

# Mineraloško-petrografska analiza uzoraka dolomita kao materijala za pripremu betonskih proizvoda

---

**Berghaus, Tin**

**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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:241885>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-17**



*Repository / Repozitorij:*

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



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

**MINERALOŠKO – PETROGRAFSKA ANALIZA  
UZORAKA DOLOMITA KAO MATERIJALA ZA  
PRIPREMU BETONSKIH PROIZVODA**

Završni rad

Tin Berghaus

GI 2148

Zagreb, 2020.



KLASA: 602-04/20-01/104  
URBROJ: 251-70-03-20-3  
U Zagrebu, 31.08.2020.

**Tin Berghaus, student**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju Vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM: 602-04/20-01//104, UR. BROJ: 251-70-13-20-1 od 28.04.2020. godine priopćujemo temu završnog rada koja glasi:

### MINERALOŠKO – PETROGRAFSKA ANALIZA UZORAKA DOLOMITA KAO MATERIJALA ZA PRIPREMU BETONSKIH PROIZVODA

Za voditeljicu ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o završnom ispitu dr. sc. Ana Maričić, docentica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

**Voditeljica**

(potpis)

Doc. dr. sc. Ana Maričić

(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)

MINERALOŠKO – PETROGRAFSKA ANALIZA UZORAKA DOLOMITA KAO  
MATERIJALA ZA PRIPREMU BETONSKIH PROIZVODA

TIN BERGHAUS

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

Sažetak

U završnom radu su analizirana četiri uzorka dolomita iz kamenoloma „Škrobotnik“ i „Gradna“ kraj Samobora. Opisane su njihove mineraloško – petrografske karakteristike te je određen njihov mineralni sastav. Prema dobivenim rezultatima svi uzorci su određeni kao čisti dolomiti. tri uzorka klasificirana kao kasnodijagenetski, a jedan je klasificiran kao ranodijagenetski dolomit. Ovo je važno prilikom određivanja mogućnosti primjene dolomita iz kamenoloma u svrhu upotrebe agregata u betonskim proizvodima. S obzirom na dobivene rezultate, mineralni sastav svih uzoraka zadovoljava uvjete za primjenu u svrhu agregata za betone.

Ključne riječi: Škrobotnik, Gradna, dolomit, agregat, beton, mineraloško–petrografska analiza

Završni rad sadrži: 23 stranica, 11 slika, 2 tablice i 19 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko – geološkog – naftnog fakulteta

Voditelj: Doc. dr. sc. Ana Maričić

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Ana Maričić  
Doc. dr. sc. Uroš Barudžija  
Doc. dr. sc. Mario Klanfar

Datum obrane: 11.9.2020., Rudarsko – geološko – naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu

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

Bachelor's Thesis

MINERALOGICAL AND PETROGRAPHICAL ANALYSIS OF DOLOMITE  
SAMPLES AS AGGREGATE IN CONCRETE PRODUCTS

TIN BERGHAUS

This thesis completed in: University of Zagreb  
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
Institute of Mineralogy, Petrology and Mineral deposits  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

In this thesis four samples of dolomite rock from quarries „Škrobotnik“ and „Gradna“ were analysed. Their mineralogical and petrographical characteristics were described and their mineral composition was determined. Results have shown that all samples were dolomites and three of them were determined as late diagenetic dolomite and one was determined as early diagenetic dolomite. This is important when assessing whether dolomite is suitable to be used as an aggregate in concrete products. According to the mineral composition of the analysed samples, dolomite from quarries can be used as an aggregate in production of concrete.

Keywords: Škrobotnik, Gradna, dolomite, aggregate, concrete, mineralogical–petrographical analysis

Thesis contains: 23 pages, 11 pictures, 2 tables and 19 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: 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  
Assistant professor Mario Klanfar, PhD

Date of defence: September 11, 2020, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OSNOVNE GEOGRAFSKE ZNAČAJKE PODRUČJA .....	2
3. OSNOVNE GEOLOŠKE ZNAČAJKE ŠIREG PODRUČJA ISTRAŽIVANJA .....	3
4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA .....	5
4.1 Makroskopska i mikroskopska analiza.....	5
4.2 Rendgenska difrakcija na prahu.....	5
5. GLAVNE KARAKTERISTIKE AGREGATA ZA PROIZVODNJU BETONA.....	7
6. BETON KAO GRAĐEVNI MATERIJAL .....	11
7. REZULTATI ISTRAŽIVANJA .....	14
7.1 Makroskopski i mikroskopski opis uzoraka.....	14
7.1.1 Škrobotnik 1 – kasnodijagenetski dolomit.....	15
7.1.2 Škrobotnik 2 – ranodijagenetski dolomit.....	15
7.1.3 Gradna G4 – kasnodijagenetski dolomit.....	17
7.1.4 Gradna G7 – kasnodijagenetski dolomit.....	17
7.2 Rezultati rendgenske difrakcije na prahu .....	19
8. ZAKLJUČAK .....	20
9. LITERATURA.....	22

## POPIS SLIKA:

<b>Slika 2.1</b> Geografska karta šireg područja Samobora: - kamenolom Gradna (plava strelica) i - kamenolom Škrobotnik (crvena strelica) (Google, 2020) .....	2
<b>Slika 3. 1</b> Isječak iz Osnovne geološke karte 1:100 000 list Zagreb, s označenim lokacijama kamenoloma Gradna (plava strelica) i Škrobotnik (crvena strelica) (preuzeto iz OGK Zagreb, L38-80; ŠIKIĆ i dr., 1977.) .....	3
<b>Slika 3. 2</b> Legenda kartiranih jedinica Osnovne geološke karte 1:100 000, list Zagreb (ŠIKIĆ i dr., 1977.) .....	4
<b>Slika 5. 1</b> Alkalno-silikatna reakcija u betonu. (MIT Concrete Sustainability Hub, 2009) .....	9
<b>Slika 5. 2</b> Alkalno-dolomitna reakcija u betonu. (Civil Planets, 2017).....	10
<b>Slika 7. 1</b> Uzorci za makroskopsku analizu .....	14
<b>Slika 7. 2</b> Mikrofotografija uzorka Škrobotnik 1 – struktura kasnodijagenetskog dolomita u kojoj se uočavaju intraklasti i fosili. ....	15
<b>Slika 7. 3</b> Mikrofotografija uzorka Škrobotnik 2 – struktura ranodijagenetskog dolomita u kojoj se uočava stromatolitna laminacija i mjestimične zone trošenja.....	16
<b>Slika 7. 4</b> Mikrofotografija uzorka Gradna G4 – struktura kasnodijagenetskog dolomita u kojoj se uočavaju žile dolomita i manja trošenja u pukotinama. ....	17
<b>Slika 7. 5</b> Mikrofotografija uzorka Gradna G7 – struktura kasnodijagenetskog dolomita u kojoj se uočavaju žile dolomita i manja trošenja u pukotinama. ....	18
<b>Slika 7. 6</b> Rendgenske difrakcijske snimke originalnih uzoraka. Legenda: 7790 – Škrobotnik 1, 7791 – Gradna G4, 7792 – Škrobotnik 2, 7793 – Gradna G7 .....	19

## **POPIS TABLICA:**

**Tablica 1.** Tipovi cementa (HOLCIM GRUPA, 2015.)..... 12

**Tablica 2.** Marke betona i njihova namjena (THE CONCRETE NETWORK, 2017).

..... 13



# 1.UVOD

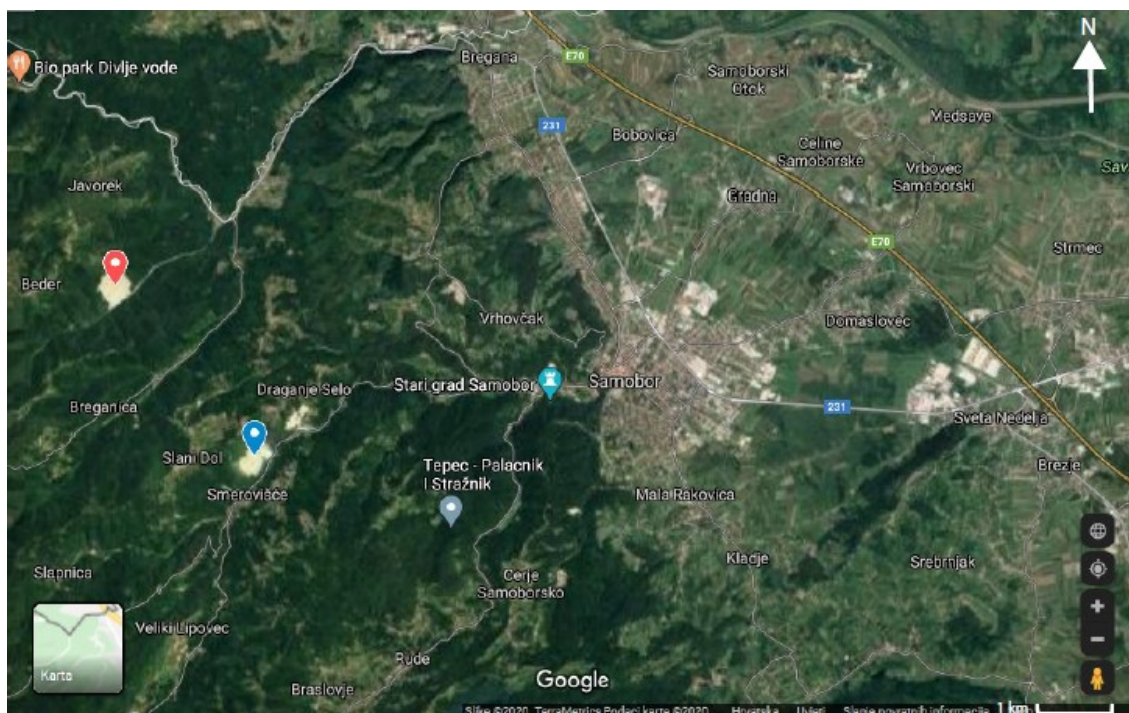
U proizvodnji betona se koriste tri sirovine: agregat, voda i cement. Određena kvaliteta betona se postiže postizanjem pravilnog omjera ovih sirovina i zadovoljavanjem uvjeta proizvodnje. Voda koja se koristi u proizvodnji ne smije sadržavati kloride, alkalije, sulfate i krute tvari u sebi, a agregat ne smije sadržavati tvari poput glina, praha, limonita i tvari koje bi reagirale s alkalijama. Osim što ne smije sadržavati druge minerale i spojeve, agregat još mora biti i svjež, čvrst, određenog raspona veličine zrna i oblika zrna te otporan na atmosferske utjecaje.

Upravo iz ovih razloga se u završnom radu određuju mineraloško - petrografske značajke uzoraka dolomita iz dva kamenoloma „Škrobotnik“ i „Gradna“, koji su smješteni u Samoborskom gorju. Cilj ovog završnog rada je bio odrediti svojstva koja bi mogla utjecati na pripremu i kvalitetu betona i betonskih proizvoda. Koncesiju za eksploataciju na oba kamenoloma ima tvrtka Samoborka d.d. Godišnja proizvodnja u kamenolomu „Gradna“ iznosi 75 000 m<sup>3</sup> (KASSABJI, 2018), a u kamenolomu „Škrobotnik“ 500 000 m<sup>3</sup> (JAKŠIĆ, 2018). Dolomit iz kamenoloma tvrtka koristi kao glavnu sirovinu za proizvodnju žbuka, fasada, premaza i betonskih proizvoda (SAMOBORKA d. d, 2020).

Temeljem makroskopskih i mikroskopskih analiza i rendgenskom difrakcijom na prahu se probalo odrediti svojstva koja bi mogla utjecati na pripremu i kvalitetu betona i betonskih proizvoda, što je ujedno i cilj završnoga rada. Analize su se provodile na dva uzorka iz svakog kamenoloma. I ranije su se provodila istraživanja na ležištima i uzorcima dolomitima iz kamenoloma „Škrobotnik“ i „Gradna“. U diplomskom radu STARČEVIĆ (2017) se bavio osnovnim karakteristikama dolomita iz kamenoloma Gradna, Dolje i Ivanec, u okviru kojih su određivani mineraloško–petrografski sastav, gustoća, upijanje vode, poroznost i indeks čvrstoće opterećenjem u točki. KASSABJI (2018) se u diplomskom radu bavio procesom eksploatacije i kasnije sanacije ležišta Gradna, a u završnom radu JAKŠIĆ (2018) se bavila procesom eksploatacije i oplemenjivanja dolomita kao tehničko–građevnog kamena na ležištu Škrobotnik.

## 2. OSNOVNE GEOGRAFSKE ZNAČAJKE PODRUČJA

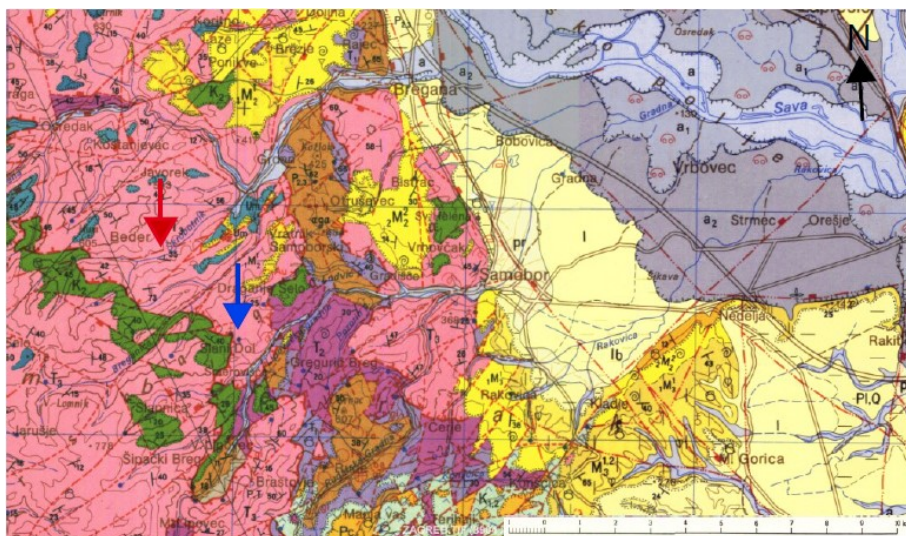
Kamenolomi „Škrobotnik“ i „Gradna“ se nalaze u blizini grada Samobora (slika 2.1). Grad Samobor se nalazi u Zagrebačkoj županiji i drugi je grad po broju stanovnika te županije. Udaljen je 25 km od Zagreba, a prirodno je omeđen na istoku rijekom Savom, na jugu Pleševicom. Krajnja zapadna točka je naselje Gornja Vas, a na sjeveru granicom sa Slovenijom, od koje je udaljen 7 km. Oko trećine gradske površine je prekriveno šumom. Na području grada se nalaze i mnoga zaštićena područja, među kojima je najvažniji Park prirode Žumberak u Samoborskom gorju. Grad ima iznimno dobru prometnu povezanost zbog blizine autoceste Ljubljana – Zagreb. Kamenolom „Gradna“ je udaljen od Samobora 6,4 km i povezan je asfaltiranom cestom. Kamenolom „Škrobotnik“ je udaljen od Samobora oko 13 km. Nalazi se u području slabije prometne povezanosti, do kojeg se dolazi makadamskom cestom koja se povezuje na državnu cestu Bregana – Stojdraga u blizini naselja Grdnjaci. Ova cesta se kasnije spaja na Samoborsku ulicu u Bregani te je moguća povezanost sa Samoborom i dalje autocestom Ljubljana – Zagreb. Područje karakterizira umjerena kontinentalna klima s hladnim zimama i toplim ljetima. Prosječna godišnja temperatura iznosi 11°C. Godišnji prosjek oborina iznosi 1078 mm (WIKIPEDIA, 2020).



**Slika 2.1** Geografska karta šireg područja Samobora: kamenolom Gradna (plava strelica) i kamenolom Škrobotnik (crvena strelica) (Google Maps, 2020)

### 3. OSNOVNE GEOLOŠKE ZNAČAJKE ŠIREG PODRUČJA ISTRAŽIVANJA

Prema Osnovnoj geološkoj karti SFRJ (ŠIKIĆ i dr., 1977) i tumaču OGK za list Zagreb (ŠIKIĆ i dr., 1979), u kamenolomima „Škrobotnik“ i „Gradna“ nalaze se stijene gornjeg trijasa (slika 3.1), a najznačajniji litološki član je mikrokristalasti dolomit (slika 3.2). Najstarije naslage na širem području su srednje- do gornjopermske starosti ( $P_{2,3}$ ). Malog su rasprostiranja i raznolikog petrografskog sastava. Izgrađuju ih brečokonglomerati, konglomerati, pješčenjaci, sivi vapnenci, dolomitični vapnenci i dolomiti s tankim prosljocima šejlova. Stijene donjetrijaske starosti ( $T_1$ ) se nalaze istočno od kamenoloma „Škrobotnik“. Donjetrijaski litološki članovi su pješčenjaci, siltovi, vapnenci i podređeno dolomiti. Srednjetrojaskie stijene ( $T_2$ ) se nalaze istočnije od kamenoloma „Gradna“, a većinom su to dolomiti i mjestimično vapnenci. Gornjetrijaske naslage ( $T_3$ ) pokrivaju veću dio površine između Žumberka i Samoborskog gorja, a ležišta dolomita se nalaze u tim naslagama. Dolomiti su dominantan član ovih naslaga, no još se mogu podređeno naći i vapnenci. Stijene jurske starosti ( $J_{1,2}$ ) se nalaze u obliku manjih izdanaka zapadno od kamenoloma „Škrobotnik“. To su većinom od vapnenci, silificirani vapnenci i rožnjaci. Na zapadu se nalaze gornjokredne naslage ( $K_2$ ). Dominantno se sastoje od bazaltnih breča i konglomerata na kojima su smještene flišne naslage. Miocenske naslage konglomerata, vapnenaca i lapora i pleistocenske naslage pijesaka i pjeskovitih lapora se nalaze na istoku prema Zagrebu gdje prijelaze u kvartarne aluvijalne naslage. (ŠIKIĆ i dr., 1979)



**Slika 3. 1** Isječak iz Osnovne geološke karte 1:100 000 list Zagreb, s označenim lokacijama kamenoloma Gradna (plava strelica) i Škrobotnik (crvena strelica) (preuzeto iz OGK Zagreb, L38-80; ŠIKIĆ i dr., 1977)



Slika 3. 2 Legenda kartiranih jedinica Osnovne geološke karte 1 : 100 000, list Zagreb (ŠIKIĆ i dr., 1977)

## **4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA**

Za potrebe ovoga završnog rada uzorci su makroskopski i mikroskopski analizirani te je napravljena rendgenska difrakcija na prahu. Obje metode su korištene da bi se odredio mineralni sastav uzorka, a s mikroskopskom i makroskopskom analizom se određivalo i druga svojstva poput boje, strukture i teksture.

### **4.1 Makroskopska i mikroskopska analiza**

Iz oba kamenoloma je uzorkovano po dva uzorka, dakle sveukupno je provedena analiza na četiri uzorka iz kojih su izrađeni mikroskopski preparati. Na uzorcima je napravljena makroskopska i mikroskopska analiza. Makroskopskom analizom se utvrdila tekstura uzorka, boja i lom. Za mikroskopsku analizu uzoraka pripremili su se mikroskopski preparati. Pri pripremi preparata bilo je potrebno je uzorke ispiliti na tanke pločice, koje se poliraju korundovim prahom te stanjuju do debljine od 0,03 mm. Kada se uzorak dovoljno stanji, lijepi se kanadskim balzomom na objektno stakalce i pokrije se pokrovnim stakalcem. Prije pokrivanja, uzorak se tretira kemikalijama, K-fericijanidom i alizarinom crvenim S, da bi se lakše razlikovalo dolomit od kalcita i promatrao odnos između dolomita i kalcita kod procesa dolomitizacije i dedolomitizacije (EVAMY & SHERMAN, 1962). Cilj mikroskopske analize je bio odrediti mineralni sastav uzorka, strukturu dolomita i klasificirati ih prema litotipu. Klasifikacija dolomita je provedena s obzirom na veličinu kristala i očuvanja primarnih sastojaka prema klasifikaciji SIBBLEY & GREGG (1987), a opis je izvršen prema TUCKERU (1981).

### **4.2 Rendgenska difrakcija na prahu**

Rendgenskom difrakcijom na prahu su analizirana četiri uzorka, po dva iz svakog kamenoloma. Cilj ove metode je bio utvrditi mineralni sastav te odrediti sadrže li uzorci glinu ili limonit, koji mogu negativno utjecati na kvalitetu betonskih proizvoda. Za rendgensku difrakciju je potrebno uzorke stijene samljeti u prah. Uzorci se melju u prah da bi sve orijentacije mrežnih ravnina u kristalu bile podjednako zastupljene u volumenu uzorka obasjanog rendgenskim zrakama. Prah se stavlja u čašicu, koja se prethodno zaglavi u mehanizam, da ne dođe do nenamjernog pomicanja ili okretanja čašice pri stavljanju praha.

Prah se potom izgladi i stavlja u difraktometar s brojačem. Rezultat snimanja su rendgenske difrakcijske linije, iz kojih se određuje mineralni sastav uzorka. Prije određivanja sastava, prethodno je potrebno izvesti korekcije na difrakcijskim linijama kako bi se odstranile pogreške vezane uz mjerenje, kao npr. nepodešenost stroja ili pomak uzorka tijekom mjerenja (SLOVENEK, 2011).

Difrakcijske slike praha snimljene su pomoću Philipsovog difraktometra s brojačem,  $CuK\alpha$  zračenjem ( $U=40kV$ ,  $I=35mA$ ). Za izvedbu korekcija na difrakcijskim linijama je korištena difrakcijska linija kvarca zbog stabilnosti njegovog kemijskog sastava. Nakon izvedbi korekcija, promatraju se korigirani položaji pikova na difrakcijskim linijama.

## 5. GLAVNE KARAKTERISTIKE AGREGATA ZA PROIZVODNJU BETONA

Agregati su najvažniji sastojak betona jer mu daju čvrstoću i smanjuju mogućnost pucanja pri sušenju. Agregati čine između 60 – 75 % ukupnog volumena betona. Drugi sastojci koji se koriste u proizvodnji betona su voda i cement. Beton se proizvodi kad se smjesa vode cementa (cementna pasta) miješa s agregatom i ostavi da očvrstne. Betonu se daje marka ovisno o čvrstoći koju ima poslije 28 dana. Materijali koji se najčešće koriste kao agregat su pijesak, šljunak i mehanički drobljene stijene. Osnovne frakcije agregata koje se koriste za pripremu betona su sitne veličine od 0,063 do 4 mm te krupne veličine 4 – 125 mm. Visoko kvalitetan agregat mora biti svjež, čvrst, otporan na atmosferske utjecaje i bez dodatnih spojeva i kemikalija koje bi mogle reagirati s alkalijama u cementu (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, 2019).

Tako su nepoželjne čestice koje sadrže glinu ili prah, pogotovo u obliku grudica ili kao korica oko fragmenata agregata jer smanjuje fizičku vezu između zrna i minerala betona što znači da je beton slabije čvrstoće te presitne čestice agregata jer zbog smanjene mogućnosti vezanja između agregata i cementa. Korica drugog mineralnog sastava npr. limonita također može znatno oslabiti čvrstoću betona. Organska tvar u pijesku i šljunku poput treseta i lignita je također nepoželjna jer smanjuje vezu između agregata i cementne paste ili reagiraju sa sastojcima cementa (TOMAŠIĆ, 2001).

Oblik zrna ima velik utjecaj na kvalitetu betona. Najveća kvaliteta betona se postiže kad su agregati izometričnog oblika (kubičnog ili okruglog) jer se postiže gušće i bolje pakiranje. Najnepovoljnija su pločasta i prizmatska zrna. Takav oblik je karakterističan za zrna koja potječu iz stijena visoke škriljavosti ili pokazuju mikroslojevitost. Takva zrna imaju nisku tlačnu čvrstoću pa nepovoljno utječu na čvrstoću betona. Pločasta zrna su posebno nepovoljna u betonima gdje se nalazi mnogo armature jer onemogućuju ispunjavanje građevinskih konstrukcija betonom što dovodi do pojava šupljina (TOMAŠIĆ, 2001).

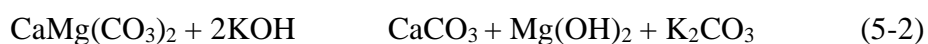
Pri korištenju krupnozrnastih agregata je potrebno paziti na reaktivne tvari koje mogu reagirati s cementom u betonu. Dvije osnovne reakcije u betonu su alkalno–silikatna i dolomitno–alkalna.

Alkalno–silikatna reakcija može biti različitih intenziteta, a događa se uz prisustvo visoko temperaturnog kvarca, npr. tridimita, kristobalita, vulkanskog stakla i opalnog čerta. Alkalije su zastupljene u cementu s 0,8 – 1,5 % Na<sub>2</sub>O. Obično se smatra da cementi koji sadrže manje od 0,6 % alkalija nisu reaktivni. Reakcija počinje reakcijom alkalnih hidroksida sa aktivnim SiO<sub>2</sub> te nastaje alkalno – silikatni gel. U otopini dolazi do disocijacije prije svega Ca(OH)<sub>2</sub>, NaOH i KOH, što vodi do pojave povećane koncentracije Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> i OH<sup>-</sup> te je zbog toga i pH ove otopine vrlo visok. Zatim dolazi do nastanka alkalno–silikatnog gela koji je hidrofilan i jako bubri (5-1).



Zbog povećanja volumena gela doći će do povećanja tlaka na kontaktu gel otopina što dovodi do pucanja betona (slika 5.1). Reakcija se na površini zapaža cvjetanjem u obliku prstena i bijelih kapi gela s mrežastim ili zrakastim pukotinama. U fino mljevenim cementima otapanje i reaktivnost alkalija je veća. Krupno zrnati agregati imaju manju specifičnu površinu pa je koncentracija alkalija iz cementa na površinu agregata veća pa će se reakcija brže odvijati. Dodavanjem sitnijih čestica reaktivnog agregata koncentracija alkalija na površinu agregata je manja i reakcija je zanemariva ili potpuno spriječena (TOMAŠIĆ, 2001).

Alkalno–dolomitna reakcija se odvija u betonima za čiju pripravu se koristio karbonatni agregat. Reakcija započinje kad alkalije iz cementa reagiraju sa dolomitno vapnenjačkim stijenkama pri čemu dolazi do dedolomitizacije. Utvrđeno je da dolomitizirani vapnenci ponekad i s određenom količinom glinovite komponente naglo ekspandiraju u otopini alkalnih hidroksida. Ekspanzija je posljedica sljedećih kemijskih reakcija koje se mogu podijeliti u dvije faze, (5-2) prva faza dolomitno–alkalne reakcije (dedolomitizacija) i druga faza gdje dolazi do reakcija alkalnog karbonata s produktom hidratacije(5-3):



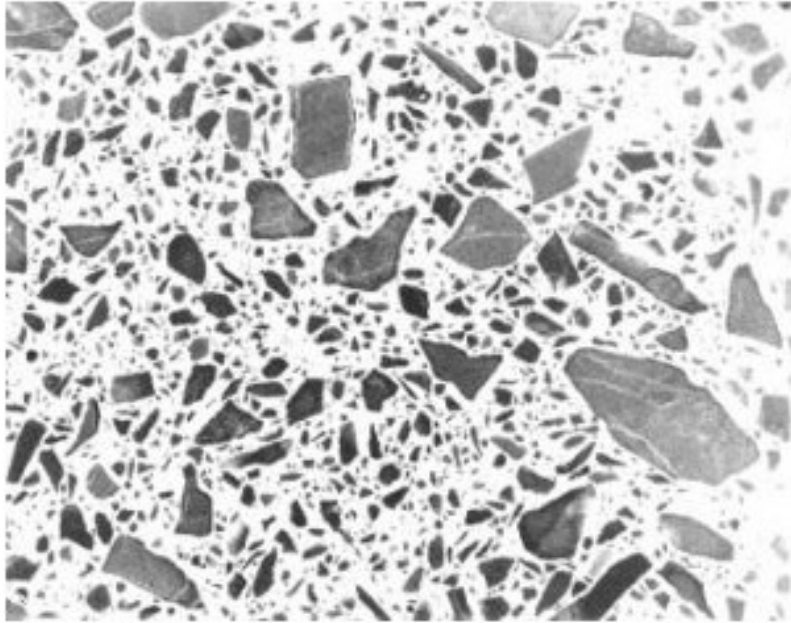
Umjesto kalija (K) u reakciji mogu biti i natrij (Na) i litij (Li). U betonu alkalni karbonat dobiven dedolomitizacijom će reagirati s produktima hidratacije, što omogućuje regeneriranje alkalija i kontinuiranost reakcije. Reakcija je moguća u dolomitiziranim vapnencima i kalcitičnim dolomitima gdje je sadržaj kalcita i dolomita u omjerima od 40 do



60 %. Reakcija ima maksimalan učinak ako su dolomit i kalcit podjednako zastupljeni i oba su fino zrnasta. Istraživanjem je utvrđeno da karbonatne stijene s preko 90% dolomita nisu reaktivne. Učinak reakcije se može opaziti elektronskim mikroskopom, gdje se vidi da to nisu razvijeni kristali dolomita već kristalni skeleti (slika 5.2) (TOMAŠIĆ, 2001).



**Slika 5. 1** Alkalno–silikatna reakcija u betonu (MIT Concrete Sustainability Hub, 2009).



**Slika 5. 2** Alkalno–dolomitna reakcija u betonu (Civil Planets, 2017).

## 6. BETON KAO GRAĐEVNI MATERIJAL

Beton se proizvodi miješanjem paste i agregata. Pasta, koja je smjesa Portland cementa i vode, premaže površinu agregata te se procesom hidratacije pasta stvrdne i očvrstne i tako nastane beton. Za postizanje snažnog i izdržljivog betona potrebno je postići pravilne omjere ulaznih sastojaka. Teže će se oblikovati smjesa koja ne sadrži dovoljno paste da ispuni šupljine između agregata. Ujedno će krajnji produkt pokazivati grubu površinu i veliku poroznost. S druge strane, beton s prevelikom udjelom paste lako puca. Čvrstoća paste je određena omjerom mase vode i mase cementa. Kvalitetniji beton se dobije kad se omjer mase vode i cementa snizi što je više moguće, bez da izgubi svoju mogućnost obrade. Voda koja se koristi za pripremu smjese može sadržavati ograničene udjele klorida, sulfata, alkalija i krutih tvari da ne bi došlo do cvjetanja, korozije armature, mrljanja i smanjenja izdržljivosti. U pravilu, ovisno o namjeni, betonska smjesa se sastoji od 10 do 15 % cementa, 60 do 75 % agregata, 15 do 20 % vode i 5 do 8 % zraka koji uđe u smjesu tijekom miješanja (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, 2019).

Ubrzo nakon što se dobije konačna smjesa, beton se počne stvrdnjivati, pa ga je potrebno oblikovati i izgladiti prije nego postane previše krut. Beton se stvrdnjava procesom hidratacije. Tijekom procesa formiraju se nodule oko čestica cementa koje se šire i međusobno povezuju ili se adhezijom vežu na susjedni agregat. Nakon što nestane tanak film vode površina betona se izgladuje. Kad beton očvrstne, toliko da oblikovanje više nije moguće, potrebno ga je zalijevati kako bi se proces hidratacije nastavio. Što se beton dulje drži vlažnim to će on biti čvršći i izdržljiviji. Ukoliko se beton ne zalijeva pojavit će se pukotine, koje su posljedica prebrzog sušenja i stiskanja, tj. naglog smanjenja volumena. Brzina stvrdnjavanja ovisi o omjeru sastojaka u smjesi, vrsti cementa, vlazi i temperaturi. Većina hidratacije i stvrdnjavanja se odvija u prvih mjesec dana od kako je beton izmiješan i oblikovan, no ovaj proces se nastavlja još godinama pri nižem stupnju (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, 2019).

Cement koji se najviše koristi u proizvodnji betona je Portland cement. Portland cement se najčešće proizvodi pomoću suhe metode. U prvom koraku se sirovine za proizvodnju cementa: vapnenac, glina, šejl i silicijski pijesak drobe u nekoliko faza. U prvoj fazi sirovina se drobi do veličine od 15 cm. Potom se sirovina prebaci na sekundarne drobilice i drobi na veličinu od 7,5 cm ili manje. Zdrobljenoj stijeni se zatim dodaju dodaci poput željezne rude, pepela i zemlje te se sve skupa miješa, homogenizira i stavlja u

cementnu peć. Smjesa se peče na 1500 °C u velikim čeličnim rotacijskim pećima obloženim vatrostalnom ciglom. Kako se materijal kreće kroz peć određeni elementi ispare, a elementi koji su ostali formiraju novu tvar koja se zove klinker. Klinker izlazi iz peći u obliku kuglica, veličine dječjih pikula za igru. Kako je klinker previše užaren kad izađe iz peći, potrebno ga je ohladiti kroz različite hladnjake. Vruć zrak koji se oslobađa hlađenjem se vraća u peć da bi se uštedjelo na gorivu i smanjili troškovi. Nakon što se klinker ohladi, fino se samelje i dodaju mu se male količine gipsa i vapnenca. Osim suhog procesa, neke tvornice koriste i mokri proces proizvodnje cementa. Jedina razlika je u tome što se drobljenom materijalu dodaje voda prije nego ga se ubaci u peć. Ovisno o namjeni postoji više tipova cementa prema standardu HRN EN 197-1 koji se mogu vidjeti u tablici 1. (HOLCIM GRUPA, 2015.)

**Tablica 1.** Tipovi cementa (HOLCIM GRUPA, 2015.)

Tip cementa	Opis
CEM I	Normalni portland cement
CEM II	Portland cement s dodacima (zgura, pucolan, pepeo, itd.)
CEM III	Metalurški cement
CEM IV	Pucolanski cement
CEM V	Miješani cement

Beton koji se dobije kao konačni proizvod se dijeli na tipove s obzirom na namjenu, stupanj hidratacije i metodu gradnje. Betoni koji se koriste za komercijalne svrhe se dijele na marke (tablica 2) s obzirom na naprezanje koje može izdržati poslije 28 dana. Tako broj 10 označava da beton može izdržati naprezanja od 10 N/mm<sup>2</sup>. Postoje dva sustava markiranja, C koji znači klasu betona određene snage i M koji predstavlja smjesu tj. volumni omjer cementa, sitnog agregata i krupnog agregata. Primjerice, za beton M20 se koristi omjer 1:1,5:3. C se više koristi u Europi, i označava izmjerenu snagu cilindričnog uzorka duljine 15 ili 30 cm poslije 28 dana, dok se M više koristi u SAD – u i njegova čvrstoća se mjeri na kubičnom uzorku stranice 15 cm poslije 28 dana. Ponekad se na betonima mogu naći vrijednosti za oba mjerenja pa će pisati npr. C16/20, gdje prvi broj označava snagu izmjerenu na cilindričnom uzorku, a drugi broj označava snagu na kubičnom uzorku. (CIVIL READ, 2017.)

**Tablica 2.** Marke betona i njihova namjena (THE CONCRETE NETWORK, 2017).

Marka betona	Namjena
C7/C8	Temeljenje kuća, izgradnja rubnika i pločnika
C10	Temeljenje stuba, izgradnja sustava za odvodnju u poljoprivredi
C15	Izgradnju puteva, izgradnja podova gdje se ne koristi metal za ojačavanje
C20	Temeljenje manjih objekata koji se nalaze na nestabilnom tlu
C25	Temeljenje većih objekata, pojačanje postojećih temelja
C30	Konstrukcija pločnika ili staza, pruža dobru zaštitu od smrzavanja
C35	Temeljenje visokih zgrada i objekata koji služe za smještaj tereta veće težine
C40	Za izgradnju temelja i konstrukcija prometnica ili bilo kojih drugih objekata gdje su prisutna iznimno velika naprezanja

## 7. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U svrhu određivanja kvalitete dolomita za korištenje kao agregat u proizvodnji betona provedene su mineraloško–petrografska analiza i rendgenska analiza na prahu. U okviru mineraloško–petrografske analize se makroskopski i mikroskopski određivalo veličina zrna dolomita, njegova tekstura, struktura, tvrdoća i lom. Rendgenskom difrakcijom na prahu se određivalo kvalitativni mineralni sastav uzorka.

### 7.1 Makroskopski i mikroskopski opis uzoraka

Na pripremljenim uzorcima (slika 7.1) iz kamenoloma Gradna i Škrobotnik na temelju makroskopske i mikroskopske analize su određeni litotipovi. Kako stanje u kojem se uzorci nalaze i njihov mineralni, a potom i kemijski sastav, može utjecati na stanje konačnog proizvoda, mineraloško–petrografskom analizom se pokušalo odrediti jesu li stijene uzoraka pogodne za proizvodnju betonskih proizvoda.

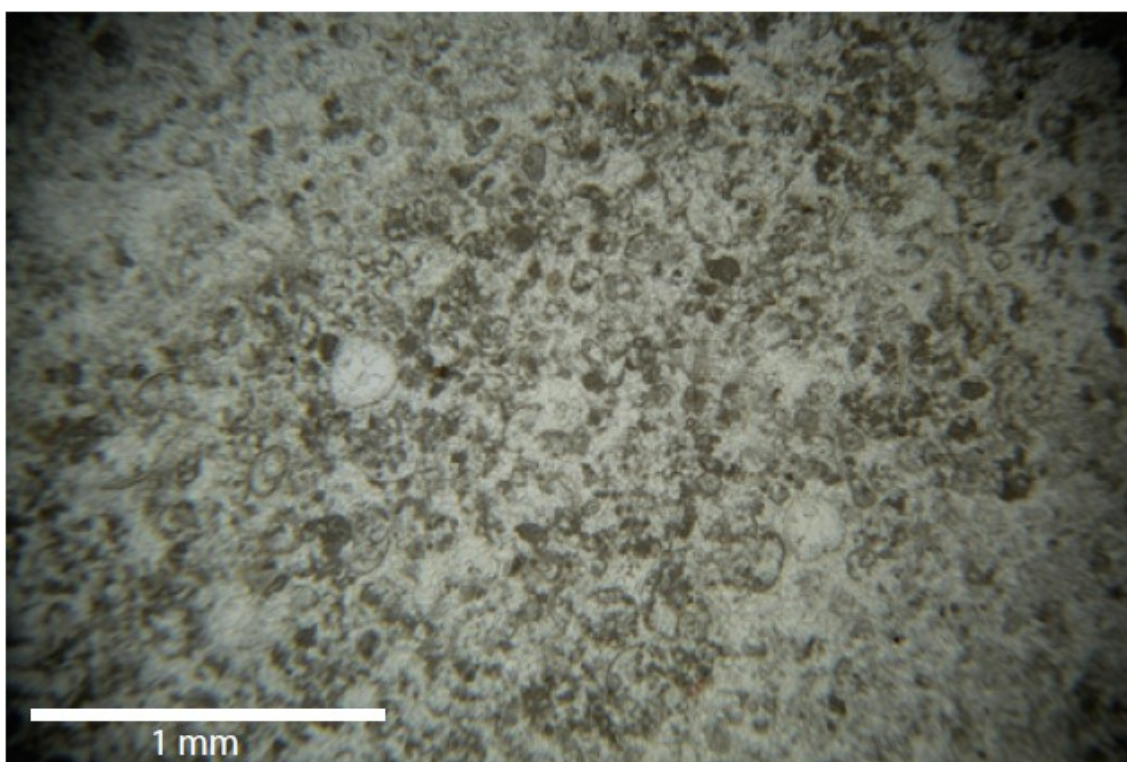


Slika 7. 1 Uzorci za makroskopsku analizu

### 7.1.1 Škrobotnik 1 – kasnodijagenetski dolomit

Kasnodijagenetski makroskopski uzorci, sivkaste boje, bez prisustva žila i pukotina. Uzorak se lomi nepravilno pri primjeni malih sila.

U uzorku Škrobotnik 1 (slika 7.2) su prisutni bistri kristali dolomita manjih dimenzija anhedralnog oblika, porfirotopnog mozaika. Na preparatu su vidljivi ostaci intraklasta i fosila koji su dolomitizirani. Nema vidljivih pukotina, ni drugih strukturnih deformacija. Ovaj litotip je determiniran kao kasnodijagenetski dolomit.

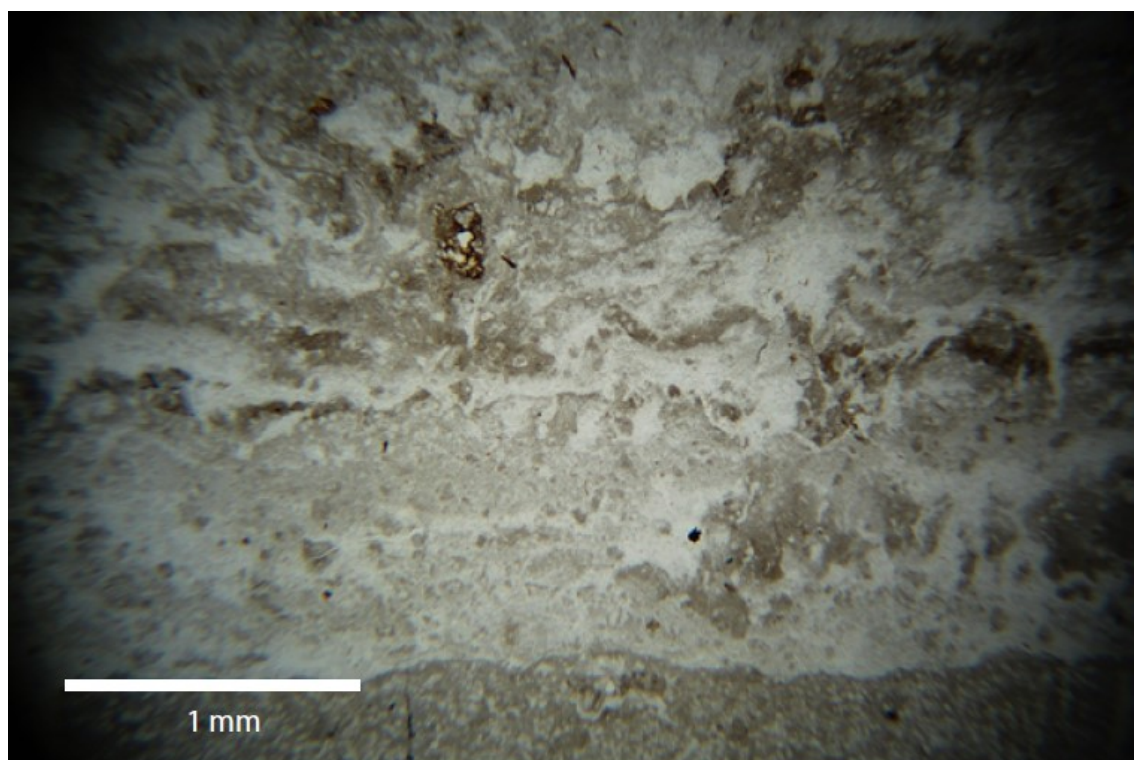


**Slika 7. 2** Mikrofotografija uzorka Škrobotnik 1 – struktura kasnodijagenetskog dolomita u kojoj se uočavaju intraklasti i fosili.

### 7.1.2 Škrobotnik 2 – ranodijagenetski dolomit

Uzorak Škrobotnik 2 je makroskopski sive boje, s očuvanom strukturom stromatolita. Na površini se uočavaju manja narančasto-crvena obojenja, nastala uslijed nakupljanja željeza. Uzorak se lomi pravilno po laminama stromatolita.

Uzorak Škrobotnik 2 (slika 7.3) je obilježen stromatolitnim laminama. U laminama je vidljiva pravilna izmjena dolomitnih subhedralnih kristala i dolomikrita. Uočavaju se manje pukotine i žile koje su ispunjene bistrim dolomitom. Na pojedinim kristalima dolomita je vidljiva jako izražena kalavost. Kristali su bistri, polimodalni. Na nekim mjestima se uočavaju trošne zone koje su vjerojatno posljedica trošenja željeza. One su najviše prisutne u laminama dolomikrita. Ovaj litotip je determiniran kao ranodijagenetski dolomit.



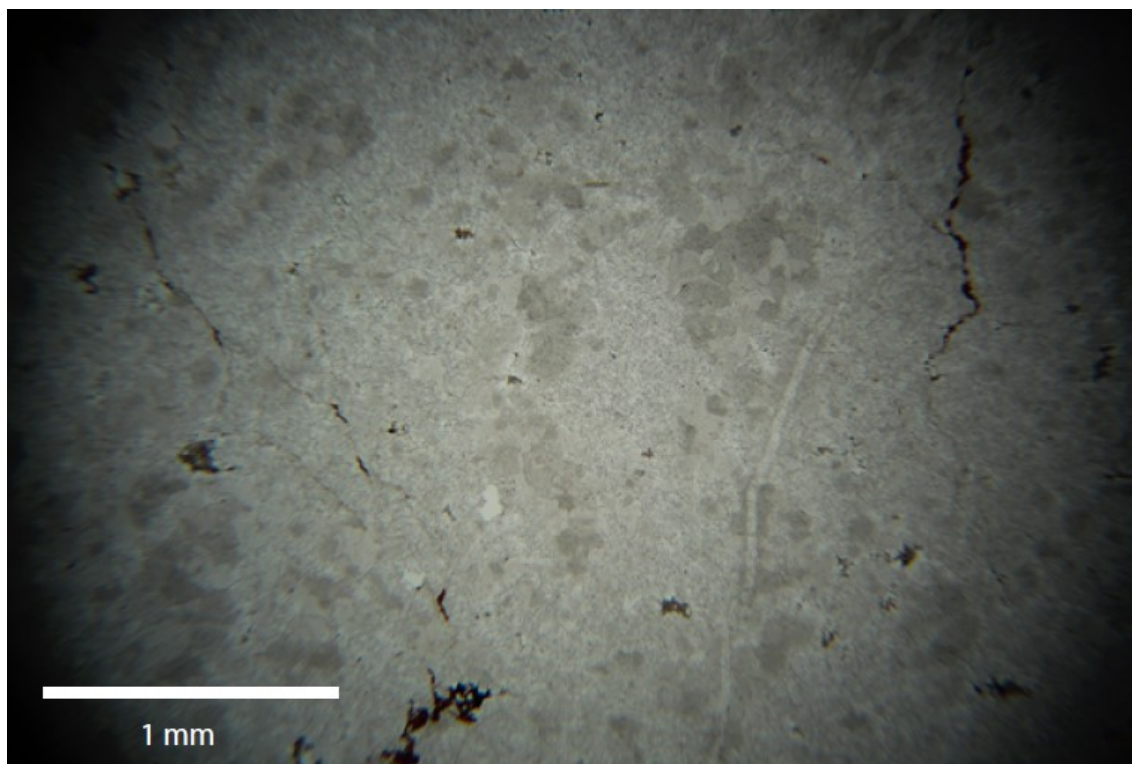
**Slika 7. 3** Mikrofotografija uzorka Škrobotnik 2 – struktura ranodijagenetskog dolomita u kojoj se uočava stromatolitna laminacija i mjestimične zone trošenja.



### 7.1.3 Gradna G4 – kasnodijagenetski dolomit

Uzorak G4 je svijetlosive boje. Na uzorku se uočava veliki broj pukotina i šupljina koje su kemijski trošene. Površina uzoraka je glatka, što upućuje na sitnije kristale dolomita. Uzorak se lako lomi pri primjeni slabije sile.

Kristali uzorka G4 su gusto pakirani (slika 7.4). Na pojedinim kristalima je vidljiva kalavost. Kristali su subhedralnog oblika, polimodalni, raspona veličine od 0,08 mm do 0,2 mm pa je mozaik kristala porfirotopni. Na preparatu se uočavaju žile koje su ispunjene bistrim dolomitom i manje pukotine u kojima se nalaze zone trošenja. Ovaj litotip je determiniran kao kasnodijagenetski dolomit.



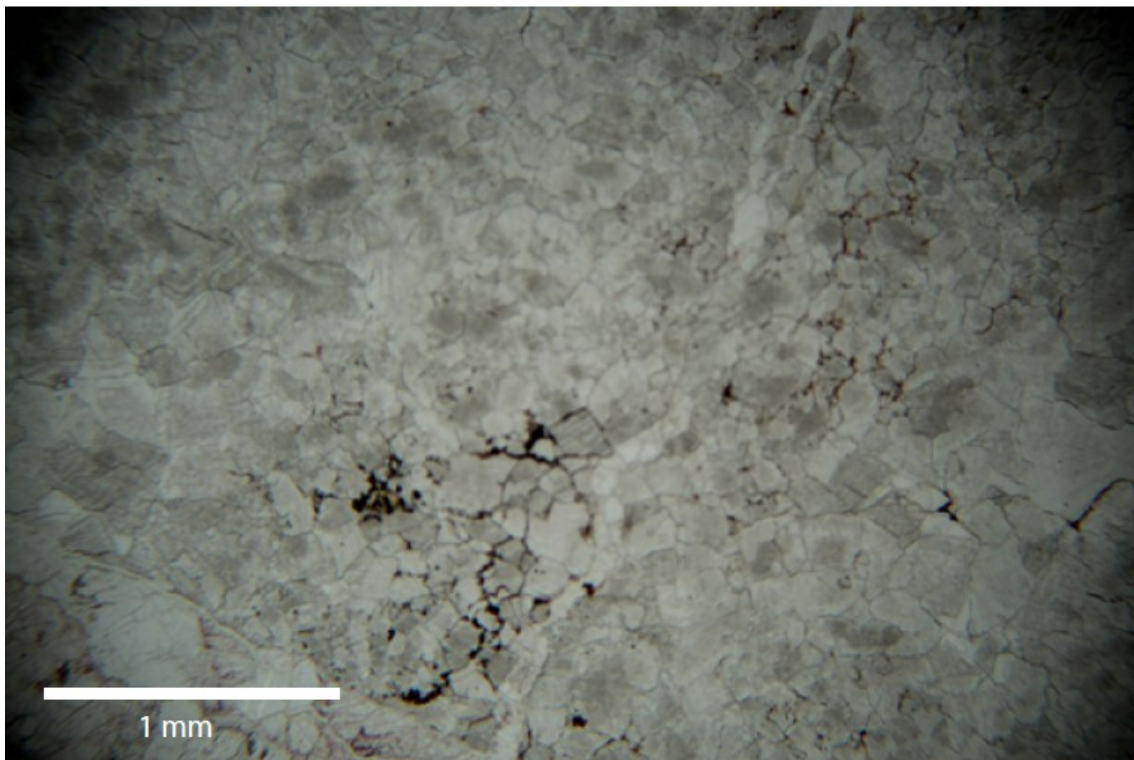
**Slika 7.4** Mikrofotografija uzorka Gradna G4 – struktura kasnodijagenetskog dolomita u kojoj se uočavaju žile dolomita i manja trošenja u pukotinama.

### 7.1.4 Gradna G7 – kasnodijagenetski dolomit

Drugi uzorak iz kamenoloma Gradna je svijetlo sive boje, kristali su krupniji pa se praktički mogu vidjeti golim okom. Ovaj uzorak odlikuje velika prisutnost međusobno

povezanih žila i pukotina koje su ispunjene prozirnim kristalima dolomita. Ova obilježja čine uzorak jako krhkim, pa do loma dolazi već i primjenom manje sile.

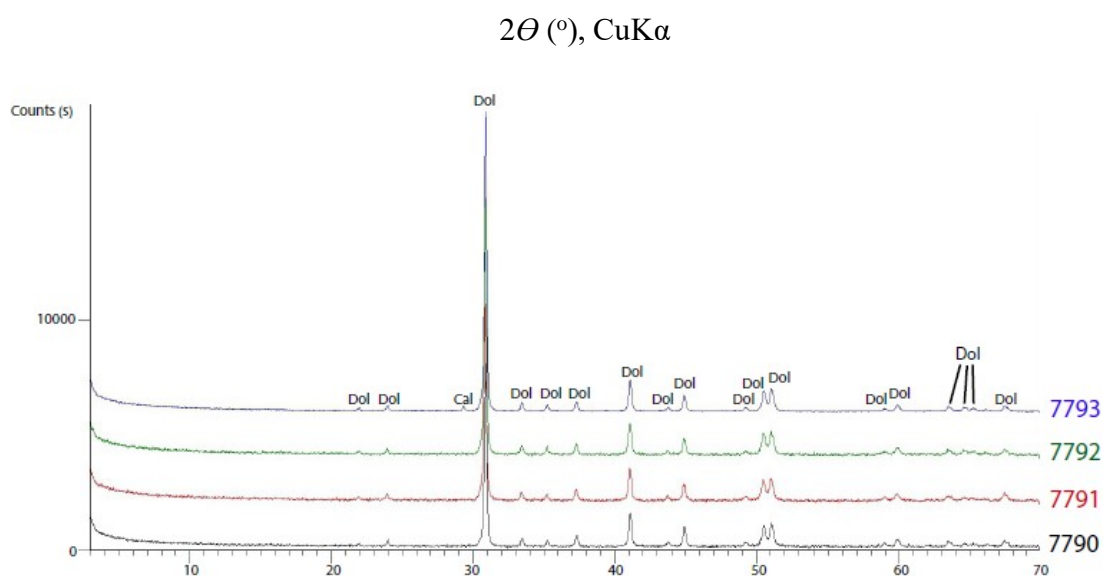
Kristali u preparatu G7 (slika 7.5) su bistri, unimodalni, raspona veličine od 0,2 mm do 0,4 mm te subhedralnog oblika. Mozaik kristala je subidiotopan. Na velikom broju kristala se zamjećuje dvostruka ili jednostruka kalavost. Na preparatu se također uočavaju žile ispunjene bistrim dolomitom i pukotine u kojima se zamjećuju manje zone trošenja. Ovaj litotip je determiniran kao kasnodijagenetski dolomit.



**Slika 7. 5** Mikrofotografija uzorka Gradna G7 – struktura kasnodijagenetskog dolomita u kojoj se uočavaju žile dolomita i manja trošenja u pukotinama.

## 7.2 Rezultati rendgenske difrakcije na prahu

Kvalitativni kemijski sastav uzoraka iz kamenoloma „Škrobotnik“ i „Gradna“ je određen rendgenskom difrakcijom na prahu (slika 7-6). Analiza je provedena na po dva uzorka iz oba kamenoloma. Uzorci iz kamenoloma „Škrobotnik“ su označeni brojevima 7790 (Škrobotnik 1) i 7792 (Škrobotnik 2), dok su uzorci iz kamenoloma „Gradna“ označeni brojevima 7791 (Gradna G4) i 7793 (Gradna G7). Analizom je utvrđeno da su uzorci iz kamenoloma „Škrobotnik“ (7790 i 7792) dominantno dolomitnog sastava te su uzorci određeni kao čisti dolomit. Također, uzorak 7791 iz kamenoloma „Gradna“ je determiniran kao gotovo čisti dolomit. Jedino je u uzorku 7793 iz Gradne 7793 pronađena mala količina kalcita, no i dalje je dolomit dominantan u sastavu. Ostali minerali ili tvari koje bi mogle uzrokovati poteškoće u proizvodnji betona i dovesti do kasnijih oštećenja poput glina, limonita, organske tvari i minerali s alkalijama nisu determinirani u uzorcima.



**Slika 7. 6** Rendgenske difrakcijske snimke originalnih uzoraka. Legenda: 7790 – Škrobotnik 1, 7791 – Gradna G4, 7792 – Škrobotnik 2, 7793 – Gradna G7

## 8. ZAKLJUČAK

Pri proizvodnji betona koriste se tri osnovna sastojka: agregat, voda i cement. Agregati čine najveći udio u betonu, od 40 % do 75 %, a dijele se na sitne (veličine od 0,063 mm do 4 mm) i krupne (od 4 mm do 125 mm). Pri proizvodnji je potrebno paziti na oblik i veličinu čestica agregata, na stanje agregata, na sadržaj nepovoljnih tvari u agregatu, koje mogu dovesti do slabijeg vezanja i kasnijeg pucanja u agregatu poput alkalija, gline, praha, limonita i organske tvari. Prema tome, cilj ovog završnog rada je bio utvrditi pogodnost uzoraka dolomita iz kamenoloma Škrobotnik i Gradna za korištenje kao agregata u betonskim proizvodima.

Da bi se zaključilo o kvaliteti dolomita i njegovoj pogodnosti u svrhu proizvodnje betonskih proizvoda provedena su mineraloško–petrografska analiza i rendgenska difrakcija na prahu. Mineraloško–petrografskom analizom su tri uzorka determinirana kao kasnodijagenetski dolomiti, a samo je uzorak Škrobotnik 2 determiniran kao ranodijagenetski dolomit. Uzorci Škrobotnik 2, Gradna G4 i Gradna G7 su krupnozrnasti, a samo je Škrobotnik 1 sitnozrnast. U uzorku Škrobotnik 1 se zamjećuju ostaci intraklasta i fosila. Uzorak Škrobotnik 2 odlikuje stromatolitna laminacija. Uzorke Gradna G4 i Gradna G7 odlikuju prisutnost i isprepletenost žila i pukotina. Ove karakteristike ukazuju na moguću laku drobljivost uzoraka. Također na uzorcima Škrobotnik 2, Gradna 4, i Gradna 7 se uočavaju mjestimična trošenja.

Rendgenskom difrakcijom na prahu je utvrđeno da su oba uzorka iz kamenoloma „Škrobotnik“ i jedan uzorak iz kamenoloma „Gradna“ gotovo čisti dolomit, a samo u uzorku 7793 iz Gradne je detektirana mala količina kalcita. Budući da je analiza pokazala da su svi uzorci gotovo čisti dolomit isključena je mogućnost alkalno–dolomitne reakcije u betonskim proizvodima. Rendgenskom analizom je također utvrđeno da u svim uzorcima nema prisutnih minerala ili tvari koje bi mogle otežavati proizvodni proces betona ili dovesti do kasnijeg pucanja.

Obje analize su pokazale da je dolomit pogodnog mineralnog sastava za upotrebu u svrhu agregata. Međutim, moguće poteškoće u proizvodnji mogla bi uzrokovati njihova sklonost pucanju pri malom naprezanju, što dovodi do smanjenja veličine čestica agregata. Kako u betonima povećan udio sitnozrnaste komponente nije poželjan, a pucanjem agregata on se povećava, treba biti oprezan pri usitnjavanju i drobljenju stijene da se ne dobiju čestice

koje su manje od 0,063 mm, jer bi moglo doći do slabijeg povezivanja između agregata i cementa. S obzirom na provedene analize, dolomit iz kamenoloma „Škrobotnik“ i „Gradna“ je pogodan za korištenje kao agregat u betonskim proizvodima. Međutim, u svrhu dobivanja još detaljnijih podataka o kvaliteti dolomita, bilo bi potrebno provesti detaljnu kemijsku analizu. Također bi bilo potrebno provesti ispitivanja drugih svojstava koje utječu na kvalitetu agregata, poput čvrstoće i otpornosti na atmosferske utjecaje. U tu svrhu bi se mogla provesti ispitivanja kao metoda opterećenja u točki, metoda Los Angeles i ispitivanje upijanja vode te ispitivanje otpornosti na smrzavanje.

## 9. LITERATURA

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

JAKŠIĆ, L., 2018. Eksploatacija tehničko–građevnog kamena na kamenolomu „Škrobotnik“. Završni rad. Zagreb: Rudarsko–geološko–naftni fakultet. 37 str.

KASSABJI, M., 2018. Eksploatacija dolomita na kamenolomu „Gradna“. Diplomski rad. Zagreb: Rudarsko–geološko–naftni fakultet. 44 str.

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

SLOVENEK, D., 2011. Opća mineralogija. Udžbenici sveučilišta u Zagrebu. Zagreb: Rudarsko–geološko–naftni fakultet. str. 243 – 240.

STARČEVIĆ, K., 2017. Osnovne karakteristike tehničko–građevnog kamena dolomitnog sastava važnog prilikom njihove upotrebe. Diplomski rad. Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet. 60 str.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O., ŠIMUNIĆ, A., 1977. Osnovna geološka karta SFRJ, list Zagreb. Zagreb: Institut za geološka istraživanja.

ŠIKIĆ K., BASCH O., ŠIMUNIĆ A., 1979. Osnovna geološka karta SFRJ, Tumač za list Zagreb. Zagreb: Institut za geološka istraživanja. str. 20 – 42

TOMAŠIĆ, I., 2001. Tehnička petrografija 1. Udžbenici sveučilišta u Zagrebu. Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet. str. 79 – 82

TUCKER, M.E., 1981. Sedimentary petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks. Oxford. Blackwell Science Ltd, 147 str.

Web izvori :

CIVIL PLANETS, 2017. What is Alkali Aggregate Reaction in Concrete ? (Datum pristupa 10.8.2020.) Dostupno na: <https://civilplanets.com/alkali-aggregate-reaction/>

CIVIL READ, 2017. Quantity of Cement, Sand and Aggregate used in 1 m<sup>3</sup> of Concrete: Concrete Mix Design. Dostupno na: <https://civilread.com/find-quantity-cement-sand-aggregate/> (Datum pristupa 22.8.2020.)

GOOGLE MAPS, Šire područje grada Samobora (satelit). (Datum pristupa 29.7.2020.) Dostupno na: <https://www.google.hr/maps>

MIT Concrete Sustainability Hub, 2009. Alkali–Silica Reaction. (Datum pristupa: 10.8.2020.) Dostupno na: <https://cshub.mit.edu/durability/ASR>

PORTLAND CEMENT ASOCIATION. 2019. How Cement is Made. (Datum pristupa: 11.8.2020.) Dostupno na: <https://www.cement.org/cement-concrete-applications/how-cement-is-made>

PORTLAND CEMENT ASOCIATION, 2019. Cement Types. (Datum pristupa: 11.8.2020.) Dostupno na: <https://www.cement.org/cement-concrete-applications/concrete-materials/cement-types>

PORTLAND CEMENT ASOCIATION, 2019. How Concrete is Made. (Datum pristupa: 11.8.2020.) Dostupno na: <https://www.cement.org/cement-concrete-applications/how-concrete-is-made>

THE CONCRETE NETWORK, 2017. Types of Concretes and Their Strengths. (Datum pristupa: 11.8.2020.) Dostupno na: <https://theconcretenetwork.co.uk/types-of-concrete/what-are-the-different-concrete-types/#>

WIKIPEDIA: Samobor. (Datum pristupa 29.7.2020.) Dostupno na: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Samobor>