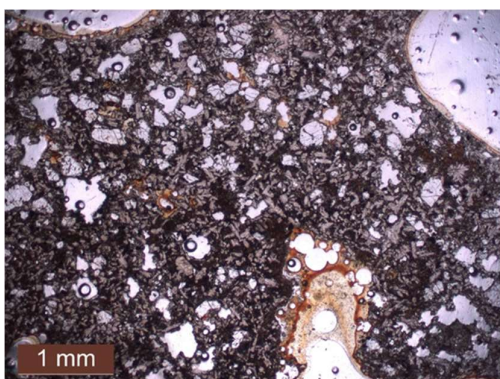
Plagioklas se nalazi u vidu izduženih kristala ili u vidu igličastih čestica u osnovnoj masi. Pritke plagioklasa su slučajne orijentacije, bližnjene, uglavnom sveže i hipidiomorfne (dužine do 1,2 mm).



Uzorak 1315, I vulkanska faza (PPL): Nekoliko grupisanih sitnih zrna olivina (tamno smeđe boje), smeštenih u holo- hipokristalastoj osnovnoj masi (intergranularne i intersertalne strukture) izgrađenoj od plagioklasa, piroksena, retkog vulkanskog stakla, neprovidnih minerala i sekundarnog kalcita.



Uzorak 7100, II vulkanska faza (PPL): Stena masivne (slabo izražene amigdaloidne) teksture i porfirske strukture (sa elementima glomeroporfirske i intergranularne), izgrađena od fenokristala olivina (potpuno zamenjenih idingsitom - crvenkastosmeđe boje), fenokristala plagioklasa (beli izduženi kristali) i holokristalaste osnovne mase sa obiljem igličastih plagioklasa, sitnih zrna piroksena, neprovidnih minerala i mandola zapunjenih kalcitom (Cal).



Uzorak 1337, III vulkanska faza (PPL): vezikularna tekstura i porfiriska struktura (sa elementima intersertalne) stene izgrađene od mikro fenokristala olivina (bezbojni, visokog reljefa sa tankim pukotinama) i hipokristalaste osnovne mase izgrađene od piroksena (prevlađuje; blede smeđe siva), retkih igličastih kristala plagioklasa, neprovidnih (metalčnih) minerala i relikata vulkanskog stakla (tamno braon).

Slika 4.1: Mikrofotografije tipičnih preparata bazalta sve tri vulkanske faze.

Kalcit je intersticijski – može biti kasno magmatski ili naknadno prinet u stenu, a vezikule su lokalno ispunjene sekundarnim mineralima, najčešće kalcitom. Često se zapažaju relikti vulkanskog stakla, naročito kod bazalta vezikularne teksture. Mandole su često ispunjene sekundarnim kalcitom.

Osnovna masa je veoma sitnozrna, hipokristalasta, izrađena od sitnih zrna olivina, piroksena (mikroliti, dužine do 0,15 mm), pritki plagioklasa (subhedralni, izduženi oblici, od 0,3 do 1,4 mm dužine), veoma malo ostataka vulkanskog stakla u intersticijama (retko do <10 % vol.), i neprovidnih (metalčnih) minerala, ravnomerno dispergovanih u osnovnoj masi, poput sitnih prašinih agregata (magnetit ± ilmenit, 3 vol.%).

Struktura ispitivanih stena varira od porfirske do ofitske, sa elementima intergranularne do intersertalne. U uzorcima bazalta prve vulkanske faze na ispitivanom području dominira ofitska struktura, kod uzoraka druge vulkanske faze ravnomerno su zastupljena ofitska i porfiriska struktura, dok kod uzoraka treće vulkanske faze izrazito dominira porfiriska struktura (tabela 4.2.).

Tabela 4.2.: Struktura i tekstura ispitivanih bazalta područja Jabal Eghei

| Oznaka uzorka | Vulkanska faza | Struktura | Tekstura |
|---------------|----------------|--|-------------------------|
| 1202/2/2 | III | Porfiriska (glomeroporfiriska) | masivna |
| 1236/6/1 | II | ofitska sa elementima intergranularne | masivna |
| 1251/1/1 | III | porfiriska, intergranularna | vezikularna |
| 1286/1/1 | III | ofitska, porfiriska (sa elementima pojkilitske) | vezikularna |
| 1287/1/1 | III | porfiriska, subofitska do intergranularna | masivna |
| 1296/1/1 | II | ofitska, sa elementima holokristalasto porfiriske | masivna |
| 1297/1/1 | III | porfiriska, intersertalna | vezikularna |
| 1302/1/1 | III | porfiriska, intersertalna | vezikularna |
| 1305/1/1 | I | ofitska, sa elementima holokristalasto porfiriske | masivna |
| 1315/1/1 | I | porfiriska, intergranularna do intersertalna | vezikularna |
| 1317/1/1 | I | ofitska, porfiriska i intergranularna | vezikularna |
| 1327/1/1 | I | ofitska, porfiriska i intergranularna | vezikularna |
| 1337/1/1 | III | porfiriska, intersertalna | vezikularna |
| 1343/1/1 | III | porfiriska, intersertalna | vezikularna |
| 7100/1/1 | II | porfiriska (sa elementima intergranularne) | masivna do amigdaloidna |
| 7109/1/1 | II | porfiriska (sa elementima intergranularne i intersertalne) | masivna |
| 7172/41/1 | III | ofitska, porfiriska, intersertalna i intergranularna | masivna |

Osnovna masa je holokristalasta do hipokristalasta. Strukturni varijeteti su od pikritskih (staklastiji – hipokristalasta porfiriska struktura (uzorci: 1297/1/1, 1302/1/1, 1337/1/1, 1343/1/1) do doleritskih (ofitska struktura (uzorci: 1286/1/1, 1305/1 / 1, 1317/1/1, 1327/1/1, 7172/41/1).

Tekstura proučavanih uzoraka stena je masivna do vezikularna (amigdaloidalna), pri čemu se takođe zapažaju razlike u njihovoj zastupljenosti po fazama vulkanske aktivnosti. U stenama prve i treće vulkanske faze dominira vezikularna tekstura, dok je kod ispitivanih druge vulkanske utvrđena samo masivna tekstura (tabela 4.2.).

4.1.2. Skenirajuća elektronska mikroskopija

Ispitivanja skenirajućom elektronskom mikroskopijom izvedena su sa ciljem dopunjavanja karakterizacije bazalta optičkom mikroskopijom, kao i utvrđivanja prisustva sekundarnih minerala, a prikazani su rezultati dobijeni na tri reprezentativna uzorka (po jednom iz svake vulkanske faze). Sve oznake minerala date su prema Whitney and Evans (2010) osim titanomagnetita i renita: Cpx – klinopiroksen, Ol – olivin, Pl – plagioklas, T-Mag – titanomagnetit, Brt – barit, Anl – analcim, Ap – apatit, Gp – gips, Cal – kalcit, Kln – kaolinit, Rho – renit (rhoenite), Lct – leucit. Brojevi na slikama odgovaraju brojevima u odgovarajućim tabelama hemijskog sastava.

Ispitivanja sva tri uzorka pokazala su da nema velikih razlika u mineralnom sastavu između bazalta iz prve i druge vulkanske faze (uzorci 1315 i 7100), dok se bazalt treće vulkanske faze razlikuje po znatnom prisustvu izduženih kristala renita, koji su jasno uočljivi na svim ispitivanim poljima.

Olivin iz bazalta prve i druge vulkanske faze se generalno odlikuje odsustvom izraženih oboda, dok se u bazaltu treće vulkanske faze zapažaju veoma izražene ivice olivinskih zrna (sl.4.12), koje se odlikuju visokim sadržajem gvožđevite komponente i znatno nižim sadržajem magnezijske komponente (Fe – 27,60 % a Mg – 14,30 %), dok je u centralnim delovima olivinskih zrna obrnuto, to jest središnji delovi zrna sadrže visoke koncentracije magnezijske komponente i niže koncentracije

gvožđevite komponente (Mg – 30,92 % a Fe – 8,33 %). Ovo je najverovatnije posledica idingsitizacije kristala olivina.

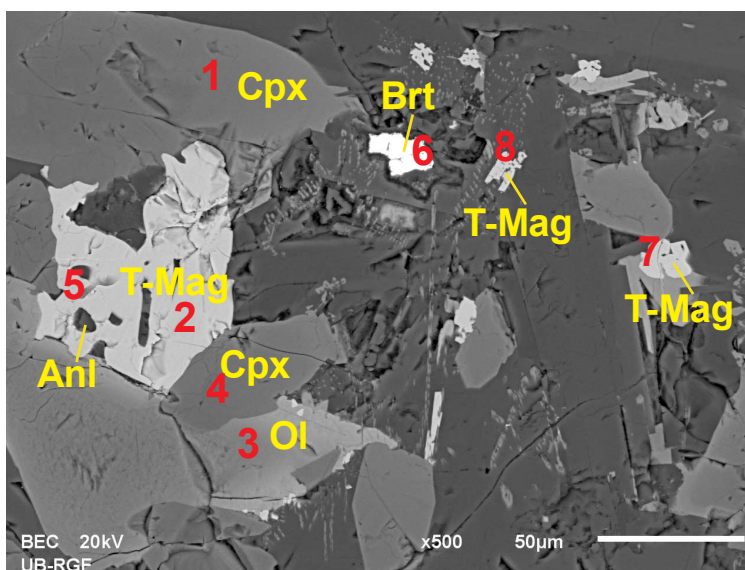
Klinopiroksen u svim ispitivanim uzorcima bazalta pokazuje sličan oblik i veličinu zrna, od desetak do stotinak mikrometara, osim u slučaju agregata.

Plagioklas se u bazaltima prve i druge faze nalazi u osnovnoj masi, a po sastavu najčešće odgovara labradoritu ili prelazu ka bitovnitu.

Analcim je redak i sigurno je utvrđen samo u bazaltu prve vulkanske faze. Apatit se javlja u vidu sitnih čestica uglavnom u plagioklasu (sl. 4.3).

U bazaltima sve tri faze titanomagnetit je osnovni metalni mineral, a ilmenit je utvrđen u bazaltu prve faze.

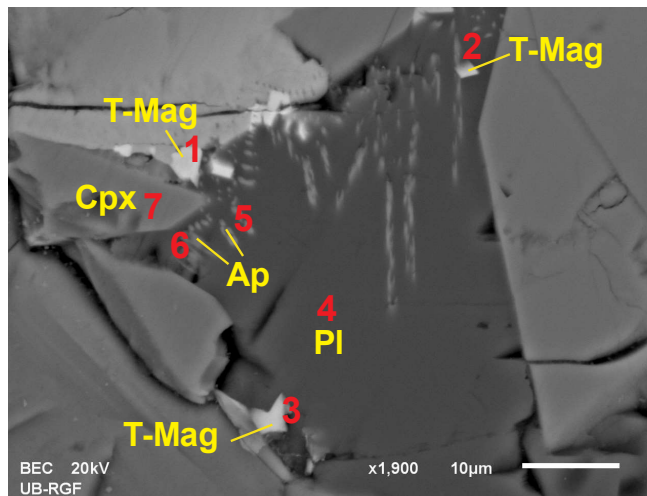
Kalcit je utvrđen u bazaltu druge faze najverovatnije kao kasno magmatski. Barit i gips se mestimično javljaju kao tipični sekundarni minerali.



Slika 4.2: Uzorak 1315, polje 2: Olivin i klinopiroksen su osnovne komponente, uz prisustvo retkog analcima. Najzastupljeniji metalni mineral je titanomagnetit, a utvrđeno je i prisustvo sekundarnog barita, kao i apatita u analizi tačke 8.

Tabela 4.3: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1315.

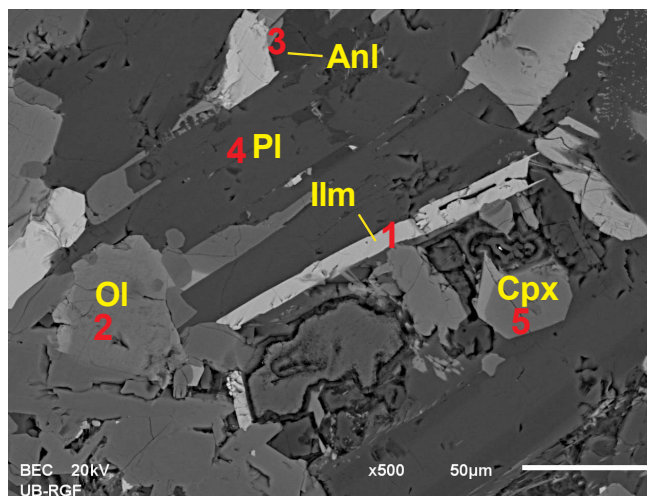
| Uzorak 1315, polje 2, vrednosti u procentima oksida (all results in compound %) | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|--------|
| Spectrum | O | Na | Mg | Al | Si | P | S | K | Ca | Ti | Mn | Fe | Ba | Total |
| Spectrum 1 | | 0.82 | 12.47 | 3.40 | 48.75 | | | | 21.04 | 2.52 | | 11.13 | | 100.14 |
| Spectrum 2 | | | 0.84 | 2.02 | | | | | | 27.2 | 0.55 | 58.75 | | 89.35 |
| Spectrum 3 | | | 27.02 | | 35.18 | | | | 0.57 | | 0.55 | 35.22 | | 98.54 |
| Spectrum 4 | | 0.62 | 13.19 | 4.74 | 47.71 | | | | 20.73 | 3.14 | | 9.74 | | 99.87 |
| Spectrum 5 | | 18.60 | 1.20 | 23.22 | 50.31 | | | 1.61 | | 0.84 | | 3.51 | | 99.29 |
| Uzorak 1315, polje 2, vrednosti u težinskim procentima (all results in weight %) | | | | | | | | | | | | | | |
| Spectrum 6 | 35.21 | | | | | | 13.91 | | | | | 0.35 | 50.64 | 100.12 |
| Spectrum 7 | 36.73 | | | 0.28 | | | | | | 12.72 | 0.48 | 43.40 | | 93.61 |
| Spectrum 8 | 36.94 | | | 0.25 | 0.28 | 1.12 | | | 1.87 | 12.26 | 0.42 | 40.29 | | 93.43 |



Slika 4.3: Uzorak 1315, polje 3: Apatit se javlja u plagioklasu u vidu sitnih izduženih nagomilanja; metalni mineral je titanomagnetit.

Tabela 4.4: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1315.

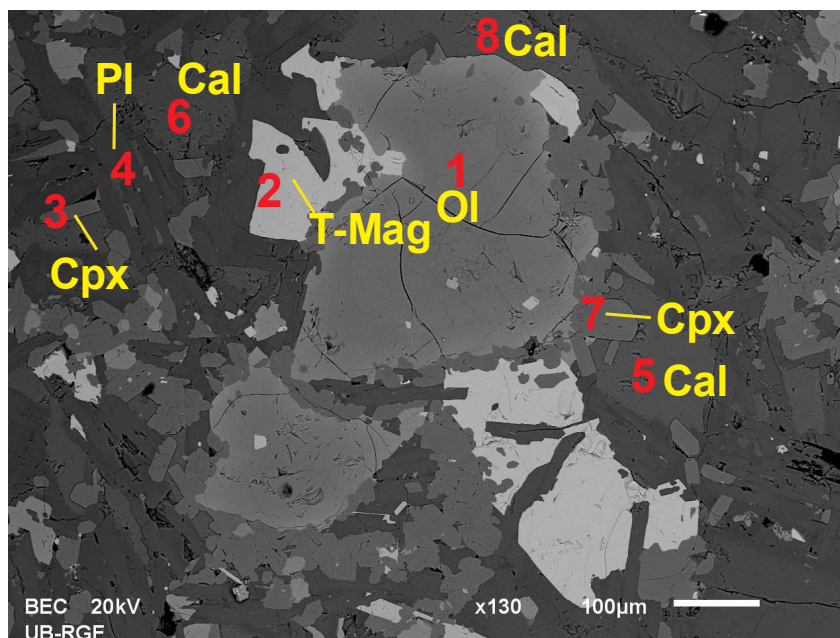
| Uzorak 1315, polje 3, vrednosti u procentima oksida (all results in compound %) | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| Spectrum | Na | Mg | Al | Si | P | K | Ca | Ti | Mn | Fe | Total |
| Spectrum 1 | | 0.93 | 0.56 | 2.19 | | | 0.69 | 21.57 | 0.58 | 53.95 | 80.46 |
| Spectrum 2 | 6.56 | | 12.86 | 36.59 | 2.63 | 2.01 | 4.15 | 10.59 | | 22.41 | 97.80 |
| Spectrum 3 | 3.00 | | 6.50 | 19.52 | | 1.02 | 0.98 | 19.49 | 0.61 | 34.98 | 86.10 |
| Spectrum 4 | 11.80 | | 20.86 | 61.70 | | 2.36 | 2.40 | | | 0.53 | 99.65 |
| Spectrum 5 | 6.93 | | 13.38 | 40.17 | 15.93 | 3.26 | 18.73 | | | 0.65 | 99.04 |
| Spectrum 6 | 6.67 | | 11.43 | 35.71 | 18.39 | 2.16 | 20.38 | | | 1.03 | 95.76 |
| Spectrum 7 | 0.82 | 11.42 | 3.20 | 45.95 | | | 19.33 | 2.28 | | 10.19 | 93.19 |



Slika 4.4: Uzorak 1315, polje 5: Olivin, plagioklas i klinopiroksen su osnovne komponente, sa retkim analcimom izometričnog oblika i ilmenitom.

Tabela 4.5: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1315.

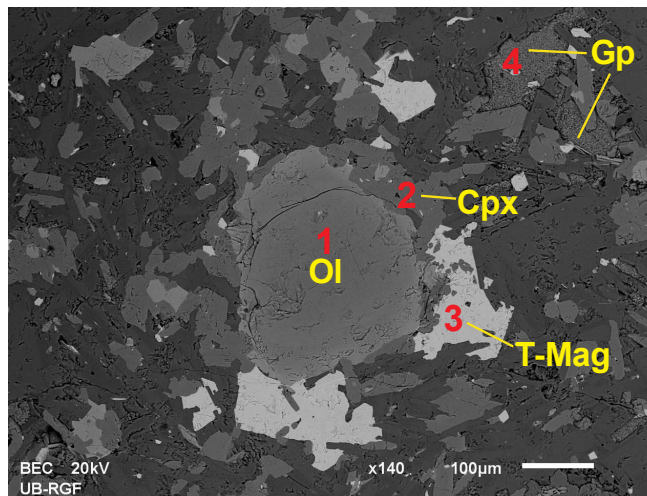
| Uzorak 1315, polje 5, vrednosti u procentima oksida (all results in compound %) | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|--------|
| Spectrum | Na | Mg | Al | Si | K | Ca | Ti | Mn | Fe | Total |
| Spectrum 1 | | 0.58 | | | | | 45.13 | 0.57 | 37.93 | 84.21 |
| Spectrum 2 | | 19.20 | | 32.64 | | 0.95 | | | 27.95 | 80.73 |
| Spectrum 3 | 21.70 | | 27.32 | 48.77 | 1.64 | | | | 0.65 | 100.08 |
| Spectrum 4 | 6.54 | | 28.40 | 49.00 | 0.27 | 11.24 | | | 0.44 | 95.88 |
| Spectrum 5 | | 13.01 | 1.80 | 47.58 | | 19.42 | 1.58 | | 9.70 | 93.10 |



Slika 4.5: Uzorak 7100, polje 1: Olivin u vidu izometričnih zrna, klinopiroksen i izduženi plagioklas su osnovne komponente, uz prisustvo titanomagnetita i kalcita.

Tabela 4.6: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 7100.

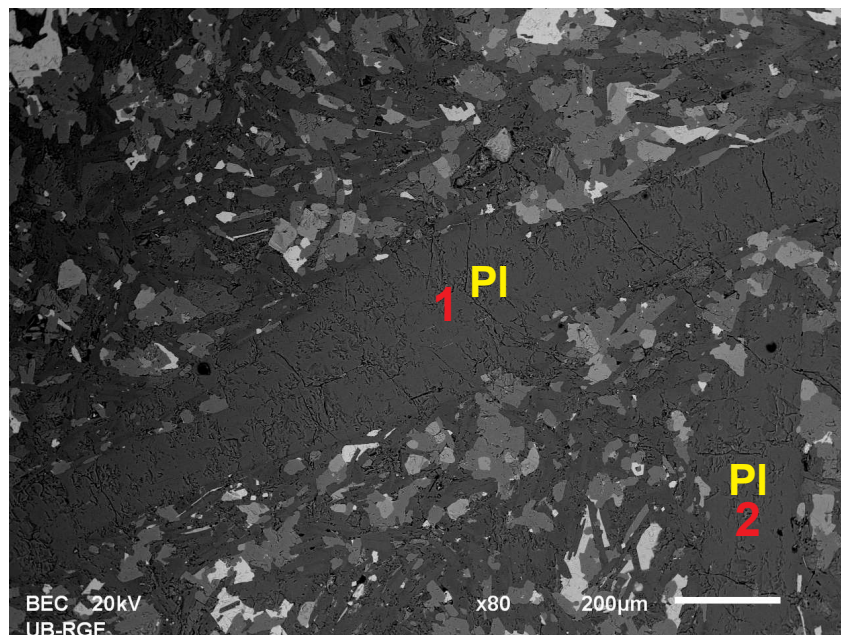
| Uzorak 7100, polje 1, vrednosti u procentima oksida (all results in compound %) | | | | | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------|-------|--------|
| Spectrum | Na | Mg | Al | Si | K | Ca | Ti | V | Mn | Fe | Total |
| Spectrum 1 | | 32.36 | | 40.48 | | 0.75 | | | | 25.91 | 99.50 |
| Spectrum 2 | | 3.12 | 2.17 | | | | 25.69 | 0.73 | 0.48 | 54.74 | 86.93 |
| Spectrum 3 | 0.93 | 17.21 | 1.74 | 49.19 | | 20.28 | 1.22 | | | 7.41 | 97.98 |
| Spectrum 4 | 8.72 | | 28.86 | 49.18 | 0.33 | 10.10 | | | | 0.53 | 97.72 |
| Spectrum 5 | | 0.82 | | | | 52.67 | | | | | 53.49 |
| Spectrum 6 | | 1.05 | | | | 46.60 | | | | | 47.65 |
| Spectrum 7 | 0.80 | 18.75 | 2.45 | 54.14 | | 21.48 | 1.69 | | | 7.67 | 106.97 |
| Spectrum 8 | | 1.55 | | | | 49.74 | | | | | 51.29 |



Slika 4.6: Uzorak 7100, polje 2: Sekundarni gips, olivin i titanomagnetit.

Tabela 4.7: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 7100.

| Uzorak 7100, polje 2, vrednosti u procentima oksida (all results in compound %) | | | | | | | | | | |
|--|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Spectrum | O | Mg | Al | Si | S | Ca | Ti | V | Fe | Total |
| Spectrum 1 | | 33.16 | | 41.68 | | 0.77 | | | 24.08 | 99.68 |
| Spectrum 2 | | 17.18 | 3.13 | 49.32 | | 20.42 | 1.58 | | 7.21 | 98.84 |
| Spectrum 3 | | 4.25 | 2.41 | | | | 28.96 | 0.97 | 57.8 | 94.38 |
| Uzorak 7100, polje 2, vrednosti u težinskim procentima (all results in weight %) | | | | | | | | | | |
| Spectrum | O | Mg | Al | Si | S | Ca | Ti | V | Fe | Total |
| Spectrum 4 | 55.6 | | | | 22.34 | 21.24 | | | | 99.18 |



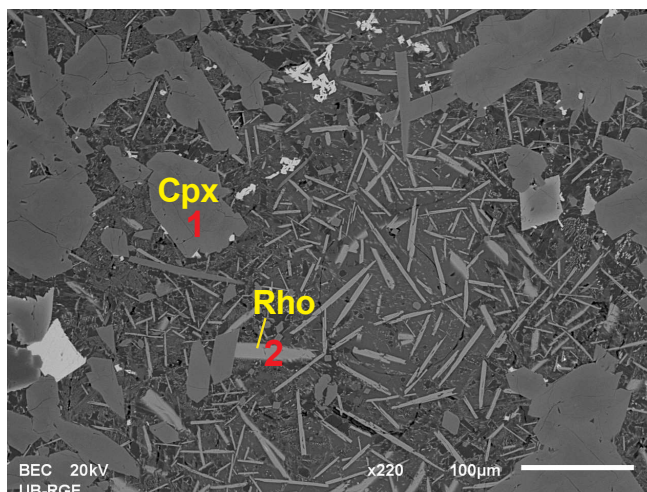
Slika 4.7: Uzorak 7100, polje 5: Izduženi kristali plagiklasa.

Tabela 4.8: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 7100.

| Uzorak 7100, polje 5, vrednosti u procentima oksida (all results in compound %) | | | | | | |
|---|------|-------|-------|-------|------|-------|
| Spectrum | Na | Al | Si | Ca | Fe | Total |
| Spectrum 1 | 6.18 | 31.03 | 49.31 | 12.86 | 0.51 | 99.89 |
| Spectrum 2 | 5.66 | 31.14 | 48.25 | 13.19 | 0.51 | 98.74 |

Uzorak bazalta treće vulkanske faze razlikuje se od ostalih ispitivanih uzoraka po prisustvu značajne količine minerala renita (rhoenite), koji se odlikuje kompleksnim hemijskim sastavom (tabele 4.9-4.11), i koji do sada nije bio definisan na ispitivanom području Jabal Eghei u Libiji. Renit pripada mineralnoj grupi enigmatit-renit, koja se sastoji od više minerala i deli se dalje na natrijsku i kalcijску podgrupu (Kunzmann, 1999). Renit je tipičan predstavnik kalcijске podgrupe, i može i sam da bude promenljivog hemijskog sastava. Ovaj mineral inače spada u relativno retke minerale i javlja se u različitim stenama, kao što su nefeliniti, Ol-nefeliniti, havaiti, trahibazalti, Lct-bazaniti, alkalni bazalti, alkalne gabroidne stene i dr. (Sharygin et al, 2011; Grützner et al, 2013; Cucciniello et al, 2017; Anan'ev and Selyangin, 2011; Doroozi et al, 2016; Peretyazhko et al, 2017; Nédli and Tóth, 2003; Magonthier and Velde, 1976).

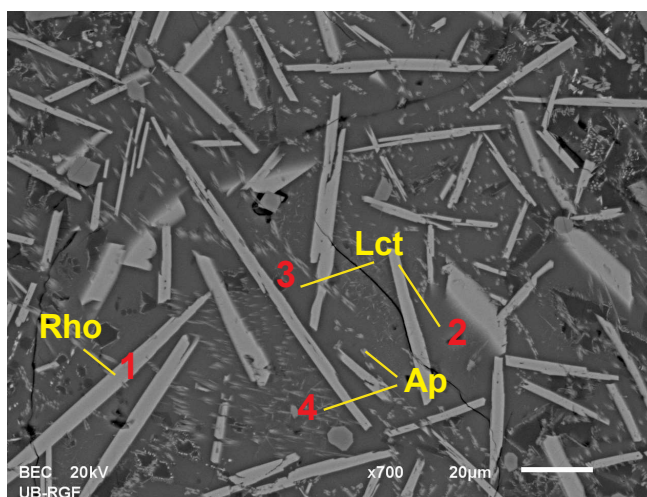
Reniti u ispitanom uzorku treće vulkanske faze se javljaju u vidu izduženih kristala (Slike 4.8-4.11) i najviše po obliku podsećaju na renite u lavama vulkanske provincije Kula u Turskoj (Grützner et al, 2013).



Slika 4.8: Uzorak 1337, polje 1: Tipičan izgled bazalta ovog uzorka, sa obiljem izduženih kristala renita praćenog izometričnim do tabličastim klinopiroksenom.

Tabela 4.9: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1337.

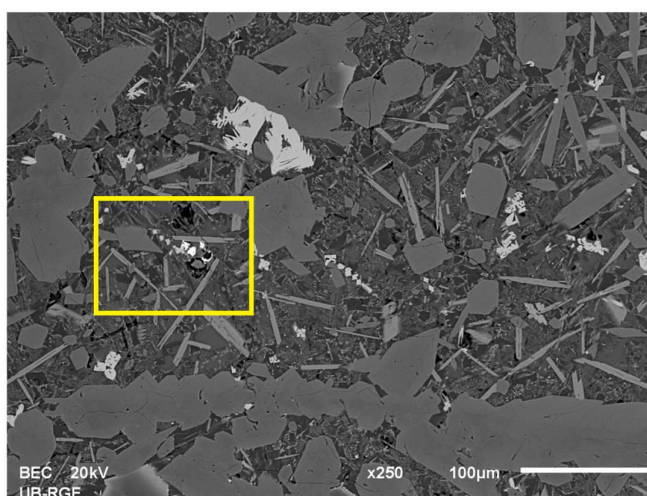
| Uzorak 1337, polje 1, vrednosti u procentima oksida (all results in compound %) | | | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| Spectrum | Na | Mg | Al | Si | Ca | Ti | Cr | Fe | Total |
| Spectrum 1 | | 14.54 | 9.73 | 42.50 | 22.17 | 3.81 | 0.37 | 6.27 | 99.38 |
| Spectrum 2 | 2.36 | 8.92 | 14.41 | 26.55 | 10.73 | 9.63 | | 25.24 | 97.84 |



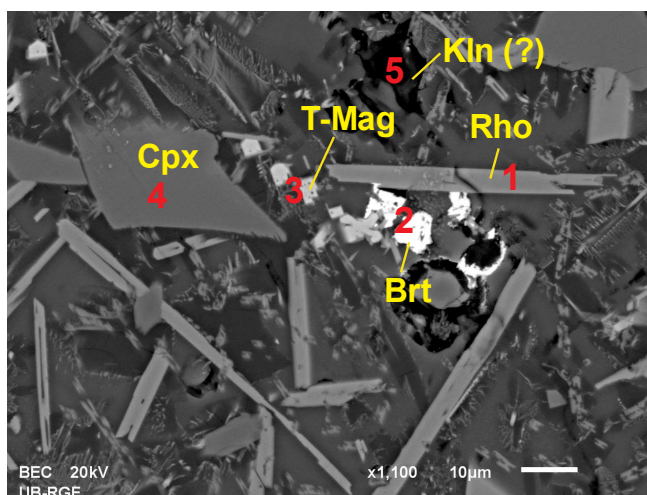
Slika 4.9: Uzorak 1337, polje 2: Izduženi kristali renita, apatit u vidu sitnih traka u osnovi od analcimiziranog leucita.

Tabela 4.10: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1337.

| Uzorak 1337, polje 2, vrednosti u procentima oksida (all results in compound %) | | | | | | | | | | |
|---|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Spectrum | Na | Mg | Al | Si | P | K | Ca | Ti | Fe | Total |
| Spectrum 1 | 3.24 | 9.05 | 14.37 | 26.91 | | | 10.57 | 10.21 | 25.46 | 99.80 |
| Spectrum 2 | 8.93 | | 22.45 | 50.00 | 0.55 | 10.98 | 0.85 | | 2.71 | 96.46 |
| Spectrum 3 | 9.59 | | 22.69 | 49.80 | 0.78 | 10.74 | 1.60 | | 3.61 | 98.82 |
| Spectrum 4 | 8.47 | | 18.35 | 40.26 | 9.71 | 8.47 | 11.41 | | 2.80 | 99.49 |



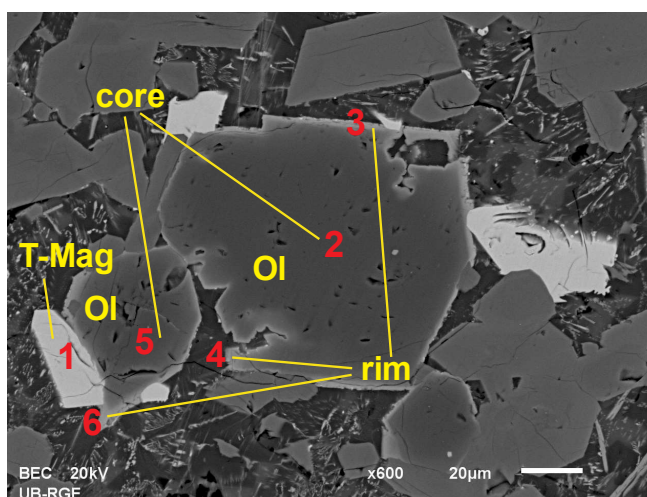
Slika 4.10: Uzorak 1337, polje 3: Olivin, klinopiroksen i dosta izduženih kristala renita, uz titanomagnetit kao dominantan metalni mineral. Žuto uokvireno područje prikazano je na sledećoj slici.



Slika 4.11: Uzorak 1337, polje 3, detalj prethodne slike: klinopiroksen i izduženi plagioklas su dominantni minerali u ovom polju, uz titanomagnetit i sekundarni barit. Indicirano je i prisustvo kaolinita uz moguće minimalno prisustvo liskuna ili analcimisanog leucita.

Tabela 4.11: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1337.

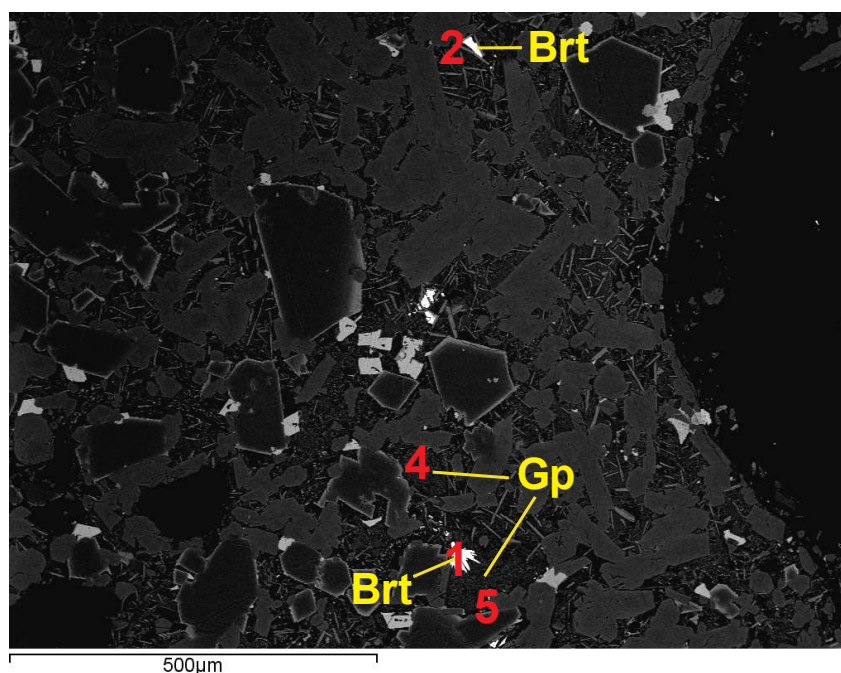
| Uzorak 1337, polje 3, vrednosti u procentima oksida (all results in compound %) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|--------|
| Spect. | O | Na | Mg | Al | Si | P | S | K | Ca | Ti | Mn | Fe | Ba | W | Total |
| 1 | | 2.80 | 8.77 | 15.41 | 27.39 | | | | 10.56 | 9.52 | | 25.00 | | | 99.46 |
| 3 | | 3.84 | 1.69 | 11.63 | 10.86 | | | 1.04 | 0.95 | 16.77 | 0.66 | 50.05 | | | 97.49 |
| 4 | | 1.48 | 10.38 | 11.63 | 41.51 | | | | 21.87 | 5.21 | | 9.11 | | | 101.18 |
| 5 | | 1.31 | 3.89 | 32.28 | 51.04 | 2.09 | | 1.83 | 4.50 | | | 1.36 | | | 98.30 |
| Uzorak 1337, polje 3, vrednosti u težinskim procentima (all results in weight %) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 35.98 | | | 0.40 | 0.51 | | 11.45 | 0.60 | 0.32 | | | 0.59 | 39.82 | 1.48 | 91.14 |



Slika 4.12: Uzorak 1337, polje 4: Olivin sa izraženim rubovima; centralni delovi zrna olivina izrazito magnezijuskog sastava sa nižim sadržajem gvožđa, dok su rubovi sa visokim koncentracijama gvožđa i niskim magnezijuma usled idingsitizacije olivina.

Tabela 4.12: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1337.

| Uzorak 1337, polje 4, vrednosti u težinskim procentima (all results in weight %) | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------|-------|------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|
| Spectrum | O | Na | Mg | Al | Si | P | Ca | Ti | Mn | Fe | Total |
| Spectrum 1 | 25.72 | | 1.59 | 3.72 | | | | 14.00 | 0.48 | 41.45 | 86.96 |
| Spectrum 2 | 42.74 | | 30.98 | | 17.39 | | 0.31 | | 0.23 | 8.21 | 99.84 |
| Spectrum 3 | 38.50 | | 18.91 | | 16.44 | | 0.54 | | 0.58 | 24.23 | 99.21 |
| Spectrum 4 | 34.90 | | 14.15 | | 15.31 | | 0.65 | | 0.60 | 26.94 | 92.54 |
| Spectrum 5 | 42.54 | | 30.86 | | 17.32 | | 0.23 | | | 8.44 | 99.39 |
| Spectrum 6 | 35.63 | 1.59 | 9.85 | 0.88 | 15.15 | 0.58 | 0.91 | 0.26 | 0.71 | 31.64 | 97.18 |



Slika 4.13: Uzorak 1337, polje 6: Sekundarni barit i gips.

Tabela 4.13: Hemijski sastav analiziranih tačaka uzorka 1337.

| Uzorak 1337, polje 6, vrednosti u težinskim procentima (all results in weight %) | | | | | | | | | |
|--|-------|------|------|-------|-------|------|------|-------|--------|
| Spectrum | O | Al | Si | S | Ca | Fe | Sr | Ba | Total |
| Spectrum 1 | 40.88 | | | 13.05 | | | 0.87 | 44.77 | 99.56 |
| Spectrum 2 | 48.61 | 0.31 | 0.29 | 11.85 | | 0.36 | | 41.11 | 102.52 |
| Spectrum 4 | 67.23 | | | 15.34 | 13.33 | | | | 95.91 |
| Spectrum 5 | 42.75 | | | 20.02 | 18.22 | | | | 80.99 |

4.2. Geohemija bazalta područja Jabal Eghei

Geohemijska proučavanja bazalta sa područja Jabal Eghei izvedena su tokom izrade geološke karte tog dela Libije, a podaci su prikazani u brojnim izveštajima kao i sumirani i prikazani u Radivojević et al (2015). Hemijska ispitivanja sadržaja makro elemenata, elemenata u tragovima i elemenata

retkih zemalja izvršena su na ukupno 63 uzorka sa područja Jabal Eghei, a ovde su prikazane srednje vrednosti hemijskog sastava bazalta pošto je to od značaja za neke od oblasti potencijalne primene u industriji.

4.2.1. Sadržaj glavnih elemenata

Ispitivanje sadržaja glavnih elemenata obuhvatilo je sledeće komponente: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, FeO_t, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅ i gubitak žarenjem (GŽ). U tabeli 4.14 prikazane su srednje vrednosti po vulkanskim fazama sa statističkom analizom.

Tabela 4.14: Prosečne vrednosti hemijskog sastava bazalta po vulkanskim fazama.

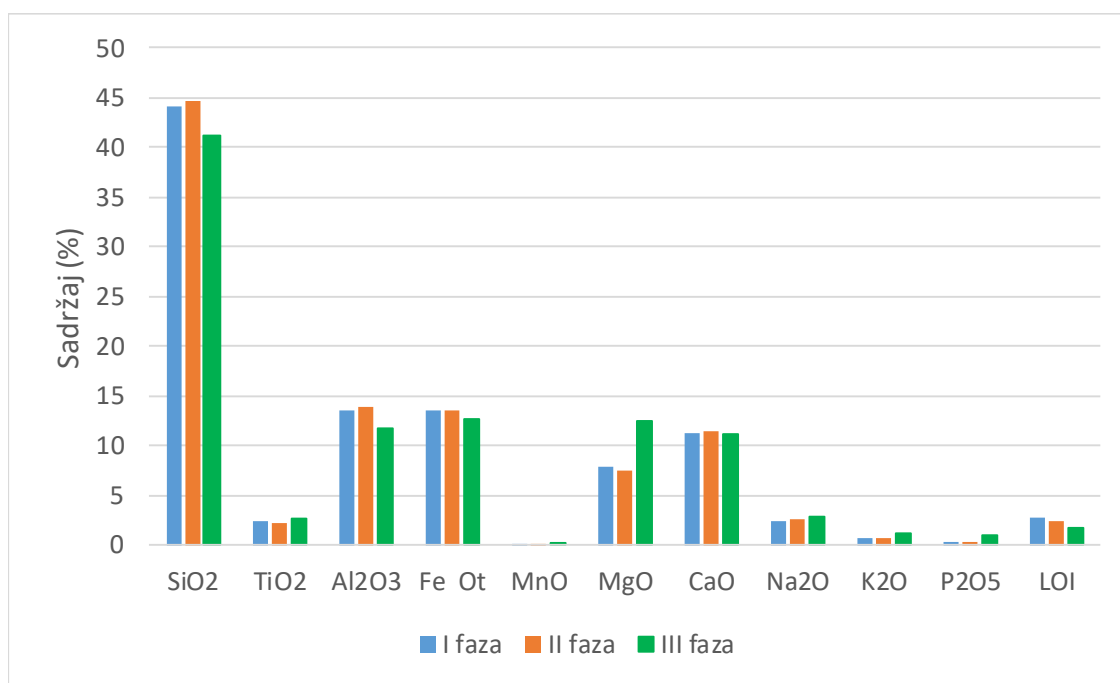
| | Broj analiza | Minimum | Maksimum | Prosek | St.dev. | K.var. |
|--------------------------------|--------------|---------|----------|--------|---------|--------|
| Faza I | | | | | | |
| SiO ₂ | 30 | 37.67 | 46.48 | 44.11 | 1.87 | 4.25 |
| TiO ₂ | 30 | 1.54 | 3.08 | 2.32 | 0.35 | 14.95 |
| Al ₂ O ₃ | 30 | 11.57 | 15.04 | 13.61 | 0.87 | 6.41 |
| FeO _t | 30 | 11.95 | 16.25 | 13.59 | 0.88 | 6.48 |
| MnO | 30 | 0.14 | 0.22 | 0.19 | 0.02 | 8.84 |
| MgO | 30 | 5.53 | 11.73 | 7.96 | 1.35 | 16.92 |
| CaO | 30 | 9.12 | 16.66 | 11.18 | 1.53 | 13.73 |
| Na ₂ O | 30 | 1.63 | 2.93 | 2.48 | 0.31 | 12.28 |
| K ₂ O | 30 | 0.53 | 1.03 | 0.73 | 0.14 | 19.05 |
| P ₂ O ₅ | 30 | 0.25 | 0.53 | 0.36 | 0.08 | 21.03 |
| G.Ž. | 30 | 0.10 | 8.24 | 2.72 | 1.76 | 64.82 |
| Faza II | | | | | | |
| SiO ₂ | 24 | 40.42 | 49.75 | 44.65 | 1.92 | 4.29 |
| TiO ₂ | 24 | 1.68 | 2.80 | 2.22 | 0.25 | 11.29 |
| Al ₂ O ₃ | 24 | 12.32 | 14.77 | 13.83 | 0.58 | 4.21 |
| FeO _t | 24 | 12.00 | 15.01 | 13.54 | 0.77 | 5.67 |
| MnO | 24 | 0.16 | 0.20 | 0.18 | 0.01 | 5.76 |
| MgO | 24 | 5.89 | 10.51 | 7.49 | 0.96 | 12.83 |
| CaO | 24 | 9.49 | 13.75 | 11.43 | 0.97 | 8.52 |
| Na ₂ O | 24 | 2.16 | 3.12 | 2.68 | 0.23 | 8.44 |
| K ₂ O | 24 | 0.49 | 1.00 | 0.71 | 0.14 | 19.60 |
| P ₂ O ₅ | 24 | 0.23 | 0.55 | 0.34 | 0.09 | 26.15 |
| G.Ž. | 24 | 0.66 | 5.97 | 2.33 | 1.30 | 56.09 |
| Faza I + Faza II | | | | | | |
| SiO ₂ | 54 | 37.67 | 49.75 | 44.35 | 1.9 | 4.3 |
| TiO ₂ | 54 | 1.54 | 3.08 | 2.28 | 0.3 | 13.7 |
| Al ₂ O ₃ | 54 | 11.57 | 15.04 | 13.71 | 0.8 | 5.6 |
| FeO _t | 54 | 11.95 | 16.25 | 13.57 | 0.8 | 6.1 |
| MnO | 54 | 0.14 | 0.22 | 0.18 | 0.0 | 8.1 |
| MgO | 54 | 5.53 | 11.73 | 7.75 | 1.2 | 15.7 |
| CaO | 54 | 9.12 | 16.66 | 11.29 | 1.3 | 11.7 |
| Na ₂ O | 54 | 1.63 | 3.12 | 2.57 | 0.3 | 11.2 |
| K ₂ O | 54 | 0.49 | 1.03 | 0.72 | 0.1 | 19.4 |
| P ₂ O ₅ | 54 | 0.23 | 0.55 | 0.35 | 0.1 | 23.5 |
| G.Ž. | 54 | 0.1 | 8.24 | 2.55 | 1.6 | 62.4 |

Tabela 4.14, nastavak

| | Broj analiza | Minimum | Maksimum | Prosek | St.dev. | K.var. |
|--------------------------------|--------------|---------|----------|--------|---------|--------|
| Faza III | | | | | | |
| SiO ₂ | 9 | 40.08 | 42.36 | 41.26 | 0.81 | 1.95 |
| TiO ₂ | 9 | 2.39 | 2.97 | 2.66 | 0.17 | 6.38 |
| Al ₂ O ₃ | 9 | 10.96 | 12.43 | 11.74 | 0.47 | 4.01 |
| FeO _t | 9 | 11.47 | 13.57 | 12.65 | 0.65 | 5.10 |
| MnO | 9 | 0.18 | 0.22 | 0.19 | 0.01 | 6.46 |
| MgO | 9 | 10.34 | 14.69 | 12.58 | 1.53 | 12.17 |
| CaO | 9 | 9.89 | 13.52 | 11.20 | 0.98 | 8.76 |
| Na ₂ O | 9 | 2.44 | 3.18 | 2.86 | 0.23 | 7.92 |
| K ₂ O | 9 | 0.58 | 1.48 | 1.13 | 0.29 | 25.19 |
| P ₂ O ₅ | 9 | 0.70 | 1.06 | 0.90 | 0.10 | 11.50 |
| G.Ž. | 9 | 0.35 | 4.19 | 1.79 | 1.24 | 69.11 |

St.dev. – standardna devijacija, K.var. – koeficijent varijacije

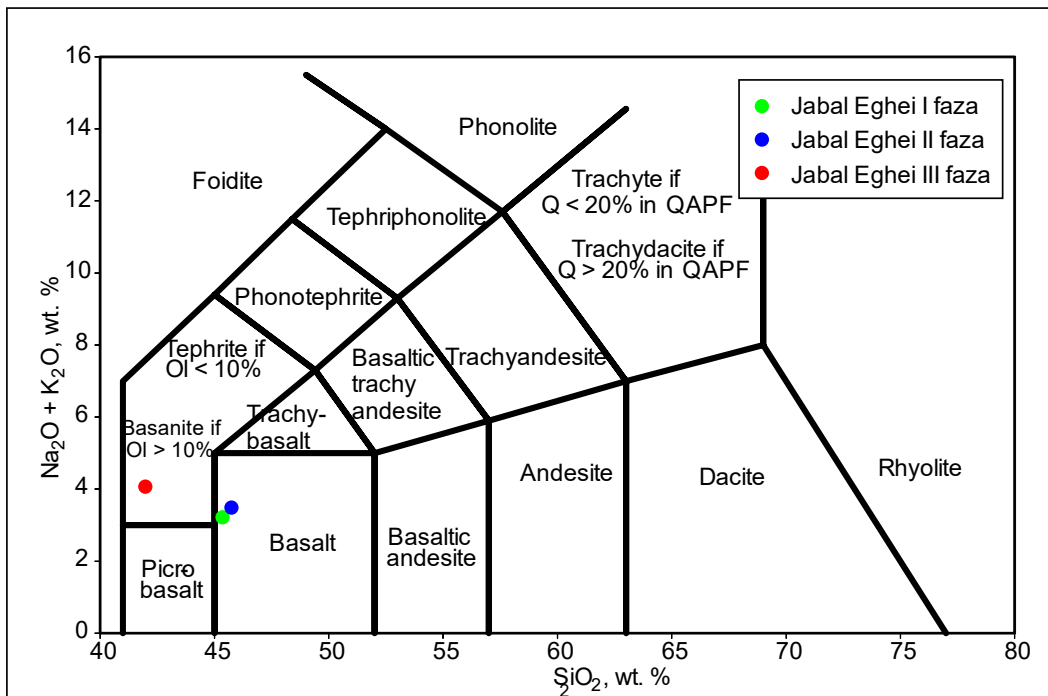
Na osnovu analize hemijskog sastava zaključeno je da se bazalti prve i druge vulkanske faze neznatno razlikuju, dok bazalt treće vulkanske faze ima nešto niži sadržaj silicije i aluminije, a viši sadržaj magnezije, alkalija, TiO₂ i P₂O₅ (slika 4.14). Sa aspekta industrijske primene bazalta ovde se razmatraju prosečne vrednosti, pošto je bitno znati kakav je generalni sastav pojedinačnih faza zbog eventualne buduće eksploatacije bazalta. Iz tabele 4.14 takođe se vidi da je koeficijent varijacije sadržaja bitnih elemenata (SiO₂, Al₂O₃, FeO_t, MgO, CaO), veoma nizak, ispod 10 % u proseku, što je takođe veoma dobro sa aspekta potencijalne primene u industriji pošto se radi o hemijski homogenoj sirovini.



Slika 4.14: Varijacije sadržaja makroelemenata u bazaltima područja Jabal Eghei (na osnovu prosečnih vrednosti hemijskih analiza)

Na klasifikacionom dijagramu ukupnih alkalija i silicije (Le Bas et al, 1986, Le Maitre, 2002), prikazanom na slici 4.15, takođe se vidi da su bazalti I i II vulkanske faze veoma bliskog hemijskog sastava i padaju u polje bazalta na granici sa bazanitima. Vrednosti pojedinačnih analiza ovih bazalta

padaju u oba navedena polja i prema Radivojević et al (2015), presecaju liniju podele na toleitsko/subalkalne i alkalne stene (prema Irvine and Baragar, 1971) i mogu se smatrati prelaznim bazaltima (Jakobsson et al., 2008). Nasuprot tome, bazalti treće vulkanske faze su sa nižim sadržajem SiO₂ i višim alkalija (Na₂O+K₂O >4wt.%), što ih svrstava u bazanite. Bazalti treće faze su, prema sadržaju (MgO >10 wt.%, Mg# ≥ 0.76) i značajno višim vrednostima TiO₂ (>2,5 wt%) i P₂O₅ (>1 wt%), znatno primitivniji (Radivojević et al, 2015).



Slika 4.15: TAS dijagram za klasifikaciju bazalta sa područja Jabal Eghei (prema Le Bas et al, 1986, Le Maitre, 2002)

4.2.2. Sadržaj elemenata u tragovima i elemenata retkih zemalja

Sadržaj elemenata u tragovima i elemenata retkih zemalja nema velikog značaja kod industrijske primene bazalta, ali je prikazan u okviru sveobuhvatne karakterizacije bazalta kao potencijalne mineralne sirovine. Prosečan sadržaj elemenata u tragovima po vulkanskim fazama prikazan je u tabeli 4.15 i na slici 4.16.

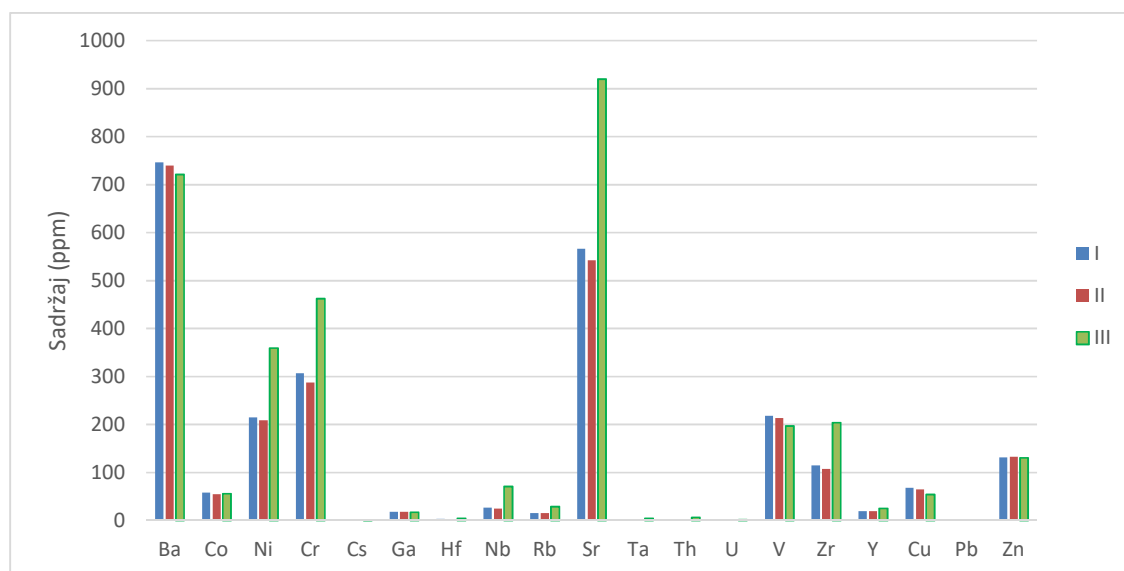
Tabela 4.15: Sadržaj elemenata u tragovima u bazaltima sa područja Jabal Eghei (obrađeno prema Radivojević et al, 2015)

| Element | Vulkanska faza | | | |
|---------|----------------|------|------|------|
| | I | II | I+II | III |
| Ba | 746 | 740 | 743 | 721 |
| Co | 58 | 55 | 56 | 56 |
| Ni | 215 | 209 | 212 | 360 |
| Cr | 307 | 288 | 297 | 462 |
| Cs | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.6 |
| Ga | 18.3 | 18.5 | 18.4 | 16.9 |
| Hf | 3.0 | 2.9 | 2.9 | 4.6 |
| Nb | 27.0 | 24.7 | 25.8 | 71.1 |

Tabela 4.15, nastavak

| | | | | |
|----|------|------|------|------|
| Rb | 14.9 | 14.9 | 14.9 | 29.1 |
| Sr | 566 | 542 | 554 | 920 |
| Ta | 1.8 | 1.6 | 1.7 | 4.3 |
| Th | 2.46 | 2.45 | 2.46 | 6.47 |
| U | 0.63 | 0.62 | 0.63 | 1.54 |
| V | 218 | 213 | 216 | 197 |
| Zr | 115 | 107 | 111 | 204 |
| Y | 19.5 | 19.7 | 19.6 | 25.5 |
| Cu | 69 | 65 | 67 | 54 |
| Pb | <5 | <5 | <5 | <5 |
| Zn | 132 | 133 | 133 | 130 |

Iz tabele 4.15 se takođe vidi veoma ujednačen sadržaj elemenata u tragovima u bazaltima prve i druge vulkanske faze, što se uklapa u petrološka i mineraloška proučavanja.

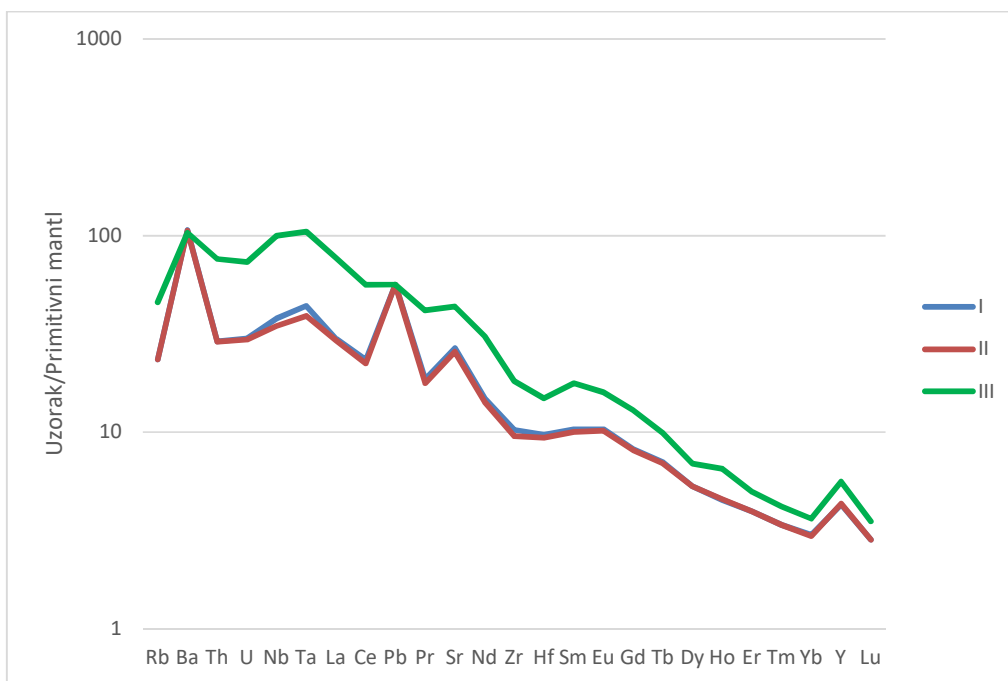


Slika 4.16: Varijacije sadržaja elemenata u tragovima po vulkanskim fazama.

Ako uporedimo sadržaje pojedinih elemenata (slika 4.16) po vulkanskim fazama, uočava se da kompatibilni elementi (Ni i Cr) pokazuju visoke sadržaje, koji su kod treće vulkanske faze viši 1,5 do 2 puta zbog znatno višeg sadržaja MgO u bazaltima treće faze. Sadržaj nekompatibilnih elemenata (Rb, Th, Nb, La) je takođe znatno viši u mlađim alkalnim bazaltima treće faze u odnosu na starije prelazne bazalte prve i druge faze. Sadržaj Zr, Y i U je takođe povišen u bazaltima treće vulkanske faze. Pojedini elementi nalaze u sličnim količinama u bazaltima sve tri faze (Ba, Co, Cs, Ga, V, Cu, Pb i Zn).

Na slici 4.17 prikazan je multivarijantni dijagram za sadržaj mikroelemenata i elemenata retkih zemalja (vrednosti iz tabele 4.15 i 4.16) normalizovanih na primitivni mantl, sa koga se vidi subparalelni obrasci obogaćeni nekompatibilnim elementima u tragovima, pri čemu je najobogaćeniji obrazac alkalnog bazalta treće vulkanske faze. Iste rezultate dobili su Radivojević et al (2015), a mi smo ovde prikazali prosečne vrednosti koje mnogo bolje ilustruju sličnosti i razlike u geohemiji

elemenata u tragovima i elemenata retkih zemalja, a što je od značaja za procenu potencijalnosti bazalta različitih faza kao mineralne sirovine.



Slika 4.17: Dijagram normalizovanih vrednosti prosečnog sadržaja elemenata u tragovima bazalta sve tri vulkanske faze; vrednosti za koeficijente za normalizaciju su iz McDonough and Sun (1995).

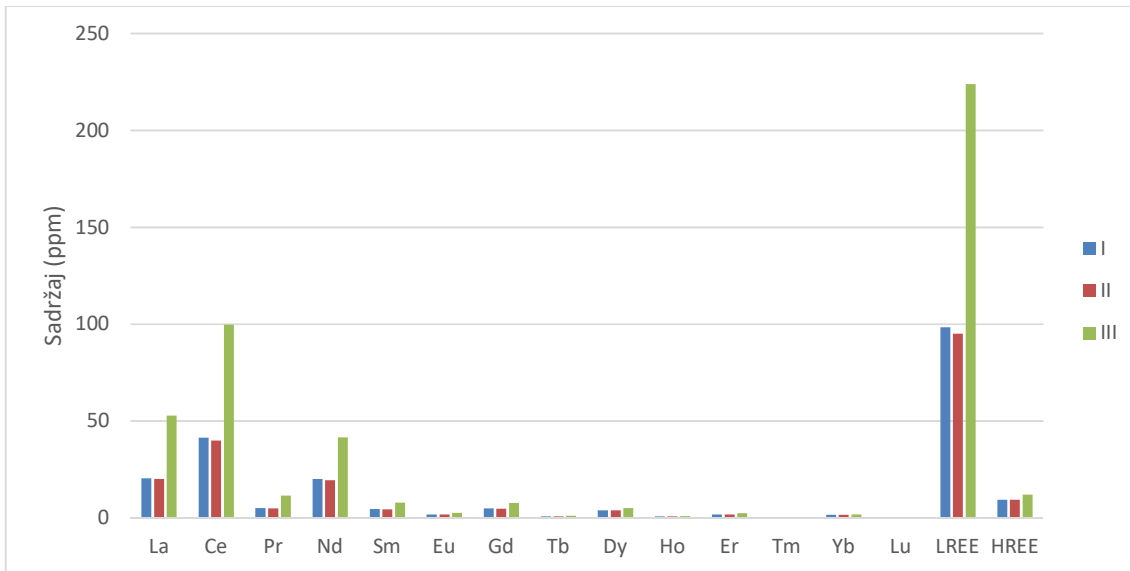
Sadržaj elemenata retkih zemalja (tabela 4.16) pokazuje takođe veliku sličnost prelaznih bazalta prve i druge vulkanske faze, čije se prosečne vrednosti skoro i ne razlikuju (slika 4.18 i 4.19).

Tabela 4.16: Sadržaj elemenata retkih zemalja u bazaltima sa područja Jabal Eghei (obrađeno prema Radivojević et al, 2015)

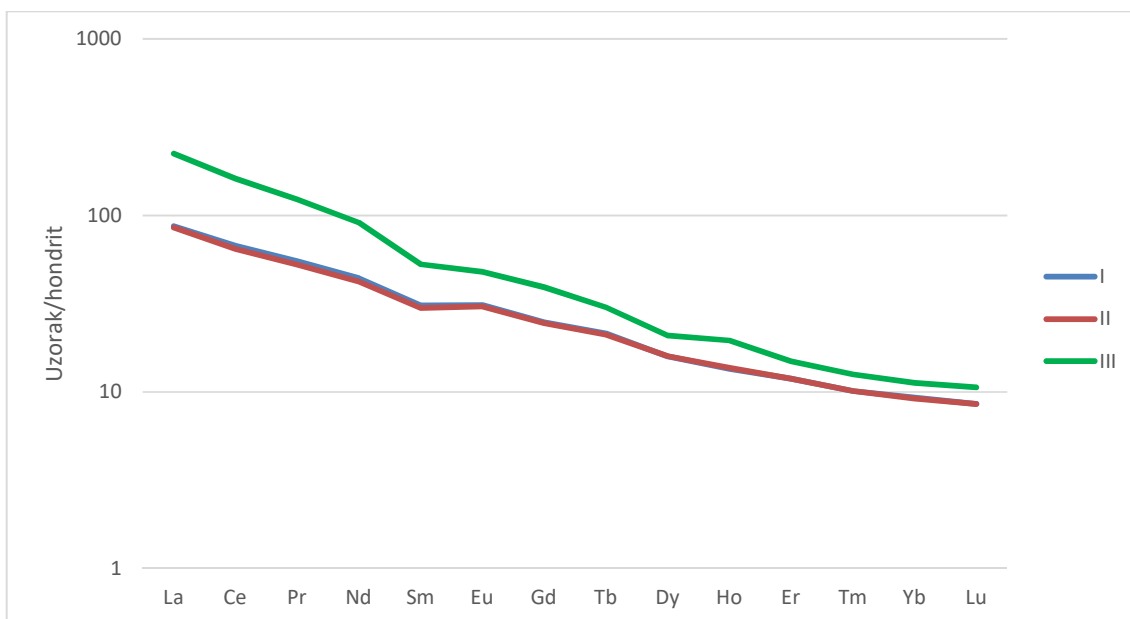
| Element | Vulkanska faza | | | |
|---------|----------------|-------|-------|--------|
| | I | II | I+II | III |
| La | 20.5 | 20.1 | 20.3 | 52.8 |
| Ce | 41.5 | 39.8 | 40.6 | 99.7 |
| Pr | 5.12 | 4.89 | 5.00 | 11.47 |
| Nd | 20.17 | 19.33 | 19.75 | 41.63 |
| Sm | 4.60 | 4.45 | 4.53 | 7.87 |
| Eu | 1.74 | 1.71 | 1.73 | 2.68 |
| Gd | 4.88 | 4.83 | 4.86 | 7.74 |
| Tb | 0.76 | 0.75 | 0.75 | 1.07 |
| Dy | 3.90 | 3.91 | 3.91 | 5.10 |
| Ho | 0.74 | 0.75 | 0.74 | 0.94 |
| Er | 1.90 | 1.90 | 1.90 | 2.39 |
| Tm | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.31 |
| Yb | 1.48 | 1.46 | 1.47 | 1.79 |
| Lu | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.26 |
| LREE | 98.40 | 95.10 | 96.75 | 223.90 |
| HREE | 9.24 | 9.23 | 9.23 | 11.86 |

Zapaža se velika razlika u sadržaju elemenata lakih retkih zemalja (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu i Gd), koji je u proseku dvostruko veći kod alkalnih bazalta treće faze u odnosu na bazalte prve i druge vulkanske faze. Sadržaj elemenata teških retkih zemalja (Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb i Lu) je, međutim, samo neznatno povišen u trećoj vulkanskoj fazi, to jest alkalnim bazaltima.

Generalno posmatrano, sadržaj elemenata retkih zemalja je nisko i nema ekonomskog potencijala u bližoj budućnosti.



Slika 4.18: Varijacije sadržaja elemenata retkih zemalja po vulkanskim fazama.



Slika 4.19: Dijagram normalizovanih vrednosti prosečnog sadržaja elemenata retkih zemalja bazalta sve tri vulkanske faze; vrednosti za koeficijente za normalizaciju su iz McDonough and Sun (1995).

5. TEHNOLOŠKA SVOJSTVA I MOGUĆNOST PRIMENE BAZALTA

Bazalt je stena sa veoma velikim mogućnostima primene u industriji, što je u svojoj doktorskoj disertaciji lepo sumirao Pavlović (2019): "Bazalt poseduje dobra tehnička svojstva: visoka tačka topljenja; velika tvrdoća; velika gustina i kompaktnost; otpornost na koroziju, habanje, kiseline, baze i toplotu, dejstvo agresivnih suspenzija i fluida. Lako je dostupan i predstavlja jeftinu sirovinu za dobijanje stakla i staklo–keramike procesima sinter kristalizacije, topljenja, livenja i termičkog tretmana. Staklo–keramika na bazi bazalta ima veoma finu i homogenu strukturu, odlična fizička i mehanička svojstva, hemijsku postojanost, visoku otpornost na habanje i koroziju (Beall and Rittler, 1976; Cocić et al, 2010; Matović et al, 2003)".

Veoma je značajna primena bazalta u građevinskoj industriji i putogradnji (Smith and Collis, 2001; Ristić, 2015; Pavlović i dr., 2016; Prstić et al, 2012; Aćimović et al, 2012; Simić i Gilić, 2000; Đokić and Milićević, 2013; Elgabbas et al, 2016; Al-Zyoud, 2019), kao i cementnoj industriji (Abd El-Hafiz et al, 2015).

Pavlović (2019) navodi da se vatrostalni materijali na bazi bazalta koriste u svim industrijskim granama u kojima se zahteva hemijska postojanost i otpornost na habanje: elektrotehnika, hemijska industrija, metalurgija, građevinarstvo, putogradnja (Andrić et al, 2012; Čikara et al, 2010; Pavlović i dr., 2016; Prstić et al, 2012; Aćimović et al, 2012; Simić i Gilić, 2000), zatim za oblaganje uređaja i habajućih delova raznih industrijskih postrojenja, posebno u cementnoj industriji (Simić et al, 2002), za silose za skladištenje mineralnih sirovina, bunkere za koks i razne rude, klasifikatore i mešalice (Prstić et al, 2003; Prstić et al, 2005), za izradu antikorozivnih i termoizolacionih materijala. Sinteza i primena kompozitnih materijala sa polimernom osnovom i ojačivačem na bazi bazalta (tanka i super tanka bazaltna vlakna, bazaltne prahe) široko su prisutni u mašinskoj industriji, auto industriji, brodogradnji, građevinarstvu za izradu konstrukcionih delova i opreme gde je potrebna visoka tvrdoća i otpornost na habanje (Fiore et al, 2011; Dehkordi et al, 2010; Todić et al, 2011).

Bazalt i proizvodi na bazi bazalta su netoksični, nezapaljivi i neeksplozivni, i značajni su jer mogu da supstituišu azbest, metalne materijale (Pavlović, 2019).

Tehnološka ispitivanja izvedena na bazaltima kvartarne starosti u Rumuniji (Marica, 2004) pokazala su da se sečene ploče bazalta, nakon nanošenja specijalnih glazura, mogu upotrebljavati na spoljašnjim i unutrašnjim površinama sa intenzivnim prometom, površinama izloženim mrazu, visokim temperaturama, ili kiselinama i koroziji.

5.1. Primena bazalta u industriji bazaltnog vlakna

Industrija bazaltnog vlakna (ili mineralne vune) je jedna od najčešćih oblasti primene bazalta, između ostalog u tekstilnoj industriji (Deak and Czigany, 2009; Ralph et al, 2018; Coughlin et al, 2019).

Petrolurgija, to jest topljenje stena putem dirigovanog formiranja kamene mase, omogućava dobijanje tri osnovne vrste proizvoda: homogene, porozne i vlaknaste, koji imaju različitu primenu u privredi (Vakanjac, 1992). Homogeni proizvodi su najraznovrsniji i najbrojniji. Oni u obliku ploča i drugih fazoniranih detalja nalaze primenu u građevinarstvu za oblaganje zidova, za podove i trotoare, za stepeništa itd., dok u elektrotehnici služe kao izolatori. U hemijskoj industriji nalaze primenu kao raznovrsni elementi i detalji aparatura i instalacija kao što su cevi, žljebovi, kade itd. U mašinskoj tehnici služe kao podupirači i postolja teških mašina alatjika i strugova itd.

Porozni proizvodi se uglavnom koriste kao termoizolacioni materijal, dok vlaknasti varijeteti služe kao armatura za neke betonske konstrukcije i u plastičnim masama, kao zamena azbesta u cementnim kompozicijama, a zatim kao termoizolaciona mineralna vuna niske zapreminske mase (40-100 kg/m³).

Bazaltno vlakno mineralna vuna) proizvodi se od magmatskih stena (osnovna sirovina) i sedimentnih stena (korektivna sirovina), pri čemu kao korektivna komponenta može da se koristi zgura iz procesa topljenja rude gvožđa (Brzaković, 2000). Najbolje magmatske stene za proizvodnju mineralne vune su bazične ili ultrabazične, a kao korektori dolomiti i dolomitični krečnjaci. Potrebno je da magmatska stena bude što bazičnija, tj. ukoliko su plagioklasi bazičniji utoliko je i njena kristalizaciona sposobnost bolja. Optimalni sadržaj SiO₂ u steni ne sme biti veći od 50%. Poželjno je, takođe, da sadržaj bazičnih ploagioklasi iznosi oko 50%. Od femskih minerala najpovoljnije je preovlađivanje olivina. Alkalije imaju karakter pozitivnih ingradijenata, ukoliko njihov sadržaj nije suviše visok, jer tada negativno utiču na otpornost proizvoda prema hemijskim agensima.

Od mineralnog i hemijskog sastava i strukture stena-sirovine direktno zavisi temperatura topljenja i viskoznosti dobijenog rastopa. Zato se, da bi se dobila najpogodnija industrijska smeša, osnovnoj sirovini dodaje karbonatni korektor (obično dolomitizirani krečnjak, ili dolomit u količini do 30%). Na snižavanje viskoziteta rastopa najveći uticaj imaju oksidi topitelji (FeO, CaO, MgO, Na₂O i K₂O); kiseli oksidi (SiO₂, Al₂O₃, TiO₂ i Fe₂O₃) pritom povećavaju viskozitet rastopa, tj. otežavaju proces topljenja sirovine, livenje rastopa i izvlačenje mineralne vune iz njega.

Prema Kužvartu (1984) najpogodnije sirovine su bazalti - od alkalnih olivinskih do nefelinskih bazanita, a njihov hemijski sastav treba da je u sledećim granicama (Tabela 5.1):

Tabela 5.1: Optimalni hemizam bazalta za primenu u proizvodnji mineralne vune (Kužvart, 1984)

| Elementi | % |
|--------------------------------|-----------|
| SiO ₂ | 43,5-47,0 |
| TiO ₂ | 2,0-3,5 |
| Al ₂ O ₃ | 11,0-13,0 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,0-7,0 |
| FeO | 5,0-8,0 |
| MnO | 0,2-0,3 |
| CaO | 10,0-12,0 |
| MgO | 8,0-11,0 |
| Na ₂ O | 2,0-3,5 |
| K ₂ O | 1,0-2,0 |
| P ₂ O ₅ | 0,5-1,0 |

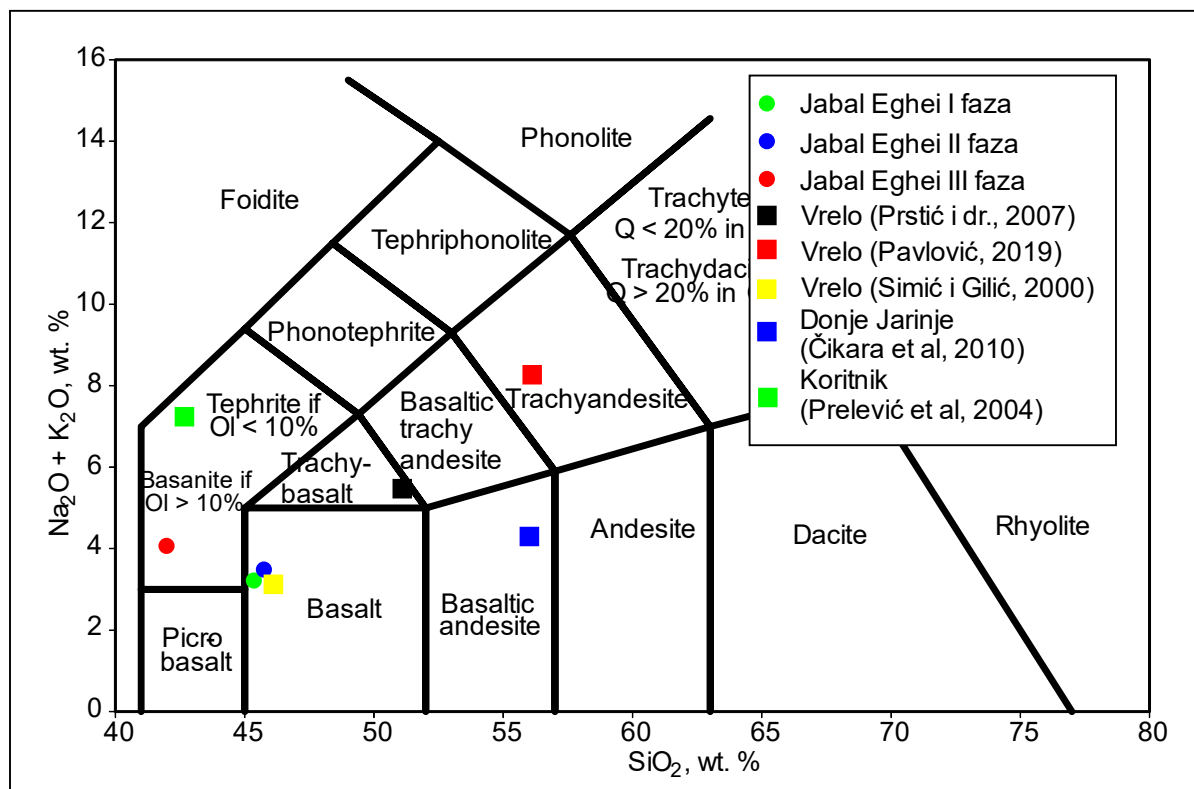
Prilikom razmatranja sirovinske baze za petrolurgiju mora se imati u vidu činjenica da ona koristi granulat drobljenih bazičnih magmatskih stena veličine 50-90 mm. U toku drobljenja i dobijanja te frakcije stene ostaje značajna količina (30-50%) sitnijeg kamenog materijala kome se, takođe, mora obezbediti plasman za druge namene u građevinarstvu, putogradnji itd. Tucanik proizveden od bazičnih magmatskih stena za petrolurgiju predstavlja, dakle, samo jedan varijetet te sirovine i moguće potrošnje, a sitnije frakcije ovih stena se ne mogu smatrati jalovinom, jer bi to dovelo u pitanje ekonomičnost ove proizvodnje

Kao što je već naglašeno, hemijski sastav silikatnog rastopa je presudan faktor koji, pored tehnologije proizvodnje, definiše kvalitet mineralne vune, zbog čega je u tabeli 5.2 prikazan hemijski sastav bazalta područja Jabal Eghei u Libiji, kao i bazalta iz ležišta Vrelo, Koritnik i Donje Jarinje iz Srbije.

Tabela 5.2: Hemijski sastav bazalta Jabal Eghei (mas. %) i uporedna tabela sa ležištima Srbije

| | Jabal Eghei, Faza I | Jabal Eghei, Faza II | Jabal Eghei, Faza III | Vrelo (Prstić i dr., 2007) | Vrelo (Pavlović, 2019) | Koritnik (Prelević et al, 2004) | Donje Jarinje (Čikara et al, 2010) |
|--------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| SiO ₂ | 44.11 | 44.65 | 41.26 | 48.89 | 56.21 | 42.28 | 56.30 |
| TiO ₂ | 2.32 | 2.22 | 2.66 | | 1.11 | 2.20 | 0.73 |
| Al ₂ O ₃ | 13.61 | 13.83 | 11.74 | 16.75 | 18.61 | 10.27 | 18.60 |
| Fe ₂ O ₃ | | | | | 1.15 | *10.48 | |
| FeO | | | | | 2.97 | | |
| FeO _t | 13.59 | 13.54 | 12.65 | 8.40 | | | 6.30 |
| MnO | 0.19 | 0.18 | 0.19 | | | 0.16 | 0.06 |
| MgO | 7.96 | 7.49 | 12.58 | 8.26 | 3.40 | 12.41 | 3.51 |
| CaO | 11.18 | 11.43 | 11.2 | 8.28 | 7.78 | 10.51 | 7.90 |
| Na ₂ O | 2.48 | 2.68 | 2.86 | 2.57 | 4.73 | 2.14 | 2.76 |
| K ₂ O | 0.73 | 0.71 | 1.13 | 2.90 | 3.37 | 5.09 | 1.44 |
| P ₂ O ₅ | 0.36 | 0.34 | 0.9 | | | 1.47 | |
| G.Ž. | 2.72 | 2.33 | 1.79 | | | 2.01 | 2.53 |
| Ukupno | 99.25 | 99.4 | 98.96 | 96.03 | 99.33 | 99.00 | 100.14 |

* Označava ukupno Fe₂O₃



Slika 5.1: TAS dijagram sastava bazaltnih stena područja Jabal Eghei i reprezentativnih pojava Srbije.

Na osnovu klasifikacije proučenih bazaltnih stena na slici 5.1, možemo videti da u prave bazalte spadaju samo prelazni bazalti prve i druge vulkanske faze područja Jabal Eghei. Alkalni bazalti treće vulkanske faze područja Jabal Eghei i uganditi Koritnika pripadaju bazanitima, dok stene Donjeg

Jarinja predstavljaju andezit-bazalte. Hemizam bazalta sa područja Vrela izgleda da dosta varira, tako da te stene možemo klasifikovati kao trahandezite, trahibazalte do bazalte.

Hemijski sastav silikatnog rastopa je presudan faktor koji, pored tehnologije proizvodnje, definiše kvalitet mineralne vune. Za preliminarno utvrđivanje pogodnosti magmatskih stena za dobijanje ovakvog povoljnog hemijskog sastava rastopa najčešće se koristi modul kiselosti rastopa (MK) (Brzaković, 2000; Mišić i dr., 2000; Imamović i dr., 2018). Modul kiselosti rastopa definiše se kao količnik zbira sadržaja kiselih i baznih oksida u rastopu, a računa se prema formuli (Brzaković, 2000):

$$MK = (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{CaO} + \text{MgO})$$

Prema empirijskim podacima vrednosti modula koji definišu kvalitet mineralnog rastopa iz koga je moguće dobiti kvalitetnu mineralnu vunu treba da se kreću u sledećim granicama (Brzaković, 2000) je od 1,2 do 1,6. Prema Brzakoviću (2000), optimalna vrednost ovog modula je u granicama 1,2-1,6. Sirovina sa takvim modulom kiselosti obezbeđuje proizvodnju mineralne vune visokog kvaliteta, sa debljinom vlakana 2-10 μm i sa malim sadržajem stopljenih perli-granula. Da bi se dobila optimalna vrednost modula kiselosti sadržaja ova četiri osnovna oksida u rastopu treba teorijski da iznose: SiO_2 -40%, Al_2O_3 -15%, CaO -30% i MgO -15%. Od značaja je, takođe, odnos Fe_2O_3 i FeO u sirovini i pritom prema procentualnom učešću fero-oksida treba da preovlađuje. Prisustvo slobodnog kvarca u sirovini je štetno, a takođe i minerala koji pri topljenju mogu osloboditi slobodnu siliciju (npr. amfiboli), zato što on doprinosi formiranju stopljenih perli-granula, a ne vlakana iz rastopa. Najpovoljnija je sitnozrna struktura stena-sirovine. U tabeli 5.3 prikazane su vrednosti izračunatog modula kiselosti za bazaltne sirovine iz tabele 5.2.

Tabela 5.3: Vrednosti izračunatog modula kiselosti za bazalt Jabal Eghei (mas. %), komparativna tabela sa reprezentativnim ležištima Srbije

| | Jabal Eghei, Faza I | Jabal Eghei, Faza II | Jabal Eghei, Faza III | Vrelo (Simić i Gilić, 2000) | Vrelo (Prstić i dr., 2007) | Vrelo (Pavlović, 2019) | Koritnik (Prelević et al, 2004) | Donje Jarinje (Čikara et al, 2010) |
|----|---------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| MK | 3.0 | 3.1 | 2.2 | 4.4 | 4.0 | 6.7 | 2.3 | 6.6 |

Iz tabele 5.3 vidi se da je najpovoljniji prirodni bazalt za dobijanje mineralne vune upravo iz Libije, i to bazalt III vulkanske faze, sa najvišim sadržajem bazičnih oksida. Znači, na osnovu rezultata hemijskih analiza i preliminarnih proračuna modula kiselosti može se zaključiti da ovi bazalti uz adekvatnu tehnološku preradu i dodatak potrebne količine korektivne sirovine mogu biti veoma kvalitetna sirovina za dobijanje bazaltnog vlakna.

5.2. Primena bazalta kao sirovine za agregate

Poznato je da su bazalti veoma kvalitetna sirovina za dobijanje kako agregata (tehničkog kamena) u putogradnji, tako i ukrasnog (dimenzionisanog) kamena (Brzaković, 2000). U putogradnji bazalt se koristi prvenstveno kao agregat za habajuće slojeve kolovoznih konstrukcija, a kao ukrasni kamen pre svega za nadgrobnice spomenike zbog svoje tamne boje i mogućnosti poliranja do visokog sjaja.

5.2.1. Fizičko-mehaničke karakteristike bazalta područja Jabal Eghei

Ispitivanja fizičko-mehaničkih karakteristika bazalta sa područja Jabal Eghei vršena su na dva uzorka zbog nedovoljne količine materijala potrebnog za detaljna ispitivanja većeg broja pojedinih uzoraka iz sve tri vulkanske faze (tabela 5.4). Ova ispitivanja vršena su za potrebe izrade geološke karte Libije, područja Jabal Eghei. Rezultati su preuzeti iz navedenih izvora i prokomentarisani za potrebe ove disertacije.

Tabela 5.4: Fizičko-mehaničke karakteristike bazalta sa područja Jabal Eghei (Izvor: Analiza 1 - Uzorak 7033, prva vulkanska faza (Grubić and Ammar, 2014), Analiza 2 – kompozitni uzorak svih faza (Bojić and Algerbi, 2014))

| Svojstva kamena | SRPS standard | Jedinica mere | Min | Maks | Prosek | Min | Maks | Prosek |
|--|---------------|-------------------------------------|-----------|-------|--------------|-----------|-------|--------------|
| | | | Analiza 1 | | | Analiza 2 | | |
| Zapreminska masa sa porama i šupljinama | B.B8.032 | g/cm ³ | | | 2.873 | | | 2.845 |
| Zapreminska masa bez pora i šupljina | B.B8.032 | g/cm ³ | | | 2.932 | | | 2.863 |
| Koeficijent zapreminske mase | B.B8.032 | | | | 0.980 | | | 0.980 |
| Poroznost | B.B8.032 | % | | | 2.0 | | | 1.2 |
| Upijanje vode | B.B8.010 | % | 0.36 | 0.64 | 0.68 | 0.36 | 0.64 | 0.56 |
| Čvrstoća na pritisak | | | | | | | | |
| a) u suvom stanju | B.B8.012 | MPa | 125 | 267 | 242 | 125 | 267 | 173 |
| b) u vodozasićenom stanju | B.B8.012 | MPa | 117 | 182 | 218 | 117 | 182 | 143 |
| Otpornost prema habanju brušenjem | B.B8.015 | cm ³ /50 cm ² | 12.37 | 12.56 | 11.93 | 12.37 | 12.56 | 12.47 |
| Postojanost na dejstvo Na ₂ SO ₄ | B.B8.002 | | Postojan | | | Postojan | | |

Ispitani uzorak sa oznakom 7033 je olivinski bazalt prve vulkanske faze (Grubić and Ammar, 2014) izgrađen od alterisanih fenokristala olivina i mikrofenokristala klinopiroksena koji se nalaze u holokristalastoj osnovnoj masi koja se najvećim delom sastoji od pritkastog plagioklasa. Fenokristali olivina su euhedralni do subhedralni, veličine do nekoliko milimetara u prečniku. Obično su veoma oksidisani i idingsitisani, ali se nalaze i veoma sveža zrna olivina.

Ocene rezultata preliminarnih ispitivanja kvaliteta bazalta kao tehničko-građevinskog kamena date su u skladu sa kriterijumima Bilbije i Matović (2009). Vrednosti obe analize se sa stanovišta tehničke petrografije mogu oceniti na sledeći način:

- zapreminska masa sa porama i šupljinama oba uzorka određuje ispitivani kamen kao težak (2.5 - 3.0 g/cm³)
- poroznost uzorka I određuje ovaj kamen kao malo porozan (1-2,5%), poroznost uzorka II nalazi se na samoj granici vrednosti za kompaktni (<1%) i malo porozan kamen (1-2,5%)
- upijanje vode uzorka I se ocenjuje kao malo (0,5 - 1 %), upijanje vode uzorka II se smatra veoma malim (< 0,5%);
- Čvrstoća na pritisak u suvom stanju kod oba ispitana uzorka je visoka (150-250 MPa)
- Čvrstoća na pritisak u vodozasićenom stanju takođe je visoka kod oba ispitana uzorka. (Pad vrednosti čvrstoće na pritisak u vodozasićenom stanju u odnosu na vrednosti u suvom stanju od 10%, odnosno 15 % zadovoljava zahtev standarda SRPS B.B2.009)
- Otpornost prema habanju brušenjem je veoma slična kod oba uzorka, obe dobijene vrednosti određuju ispitivani kamen kao tvrd (10-20 cm³/50 cm²).

Na osnovu rezultata ispitivanja kamena i odredbi odgovarajućih srpskih standarda, stenska masa bazalta sa lokaliteta Jabal Eghei se kao tehničko-građevinski kamen može upotrebiti za:

- proizvodnju agregata za izradu betona koji su izloženi habanju i eroziji (SRPS B.B2.009:1986, Prirodni agregat i kamen za proizvodnju agregata za beton - Tehnički uslovi);
- proizvodnju agregata za izradu habajućih slojeva od asfaltnih betona po vrućem postupku za puteve sa srednjim, lakim i vrlo lakim saobraćajnim opterećenjem (SRPS U.E4.014:1990, Projektovanje i građenje puteva - Izrada habajućih slojeva od asfaltnih betona po vrućem postupku - Tehnički uslovi);
- proizvodnju agregata za donje noseće slojeve od nevezanog materijala (tehničke specifikacije Javnog preduzeća »Putevi Srbije«, 2009);
- proizvodnju agregata za donje noseće slojeve od bituminiziranog materijala po vrućem postupku (SRPS U.E9.028:1980, Projektovanje i građenje puteva - Izrada donjih nosećih slojeva od bitumeniziranog materijala po Vrućem postupku - Tehnički uslovi);
- proizvodnju agregata za donje slojeve cementbetonskog kolovoza (SRPS U.E3.020:1988, Projektovanje i građenje puteva - Tehnički uslovi za izradu cementbetonskog kolovoza);
- proizvodnju agregata za izradu zaštitnog – tamponskog sloja trupa pruge (Licitaciona dokumentacija za isporuku kamenog agregata za izradu zaštitnog sloja trupa pruge);
- proizvodnju lomljenog kamena i tesanika za gruba zidanja u niskogradnji i visokogradnji;
- proizvodnju kamena za ugradnju u hidrotehničke objekte.

Za potencijalnu proizvodnju agregata za izradu betona potrebno je ispitati i sadržaj ukupnog sumpora kao SO₃ i sadržaj Cl.

Upoređenje kvaliteta bazalta Jabal Eghei kao tehničko-građevinskog kamena sa relevantnim stenama sličnog sastava u Srbiji (Tabela 5.5), pokazala je da su fizičko-mehaničke karakteristike bazalta slične, s tim što bazalti sa područja Jabal Eghei pokazuju nešto slabije vrednosti naročito kod otpornosti prema habanju brušenjem, što je posledica nedovoljnog broja analiza za detaljnu karakterizaciju, kao i činjenice da su svi uzimani uzorci bili sa površine terena i pritom donekle alterisani.

Tabela 5.5: Upoređenje kvaliteta bazalta Jabal Eghei kao tehničko-građevinskog kamena sa relevantnim stenama sličnog sastava u Srbiji

| Svojstva kamena | Jedinica mere | Libija Analiza 1 | Libija Analiza 2 | Koritnik (Kovačević i dr., 2000) | Vrelo (Čikara et al, 2010) | Donje Jarinje (Čikara et al, 2010) |
|--|-------------------------------------|------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Zapreminska masa sa porama i šupljinama | g/cm ³ | 2.873 | 2.845 | 2.950 | 2.630 | 2.600 |
| Zapreminska masa bez pora i šupljina | g/cm ³ | 2.932 | 2.863 | | | |
| Poroznost | % | 2.0 | 1.2 | 0.7 | | |
| Upijanje vode | % | 0.68 | 0.56 | 0.21 | | |
| Čvrstoća na pritisak | | | | | | |
| a) u suvom stanju | MPa | 242 | 173 | 252 | 240 | 260 |
| b) u vodozasićenom stanju | MPa | 218 | 143 | 245 | 210 | 225 |
| Otpornost prema habanju brušenjem | cm ³ /50 cm ² | 11.93 | 12.47 | 5.76 | 4.50 | 4.10 |
| Postojanost na dejstvo Na ₂ SO ₄ | | Postojan | Postojan | Postojan | | |

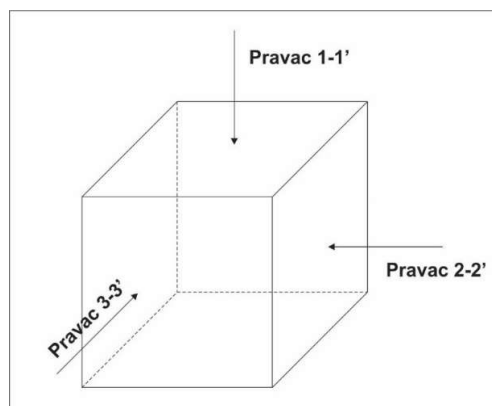
5.2.2. Rezultati ispitivanja bazaltnih stena kao radne sredine ultrazvukom

Ispitivanje stena ultrazvukom, određivanjem brzine prostiranja longitudinalnih (V_p) i transverzalnih elastičnih (V_s) talasa, je postalo jedan od repernih metoda u geomehanici uz poznavanje i merenje zapreminske težine ispitivanog uzorka (Gligorić et al, 2017; Majstorović et al, 2016; Majstorović i Cvetković, 2004), ali i građevinarstvu (Vojnović Čalić i Jevtić, 2016; Savić et al, 2016; Lukić, 2015). Ispitivanja stena kao radne sredine, sa kojom se gradi, na kojoj se gradi i u kome se gradi, svojom složenosti nameće i obavezuje njeno svestrano izučavanje. Uloga i značaj ispitivanja ultrazvukom je posebno značajno zbog činjenice da je ispitivanje ultrazvukom ispitivanje bez razaranja ispitivanog probnog tela, čime je omogućeno da se uzorak naknadno podvrgne i ispitivanju drugim metodima, sa razaranjem. Takav pristup omogućava utvrđivanje korelacionih odnosa između pojedinih parametara koji karakterišu određenu stenu, preko parametara koje definiše i određuje ispitivanje ultrazvukom kao što su:

- Brzina longitudinalnih elastičnih talasa V_p (m/s)
- Brzina transverzalnih elastičnih talasa V_s (m/s)
- Dinamički Poisson-ov koeficijent μ_{dyn} (-)
- Dinamički modul elastičnosti E_{dyn} (GN/cm²)

Brzina rasprostiranja elastičnih talasa (V_p i V_s) kroz stenu (bilo uzoraka ili stenske mase) zavisi od mineralnog sastava stene, strukturno-teksturnih karakteristika stene, poroznosti, ispucalosti, vlažnosti, naponskog stanja, temperature itd. Dinamička svojstva stena, utvrđena ultrazvukom od presudnog su značaja u pojedinim aktivnostima rudarstva i geologije, kao što je (Majstorović i Cvetković, 2004, dopunjeno):

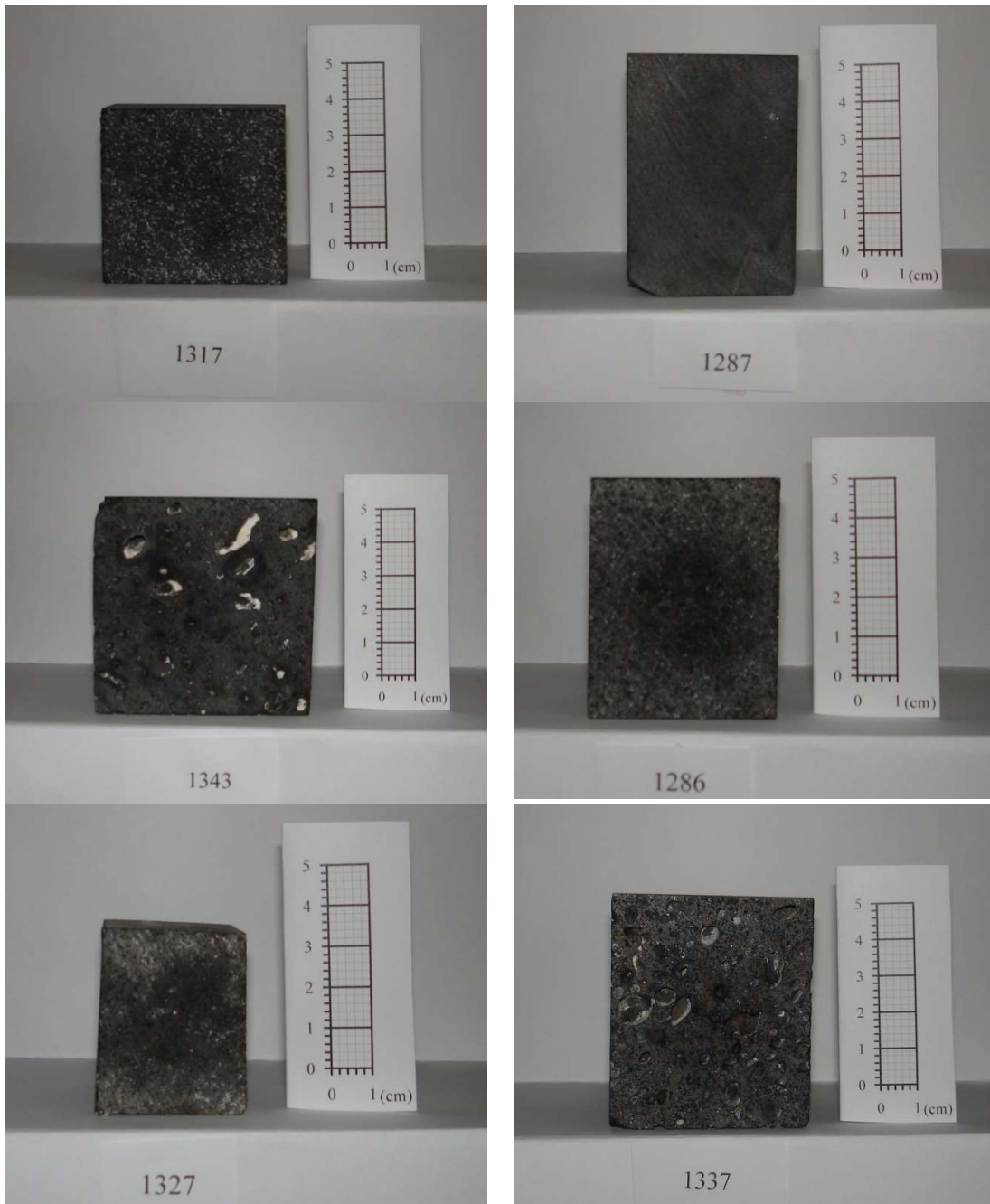
- određivanje optimalnih uslova u procesu miniranja stena,
- određivanje dinamičkih svojstava stena za potrebe izbora pogodnih mašina pri tehnologiji ripovanja,
- u procesu klasifikacije stena i određivanju njihove anizotropije,
- u tehnologiji eksploatacije arhitektonsko-građevinskog kamena, kod klasifikacije blokova na bazi mikropukotina,
- kod utvrđivanja višestrukih korelacija između pojedinih fizičko mehaničkih svojstava, itd,
- kod istraživanja odnosa reznih sila na bagerima i otpora kopanju u stenama, itd.,
- kod istraživanja uticaja dubine sa koje je izvađen blok arhitektonsko-građevinskog kamena, npr. mermera, na njegovu ispucalost i stepen iskorišćenja itd.
- Usmeravanju geoloških istražnih radova prilikom detaljnih istraživanja ležišta građevinskog kamena,
- Oceniti potencijalnosti primene određene stenske mase kao građevinskog kamena.



Slika 5.2: Pravci merenja brzine longitudinalnih (V_p) i transverzalnih (V_s) talasa.

Na probnim telima koja predstavljaju jedan reprezent po utvrđivanju zapreminske težine određene su brzine elastičnih talasa V_p i V_s . Merenja brzine longitudinalnih (V_p) i transverzalnih (V_s) talasa vršena su u tri pravca (slika 5.2), kako bi se utvrdila homogenost stenske mase. Na pojedinim reprezentima brzine longitudinalnih (V_p) i transverzalnih (V_s) talasa nisu mogle da budu merene u sva tri pravca, zbog ograničenja po pitanju minimalnih dimenzija reprezentata, koja je bila 25 mm.

Na osnovu utvrđenih vrednosti za brzine longitudinalnih (V_p) i transverzalnih (V_s) talasa, prema poznatoj vrednosti za zapreminsku težinu (γ), određen je dinamički modul elastičnosti E_{dyn} , kao i dinamički Poisson-ov (μ_{dyn}). Na slikama 5.3 i 5.4 prikazana su pripremljena probna tela paralelopipednog oblika, a u tabeli 5.6 date su dobijene vrednosti svih merenih parametara.



Slika 5.3: Pripremljena probna tela paralelopipednog oblika za merenje brzine longitudinalnih (V_p) i transverzalnih (V_s) talasa



Slika 5.4: Pripremljena probna tela paralelopipednog oblika za merenje brzine longitudinalnih (V_p) i transverzalnih (V_s) talasa

Rezultati merenja brzine longitudinalnih i transverzalnih talasa i izračunate vrednosti dinamičkog modula elastičnosti i dinamičkog Poisson-ovog koeficijenta obrađeni su statistički prema različitim kriterijumima kako bi se utvrdile karakteristike stenske mase. Nakon prve analize podataka utvrđeno je da dinamički Poisson-ov koeficijent (μ_{dyn}) ne pokazuje veća variranja bez obzira sa kojom drugom vrednošću se korelisao, tako da nije dalje razmatran.

Tabela 5.6: Rezultati ispitivanja uzoraka bazalta metodom ultrazvuka.

| Oznaka uzorka | Vulkanska faza | γ (kN/m ³) | Pravac merenja | Brzina V _p (m/s) | Brzina V _s (m/s) | E _{dyn} (GN/m ²) | μ_{dyn} - |
|---------------|----------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------|
| 1317 | I | 26,74 | 1-1' | 4390 | 2150 | 33,16 | 0,34 |
| | | | 2-2' | 4360 | 2130 | 32,69 | 0,34 |
| | | | 3-3' | 3880 | 1880 | 25,42 | 0,35 |
| 1287 | III | 29,15 | 1-1' | 5250 | 2630 | 53,56 | 0,33 |
| | | | 2-2' | 4890 | 2440 | 46,45 | 0,33 |
| | | | 3-3' | 4880 | 2180 | 38,24 | 0,37 |
| 1343 | III | 24,68 | 1-1' | 5120 | 2460 | 40,37 | 0,35 |
| | | | 2-2' | 4220 | 1990 | 26,63 | 0,36 |
| | | | 3-3' | 4900 | 2360 | 37,07 | 0,35 |
| 1286 | III | 25,70 | 1-1' | 4620 | 2220 | 34,24 | 0,35 |
| | | | 2-2' | 4270 | 2090 | 30,12 | 0,34 |
| | | | 3-3' | 4110 | 1950 | 26,42 | 0,36 |
| 1327 | I | 26,28 | 1-1' | 4470 | 2130 | 32,23 | 0,35 |
| | | | 2-2' | 3900 | 1810 | 23,55 | 0,36 |
| | | | 3-3' | 4000 | 1890 | 25,57 | 0,36 |
| 1337 | III | 20,55 | 1-1' | 4500 | 2140 | 25,39 | 0,35 |
| | | | 2-2' | 4080 | 1890 | 20,06 | 0,36 |
| | | | 3-3' | 4230 | 1960 | 21,60 | 0,36 |
| 7100 | II | 27,94 | 1-1' | 4620 | 2250 | 37,92 | 0,35 |
| 1297 | III | 24,34 | 1-1' | 4480 | 2140 | 30,05 | 0,35 |
| | | | 2-2' | 4330 | 2050 | 27,80 | 0,36 |
| | | | 3-3' | 4130 | 1940 | 24,91 | 0,36 |
| 1315 | I | 22,94 | 1-1' | 4060 | 1890 | 22,28 | 0,36 |
| 7109 | II | 28,73 | 1-1' | 4070 | 2030 | 31,67 | 0,33 |
| 1296 | II | 24,19 | 1-1' | 4750 | 2280 | 33,96 | 0,35 |
| | | | 2-2' | 4380 | 2070 | 28,20 | 0,36 |
| | | | 3-3' | 4130 | 1960 | 25,14 | 0,36 |

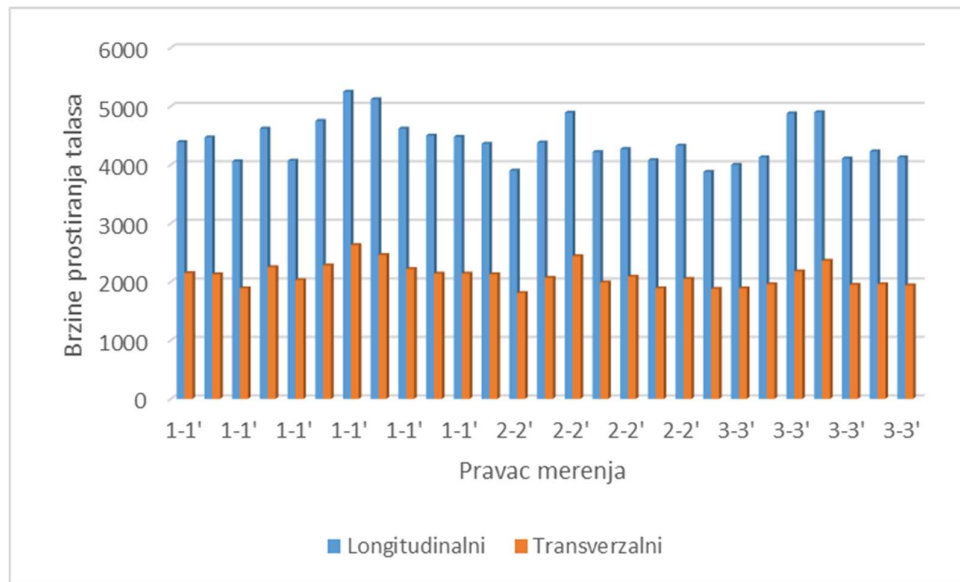
Ako posmatramo brzine prostiranja longitudinalnih i transverzalnih talasa po pravcima merenja, primećuje se da prvi pravac merenja daje generalno najviše vrednosti (tabela 5.6 i slika 5.5), dok su brzine prostiranja istih u pravcima 2 i 3 približno iste. S druge strane, kada dobijene vrednosti istih parametara posmatramo kao prosečne vrednosti po vulkanskim fazama, vidi se da su najviše vrednosti svih parametara dobijene za bazalte treće vulkanske faze (tabela 5.7 i slika 5.6).

Tabela 5.7: Prosečne vrednosti dobijenih parametara za bazalte Jabal Eghei po vulkanskim fazama i pravcima merenja

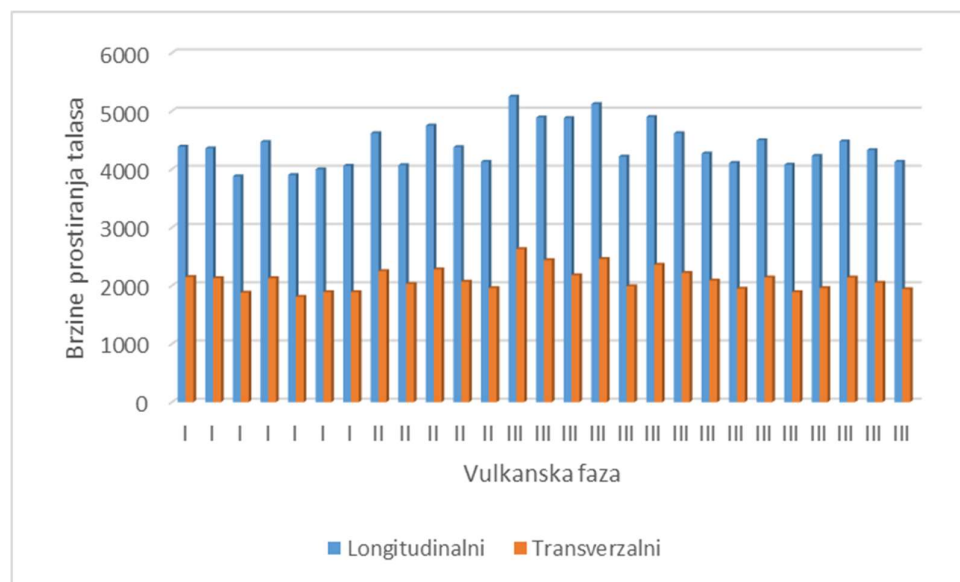
| Vulkanska faza | γ (kN/m ³) | Pravac merenja | Brzina V _p (m/s) | Brzina V _s (m/s) | E _{dyn} (GN/m ²) | μ_{dyn} - |
|--------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------------|
| Sve vulkanske faze | 25.57 | 1-1' | 4575 | 2211 | 34.08 | 0.35 |
| | | 2-2' | 4304 | 2059 | 29.44 | 0.35 |
| | | 3-3' | 4283 | 2015 | 28.05 | 0.36 |
| I vulkanska faza | 25.32 | 1-1' | 4307 | 2057 | 29.22 | 0.35 |
| | | 2-2' | 4130 | 1970 | 28.12 | 0.35 |
| | | 3-3' | 3940 | 1885 | 25.50 | 0.36 |

Tabela 5.7, nastavak

| | | | | | | |
|---------------------|-------|------|------|------|-------|------|
| II vulkanska faza | 26.95 | 1-1' | 4480 | 2187 | 34.52 | 0.34 |
| | | 2-2' | 4380 | 2070 | 28.20 | 0.36 |
| | | 3-3' | 4130 | 1960 | 25.14 | 0.36 |
| I+II vulkanska faza | 26.14 | 1-1' | 4393 | 2122 | 31.87 | 0.35 |
| | | 2-2' | 4255 | 2020 | 28.16 | 0.36 |
| | | 3-3' | 4035 | 1923 | 25.32 | 0.36 |
| III vulkanska faza | 24.88 | 1-1' | 4794 | 2318 | 36.72 | 0.35 |
| | | 2-2' | 4358 | 2092 | 30.21 | 0.35 |
| | | 3-3' | 4450 | 2078 | 29.65 | 0.36 |

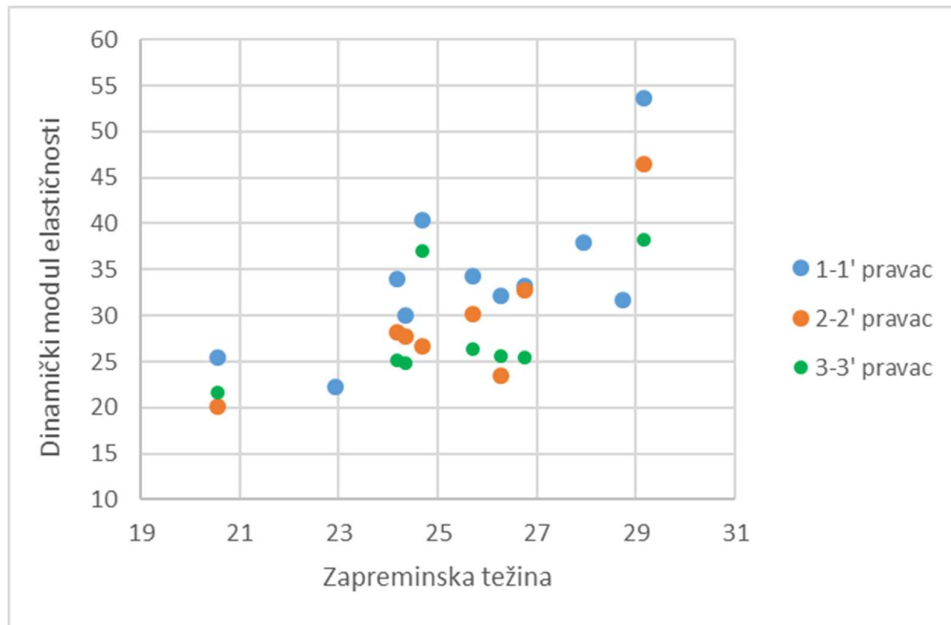


Slika 5.5: Vrednosti brzine prostriranja longitudinalnih i transverzalnih talasa u ispitivanim bazaltima po pravcima merenja

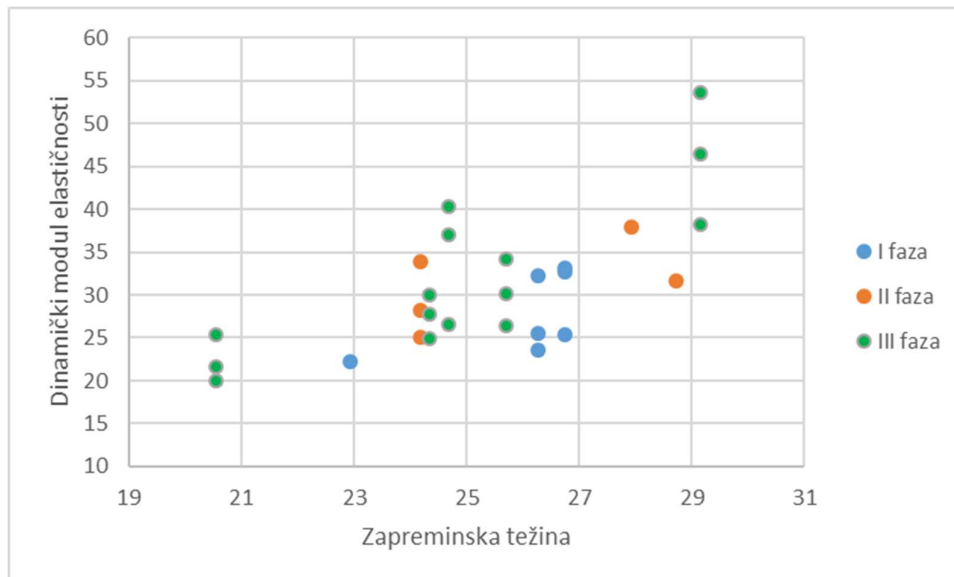


Slika 5.6: Vrednosti brzine prostriranja longitudinalnih i transverzalnih talasa u ispitivanim bazaltima po vulkanskim fazama

Za dalja razmatranja dobijenih vrednosti parametara proučena je korelacija između zapremine težine i dinamičkog modula elastičnosti. Sa slike 5.7 zapaža se da vrednosti dinamičkog modula elastičnosti rastu sa povećanjem zapremine težine. Primetno je da su vrednosti dinamičkog modula elastičnosti više za prvi pravac merenja, što je i razumljivo pošto su vrednosti brzina prostiranja talasa takođe više, kako je prethodno prikazano. Sa slike 5.8, na kojoj je ilustrovan odnos vrednosti dinamičkog modula elastičnosti i zapremine težine po vulkanskim fazama, vidi se da je najveće rasipanje podataka vezano za bazalte treće vulkanske faze zbog promenljivih vrednosti zapremine težine uslovljene pre svega vezikularnom teksturom većine uzoraka tih bazalta.



Slika 5.7: Odnos vrednosti dinamičkog modula elastičnosti i zapremine težine po pravcima merenja. Vrednosti su iz tabele 5.6.

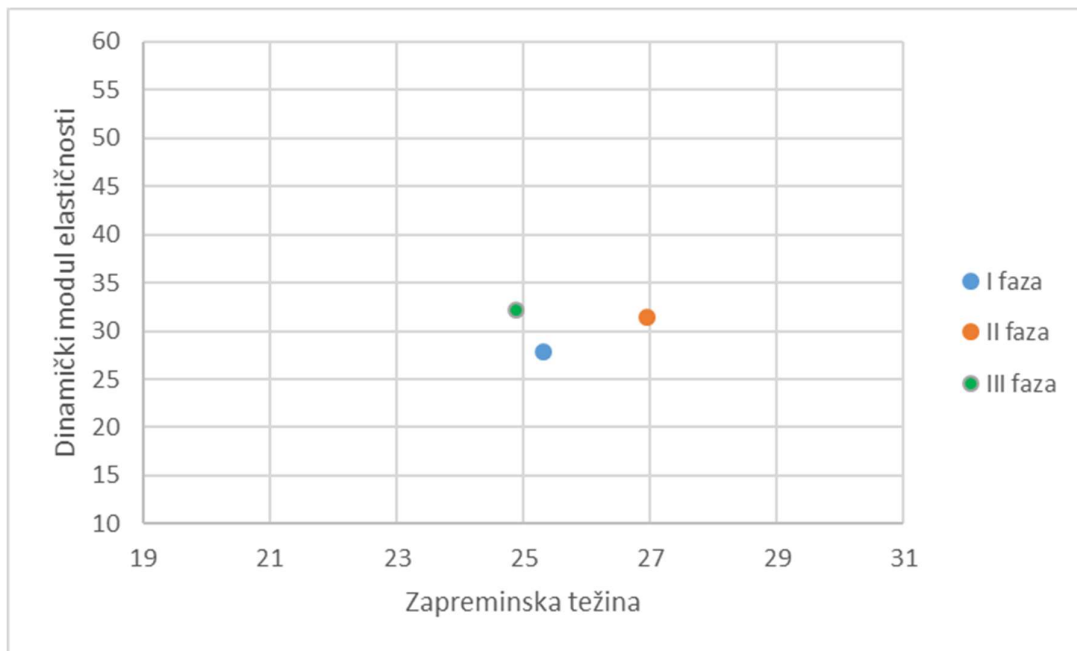


Slika 5.8: Odnos vrednosti dinamičkog modula elastičnosti i zapremine težine po vulkanskim fazama. Vrednosti su iz tabele 5.6.

Međutim, kada se posmatraju prosečne vrednosti parametara (tabela 5.8), zapaža se da su vrednosti i brzina prostiranja talasa, zapreminske težine i dinamičkog modula elastičnosti dosta bliske, sa odstupanjima koja variraju do 10 %. Na slici 5.9 prikazan je odnos prosečnih vrednosti zapreminske težine i dinamičkog modula elastičnosti, što potvrđuje da su sa geomehničke tačke gledišta ispitivani bazalti dosta homogeni. Jedino se primećuje razlika u vrednostima zapreminske težine, ali to je posledica toga da su svi uzorci bazalta II vulkanske faze masivne teksture, što je u daljem tekstu objašnjeno.

Tabela 5.8: Prosečne vrednosti ispitivanih parametara po vulkanskim fazama

| Vulkanska faza | γ (kN/m ³) | Brzina V_p (m/s) | Brzina V_s (m/s) | E_{dyn} (GN/m ²) | μ_{dyn} - |
|----------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|---------------|
| I | 25.32 | 4151 | 1983 | 27.84 | 0.35 |
| II | 26.95 | 4390 | 2118 | 31.38 | 0.35 |
| III | 24.88 | 4534 | 2163 | 32.19 | 0.35 |



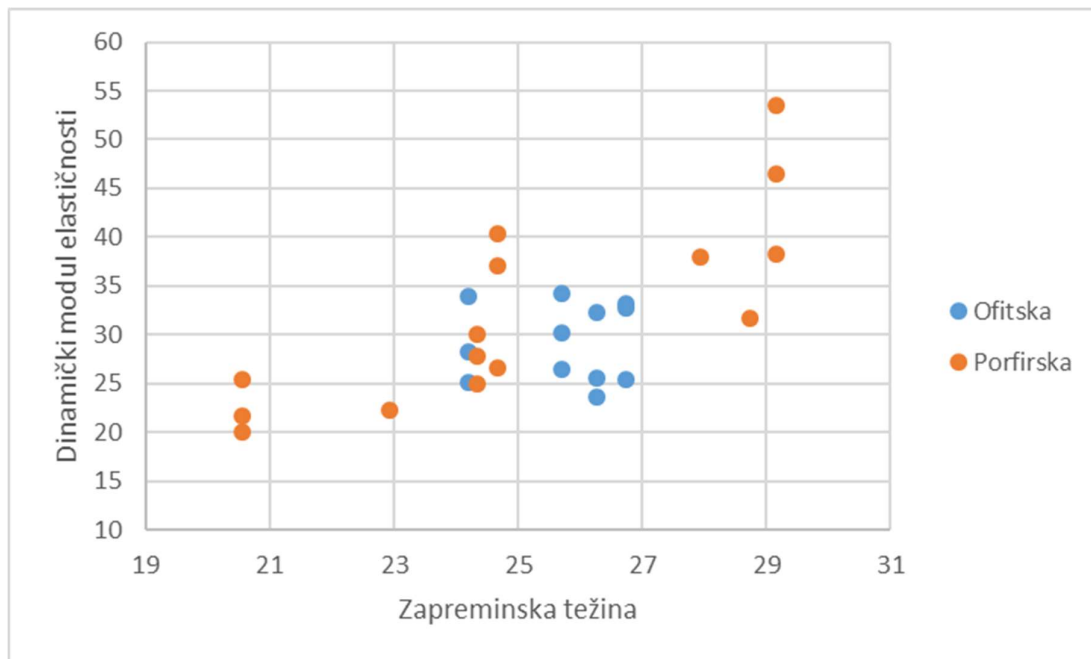
Slika 5.9: Odnos prosečnih vrednosti zapreminske težine i dinamičkog modula elastičnosti bazalta po vulkanskim fazama

Dosadašnja razmatranja ispitivanih geomehničkih parametara bazalta bila su važna sa aspekta ocene kvaliteta bazalta kao građevinskog kamena. Međutim, sa geološke tačke gledišta bilo je zanimljivo proučiti zavisnost dobijenih parametara od geoloških karakteristika bazalta – sklopa stene, to jest preovlađujućih strukturnih i teksturnih karakteristika bazalta, što je prikazano na tabeli 5.9 i ilustrovano na slikama 5.10 i 5.11.

Tabela 5.9: Prosečne vrednosti dobijenih parametara za bazalte Jabal Eghei po preovlađujućoj strukturi i teksturi bazalta i pravcima merenja

| Sklop bazalta | γ (kN/m ³) | Pravac merenja | Brzina V _p (m/s) | Brzina V _s (m/s) | E _{dyn} (GN/m ²) | μ_{dyn} - |
|----------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|------------------|
| Ofitska struktura | 25.73 | 1-1' | 4558 | 2195 | 33.40 | 0.35 |
| | | 2-2' | 4228 | 2025 | 28.64 | 0.35 |
| | | 3-3' | 4030 | 1920 | 25.64 | 0.36 |
| Porfirska struktura | 25.48 | 1-1' | 4586 | 2220 | 34.46 | 0.35 |
| | | 2-2' | 4380 | 2093 | 30.24 | 0.35 |
| | | 3-3' | 4535 | 2110 | 30.46 | 0.36 |
| Masivna tekstura | 27.50 | 1-1' | 4673 | 2298 | 39.28 | 0.34 |
| | | 2-2' | 4635 | 2255 | 37.33 | 0.35 |
| | | 3-3' | 4505 | 2070 | 31.69 | 0.37 |
| Vezikularna tekstura | 24.46 | 1-1' | 4520 | 2161 | 31.10 | 0.35 |
| | | 2-2' | 4193 | 1993 | 26.81 | 0.35 |
| | | 3-3' | 4208 | 1997 | 26.83 | 0.36 |

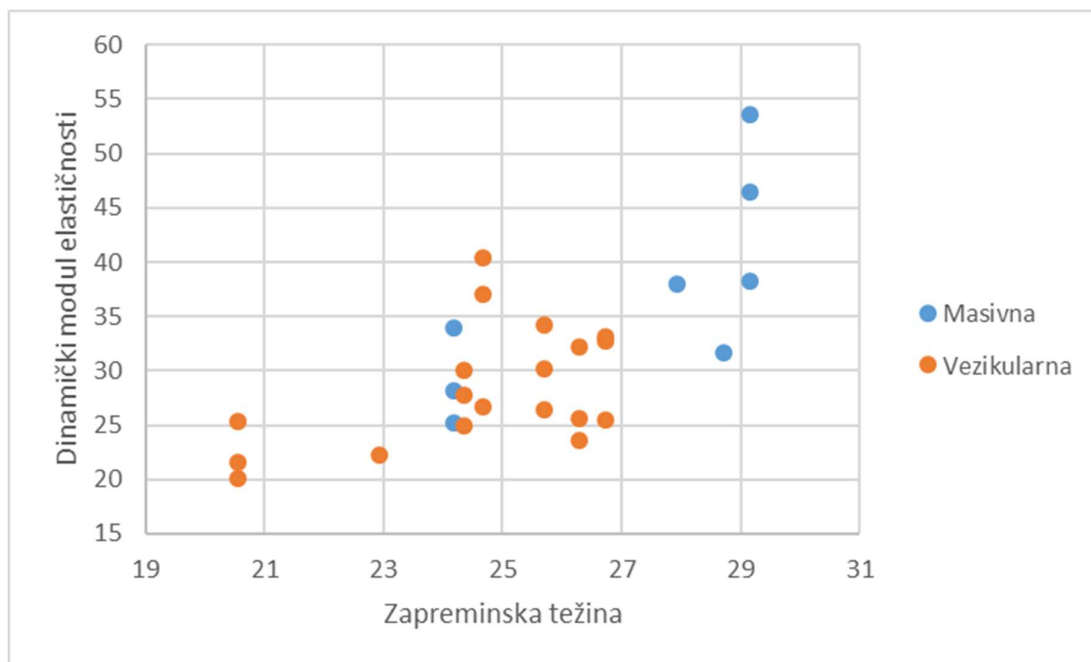
Iz tabele 5.9 se jasno vidi da struktura bazalta (ofitska ili porfirska) nema većeg uticaja na ispitivane parametre – zapreminske težine su skoro iste, kao i vrednosti dinamičkog modula elastičnosti. Zapažaju se vrlo ujednačene vrednosti brzina prostiranja i longitudinalnih i transverzalnih talasa kod bazalta porfirske strukture. Vrednosti dinamičkog modula elastičnosti nešto su veće kod bazalta porfirske strukture. Ukupno posmatrano, vrednosti parametara bazalta pokazuju variranja do najviše 5 % u zavisnosti od strukture stene.



Slika 5.10: Odnos vrednosti zapreminske težine i dinamičkog modula elastičnosti bazalta u odnosu na strukturu bazalta.

Kada posmatramo vrednosti parametara u odnosu na preovlađujuću teksturu bazalta (slika 5.11), utvrđena je značajna razlika u prosečnoj vrednosti zapreminske mase, koja je niža kod bazalta

vezikularne teksture (tabela 5.9), što je i razumljivo s obzirom na šupljine koje se nalaze u takvim bazaltima. Vrednosti brzina prostiranja i longitudinalnih i transverzalnih talasa kod masivnih bazalta su takođe više, a upadljiva je razlika u vrednostima dinamičkog modula elastičnosti, koje su takođe više kod masivnih bazalta, i to i preko 10 %.



Slika 5.11: Odnos vrednosti zapreminske težine i dinamičkog modula elastičnosti bazalta u odnosu na teksturu bazalta.

U cilju sumiranja rezultata ispitivanja bazalta ultrazvučnim metodima, u tabeli 5.10 prikazane su prosečne vrednosti ispitivanih parametara u zavisnosti od sklopa bazalta, kao i koeficijent korelacije (koji se može smatrati preliminarnim zbog malog broja ispitivanih uzoraka). Iz prikaza prosečnih vrednosti može se zaključiti da bazalti porfirske strukture i masivne teksture pokazuju najbolja svojstva sa aspekta kvaliteta kamena kao stenske mase.

Tabela 5.10: Prosečne vrednosti ispitivanih parametara u odnosu na sklop bazalta, sa koeficijentima korelacije zapreminske težine i dinamičkog modula elastičnosti

| Sklop bazalta | γ (kN/m ³) | Brzina V_p (m/s) | Brzina V_s (m/s) | E_{dyn} (GN/m ²) | μ_{dyn} - | Koeficijent korelacije $\gamma - E_{dyn}$ |
|----------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------|---|
| Ofitska struktura | 25.73 | 4272 | 2047 | 29.23 | 0.35 | 0.01 |
| Porfirski struktura | 25.48 | 4517 | 2157 | 32.27 | 0.35 | 0.80 |
| Masivna tekstura | 27.50 | 4621 | 2230 | 36.89 | 0.35 | 0.73 |
| Vezikularna tekstura | 24.46 | 4318 | 2056 | 28.40 | 0.35 | 0.48 |

5.3. Ispitivanja mogućnosti primene bazalta u proizvodnji kompozitnih materijala

Upotreba bazalta kao građevinskog kamena (bilo agregata bilo ukrasnog, dimenzionisanog ili skulptorskog) je dobro poznata i uglavnom zavisi od fizičko-mehaničkih karakteristika, što je prikazano za ispitivano područje u Libiji. S druge strane, otpad iz proizvodnje stvara prašinu, što pruža dobar mineralni izvor za razne primene. Za potrebe ove doktorske disertacije proučena je

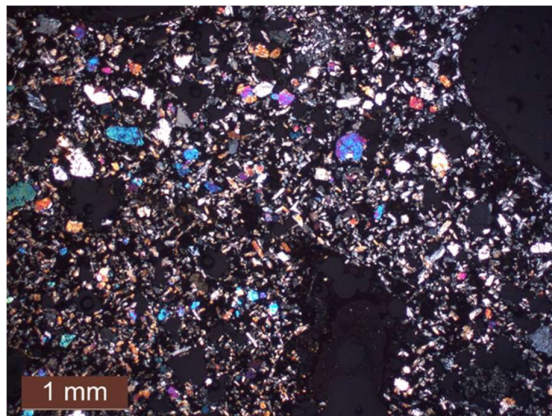
mogućnost upotrebe ovog otpadnog minerala u kompozitnim materijalima kao punilo (Kurańska et al, 2019), a rezultati su prikazani u radu Abusahmin et al (2020). Za ispitivanje je korišćen odabrani uzorak bazalta (1337) iz treće vulkanske faze.

Kompozitni materijali dostigli su novu eru u 20. veku korišćenjem polimernih matriksa, a svojstva materijala su postala prilagodljiva u smislu da se izborom komponenata svojstva mogu prilagoditi. Kod mikrokompozitnih materijala gde faza ojačanja ima zrna veličine mikrometra, primenjuje se pravilo mešanja, a opšta svojstva kao što su gustina, toplotna provodljivost mogu se izračunati iz svojstava komponenata. Postoje i modeli koji predviđaju modul i čvrstoću tih materijala. S druge strane, kada se nanočestice dodaju masi, čak i mali dodatak kao što je 1 tež.% armature, izuzetno povećava mehanička svojstva a poboljšanje mehaničkih svojstava može biti i preko 30% (Lazouzi et al, 2018; Alzarrug et al, 2015).

Povećana potražnja za kompozitnim materijalima često se ostvaruje korišćenjem materijala koji nisu ekološki prihvatljivi, tako da zahtevi za pronalaskom novih materijala upotrebom prirodnih mineralnih sirovina raste. Prirodne stene, poput bazalta, dobro su poznate po svojoj visokoj fizičkoj, mehaničkoj i hemijskoj otpornosti (Matykiewicz et al, 2019). Većina studija o upotrebi materijala na bazi bazalta u građevinskoj industriji zasniva se na upotrebi bazaltnih vlakana (Ralegaonkar et al, 2018), dok su proučavanja koja bazaltni prah smatraju punilom mnogo manjeg obima. Interesantan je rad na temu mehanizma kavitacijske erozije prirodnih i sinterovanih bazalta na primeru ležišta Vrelo kod Kuršumlije u Srbiji (Pavlović et al, 2019), koji navode da sinterovani bazalt pokazuje niže vrednosti kavitacijske erozije u odnosu na rovne uzorke.

Otpornost na eroziju može se proceniti izlaganjem materijala kavitacijskom fluidnom mlazu (Pavlović et al, 2017). U ovom istraživanju autori su pristupili tim uslovima izlažući dobijene kompozite kavitaciji. Da bi se obezbedila bolja otpornost na kavitaciju, materijal je poboljšan dodavanjem čestica glinice koja omogućavaju dobijanje boljih mehaničkih svojstava kada se dodaju polimeru (Milanović et al, 2018). Predloženi materijal se može tretirati kao hibridni (Stajčić et al, 2019; Đorđević et al, 2018), jer su dodate čestice dimenzija submikrona i omogućavaju dobijanje boljeg materijala matriksa koji okružuje bazaltne čestice (Vuksanović et al, 2018; Dimitrijević et al, 2011; Algellai et al, 2018). Kao materijal za matriks korišćena je komercijalna poliesterska smola.

Potpuno testirani bazalt (uzorak 1337) pripada trećoj vulkanskoj fazi, boje je tamno sive do crne, s porfiskom do intersertalnom strukturom i vezikularnom teksturom s šupljinama prečnika do 2 mm. Petrografska proučavanja ovog uzorka pokazala su da se sastoji od mikrofenokristala olivina i hipokristalaste mase, izrađene od preovladavajućeg piroksena, retkih iglica plagioklasa, neprozirnih (metaličnih) minerala - magnetita / ilmenita i ostataka vulkanskog stakla. Šupljine su lokalno ispunjene sekundarnim kalcitom (slika 5.12).



Slika 5.12: Mikrofotografija petrografskog preparata uzorka bazalta korišćenog za tehnološka ispitivanja (Abusahmin et al, 2020)

Uzorak bazalta broj 1337 testiran je metodom ultrazvučnog dinamičkog modula, a tabela 5.11 prikazuje rezultate homogenosti i mehaničkih svojstava stene. Modul je meren u tri pravca kako bi se procenila homogenost stene (slika 5.13).



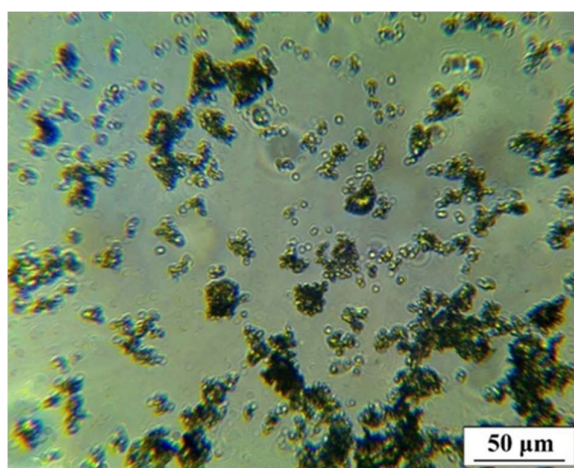
Slika 5.13: Fotografija polaznog bazaltnog uzorka 1337 (Abusahmin et al, 2020)

Rezultati ispitivanja pokazuju da je stena prilično homogena i da ima dinamički modul elastičnosti između 20 i 25 GPa u zavisnosti od pravca. Ti materijali se smatraju obećavajućim izvorom za dalju upotrebu kao punilo.

Tabela 5.11. Odgovarajući izmereni dinamički modul elastičnosti uzorka korišćenog za pripremu kompozita (Abusahmin et al, 2020).

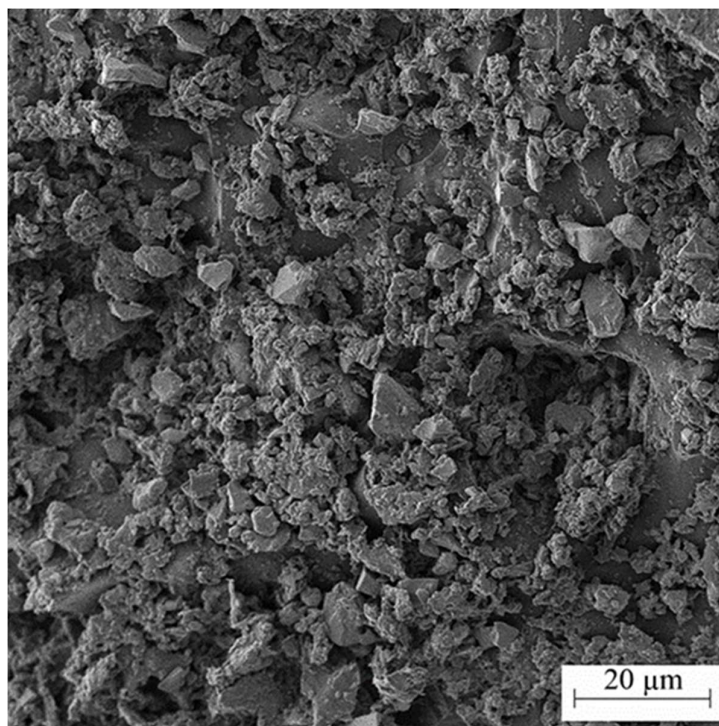
| Uzorak | γ , (kN/m ³) | Pravac merenja | E_{dyn} , (GN/m ²) | μ_{dyn} |
|--------|------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 6 | 7 |
| 1337 | 20.55 | 1-1' | 25.39 | 0,35 |
| | | 2-2' | 20.06 | 0.36 |
| | | 3-3' | 21.60 | 0.36 |

Bazalt je izdrobljen i samleven kako bi se koristio u pripremi kompozita. Dobijene čestice su klasifikovane po veličini, a za kompozitni preparat korišćena je najfinija frakcija koja ima prečnik ispod 46 μm . Optička mikrofotografija dobijenog bazaltnog praha je data na slici 5.14.



Slika 5.14: Optička mikrofotografija praha bazalta koji se koristio u pripremi kompozita (Abusahmin et al, 2020)

Slika 5.15 prikazuje mikrografije poprečnog preseka kompozita koji ima 40 tež. % bazalta i 5 tež. % čestica glinice premazanih gvožđe (III) oksidom.



Slika 5.15: FESEM mikrografije površine loma kompozita sa 40 tež. % čestica bazalta i glinice premazane gvožđe (III) oksidom (Abusahmin et al, 2020)

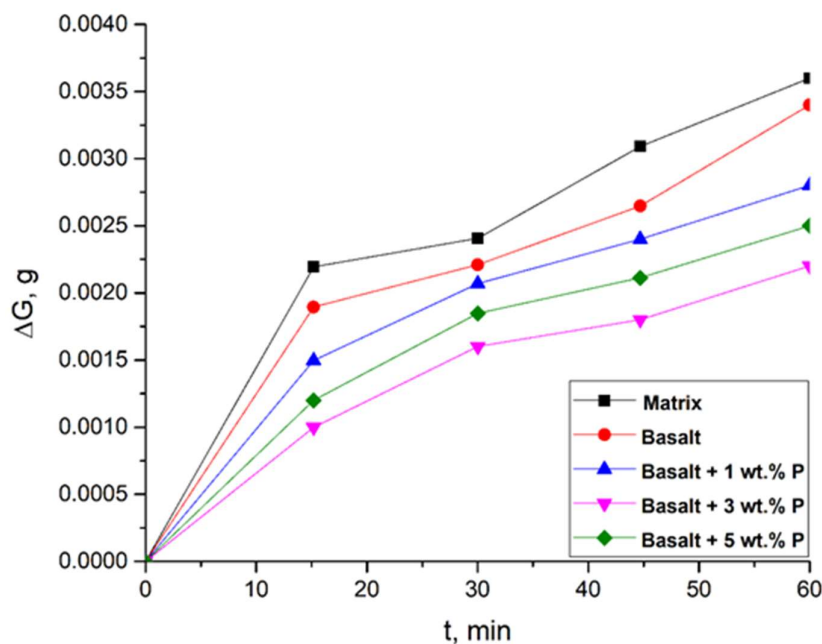
Dobijeni kompoziti testirani su pomoću ultrazvučnog testa, isti koji se koristi za merenje dinamičkog modula elastičnosti stene. Rezultati pokazuju da dolazi do neznatnog poboljšanja modula elastičnosti kada se čestice glinice dodaju u matriks kompozita, čime materijal ima bolja mehanička svojstva (tabela 5.12).

Tabela 5.12. Mehanička svojstva dobijenih kompozitnih materijala (Abusahmin et al, 2020)

| Učešće bazalta,% | Učešće čestica,% | γ , kN/m ³ | V _p , m/s | V _s , m/s | E _{dyn} GN/m ² | HS | μ_{dyn} |
|------------------|------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|----|-------------|
| 0 | 0 | 12.50 | 1270 | 630 | 1.156 | 84 | 0.33 |
| 40 | 0 | 18.30 | 1030 | 480 | 1.337 | 88 | 0.36 |
| 40 | 1 | 18.40 | 1180 | 550 | 1.183 | 87 | 0.36 |
| 40 | 3 | 18.73 | 1030 | 480 | 1.528 | 90 | 0.36 |
| 40 | 5 | 19.02 | 1080 | 510 | 1,322 | 85 | 0.36 |

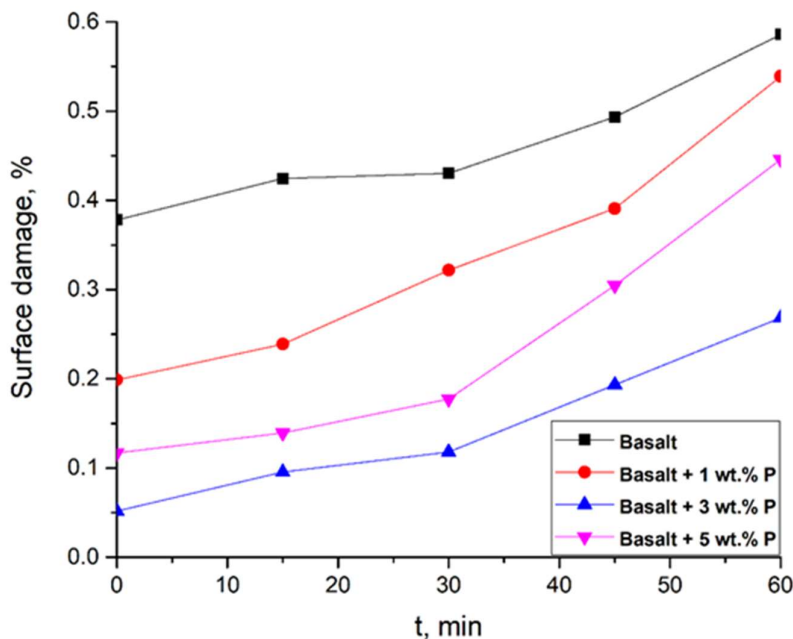
Kao što se može zaključiti iz tabele 5.12, dodavanje čestica glinice ne poboljšava značajno mehanička svojstva kompozita, ne više od 8%.

Otpor kavitacije je primećen u pravilnim vremenskim intervalima i uzorci su mereni sa preciznošću od 0,01 μ g. Gubitak mase kompozitnih materijala je prikazan na slici 5.16, što odgovara standardnoj metodi kavitacijskog ispitivanja.



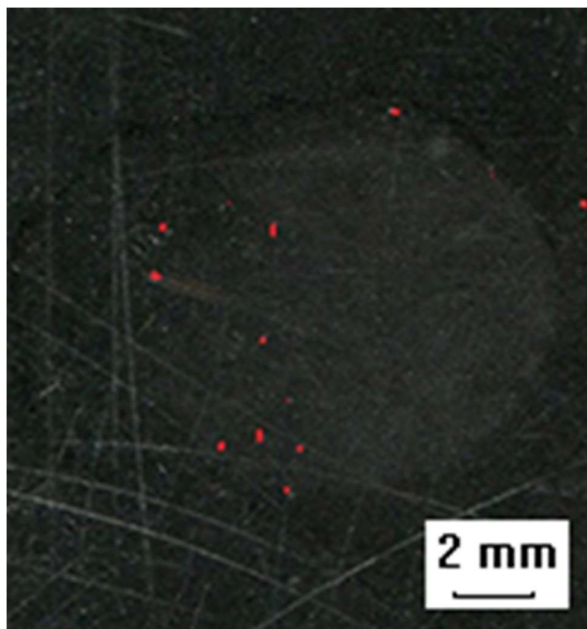
Slika 5.16: gubitak mase uzorka sa sadržajem bazalta od 40 wt.% i 1 wt. %, 3 wt. % i 5 wt. % čestica glinice dodate da poboljša ukupna svojstva kompozita u poređenju sa uzorkom sa čistim matriksom bez dodataka, (Abusahmin et al, 2020).

Za određivanje nivoa oštećenja površine korišćen je program Image Pro Plus. Tehnika snimanja potrebna za posmatranje destrukcije površine je skeniranje visokom rezolucijom od 600 dpi, što omogućava vizuelizaciju oštećenja veličine 2,54 cm/600, za koje se smatra da su dovoljna za ova ispitivanja, a rezultati su prikazani na slici 5.17. Program analize slike primenjen je za površinsku analizu tokom ispitivanja.



Slika 5.17. Rezultati površinske erozije tokom kavitacije utvrđeni metodom analize slike (Abusahmin et al, 2020).

Površinsko oštećenje je koncentrisano i otisci primećeni na površini odgovarali su onima metalnih uzoraka koji su imali prilično male izolovane defekte (slika 5.18). Defekti su bili odvojeni i nisu predstavljali veliku količinu površine. Ovo se razlikuje u poređenju sa manje tvrdim polimerima kao što je PMMA (Lazouzi et al, 2018). Dodavanje čestica glinice, međutim, poboljšalo je otpor meren gubitkom mase i površinskim oštećenjem (tabela 5.13). Količina površinske destrukcije je i do 5 puta manja u odnosu na uzorke sa samim polimerom. Bazalt kao tvrdo punilo poboljšava otpornost na kavitaciju, ali dodavanjem čestica glinice u matriks, kao ojačanje, poboljšava svojstva matriksa a kompozit poboljšava ukupni kavitacijski otpor meren kao gubitak mase i nivo oštećenja površine.



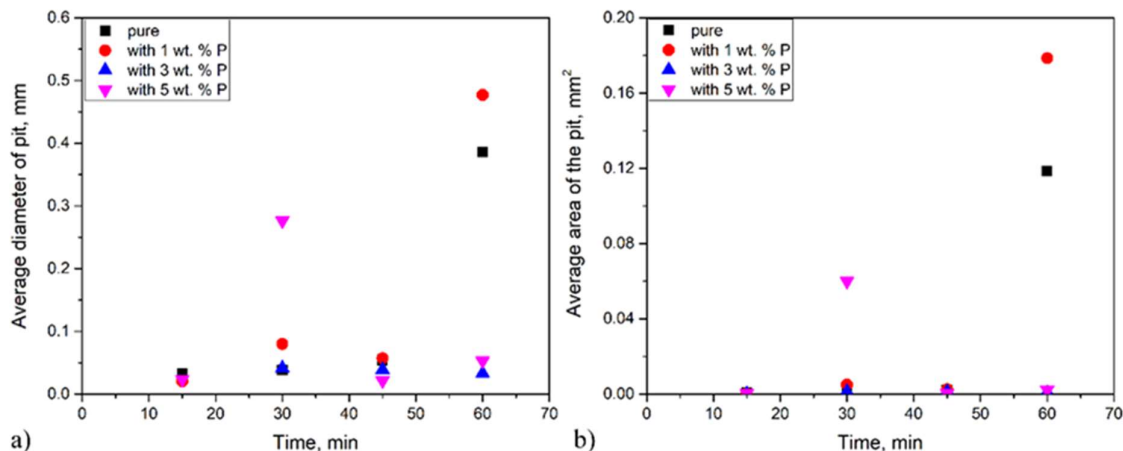
Slika 5.18. Dobjijene jamice tokom ispitivanja od 1h (Abusahmin et al, 2020).

Iz izmerenih podataka očigledno je da dodavanje bazaltnog punila poboljšava otpornost na kavitaciju. Poboljšanje svojstava matriksa poboljšava ukupna svojstva kompozita kao i tvrdoću dobijenog materijala.

Tabela 5.13. Karakterizacija jamica na uzorcima tokom testiranja (Abusahmin et al, 2020).

| | t, min | dav, mm | Pav, mm ² | N |
|-------------|--------|---------|----------------------|----|
| Bez čestica | 15 | 0.0321 | 0.0008 | 26 |
| | 30 | 0.0379 | 0.0011 | 13 |
| | 45 | 0.0538 | 0.0023 | 8 |
| | 60 | 0.3858 | 0.1168 | 11 |
| 1% čestica | 15 | 0.0204 | 0.0003 | 2 |
| | 30 | 0.0799 | 0.0051 | 2 |
| | 45 | 0.0571 | 0.0026 | 4 |
| | 60 | 0.4769 | 0.1786 | 12 |
| 3% čestica | 15 | 0 | 0 | 0 |
| | 30 | 0.0415 | 0.0014 | 3 |
| | 45 | 0.0388 | 0.0012 | 6 |
| | 60 | 0.0330 | 0.0008 | 8 |
| 5% čestica | 15 | 0.0233 | 0.0004 | |
| | 30 | 0.2763 | 0.0599 | 3 |
| | 45 | 0.0214 | 0.0004 | 6 |
| | 60 | 0.0530 | 0.0022 | 5 |

Sa slike 5.19 moglo se primetiti da za čist uzorak kompozita bez aditiva, rast i spajanje formirane jamice predstavlja dominantan mehanizam, a nakon 45 minuta, nove jamice se formiraju istovremeno sa spajanjem i rastom. Dodavanje čestica glinice menja mehanizam na način da je za sve uzorke primećeno stvaranje novih jamica za sve uzorke tokom vremena (slika 5.19).



Slika 5.19: a) Prosečan prečnik jamica na uzorcima tokom ispitivanja, i b) prosečna površina formiranih jamica tokom ispitivanja (Abusahmin et al, 2020).

Kao zaključak može se reći da je bazalni prah kao punilo testiran kako bi se utvrdila mogućnost pripreme kompozitnog materijala pogodnog za izlaganje kavitaciji. Kavitacija je metoda koja se koristi za procenu otpornosti materijala na abraziju i rezultati pokazuju da hibridni kompozitni materijal koji se sastoji od bazalnog praha i čestica glinice ima poboljšanu kavitacijsku otpornost u odnosu na čistu matricu i mikro kompozit koji se sastoji od bazalnog praha i materijala matriksa. Poboljšanje je značajno i dobijeni proizvod mogao bi se smatrati obećavajućim materijalom. Ovaj materijal, pored toga, ima veoma dobra estetska svojstva i svojstva materijala otpornog na abraziju.

6. POTENCIJALNOST BAZALTA PODRUČJA JABAL EGHEI

Prognozna ocena bilo kojeg prirodnog čvrstog mineralnog resursa određenog područja, pa tako i bazalta na području Jabal Eghei u Libiji, zasniva se na specifičnim obeležjima pojedinih tipova petroloških varijeteta tih stena ili, ukoliko je neko područje već istraživano, i ležišta koja se nalaze u tom području ili njegovoj blizini, a razvijena su u sličnim geološkim i geotektonskim uslovima.

6.1. Kriterijumi prognozne ocene

Opšte kriterijume rudonosnosti, kao i obeležja/indikatore rudonosnosti, na osnovu kojih se vrši mineragenetsko - prognozna ocena definisao je Janković (1994) i Janković i dr. (2003), i uglavnom su razvijeni za potrebe prognoziranja metaličnih mineralnih resursa (tabela 6.1). Međutim, pojedini kriterijumi predstavljaju osnovu za prognoznju ocenu i nemetaličnih mineralnih sirovina (Simić, 2004; Božović i Simić, 2015; Božović et al, 2016), pa samim tim i bazalta kao mineralne sirovine. Kriterijumi mineragenetsko - prognozne ocene resursa bazalta, u prvom redu kao arhitektonsko – građevinskog i tehničko - građevinskog kamena, do sada su slabo razmatrani (Vasić, 1998b; Vasić i Oljača, 1991), a kao sirovine za primenu u drugim industrijskim granama uglavnom je razmatrana mogućnost konkretne primene u industriji, kako je to navedeno u poglavlju o tehnološkim svojstvima i mogućnosti primene, dok kriterijumi ocene potencijalnosti nisu razmatrani.

Tabela 6.1: Opšti kriterijumi i obeležja/indikator rudonosnosti (Janković, 1994; Janković i dr. 2003)

| Kriterijumi rudonosnosti: | Obeležja rudonosnosti: |
|--|--------------------------------------|
| - Magmatogeni | Izdanci mineralizacije |
| - Stratigrafski | Metasomatski promenjene okolne stene |
| - Litološki, litofacijalni i litostratigrafski | Geochemijske anomalije |
| - Paleoekološki | Geofizičke anomalije |
| - Strukturni | Mehanički oreoli rasejavanja |
| - Strukturno-petrofizički | Stari rudarski radovi i jalovišta |
| - Geomorfološki | Negeološka (toponimi i dr.) |
| - Metamorfogeni | |
| - Geochemijski | |
| - Geofizički | |

Preliminarna ocena potencijalnosti bazalta područja Jabal Eghei sa aspekta upotrebe kao arhitektonsko - građevinskog, tehničko - građevinskog kamena i industrijske sirovine prikazana je na osnovu obrade rezultata preliminarnih geoloških istraživanja i izvršene formaciono - mineragenetske analize. Tokom rada na ovoj problematici izvršeno je prikupljanje, analiza i sinteza velikog broja podataka koja su imala za cilj utvrđivanje određenih indikacija o prisustvu potencijalnih ležišta i pojava različitih petroloških varijeteta bazalta. Razrada kriterijuma prognoze potencijalnosti bilo koje mineralne sirovine zauzima veoma važno mesto zbog povećanja efektivnosti mineragenetsko - prognoznih ispitivanja, ali i budućih primenjenih geoloških istraživanja te sirovine.

Generalno posmatrano, sa aspekta mineralno-sirovinske baze bazalta prvenstveno kao arhitektonsko – građevinskog i tehničko - građevinskog kamena, ali i veoma značajne industrijske sirovine, izdvojeni su sledeći prognozni kriterijumi:

- Petrološki
- Tektonski

- Klimatski
- Stratigrafski
- Tehnološki
- Geološko-ekonomski

Kao što se vidi, na geološke prognozne kriterijume dodati su tehnološki kriterijumi, značajni su sa aspekta prognoze kvaliteta bazalta koji se očekuju, i geološko-ekonomski kriterijum koji je kvantitativnog karaktera i bazira se na principu analogije (Simić, 2004). Od obeležja/indikatora rudosnosti (Janković, 1994; Janković i dr. 2003), za preliminarnu ocenu potencijalnosti bazalta područja Jabal Eghei od značaja su samo izdanci mineralizacije i metasomatski promenjene okolne stene.

6.1.1. Petrološki kriterijum

Uticaj petroloških faktora na prognozu ocenu potencijalnosti bazalta ogleda se kroz mineralni sastav stena, sklop stena, prisustva površi diskontinuiteta na makro (rasedi i pukotine) i mikro (mikroprslina) nivou, karakteru polja stresa u stenama (Pye, 1986). Analiza petrološkog kriterijuma sa aspekta ocene potencijalnosti nekog područja u Srbiji je dosada izvršena za kaolinitske gline kao produkte raspadanja različitih vrsta stena (Simić, 2004), i može se primeniti i na bazalte, i to ne samo sa aspekta potencijalnog površinskog raspadanja ili hidrotermalne alteracije bazalta Libije, već i sa aspekta povezanosti različitih petrografskih varijeteta bazalta sa njihovim tehnološkim karakteristikama.

6.1.2. Tektonski (strukturni) kriterijum

Stvaranje i prostorni razmeštaj ležišta mineralnih sirovina, naročito magmatskih stena, u tesnoj je vezi sa procesom geodinamičkog razvoja određenog područja. Strukturni (tektonski) kriterijumi mogu biti regionalnog i lokalnog karaktera (Simić, 2004). Regionalni strukturni kriterijum se odnosi na utvrđivanje povezanosti bazalta geotektonskim elementima određenog prostora. Lokalni karakter ovog kriterijuma je u tome da rasedi, kao i ukupna strukturna građa područja imaju izuzetan značaj u pogledu mogućnosti formiranja komercijalnih ležišta mineralnih sirovina, a samim tim i bazalta. Kod istraživanja arhitektonsko – građevinskog kamena jedan od najznačajnijih kontrolnih faktora je upravo strukturni faktor, jer stenska masa sa retkim lokalnim rasedima i ispucalim zonama, ukazuje na moguće pronalaženje strukturno homogenih delova stenske mase koja može predstavljati nakon procesa geoloških istraživanja komercijalno ležište.

6.1.3. Klimatski kriterijum

Klimatski faktor je regionalnog karaktera, jer su u jednom klimatskom području, na relativno malom prostoru kakav je ispitivani deo Libije, padavine i temperature ujednačene. Klimatski faktor potencijalno negativno utiče na kvalitet bazalta, pre svega sa aspekta tehničkog i arhitektonskog kamena zbog mogućeg površinskog raspadanja i samim tim snižavanja kvaliteta mineralne sirovine. Generalno, argilizacija se odvija u temperaturnom intervalu 15-20 °C, pri godišnjoj količini padavina 500-1500 mm (Samama, 1989), dok su za stvaranje boksitnih minerala potrebne još više temperature i veća količina padavina.

6.1.4. Stratigrafski kriterijum

Stvaranje bazalta na nekom području vezano je za određene stratigrafske jedinice, odnosno određene vremenske periode u geološkoj istoriji. Prema starosti određenih geoloških tvorevina, moguće je često prognozirati mineralnu potencijalnost tih sredina. Ovaj kriterijum nije od primarnog značaja za ispitivano područje Jabal Eghei s obzirom da je starost bazalta na celom području ista (kako je to opisano u prethodnim delovima disertacije), ali je ipak razmotren s obzirom na pojedine razlike u fizičko-mehaničkim i tehnološkim karakteristikama bazalta različitih vulkanskih faza. Tako se na

osnovu rasprostranjenja bazalta svake vulkanske faze može prognozirati mineralna potencijalnost sa aspekta određene mogućnosti primene i u delovima područja gde do sada nisu vršena istraživanja.

6.1.5. Tehnološki kriterijumi

Mnoge nematalične mineralne sirovine, a naročito one čija se primena zasniva dobrim delom na fizičkim i tehničkim osobinama, odlikuju se specifičnom tehnologijom pripreme i prerade, odnosno obrade. Pod tehnološkim kriterijumima ocene potencijalnosti bazalta podrazumevaju se sve mineraloške, hemijske i tehnološke karakteristike koje definišu mogućnosti njihove primene u industriji.

6.1.6. Geološko - ekonomski kriterijumi

Geološko - ekonomski kriterijum bazira se na odgovarajućim faktorima i pokazateljima geološko - ekonomske ocene, a na osnovu rezultata geoloških istraživanja. Geološko -ekonomski kriterijum značajan je prilikom prognoziranja zbog korišćenja metoda analogije, i kvantitativnog je karaktera, odnosno veći broj poznatih i istraženih ležišta ili pojava odgovarajućih ležišta bazalta povlači za sobom i veću potencijalnost teritorije u kome se ta ležišta ili pojave nalaze. Sa tog aspekta, a imajući u vidu da su se na području Jabal Eghei vršila samo preliminarna geološka istraživanja, to jest izrada osnovne geološke karte, geološko-ekonomski kriterijum nije presudan u analizi potencijalnosti bazalta tog područja, za razliku od ocene potencijalnosti drugih mineralnih sirovina na području Srbije ili Crne Gore, gde je to bio jedan od najvažnijih kriterijuma za detaljno procenjivanje potencijalnosti područja (Simić, 2004; Božović, 2016).

6.2. Mineragenetska analiza područja Jabal Eghei

Mineragenetska analiza bazalta predstavlja izučavanje zakonitosti njihovog formiranja i mogućeg pronalaska komercijalnih ležišta (ili pojava) bazalta, uz analizu geoloških faktora koji kontrolišu zakonitosti njihovog vremenskog i prostornog razmeštaja u analiziranom prostoru. U suštini, krajnji cilj mineragenetske analize je dobijanje odgovarajućih elemenata za prognoznou ocenu resursa bazalta područja Jabal Eghei. Prilikom mineragenetskih istraživanja određenih terena formaciono-mineragenetska analiza sastoji se iz sledećih faza (Grubić i dr., 1974):

- Izdvajanja geoloških formacija,
- Definisanja rudonosnih formacija, i
- Identifikacije rudnih formacija.

Izdvojene geološke formacije prikazane su u poglavljima 2 i 3. S obzirom na specifičnosti bazalta koji je predmet obrade ove disertacije, izdvajane su samo rudne formacije i to konkretna geološka tela, to jest bazalti različitih vulkanskih faza, dok rudonosne formacije nisu izdvajane pošto bazalti prekrivaju različite po starosti litološke jedinice. U skladu sa time, na području Jabal Eghei izdvojene su tri rudne formacije:

- Bazalti prve vulkanske faze,
- Bazalti druge vulkanske faze, i
- Bazalti treće vulkanske faze.

6.2.1. Rudna formacija Bazalti prve vulkanske faze

Bazalti prve vulkanske faze imaju veliko rasprostranjenje u severoistočnom i južnom delu oblasti Jabal Eghei, a procenjena maksimalna debljina varira između 100-130 m. Bazalti prve vulkanske faze

se na površini pojavljuju samo u oblastima zahvaćenim dubokom erozijom i najčešće se nalaze preko eocenskih sedimentnih stena formacija Al Žir i Wadi Tamat. Vulkanska aktivnost je povezana sa nekoliko izolovanih efuzivnih epizoda u vremenu između 12-8 Ma. Procenjena debljina hipsometrijski najvišeg sliva bazalta dostupnog ispitivanju sa površine je oko 10-20 m. U povlata su direktno pokriveni mlađim vulkanskim stenama ili slabo sortiranim klastično – karbonatnim kontinentalnim sedimentima, debelim do nekoliko desetina metara.

Bazalti prve faze su masivne vulkanske stene koje obično pokazuju poligonalno do pločasto, kao i nepotpuno stubasto lučenje. Međutim, tokom hlađenja primarno koherentnih tankih slivova, slivovi bazalta su obično ispucali i transformisani u gomile blokova. Uočeno je da su primarno uglasti blokovi umereno ili totalno zaobljeni zbog izraženih procesa fizičko-hemijskog raspadanja. Pukotine duž margina ovih zaobljenih fragmenata su ispunjene sekundarnim mineralima. Sveže stene su tamnosive do sive boje i pokazuju grubo porfirsku ili subofitsku teksturu. Makroskopski se uočavaju euhedralni (pravilni) i blago izduženi kristali olivina i subhedralni (delimično pravilni) plagioklasa i iglice piroksena. Svi ovi minerali su obično alterisani i transformisani u mešavinu minerala glina, karbonata, hlorita i serpentinita. Olivin se uglavnom razlikuje po dobro razvijenom idiomorfnom obliku i gotovo sveprisutnoj crvenkastoj boji (Bojić and Algerbi, 2014). Stenska masa pokazuje izraženu vezikularnu strukturu, posebno u apikalnim zonama nekadašnjih slivova lave. Vezikule su milimetarskih veličina i uglavnom su zaobljene i ispunjene sa belim sekundarnim mineralima.

6.2.2. Rudna formacija Bazalti druge vulkanske faze

Bazalti druge vulkanske faze su nastali u vremenu između 7 - 4 Ma, takođe tokom nekoliko sukcesivnih epizoda vulkanske aktivnosti. Oni pokrivaju ili starije bazalte ili tercijarne limničke sedimente Kan Jarav formacije. U sekvenci su česti veoma debeli uniformni slivovo bazalta, u kojima se pojavljuje stubasto lučenje. Razlikuju se od starijih bazalta po svom svežijem izgledu i po tome što u formi kontinuiranih slivova različite morfologije, pokrivaju najveći deo područja izgrađenih od bazalta, a pokriveni su veoma tankim slivovima lava treće vulkanske faze. Bazalti druge vulkanske faze su tipično sive do tamnosive boje i sa relativno retkim vezikulama (šupljinama). Tipičan način formiranja slivova bazalta druge faze je u formi prostranih tankih slivova, sastavljenih od blokova lave različitih oblika i dimenzija. Debljina pojedinih blokovskih slivova bazalta je obično od nekoliko metara pa do 7-8 metara, dok koherentni slivovi bazalta imaju debljinu do 20 metara. Ukupna debljina bazalta koji su nastali kao produkt druge faze vulkanizma je nešto više od 100 metara.

6.2.3. Rudna formacija Bazalti treće vulkanske faze

Tokom ove vulkanske faze nastala su dva tipa vulkanskih produkata: slivovi bazalta i vulkanske kupe bazalta. Ove lave imaju karakteristike umereno šljakaste aa lave. Zbog male debljine ovi slivovi su često u potpunosti ispucali ili su površine slivova karakterične po sistemima poligonalnih pukotina hlađenja koje sliv dele u blokove različite veličine. Uzorci bazalta tipa vulkanskih kupa nisu ispitivani, tako da se dalje razmatraju samo slivovi lave treće vulkanske faze. Bazalti treće faze imaju malo prostorno rasprostranjenje i malu debljinu od najviše 5-10 m.

Bazalti nastali tokom treće vulkanske faze generalno se razlikuju od starijih vulkanskih stena po: a) skoro crnoj boji, b) brojnim vezikulama koje su različitih dimenzija i orijentacije, c) promenljivim, ali visokim sadržajem stakla i d) prisustvom različitih ksenolita iz omotača i donje kontinentalne kore. Ti bazalti se posebno karakterišu po brojnim sferičnim do izduženim šupljinama, koje ponekad iznose oko 30 % od ukupne zapremine stene, čije dimenzije su najčešće od 1 cm do nekoliko milimetara u prečniku.

6.3. Potencijalnost izdvojenih rudnih formacija

Preliminarna procena potencijalnosti izdvojenih rudnih formacija bazalta na području Jabal Eghei urađena je na osnovu potencijalne primene kao:

- Arhitektonsko-građevinski kamen
- Tehnički građevinski kamen
- Bazaltna vlakna
- Kompozitni materijali.

Za procenu potencijalnosti nekog područja sa aspekta arhitektonsko-građevinskog kamena, u uslovima niske geološke istraženosti, Vasić (1998a) daje sledeće rangiranje: vrlo perspektivne površine, perspektivne površine, površine nejasne perspektivnosti, površine nepoznate perspektivnosti i neperspektivne površine. Slične kategorije po perspektivnosti rudnih formacija izdvaja Simić (2004) za kaolinitske gline Srbije: veoma perspektivne, perspektivne, nejasno perspektivne, slabo perspektivne i veoma slabo perspektivne kategorije.

U slučaju kada imamo situaciju da znamo rasprostranjenje određene mineralne sirovine, procena potencijalnosti trebalo bi da se vezuje i sa određenom primenom te mineralne sirovine. S obzirom na činjenicu da se, i pored formalno niskog stepena geološke istraženosti bazalta područja Jabal Eghei, može reći da su prostorni položaj bazalta, mineralni sastav bazalta, njegove geoheimijske karakteristike, fizičko-mehaničke karakteristike, homogenost stenske mase, kao i određene mogućnosti primene dobro dokumentovani, rudne formacije bazalta na području Jabal Eghei su klasifikovane prema stepenu potencijalnosti kao (Božović i Simić, 2015; Božović, 2016):

- Vrlo velike potencijalnosti,
- Velike potencijalnosti,
- Srednje potencijalnosti, i
- Male potencijalnosti.

U slučaju preliminarne procene potencijalnosti bazalta područja Jabal Eghei, a usled ograničenja koja su postojala od početka rada na doktorskoj disertaciji, to jest nemogućnosti odlaska na teren, terenskog rada i uzimanja veće količine uzoraka za detaljnija ispitivanja, definisani su sledeći kriterijumi za kategorije potencijalnosti rudnih formacija (tabela 6.2):

Tabela 6.2: Kriterijumi kategorija potencijalnosti rudnih formacija

| Potencijalnost rudne formacije | Kriterijumi |
|--------------------------------|---|
| Vrlo velika potencijalnost | Svi bitni faktori kvaliteta proučeni i pozitivni |
| Velika potencijalnost | Svi bitni faktori kvaliteta procenjeni na osnovu dostupnih materijala i pozitivni |
| Srednja potencijalnost | Neki od bitnih faktora kvaliteta proučeni na osnovu dostupnih materijala i oganičavajući |
| Mala potencijalnost | Neki od bitnih faktora kvaliteta proučeni na osnovu dostupnih materijala i oganičavajući, geološki faktori ograničavajući |

Za procenu potencijalnosti bazalta kao arhitektonsko-građevinskog i tehničko-građevinskog kamena rangiranje rudnih formacija izvršena je na bazi sledećih kriterijuma: osnovna kvalitativna svojstva naslaga bazalta (osnovna fizičko-mehanička svojstva kamena i mogućnosti njegove primene) i kvantitativni pokazatelji (način pojavljivanja, rasprostranjenje, debljina slivova bazalta, perspektivne rezerve).

Kod bazalta kao potencijalne sirovine za dobijanje bazalnog vlakna (minerlne vune) procena potencijalnosti izvršena je uglavnom na bazi njihovog hemijskog sastava, kao najvažnijeg kriterijuma, na kome se bazira mogućnost njihove primene, ali i mineralnog sastava.

Kod bazalta kao potencijalne sirovine za dobijanje kompozitnih materijala rangiranje rudnih formacija bazalta izvršeno je na bazi rezultata dobijenih tokom rada na ovoj disertaciji (Abusahmin et al, 2020).

Preliminarna ocena potencijalnosti rudnih formacija bazalta sa područja Jabal Eghei prikazana je u tabeli 6.3.

Tabela 6.3: Preliminarna procena potencijalnosti bazalta područja Jabal Eghei (na primeru regiona Wadi al Athal)

| Rudna formacija | Oblast primene bazalta | Potencijalnost | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|----------------|--------|---------|------|
| | | Vrlo velika | Velika | Srednja | Mala |
| Bazalti I vulkanske faze | Arhitektonsko-građevinski kamen | | | X | |
| | Tehnički građevinski kamen | X | | | |
| | Bazaltna vlakna | | X | | |
| | Kompozitni materijali | | X | | |
| Bazalti II vulkanske faze | Arhitektonsko-građevinski kamen | | X | | |
| | Tehnički građevinski kamen | | X | | |
| | Bazaltna vlakna | | X | | |
| | Kompozitni materijali | | X | | |
| Bazalti III vulkanske faze | Arhitektonsko-građevinski kamen | | | | X |
| | Tehnički građevinski kamen | | | X | |
| | Bazaltna vlakna | | X | | |
| | Kompozitni materijali | X | | | |

Rudna formacija Bazalti prve vulkanske faze ocenjena je kao srednje potencijalnosti sa aspekta primene kao arhitektonsko-građevinskog kamena zbog toga što je prilikom kartiranja opisano da su slivovi bazalta obično ispucali i transformisani u gomile blokova, kao i da je izražen proces fizičko-hemijskog raspadanja primarnih minerala i transformisanja u mešavinu minerala glina, karbonata, hlorita i serpentinita. Stenska masa pokazuje izraženu vezikularnu teksturu, a šupljine su milimetarskih veličina i uglavnom su zaobljene i ispunjene sa belim sekundarnim mineralima. Takvi opisi stenske mase i sa kvalitativnog i sa geološkog aspekta ne omogućavaju veliku perspektivnost ove rudne formacije.

Ista rudna formacija označena je kao veoma velike potencijalnosti sa aspekta upotrebe kao tehničko-građevinskog kamena zbog toga što za ovu primenu nije važna veličina blokova, a dobijeni preliminarni rezultati analiza ukazuju na veoma visok kvalitet bazalta prve vulkanske faze, kao što je to proučeno i opisano u ovoj disertaciji.

Rudna formacija Bazalti prve vulkanske faze ocenjena je kao velike potencijalnosti sa aspekta primene kao sirovine za dobijanje bazaltnog vlakna zbog adekvatnog hemijskog sastava i odsustva štetnih minerala.

Ista rudna formacija označena je kao velike potencijalnosti sa aspekta upotrebe za izradu kompozitnih materijala pošto je bazalt sličan uzorku ispitivanom za potrebe ove disertacije (Abusahmin et al, 2020), ali bez konkretnih ispitivanja bazalta te faze.

Rudna formacija Bazalti druge vulkanske faze ocenjena je kao velike potencijalnosti sa aspekta primene kao arhitektonsko-građevinskog kamena zbog toga što su u ovoj sekvenci česti veoma debeli uniformni slivovi bazalta svežijeg izgleda koji se javljaju u formi prostranih tankih slivova, pri čemu je debljina pojedinih blokovskih slivova bazalta obično od nekoliko metara pa do 7-8 metara, dok koherentni slivovi bazalta imaju debljinu do 20 metara. To u perspektivi ukazuje na mogućnost dobijanja komercijalnih blokova.

Ista rudna formacija označena je kao velike potencijalnosti sa aspekta upotrebe kao tehničko-građevinskog kamena zbog toga što nemamo analizu fizičko-mehaničkih karakteristika bazalta druge vulkanske faze. Međutim, preliminarna analiza kompozitnog materijala iz svih vulkanskih faza pokazala je visok kvalitet, tako da možemo pretpostaviti da će detaljnija ispitivanja potvrditi visok kvalitet bazalta i moguće definisati ga kao veoma potencijalan.

Rudna formacija Bazalti druge vulkanske faze ocenjena je takođe kao velike potencijalnosti sa aspekta primene kao sirovine za dobijanje bazaltnog vlakna zbog adekvatnog hemijskog sastava i odsustva štetnih minerala.

Ista rudna formacija označena je kao velike potencijalnosti sa aspekta upotrebe za izradu kompozitnih materijala pošto je bazalt po svojim karakteristikama sličan uzorku ispitivanom za potrebe ove disertacije (Abusahmin et al, 2020), ali nisu vršena konkretna ispitivanja.

Rudna formacija Bazalti treće vulkanske faze definisana je kao male potencijalnosti sa aspekta primene kao arhitektonsko-građevinskog kamena zbog toga što imaju malo prostorno rasprostranjenje i malu debljinu od najviše 5-10 m. Ovi bazalti karakterišu se brojnim vezikulama i promenjivim, ali visokim sadržajem stakla, kao i prisustvom različitih ksenolita iz omotača i donje kontinentalne kore. Ti bazalti se posebno karakterišu po brojnim sferičnim do izduženim šupljinama, koje ponekad iznose oko 30 % od ukupne zapremine stene, čije dimenzije su najčešće od 1 cm do nekoliko milimetara u prečniku. Sa kvalitativnog i geološkog aspekta takve karakteristike stenske mase omogućavaju malu perspektivnost ove rudne formacije.

Bazalti treće vulkanske faze rangirani su kao srednje perspektivni kao potencijalni tehničko-građevinski kamen zbog toga što velike količine stakla, vezikula i šupljina većih dimenzija znatno ograničava mogućnost primene kao agregata.

Rudna formacija Bazalti treće vulkanske faze takođe je označena kao velike potencijalnosti sa aspekta primene kao sirovine za dobijanje bazaltnog vlakna zbog adekvatnog hemijskog sastava i odsustva štetnih minerala, i ima najpovoljniji modul kiselosti od svih ispitanih bazalta. Ovi bazalti su verovatno mogli da se rangiraju i kao veoma potencijalni, ali zbog definisanih kriterijuma i odsustva konkretnog ispitivanja definisan je kao velike potencijalnosti.

Ista rudna formacija označena je kao veoma velike potencijalnosti sa aspekta upotrebe za izradu kompozitnih materijala pošto je bazalt detaljno proučen kroz izvršena konkretna ispitivanja (Abusahmin et al, 2020).

Na kraju ovog razmatranja može da se zaključi da sa aspekta ukupne potencijalnosti područje Jabal Eghei predstavlja područje velike potencijalnosti za otkrivanje, istraživanje i definisanje budućih ležišta bazalta kao rudnih formacija velikog rasprostranjenja i dobrih kvalitativnih karakteristika, bilo

da se radi o tehničko-građevinskom kamenu, sirovini za bazalna vlakna i kompozitne materijale. Što se tiče precizne analize potencijalnosti bazalta sve tri rudne formacije biće potrebna detaljnija proučavanja.

U daljem eventualnom procesu geoloških istraživanja bazalta moguće je pronaći i kvalitetnije partije bazalta sa aspekta primene kao arhitektonsko-građevinskog i tehničko-građevinskog kamena kada se zađe u dublje delove stenskih masa, što bi povisilo potencijalnost tog područja.

6.4. Potencijalni resursi bazalta područja Jabal Eghei i koncepcija daljih istraživanja

Ukupna površina vulkanske oblasti Jabal Eghei iznosi oko 66.000 km² (Radivojević et al, 2015). Za potrebe preliminarne procene potencijalnih resursa bazalta uzeti znatno manju površinu područja Wadi al Athal, koja iznosi oko 10.000 km², pošto je to područje sa koga su uzeti uzorci za detaljnija proučavanja mineralnog sastava i tehnoloških karakteristika bazalta. Potencijalni resursi bazalta prikazani su u tabeli 6.4.

Tabela 6.4: Potencijalni resursi bazalta područja Jabal Eghei – deo Wadi al Athal

| Rudna formacija | Površina (km ²) | Debljina (m) | Resursi bazalta (m ³) | Iskorišćenje (%) | Potencijalne rezerve (m ³) |
|----------------------------|-----------------------------|--------------|-----------------------------------|------------------|--|
| Bazalti I vulkanske faze | 10.000 | 15 | 150x10 ⁹ | 20 | 30x10 ⁹ |
| Bazalti II vulkanske faze | 10.000 | 30 | 300 x10 ⁹ | 20 | 60 x10 ⁹ |
| Bazalti III vulkanske faze | 5.000 | 5 | 25 x10 ⁹ | 10 | 5 x10 ⁹ |

Kao što se iz tabele 6.2 vidi, može se reći da i sa samo malim iskorišćenjem od svega 20 % ukupne količine resursa bazalta, ovaj deo Libije raspolaže praktično neiscrpnim resursima bazalta reda veličina više milijardi tona.

Dosadašnja istraživanja bazalta na području Jabal Eghei obuhvatila su veoma kvalitetno geološko kartiranje tog područja, uz uzimanje dovoljno velikog broja uzoraka za različita proučavanja, najviše mineraloško-petrografska i geohemijska, u manjoj meri i ostala. S obzirom na dobre postignute rezultate naknadnih proučavanja (Cvetković et al, 2010; Radivojević et al, 2015; Abusahmin et al, 2020), dalja istraživanja bazalta na području Jabal Eghei trebalo bi sprovesti po sledećim fazama:

1. Osnovna geološka istraživanja bazalta u skladu sa politikom razvoja tog udaljenog područja – uzimanje potrebnog broja reprezentativnih uzoraka bazalta iz površinskih istražnih radova sa različitih lokaliteta i iz svih vulkanskih faza, proučavanje svih potrebnih mineraloško-petrografskih i geohemijskih karakteristika bazalta, detaljno ispitivanje fizičko-mehaničkih i tehničko-tehnoloških karakteristika stenske mase i dobijenog agregata, i analiza dobijenih podataka sa izdvajanjem optimalnih perspektivnih lokacija.
2. Detaljna geološka istraživanja jednog ili nekoliko odabranih potencijalnih ležišta uz korišćenje istražnog bušenja i sistematskog oprobavanja u skladu sa važećim stručnim procedurama, izrada svih potrebnih analiza i priprema geološkog izveštaja (elaborata o resursima i rezervama mineralne sirovine) u skladu sa važećom zakonskom regulativom Libije.

7. ZAKLJUČAK

Istraživano područje Jabal Eghei, sa posebnim osvrtom na oblast Wadi Al Athal, grade marinske formacije eocensko – oligocenskog sedimentacionog ciklusa, miocensko – kvartarni bazalti, kontinentalni sedimenti gornjomiocenskog sedimentacionog ciklusa i kvartarne naslage.

Vulkanska aktivnost se odvijala tokom tri jasno odvojene faze: bazalti prve vulkanske faze su starosti od 12-8 Ma, bazalti koji pripada drugoj vulkanskoj fazi su starosti od 7-4 Ma i bazalti koji pripada trećoj vulkanskoj fazi su mlađi od 4 Ma. Debljina bazalta prve generacije je od 100 do 130 m, u drugoj generaciji bazalta ukupna debljina ne prelazi 30 m, dok su bazaltni slivovi treće generacije debljine od 5 do 10 m. U retko sačuvanim vulkanskim kupama, debljina piroklastičnog materijala, koji je nastao efuzivnom aktivnošću treće vulkanske faze, je velika. Bazalti prve generacije su izliveni tokom pet do šest uzastopnih sub-faza vulkanske aktivnosti, dok su vulkaniti druge i treće generacije na ovom području nastali u individualnim efuzivnim fazama. Bazalti prve generacije su bili izloženi procesima fizičko – hemijske degradacije, raspadanju i eroziji tokom tortona. Prostorna distribucija vulkanskih nekova i vulkanskih kaldera ukazuje da je vulkanizam kontrolisan regionalnim rasednim strukturama. Magmatogeno aktivni rasedi su pravca pružanja SZ – JI, a tokom neogena su ove rupture bile izložene ekstenziji orijentisanj po pravcu SI-JZ.

Mineralni sastav svih ispitanih uzoraka bazaltnih stena vrlo je sličan. Osnovni minerali prema zastupljenosti su olivin, klinopiroksen i plagioklas, a od sporednih se javljaju minerali iz grupe spinela (magnetit ± ilmenit) i ostaci vulkanskog stakla. Glavna razlika u mineralnom sastavu je samo njihova relativna zastupljenost i odsustvo piroksena i/ili plagioklasa u fenokristalima. Što se tiče bazalta treće vulkanske faze utvrđeno je prisustvo analcimiziranih leucita, analcima i renita, koji do sada nisu bili dokazani na ispitivanom području.

Na osnovu analize hemijskog sastava zaključeno je da se bazalti prve i druge vulkanske faze neznatno razlikuju, dok bazalt treće vulkanske faze ima nešto niži sadržaj silicije i aluminije, a viši sadržaj magnezije, alkalija, TiO_2 i P_2O_5 . Sa aspekta industrijske primene bazalta ovde se razmatraju prosečne vrednosti, pošto je bitno znati kakav je generalni sastav pojedinačnih faza zbog eventualne buduće eksploatacije bazalta. Takođe je utvrđeno da je koeficijent varijacije sadržaja bitnih elemenata (SiO_2 , Al_2O_3 , FeO_t , MgO , CaO), veoma nizak, ispod 10 % u proseku, što je veoma dobro sa aspekta potencijalne primene u industriji pošto se radi o hemijski homogenoj sirovini. Na klasifikacionom dijagramu ukupnih alkalija i silicije bazalti I i II vulkanske faze padaju u polje bazalta na granici sa bazanitima i mogu se smatrati prelaznim bazaltima. Nasuprot tome, bazalti treće vulkanske faze su sa nižim sadržajem SiO_2 i višim alkalija, što ih svrstava u bazanite.

Preliminarna procena mogućnosti dobijanja bazaltnog vlakna izvršena je na osnovu hemijskog sastava proučavanih bazalta Libije i izvršena komparativna analiza sa postojećim sirovinama u Srbiji. Najpovoljniji prirodni bazalt za dobijanje mineralne vune je upravo iz Libije, i to bazalt III vulkanske faze, sa najvišim sadržajem bazičnih oksida. Znači, na osnovu rezultata hemijskih analiza i preliminarnih proračuna modula kiselosti može se zaključiti da bazalti područja Jabal Eghei, uz adekvatnu tehnološku preradu i dodatak potrebne količine korektivne sirovine, mogu biti veoma kvalitetna sirovina za dobijanje bazaltnog vlakna.

Ocena rezultata preliminarnih ispitivanja kvaliteta bazalta kao tehničko-građevinskog kamena pokazala je da je na osnovu zapreminske mase sa porama i šupljinama ispitivani kamen težak ($2.5 - 3.0 \text{ g/cm}^3$), malo porozan (1-2,5%), upijanje vode malo (0,5 - 1 %), dok je čvrstoća na pritisak u suvom stanju visoka (150-250 MPa), kao i u vodozasićenom stanju takođe visoka sa padom vrednosti čvrstoće na pritisak u vodozasićenom stanju u odnosu na vrednosti u suvom stanju od 10-15 %. Prema otpornosti prema habanju brušenjem ispitani kamen je tvrd ($10-20 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$). Na osnovu rezultata ispitivanja kamena i odredbi odgovarajućih srpskih standarda, stenska masa bazalta sa lokaliteta Jabal Eghei se kao tehničko-građevinski kamen može upotrebiti za različite namene u industriji betona i

putogradnji. Upoređenje kvaliteta bazalta Jabal Eghei kao tehničko-građevinskog kamena sa relevantnim stenama sličnog sastava u Srbiji, pokazala je da su fizičko-mehaničke karakteristike slične, s tim što bazalti sa područja Jabal Eghei pokazuju nešto slabije vrednosti naročito kod otpornosti prema habanju brušenjem, što je posledica nedovoljnog broja analiza za detaljnu karakterizaciju, kao i činjenice da su svi uzimani uzorci bili sa površine terena i pritom u različitom stepenu alterisani.

Ispitivanja stena kao radne sredine svojom složenošću nameće i obavezuje njeno svestrano izučavanje, između ostalog i metodom ultrazvuka. Brzina rasprostiranja elastičnih talasa kroz stenu (bilo uzoraka ili stenske mase) zavisi od mineralnog sastava stene, strukturno-teksturnih karakteristika stene, poroznosti, ispucalosti, vlažnosti, naponskog stanja, temperature itd.

Proučena je korelacija između zapreminske težine i dinamičkog modula elastičnosti i utvrđeno da vrednosti dinamičkog modula elastičnosti rastu sa povećanjem zapreminske težine. Korelacija po vulkanskim fazama pokazala je da je najveće rasipanje podataka vezano za bazalte treće vulkanske faze zbog promenljivih vrednosti zapreminske težine uslovljene pre svega vezikularnom teksturom većine uzoraka tih bazalta. Međutim, kada se posmatraju prosečne vrednosti parametara, zapaža se da su vrednosti i brzina prostiranja talasa, zapreminske težine i dinamičkog modula elastičnosti dosta bliske, sa odstupanjima koja variraju do 10 %, što potvrđuje da su sa geomehaničke tačke gledišta ispitivani bazalti dosta homogeni. Jedino se primećuje da su vrednosti zapreminske težine bazalta II vulkanske faze više, što je posledica toga da su svi uzorci tog bazalta masivne teksture. Analizom vrednosti parametara u odnosu na preovlađujuću teksturu bazalta utvrđena je značajna razlika u prosečnoj vrednosti zapreminske mase, koja je niža kod bazalta vezikularne teksture, što je i razumljivo s obzirom na šupljine koje se nalaze u takvim bazaltima. Vrednosti brzina prostiranja i longitudinalnih i transverzalnih talasa kod masivnih bazalta su takođe više, a upadljiva je razlika u vrednostima dinamičkog modula elastičnosti, koje su takođe više kod masivnih bazalta, i to i preko 10 %. Na kraju se može zaključiti da bazalti porfirne strukture i masivne teksture pokazuju najbolja svojstva sa aspekta kvaliteta kamena kao stenske mase.

Za potrebe ove doktorske disertacije proučena je mogućnost upotrebe bazalta u kompozitnim materijalima kao punilo. Za ispitivanje je korišćen odabrani uzorak bazalta (1337) iz treće vulkanske faze. Bazaltni prah kao punilo testiran je kako bi se utvrdila mogućnost pripreme kompozitnog materijala pogodnog za izlaganje kavitaciji, a rezultati pokazuju da hibridni kompozitni materijal koji se sastoji od bazalnog praha i čestica glinice ima poboljšanu kavitacijsku otpornost u odnosu na čistu matricu i mikro kompozit koji se sastoji od bazalnog praha i materijala matriksa. Poboljšanje je značajno i dobijeni proizvod mogao bi se smatrati obećavajućim materijalom. Ovaj materijal, pored toga, ima veoma dobra estetska svojstva i svojstva materijala otpornog na abraziju.

Preliminarna ocena potencijalnosti bazalta područja Jabal Eghei sa aspekta upotrebe kao arhitektonsko - građevinskog, tehničko - građevinskog kamena i industrijske sirovine prikazana je na osnovu obrade rezultata preliminarnih geoloških istraživanja i izvršene formaciono - minerogenetske analize. Tokom rada na ovoj problematici izvršeno je prikupljanje, analiza i sinteza velikog broja podataka koja su imala za cilj utvrđivanje određenih indikacija o prisustvu potencijalnih ležišta i pojava različitih petroloških varijeteta bazalta. Razrada kriterijuma prognoze potencijalnosti bilo koje mineralne sirovine zauzima veoma važno mesto zbog povećanja efektivnosti mineragenetsko - prognoznih ispitivanja, ali i budućih primenjenih geoloških istraživanja te sirovine.

Mineragenetskom analizom bazalta na području Jabal Eghei izdvojene su tri rudne formacije: Bazalti prve vulkanske faze, Bazalti druge vulkanske faze, i Bazalti treće vulkanske faze. Preliminarna procena potencijalnosti izdvojenih rudnih formacija bazalta na području Jabal Eghei urađena je na osnovu potencijalne primene kao: Arhitektonsko-građevinski kamen, Tehnički građevinski kamen, Bazaltna vlakna i Kompozitni materijali.

S obzirom na činjenicu da se, i pored formalno niskog stepena geološke istraženosti bazalta područja Jabal Eghei, može reći da su prostorni položaj bazalta, mineralni sastav bazalta, njegove geohemijske

karakteristike, fizičko-mehaničke karakteristike, homogenost stenske mase, kao i određene mogućnosti primene dobro dokumentovani, rudne formacije bazalta na području Jabal Eghei su klasifikovane prema stepenu potencijalnosti kao: Vrlo velike potencijalnosti, Velike potencijalnosti, Srednje potencijalnosti, i Male potencijalnosti.

Sa aspekta ukupne potencijalnosti područje Jabal Eghei predstavlja područje velike potencijalnosti za otkrivanje, istraživanje i definisanje budućih ležišta bazalta kao rudnih formacija velikog rasprostranjenja i dobrih kvalitativnih karakteristika, bilo da se radi o tehničko-građevinskom kamenu, sirovini za bazalna vlakna i kompozitne materijale. Na osnovu procenjenih potencijalnih resursa, zaključeno je da ovaj deo Libije raspolaze praktično neiscrpnim resursima bazalta reda veličina više milijardi tona. Što se tiče precizne analize potencijalnosti bazalta sve tri rudne formacije biće potrebna detaljnija proučavanja.

8. LITERATURA

- Abd El-Hafiz N.A., Abd El-Moghny M.W., El-Desoky H.M., Afifi A.A., 2015: Characterization and technological behavior of basalt raw materials for Portland cement clinker production. *International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology*, 2, 7.
- Abusahmin F., Algellai A., Tomić N., Vuksanović M.M., Majstorović J., Volkov Husović T., Simić V., Jančić Heinemann R., Toljić M., Kovačević J., 2020: Basalt-Polyester Hybrid Composite Materials for Demanding Wear Applications. *Science of Sintering*, 52, 1, 10 pp, doi: <https://doi.org/10.XXXX/IIIIIIIIII>.
- Aćimović Z., Andrić Lj., Milošević V., Milićević S., 2012: Wear resistance basalt production for application in mining industry, IX Symposium Metali i nemetali, Zenica BandH, 23-24.04.2012. Proceedings, p. 150-155.
- Adam J., Green T.H., 2006: Trace element partitioning between mica and amphibole-bearing garnet lherzolite and hydrous basaltic melt: 1. experimental results and the investigation of controls on partitioning behaviour. *Contrib Mineral Petrol* 152:1–17.
- Algellai Ah.A., Vuksanović M. M., Tomić N. Z., Marinković A. D., Obradović – Đuričić K. D., Radojević V.J., Jančić Heinemann R.M., 2018: The implementation of image analysis for the visualization of adhesion assessment of a composite film. *Mater. Lett.*, 227, 25-28.
- Alzarrug, F.A., Dimitrijević, M.M., Jančić, H.R.M., Radojević, V., Stojanović, D.B., Uskoković, P.S., Aleksić, R. 2015: The use of different alumina fillers for improvement of the mechanical properties of hybrid PMMA composites. *Materials and Design*, 86: 575-581
- Al-Zyoudeh S., 2019: Thermo-Physical and Mechanical Properties of Al Hashimiyya Basaltic Rocks, Jordan. *International Journal of Geosciences*. 10. 193-208. 10.4236/ijg.2019.102012.
- Amato A., 1931: Da Misurata a Murzuch. Appunto per un profilo geologico. *Bolletino di Geographia*, 1, 105-113. Tripoli.
- Anan'ev V.V., Selyangin O.B., 2011: Rhonite in Molten Inclusions from the Olivine of Allivalite Nodules from Malyi Semyachik Volcano and Basalts of Klyuchevskoi Volcano, Kamchatka. *Journal of Volcanology and Seismology*, 5, 5, 335–340.
- Andrić Lj., Aćimović Z., Trumić M., Prstić A., Tanasković Z., 2012: Specific characteristic of coating glazes based on basalt, *Mater Des.* 33, 9-13,.
- Anketell J.M., 1996: Structural History of the Sirt Basin and its Relationships to the Sabratalh Basin and Cyrenaican Platform Northern Libya. *Northern Libya*. In: M.I. Salem, M.T. Busrewil, A.A. Misallati and M. A. Solais, (Edits): *The Geology of Sirt Basin*, vol.II, pp. 57-88. Amsterdam.
- Asran A., Aboazom, A., 2004: Al-Haruj Tertiary basalts, Libya: petrological and geochemical approach. In: *Proceedings of the 6th International Conference on the Geology of the Arab World*.
- Banerjee S., 1980: Stratigraphic Lexicon of Libya. *Bulletin IRC, Department of Geological Research and Mining*, No. 13, 300 pp, Tripoli.
- Beall G.H., Rittler H.L., 1976: Basalt glass ceramics, *Am Ceram Soc Bull*, 55 (6) 579–582.
- Bellini E., Massa D., 1980: A stratigraphic contribution to the Paleozoic of the southern basins of Libya. In: *The Geology of Libya*, Vol. 1 (Ed. by M.J. Salem and M.T. Busrewil), Academic Press, London, 3–56.

- Beyrich E., 1852: Bericht über die von Overweg auf der Reise von Tripoli nach Murzuck und von Murzuck nach Ghat gefundenen Versteinungen. Zeitschrift Deutschen Geologischen Gesellschaft, Bd. 4, pp 143-161.
- Bilbija N., Matović V., 2009: Primenjena petrografija, svojstva i primene kamena. Građevinska knjiga, Beograd.
- Bojić Z., Algerbi A.K. 2014: Geological map of Libya 1:250 000. Sheet: Wādi Al Athal (NG 34-13). Explanatory Booklet. Industrial Research Center. p. 191. Tripoli.
- Borghi P., 1939: Fossili devonici del Fezzan. Bolletino Societa Geologica Italiana, 58, 1, 186-188.
- Božović D., 2016: Mineragenija i potencijalnost resursa karbonatnih sirovina rudnog reona Bjelopavlića (Crna Gora). Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet, 263 str.
- Božović D., Simić V., 2015: Ocjena potencijalnosti karbonatnih sirovina na području rudnog reona Bjelopavlića. Geološki glasnik, XVI, Podgorica, 143-161.
- Božović D., Simić V., Radulović D., Abramović F., Radusinović S., 2016: Carbonate filler resources of the Bjelopavlići area, Montenegro. Hem. Ind. 70 (5) 493–500, DOI:10.2298/HEMIND150325054B
- Brzaković P., 2000: Priručnik za proizvodnju i primenu građevinskih materijala nemetaličnog porekla. Orion Art, Beograd, 2, 515 str.
- Burollet P.F., 1960: Lexique Stratigraphique International Vol. IV Afrique, Fasc.IVa Libye, pp. 1-62. Congress Geologique International-Commission de Stratigraphie, Centre National de la Recherche Scientifique, p. 62. Paris.
- Cocić M., Logar M., Matović B., Poharc-Logar, V., 2010: Glass-Ceramics Obtained by the Crystallization of Basalt. Sci. Sinter. 42, 383-388, [https://doi: 10.2298/SOS1003383C](https://doi.org/10.2298/SOS1003383C).
- Conant L.C., Goudarzi G.H., 1964: Geological Map of Kingdom of Libya 1:2.000.000 scale. US Geological Survey, Misc. Geol. Invest. Map, 1-350A. Washington.
- Conant, L.C., Goudarzi G.H., 1977: Geological Map of Libya 1:2.000.000 scale. Modified by I. Maghrabi and G. Chesitev. Second edition. IRC. Tripoli.
- Coughlin N., Drake B., Fjerstad M., Schuster E., Waege T., Weerakkody A., Letcher T., 2019: Development and Mechanical Properties of Basalt Fiber-Reinforced Acrylonitrile Butadiene Styrene for In-Space Manufacturing Applications. J. Compos. Sci., 3, 3, 89; doi:10.3390/jcs3030089.
- Cucciniello C., Melluso L, le Roex A.P., Jourdanc F., Morra V., de' Gennaro R., Grifa C., 2017: From olivine nephelinite, basanite and basalt to peralkaline trachyphonolite and comendite in the Ankaratra volcanic complex, Madagascar: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages, phase compositions and bulk-rock geochemical and isotopic evolution. Lithos 274–275, 363–382.
- Cvetković V., Toljić M., Ammar N.A., Rundić Lj., Trish K.B., 2010: Petrogenesis of the eastern part of the Al Haruj basalts (Libya). J. Afr. Earth Sci. 58, 37–50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2010.01.006>.
- Čikara D., Todić A., Čikara-Anić D., 2010: Possibilities of Production of Wear Resistant Construction Elements by Processing of Serbian Basalt. FME Transactions 38, 203-207.
- Dalloni M., 1934: Geologie et Tectonique. In: Mission au Tibesti (1930-31).

- Dalloni M., 1948: Matériaux pour l'étude du Sahara oriental. Région entre la Libye, le Tibesti et le Kaouar (Niger). *Geology et Préhistoire*. In Mission Scientifique du Fezzan (1944-45). Trav. Inst. Rech.Sahar., Alger Univ., Vol.6, Pt. 1, pp. 110-119, Alger.
- Deak T., Czigan T., 2009: Chemical Composition and Mechanical Properties of Basalt and Glass Fibers: A Comparison. *Textile Research Journal*, 79, 7, 645-651.
- Dehkordi M., Nosrati T., Shokrieh H., Minak M. M., Ghelli G., 2010: Low velocity impact properties of intra-ply hybrid composites based on basalt and nylon woven fabrics, *Mater. Des.* 31, 3835–3844, doi:10.1016/j.matdes.2010.03.033.
- Desio A., 1935: Studi geologici sulla Cirenaica, sul Deserto Libico, sulla Tripolitania e sul Fezzan Orientale. *Missione Scientifica della R. Accad. D'Italia a Cufra (1931)*, Vol. 1, 480 p., 60 fig., 6 pl., 1 carta geol. Scala 1 : 2 500 000.
- Desio A., 1942: Il Tibesti Nordorientale. *Reale Soc. Geographica Italiana*. (English translation by M. Pedroni). Roma.
- Dimitrijevic M., Jancic Heinemann R., VolkovHusovic T., Posarac M., Majstorovic J., 2011: Morphological analysis of surface degradation of advanced alumina based refractories subjected to thermal shock. *Procedia. Engineering.*, 10 2153-2157.
- Doroozi R., Vaccaro C., Masoudi F., 2016: Rhönite in undersaturated alkaline gabbroic rocks, Central Alborz, North Iran: petrography and mineral chemistry. *Arab J Geosci (2016)* 9: 665. <https://doi.org/10.1007/s12517-016-2684-3>
- Dokić O., Milićević V., 2013: Main technical characteristics of rocks used in road construction in Serbia. *Bull Eng Geol Environ* 72, 137–141, DOI 10.1007/s10064-012-0442-7.
- Dorđević N., Marinković A.D., Živković P., Kovačević D.V., Dimitrijević S., Kokol V., Uskoković P.S., 2018: Improving the Packaging Performance of Low-Density Polyethylene With PCL/Nanocellulose/Copper(II)Oxide Barrier Layer. *Science of Sintering*, 50 (2018) 149-161.
- El Bakkali S., Gourgaud A., Bourdier J-L., Bellon H., Gundogdu N., 1998: Post-collision Neogene volcanism of the eastern Rif (Morocco): magmatic evolution through time. *Lithos* 45, 523–543.
- Elgabbas F., Vincent P., Ahmed E., Benmokrane B., 2016: Experimental Testing of Basalt-Fiber-Reinforced Polymer Bars in Concrete Beams. *Composites Part B: Engineering*, 205-218. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.01.045>
- Farahat E.S., Abdel Ghani M.S., Aboazom A.S., Asran A.M.H., 2006: Mineral chemistry of Al Haruj low-volcanicity rift basalts, Libya: Implications for petrogenetic and geotectonic evolution. *Journal of African Earth Sciences*, 45, 2, 198–212.
- Fiore V., Di Bella G., Valenza A., 2011: Glass - basalt/epoxy hybrid composites for marine applications, *Mater Des.*, 32, 2091–2099.
- Gajić R., Sherif K., 2014: Geological Map of Libya 1: 250 000, Sheet: Kalnjah NF 34-2, Explanatory Booklet. Industrial Research Centre. p. 273. Tripoli.
- Geze B., 1957: Reconnaissance volcanologique du Tibesti. *Bulletin, Direction des Mines et Geologie*, 8, 119-125. Gouv. Generale Afrique Equatoriale Francaise, Brazzaville.
- Gligorić M., Majstorović J., Lutovac S., 2017: "Ispitivanje anizotropije stenskih masa merenjem brzine prostiranja ultrazvučnih talasa". Zbornik radova sa V naučno - stručnog skupa „Podzemna eksploatacija mineralnih sirovina 2017, Beograd, 08.12.2017, pp.63-70.

- Glavas B., Turki M.S., 2014: Geological map of Libya 1:250 000. Sheet: Wadi Mahmel NF 34-10. Explanatory Booklet. Industrial Research Center. p. 233. Tripoli.
- Goudarzi G.H., 1970: Geology and Mineral Resources of Libia. A Reconnaissance. U.S. Geol. Survey Prof. Paper, 660, 104 pp., Washington.
- Grubić A., Ammar A.N. 2014. Geological map of Libya 1:250 000. Sheet Jabal Eghei (NF 34-5). Explanatory Booklet. Industrial Research Center. p.234. Tripoli.
- Grubić A., Vakanjac B., Antonijević I., 1974: Geološke formacije i formaciono-metalogenetska analiza. – Zbornik radova Rudarsko-geološkog fakulteta, 17, Beograd, 31-54.
- Grützner T., Prelević D., Cüneyt A., 2013: Geochemistry and origin of ultramafic enclaves and their basanitic host rock from Kula Volcano, Turkey. *Lithos* 180–181, 58–73.
- Hallett D., 2002: Petroleum geology of Libya. p. 503. Amsterdam.
- Hunting Geology and Geophysics Ltd. 1974: Geology of the Jabal Eghei area, Libyan Arab Republic, IRC, Dpt. of Geological Researches and Mining. Tripoli.
- Hornemann F., 1802: Tagebuch seiner Reise von Cairo nach Murzuk, der Hauptstadt des Koenigreichs Fessan in Afrika, in den Jahren 1797 und 1798 / hrsg. Von C. Koenig. Weimar: Landes-Industrie-Comptoir, XXX, 240 pp.
- Imamović A., Jovanović M., Hadžalić M., Oruč M., 2018: Perspektiva upotrebe visokopećne troske kao zamjena prirodnim mineralnim agregatima u tehnologiji proizvodnji kamene vune. Zbornik radova sa 4. Međunarodne naučne konferencije "Primijenjene tehnologije u mašinskom inženjerstvu" COMETA2018, Istočno Sarajevo - Jahorina 2018, 187-194.
- Irvine T.N., Baragar W.R.A., 1971: A Guide to the chemical classification of the Common Volcanic Rocks. *Canadian Journal of Earth Science* 8, pp. 523-548. Kelowna.
- Issawi B., 1971: Geology of Darb el Arabia in Western Desert. *Ann. Geol. Surv.*, 1, 55-92.
- Issawi B., Jux U., 1982: Contribution to the Stratigraphy of the Paleozoic Rocks in Egypt. *Ann. of Geol. Surv. of Egypt*.
- Janković S., 1994: Osvajanje resursa čvrstih mineralnih sirovina, I deo Prognoziranje i ocena mineralne potencijalnosti: principi i metode. - Rud. -geol. Fak., Katedra ekonomske geologije, Pos. izd. 7/1, Beograd, 566 s.
- Janković S., Jelenković R., Vujić S., 2003: Mineralni resursi i prognoza potencijalnosti metaličnih i nemetaličnih mineralnih sirovina Srbije i Crne Gore na kraju XX veka. Inženjerska akademija Srbije i Crne Gore, odeljenje rudarskih i geoloških nauka, Beograd, 876 str.
- Klitzsch E., 2000: The structural Development of the Murzuq and Kufra Basins-Significance for oil and mineral exploration. In: M. A. Sola and D. Worsley, eds: *Geological Exploration in the Murzuq Basin*, pp. 143-150. Tripoli.
- Kovačević J., Jovanović M., Bulaja Lj., 2000: Pojava leucit bazalta na Koritniku kod Sjenice kao ukrasni i tehnički kamen. *Savetovanje KAMEN 2000*, Arandelovac, 112-116.
- Kunzmann T., 1999: The aenigmatite-rhonite mineral group. *European Journal of Mineralogy*, 11, 4, 743–756.
- Kurańska M., Barczewski M., Uram K., Lewandowski K., Prociak A., Michałowski S., 2019: Basalt waste management in the production of highly effective porous polyurethane composites for

- thermal insulating applications. *Polymer Testing* 76, 90-100, <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.02.008>.
- Kusky T.M., Abdelsalam M., Stern R.J., Tucker R.D. (eds.), 2003: Evolution of the East African and related orogens, and the assembly of Gondwana. *Precambrian Research*.
- Kužvart M., 1984: Industrial minerals and rocks. *Developments in economic geology*, 18, Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, 454 pp.
- Lacroix, A. 1934. Mission au Tibesti (1930-31) dirigee par M. Dalloni, volcanism et lithologie. *Memoire Academie des Sciences*, Ser. 2., 61, 169-366.
- Lazouzi G., Vuksanović M.M., Tomić N.Z., Mitrić M., Petrović M., Radojević V., Jančić Heinemann R., 2018: Optimized preparation of alumina based fillers for tuning composite properties. *Ceram Int* 44:7442–7449
- Lustrino M., Cucciniello C., Melluso L., Tassinari C.C.G., De Gennaro R., Serracino M., 2012: Petrogenesis of Cenozoic volcanic rocks in the NW sector of the Gharyan volcanic field, Libya. *Lithos* 155, 218–235, <http://dx.doi.org/10.1016/j.lithos.2012.09.003>.
- Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B.A., 1986: Chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali - silica diagram. *Journal of Petrology* 27 (3), pp. 745-750. Amsterdam.
- Le Maitre R.W. (Ed.), 2002: *Igneous Rocks: A classification and Glossary of Terms*. Cambridge University Press, 236 pp, <http://dx.doi.org/10.1017/S0016756803388028>.
- Less G., Turki S.M., Suwesi K.H., Peregi Z.S., Fodor L., Koloszar L., Kalamar J., Sherif K.H., Csaszar G., Gulacsi Z., Dalub H.S., Al Tajuri A., 2006: Geological map of Libya, 1:250.000, Sheet: Waw al Kabir, NG 33-12. Explanatory Booklet. Industrial Research Center. 295 pp. Tripoli.
- Liégeois J.-P., Benhallou A., Azzouni-Sekkal A., Yahiaoui R., Bonin B., 2005: The Hoggar swell and volcanism: reactivation of the Precambrian Tuareg Shield during Alpine convergence and West African Cenozoic volcanism. *Geol Soc America Spec Paper* 388, pp 379–400.
- Lipparini T., 1940: Tettonica e Geomorfologia della Tripolitania. *Bolletino Societa Geologica Italiana*, 59, 2-3, 221-301.
- Lucassen F., Pudlo D., Franz G., Romer R.L., Dulski P., 2013: Cenozoic intra-plate magmatism in the Darfur volcanic province: mantle source, phonolite-trachyte genesis and relation to other volcanic provinces in NE Africa. *Internat J Earth Sci* 102:183–205.
- Lukić I., 2015: Komparativna analiza osnovnih svojstava konstrukcijskih betona spravljenih sa različitim vrstama lakih agregata. *Doktorska disertacija*, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 332 s.
- Magonthier M.C., Velde D., 1976: Mineralogy and petrology of some Tertiary leucite-rhoenite basanites from central France. *Mineral. Mag.*, 40, 316, 817-826.
- Majstorović J., Cvetković M., 2004: Neki rezultati ispitivanja stena kao radne sredine ultrazvukom. ECRBM'04 (Evropska konferencija o prirodnim građevinskim materijalima i uglju: Nove perspektive), 2004, Sarajevo.

- Majstorović J., Tokalić R., Lutovac S., Savković S., 2016: "Foliation impact on the dynamic properties of selected samples of the barrier dam site Prvonek: Right side", *Underground Mining Engineering* 29, 1-9.
- Mamgain V.D., 1980: The Pre-Mesozoic (Precambrian to Paleozoic) stratigraphy of Libya. *Bulletin of Department of geological research and mining, IRC, N°14*. Tripoli.
- Marica S., 2004: Quaternary basalts from Romania - characteristics and non-conventional uses. *Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXVI, 2004, Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki, April 2004*, 103-107.
- Marović M., 2007a: Structural settings. In Toljić, M., El Mehdi B.O., 2007: *Geological Map of Libya 1: 250 000, Sheet Mourizidie, NF 33-3, Explanatory Booklet*. Industrial Research Centre. p. 326. Tripoli.
- Marović M., 2007b: Structural settings. in Žolnaj S., Turki S., 2007: *Geological Map of Libya 1: 250 000, Sheet Majdul, NG 33-11. Explanatory Booklet*. Industrial Research Centre. p. 197. Tripoli.
- Masoud A.A.M., 2014: Composition and age of Cenozoic volcanism in Libya. PhD thesis, University of Glasgow, 213 pp.
- Matović B., Bošković S., Logar M., 2003: Preparation of basalt -based glass ceramics. *J. Serb. Chem. Soc.* 68, 505-510, [https://DOI: 10.2298/JSC0306505M](https://doi.org/10.2298/JSC0306505M).
- Matykiewicz D., Barczewski M., Michałowski S., 2019: Basalt powder as an eco-friendly filler for epoxy composites: Thermal and thermo-mechanical properties assessment. *Composites Part B: Engineering*, 164, 272-279, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.073>.
- McDonough W. F., Sun S.-s., 1995: The composition of the Earth. *Chemical Geology* 120, 223-253.
- Megerisi M., Mamgain V. D., 1980: The Upper Cretaceous-Tertiary Formations of Northern Libya. In M.J. Salem and M.T. Busrewil (Eds.), *The Geology of Libya*, 1 (pp. 67–72). University of Tripoli.
- Milanović P., Vuksanović M.M., Mitrić M., Stojanović D., Kojović A., Rogan J., Jančić-Hainemann R., 2018: Electrospun Alumina Fibers Doped With Ferric and Magnesium Oxides. *Science of Sintering*, 50 (2018) 77-83.
- Milesi J.-P., Feybesse J.-L., Pinna P., Deschamps Y., Kampuzu H., Muhongo S., Lescuyer J.-L., Le Goff E., Delor C., Billa M., Ralay F., Henry C., 2004. *Géologie et principaux gisements d'Afrique – carte et SIG à 1/10 000 000*, 20th Colloquium of African Geology, Orléans, France.
- Mišić Lj., Stajković M., Nikolić A., Mišić J., 2000: Modifikovani vlaknasti materijali za toplotnu izolaciju procesnih uređaja sa visokim radnim temperaturama. 31. Međunarodni kongres o KGH, *Zbornik radova*, 1, 248-257.
- Nachtigal G., 1879-1898: *Sachara und Sudan*. Bd. 1. Berlin.
- Nédli Z., Tóth T.M., 2003: Petrography and mineral chemistry of rhönite in ocelli of alkali basalt from Villány Mts, SW Hungary. *Acta Mineralogica-Petrographica*, 44, 51-56.
- Nickel K.G., 1986: Phase equilibria in the system $\text{SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-Cr}_2\text{O}_3$ (SMACCr) and their bearing on spinel/garnet lherzolite relationships. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen* 155(3), 259-287.

- Overweg A., 1851: Geognostische Bemerkungen auf der Reise von Phillippeville über Tunis nach Tripoli und von hier nach Murzuk in Fezzan. Zeitschrift Deutschen Geologischen Gesellschaft, 3, 93-102.
- Oweiss K.A., Suwesi K.S., Turki S.M., Habib A.H., Sherif K.A., 2007: Geological map of Libya, 1:250.000, Sheet: Jabal Al Uwaynat, NF 35-9. Explanatory Booklet. IRC. Tripoli. 1-89.
- Pagani A., 1934: Su alcuni brachiopodi paleozoici di Serdeles (Fezzan). Atti Societa Italiana Scienze Naturali, 73, 3, 254-269.
- Pavlović M., 2019: Nastajanje i razvoj oštećenja vatrostalnih materijala na bazi bazalta pod dejstvom kavitacije. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 146 str.
- Pavlović M., Sarvan M., Klisura F., Aćimović Z., 2016: Bazalt - sirovina za proizvodnju agregata za moderne pokrove cesta i željezničkih pruga (Basalt - Raw Material for Production of Aggregate for Modern Road and Rail Shroud), Četvrta konferencija – Održavanje 2016, Proceedings, s. 175., 02-04. juni 2016, Zenica BiH, Godina 4, No 1.
- Pavlović M., Dojčinović M., Martinović S., Vlahović M., Stević Z., Jovanović M., Volkov-Husović T., 2017: Determination of Degradation Level during Cavitation Erosion of Zircon Based Ceramic, Science of Sintering, 49, 175-185.
- Pavlović M., Dojčinović M., Prokić-Cvetković R., Andrić Lj., 2019: The Mechanisms of Cavitation Erosion of Raw and Sintered Basalt. Science of Sintering, 51 (2019) 409-419.
- Peregi Z.S., Less G.Y., Konrad G.Y., Fodor L., Gulacsi Z., Gyalog L., Turki S.M., Suwesi S.K.H., Sherif K., Dalub H., 2003: Geological map of Libya 1:250 000. Sheet Al Haruj al Abyad NG 33-8. Explanatory Booklet. Industrial Research Center, 250 pp. Tripoli.
- Peretyazhko I.S., Savina E.A., Khromova E.A., 2017: Minerals of the rhönite-kuratite series in paralavas from a new combustion metamorphic complex in the Choir–Nyalga basin (Central Mongolia): composition, mineral assemblages and formation conditions. Mineralogical Magazine, 81, 4, 949–974.
- Prelević D., Foley S.F., Cvetković V., Romer R.L., 2004: The analcime problem and its impact on the geochemistry of ultrapotassic rocks from Serbia. Mineralogical Magazine, 68(4), 633–648.
- Principi R., 1932: Osservazioni su alcuni legni fossili della Libya. Bolletino Societa Geologica Italiana, 51, 2, 311-316.
- Prstić A., Simić R., Andrić Lj., Acimović Z., 2003: Melting and casting of basalt ore, Mineral Processing in 21st Century –X Balkan Mineral Processing Congress, Varna, Bulgaria, Proceedings, 893-897.
- Prstic A., Aćimovic Z., Cosic M., Andric Lj., Tanaskovic Z., 2005: Application of casting materials based basalt ore in metallurgy and mining industry, XI Balkan Mineral Processing Congress, Tirana, Albania, Proceedings, 422 – 425.
- Prstić A., Aćimović-Pavlović Z., Pavlović Lj., Andrić Lj., Terzić A., 2007: The application of basalt in the manufacturing of ceramic glazes. Journal of Mining and Metallurgy, 43, A, 53 – 60.
- Prstić A., Aćimović Z., Terzić A., Pavlović Lj., Tanasković Z., 2012: The application of basalt in civil engineering, 4th International Conference GNP 2012 Civil Engineering- Science and Practice, T̄abljak, Montenegro, Proceedings, p. 125.

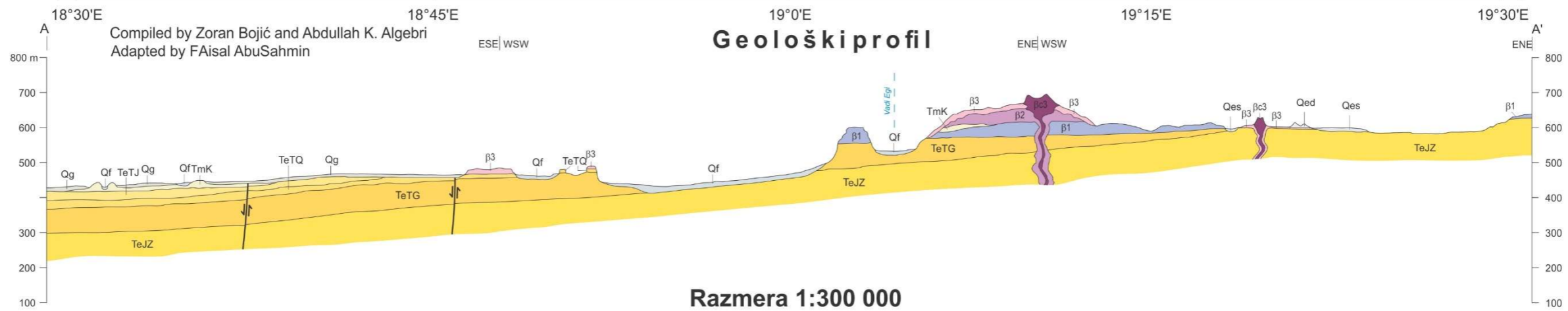
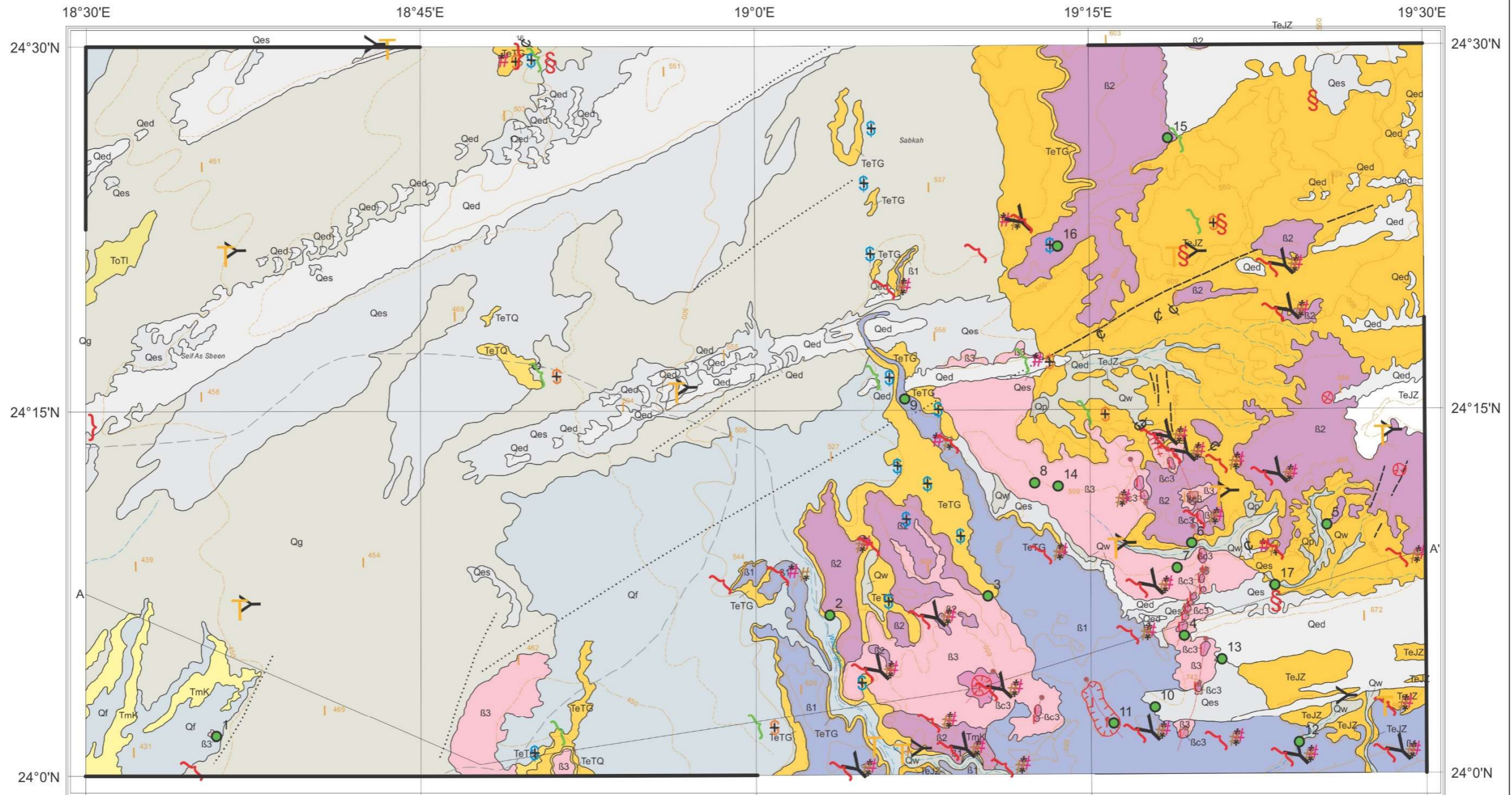
- Pye K., 1986: Mineralogical and textural controls on the weathering of granitoid rocks. - *Catena*, 13, Braunschweig, 47-57.
- Quas A., 1902: Die Fauna der Overwegischichten und der Blatterthone in der Libyschen Wuste. *Paleontographica*, 3, 153-334.
- Radivojević M. Toljić M., Turki S., Bojić, Z., Šarić K., Cvetković V., 2015: Neogene to Quaternary basalts of the Jabal Eghei (Nuqay) area (south Libya). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 293, 57-74.
- Radulović P., 1984: Geological Map of Libya, 1:250,000. Sheet Wadi Tanezzuft, NG 32-11. Explanatory Booklet. Industrial Research Center, Tripoli, 114 p.
- Ralegaonkar R.V., Gavali H.R., Aswath P., Abolmaali S., 2018: Application of chopped basalt fibers in reinforced mortar: A review. *Construction and Building Materials* 164, 589-602, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.12.245
- Ralph C., Lemoine P., Summerscales J., Archer E., McIlhagger A., 2018: Relationships among the chemical, mechanical and geometrical properties of basalt fibers. *Textile Research Journal*, 89, 15, 3056-3066.
- Ristić N.S., 2015: Hidro-abrazivna otpornost betona pravljenog sa recikliranim materijalima i ojačanog mikrovlaknima. Doktorska disertacija, Univerzitet u Nišu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš, 230 str.
- Rolland G., 1881: Sur le terrain cretace du Sahara Septentrional. *Bulletin Societe Geologique France*, Paris, Ser. 3, vol. 9, 545-548.
- Rohlf G., 1881: Kufra. Reise von Tripolis nach der Oase Kufra. Brochhaus Leipzig.
- Samama J.-C., 1989: Ore Fields and Continental Weathering. - Mir, Moskva, 446 s.
- Savić A., Aškrić M., Radević A., 2016: Ispitivanje uticaja visokih temperatura na fizičkomehanička svojstva tradicionalnih maltera. Konferencija Savremeni materijali i konstrukcije sa regulativom, Beograd, 17. jun 2016., 69-78.
- Sharygin V.V., Kóthay K., Szabó Cs., Timina T.Ju., Török K., Vapnik Ye., Kuzmin D.V., 2011: Rhönite in alkali basalts: silicate melt inclusions in olivine phenocrysts. *Russian Geology and Geophysics* 52, 1334–1352.
- Simić R., Gilić N., 2000: Geologija, eksploatacija i korišćenje bazalta sa ležišta "Vrelo" kod Kuršumlije. Savetovanje KAMEN 2000, Arandelovac, 199-205.
- Simić R., Prstić A., Gilić N., 2002: Technical and economical base for building capacities for obtained casting products from basalt ore in Serbia, *Proceedings of Conference - Cement 2002*, Struga, Macedonia, 156-160.
- Simić V., 2004: Prognozna ocena resursa kaolinitskih glina u sedimentnim basenima Srbije. Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 188 s.
- Smith, M. R., Collis, L. (eds), 2001: *Aggregates: Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes*. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 17.
- Stajčić A., Radović I., Čosović V., Grujić A., Stajić-Trošić J., Jančić-Heinemann R., 2019: The Influence of Barium Ferrite Nanoparticles on Morphological and Mechanical Properties of Ethyl Cellulose Based Nanocomposites. *Science of Sintering*, 51 (2019) 277-283.

- Stefanini G., 1913: Sopra ad alcuni fossili di Derna e sull' eta dei calcari di Slanto. *Atti Academia Scieencie Veneto-Trenti*, vol. 6, pp 3-10. Padova.
- Stefanini G., 1932: Elenco dei materiali d'interesse geologico raccolti Durante la Missione nel Fezzan. *Richerche e osservazioni di geographia Umana*, 1-3.
- Stejić P., Turki S., 2014: Geological map of Libya 1:250 000. Sheet Jabal Dārsū (NF 34-6). Explanatory Booklet. Industrial Research Center, Tripoli. p. 237.
- Todic A., Nedeljkovic B., Cikara D., Ristic I., 2011: Particulate basalt– polymer composites characteristics investigation, *Mater. Des.* 32, 1677–1683, doi:10.1016/j.matdes.2010.09.023.
- Toljić M., El Mehdi B.O., 2007: Geological map of Libya, 1:250.000, Sheet: Mourizidie, NF 33-3. Explanatory Booklet. Industrial Research Center, Tripoli, p. 311.
- Toljić, M., Turki M.S., 2007: Geological map of Libya 1:250 000. Sheet Wādi Blhashim NG 34-1. Explanatory Booklet. Industrial Research Center, p. 148. Tripoli.
- Toljić, M., Abu Agrab, A.F.M., 2014: Geological Map of Libya 1:250 000, Sheet Wādi Eghei, NF 34-1, Explanatory Booklet. Industrial Research Centre. p. 304. Tripoli.
- Vakanjac B., 1992. *Geologija ležišta nemetaličnih mineralnih sirovina*, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
- Vail J.R., 1991: The Precambrian Tectonic Structure of North Africa. In: M.J. Salem, A.M. Sbeta and M.R. Bakbak eds: *The Geology of Libya*, Vol. VI, pp. 2259-2268. Amsterdam.
- Van Der Meer F., Cloetingh S., 1993: Intraplate stresses and the subsidence history of the Sirte basin (Libya). *Tectonophysics*, 226, pp. 37-58. Amsterdam.
- Vasić N., Sherif K.A., 2007: Explanatory Booklet. Geological map of Libya 1:250,000. Sheet: Dūr at Talah NG34-9. Industrial Research Centre, Tripoli, 180 p.
- Vasić I., 1998a: Ocena perspektivnosti geoloških sredina i rangiranje perspektivnih površina arhitektonsko - građevinskog kamena u uslovima niske istraženosti. *Zbornik radova XIII kongresa geologa Jugoslavije*, knj. IV, 411-416 str., H. Novi.
- Vasić I., 1998b: Značaj kontrolnih faktora, indikacija produktivnosti i kriterijuma za vrednovanje stena i stenskih masa kod istraživanja arhitektonsko - građevinskog kamena. *Zbornik radova XIII kongresa geologa Jugoslavije*, Knj. IV, 437-440 str., H. Novi.
- Vasić I., Oljača M., 1991: Osnovi analize perspektivnosti geoloških formacija u problematici istraživanja ležišta arhitektonsko - građevinskog kamena. *Tehnika*, RGM 42, 9-10, 607-610, str., Beograd.
- Vinassa de Regny P., 1901: Note geologiche sulla Tripolitania. *Rendiconti Reale Accademia delle Scieencie*, vol. 6, No 5, pp 177-186. Bologna.
- Vinassa de Regny P., 1913: *Carte geologique de la Libya italienne 1 : 6.000.000.Libya Italiana*. Milano.
- Vincent P., 1963: Les volcans tertiaires et quaternaires du Tibesti occidental et central (Sahara du Tchad). *Memoires, Bureau Recherches Geol. and Minières*, vol. 23. pp. 1-307. Paris.
- Vojnović Čalić T., Jevtić D., 2016: Čvrstoća pri pritisku mikroarmiranih cementnih maltera i funkcionalna zavisnost u odnosu na svojstva ispitana metodama bez razaranja. *Konferencija Savremeni materijali i konstrukcije sa regulativom*, Beograd, 17. jun 2016., 41-50.

- Vuksanović M.M., Gajić-Kvašček M., Dojčinović M., VolkovHusović T., Jančić Heinemann R., 2018: New surface characterization tools for alumina based refractory material exposed to cavitation - Image analysis and pattern recognition approach. *Mater. Charact.*, 144, 113-119.
- Wacrenier P., 1958: Notice explicative de la carte geologique pravisoire du Borkou-Ennedi-Tibesti an 1: 1.000.000. Direction des Mines et Geologie, Gouvernement General A.E.E. p. 24. Brazzaville.
- Wanner I., 1902: Die Faunen der obersten weissen Kreide in der Libyschen Wuste. *Paleontographica*, 30, 91-151.
- Whitney D.L., Evans B.W., 2010: Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, Volume 95, 185–187.
- Zec J., Tomić N., Zrilić M., Marković S., Stojanović D., Jančić-Heinemann R., 2018: Processing and characterization of UHMWPE composite fibres with alumina particles in poly(ethylene-vinyl acetate) matrix. *J. Thermoplas. Compos.*, 31, 5, 689-708.
- Zittel K.A., 1883: Beitreige zur Geologie und Paleontologie der Libyschen Wuste und angrenzenden gebiete von Aegyptien. *Paleontographica*, 30.
- Žolnaj S., Turki S.M., 2007: Geological map of Libya, 1:250 000. Sheet Majdul (NF 33-11). Explanatory Booklet. Ind. Res. Cent., Tripoli, 197 p.

PRILOG 1

PRILOG 1: GEOLOŠKA KARTA JUGOISTOČNOG DELA OBLASTI WADI AL ATHAL



LEGENDA
KVARTAR
HOLOCEN

- Qed **Eolski sedimenti**
(peščane dine)
- Qes **Eolski sediment**
(peščani zastor)
- Qg **Sedimenti Sarira**
(šćunak, ilovača i pesak)
- Qw **Sedimenti Vade**
(šćjunak, pesak i silt)

PLEISTOCEN

- Qp **Proluvijalni sedimenti**
(drobina, šćjunak, pesak i silt)
- Qf **Fluvioeolski sedimenti**
(šćjunak, pesak i silt)

TERCIJAR - KVARTAR

- βc3 **Vulkanske kupe, faza 3.**
(plovuac, bujićni, klastićni tokovi lave) **Pjaćentin-Kvartar**
- β3 **Bazaltni tokovi, faza 3.**
(crna-siva lava, vezikularni staklasti bazalti i aglutirani odlomci lave) **Zanklinski-Pjaćentin**
- β2 **Bazaltni tokovi, faza 2.**
(crno-siva lava, imenjena sa masivnim stubastim lućenim vesikularni bazaltni blokovi) **Mesin-Zanklinski**
- TmK **Kan Džarav formacija**
(konglomerati, peskoviti krećnjaci, karbonatni krećnjaci) **Torton-Mesin**
- β1 **Bazaltni tokovi, faza 1.**
(stratifikovani tokovi lave, masivni i ispućali, jako izmenjeni svetlosivi bazaltni tokovi) **Seravalian-Torton**

TERCIJAR

- OLIGOCEN**
- ToT1 **Dur At Talah formacija**
(donji ćlan) **Hadski ?**
(glinci, šejl, laporci sa smenom Ostrea slojeva, peskoviti krećnjaci i gips, u naizmenićnom smenjivanju sa šćolkama, puževima i ježevima)

EOCEN

- Vadi Thammat formacija**
- TeTJ **Krarat al Džifa ćlan** **Priabon**
(glinci, šejl, laporci sa smenom Ostrea slojeva, peskoviti krećnjaci i gips, u naizmenićnom smenjivanju sa šćolkama, puževima i ježevima)
- TeTQ **Thmed al Kusur ćlan** **Barton**
(krećnjaci, ćoki krećnjaci, dolomitski krećnjaci, dolomiti, laporci, rožnaćke konkrecije, šćoljke, puževi, ježevi, glavonošći i foraminifere)
- TeTG **Al Gata ćlan** **Lutet-Barton**
(bioklastićni krećnjaci, glinci, gipsani glinci, silt, laporac, peskoviti laporac, „Ostrea slojevi“ sa gipsom, sa tragovima bioturbacija, šćoljke, puževi, ježevi, foraminifere i kosti kićmenjaka)
- TeJZ **Al Džir formacija** **Ipres-Lutet**
Bir Zajdan ćlan
(glinci, dolomitićni krećnjaci, dolomiti, krećnjaci sa konkrecijama rožnaca, peskoviti krećnjak, šejl i gips)

- | | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

ANALIZE

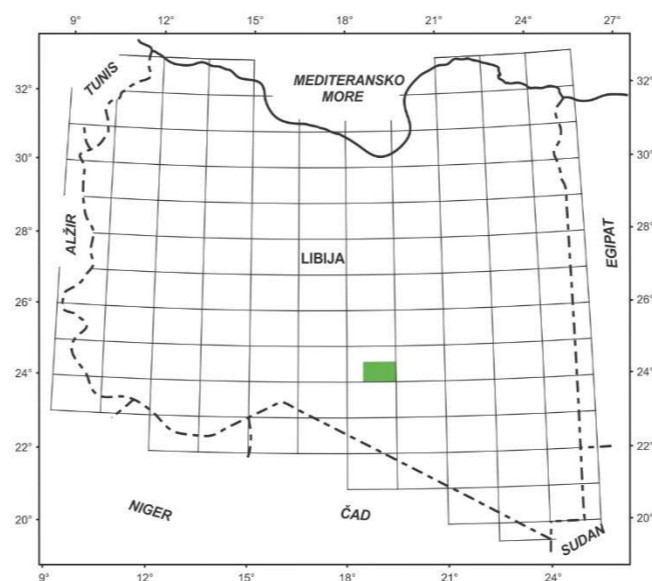
- | | | | |
|--|---------------------------------|--|--------------------------------------|
| | Geomehanićka analiza | | Geoheimijska analiza, makro elementi |
| | Hemijska analiza vode | | Makrofosili |
| | Geoheimijska analiza | | Apsolutna starost |
| | Analiza na teške minerale | | Mikrofosili |
| | Sedimentološka analiza | | |
| | PP na karbonate | | PP na klastite |
| | PP na magmatite | | Rendgen |
| | Diferencijalna termićka analiza | | |

TOPOGRAFSKE OZNAKE

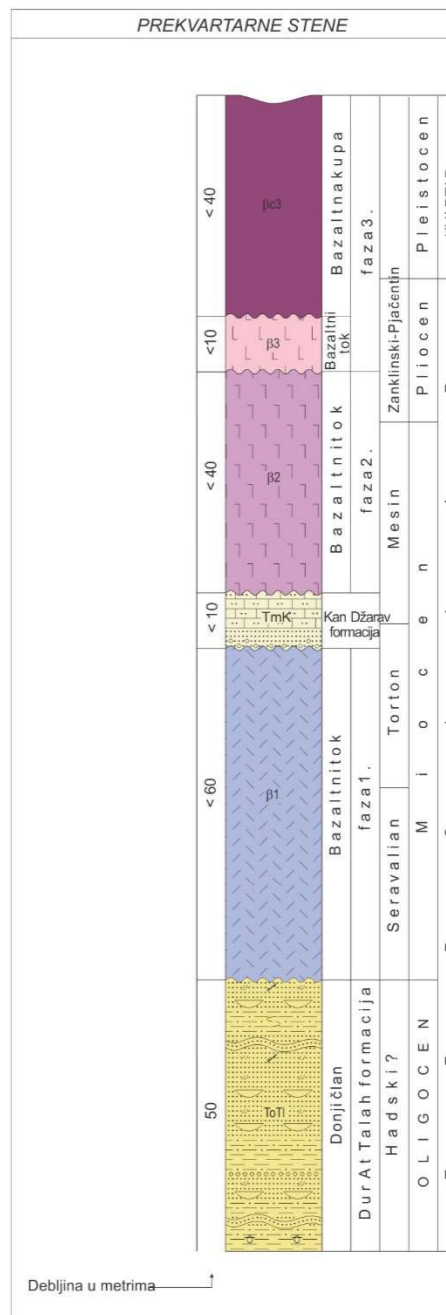
-
-
-
-
-
-

OSTALE OZNAKE

-
-
-
-



PREKVARTARNE STENE



PRILOG 2

REZULTATI PROUČAVANJA MINERALOŠKO-PETROGRAFSKIH KARAKTERISTIKE BAZALTA PUTEM OPTIČKE MIKROSKOPIJE

1. Uzorak: 1202/2/2 (β 3).

Stena: olivinski bazalt

Boja: tamno siva

Tekstura: masivna (homogena)

Struktura: porfirna (glomeroporfirna)

Tamnosiiva, masivna stena, porfirne (glomeroporfirne) strukture, izgrađena od fenokristala olivina i monoklinskih piroksena i hokristalaste osnovne mase izgrađene od mikrolita piroksena, igličastih plagioklasa i neprovidnih (metaličnih) minerala (Slika 1).

Fenokristali olivina (10 vol.%) su hipidiomorfni, retko idiomorfni (obično manji od 2 mm), delimično izmenjeni - prožeti sekundarnim idingsitom u mreži pukotina. Lokalno grade nagomilanja sa klinopiroksenom.

Klinopiroksen (15 vol.%) je svetle smeđesive boje (u paralelnim nikolima - PPL). Javlja se u vidu hipidiomorfni, ređe idiomorfni fenokristala, lokalno bližnjanih (dužine do > 2.5 mm), obično u nagomilanjima i/ili u vidu manjih subhedralnih do anhedralnih zrna (agregata) u osnovnoj masi.

Pritke plagioklasa su uglavnom slučajne orijentacije, lamelarno bližnjane, idiomorfne do hipidiomorfne (dužine do 0,4 mm).

Neprovidni (metalični) minerali (magnetit \pm ilmenit, \sim 3 vol.%) su hipidiomorfni, rasuti u holokristalastoj osnovnoj masi.

2. Uzorak: 1236/6/1 (β 2).

Stena: olivinski bazalt

Boja: tamno siva

Tekstura: masivna (homogena)

Struktura: ofitska sa elementima intergranularne

Tamno siva, masivna stena, ofitske strukture sa elementima intergranularne. Sastoji se od mikrofenokristala olivina i holokristalaste osnovne mase, izgrađene od igličastog plagioklasa, piroksena i neprovidnih (metaličnih) minerala (Slika 2).

Olivin (<10% vol.) je hipidiomorfan, retko idiomorfan, delimično ili u potpunosti idingsitiziran, blago ispucao (veličina zrna do 0.6 x 1 mm).

Klinopiroksen je blede smeđe-sive boje (PPL), subhedralnog do anhedralnog oblika. Sa pritkastim kristalima plagioklasa formira ofitsku strukturu (nalik na dolerit).

Pritke plagioklasa (dužine do 1.2 mm) su izukrštane, hipidiomorfne do idiomorfne, delimično zahvaćene piroksenom.

Neprovidni (metalični) minerali (magnetit ± ilmenit, 3 vol.%) su hipidiomorfni.

3. Uzorak: 1251/1/1 (β3)

Stena: olivinski bazalt

Boja: tamno siva do crna

Tekstura: vezikularna (vezikule prečnika do 1 mm)

Struktura: porfirska, intergranularna

Tamno siva do crna vezikularna stena, porfirske do intergranularne strukture, sastavljena od fenokristala olivina i holokristalaste osnovne mase, izrađene od piroksena, pritki plagioklasa i neprovidnih (metaličnih) minerala (Slika 3).

Olivin (<10% vol.) je hipidiomorfan do idiomorfan (veličine do > 2 mm), sa delimično resorbovanim ivicama i ponekim pukotinama.

Klinopiroksen je smeđe-sive boje (PPL), od subhedralnih do euhedralnih oblika (dužine do 1 mm), u krupnokristalastoj osnovnoj masi (dužina mikrolita do 1 mm).

Pritke plagioklasa su retke, bližnjene, uglavnom sveže i hipidiomorfne (dužine do 1.2 mm).

Neprovidni (metalični) minerali (magnetit ± ilmenit, <5% vol.) su rasuti u osnovnoj masi u vidu sitnih agregata.

4. Uzorak: 1286/1/1 (β3)

Stena: olivinski bazalt (olivinski dolerit?)

Boja: tamno siva do crna

Tekstura: vezikularna (mandole prečnika <1 mm)

Struktura: ofitska, porfirska (sa elementima pojkilitske)

Tamno siva do crna, vezikularna stena, subofitske i holokristalaste porfirske strukture, sastavljena od olivina, piroksena i plagioklasa, kao bitnih minerala, od sekundarnog kalcita i neprovidnih (metaličnih) minerala (Slika 4).

Olivin (<10% vol.) je hipidiomorfan, retko idiomorfan, pojavljuje se u rasutim manjim nagomilanjima, delimično je do potpuno idingsitiziran (do 0,5 x 1 mm).

Klinopiroksen je subhedralni do anhedralni, uglavnom svež, blede smeđe sive boje (PPL), obično obuhvata iglice plagioklasa (struktura nalik na dolerit).

Pritke plagioklasa su slučajne orijentacije, bližnjene, uglavnom sveže i hipidiomorfne (dužine do 1,2 mm).

Neprovidni (metalični) minerali su hipidiomorfni (magnetit ± ilmenit, <3 vol.%). Kalcit je intersticijski – može biti kasno magmatski ili naknadno prinet u stenu.

5. Uzorak: 1287/1/1 (β3)

Stena: olivinski bazalt

Boja: tamno siva do crna

Tekstura: masivna (homogena)

Struktura: porfirska, subofitska do intergranularna

Tamno siva do crna, masivna stena, holokristalne porfirske i subofitske strukture (sa elementima intergranularne), sastavljena od esencijalnih minerala: olivina, piroksena i plagioklasa i neprovidnih (metaličnih) minerala (Slika 5).

Olivin ima idiomorfne i hipidiomorfne fenokristalne forme (<10 vol.%), lokalno okupljene u manje gomile, delom izmenjene (idingsitiziran) u pukotinama i / ili na ivicama (do 0,6 x 1,2 mm).

Klinopiroksen je subhedralni do anhedralni, uglavnom svež, bledo smeđe sive boje (PPL), smešten u osnovnoj masi zajedno sa prtkama plagioklasa.

Pritke plagioklasa su slučajne orijentacije, povezane, uglavnom sveže i hipidiomorfne (dužine do 0,5 mm).

Neprovidni (metalični) minerali (magnetit ± ilmenit, <3 vol.%) su hippidiomorfni.

6. Uzorak: 1296/1/1 (β2)

Stena: olivinski bazalt

Boja: tamno siva

Tekstura: masivna (homogena)

Struktura: ofitska, sa elementima holokristalasto porfirske

Tamno siva masivna stena, ofitske i porfirske strukture (glomeroporfirska), sastavljena od mikrofenokristala olivina i holokristalne gruboznaste osnovne mase, izrađene od pritki plagioklasa i klinopiroksena, kao i neprovidnih (metaličnih) minerala (sl. 6).

Olivin (5% vol.) pokazuje hipidiomorfne do idiomorfne fenokristalne forme (do 0,6 x 1,2 mm), skoro potpuno identične, lokalno okupljene u malene gomile.

Klinopiroksen je bledo smeđe do sive boje (PPL), subhedralnog do anhedralnog oblika, a s prtkama plagioklasa formira ofitsku strukturu (nalik na dolerit).

Pritke plagioklasa su slučajne orijentacije (dužine do 0,6 mm), bližnjene, hipidiomorfne do idiomorfne, delimično uklopljene u piroksenu.

Neprovidni (metalični) minerali (magnetit ± ilmenit; 3 vol.%) su hippidiomorfni.

7. Uzorak: 1297/1/1 (β3)

Stena: olivinski (pikritski) bazalt

Boja: tamno siva do crna

Tekstura: vezikularna (vezikule do > 1 mm u prečniku)

Struktura: porfirska, intersertalna

Tamno siva do crna vezikularna stena, porfirske strukture (sa elementima intersertalne) sastavljena od olivinskih fenokristala i hipokristalaste osnovne mase (Slika 7).

Fenokristali olivina (<10 vol.%) su hipidiomorfni do idiomorfni (dimenzija do 2 mm), delimično resorbovanih ivica i sa ponekom pukotinom.

Osnovna masa je veoma sitnozrna, hipokristalasta, izrađena od sitnih zrna olivina, piroksena (mikroliti, dužine do 0,15 mm), pritki plagioklasa (subhedralni, izduženi oblici, do 0,3 mm dužine), malo vulkanskog stakla u intersticijama i neprovidnih (metaličnih) minerala, ravnomerno dispergovanih u osnovnoj masi, poput sitnih prašinih agregata (magnetit ± ilmenit, 3 vol.%).

Vezikule su lokalno ispunjene sekundarnim mineralima, najčešće kalcitom.

8. Uzorak: 1302/1/1 (β3)

Stena: olivinski (pikritski) bazalt

Boja: tamno siva do crna

Tekstura: vezikularna (vezikule do > 2 mm u prečniku)

Struktura: porfirska, intersertalna

Tamno siva do crna vezikularna stena, porfirske strukture (sa elementima intersertalne) sastavljena od fenokristala olivina i hipokristalaste osnovne mase (Slika 8).

Fenokristali olivina (<10 vol.%) su hipidiomorfni do idiomorfni (retko dimenzija do 1 mm), sa delimično resorbovanim ivicama i retkim pukotinama.

Osnovna masa je finozrna, izgrađena od mikrofenokristala klinopiroksena (izduženi hipidiomorfni oblici, dužine do 0,3 mm), pritki plagioklasa (subhedralni, izduženi kristali dužine do 0,3 mm), malo vulkanskog stakla u intersticijskim prostorima i neprovidnih (metaličnih) minerala ± leukoksen, koji su uniformno rasuti u osnovnoj masi u formi sitnih prašinih agregata (magnetit ± ilmenit, 3 vol.%).

Vezikule su lokalno ispunjene sekundarnim mineralima, najčešće kalcitom.

9. Uzorak: 1305/1/1 (β1)

Stena: olivinski (doleritski?) bazalt

Boja: tamno siva

Tekstura: masivna (homogena)

Struktura: ofitska, sa elementima holokristalasto porfirske

Tamno siva, masivna stena, ofitske strukture sa elementima holokristalasto porfirske i glomeroporfirske structure. Izgrađena je od mikrofenokristala olivina i holokristalaste grubozrne osnovne mase izgrađene od pritkastog plagioklasa, klinopiroksena i neprovidnog (metaličnog) minerala (slika 9).

Olivin (<10% vol.) se pojavljuje u hipidiomorfnim do idiomorfnim fenokristalima (maksimalnih dimenzija do 0,8 x 1,2 mm), koji su skoro potpuno zamenjeni idingsitom. Lokalno grade nagomilanja dajući steni elemente glomeroporfirske strukture.

Klinopiroksen je bledo smeđe sive boje (PPL), subhedralnog do anhedralnog oblika. Sa pritkama plagioklasa gradi ofitsku rešetku, definišući ofitsku strukturu (nalik na dolerit).

Pritkasti plagioklas (dužine do 1 mm) je slučajne orijentacije, bližnjen, hipidiomorfan do idiomorfan, ponekad pojkilitski uklopljen u piroksenu.

Neprovidni (metalični) minerali su hipidiomorfni (magnetit ± ilmenit, 3 vol.%). Kalcit je intersticijski. Predstavlja kasnomagmatsku kristalnu ispunu, lokalno zatvarajući ostale mineralne faze (plagioklas, piroksen).

10. Uzorak: 1315/1/1 (β1)

Stena: olivinski bazalt

Boja: tamno siva do crna

Tekstura: vezikularna /amigdaloidna (vezikule do > 1 mm u prečniku)

Struktura: porfirska, intergranularna, intersertalna

Tamno siva do crna vezikularna stena, porfirske, intergranularne i intersertalne strukture, sastavljena od olivinskih mikrofenokristala, i holo- do hipokristalaste osnovne mase (sl. 10).

Olivinski mikrofenokristali (<10 vol.%) su hipidiomorfni (do 0,3 mm po dužoj osi), potpuno zamenjeni idingsitom. Pojavljuju se u rasutim manjim magomilanjima.

Osnovna masa je holo- do hipokristalasta, izgrađena od pritkastog plagioklasa (subhedralnog, izduženog, dužine do 1 mm), zatim piroksena (subhedralnog do anhedralnog, do 0,3 mm), malo vulkanskog intersticijskog stakla i neprovidnih (metaličnih) minerala, dispergovanih u osnovnoj masi u formi sitnih prašinih agregata (magnetit ± ilmenit, 3 vol.%).

Vezikule su mestimično zapunjene sekundarnim mineralima, najčešće kalcitom, što steni daje elemente amigdaloidne (mandolaste) teksture.

11. Uzorak: 1317/1/1 (β1)

Stena: olivinski (doleritski?) bazalt

Boja: tamno siva do crna

Tekstura: vezikularna / amigdaloidna (prečnik mandola <1 mm)

Struktura: ofitska, porfirska i intergranularna

Tamno siva do crna, sitno-vezikularna stena, sa subofitskom i porfirskom strukturom (sa elementima intergranularne). Bitni minerali su: olivin, piroksen i plagioklas, sporedni su neprovidni (metalični) minerali, a kasno-magmatskog porekla je kalcit (Slika 11).

Fenokristali i mikrofenokristali olivina (10 vol.%) su hipidiomorfni, retko idiomorfni, uglavnom se pojavljuju u manjim nagomilanjima, delimično su do potpuno idingsitizirani. Dimenzije zrna su do 0,5 x 1 mm.

Klinopiroksen je subhedralnih do anhedralnih formi, uglavnom svež, blede smeđe sive boje (PPL), i obično okružuje pritkasti plagioklas (tekstura slična doleritu).

Pritke plagioklasa su slučajne orijentacije, bližnjene, uglavnom sveže i hipidiomorfne habitusa (dužine do 1 mm).

Neprovidni (metalični) minerali (magnetit ± ilmenit, <3 vol.%) su hipidiomorfni. Kalcit je intersticijski - kasna magmatska kristalna ispuna. Lokalno okružuje druge mineralne faze (plagioklas, piroksen) ili/i zapunjava mandole (amigdale).

12. Uzorak: 1327/1/1 (β1)

Stena: olivinski (doleritski?) bazalt

Boja: tamno siva do crna

Tekstura: vezikularna / amigdaloidna (prečnik <1 mm)

Struktura: ofitska, porfirska i intergranularna

Tamno siva do crna, fino-vezikularna stena, ofitske i porfirske do intergranularne strukture, sastavljena od olivina, piroksena i plagioklasa, kao bitnih minerala; od kasnomagmatskog kalcita i neprovidnih (metaličnih) minerala (Slika 12).

Fenokristali i mikrofenokristali olivina (10 vol.%) su hipidiomorfni, retko idiomorfni, uglavnom prisutni u manjim nagomilanjima, delimično ili potpuno idingsitizirani (dimenzije zrna do 0,6 mm, obično manje).

Klinopiroksen je subhedralni do anhedralni, uglavnom svež, bledo smeđe sive boje (PPL), i obično okružuje prtkasti plagioklas (tekstura nalik doleritskoj).

Pritke plagioklasa su slučajne orijentacije, bližnjene, uglavnom sveže i hipidiomorfne (dužine do 0,6 mm).

Neprovidni (metalični) minerali (magnetit ± ilmenit, <3 vol.%) su hipidiomorfni. Kalcit je intersticijski - kasna magmatska kristalna zapuna. Lokalno okružuje druge mineralne faze (plagioklas, piroksen) ili/i se nalazi kao sekundarna zapuna unutar amigdala.

13. Uzorak: 1337/1/1 (β3)

Stena: olivinski (pikritski) bazalt

Boja: tamno siva do crna

Tekstura: vezikularna (vezikule > prečnika 2 mm) do amigdaloidna

Struktura: porfirska, intersertalna

Tamno siva do crna vezikularna stena porfirske strukture (sa elementima intersertalne), sastavljena od olivinskih mikrofenokristala i hipokristalaste osnovne mase izgrađene od piroksena (preovladuje), retkih prtkastih plagioklasa, neprovidnih (metaličnih) mineralna i relikata vulkanskog stakla (Slika 13).

Fenokristali olivina (5 vol.%) su hipidiomorfni do idiomorfni (dimenzija do 0,5 mm), uglavnom sveži, ponekad ispucali.

Osnovna masa je sitnokristalasta, izrađena od klinopiroksena (izduženi hipidiomorfni oblici do 0,3 mm), retkih prtkastih plagioklasa (subhedralni, izduženi oblici do 0,2 mm), malo ostataka vulkanskog stakla i neprovidnih (metaličnih) minerala ± leukoksen, koji su dispergovani u osnovnoj masi u formi sitnih prašinih agregata (magnetit ± ilmenit, 2 vol.%).

Vezikule su lokalno zapunjene kalcitom.

14. Uzorak: 1343/1/1 (β 3)

Stena: olivinski (pikritski) bazalt

Boja: tamno siva do crna

Tekstura: vezikularna (vezikule prečnika do 2 mm)

Struktura: porfiriska, intersertalna

Tamno siva do crna vezikularna stena, porfiriske strukture (sa elementima intersertalne), sastavljena od olivinskih fenokristala (mikrofenokristala) i hipokristalaste osnovne mase koja je izgrađena od piroksena, pritikastog plagioklasa, neprovidnih (metaličnih) minerala i vulkanskog stakla (Slika 14).

Fenokristali olivina (5 vol.%) su hipidiomorfni do idiomorfni (do 0,5x 1,5 mm, uglavnom manjih dimenzija), pretežno sveži, rasuti, sa ponekom mikropukotinom.

Osnovna masa je sitnokristalasta, izgrađena od klinopiroksena (izduženi hipidiomorfni oblici do 0,3 mm), pritikastog plagioklasa (subhedralni, izduženi oblici do 0,3 mm dužine), malo nealterisanog vulkanskog stakla i neprovidnih (metaličnih) minerala \pm leukoksena, dispergovanih u osnovnoj masi u formi sitnih prašinih agregata (magnetit \pm ilmenit, 2 vol.%).

Vezikule su lokalno zapunjene sekundarnim kalcitom.

15. Uzorak: 7100/1/1 (β 2)

Stena: olivinski bazalt

Boja: tamno siva

Tekstura: masivna do amigdaloidna (retke amigdale prečnika do 1 mm)

Struktura: porfiriska (sa elementima intergranularne)

Tamno siva, skoro masivna stena sa slabo izraženom amigdaloidnom teksturom i porfirskom strukturom (glomeroporfiriska sa elementima intergranularne). Izgrađena je od fenokristala olivina i plagioklasa i holokristalaste osnovne mase (Slika 15).

Fenokristali i mikrofenokristali olivina (<10 vol.%) su hipidiomorfni do idiomorfni (do 1 mm dimenzija), delimično ili potpuno idingsitizirani, raspoređeni u manja nagomilanja.

Fenokristali plagioklasa (12 vol.%) su nasumično orijentisani, sveži, bližnjeni, idiomorfni oblika, dužine do 2 mm.

Osnovna masa je holokristalasta, izgrađena od sitnih pritikastih plagioklasa (subhedralni izduženi oblici dužine do 0,3 mm), piroksena (subhedralna do anhedralna zrna, dimenzija do 0,3 mm) i neprovidnih (metaličnih) minerala, dispergovanih u osnovnoj masi u formi praškastih agregata (magnetit \pm ilmenit, 3 vol.%).

Kalcit je intersticijski - kasna magmatska kristalna ispuna. Lokalno okružuje druge mineralne faze (plagioklas, piroksen) ili/i se nalazi kao zapuna amigdala.

16. Uzorak: 7109/1/1 (β 2)

Stena: olivinski bazalt

Boja: tamno siva do crna

Tekstura: masivna

Struktura: porfirna (sa elementima intergranularne i intersertalne)

Tamno siva do crna, masivna stena porfirne strukture, sa elementima glomeroporfirne i intergranularne. Izgrađena je od fenokristala olivina i plagioklasa i hipokristalaste osnovne mase (Slika 16).

Fenokristali i mikrofenokristali olivina (<10 vol.%) su hipidiomorfni do idiomorfni (dimenzija do 1,5 mm), delimično zamenjeni idingsitom u pukotinama i/ili po obodu zrna. Pojavljuju se u formi rasutih, manjih nagomilanja.

Fenokristali plagioklasa (10 vol.%), su nasumično orijentisani, sveži, bližnjeni, idiomorfni oblika, dužine do > 2 mm.

Osnovna masa je hipokristalasta, izgrađena od sitnih pritkastih plagioklasa (subhedralni izduženi oblici dužine od 0,2 do 0,4 mm), zrna piroksena (subhedralna do anhedralna, dimenzija do 0,4 mm), ostataka vulkanskog stakla i neprovidnih (metaličnih) minerala koji su rasuti u osnovnoj masi, često u formi nepravilnih skeletnih agregata (magnetit \pm ilmenit, 3 vol.%).

17. Uzorak: 7172/41/1 (β 3)

Stena: olivinski (doleritski?) bazalt

Boja: tamno siva do crna

Tekstura: masivna

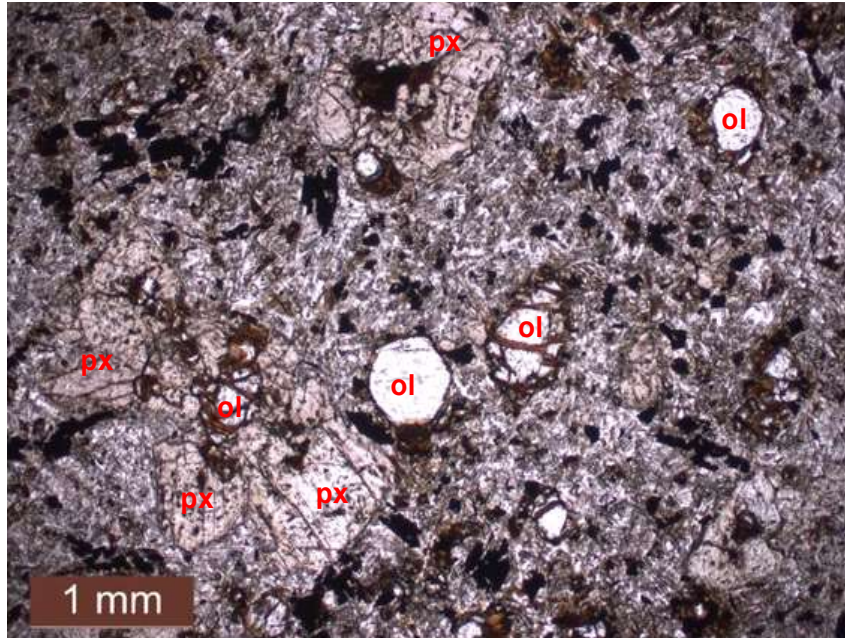
Struktura: ofitska, porfirna, intersertalna i intergranularna

Tamno siva do crna masivna stena, ofitske i porfirne strukture (sa elementima intersertalne i intergranularne), sastavljena od olivina, piroksena i plagioklasa, kao bitnih minerala i od relikata vulkanskog stakla i neprovidnih (metaličnih) minerala (Slika 17).

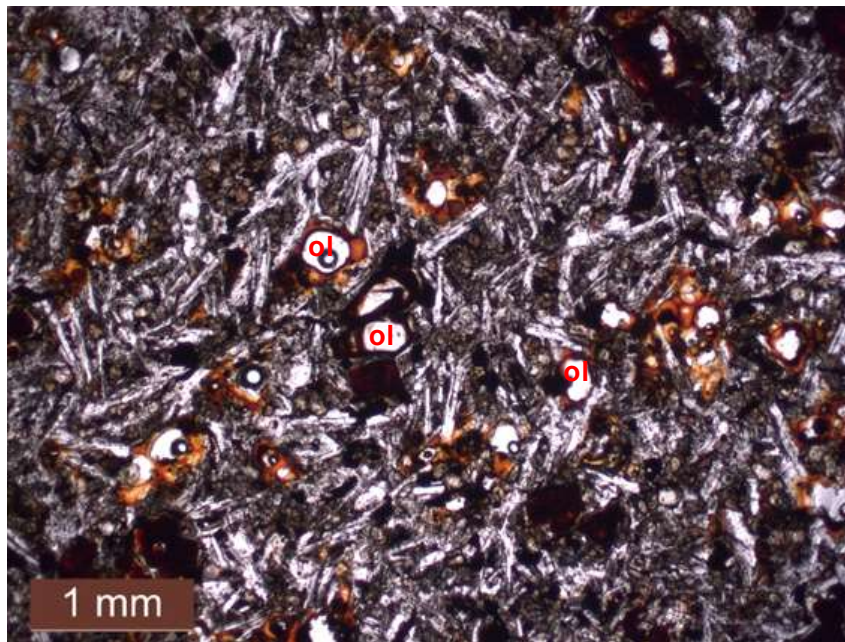
Fenokristali i mikrofenokristali olivina (5 vol.%) su hipidiomorfni do idiomorfni, pojavljuju se udruženi u manja nagomilanja. Zrna su delimično izmenjena (idingsitizirana) duž pukotina i/ili na obodu zrna, obično sitnijih.

Osnovna masa je hipokristalasta, intersertalna i intergranularna. Izgrađena je od klinopiroksena koji se javljaju u subhedralnim, uglavnom svežim zrnima, blede smeđe sive boje (PPL), koja obično uklapaju pritke plagioklasa; zatim pritkastog plagioklasa slučajne orijentacije, bližnjenog, uglavnom svežeg i hipidiomorfnog (dužine do 0,4 mm), vulkanskog stakla u međuprostorima (intersticijskim), koje je takođe smeđe boje u PPL (<10 % vol.), i od neprovidnih (metaličnih) minerala predstavljenih hipidiomorfni oblicima (magnetit \pm ilmenit, <3 vol.%).

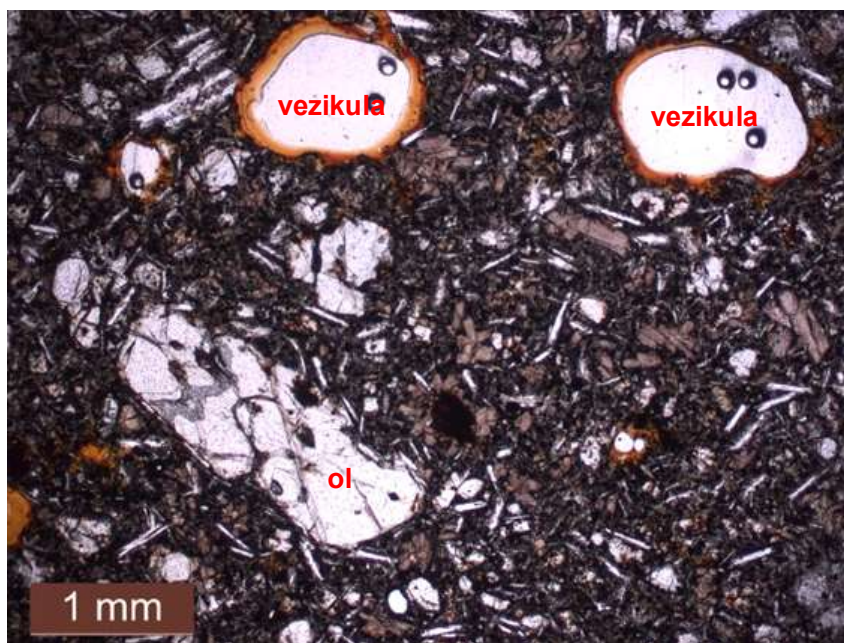
U daljem tekstu prikazane su mikrofotografije ispitivanih uzoraka bazalta.



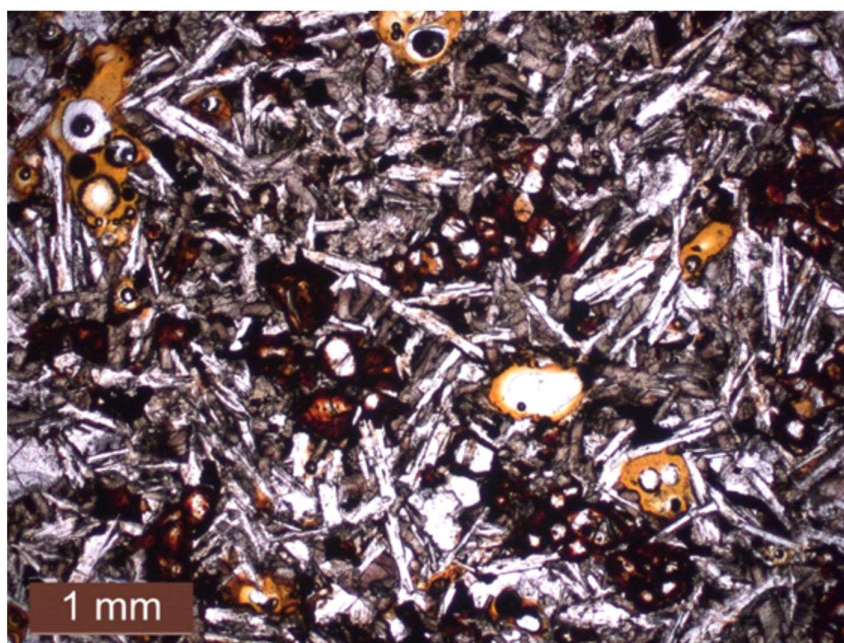
Slika 1: Uzorak br. 1202/2/2 (PPL); ol-olivin (bezbojna zrna, visokog reljefa) sa idingsitom u pukotinama i dominantnim piroksenskim fenokristalima, bledo smeđesive boje, grupisani (elementi glomeroporfirne strukture);



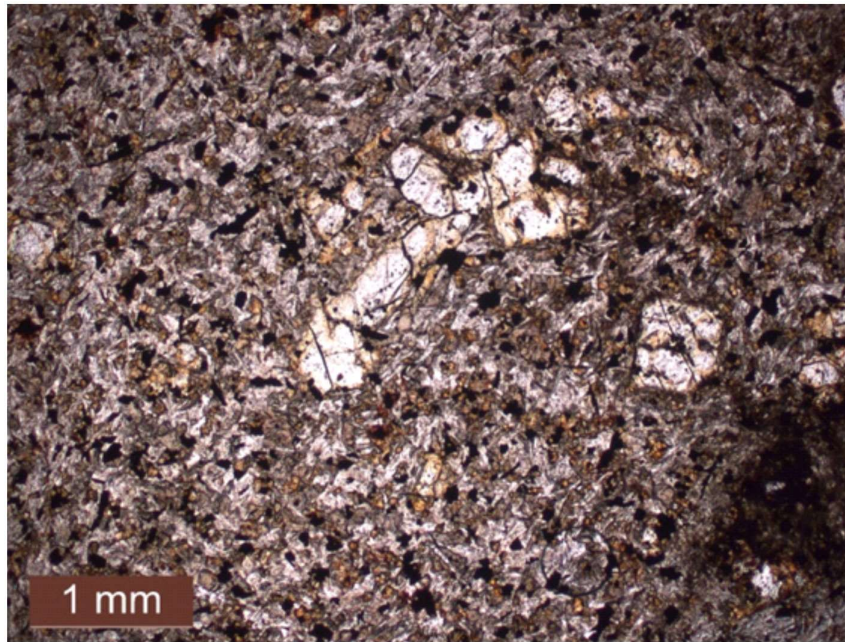
Slika 2: Uzorak br. 1236/6/1, (PPL); ofitska do intergranularna struktura sa nekoliko identifikovanih zrna olivina (ol).



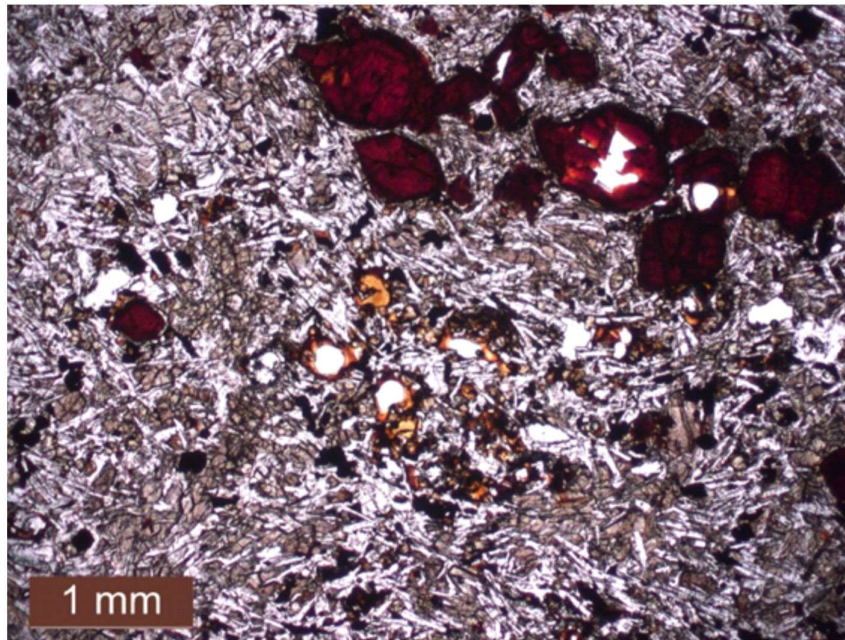
Slika 3: Uzorak br. 1251/1/1, (PPL); Holokristalasta osnovna masa izgrađena od mikrolita klinopiroksena (smeđe siva boja) i plagioklasa (bele izdužene pritke); Na slici je dominantan fenokristal olivina (ol) i dve vezikule na vrhu mikrofotografije



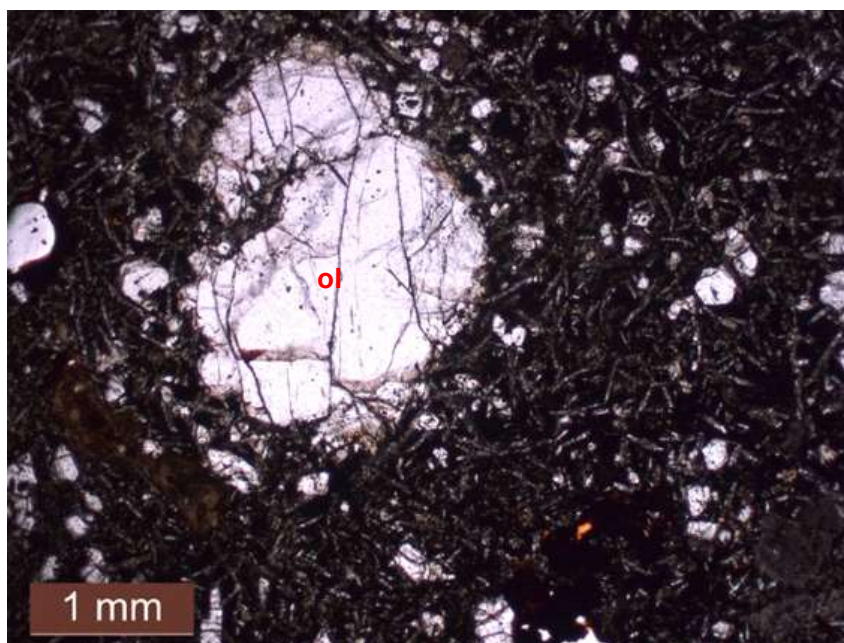
Slika 4: Uzorak br. 1286/1/1 (PPL); Na slici vidimo nekoliko zrna olivina zamenjenih idingsitom po rubu (tamne crvenkastosmeđe boje) smeštenih u krupno iskristalikalnoj olivinskoj rešetci



Slika 5: Uzorak br. 1287/1/1 (PPL); Na ovoj slici vidimo sve mikrostrukturne karakteristike uzorka (porfiriska, subofitska do intergranularna struktura)



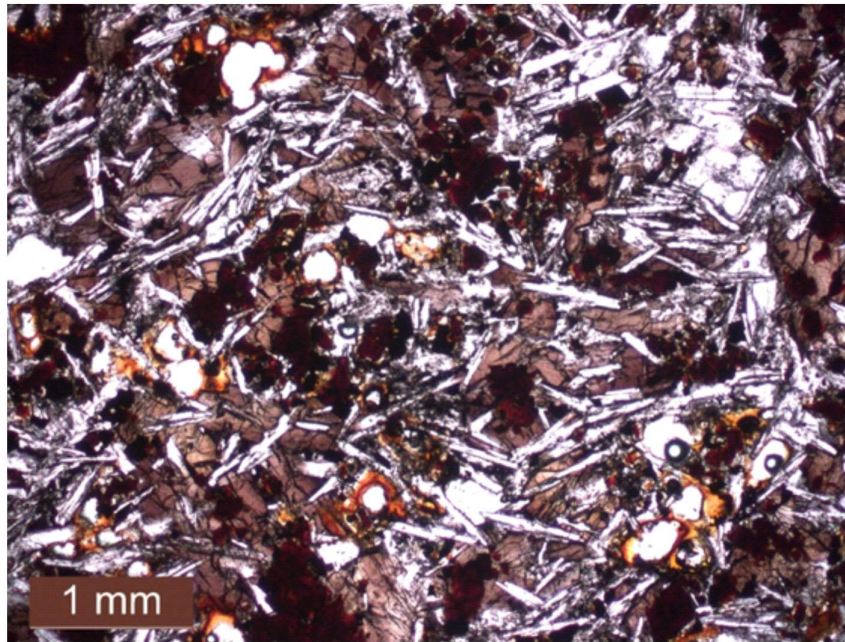
Slika 6: Uzorak br. 1296/1/1, (PPL); Najmarkantniji su fenokristali olivina (intenzivne crvenkastosmeđe boje) u finoj - ofitskoj osnovi izgrađenoj od igličastih plagioklasa i piroksena.



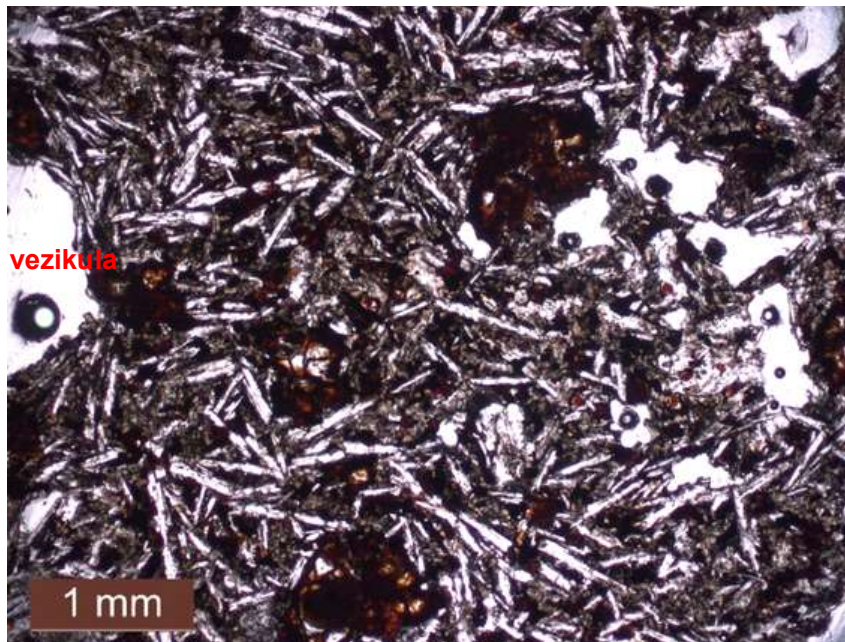
Slika 7: Uzorak br. 1297/1/1, (PPL); ol- fenokristal olivina smešten u finozrnoj, hipokristalastoj osnovnoj masi koja je izgrađena od sitnih zrna olivina, piroksena, pritkastih plagioklasa, reliktnog vulkanskog stakla i neprovidnih minerala



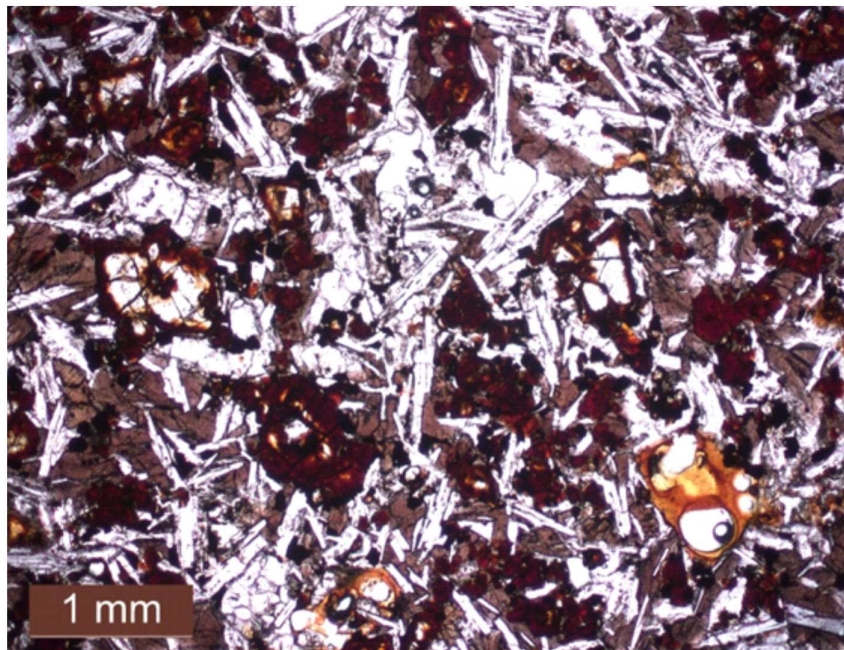
Slika 8: Uzorak br. 1302/1/1, (PPL); ol- mikro fenokristali olivina (visoki reljef, bezbojna zrna) u finozrnoj osnovnoj masi od klinopiroksena (bledo smeđe siva boja, hipidiomorfni oblici, do 0,3 mm dužine), pritki plagioklasa (izduženi, tanki kristali dužine do 3 mm), vulkanskog stakla i neprovidnih minerala.



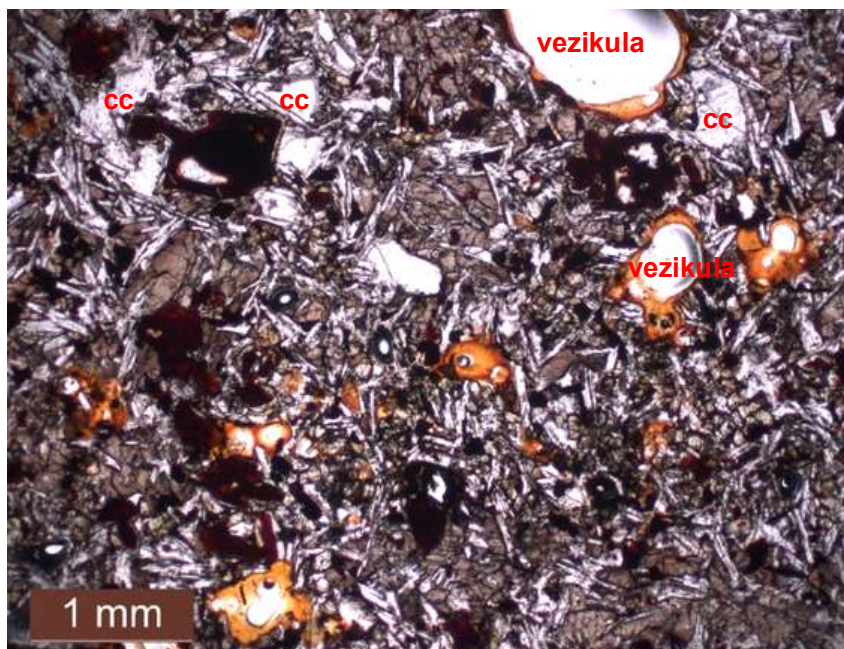
Slika 9: Uzorak br. 1305/1/1, (PPL); Ofitska struktura predstavljena kristalima klinopiroksena (bledo smeđe sive boje) i pritkastih plagioklasa koji grade ofitsku rešetku (beli izduženi kristali); Zapažaju se agregati sitnih zrna olivina (tamno crvenkastosmeđe boje)



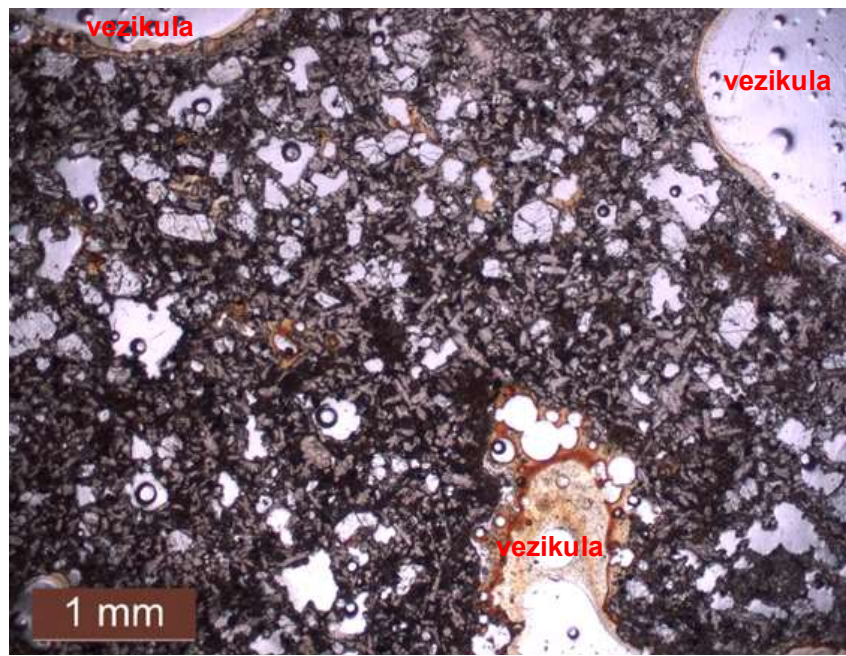
Slika 10: Uzorak br. 1315/1/1, (PPL); Nekoliko grupisanih sitnih zrna olivina (tamno smeđe boje), smeštenih u holo- hipokristalnoj osnovnoj masi (intergranularne i intersertalne strukture) izgrađene od plagioklasa, piroksena, retkog vulkanskog stakla, neprovidnih minerala i sekundarnog kalcita.



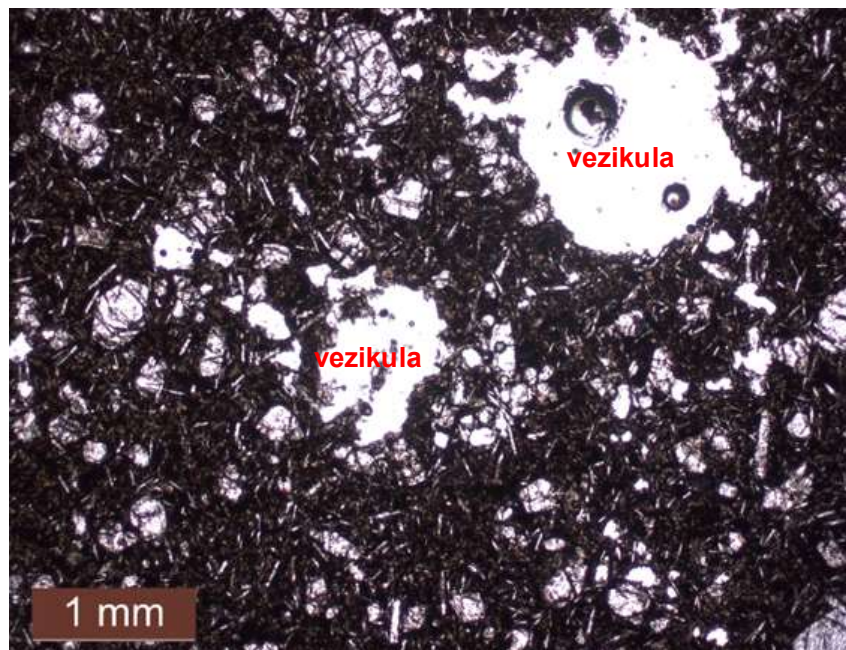
Slika 11: Uzorak br. 1317/1/1 (PPL); Delimično do potpuno idingsitom zamenjena zrna olivina (obojena crvenkasto-smeđe) smštena u ofitskoj osnovnoj masi



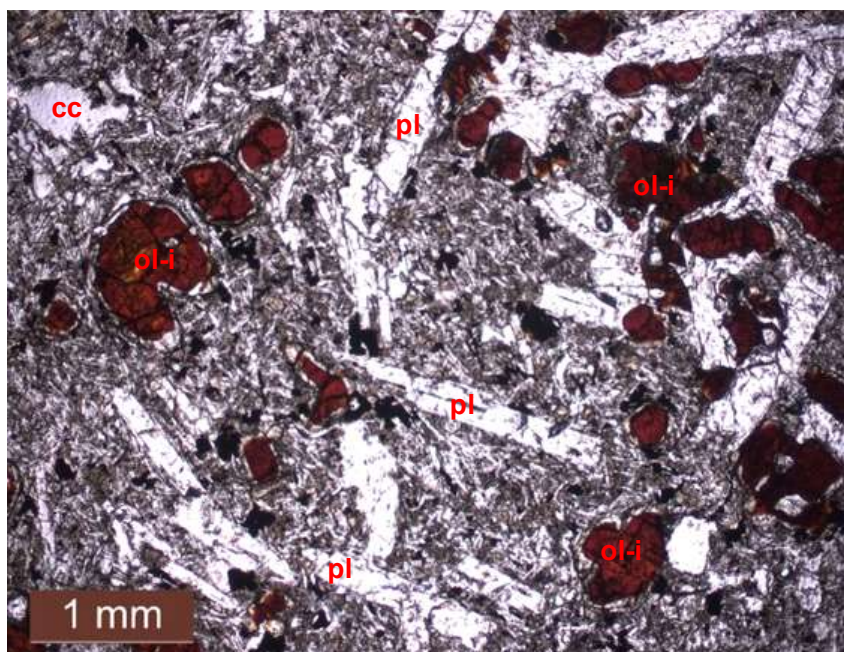
Slika 12: Uzorak br. 1327/1/1 (PPL); sitno-vezikularna tekstura i ofitska i porfiriska, do intergranularna struktura stene koja je izgradjena od olivina (gotovo potpuno idingitizirana zrna), piroksena (bledo smeđe siva) i plagioklasa (beli izduženi oblici), kao i od kasnomagmatskog kalcita (cc) i retkih neprovidnih minerala.



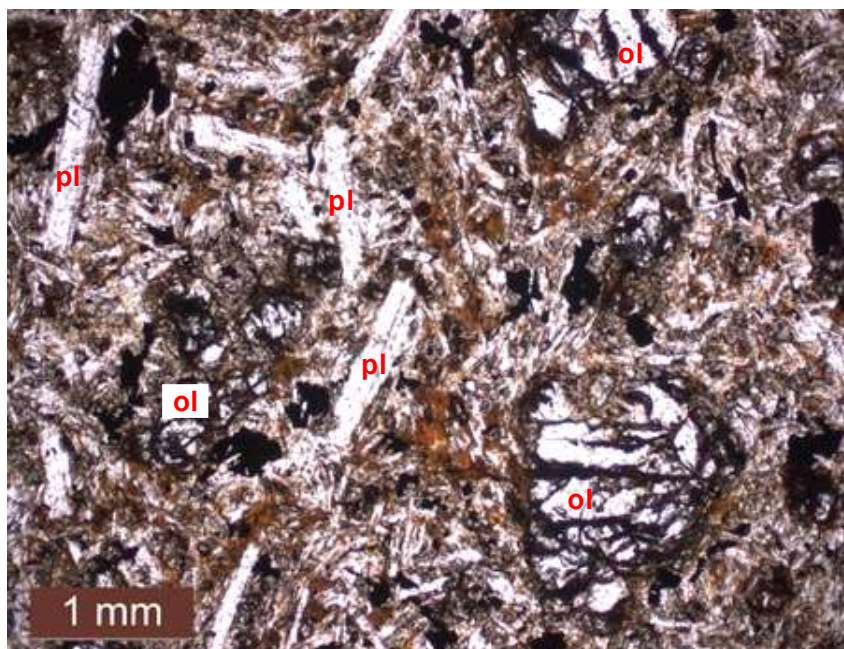
Slika 13: Uzorak br. 1337/1/1, (PPL); vezikularna tekstura i porfiriska struktura (sa elementima intersertalne), izgrađene od mikro fenokristala olivina (bezbojni, visokog reljefa sa tankim pukotinama) i hipokristalaste osnovne mase izgrađene od piroksena (prevlađuje; blede smeđe siva), retkih igličastih kristala plagioklasa, neprovidnih (metaličnih) minerala i relikata vulkanskog stakla (tamno braon)



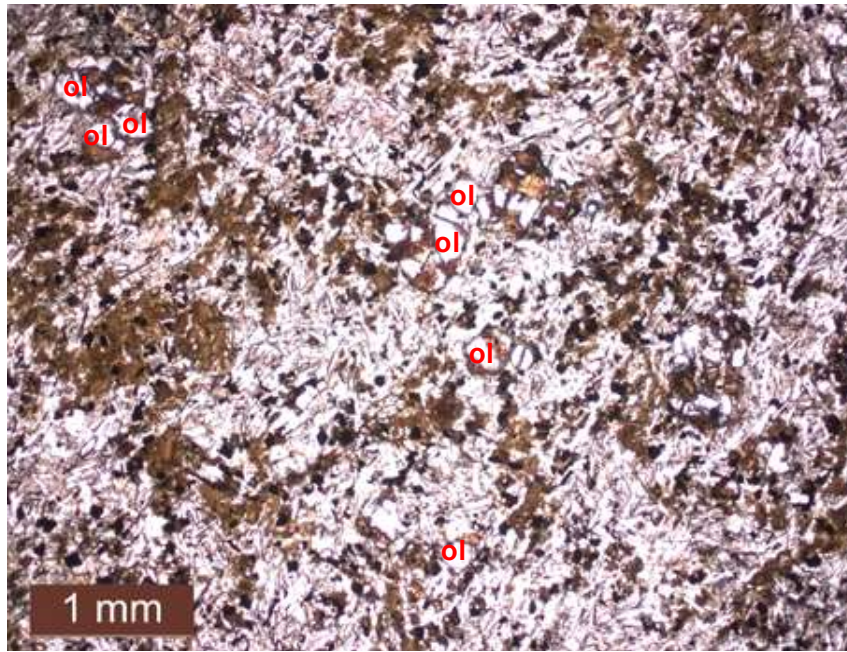
Slika 14: Uzorak br. 1343/1/1, (PPL); Ovaj preparat pokazuje mikro finokristale olivina (bezbojni, visokog reljefa, sa tankim pukotinama) i hipokristalasta osnovna masa od piroksena (blede smeđe siva), sitnih igličastih plagioklasa (beli izduženi oblici), neprovidnih (metaličnih) minerala i relikata vulkanskog stakla (tamno braon)



Slika 15: Uzorak br. 7100/1/1, (PPL); Stena masivne (slabo izražene amigdaloidne) teksture i porfirske strukture (sa elementima glomeroporfirske i intergranularne), izgradjenu od fenokristala olivina (ol-i) potpuno zamenjenih idingsitom - crvenkastosmede boje, fenokristala belih izduženi kristala plagioklasa (pl) i holokristalaste osnovne mase sa obiljem igličastih plagioklasa, sitnih zrna piroksena, neprovidnih minerala i mandola zapunjenih kalcitom (cc).



Slika 16: Uzorak br. 7109/1/1, (PPL); Fenokristali olivina (ol; bezbojna zrna, visokog reljefa, sa puno pukotina), fenokristali plagioklasa (pl, beli izduženi oblici) i hipokristalasta osnovna masa izgrađena od mikrolita plagioklasa i piroksena (bledo smeđe sivo), opakih minerala (crno) i relikata vulkanskog stakla (smeđe) u međuprostorima.



Slika 17: Uzorak br. 7172/1/1, (PPL); stena masivne teksture i ofitske i porfirske strukture (sa elementima intersertalne i intergranularne), izgrađena od olivina, piroksena i plagioklasa, kao bitnih minerala, kao i od vulkanskog stakla i opakih-neprovidnih minerala (crno); najmarkantniji su mikro fenokristali olivina (visokog reljefa, bezbojni, i relikti nerekristalisalog vulkanskog stakla (smeđe intersticijske forme).

BIOGRAFIJA

Faisal Abusahmin rođen je 17. jula 1969. godine u mestu Zwara – Libija, i libijski je državljanin. Osnovne akademske (bachelor) studije upisao je na Univerzitetu u Tripoliju, fakultet prirodnih nauka, departman za geologiju, 1991. godine i iste završio 1994. godine. Na istom departmanu Univerziteta u Tripoliju stekao je titulu Mastera geoloških nauka (Geochemija) u periodu 2005 – 2010 sa temom master rada "Origin and Geologic Evaluation of Umm Ar Razam Clays, Al Faidiyah Formation, NE Libya".

Faisal Abusahmin je od 1998-2014 bio zaposlen u Industrijskom istraživačkom centru (IRC), departmanu za geološka istraživanja i rudarstvo u Tripoliju, Libija. Školske 2014/2015. godine Faisal Abusahmin upisao je doktorske studije na Univerzitetu u Beogradu - Rudarsko-geološkom fakultetu, na studijskom programu - Geologija.

Faisal Abusahmin učestvovao je na brojnim istraživačkim projektima, finansiranim od strane odgovarajućih institucija u Libiji:

- Geološka studija ruda gipsa za fabriku cementa u Bengaziju, Libija (1998 – 2000);
- Izrada geološke karte u južnoj Libiji sa timom iz Mađarske (2001-2003);
- Geološka i rudarska studija za fabriku cementa Zliten u Libiji (2004);
- Više geoloških studija za gline i druge nemetalične mineralne sirovine koje koristi industrija u Libiji (2005- 2008);
- Geološka i rudarska studija za magmatske stene Libije kao sirovine za mineralnu vunu (2007-2008);
- Geološka i rudarska studija za rudu gvožđa u Wadi Al Shati, JZ Libija, (2009-2011).

Faisal Abusahmin usavršavao se na sledećim projektima:

- Saradnja sa Engineering College (Tripoli University) sa temom primena rendgenske difrakcije u geologiji (2011-2012);
- Saradnja sa Engineering College (Zwara University) sa temom sedimentologija – strukturna geologija (2011-2012).

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Faisal A. Abusahmin

Број индекса Г802/14

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Geologija i potencijalnost bazalta područja Jabal Eghei (Libija)

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, 28.02.2020

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Faisal A. Abusahmin

Број индекса G802/14

Студијски програм Geologija

Наслов рада Geologija i potencijalnost bazalta područja Jabal Eghei (Libija)

Ментор Prof. dr Vladimir Simić i prof. dr Marinko Toljić

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, 28.02.2020

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Geologija i potencijalnost bazalta područja Jabal Eghei (Libija)

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
- ③ Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, 28.02.2020

1. **Ауторство.** Дозвољава те умножава ње, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољава те умножава ње, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољава те умножава ње, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – дели ти под истим условима.** Дозвољава те умножава ње, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољава те умножава ње, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – дели ти под истим условима.** Дозвољава те умножава ње, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.