Osnovne karakteristike tehničko-građevnog kamena dolomitnog sastava važne prilikom određivanja njihove upotrebe

Starčević, Karlo

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:169:579524

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

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







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

OSNOVNE KARAKTERISTIKE TEHNIČKO-GRAĐEVNOG KAMENA DOLOMITNOG SASTAVA VAŽNE PRILIKOM ODREĐIVANJA NJIHOVE UPOTREBE

Diplomski rad

Karlo Starčević
G 207

Zagreb, 2017.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

OSNOVNE KARAKTERISTIKE TEHNIČKO-GRAĐEVNOG KAMENA DOLOMITNOG SASTAVA VAŽNE PRILIKOM ODREĐIVANJA NJIHOVE UPOTREBE

KARLO STARČEVIĆ

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

Sažetak

Analizirani su uzorci dolomita iz kamenoloma Dolje, Ivanec i Gradna. Uzorci su determinirani kao kasnodijagenetski, ranodijagenetski i prijelazni litotip. Opisane su mineralno-petrografske karakteristike i fizičko-mehanička svojstva i to gustoća, upijanje vode, otvorena poroznost i indeks čvrstoće mjeren opterećenjem u točki (PLT-test). Navedena svojstva su bitna prilikom određivanja mogućnosti primjene dolomitnih varijeteta kao tehničko-građevnog kamena. S obzirom na dobivene rezultate mjerenja određen je najkvalitetniji litotip te mogućnosti njegove upotrebe. S obzirom na najniže vrijednosti otvorene poroznosti i upijanja vode te visokim vrijednostima PLT-a i dobrim mineralno-petrografskim karakteristikama (kristali malih dimenzija, dobra zapunjenost prostora kristalima i zapunjene pukotine), najkvalitetnijima su se pokazali kasnodijagenetski dolomiti iz kamenoloma Dolje.

Ključne riječi: Dolje, Ivanec, Gradna, dolomit, gustoća, otvorena poroznost, upijanje vode, indeks čvrstoće opterećenjem u točki.

Diplomski rad sadrži: 60 stranica, 4 tablica, 31 slika i 33 reference.

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta

Voditelj: Doc. dr. sc. Ana Maričić

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Ana Maričić
Doc. dr. sc. Uroš Barudžija
Izv. prof. dr. sc. Petar Hrženjak

Datum obrane: 17. veljače 2017.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's Thesis

BASIC CHARACTERISTICS OF DOLOMITE - COMPOSED CRUSHED STONE RELEVANT WHEN DETERMING THEIR USE

KARLO STARČEVIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Mineralogy, Petrology and Mineral Deposits,
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

Dolomite samples from Dolje, Ivanec and Gradna quarry were analysed. Samples were determined as late diagenetic, early diagenetic and transitional lithotypes. Mineralogical and petrographic characteristics and physical-mechanical properties were determined, precisely density, water absorption, open porosity and strength index measured in point load test. The above mentioned properties are important in determining the possible application of dolomite varieties as crushed stone or aggregate. Due to obtained results of measurements, the highest quality lithotype and possibilities of its use were determined. Considering the lowest values of open porosity and water absorption, high values of PLT and good mineralogical and petrographic characteristics (small crystals, good backfill with crystals and filled cracks), the highest quality samples were proven to be those of late diagenetic dolomite from the Dolje quarry.

Keywords: Dolje, Ivanec, Gradna, dolomite, density, water absorption, open porosity, point load test

Thesis contains: 60 pages, 4 tables, 31 figures and 33 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,

Supervisor: Assistant Professor Ana Maričić, PhD

Reviewers: Assistant Professor Ana Maričić, PhD
Assistant Professor Uroš Barudžija, PhD
Associate Professor Petar Hrženjak, PhD

Date of defense: February 17, 2017

SADRŽAJ

1. Uvod ……...…1

1.1. Cilj Rada ……....1

1.2. Tehničko-građevni kamen ……..…..1

1.3. Dolomit ……..2

2. Geografske značajke šireg i užeg područja istraživanja ……..…..5

2.1. Geografija šireg područja ……..5

2.2. Geografski položaj kamenoloma Gradna ……..6

2.3. Geografski položaj kamenoloma Dolje …….7

2.4. Geografski položaj kamenoloma Ivanec ……...8

3. Geološke značajke šireg i užeg područja istraživanja ……9

3.1. Geologija šireg područja ……...9

3.2. Geološka građa kamenoloma Gradna …….13

3.3. Geološka građa kamenoloma Dolje ……14

3.4. Geološka građa kamenoloma Ivanec ……..14

4. Pregled osnovnih karakteristika važnih prilikom upotrebe tehničko-građevnog kamena …….16

5. Metodologija istraživanja ……..……22

5.1. Terenski rad …….22

5.2. Laboratorijski rad ……22

5.3. Određivanje mineralno-petrografskih značajki uzoraka …….23

5.4. Određivanje gustoće uzoraka ……..24

5.5. Određivanje poroznosti ……...26

5.6. Određivanje upijanja vode ……..27

5.7. Određivanje indeksa čvrstoće opterećenjem u točki (PLT) ……29

6. Rezultati istraživanja ……31

6.1. Makroskopski i mikroskopski opis uzoraka ……31

6.1.1. Ivanec – ranodijagenetski litotip ……...32

6.1.2. Ivanec – kasnodijagenetski litotip ……33

6.1.3. Ivanec – prijelazni litotip ……..34

6.1.4. Dolje – ranodijagenetski litotip ……35

6.1.5. Dolje – kasnodijagenetski litotip ……..37

6.1.6. Gradna – kasnodijagenetski litotip ……...38

6.2. Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava ……39

6.2.1. Gustoća ……40

6.2.2. Upijanje vode ……41

6.2.3. Otvorena poroznost ……...44

6.2.4. Indeks čvrstoće opterećenjem u točki (PLT – Point Load Test) ……...45

7. Rasprava rezultata ……46

7.1. Mineralno-petrografske karakteristike dolomita iz tri ležišta ……46

7.2. Fizičko-mehanička svojstva dolomita iz tri ležišta ……48

7.2.1. Obrazloženje vrijednosti gustoće uzoraka ……48

7.2.2. Obrazloženje vrijednosti upijanja vode ……50

7.2.3. Obrazloženje vrijednosti otvorene poroznosti ……..52

7.2.4. Obrazloženje vrijednosti mjerenja indeksa čvrstoće opterećenjem u točki ……52

7.3. Usporedba svojstava dolomita iz tri ležišta i mogućnost njihove primjene …...53

8. Zaključak …….57

9. Literatura …….58

POPIS TABLICA

Tablica 4.1. Kategorije kamena prema vrijednostima ukupne poroznosti ……..18

Tablica 4.2. Kategorije kamena prema vrijednostima upijanja vode …….....19

Tablica 6.1. Vrijednosti gustoće, upijanja vode, otvorene poroznosti i indeksa čvrstoće uzoraka iz kamenoloma Ivanec (IB), Dolje (D) i Gradna (G) ……..…39

Tablica 6.2. Uzorci koji pokazuju vrijednosti gustoće manje od 2,7 g/cm^3 ……...40

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Geografski položaj kamenoloma Ivanec, Gradna i Dolje …….5

Slika 2.2. Kamenolom Gradna ……..6

Slika 2.3. Kamenolom Dolje kraj Podsuseda ……7

Slika 2.4. Kamenolom Ivanec ……8

Slika 3.1. Osnovna geološka karta 1:100 000, List Zagreb, s označenom lokacijom kamenoloma Ivanec, Dolje i Gradna ……..…..11

Slika 3.2. Legenda kartiranih jedinica Osnovne geološke karte 1:100 000, list Zagreb ……12

Slika 5.1. Piljenje uzoraka u oblik kocke ……23

Slika 5.2. Uzorci u mlinu usitnjeni do dimenzija praha ……..24

Slika 5.3. Uzorci u piknometrima u ultrazvučnoj kupelji ……...25

Slika 5.4. Uzorci potopljeni u vodi i zavezani špagom za mjerenje mase pod vodom 27

Slika 5.5. Uzorci potopljeni u vodi do 1/4 svoje visine …….28

Slika 5.6. Uzorci potopljeni u vodi do 3/4 svoje visine …….29

Slika 5.7. Uzorak postavljeni za mjerenje PLT čvrstoće ……...30

Slika 5.8. Odlomljeni uzorci nakon PLT mjerenja ……30

Slika 6.1. Uzorci koji su korišteni za makroskopsku analizu ……31

Slika 6.2. Mikrofotografija uzorka IB3 – struktura ranodijagenetskog dolomita na kojoj se uočava pukotina u kojoj je kristalizirao dolomit ……..33

Slika 6.3. Mikrofotografija uzorka IB12 – struktura kasnodijagenetskog dolomita na kojoj se uočavaju pukotine u kojima je kristalizirao dolomit ……..…34

Slika 6.4. Mikrofotografija uzorka IB5 – struktura prijelaznog dolomita s jasno izraženom kalavosti dolomitnih kristala ……35

Slika 6.5. Mikrofotografija uzorka D8 – struktura ranodijagenetskog litotipa u kojoj se uočavaju stromatolitne lamine ……..36

Slika 6.6. Mikrofotografija uzorka D13 – struktura dolomita u kojoj se uočavaju Intraklasti …….37

Slika 6.7. Mikrofotografija uzorka G6 – struktura kasnodijagenetskog dolomita ……..38

Slika 6.8. Grafički prikaz upijanja vode (mas. %) u odnosu na vrijeme (min) za uzorke iz kamenoloma Ivanec ……42

Slika 6.9. Grafički prikaz upijanja vode (mas. %) u odnosu na vrijeme (min) za uzorke iz kamenoloma Dolje …….43

Slika 6.10. Grafički prikaz upijanja vode (mas. %) u odnosu na vrijeme (min) za uzorke iz kamenoloma Gradna ……44

Slika 7.1. Ranodijagenetski uzorak iz kamenoloma Ivanec isprepleten velikim brojem pukotina …….49

Slika 7.2. Uzorak dolomita iz Gradne na kojem se uočava veliki broj šupljina ……50

Slika 7.3. Ranodijagenetski uzorak koji pokazuje laminiranu građu …….51

Slika 7.4. Uzorak IB-5 koji pokazuje laminiranu građu i najveće vrijednosti upijanja vode ……..51

Slika 7.5. Grafički prikaz usporedbe vrijednosti otvorene poroznosti (vol. %) i upijanja vode (mas. %) ……54

Slika 7.6. Grafički prikaz usporedbe vrijednosti otvorene poroznosti (vol. %) i upijanja vode (mas. %) ……54

Slika 7.7. Grafički prikaz usporedbe podataka indeksa čvrstoće opterećenjem u točki i upijanja vode (mas. %) ……55

1. Uvod

1.1. Cilj rada

U ovom radu određene su i prikazane mineralno-petrografske karakteristike i neka fizičko-mehanička svojstva tehničko-građevnog kamena dolomitnog sastava. Navedena svojstva su bitna prilikom određivanja mogućnosti primjene dolomitnih varijeteta kao tehničko-građevnog kamena.

Cilj ovoga rada je bio determinirati i opisati mineralno-petrografske karakteristike te neka fizičko-mehanička svojstva koja utječu na primjenu kamena. Na uzorcima dolomita iz tri kamenoloma: Ivanec, Gradna i Podsusedsko Dolje, determinirane i opisane su mineralno-petrografske karakteristike, te su određena fizičko-mehanička svojstva i to: gustoća, upijanje vode, otvorena poroznost i indeks čvrstoće mjeren opterećenjem u točki (engl. *Point Load Test* – PLT). Također, pokušala se odrediti i prostorna masa, no zbog raznih poteškoća i netočnosti rezultata, odlučeno je da se vrijednosti prostorne mase neće uzeti u obzir. Na temelju dobivenih rezultata mjerenja probala se odrediti kvaliteta i podatnost dolomitnih varijeteta kamena za moguću primjenu.

1.2. Tehničko-građevni kamen

Prema primjeni, kameni varijeteti se klasificiraju u dvije značajne grupe: prirodni ili arhitektonsko-građevni kamen (DUNDA et al., 2003) i tehničko-građevni kamen. Ovaj rad bavi se s ležištima i svojstvima tehničko-građevnog kamena. Tehničko-građevni kamen je kamen čiji mineralno-petrografski sastav i fizičko-mehanička svojstva zadovoljavaju tehničke uvjete za primjenu u graditeljstvu (SMITH & COLLIS, 2001). Tehničko-građevni kamen predstavlja prirodnu mineralnu sirovinu koja se eksploatira i koristi kao lomljeni i poluobrađeni kamen, tucanik, agregat, kamena sitnež, drobljeni pijesak i kameno brašno. Pri eksploataciji se minira, zatim mehanički drobi i usitnjava, te na kraju prosijava na odgovarajuće frakcije. Koristi se u niskogradnji i visokogradnji za izgradnju cesta, željeznica, brana, lukobrana, obalnih utvrda i u izgradnji različitih objekata. U tu grupu se može svrstati i građevni šljunak i pijesak (TOMAŠIĆ, 2006).

Tehničko-građevni kamen prema sastavu se dijeli u dvije grupe: silikatni i karbonatni. U silikatni kamen svrstavaju se varijeteti koji su magmatskog i metamorfnog porijekla, dok se u karbonatni kamen svrstavaju varijeteti metamorfnog i sedimentnog

porijekla. Znatna je razlika u cijenama proizvodnje između grupa zbog razlika u čvrstoći, tvrdoći, otpornosti na habanje, te troškova eksploatacije i prerade kamena. U tehnički kamen se mogu svrstati i sve vrste prirodnog kamena, koji se ne mogu eksploatirati u obliku blokova, a koji se upotrebljavaju u građevinarstvu u niskogradnji, visokogradnji i u raznim granama industrije. Ležišta u kojima se eksploatira tehničko-građevni kamen također se mogu podijeliti u dvije skupine s obzirom na njihov petrografski sastav: 1. sedimentna i metamorfna ležišta karbonatnog sastava i 2. magmatska, metamorfna i sedimentna ležišta silikatnog sastava. Ovakva podjela navedena je i u Pravilniku o prikupljanju podataka, načinu evidentiranja i utvrđivanju rezervi mineralnih sirovina te izradi bilance tih rezervi, Narodne novine RH, NN broj 48/92 (TOMAŠIĆ, 2006).

1.3. Dolomit

Termin „dolomit“ podrazumijeva i mineral i stijenu koja je dominantno izgrađena od istoimenog minerala. Mineral dolomit (formula $CaMg(CO_3)_2$) je bezvodni karbonat bez dodatnih aniona. Kristali su obično romboedri. Tvrdoća dolomita po Mohsovoj ljestvici je 3,5 – 4, a gustoća mu iznosi 2,85 g/cm^3. Bezbojan je ili bijel, a od primjesa može biti siv do tamnosiv (SLOVENEC, 2002).

Mineral dolomit romboedarski je karbonat koji pripada trigonsko/heksagonskom kristalnom sustavu. U idealnom slučaju sastoji se od jednakog broja Ca^{2+} i Mg^{2+} iona raspoređenih unutar zasebnih ravnina razdvojenih ravninama CO_3^{2-} aniona. Većina recentnih dolomita ima nizak stupanj uređenosti u usporedbi sa starijim dolomitima. Ni mnogi prirodni dolomiti nemaju stehiometrijski sastav (Ca:Mg = 50:50), nego imaju višak Ca^{2+} iona zbog čega omjer Ca:Mg može biti 58:42 (TUCKER, 2001).

Mineral dolomit vrlo se teško ili se uopće ne izlučuje izravno iz morske vode kao primarni mineral, već nastaje potiskivanjem aragonita, Mg-kalcita i kalcita. Do takva potiskivanja može doći neposredno nakon izlučivanja i taloženja tih minerala, pa nastaju ranodijagenetski dolomiti (sinsedimentacijski ili primarni dolomiti). Ako se potiskivanje zbiva u već očvrsnutim stijenama, vapnencima, tada su to kasnodijagenetski dolomiti (postsedimentacijski ili sekundarni dolomiti) (TIŠLJAR, 2001).

Ranodijagenetski procesi dolomitizacije zbivaju se u površinskim ili neposredno potpovršinskim uvjetima, a kasnodijagenetski na većoj dubini prekrivanja. Smatra se da je najviše dolomita nastalo blizu površine ili plitko pod površinom, ali da su oni tijekom

dijageneze na većoj dubini prekrivanja bez rekristalizacije pretrpjeli značajne strukturno-teksturne i kemijske promjene zbog kojih se nisu očuvali jasni pokazatelji tipični za takve tipove dolomita (TIŠLJAR, 2001).

Lakše nastajanje dolomita dolomitizacijom, tj. potiskivanjem kalcita ili aragonita, nego izravnim izlučivanjem iz morske vode posljedica je toga što se teško mogu stvarati minerali koji bi bili sastavljeni od dviju ili više vrsta neekvivalentnih kationa sličnih ionskih radijusa i velike mogućnosti izomorfnih zamjena mjesta u kristalnoj rešetki, kako je slučaj s Ca^{2+} i Mg^{2+} ionima, kao i zbog jake hidratacije Mg iona. Mineral dolomit dvosol je Ca-karbonata i Mg-karbonata s kristalnom rešetkom u kojoj se pravilno redaju slojevi $CaCO_3$ sa strukturom kalcita i slojevi $MgCO_3$. Iz morske vode dolomit se ne izlučuje ili se izlučuje vrlo teško zbog: visokog ionskog potencijala morske vode i stalna izlučivanja Ca-karbonata, jake hidratacije Mg^{2+} iona i niske aktivnosti CO_3^{2-} iona. Pri tome je glavna smetnja izlučivanju minerala dolomita iz morske vode kompleksna uređenost njegove kristalne rešetke u odnosu na kristalnu rešetku kalcita, aragonita i visokomagnezijskog kalcita, koji se zbog toga mnogo lakše izlučuju iz morske vode i imaju prednost pred izlučivanjem dolomita. S obzirom na to da dolomit znatno lakše nastaje u prisutnosti karbonatnog aniona CO_3^{2-} negoli u prisutnosti bikarbonatnog aniona HCO_3^-, koji se nalazi u morskoj vodi, jasno je zašto dolomit uglavnom nastaje dolomitizacijom iz aragonita, kalcita i Mg-kalcita, a ne izravnim izlučivanjem iz morske vode. Dolomitizaciju pospješuju otopine s povišenim sadržajem alkalija i otopine s visokim pH i prevladavanjem CO_3^{2-} iona nad HCO_3^- ionom (TIŠLJAR, 2001).

Granica ranodijagenetskih dolomita prema karbonatnim sedimentima u podini i krovini u pravilu je, osobito kod ranodijagenetske evaporacijske dolomitizacije, nepravilna ali oštra, budući da je dolomitizacija taloga završena prije negoli je došlo do taloženja novih sedimenata preplavljivanjem, odnosno uspostavljanjem potplimnih ili plimnih okoliša. Gornje slojne površine natplimnih ranodijagenetskih dolomita često su više ili manje erodirane, sadrže plimne kanale, desikacijske pukotine i tanke proslojke ili leće desikacijskih breča. Slojevi ranodijagenetskih dolomita sadrže pukotine stezanja, stromatolitne lamine, *tepee*-strukture, fenestre ili "strukture ptičjeg oka", desikacijske pukotine, desikacijske breče i/ili "strukture pješčanog sata" (TIŠLJAR, 2001).

Zbog ranodijagenetske dolomitizacije u evaporacijskim uvjetima, tj. uz visok molarni odnos Mg/Ca, visoku godišnju temperaturu u aridnim klimatskim područjima i jaku evaporaciju, pri dolomitizaciji istodobno nastaje veliki broj kristalizacijskih zametaka, a

time i vrlo sitni dolomitni kristali u pravilu manji od 0,015 mm. To omogućava potpuno očuvanje primarnih teksturnih značajki vapnenačkog taloga i nakon njegove potpune ranodijagenetske dolomitizacije. Zato takvi dolomiti obično sadrže očuvane stromatolitne lamine, pelete, intraklaste, neke fosile i druge unutarnje teksturno-strukturne odlike, kao što su fenestralna građa, interni sediment i geopetalno punjenje fenestra i šupljina. QUING (1998) smatra da je glavna strukturna odlika ranodijagenetskih dolomita koji se pojavljuju u zajednici s evaporitnim anhidritima kriptokristalna struktura (TIŠLJAR, 2001).

Granice između kasnodijagenetskih dolomita i vapnenaca koji ih okružuju u pravilu su postupne i nepravilne. Vapnenci bočno i vertikalno postupno prelaze u dolomite, a dolomitna tijela, veće mase i leće ili manja nepravilna gnijezda, mogu zahvatiti više slojeva vapnenaca različitih strukturnih tipova. Općenito, kasnodijagenetski dolomiti nisu konkordantno uloženi u vapnence podine i krovine, premda se mogu naći izuzeci od ovoga pravila. Između kasnodijagenetskih dolomita i okolnih vapnenaca često postoje svi međusobni postupni prijelazi od čistog dolomita preko dolomita s reliktima vapnenaca i djelomice dolomitiziranih vapnenaca do čistih vapnenaca (TIŠLJAR, 2001).

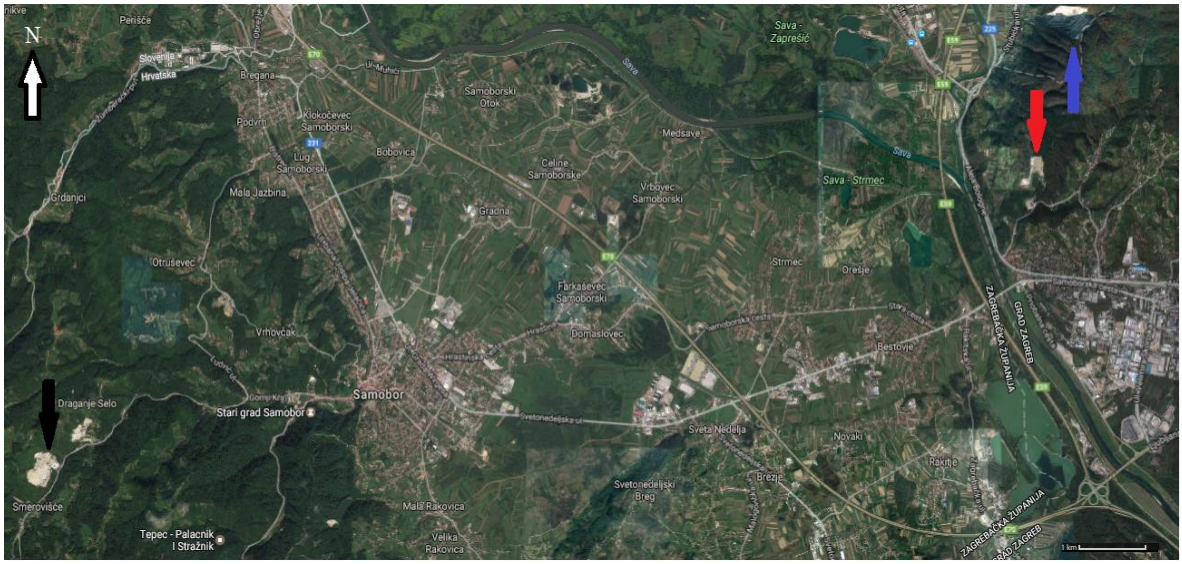
Zbog razmjerno velikih dimenzija dolomitnih kristala, koji pri kasnodijagenetskoj dolomitizaciji nastaju kao posljedica malog broja kristalizacijskih zametaka, male koncentracije magnezija u pornim otopinama i spore, dugotrajne kristalizacije, kasnodijagenetski se dolomiti odlikuju mozaičnom dolomitnom strukturom (teksturom). Dimenzije kristala kasnodijagenetskih dolomita u pravilu iznose od 0,1 do 0,4 mm, a općenito nisu manje od 0,02 mm. Bez obzira na to kakva je bila struktura i tekstura vapnenca pri potpunoj kasnodijagenetskoj dolomitizaciji, iz njega će uvijek nastati mikrokristalasti ili makrokristalasti dolomiti, tzv. šećerasti dolomiti (TIŠLJAR, 2001). Ranodijagenteski dolomiti imaju sitnije kristale i viši stupanj uređenosti kristalne rešetke dok kasnodijagenetski dolomiti imaju krupnije kristale, ali niži stupanj uređenosti kristalne rešetke (GOLDSMICHT & GRAFF, 1958, preuzeto iz TOMAŠIĆ et al., 1990).

2. Geografske značajke šireg i užeg područja istraživanja

2.1 .Geografija šireg područja

Kamenolomi Ivanec i Dolje (Slika 2.1) se nalaze na jugozapadnom dijelu Medvednice, dok se kamenolom Grada nalazi na obroncima Samoborske gore. Planina Medvednica je smještena između jugoistočnih Alpa i sjeverozapadnih Dinarida. Okružena je naplavnim riječnim dolinama Save, Krapine i Lonje te se proteže od Podsuseda na jugozapadu do Donjeg i Gornjeg Orešja na sjeveroistoku. Pripada među gore savsko-dravskog međuriječja, sporadične gorske masive istaknute u pretežito ravničarskom kraju, zbog čega ih se često nazivamo i "otočnim gorama" (njem. *Inselgebirge*, DIENER, 1902; TOMLJENOVIĆ, 2002).

Samoborsko gorje nalazi se sjeverno od grada Samobora i po njemu je dobilo ime te je dio Žumberačke gore. Potoci Lipovečka i Rudarska Gradna gorje su podijelili u tri skupine: Plešivicu, Japetić i Oštrc. Samoborsko gorje proteže se od Plešivice na jugu do rijeke Bregane i državne granice na sjeveru, sve do naselja Bregana. Istočna granica proteže se od Bregane do Okića. Samoborsko gorje je 1999. godine, zajedno sa Žumberačkom gorom, proglašeno parkom prirode.



Slika 2.1. Geografski položaj kamenoloma Ivanec, Gradna i Dolje (crvena strelica – Dolje, plava strelica – Ivanec, crna strelica – Gradna) (https://www.google.hr/maps/)

2.2. Geografski položaj kamenoloma Gradna

Kamenolom dolomita Gradna (Slika 2.2) je aktivni kamenolom u vlasništvu tvrtke Samoborka d.d.. Udaljen je od Samobora 6.4 km cestom koja povezuje Samobor sa Smerovišćem i dalje sa Velikim i Malim Lipovcem. Nalazi se u dolini potoka Lipovečka Gradna, s njegove sjeverne strane, u neposrednoj blizini Smerovišća. Baza kamenoloma nalazi se na nadmorskoj visini od 240 m. Zbog vrlo oštrog reljefa veća su naselja smještena uglavnom na okolnim brežuljcima. Među njima ističu se Slani Dol koji se nalazi neposredno iznad kamenoloma, Draganje Selo i Gregurić Breg (TOMAŠIĆ et al., 1990)



Slika 2.2. Kamenolom Gradna

2.3. Geografski položaj kamenoloma Dolje

Kamenolom Podsusedsko Dolje (Slika 2.3) je odnedavno napušteni kamenolom koji je smješten je u jugozapadnom dijelu Medvednice. Nalazi se u zapadnom dijelu grada Zagreba, u dolini Sutinskog potoka, a sjeverno od gradske četvrti Podsused. Nekada Dolje, a danas Podsusedsko Dolje ime je naselja u Podsljemenskoj zoni, naseljeno pretežno obiteljskim kućama. Do kamenoloma se dolazi asfaltiranom cestom (približno 1,5 km) od Aleje Bologne.



Slika 2.3. Kamenolom Dolje kraj Podsuseda

2.4. Geografski položaj kamenoloma Ivanec

Kamenolom Ivanec (Slika 2.4) je aktivni kamenolom u vlasništvu tvrtke Viadukt d.d. koji se nalazi u naselju Ivanec u zapadnom dijelu Zagrebačke županije, a administrativno je u sastavu grada Zaprešića. Kamenolom Ivanec udaljen je od Zagreba 16 kilometara, a lociran je na zapadnim padinama Medvednice. Do njega se stiže od odvojka Zagorske magistrale za Zaprešić asfaltnom cestom u Bistru (1,8 kilometara) te posebnim, također asfaltiranim, odvojkom do samog kamenoloma (BRAUN et al., 1989).



Slika 2.4. Kamenolom Ivanec

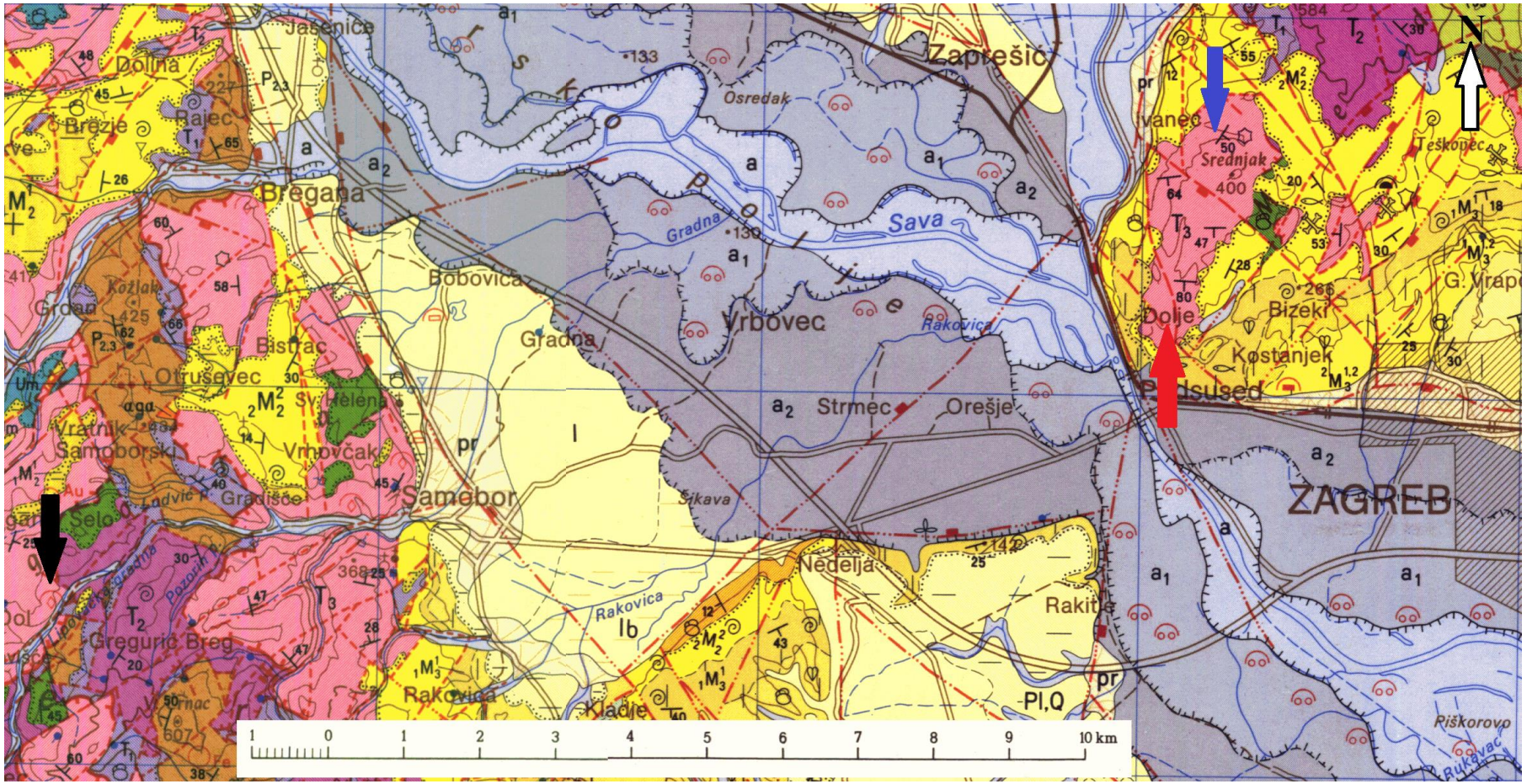
3. Geološke značajke šireg i užeg područja istraživanja

3.1. Geologija šireg područja

Najstarije stijene na području lista Zagreb (Slika 3.1 i 3.2) su paleozojski metamorfiti Medvednice. Ishodišne stijene jednim dijelom imaju obilježja vulkanogeno – sedimentnog kompleksa. Na temelju konodonata starost im je određena unutar raspona devon – karbon. Tijekom hercinske orogeneze su regionalno metamorfozirane pod PT-uvjetima facijesa zelenih škriljavaca do zone gornjih tinjčevih škriljavaca. Ortometamorfiti su predstavljeni zelenim škriljcima, zatim metamorfoziranim gabrima, dijabazima i doleritima. Parametamorfitima pripadaju škriljave grauvake, subgrauvake i siltiti, rekristalizirani vapnenci i dolomiti, slejtovi, filiti i različiti niskometamorfni škriljavci, kvarciti, mramori i cipolinski škriljci. Za dolomite i dolomitne vapnence vezane su metasomatske pojave galenita i sfalerita. Tijekom ladinika, do tada mirna karbonatne sedimentacije, poremećen je tektonskim pokretima značajnim za širi prostor. Duž dubinskih razloma došlo je do eksplozivnih vulkanizama i submarinskog nakupljanja piroklastičnog materijala. Kao odraz spomenutih pokreta, u Žumberku, Orlici i jugozapadnom dijelu Medvednice, mogu se naći relativno tanke naslage fosilifernih vapnenaca, lapora, šejlova, radiolarijskih rožnjaka i piroklastita. Ladinička starost vapnenačko – klastičnih uložaka dokumentirana je nalazima makrofosila (cefalopodi, školjke). Mikrofosili su rijetki. Još u toku ladinika obnovljen je režim plitkovodne karbonatne sedimentacije, koji se kontinuirano nastavio kroz cijeli gornji trijas. Gornjotrijaski dolomiti stromatolitskog tipa, najznačajniji su litološki element u strukturnoj građi istočnog Žumberka i djelomice jugozapadnog dijela Medvednice. U starijem, vjerojatno karničkom dijelu dolomita zapaženi su tanki proslojci šejlova, a u najmlađem dijelu vapnenci s retskim megalodontnim školjkašima. Retski vapnenci i dolomitični vapnenci u sastavu retolijasa Medvednice, plitkovodnog su tipa, dok su lijaski vapnenci već taloženi u nešto dubljoj sredini. Područje Medvednice koje je zajedno s dijelom Samoborske gore vjerojatno od kraja turona egzistiralo kao kopno, tek početkom kampana bilo je zahvaćeno transgresijom. Taloženi su bazalni konglomerati i breče, subgrauvakni pješčenjaci, pelagički vapnenci, šejlovi, lapori, siltiti i karbonatni klastiti. Naslage su fosiliferne (makrofosili, globotrunkane i dr.). Tektonska aktivnost praćena rasjedima smjera sjeveroistok – jugozapad dovodi do širenja transgresije početkom gornjeg tortona (Medvednica, Žumberak, Orlica, Marijagorička brda). Taloženi su litotamnijski vapnenci, litavci, vapnenački pješčenjaci i lapori. Sadrže brojne makrofosile i foraminifera (ŠIKIĆ et

al., 1979). Znatan doprinos poznavanju geoloških značajki Medvednice, ali i osvrt na prijašnja istraživanja u knjizi Medvednica - zagonetno Zagrebačko gorje donosi HERAK (2006).

Žumberačko gorje je izgrađeno najvećim dijelom od trijaskih dolomita, a osim njih u građi se javljaju naslage raspona od prema do kvartara (PLENIČAR & PREMRU, 1977; ŠIKIĆ et al., 1979, preuzeto iz magistarskog rada: GRGASOVIĆ, 1998).



Slika 3.1. Osnovna geološka karta 1:100 000, list Zagreb, s označenom lokacijom kamenoloma Ivanec (crvena strelica), Dolje (plava strelica) i Gradna (crna strelica) (preuzeto iz OGK, list Zagreb, L 38-80; ŠIKIĆ et al., 1977).



Slika 3.2. Legenda kartiranih jedinica Osnovne geološke karte 1: 100 000, list Zagreb (ŠIKIĆ et al., 1979).

3.2. Geološka građa kamenoloma Gradna

Strukturni sklop Gradne (Slika 3.1) posljedica je skokovite diferencijacije stijenskog kompleksa Žumberačkog i Samoborskog gorja koja se različitim intenzitetom odvijala od mezozoika do danas. Pri tome se najveće značenje pripisuje intenzivnoj tektonskoj aktivnosti u okviru Štajerske orogenetske faze koja je označila početak neotektonske etape (g. eocen – početak helveta), a karakterizirala se tangencijalnim pomacima velikih amplituda, kao i pokretima koji su u razdoblju od srednjeg pliocena do kraja pleistocena doveli do konačnog strukturnog i geološkog oblikovanja ovog prostora (ŠIKIĆ & BASCH, 1975; PRELOGOVIĆ, 1970; PRELOGOVIĆ, 1975). U tom se smislu dolomitne stijene Gradne mogu promatrati kao jedinstvena stijenska masa koja pripada strukturi Golog Crnika. Njen položaj u sklopu Žumberačko-medvedničke navlake odaje strukturu ljuske široke oko 1 km, koja je svojim istočnim i južnim dijelom (Draganje Selo, Gregurić Breg) navučena na paleozojske, mezozojske i gornjokredne sedimente autohtona Žumberka, dok zapadnu granicu (Smerovišće) čini čelo gornjotrijaskih dolomita navučeno preko krednog fliša alohtona Japetića (ŠIKIĆ & BASCH, 1975).

Karbonatni razvoj jure, vrlo često prisutne na čelu alohtonih jedinica navučenih na flišne naslage gornje krede, ukazuje na mogućnost da se izravni kontakti trijaskih dolomita i krednog fliša ne tumače transgresijom krede na trijasku podlogu, već horizontalnim pokretima stijenskih masa poslije formiranja mezozojske podloge (HERAK & BUKOVAC, 1988). Budući da slojevitost dolomita nije očuvana, pokazateljem intenzivne tektonike u ležištu mogu poslužiti ne samo već spomenute deformacije proslojakašejlova nego i mjestimična pojava gorskih zrcala koja indiciraju smjerove transporta alohtone mase, a također i pojava tektonskih dolomitnih breča. Šejlovi su primijećeni na sjevernom rubu ležišta, zbog čega je djelomično na tom mjestu i obustavljena eksploatacija dolomita. Otkriveni su u početku eksploatacije neposredno iznad baze kamenoloma na visini 295 m. Kasnije su se tijekom eksploatacije pojavili novi izdanci čime su dobiveni oskudni podaci za barem približnu rekonstrukciju zone njihovog pružanja Z–I. Stijenska masa je zbog snažnih bočnih potisaka tijekom gibanja višestruko kataklazirana i milonitizirana, zbog čega je velika mikro i makroraspucanost jedna od njenih glavnih osobina. Naknadnim procesima, posebice rekristalizacijom i cementacijom razdrobljene mase nastale su, osobito u jugozapadnom dijelu ležišta, dolomitne breče koje imaju veću čvrstoću od okolne stijenske mase. Diferencijalno kretanje tektonskih blokova odvija se duž rasjeda pravca SI-JZ koji određuje pružanje glavnih dolina i opći izgled erozijske mreže. Ističe se rasjed dolinom

Lipovečke Gradne sa spuštenim jugoistočnim krilom (o čemu svjedoči očuvani ostatak tortonskih naslaga sjeverno od Gregurić Brega), kao i niz paralelnih rasjeda sa sjeverne i južne strane ležišta (doline Breganice i Rudarske Gradne) (preuzeto iz TOMAŠIĆ & PEH, 1992).

3.3. Geološka građa kamenoloma Dolje

Kamenolom Podsusedsko Dolje (Slika 3.1) je odnedavno napušteni kamenolom u kojem je eksploatiran tehničko-građevni kamen dolomit mlađe trijaske starosti. Ukupna debljina otkrivenih naslaga iznosi oko 200 metara, od čega su 94 metara kontinuirana i u normalnom slijedu, a ostatak je tektonski poremećen. Gornjotrijaski dolomiti kamenoloma Podsusedsko Dolje pripadaju navučenoj strukturnoj jedinici Vrhovčak-Zakičnica. U kamenolomu je dobro vidljiv dolomitni razvoj gornjega trijasa u ritmičkoj sedimentaciji s jasno izdvojenim ciklusima oplićavanja naviše. Neki ciklusi završavaju erozijskom plohom i peritajdalnim brečama. Ovaj ciklus se sastoji od tri glavna člana koji se ritmički ponavljaju. Donji član (član A) je subtajdalni kriptokrostalasti do mikrokristalasti dolomit do dolomikrit. Srednji član (član B) je intertajdalni LLH stromatolit koji se sastoji od nepravilne izmjene tankih proslojakadolomikrita, fenestralnihproslojakadolomikrita i stromatolitnih lamina. U gornjim dijelovima raste udio fenestri uz pojavu vadoznih tvorevina. Gornji član (član C) je fenestralnidolomikrit s jasnom laminacijom i izmjenom nepravilnih, valovitih dolomikritnih i stromatolitnih lamina. Debljina pojedinih ritmova varira između 45 cm i 4,5 m (FUČEK et al., 1995).

3.4. Geološka građa kamenoloma Ivanec

Ležište dolomita Ivanec nalazi se u naslagama srednjeg do gornjeg trijasa (ŠIKIĆ et al., 1979). Sedimentnog je porijekla, a stijenska masa se sastoji od kasnodijagenetskog dolomita pretežno slojevite građe. Pružanje slojeva je približno zapad – istok s padom prema jugu. Dolomit je u ležištu mjestimice vrlo poremećen, a vrlo je vjerojatno da su naslage na tom lokalitetu u inverznom stratigrafskom položaju. Debljina pojedinačnih slojeva je dvadesetak centimetara. Dolomit je izrazito raspucan. Klivaž paralelan sa slojevitosti. Stijenska masa ležišta Ivanec se u hidrogeološkom smislu karakterizira sekundarnom poroznosti uvjetovanim navedenim klivažima te manje i postojanjem otvorenih pukotina.

Vertikalna i horizontalna propusnost u odnosu na kretanje podzemne vode je dovoljna da sve oborinske vode relativno brzo ulaze u podzemlje i dosežu razinu prirodne drenaže. Ta se razina u ležištu dolomita Ivanec nalazi ispod osnovne etaže kamenoloma. Generalni položaj slojevitosti je 170/50, klivaža aksijalne ravnine 14/40, regionalne strukturne osi B 89/12 i klivaža okomitog na strukturnu os B 254/80. Rasjedne plohe imaju položaj 240/50, a pukotine 330/39 i 92/47 su najvjerojatnije peraste pukotine (BRAUN et al., 1989). Gornjetrijaske naslage predstavljene su izmjenama dolomita različite boje. Kao i u kamenolomu Podsusedsko Dolje, u kamenolomu Ivanec je vidljiv dolomitni razvoj gornjega trijasa u ritmičkoj sedimentaciji s jasno izdvojenim ciklusima oplićavanja naviše. Gornjebadenske naslage predstavljene su brečama i konglomeratima, biokalkarenitima i biokalkaruditima, te vapnencima. Breče i konglomerati leže diskordantno (nekomformno) na gornjetrijaskim dolomitima (FUČEK et al., 1995).

4. Pregled osnovnih karakteristika važnih prilikom upotrebe tehničko – građevnog kamena

Mikroskopskom analizom uzoraka dobivaju se podaci o strukturi uzorka, veličini i obliku zrna, mineralnom sastavu, međusobnoj povezanosti zrna (jesu li zrna u kontaktu ili se između njih nalazi matriks), tipu veziva, udjelu pojedinih minerala (na temelju toga se određuje tip stijene) te je li došlo do promjena primarnih minerala. U karbonatne sedimentne stijene ubrajaju se vapnenci, dolomitični vapnenci i dolomiti. Postoje svi međusobni prijelazi od vapnenaca u dolomite (TIŠLJAR, 1994). Vapnenci se sastoje od minerala kalcita, Mg-kalcita, rjeđe i od aragonita. Dolomitični vapnenci se sastoje od kalcita i dolomita, a dolomiti od dolomita. Osim tih karbonatnih minerala koji su u njima prevladavajući sastojci, karbonatni sedimenti mogu sadržavati i varijabilni udio siliciklastičnog materijala dimenzija silta, pijeska i gline, te autigenene karbonatne minerale (kvarc, opal, kalcedon, albit, anhidrit, gips i dr.). Dva najčešća tipa dolomitnog mozaika su ksenotipni i idiotipni. Prethodni se sastoji od anhedralnih kristala čije su granice zakrivljene do nazubljene i nepravilne, a potonji je sastavljen od euhedralnih rombičnih kristala. Obilježja koja treba uočiti kod opisivanja dolomitnih struktura su: veličina dolomitnih kristala (unimodalna ili polimodalna), oblik dolomitnih kristala (anhedralni, subhedralni, euhedralni), dolomitni mozaik (ksenotipni, hipidiotipni, idiotipni), tip kristala (bistar, rombični, barokni), dolomitni cement (izopahni, druzni), $CaCO_3$ zrna (zamijenjena, nisu zamijenjena ili su ostali kalupi), $CaCO_3$ matriks (nije zamijenjen ili je zamijenjen) i dolomit koji ispunjava šupljine (bistar, rombičan, druzni ili barokni) (TUCKER, 2001).

Fizičko – mehanička svojstva kamena odnosno agregata koja bi se trebala odrediti prije upotrebe su: gustoća, prostorna masa, poroznost (otvorena i ukupna), upijanje vode, kapilarno upijanje vode, jednoosna tlačna čvrstoća, čvrstoća na savijanje, otpornost na habanje metodom prema Böhmeu, otpornost na udar i habanje metodom Los Angeles, postojanost na djelovanje smrzavanja, soli i toplinske promjene, čvrstoća mjerena opterećenjem u točki.

Gustoća uzoraka je omjer mase uzoraka (mase zrna, bez šupljina) i volumena čvrstog dijela uzorka pri određenom tlaku i temperaturi, a izražava se u g/cm^3. Gustoća kamena ovisi o kemijskom sastavu i gustoći odnosno strukturni pojedinih minerala. Ona će biti veća što je veći atomski broj elemenata koji izgrađuju mineral i što je gušće slaganje materijalnih čestica. Zbog toga kristali nekog minerala imaju veću gustoću od njegove amorfne

modifikacije. Gustoća je potrebna za analitičko izračunavanje apsolutne (ukupne) poroznosti (TOMAŠIĆ, 2006).

Prostorna masa ili zapreminska gustoća je omjer mase čvrstog kamena prema volumenu kamena u njegovom prirodnom stanju (volumen zrna, pora i šupljina zajedno), a izražava se u g/cm^3. Prostorna masa je uvijek manja od gustoće, a raste sa smanjivanjem udjela šupljina. Najveći broj vrsta prirodnog kamena ima prostornu masu između 2,2 i 3,1 g/cm^3 (BILBIJA, 1984). Prostorna masa nekog kamena određena je njegovim mineralnim sastavom i udjelom šupljina. Izoliranost šupljina povoljno je fizičko svojstvo. Određivanje prostorne mase potrebno je za izračunavanje apsolutne (ukupne) poroznosti (TOMAŠIĆ, 2006).

Poroznost je jedno od najvažnijih svojstava kamena za upotrebu. Razlikujemo primarnu i sekundarnu poroznost. Primarna poroznost je nastala istovremeno kad i sama stijena dok je sekundarna nastala naknadno uslijed tektonskih procesa ili nekih drugih uzroka. Poroznost te propusnost (međusobno povezane pore) su posebno značajni u zadržavanju i iscjeđivanju vode. Poroznost je svojstvo kojim se definira sadržaj pornog prostora. Postoje ukupna i otvorena poroznost. Ukupna ili apsolutna poroznost (p) se izražava u postocima (%), a označava volumen svih šupljina u kamenu u odnosu na volumen stijene u prirodnom stanju ili odnos gustoće i prostorne mase. Otvorena ili relativna poroznost (p_o) se isto izražava u postocima (%), a predstavlja samo međusobno povezane pore koje voda može ispuniti u uvjetima atmosferskog tlaka. Kamen se s obzirom na ukupnu poroznost kategorizira u šest kategorija (Tablica 4.1). Poroznost je posebno značajna za postojanost i vijek trajanja posebice karbonatnih varijeteta prirodnog kamena. Poroznost utječe na prostornu masu stijene, tj. što je poroznost veća to će prostorna masa biti manja i obrnuto. Također, utječe i na upijanje vode i čvrstoću stijene. Kako dolomiti imaju veću gustoću i gušće slaganje od vapnenaca, tako prelaskom vapnenaca u dolomit dolazi da stvaranja dodatnog pornog prostora, tj. procesom dolomitizacije dolazi do povećanja poroznosti. Pri potpunoj dolomitizaciji vapnenca sastavljenog samo od kalcita u dolomitu nastaje dodatna poroznost od 12,9 %, a kod dolomitizacije aragonitnih sedimenata od 5,5 % (TIŠLJAR, 2001).

Tablica 4.1. Kategorije kamena prema vrijednostima ukupne poroznosti (preuzeto iz BILBIJA, 1984).

Kategorije	Vrijednost poroznosti (%)
kompaktan	p< 1
malo porozan	p=1 - 2,5
umjereno porozan	p=2,5 - 5
dosta porozan	p=5 – 10
izrazito porozan	p=10 – 20
ekstremno porozan	p> 20

Upijanje vode ili absorpcija vode (Ab) je važno fizičko svojstvo kamena jer utječe i na druga svojstva te ga je neophodno izmjeriti. Kamen koji je zasićen vodom ima manju tlačnu čvrstoću od kamena koji nije zasićen te dolazi do njegovog razmekšavanja. Kristalizacijom vode odnosno zaleđivanjem, te kristalizacijom otopljenih soli u porama dolazi do značajnih tlačnih i vlačnih naprezanja u kamenu koji, ovisno o obliku i dimenzijama pora, mogu dovesti do destrukcije kamena. Otpornost na smrzavanje kamena se smanjuje ukoliko je upijanje vode veće (TOMAŠIĆ, 2006). Upijanje vode podrazumijeva da kamen u kontaktu s vodom primi određenu količinu vode, a izražava se u masenim postocima (mas.%). U Tablici 4.2 se navode kategorizacija kamena prema vrijednostima upijanja vode (BILBIJA, 1984).

Tablica 4.2. Kategorije kamena prema vrijednostima upijanja vode (preuzeto iz BILBIJA, 1984).

Kategorije	Vrijednost upijanja vode (mas. %)
vrlo malo	<0,5
malo	0,5 - 1
umjereno	1 – 2,5
osjetno	2,5 – 5
veliko	5 – 15
vrlo veliko	15-30
izuzetno veliko	>30

Proces određivanja jednoosne tlačne čvrstoće podrazumijeva mjerenje sile pri kojoj dolazi do pucanja ispitivanog uzorka, a izražava se u MPa. Što znači da je jednoosna tlačna čvrstoća maksimalna sila koju uzorak po svojoj površini može podnijeti a da ne pukne. U trenutku sloma uzorka dolazi do deformacija zrna i međuzrnskog prostora, samim time jednoosna tlačna čvrstoća uzorka ovisi o strukturno – petrografskoj građi kamena i o defektima unutar kamena. Također, na čvrstoću kamena znatno utječe prisutnost i količina vode u uzorku. Jednoosna tlačna čvrstoća kreće se u granicama od 5 MPa do 300 MPa (BILBIJA, 1984). Jednoosnu tlačnu čvrstoću je potrebno odrediti kako bi se znalo koji je kamen pogodan za ugradnju na određena mjesta te kolika je dozvoljena sila kojom ga se smije opteretiti. Osim jednoosne tlačne čvrstoće, kamenu je bitno odrediti i čvrstoću na savijanje. Ovo svojstvo je osobito važno ukoliko se kamen koristi u izradi balkonskih ploča, konzola ili ventilirajućih fasada. Svi diskontinuiteti i nehomogenosti u kamenu smanjuju čvrstoću na savijanje. Ukoliko znamo jednoosnu tlačnu čvrstoću kamena, biti će nam približno poznate i čvrstoće na vlak, savijanje i smicanje. Čvrstoća na smicanje iznosi približno 15-30 % čvrstoće na tlak. Čvrstoća na savijanje iznosi 7-20 % od tlačne čvrstoće, dok čvrstoća na vlak iznosi približno 10 % od tlačne čvrstoće (TOMAŠIĆ, 2006).

Ukoliko se iz određenih razloga ne može izvesti mjerenje jednoosne tlačne čvrstoće, određuje se indeks čvrstoće opterećenjem u točki. Određivanje indeksnih veličina koristi se najčešće zbog nemogućnosti provedbe standardnih postupaka ispitivanja zbog samih karakteristika uzoraka ili zbog mogućnosti jednostavne primjene ispitivanja direktno na terenu. Ispitivanja se mogu provoditi na pravilnim ili nepravilnim uzorcima stijene što

predstavlja jednu od osnovnih prednosti metode. Ispitivanje se provodi prema preporučenoj metodi Međunarodnog društva za mehaniku stijena (ISRM, 1985). Osnovna svrha ispitivanja je određivanje indeksa čvrstoće za standardnu veličinu uzorka $I_{s(50)}$, koji se kasnije može koristiti u procjeni vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće, klasifikacijama ili drugim procjenama (HRŽENJAK & BRIŠEVAC, 2009; pogledati doktorski rad BRIŠEVAC, 2012). Za ekstremno čvrste stijene indeks $I_{s(50)}$ je veći od 10 MPa, za vrlo čvrste stijene se kreće od 4 do 10 MPa, za čvrste stijene je u rasponu od 2 do 4 MPa, a za srednje čvrste stijene je u rasponu od 1 do 2 MPa (BRIŠEVAC, 2012). Vrijednost indeksa čvrstoće dobivenog opterećenjem u točki prvenstveno ovisi o količini i rasporedu mikropukotina. Teksturna anizotropija (laminacija) utječe na vrijednosti tlačne čvrstoće i indeksa čvrstoće opterećenjem u točki, u ovisnosti o orijentaciji uzoraka. U područjima s umjereno vlažnom klimom, najistaknutiji čimbenik razaranja kamena je smrzavanje, stoga je važno odrediti otpornost kamena na djelovanje smrzavanija (TOMAŠIĆ et al., 1992). Uzrok fizičkog razaranja kamena je prostorno širenje vode pri prelasku u led i djelovanje kristalizacijskih tlakova na stjenke pora. Kako bi se odredila otpornost kamena na djelovanje smrzavanja potrebno je znati nekoliko drugih svojstava kamena: poroznost, veličina pora, stupanj zasićenja vodom itd.

Otpornost kamena na habanje je važno svojstvo ukoliko se kamen koristi za izradu prometnica, za pješačke površine ili neke druge slične svrhe. Otpornost kamena na habanje izražava se gubitkom volumena u $cm^3/50\ cm^2$.

Metodom Los Angeles istovremeno se ispituju otpornost kamenih agregata na udar i habanje (TOMAŠIĆ et al., 1992). Kameni agregati se ispituju u čeličnom bubnju zatvorenom s oba kraja. Okretanjem bubnja dolazi do drobljenja materijala uslijed udaranja i habanja zrno o zrno, zrna o kugle i zrna o bubanj. U određenoj točki okretanja bubnja agregat s kuglama udara o čeličnu prečku unutar bubnja koja ih diže do točke s koje pod utjecajem sile teže padaju na suprotnu stjenku, te se tako zrna kamenog agregata bolje drobe i habaju. Stupanj otpornosti na drobljenje i habanje izražava se koeficijentom "Los Angeles" (KLA). Ovaj koeficijent izražen u masenim postocima, predstavlja odnos između mase dijela uzorka koji je poslije drobljenja manji od 2,0 mm prema masi uzorka prije ispitivanja (TOMAŠIĆ, 2006).

U područjima s većom koncentracijom soli (npr. područja u blizini mora) važan čimbenik razaranja kamena je sol (Na_2SO_4 ili $MgSO_4$). Test kojim se postiže kristalizacija soli u porama kamena je posebno oštar kod karbonatnih stijena, jer osim fizičkog dolazi i do

kemijskog djelovanja na minerale. Sol Na_2SO_4, ovisno o zasićenju s vlagom u atmosferi, može biti bezvodna ili s 10 molekula vode, tada promjene molarnih volumena čak i u tijeku jednog dana mogu izazvati takva naprezanja koja ne mogu podnijeti čak ni čvrste stijene poput gabra. Naprezanje uslijed kristalizacije uzrokovane hidratacijom mogu, kao i u slučaju djelovanja mraza, nadmašiti vlačnu čvrstoću kamena i dovesti s vremenom do sporadičnih oštećenja i propadanja kamena (TOMAŠIĆ, 2006).

Toplinska svojstva kamena nisu od nekog većeg značaja, posebice kad se radi o kamenu kao izolacijskom materijalu. Kamen je mnogo značajniji kao materijal koji može održavati temperaturu u nekom interijeru. Toplinsku vodljivost kamena određuju petrogeni minerali koji ga izgrađuju, njihova veličina, gustoća, prostorna orijentacija, veličina i povezanost pornog prostora te vlažnost. Kamen pri izlaganju visokim temperaturama podliježe značajnim promjenama. One se ogledaju u promjenama sastava, u kemijskoj i fizičkoj destrukciji. Glavnim uzrokom oštećenja kamena smatra se različito toplinsko širenje pojedinih minerala (TOMAŠIĆ, 2006).

5. Metodologija istraživanja

5.1. Terenski rad

Za potrebu izrade diplomskog rada obavljen je terenski dio koji je omogućio prikupljanje potrebnih uzoraka za daljnje analize. Prospekcija terena i uzorkovanje je obavljeno u kamenolomima Dolje i Ivanec koji se nalaze u blizini Podsuseda i Zaprešića te u kamenolomu Gradna kraj Samobora. Pri uzorkovanju se pazilo da se prikupe svježe odlomljeni uzorci petrografski različitih tipova kamena. Također je napravljena foto dokumentacija otkopnih fronti u kamenolomima, kao i skupljenih uzoraka.

5.2. Laboratorijski rad

Nakon terenskog rada uslijedile su laboratorijske analize. Na prikupljenim uzorcima prvo su se odredile mineralno-petrografske značajke, a zatim fizičko-mehanička svojstava. Fizičko-mehanička svojstva određena na uzorcima su: gustoća, otvorena poroznost, upijanje vode i indeks čvrstoće određen opterećenjem u točki. Prilikom piljenja (Slika 5.1) uzorci su se raspadali, stoga nije bilo moguće pripremiti uzorke pravilnog oblika kocke za određivanje jednoosne tlačne čvrstoće. S obzirom na navedeno, umjesto određivanja jednoosne tlačne čvrstoće, određen je indeks čvrstoće na temelju opterećenja u točki. Također, važno je odrediti i metodu Los Angeles, ali zbog nedostatka potrebnih uređaja, nije bilo moguće odraditi ovu metodu. Svojstva uzoraka određena su u Laboratoriju za analizu geoloških materijala (LaGEMA) Zavoda za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine, a PLT u Geomehaničkom laboratoriju Zavoda za rudarstvo i geotehniku na Rudarsko–geološko–naftnom fakultetu.



Slika 5.1. Piljenje uzoraka u oblik kocke

5.3. Određivanje mineralno-petrografskih značajki uzoraka

Mineralno-petrografske značajke ili svojstva uzoraka određuju se na temelju mikroskopskih i makroskopskih analiza. Prilikom makroskopske analize uzoraka odredila se tekstura, boja, lom, kalavost, tvrdoća i reakcija na HCl.

Za mikroskopsku analizu uzoraka potrebno je napraviti mikroskopski preparat koji se dobije tako da se uzorak ispili kao tanka pločica, te polira korundovim prahom i stanji do debljine približno 0,03 mm. Kada uzorak dovoljno stanjimo, pomoću kanadskog balzama lijepimo ga između objektnog i pokrovnog stakalca. Prethodno uzorci su bili bojani kemikalijama (K-fericijanid i alizarin crveni S) prema metodi brzog bojanja mikroskopskih izbruska kako bi se olakšalo razlikovanja kalcita od dolomita i odnosa između kalcita i dolomita kod dolomitizacije i dedolomitizacije (EVAMY & SHEARMAN, 1962). Mikroskopski preparati su zatim promatrani polarizacijskim mikroskopom tipa *Leica DM LSP*, dok su mikrofotografije snimljene digitalnom kamerom *Leica DM100*. Dolomiti su klasificirani obzirom na veličinu kristala i sačuvanost primarnih sastojaka, kako predlažu SIBBLEY & GREGG (1987).

5.4. Određivanje gustoće uzoraka

Gustoću (ρ_r) određujemo metodom pomoću piknometra (Slika 5.3) prema normi HRN EN 1936. Prema normi, prije mjerenja uzorke mase (m_e) je potrebno usitniti do dimenzija praha (Slika 5.2) odnosno do veličine čestica od 0,063 mm. Ukoliko se gustoća mjeri prema normi, tj. s uzorkom dimenzija praha, korisno je piknometre s uzorkom i vodom ostaviti u ultrazvučnoj kupelji približno 15 minuta. Iako je u normi navedeno da uzorci budu dimenzija praha za potrebe ovog rada uzorci su usitnjeni čekićem na dimenziju od približno 2 mm. Prije početka mjerenja gustoće uzoraka izvagani su prazni piknometri te piknometri napunjeni destiliranom vodom do vrha (m_2). Na taj način se odredila gustoća vode. Važno je provjeriti odgovara li unaprijed određeni volumen piknometra, stvarnom volumenu, tj. je li piknometar oštećen. Nakon toga u piknometre koji su bili do pola napunjeni vodom stavljeni su uzorci od približno 1 g. Nakon što se u piknometre stave uzorci, piknometre se napuni vodom do punog volumena (dok kroz čep nije izašlo par kapljica vode). Piknometri se obrišu mokrom krpom kako zaostale kapi vode ne bi utjecale na dobivene rezultate te se takvi piknometri važu na analitičkoj vagi (m_1). Na svakom piknometru s uzorkom napravljena su tri mjerenja, kako bi se dobili što precizniji podaci. Nakon toga se računala gustoća (g/cm^3) koja je izražena omjerom mase usitnjenog i osušenog uzorka m_e s volumenom tekućine istisnute masom m_e, pomoću formule:



Slika 5.2. Uzorci u mlinu usitnjeni do dimenzija praha

$$\rho_r = \frac{m_e}{m_2 + m_e - m_1} * \rho_{rh} \quad (1)$$

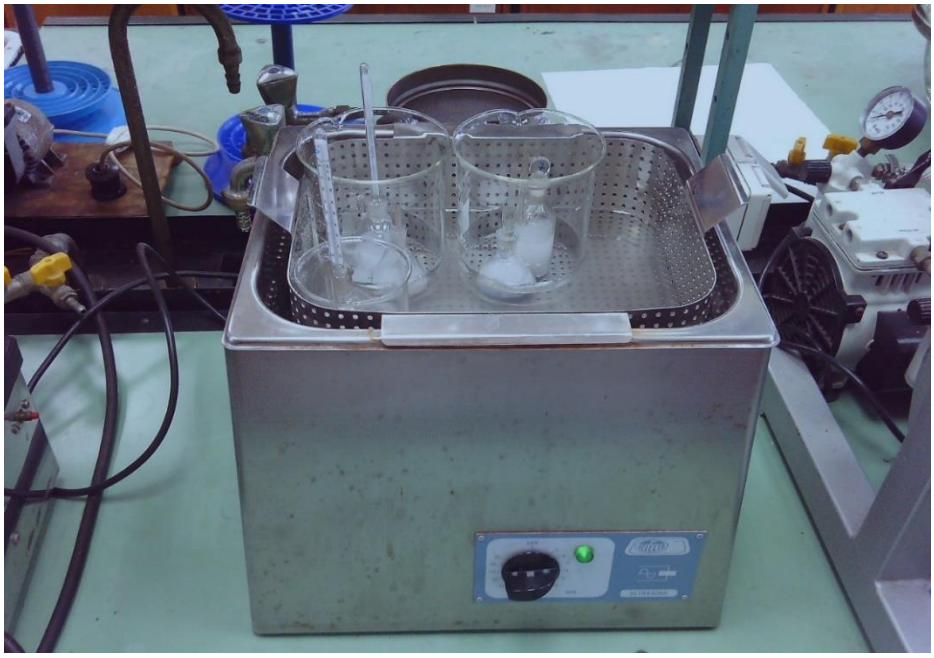
m_e = masa suhog drobljenog uzorka (g)

m_1 = masa piknometra s vodom i uzorkom uronjenim u vodu (g)

m_2 = masa piknometra s vodom (g)

ρ_{rh} = gustoća vode (g/cm^3)

ρ_r = gustoća kamena (g/cm^3)



Slika 5.3. Uzorci u piknometrima u ultrazvučnoj kupelji

5.5. Određivanje poroznosti

Otvorena ili relativna poroznost (p_o) prema normi HRN EN 13755 se određuje na način da se uzorak važe u suhom stanju (m_d), dakle poslije sušenja u sušioniku na temperaturi od 110°C, zatim se važe uzorak zasićen vodom (m_s) (Slika 5.4) i na kraju uzorak zasićen vodom koji se važe pod vodom (m_h). Važno je da na mjerenje mase uzoraka što manje utječu vanjski čimbenici, tj. da su svi uzorci vagani u istim uvjetima. Kod vaganja uzoraka pod vodom, zbog uzgona, važno je sve uzorke vagati na istoj dubini. Otvorena poroznost izražena u postocima se izražava odnosom volumena pora koje su ispunjene vodom pri atmosferskom tlaku prema ukupnom volumenu s porama, a izražena je jednadžbom:

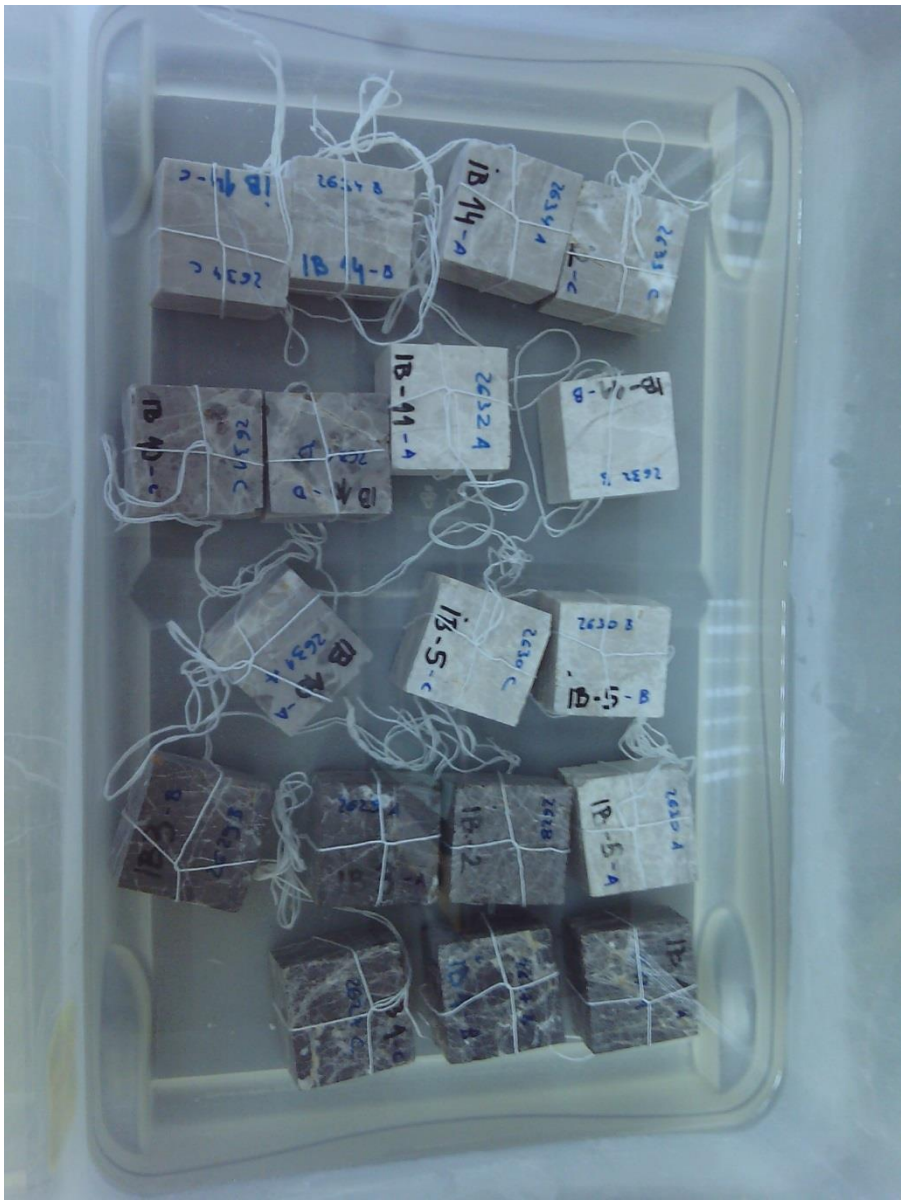
$$p_o = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} * 100 \qquad (2)$$

p_o = relativna ili otvorena poroznost (%, dostupna za vodu)

m_s = masa vodom zasićenog uzorka (g)

m_d = masa suhog uzorka kamena (g)

m_h = masa uzorka potopljenog u vodu (g)



Slika 5.4. Uzorci potopljeni u vodi i zavezani špagom za mjerenje mase pod vodom

5.6. Određivanje upijanja vode

U ispitivanjima upijanja vode prema normi HRN EN 13755 koristi se najmanje 5 uzoraka. Prvo se važu suhi uzorci (m_d), a zatim se postepeno potapaju u vodu prvo do 1/4 (Slika 5.5) svoje visine, zatim do 1/2 i 3/4 (Slika 5.6) svoje visine, nakon 22 sata uzorci se u potpunosti potapaju, a prvo mjerenje mase izvodi se nakon 24 sata od početka mjerenja. Masa se mjeri svaka 24 sata do potpunog zasićenja, tj. do trenutka kada masa uzorka više ne varira te se uzorci važu (m_s). Pri određivanju upijanja vode, važno je provjeriti ispravnost

vage na kojoj se mjeri masa uzoraka te je bitno sa uzoraka odstraniti preostale kapi vode kako njihova masa ne bi utjecala na dobivene rezultate. Nužno je da uzorci budu što kraći vremenski period izvan vode kako ne bi došlo do cijeđenja i gubitka mase. U slučaju oštećenja uzorka tokom mjerenja, dobiveni rezultati za taj uzorak ne uzimaju se kao relevantni. Rezultat se izražava u mas. %, a upijanje vode se računa prema formuli:



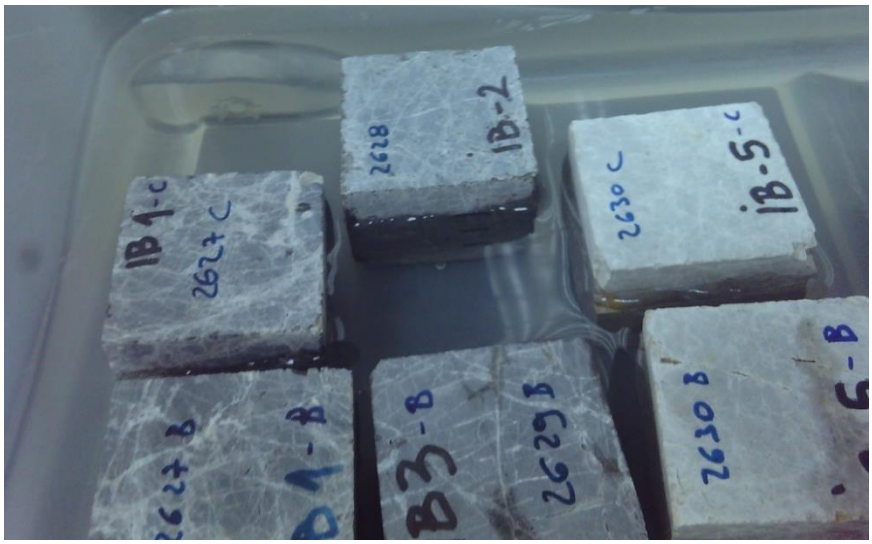
Slika 5.5. Uzorci potopljeni u vodi do 1/4 svoje visine

$$A_b = \frac{m_s - m_d}{m_d} * 100 \qquad (3)$$

A_b = upijanje vode pri atmosferskom tlaku (mas. %)

m_s = masa uzorka (g) zasićenog vodom (upijanje do stalne mase)

m_d = masa suhog uzorka (g) (osušenog do stalne mase na 70 ± 5 °C)



Slika 5.6. Uzorci potopljeni u vodi do 3/4 svoje visine

5.7. Određivanje indeksa čvrstoće opterećenjem u točki (PLT)

Određivanje indeksa čvrstoće opterećenjem u točki provodi se pomoću uređaja (Slika 5.7) koji se sastoji od: dijela za nanošenje opterećenja, uređaja za mjerenje sile potrebne za slom uzorka i dijela za mjerenje udaljenosti između dva konusna šiljka.

Ispitivanje se provodi na uzorcima pravilnih ili nepravilnih oblika. Standardno ispitivanje provodi se na valjkastim uzorcima s promjerom D od 50 mm. Ispitivanje se može provesti kao: poprečno ispitivanje, osno ispitivanje i ispitivanje uzorka nepravilnog oblika. Kod određivanja indeksa čvrstoće anizotropnih stijena kao i samog indeksa anizotropije materijala, ispitivanje je potrebno provesti u najjačem i najslabijem smjeru, što zapravo znači okomito i paralelno plohama oslabljenja. Nakon sloma (Slika 5.8) uzorka ocjenjuje se valjanost ispitivanja koja se provodi na temelju izgleda lomnih ploha (HRŽENJAK & BRIŠEVAC, 2009). Indeks čvrstoće opterećenjem u točki $I_{S(50)}$ za uzorke različitih oblika i dimenzija računa se preko izraza:

$$I_{s(50)} = F\frac{P}{D_e^2} \quad (4)$$

$I_{s(50)}$ – indeks čvrstoće utvrđen opterećenjem u točki (Pa)

F – korekcijski faktor (-),

P – sila loma (N),

D_e – efektivni promjer uzorka (m).



Slika 5.7. Uzorak postavljen za mjerenje PLT čvrstoće

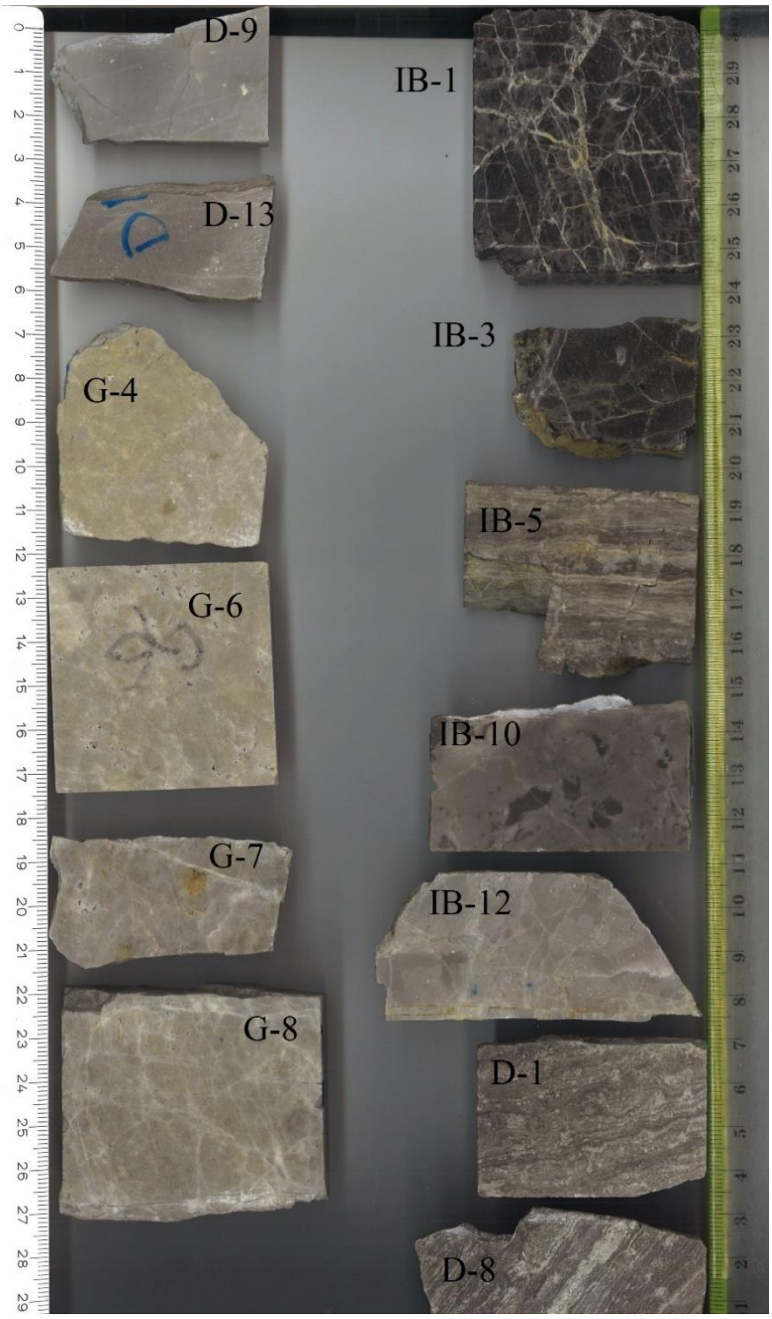


Slika 5.8. Odlomljeni uzorci nakon PLT mjerenja

6. Rezultati istraživanja

6.1. Makroskopski i mikroskopski opis uzoraka

Na prikupljenim uzorcima iz tri kamenoloma Dolje, Ivanec i Gradna na temelju makroskopskih i mikroskopskih analiza određeni su litotipovi. Na Slici 6.1 prikazani su uzorci odnosno pločice koje su korištene za makroskopsku analizu. Na istim uzorcima su napravljeni preparati za mikroskopsku analizu.



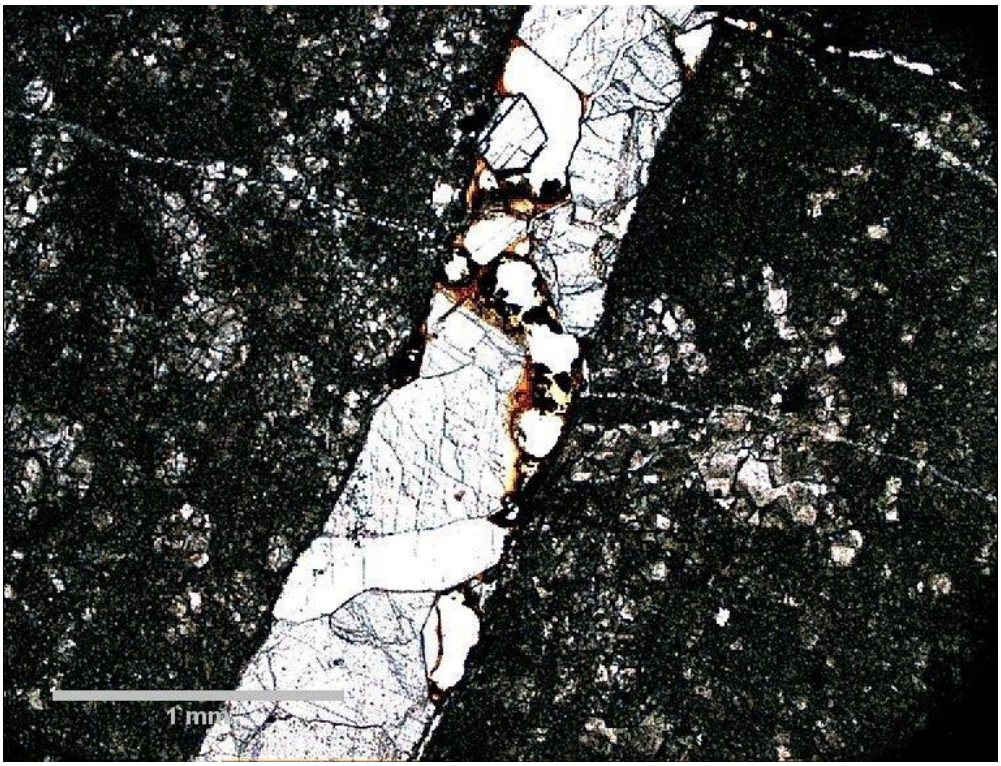
Slika 6.1. Uzorci koji su korišteni za makroskopsku analizu

Mineralno-petrografske karakteristike dolomita, i stijena općenito, značajno utječu na njihova fizičko-mehanička svojstva. Iz tog razloga probale su se odrediti sve mineralno-petrografske karakteristike, kako bi se preciznije mogla odrediti svojstva analiziranih uzoraka i u konačnici njihova primjena.

6.1.1. Ivanec – ranodijagenetski litotip

Ranodijagenetski makroskopski uzorci iz kamenoloma Ivanec (IB-1 i IB-3) su tamnosive boje. Tamna boja uzoraka ukazuje na veći sadržaj organske tvari. Na uzorcima se uočava veliki broj pukotina, bez pravilne orijentacije. Pri udaru čekićem, uzorci se lome nepravilno.

Strukture ranodijagenetskih uzoraka iz kamenoloma Ivanec (Slika 6.2.) određene su i opisane na temelju preparata IB-1 i IB-3. U uzorcima IB-1 i IB-3 dominira dolomikrit, a jasni kristali dolomita nalaze se u pukotinama i fenestrama. U pukotinama se nalaze kristali dolomita veličine i do 1,2 mm i nepravilnog oblika. U manjem broju kristala dolomita vidljiva je izražena jednostruka ili dvostruka kalavost. Veće pukotine (debljine oko 1 mm) mjestimično su ispunjene dolomitom, a mjestimično kalcitom, dok su tanje pukotine dominantno ispunjene kalcitom. Sukladno tome, može se zaključiti da su prvo nastale deblje („dolomitne“) pukotine, a nakon njih su nastale tanje („kalcitne“) pukotine, pod utjecajem meteorske dijageneze. Pukotine nemaju određenu orijentaciju, već se pružaju u svim smjerovima. Također, u uzorcima se može uočiti veći broj fenestri u kojima su kristalizirala zrna dolomita. Ovaj litotip mikropetrografski je determiniran kao ranodijagenetski dolomit.

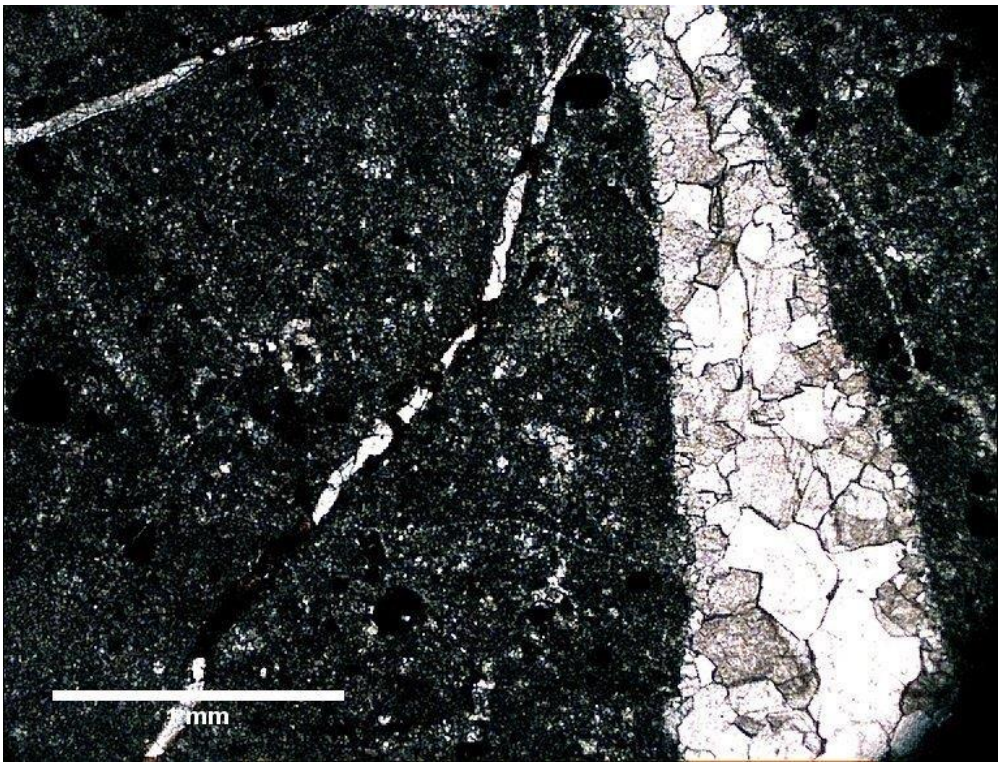


Slika 6.2. Mikrofotografija uzorka IB-3 – struktura ranodijagenetskog dolomita na kojoj se uočava pukotina u kojoj je kristalizirao dolomit

6.1.2. Ivanec – kasnodijaganetski litotip

Makroskopski uzorak IB-12 je svijetlosive boje (Slika 6.1). Sadrži manji broj nepravilno orijentiranih pukotina. Pri udaru čekićem, uzorci se lome nepravilno, a reakcija na HCl je mjestimična i slaba.

Struktura kasnodijagenetskog uzorka iz kamenoloma Ivanec (Slika 6.3.) određena je analizom uzorka IB-12. Uzorak je obilježen velikim udjelom dolomikrita te pukotinom (širine oko 1,5 mm) unutar koje je kristalizirao dolomit. Osim u pukotini, jasni kristali dolomita vidljivi su i u otocima dolomita unutar dolomikrita. Uočljiv je veliki broj manjih pukotina koje se pružaju u svim smjerovima. Uz rubove manjih pukotina jasno je vidljiva crvenkasta boja koja ukazuje na prisutnost kalcita. Pojedini kristali dolomita imaju izraženu kalavost. Kristali su nepravilnog oblika i makrokristalastih veličina. U uzorku se uočavaju nakupine organske tvari (intraklasti). Ovaj litotip mikropetrografski je determiniran kao kasnodijagenetski dolomit.



Slika 6.3. Mikrofotografija uzorka IB-12 – struktura kasnodijagenetskog dolomita na kojoj se uočavaju pukotine u kojima je kristalizirao dolomit

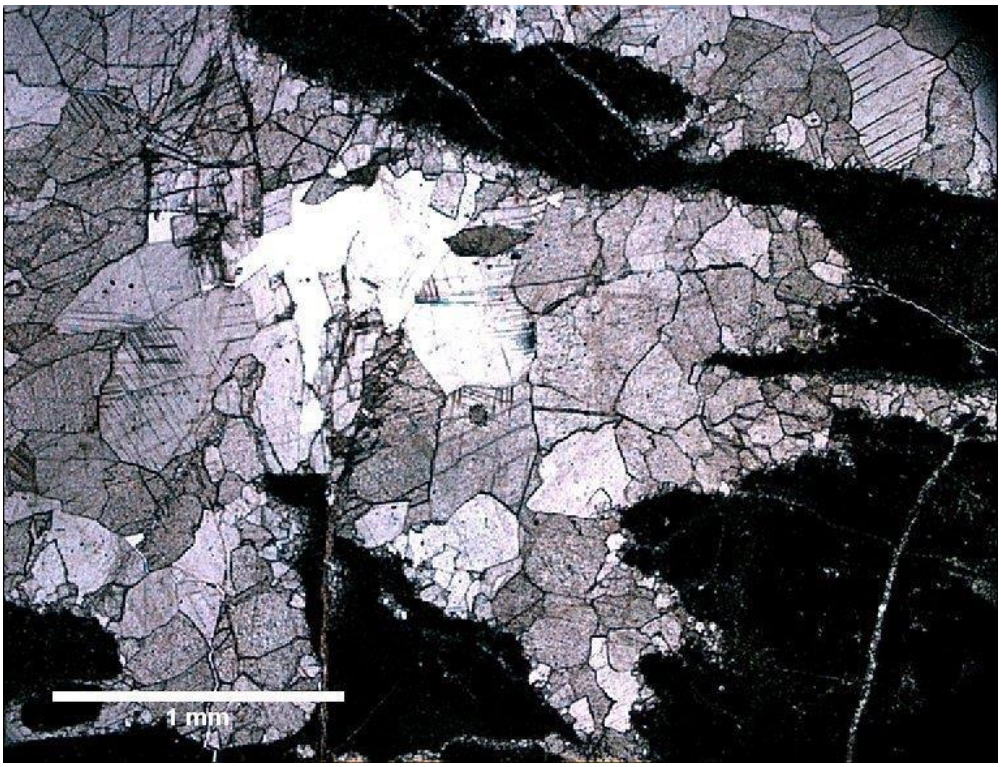
6.1.3. Ivanec – prijelazni litotip

Uzorak IB-5 je svijetlosive boje, što ukazuje na manji sadržaj organske tvari u odnosu na ranodijagenetske uzorke. Na uzorku se uočava laminirana građa, naizmjenično se redaju svjetlije i tamnije lamine. Također, uočavaju se pukotine koje imaju pravilnu orijentaciju a orijentirane su okomito na laminaciju. Osim njih na uzorku IB-10 vidljive su i nepravilno orijentirane pukotine. Na uzorku se uočavaju točke koje su tamnije boje od ostatka uzorka, a predstavljaju područja s nakupinom organske tvari.

Strukture prijelaznih dolomita iz kamenoloma Ivanec (Slika 6.4.) opisane su na temelju uzoraka IB-5 i IB-10. Uzorci IB-5 i IB-10 značajno se razlikuju. U preparatu IB-5 prevladava dolomikrit, dok u preparatu IB-10 dominira dolomitni matriks. U preparatu IB-5 vidljiva je laminacija te se uočava veliki broj pukotina koje se pružaju u različitim smjerovima (veći broj pukotina je približno okomit, tj. siječe lamine). Većina pukotina nije ispunjena, dok je u nekim pukotinama kristalizirao dolomit. Kalcit je vidljiv uz rubove pukotina, osim u donjem dijelu preparatu, gdje su pukotine u potpunosti ispunjene kalcitom. Također, vidljive su i fenestre u kojima se nalaze kristali dolomita. Na kristalima dolomita

izražena je kalavost. Dominantno nepravilan oblik kristala dolomita upućuje na anhedralnu strukturu.

U preparatu IB-10 nema pukotina ispunjenih kalcitom kao u prethodnom uzorku. Kristali dolomita su nepravilnog oblika, a karakterizira ih gusto slaganje. S obzirom da se veći kristali dolomita nalaze u sitnozrnatijem dolomitnom matriksu, zaključuje se da je mozaik kristala nejednakih veličina porfirotipni. U uzorku se uočavaju fenestre i dolomikrit, ali u puno manjoj količini nego u uzorku IB-5. Ovaj litotip mikropetrografski je determiniran kao prijelazni dolomit.



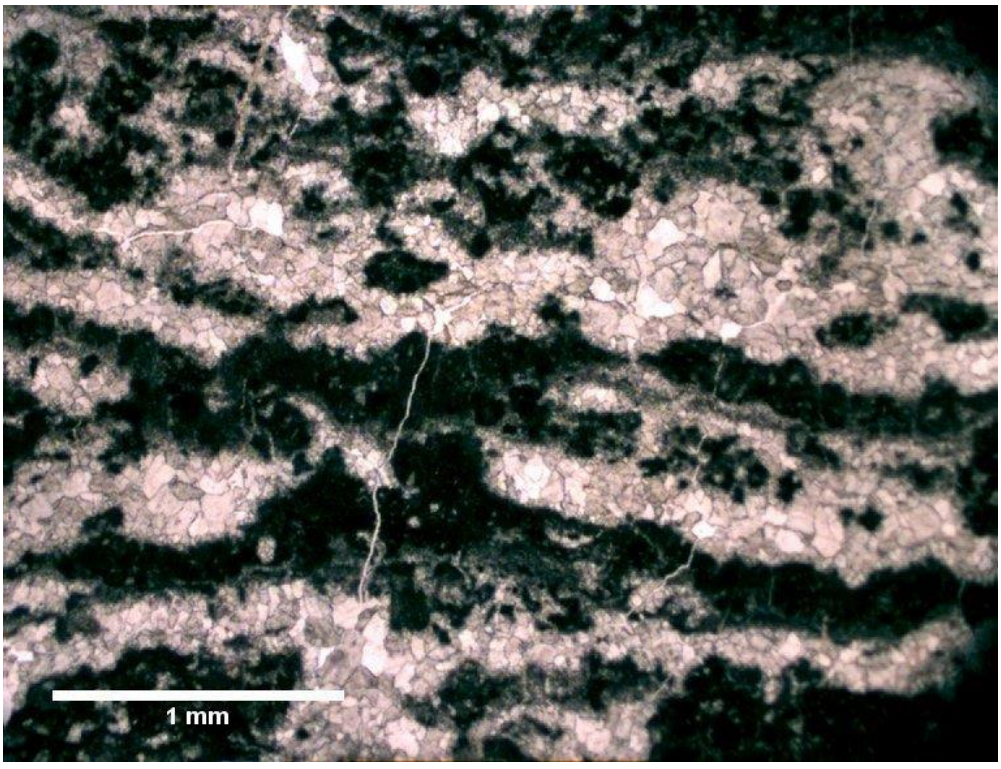
Slika 6.4. Mikrofotografija uzorka IB-5 – struktura prijelaznog dolomita s jasno izraženom kalavosti dolomitnih kristala

6.1.4. Dolje – ranodijagenetski litotip

Ranodijagenetski uzorci iz kamenoloma Dolje sive su boje te se odlikuju laminiranom građom, tj. izmjenom tamnijih i svjetlijih lamina. Dok je uzorak D-1 cijeli laminiran, na uzorku D-8 lamine se uočavaju tek mjestimično (Slika 6.1). Uzorci sadrže

manji broj nepravilno orijentiranih pukotina te veliki broj fenestri. Lom uzoraka je nepravilan, a reakcija na HCl je vrlo slaba i samo mjestimična.

U mikroskopskim preparatima uzoraka D-1 i D-8 (Slika 6.5.) promatra se struktura ranodijagenetskih dolomita iz kamenoloma Dolje. Veličina kristala dolomita je u rasponu od 0,08 mm do 0,14 mm. Kristali su nepravilnog oblika. Na manjem broju kristala vidljiva je jednostruka ili dvostruka kalavost. Dolomikrit je mjestimično crvenkasto obojen, što ukazuje na prisutnost kalcita. Prema obliku kristala struktura uzorka je subhedralna, tj. plohe kristala su djelomično izražene. Posljedica toga je hipidiotopni mozaik kristala jednakih ili približno jednakih veličina. Prema veličini kristala zaključujemo da se radi o makrokristalastoj strukturi. U oba uzorka uočava se stromatolitna laminacija (Slika 6.5.) i veći broj fenestri u kojima su kristalizirala zrna dolomita. U uzorcima nema većih pukotina, već samo više tanjih pukotina koje uglavnom nisu ispunjene ili su pak mjestimično ispunjene kristalima dolomita. Pukotine nemaju određenu orijentaciju, već se šire u svim smjerovima. Ovaj litotip mikropetrografski je determiran kao stromatolitni ranodijagenetski dolomit.

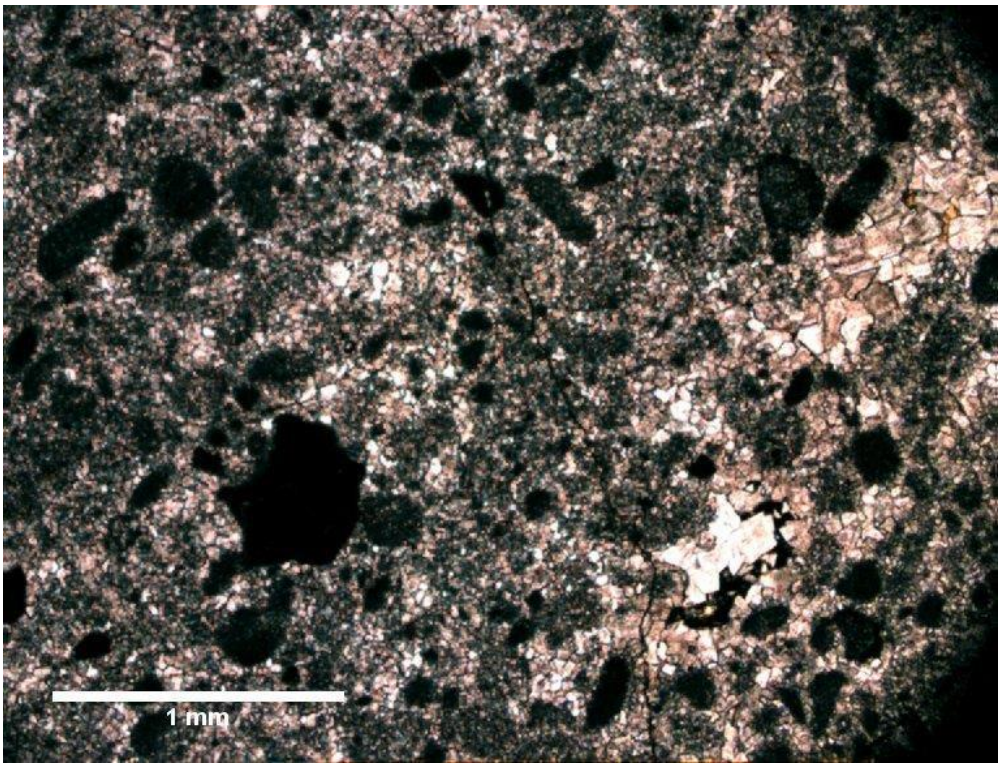


Slika 6.5. Mikrofotografija uzorka D-8 – struktura ranodijagenetskog litotipa u kojoj se uočavaju stromatolitne lamine

6.1.5. Dolje – kasnodijagenetski litotip

Kasnodijagenetski litotip (D-9 i D-13) svjetlije je boje od ranodijagenetskog litotipa. Također, sadrže veći broj nepravilno orijentiranih pukotina (Slika 6.1). Lom uzoraka je nepravilan, a reakcija na HCl je slaba i mjestimična.

Struktura kasnodijagenetskih dolomita iz kamenoloma Dolje (Slika 6.6.) je opisana na temelju uzoraka D-9 i D-13. Veličina kristala je od 0,02 do 0,12 mm, što govori da je u oba uzorka dolomit vrlo sitnozrnat. Jasni kristali dolomita uočljivi su samo u većim pukotinama, no njih nema mnogo. Manje pukotine ili nisu ispunjene ili je u njima kristalizirao dolomit, a šire se u svim smjerovima, tj. nemaju preferiranu orijentaciju. Unutar pukotine struktura dolomita je subhedralna, dok je u ostatku uzorka teško odrediti granice zrna. Kalavost je vidljiva iznimno rijetko. U uzorku se nazire crvenkasta boja, pa se može zaključiti da uzorak sadrži kalcit, ali ne u većim količinama. Uočava se veći broj intraklasta. Ovaj litotip mikropetrografski je determiran kao kasnodijagenetski dolomit.

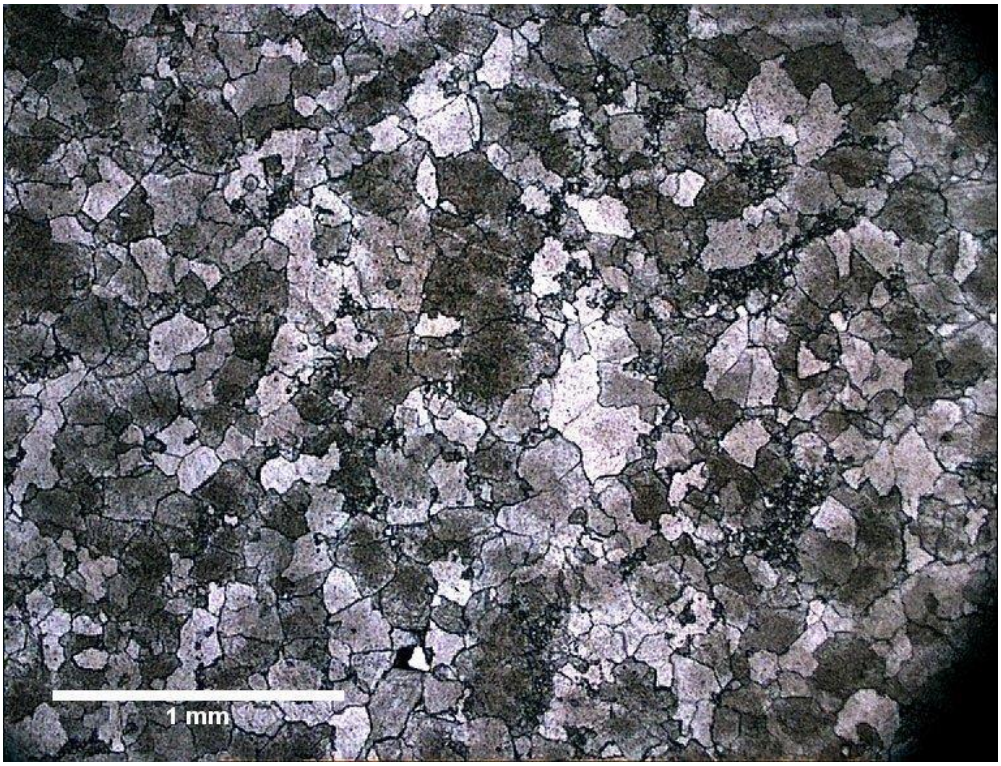


Slika 6.6. Mikrofotografija uzorka D-13 – struktura dolomita u kojoj se uočavaju intraklasti

6.1.6. Gradna – kasnodijagenetski litotip

Uzorci G-4 i G-6 su izrazito svijetlosive boje (Slika 6.1). Broj pukotina je manji nego u ranije navedenim uzorcima. Na površini uzoraka vidi se veliki broj šupljina. Na opip, uzorci djeluju jako glatko, što ukazuje na sitnije kristale dolomita. U odnosu na uzorke G-4 i G-6, uzorci G-7 i G-8 su tamniji i sadrže veći broj nepravilno orijentiranih pukotina.

Struktura dolomita iz kamenoloma Gradna (Slika 6.7.) opisana je na temelju preparata uzoraka G-4, G-6, G-7 i G-8. Veličina kristala dolomita je u rasponu od 0,04 do 0,2 mm. U svim preparatima do izražaja dolazi gusto pakiranje kristala. Na manjem broju kristala vidljiva je jednostruka ili dvostruka kalavost. Kristali su dominantno nepravilnog oblika, što ukazuje na anhedralnu strukturu. Mozaik kristala jednakih ili približno jednakih dimenzija je ksenotipni. Mozaik kristala nejednakih veličina, u uzorku G-4, je porfirotipni, tj. veći kristali su uklopljeni u sitnozrnatom matriksu. U preparatu G-8 mjestimično se uočava crvenkasto obojenje, koje ukazuje na prisutnost kalcita, a nalazi se u rubnim dijelovima kristala dolomita. Ovaj litotip mikropetrografski je determiniran kao kasnodijagenetski dolomit.



Slika 6.7. Mikrofotografija uzorka G-6 – struktura kasnodijagenetskog dolomita

6.2. Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava

Uzorci dolomita iz kamenoloma Ivanec, Dolje i Gradna bili su podvrgnuti mjerenjima fizičko-mehaničkih svojstava: gustoće, upijanja vode, otvorene poroznosti i indeksa čvrstoće opterećenjem u točki. Rezultati mjerenja navedeni su u Tablici 6.1. i Tablici 6.2.

Tablica 6.1. Vrijednosti gustoće, upijanja vode, otvorene poroznosti i indeksa čvrstoće uzoraka iz kamenoloma Ivanec (IB), Dolje (D) i Gradna (G). RD - ranodijagenetski dolomit; KD – kasnodijagenetski dolomit; PD – prijelazni dolomit.

Oznaka uzorka	Gustoća (g/cm^3)	Upijanje vode (mas. %)	Otvorena poroznost (%)	Indeks čvrstoće (MPa)
IB-1-A (RD)	**2,77**	**0,8**	**2,55**	**2,99**
IB-1-B (RD)	**2,73**	**0,79**	**2,25**	**3,47**
IB-1-C (RD)	**2,7**	**0,79**	**2,18**	**3,09**
IB-2 (RD)	**2,74**	**0,78**	**2,2**	**3,2**
IB-3-A (RD)	**2,83**	**0,55**	**1,55**	**1,14**
IB-3-B (RD)	**2,76**	**0,46**	**1,29**	**2,14**
IB-5-A (PD)	**2,71**	**1,48**	**4,21**	**1,59**
IB-10-C (PD)	**2,71**	**0,6**	**1,72**	**0,98**
IB-10-D (PD)	**2,73**	**0,48**	**1,36**	**2,76**
IB-11-B (KD)	**2,74**	**1**	**2,86**	**5,19**
IB-12-C (KD)	**2,78**	**0,36**	**1,04**	**1,15**
IB-14-B (KD)	**2,75**	**0,17**	**0,5**	**4,69**
IB-14-C (KD)	**2,83**	**0,31**	**0,88**	**1,31**
D-1 (RD)	**2,78**	**0,64**	**1,79**	**2,43**
D-2 (RD)	**2,72**	**0,33**	**0,93**	**5,47**
D-6-B (RD)	**2,81**	**0,64**	**1,79**	**0,99**
D-8 (RD)	**2,8**	**0,56**	**1,57**	**5,81**
D-9-A (KD)	**2,73**	**0,15**	**0,44**	**5,78**
D-9-B (KD)	**2,74**	**0,1**	**0,29**	**3,14**
D-11 (KD)	**2,78**	**0,13**	**0,36**	**1,62**
D-13-A (KD)	**2,8**	**0,08**	**0,24**	**6,19**
D-14 (KD)	**2,71**	**0,04**	**0,11**	**6,71**
G-1 (KD)	**2,71**			**2**
G-2 (KD)	**2,76**	**0,18**	**0,51**	**1,41**
G-4-A (KD)	**2,71**	**0,35**	**0,98**	
G-5 (KD)	**2,7**	**0,35**	**0,99**	
G-6 (KD)	**2,7**	**0,32**	**0,87**	**3,34**

6.2.1. Gustoća

U svrhu izrade diplomskog rada izmjerena je gustoća na 32 uzoraka iz tri kamenoloma. Raspon gustoća za uzorke iz sva tri kamenoloma kreće se u granicama od 2,7 do 2,83 g/cm^3 (Tablica 6.1). Pet uzoraka je svrstano u Tablicu 6.2, a razlog tome su njihove dobivene vrijednosti gustoće koje su manje od 2,7 g/cm^3. Najveće vrijednosti pokazuju kasnodijagenetski uzorci iz kamenoloma Ivanec i ranodijagenetski uzorci iz kamenoloma Dolje, u oba slučaja prosječna vrijednost gustoće uzoraka iznosi 2,77 g/cm^3. Najmanje vrijednosti pokazuju prijelazni uzorci iz kamenoloma Ivanec i uzorci iz kamenoloma Gradna, a u oba slučaja ta vrijednost iznosi 2,72 g/cm^3. Uzorci kasnodijagenetskih i ranodijagenetskih dolomita pokazuju približne, ali različite vrijednosti. Ranodijagenetski uzorci iz kamenoloma Ivanec imaju manje vrijednosti gustoće (2,76 g/cm^3) od kasnodijagenetskih (2,77 g/cm^3) uzoraka, dok ranodijagenetski uzorci iz kamenoloma Dolje (2,77 g/cm^3) pokazuju veće vrijednosti od kasnodijagenetskih (2,75 g/cm^3). S obzirom na vrijednosti gustoće, najkompaktniji uzorci su IB-3-A, IB-14-C i D-6-B, dok najmanju gustoću pokazuju uzorci IB-5-B, IB-5-C i IB-10-A.

Tablica 6.2. Uzorci koji pokazuju vrijednosti gustoće manje od 2,7 g/cm^3. RD - ranodijagenetski dolomit; KD – kasnodijagenetski dolomit; PD – prijelazni dolomit.

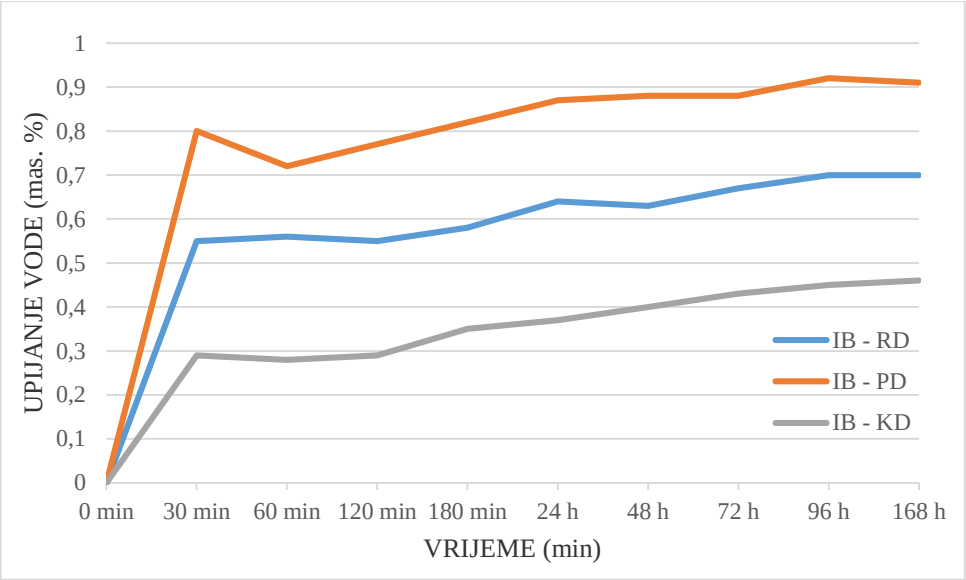
Oznaka uzorka	Gustoća (g/cm^3)	Upijanje vode (mas. %)	Otvorena poroznost (%)	Indeks čvrstoće (MPa)
IB-5-B (PD)	**2,68**	**1,1**	**3,64**	**3,38**
IB-5-C (PD)	**2,64**	**1,23**	**3,5**	
IB-10-A(PD)	**2,68**	**0,55**	**1,56**	**1,92**
IB-11-A (KD)	**2,69**	**0,89**	**2,52**	**4,97**
G-4-B (KD)	**2,69**	**0,39**	**1,08**	

6.2.2. Upijanje vode

Svih 32 uzoraka bilo je podvrgnuto upijanju vode, kroz vremenski period od 7 dana. Uzorci su bili vagani nakon određenih vremenskih intervala (1/2 h, 1 h, 2 h, 3 h, 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, 168 h) izvan i pod vodom kako bi se moglo pratiti njihovo postupno povećanje mase. Dobiveni rezultati korišteni su i za izračun otvorene poroznosti uzoraka te u svrhu izrade grafičkog prikaza upijanja vode u ovisnosti o vremenu.

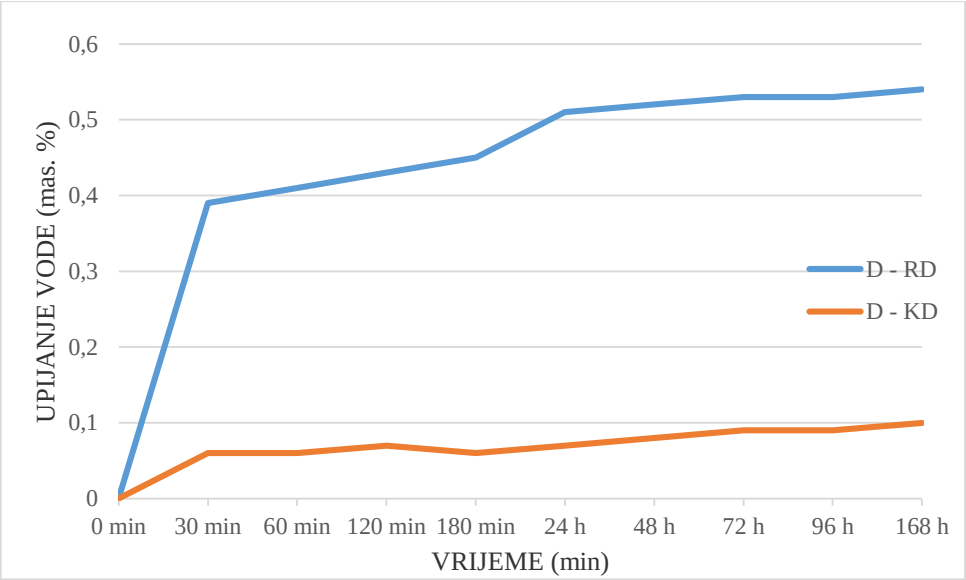
U Tablici 6.1. su prikazane vrijednosti upijanja vode za uzorke iz sva tri kamenoloma. Za uzorak G-1 vrijednost upijanja vode nije zabilježena zbog oštećenja uzorka tijekom mjerenja. Najveće vrijednosti upijanje vode pokazuju prijelazni uzorci iz kamenoloma Ivanec, prosječna vrijednost upijanja vode za te uzorke iznosi 0,85 mas. %. Najmanje vrijednosti upijanja vode pokazuju kasnodijagenetski uzorci iz kamenoloma Dolje s prosječnom vrijednosti upijanja vode od 0,1 mas. %. Uzorci kasnodijagenetskih i ranodijagenetskih dolomita pokazuju različite vrijednosti upijanja vode. Kasnodijagenetski uzorci kamenoloma Ivanec i kamenoloma Dolje pokazuju manje vrijednosti upijanja vode od ranodijagenetskih varijeteta dolomita iz oba kamenoloma.

Na Slici 6.8 je grafički prikazano upijanje vode u (mas. %) u odnosu na vrijeme (min) za uzorke iz kamenoloma Ivanec. Prikazane su srednje vrijednosti za ranodijagenetske, prijelazne i kasnodijagenetske uzorke. Prema krivuljama upijanja vode uočava se da prijelazni uzorci imaju najveće prosječno upijanje vode (0,85 mas. %), dok kasnodijagenetski uzorci imaju najmanje prosječno upijanje vode (0,41 mas. %). Također, uočava se značajniji pad vrijednosti upijanja vode u vremenskom intervalu od 30 min do 60 min na krivulji prijelaznih uzoraka. Sva tri litotipa su najviše vode upili u prva 24 sata. Ranodijagenetski uzorci su u prva 24 sata upili 90 % od ukupne vrijednosti upijene vode, prijelazni uzorci su za isto vrijeme upili 95 %, a kasnodijagenetski uzorci 80 %.



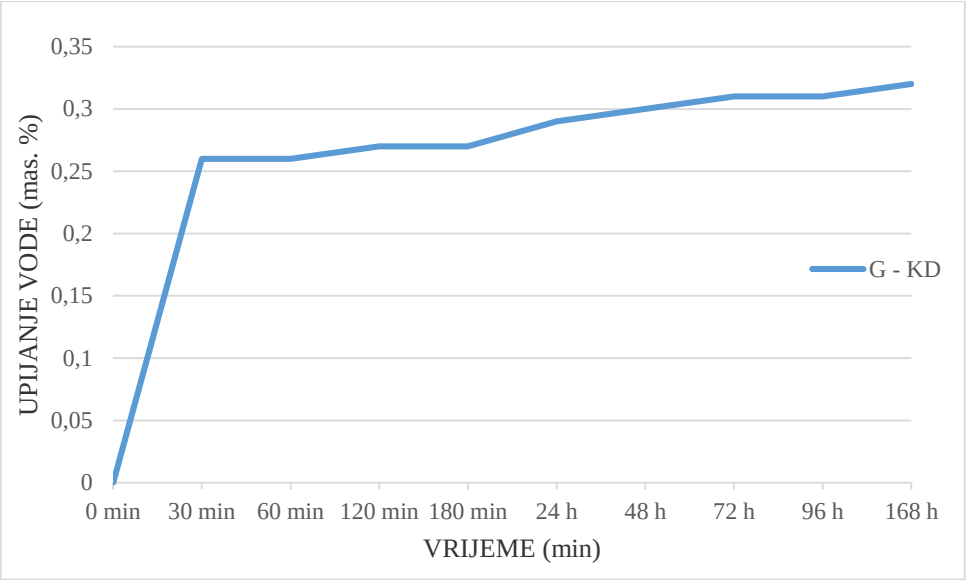
Slika 6.8. Grafički prikaz upijanja vode (mas.%) u odnosu na vrijeme (min) za uzorke iz kamenoloma Ivanec (IB). Ranodijagenetski (RD), prijelazni (PD), kasnodijagenetski (KD).

Na Slici 6.9 je grafički prikazano upijanje vode u (mas. %) u odnosu na vrijeme (min) za uzorke iz kamenoloma Dolje. Prikazane su srednje vrijednosti upijanja vode za ranodijagenetske i kasnodijagenetske uzorke, a uočava se da ranodijagenetski uzorci imaju veće prosječne vrijednosti upijanja vode (0,54 mas. %) od kasnodijagenetskih uzoraka (0,1 mas. %). Kod ranodijagenetskih uzoraka uočavamo značajno povećanje upijanja vode u prvih 30 min od početka mjerenja (u prvih 30 min ranodijagenetski uzorci su prosječno upili 0,39 mas. %, što iznosi 73 % od vrijednosti ukupno upijene vode), dok je kod kasnodijagenetskih uzoraka to povećanje vidljivo, ali višestruko manje, tj. čak 6,5 puta manje u odnosu na ranodijagenetske uzorke.



Slika 6.9. Grafički prikaz upijanja vode (mas.%) u odnosu na vrijeme (min) za uzorke iz kamenoloma Dolje (D).

Na Slici 6.10. je grafički prikazano upijanje vode u (mas. %) u odnosu na vrijeme (min) za uzorke iz kamenoloma Gradna. Na grafičkom prikazu nalazi se samo jedna krivulja upijanja vode, jer su u kamenolomu Gradna pronađeni samo kasnodijagenetski uzorci dolomita. Kao i na prethodnim primjerima, uočava se značajno povećanje upijanja vode u prvih 30 min mjerenja, nakon prvih 30 min upijanje vode nastavlja rasti, ali smanjenim intenzitetom u odnosu na prvih 30 min mjerenja. U prvih 30 min mjerenja uzorci su prosječno upili 0,26 mas. %, što iznosi 81 % od vrijednosti ukupno upijene vode.



Slika 6.10. Grafički prikaz upijanja vode (mas.%) u odnosu na vrijeme (min) za uzorke iz kamenoloma Gradna (G).

6.2.3. Otvorena poroznost

Otvorena poroznost je izmjerena za 32 uzoraka, a vrijednosti se kreću od 0,11 % do 4,21 % (Tablica 6.1). Kao i kod upijanja vode, nije dana vrijednost za uzorak G-1 zbog oštećenja uzorka koje kao posljedicu ima nerelevantnu vrijednost otvorene poroznosti. Najveće vrijednosti otvorene poroznosti pokazuju prijelazni uzorci iz kamenoloma Ivanec (2,43 %), dok najmanje vrijednosti pokazuju kasnodijagenetski uzorci iz kamenoloma Dolje, čija prosječna vrijednost otvorene poroznosti iznosi 0,28 %. Kasnodijagenetski uzorci iz kamenoloma Ivanec (1,18 %) i kasnodijagenetski uzorci iz kamenoloma Dolje (0,28 %) pokazuju značajno manje vrijednosti otvorene poroznosti od ranodijagenetskih litotipova iz oba kamenoloma (ranodijagenetski dolomiti iz kamenoloma Ivanec pokazuju prosječnu vrijednost otvorene poroznosti od 2 %, dok vrijednost otvorene poroznosti za ranodijagenetske uzorke iz kamenoloma Dolje iznosi 1,51 %).

6.2.4. Indeks čvrstoće opterećenjem u točki

Određivanje indeksa čvrstoće opterećenjem u točki je metoda korištena u svrhu dobivanja podataka o čvrstoći uzoraka. Vrijednosti indeksa čvrstoće se u ovim uzorcima kreću od 0,98 do 6,71 MPa. Za 4 uzoraka nije dana vrijednost indeksa čvrstoće, a razlog je nepravilno pucanje uzorka u procesu mjerenja, te onda te vrijednosti ne ulaze u daljnji proračun. Čak tri uzorka iz kamenoloma Gradna, nisu odlomljeni po plohi opterećenja (Tablica 6.1 i 6.2). Najveće vrijednosti indeksa čvrstoće pokazuju kasnodijagenetski uzorci iz kamenoloma Dolje, čija prosječna vrijednost iznosi 4,69 MPa. Najmanje vrijednosti indeksa čvrstoće pokazuju prijelazni uzorci iz kamenoloma Ivanec, čija prosječna vrijednost iznosi 2,13 MPa. Uzorci ranodijagenetskih i kasnodijagenetskih dolomita pokazuju različite vrijednosti, tj. uzorci kasnodijagenetskih dolomita za kamenolome Ivanec i Dolje pokazuju veće vrijednosti indeksa čvrstoće od ranodijagenetskih uzoraka. Uzorci u kojima je uočena laminacija, u svrhu mjerenja orijentirani su okomito na laminaciju.

7. Rasprava rezultata

7.1. Mineralno-petrografske karakteristike dolomita iz tri ležišta

Mineralno-petrografske karakteristike su se odredile na uzorcima dolomita iz tri kamenoloma (Dolje, Ivanec i Gradna). Uzorci iz kamenoloma Ivanec determinirani su kao kasnodijagenetski, ranodijagenetski i prijelazni litotip, uzorci iz kamenoloma Dolje determinirani su kao ranodijagenetski i kasnodijagenetski litotip, dok je u kamenolomu Gradna pronađen samo kasnodijagenetski litotip dolomita.

Ranodijagenetski i kasnodijagenetski dolomiti razlikuju se po načinu postanka. Ranodijagenetski dolomiti vezani su uz priobalne okoliše. Glavni čimbenik nastanka dolomita je isparavanje morske vode. Jača plima ili valovi uzrokovani olujnim vremenom mogu natopiti karbonatni talog. Isparavanjem vode koja je natopila karbonatni talog, ili isparavanjem vode koja je zaostala u salinama ili sabkhama nastaju ranodijagenetski dolomiti (TIŠLJAR, 2001). Kasnodijagenetski dolomiti nastali su u već očvrsnutim vapnencima kroz koje je cirkulirala magnezijem bogata otopina.

Ranodijagenetski uzorci se od kasnodijagenetskih razlikuju prvenstveno po boji, laminaciji i fenestrama. S obzirom na proces postanka dolomita, u ranodijagenetskom litotipu te u nekim uzorcima prijelaznog litotipa uočavaju se stromatolitne lamine dok kasnodijagenetski dolomiti nisu laminirani. Laminacija i fenestre mogu utjecati na fizičko-mehanička svojstva i to na povećanje upijanja vode, kao i na smanjenje indeksa čvrstoće opterećenjem u točki.

Isto tako, ranodijagenetski uzorci pokazuju tamniju boju (što može ukazivati na povećani udio organske tvari) i prisustvo fenestri, dok su kasnodijagenetski dolomiti svjetliji i ne sadrže fenestre. Također, ranodijagenetski uzorci dominantno sadrže veće količine dolomikrita, dok kod kasnodijagenetskih uzoraka nema dolomikrita ili ga ima u manjoj mjeri. Izuzetak su kasnodijagenetski uzorci iz kamenoloma Ivanec, koji imaju visok udio dolomikrita. Svi uzorci sadrže veći ili manji broj nepravilno orijentiranih mikropukotina, osim uzoraka iz kamenolma Gradna, kod kojih se u mikroskopskom preparatu mikropukotine ne uočavaju ili su izuzetno rijetke. Unutar većih mikropukotina dominantno je kristalizirao dolomit. Ispresijecanost uzoraka mikropukotinama, može utjecati na fizičko-mehanička svojstva uzoraka iako su u većini slučajeva mikropukotine naknadno ispunjene kristalima dolomita.

U pravilu bi ranodijagenetski uzorci trebali biti sitnozrnatiji od kasnodijagenetskih, ali to nije slučaj kod ovih uzoraka. To se najbolje uočava kod kasnodijagenetskih uzoraka iz kamenoloma Dolje, kod kojih se dimenzije kristala kreću od 0,02 do 0, 12 mm, što svakako utječe na zapunjenost prostora, a samim time i na manje upijanje vode i otvorenu poroznost. Veći broj analiziranih uzoraka pokazuje veliki raspon veličine kristala, dok se kao izuzetak mogu navesti ranodijagenetski uzorci iz kamenoloma Ivanec i kasnodijagenetski uzorci iz kamenoloma Gradna. S obzirom da kasnodijagenetski uzorci iz kamenoloma Dolje imaju najmanje vrijednosti upijanja vode i otvorene poroznosti, pretpostavlja se da su kristali manjih dimenzija zapunili prostor između većih kristala, te time utjecali na smanjenje vrijednosti upijanja i poroznosti. U prilog tome idu i visoke vrijednosti upijanja vode (0,70 mas. %) i otvorene poroznosti (2 vol. %) ranodijagenetskih uzoraka iz Ivanca, kod kojih su svi kristali dolomita podjednakih dimenzija.

Dijagenetske promjene kao dolomitizacija i cementacija uočene u uzorcima imaju utjecaj na fizičko-mehanička svojstva, prvenstveno na poroznost. Sam proces postanka dolomita, dolomitizacija, utječe na promjenu poroznosti stijene, tj. povećava poroznost u odnosu na poroznost vapnenaca. Također, na promjenu poroznosti utječe i cementacija. Pukotine koje nisu bile ispunjene, naknadno su ispunjene procesom cementacije. Posljedica toga je smanjenje poroznosti, u odnosu na ne zapunjene pukotine.

Makroskopski uzorci su podijeljeni prema konvencionalnoj podjeli na ranodijagenetske i kasnodijagenetske dolomite. S obzirom na strukturu uzoraka i na veličinu kristala neki uzorci su dvojbeni, tj. moguće je da uzorci, koji su makroskopski determinirani kao kasnodijagenteski, pripadaju ranodijagenetskom litotipu dolomita. Mineralno-petrografske karakteristike dolomita (mikrostruktura, veličina kristala, laminacija, fenestre, mikropukotine itd.) značajno utječu na njihova fizičko-mehanička svojstva. Dolomiti iz kamenoloma Dolje i Ivanec su makroskopski i mikroskopski slični, dok se dolomiti iz kamenoloma Gradna značajnije razlikuju. Za razliku od dolomita iz kamenoloma Dolje i Ivanec, dolomiti iz Gradne imaju tipičnu kasnodijagenetsku strukturu, što može utjecati na veće vrijednosti otvorene poroznosti i upijanja vode, u odnosu na kasnodijagenetske dolomite iz kamenoloma Dolje. Moguće da je to posljedica tektonskih pokreta (rasjedanja i navlačenja) na području kamenoloma Gradna što je potaknulo kasnodijagenetsku dolomitizaciju. Moguće je također i da dolomiti iz sva tri kamenoloma, koji su svi kartirani kao gornjotrijaski, ne pripadaju istoj formaciji, odnosno da su dolomiti u kamenolomu Gradna srednjetrijaske starosti te su dodatno dolomitizirani kako je prethodno navedeno.

7.2. Fizičko – mehanička svojstva dolomita iz tri ležišta

7.2.1. Obrazloženje vrijednosti gustoće uzoraka

Vrijednost gustoće, prema literaturi, dolomita iznosi 2,85 g/cm^3, dok gustoća kalcita iznosi 2,71 g/cm^3. S obzirom da prosječna izmjerena vrijednost gustoće svih uzoraka iz tri kamenoloma iznosi 2,75 g/cm^3, nužno je obrazložiti moguće razloge koji su uzrokovali ovako niske vrijednost gustoće.

U prvom redu, nižu gustoću dolomita od teoretske vrijednosti gustoće uzrokuje udio kalcita u uzorcima. Prisutnost kalcita je utvrđena na temelju mikroskopske analize uzoraka, a pojave kalcita zabilježene su u mikroskopskim preparatima D-8, G-8, IB-5, IB-1, IB-10 i IB-12. Nije bilo moguće odrediti točno udio kalcita, već samo njegovu prisutnost. U mikroskopskim preparatima D-1, D-9, D-13 i IB-3 nije uočen kalcit, a tu činjenicu potvrđuje i prosječna vrijednost gustoće tih uzoraka, koja iznosi 2,79 g/cm^3. U preparatima G-7, G-6 i G-4 nije uočen kalcit, ali vrijednosti gustoća za te uzorke su manje od prosječnih 2,75 g/cm^3, što ukazuje na neki drugi uzrok smanjenje gustoće. U budućim istraživanjima, a u svrhu dobivanja preciznijih podataka, bilo bi korisno rendgenski analizirati uzorke.

Također, nižu vrijednost gustoća mogu uzrokovati i mikropukotine u uzorcima, a one će također uzrokovati i povećane vrijednosti upijanja vode i poroznosti, kao i smanjenje vrijednosti indeksa čvrstoće mjerenog u točki opterećenja.

Niske vrijednosti gustoće, također mogu biti objašnjenje i nepreciznostima i pogreškama tijekom mjerenja. Svaki uzorak je mjeren tri puta i na 3 različita načina. Uzorci su prvi puta mjereni pomoću starih piknometara, od kojih su nekima bili odlomljeni dijelovi ili nisu imali odgovarajući čep. Samim time njihova vrijednost volumena nije točna, što u konačnici dovodi do netočnih krajnjih rezultata mjerenja. U ponovnom pokušaju mjerenja, svi uzorci su u mlinu usitnjeni do dimenzija praha, što je uzrokovalo nove probleme pri mjerenjima. Pri stavljanju čepa na piknometar u kojem se nalazio uzorak, koji se zbog malih dimenzija čestica nije do kraja istaložio, umjesto samo destilirane vode, iz piknometra bi kroz čep izašao i dio uzorka. Također, ovaj način mjerenja mnogo je dugotrajniji zbog odlaganja piknometara u ultrazvučnoj kupelji. Treći način mjerenja, pokazao se i najtočnijim. Uzorci su bili usitnjeni do dimenzija od približno 2 mm, a korišteni su i novi piknometri s točno propisanim vrijednostima volumena i masa. Na odstupanje vrijednosti gustoća od stvarne vrijednosti, u ovom slučaju mogla je utjecati jedino promjena gustoće

vode zbog promjene temperature, što bi utjecalo i na promjenu izračuna gustoće, te zaostale mikropukotine u uzorcima koji nisu usitnjeni do dimenzija praha.

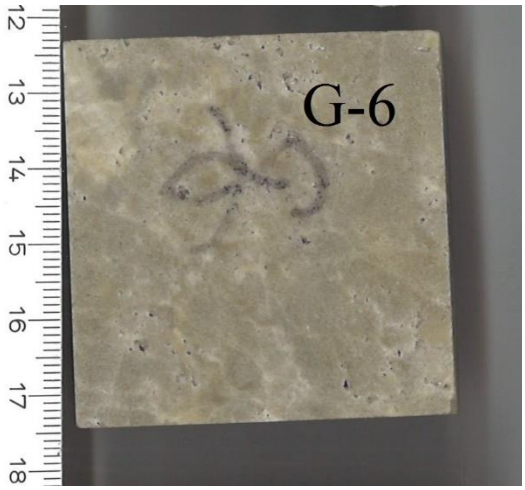
Kako je navedeno ranije u tekstu, kasnodijagenetski litotip iz kamenoloma Ivanec imaju gustoću 2,77 g/cm^3, dok ranodijagenetski litotip ima gustoću 2,76 g/cm^3. S obzirom da tijekom procesa ranodijagenetske dolomitizacije može doći do erozije gornje slojne plohe koja je dolomitizirana, jasan je uzrok nešto niže vrijednosti gustoće kod ranodijagenetskih dolomita. U prilog ovim vrijednostima gustoće, ide i veliki broj pukotina i žilica (Slika 7.1.) koji se uočavaju na ranodijagenetskim uzorcima iz kamenoloma Ivanec.



Slika 7.1. Ranodijagenetski uzorak iz kamenoloma Ivanec isprepleten velikim brojem pukotina

Kod uzoraka iz kamenoloma Dolje, situacija je obrnuta u odnosu na kamenolom Ivanec, tj. ranodijagenetski uzorci imaju veću gustoću (2,77 g/cm^3) od kasnodijagenetskih uzoraka (2,75 g/cm^3). Uzrok toga može biti veći broj pukotina u kojima nije u potpunosti iskristalizirao dolomit, tj. pukotina koje su ostale prazne kod kasnodijagenetskog litotipa, dok u ranodijagenetskim uzorcima gotovo da i nema pukotina.

Najmanju gustoću pokazuju dolomiti iz kamenoloma Gradna, a njihova prosječna gustoća iznosi 2,72 g/cm^3. Ovi uzorci sadrže veliki broj šupljina, a koje utječu na smanjenje gustoće, koje su jasno vidljive na Slici 7.2.



Slika 7.2. Uzorak dolomita iz Gradne na kojem se uočava veliki broj šupljina.

7.2.2. Obrazloženje vrijednosti upijanja vode

Tijekom mjerenja upijanja vode, postojale su mnoge radnje koje bi mogle utjecati na točnost dobivenih podataka. Uzorci su vagani na vagi s preciznošću od 0,01 g, ali vlažni uzorci su prije svakog vaganja obrisani, kako bi se odstranile kapljice vode koje su se nalazile na površini uzorka zbog točnijeg rezultata. Premda se nastojalo da svi uzorci budu obrisani i u kontaktu s krpom, odnosno papirom u istoj mjeri, to nije bilo potpuno moguće. Tako su neki uzorci bili izvan vode duže a drugi kraće, neki su bili brisani sa vlažnijim papirom, a neki sa manje vlažnim, što u konačnici utječe na mjerene rezultate. Također, svaki uzorak bio je mjeren i pod vodom, a zbog problema u konstrukciji mehanizma za mjerenje pod vodom, neki uzorci su bili duže izloženi zraku od željenog, što je moglo dovesti do dodatnog cijeđenja i isušivanja uzoraka. Sukladno svemu navedenom, postoji mogućnost da rezultati upijanja vode u maloj mjeri odstupaju od stvarnih vrijednosti upijanja vode.

Kao što je ranije u radu navedeno, ranodijagenetski varijeteti dolomita iz kamenoloma Ivanec i Dolje pokazuju veće vrijednosti upijanja vode u odnosu na kasnodijagenetske varijetete. Razlog tome je veći broj pukotina kod ranodijagenetskih varijeteta iz kamenoloma Ivanec, te činjenica da su kod kasnodijagenetskih varijeteta pukotine dominantno ispunjene kristaliziranim dolomitom. Također, neki ranodijagenetski uzorci imaju laminiranu građu (Slika 7.3.), što također utječe na veće upijanje vode. U slučaju kamenoloma Ivanec, manje vrijednosti upijanja vode pokazuju ranodijagenetski uzorci od prijelaznih uzoraka, što je neočekivani rezultat. Razlog tome leži u činjenici da

prijelazni uzorak IB-5 pokazuje uvjerljivo najveće vrijednosti upijanja vode od svih uzoraka, zbog svoje izrazito laminirane građe (Slika 7.4.).



Slika 7.3. Ranodijagenetski uzorak koji pokazuje laminiranu građu



Slika 7.4. Uzorak IB-5 koji pokazuje laminiranu građu i najveće vrijednosti upijanja vode

Na grafičkom prikazu upijanja vode u odnosu na vrijeme za uzorke iz kamenoloma Ivanec (Slika 6.8.) vidljiv je pad vrijednosti upijanja vode prijelaznih uzoraka u vremenskom intervalu od 30 do 60 min. Razlog tome je nesavršenost u izvođenju mjerenja. Zbog problema koji su se pojavili pri vješanju uzoraka na vagu, uzorci su proveli određeno vrijeme izvan vode, te je moguće da su za to vrijeme izgubili dio upijene vode.

Svi uzorci pokazuju značajno upijanje vode u prvih 30 min mjerenja, razlog tome je što su u tom vremenskom intervalu vodom ispunjene pore i pukotine većih dimenzija, a do kojih voda najlakše dopire. U kasnijoj fazi mjerenja voda ispunjava manje pukotine do kojih teže dopire, te se masa uzorka povećava, ali ne u tolikoj mjeri kao u prvih 30 min

7.2.3. Obrazloženje vrijednosti otvorene poroznosti

Kako bi dobili vrijednosti otvorene poroznosti, potrebni su podaci o masama uzoraka mjerenih pod vodom, kao i masama uzoraka mjereni pri atmosferskom tlaku. Sve poteškoće pri mjerenju mase, a koje su navedene u poglavlju o upijanju vode, vrijede i za mjerenje otvorene poroznosti. Nakon svakog mjerenja mase pri uvjetima atmosferskog tlaka, uzorci su mjereni pod vodom. S obzirom da je stalak na koji je bila položena vaga improviziran, te vagu nije bilo moguće savršeno centrirati, moguća su odstupanja od realnih vrijednosti. Također, uzorke je bilo potrebno objesiti na vagu. U početku je svaki uzorak zasebno vezan komadom tanje špage, što je uzrokovalo nepreciznosti. Svaki komad špage bio je različite duljine, te je upio različitu količinu vode što je utjecalo na promjenu mase uzorka. Tokom mjerenja, a zbog ispadanja uzoraka iz zavezane špage, nekim uzorcima promijenjena je špaga. Uzorci iz Gradne i kamenoloma Dolje za vagu su obješeni pomoću plastične mrežice, što je u određenoj mjeri poništilo utjecaj upijanja vode špage. Na vrijednosti mjerenja ovih uzoraka utjecalo je postavljanje mreže na različitu visinu, čime bi se mijenjao i rezultat mjerenja mase. Također, utjecaj na mjerenje je imalo i nadopunjavanje vode u posudu u kojoj se vršilo mjerenje, te opruga koja je spajala vagu i mrežu, odnosno špagu kojom su bili vezani uzorci.

Kako je ranije navedeno u tekstu, kasnodijagenetski litotipovi iz kamenoloma Ivanec i Dolje imaju manje vrijednosti otvorene poroznosti u odnosu na ranodijagenetske litotipove. Razlozi tome jednaki su kao i kod upijanja vode. Ranodijagenetski varijeteti imaju veći udio pukotina nego kasnodijagenetski varijeteti, kod kojih su pukotine dominantno ispunjene dolomitom. Također, laminiranost kod uzoraka utječe na povećanje otvorene poroznosti. Najveće vrijednosti otvorene poroznosti imaju prijelazni uzorci iz kamenoloma Ivanec. Uzorak IB-5, koji pripada prijelaznim uzorcima, ima vrijednost otvorene poroznosti od 4,21 % te je uzorak s uvjerljivo najvećom otvorenom poroznosti od svih uzoraka te ima ujedno i najveće vrijednosti upijanja vode.

7.2.4. Obrazloženje vrijednosti mjerenja indeksa čvrstoće opterećenjem u točki

Kao i kod upijanja vode i otvorene poroznosti, tako i kod PLT mjerenja, najveće vrijednosti pokazuju kasnodijagenetski litotipovi dolomita. S obzirom da na indeks čvrstoće opterećenjem u točki dominantan utjecaj imaju mikropukotine i pukotine, a tokom mjerenja nije bilo većih problema koji bi mogli značajnije utjecati na dobivene vrijednosti, zaključuje

se da kasnodijagenetski uzorci imaju manje mikropukotina i pukotina od ranodijagenetskih uzoraka. Uz prijelazne uzorke iz kamenoloma Ivanec, najniže vrijednosti PLT-a imaju dolomiti iz kamenoloma Gradna. Jedan od uzroka tako niskih vrijednosti za uzorke iz Gradne, svakako su šupljine i rupice koje su vidljive na Slici 7.2. Također, to je utjecalo i na veliki udio (50 %) uzoraka koji su se odlomili nepravilno, tj. nisu se odlomili po plohi opterećenja. Prema vrijednostima indeksa čvrstoće, svi analizirani uzorci spadaju u srednje čvrste, čvrste i vrlo čvrste stijene (BRIŠEVAC, 2012).

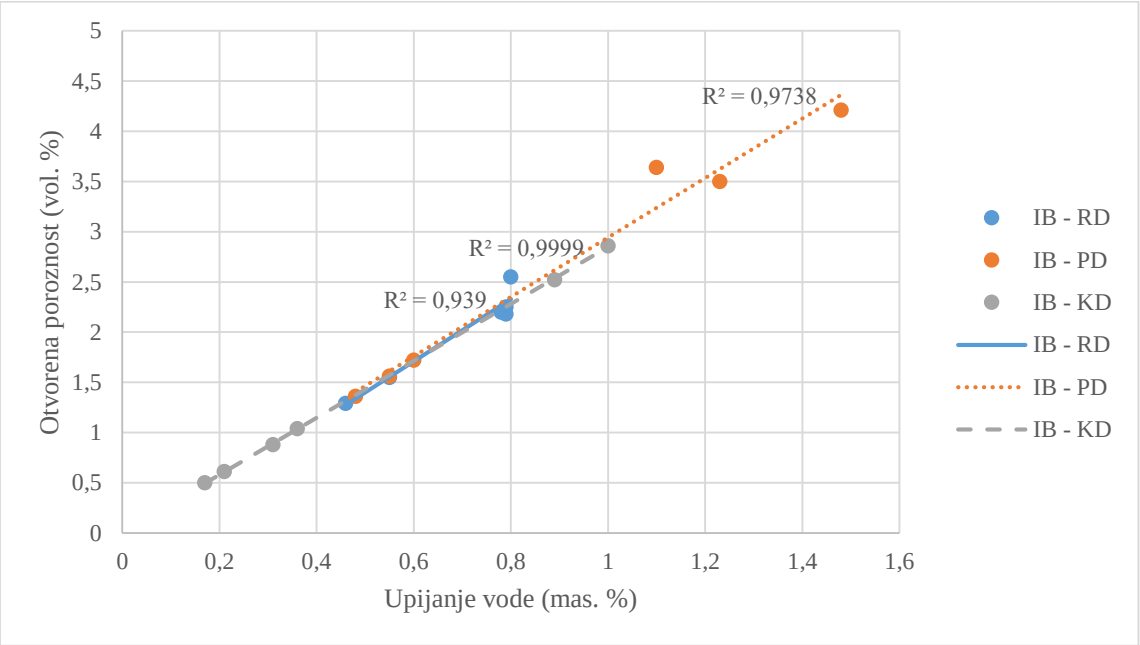
Uzorci u kojima je uočena laminacija, u svrhu mjerenja orijentirani su okomito na laminaciju. S obzirom da laminacija utječe na čvrstoću stijene, a u svrhu dobivanja preciznijih podataka o fizičko-mehaničkim svojstvima, svakako bi u budućim istraživanjima bilo korisno uzorke izmjeriti na taj način da sila djeluje paralelno laminaciji.

7.3. Usporedba svojstava dolomita iz tri ležišta i mogućnost njihove primjene

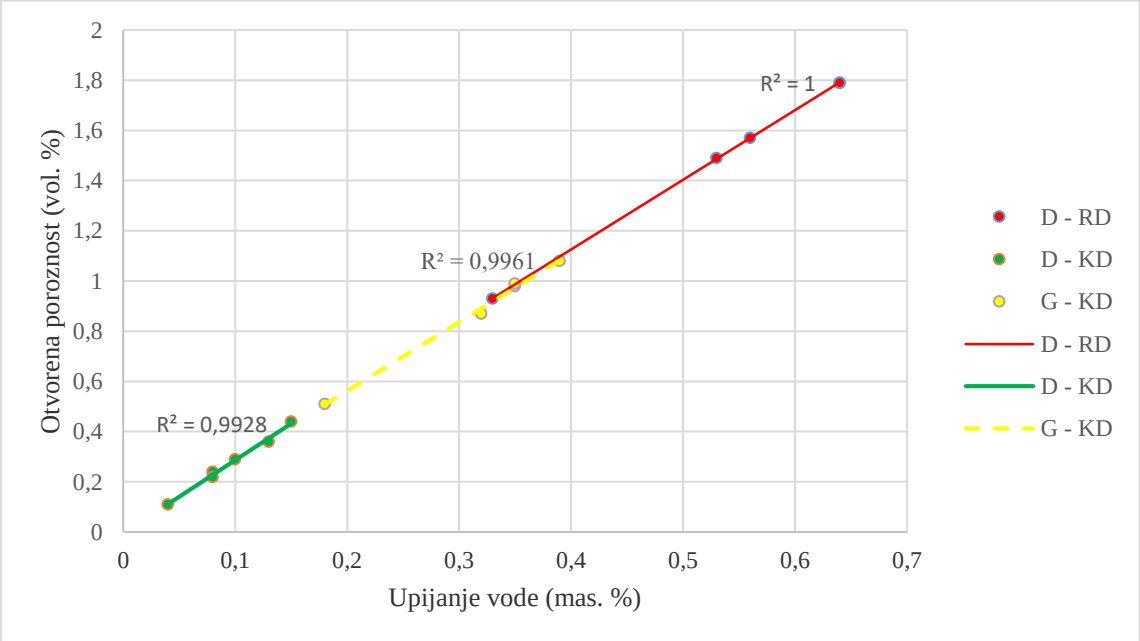
S obzirom da su sva ispitivanja vršena na istim uzorcima i u što je moguće sličnijim uvjetima, nužno je usporediti dolomite iz sva tri kamenoloma te odrediti mogućnosti njihove primjene. Varijeteti koji su pokazali najveću gustoću i indeks čvrstoće opterećenjem u točki te najmanje upijanje vode i otvorenu poroznost smatrati će se najkvalitetnijima i s najširom mogućnošću primjene.

Korelacijom podataka upijanja vode i otvorene poroznosti (Slika 7.5. i Slika 7.6.) vidljivo je da s porastom vrijednosti upijanja vode raste i vrijednost otvorene poroznosti. Izračunom R^2 (koeficijent determinacije) koji kod linija trenda svih litotipova iznosi približno 1, jasno je da je porast tih vrijednosti gotovo proporcionalan. Samo tri uzorka od 31 imaju vrijednost upijanja vode (IB-5-B, IB-5-C i IB-5-A) koja prelazi 1 mas.% (Tablica 6.1), što nam govori da uzorci dominantno imaju vrlo malo do malo upijanje vode (Tablica 4.3), dok je raspon vrijednosti otvorene poroznosti, za testirane uzroke, vrlo širok (od 0,11 do 4,21 %). Iz danih grafičkih prikaza vidljivo je da najmanje vrijednosti upijanja vode i otvorene poroznosti imaju kasnodijagenetski uzorci iz kamenoloma Dolje, kasnodijagenetski uzorci iz kamenoloma Gradna, ranodijagenetski uzorci iz kamenoloma Dolje, te dio ranodijagenetskih uzoraka iz kamenoloma Ivanec. Također, uočava se vrlo širok raspon vrijednosti upijanja vode i otvorene poroznosti ranodijagenetskih dolomita iz kamenoloma Ivanec, što svakako umanjuje njegovu kvalitetu, vrijednost i mogućnost

primjene. Prijelazni uzorci iz kamenoloma Ivanec pokazuju najniži stupanj kvalitete od svih navedenih varijeteta.

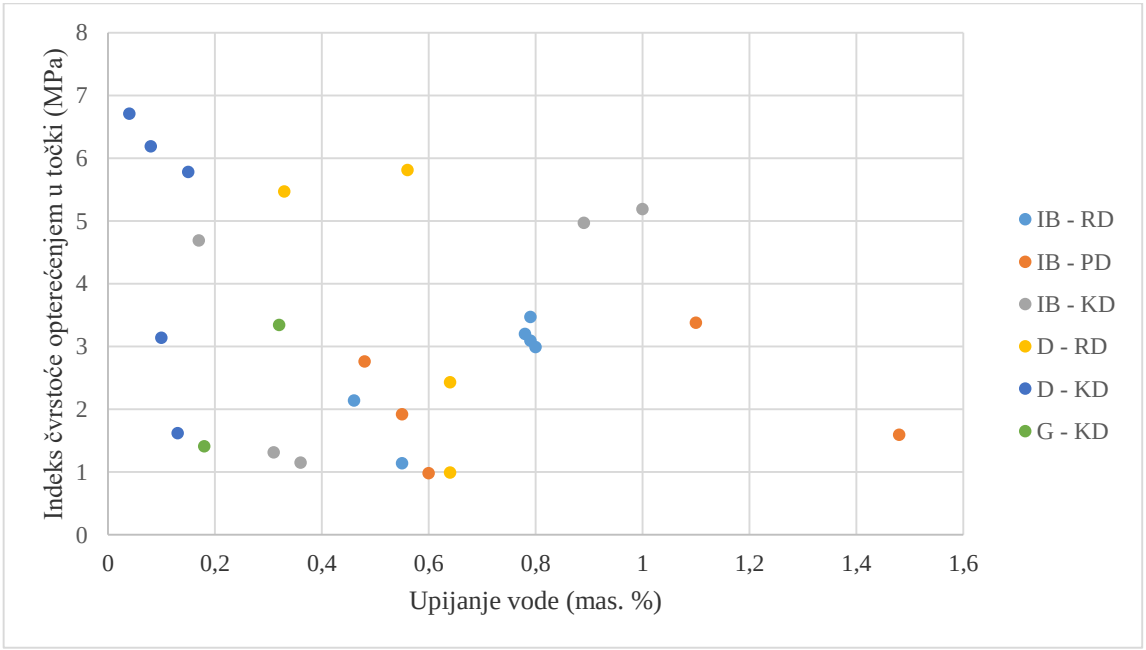


Slika 7.5. Grafički prikaz usporedbe vrijednosti otvorene poroznosti (vol. %) i upijanja vode (mas. %). Kamenolom Ivanec (IB), ranodijagenetski (RD), prijelazni (PD), kasnodijagenetski (KD).



Slika 7.6. Grafički prikaz usporedbe vrijednosti otvorene poroznosti (vol. %) i upijanja vode (mas. %). Gradna (G), Dolje (D).

Grafički su uspoređeni i podaci upijanja vode s podacima indeksa čvrstoće dobivenim opterećenjem u točki (Slika 7.7.). S obzirom na širok spektar vrijednosti, nije bilo moguće korelirati vrijednosti indeksa čvrstoće opterećenjem u točki i vrijednosti upijanja vode. Pretpostavlja se da je razlog tome nezasićenost uzoraka vodom prilikom ispitivanja PLT-a, tj. da su uzorci bili zasićeni vodom možda bi dobivene vrijednosti bilo moguće korelirati. Premda bi uzorci koji su građeni od kristala manjih dimenzija (ranodijagenetski dolomiti), u pravilu, trebali pokazivati veće vrijednosti čvrstoće, to nije slučaj s uzorcima testiranim u svrhu izrade ovog diplomskog rada. Također, kao i u slučaju otvorene poroznosti, najkvalitetniji su se pokazali kasnodijagenetski dolomiti iz kamenoloma Dolje, s obzirom da za najmanje upijanje vode imaju najveće vrijednosti indeksa čvrstoće. Na ovom grafičkom prikazu dobri se pokazuju i uzorci iz Gradne, no oni se ne mogu uzeti kao relevantni zbog malog broja uzoraka koji su zadovoljili PLT mjerenje. Korelacija podataka PLT-a i upijanja vode potvrđuje zaključke donesene na temelju korelacije otvorene poroznosti i upijanja vode, tj. i u ovom slučaju kasnodijagenetski uzorci iz Ivanca imaju preširok raspon vrijednosti da bi se smatrali kompetentnima kasnodijagenetskim uzorcima iz kamenoloma Dolje. Također, najmanje kvalitetnima se ponovno pokazuju prijelazni uzorci iz kamenoloma Ivanec, jer u usporedbi s drugim uzorcima imaju najveće upijanje vode i najmanji indeks čvrstoće.



Slika 7.7. Grafički prikaz usporedbe podataka indeksa čvrstoće opterećenjem u točki i upijanja vode (mas. %)

Sukladno svemu navedenom, premda nemaju najveću gustoću, najbolja svojstva, pa samim time i najveću kvalitetu pokazuju kasnodijagenetski dolomiti iz kamenoloma Dolje. Zbog svoje male poroznosti i upijanja vode podatni su za korištenje u vlažnim područjima i u područjima s niskom temperaturom, jer bi se vrlo vjerojatno pokazali kao najotpornijima na djelovanje smrzavanja i kristalizaciju soli. Isto tako, zbog visokog indeksa čvrstoće opterećenjem u točki, koji se može usporediti s tlačnom čvrstoćom, podatni su za korištenje na mjestima koja zahtijevaju kamen otporan na mehaničko trošenje. U svrhu preciznijeg određivanja mogućnosti primjene, smatram da bi bilo iznimno korisno napraviti testiranje kamena Los Angeles metodom.

8. Zaključak

-Cilj ovoga rada je bio determinirati i opisati mineralno-petrografske karakteristike te neka fizičko-mehanička svojstva koja utječu na primjenu kamena.

-Na uzorcima dolomita iz tri kamenoloma Ivanec, Gradna i Podsusedsko Dolje determinirane i opisane su mineralno-petrografske karakteristike, te su određena fizičko-mehanička svojstva i to: gustoća, upijanje vode, otvorena poroznost i indeks čvrstoće mjeren opterećenjem u točki.

-Dolomiti iz kamenoloma Dolje i Ivanec su makroskopski i mikroskopski slični, dok se dolomiti iz kamenoloma Gradna značajnije razlikuju, što može biti posljedica tektonskih pokreta na području kamenoloma Gradna te uslijed toga i moguće dodatne dolomitizacije.

-Kod uzoraka iz kamenoloma Ivanec razlikujemo ranodijagenetske, kasnodijagenetske i prijelazne dolomite, kod uzoraka iz kamenoloma Dolje razlikujemo ranodijagenetske i kasnodijagenetske dolomite, dok je kod uzoraka iz kamenoloma Gradna determiniran samo kasnodijagenetski litotip.

-Raspon gustoća za uzorke iz sva tri kamenoloma kreće se u granicama od 2,7 do 2,83 g/cm^3. Najveće vrijednosti pokazuju kasnodijagenetski uzorci iz kamenoloma Ivanec i ranodijagenetski uzorci iz kamenoloma Dolje, u oba slučaja prosječna vrijednost gustoće uzoraka iznosi 2,77 g/cm^3. Najmanje vrijednosti pokazuju prijelazni uzorci iz kamenoloma Ivanec i uzorci iz kamenoloma Gradna, a u oba slučaja ta vrijednost iznosi 2,72 g/cm^3.

-Najveće vrijednosti upijanje vode pokazuju prijelazni uzorci iz kamenoloma Ivanec, prosječna vrijednost upijanja vode za te uzorke iznosi 0,85 mas. %. Najmanje vrijednosti upijanja vode pokazuju kasnodijagenetski uzorci iz kamenoloma Dolje s prosječnom vrijednosti upijanja vode od 0,1 mas. %.

-Najveće vrijednosti otvorene poroznosti pokazuju prijelazni uzorci iz kamenoloma Ivanec (2,43 %), dok najmanje vrijednosti pokazuju kasnodijagenetski uzorci iz kamenoloma Dolje, čija prosječna vrijednost otvorene poroznosti iznosi 0,28 %.

-Najveće vrijednosti indeksa čvrstoće pokazuju kasnodijagenetski uzorci iz kamenoloma Dolje, čija prosječna vrijednost iznosi 4,69 MPa. Najmanje vrijednosti indeksa čvrstoće pokazuju prijelazni uzorci iz kamenoloma Ivanec, čija prosječna vrijednost iznosi 2,13 MPa.

-S obzirom na mineralno-petrografske značajke, tj. kristale dolomita malih dimenzija i ispunjenost pukotina te na ranije navedene fizičko-mehaničke značajke, najbolja svojstva i najveću kvalitetu pokazuju kasnodijagenetski dolomiti iz kamenoloma Dolje.

9. Literatura

BILBIJA, N., 1984. Tehnička petrografija, Svojstva i primjena kamena. Naučna knjiga, Beograd, 239 p.

BRAUN, K., BOŽIĆ, B., DRAVEC-BRAUN, J., 1989. Utjecaj tektonskog sklopa na formiranje površinskog kopa u kamenolomu dolomita Zaprešićki Ivanec kraj Zagreba. Rudarsko-geološko-naftni zbornik. 1, 95-100.

BRIŠEVAC, Z., 2012. Model međuovisnosti fizikalno-mehaničkih značajki karbonatnih stijena. Doktorski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. 171 str.

DIENER, C., 1902. „Die Stellung der kroatisch-slavonischen Inselgebirge zu den Alpen und den dinarischen Gebirgsystemen“, *Mitt. Geogr. Ges.*, 45, 9-10.

EVAMY, B. D., SHERMAN, D. J., 1962. The application of chemical staining techniques to the study of diagenesis in limestones.-Proc. Geol. Soc. London, 1599, 102-103

FUČEK, L., TIŠLJAR, J., SOKAČ, B., PRTOLJAN, B., OŠTRIĆ, N., 1995. Postaja br. 1: Gornjotrijaski dolomiti u kamenolimu Podused. U: ŠIKIĆ, M. (ur.): Geološki vodič Medvednice. Institut za geološka istraživanja &INA-Industrija nafte d.d. Zagreb, Naftaplin. Zagreb, str. 41-43.

GOLDSMITH, J. R., GRAF, D.L., 1958. Structural and compositional variations in some natural dolomites. Chicago. J. Geol., 66, 678-693.

GRGASOVIĆ, T., 1998. Stratigrafija gornjotrijaskih naslaga Žumberka. Magistarski rad. Zagreb. Prirodoslovno-matematički fakultet. Sveučilište u Zagrebu.

HERAK, M., 2006. Medvednica - zagonetno Zagrebačko gorje: povijesni put do novih zemljoslovnih spoznaja. Posebna izdanja Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti i Hrvatskog geološkog instituta, Zagreb, 195 p.

HERAK, M., BUKOVAC, J., 1988. Tektonsko okno Duralije u Žumberku. Geološki vjesnik, 41, 231-236.

HRŽENJAK, P., BRIŠEVAC, Z., 2009. Upute i predlošci za laboratorijske vježbe i programe iz mehanike stijena. Zagreb. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. http://rudar.rgn.hr/~phrzen/UputeIPredlosciZaLaboratorijskeVjezbeIPrograme.pdf (korišteno: 19. prosinca 2016.)

PLENIČAR, M., PREMRU, U., 1977. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tomač za list Novo Mesto L33-79.- Geološki zavod Ljubljana (1970), Savezni geološki zavod, 61 p., Beograd.

PRELOGOVIĆ, E., 1970. Neotektonska kretanja područja između Orlice, Samoborske gore i Medvednice. Geološki vjesnik, 23, 151-162.

PRELOGOVIĆ, E., 1975. Neotektonska karta SR Hrvatske. Geološki vjesnik, 28, 97-108.

QUING, H., 1998. Petrography and geochemistry of early-stage, fine- and medium-crystalline dolomites in the Middle Devonian Presqu'ile Barrier at Pine Point. Canada. Sedimentology, 45/2, 433-446.

SIBLEY, D.F., GREGG, J.M., 1987. Classification of dolomite rock texture. Journal of Sedimentary petrology, 57, 967-975.

SLOVENEC, D., 2002. Sistematska mineralogija. Zagreb. Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

SMITH, M. R. & COLLIS, L. (eds), 2001. Aggregates - Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes. Geol. Soc., Eng. Geol. Spec. Publ., 17, London, p. 339,

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A., 1977. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Zagreb L38-80.- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1972), Savezni geološki zavod, Beograd.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A., 1979. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Zagreb L38-80.- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1972), Savezni geološki zavod, Beograd, str. 6-16; 47-51.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., 1975. Geološka zbivanja od paleozoika do kvartara u zapadnom dijelu zagrebačke regije. 2 godišnji znan. skup Sekcije za primj. geol., geofiz. igeokem. Zagreb. Znan. savjeta za naftu JAZU, str. 68 – 86.

TIŠLJAR, J., 1994. Sedimentne stijene. Zagreb. Školska knjiga, 422 str.

TIŠLJAR, J., 2001. Sedimentologija karbonata i evaporita. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, str. 375.

TOMAŠIĆ, I., PEH, Z., 1992. Utjecaj strukturno-geoloških, petrografskih i klimatskih čimbenika na stabilnost kosina u kamenolomu Gradna. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 4, 67-74.

TOMAŠIĆ, I., ŽENKO, T., ALJINOVIĆ, S., 1992. Otpornost dolomitnih agregata na udarno habajuća opterećenja i zamrzavanje. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 4, 119-126.

TOMAŠIĆ, I., 2006. Tehnička petrografija 1. Zagreb. Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

TOMLJENOVIĆ, B., 2002. Strukturne značajke Medvednice i Samoborskoj gorja. Doktorska disertacija. Zagreb. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Sveučilište u Zagrebu, str.208.

TUCKER, M. E., 2001. Sedimentary petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks. Oxford. Blackwell Science Ltd, 262 str.

Ispitne norme:

HRN EN 1936 (1999): Metode ispitivanja prirodnoga kamena - Određivanje gustoće i prostorne mase, ukupne i otvorene poroznosti.

HRN EN 13755 (2001): Metode ispitivanja prirodnoga kamena - Određivanje upijanja vode pri atmosferskom tlaku prema normi.

ISRM (1985): Suggested method for determining point load strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts. 22, pp. 51-60.

Neobjavljeno:

DUNDA, S., KUJUNDŽIĆ, T., GLOBAN, M., MATOŠIN, V., 2003. Digitalni udžbenik: Eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena. Rudarsko-geološko-naftni fakultet. Zagreb. Ministarstvo znanosti i tehnologije.

TOMAŠIĆ, I., TIŠLJAR, J., PEH, Z., FILIPI, I., 1990. Elaborat o rezervama ležišta tehničkog kamena dolomita „Gradna“ kod Samobora, Zagreb. 42 str.