

UTJECAJ DIJAGENETSKIH I TEKTONSKIH PROCESA U DOLOMITIMA NA NJIHOVO SITNJENJE

Ivan TOMAŠIĆ, Branko SALOPEK i Dragan KRASIĆ

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, YU – 41000 Zagreb

Ključne riječi: Dolomiti, Dijagenetski i tektonski procesi, Sitnjenje

U radu je analiziran utjecaj dijagenetskih i tektonskih procesa na sposobnost sitnjenja dolomita. Uzorci stijene uzeti su iz dva dijagenetski različita tipa ležišta i to posebno iz kompaktnog i tektoniziranog dijela stijenske mase. Testovima mljevenja u laboratorijskom mlinu s kuglama određene su vrijednosti intenziteta sitnjenja (S) i Bondovog radnog indeksa (BWI). Usporedbom ovih vrijednosti s petrografskim i strukturno–teksturnim karakteristikama analiziranih uzoraka utvrđeno je da mikropukotinski defekti utječu na sitnjenje zrna manjih od približno 1 do 2 mm. Pri tome veći otpor sitnjenju pružaju stijene višeg stupnja urednosti kristalne rešetke kao i stijene u kojima su rekristalizacijom nastali čisti pravilni kristali dolomita.

Key-words: Dolomites, Diagenetic and tectonic processes, Grinding

Origin and occurrence of dolomites are important for the physical and mechanical properties, especially grinding. The influence of diagenetic and tectonic processes in dolomites on the grinding of rocks was investigated in samples from two diagenetically different deposit types, and that separately from the compact and tectonized part of the rock masses. The grinding tests were carried out in a ball mill. By petrographic and granulometric analysis as well as by determination of the grinding rate and Bond's Working Index it was found that the state of rock fissures influences the crushability down to grain sizes even of 1...2 mm, and that the grinding rate is lower for rocks of higher crystal lattice order and a higher content of small crystals. Also, samples with clean regular crystals, formed by recrystallization, manifest a stronger resistance to grinding.

Uvod

Izradi ovog rada prišli smo zbog pretpostavke da su dijagenetski procesi ranodijagenetske i kasnodijagenetske dolomitizacije, te tektonike, od bitnog utjecaja na sposobnost prerade dolomitnih stijena mljevenjem, kao i na druga fizičko–mehanička svojstva. Potrebno je istaknuti da fizičko–mehanička svojstva dolomita ponajviše ovise o njegovim strukturno–teksturnim karakteristikama kao i o karakteristikama pojedinih njegovih mineralnih konstituentata. Strukturno–teksturine karakteristike dolomita direktna su posljedica geneze, tj. rano i kasnodijagenetskih procesa dolomitizacije, te različitih postgenetskih procesa, prije svega tektonike, dedolomitizacije i rekristalizacije (Tišljar, 1976 i 1987).

U ležištima kontinentalnog dijela Hrvatske, izgrađenim pretežno od ranodijagenetskog i kasnodijagenetskog dolomita, stijenska je masa u pojedinim dijelovima višestruko tektonizirana i kataklazirana, tako da se prilično jasno raspoznaju kompaktne od raspucanih stijena.

Ležišta kasnodijagenetskog dolomita Slapnica kraj Krašića i ranodijagenetskog dolomita dolje kraj Poduseda izabrana su za istraživanje kao reprezentanti dvaju različitih genetskih tipova. Ležište tehničkog građevnog kamena Slapnica nalazi se u zoni srednjotrijaskih, sivih, tanko do debelo uslojenih (10 cm do 1 m debljine) dolomita, koji mjestimice prelaze u masivne sivobijele zrnaste dolomite. Otkopna fronta djelomično se podudara s pružanjem slojeva koji približno brazde pravcem NW–SE, s padom približno prema NE, odnosno prema radilištu, u iznosu do 32–38°.

Ležište tehničkog građevnog kamena Dolje nalazi se u zoni srednje do gornjotrijaskih naslaga koje se protežu kao zona široka 500 do 600 m pravcem sjever–jug. Otkopna fronta podudara se s pružanjem slojeva W–E. Slojevi svjetlije i tamnosive boje debljine od mikroslojevitosti do 45 cm padaju prema jugu, odnosno prema radilištu, s promjenljivim nagibom od 54 do 60°.

Različita po genezi ova su ležišta, a tako i dolomiti u njima, različiti u nizu strukturno–teksturnih karakteristika, koje su, kao što je to već spomenuto, posljedica različite geneze, tektonike i posebno intenziteta rekristalizacije. Utjecaj tektonike u pojedinim dijelovima tih ležišta posebno je značajan. Zone raspucane stijene obično su markirane oksidima željeza i podudaraju se s glavnim tektonskim odnosno rasjednim zonama u kamenolomu. Kamen iz takvih dijelova ležišta redovito se smatra manje kvalitetnim zbog čega se ponekad zaobilazi u eksploataciji ili se čak odbacuje zajedno s jalovinom. Činjenica je da se stijena iz raspucanih dijelova ležišta zbog većeg prisustva makro i mikro pukotina lakše usitnjava i daje obično veći udio sitnih klasa u odnosu na stijenu iz kompaktnih dijelova ležišta. Tokom sitnjenja stijene u separaciji postepeno se smanjuje prisustvo primarnih pukotina i raste udio sekundarnih pukotina čiji broj i veličina ovise o intenzitetu naprezanja uzrokovanog radom uređaja za sitnjenje te o fizičko–mehaničkim svojstvima stijena. Prema tome, nakon određene faze sitnjenja, zastupljenost pojedinih klasa u usitnjenoj materijalu ovisi isključivo o upotrebljenom uređaju za sitnjenje i fizičko–mehaničkim svojstvima stijene.

Iskustva stečena tokom istraživanja mogla bi se korisno upotrijebiti pri procjeni kvalitete pojedinih dijelova ležišta kao i pri izboru uređaja za sitnjenje.

Petrografske i strukturne karakteristike uzoraka

Iz kamenoloma Slapnica uzeta su dva uzorka. Prvi s oznakom S_1 uzet je iz kompaktnog dijela stijenske mase, te drugi s oznakom S_2 iz tektonske zone. U kamenolomu Dolje uzeta su također dva uzorka. Prvi s oznakom D_1 iz kompaktnog dijela stijenske mase, te drugi, D_2 , iz tektonskog dijela.

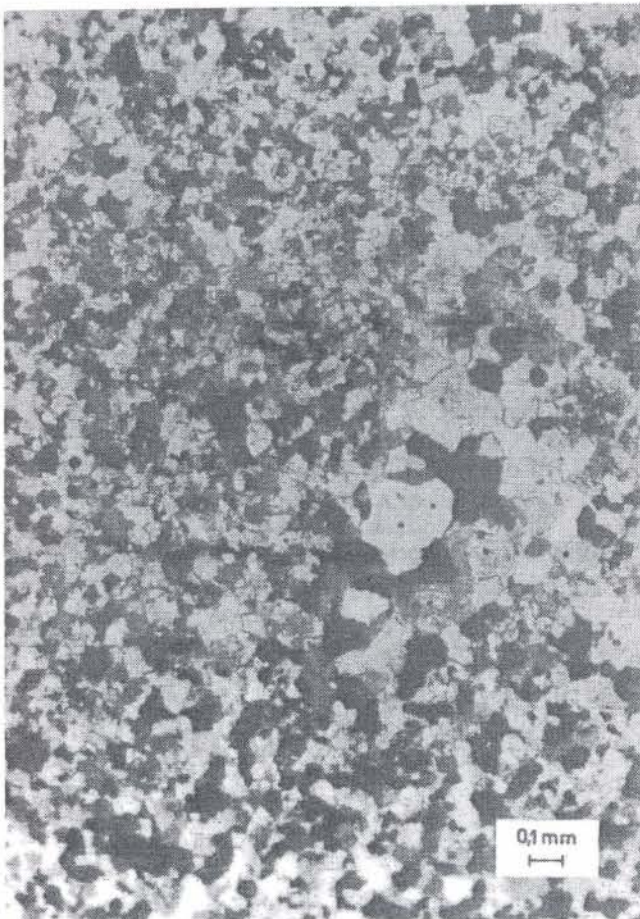
Od istih uzoraka izrađeni su petrografski izbrusci na kojima su obavljena mikroskopska istraživanja strukturno–teksturnih i petrografskih karakteristika, posebno onih koje utječu na fizičko–mehanička svojstva stijena. Pomoć pri tim istraživanjima pružio nam je kolega Josip Tišljar te mu na tome, kao i korisnoj diskusiji pri izradi ovog rada, najtoplije zahvaljujemo.

Uzorak S_1 ima nehomogenu do homogenu mikrokristalastu i dijelom makrokristalastu, saharoidnu strukturu koju karakteriziraju međusobno povezani alotriomorfni do dijelom hipidiomorfni kristalići dolomita. Veličina presjeka pojedinih kristalića dolomita kreće se u granicama od 0,02 do 0,7 mm. S oko 90% udjela u volumenu pretežu kristali presjeka 0,05 do 0,2 mm. Oko 5% čine kristali 0,02

do 0,05 mm te oko 5% kristala od 0,2 do 0,7 mm. Ova krupna zrna su zapravo posljedica rekristalizacije sitnozrnaste mikrokristalaste mase (slika 1). Ovaj uzorak pripada tektoniziranom i rekristaliziranom pretežno mikrokristalastom kasnodijagenetskom dolomitu.

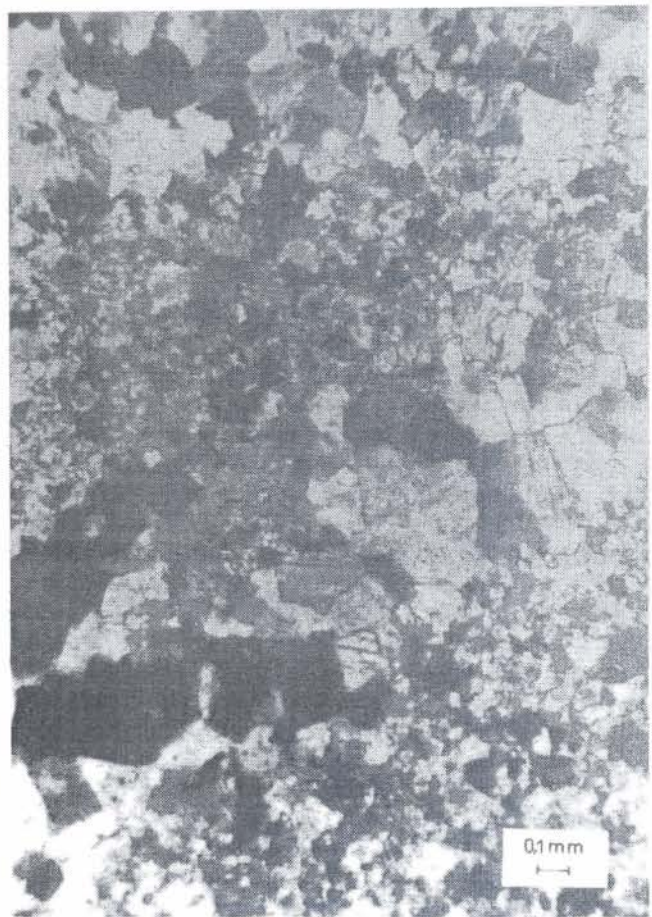
Uzorak S_2 ima nehomogenu »brečastu« teksturu i pretežno mikro do makrokristalastu strukturu, koja je posljedica tektonskog drobljenja – kataklaziranja mikrokristalnog dolomita i zatim djelomično rekristalizacije u makrokristalasti dolomit (slika 2). Oko 80% volumena čine kristali dolomita presjeka 0,05 do 0,2 mm. Ostatak čine kristali presjeka 0,2 do 0,4 mm, od čega 5% mikrokristalasta zrna presjeka 0,4 do 0,7 mm. Krupni kristali dolomita nastali rekristalizacijom pokazuju efekte kinematskih naprezanja, prevladavaju pretežno alotriomorfna kristalna zrna poligonalne sraslosti. Uzorak je određen kao kataklazirani i rekristalizirani kasnodijagenetski dolomit nastao višekratnom tektonizacijom i rekristalizacijom.

Uzorak D_1 ima laminiranu teksturu mjestimice ispresijecanu tektonskim pukotinicama. Mikroskopski uzorak pokazuje stromatolitnu građu i strukturu. Sastoji se od 85 do 90% kriptokristalastih alotriomorfni kristalića dolomita presjeka manjeg od 0,006 mm, koja izgrađuju stromatolitne lamine.



Sl. 1. Kasnodijagenetski dolomit djelomično rekristaliziran (uzorak S_1 iz kompaktne zone)

Fig. 1. Late–diagenetic dolomite partly recrystallized (sample S_1 from compact zone)



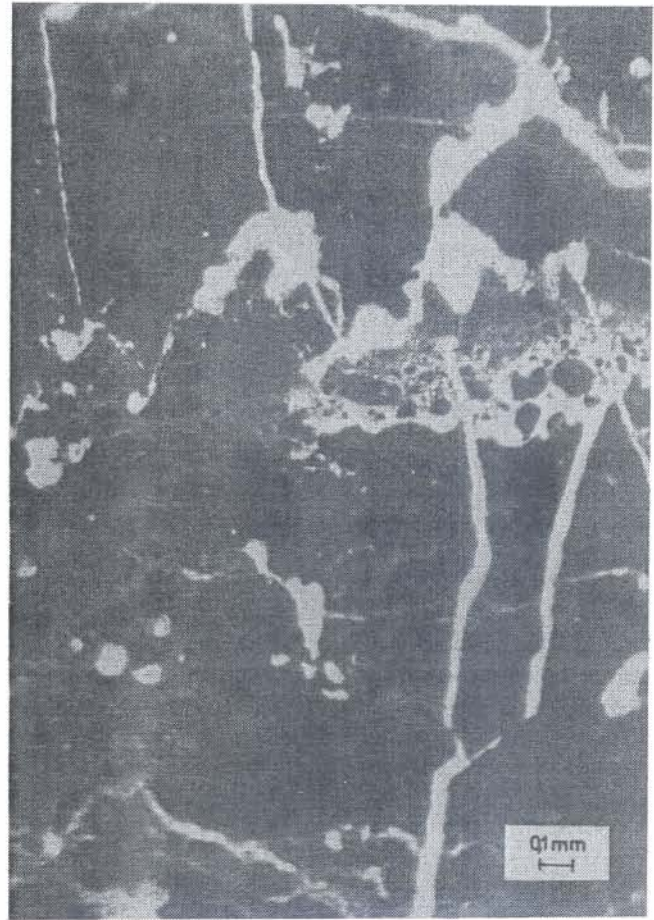
Sl. 2. Kasnodijagenetski dolomit intenzivnije rekristaliziran (uzorak S_2 from tectonic zone)

Fig. 2. Late–diagenetic dolomite intensively recrystallized (sample S_2 from tectonic zone)



Sl. 3. Ranodijagenetski stromatolitski dolomit djelomično rekristaliziran (uzorak D₁ iz kompaktne zone)

Fig. 3. Early-diagenetic stromatolitic dolomite partly recrystallized (sample D₁ from compact zone)



Sl. 4. Ranodijagenetski stromatolitski dolomit intenzivnije rekristaliziran (uzorak D₂ iz tektonske zone)

Fig. 4. Early-diagenetic stromatolitic dolomite intensively recrystallized (sample D₂ from tectonic zone)

Strukturu karakteriziraju i nepravilne laminoidne fenestre ispunjene mikrokristalnim do makrokristalnim kristalima hipidiomorfog dolomita presjeka 0,04 do 0,2 mm koja su međusobno poligonalno srasla (slika 3). Uzorak je determiniran kao ranodijagenetski stromatoliti dolomit koji pored stromatolitnih lamina sastavljenih od kriptokristalastog dolomita sadrži i pelsparitne, pelmikritne i intrasparitne proslojke i fenestre ispunjene mikro do makrokristalnim dolomitom.

Uzorak D₂ ispresijecan je spletom mikropukotina na razmacima od 1 do nekoliko mm. Struktura je stromatolitna, mjestimice pelmikritna i pelsparitna, a sastoji se od nepravilnih laminoidnih fenestri ispunjenih druznim cementom. Stijena se sastoji od 80 do 85% od kriptokristalastog dolomita veličine kristalića manjih od 0,006 mm. Cijeli uzorak prošaran je spletom tektonskih pukotinica ispunjenih bistrim kristalima dolomita (slika 4). Debljina pukotinica a i presjeka kristala u njima iznosi 0,02 do 0,2 mm, rjeđe do 0,5 mm. Presjeci kristala su uglavnom oštrobriđni s karakterističnim poligonalnim sraštanjem. Stijena je određena kao kataklazirani i tektonizirani ranodijagenetski dolomit.

Bojenjem izbrusaka utvrđeno je da su stijene u potpunosti sastavljene do minerala dolomita.

Postupak ispitivanja

Sklonost sitnjenju uzoraka dolomita ispitivana je testovima mljevenja u laboratorijskom mlinu s kuglama. Pri tome su određeni intenziteti sitnjenja S, te vrijednosti Bondovog radnog indeksa (BWI) odnosno energija potrebna za sitnjenje.

Čelični mlin promjera 290 mm i dužine 300 mm napunjen je čeličnim kuglama promjera 19, 25, 30 i 35 mm, ukupne mase 20 kg. Brzina vrtnje mlina iznosila je 60% kritične brzine a ispunjenost pornog volumena materijalom 85%.

Svaki od uzoraka S₁, S₂ D₁ i D₂ bio je zastupljen s približno 100 kg materijala. Pojedini komadi stijene veličine približno 110 mm postepeno su usitnjavani u primarnoj i sekundarnoj čeljusnoj drobilici i drobilici s valjcima. Iz tako pripremljenog materijala izdvojene su za mljevenje klase veličine 2/1; 1/0,5; 0,5/0,25 i 0,25/0,125 mm. Svaka pojedina klasa mljevena je u vremenskim intervalima od 1, 2, 3 i 4 min, te su nakon izradenih grano-analiza a uz pomoć jednadžbi

$$\frac{dP_i}{dt} = -S_i P_i \quad (1)$$

$$\ln \frac{P_i(t)}{P_i(0)} = -S_i t \quad (2)$$

određene vrijednosti intenziteta mljevenja za sva četiri uzorka. $P_i(0)$ označuje masu klase i prije mljevenja a $P_i(t)$ poslije mljevenja, dok je S intezitet mljevenja. Opći oblik funkcije selekcije dat je jednadžbom (3) dok su grafovi funkcija određeni ispitivanjima prikazanim na sl. 5.

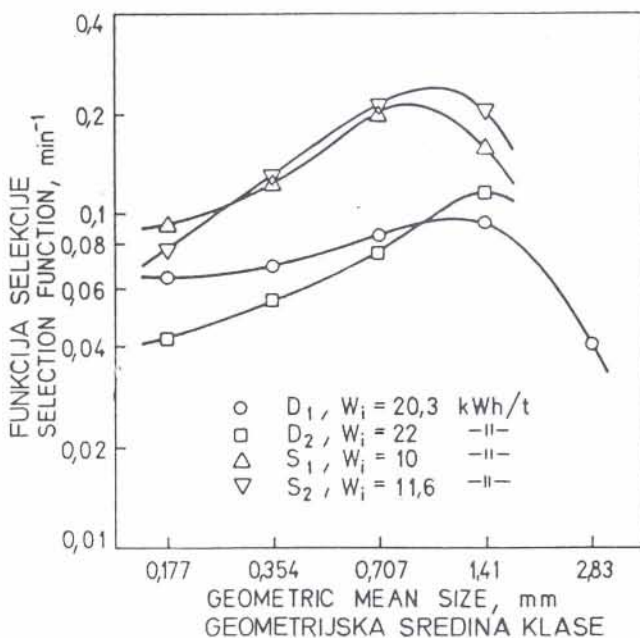
$$\ln S_i = -a - b \ln x_i - c (\ln x_i)^2 \quad (3)$$

x_i označuje geometrijsku sredinu klase a a, b i c su konstante.

Bondov radni indeks određen je prema standardnoj proceduri u istom mlinu a potrebna energija izračunata prema jednadžbi:

$$A = \frac{10W_i}{\sqrt{P}} - \frac{10W_i}{\sqrt{F}} \quad (\text{kwh/t}) \quad (4)$$

gdje je A potreban rad, P i F veličine kvadratnog otvora sita kroz koje prolazi 80% uzorka prije odnosno poslije mljevenja a W_i je Bondov radni indeks. Vrijednosti BWI za pojedine uzorke nalaze se na sl. 5. Intenzitet mljevenja uzoraka S_1 i S_2 veći je od D_1 i D_2 što je potvrđeno i vrijednostima BWI.



Sl. 5 Funkcija selekcije laboratorijskog mlina s kuglama

Fig. 5. Batch mill selection function

Ležište Slapnica pripada kasnodijagenetskom tipu dolomita za koji su karakteristični krupniji kristali i niži stupanj urednosti kristalne rešetke u odnosu na ranodijagenetski tip dolomita ležišta Dolje, gdje su kristali znatno sitniji a stupanj urednosti rešetke viši (Goldschmidt, 1958). Uzorci S_1 i S_2 imaju karakterističnu mikrokristalastu i dijelom makrokristalastu strukturu s kristalima veličine od 0,05 do 0,2 mm dok u uzorcima D_1 i D_2 prevladava kriptokristalni dolomit veličine kristala ispod 0,006 mm. Iz navedenog proizlazi da je razlika u intenzitetu

mljevenja uzoraka S_1 i S_2 te D_1 i D_2 posljedica različitih tektonskih i diagenetskih procesa koji su učestvovali u stvaranju ležišta te strukturno teksturnih razlika, posebno veličine zrna.

Krivulje intenziteta mljevenja uzoraka S_1 i S_2 vrlo malo se razlikuju. Razlika je nešto veća u području zrna veličine približno 1 mm odnosno 0,177 mm s tendencijom povećanja u području sitnijih zrna. Općenito gledajući tektonski poremećaji u ležištu Slapnica bili su slabijeg intenziteta, ili su pak geološki (tektonski) mirni periodi trajali dovoljno dugo tako da su procesi rekristalizacije doveli do »zacjeljivanja« mehaničkih defekata i ponovne konsolidacije stijene. Ponekad su rekristalizacijom stvarane čak i čvršće veze unutar i između zrna od onih u neporemećenom dijelu ležišta (Malvik, 1988), čime bi se eventualno moglo protumačiti izvjesno smanjenje intenziteta mljevenja uzoraka S_2 na području sitnih zrna.

Uzorak D_2 pri krupnoći zrna većoj od približno 1 mm usitnjava se većim intenzitetom od uzorka D_1 dok pri veličini manjoj od 1 mm manjim intenzitetom. Veći intenzitet u području zrna većih od 1 mm tumači se postojanjem izrazito finih pukotina nastalih djelovanjem jakih tektonskih procesa. Postepeno smanjenje intenziteta mljevenja uzorka D_2 posljedica je rekristalizacijskih procesa u kojima je došlo do stvaranja izrazito čistih i sitnih kristala dolomita koji su ispunili mikropukotine i učvrstili postojeću strukturu.

Vrijednosti BWI uzorka S_1 i S_2 (10 i 11,6 kWh/t) manje su od vrijednosti uzoraka D_1 i D_2 (20,3 i 22 kWh/t) što je u skladu s rezultatima ispitivanja intenziteta mljevenja. Veće vrijednosti BWI uzorka D_2 u odnosu na D_1 mogu se tumačiti na isti način kao i razlike u intenzitetu mljevenja, a to znači, da su strukturno–teksturane karakteristike stijene, izmjenjene procesima rekristalizacije, dovele do porasta otpornosti na mljevenje. Vrijednosti BWI uzorka S_1 i S_2 tek su u manjoj mjeri u skladu s vrijednostima intenziteta mljevenja, tako da se spomenuto tumačenje mora uzeti s rezervom u ovom slučaju.

Zaključak

U ovom radu istraživao je utjecaj strukture, diagenetskih procesa i tektonike u dolomitima na sposobnost sitnjenja. Uzorci za ispitivanje uzeti su iz dvaju diagenetski različitih tipova ležišta, tj. iz stijenske mase kasnodijagenetskog dolomita Slapnica kod Krašića i ranodijagenetskog dolomita Dolje kod Podsuseda. Iz svakog ležišta uzeta su po dva uzorka, jedan iz kompaktnog i po jedan iz tektoniziranog dijela stijenske mase. U uzorcima su istovremeno praćene strukturne, diagenetske i petrografske karakteristike i njihov utjecaj na testove sitnjenja, odnosno određivanje intenziteta mljevenja i Bondovog radnog indeksa.

U toku istraživanja utvrđeno je da raspucalost kao posljedica tektonskih procesa, te karakter diagenetskih procesa i nastalih struktura u geološkoj prošlosti, bitno utječu na sposobnost sitnjenja odnosno mljevenja (slike 1, 2, 3, 4 i 5).

Utvrđena je manja sposobnost sitnjenja odnosno intenzitet mljevenja ranodijagenetskih dolomita u

odnosu na kasnodijagenetske dolomite. Ranodijagenetski dolomiti stromatolitne i kriptokristalaste strukture ležišta Dolje sastoje se pretežno od kristalića manjih od 0,006 mm, a koji prema Goldschmidt (1958) imaju viši stupanj uredenosti kristalne rešetke.

Također je utvrđen znatan utjecaj rekristalizacijskih procesa u dolomitima koji su slijedili iza višestrukih faza tektonizacije. Prema međusobnom odnosu diskontinuiteta i ponovnog »zacijeljenja« i ispunjenja novonastalim kristalima dolomita, postojale su dvije do tri takve faze.

Procesima rekristalizacije u dolomitima nastupile su znatne strukturno—teksturane promjene, kao što su nejednolika veličina kristalića s nepravilnim spojevima i šavovima u međusobnom kontaktu, što je razultiralo manjom sposobnošću sitnjenja u odnosu na poligonalne kristaliće iste veličine. To se najbolje uočava u smanjenju intenziteta mljevenja uzoraka D₂ u odnosu na D₁, te u odgovarajućim razlikama u vrijednostima BWI.

Ovisno o tipu i intenzitetu dijagenetskih i tektonskih procesa utvrđene su razlike u vrijednostima intenziteta sitnjenja uzoraka S₁ i S₂ u odnosu na D₁ i D₂, kao i uzoraka S₁ i D₁ u odnosu na S₂ i D₂.

Provedena istraživanja ukazuju na važnost poznavanja strukturno—teksturnih karakteristika dolomita kao posljedice dijagenetskih i tektonskih procesa, a koji su od presudnog utjecaja na sposobnost usitnjavanja stijena, a također i na druga fizičko—mehanička svojstva.

Dobiveni rezultati upućuju na potrebu daljih ispitivanja, posebno u području najfinijih klasa, te ispitivanja utjecaja kristalnih defekata na sposobnost sitnjenja.

Primljeno: 19. I. 1990.

Prihvaćeno: 4. VI. 1990.

LITERATURA

- Goldschmidt, J. R. and Graf, D. L. (1958): Structural and compositional variations in some natural dolomites. *J. Geol.*, 66: 678–693, Chicago.
- Malvik, T. (1988): Relations between mineralogical texture and comminution characteristics for rocks and ores. 16 th Int. Min. Proc. Congress, 257–270, Stockholm.
- Tišljar, J. (1976): Ranodijagenetska i kasnodijagenetska dolomitizacija i dedolomitizacija u krednim karbonatnim sedimentima zapadne i južne Istre (Hrvatska, Jugoslavija). *Geol. vjesnik*, 29, 286–321, Zagreb.
- Tišljar, J. (1987): Petrologija sedimentnih stijena. Sveučilište u Zagrebu, 242 str., Zagreb.

The Influence of Diagenetic and Tectonic Processes in Dolomites on the Grinding

I. Tomašić, B. Salopek and D. Krsić

This paper deals with the influence of diagenetic processes and tectonics in dolomites on the grinding capacity. Samples for the investigation were taken from two diagenetically different types of deposits, i. e. from the rock mass of late—diagenetic dolomite quarry Slapnica near Krašić and of early—diagenetic dolomite quarry Dolje near Podsused. From each deposit two samples were taken, one from the compact and one from the tectonized part of the rock mass. The samples were simultaneously subjected to petrographic analyses (determination of structure, diagenetic and tectonic characteristics), i. e. to grinding tests with the determination of grinding intensity and Bond's working index.

The investigation proved that cracking as the consequence of tectonic processes and the character of diagenetic processes in geologic history essentially influence the capacity of grinding (figures 1, 2, 3, 4 i 5). Lower grinding capacity, i. e. the grinding intensity of early diagenetic dolomites was proved in relation to late—diagenetic dolomites. Early—diagenetic dolomites, with stromatolitic fabric and cryptocrystalline structure of the Dolje deposit are predominantly composed of finer small crystals below 0,006 mm, which according to Goldschmidt (1958) have a higher degree of lattice structure.

A considerable influence of recrystallization processes in dolomites as a consequence of multiple tectonization phases was also

found, two to three of them according to the mutual relation of discontinuities »healed« again and filled with recrystallized dolomite crystals.

Considerable structure—texture changes occurred by recrystallization processes in dolomites, e. g. uniform dimension of crystals with irregular junctures and seams in their mutual contact and lower grinding capacity in relation to polygonal crystals of the same dimension. This was mostly observed in the decreased intensity of grinding the samples D₂ in relation to the samples D₁, with adequate differences in values BWI.

By the discussed investigations essential differences in grinding capacity were established, depending on the type and intensity of diagenetic and tectonic processes, both by samples S₁ and S₂ related to samples D₁ and D₂ and by samples S₁ and D₁ related to samples S₂ and D₂.

The carried out investigations indicate the significance of investigation and knowledge of the discussed processes in relation to the genesis and origin of dolomites, which largely influence the physical—mechanical and especially the grinding properties.

The obtained and presented results bring about the necessity for further investigations which should be oriented to the field of higher and lower granulations and especially to the determination of crystal defects in the finest classes.