

Mehanizmi dolomitizacije i struktura dolomita

Halapir, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:258644>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-18**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Preddiplomski studij geološkog inženjerstva

MEHANIZMI DOLOMITIZACIJE I STRUKTURA DOLOMITA

Završni rad

Ivan Halapir

G2032

Zagreb, 2020.

MEHANIZMI DOLOMITIZACIJE I
STRUKTURA DOLOMITA

IVAN HALAPIR

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

Sažetak

U radu su navedeni različiti primjeri opisivanja i određivanja strukture dolomita na osnovi literaturnih podataka. Ujedno su navedeni osnovni principi geneze dolomita jer se smatra da je dolomitna struktura odraz okoliša u kojima je došlo do njenog formiranja, odnosno kasnijih dijagenetskih dolomitizacijskih promjena. Različiti primjeri iz literature omogućili su razlikovanje strukturnih elemenata dolomita u osam analiziranih mikropetrografskih preparata te je na osnovi strukturnih karakteristika interpretirana geneza dolomita. Uzorci su sakupljeni južno od mjesta Brušane na Velebitu i predstavljaju različite tipove dolomita iz slijeda gornjopermskih i donjotrijaskih sedimenata. Dolomitna struktura pet uzoraka dolomita (Sy 6a-2, Sy 7-7, Sy 9-1, Sy-16b-5, Sy 17a-6) odgovara polimodalnoj sitnokristalastoj strukturi, dok tri uzorka (Sy 34-3, Sy-37 i Sy-38) imaju polimodalnu sitno- do srednjekristalastu strukturu. U šest uzoraka s polimodalnom sitnokristalastom strukturom može se uočiti mimikrijska zamjena primarnih alokema te se na osnovi njih još uvijek može zaključiti o sastavu primarnog vapnenca. Kod tih uzoraka smatra se da je dolomitizacija nastupila u ranoj fazi dijageneze u još nelitificiranom vapnencu, u uvjetima evaporacije na supratajdalju (*sabkha* uvjeti) ili dolomitizacijom subtajdalnog vapnenca prema modelu povratnoga strujanja odnosno dolomitizacije uslijed pada razine mora. Iz strukture pet uzoraka (Sy 6a-2, Sy 7-7, Sy 9-1, Sy-16b-5, Sy 17a-6) vidi se da je došlo i do djelomičnih promjena tijekom mlađih dolomitizacijskih faza bilo kao ispuna šupljina otapanja, izlučivanje krupnokristalastog planarnog-e dolomita u šupljinama gastropoda ili planarnog-s dolomita u pukotinama. Na osnovi polimodalne srednjekristalaste strukture dva uzorka (Sy 37 i Sy 38) s vrlo loše očuvanim primarnim sastavom, uz iznimku vidljivih „duhova“ ooida, može se zaključiti o dolomitizaciji ovih stijena u uvjetima plitkog zalijeganja, dakle o sekundarnoj dolomitizaciji.

Ključne riječi: **dolomit, dolomitna struktura, geneza, dolomitizacijski modeli**

Završni rad sadrži: **36** stranica, **13** slika i **7** referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

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

Mentor: Dr. sc. Dunja Aljinović, redovita profesorica RGNF

Ocjenjivači: 1. Prof. dr. sc. Dunja Aljinović, RGNF
2. Doc. dr. sc. Uroš Barudžija, RGNF
3. Doc. dr. sc. Ana Maričić, RGNF

Datum obrane: **12.6.2020.**, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	I
1. UVOD	1
2. DOLOMITI	2
2.1. Dolomitizacijski modeli	3
2.1.1. Dolomiti u asocijaciji s evaporitima	3
2.1.2. Modeli dolomitizacije morskom vodom	5
2.1.3. Dolomiti u uvjetima dubokog zalijeganja	6
2.2. Struktura dolomita	8
2.2.1. Kriteriji pri opisu i determinaciji dolomitne strukture	10
2.2.2. Opis mikroskopskih preparata i terminologija pri determinaciji dolomitnih stijena	10
2.2.3. Podjela dolomitnih struktura	14
2.2.4. Dolomitizacija oponašanjem – mimikrijska dolomitizacija	15
2.2.5. Dolomitni cement	17
2.2.6. Važnost dolomitne strukture	17
2.3. Dedolomitizacija	17
2.3.1. Strukturne značajke za prepoznavanje dedolomitizacije	18
2.3.2. Porijeklo dedolomita	19
2.3.3. Važnost dedolomitizacije	19
3. MIKROPETROGRAFSKA ANALIZA DOLOMITA	20
4. ZAKLJUČAK	34
5. LITERATURA	36

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Dolomitizacijski modeli.....	7
Slika 2.2. Dolomit, sedlasti dolomit i dedolomit	9
Slika 2.3. Klasifikacija strukture dolomita prema Randazzo i Zachos (1984)	13
Slika 2.4. Klasifikacija dolomitne strukture prema Sibley i Gregg (1987)	14
Slika 2.5. Razvoj strukture teoretskog vekstona izloženog dolomitizaciji.....	16
Slika 3.1. Mikrofotografija uzorka Sy 6a-2	21
Slika 3.2. Mikrofotografija uzorka Sy 7-7.....	23
Slika 3.3. Mikrofotografija detalja uzorka Sy 9-1	25
Slika 3.4. Mikrofotografija uzorka Sy 16b-5.....	27
Slika 3.5. Mikrofotografija uzorka Sy 17a-6.....	29
Slika 3.6. Mikrofotografija uzorka Sy 34-3.....	31
Slika 3.7. Mikrofotografija uzorka Sy 37.....	32
Slika 3.8. Mikrofotografija uzorka Sy 38.....	33

1. UVOD

Stijenu dolomit ubrajamo u skupinu karbonatnih sedimentnih stijena. Čisti dolomiti sastavljeni su više od 90% od minerala dolomita (Tišljar, 2001). Kemijska formula minerala dolomita je $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Dolomite koji sadrže 50-90 % kalcita zovemo kalcitični dolomiti, a postoje i stijene dedolomiti nastale procesom dedolomitizacije.

Prema podjeli Tuckera (2008), dolomite možemo ubrojiti u skupinu biogenih, biokemijskih ili organskih sedimentnih stijena ili u skupinu kemijskih sedimentnih stijena. Skupini organskih sedimentnih stijena pripadaju primarni ili tzv. ranodijagenetski dolomiti u čijem postanku neobično važnu ulogu imaju organizmi (mikroorganizmi), dok se u skupinu kemijskih sedimenata može ubrojiti sekundarni ili kasnodijagenetski dolomit čija je geneza dominantno vezana za kemijske procese zamjene kalcita dolomitom tijekom dijageneze stijena u kasnoj fazi (kad su stijene već litificirane).

U petrologiji sedimentnih stijena geneza dolomita odnosno proces dolomitizacije predstavlja i dalje kontroverznu temu. Zaključci o uvjetima postanka dolomita, kako primarnog tako i sekundarnog, nisu jednoznačni te postoje teorije brojnih znanstvenika o njegovoj genezi. Uzroci različitih teorija leže u nemogućnosti provjere kako se dolomit ponaša u laboratorijskim uvjetima. Naime, u laboratorijskim uvjetima je gotovo nemoguće sintetizirati mineral dolomit kroz kraće vrijeme te je gotovo nemoguće provjeriti njegovo ponašanje pri različitim fizikalno-kemijskim uvjetima i promjenama kakvi vladaju u okolišu.

Također, nema jedinstveno prihvaćenog načina klasifikacije dolomita (npr. na primarni i sekundarni, ranodijagenetski i kasnodijagenetski, itd.), a pri opisima postoje različiti pristupi u promatranju strukturnih elemenata (uglavnom mikropetrografskih) i procjene koji su od tih elemenata važni te ukazuju na genezu dolomita. Ipak, u posljednje vrijeme prevladava definicija dolomita na osnovi strukture kako je predlažu Sibbley i Gregg (1987).

Stoga je cilj ovog završnog rada upoznati se s načinom opisa dolomitne strukture koja omogućuje donošenje zaključka o genezi dolomita, tj. definirati taložni model u kojem je dolomit nastao.

2. DOLOMITI

Geneza minerala dolomita vezana je za uvjete taloženja kakvi vladaju u karbonatnim taložnim okolišima. Međutim, iako u morskoj vodi ima dovoljno magnezijevih iona, do izlučivanja minerala dolomita uglavnom ne dolazi ili dolazi samo u rijetkim ili bitno izmijenjenim uvjetima. Razlog tome su kinetički problemi, faktori pri formiranju minerala dolomita, od kojih su najvažniji (1) velika ionska snaga morske vode i brza precipitacija drugih karbonata, (2) snažna hidratacija Mg^{2+} iona i (3) niska aktivnost CO_3^{2-} iona u prisustvu SO_4 iona kojeg ima u morskoj vodi. Glavni razlog zašto ne dolazi do direktne precipitacije dolomita je taj što je dolomit mineral visokog stupnja uređenosti kristalne rešetke. Uvjeti u morskoj vodi pogoduju precipitaciji karbonatnih minerala nižeg stupnja uređenosti kristalne rešetke poput aragonita i magnezijem bogatog kalcita.

Sam mineral dolomit izgrađen je od naizmjeničnih „slojeva“ ravnina karbonatnih aniona i kationa. Dolomit, kristalizira u heksagonskom kristalom sustavu, kristalnom razredu $\bar{3}$. Stehiometrijski dolomit je naziv koji se koristi za dolomit koji ima molarni omjer iona Ca i Mg 50:50, što znači da sadrži jednak broj molova Ca i Mg iona u svojoj kristalnoj strukturi. Karbonatni ioni CO_3^{2-} tvore ravnine između kojih se nalaze zasebne ravnine iona Ca^{2+} i Mg^{2+} . Dolomit kao takav pokazuje visoki stupanj uređenja kristalne rešetke, ali je u prirodi veoma rijedak. Većina prirodnih dolomita nema omjer Ca i Mg kao stehiometrijski dolomit, već sadrži manje ili više Mg iona u odnosu na Ca (većina s omjerom $Ca/Mg=58/42$, odnosno $Ca/Mg=48/52$). Dolomit u svojoj kristalnoj strukturi osim iona Mg i Ca može sadržavati manje količine drugih kationa koji ih zamjenjuju, to su Fe, Mn, Na i Sr. Također unutar pojedinih ravnina kationa može doći do pojave iona Ca u ravnini Mg (i obratno) što rezultira nižim stupnjem uređenja kristalne rešetke.

Struktura stijene dolomita uvjetovana je brojem nukleacijskih zametaka. Veliki broj nukleacijskih (kristalnih) zametaka omogućuje očuvanje strukture primarne stijene, ako se kristali dolomita formiraju u istovjetnoj optičkoj orijentaciji s kristalima koje zamjenjuju. Većina fosila i ooida primarno su izgrađeni iz velikog broja mikrokristala, što povećava vjerojatnost stvaranja većeg broja nukleacijskih zametaka dolomita i naposljetku rezultira očuvanjem primarne strukture (stijena će pokazivati pseudomorfnu strukturu), odnosno doći će do dolomitizacije oponašanjem tj. mimikrijske dolomitizacije.

2.1. Dolomitizacijski modeli

Prema Flügel (2004), dolomiti se formiraju pri različitim uvjetima i u različitim taložnim okolišima. Jednostavna podjela između „primarnih“ dolomita za koje se vjeruje da su nastali direktnom precipitacijom iz morske vode i „sekundarnih“ dolomita koji se smatraju produktom procesa zamjene kalcita dolomitom tijekom dijageneze je pomalo zastarjela. Usprkos brojnim teorijama i istraživanjima danas se smatra da je ipak većina dolomita nastala procesima **zamjene (eng. replacement) kalcita dolomitom**.

Kao rezultat istraživanja dolomitnih naslaga u kojima su bile opisane karakteristike kompleksnih geoloških situacija, razvili su se mnogi modeli dolomitizacije s ciljem da se objasni podrijetlo drevnih dolomita. Slika 2.1. ilustrira neke od najčešćih i najprihvaćenijih modela (prema Flügel, 2004). O nekima od njih se još uvijek raspravlja. Svaki od ovih modela ima poneki sporni moment. Npr. tzv. Model povratnog strujanja (sl. 2.1. B) predstavlja mogući mehanizam dolomitizacije, ali iziskuje vrlo dugo vrijeme potrebno za dolomitizaciju pri navedenim uvjetima (milijune godina) (iz Flügel, 2004 i pridružene reference).

Termalna konvekcija morske vode kroz karbonatnu platformu (sl. 2.1. G) pruža veliki potencijal dolomitizaciji, ali istiskivanje otopina koje donose magnezij uslijed kompakcije (zbog dubljeg zalijeganja) izgleda nije učinkovit mehanizam za regionalnu dolomitizaciju platformi (Flügel, 2004 i pridružene reference).

2.1.1. Dolomiti u asocijaciji s evaporitima

Mnogi modeli dolomitizacije mogu se vidjeti u Flügel, (2004):

A: Model *sabkha* ili evaporacijski model (sl. 2.1. A) temelji se na usporedbi s recentnim *sabkha* dolomitima i dolomitima nastalim evaporacijom morske vode te objašnjava drevne dolomite kao supratajdalne prema podrijetlu. Holocenski dolomiti iz zona plime i oseke dobro su poznati iz Perzijskog zaljeva, Bahama i Floride: Supratajdalni dolomiti karakterizirani su mikrokristalastim (1-5 μm), nestehiometrijskim dolomitom s niskim stupnjem urednosti kristalne rešetke. Ove dolomite pronalazimo u karbonatnom mulju ili kao površinsku koru na supratajdalnim ravninama. Dolomitizacija je objašnjena djelovanjem hiperslane otopine koja je produkt evaporacije na području slanih obalnih ravnica (*sabkhi*). U ovim uvjetima dolomit zamjenjuje primarne metastabilne karbonatne minerale. Dolomitizirajuća otopina je slana otopina s visokim Mg/Ca omjerom koja je rezultat isparavanja morske vode i precipitacije

kalcija u vidu minerala aragonita, gipsa i anhidrita (čime se Ca uklanja iz sistema) te istovremenog relativnog povišenja koncentracije magnezija. Prema podacima iz Flügel (2004), proračun ravnoteže masa baca određenu sumnju na podrijetlo (zamjenu kalcita dolomitom) svih sabkha dolomita i vodi raspravi o mogućnosti direktne precipitacije

B: Model povratnog strujanja (sl. 2.1. B) popularan je model za dolomite u asocijaciji s evaporitima. Razvijen je iz studija supratajdalne precipitacije gipsa u jezeru na Bonaireu (Nizozemski Antili), koje ima visok Mg/Ca omjer i Mg^{2+} bogate hiperslane otopine koje prodiru u podinski vapnenački sediment i struje u smjeru niže koncentracije otopine tj. od hipersalinog jezera prema laguni s morskom vodom prosječnog saliniteta. Model uključuje stvaranje dolomitizirajućih otopina kroz evaporaciju morske vode ili vode u porama taloga tajdalnih ravnica te strujanje takvih otopina kroz nelitificirani podinski sediment. Model povratnog strujanja primijenjen je na karbonate šelfa i laguna permskih koraljnih kompleksa zapadnog Teksasa, engleske Zechstein dolomite mlađega perma i Edwards formaciju u Teksasu (starija kreda) (Flügel, 2004).

C: Model evaporacije i pada razine mora (sl. 2.1. C) pokušava objasniti dolomitizaciju intertajdalnih i subtajdalnih facijesa, često formiranih ispod evaporita. Dolomitizacija se javlja zbog promijenjenih uvjeta zbog snižavanja razine mora (Flügel, 2004 i pridružene reference). Evaporacija se zbiva na supratajdalnu ili u plitkom intertajdalnu, ali kad padne razina mora onda se i subtajdalni talozi mogu naći u uvjetima supratajdala ili intertajdala i biti podložni dolomitizaciji uslijed evaporacije u novonastalim uvjetima. Model se često koristi kako bi se objasnila dolomitizacija cikličkih sukcesija od karbonata do evaporita koje se interpretiraju opetovanim padom razine mora.

D: Coorong model temelji se na saznanjima iz povremenih alkalnih jezera južne Australije koja se nalaze iza obalne barijere, a napajaju se morskom vodom i podzemnim vodama koje protječu kroz otvoreni vodonosnik u smjeru mora (Flügel, 2004). Model naglašava obogaćenje podzemne vode Mg^{2+} ionima koji potječu iz otopljenih minerala magmatskih stijena. Formira se sitnozrnati dolomit u različito vrijeme tijekom godišnjeg ciklusa plavljenja i isušivanja jezera.

2.1.2. Modeli dolomitizacije morskom vodom

Dolomiti koji ne dolaze u asocijaciji s evaporitima često se interpretiraju primjenom modela miješane vode ili modelima dolomitizacije morskom vodom (Flügel, 2004).

E i F: *Modeli miješanja u zoni meteorske i morske vode*, Dorag model (sl. 2.1. E, F) podrazumijeva miješanje meteorske i morske vode te pretpostavlja precipitaciju iz obalnih otvorenih ili dubokih zatvorenih vodonosnika. Model miješanja u zoni meteorske - marinske vode korišten je kako bi se objasnili subtajdalni dolomiti koji su formirani blizu površine u ranoj fazi dijageneze ili prije kompakcije, a ne dolaze u asocijaciji s evaporitima. Dolomiti miješane vode trebali bi se većinom nalaziti u dijelovima karbonatnih platformi prema kopnu.

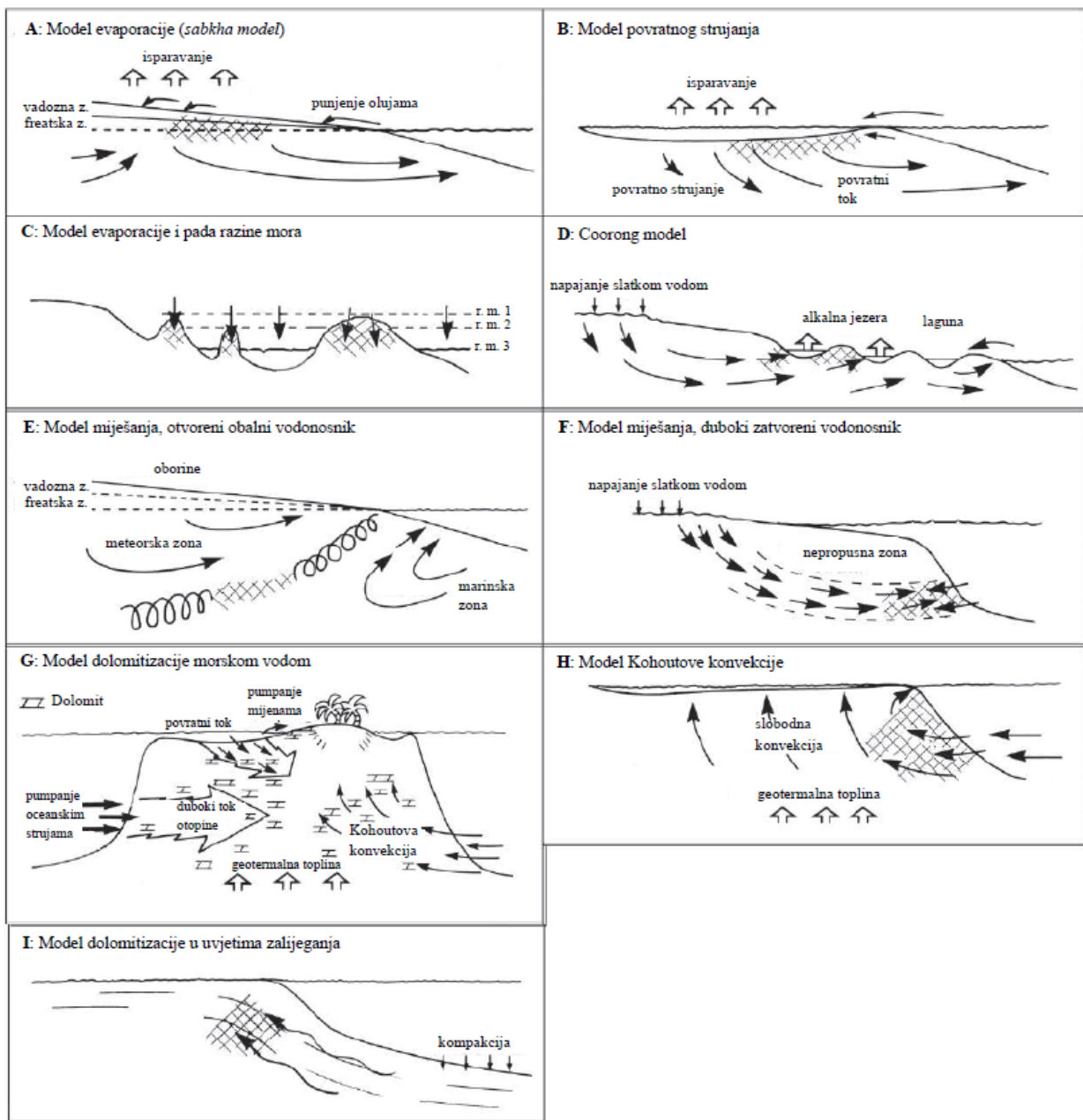
G: Izvješća o dolomitima formiranim iz morske vode ili neznatno promijenjene morske vode u marinskom okolišu, uključujući platforme, grebene i pelagičke okoliše, dovelo je do razvitka modela dolomitizacije morskom vodom (sl. 2.1. G). Model naglašava da sama morska voda može uzrokovati dolomitizaciju uz uvjet da postoji dostatan mehanizam crpljenja vode kroz karbonatni sediment. Mehanizam premještanja vode kroz sediment može biti izmjena plime i oseke (dnevne tajdalne struje), a rezultira formiranjem tzv. tajdalnih dolomita (Flügel, 2004 i pridružene reference). Pokretački mehanizam cirkulacije morske vode kroz atole (Flügel, 2004 i pridružene reference), grebene i krajnje dijelove platformi mogu biti oceanske struje i oceanske mijene (Flügel, 2004 i pridružene reference), poniranje slanije vode s površine platforme prema dolje (Flügel, 2004 i pridružene reference) te termalna konvekcija uzrokovana cirkulacijom vode povišene temperature iz vulkanskog podzemlja (slučaj kod atola) (Flügel, 2004 i pridružene reference). Termički konvekcijski protok (strujanja od baze vulkanita prema gore, dakle od gornjeg dijela vulkanskih stijena prema karbonatima koji leže iznad) mogu biti odgovorni za otapanje karbonata i formiranje masivnih dolomita koji ih zamjenjuju.

H: Veliko i dugotrajno strujanje morske vode u krajnje dijelove karbonatne platforme objašnjeno je modelom Kohoutove konvekcije (sl. 2.1. G). Kohoutova konvekcija javlja se zbog horizontalnog gradijenta gustoće između hladne morske vode uz karbonatnu platformu i geotermalno zagrijane podzemne vode unutar platforme (Flügel, 2004).

2.1.3. Dolomiti u uvjetima dubokog zalijeganja

Prema Flügelu (2004), osnovni preduvjeti modela dolomitizacije u uvjetima zalijeganja su (sl. 2.1. G) dostatni izvor Mg^{2+} iona, odgovarajući pokretački (transportni) mehanizam i povoljni uvjeti za precipitaciju dolomita. Temeljni proces opisan u ovom modelu je generiranje otopina uslijed istiskivanja vode kompakcijom muljnjaka i deriviranje magnezijem bogatih pornih otopina tijekom transformacije minerala glina (prijelaz smektita u ilit) s povećanjem dubine i temperature. Drugi izvori magnezija za dolomite koji nastaju u uvjetima dubokog zalijeganja su tlačno otapanje i cirkulacija mogućih metamorfnih i hidrotermalnih otopina. Hidrotermalna dolomitizacija jedna je od teorija novijega datuma (Flügel, 2004 i pridružene reference). Mnogi su grebeni i platformni karbonati intenzivno dolomitizirani u uvjetima zalijeganja (Flügel, 2004). Kriterij za prepoznavanje dolomitizacije u uvjetima zalijeganja je pojava krupnih kristala dolomita, sedlasti dolomit, povišeni udio željeza u dolomitu, singenetsko ili ranije formiranje dolomita zajedno sa stilolitima i određene vrijednosti izotopa. Često je dolomitiziran samo matriks („matriksni dolomit“).

Sedlaste dolomite ili barokne dolomite prepoznamo kao krupne, mliječno bijele ili smeđe kristale dolomita, najčešće milimetarskih dimenzija, sa zakrivljenim sedlastim ploham nastalim uslijed rotacije oko osi c (Flügel, 2004). Dolomitni kristali obiluju fluidnim inkluzijama. U mikroskopskom preparatu takav se dolomit čini zamagljenim, pokazuje undulozno potamnjenje i različite zone rasta. Često je izlučen u prostoru kalupnih šupljina ili šupljinama otapanja, a rjeđe se pojavljuje kao masivna zamjena karbonata. Čest je u karbonatnim stijenama nositeljima sulfata praćen ugljikovodicima i epigenetskim sulfidima (npr. Mississippi Valley tip ležišta ruda). Geneza sedlastog dolomita obično se interpretira postankom u uvjetima dubokog zalijeganja ili hidrotermalnim uvjetima izlučivanjem iz otopina visokog saliniteta pod vrlo visokim temperaturama ili kao nusprodukt termokemijske redukcije sulfata (Flügel, 2004).



Slika 2.1. Dolomitizacijski modeli; Preuzeto iz Flügel (2004)

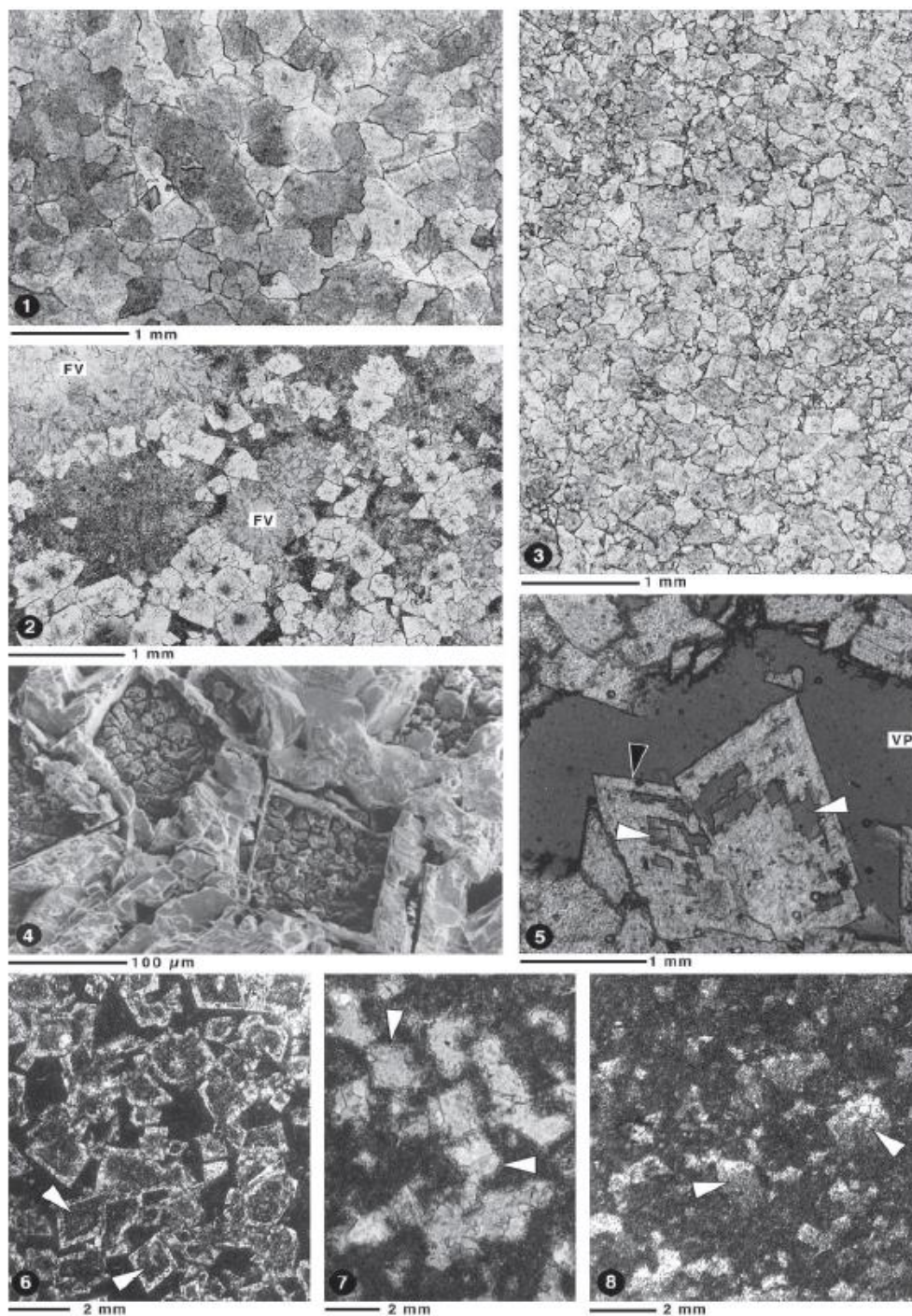
2.2. Struktura dolomita

Struktura stijene obuhvaća geometrijske značajke individualnih komponenti *stijene* (zrna, *minerala*) i njihovo uređenje. Strukturu je moguće odrediti na uzorku, makroskopski ili mikroskopski. Struktura stijene posljedica je načina postanka, naknadnih promjena tijekom dijageneze, metamorfizma kao i trošenja kojima je stijena bila podvrgnuta (Flügel, 2004). Pri opisu stijena razlikujemo i termin građa stijene *fabric* ili *tekstura* što obuhvaća raspored, uređenost, pakiranje i orijentaciju sastavnih komponenti, a u pravilu se određuje na izdanku.

Osnovni termini koji se obično koriste pri opisu strukture dolomita pri odredbi mikroskopskih preparata nastoje definirati: oblik kristala, njihov međusobni odnos i jednolikost (unimodalnost), odnosno nejednolikost (polimodalnost) veličine kristala (Flügel, 2004). Primjere različitih osobina dolomitnih kristala ilustriraju prikazi (sl. 2.2. 1-3) (iz Flügel, 2004).

U literaturi se navodi i specifičan oblik kristala dolomita koji se naziva sedlasti dolomit (sl. 2.2. 5). Sedlasti dolomit (ili *baroque dolomite*) je posebni tip dolomita s kristalima koji imaju zakrivljene plohe (poput sedla). Takav se tip dolomita obično interpretira kao dolomit koji je nastao pri hidrotermalnim uvjetima ili uvjetima dubokog zalijeganja (kad su naslage dolomita prekrivene debelim slijedom mlađih naslaga).

Nikako se ne smije izostaviti ni definicija dedolomita. Dedolomit je termin koji se koristi za dolomite koji su prošli dedolomitizaciju. Dedolomitizacija označava rano- ili kasnodijagenetski prijelaz iz dolomita u kalcit kako to ilustrira slika 2.2. 6-8. Općenito struktura dolomitnih stijena varira između dva krajnja člana: vapnenca u kojem se vide pojedinačni dolomitni romboedarski kristali (2) i šećerastog dolomita (3) koji je čitav izgrađen od kristala dolomita.



Slika 2.2. Dolomit, sedlasti dolomit i dedolomit; Preuzeto iz Flügel (2004)

1) dolomit, 2) vapnenac s pojedinim romboedarskim kristalima dolomita, 3) šećerasti dolomit, 4) SEM mikrofotografija dedolomita, 5) kasnodijagenetski sedlasti dolomit, 6) dedolomitizacija zalijeganjem kasnodijagenetskog dolomita, 7) pripovršinska ranodijagenetska dedolomitizacija, 8) pripovršinska ranodijagenetska dedolomitizacija

2.2.1. Kriteriji pri opisu i determinaciji dolomitne strukture

Slično vapnencima, dolomiti se mogu podijeliti prema mineraloškom i kemijskom sastavu, te strukturnim značajkama. S obzirom na udio dolomita u karbonatnoj stijeni koriste se različiti termini (Flügel, 2004). Definicija ovih izraza nije ujednačena te je ponekad nejasna:

Izraz *dolomitiziran* može ukazivati (a) da je dolomitizacija u potpunosti ili djelomice izmijenila vapnenac u dolomit ili dolomitični vapnenac, odnosno (b) da stijena sadrži više od 10 % dolomita (Folk, 1959).

Termin *dolomitični* označava stijenu koja sadrži različit udio minerala dolomita. *Dolomitični vapnenac* sadrži značajan udio dolomita, ali udio kalcita je značajniji. Suprotno njemu pojavljuje se kategorija *kalcitični dolomit* koji predstavlja stijenu koja sadrži značajni udio dolomita i nešto kalcita (udio dolomita je veći i važniji). Nedefinirani izraz *magnezijski vapnenac* označava stijenu koja sadrži smjesu kalcita i dolomita ili vapnenac u kojem je prisutno nešto MgO komponente, ali ona nije dolomit.

Značajan je i sve se češće u literaturi koristi termin *dolostone*. *Dolostone* je termin koji prema Flügelu (2004) određuje genezu te može značiti (1) *singenetske stijene dolomite* istovremeno taložene u okolišu, (2) *dijagenetske stijene dolomite* nastale zamjenom karbonatnog sedimenta ili vapnenca, tijekom ili odmah nakon konsolidacije i (3) *epigenetske dolomitne stijene* nastale zamjenom kalcita dolomitom, lokalizirano duž posttaložnih rasjeda i pukotina.

Važno je napomenuti da se termin *dolostone* često koristi u anglosaksonskoj literaturi, no u hrvatskom jeziku gotovo da nije u upotrebi već se za sve stijene koristi naziv „**dolomit**“. I Flügel (2004) također primjenjuje termin „dolomit“ gotovo u svim slučajevima.

2.2.2. Opis mikroskopskih preparata i terminologija pri determinaciji dolomitnih stijena

Osnove terminologije u opisivanju dolomita postavio je Friedman (1965), a proširili su je Randazzo i Zachos (1983) te Sibley i Gregg (1987). Potonja klasifikacija i način odredbe se u današnje vrijeme sasvim sigurno najčešće koristi.

U mikroskopskim izbruscima dolomiti mogu, ali i ne moraju pokazivati izvornu strukturu taloženja i primarni sastav. Kalcitični dolomiti koji imaju očuvani primarni taložni sastav i strukturu klasificirani su prema strukturnom sastavu te kristalnoj strukturi i građi. Oblik i veličina kristala dolomita te njihovi međusobni odnosi važni su u klasifikaciji dolomitnih stijena čija je primarna građa odnosno izvorna struktura prikrivena ili uništena tijekom dolomitizacije (Flügel, 2004 i pridružene reference).

Sustavi nazivlja dolomita uglavnom imaju opisni karakter i temelje se na podjeli prema sastavu, modificiranoj s obzirom na strukturne karakteristike (Flügel, 2004 i pridružene reference). Na primjer *krupno kristalasti oolitični dolomit* (Flügel, 2004 i pridružene reference) predstavlja dolomit koji je karakteriziran ooidima koji se nalaze okruženi kristalima dolomita veličine 0,25 do 1 mm.

S obzirom na klasifikacije kako ih predlažu Friedman (1965), Randazzo i Zachos (1983) – sl. 2.3., te Sibley i Gregg (1987) (sl. 2.4.) pri opisu dolomita neobično je važna veličina kristala.

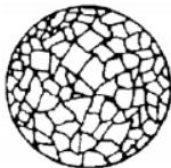
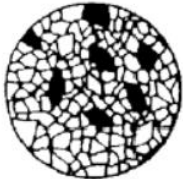
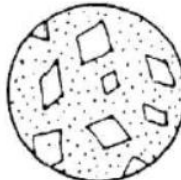
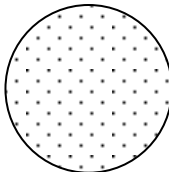
Korištenje tablica veličina kristala omogućuje opsežnije razlikovanje dolomitne strukture. Različite granice veličina kristala koristio je Friedman (1965), Randazzo i Zachos (1984) te Wright (1992). Kasnije su osmišljeni izrazi *dolomikroston* (veličina kristala $< 4 \mu\text{m}$), *dolomikrosparston* (veličina kristala 4-10 μm) i *dolosparston* (veličina kristala $> 10 \mu\text{m}$). Distribucija veličine kristala predstavlja jednu važnu informaciju, a to je nukleacija i rast dolomitnih kristala (Sibley i dr. 1993). Nomenklatura koju su predložili Randazzo i Zachos (A) omogućuje prepoznavanje tipova dolomita proizašlih iz „homogene“ odnosno „heterogene“ dolomitizacije.

Praktična primjena ove nomenklature zahtjeva definiranje sljedećeg:

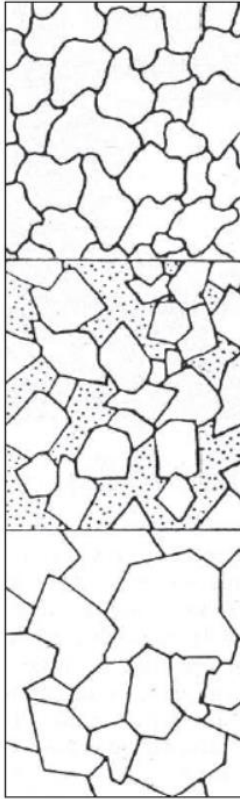
- *Veličine kristala:* koja može biti vrlo sitno (*fine*), srednje (*medium*) ili krupno (*coarse*) kristalasta
- *Distribucije veličine kristala:* može biti ekvigranularna (ili unimodalna, svi su kristali približno istih veličina), neekvigranularna (polimodalna, kristali se razlikuju po veličini) ili ekstremno sitna (afanotopna)
- *Građe:* peloidalna (kristalići dolomita se grupiraju i tvore peloidima nalik nakupine), mozaična (kristali dolomita imaju strukturu nalik mozaiku), porfirotopna (krupni kristali dolomita – dolomitni romboedri okruženi su iznimno sitno kristalastom dolomitnom osnovom) ili poikilotopna (sitni kristali dolomita uklopljeni su u krupne kristale)
- *Sklopa kristala:* dolomitni kristali predstavljaju gusti sklop (gusto su pakirani), rahlo su pakirani, predstavljaju izolirane nakupine (klustere) ili se radi o izoliranim („plutajućim“) kristalima
- *Oblika kristala:* prema obliku kristali dolomita mogu biti anhedralni (nepravilni), euhedralni (pravilni) ili subhedralni (polupravilni), a sukladno prevladavajućem obliku kristala mogu se definirati ksenotopna, idiotopna i subidiotopna struktura dolomita

Tako na primjer, prema klasifikaciji kako je predlažu Randazzo i Zachos (1984) „neekvigranularna, idiotopna, porfirotopna struktura dolomita s prisustvom pojedinačnih izoliranih romboedara dolomita“ predstavlja dolomit koji se većim dijelom sastoji od euhedralnih (pravilnih), izoliranih kristala različitih veličina, koji se nalaze u sitnozrnatoj osnovi.

Isto tako „ekvigranularna, mikrosenotopna, suturirana, mozaična struktura“ odgovara dolomitu koji se sastoji od gustog mozaika vrlo sitnih kristala anhedralna oblika, jednolike veličine.

Ekvigranularna		
Peloidalna  Oštre do raspršene nakupine kristala jednolike veličine	Mozaična  Suturirana: Gusto pakirani anhedralni kristali bez ili s niskom interkristalastom poroznošću  Sitasta: Rahlo pakirani anhedralni do euhedralni kristali; visoka interkristalasta moldička poroznost	
Neekvigranularna		
Mozaična  Točkasta: Izolirana i dobro definirana područja sa sitnim ili vrlo sitnim kristalima u krupnokristalastoj mozaičnoj masi  Nejasna: Nepravilna ili difuzna područja s vrlo sitnim kristalima u krupnokristalastoj mozaičnoj masi	Porfirotopna  Kontaktna: Rahlo pakirani euhedralni ili subhedralni kristali u sitnozrnatom matriksu  Plutajuća: Izolirani euhedralni ili subhedralni kristali u sitnozrnatom matriksu	Poikilotopna  Sitni kristali se nalaze unutar krupnih kristala
Afanotopna		
Kristali < 0,002 mm 		

Slika 2.3. Klasifikacija strukture dolomita prema Randazzo i Zachos (1984); Preuzeto iz Flügel (2004)



Neplanarna: gusto pakirani anhedralni kristali, većinom sa zakrivljenim, zaobljenim, nazubljenim ili nepravilnim interkristalastim ploham; očuvana kristalna naličja su rijetka, stoga kristali često pokazuju undulozno potamnjenje pod ukrštenim nikolima.

Planarna-e: većina kristala dolomita su euhedralni rombovi sa zrnskom potporom pri čemu su područja između kristala ispunjena nekim drugim mineralom.

Planarna-s: većina kristala dolomita su subhedralnog do anhedralnog oblika s ravnim granicama i mnogo kristalnih naličja; odlikuju se niskom poroznošću i/ili malim udjelom interkristalastog matriksa.

Slika 2.4. Klasifikacija dolomitne strukture prema Sibley i Gregg (1987); Preuzeto iz Flügel (2004)

2.2.3. Podjela dolomitnih struktura

Kako navodi Flügel, (2004) primjeri klasifikacije dolomitne strukture mogu biti:

(A) Osnovna terminologija koja se koristi pri opisu kristalizacijskih strukturnih karakteristika prema Friedman (1965) te principi opisa strukture prema Randazzo i Zachos (1983) jesu klase veličine kristala i to: 0,256-0,016 mm i 0,016-0,002 mm – za ovu klasu se koristi prefiks mikro.– Za klasu s kristalićima < 0,002 mm upotrebljava se naziv „afanitno“.

Danas se u praksi najviše koristi klasifikacija koju su predložili Sibley i Gregg (1987) i koja ima elemente važne u *praktičnoj primjeni odredbe* dolomitne strukture (sl. 2.4.). Struktura dolomita kako su je predložili Sibley i Gregg (1987) razlikuje planarni (ravni) ili neplanarni (neravni) oblik kristala (sl. 2.4.) ali uzima u obzir i veličinu kristala, utjecaj rasta kristala izraženog planarnim ili neplanarnim ploham kristala, i stupanj dolomitizacije koji se odnosi na zrna, matriks i na otopljene komponente iza kojih su ostale šupljine.

Dolomitizacija zrna je kategorizirana na neizmijenjena zrna, zrna koja su prilikom dolomitizacije otopljena pa su ostale moldičke šupljine, zrna kod kojih je došlo do djelomične

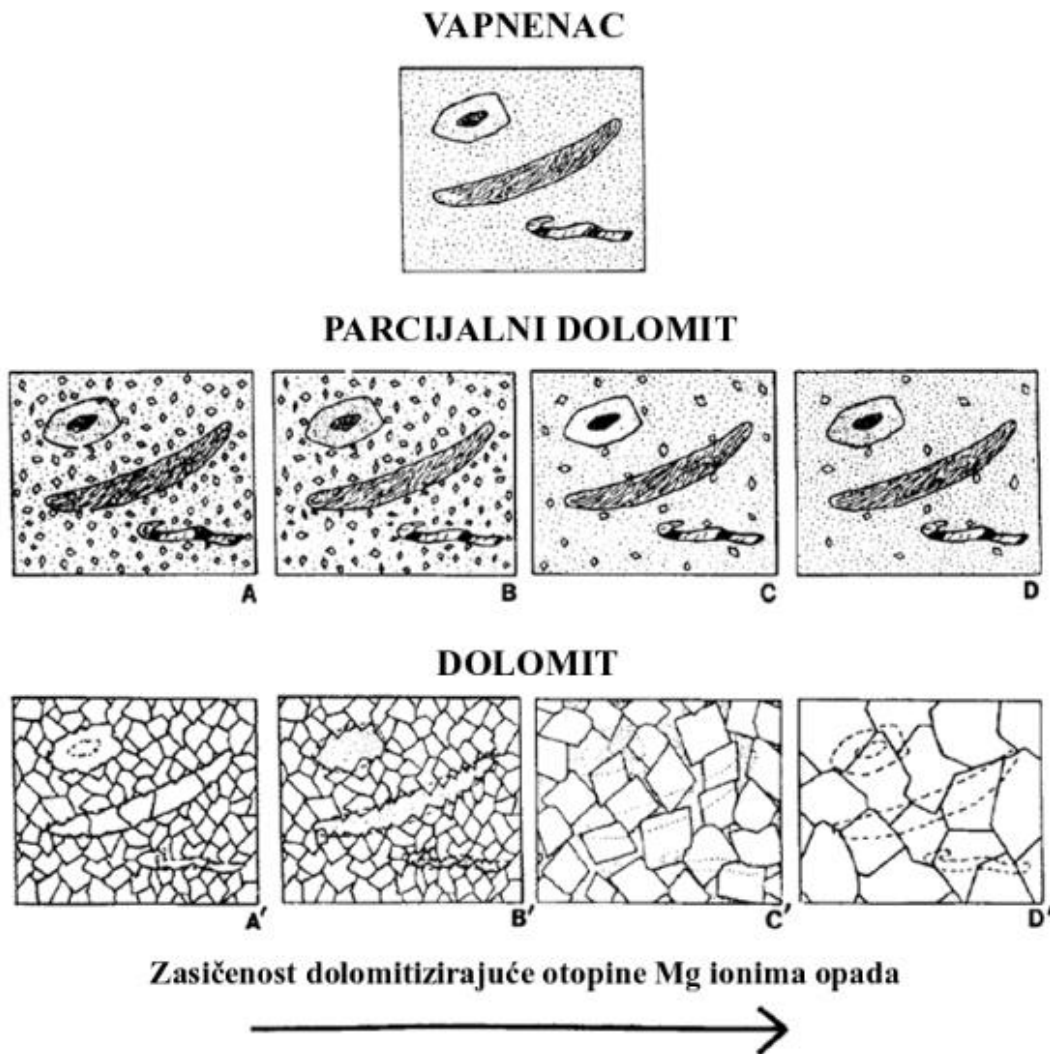
ili potpune zamjene kalcita dolomitom. Dolomitizacija matriksa može biti takva da je on neizmijenjen, ili da je došlo do djelomične ili potpune dolomitizacije. Šupljine mogu biti neizmijenjene, ili je njihova ispuna djelomice ili potpuno zapunjena dolomitom.

Neplanarnu strukturu dolomita koju karakterizira gusto pakiranje anhedralnih kristala Sibley i Gregg (1987) interpretiraju dolomitizacijom uz uvjete povišene temperature (obično više od 100 °C), što je često slučaj kod dolomita nastalih u uvjetima dubljeg zalijeganja.

2.2.4. Dolomitizacija oponašanjem – mimikrijska dolomitizacija

Prethodno navedena opisna klasifikacija dolomitne strukture prema Sibley i Gregg (1987) omogućuje shvaćanje dolomitizacije oponašanjem građe primarnih vapnenačkih sastojaka tzv. mimikrijska dolomitizacija (*engl. mimic replacement*). Dolomitizacija oponašanja označava dolomitizaciju koja zadržava oblik i strukturu alokema u slučaju mimikrijske zamjene. Mimikrijska zamjena iziskuje velik broj nukleacijskih zametaka, osim ako alokem koji biva dolomitiziran čini jedan krupni kristal. Što su uvjeti za dolomitizaciju povoljniji, to je broj nukleacijskih zametaka veći. Povoljne uvjete obično vezemo za uvjete kakvi vladaju kod primarnih dolomita vezanih uz evaporacijske okoliše. Zato dolomiti nastali u takvim uvjetima obično imaju mikrokristalastu strukturu kao posljedicu formiranja velikog broja nukleacijskih zametaka pa je i mogućnost očuvanja građe primarnog vapnenca velika.

Također razlikujemo i nemimikrijsku zamjenu u kojoj oblik alokema ostaje očuvan, ali ne i njegova primarna građa. Do ovoga dolazi kada relativno manji broj kristala zamjenjuje primarnu vapnenačku česticu. Pojam vezan uz nemimikrijsku zamjenu su tzv. „duhovi“ oblika primarnih alokema koji predstavljaju inkluzije u dolomitu koje formiraju obrise. Fluorescentna mikroskopija često je korisna za detektiranje alokema koji su uništeni dolomitizacijom (Flügel, 2004 i pridružene reference). Osim uz opis alokema, podjela na mimikrijski i nemimikrijski zamijenjene javlja se kod šupljina. Nukleacijska mjesta, odnosno zametci predstavljaju mjesta na površini prethodnih kristala (aragonita, visoko magnezijskog kalcita) na kojima dolazi do zamjene dolomitom. Intenzitet zamjene ovisit će o broju nukleacijskih zametaka, koncentraciji dolomitizirajuće otopine i vremenu izlaganja stijene dolomitizirajućoj otopini. Prikaz na slici 2.5. ilustrira razvoj strukture teoretskog vekstona izloženog dolomitizaciji, u slučaju različitog broja nukleacijskih zametaka i promjena u koncentraciji dolomitizirajuće otopine. Preuzeto iz Sibley i Gregg (1987).



Slika 2.5. Razvoj strukture teoretskog vekstona izloženog dolomitizaciji; Preuzeto iz Sibley i Gregg (1987)

Prikaz ilustrira razvoj dolomitne strukture teoretskog vekstona koja ovisi o broj nukleacijskih zametaka i koncentraciji Mg iona dolomitizirajuće otopine. Prikazi A-A', B-B' i C-C' ilustriraju tri varijacije u evoluciji dolomitne strukture do koje dolazi zbog razlike u sve većoj zasićenosti otopine Mg ionima. Prikaz D-D' ilustrira situaciju u kojoj je došlo do pada koncentracije dolomitizirajuće otopine, ali se produljilo vrijeme izlaganja stijene otopini, što rezultira stvaranjem dolomita niske poroznosti. Sve prikazane strukture su planarne. Kod prikaza A' došlo je do mimikrijske zamjene krinoida i nemimikrijske zamjene fragmenata brahiopoda i trilobita. U B' dolazi do stvaranja moldičkih šupljina uslijed otapanja skeleta i fragmenata. U C' se javljaju duhovi alokema u unimodalnoj, planarnoj-e strukturi. U slučaju D' dolomit također pokazuje unimodalnu, ali planarnu-s strukturu s duhovima alokema.

2.2.5. Dolomitni cement

Iako je pojava dolomitnog cementa bila zapažena u različitim dijagenetskim okolišima, pojavi dolomitnog cementa koji se precipitira izravno iz porne otopine u šupljinama između zrna nije se pridavala osobita pažnja (Flügel, 2004). Ipak, ranodijagenetski dolomitni cementi koji tvore pločaste obrube oko zrna prisutni su u zonama inter- i supratajdala (Flügel, 2004 i pridružene reference) te u plitkim subtajdalnim okolišima, uključujući grebene (Flügel, 2004 i pridružene reference).

2.2.6. Važnost dolomitne strukture

Struktura koja je vidljiva u mikroskopskim izbruscima dolomita pruža nam osnovne podatke o podrijetlu dolomita, ali njihova geneza odnosno interpretacija postanka prema osnovnim modelima ovisi i o ostalim geološkim i geokemijskim podacima.

Čest je slučaj da su dolomiti višestruko prolazili kroz faze strukturnih i geokemijskih promjena otapanja, ponovne precipitacije i mineralne stabilizacije (Flügel, 2004 i pridružene reference) te su mnogi dolomiti bili više puta podvrgnuti rekristalizaciji. Petrografski dokazi rekristalizacije dolomita uključuju povećanje dimenzija kristala i broja neplanarnih kontakata kristala u odnosu na planarne. Drugi dokazi mogu se dobiti metodom katodne luminiscencije (CL) ili promatranjem elektronskim mikroskopom (SEM). Geokemijske značajke uključuju stehiometriju dolomita i uređenost kristalne rešetke dolomita, smanjenje sadržaja stabilnih izotopa, sadržaj stroncija i natrija, te obogaćenje željezom i magnezijem.

2.3. Dedolomitizacija

Dedolomitizacija je dijagenetska izmjena dolomita kalcitom, posebice pod utjecajem meteorske i porne vode različitog sastava, koja često rezultira stvaranjem sekundarne poroznosti. Ovaj proces djeluje na marinske, jezerske i terestričke karbonate, a javlja se u meteorskim uvjetima i uvjetima zalijeganja u dijagenetskim okolišima.

Ranodijagenetska dedolomitizacija može biti produkt (a) nestabilnosti Ca-dolomita u kristalnim jezgrama koje olakšavaju izmjenu jezgre kalcitom, (b) pripovršinske rekristalizacije u meteorskim uvjetima (karakterizirana rombovima koji pokazuju mikrokristalasti kalcit sa zonalnim hematitom) i (c) meteorskog otapanja romboedarskih kristala dolomita unutar mikrita te zapunjavanja kristalnih kalupa granularnim meteorskim cementom i geopetalnim sedimentom.

Kasnodijagenetska dedolomitizacija kontrolirana je varijacijama saliniteta porne vode, a može

biti produkt: (a) dijagenetske nestabilnosti Ca-dolomita (slično gore navedenom ranodijagenetskom dedolomitu); i (b) korozije zoniranih rombova duž površina kalavosti, formiranja interkristalnih pora i kasnijeg rasta sintaksijalnog kalcita unutar tih pora.

Izmjenu dolomita kalcitom prvi je opisao švicarski geolog A. von Morlot (1847) (Flügel, 2004 i pridružene reference) na temelju pokusa s otopinama i terenskim istraživanjima u Štajerskoj. Osmislio je pojam dedolomit i predložio da podzemna voda koja protječe kroz postojeća ležišta evaporita koja se sastoje od gipsa i anhidrita mogla biti obogaćena kalcijem i sulfatima, te rezultirati kalcitizacijom dolomita. Danas se pojam dedolomitizacije koristi s pojmom kalcitizacije kako bi se opisao proces izmjene dolomita kalcitom. Bojanje mikroskopskih izbrusaka alizarinom crvenim S pokazuje nam distribuciju kalcita i dolomita unutar dolomitnih rombova.

2.3.1. Strukturne značajke za prepoznavanje dedolomitizacije

Dedolomitizacija se u stijenama može prepoznati po sljedećim kriterijima (prema Flügel, 2004 i pridružene reference):

- Smeđa do crvenkasta boja stijena: javlja se zbog oslobađanja Fe^{2+} iona iz željezom bogatih dolomita koji se pojavljuju kao tanka prevlaka po kristalima ili kao željezoviti precipitati.

Mnogi dolomiti sadrže značajne količine željeznih oksida i hidroksida što se manifestira njihovom smeđom ili crvenkastom bojom.

- Uslijed utjecaja atmosferskih procesa duž kristalnih ploha kalcitiziranih dolomita može doći do stvaranja nevezanih pijeskovitih fragmenata.
- Pojavljuje se kalcitna pseudomorfoza šećerastog ksenomorfnog neplanarnog dolomita.
- Prisutni su sintaksijalni kalcitični rubovi na vanjskoj strani romboedarskih kristala.
- Relikti otopljenih dolomita sačuvani su u sredini pseudomorfnih kristala, ili na njihovim rubovima.

Dedolomitizacija može biti centrifugalna ili centripetalna (širi se od središta prema periferiji ili obrnuto).

- Asocijacije dedolomita s mineralima evaporita.

Dedolomit je često popraćen sa pseudomorfozom po evaporitnim mineralima zato što otapanje evaporitnih minerala pogoduje kalcitizaciji.

2.3.2. Porijeklo dedolomita

Predložena su dva opća mehanizma dedolomitizacije – reakcija dolomita s otopinama kalcijevog sulfata (Flügel, 2004 i pridružene reference) i alteracija fero-dolomita s oksidiranom meteorskom vodom (prema Flügel, 2004 i pridružene reference). Smatra se da sulfatni ioni potrebni za reakciju potječu od oksidacije pirita ili od otapanja gipsa. Pripovršinska dedolomitizacija često se veže uz otapanje gipsa i dolomita u vadoznoj ili freatskoj meteorskoj zoni. Meteorska voda koja dolazi u kontakt s gipsom stvara otopinu s visokim Ca/Mg omjerom. U nekim slučajevima pojava dedolomita može ukazivati na subaerske uvjete. Otopina gipsa potiče precipitaciju kalcita, vezujući karbonatne ione oslobođene iz dolomita. Ovaj proces može voditi okršavanju. Preduvjet za stvaranje pripovršinskih dedolomita je otopina bogata kalcijem, a siromašna magnezijem, niski parcijalni tlak CO₂ i temperatura < 50 °C. Dedolomitizacija djelovanjem podzemnih voda u karbonatnim vodonosnicima može se javiti na lokalnoj razini (Flügel, 2004 i pridružene reference). Voda bogata otopljenim CO₂ pospješuje otapanje dolomita, te katkad može uzrokovati formiranje dolomitnih pijesaka („dolomitnog grusa“) u subaerskim uvjetima (Flügel, 2004 i pridružene reference). Kontinuirana zamjena dolomita kalcitom pomoću otopine/precipitacije manifestira se u ksenotopnoj strukturi. Potpuno otapanje dolomita te kasnija cementacija uočava se kao prisustvo moldičkih šupljina dolomitnih kristala. Brzine reakcija i model dedolomitizacije u eksperimentalnim istraživanjima pokazala su da ovise o koncentraciji otopine, temperaturi i veličini kristala dolomita. Eksperimenti pokazuju da je proces relativno spor. Suprotno tome, dedolomitizacija dolomitnih mramora koja dovodi do stvaranja kalcitne kore predstavlja brzi proces, kako je pokazano u istraživanju na antičkim skulpturama.

2.3.3. Važnost dedolomitizacije

Prepoznavanje subaerskog izlaganja i nekonformiteta: Mnogi autori smatraju da je dedolomitizacija pripovršinski proces vezan uz djelovanje atmosferilija. Lateralno kontinuirani horizonti dedolomitiziranih stijena, stoga ukazuju na prisutnost prekida u sedimentaciji (Flügel, 2004 i pridružene reference).

Razvoj poroznosti: Dedolomitizacija može povećati kalupnu i interkristalnu poroznost, stvarajući tako rezervoarske stijene (Flügel, 2004 i pridružene reference). Otvorena dolomoldička poroznost može ukazivati na subaersko izlaganje i utjecaj slatke vode.

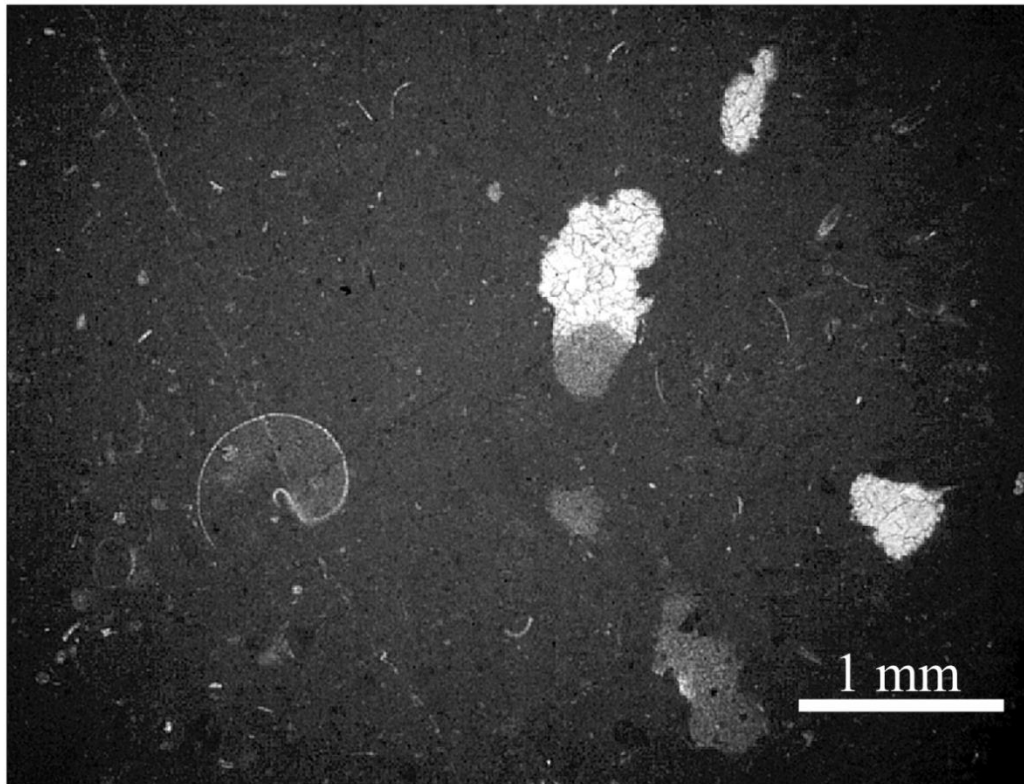
3. MIKROPETROGRAFSKA ANALIZA DOLOMITA

Mikropetrografski je analizirano osam uzoraka dolomita. Uzorci su dio kontinuiranog slijeda gornjopermskih (uzorci Sy 6a-2 do Sy 34-3) i donjotrijaskih (Sy 37 do Sy 38) naslaga snimljenog na lokalitetu južno od sela Brušane na Velebitu.

Oznaka uzorka: **Sy 6a-2**

Na mikrofotografiji uzorka dolomita oznake Sy 6a-2 (sl. 3.1.) vidi se potpuno sačuvana struktura primarnog vapnenca. Radi se o gustom mikritu s fosilima (sada dolomikritu s fosilima) u kojem su sačuvane i šupljine otapanja. Vidljiva je mikrokristalasta unimodalna struktura dolomita. Mikrokristalasti dolomit oponaša strukturu primarnog gustog mikrita (*mimic replacement*). Od alokema u preparatu je jasno vidljiva ljuštura puža koja je nemimikrijski zamijenjena dolomitom (sredina lijevo) te je očuvan samo oblik. U dolomikritnoj osnovi nalazi se nekoliko šupljina otapanja ispunjenih makrokristalima dolomita subhedralnog oblika. U šupljinama se može prepoznati geopetalna ispuna. Pretpostavlja se da neomorfni dolomit oponaša građu primarnih šupljina otapanja (nastalih još u vapnencu).

Na osnovi građe uzorka može se zaključiti o primarnom taloženju vapnenca – mikrita s fosilima u uvjetima mirne sedimentacije vjerojatno u području subtajdala ili intertajdala te o njegovom izronjavanju u vadoznu zonu gdje je došlo do stvaranja šupljina otapanja. Do dolomitizacije dolazi u ranoj fazi dijageneze što se može zaključiti iz mikrokristalaste strukture i dobro sačuvane primarne građe vapnenca mimikrijskom dolomitizacijom. Stijena je nastala u ranoj fazi dijageneze vjerojatno vezanoj za evaporacijske uvjete, moguće dolomitizacijskim modelom povratnog strujanja dolomitizirajućih otopina.

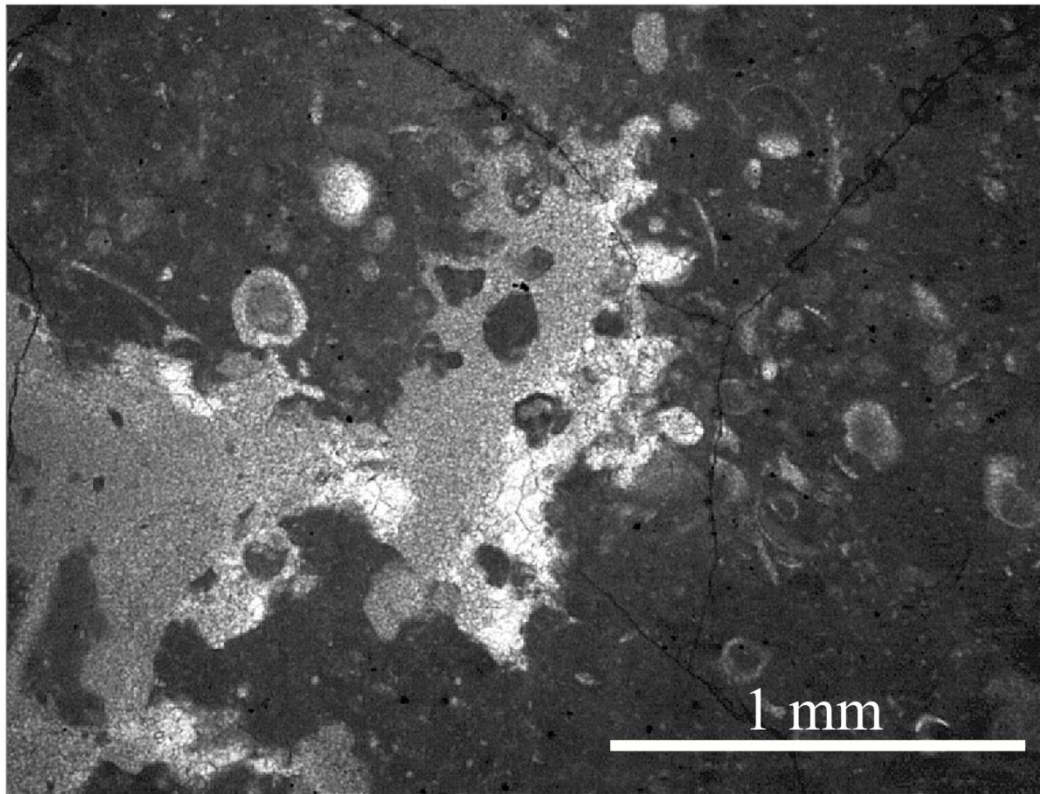


Slika 3.1. Mikrofotografija uzorka Sy 6a-2 prikazuje mikrokristalastu strukturu dolomikrita

Oznaka uzorka: Sy 7-7

Stijena s oznakom Sy 7-7 prikazuje dolomit u kojem je očuvana primarna struktura vapnenca (primarna stijena je determinirana kao biomikrit/vekston). Vidi se polimodalna, uglavnom sitnokristalasta dolomitna struktura. Alokemi (alge i drugi fosili) su u stijeni mimikrijski zamjenjeni. Mikritna osnova također je mimikrijski zamijenjena i sada čini dolomikrit. Primarni vapnenac je taložen u subtajdalnu. Nepravilna pukotina u preparatu (lijevo) ispunjena je polimodalnim sitno- do srednjestalastim dolomitom, pri čemu srednjestalasta frakcija (uz rubove pukotine) pokazuje planarnu-s strukturu. Pukotina također sadrži zaobljene fragmente primarnog dolomita.

Zbog navedenog stijena je interpretirana postankom u dvjema fazama. U ranijoj fazi je došlo do dolomitizacije same stijene uz veliki broj nukleacijskih zametaka što je rezultiralo sitnokristalastom strukturom dolomita. Primarna faza dolomitizacije stijene najvjerojatnije je produkt dolomitizacijskog modela povratnog strujanja dolomitizirajuće otopine prilikom čega je došlo do dolomitizacije subtajdnog vapnenca (koji nije bio u zoni evaporacije na supratajdalnu). U kasnijoj fazi došlo je do stvaranja dolomitnog cementa u pukotinama, a u cementu su ujedno „uhvaćeni“ zaobljeni fragmenti primarnog dolomita.

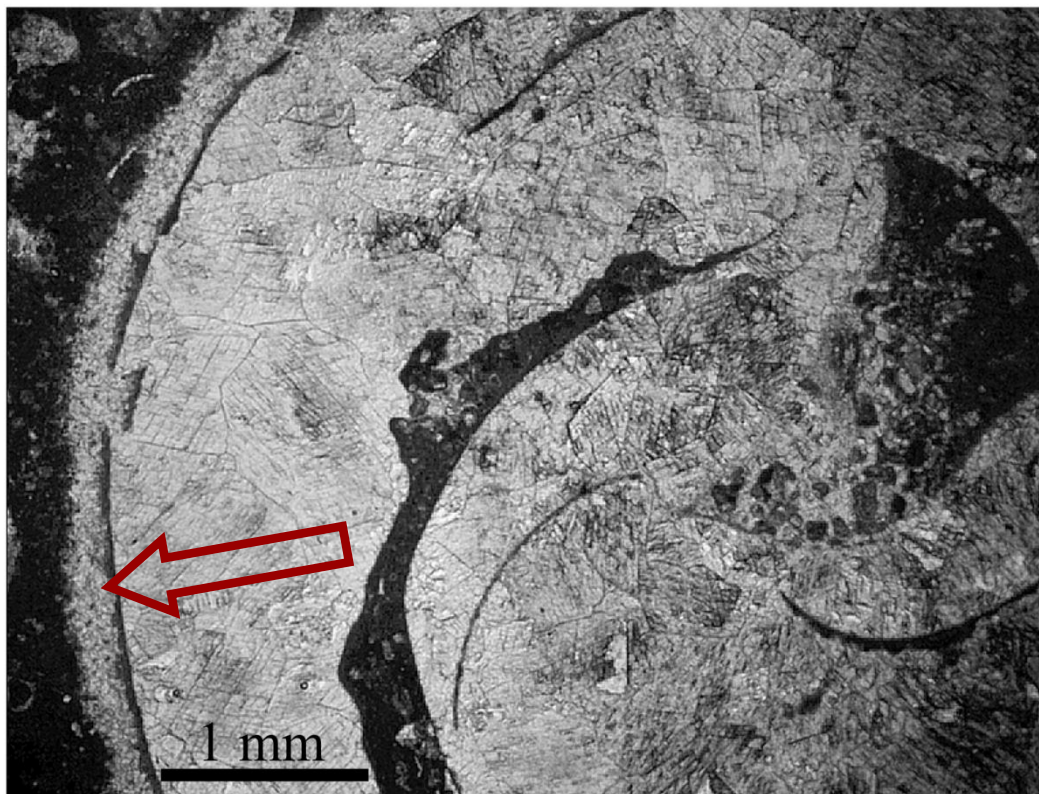


Slika 3.2. Polimodalna, sitnokristalasta struktura dolomita uzorka Sy 7-7 s mimikrijski zamijenjenim alokemima

Oznaka uzorka: Sy 9-1

Mikrofotografija uzorka oznake Sy 9-1 (sl. 3.3.) prikazuje detalj stijene koja je primarno determinirana kao biomikritni vapnenac, koji je prešao u polimodalni, sitnokristalasti dolomit s udjelom krupnih alokema (ljuštura gastropoda) manjim od 10%. Građa primarne stijene vidi se na lijevom rubu mikrofotografije. U detalju se vidi krupna ljuštura gastropoda. Kalcitna ljuštura (strelica) je zamijenjena unimodalnim srednjekristalastim dolomitom. Šupljine ljušture puža sada su ispunjene euhedralnim kristalima dolomita koji čine unimodalnu, krupnokristalastu, planarnu-e strukturu. Kristali pokazuju pravilne romboedarske presjeke s ravnim i oštrim granicama.

Dolomitizirana ljuštura gastropoda, vjerojatno aragonitna, je bila otopljena a aragonit zamijenjen srednjezrnatim kristalima kalcita. Šupljine unutar ljušture sada su ispunjene krupnokristalastim dolomitom koji je izlučen kada se sediment našao u uvjetima pogodnim dolomitizaciji, moguće kao dolomitni cement direktno izlučen iz otopine. Kako život gastropoda vežemo uz zone subtajdala, pretpostavljeno je da je stijena nastala dolomitizacijskim modelom povratnog strujanja dolomitizirajuće otopine kroz nevezani sediment u ranodijagenetskoj fazi i dodatnim polaganim izlučivanjem krupnih kristala dolomita u šupljinama ljušture. Rezultat je, polimodalna struktura stijene dolomita.



Slika 3.3. Detalj iz uzorka Sy 9-1 koji prikazuje, krupnokristalstu, planarnu-e strukturu ispune ljuštore gastropoda koja se nalazi u sitnokristalstoj dolomitnoj osnovi

Oznaka uzorka: **Sy 16b-5**

U mikropreparatu uzorka Sy 16b-5 (sl. 3.4) vidljiva je laminacija koja je nastala taloženjem primarnog vapnenca. U donjem dijelu uzorka u sastavu dominira mikrit (sada dolomikrit), dok je gornja lamina sastavljena od mimikrijski dolomitiziranih alokema (intraklasta i fosila). Struktura dolomita je polimodalna, dominantno mikrokristalasta. U središnjem dijelu uzorka uočavaju se lukovi za koje se pretpostavlja da su nastali deformacijom lamina odnosno isušivanjem u zoni inter- ili supratajdala. Građa čitave primarne stijene (vapnenca) je mimikrijski zamijenjena. Pukotina u sredini fotografije je ispunjena srednjekristalastim dolomitnim cementom koji pokazuje planarnu-s strukturu i predstavlja mlađu fazu dolomitizacije, te sadrži uglate fragmente primarnog dolomita.

Zbog deformacija lamina stijene koje su moguće nastale isušivanjem u zoni supratajdala ili intertajdala postanak ovog dolomita se interpretira kao dolomitizacija u ranoj fazi i uvjetima evaporacije, vjerojatno dolomitizacijskim modelom evaporacije (*sabhka* model).

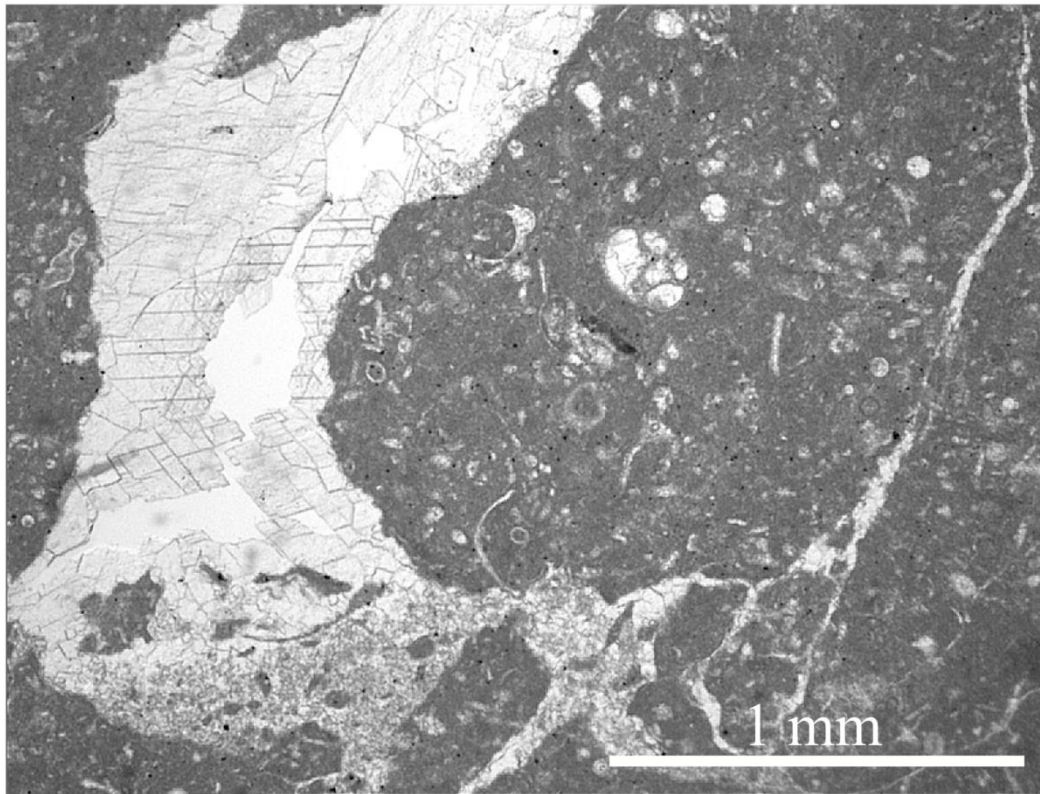


Slika 3.4. Polimodalna građa, mikrokristalastog dolomita uzorka Sy 16b-5 s povijanjem lamina primarnog vapnenca uslijed isušivanja

Oznaka uzorka: Sy 17a-6

Mikrofotografija uzorka stijene Sy 17a-6 (sl. 3.5.) pokazuje sačuvanu primarnu strukturu vapnenca koja je determinirana kao biomikrit prema Folku, odnosno vekston prema Dunhamu. Osnova stijene izgrađena je od polimodalnog, pretežito sitnokristalastog dolomita koji čini gusti sklop. Unutar dolomikritne osnove nalazi se veliki broj alokema koje čine mimikrijski dolomitizirani fosili. Primarni kristali zamijenjeni su krupnijim ali još uvijek sitnokristalastim dolomitom u odnosu na osnovu te imaju očuvani primarni oblik i građu. Unutar pukotine (lijevo) nalazi se krupnokristalasti dolomitni cement koji pokazuje unimodalnu, planarnu-e strukturu. Pukotina također sadrži uklopljene uglate fragmente primarnog dolomita.

Opisana stijena najvjerojatnije predstavlja produkt ranodijagenetske i kasnodijagenetske faze dolomitizacije. Kako primarni dolomit ima polimodalnu, sitnokristalastu strukturu smatra se da je nastao prema dolomitizacijskom modelu povratnog strujanja dolomitizirajuće otopine kroz još nelitificirani sediment (ranodijagenetska dolomitizacija). Nakon litifikacije primarnog dolomita koji je bio izložen naprezanju došlo je do stvaranje pukotina u njemu. Ovo je omogućilo protjecanje druge dolomitizirajuće otopine, te je rezultiralo stvaranjem krupnokristalastog, planarnog-e dolomitnog cementa u kojima su „uhvaćeni“ uglati fragmenti primarnog dolomita (kasnodijagenetska dolomitizacija).

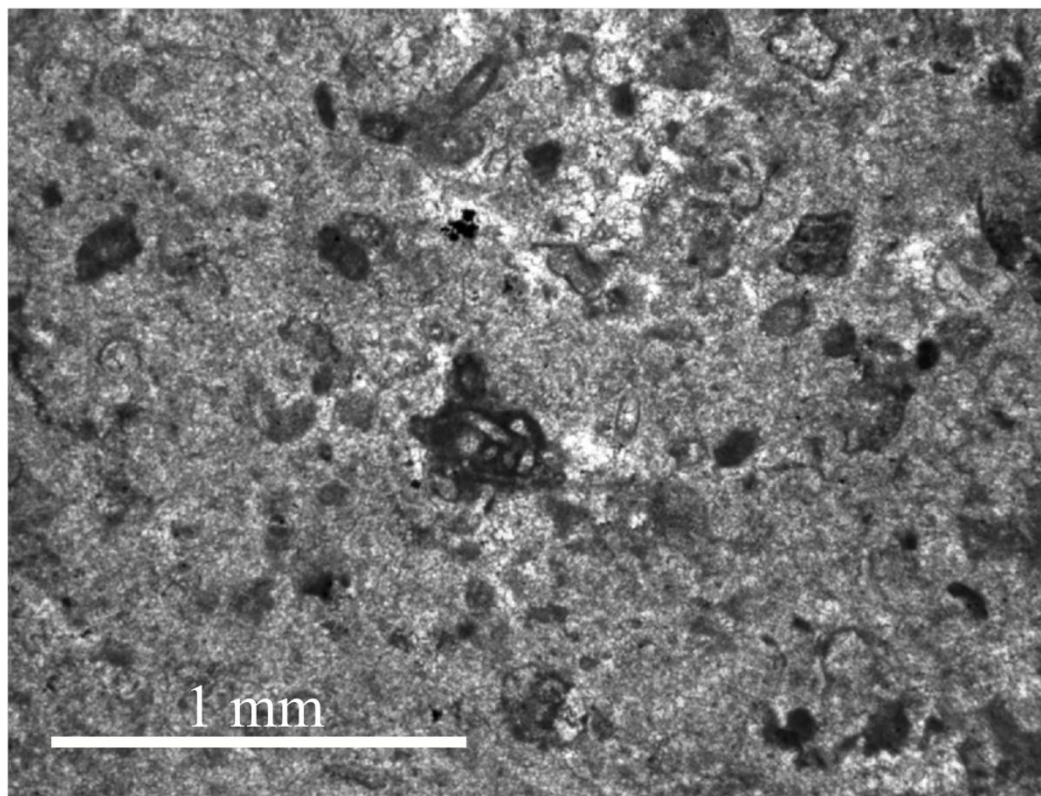


Slika 3.5. Mikrofotografija stijene uzorka Sy 17a-6 prikazuje polimodalni, sitnokristalasti dolomit s nepravilnim pukotinama ispunjenim sekundarnim unimodalnim, srednjekristalastim, planarnim-e dolomitnim cementom s uklopljenim fragmentima primarnog dolomita

Oznaka uzorka: Sy 34-3

Mikropetrografske karakteristike uzorka Sy 34-3 (sl. 3.6.) pokazuje polimodalnu, planarnu-s strukturu sitno- do srednjekristalastog dolomita. Alokemi koji su činili primarni sastav vapnenca dolomitizacijom su bolje ili lošije sačuvani. Fosili foraminifera (sredina mikrofotografije) su mimikrijski zamijenjeni mikrokristalastim dolomitom, ali je oblik ostao očuvan. Ostalim alokemima je primarna struktura slabo očuvana te ih se više ne može sa sigurnošću odrediti. Primarno vezivo, vjerojatno vapnenački matriks, zamijenjen je sitno- do srednjekristalastim dolomitom koji pokazuje planarnu-s strukturu.

Iako je građa primarnog vapnenca loše očuvana, nekoliko mimikrijski dolomitiziranih foraminifera ukazuje na primarno taloženje u subtajdalnoj zoni. Do dolomitizacije je vjerojatno došlo u ranoj fazi dijageneze, što se može zaključiti iz djelomično mikrokristalaste strukture, a zatim do rekristalizacije (okrupnjavanja) kristala u nekoj mlađoj fazi. Do primarne dolomitizacije subtajdnog taloga moglo je doći dolomitizacijom prema modelu povratnoga strujanja ili uslijed pada razine mora. Do rekristalizacije i postanka srednjekristalastog dolomita moglo je doći u mlađim fazama, moguće u uvjetima plitkog zalijeganja.

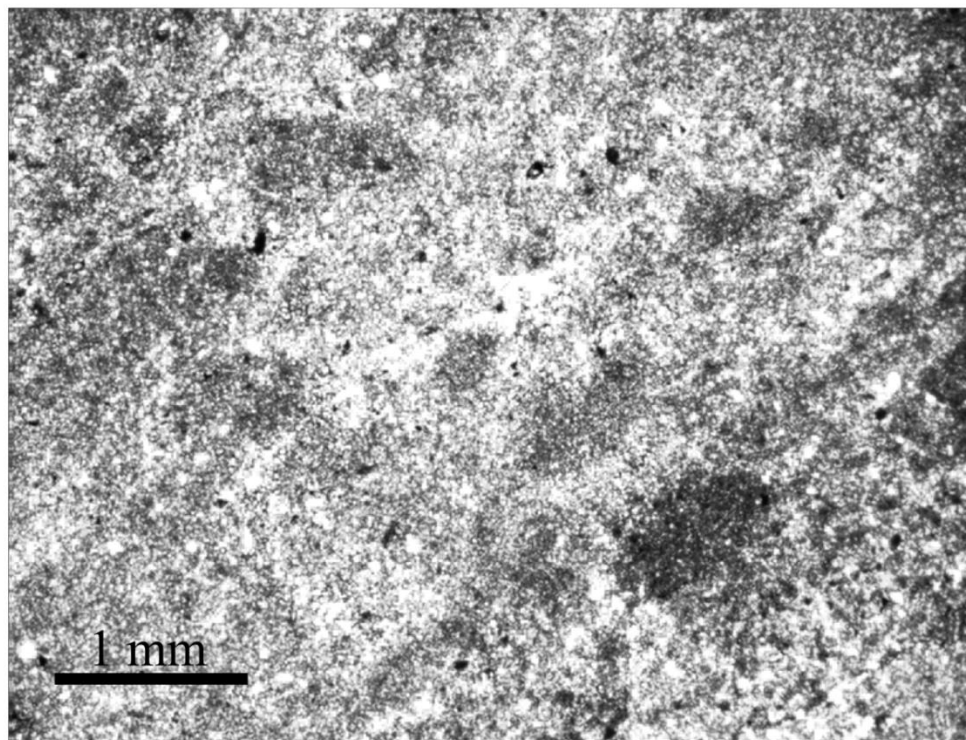


Slika 3.6. Uzorak Sy 34-3 pokazuje polimodalnu građu, planarnog-s dolomita s rijetkim alokemima vidljivim zbog mimikrijske zamjene dolomitom

Oznaka uzorka: Sy 37

Mikrofotografija uzorka stijene pod oznakom Sy 37 (sl. 3.7.) prikazuje strukturu dolomita koja je klasificirana kao polimodalna, jer su kristali raspona veličina od sitnokristalastog do srednjekristalastog. U uzorku se uočavaju nakupine sitnokristalastog dolomita (dolje desno) koje svojim izgledom podsjećaju na mrvičasti mikrit ili intraklast. Srednjekristalasta frakcija pokazuje planarnu-s strukturu subhedralnih kristala dolomita. Opisani kristali čine gusti sklop.

Pretpostavlja se da je opisana struktura stijene produkt dolomitizacije u sekundarnoj fazi. Razlog tome je veličina kristala odnosno srednjekristalasti dolomit koji većim djelom izgrađuje stijenu. Kako bi nastala navedena srednjekristalasta, planarna-s struktura primarno se trebao razviti veći broj nukleacijskih (kristalnih) zametaka. Nakon toga, bilo je potrebno dugo vremena kako bi narasli kristali dolomita kakve vidimo u uzorku. Zbog veće dimenzije kristala stijena je vjerojatno nastala dolomitizacijom u uvjetima plitkog zalijeganja, odnosno prema modelu dolomitizacije zalijeganjem.

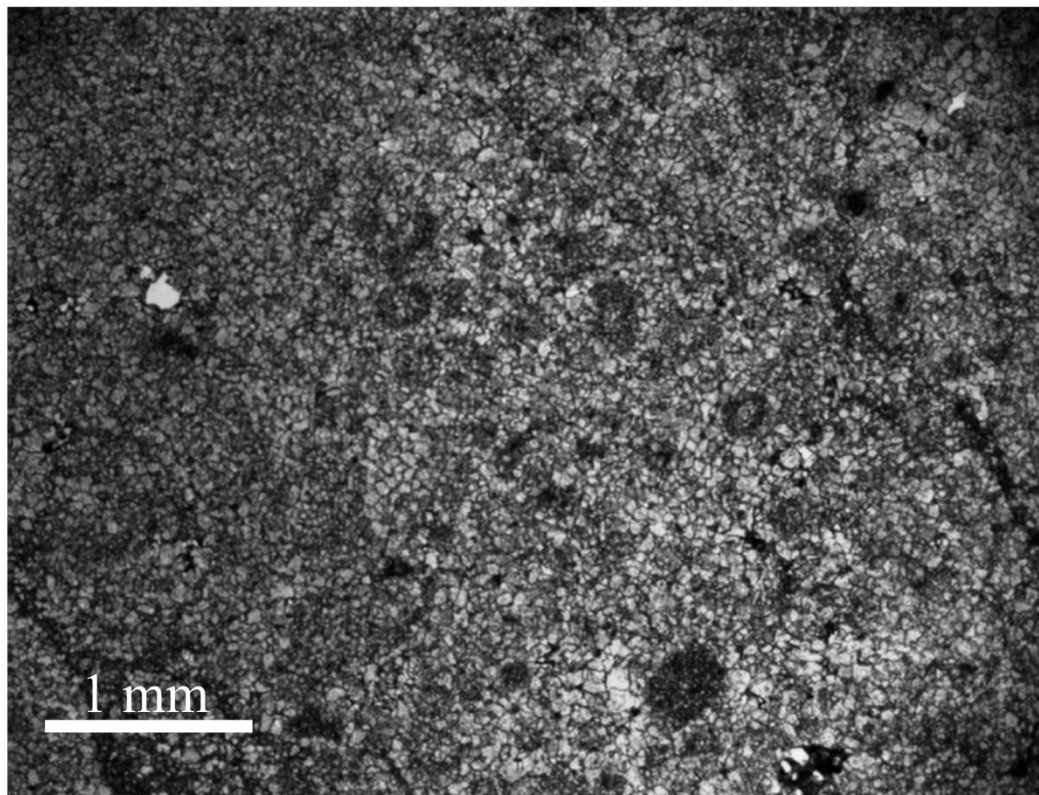


Slika 3.7. Uzorak Sy 37 prikazuje stijenu dolomit s polimodalnom, većim djelom srednjekristalastom, planarnom-s strukturom

Oznaka uzorka: **Sy 38**

Uzorak stijene s oznakom Sy 38 (sl. 3.8.) prikazuje dolomit polimodalne, srednje- do krupnokristalaste strukture sa subhedralnim oblicima dolomitnih kristala koji čine planarnu-s strukturu. Unutar osnove koja se sastoji od subhedralnih makrokristala nalaze se „duhovi“ alokema primarne stijene. Duhovi alokema imaju slabo sačuvani oblik, i ne mogu se precizno determinirati no mogli bi odgovarati ooidima.

Opisana struktura stijene dolomita najvjerojatnije je produkt sekundarne dolomitizacije. Razlog tome su krupni kristali dolomita s oštrim granicama koji pokazuju planarnu-s strukturu. Kako bi navedena struktura nastala potrebno je dovoljno vremena za rast kristala. Model koji bi najviše omogućio nastanak ove strukture jest model dolomitizacije u uvjetima plitkog zalijeganja.



Slika 3.8. Uzorak Sy 38 stijene dolomita pokazuje polimodalnu, srednje- do krupnokristalastu, planarnu-s strukturu sa sačuvanim „duhovima“ alokema, vjerojatno ooidima

4. ZAKLJUČAK

U radu su razmotreni literaturni primjeri definiranja strukture dolomita i njegove geneze prema Randazzo i Zachos (1984), Sibley i Gregg (1987), Tišljar (2001), Flügel (2004). Različiti primjeri iz navedene literature omogućili su razlikovanje pojedinih struktura i strukturnih elemenata dolomita. Struktura dolomita koja se promatra u mikroskopskim preparatima odraz je okoliša u kojima je došlo do njenog formiranja, odnosno dijagenetskih promjena uslijed dolomitizacije, te nam daje informaciju o genezi dolomita. Struktura i njeni elementi koji su vidljivi u mikroskopskim izbruscima dolomita pružaju nam podatke o podrijetlu dolomita koliko ih detaljno možemo uočiti i opisati. Iz tog razloga veliku važnost detaljnog opisa elemenata strukture dolomita ima povezivanje s teoretskim dolomitizacijskim modelima odnosno genezom dolomita kao i s ostalim geološkim i geokemijskim podacima.

Za potrebe pisanja ovog završnog rada, iz zbirke preparata dolomita Zavoda za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine, izabrano je i detaljno analizirano osam uzoraka dolomita koji su sakupljeni nedaleko mjesta Brušane na Velebitu i predstavljaju različite tipove dolomita iz slijeda gornjopermskih i donjotrijaskih sedimenata. Doneseni zaključci o genezi promatranih stijena temeljeni su na opisu strukture dolomita i primijenjenoj klasifikaciji prema Sibleyju i Greggu (1987) te teoretskim znanjima o strukturnim značajkama stijena pojedinih dolomitizacijskih modela. Na osnovi analiziranih strukturnih značajki može se pretpostaviti geneza analiziranih uzoraka dolomita koji u većoj ili manjoj mjeri definiraju uvjete taloženja i faze razvoja dolomita tijekom dijageneze.

Od osam analiziranih uzoraka, sedam pokazuje polimodalnu strukturu dolomita, osim uzorka Sy 6a-2 koji ima unimodalnu sitnokristalastu strukturu, a koja je nastala kao posljedica mimikrijske zamjene sitnokristalastog kalcitnog mikrita također sitnokristalastim dolomitom. Dolomitna struktura pet uzoraka dolomita (Sy 6a-2, Sy 7-7, Sy 9-1, Sy 16b-5, Sy 17a-6) odgovara polimodalnoj sitnokristalastoj strukturi, dok tri uzorka (Sy 34-3, Sy-37 i Sy-38) imaju polimodalnu sitno- do srednjezrnatu strukturu. U šest uzoraka i to Sy 6a-2, Sy 7-7, Sy 9-1, Sy 16b-5, Sy 17a-6 i Sy 34-3 došlo je do mimikrijske zamjene primarnih sastojaka (alokema) te se na osnovi njih još uvijek može zaključiti o sastavu primarnog vapnenca. Na osnovi sitnozrnaste strukture te mogućnosti određivanja primarnog sastava vapnenaca i uvjeta njihovog taloženja kod uzoraka Sy 6a-2, Sy 7-7, Sy 9-1, Sy 16b-5 i Sy 17a-6 moglo se

zaključiti da je dolomitizacija nastupila u ranoj fazi dijageneze u još nelitificiranom vapnencu uslijed uvjeta evaporacije do kojih je došlo vjerojatno na rubovima plitke lagune (u supratajdalnu ili intertajdalnu). Od toga samo jedan uzorak ima sačuvane strukturne karakteristike koje ukazuju na isušivanje i *sabkha* uvjete dolomitizacije (Sy 16b-5) dok su svi ostali uzorci (primarno subtajdalni vapnenci) interpretirani dolomitizacijom prema modelu povratnoga strujanja ili dolomitizacije uslijed pada razine mora.

Iz strukture dolomita uzoraka Sy 6a-2, Sy 7-7, Sy 9-1, Sy 16b-5, Sy 17a-6 može se zaključiti i o djelomičnim promjenama tijekom mlađih dolomitizacijskih faza, bilo kao ispuna šupljina otapanja, izlučivanje krupnokristalnog planarnog-e dolomita u šupljinama gastropoda ili planarnog-s dolomita u pukotinama. Mlađe dijagenetske dolomitizacijske promjene samo su djelomično izmijenile strukturu primarnog sitnokristalnog mimikrijskog dolomita.

Na osnovi polimodalne srednjekristalaste strukture dva uzoraka (Sy 37 i Sy 38) s vrlo loše očuvanim primarnim sastavom uz iznimku vidljivih „duhova“ ooida može se zaključiti o dolomitizaciji ovih stijena u uvjetima plitkog zalijeganja, dakle o sekundarnoj dolomitizaciji.

U jednom uzorku – Sy 34-3 čija struktura odgovara uglavnom srednjekristalastom planarnom-s dolomitu ali s mimikrijski očuvanim sitnokristalastim ljušturama foraminifera može se zaključiti o primarnoj ranodijagenetskoj dolomitizaciji, uslijed čega su sačuvani alokemi te naknadnoj rekristalizaciji (rastu) dolomitnih kristala u fazi plitkoga zalijeganja.

5. LITERATURA

FLÜGEL, E., 2004. *Microfacies of Carbonate Rocks - Analysis, Interpretation and Application*. Berlin: Springer, str. 324 – 334.

FRIEDMAN, G.M., 1965. Terminology of recrystallization textures and fabrics in sedimentary rocks. *Journal of sedimentary petrology*, 35, str. 643 – 655.

RANDAZZO, A.F., ZACHOS, N.G., 1983. Classification and description of dolomitic fabrics of rocks from Floran aquifer. *Sedimentary Geology*, 37, str. 151 – 162.

SIBLEY, D. F., GREGG, J. M., 1987. Classification of dolomite rock textures. *Journal of sedimentary petrology*, 57/6, str. 967 – 975.

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

TUCKER, M., 2008. *Petrologija sedimenata: Uvod u postanak sedimentnih stijena*, Samobor: AZP Grafis, 262. str.

WRIGHT, V.P., 1992. A revised classification of limestones. *Sedimentary Geology*, 76, str. 177 – 186.



KLASA: 602-04/20-01/134
URBROJ: 251-70-03-20-3
U Zagrebu, 21.05.2020.

Ivan Halapir, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/20-01/134, UR. BROJ: 251-70-13-20-1 od 30.04.2020. godine priopćujemo temu završnog rada koja glasi:

MEHANIZMI DOLOMITIZACIJE I STRUKTURA DOLOMITA

Za voditeljicu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o završnom ispitu dr. sc. Dunja Aljinović, redovita profesorica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Voditeljica

(potpis)

Prof. dr. sc. Dunja Aljinović

(titula, ime i prezime)

**Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Stanko Ružičić

(titula, ime i prezime)

**Prodekan za nastavu i
studente**

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek

(titula, ime i prezime)