

# Vizualna procjena čvrstoće uzoraka na primjeru vapnenaca iz Istre

---

**Berghaus, Tin**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:977325>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-05**



*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

**VIZUALNA PROCJENA ČVRSTOĆE UZORAKA NA  
PRIMJERU VAPNENACA IZ ISTRE**

Diplomski rad

Tin Berghaus

GI 442

Zagreb, 2022.



KLASA: 602-01/22-01/204  
URBROJ: 251-70-15-22-2  
U Zagrebu, 07.12.2022.

Tim Berghaus, student

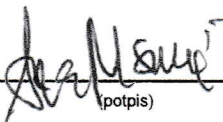
## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/204, URBROJ: 251-70-15-22-1 od 04.11.2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### VIZUALNA PROCJENA ČVRSTOĆE UZORKA NA PRIMJERU VAPNENCA IZ ISTRE

Za mentoricu ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada izv.prof.dr.sc. Ana Maričić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i komentora Dr.sc. Davor Pollak.


Mentorica:

  
\_\_\_\_\_  
(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Ana Maričić

\_\_\_\_\_  
(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

  
\_\_\_\_\_  
(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

\_\_\_\_\_  
(titula, ime i prezime)

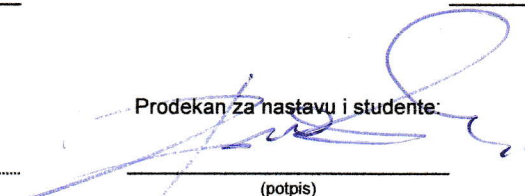


\_\_\_\_\_  
(potpis)

Dr.sc. Davor Pollak

\_\_\_\_\_  
(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

  
\_\_\_\_\_  
(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje  
Pašić

\_\_\_\_\_  
(titula, ime i prezime)

## VIZUALNA PROCJENA ČVRSTOĆE UZORAKA NA PRIMJERU VAPNENACA IZ ISTRE

Tin Berghaus

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Sažetak

U diplomskom radu na 96 uzoraka, šest varijeteta vapnenaca iz Istre provedeno je mikroskopsko određivanje značajki uzoraka, vizualno određivanje čvrstoće uzoraka i mjerenje brzine prolaska P – valova kroz uzorke. Koristeći determinirane stjenke značajke vapnenaca i vrijednosti brzina prolaska P – valova kroz uzorke, izračunata je jednoosna tlačna čvrstoća i napravljena je klasifikacija uzoraka. Uzorci su klasificirani prema IAEG (1979), ISRM (1981) i ISO (2003) klasifikacijama. Uzorci četiri od ispitanih šest varijeteta su ispravno klasificirani prema sve tri klasifikacije. S obzirom na dobivene rezultate, metoda se pokazala uspješnom za stijene, čija vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće prelazi 100 MPa.

Ključne riječi: karbonati, jednoosna tlačna čvrstoća, stjenke značajke, brzina P – valova, klasifikacija

Završni rad sadrži: 56 stranica, 31 tablicu, 33 slike i 21 referencu

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentori: izv. prof. dr. sc. Ana Maričić  
dr. sc. Davor Pollak, HGI

Pomagao pri izradi/komentor: dr.sc. Vlatko Gulam, HGI  
Nedeljko Stanić, geološki tehničar, HGI

Ocjenjivači: Dr.sc. Ana Maričić, izvanredni profesor RGNF  
Dr. sc. Zlatko Briševac, izvanredni profesor RGNF  
Dr. sc. Dario Perković, izvanredni profesor RGNF  
Dr. sc. Davor Pollak, HGI

VISUAL APPROXIMATION OF STRENGTH OF SAMPLES BASED ON LIMESTONES FROM ISTRIA

Tin Berghaus

Thesis completed at: University of Zagreb

Faculty of mining, Geology and Petroleum Engineering  
Institute of Mineralogy, Petrology and Mineral deposits  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

In this thesis tests were conducted on 96 samples of 6 types of limestones from Istria. These tests included microscopical determination of sample characteristics, visual determination of rock strength and measurements of P – wave velocity travelling through samples. Determined characteristics of limestones and measured values of P – wave velocity, were used for calculation of uniaxial compressive strength. Using these calculated values, classification of samples was conducted. Samples were classified using IAEG (1979.) classification, ISRM (1981.) classification and ISO (2003.) classification. Four out of six types of limestone were classified correctly, according to all three classifications. Based on achieved results, method has proven successful for rocks, which have uniaxial compressive strength over 100 MPa.

Keywords: carbonate rock, uniaxial compressive strength, rock characteristics, P – wave velocity, classification

Thesis contains: 56 pages, 31 tables, 33 figures, and 21 references.

Original in: Croatian

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

Supervisors: Full professor Ana Maričić, PhD  
Davor Pollak, PhD, Croatian Geological Survey

Tech. assistance: Vlatko Gulam, PhD, Croatian Geological Survey  
Nedeljko Stanić, geological technician, Croatian Geological Survey

Reviewers: Full Professor Ana Maričić, PhD  
Associate Professor Zlatko Briševac, PhD  
Assistant Professor Dario Perković, PhD  
Davor Pollak, PhD, Croatian Geological Survey

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA PROCJENE ČVRSTOĆE UZORAKA.....	2
3. MATERIJAL I METODOLOGIJA .....	5
3.1 Vapnenci iz Istre .....	5
3.2 Metoda određivanja makro i mikropetrografskih karakteristika uzoraka.....	7
3.3 Inženjerskogeološka vizualna determinacija važnijih litoloških značajki i defekata.....	8
3.4 Određivanje brzine prolaska ultrazvučnih p-valova .....	11
3.5 Procjena jednoosne tlačne čvrstoće preko brzina prolaska P-valova.....	12
3.6 Izračun procijenjenih UCS vrijednosti.....	13
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA .....	15
4.1 Makro i mikro vizualne karakteristike uzoraka .....	15
4.1.1 Uzorci iz kamenoloma Kirmenjak – svijetli varijetet .....	15
4.1.2 Uzorci iz kamenoloma Kirmenjak – tamni varijetet .....	17
4.1.3 Uzorci iz kamenoloma Kanfanar .....	19
4.1.4 Uzorci iz kamenoloma Selina .....	22
4.1.5 Uzorci iz kamenoloma Valtura – varijetet fiorito .....	25
4.1.6 Uzorci iz kamenoloma Valtura – varijetet unito .....	28
4.2 Rezultati određivanja brzine prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke .....	31
4.3 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće preko brzina P-valova .....	34
4.4 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće preko vizualnog određivanja stjenskih značajki .....	37
5. DISKUSIJA .....	41
5.1 Petrografske značajke .....	41
5.2 Brzina prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke.....	43
5.3 Izračunata jednoosna tlačna čvrstoća.....	45
5.4 Klasifikacija uzoraka .....	50

6. ZAKLJUČAK.....	54
7. LITERATURA .....	55

## POPIS SLIKA

Slika 3.1 Isječak iz lista OGK 1:300 000 list Istra, sa označenim lokacijama kamenoloma (Hrvatski geološki institut, 2009.) .....	6
Slika 3.2 Legenda kartiranih jedinica Osnovne geološke karte 1:300 000 list Istra (Hrvatski geološki institut, 2009) .....	6
Slika 3.3 Uzorci s označenim intervalima za slikanje. ....	10
Slika 3.4 Aparatura za slikanje uzoraka.....	11
Slika 3.5 Mjerenje vremena prolaska ultrazvučnih valova. ....	12
Slika 4.1 Razvijen plašt uzorka svijetlog varijeteta Kirmenjaka laboratorijske oznake KIR-V-A-UCS-3. Uzorak je blijedo žute boje. Na njemu se uočavaju stiloliti povezani u nepravilnu mrežu. ....	16
Slika 4.2 Mikrofotografija svijetlog varijeteta Kirmenjaka u kojem je vidljiv gusti mikrit s pokojom tankom žiicom. ....	17
Slika 4.3 Razvijen plašt uzorka tamnog varijeteta Kirmenjaka laboratorijske oznake KIR-T-A-UCS-8. Na uzorku se vidi laminacija, kao prijelaz iz tamnog prema svijetlom varijetetu kirmenjaka. Na plaštu su vidljivi stilolitski šavovi koji su paralelni s bazama. Vidljive su i onkoidi te kalcitna zrna .....	18
Slika 4.4 Mikrofotografija uzorka tamnog varijeteta Kirmenjaka – onkomikrit. Na slici se vide kristali sparita, veličine do 0,5 mm oko kojih se nalaze mikritni onkoidi, veličine od 1 do 2 mm. Na slici su vidljive i pore veličine do 0,2 mm. ....	19
Slika 4.5 Plašt uzorka iz Kanfanara laboratorijske oznake KAN-IV-A-UCS-11. Uzorak je tamno žute boje, a tamniji dijelovi su onkoidi. Na uzorku su vidljivi stiloliti paralelni s bazama. ....	20
Slika 4.6 Mikrofotografija uzorka Kanfanara – onkomikrudit. Na slici su vidljive zone u kojima su onkoidi gusto raspoređeni te su u njima vidljivi kristali sparita.....	21
Slika 4.7 Mikrofotografija uzorka Kanfanara – zona s mikritom s raznim bioklastima među kojima foraminifere .....	21

Slika 4.8 Razvijen plašt uzorka Selina laboratorijske oznake SEL-T-A-UCS-16. Uzorak je svijetlo žute boje, s tamnijim zonama koje tvore onkoide. Na plaštu se vide stiloliti paralelni s bazama.....	22
Slika 4.9 Mikrofotografija uzorka Selina – biomikrit. Na slici se vide ostaci algi i ljuštura školjkaša u mikritu.....	24
Slika 4.10 Mikrofotografija uzorka Selina. Na slici se vidi onkoid s algom okružen mikritom.....	24
Slika 4.11 Razvijen plašt uzorka Valtura fiorito laboratorijske oznake VAL-F-A-UCS-4. Uzorak je blijedo žute boje, s tamnim ljušturama školjkaša većim od 2 mm. Veći ostaci ljuštura su nehomogeno raspoređeni. Na plaštu je vidljivo i gusto raspoređeno sitno kršje rudistnih školjkaša.....	25
Slika 4.12 Mikrofotografija uzorka Valtura fiorito – biomikrudit, ostaci ljuštura rudista	27
Slika 4.13 Mikrofotografija uzorka Valtura fiorito – biomikrudit, ostaci ljuštura rudista	27
Slika 4.14 Plašta uzorka Valtura unito laboratorijske oznake VAL-U-A-UCS-2. Uzorak je blijedo žute boje s homogeno raspoređenim kršjem ostataka rudista, čija je veličina kod većine ostataka do 2 mm. Tek mali broj komponenti ( manje od 10 % ima veličinu veću od 2 mm).....	28
Slika 4.15 Mikrofotografija uzorka Valtura unito – biomikrit, ljuštura rudista veličine do 2 mm. ....	30
Slika 4.16 Mikrofotografija uzorka Valtura unito – biomikrit, kršje ljuštura rudista veličine do 2 mm.....	30
Slika 5.1 Grafički prikaz prolaska brzine ultrazvučnih valova kroz uzorke. Na x – osi prikazani redni brojevi uzoraka, a na y – osi su prikazane brzine prolaska ultrazvučnih valova.....	43
Slika 5.2 Uvećani plašt uzorka KIR-T-A-UCS-2, čiji je intenzitet raspucanosti okarakteriziran kao slab. ....	46
Slika 5.3 Uvećanje plašta uzorka KIR-T-A-UCS-3, čiji je intenzitet raspucanosti okarakteriziran kao umjeren.....	47
Slika 5.4 Uvećanje plašta uzorka KIR-V-A-UCS-4, čiji je intenzitet raspucanosti okarakteriziran kao izražen. ....	47
Slika 5.5 Uvećanje plašta uzorka KIR-V-A-UCS-5, čiji je intenzitet raspucanosti okarakteriziran kao vrlo izražen.....	47
Slika 5.6 Uvećanje plašta uzorka KAN-IV-A-UCS-10, čiji je intenzitet raspucanosti okarakteriziran kao umjeren.....	48



Slika 5.7 Uvećanje plašta uzorka KAN-IV-A-UCS-11, čiji je intenzitet raspucanosti .....	48
Slika 5.8 Uvećanje plašta uzorka SEL-T-A-UCS-5, čiji je intenzitet raspucanosti okarakteriziran kao izražen. ....	48
Slika 5.9 Uvećanje plašta uzorka SEL-T-A-UCS-8, čiji je intenzitet raspucanosti okarakteriziran kao umjeren. ....	49
Slika 5.10 Uvećanje plašta uzorka VAL-F-A-UCS-5, na kojem nisu uočeni defekti .....	49
Slika 5.11 Uvećanje plašta uzorka VAL-U-A-UCS-7, no kome nisu uočeni defekti .....	49
Slika 5.12 Grafički prikaz korelacije izračunatog UCS-a i brzina prolaska ultrazvučnih valova. ....	53

## **POPIS TABLICA**

Tablica 3.1 Klase potpore, defekata i poroznosti uzorkaka .....	9
Tablica 3.2 Bodovanje stjenskih značajki i njihovih međusobnih interakcija ( preuzeto iz POLLAK et al., 2017). ....	14
Tablica 4.1 Karakteristike uzoraka svijetlog varijeteta Kirmenjaka .....	16
Tablica 4.2 Karakteristike uzoraka tamnog varijeteta Kirmenjaka .....	18
Tablica 4.3 Karakteristike uzoraka Kanfanara .....	20
Tablica 4.4 Karakteristike uzoraka Selina. ....	23
Tablica 4.5 Karakteristike uzoraka Valtura fiorito. ....	26
Tablica 4.6 Karakteristike uzoraka Valtura unito. ....	29
Tablica 4.7 Brzine prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke svijetlog varijeteta Kirmenjaka. ....	31
Tablica 4.8 Brzine prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke tamnog varijeteta Kirmenjaka. ....	31
Tablica 4.9 Brzine prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke Kanfanara .....	32
Tablica 4.10 Brzine prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke Selina. ....	32
Tablica 4.11 Brzine prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke Valtura fiorito. ....	33
Tablica 4.12 Brzine prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke Valtura unito. ....	33
Tablica 4.13 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće pomoću brzina prolaska P-valova kroz uzorke svijetlog varijeteta Kirmenjaka. ....	34
Tablica 4.14 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće pomoću brzina prolaska P-valova kroz uzorke tamnog varijeteta Kirmenjaka .....	35
Tablica 4.15 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće pomoću brzina prolaska P-valova kroz uzorke Kanfanara .....	35

Tablica 4.16 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće pomoću brzina prolaska P-valova kroz uzorke Selina.....	36
Tablica 4.17 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće pomoću brzina prolaska P-valova kroz uzorke Valtura fiorito .....	36
Tablica 4.18 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće pomoću brzina prolaska P-valova kroz uzorke Valtura fiorito.....	37
Tablica 4.19 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka svijetlog varijeteta Kirmenjaka prema formuli 3-7.....	38
Tablica 4.20 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka tamnog varijeteta Kirmenjaka prema formuli 3-7.....	38
Tablica 4.21 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće Kanfanara prema formuli 3-7.39	
Tablica 4.22 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka Selina prema formuli 3-7 .....	39
Tablica 4.23 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka Valtura fiorito prema formuli 3-7.....	40
Tablica 4.24 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka Valtur unito prema formuli 3-1.....	40
Tablica 5.1 Srednje vrijednosti brzina prolaska valova kroz uzorke za određene varijetete i prema determiniranim značajkama .....	44
Tablica 5.2 Tablica usporedbe vizualne procjene jednoosne tlačne čvrstoće s izračunatim UCS vrijednostima iz $v_p$ prema različitim autorima.....	45
Tablica 5.3 Klasifikacije stijena prema čvrstoći.....	50
Tablica 5.4 Tablica klasifikacije uzoraka koristeći standardne vrijednosti čvrstoće i vrijednosti čvrstoće izračunate preko vizualnog određivanja stjenskih značajki.....	51
Tablica 5.5 Klasifikacija uzoraka prema vrijednostim jednoosne tlačne čvrstoće preko brzina prolaska P – valova kroz uzorke .....	51

# 1. UVOD

Jednoosna tlačna čvrstoća se u laboratoriju odeđuje prema standardiziranom postupku (ISRM, 1979), no metode priprema uzoraka za provođenje takvih testova su zahtjevne i uzimaju puno vremena. Na terenu se stoga provode indeksni testovi za neizravno određivanje čvrstoće stijena, poput: *point load testa* ili Schmidtovog čekića. No da bi se izvukli zaključci iz takvih mjerenja potrebno je provesti velik broj testova. Stoga je cilj ovog diplomskog rada svladati tehnike vizualne determinacije uzorka, čime bi se omogućilo brže određivanje približne jednoosne tlačne čvrstoće u relativnoj veličini izravno na terenu. Takvi približni podaci se koriste u preliminarnim ili prospekcijskim istraživanjima terena a daju vrijedne inženjerske informacije ili prve spoznaje o mehaničkim značajkama materijala. Također se koriste prilikom planiranja detaljnih istraživanja ili inženjerskih zahvata za koje detaljniji podaci o čvrstoći materijala nisu potrebni.

Ispitivanja su provedena na Hrvatskom geološkom institutu, na Zavodu za hidrogeologiju i inženjersku geologiju u inženjerskogeološkom laboratoriju. Ispitivanja su provedena na 96 uzoraka iz blokova vapnenaca (približno 30x30x30 cm) dobivenih iz kamenoloma: Kanfanar (16 uzoraka), Kirmenjak (16 uzoraka svijetlog i 16 uzoraka tamnog varijeteta), Selina (16 uzoraka) i Valtura (16 uzoraka varijeteta fiorito i 16 uzoraka varijeteta unito). Pri ispitivanju su se koristile sljedeće metode: mikropetrografska analiza, metoda vizualne procjene čvrstoće, određivanje brzine prolaska valova kroz stijenu ultrazvukom i procjena vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće preko brzina prolaska P-valova. Dobiveni rezultati su međusobno uspoređivani i korelirani te je u skladu s njima napravljena klasifikacija stijena prema čvrstoći.

## 2. PRETHODNA ISTRAŽIVANJA PROCJENE ČVRSTOĆE UZORAKA

Jednoosna tlačna čvrstoća je jedno od najvažnijih mehaničkih svojstava stijene. Ona ovisi o: vrsti stijene, teksturi, strukturi, veličini zrna, vezama među česticama, trošnosti, mikropukotinama, ostalim defektima, poroznosti, vlažnosti i temperaturi. Jednoosna tlačna čvrstoća je ključno svojstvo koje se koristi u inženjerskim radovima u stijeni te pri određivanju upotrebe kamena. Točne vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće određuju se laboratorijski. Na terenu se u izostanku točnih vrijednosti koriste indeksni testovi kao što su *point load test* i Schmidov čekić. Ovi testovi nisu precizni, ali njihovi rezultati mogu biti dovoljni za približno određivanje mehaničkih parametara materijala. Radi povećanja ekonomičnosti i učinkovitosti, velik broj autora je provelo različita istraživanja čiji je cilj bio procijeniti čvrstoću ispitanih stijena pomoću empirijskih formula koje koriste vrijednosti sljedećih testiranja: *point load test*, Schmidov čekić, brzine prolaska ultrazvučnih valova, *block punch indeks* i brazilskog testa.

KILIC et al. (2008) su statističkim jednadžbama ustanovili povezanost između *point load indexa*, brzine prolaska P – valova, Schmidovog čekića, poroznosti i jednoosne tlačne čvrstoće. Testiranje je provedeno na 19 različitih tipova stijena. Provedena je regresijska analiza rezultata, koja je pokazala zadovoljavajuću korelaciju između testova i jednoosne tlačne čvrstoće. Najveća korelacija je postignuta koristeći vrijednosti *point load indexa* ( $R^2 = 0,98$ ), dok su vrijednosti mjerenja Schmidovim čekićem i mjerenja brzine prolaska P – valova pokazale korelaciju  $R^2 = 0,94$ . Najmanju korelaciju je postignuta koristeći vrijednosti poroznosti  $R^2 = 0,93$ .

TOROK et al. (2010) proveli su testove određivanja gustoće i efektivne poroznosti, brzine prolaska valova te jednoosne tlačne čvrstoće. Ispitivanja su provedena na vlažnim i suhim uzorcima laminiranog i masivnog travertina. Provedene su statističke analize te je ustanovljena korelacija između jednoosne tlačne čvrstoće i ispitivanih svojstava. Rezultati su pokazali najveću korelaciju između brzina prolaska ultrazvučnih valova i jednoosne tlačne čvrstoće,  $R^2 = 0,828$  za suhe uzorke i  $R^2 = 0,809$  za vlažne uzorke.

U radu AJALLOEIAN et al. (2013) korelacijskom analizom i multivarijacijskom analizom je promatran utjecaj fizičkih i petrografskih značajki karbonata na mehanička svojstva. Pri ispitivanju karbonati su podijeljeni na dvije grupe: autohtone i alohtone. Rezultati su pokazali povezanost između jednoosne tlačne čvrstoće i Youngovog modula sa sljedećim petrografskim svojstvima: udjelom dolomita, udjelom alokema, veličinom zrna i udjelom karbonata. Korelacija između svojstava autohtonih i svojstava alohtonih uzoraka s izmjerenim vrijednostima jednoosne tlačne čvrstoće je pokazala kako najveći utjecaj na uzorke ima udio dolomita,  $R^2 = 0,739$  za autohtone i  $R^2 = 0,537$  za alohtone uzorke. U autohtonim skupinama karbonata je ustanovljena i inverzna korelacija između čvrstoće uzoraka i veličine zrna,  $R^2 = -0,671$ .

U članku BRIŠEVAC et al. (2017) su provedena sljedeća laboratorijska ispitivanja uzoraka varijeteta Giallo di Istria: određivanje gustoće i efektivne poroznosti, određivanje brzine prolaska ultrazvučnih P-valova, *point load test*, Schmidtov čekić i određivanje jednoosne tlačne čvrstoće. Pomoću dobivenih rezultata se išlo u izračun jednoosne tlačne čvrstoće i Youngovog modula, metodom jednostavne regresije, metodom višestruke regresije te pomoću neuralne mreže. Najbolje rezultati su dobiveni s pomoću neuralne mreže, no zaključeno je kako metoda jednostavne regresije ne bi smjela biti zapostavljena zbog svoje jednostavnosti i mogućnosti brze primjene na terenu.

U svom radu ALDEJARE (2020) je koristeći podatke *point load* čvrstoće ( $Is(50)$ ), visine odbijanja Schmidtovog čekića (SRH), *block punch index* (BPI), efektivne poroznosti i gustoće kao ulazne vrijednosti 27 empirijskih formula korištenih za izračun jednoosne tlačne čvrstoće. Izračunate vrijednosti su poslije uspoređene s izmjerenim vrijednostima jednoosne tlačne čvrstoće. Ispitivanje je provedeno na uzorcima granita, škriljavca i pješčenjaka. Rezultati su pokazali kako je samo 5 od 27 korištenih empirijskih jednadžbi dalo zadovoljavajuće rezultate u procjeni jednoosne tlačne čvrstoće. Također se pokazalo da su sve ove jednadžbe sadržavale vrijednost *point load* čvrstoće ( $Is(50)$ ), te je zaključeno da je ona najpouzdanija indeksna vrijednost pri procjenjivanju jednoosne tlačne čvrstoće.

Unatoč brojnim istraživanjima koja su se bavila procjenom čvrstoće preko različitih parametara, mali broj istraživanja je provedeno u pokušaju izravnog vizualnog procjenjivanja čvrstoće, tj. procjenjivanja bez prethodno provedenih ispitivanja.

U članku POLLAK et al. (2017) ispitano je 231 uzoraka vapnenaca iz Hrvatske. Korištenjem ANOVA metode su određivani statistički utjecajni parametri karbonatnih stijena koji utječu na jednoosnu tlačnu čvrstoću i njihove optimalne klase. Zaključilo se kako najveći utjecaj imaju 4 parametra: litologija, potpora, defekti i poroznost stoga je ovakva metoda određivanja jednoosne tlačne čvrstoće nazvana LFDP (Lithology, Fabric, Defects, Porosity) metoda. ANOVA metoda je korištena i da bi se pronašao statistički značajan model koji bi sadržavao četiri prethodno spomenute značajke te njihove međusobne interakcije. Iz rezultata ispitivanja je zaključeno kako je metoda dovoljno pouzdana za upotrebu u inženjersko geološke svrhe na karbonatnim stijenama u Hrvatskoj, ali i da bi trebalo ispitati je li pogodna za korištenje u lokalnim uvjetima.

INCE et al. (2019) su se u svom radu bavili procjenom jednoosne tlačne čvrstoće piroklastičnih stijena u zapadnoj i srednjoj Anatoliji (Turska), metodom višestruke linearne regresije (MLR) i korištenjem umjetne inteligencije tehnikom *gene expression programming* (GEP). U radu je zaključeno kako GEP metoda daje bolje rezultate, nego MLR metoda. Koeficijent korelacije ( $R^2$ ) za vrijednosti dobivene GEP modelom su iznosile od 0,8859 i 0,9325. Stoga je zaključeno kako GEP model daje iznimno dobre rezultate pri predviđanju jednoosne tlačne čvrstoće.

### 3. MATERIJAL I METODOLOGIJA

Za potrebe izrade ovog diplomskog rada uzorci vapnenaca su makroskopski i mikroskopski determinirani te su im određene važnije litološke značajke i defekti u svrhu vizualnog određivanja čvrstoće uzoraka. Nakon toga se na uzorcima mjerila brzina prolaska ultrazvučnih valova, a posljednji korak je bio izračunati jednoosnu tlačnu čvrstoću s obzirom na određene litološke značajke uzoraka. Mjerenja prolaska ultrazvučnih valova provedena su radi dobivanja konkretnih vrijednosti, koje služe za usporedbu i provjeru rezultata dobivenih vizualnim određivanjem čvrstoće. Mjerenja su provedena na intaktnim uzorcima. Intaktni uzorci su cilindričnog oblika, dobiveni iz bloka za koji se pretpostavlja da mu je čvrstoća reprezentativna za cijelu izvornu stijensku masu iz koje je uzorkovan.

#### 3.1 Vapnenci iz Istre

Svi uzorci obrađeni u ovom diplomskom radu su varijeteti vapnenaca iz Istre uzorkovani iz sljedećih kamenoloma: Kirmenjak, Kanfanar, Selina i Valtura. Lokacije kamenoloma su označene na geološkoj karti mjerila 1 : 300 000. (SLIKA 3.1 i SLIKA 3.2). Naslage iz kamenoloma Kirmenjak su gornjojurske starosti. Pripadaju jedinicama stilolitiziranim debeloslojevitim mudstonima gornjeg titona. Dobro su izražene slojevitosti, koja obično iznosi od 100 do 170 cm (VELIĆ & VLAHOVIĆ, 1995). Naslage iz kamenoloma Selina i Kanfanar su donjokredne starosti. Riječ je o jedinicama masivnih onkolitnih vapnenaca donjeg apta, koji mogu biti debeli i do 18 m. Glavno biofacijesno obilježje im je masovna pojava fosila *Bacinnella iregularis* (VELIĆ & VLAHOVIĆ, 1995). Naslage kamenoloma Valtura su gornjokredne starosti, a pripadaju masivnim donjocenomanskim dondrotno – rudistnim vapnencima. Riječ je o masovnim vapnencima u kojima se izmjenjuju tri vrste komercijalnog kamena: *staurario*, *unito* i *fiorito*. Naslage mogu biti debele do 40 m (VELIĆ & VLAHOVIĆ, 1995).



Slika 3.1 Isječak iz lista OGC 1:300 000 list Istra, s označenim lokacijama kamenoloma (Hrvatski geološki institut, 2009).

### Legenda

- Kontinuirani prijelaz (normalna granica)
- ⋯ Erozijska i/ili tektonsko-erozijska granica
- Rasjed bez oznake karaktera: utvrđen
- - - Rasjed bez oznake karaktera: pokriven
- ⊥ Reversni rasjed: utvrđen
- ⊥ Reversni rasjed: pokriven
- Državna granica
- Obalna linija
- VAPNENCI I DOLOMITI (gornja jura)
- VAPNENCI I DOLOMITI (donja kreda)
- DOLOMITI I POSTSEDIMENTACIJSKE DIJAGENETSKE BREČE (gornji alb, donji cenoman)
- RUDISTNI VAPNENCI (cenoman - mastriht)
- LIBURNIJSKE NASLAGE, FORAMINIFERSKI VAPNENCI I PRIJELAZNE NASLAGE (?gornji paleocen, donji i srednji eocen)
- FLIŠNE NASLAGE (srednji i gornji eocen)
- CRVENICA (holocen)
- JEZERSKE NASLAGE (holocen)
- ALUVIJALNE NASLAGE (holocen)

Slika 3.2 Legenda kartiranih jedinica Osnovne geološke karte 1:300 000 list Istra (Hrvatski geološki institut, 2009).



Dva su varijeteta uzoraka Kirmenjaka: tamni i svijetli. Ovo su mikritni vapnenci, koji nastaju taloženjem u plitkim nisko energetske okolišima, a ističu se stilolitskim šavovima. Šavovi su izraženiji kod svijetlog varijeteta te su izrazito trošni po rubovima. Kod tamnog varijeteta oni su zatvoreni i nisu trošni, što ih čini i čvršćima (FIO FIRI & MARIČIĆ, 2020).

Uzorci iz Kanfanara i Selina oboje pripadaju u grupu varijeteta trgovačkog naziva Istarski žuti. Oboje su onkoidni vapnenci, onkoidni floatstoni. Talože se u okolišima s ograničenim taloženjem karbonatnog mulja, a gdje izražena prisutnost algi (FIO FIRI & MARIČIĆ, 2020). Stiloliti su također važno obilježje ovih varijeteta. Stiloliti su nepravilniji i međusobno bolje povezani, nego oni kod Kirmenjaka.

Iz kamenoloma Valtura obradili su se uzorci dva varijeteta Valtura Fiorito i Valtura Unito. Riječ je o rudistnim vapnencima, koji na sebi nemaju vidljive defekte poput stilolita. Dva varijeteta se međusobno razlikuju po veličini ljuštura o čemu im ovisi i čvrstoća. Kod Vulture Unito one su manje, nego kod Vulture Fiorito, što čini te uzorke čvršćim.

### **3.2 Metoda određivanja makro i mikropetrografskih karakteristika uzoraka**

Za potrebe makroskopske i mikroskopske analize uzorkovano je 6 uzoraka, po jedan za svaki varijetet, iz kojih su izrađeni mikroskopski preparati. Cilj makroskopske analize je bio klasificirati stijenu prema DUNHAMU (1962) i odrediti litološke značajke koje bi mogle imati utjecaj na čvrstoću stijene. Za mikroskopsku analizu napravljeni su mikroskopski preparati. Pri pripremi preparata bilo je potrebno je uzorke ispiliti na tanke pločice, koje se poliraju korundovim prahom te stanjuju do debljine od 0,03 mm. Kada se uzorak dovoljno stanji, lijepi se kanadskim balzomom na objektno stakalce i pokrije se pokrovnim stakalcem. Prije pokrivanja, uzorak se tretira kemikalijama, K–fericijanidom i alizarinom crvenim S, da bi se lakše razlikovalo dolomit od kalcita i promatrao odnos između dolomita i kalcita kod procesa dolomitizacije i dedolomitizacije (EVAMY & SHERMAN, 1962). Cilj mikroskopske analize bio je klasificirati stijenu prema FOLKU (1959) i odrediti mikroskopske značajke koje bi imale utjecaj na čvrstoću stijene. Mikroskopski preparati su promatrani polarizacijskim mikroskopom OPTIKA B-1000 s ugrađenom kamerom s kojom su snimljene mikrofotografije. Mikropetrografska analiza je

napravljena na Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta.

### **3.3 Inženjerskogeološka vizualna determinacija važnijih litoloških značajki i defekata**

Ova metoda se izvodi vizualnom inspekcijom golim okom i lećom na uzorcima koji su cilindričnog oblika te imaju duljinu između 2 i 2,5 puta veću od promjera. Ovako pripremljeni uzorci su pogodni za takve analize zbog svog cilindričnog oblika i ispoliranih baza, što za posljedicu ima bolju vidljivost ključnih značajki materijala. Metoda je provedena na svim varijetetima uzoraka iz svakog kamenoloma, dakle sveukupno 96 uzoraka. Uobičajenom vizualnom determinacijom se određuju parametri poput: litologije, mineralnog sastava, strukture, teksture, poroznosti i trošenja (ISO, 2003; ISRM, 1978a). Za potrebe ove analize dodatno su promatrani i defekti, zbog njihovog utjecaja na čvrstoću stijene. Stoga da bi se vizualno odredilo čvrstoću stijene promatrane su 4 osnovne značajke: litologija, potpora, defekti i poroznost. Da bi se kasnije moglo statistički jednostavnije analizirati rezultate, determinacija značajki na uzorcima nije bila deskriptivna nego su značajke podijeljene u grupe (klase) te im se kasnije pridodaju ocjene, prethodno definirane u članku: „*A visual determination method for uniaxial compressive strength estimation based on Croatian carbonate rock materials*“ (POLLAK et al., 2017), s obzirom na njihove karakteristike.

Na uzorcima je određena potpora ili slaganje, i procijenjena poroznost materijala. Defekti su podijeljeni prema širini na prsline, žilice i pukotine, te su im pridodane ocjene od 1 do 5 s obzirom na njihove karakteristike. Ocjene svojstava uzoraka su unošene u tablice (TABLICA 3.1) radi bržeg i jednostavnijeg vođenja ispitivanja. Pri određivanju litologije promatra se o kojoj se stijeni radi. U ovom istraživanju svi uzorci su determinirani kao vapnenci.

Potpورا je ovdje definirana kao fizički raspored zrna i klasta u stijeni uključujući i njihovu teksturu i strukturu. Da bi se pojednostavilo istraživanje, u obzir je uzeto kako slični teksturno/strukturni tipovi imaju slične vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće, te se takve uzorke gleda kao jedna grupa. Tako se došlo do jednostavne podijele od 6 grupa: muljevita (mudstone, weckstone, mikro kristalična), zrnata (packstone, grainstone), krupno

zrnata (floatstone, rudstone, bafflestone, framestone), laminirana (bindstone), kristalinična (fino kristalinična, srednje kristalinična, krupno kristalinična) i brečolika.

Tablica 3.1 Klase potpore, defekata i poroznosti uzorkaka.

POTPORA						
Muljevita	Zrnata	Krupno – zrnata	Laminirana	Kristalinična	Brečolika	
DEFEKTI						
Prslina	Žilica	Pukotina	Intenzitet raspucanosti (1 – 5)	Hrapavost (1 – 5)	Trošenje (1 – 5)	Ispuna (1 – 5)
POROZNOST						
Vrlo mala		Mala	Umjerena		Velika	Vrlo Velika

U ovoj metodi defektima se smatraju sva fizička oštećenja na uzorcima, kao što su pukotine, stiloliti i žile. Podijeljene su na grupe s obzirom na veličinu zijeve između stjenki: prslina (< 0,5 mm), žilice (< 5 mm) i pukotine (> 5 mm). Da bi se ocijenila njihova razina utjecaja na jednoosnu tlačnu čvrstoću promatrana su sljedeća obilježja defekata: intenzitet raspucanosti, ispuna, hrapavost i trošenje. Procjene ovih svojstava unošene su u tablice. Ocjena 1 bi označavala da na uzorku nema vidljivih defekata. Da bi se odredio intenzitet raspucanosti gleda se zastupljenost, tj. broj defekata na kvadratnoj površini veličine 5 x 5 cm na uzorku. Stoga postoje 4 intenziteta raspucanosti: slab intenzitet (ocjena 2), umjereni intenzitet (ocjena 3), izraženi intenzitet (ocjena 4) i vrlo izraženi (ocjena 5).

Ispuna je materijal koji se nalazi u defektima. Pri klasifikaciji se prvo gleda ima li je ili ne. Ukoliko ispune nema u tablicu se upisuje ocjena 2. Ukoliko ima ispune, pridodaje joj se ocjena s obzirom na to o kojem je materijalu riječ. U pukotinama ispune mogu biti sljedeće: čvrsta ispuna (kalcit, dolomit) (ocjena 3), tvrdo – meka ispuna (kalcitična glina, glina) (ocjena 4), meka ispuna (glina) (ocjena 5).

Hrapavost je klasificirana prema JRC<sub>10cm</sub> profilima (BARTON & CHOUBEY, 1977). S obzirom na karakteristike defekata razmatrane su četiri razine hrapavosti: vrlo hrapavo (ocjena 2 u tablici), hrapavo (ocjena 3 u tablici), blago hrapavo (ocjena 4 u tablici) i glatko (ocjena 5 u tablici).

Trošnost stjenki defekata je određivana s obzirom na promjenu boje stjenki, razini sekundarne poroznosti i širini trošnih zona oko defekata. Ovako promatrano došlo se do 4 razine trošenja stjenki: nema trošenja ili svježe stjenke (ocjena 2), slabo trošene (ocjena 3), srednje trošene (ocjena 4) i jako trošene (ocjena 5).

Vapnenci imaju dva tipa poroznosti: primarnu, međuzrnsku i sekundarnu, duž pukotina. Oba tipa poroznosti imaju podjednak učinak na mehanička svojstva karbonata pa je promatrana ukupna poroznost uzoraka. Poroznost se određivala na osnovi vidljivosti pora i njihovoj veličini. Tako se razlikuje pet tipova poroznosti: vrlo male (nema vidljivih pora), male (sitne pore su rijetke i vidljive pomoću leće), umjerene (velika zastupljenost sitnih pora, pore različitih dimenzija su vidljive), velike (velika zastupljenost pora veličine od par mm) i vrlo velike (velika zastupljenost pora većih od 5 mm).

Kako se ove značajke i njihov utjecaj promatraju na cijelom uzorku, svi uzorci su fotografirani na način da se dobije razvijeni cijeli plašt uzorka i njegove baze. Razvijeni plašt se dobije tako da se na uzorku označe intervali svakih 45°, dakle uzorci se dijele na 8 intervala, a baze se označe na petom intervalu (SLIKA 3.3). Prije fotografiranja uzorak se navlaži da bi njegove značajke bile vidljivije. Uzorak se postavi u nepomično uzglavlje te se potom fotografira svaki interval. Fotoaparat se namjesti okomito iznad uzorka da se zahvati cijeli interval (SLIKA 3.4). Nakon što je plašt uzorka u potpunosti fotografiran, potrebno je još slikati baze uzorka. Poslije se fotografije ubace u jedan od programa za obradu fotografija, u ovom radu je korišten Adobe Photoshop. U programu se intervali i baze međusobno spajaju u jedinstvenu sliku na kojoj se vidi razvijeni cijeli plašt uzorka.



Slika 3.3 Uzorci s označenim intervalima za slikanje.



Slika 3.4 Aparatura za slikanje uzoraka.

### 3.4 Određivanje brzine prolaska ultrazvučnih p-valova

Brzina ultrazvučnih valova se mjeri s pomoću uređaja koji se sastoji od upravljačke jedinice i dvije metalne ploče, od kojih jedna služi kao odašiljač, a druga kao detektor ultrazvučnih valova. Metoda je prema uputama ISRM 2007 provedena na svih 96 uzoraka. Cilj ove metode je pomoću brzine prolaska valova odrediti stanje materijala stijene. Mjerenja se izvode na uzorcima cilindričnog oblika koji imaju duljinu između 2 i 2,5 puta veću od promjera. Prije mjerenja se u upravljačku jedinicu unese visina uzorka u milimetrima. Mjerenje se izvodi tako da se baze uzorka premažu tankim filmom gela, a potom se uzorak postavi između odašiljača i prijemnika. Gel služi kao medij za prolazak valova, te omogućuje izravnu transmisiju valova između stijene i uređaja. Uređaj se pokrene, a na upravljačkoj jedinici se pokazuje vrijeme prolaska ultrazvučnih valova u mikro sekundama (SLIKA 3.5) Poslije 20 sekundi vrijednost na uređaju postane stalna, mjerenje se prekida i vrijeme se očita. Brzina ultrazvučnih valova se izračuna tako da se vrijednost visine uzorka podijeli s očitanom brzinom prolaska vala prema formuli (3-1).

$v = h/t$  ,  $h$  [mm] – visina uzorka,  $t$  [ $\mu$ s] – vrijeme prolaska vala kroz uzorak (3-1)



Slika 3.5 Mjerenje vremena prolaska ultrazvučnih valova.

### 3.5 Procjena jednoosne tlačne čvrstoće preko brzina prolaska P-valova

Izračun procijenjenih vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće preko brzina P – valova je proveden koristeći formule iz radova sljedećih autora: Kilic et al. (2008) (3-2), Torok et al. (2010) (3-3), Babacan et al. (2012) (3-4), Azimian (2016) (3-5) i Briševac et al. (2017) (3-6).

$$UCS = 2,314 * V_p^{2,4315} \quad (R^2 = 0,94) \quad (3-2)$$

$$UCS = 0,5474 * V_p^{3,109} \quad (R^2 = 0,828) \quad (3-3)$$

$$UCS = 0,012 * V_p^{-5,95} \quad (R^2 = 0,792) \quad (3-4)$$

$$UCS = 0,009 * V_p^{1,105} \quad (R^2 = 0,919) \quad (3-5)$$

$$UCS = 1,5991 * e^{0,7112 * V_p} \quad (R^2 = 0,5391) \quad (3-6)$$

Rezultati dobiveni izračunom preko navedenih formula su uspoređeni s rezultatima dobivenim izračunom preko formule (3-7) da bi se utvrdilo uspješnost metode vizualne procjene čvrstoće.

### 3.6 Izračun procijenjenih UCS vrijednosti

Izračun procijenjenih UCS vrijednosti je proveden koristeći podatke iz znanstvenog članka: „ *A visual determination method for uniaxial compressive strength estimation based on Croatian carbonate rock materials*“ (POLLAK et al., 2017) Prema ovim vrijednostima statistički značajnim su se pokazale sljedeće kombinacije stijenskih karakteristika: litologija/potpore, potpore/defekti i defekti/poroznost. Prema navedenom istraživanju, koristeći vrijednosti stijenskih značajki i njihovih kombinacija (TABLICA 3.2) te prosječnu vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće korištene u članku, dolazimo do formule kojom možemo procijeniti jednoosnu tlačnu čvrstoću prema formuli (3-7):

(3-7)  $UCS = UCS_{mean} + L + F + D + P + LF + FD + DP$ , gdje su:

UCS – izračunata jednoosna tlačna čvrstoća

$UCS_{mean}$  – prosječna jednoosna tlačna čvrstoća svih uzoraka (izmjerena)

L – procijenjeni utjecaj litologije

F – procijenjeni utjecaj potpore

D – procijenjeni utjecaj defekata

P – procijenjeni utjecaj poroznosti

LF – procijenjeni utjecaj interakcije između litologije i potpore

FD – procijenjeni utjecaj interakcije između potpore i defekata

DP – procijenjeni utjecaj interakcije između defekata i poroznosti



Tablica 3.2 Bodovanje stjenskih značajki i njihovih međusobnih interakcija ( preuzeto iz POLLAK et al., 2017).

Svojstva					
POTPORA	OCJENA	DEFEKTI	OCJENA	POROZNOST	OCJENA
Muljevita	5.612	Nema	67.73	Vrlo mala	57.45
Zrnata	33.17	Slabo	87.09	Mala	36.12
Krupno-zrnata	-38.12	Umjereno	-12.01	Umjerena	-22.73
Laminirana	8.77	Izraženo	12.15	Velika	-2.42
Kristalinična	-55.04	Vrlo izraženo	0	Vrlo velika	0
Brečolika	0				
Kombinacije					
LITOLOGIJA/ POTPORA	OCJENA	POTPORA/ DEFEKTI	OCJENA	DEFEKTI/ POROZNOST	OCJENA
Dolomit/Muljevito	-20.10	Muljevito/Nema	-123.05	Nema/Vrlo mala	65.61
Dolomit/Laminirano	109.31	Muljevito/Slabo	-18.16	Nema/Mala	10.52
Dolomit/Kristalinično	36.69	Muljevito/Umjereno	-15.57	Nema/Umjerena	35.72
Ostale kombinacije	0	Muljevito/Izraženo	-4.14	Nema/Velika	32.97
		Zrnata/Nema	-51.58	Slabi/Vrlo mala	9.42
		Zrnata/Slabo	-67.43	Slabi/Mala	8.05
		Zrnata/Umjereno	-42.85	Slabi/Umjerena	53.02
		Zrnata/Izraženo	-69.69	Umjereni/Vrlo mala	39.63
		Krupno-zrnata/Slabo	-38.89	Umjereni/Mala	50.97
		Krupno-zrnata/Umjereno	19.44	Umjereni/Umjerena	77.88
		Laminirano/Slabo	-73.66	Umjereni/Velika	32.12
		Laminirano/Umjereno	105.95	Izraženi/Vrlo mala	-33.01
		Laminirano/Jako	-109.03	Izraženi/Mala	5.43
		Kristalinična/Slabo	64.5	Izraženi/Umjerena	28.01
		Kristalinična/Umjereno	53.48	Izraženi/Velika	0.26
		Kristalinična/Izraženo	23.4	Druge kombinacije	0
		Druge kombinacije	0		



## 4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

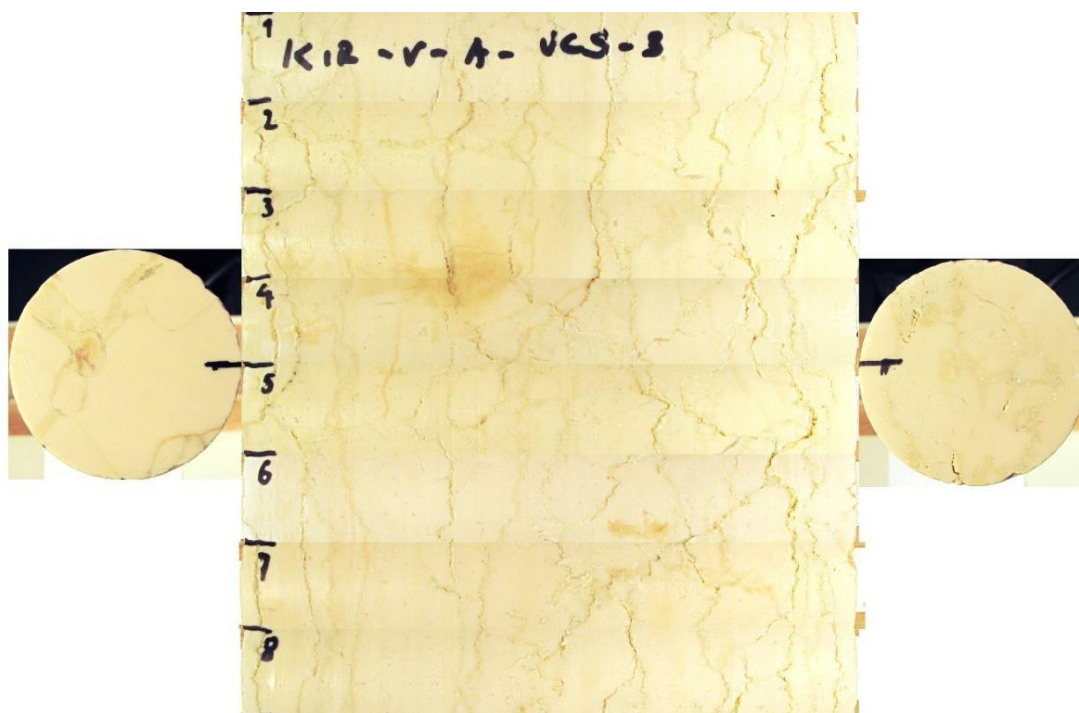
U ovom poglavlju navode se rezultati dobiveni: vizualnim određivanjem makro i mikro karakteristika uzoraka, mjerenjem brzina prolazaka ultrazvučnih valova kroz uzorke i izračunom procijenjene jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka.

### 4.1 Makro i mikro vizualne karakteristike uzoraka

Uzorci su klasificirani temeljem makroskopske i mikroskopske analize. Temeljem vizualne determinacije stijenskih značajki: litologije, potpore, defekata i poroznosti, te pridruživanjem zadanih ocjena s obzirom na njihovo stanje, izračunata je jednoosna tlačna čvrstoća uzoraka.

#### 4.1.1 Uzorci iz kamenoloma Kirmenjak – svijetli varijetet

Makroskopski na uzorcima nisu vidljiva zrna odnosno bioklasti, već se uzorci sastoje isključivo od vapnenačkog mulja. Uzorci su klasificirani kao mudstone. Uzorci su blijedo žute boje, izraženo do vrlo izraženo raspucani, preciznije opisano riječ je o stilolitima koji su izrazito dobro međusobno povezani (SLIKA 4.1). Širina im je manja od 5 mm stoga su klasificirani kao žilice. Stjenke žilica su umjereno trošene, te nemaju ispunu. Hrapavost žilica na većini uzoraka je gruba, a na nekima i izrazito gruba. Poroznost uzoraka je ocjenjena kao mala (TABLICA 4.1).

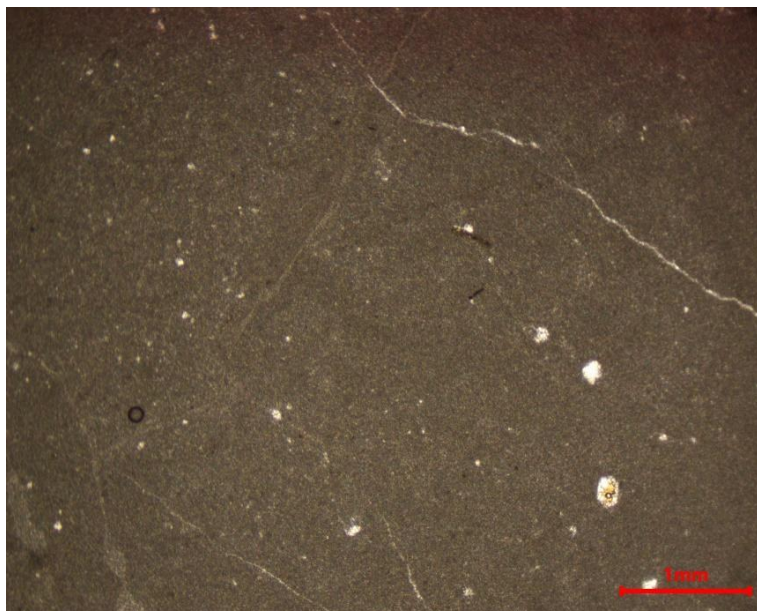


Slika 4.1 Razvijen plašt uzorka svijetlog varijeteta Kirmenjaka laboratorijske oznake KIR-V-A-UCS-3. Uzorak je blijedo žute boje. Na njemu se uočavaju stiloliti povezani u nepravilnu mrežu.

Tablica 4.1 Karakteristike uzoraka svijetlog varijeteta Kirmenjaka.

Uzorci	POTPORA		DEFEKTI				POROZNOST
	Muljevita	Žilica	Intenzitet raspucanosti (1 - 5)	Hrapavost (1-5)	Trošenje (1-5)	Ispuna (1 - 5)	Mala
KIR-V-A-UCS-1	+	+	4	3	3	2	+
KIR-V-A-UCS-2	+	+	4	2	3	2	+
KIR-V-A-UCS-3	+	+	5	2	3	2	+
KIR-V-A-UCS-4	+	+	4	3	3	2	+
KIR-V-A-UCS-5	+	+	5	2	3	2	+
KIR-V-A-UCS-6	+	+	4	3	3	2	+
KIR-V-A-UCS-7	+	+	5	2	3	2	+
KIR-V-A-UCS-8	+	+	5	2	3	2	+
KIR-V-A-UCS-9	+	+	5	2	3	2	+
KIR-V-A-UCS-10	+	+	5	3	3	2	+
KIR-V-A-UCS-11	+	+	4	3	3	2	+
KIR-V-A-UCS-12	+	+	5	3	3	2	+
KIR-V-A-UCS-13	+	+	5	3	3	2	+
KIR-V-A-UCS-14	+	+	4	3	3	2	+
KIR-V-A-UCS-15	+	+	4	3	3	2	+
KIR-V-A-UCS-16	+	+	5	3	3	2	+

U mikroskopskom preparatu svijetlog varijeteta uzorka Kirmenjaka vidljivo je da se uzorak sastoji gotovo isključivo od gustog homogenog mikrita uz rijetke pojave žilica i pukotina koje su ispunjene sparitnim cementom. U uzorcima se ne uočavaju pore. Uzorci su klasificirani kao mudstone/mikrit.



Slika 4.2 Mikrofotografija svijetlog varijeteta Kirmenjaka u kojem je vidljiv gusti mikrit s pokojom tankom žiicom.

#### 4.1.2 Uzorci iz kamenoloma Kirmenjak – tamni varijetet

Makroskopski na uzorcima su vidljiva bioklastična zrna u vapnenačkom mulju. Uzorak ima zrnsku potporu te je klasificiran kao packstone. Na uzorku je vidljiva laminacija, kao prijelaz iz tamnog prema svijetlom varijetetu kirmenjaka. Na plaštu su vidljivi stilolitski šavovi koji su paralelni s bazama (SLIKA 4.3). Vidljive su i onkoidi te kalcitna zrna. Defekti, na ovim uzorcima stiloliti, su klasificirani kao prsline. Intenzitet raspucanosti uzoraka je slab, a na nekim uzorcima umjeren. Prsline su umjerenom trošene i bez ispune, a hrapavost im je umjerena. Poroznost uzorka je umjerena (TABLICA 4.2).

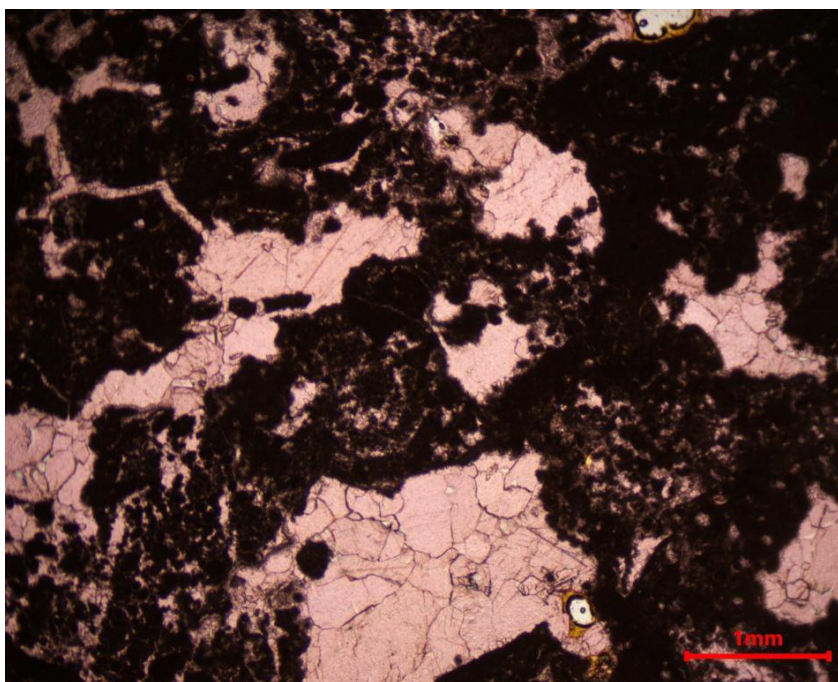


Slika 4.3 Razvijen plašt uzorka tamnog varijeteta Kirmenjaka laboratorijske oznake KIR-T-A-UCS-8. Na uzorku se vidi laminacija, kao prijelaz iz tamnog prema svijetlom varijetetu kirmenjaka. Na plaštu su vidljivi stilolitski šavovi koji su paralelni s bazama. Vidljive su i onkoidi te kalcitna zrna.

Tablica 4.2 Karakteristike uzoraka tamnog varijeteta Kirmenjaka.

Uzorci	POTPORA	DEFEKTI					POROZNOST
	Zrnata	Prslina	Intenzitet raspucanosti (1 – 5)	Hrapavost (1 – 5)	Trošenje (1 – 5)	Ispuna (1 – 5)	Umjerena
KIR-T-A-UCS-1	+	+	2	3	3	2	+
KIR-T-A-UCS-2	+	+	2	3	3	2	+
KIR-T-A-UCS-3	+	+	3	3	3	2	+
KIR-T-A-UCS-4	+	+	3	3	3	2	+
KIR-T-A-UCS-5	+	+	3	3	3	2	+
KIR-T-A-UCS-6	+	+	3	3	3	2	+
KIR-T-A-UCS-7	+	+	2	3	3	2	+
KIR-T-A-UCS-8	+	+	2	3	3	2	+
KIR-T-A-UCS-9	+	+	3	3	3	2	+
KIR-T-A-UCS-10	+	+	2	3	3	2	+
KIR-T-A-UCS-11	+	+	2	3	3	2	+
KIR-T-A-UCS-12	+	+	3	3	3	2	+
KIR-T-A-UCS-13	+	+	3	3	3	2	+
KIR-T-A-UCS-14	+	+	3	3	3	2	+
KIR-T-A-UCS-15	+	+	3	3	3	2	+
KIR-T-A-UCS-16	+	+	3	3	3	2	+

U mikroskopskom preparatu uzorka tamnog varijeteta Kirmenjaka uočljive su nakupine mikrita i prisutnost onkoida, veličine od 1 do 3 mm, u mikritnom vezivu. Sparitni cement se pojavljuje između mikritnih nakupina i onkoida te se najvjerojatnije radi o naknadno iskristaliziranom sparitu. Kristali sparita su različitih dimenzija (od 0,5 do 1 mm) ali su uočeni i makrokristali – veći od 1 mm u porama. U odnosu na Kirmenjak svijetli varijetet u ovom uzorku su uočene i rijetke nepravilne pore dimenzija do 0,5 mm. S obzirom na prisutnost onkoida u mikritnom vezivu uzorak je determiniran kao onkomikrit.



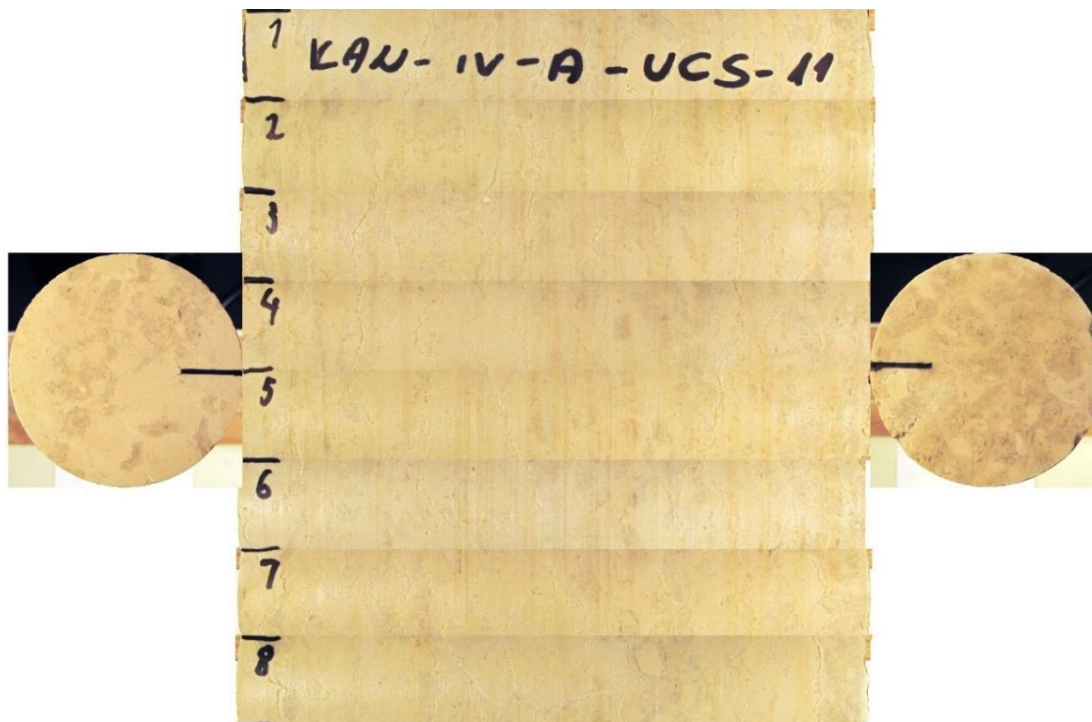
Slika 4.4 Mikrofotografija uzorka tamnog varijeteta Kirmenjaka – onkomikrit. Na slici se vide kristali sparita, veličine do 0,5 mm oko kojih se nalaze mikritni onkoidi, veličine od 1 do 2 mm. Na slici su vidljive i pore veličine do 0,2 mm.

#### 4.1.3 Uzorci iz kamenoloma Kanfanar

Uzorci su makroskopski klasificirani kao floatstone jer imaju više od 10% komponenti koje su veće od 2 mm, a zrna (onkoidi) „plivaju“ u mulju. Uzorak je tamno žute boje, a tamniji dijelovi na uzorku su onkoidi (SLIKA 4.5). S obzirom da su zrna (onkoidi) vidljiva golim okom, potpora uzoraka je determinirana kao kristalinična. Defekti na uzorcima su stilolitski šavovi paralelni s bazama. Klasificirani su kao žlice budući da im je širina zijeva manja od 5 mm. Intenzitet raspucanosti na uzorcima je umjeren. Defekti su



ili svježi ili su slabo trošni te nemaju ispunu, a hrapavost im je gruba. Poroznost uzoraka je ocjenjena kao mala (TABLICA 4.3).

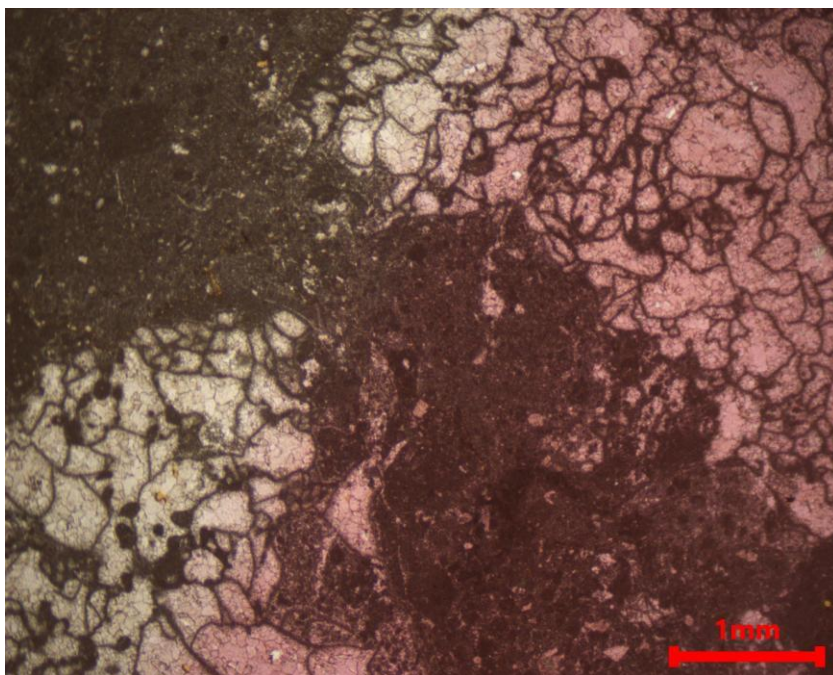


Slika 4.5 Plašt uzorka iz Kanfanara laboratorijske oznake KAN-IV-A-UCS-11. Uzorak je tamno žute boje, a tamniji dijelovi su onkoidi. Na uzorku su vidljivi stiloliti paralelni s bazama.

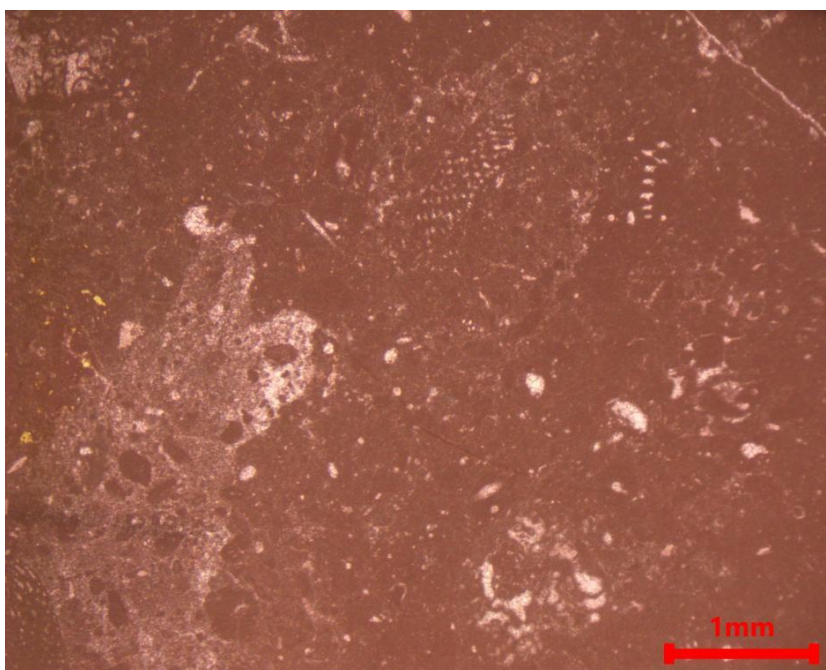
Tablica 4.3 Karakteristike uzoraka Kanfanara.

Uzorci	POTPORA	DEFEKTI				POROZNOST	
	Kristalinična	Žilica	Intenzitet raspucanosti (1 - 5)	Hrapavost (1-5)	Trošenje (1-5)	Ispuna (1 -5)	Mala
KAN-IV-A-UCS-1	+	+	3	3	2	2	+
KAN-IV-A-UCS-2	+	+	3	3	2	2	+
KAN-IV-A-UCS-3	+	+	3	3	3	2	+
KAN-IV-A-UCS-4	+	+	3	3	2	2	+
KAN-IV-A-UCS-5	+	+	3	3	3	2	+
KAN-IV-A-UCS-6	+	+	3	3	3	2	+
KAN-IV-A-UCS-7	+	+	3	3	2	2	+
KAN-IV-A-UCS-8	+	+	3	3	2	2	+
KAN-IV-A-UCS-9	+	+	3	3	2	2	+
KAN-IV-A-UCS-10	+	+	3	3	2	2	+
KAN-IV-A-UCS-11	+	+	3	3	2	2	+
KAN-IV-A-UCS-12	+	+	3	3	2	2	+
KAN-IV-A-UCS-13	+	+	3	3	2	2	+
KAN-IV-A-UCS-14	+	+	3	3	2	2	+
KAN-IV-A-UCS-15	+	+	3	3	3	2	+
KAN-IV-A-UCS-16	+	+	3	3	2	2	+

U mikroskopskom preparatu uzorka Kanfanara uočavaju se onkoidi dimenzija većih od 2 mm. Onkoidi su nepravilno obavijena zrna nastala djelovanjem alge *Bacinnella irregularis*. Onkoidi su slabo sortirani te se u uzorku nalaze zone u kojima su gusto raspoređeni i zone s mikritom u kojima su rijetki bioklasti poput foraminifera. Uočavaju se i kristali sparita unutar onkoida. Uzorci su klasificirani kao onkomikrudit.



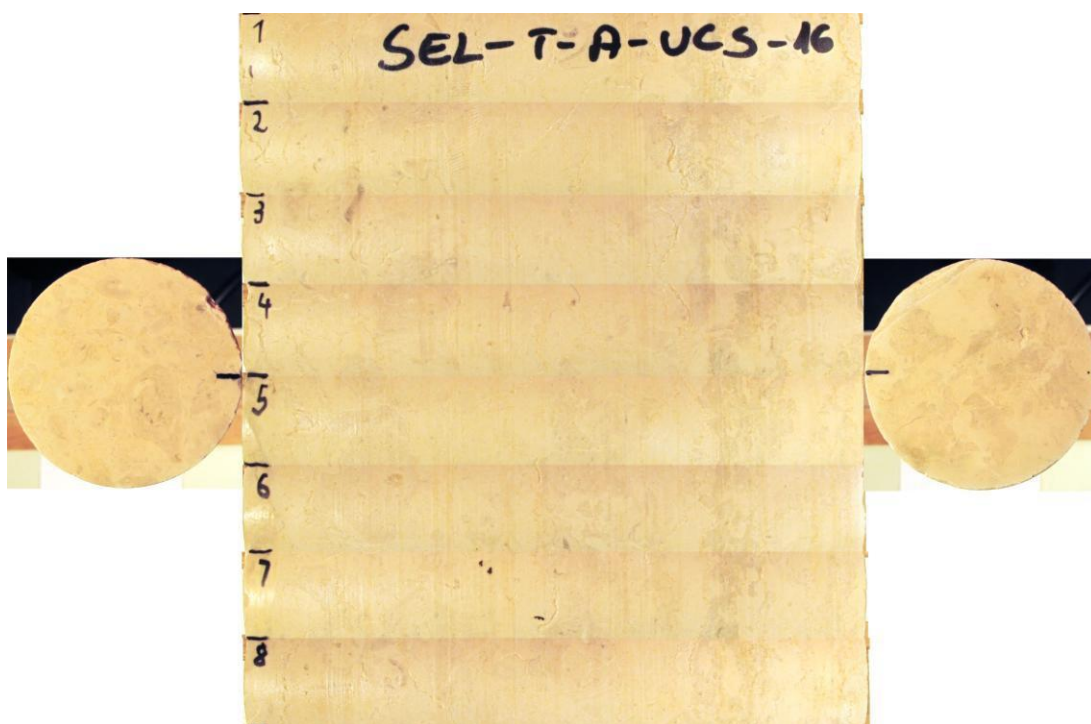
Slika 4.6 Mikrofotografija uzorka Kanfanara – onkomikrudit. Na slici su vidljive zone u kojima su onkoidi gusto raspoređeni te su u njima vidljivi kristali sparita.



Slika 4.7 Mikrofotografija uzorka Kanfanara – zona s mikritom s raznim bioklastima među kojima foraminifere.

#### 4.1.4 Uzorci iz kamenoloma Selina

Promatrano makroskopski, na uzorcima su golim okom vidljiva karbonatna zrna u vapnenačkom mulju. Ovo upućuje da je potpora kristalinična, a uzorak je klasificiran kao floatstone. Uzorak je svijetlo žute boje, s tamnijim zonama koje tvore onkoide (SLIKA 4.8). Defekti na uzorcima su stiloliti, čije je pružanje paralelno s bazama uzorka. Zijev među njima je manji od 0,5 mm pa su klasificirani kao prsline. Intenzitet raspucanosti je kod većine uzoraka umjeren, a na nekolicini je izražen. Stjenke prslina su svježije ili slabo trošene te u njima nema ispune. Hrapavost prslina na uzorcima je izrazito gruba. Uzorci imaju malu poroznost (TABLICA 4.4).



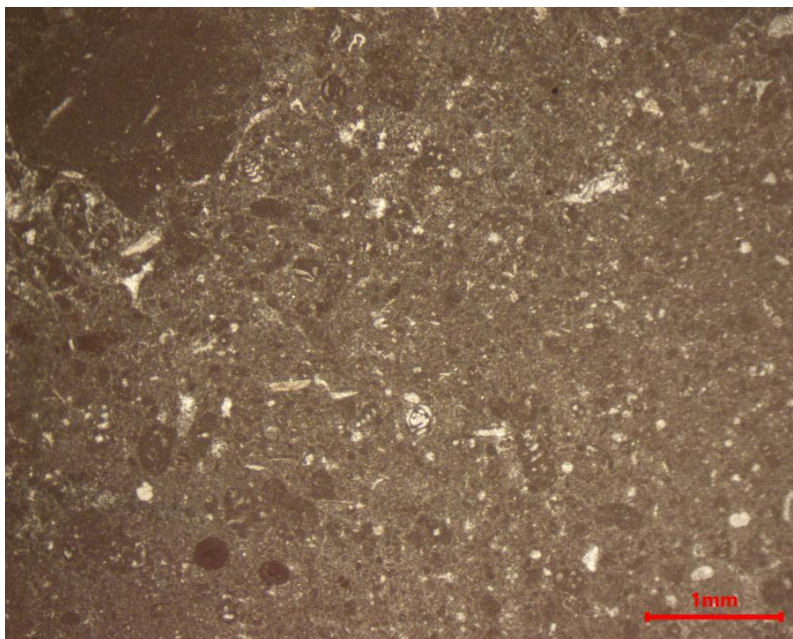
Slika 4.8 Razvijen plašt uzorka Selina laboratorijske oznake SEL-T-A-UCS-16. Uzorak je svijetlo žute boje, s tamnijim zonama koje tvore onkoide. Na plaštu se vide stiloliti paralelni s bazama.



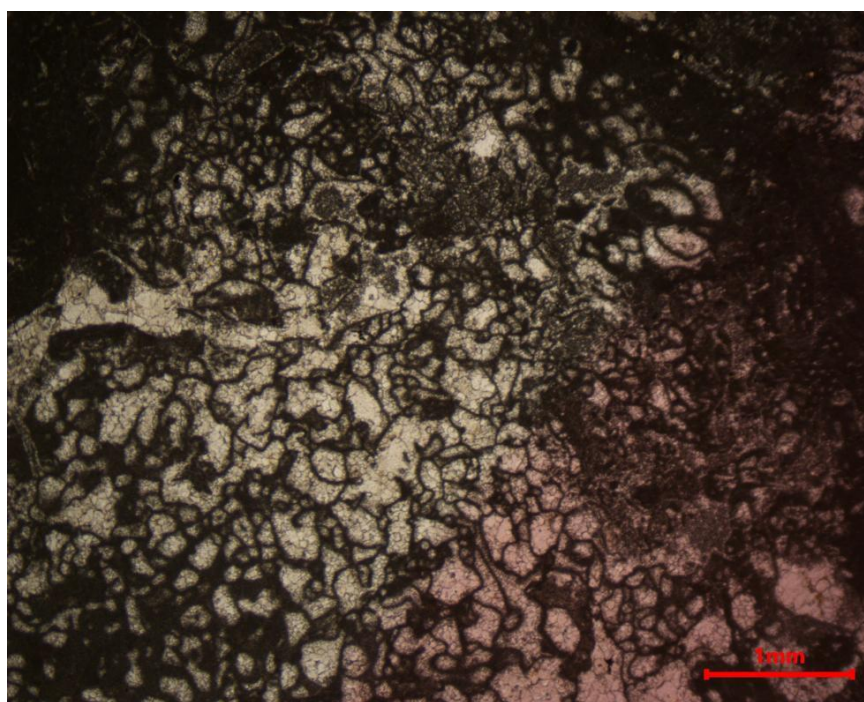
Tablica 4.4 Karakteristike uzoraka Selina.

Uzorci	POTPORA	DEFEKTI					POROZNOST
	Kristalinična	Prslina	Intenzitet raspucanosti (1 - 5)	Hrapavost (1-5)	Trošenje (1-5)	Ispuna (1 -5)	Mala
SEL-T-A-UCS-1	+	+	4	2	3	2	+
SEL-T-A-UCS-2	+	+	4	2	3	2	+
SEL-T-A-UCS-3	+	+	3	2	2	2	+
SEL-T-A-UCS-4	+	+	3	2	3	2	+
SEL-T-A-UCS-5	+	+	4	2	3	2	+
SEL-T-A-UCS-6	+	+	3	2	2	2	+
SEL-T-A-UCS-7	+	+	3	2	2	2	+
SEL-T-A-UCS-8	+	+	3	2	2	2	+
SEL-T-A-UCS-9	+	+	3	2	3	2	+
SEL-T-A-UCS-10	+	+	3	2	3	2	+
SEL-T-A-UCS-11	+	+	3	2	2	2	+
SEL-T-A-UCS-12	+	+	3	2	2	2	+
SEL-T-A-UCS-13	+	+	3	2	3	2	+
SEL-T-A-UCS-14	+	+	3	2	3	2	+
SEL-T-A-UCS-15	+	+	3	2	3	2	+
SEL-T-A-UCS-16	+	+	3	2	2	2	+

U mikroskopskom preparatu uzorka Selina prevladava mikrit s bioklastima, kao što su alge i školjkaši. Velika je prisutnost nepravilno sortiranih onkoida koji su gusto raspoređeni u ograničenim zonama. Slično kao kod uzoraka Kanfanara, granice između kristala sparita su grube i nepravilne što upućuje da je i kod ovih uzoraka došlo do rekristalizacije kalcita. Ovaj uzorak je klasificiran kao biomikrit do onkomikrit s velikim udjelom sparita.



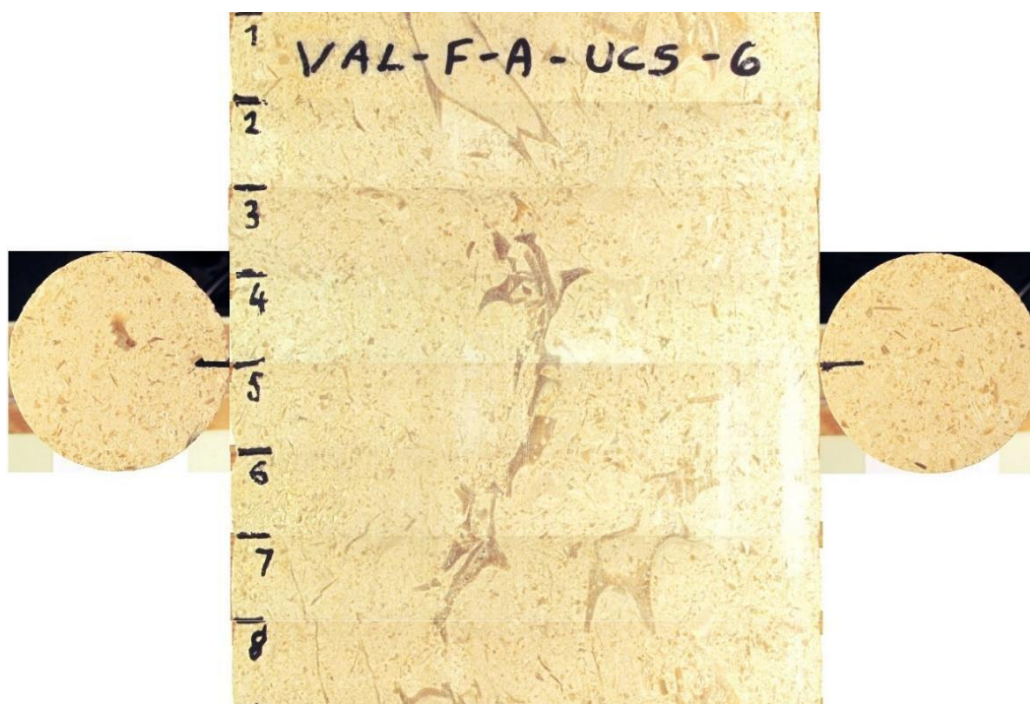
Slika 4.9 Mikrofotografija uzorka Selina – biomikrit. Na slici se vide ostaci algi i ljuštura školjkaša u mikritu.



Slika 4.10 Mikrofotografija uzorka Selina. Na slici se vidi onkoid s algom okružen mikritom.

#### 4.1.5 Uzorci iz kamenoloma Valtura – varijetet fiorito

Makroskopski gledano, uzorci su blijedo žute boje s tamnim ljušturama školjkaša većim od 2 mm. Ostaci su nehomogeno raspoređeni po uzorku, ali ima i gusto raspoređenog sitnog kršja školjkaša (SLIKA 4.11). Uzorci su klasificirani kao rudstone, a potpora im je krupnozrnata. Na uzorcima nema vidljivih defekata. Poroznost im je umjerena (TABLICA 4.5).



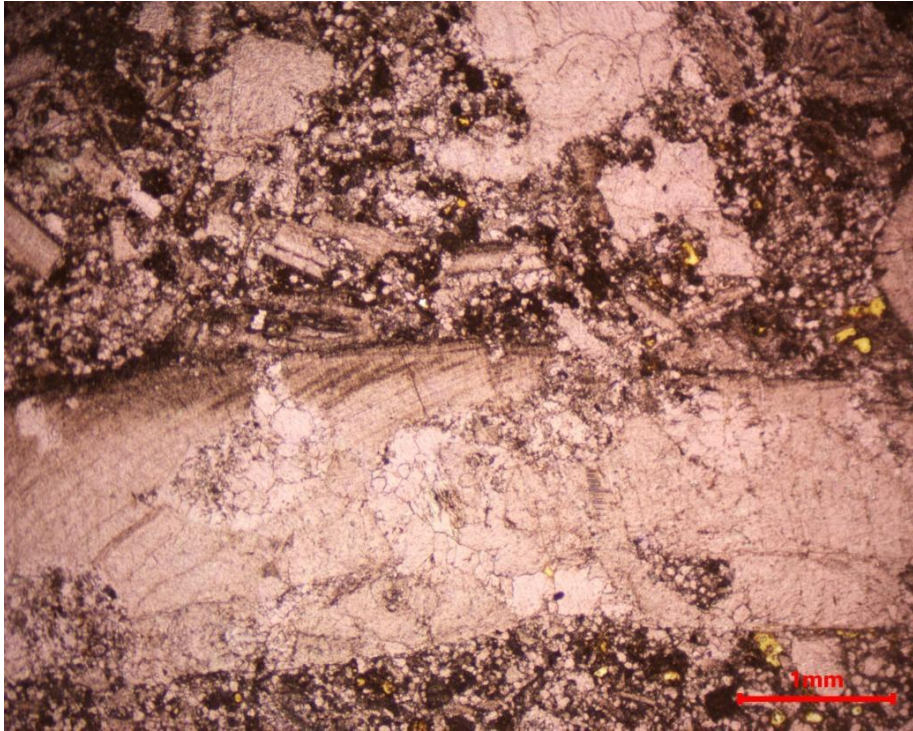
Slika 4.11 Razvijen plašt uzorka Valtura fiorito laboratorijske oznake VAL-F-A-UCS-4. Uzorak je blijedo žute boje, s tamnim ljušturama školjkaša većim od 2 mm. Veći ostaci ljuštura su nehomogeno raspoređeni. Na plaštu je vidljivo i gusto raspoređeno sitno kršje rudistnih školjkaša.

Tablica 4.5 Karakteristike uzoraka Valtura fiorito.

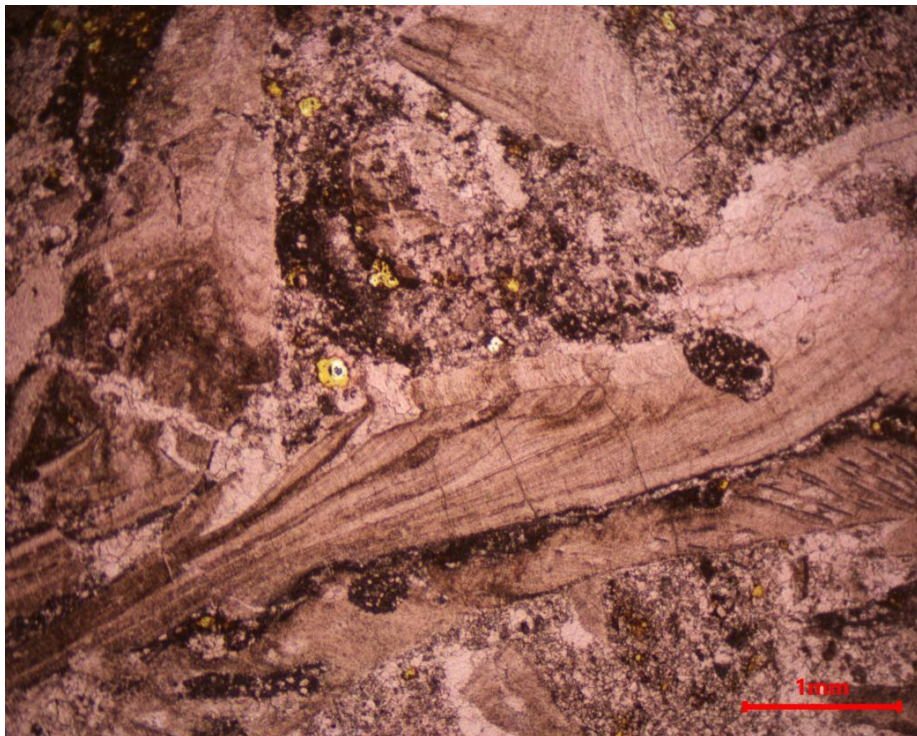
Uzorci	POTPORA	DEFEKTI					POROZNOST
	Krupno - zrnata	Nema defekata	Intenzitet raspucanosti (1 - 5)	Hrapavost (1-5)	Trošenje (1-5)	Ispuna (1 -5)	Umjerena
VAL-F-A-UCS-1	+	-	1	1	1	1	+
VAL-F-A-UCS-2	+	-	1	1	1	1	+
VAL-F-A-UCS-3	+	-	1	1	1	1	+
VAL-F-A-UCS-4	+	-	1	1	1	1	+
VAL-F-A-UCS-5	+	-	1	1	1	1	+
VAL-F-A-UCS-6	+	-	1	1	1	1	+
VAL-F-A-UCS-7	+	-	1	1	1	1	+
VAL-F-A-UCS-8	+	-	1	1	1	1	+
VAL-F-A-UCS-9	+	-	1	1	1	1	+
VAL-F-A-UCS-10	+	-	1	1	1	1	+
VAL-F-A-UCS-11	+	-	1	1	1	1	+
VAL-F-A-UCS-12	+	-	1	1	1	1	+
VAL-F-A-UCS-13	+	-	1	1	1	1	+
VAL-F-A-UCS-14	+	-	1	1	1	1	+
VAL-F-A-UCS-15	+	-	1	1	1	1	+
VAL-F-A-UCS-16	+	-	1	1	1	1	+

U mikroskopskom preparatu uzorka Valtura fiorito dominiraju fragmenti ljuštura školjkaša – rudista. Veličina ljuštura prelazi 2 mm, te više od 10% komponenti ima dimenzije veće od 2 mm. Bioklasti se nalaze u mikritnom vezivu, iako je uočen i sparitni cement koji je najvjerojatnije nastao rekristalizacijom. Osim fragmenata dimenzija većih od 2 mm, uočeno je da su mnogi fragmenti zdrobljeni na dimenzije manje od 0,5 mm te zajedno s mikritnim vezivom se nalaze između velikih fragmenata rudista. Uočene su i poneke pore ispunjene kristalima. Uzorci su klasificirani kao biomikruditi.





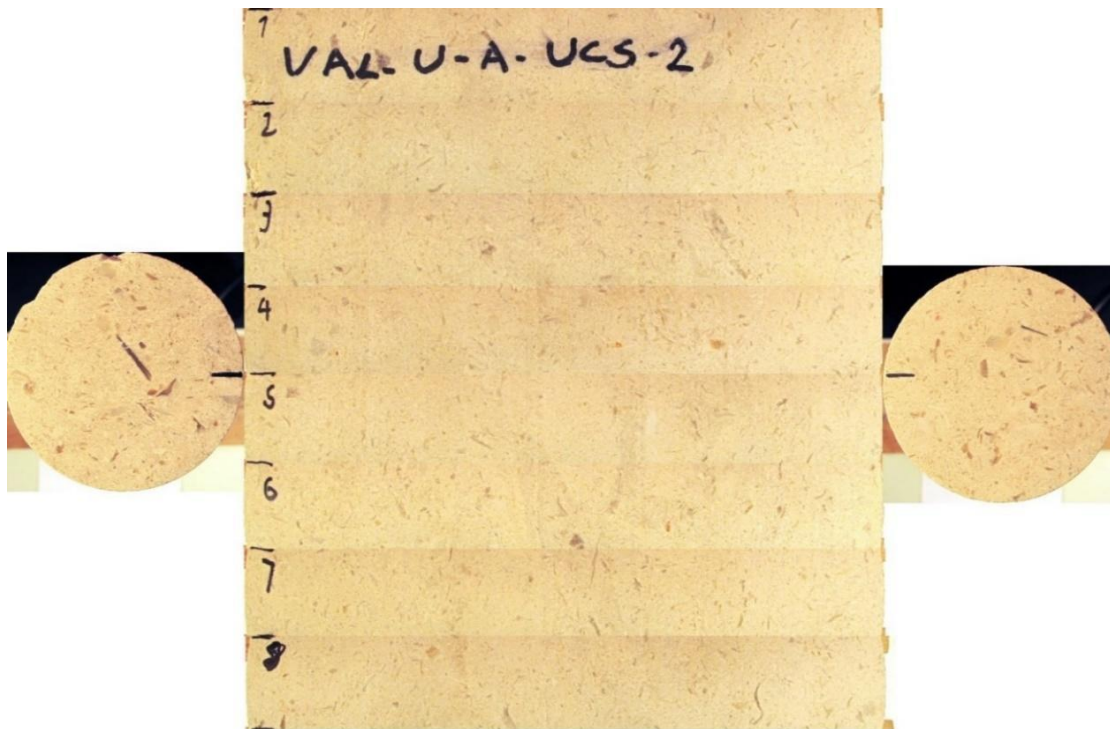
Slika 4.12 Mikrofotografija uzorka Valtura fiorito – biomikrudit, ostaci ljuštore rudista.



Slika 4.13 Mikrofotografija uzorka Valtura fiorito – biomikrudit, ostaci ljuštore rudista.

#### 4.1.6 Uzorci iz kamenoloma Valtura – varijetet unito

Makroskopski, na uzorku blijedo žute boje su vidljivi brojni ostaci rudista koji se međusobno dodiruju s dimenzijama do 2 mm, rijetko su dimenzije veće od 2 mm (manje od 10 % komponenti ima dimenzije veće od 2 mm). Ostaci su homogeno raspoređeni (SLIKA 4.14). Uzorci su klasificirani kao packstone, a potpora im je klasificirana kao zrnata. Na uzorcima nema vidljivih defekata. Poroznost uzoraka je mala (TABLICA 4.6).



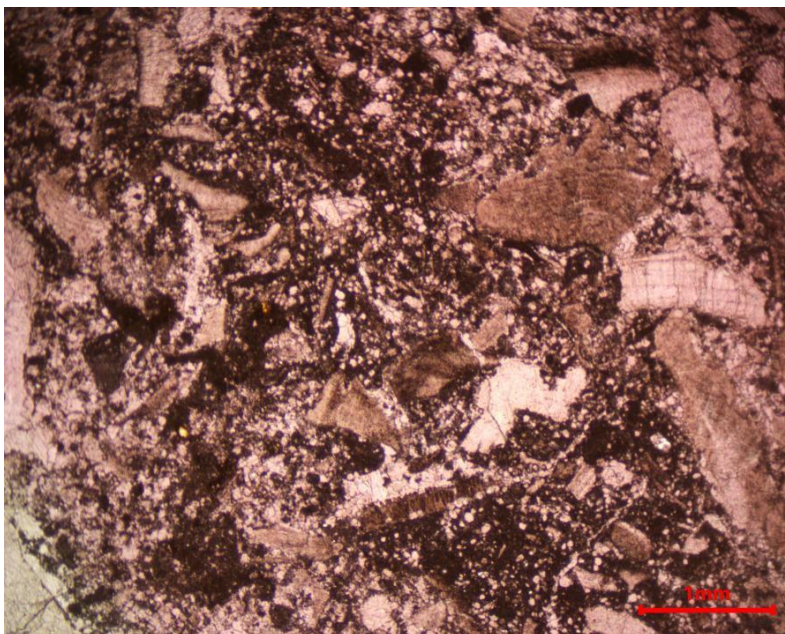
Slika 4.14 Plašta uzorka Valtura unito laboratorijske oznake VAL-U-A-UCS-2. Uzorak je blijedo žute boje s homogeno raspoređenim kršjem ostataka rudista, čija je veličina kod većine ostataka do 2 mm. Tek mali broj komponenti (manje od 10 % ima veličinu veću od 2 mm).

Tablica 4.6 Karakteristike uzoraka Valtura unito.

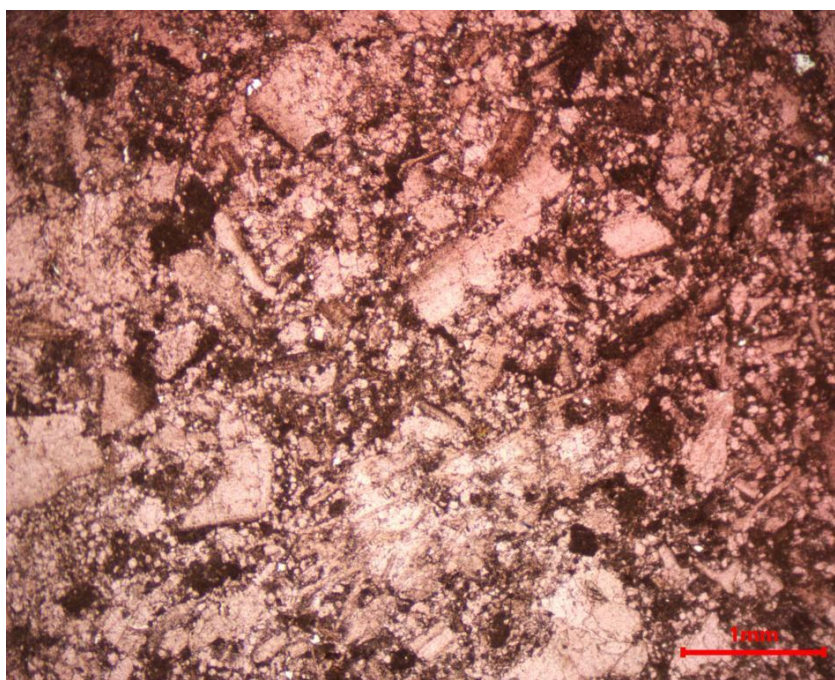
Uzorci	POTPORA	DEFEKTI					POROZNOST
	Krupno - zrnata	Nema defekata	Intenzitet raspucanosti (1 - 5)	Hrapavost (1-5)	Trošenje (1-5)	Ispuna (1 -5)	Mala
VAL-U-A-UCS-1	+	-	1	1	1	1	+
VAL-U-A-UCS-2	+	-	1	1	1	1	+
VAL-U-A-UCS-3	+	-	1	1	1	1	+
VAL-U-A-UCS-4	+	-	1	1	1	1	+
VAL-U-A-UCS-5	+	-	1	1	1	1	+
VAL-U-A-UCS-6	+	-	1	1	1	1	+
VAL-U-A-UCS-7	+	-	1	1	1	1	+
VAL-U-A-UCS-8	+	-	1	1	1	1	+
VAL-U-A-UCS-9	+	-	1	1	1	1	+
VAL-U-A-UCS-10	+	-	1	1	1	1	+
VAL-U-A-UCS-11	+	-	1	1	1	1	+
VAL-U-A-UCS-12	+	-	1	1	1	1	+
VAL-U-A-UCS-13	+	-	1	1	1	1	+
VAL-U-A-UCS-14	+	-	1	1	1	1	+
VAL-U-A-UCS-15	+	-	1	1	1	1	+
VAL-U-A-UCS-16	+	-	1	1	1	1	+

U mikroskopskom preparatu uzorka Valtura unito se vide fragmenti ljuštore rudista dimenzija do 2 mm, ali se uočavaju i fragmenti dimenzija većih od 2 mm, iako manje od 10 %. Također uočavaju se sitno zdrobljeno kršje bioklasta – dimenzija manjih od 0,5 mm. Bioklasti se međusobno dodiruju i vezani su mikritnim vezivom. Uzorak je determiniran kao biomikrit.





Slika 4.15 Mikrofotografija uzorka Valtura unito – biomikrit, ljuštore rudista veličine do 2 mm.



Slika 4.16 Mikrofotografija uzorka Valtura unito – biomikrit, kršje ljuštura rudista veličine do 2 mm.



## 4.2 Rezultati određivanja brzine prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke

Rezultati izračuna brzina prolazaka ultrazvučnih valova kroz uzorke je prikazana u tablicama: tablica 4.7, tablica 4.8, tablica 4.9, tablica 4.10, tablica 4.11, tablica 4.12.

Tablica 4.7 Brzine prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke svijetlog varijeteta Kirmenjaka.

UZORCI	Visina uzorka h (mm)	Vrijeme prolaska vala t ( $\mu$ s)	Brzina prolaska vala v (m/s)
KIR-V-A-UCS-1	146.9	23.1	6359
KIR-V-A-UCS-2	145.4	23.2	6267
KIR-V-A-UCS-3	144.3	23.9	6038
KIR-V-A-UCS-4	166.6	23	7243
KIR-V-A-UCS-5	143.4	23.2	6181
KIR-V-A-UCS-6	144.6	22.9	6314
KIR-V-A-UCS-7	148.4	23.2	6397
KIR-V-A-UCS-8	146.2	23.5	6221
KIR-V-A-UCS-9	151	24	6292
KIR-V-A-UCS-10	150.9	23.8	6340
KIR-V-A-UCS-11	144.7	22.6	6403
KIR-V-A-UCS-12	146.2	24	6092
KIR-V-A-UCS-13	147.3	24.8	5940
KIR-V-A-UCS-14	147.3	23.1	6377
KIR-V-A-UCS-15	147.7	23.6	6258
KIR-V-A-UCS-16	144.4	23.3	6197

Tablica 4.8 Brzine prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke tamnog varijeteta Kirmenjaka.

UZORCI	Visina uzorka h (mm)	Vrijeme prolaska vala t ( $\mu$ s)	Brzina prolaska vala v (m/s)
KIR-T-A-UCS-1	141.6	22.3	6350
KIR-T-A-UCS-2	146.8	23.3	6300
KIR-T-A-UCS-3	144.7	22.9	6319
KIR-T-A-UCS-4	143.2	22.8	6281
KIR-T-A-UCS-5	146.8	23.1	6355
KIR-T-A-UCS-6	147.2	23.2	6345
KIR-T-A-UCS-7	146.2	23.2	6302
KIR-T-A-UCS-8	142	22.4	6339
KIR-T-A-UCS-9	146.3	23.3	6279
KIR-T-A-UCS-10	146.7	23.1	6351
KIR-T-A-UCS-11	150.1	23.8	6307
KIR-T-A-UCS-12	146.4	23.2	6310
KIR-T-A-UCS-13	146.5	23.3	6288
KIR-T-A-UCS-14	146.2	23.3	6275
KIR-T-A-UCS-15	148	23.5	6298
KIR-T-A-UCS-16	145.6	23.1	6303

Tablica 4.9 Brzine prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke Kanfanara.

UZORCI	Visina uzorka h (mm)	Vrijeme prolaska vala t (μs)	Brzina prolaska vala v (m/s)
KAN-IV-A-UCS-1	147.6	24.8	5952
KAN-IV-A-UCS-2	146.4	25	5856
KAN-IV-A-UCS-3	145.4	24.7	5887
KAN-IV-A-UCS-4	148.1	25.6	5785
KAN-IV-A-UCS-5	148.4	24.9	5960
KAN-IV-A-UCS-6	146.7	26.5	5536
KAN-IV-A-UCS-7	147.8	25.4	5819
KAN-IV-A-UCS-8	145.3	25.4	5720
KAN-IV-A-UCS-9	146.8	24.5	5992
KAN-IV-A-UCS-10	137.7	23.1	5961
KAN-IV-A-UCS-11	145.2	24.3	5975
KAN-IV-A-UCS-12	148.2	24.9	5952
KAN-IV-A-UCS-13	146	25	5840
KAN-IV-A-UCS-14	146.2	24.4	5992
KAN-IV-A-UCS-15	146.8	24.5	5992
KAN-IV-A-UCS-16	146.9	25.3	5806

Tablica 4.10 Brzine prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke Selina.

UZORCI	Visina uzorka h (mm)	Vrijeme prolaska vala t (μs)	Brzina prolaska vala v (m/s)
SEL-T-A-UCS-1	145.4	24.3	5984
SEL-T-A-UCS-2	146.6	23.9	6134
SEL-T-A-UCS-3	146.3	23.7	6173
SEL-T-A-UCS-4	145	23.4	6197
SEL-T-A-UCS-5	145.4	26.4	5508
SEL-T-A-UCS-6	146.2	26.1	5602
SEL-T-A-UCS-7	143.3	24.8	5778
SEL-T-A-UCS-8	145.2	25.4	5717
SEL-T-A-UCS-9	145.9	23.9	6105
SEL-T-A-UCS-10	146.1	23.9	6113
SEL-T-A-UCS-11	144.7	23.1	6264
SEL-T-A-UCS-12	143.3	23	6230
SEL-T-A-UCS-13	146	23.4	6239
SEL-T-A-UCS-14	149	24.1	6183
SEL-T-A-UCS-15	147.9	23.9	6188
SEL-T-A-UCS-16	143.9	23.1	6229

Tablica 4.11 Brzine prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke Valtura fiorito.

UZORCI	Visina uzorka h (mm)	Vrijeme prolaska vala t ( $\mu$ s)	Brzina prolaska vala v (m/s)
VAL-F-A-UCS-1	148.4	34.6	4289
VAL-F-A-UCS-2	144.4	32.9	4389
VAL-F-A-UCS-3	146.2	32	4569
VAL-F-A-UCS-4	144.8	30.7	4717
VAL-F-A-UCS-5	142.3	30.9	4605
VAL-F-A-UCS-6	141.5	30.7	4609
VAL-F-A-UCS-7	145.9	31	4706
VAL-F-A-UCS-8	146.2	31.8	4597
VAL-F-A-UCS-9	146.7	31.6	4642
VAL-F-A-UCS-10	147.1	33.1	4444
VAL-F-A-UCS-11	146.5	31	4726
VAL-F-A-UCS-12	148.3	30.5	4862
VAL-F-A-UCS-13	146	30.5	4787
VAL-F-A-UCS-14	143.5	30	4783
VAL-F-A-UCS-15	145	31.2	4647
VAL-F-A-UCS-16	145.8	31.8	4585

Tablica 4.12 Brzine prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke Valtura unito.

UZORCI	Visina uzorka h (mm)	Vrijeme prolaska vala t ( $\mu$ s)	Brzina prolaska vala v (m/s)
VAL-U-A-UCS-1	148.6	29.7	5003
VAL-U-A-UCS-2	146.4	30.8	4753
VAL-U-A-UCS-3	145.7	31.3	4655
VAL-U-A-UCS-4	146.3	30.4	4813
VAL-U-A-UCS-5	147.1	30	4903
VAL-U-A-UCS-6	143	30.3	4719
VAL-U-A-UCS-7	148.3	30.2	4911
VAL-U-A-UCS-8	143.9	29.9	4813
VAL-U-A-UCS-9	144.8	30.4	4763
VAL-U-A-UCS-10	146.4	30	4880
VAL-U-A-UCS-11	146	30.3	4818
VAL-U-A-UCS-12	145.8	29.3	4976
VAL-U-A-UCS-13	143.2	30.2	4742
VAL-U-A-UCS-14	139.4	29.7	4694
VAL-U-A-UCS-15	144.6	29.6	4885
VAL-U-A-UCS-16	145.5	30.5	4770

### 4.3 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće preko brzina P-valova

Preko izmjerenih vrijednosti brzina prolaska valova izračunata je jednoosna tlačna čvrstoća koristeći [formule 3-2, 3-3, 3-4, 3-5, 3-6](#). Rezultati izračuna su prikazani u tablicama: tablica 4.13, tablica 4.14, tablica 4.15, tablica 4.16, tablica 4.17, tablica 4.18.

Tablica 4. 13 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće pomoću brzina prolaska P-valova kroz uzorke svijetlog varijeteta Kirmenjaka.

Uzorci	Brzina prolaska vala v (km/s)	UCS (MPa) Kilic (2008)	UCS (MPa) Torok (2010)	UCS (MPa) Babacan (2012)	UCS (MPa) Azimian (2016)	UCS (MPa) Briševac (2017)
KIR-V-A-UCS-1	6.36	207.00	172.23	70.36	143.55	147.26
KIR-V-A-UCS-2	6.27	199.79	164.59	69.25	141.26	137.92
KIR-V-A-UCS-3	6.04	182.46	146.56	66.50	135.55	117.15
KIR-V-A-UCS-4	7.24	284.08	258.15	80.97	165.76	276.17
KIR-V-A-UCS-5	6.18	193.17	157.66	68.22	139.11	129.72
KIR-V-A-UCS-6	6.31	203.47	168.48	69.82	142.43	142.63
KIR-V-A-UCS-7	6.40	209.96	175.38	70.80	144.48	151.21
KIR-V-A-UCS-8	6.22	196.25	160.87	68.70	140.11	133.49
KIR-V-A-UCS-9	6.29	201.69	166.60	69.55	141.87	140.34
KIR-V-A-UCS-10	6.34	205.50	170.64	70.13	143.08	145.28
KIR-V-A-UCS-11	6.40	210.45	175.91	70.88	144.63	151.87
KIR-V-A-UCS-12	6.09	186.45	150.68	67.15	136.89	121.73
KIR-V-A-UCS-13	5.94	175.33	139.28	65.32	133.12	109.25
KIR-V-A-UCS-14	6.38	208.37	173.69	70.56	143.98	149.08
KIR-V-A-UCS-15	6.26	199.11	163.88	69.15	141.04	137.07
KIR-V-A-UCS-16	6.20	194.42	158.96	68.41	139.52	131.24

Tablica 4.14 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće pomoću brzina prolaska P-valova kroz uzorke tamnog varijeteta Kirmenjaka.

Uzorci	Brzina prolaska vala v (km/s)	UCS (MPa) Kilic (2008)	UCS (MPa) Torok (2010)	UCS (MPa) Babacan (2012)	UCS (MPa) Azimian (2016)	UCS (MPa) Briševac (2017)
KIR-T-A-UCS-1	6.35	206.25	171.43	70.24	143.31	146.26
KIR-T-A-UCS-2	6.30	202.37	167.32	69.65	142.08	141.22
KIR-T-A-UCS-3	6.32	203.81	168.84	69.87	142.54	143.07
KIR-T-A-UCS-4	6.28	200.83	165.70	69.41	141.59	139.25
KIR-T-A-UCS-5	6.35	206.66	171.86	70.30	143.44	146.80
KIR-T-A-UCS-6	6.34	205.86	171.01	70.18	143.19	145.75
KIR-T-A-UCS-7	6.30	202.47	167.43	69.67	142.12	141.35
KIR-T-A-UCS-8	6.34	205.42	170.55	70.12	143.05	145.18
KIR-T-A-UCS-9	6.28	200.70	165.55	69.39	141.55	139.08
KIR-T-A-UCS-10	6.35	206.32	171.50	70.25	143.34	146.35
KIR-T-A-UCS-11	6.31	202.86	167.84	69.73	142.24	141.85
KIR-T-A-UCS-12	6.31	203.15	168.14	69.77	142.33	142.22
KIR-T-A-UCS-13	6.29	201.37	166.26	69.50	141.76	139.93
KIR-T-A-UCS-14	6.27	200.37	165.20	69.34	141.44	138.66
KIR-T-A-UCS-15	6.30	202.17	167.11	69.62	142.02	140.96
KIR-T-A-UCS-16	6.30	202.58	167.53	69.68	142.15	141.48

Tablica 4.15 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće pomoću brzina prolaska P-valova kroz uzorke Kanfanara.

Uzorci	Brzina prolaska vala v (km/s)	UCS (MPa) Kilic (2008)	UCS (MPa) Torok (2010)	UCS (MPa) Babacan (2012)	UCS (MPa) Azimian (2016)	UCS (MPa) Briševac (2017)
KAN-IV-A-UCS-1	5.95	176.20	140.17	65.46	133.42	110.19
KAN-IV-A-UCS-2	5.86	169.40	133.28	64.32	131.05	102.95
KAN-IV-A-UCS-3	5.89	171.56	135.46	64.68	131.81	105.22
KAN-IV-A-UCS-4	5.79	164.46	128.33	63.47	129.30	97.89
KAN-IV-A-UCS-5	5.96	176.79	140.77	65.56	133.62	110.84
KAN-IV-A-UCS-6	5.54	147.75	111.91	60.48	123.16	81.99
KAN-IV-A-UCS-7	5.82	166.80	130.68	63.87	130.13	100.27
KAN-IV-A-UCS-8	5.72	160.02	123.93	62.69	127.70	93.49
KAN-IV-A-UCS-9	5.99	179.11	143.13	65.95	134.41	113.39
KAN-IV-A-UCS-10	5.96	176.88	140.86	65.58	133.65	110.93
KAN-IV-A-UCS-11	5.98	177.91	141.91	65.75	134.00	112.07
KAN-IV-A-UCS-12	5.95	176.21	140.18	65.47	133.42	110.21
KAN-IV-A-UCS-13	5.84	168.27	132.15	64.13	130.66	101.78
KAN-IV-A-UCS-14	5.99	179.11	143.13	65.95	134.41	113.39
KAN-IV-A-UCS-15	5.99	179.11	143.13	65.95	134.41	113.39
KAN-IV-A-UCS-16	5.81	165.92	129.80	63.72	129.82	99.37

Tablica 4.16 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće pomoću brzina prolaska P-valova kroz uzorke Selina.

Uzorci	Brzina prolaska vala v (km/s)	UCS (MPa) Kilic (2008)	UCS (MPa) Torok (2010)	UCS (MPa) Babacan (2012)	UCS (MPa) Azimian (2016)	UCS (MPa) Briševac (2017)
SEL-T-A-UCS-1	5.98	178.51	142.52	65.85	134.21	112.72
SEL-T-A-UCS-2	6.13	189.61	153.95	67.65	137.94	125.44
SEL-T-A-UCS-3	6.17	192.56	157.02	68.12	138.91	128.98
SEL-T-A-UCS-4	6.20	194.36	158.89	68.40	139.50	131.16
SEL-T-A-UCS-5	5.51	145.92	110.14	60.14	122.46	80.35
SEL-T-A-UCS-6	5.60	152.05	116.09	61.26	124.77	85.91
SEL-T-A-UCS-7	5.78	163.98	127.86	63.38	129.13	97.41
SEL-T-A-UCS-8	5.72	159.75	123.66	62.64	127.61	93.23
SEL-T-A-UCS-9	6.10	187.42	151.67	67.30	137.21	122.86
SEL-T-A-UCS-10	6.11	188.04	152.32	67.40	137.42	123.59
SEL-T-A-UCS-11	6.26	199.54	164.34	69.21	141.18	137.61
SEL-T-A-UCS-12	6.23	196.95	161.61	68.81	140.34	134.36
SEL-T-A-UCS-13	6.24	197.63	162.33	68.92	140.56	135.21
SEL-T-A-UCS-14	6.18	193.29	157.78	68.24	139.15	129.86
SEL-T-A-UCS-15	6.19	193.72	158.23	68.30	139.29	130.39
SEL-T-A-UCS-16	6.23	196.87	161.53	68.80	140.32	134.27

Tablica 4.17 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće pomoću brzina prolaska P-valova kroz uzorke Valtura fiorito.

Uzorci	Brzina prolaska vala v (km/s)	UCS (MPa) Kilic (2008)	UCS (MPa) Torok (2010)	UCS (MPa) Babacan (2012)	UCS (MPa) Azimian (2016)	UCS (MPa) Briševac (2017)
VAL-F-A-UCS-1	4.29	79.44	50.62	45.51	92.90	33.78
VAL-F-A-UCS-2	4.39	84.02	54.38	46.71	95.29	36.27
VAL-F-A-UCS-3	4.57	92.64	61.60	48.87	99.61	41.21
VAL-F-A-UCS-4	4.72	100.10	68.02	50.64	103.18	45.78
VAL-F-A-UCS-5	4.61	94.44	63.14	49.31	100.49	42.29
VAL-F-A-UCS-6	4.61	94.64	63.31	49.35	100.59	42.41
VAL-F-A-UCS-7	4.71	99.57	67.56	50.52	102.94	45.45
VAL-F-A-UCS-8	4.60	94.06	62.82	49.21	100.31	42.06
VAL-F-A-UCS-9	4.64	96.31	64.75	49.75	101.39	43.43
VAL-F-A-UCS-10	4.44	86.61	56.53	47.37	96.62	37.72
VAL-F-A-UCS-11	4.73	100.57	68.43	50.75	103.40	46.08
VAL-F-A-UCS-12	4.86	107.78	74.76	52.39	106.71	50.78
VAL-F-A-UCS-13	4.79	103.76	71.22	51.49	104.88	48.13
VAL-F-A-UCS-14	4.78	103.57	71.05	51.45	104.80	48.01
VAL-F-A-UCS-15	4.65	96.56	64.96	49.81	101.51	43.58
VAL-F-A-UCS-16	4.58	93.43	62.28	49.06	100.00	41.69

Tablica 4.18 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće pomoću brzina prolaska P-valova kroz uzorke Valtura fiorito.

Uzorci	Brzina prolaska vala v (km/s)	UCS (MPa) Kilic (2008)	UCS (MPa) Torok (2010)	UCS (MPa) Babacan (2012)	UCS (MPa) Azimian (2016)	UCS (MPa) Briševac (2017)
VAL-U-A-UCS-1	5.00	115.54	81.72	54.09	110.14	56.14
VAL-U-A-UCS-2	4.75	102.00	69.67	51.08	104.07	46.99
VAL-U-A-UCS-3	4.65	96.94	65.29	49.90	101.69	43.82
VAL-U-A-UCS-4	4.81	105.12	72.41	51.80	105.50	49.01
VAL-U-A-UCS-5	4.90	110.00	76.74	52.89	107.70	52.28
VAL-U-A-UCS-6	4.72	100.24	68.15	50.68	103.25	45.88
VAL-U-A-UCS-7	4.91	110.40	77.10	52.97	107.88	52.55
VAL-U-A-UCS-8	4.81	105.13	72.42	51.80	105.51	49.02
VAL-U-A-UCS-9	4.76	102.51	70.13	51.20	104.31	47.32
VAL-U-A-UCS-10	4.88	108.74	75.61	52.61	107.14	51.42
VAL-U-A-UCS-11	4.82	105.43	72.69	51.87	105.65	49.22
VAL-U-A-UCS-12	4.98	114.02	80.34	53.76	109.47	55.06
VAL-U-A-UCS-13	4.74	101.40	69.15	50.95	103.79	46.61
VAL-U-A-UCS-14	4.69	98.91	66.99	50.37	102.63	45.04
VAL-U-A-UCS-15	4.89	109.01	75.86	52.67	107.26	51.61
VAL-U-A-UCS-16	4.77	102.90	70.46	51.29	104.49	47.57

#### 4.4 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće preko vizualnog određivanja stjenskih značajki

Uzorcima se prema njihovoj potpori, poroznosti te stanju defekata pridružile ocjene parametara potrebne za izračun jednoosne tlačne čvrstoće iz [tablice 4](#). Izračun se radio prema [formuli 3-7](#). Rezultati izračuna su prikazani u tablicama: tablica 4.19, tablica 4.19, tablica 4.19, tablica 4.20, tablica 4.21, tablica 4.22.

Iz rezultata izračuna jednoosne tlačne čvrstoće svijetlog varijeteta Kirmenjaka (TABLICA 4.19) vidljivo je kako se uzorci dijele na dvije grupe s obzirom na vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće. Uzorci s manjom čvrstoćom (163 MPa) imaju veći intenzitet raspucanosti, nego oni s većom čvrstoćom (177 MPa).

Tablica 4.19 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka svijetlog varijeteta Kirmenjaka prema formuli 3-7.

UZORAK	POTPORA	DEFEKTI	POROZNOST	POTPORA/ DEFEKTI	DEFEKTI/ POROZNOST	UCS (MPa)
KIR-V-A-UCS-1	5.612	12.15	36.12	-4.14	5.43	177
KIR-V-A-UCS-2	5.612	12.15	36.12	-4.14	5.43	177
KIR-V-A-UCS-3	5.612	0	36.12	0	0	163
KIR-V-A-UCS-4	5.612	12.15	36.12	-4.14	5.43	176
KIR-V-A-UCS-5	5.612	0	36.12	0	0	163
KIR-V-A-UCS-6	5.612	12.15	36.12	-4.14	5.43	176
KIR-V-A-UCS-7	5.612	0	36.12	0	0	163
KIR-V-A-UCS-8	5.612	0	36.12	0	0	163
KIR-V-A-UCS-9	5.612	0	36.12	0	0	163
KIR-V-A-UCS-10	5.612	0	36.12	0	0	163
KIR-V-A-UCS-11	5.612	12.15	36.12	-4.14	5.43	176
KIR-V-A-UCS-12	5.612	0	36.12	0	0	163
KIR-V-A-UCS-13	5.612	0	36.12	0	0	163
KIR-V-A-UCS-14	5.612	12.15	36.12	-4.14	5.43	176
KIR-V-A-UCS-15	5.612	12.15	36.12	-4.14	5.43	176
KIR-V-A-UCS-16	5.612	0	36.12	0	0	163

S obzirom na rezultate izračuna jednoosne tlačne čvrstoće (TABLICA 4.20) uzorci tamnog varijeteta Kirmenjaka se također dijele u dvije skupine. Jedna skupina uzoraka ima slab intenzitet raspucanosti što rezultira većim čvrstoćama (205 MPa), dok uzorci s umjerenim intenzitetom raspucanosti imaju manje čvrstoće (155 MPa).

Tablica 4.20 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka tamnog varijeteta Kirmenjaka prema formuli 3-7.

UZORAK	POTPORA	DEFEKTI	POROZNOST	POTPORA/ DEFEKTI	DEFEKTI/ POROZNOST	UCS (MPa)
KIR-T-A-UCS-1	33.17	87.09	-22.73	-67.43	53.02	205
KIR-T-A-UCS-2	33.17	87.09	-22.73	-67.43	53.02	205
KIR-T-A-UCS-3	33.17	-12.01	-22.73	-42.85	77.88	155
KIR-T-A-UCS-4	33.17	-12.01	-22.73	-42.85	77.88	155
KIR-T-A-UCS-5	33.17	-12.01	-22.73	-42.85	77.88	155
KIR-T-A-UCS-6	33.17	-12.01	-22.73	-42.85	77.88	155
KIR-T-A-UCS-7	33.17	87.09	-22.73	-67.43	53.02	205
KIR-T-A-UCS-8	33.17	87.09	-22.73	-67.43	53.02	205
KIR-T-A-UCS-9	33.17	-12.01	-22.73	-42.85	77.88	155
KIR-T-A-UCS-10	33.17	87.09	-22.73	-67.43	53.02	205
KIR-T-A-UCS-11	33.17	87.09	-22.73	-67.43	53.02	205
KIR-T-A-UCS-12	33.17	-12.01	-22.73	-42.85	77.88	155
KIR-T-A-UCS-13	33.17	-12.01	-22.73	-42.85	77.88	155
KIR-T-A-UCS-14	33.17	-12.01	-22.73	-42.85	77.88	155
KIR-T-A-UCS-15	33.17	-12.01	-22.73	-42.85	77.88	155
KIR-T-A-UCS-16	33.17	-12.01	-22.73	-42.85	77.88	155



Svi uzorci Kanfanara imaju jednaku procijenjenu čvrstoću (195 MPa) s obzirom da svi uzorci pokazuju jednake značajke stijenske mase.

Tablica 4.21 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće Kanfanara prema formuli 3-7.

UZORAK	POTPORA	DEFEKTI	POROZNOST	POTPORA/ DEFEKTI	DEFEKTI/ POROZNOST	UCS (MPa)
KAN-IV-A-UCS-1	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
KAN-IV-A-UCS-2	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
KAN-IV-A-UCS-3	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
KAN-IV-A-UCS-4	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
KAN-IV-A-UCS-5	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
KAN-IV-A-UCS-6	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
KAN-IV-A-UCS-7	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
KAN-IV-A-UCS-8	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
KAN-IV-A-UCS-9	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
KAN-IV-A-UCS-10	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
KAN-IV-A-UCS-11	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
KAN-IV-A-UCS-12	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
KAN-IV-A-UCS-13	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
KAN-IV-A-UCS-14	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
KAN-IV-A-UCS-15	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
KAN-IV-A-UCS-16	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195

Rezultati izračuna (TABLICA 4.22) su jednaki i među uzorcima Selina (195 MPa). Međutim tri uzorka odudaraju zbog većeg intenziteta raspucanosti, te imaju manje čvrstoće (144 MPa).

Tablica 4.22 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka Selina prema formuli 3-7.

UZORAK	POTPORA	DEFEKTI	POROZNOST	POTPORA/ DEFEKTI	DEFEKTI/ POROZNOST	UCS (MPa)
SEL-T-A-UCS-1	-55.04	12.15	36.12	23.4	5.43	144
SEL-T-A-UCS-2	-55.04	12.15	36.12	23.4	5.43	144
SEL-T-A-UCS-3	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
SEL-T-A-UCS-4	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
SEL-T-A-UCS-5	-55.04	12.15	36.12	23.4	5.43	144
SEL-T-A-UCS-6	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
SEL-T-A-UCS-7	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
SEL-T-A-UCS-8	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
SEL-T-A-UCS-9	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
SEL-T-A-UCS-10	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
SEL-T-A-UCS-11	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
SEL-T-A-UCS-12	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
SEL-T-A-UCS-13	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
SEL-T-A-UCS-14	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
SEL-T-A-UCS-15	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195
SEL-T-A-UCS-16	-55.04	-12.01	36.12	53.48	50.97	195

Svi uzorci Valtura fiorito imaju jednake stijenske značajke te su stoga i rezultati izračuna čvrstoće jednaki za sve uzorke (164 MPa).

Tablica 4.23 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka Valtura fiorito prema formuli 3-7.

UZORAK	POTPORA	DEFEKTI	POROZNOST	POTPORA/ DEFEKTI	DEFEKTI/ POROZNOST	UCS (MPa)
VAL-F-A-UCS-1	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164
VAL-F-A-UCS-2	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164
VAL-F-A-UCS-3	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164
VAL-F-A-UCS-4	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164
VAL-F-A-UCS-5	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164
VAL-F-A-UCS-6	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164
VAL-F-A-UCS-7	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164
VAL-F-A-UCS-8	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164
VAL-F-A-UCS-9	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164
VAL-F-A-UCS-10	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164
VAL-F-A-UCS-11	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164
VAL-F-A-UCS-12	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164
VAL-F-A-UCS-13	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164
VAL-F-A-UCS-14	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164
VAL-F-A-UCS-15	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164
VAL-F-A-UCS-16	-38.12	67.73	-22.73	0	35.72	164

Rezultati izračuna varijeteta Valtera unito su također jednaki među uzorcima (198 MPa), što je posljedica jednakih stijenskih značajki uzoraka.

Tablica 4.24 Rezultati izračuna jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka Valtur unito prema formuli 3-1.

UZORAK	POTPORA	DEFEKTI	POROZNOST	POTPORA/ DEFEKTI	DEFEKTI/ POROZNOST	UCS (MPa)
VAL-U-A-UCS-1	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198
VAL-U-A-UCS-2	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198
VAL-U-A-UCS-3	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198
VAL-U-A-UCS-4	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198
VAL-U-A-UCS-5	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198
VAL-U-A-UCS-6	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198
VAL-U-A-UCS-7	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198
VAL-U-A-UCS-8	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198
VAL-U-A-UCS-9	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198
VAL-U-A-UCS-10	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198
VAL-U-A-UCS-11	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198
VAL-U-A-UCS-12	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198
VAL-U-A-UCS-13	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198
VAL-U-A-UCS-14	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198
VAL-U-A-UCS-15	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198
VAL-U-A-UCS-16	-38.12	67.73	36.12	0	10.52	198

## 5. DISKUSIJA

### 5.1 Petrografske značajke

Svi uzorci na kojima su provedena ispitivanja su determinirani kao vapnenci. Međutim oni se razlikuju s obzirom na svoje petrografske i fizičko-mehaničke značajke. Mikroskopski gledano uzorci se razlikuju prema tipu alokema (bioklasta) koji sadrže, te prema zastupljenosti mikrita i sparita. Budući da je potpora uzoraka definirana kao način slaganja zrna i klasta, mikroskopske značajke imaju važnu ulogu pri njenoj determinaciji. Kad se promatraju preparati svijetlog i tamnog Kirmenjaka (SLIKA 4.2, SLIKA 4.4) vidljivo je, kako se svijetli varijetet Kirmenjaka skoro cijeli sastoji od mikrita, a u tamnom varijetetu je značajan udio i bioklasta poput onkoida ali i ima i sparita. Ova razlika se i makroskopski odražava (SLIKA 4.1, SLIKA 4.3) stoga su uzorcima determinirane različite potpore. Svijetli varijetet ima muljevit potporu, a tamni varijetet ima zrnatu potporu. Kad se promatraju uzorci Kanfanara i Selina, uočava se izmjena mikrita sa zonama u kojima prevladavaju onkoidi. Ovo je vidljivo na preparatima uzoraka (SLIKE 4.6, 4.7, 4.9, 4.10), gdje je veliki dio preparata prekriven mikritom s bioklastima, kao što su alge i školjkaši, dok su onkoide gusto raspoređene u ograničenim zonama. Također je vidljivo kako su granice između kristala sparita nazubljene. Ovo sve upućuje, da je u uzorcima došlo do rekristalizacije. Makroskopski se onkoidne zone mogu vidjeti kao tamniji proslojci u prevladavajuće svijetložutom uzorku (SLIKE 4.5, 4.8). S obzirom da su kristali kalcita vidljivi golim okom na uzorku, on je klasificiran kao kristaliničan. Na preparatima uzoraka Valtura fiorito i unito (SLIKE 4.12, 4.13, 4.15, 4.16) mikrit se nalazi između kršja. Prevladavaju ljuštore rudista, čija veličina na uzorcima varijeteta unito u velikoj mjeri prelazi 2 mm, a u varijetu unito su veličine do 2 mm. Ljuštore su vidljive i makroskopski (SLIKE 4.11, 4.14) na uzorcima. Na uzorcima Valtura fiorito blijedo žute boje se ističu nehomogeno raspoređene tamne ljuštore školjkaša, koje su znatno veće od 2 mm, a pojedine ljuštore su velike do 6 cm. Na uzorcima Valtura unito kršje ljuštura rudista je homogeno raspoređeno po uzorku. Također većina ljuštura vidljiva na uzorku je manja od 2 mm. Zbog toga je potpora varijeteta fiorito determinirana kao krupno – zrnata, a varijeteta unito kao zrnata. Razlike u potporama uzoraka značit će i velike razlike u njihovim mehaničkim značajkama. Uzorci koji imaju manja zrna za potporu bit će

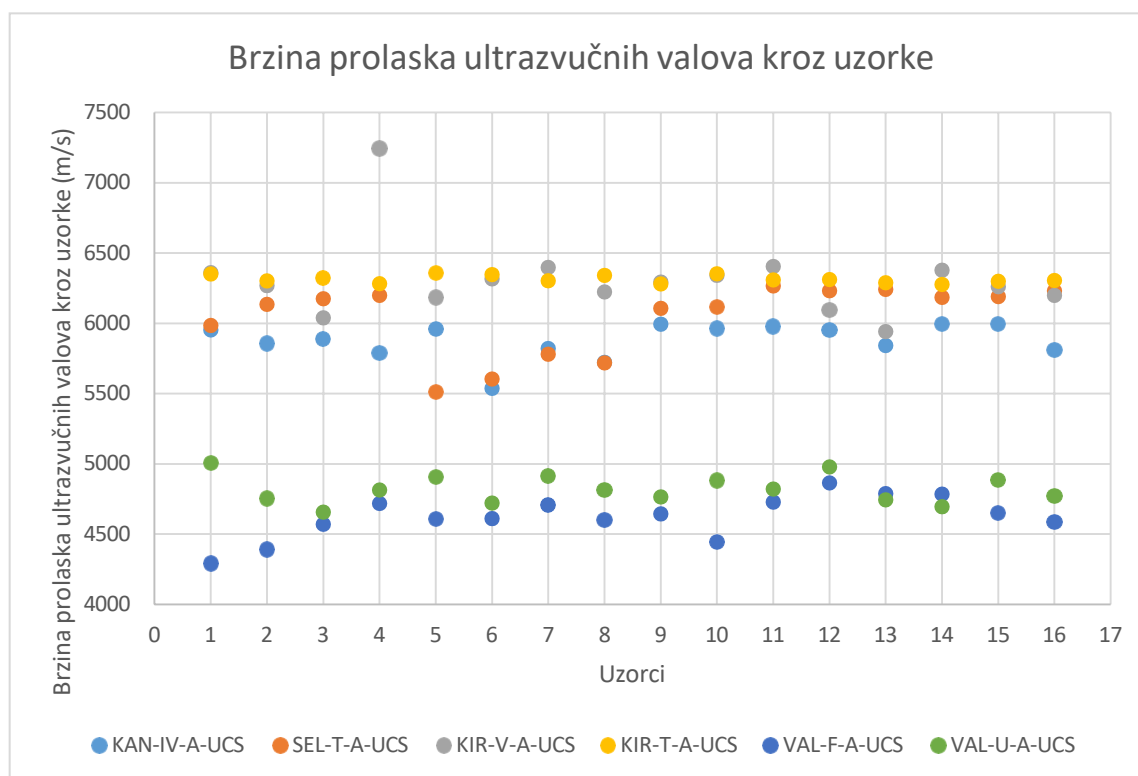
kompaktniji, nego uzorci koji imaju veća zrna za potporu. Samim time i njihova očekivana čvrstoća bi trebala biti veća.

Važna razlika između uzoraka je i u njihovom intenzitetu raspucanosti i stanju defekata - uglavnom stilolitia. Ova značajka varira između uzoraka unutar pojedinih varijeteta. Uzorci tamnog varijeteta Kirmenjaka se mogu podijeliti na dvije grupe s obzirom na intenzitet raspucanosti. Uzorke sa slabom intenzitetom i uzorke s umjerenim intenzitetom. Uzorci svijetlog varijeteta se također dijele u dvije grupe, na uzorke s izraženim intenzitetom i uzorke s vrlo izraženim intenzitetom. Varijetet Selina pokazuje veću homogenost s obzirom na ovu značajku. Većina uzoraka Selina imaju umjeren intenzitet raspucanosti, tek tri uzorka imaju izražen intenzitet. Intenzitet raspucanosti uzoraka Kanfanara, te Valtura fiorito i unito je ujednačen. Uzorci Kanfanara su umjerenom raspucani, dok na uzorcima oba varijeteta Valtura nema defekata. Defekti imaju nepovoljan utjecaj na mehaničke značajke, pa će uzorci s nižim intenzitetom imati veću čvrstoću od onih s višim intenzitetom.

Velik broj uzoraka ima sličnu poroznost tako da se s obzirom na nju uzorci mogu podijeliti na one s malom poroznosti (Kanfanar, Selina, Kirmenjak svijetli i Valtura unito) i umjerenom poroznosti (Kirmenjak tamni, Valtura fiorito). Velika poroznost ima nepovoljan utjecaj na mehanička svojstva. Veća poroznost znači manju gustoću materijala stijene, s obzirom da pore predstavljaju oslabljenje, pogotovo ako su međusobno povezane. među česticama što znači da uzorak ima manju čvrstoću. Promatranjem ovih značajki izračunata je jednoosna tlačna čvrstoća.

## 5.2 Brzina prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke

Radi subjektivnosti procjene jednoosne tlačne čvrstoće, provedeno je mjerenje brzina prolazaka ultrazvučnih valova kroz uzorke. Mjerenjem se htjelo utvrditi stanje materijala stijene, ali i mjerene vrijednosti usporediti s vrijednostima izračunate jednoosne tlačne čvrstoće i na taj način provjeriti njihovu ispravnost. Na grafičkom prikazu (SLIKA 5.1) su prikazane očitane brzine prolaska ultrazvučnih valova kroz uzorke ( $v_p$ ), a u tablici (TABLICA 27) su prikazane srednje brzine prolaska ultrazvučnih valova u odnosu na potporu, intenzitet raspucanosti i poroznost uzoraka.



Slika 5.1 Grafički prikaz prolaska brzine ultrazvučnih valova kroz uzorke. Na x – osi prikazani redni brojevi uzoraka, a na y – osi su prikazane brzine prolaska ultrazvučnih valova.

Tablica 5.1 Srednje vrijednosti brzina prolaska valova kroz uzorke za određene varijetete i prema determiniranim značajkama.

Blok	Broj uzoraka	Srednje vrijednosti brzina prolaska vala [m/s]
SEL-T-A	16	6040
KAN-IV-A	16	5877
VAL-F-A	16	4622
VAL-U-A	16	4819
KIR-T-A	16	6313
KIR-V-A	16	6307
Potpora	Broj uzoraka	Srednje vrijednosti brzina prolaska vala [m/s]
Kristalinična	32	5958
Krupno zrnata	32	4721
Muljevita	16	6307
Zrnata	16	6313
Intenzitet raspucanosti	Broj uzoraka	Prosječne brzine prolaska vala v(m/s)
Nema raspucanosti	32	4721
Slabo raspucani	6	6325
Umjereno raspucani	39	6054
Izraženo raspucani	10	6285
Vrlo izraženo raspucani	9	6189
POROZNOST	Broj uzoraka	Prosječne brzine prolaska vala v(m/s)
mala	32	5761
umjerena	64	5467

Prema dobivenim rezultatima uzorci Valtura fiorito imaju najmanje brzine (4622,43 m/s), a uzorci tamnog Kirmenjaka najveće brzine (6312,52 m/s). Ovi rezultati su u skladu s petrografskim značajkama uzoraka. Uzorci Valtura fiorito su građeni od najvećih zrna i izrazito su nehomogeni, što ih čini najmanje kompaktnim. Zbog toga su njihove vrijednosti brzina prolazaka najmanje (4622,43 m/s). Uzorci Valtura unito su kompaktniji i homogeni, zbog čega imaju i malo veću brzinu prolaska valova (4818,68 m/s) u usporedbi s varijetetom fiorito. Brzine prolaska kroz Kanfanar (5876,53 m/s) i Selinu (6040,16 m/s) su veće nego brzine prolaska kroz uzorke Valtura. Iako oboje imaju sličnu potporu, brzine prolaska upućuju kako su uzorci Selina kompaktniji, nego uzorci Kanfanara. Kako uzorci imaju slične intenzitete raspucanosti, očito postoji razlika u veličinama čestica između uzoraka. Uzorci Kirmenjaka pokazuju najviše brzine što je očekivano budući da su građeni od najmanjih zrna te su najkompaktniji. Tamni varijetet Kirmenjaka ima u prosjeku malo veće brzine (6312,52 m/s), nego svijetli (6307,46) iako je svijetli varijetet kompaktniji.

Mogući uzrok ovome su izraženiji i bolje povezani stiloliti na uzorcima svijetlog varijeteta Kanfanara.

### 5.3 Izračunata jednoosna tlačna čvrstoća

Iz izračunatih vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće, prema vizualnom određivanju stjenskih značajki i prema brzinama prolaska ultrazvučnih P – valova kroz uzorke, izračunate su prosječne vrijednosti za svaki varijetet. Ove vrijednosti su uspoređene s vrijednostima s kojima raspolaže tvrtka koja se bavi eksploatacijom ovih varijeteta vapnenaca. Valja napomenuti kako se tvrtka koristi prosječnim vrijednostima za skupne nazive varijeteta, a ne za pojedinačni varijetet. Iz tablice (TABLICA 28) je vidljivo kako se izračunate vrijednosti u većini slučajeva razlikuju u prosjeku od prosječnih vrijednosti kojima raspolaže eksploatacijska tvrtka.

Tablica 5.2 Tablica usporedbe vizualne procjene jednoosne tlačne čvrstoće s izračunatim UCS vrijednostima iz  $v_p$  prema različitim autorima.

Blok	Srednja vrijednost procijenjene čvrstoće [MPa]	Srednja vrijednost UCS [MPa] Kilic (2008)	Srednja vrijednost UCS [MPa] Torok (2010)	Srednja vrijednost UCS [MPa] Babacan (2012)	Srednja vrijednost UCS [MPa] Azimian (2016)	Srednja vrijednost UCS [MPa] Briševac (2017)	Čvrstoća (Kamen Pazin) [MPa]	
SEL-T-A	185.57	183.14	147.50	66.53	135.63	118.96	Istarski žuti	186
KAN-IV-A	195.22	170.97	134.93	64.56	131.56	104.84		
VAL-F-A	164.3	105.52	72.80	51.87	105.65	49.35	Valtura	64
VAL-U-A	197.95	95.47	64.09	49.51	100.91	43.04		
KIR-T-A	173.78	203.32	168.33	69.80	142.39	142.46	Kirmenjaka	216
KIR-V-A	169.31	203.59	168.97	69.73	142.27	145.09		

Iz usporedbe rezultata izračunatih vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće, prema vizualnom određivanju stjenskih značajki, s vrijednostima eksploatacijske tvrtke mogu se vidjeti odstupanja. Za uzorke varijeteta Valtura vrijednosti čvrstoće su znatno veće od uobičajenih, a za uzorke varijeteta Kirmenjaka znatno manje. Međutim uzorci Kanfanara i Selina, koji komercijalno pripadaju varijetetu Istarski žuti imaju vrijednosti čvrstoće koje odstupaju u manjoj mjeri od uobičajenih, a u slučaju varijeteta Selina odstupanje je iznimno malo (0,23 %).

Vrijednosti čvrstoće izračunate pomoću brzine prolaska P-valova također pokazuju odstupanja od uobičajenih vrijednosti čvrstoće varijeteta. Najpreciznije vrijednosti čvrstoće su dobivene korištenjem [formule \(3-2\)](#), a zadovoljavajući rezultati se dobiju i korištenjem [formule \(3-3\)](#). Odstupanja u vrijednostima pri izračunu čvrstoće preko brzine, najvjerojatnije su posljedica testiranja formula na različitim vrstama stijena. Zbog toga formule koje koriste niži eksponent daju preciznije vrijednosti kad se radi o stijenama veće čvrstoće, a veći eksponenti daju preciznije vrijednosti kad se radi o stijenama manje čvrstoće.

Ovakva odstupanja u vrijednostima mogu biti objašnjene problemima subjektivnosti pri vizualnom određivanju čvrstoće. Kako se izračun jednoosne tlačne čvrstoće temelji na određivanju i rangiranju vizualnih karakteristika uzoraka, koje vrši ispitivač, može se dogoditi da karakteristike jednog uzorka budu drukčije rangirane, nego drugog. Karakteristika koja je najpodložnija pogrešci prilikom procjene je intenzitet raspucanosti i karakteristike defekata. Ovo je vidljivo na uvećanim slikama plašta uzoraka (SLIKA 5.2 – SLIKA 5.11).



Slika 5.2 Uvećani plašt uzorka KIR-T-A-UCS-2, čiji je intenzitet raspucanosti okarakteriziran kao slab.





Slika 5.3 Uvećanje plašta uzorka KIR-T-A-UCS-3, čiji je intenzitet raspucanosti okarakteriziran kao umjeren.



Slika 5.4 Uvećanje plašta uzorka KIR-V-A-UCS-4, čiji je intenzitet raspucanosti okarakteriziran kao izražen.



Slika 5.5 Uvećanje plašta uzorka KIR-V-A-UCS-5, čiji je intenzitet raspucanosti okarakteriziran kao vrlo izražen.



Slika 5.6 Uvećanje plašta uzorka KAN-IV-A-UCS-10, čiji je intenzitet raspucanosti okarakteriziran kao umjeren.

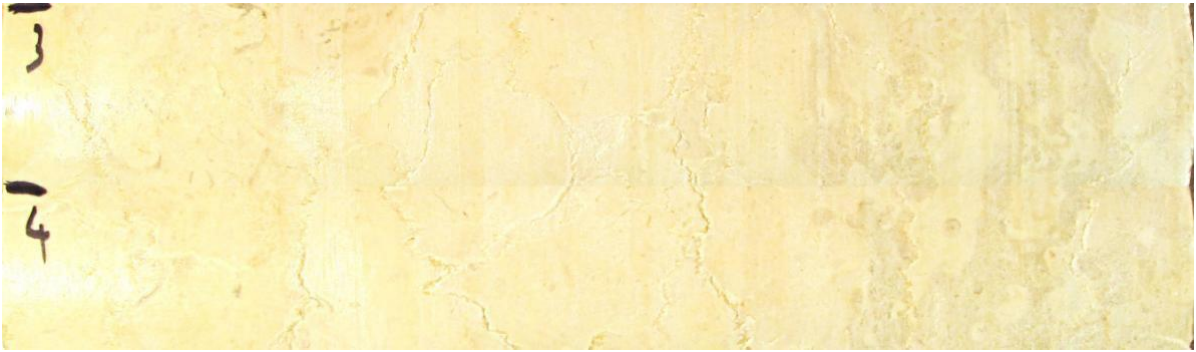


Slika 5.7 Uvećanje plašta uzorka KAN-IV-A-UCS-11, čiji je intenzitet raspucanosti okarakteriziran kao umjeren.



Slika 5.8 Uvećanje plašta uzorka SEL-T-A-UCS-5, čiji je intenzitet raspucanosti okarakteriziran kao izražen.





Slika 5.9 Uvećanje plašta uzorka SEL-T-A-UCS-8, čiji je intenzitet raspucanosti okarakteriziran kao umjeren.



Slika 5.10 Uvećanje plašta uzorka VAL-F-A-UCS-5, na kojem nisu uočeni defekti.



Slika 5.11 Uvećanje plašta uzorka VAL-U-A-UCS-7, no kome nisu uočeni defekti.

Na slikama (SLIKA 5.2 – SLIKA 5.11) se može vidjeti kako su vizualno razlike između uzoraka istih varijeteta male, ali su im različito determinirani intenziteti raspucanosti. Zbog ovih malih razlika među uzorcima istih varijeteta, moguće je da intenziteti raspucanosti uzoraka budu jednako determinirani. S time i vrijednost koja se koristi za izračun postaje značajno drukčija te dolazi do velikih razlika jednoosne tlačne čvrstoće.

Poteškoće kod ovakvog izračuna mogu biti uzrokovane i samim ocjenama preuzetim iz članka koje se pridružuju značajkama (TABLICA 4). Prema njima uzorci s određenim značajkama poput umjerenog intenziteta raspucanosti, bi trebali imati manju čvrstoću, nego uzorci s izraženim intenzitetom otpornosti što nije slučaj pri stvarnim mjerenjima. Također nelogičnosti se pojavljuju i kad se ocjenjuje kombinirani utjecaj značajki na uzorke. Primjerice za uzorak koji ima izražen intenzitet raspucanosti i umjerenu poroznost se očekuje da ima veću čvrstoću, od uzorka na kojem nema defekata i ima malu poroznost iako je drugi uzorak kompaktniji od prvog. Do tih nelogičnosti vjerojatno dolazi jer se izračun UCS vrijednosti iz preuzetog modela bazira na statistički dobivenim faktorima iz relativno limitiranog broja nekih tipova uzoraka. Naime, nebalansirani statistički uzorak, tj. premali broj uzoraka određenih značajki značajno oslabljuje moć predikcije. Zbog toga bi i podaci iz ovog istraživanja trebali poslužiti kreiranju boljeg predikcijskog modela.

## 5.4 Klasifikacija uzoraka

Da bi se utvrdila uspješnost metode izračuna jednoosne tlačne čvrstoće preko vizualnog određivanja značajki, napravljena je klasifikacija koristeći izračunate vrijednosti i vrijednosti tvrtke koja se bavi eksploatacijom ovih varijeteta vapnenaca. Korištene su sljedeće klasifikacije (TABLICA 29): IAEG (1979), ISRM (1981), ISO (2003).

Tablica 5.3 Klasifikacije stijena prema čvrstoći.

ISRM (1981.)		IAEG (1979.)		ISO(2003.)	
< 6 MPa	Vrlo slaba stijena	< 15 MPa	Slaba stijena	< 1 MPa	Iznimno slaba
6 - 10 MPa	Slaba stijena	15 - 50 MPa	Umjereno slaba stijena	1 - 5 MPa	Vrlo slaba
20 - 60 MPa	Umjereno čvrsta stijena	50 - 120 MPa	Čvrsta stijena	5 - 25 MPa	Slaba
60 - 200 MPa	Čvrsta stijena	120 - 230 MPa	Vrlo čvrsta stijena	25 - 50 MPa	Umjereno čvrsta
> 200 MPa	Iznimno čvrsta stijena	> 230 MPa	Iznimno čvrsta stijena	50 - 100 MPa	Čvrsta
				100 - 250 MPa	Vrlo čvrsta
				> 250 MPa	Iznimno čvrsta

U tablici 5.4 su prikazani rezultati klasifikacije uzoraka prema izračunu jednoosne tlačne čvrstoće preko vizualnog određivanja stjenskih značajki. Iz tablice se može vidjeti kako su uzorci Kanfanara i Selina, kad se koristi metoda vizualne procjene čvrstoće uzoraka, pravilno klasificirani prema sve tri klasifikacije. Uzorci svijetlog i tamnog varijeteta Kirmenjaka su pravilno klasificirani prema IAEG (1979) i ISO (2003) klasifikaciji. Uzorci Valtura su pravilno klasificirani samo prema ISRM (1981) klasifikaciji.

Tablica 5.4 Tablica klasifikacije uzoraka koristeći standardne vrijednosti čvrstoće i vrijednosti čvrstoće izračunate preko vizualnog određivanja stjenskih značajki.

VARIJETET	Srednja vrijednost čvrstoće [MPa]	ISRM (1981)	IAEG (1979)	ISO (2003)
KAN-IV-A	185.571	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
SEL-T-A	195.22	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
VAL-F-A	164.3	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
VAL-U-A	197.95	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
KIR-V-A	173.783	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
KIR-T-A	169.312	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
VARIJETET	UCS [MPa]	ISRM (1981)	IAEG (1979)	ISO (2003)
Istarski žuti	186	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
Kirmenjak	216	Iznimno čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
Valtura	64	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena

Uzorci su također klasificirani koristeći vrijednosti izračuna preko brzina prolaska P – valova kroz uzorke. Rezultati klasifikacije su prikazani u tablici 5.5. U tablici se vidi kako su uzorci najtočnije klasificirani kad su se koristila formula (3-1). Svi uzorci, osim uzoraka Valtura fiorito prema ISO (2003.) klasifikaciji su pravilno klasificirani.

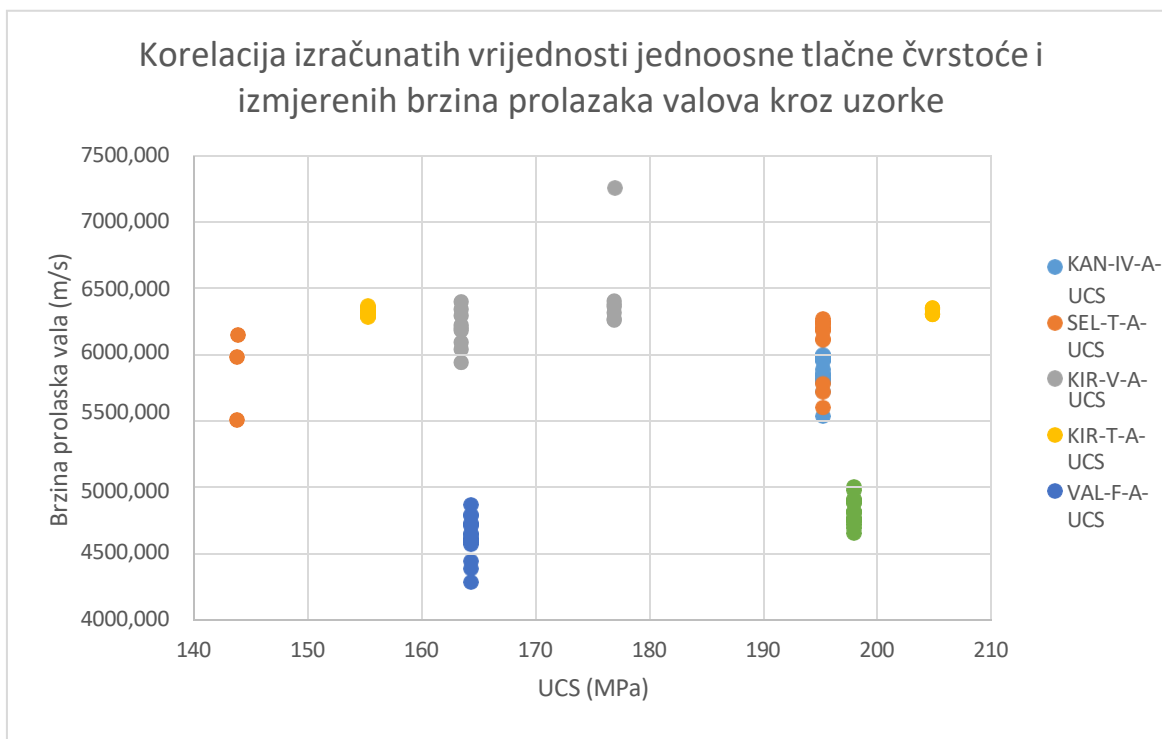
Tablica 5.5 Klasifikacija uzoraka prema vrijednostim jednoosne tlačne čvrstoće preko brzina prolaska P – valova kroz uzorke.

BLOK	Srednja čvrstoća [MPa] Kilic (2008)	ISRM (1981)	IAEG (1979)	ISO (2003)
SEL-T-A	183.14	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta	Vrlo čvrsta
KAN-IV-A	170.97	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta	Vrlo čvrsta
VAL-F-A	105.52	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta
VAL-U-A	95.47	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena	Čvrsta
KIR-T-A	203.32	Iznimno čvrsta stijena	Vrlo čvrsta	Vrlo čvrsta
KIR-V-A	203.59	Iznimno čvrsta stijena	Vrlo čvrsta	Vrlo čvrsta

BLOK	Srednja čvrstoća [MPa] Torok (2010)	ISRM (1981)	IAEG (1979)	ISO (2003)
SEL-T-A	147.5	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
KAN-IV-A	134.93	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
VAL-F-A	72.8	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena
VAL-U-A	64.09	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena
KIR-T-A	168.33	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
KIR-V-A	168.97	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
BLOK	Srednja čvrstoća [MPa] Babacan (2012)	ISRM (1981)	IAEG (1979)	ISO (2003)
SEL-T-A	66.53	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena
KAN-IV-A	64.56	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena
VAL-F-A	51.87	Umjereno čvrsta stijena	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena
VAL-U-A	49.51	Umjereno čvrsta stijena	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena
KIR-T-A	69.8	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena
KIR-V-A	69.73	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena
BLOK	Srednja čvrstoća [MPa] Azimian (2016)	ISRM (1981)	IAEG (1979)	ISO (2003)
SEL-T-A	135.63	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
KAN-IV-A	131.56	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
VAL-F-A	105.65	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
VAL-U-A	100.91	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
KIR-T-A	142.39	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
KIR-V-A	142.27	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
BLOK	Srednja čvrstoća [MPa] Briševac (2016)	ISRM (1981)	IAEG (1979)	ISO (2003)
SEL-T-A	118.96	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
KAN-IV-A	104.84	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
VAL-F-A	49.35	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena	Umjereno čvrsta stijena
VAL-U-A	43.04	Čvrsta stijena	Čvrsta stijena	Umjereno čvrsta stijena
KIR-T-A	142.46	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena
KIR-V-A	145.09	Čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena	Vrlo čvrsta stijena

Odstupanja u klasifikaciji stijena, koristeći vrijednosti izračunate jednoosne tlačne čvrstoće preko određivanja vizualnih stijenskih značajki, mogu biti objašnjene problemima subjektivnosti pri vizualnom određivanju čvrstoće. Da bi se to provjerilo u korelaciju su

stavljene podaci izračunate jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka i brzina prolazaka ultrazvučnih valova kroz uzorke (SLIKA 5.12).



Slika 5.12 Grafički prikaz korelacije izračunatog UCS-a i brzina prolaska ultrazvučnih valova.

Iz grafičkog prikaza je vidljivo grupiranje uzoraka Selina i Kanfanara. Ovo je očekivano budući da uzorci imaju slična petrografska svojstva. Uzorci Valtura unito i fiorito imaju slične brzine prolazaka valova kroz uzorke, ali značajno različite vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće. Uzorci tamnog i svijetlog Kirmenjaka imaju slične vrijednosti brzina prolazaka, ali dolazi do velikih odstupanja u vrijednostima jednoosne tlačne čvrstoće unutar samih varijeteta. Odstupanja su najvjerojatnije posljedica izračuna jednoosne tlačne čvrstoće preko vizualnog određivanja stjenskih značajki.

Uzorci Kanfanara i Selina su ispravno klasificirani prema sve tri korištene klasifikacije (TABLICA 29). Uzorci tamnog i svijetlog Kirmenjaka ispravno su klasificirani prema 2 od 3 korištene klasifikacije, a uzorci Valtura fiorito i unito su ispravno klasificirani samo prema jednoj klasifikaciji. Ovo upućuje na to da bi vizualno određivanje jednoosne tlačne čvrstoće, unatoč navedenim manama metode, moglo biti uspješno za stijene čija je stvarna čvrstoća veća od 100 MPa.

## 6. ZAKLJUČAK

Uobičajeno se jednoosna tlačna čvrstoća određuje u laboratoriju prema standardiziranom postupku (ISRM, 1979). Međutim, za uspješno provođenje metode potrebna je prethodna priprema uzoraka, što zahtjeva velike troškove i puno vremena za pravilnu pripremu. Stoga je provedeno vizualno određivanje čvrstoće uzoraka, kako bi se omogućilo brže određivanje približne jednoosne tlačne čvrstoće u relativnoj veličini izravno na terenu. Ispitivanja su provedena na 96 uzoraka: po 16 uzoraka Kanfanara, Selina, svijetlog varijeteta Kirmenjaka, tamnog varijeteta Kirmenjaka, Valtura fiorito i Valtura unito.

Kako bi se potvrdila ispravnost metode, uz vizualno procjenjivanje čvrstoće provedena su: mikropetrografska analiza, mjerenje brzina prolaska ultrazvučnih P – valova kroz uzorke te izračun jednoosne tlačne čvrstoće preko izmjerenih brzina. Dobiveni rezultati su uspoređeni s vrijednostima kojima se koristi tvrtka koja se bavi eksploatacijom ovih varijeteta te je napravljena klasifikacija prema ISRM (1981), IAEG (1979), ISO (2003). Uzorci su klasificirani prema rezultatima dobivenih izračunom jednoosne tlačne čvrstoće, preko određenih vizualnih karakteristika i preko izmjerenih brzina jednoosne tlačne čvrstoće. Koristeći vrijednosti čvrstoće izračunatih preko određenih vizualnih stijenskih značajki, uzorci Kanfanara i Selina su ispravno klasificirani prema sve tri klasifikacije, uzorci Kirmenjaka su ispravno klasificirani prema IAEG (1979) i prema ISO (2003) klasifikaciji, dok su uzorci Valtura ispravno klasificirani samo prema ISRM (1981) klasifikaciji. Koristeći vrijednosti čvrstoće izračunate preko brzina prolaska P – valova, najispravnije su klasificirani uzorci čija je čvrstoća izračunata po formuli (3-1). Svi uzorci su ispravno klasificirani, osim uzoraka Valtura fiorito prema ISO (2003) klasifikaciji.

Dobiveni rezultati pokazuju da metoda vizualne procjene čvrstoće daje uspješne rezultate, kad se koristi za klasifikaciju stijena čija je čvrstoća veća od 100 MPa. Međutim da bi se moglo sasvim potvrditi uspješnost metode potrebno je provesti i mjerenja jednoosne tlačne čvrstoće te usporediti dobivene vrijednosti s vrijednostima koje se dobiju vizualnom procjenom čvrstoće. Također kako je metoda ispitana samo na karbonatnim stijenama i to vapnencima, stoga se preporuča ispitivanje metode na drugim tipovima stijena (magmatskim, metamorfnim i ostalim sedimentnim stijenama).



## 7. LITERATURA

- AJALLOEIAN R., MANSOURI H., BARADARAN E., 2017. Some carbonate rock texture effects on mechanical behavior, based on Koohrang tunnel data, Iran – Bulletin of Engineering geology and environment 76 (1), 295 – 307
- ALDEJARE A. E., 2019., Evaluation of empirical estimation of uniaxial compressive strength of rock using measurements from index and physical tests, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 12 (2), 256 – 268
- BARTON N., CHOUBEY V., 1977., The shear strength of rock joints in theory and praxis, Rock Mech. 10, 1), 1-54
- BRIŠEVAC Z., 2012., Model međuovisnosti fizikalno-mehaničkih značajki karbonatnih stijena, doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
- BRIŠEVAC Z., HRŽENJAK P., COTOMAN I., 2017., Estimate of Uniaxial Compressive Strength and Young's Modulus of the Elasticity of the Natural Stone Giallo d'Istria, Procedia Engineering 191, 434 – 441
- EVAMY, B.D., SHERMAN D.J., 1962. The application of chemical staining techniques to the study of the diagenesis in limestones, Proc. Geol. Soc. London
- FIO FIRI K., MARIČIĆ A., 2020., Usage of Natural Stones in the city of Zagreb (Croatia) and its Geotouristical Aspects, Geoheritage 62
- HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT (2009)., Geološka karta Republike Hrvatske M 1:300 000, Zagreb, Hrvatski geološki institut, ISBN 978-953-6907-11-9
- HRVATSKI GEOLOŠKI INSTITUT (2009)., Tumač geološke karte Republike Hrvatske M 1:300 000, Zagreb, Hrvatski geološki institut
- IAEG, 1979. Classification of Rocks and Soils for Engineering Geological Mapping Part 1: Rock and Soil Materials. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 19, 355 – 371
- ISO, 2003., Geotechnical investigation and testing — Identification and classification of rock — Part 1: Identification and description (ISO 14689-1). pp. 19

- ISRM, 1978a. Suggested methods for petrographic description of rocks, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Abstr.* 15 (2), 43 – 45
- ISRM, 1978b. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Abstr.* 15 (6), 319 – 368
- ISRM, 1979. Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials: part 1. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Abstr.* 16 (2), 137 - 138
- ISRM 1981.: Suggested Methods for the Rock Characterization, Testing and Monitoring, Pergamon Press, Oxford
- KILIC A., TEYMEN A., 2008. Determination of mechanical properties of rocks using simple methods, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 67(1), 237 – 244
- MINAEAN B., AHANGARI K. (2011): Estimation of uniaxial compressive strength based on P-wave and Schmidt hammer rebound using statistical method
- POLLAK D., GULAM V., BOSTJANČIĆ I., (2017): A visual determination method for uniaxial compressive strength estimation based on Croatian carbonate rock materials – *Engineering Geology* 231 (2017); 68 – 80
- SHAHINFAR M., LASHKARIPOUR G.R., KAZEMPOOR J. (2019): Modeling of uniaxial compressive strength using P and S waves in dry and saturated sandstone: a case study on sandstones in Kashafrud and Shurijeh Formation in Kopet Dagh basin
- TOROK A., VASARHELY B. (2010): The influence of fabric and water content on selected rock mechanical parameters of travertine, examples from Hungary – *Engineering Geology* 115 (2007); 237-245
- VELIĆ I., VLAHOVIĆ I. (1995): Vodič ekskurzija prvog hrvatskog geološkog kongresa; 58-65; 70-79; 105-108