

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

DAVOR POLLAK

**OVISNOST INŽENJERSKOGEOLOŠKIH SVOJSTAVA KARBONATNIH
STIJENA O NJIHOVIM SEDIMENTNO-PETROLOŠKIM ZNAČAJKAMA
(TRASA JADRANSKE AUTOCESTE: «TUNEL SV. ROK – MASLENICA»)**

MAGISTARSKI RAD

Zagreb, 2002.

Magistarski rad je izrađen u:

Zavodu za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Sveučilište u Zagrebu

Mentori:

prof. dr. Josip Tišljar

prof. dr. Vladimir Jurak

Magistarski rad sadrži:

103 stranice

59 slika

14 tablica

4 priloga

Rad broj:

Zahvaljujem se:

- kolegama koji su sudjelovali u prikupljanju geoloških i inženjersko-geoloških podataka:

prof. dr. Karlo Braun, dipl. ing. geol.

dr. Igor Vlahović, dipl. ing. geol.

dr. Dubravko Matičec, dipl. ing. geol.

Zvonko Blagus, dipl. ing. geol.

Ladislav Fuček, dipl. ing. geol.

Nenad Oštrić, dipl. ing. geol.

Dražen Navratil, dipl. ing. geol.

Josip Kolarić, dipl. ing. geol.

- na provedenim laboratorijskim analizama:

Zavodu za geotehniku, i djelatnicima Zavoda za prometnice – laboratorija za kamen ; IGJ-Zagreb

- na savjetima, stručnoj i znanstvenoj pomoći:

prof. dr. Karlo Braun, dipl. ing. geol.

mr. Valentina Hajek Tadesse, dipl. ing. geol.

Mirko Belak, dipl. ing. geol.

dr. Renato Buljan, dipl. ing. geol.

Ladislav Fuček, dipl. ing. geol.

Mario Dolić, inf.

mr. Antun Husinec, dipl. ing. geol.

- na tehničkoj pomoći i pripremi:

Davorin Singer, inf.

Stanislav Bergant, dipl. ing. geol.

Stjepan Zvonarić, geol. teh.

mr. Marijan Kovačić, dipl. ing. geol.

Nada Bastalić, geol. teh.

Stanislav Koščal, geol. teh.

Đurđica Bogović, teh.

Helena Timer, geol. teh.

Osobito se zahvaljujem:

- prof. dr. Karlu Braunu na dosadašnjem stručnom i znanstvenom vođenju i usmjeravanju, brojnim korisnim savjetima, podršci i pomoći.
- mentorima prof. dr. Josipu Tišljaru i prof. dr. Vladimiru Juraču na vođenju magistarskog rada, vrlo korisnim savjetima i pomoći.

Također se zahvaljujem svim djelatnicima Instituta za geološka istraživanja, posebno Zavoda za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, koji ovdje nisu navedeni, a na sebe su preuzeli dio obaveza da bi ovaj rad mogao biti završen.

Posebno se zahvaljujem obitelji na razumijevanju i podršci.

Sadržaj

I. UVOD	1
A. LOKACIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA	2
B. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	4
II. GEOLOŠKE ZNAČAJKE PODRUČJA	6
A. GEOLOŠKI RAZVOJ PODRUČJA	6
B. SEIZMIČKE I TEKTONSKE ZNAČAJKE PODRUČJA	8
B.1. Seizmičnost područja.....	8
B.2. Tektonika područja.....	8
B.2.1. Orijentacija diskontinuiteta	9
B.2.1.a. Slojevitost	10
B.2.1.b. Ostali diskontinuiteti.....	11
III. METODE ISTRAŽIVANJA	13
A. TERENSKA ISTRAŽIVANJA.....	14
A.1. Seizmološka i seizmotektonska istraživanja	14
A.2. Geološka istraživanja.....	14
A.2.1. Sedimentološka istraživanja.....	15
A.2.1.a. Vapnenci.....	15
A.2.1.b. Klastične karbonatne naslage	18
A.2.2. Inženjerskogeološko kartiranje	19
A.2.3. Hidrogeološki istraživački radovi	20
A.3. Istraživačko bušenje.....	20
A.3.1.a. Tehnički podaci	21
A.3.1.b. Determinacija jezgre bušotine.....	21
A.4. Geofizička ispitivanja.....	23
A.4.1. Plitka refrakcijska seizmika	24
A.4.1.a. Uvjeti i ograničenja metode.....	24
A.4.2. Opseg terenskih radova i obrada	25
B. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA.....	26
B.1. Mikroskopska istraživanja.....	26
B.1.1.a. Određivanje mikrofakijesa.....	27
B.2. Određivanje fizičkih svojstava stijene.....	28
B.2.1. Upijanje vode	28
B.2.2. Određivanje gustoće i poroznosti.....	28
B.2.2.a. Podjela poroznosti.....	30
B.2.3. Laboratorijsko ispitivanje ultrazvukom	31
B.3. Određivanje mehaničkih svojstava stijene.....	31
B.3.1. Priprema uzoraka za ispitivanje	31
B.3.2. Ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće.....	31
B.3.3. Ispitivanje čvrstoće stijene u točki	32
B.3.4. Ispitivanje indirektno vlačne čvrstoće (Brazilskim testom).....	33
B.3.5. Ispitivanje čvrstoće pod troosnim opterećenjem.....	33
IV. OPIS IZDVOJENIH JEDINICA.....	35
A. KREDA	36
A.1. Vapnenci i breče – K_1^{1-4} (neokom)	36
A.1.1.a. Mikrofakijesi neokomskih vapnenaca i breča	37

A.1.2.	Interpretacija okoliša taloženja.....	39
A.2.	<i>Vapnenci - K₁⁵ (apt)</i>	40
A.2.1.	Interpretacija okoliša taloženja.....	40
A.3.	<i>Vapnenci i breče - K₁⁶ (Alb)</i>	41
A.3.1.	Interpretacija okoliša taloženja.....	41
A.4.	<i>Vapnenci - K₂¹ (cenoman)</i>	41
A.4.1.a.	Mikrofacijesi cenomanskih vapnenaca.....	42
A.4.2.	Interpretacija okoliša taloženja.....	44
B.	PALEOGEN.....	45
B.1.	<i>Foraminiferski vapnenci – Pc, E₁ (paleocen, donji eocen)</i>	45
B.1.1.a.	Mikrofacijesi foraminiferskih naslaga	45
B.1.2.	Interpretacija okoliša taloženja.....	46
B.2.	<i>Boksiti</i>	46
B.3.	<i>Promina naslage - E₃, Ol (gornji eocen, oligocen)</i>	46
B.3.1.a.	Mikrofacijesi prominskih naslaga.....	47
B.3.2.	Interpretacija okoliša taloženja.....	49
B.4.	<i>Jelar naslage - E₃, Ol (gornji eocen, oligocen)</i>	49
B.4.1.a.	Mikrofacijesi jelarskih naslaga	50
B.4.2.	Interpretacija okoliša taloženja.....	51
C.	KVARTAR.....	52
C.1.	<i>Deluvij - d</i>	52
C.2.	<i>Crvenica - ts</i>	52
V.	INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZNAČAJKE PODRUČJA.....	53
A.1.	<i>Značajke intaktne stijene</i>	53
A.1.1.	Gustoća.....	54
A.1.2.	Poroznost.....	56
A.1.3.	Laboratorijsko ispitivanje ultrazvukom	57
A.1.4.	Čvrstoća intaktne stijene	58
A.1.4.a.	Jednoosna tlačna čvrstoća.....	59
A.1.4.b.	Čvrstoća intaktne stijene pod troosnim opterećenjem.....	62
A.1.4.c.	Čvrstoća u točki.....	62
A.1.4.d.	Vlačna čvrstoća	64
A.2.	<i>Značajke stijenske mase</i>	66
A.2.1.	Razmak diskontinuiteta i RQD	66
A.2.1.a.	Razmak diskontinuiteta	66
	Slojevitost.....	66
	Ostali diskontinuiteti	68
A.2.1.b.	Indeks kvalitete jezgre - RQD	69
A.2.2.	Značajke diskontinuiteta	71
A.2.2.a.	Postojanost.....	71
A.2.2.b.	Zijev.....	72
A.2.2.c.	Ispuna.....	73
A.2.2.d.	Hrapavost.....	74
	Morfologija diskontinuiteta slojevitosti	74
	Morfologija sekundarnih diskontinuiteta	74
A.3.	<i>Trošenje, zone trošenja i geotehničke sredine</i>	76
A.4.	<i>GSI'</i>	79

VI.	DISKUSIJA.....	80
A.1.1.	Mineralni sastav	80
	Vapnenci.....	80
	Dolomiti i dedolomiti	81
	Klastične karbonatne stijene.....	81
A.1.2.	Struktura i tekstura	82
A.1.2.a.	Struktura	82
A.1.2.b.	Tekstura	88
A.1.3.	Dijagenetski procesi	90
VII.	ZAKLJUČAK.....	92
VIII.	LITERATURA	97
IX.	ŽIVOTOPIS.....	97
X.	POPIS OBJAVLJENIH RADOVA	106
XI.	KRATKI SADRŽAJ	107
	Ključne riječi:	107
XII.	ABSTRACT	108
	Key words:	108

Popis priloga

Prilog broj	Sadržaj
1	Geološka karta šire okolice istraživanih područja. Mjerilo 1:100.000
2	Geološka karta s inženjerskogeološkim elementima. Mjerilo 1:10.000
3	Legenda skraćenih oznaka mikrofacijesa
4	Shematski prikaz ovisnosti inženjerskogeoloških svojstava karbonatnih stijena o njihovim sedimentno-petrološkim značajkama

I. UVOD

Inženjerska geologija, kao jedna od grana geološke struke, obuhvaća i objedinjava rezultate istraživanja iz mnogih geoloških područja. Svako od tih područja daje poseban doprinos u stvaranju slike ili modela o građi terena, značajkama intaktne stijene i stijenske mase, procesima koji su se događali, koji se događaju i/ili će se događati u podzemlju ili na površini zemlje. S obzirom da gotovo svi procesi kojima su stijene podvrgnute tijekom nastanka, dijageneze i trošenja utječu na njena inženjerskogeološka svojstva, interdisciplinarni pristup istraživanju tih svojstava može doprinijeti kvaliteti rješenja, interpretacija, kao i modela koji su konačni rezultat takvim istraživanjima.

U ovom će se radu kroz proučavanje sedimentoloških svojstava karbonatnih stijena, pokušati doprinijeti sagledavanju inženjerskogeoloških značajki krških terena, jer se smatra da bi bolje poznavanje sedimentoloških značajki predmetnog područja trebalo imati veći utjecaj na projektiranje, izvedbu i održavanje građevinskih objekata.

Prikazani i analizirani rezultati istraživanja odnose se na kompleksna istraživanja buduće Jadranske autoceste na dionici "Tunel Sveti Rok-Maslenica". S obzirom da se to područje sastoji od karbonatnih stijena, stručno povjerenstvo u sastavu: prof. dr. J. Tišljar, prof. dr. V. Jurak, prof. dr. K. Braun i dr. Matičec je predložilo, a Fakultetsko vijeće RGN fakulteta, 22. listopada 1999. odobrilo izradu magistarskog rada pod naslovom: "Ovisnost inženjerskogeoloških svojstava karbonatnih stijena o njihovim sedimentološko-petrološkim značajkama (trasa Jadranske autoceste: «Tunel Sv. Rok – Maslenica»).

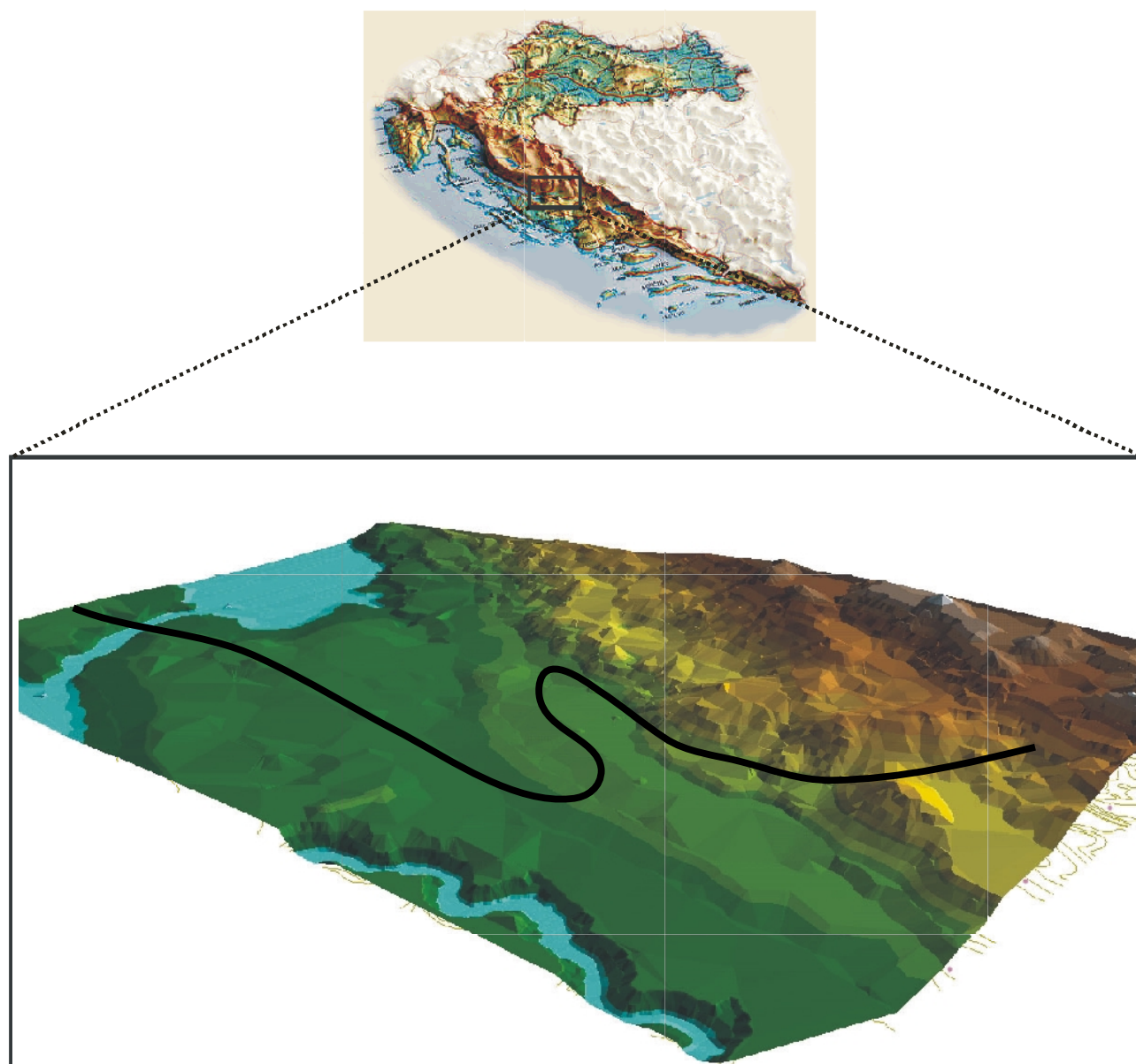
A. LOKACIJA ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

Trasa autoceste nalazi se u sjevernoj Dalmaciji (Hrvatska), sjeverozapadno od Obrovca i počinje na južnom portalu cestovnog tunela kroz Velebit ("Sveti Rok"), a završava Masleničkim mostom koji premošćuje Novigradsko ždrilo (Slika 1). Ukupna dužina joj je oko 15 km (između stacionaža 202+370-217+500 km), ali su se u vrijeme istraživanja neka područja od interesa za ovaj projekt još uvijek nalazila u miniranim zonama, pa su detaljna ispitivanja provedena na samo 10 km autoceste.

Na ovoj relativno kratkoj dionici cestom se svladava visinska razlika od gotovo 500 m, pa je trasa, u obliku velike serpentine, vođena južnim obroncima Velebita do sela Zelenikovac, oko brežuljka "Kita", i zatim preko zaravni u zaleđu Jasenica (Božići), prema Rovanjskoj i Masleničkom mostu. S obzirom da se radi o projektu za buduću autocestu, morale su se poštovati i norme koje limitiraju nagib ceste i radijus zavoja. Brojni objekti na ovoj dionici u mnogome poskupljuju izvođenje radova, pa se na relativno kratkoj dionici prema postojećim projektima prolazi kroz tri tunela (Ledenik, Bristovac i Čelinka) ukupne dužine 1.5 km, te preko četiri vijadukta (Crna draga, Vuči polje, Božići i Rovanjka) ukupne dužine 1.2 km, i brojnim visokim usjecima i nasipima.

Cijelom svojom dužinom trasa prolazi kroz područje izgrađeno od karbonatnih i klastičnih stijena, bez značajnijih pojava pokrivača. S obzirom da su i klastične stijene u istraživanom području karbonatnog sastava, termin "karbonatne naslage" koristit će se za sve naslage karbonatnog sastava bez obzira na genezu.

Temeljita i detaljna geološka ispitivanja proveli su djelatnici Instituta za geološka istraživanja Zavoda za geologiju (Matićec, Fuček, Vlahović i Oštrić); inženjerskogeološka istraživanja Pollak, Braun, Navratil, Blagus i Kolarić; seizmotektonska i tektonska Kuk, Prelogović i Tomljenović. Terenske istražne radove (istražno bušenje i geofizika) i laboratorijska ispitivanja (ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava stijena) organizirali su, a velikim dijelom i izveli, djelatnici Zavoda za geotehniku, Instituta građevinarstva Hrvatske – Zagreb.



Slika 1. Lokacija šireg područja istraživanja.

B. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Najstariji podaci o geologiji ovog područja potječu od Hauera (1868), koji je izradio preglednu kartu. U tumaču lista i na karti mjerila 1:576.000, Hauer je opisao i podijelio naslage prema starosti, i to na: karbonske, trijaske, kredne i eocenske (iz Ivanović et al., 1976a).

Prvo detaljnije geološko kartiranje izvršio je Schubert (1909) na topografskoj podlozi mjerila 1:75.000. Na toj su karti naslage puno detaljnije opisane, a izdvojeni su: dolomiti karbona i perma, detaljno su razdijeljene naslage trijasa, a jura je kao i kreda podijeljena na dva dijela. Stariji paleogen je razdijeljen u više jedinica, a Promina naslage su samo litološki izdvojene (iz Ivanović et al., 1976a).

Prema radovima Schuberta (1903, 1904, 1908a, 1908b, 1909), i Knera (1916) se može vidjeti da su se već početkom prošlog stoljeća prikupljali podaci o boksitnim naslagama iz šire okolice istraživanog područja. Naime, upravo je boksitonosnost ovog područja bila glavnim razlogom za vrlo detaljna i rana geološka istraživanja. Eksploatacija boksita u području Kruševa je počela i trajala u prvom svjetskom ratu, a zatim između 1922-1930 godine.

Za vrijeme drugog svjetskog rata Quitzw (1941) je pisao o stratigrafsko-tektonskim odnosima paleogena ovog područja, ali i o boksitnim naslagama istočnog Jadrana (Quitzw, 1944).

Poslije drugog svjetskog rata na širem području Novigrada i Obrovca vršena su geološka istraživanja u razne svrhe, a od 1956. godine u sve značajnijem opsegu, upravo za utvrđivanje rezervi boksita za obnovljenu eksploataciju. U tom smislu se mogu naći brojni radovi: Franotović (1956), Sakač (1961, 1972, 1973), Jurković & Sakač (1964), Grubić (1975), Grandić et al. (1976), Marić (1970), Šušnjara & Ščavničar (1976) i drugi.

Hidrogeološke prilike okolice Obrovca istraživali su Sakač & Raljević (1960), a inženjerskegeološka i hidrogeološka istraživanja lista Obrovac provedena su šezdesetih godina (Magdalenić & Mamužić, 1961; Prvanović et al., 1966).

U području lista Obrovac šezdesetih godina provedena su brojna hidrogeološka i inženjerskegeološka istraživanja koja su bila usmjerena istraživanju mogućnosti akumulacije površinskih voda rijeke Zrmanje (Babić & Miletić, 1963; Fritz, 1967; Sakač & Raljević 1960).

U to su vrijeme mnogi radovi bili posvećeni i tektonskom razvoju Dinarida: Aubouin (1960), Ćirić (1960-63), Grubić (1959), Kober (1952), Petković (1958), Sikošek (1958), Sikošek i Medwenitsch (1965), Šikić (1964) i drugi (iz Ivanović et al. 1976a).

Sveobuhvatna geološka istraživanja ovog područja provedena su za izradu Osnovne geološke karte SFRJ - list Obrovac, u mjerilu 1:100000. Autori te karte su Ivanović, Sakač, Marković, Sakač, Šušnjar, Nikler i Šušnjara (1976).

Objavljeni su i mnogi radovi o podrijetlu klastičnih naslaga koje su karakteristične za šire područje srednjeg jadranskog priobalja i Dalmatinske zagore (Babić & Zupanić, 1983, 1988, 1990, 1998;

Zupanič & Babić, 1981; Zupanič, 1969; Bahun, 1974; Herak & Bahun, 1979; Vlahović et al., 1999).

Devedesetih godina istraživački radovi vezani su za izgradnju Jadranske autoceste. Prvo za izgradnju novog Masleničkog mosta (Novosel, 1995; Novosel, 1994), a zatim za tunel Sveti Rok (IGI, 1997; Matičec et al., 1997) i trasu Jadranske autoceste na dionici Tunel «Sveti Rok» - Maslenica (Braun & Pollak, 1998; Pollak et al., 1999).

II. GEOLOŠKE ZNAČAJKE PODRUČJA

A. GEOLOŠKI RAZVOJ PODRUČJA

Dio istraživanog područja, prema Heraku (1991), pripada Dinariku, a južni i veći dio Adriatiku ili Jadranskoj karbonatnoj platformi. Razvoj tih dviju karbonatnih platformi velikim je dijelom sličan. Započinje u gornjem trijasu i omogućava dugotrajno taloženje karbonatnih naslaga u relativno stabilnoj sredini sve do kraja krede. Velika debljina naslaga koje su u tom razdoblju istaložene svjedoči o stalnom spuštanju platformi bez većih i dugotrajnih oscilacija (Herak, 1991). No, kraćih prekida sedimentacije bilo je i tom periodu, pa nakon manjih oscilacija sedimentacijskog bazena u starijem malmu, u mlađem dolazi do prekida u sedimentaciji koji se završava u starijoj kredi (Ivanović et al., 1976a). Česte pojave vapnenačkih breča koje su uz vapnence taložene u starijoj kredi označavaju emerzijske faze vezane za manje oscilacije razine platforme. No tijekom dugotrajnog marinskog taložnog sustava i dalje se zadržavaju plitkomorski uvjeti, osobito u mlađoj kredi kada je stabilnost platforme najveća.

U istraživanom prostoru krajem krede dolazi do radijalnog izdizanja platforme (laramijska faza) i dugotrajnije emerzije (Ivanović et al., 1976a). Nakon toga slijedi transgresija najprije liburnijskih i njima srodnih naslaga, uz postupno prevladavanje marinske nad slatkovodnom sedimentacijom. Tada se talože najprije paleogenski foraminiferski vapnenci i zatim fliš. Slijed foraminiferskih naslaga taloženih u eocenu počinje taloženjem u zaštićenoj plitkomorskoj sredini na koju zatim sve više utječe otvoreno more. Završne naslage pripadaju prominskim klastičnim naslagama.

Jadranska se platforma odlikuje mnogim specifičnostima koje ne susrećemo na Dinarskoj karbonatnoj platformi, a s druge strane nedostaju joj neka njezina obilježja (npr. prekid sedimentacije i taloženje boksitičnih naslaga između srednjeg i mlađeg trijasa, zatim donjokredne breče, veća rasprostranjenost bioherma i dr.). To pokazuje da se završna zbivanja koja su pridonijela konačnom oblikovanju Jadranske karbonatne platforme bitno razlikuju od analognih zbivanja na Dinarskoj karbonatnoj platformi (Herak, 1991).

Unutrašnja građa jadranske platforme karakterizirana je starijim alohtonim strukturama, koje su bitno poremećene neotektonskim rupturnim poremećajima. Alohtonija naslaga ustanovljena je na mnogo mjesta, na otocima Korčuli, Visu, Hvaru, Braču, Cresu i drugima, zatim u čitavom priobalnom pojasu, kao i u Hercegovini, Dalmatinskoj zagori, Istri i Slovenskom primorju.

Rupturni su poremećaji veoma duboki i potvrđeni seizmotektonskom aktivnošću (Aljinović & Blašković, 1989).

Glavne geološke značajke šireg područja istraživanja prikazani su na Osnovnoj geološkoj karti, list Obrovac (Ivanović et al., 1976), i mogu se vidjeti u prilogu 1. Autori su u istraživanom području izdvojili nekoliko litostratigrafskih jedinica:

- donja kreda i dio cenomana – breče i vapnenci ($K_{1,2}$);
- cenoman – vapnenačke breče i vapnenci (K_2^1);
- donji eocen i donji dio srednjeg eocena – foraminiferski vapnenci ($E_{1,2}$);
- srednji i gornji eocen – Promina naslage – uslojeni vapnenci, grebenski vapnenci, konglomerati, lapori ($E_{2,3}$);
- tercijar – vapnenačke breče (Pg, Ng).

Na prilogu broj 2 može se vidjeti da su u ovom radu spomenute naslage detaljnije opisane i razvrstane, ali će o tome biti više riječi u poglavlju «IV.Opis izdvojenih jedinica» (str. 35).

B. SEIZMIČKE I TEKTONSKE ZNAČAJKE PODRUČJA

B.1. SEIZMIČNOST PODRUČJA

Razmatranjem prostornih komponenti potresa u širem području su izdvojena tri glavna seizmička izvora koji su nazvani: Velebit, Dugi otok i Srednji jadransko-jadranski. Uz ova tri seizmička izvora zamijećena je jaka seizmička aktivnost do VIII^o, a na pojedinim lokacijama čak i IX^o MCS u epicentru i magnitude iznad 5 (Kuk et al., 1998).

Lokalna seizmičnost područja oko 40 km radijusa od važnijih objekata ipak je znatno manja. Naime, u blizini istraživane dionice buduće autoceste zabilježene su magnitude 2.2-2.3. Iako su to slabiji potresi, oni predstavljaju dokaz o recentnoj seizmičkoj aktivnosti u najbližoj okolini trase autoceste.

Uzročnici potresa su tektonski pokreti uzrokovani podvlačenjem strukturne jedinice Adrijatika pod Dinarik. Tako se stvaraju kompresijske zone i reversni kontakti između strukturnih jedinica, kao što je Velebitski rasjed o kojem će više riječi biti u slijedećem poglavlju.

U seizmičnom izvoru Velebita žarišta potresa su uglavnom na dubini 2-12 km. Do dubine oko 8 km seizmotektonski aktivna zona ima prosječni nagib 60°, koji se idući prema dubini znatno smanjuje i prelazi u 20° (Kuk et al., 1998).

Prema Kuk et al. (1998) na temelju geoloških i seizmoloških parametara najjači potres u seizmičkom izvoru Velebita može imati maksimalnu magnitudu 6.1.

B.2. TEKTONIKA PODRUČJA

Šira okolica istraživanog prostora se prema Heraku (1991) dijeli na dvije glavne strukturne jedinice: Dinarik i Adrijatik, koje su u reversnom odnosu. Strukture unutar Dinarika pa i Adrijatika imaju pravce pružanja SZ-JI i Z-I, s reversnim rasjedanjem i vergencijom prema jugozapadu i jugu. Tektonska granica ovih dviju jedinica nazvana je Velebitskim rasjedom. Zona tog rasjeda je u ovom području promjenjive širine, a kreće se između 1.5 i 2.0 km i pokriva veliki dio istraživanog prostora (Kuk et al., 1998).

Velebitski rasjed je u užem prostoru oko trase buduće autoceste predstavljen zonom tektonski razlomljenih stijena širine 20-30 m, orijentacije 12-36/42-80 (Kuk et al., 1998). U zoni Velebitskog rasjeda i oko nje prisutni su rasjedi različitih sustava, ali su najznačajniji reversni rasjedi strmo nagnutih ploha s vergencijom prema jugozapadu i jugu. Ovi rasjedi mogu imati vrlo velike vertikalne i/ili transkurentne pomake što dokazuju direktni kontakti neokomskih i cenomanskih

naslaga. Diferencijalno kretanje blokova uz navedene reversne rasjede omogućuju rasjedi pružanja paralelnog s djelovanjem najvećeg regionalnog pritiska, SI-JZ (Matićec et al., 1998). Terenskim mjerenjem elemenata pomaka na slojnim plohama masleničke strukture ustanovljen je azimut tadašnjeg djelovanja (donji paleogen) najjačeg pritiska: $\sigma_1 = 30-60^\circ$ (Prelogović et al., 1995).

U fazi relaksacije, na presjecištima slojnih ploha i diskontinuiteta okomitih na regionalnu os B, dolazi do formiranja špilja i kaverni (Prelogović et al., 1995).

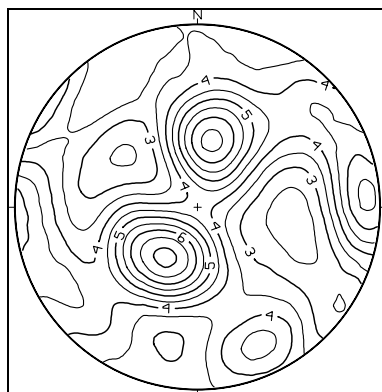
Prema novijim pomacima krila rasjeda (pliocen-kvartar), zapaženih na terenu, izračunat je regionalni stres: $352-177^\circ$ oko Maslenice, $341-161^\circ$ u zoni Velebitskog rasjeda, i $357-177^\circ$ u području Južnog Velebita (Kuk et al., 1998). Iz toga se vidi da je neotektonskim djelovanjem smjer najvećeg lokalnog stresa promijenjen u pravac S-J. Većina prije nastalih rasjeda je reaktivirana horizontalnim ili blago dijagonalnim kretanjem, a postoje čak i retrogradni rotacijski pomaci krila rasjeda.

Unatoč rotaciji prvobitnih struktura izraženiji rasjedi su zadržali svoje glavne karakteristike. Naime, reversni rasjedi imaju stisnutu rasjednu zonu zatvorenih rasjednih ploha, a oni okomiti na njih ostali su zjapeći, sa širokom razlomljenom zonom u kojoj se mogu očekivati kaverne (Matićec et al., 1998).

Orijentacije struktura potvrđene su i gravimetrijskim istraživanjima. Minimumi i maksimumi gravimetrijskih anomalija imaju pružanja jednaka strukturi koja se zapaža na površini (Kuk et al., 1998).

B.2.1. ORIJENTACIJA DISKONTINUITETA

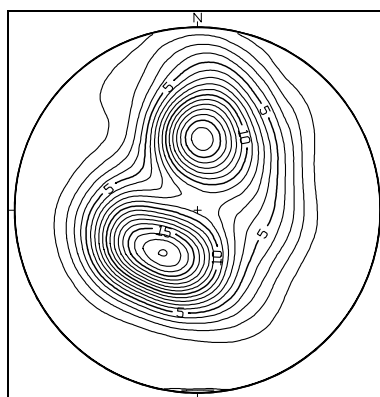
Terenskim snimanjem orijentacija diskontinuiteta obuhvaćeno je čitavo istraživano područje. Statističkom obradom velikog broja podataka (1289) utvrđena su četiri najizraženija maksimuma: 27/27, 189/31, 268/81 i 329/75 (Slika 2).



Slika 2. Konturni dijagram normala svih diskontinuiteta u istraživanom području.

B.2.1.a. SLOJEVITOST

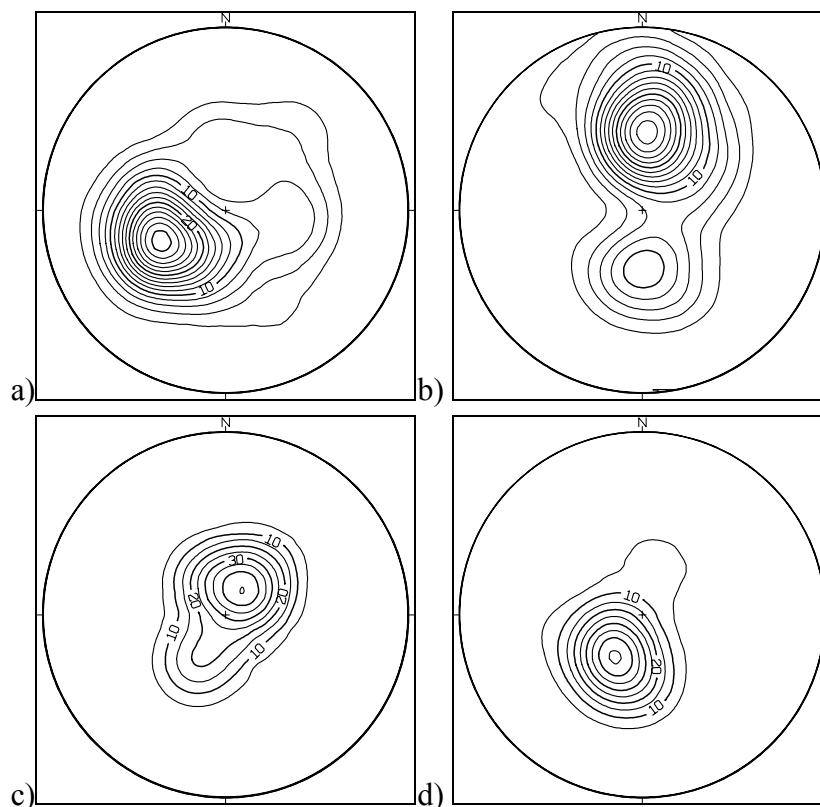
Ako se iz priloženog dijagrama (Slika 2) odvoje diskontinuiteti slojevitosti, može se vidjeti da je orijentacija slojevitosti svih naslaga u istraživanom području «dinarska» s blagom retrogradnom rotacijom (Matićec et al., 1998) (Slika 3). Unutar struktura mjestimice se mogu zapaziti pojave boranja.



Slika 3. Konturni dijagram normala diskontinuiteta slojevitosti u istraživanom području (308 podataka).

Orijentacije slojeva pojedinih litostratigrafskih članova su različite, i ukazuju na tektonsku aktivnost koja je pratila gotovo svaki prekid u sedimentaciji između njih. Raščlanjivanjem položaja nagiba slojeva svake od izdvojenih jedinica može se vidjeti da su slojevi neokomskih naslaga generalno nagnuti prema sjeveroistoku (65/38) (Slika 4a), cenomanskih prema jugu (181/33) (Slika 4b), foraminiferskih naslaga prema jugozapadu (232/16) (Slika 4c), a prominskih klastita prema sjeveroistoku (33/24) (Slika 4d). Jelarske naslage nemaju izraženu slojevitost.

Istraživanja tektonskih odnosa boksitonošnog područja Jasenice-Rovanjska (Sakač et al., 1978) dala su približno jednake rezultate. Naime, autori su ovim istraživanjima ustanovili da su kredne i donjopaleogenske naslage bile borane prije taloženja Promina klasitita, a da je zatim postojala druga faza boranja s približno istim pravcima pritiska (SI-JZ).



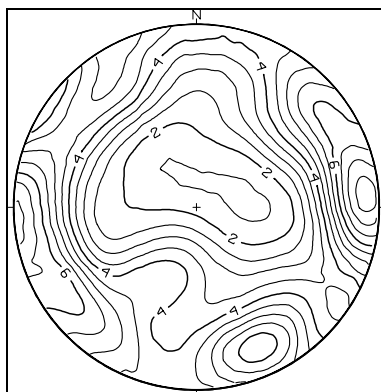
Slika 4. Konturni dijagrami diskontinuiteta slojevitosti u naslagama: a) neokoma (117 podataka), b) cenomana (142 podataka), c) foraminiferskog vapnenca (11 podataka) i d) Promina klastita (38 podataka).

B.2.1.b. OSTALI DISKONTINUITETI

Stijene istraživanog prostora bile su podvrgnute naprezanjima izazvanim djelovanjem više tektonskih faza. Kao što je već rečeno, značajniji tektonski pokreti prvobitno su uzrokovani pritiscima iz pravca SI-JZ, a na osnovi orijentacije pukotina može se zaključiti da je kinematska os «a» bila vertikalna. U drugoj fazi boranja, nakon sedimentacije gornjoeocenskih naslaga pritisci dolaze iz sličnog pravca, ali je kinematska os «a» bila horizontalna (Sakač et al., 1978). Istovremeno s drugom fazom boranja (ili nešto kasnije) odvijala su se navlačenja. Najmlađi tektonski poremećaji uvjetovani su djelovanjem pritisaka iz pravca SZ-JI. Oni reaktiviraju rasjede jednakog pružanja, ali sada s horizontalnim kretanjem.

Ostali diskontinuiteti (osim slojevitosti), koji su važni za inženjerskogeološka razmatranja, već su na terenu, prema strukturnom sklopu, podijeljeni na diskontinuitete klivaža osne ravnine i diskontinuitete koji su okomiti na regionalnu strukturnu os B. Četvrta skupina diskontinuiteta obuhvaća sve one koji nemaju pravilnosti ili ne spadaju u bilo koji od navedenih sistema.

Svi navedeni diskontinuiteti su općenito prilično strmi, gotovo vertikalni. Iz konturnog dijagrama (Slika 5) se može vidjeti da prevladavaju oni koji imaju pružanje S-J (267/81) i SI-JZ (331/76).



Slika 5. Konturni dijagram normala svih diskontinuiteta, osim slojevitosti, u istraživanom području.

III. METODE ISTRAŽIVANJA

Podaci koji su korišteni u ovom radu uglavnom su prikupljeni tijekom istraživačkih radova za potrebe geotehničkog projekta Jadranske autoceste na dionici «Tunel Sveti Rok-Maslenica». Istraživanja su provedena u dvije faze. Prva faza provedena je u sklopu idejnog geotehničkog projekta. Tom prilikom izvedena su terenska istraživanja u sklopu kojih je izrađena geološka karta područja u mjerilu 1:5000 (Prilog 2), u pojasu širine 500 m, i profil po osi ceste mjerila 1:5000/500. Uz to provedeni su i hidrogeološki istraživački radovi.

Detaljna istraživanja u sklopu glavnog geotehničkog projekta rađena su na podlogama mjerila 1:1000. Istraživanja koja su provedena 1998. godine rezultirala su izradom geološke karte područja od 100 metara širine oko osi autoceste. Uz kompletan uzdužni profil mjerila 1:1000/1000, na mjestima gdje su to projektni zadaci zahtijevali, izrađeni su i poprečni inženjerskogeološki profili u mjerilu 1:200/200.

Uz vrlo opsežna istraživanja koja su izvršena za potrebe geotehničkog projekta u ovom radu daju se rezultati i sedimentoloških istraživanja. Korelacijom inženjerskogeoloških i sedimentoloških značajki stijena utvrđuje se povezanost i važnost utjecaja sedimentno-petroloških značajki stijena na izradu inženjerskogeološkog modela.

Kao i u svim sličnim projektima, vrlo bitno je koristiti iskustva i analogiju s drugim istraživanim područjima sličnih značajki. Radi toga se u diskusiji daje prikaz i usporedba svojstava karbonatnih stijena iz istraživanog područja s rezultatima ispitivanja sličnih stijena u drugim područjima.

U ovom poglavlju se opisuju način i norme prema kojima su izvršeni svi istraživački radovi. Istraživanja su podijeljena u dvije skupine: terenski istraživački radovi i laboratorijska istraživanja.

A. TERENSKA ISTRAŽIVANJA

Brojni istraživači bili su uključeni u vrlo opsežne terenske istraživačke radove ovog područja. Terenski istraživački radovi počeli su seizmološkim i seizmotektonskim istraživanjima. Zatim je izvršeno geološko, inženjerskogeološko i hidrogeološko kartiranje, geofizičko istraživanje i istraživačko bušenje.

Terenskim ispitivanjima, uglavnom istraživačkim bušenjem, dobiveni su brojni uzorci koji su ispitivani u laboratoriju.

A.1. SEIZMOLOŠKA I SEIZMOTEKTONSKA ISTRAŽIVANJA

Seizmološka i seizmotektonska istraživanja provedena su u sklopu geotehničkih istraživačkih radova za Jadransku autocestu na dionici Sveti Rok-tunel «Sveti rok»-Maslenica (Kuk et al., 1998). Istraživanja su provedena u regionalnom i lokalnom smislu oko istraživane trase, a posebna pozornost posvećena je položaju četiri vijadukta: Crna draga, Vuči polje, Božići i Rovanjaska. Seizmološka istraživanja bila su posvećena proučavanju prostornih, vremenskih i energetskih značajki seizmičke aktivnosti u ovom području.

A.2. GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Terenska geološka istraživanja slijedila su proučavanje postojećih podataka i fotogeološku obradu snimaka mjerila 1:5000. Već se iz avionskih snimaka moglo vidjeti da će kartiranje terena biti olakšano činjenicom da je veći dio područja nepokriven. Tipični krški krajolik, mjestimice obrastao makijom, s velikim izdanačnim zonama pogodan je za geološko kartiranje.

Kao što je spomenuto, **geološko kartiranje** terena za idejni geotehnički projekt izvedeno je na topografskoj podlozi mjerila 1:5000. Ta su istraživanja utvrdila litostratigrafske članove i njihov odnos, tektoniku područja i osnovne inženjerskogeološke karakteristike stijena (Matićec et al., 1998). Omogućila su polaganje trase autoceste u mjerilu 1:1000. Zatim su detaljnim geološkim kartiranjem terena na karti mjerila 1:1000, na brojnim točkama opisane litološke, stratigrafske i tektonske karakteristike područja (Matićec & Fuček, 1999).

Strukturna razmatranja istaknula su položaje i orijentacije osnovnih tektonskih zona i definirala neotektonske aktivnosti (Matićec & Fuček, 1999).

A.2.1. SEDIMENTOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Osim općih geoloških, na terenu su provedena i sedimentološka opažanja.

Prije svega, na terenu su izdvojene litostratigrafske jedinice. Posebna pažnja usmjerena je na njihov litološki sastav, geometriju sedimentnog tijela, strukturu i teksturu, značajke slojevitosti itd. Osim toga izdvojene su stijene različite dijageneze, trošenja i inženjerskogeoloških značajki.

A.2.1.a. VAPNENCI

Terenska makroskopska klasifikacija strukturnih tipova vapnenaca i u inženjerskogeološkoj praksi već je neko vrijeme bazirana na modificiranoj Dunham-ovoj klasifikaciji (Dunham, 1962) (Tablica 1). Tom se klasifikacijom naglašavaju bitne strukturne razlike unutar izdvojenih litostratigrafskih jedinica vapnenca, pa je ona korištena prilikom terenskih istraživanja.

Tablica 1. Klasifikacija struktura vapnenaca prema Dunham-u (1962) s nadopunama Embry-a i Klovan-a (1972) (iz Tišljar, 2001; str. 62).

Primarne komponente nisu pri taloženju međusobno organogeno vezane						Primarne komponente su pri taloženju organogeno vezane		
<10% komponentata ima dimenzije >2 mm			>10% komponentata >2 mm			Litifikacija organizama na staništu i u položaju rasta ili vezivanje komponentata životnom djelatnošću organizama		
Stijene sadrže mulj - mikrit			Stijene bez mulja			Baundston (Boundstone)		
<10% komponentata ima promjer 0.03-2 mm	>10% komponentata ima promjer 0.03-2 mm	Zrna imaju međusobnu potporu (međusobno se dodiruju)		Zrna bez međusobne potpore («plivaju» u mulju)	Zrna imaju međusobnu potporu (međusobno se dodiruju), u međuzrnskim porama izlučen je cement	Organizmi koji hvataju sediment (dendroidni organizmi)	Organizmi koji vežu sediment (cijanobakterije)	Organizmi koji tvore skeletnu rešetku (koralji i koralinaceje)
Madston (Mudstone)	Vekston (Wackestone)	Pekston (Packstone)	Grejnston (Grainstone)	Floutston (Floatstone)	Radston (Rudstone)	Baflston (Bafflestone)	Bajndston (Bindstone)	Frejmston (Framestone)

U sklopu sedimentoloških istraživanja provedena je i mikropetrografska analiza uzoraka stijena.

U ovom se radu, između ostalog, utvrđuju fizička i mehanička svojstva stijena u ovisnosti o značajkama strukture intaktne stijene. Radi toga, stijene su grupirane u litostratigrafske jedinice, ali se svaka izdvojena jedinica detaljnije podijelila prema mikrofacijsnim značajkama, tipovima dijagenetskih promjena, kao i značajkama klastičnih sedimenata. Tako su stijene podijeljene i u nekoliko skupina koje se donekle razlikuju od standardnih SMF¹ tipova (Flügel, 1982) (Tablica 2). Razlika je u tome što je podjela na «Standardne mikrofacijske tipove» (SMF) rađena za vapnence,

¹ Standard microfacies types (Flügel, 1982)

ali ne uključuje i dijagenetski izmijenjene stijene koje su u ovom području vrlo raširene. Tako se tipovi stijena, koji su izdvojeni u radu, ni u kojem slučaju ne smiju smatrati ili poistovjećivati sa «standardnim mikrofacijsnim grupama», jer se samo neki od njih mogu usporediti s tipovima stijena nevedenim u prilogu (Tablica 2). Oni su izdvojeni temeljem najznačajnijih svojstava stijena istraživanog područja, bez obzira jesu li te karakteristike uvjetovane sedimentnim ili dijagenskim procesima vapnenaca ali i karbonatnih klastičnih stijena. Takvim pristupom olakšava se usporedba njihovih inženjerskogeoloških svojstava.

Tablica 2. Tipovi i osnovne značajke standardnih mikrofakijesa prema Wilson-u (1975) i Flügel-u (1982) (iz Tišljar, 2001, str. 183-184)

SMF	Tip stijene	Teksturane značajke	Okoliš taloženja
1	Spikulit	Tamni glinoviti vekston, organskom tvari bogati spikulitni kalcisiliti. Spikule su obično orijentirane paralelno i potisnute kalcitom.	Bazen, dubokomorski okoliš s malim obrocima taloženja.
2	Mikrobioklastični kalcisilit	Sitni bioklasti i peloidi u vrlo sitnozrnatom grejnstonu ili pekstonu; riplovi malih dimenzija s kosom laminacijom.	Otvoreni šelf u blizini donjeg dijela padine, donji rub šelfa.
3	Pelagički madstoni i vekstoni	Mikritni matriks sadrži razasute pelagičke fosile (radiolarije, globigerinide) ili makrofaunu (krhotine tankoljuštarnih školjakaša).	Otvoreni šelf u blizini donjeg dijela padine, donji rub šelfa.
4	Mikrobreče ili bioklastično-litoklastični pekstoni	Zaobljena zrna, česta gradacija. Zrna polimiktnog ili monomineralnog podrijetla: kvarc, rožnjaci i karbonatni detritus.	Odron na čelu padine, resedimentirani vapnenci.
5	Grejnstoni/pekstoni	S bioklastima nanesenim s organogenog grebena. Geopetalne ispune i poroznost «efekta kišobrana» s usipavanim internim sedimentom.	Grebenska plićina – reef flank.
6	Grebenski radstoni	S velikim bioklastima ili razlomljenim dijelovima organogene skeletne rešetke biolitita; nema matriksa.	Predgrebenska padina – fore-reef slope; visokoenergijska zona.
7	Baundstoni	S in situ litificiranim sesilnim organizmima. Kao podtip: frejmstoni, bajndstoni ili baflistoni.	Organogeni greben, često na rubu platforme.
8	Vekstoni s cijelim organizmima	Uloženim u mikrit, samo pojedinačni bioklasti, dobro očuvana infauna i epifauna.	Šelfna niskoenergijska laguna s otvorenom cirkulacijom ispod normalne osnovice valova.
9	Bioklastični vekstoni ili bioklastični mikriti	Fragmenti skeleta različitih organizama, mikritizirani bioklasti, biotubacija.	Plitka voda s otvorenom cirkulacijom iznad ili neposredno ispod osnovice valova
10	Pekstoni/vekstoni	S obavijenim i abradiranim bioklastima	Strukturna inverzija: prevladavaju zrna koja potječu iz visokoenergijskih plićaka, koja su nakon spuštanja niz padinu taložena u mirnoj vodi.
11	Grejnstoni	S obavijenim bioklastima i sparitnim cementom.	Pijesci na rubu platforme sa stalnom djelatnošću valova na osnovici ili iznad osnovice valova.
12	Kokina, bioklastični pekstoni, grejnstoni ili radstoni	S koncentracijom školjakaša, krinoida i dasikladaceja.	Obično na padini i rubu šelfa.
13	Onkoidni (biosparitni) grejnstoni		Vrlo plitka voda umjereno visoke energije.
14	Lag-vapnenci	Obavijena i abradirana zrna, mjestimice pomiješana s oidima i peloidima, koja su pocrnila ili su obojana Fe-mineralima, alohoni litoklasti, tanki slojevi.	Polagana akumulacija krupnozrnastog detritusa u zoni s jakim ispiranjem valovima.
15	Ooliti	S dobro sortiranim oidima s tangencijalnom mikrostrukturom ovoja, promjera obično od 0.5-1.5 mm, česta kosa slojevitost.	Visokoenergijski oidni plićaci, žali i plimni prudovi.
16	Peletni grejnstoni	S pretežito fekalnim peletima mjestimice pomiješanim s ostrakodima ili bentosnim foraminiferama	Vrlo plitka voda sa samo umjerenom cirkulacijom.
17	Pelspariti ili grejnstoni s agregiranim zrnima	Grapestone, s aglutiniranim peloidima i pojedinačnim obavijenim zrnima.	Zaštićeni plićak s ograničenom cirkulacijom vode, plimne ravnice.
18	Foraminiferski ili dasikladacejski grejnstoni	S koncentracijom skeleta bentoskih foraminifera i dasikladaceja.	Plimna ravnic i kanali laguna.
19	Loferiti, laminirani madstoni/vekstoni	S prijelazom u fenestralne pelsparite, česta ostrakodno-peloidna zajednica, mjestimice bentosne foraminifere, puževi i zelene alge.	Izolirani zaljevi i slane bare (ponds).
20	Algalni stromatoliti i stromatolitički madstoni		Plimna zona ili intertidal.
21	Spongiostromatski madstoni	Algalne i mikrobakterijske konvolucije u mikritu.	Plimne bare (tidal ponds).
22	Floutstoni/vekstoni, mikriti s krupnim onkoidima		Stajaća ili mirna voda na rubu priobalne bare.
23	Nelaminirani, nefosiliferi, čisti homogeni madstoni	Mjestimice s kristalima halita, gipsa i anhidrita.	Hiperslane plimne bare
24	Radstoni ili floutstoni	S krupnim litoklastima i bioklastima, klasti obično sadrže mikrit bez fosila, mjestimice imbricacija klasta i kosa slojevitost, bez mikrita.	Lag-sedimenti u plimnim kanalima; «intraformacijske breče».

Provedena istraživanja ne mogu dati nedvosmislene i precizne odgovore o okolišu taloženja sedimenata pa se u radu daju mogući uvjeti taloženja stijena. Prilikom ovakve okvirne interpretacije uvjeta taloženja vapnenačkih stijena primjenjivana je klasifikacija okoliša prema Tišljaru (2001) (Tablica 3), a iz nje su uglavnom korišteni termini za skupine okoliša.

Tablica 3. Podjela okoliša taloženja karbonatnih sedimenata prema Tišljaru (2001) .

Glavne skupine okoliša	Okoliš
Plitkomorski okoliši	
Vadozne zone i emerzije	vadozna zona zona emerzije i okršavanja
Periplimni okoliši i okoliši plimne ravnice	natplimni okoliši (<i>supratidal</i>) sabkha okoliši plimni okoliši (<i>intertidal</i>) plitki potplimni okoliši (plitki <i>subtidal</i>)
Potplimni okoliši	lagunski okoliši okoliši dubljeg dijela potplimne zone (dublji <i>subtidal</i>)
Visokoenergijski plićaci: žali i plaže	stražnji žal (<i>backshore</i>) prednji žal (<i>foreshore</i>) potopljeni žal ili obalno lice (<i>shoreface</i>)
Okoliši grebenskoga kompleksa	grebenski okoliš zagrebenski okoliš predgrebenski okoliš
Dubljevodni i pelagički okoliši	

A.2.1.b. KLASTIČNE KARBONATNE NASLAGE

Kod klastičnih karbonatnih naslaga, bitne su karakteristike zrna (veličina, oblik, sferičnost i zaobljenost) i cementa i/ili matriksa te njihovog odnosa, i načina pakiranja zrna i klasta.

Klastični sedimenti se na osnovi veličine zrna dijele uglavnom prema Wentworth-ovoj (1922) ili Atterbergovoj skali (1905), prema tome koriste li se rezultati u sedimentologiji ili inženjerskoj geologiji. S obzirom da su cjelokupni istraživački radovi obavljeni u svrhu određivanja kvalitete stijenske mase i njezine geotehničke klasifikacije, korištena je podjela koja je razumljiva i svakodnevna u geotehnici. To je Atterbergova skala bazirana na broju 2 (Tablica 4).

Tablica 4. Klasifikacija klastičnih sedimenata na osnovi veličine zrna prema Atterberg-u (1905).

	mm
blokovi	200
krupni šljunak	20
sitni šljunak	2
krupni pijesak	0.2
sitni pijesak	0.02
prah	0.002
glina	

Prema navedenoj klasifikaciji u istraživanom prostoru mogu se naći krupnozrnata do sitnozrnata breča do brečokonglomerat Jelar naslaga sa zrnskom ili matriksnom potporom; krupnozrnati do sitnozrnati konglomerat i krupnozrnati pješčenjak Promina naslaga sa zrnskom ili matriksnom potporom.

Sferičnost i zaobljenost određivani su vizualnom metodom, tj. usporedbom zrna s tablicom Krumbein-a i Sloss-a (1963).

Za svojstva karbonatnih stijena bitni su također i dijagenetski procesi te njihove karakteristike, tj. njihova vrsta, slijed i opseg. Npr. za vapnence se može ustanoviti da su prvo potpuno dolomitizirani, i zatim djelomice dedolomitizirani, što ima velikog utjecaja na gotovo sve mehaničke karakteristike.

A.2.2. INŽENJERSKOGEOLOŠKO KARTIRANJE

Istraživanje terena s ciljem određivanja inženjerskogeoloških značajki i pojava moglo bi se nazvati inženjerskogeološkim kartiranjem. Osim opisanih litoloških značajki stijena, na oko 100 opažajkih točaka, direktno na izdancima obavljena su mjerenja i ocjene značajki stijenske mase.

Nakon što su podaci grupirani prema litostratigrafskim jedinicama, oni su dalje razdijeljeni prema pripadnosti različitim strukturnim blokovima. U svakom od pojedinih strukturnih blokova izdvojeni su sustavi diskontinuiteta koji su mu svojstveni. Za svaki pojedini strukturni blok i litološki član posebno su razmatrana svojstva svih diskontinuiteta.

Terenskim dijelom inženjerskogeoloških istraživanja na predmetnom su području obuhvaćene slijedeće značajke stijena:

- morfološke karakteristike terena (nagib padina; učestalost, veličina i geometrija krških pojava);
- intenzitet trošenja i trošne zone (na mjestima izvedenih usjeka);
- stabilnost padina;
- orijentacija diskontinuiteta i njihova geneza;
- razmak među diskontinuitetima (veličina blokova);

- karakteristike diskontinuiteta ispitivane su prema preporukama ISRM-a (ISRM, 1978c):
 - postojanost;
 - zijev;
 - ispuna;
 - hrapavost; veličinsko područje promatranja:
 - nekoliko metara i
 - 10 centimetara (JRC^2_{10});
 - trošnost stijenci diskontinuiteta.

A.2.3. HIDROGEOLOŠKI ISTRAŽIVAČKI RADOVI

Kao podloga izradi hidrogeološke karte poslužila je geološka karta mjerila 1:5000 i uzdužni profil na trasi autoceste mjerila 1:5000/500. Činjenica jest da su pojedine dionice buduće autoceste još uvijek minirane, pa su u tim područjima istraživanja provedena na većoj udaljenosti od trase ceste ili tunela. Prema tvrdnjama autora elaborata hidrogeoloških istraživanja (Pavičić & Ivičić, 1998), s obzirom na karakter geološke građe terena, to nije znatno umanjilo spoznaje o hidrogeološkim odnosima istraživnog područja.

Provedenim istraživanjima područja odredile su se osnovne hidrogeološke karakteristike terena kojima će proći cesta, način pojavljivanja i podzemnog i površinskog tečenja vode, njen utjecaj na gradnju i održavanje ceste. Osim toga, ustanovio se mogući utjecaj dijelova prometnice na crpilište pitke vode, rijeku Zrmanju i more, uz uvažavanje činjenice da je veći dio trase unutar parka prirode.

A.3. ISTRAŽIVAČKO BUŠENJE

Istraživačko bušenje u istraživanom prostoru izvedeno je tijekom lipnja i srpnja 1998. godine. Radovi su izvedeni u organizaciji Zavoda za geotehniku, Instituta građevinarstva Hrvatske iz Zagreba, i u suradnji s bušačom tvrtkom «Libertas» iz Opatije. Rezultati istraživačkog bušenja su prikazani u Knjizi C.8.2. geotehničkog projekta (IGH, 1999a).

Radovi su obuhvatili:

- geodetsko iskolčenje položaja bušotine;
- bušenje s jezgrovanjem;
- praćenje razine podzemne i tehnološke vode u bušotinama: za vrijeme bušenja i po stabilizaciji nivoa poslije bušenja;
- fotografiranje jezgre bušotine;

² Joint wall roughness coefficient

- geološku i inženjerskogeološku determinaciju jezgre bušotine;
- odabir uzoraka za laboratorijska ispitivanja;
- geodetsko snimanje položaja ušća bušotine.

A.3.1.a. TEHNIČKI PODACI

Istraživačko bušenje izvedeno je motornim bušaćim graniturama: «Geotech 605 D» proizvođača Geotech, «Diamec 262» proizvođača Atlas Copco, «Janez J-600» i «Geomašina BAT-300». Bušilice su opremljene troklopnim pumpama kapaciteta 80-250 l/min za cirkulaciju isplake tijekom bušenja. Bušaći pribor korišten je prema švedskom standardu, tip «B» jednostruke i tip «T» dvostruke jezgrene cijevi uz uporabu bušaćih šipki profila 50/38.5 mm s unutrašnjim spojnicama dužine 18 cm unutrašnjeg promjera 22 mm.

Izbušeno je 58 plitkih istraživačkih bušotina ukupne dubine 711 metara. Bušotine nose oznake SM ili SMO, ovisno o tome nalaze li se u trasi ili objektu.

Duž cijele dubine bušotine izvedeno je jezgrovanje. Ovisno o materijalima i mogućnostima dobivanja jezgre u zadovoljavajućem postotku i kvaliteti rijetko je bušeno na suho, jednostrukom jezgrenom cijevi. Veći dio probušenih naslaga izvađen je jednostrukom ili dvostrukom jezgrenom cijevi, uz upotrebu vode za hlađenje i ispiranje krune.

Jezgra je slagana u sanduke metarske dužine, osim u slučaju pridobivanja dužih “svijeća” koje se, radi određivanja tehničkih značajki stijena, nisu lomile.

A.3.1.b. DETERMINACIJA JEZGRE BUŠOTINE

Bez obzira što je geološka i inženjerskogeološka determinacija jezgre rutinski posao, on zahtijeva široko geološko znanje i ozbiljan pristup. Prilikom determinacije jezgri bušotina u istraživanom prostoru određene su mnoge karakteristike stijena i to slijedećim redoslijedom:

- podjela jezgre na intervale prema litostratigrafskom kriteriju;
- izdvajanje zona različitih trošnosti, razlomljenosti stijene i kavernoznih i drugih pojava unutar litostratigrafskih članova;
- detaljan opis svakog od pojedinih intervala sadrži:
 - o determinacija stijene;
 - o trošnost (zone);
 - o razlomljenost;
 - o opis diskontinuiteta;
 - o broj sustava diskontinuiteta;
 - o nagib diskontinuiteta;

- o razmak diskontinuiteta;
- o zijeve pukotina;
- o trošnost stijenki diskontinuiteta;
- o ispunjena pukotina;
- o hrapavost (JRC_{10}) stijenki diskontinuiteta;
- o vlažnost;
- o boja stijene ili ispune;
- o tekstura stijene;
- o struktura stijene;
- o dijagenetski procesi;
- o mineralni i fosilni sadržaj.

Osim toga, poštujući litostratigrafiju, razlomljenost i trošnost naslaga, izdvojeni su intervali u kojima su određeni:

- postotak jezgre;
- indeks kvalitete jezgre (RQD^3);
- broj pukotina po dužinskom metru (FF^4).

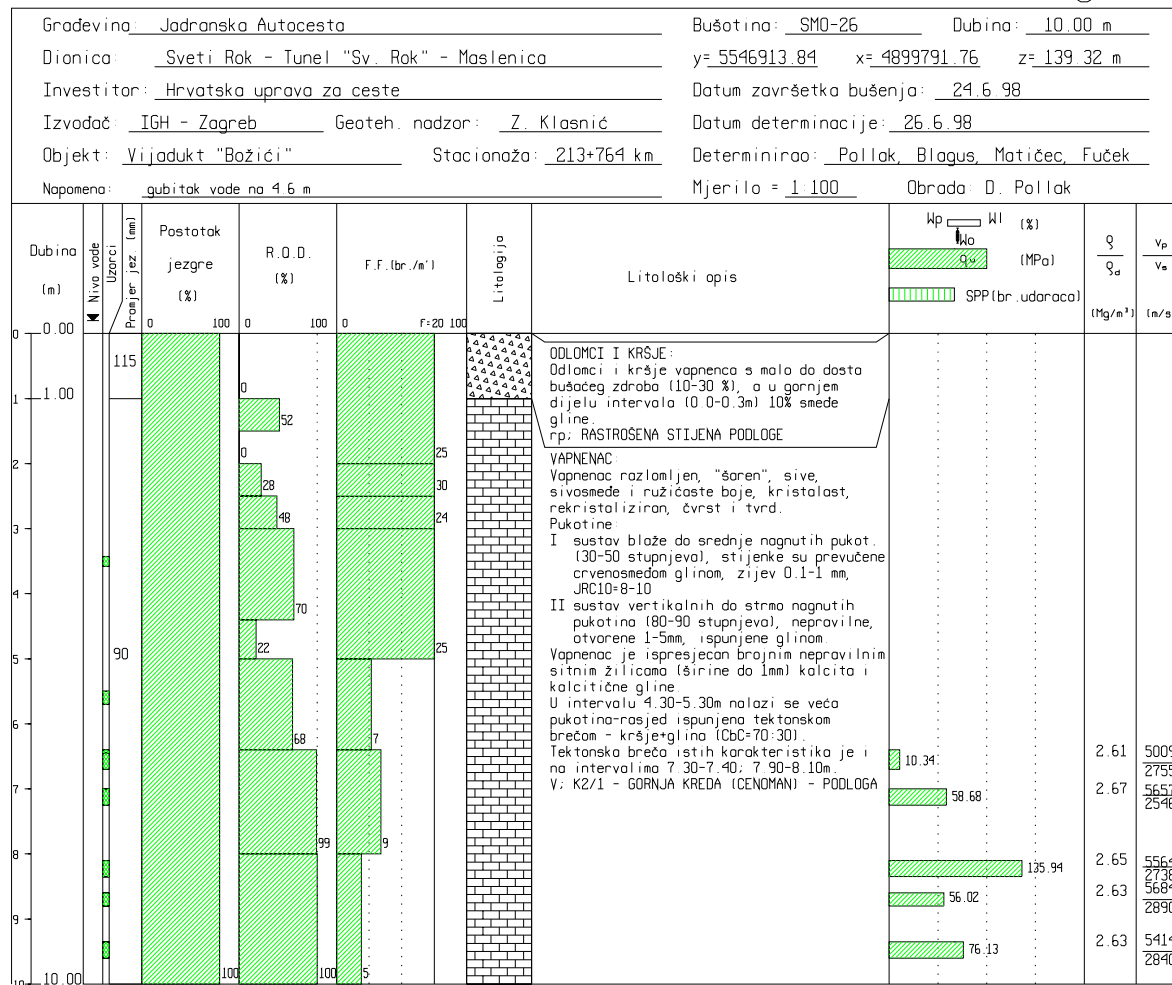
Svi podaci dobiveni bušenjem prikazani su profilima istraživačkih bušotina (Slika 6).

³ Rock quality designation

⁴ Fracturing factor

PROFIL BUŠOTINE

INSTITUT ZA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA – Zagreb



Slika 6. Primjer profila bušotine SMO-26.

A.4. GEOFIZIČKA ISPITIVANJA

Metode geofizičkih ispitivanja, koja su provedena u sklopu istraživačkih radova za geotehnički projekt, odabrane su u skladu s građom terena i zahtjevima predviđenih objekata. Provedena su istraživanja plitkom seizmičkom refrakcijom, a smjerovi prostiranja profila, gustoća mjernih točaka, dubina zahvata i lokacije ispitivanja bili su uvjetovani prijašnjim spoznajama o geološkoj građi terena i zahtjevima projekta.

Iz rezultata seizmičkih ispitivanja, a temeljem brzina kompresijskih seizmičkih valova, bilo je moguće odrediti i ocijeniti (Mitrović, 1999):

- dubinu do temeljne stijene i njezinu konfiguraciju;
- lateralne kontakte u temeljnoj stijeni (posljedica izmjene vrste i kvalitete litoloških članova u refraktoru);
- vertikalne presjeke duž zadanih profila;
- položaje rasjeda i rasjednih zona;

- stupanj okršenosti i kvalitetu stijenske mase.

Prilikom ispitivanja posebna je pažnja posvećena otkrivanju «loših», jače razlomljenih ili okršenih zona i rasjeda.

Terenska ispitivanja i interpretaciju rezultata izvršila je geofizička ekipa Zavoda za geotehniku iz Instituta građevinarstva Hrvatske u Zagrebu.

A.4.1. PLITKA REFRAKCIJSKA SEIZMIKA

Refrakcijska seizmika je geofizička istraživačka metoda koja se temelji na refrakciji seizmičkih valova koji nastaju na kontaktu dviju sredina različitih brzina širenja valova. Val koji se generira na površini počinje se širiti brzinom gornje sredine. Pod uvjetom da je brzina širenja valova u donjoj sredini veća nego u gornjoj i kada val stigne na granicu pod kritičnim kutom (kutom totalne refrakcije, Snellius-ov zakon), val se dalje širi duž granice brzinom koja odgovara donjoj sredini i vraća se na površinu (Hygensov princip). Na površini se nailazak valova registrira geofonima.

Refrakcijska seizmika zasniva se na određivanju brzina seizmičkih valova i lociranju značajnijih diskontinuiteta, a primjenjuje se u svrhu kontinuiranog praćenja prostornog rasporeda i promjena u fizičkim i mehaničkim značajkama materijala u podlozi. Temelji se na refrakciji seizmičkih valova na kontaktu dviju sredina čije seizmičke karakteristike zadovoljavaju uvjet $v_2 > v_1$, tj. da je brzina širenja seizmičkih valova u donjoj sredini veća nego u gornjoj.

A.4.1.a. UVJETI I OGRANIČENJA METODE

Za uspješnu primjenu metode seizmičke refrakcije u određivanju granica različitih sredina po dubini treba postojati tzv. normalan slijed brzina, što znači da se materijali veće brzine širenja seizmičkih valova trebaju nalaziti ispod onih s manjom brzinom. U obrnutom slučaju ne može doći do totalne refrakcije valova duž plohe diskontinuiteta.

Inverzija brzina vrlo je česta u kršu kod pojava kaverni, zatim raspucanih vapnenaca ispod kompaktnih, flišnih lapora ispod vapnenaca, kod različite zbijenosti i saturiranosti sedimentnih serija. U takvim slučajevima metoda ne daje točne rezultate po dubini, ali se može izdvojiti debljina površinske, trošne zone materijala najmanje brzine.

A.4.2. OPSEG TERENSKIH RADOVA I OBRADA

Ispitivanja seizmičkom refrakcijom izvršena su duž trase i na objektima, a obuhvatila su trinaest lokacija usjeka, nasipa, vijadukata i prolaza. Na mjestima vijadukata profiliranje je obavljeno duž osi autoceste, dok su na usjecima, nasipima i većini prolaza obavljena poprečno na os autoceste. Izvedeno je 30 refrakcijskih profila 33, 55 ili 110 m, ukupne dužine 2101 m. Lokacije, smjerovi i duljine profila su određene programom istraživanja, a svaki od izvedenih profila točno je lociran geodetskim mjerenjima. Snimljene su brzine uzdužnih valova s kontinuiranom pokrivenošću geofonskih mjesta po pojedinim profilima na svakih 3, 5 ili 10 metara.

Rezultati seizmičko-refrakcijskih mjerenja obrađeni su na osobnim računalima GRM metodom (Generalized Reciprocal Method). Analizom prvih nailazaka seizmičkih valova u s-t dijagramu dobivene su dromokrone uzdužnih valova. Iz njih su izračunate brzine i debljine zona različitih seizmičkih značajki. Kontinuirano su praćene dubine do pojave (seizmičkih) diskontinuiteta elastičnosti, odnosno lateralne promjene vezane uz izmjene litoloških članova po kvaliteti i vrsti, kao i pojave rasjednih zona i jače rastrošenih zona u osnovnoj stijeni. Veza između vrste, odnosno kvalitete litoloških članova i brzine prostiranja seizmičkih valova ocijenjena je iz empirijski određenih vrijednosti. Detaljnija litološka slika dobivena je u kombinaciji s geološkom prospekcijom i bušenjem.

U prilogima geofizičkog elaborata (Mitrović, 1999) prikazani su seizmički profili za sve refrakcijske sonde, kao i dromokrone prvih nailazaka. U profilima su interpretirane granice zona trošenja, upisane su brzine širenja P valova, ali su označena i mjesta lateralnih promjena. Temeljem seizmičkih ispitivanja izdvojene su jače razlomljene ili okršene zone.

B. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

Gotovo sva laboratorijska ispitivanja čvrstih stijena, koja su ovdje prikazana, dio su standardne procedure za određivanje kvalitete i značajki intaktne stijene, a u svrhu klasifikacije stijenske mase za geotehnički projekt. Prije navođenja procedura laboratorijskih ispitivanja fizičkih i mehaničkih svojstava bitno je naglasiti ulogu sedimentoloških značajki stijena u gotovo svakom od pojedinih svojstava stijene. Iz idućih poglavlja vidi se da su uvjeti taloženja i dijagenetski procesi jedan od bitnih faktora koji određuju fizička i mehanička svojstva intaktne stijene. Tako, spoznaja o uvjetima nastanka stijene, dijagenetskim i postdijagenetskim procesima uvelike može koristiti prilikom tumačenja i shvaćanja pojedinih značajki i načina ponašanja stijene. Upravo radi toga u ovom su slučaju provedena i mikroskopska istraživanja karakterističnih uzoraka.

Sva laboratorijska ispitivanja stijenskog materijala provedena su na uzorcima iz jezgara bušotina.

B.1. MIKROSKOPSKA ISTRAŽIVANJA

U dosadašnjim inženjerskogeološkim istraživanjima karbonatnih stijena prečesto su zanemarivane sedimentno-petrološke karakteristike stijena. S obzirom da je tema ovog magistarskog rada upravo ovisnost inženjerskogeoloških o sedimentno-petrološkim svojstavima stijena, jasno je da su provedena i sedimentno-petrološka istraživanja. Upravo mikroskopsko istraživanje bila je osnova za donošenje zaključaka o značajkama intaktne stijene.

Petrografski preparati (40 komada) veličine 2x2.5 cm i debljine 3-4 µm analizirani su u prolaznoj polariziranoj svjetlosti.

Mikroskopska istraživanja otkrila su detalje strukture, odredila mineralni i mikrofosilni sastav sastojaka koji sačinjavaju stijenu, otkrila tip i karakteristike poroznosti itd. Osim toga, na taj su se način bolje upoznali procesi cementacije, dijageneze i trošenja stijene za koje se pretpostavlja da bitno utječu na fizička i mehanička svojstva karbonatnih stijena.

U svrhu boljeg uočavanja strukturnih detalja, te međusobnog razlikovanja karbonatnih minerala, pojedini mikroskopski izbrusci su bojeni Alizarinom – crvenim S.

Prilikom odredbi značajki stijena u mikroskopskim preparatima korištena je nadopunjena (Flügel, 1982) Folk-ova podjela vapnenaca (1959) (Tablica 5).

Nakon određivanja mikroskopskih značajki stijena koje su bitne za ovaj rad, interpretirani su i tipovi mikrofacijesa tih stijena.

Tablica 5. Folk-ova (1959) podjela vapnenaca s nadopunama prema Flügel-u (1982) (iz Tišljar, 2001; str. 64).

	ALOKEMIJSKI VAPNENCI alokema > 10%		MIKRITNI VAPNENCI alokema		BIOSTROME, BIOHERME I STROMATOLITI
	sparita>mikrita	sparita<mikrita	1-10%	<1%	
Skupina	I	II	III a	III b	IV
> 25% intraklasta	intrasparudit intrasparit	intramikrudit intramikrit	mikrit s intraklastima	mikrit	biolitit
> 25% ooida	oosparudit oosparit	oomikrudit oomikrit	mikrit s ooidima		
> 25% onkoida	onkosparrudit onkosparit	onkomikrudit onkomikrit	mikrit s onkoidima		
odnos fosila i peleta 3:1	biosparrudit biosparit	biomikrudit biomikrit	mikrit s fosilima		
odnos fosila i peleta 3:1 do 1:3	biopelsparit	biopelmikrit	mikrit s fosilima i peletima		
odnos fosila i peleta 1:3	pelsparit	pelmikrit	mikrit s peletima		

B.1.1.a. ODREĐIVANJE MIKROFACIJESA

S obzirom da istraživano područje izgrađuju sedimentne karbonatne stijene, određivanje na mikroskopskim preparatima sadržavalo je:

- određivanje elemenata koji izgrađuju stijenu:
 - čestice: determinacija svih čestica koje čine stijenu, mineralogija, geneza, opis, veličina, sortiranost, zaobljenost, itd.;
 - cement: mineralni sastav, tip, veličina kristalića, granice kristala i međusobni odnosi;
- određivanje međusobnog odnosa tih elemenata;
- struktura i pakiranje;
- dijagenetski procesi: rekristalizacija, dolomitizacija, dedolomitizacija, mikritizacija, otapanje;
- prsline, pukotine, kavernice;
- klasifikacija stijene prema strukturnom tipu, ali i dijagenetskim elementima.

Svaki od izdvojenih litostratigrafskih tipova stijena je na ovaj način detaljnije razdijeljen prema mikrofacijsnim značajkama, ali i dijagenetskim procesima koji su na istraživanom području vrlo rašireni, intenzivni i imaju veliki utjecaj na fizička i mehanička svojstva stijena.

Mikroskopski preparati su izrađeni iz istih uzoraka na kojima su se izvodila i fizičko-mehanička ispitivanja. Takav način istraživanja smanjio je pogreške koje proizlaze iz usporedbe uzoraka uzetih na različitim mjestima jezgre ili izdanka.

B.2. ODREĐIVANJE FIZIČKIH SVOJSTAVA STIJENE

U Institutu građevinarstva Hrvatske-Zagreb, Zavodu za geotehniku i Zavodu za prometnice provedena su brojna laboratorijska ispitivanja materijala, kao što su: upijanje vode, određivanje gustoće i ispitivanje uzorka ultrazvučnom tehnikom.

B.2.1. UPIJANJE VODE

Za ispitivanje upijanja vode korišteni su neobrađeni uzorci (24 kom.) iz jezgre bušotina, mase 150-500 g, iznimno više. Određivanje upijanja vode izvršeno je u Institutu građevinarstva Hrvatske, u Zavodu za prometnice, prema trenutno važećoj normi za ispitivanje upijanja vode pod atmosferskim tlakom (HRN B.B8.010/80).

Uzorci su osušeni do konstantne mase u sušionici, na temperaturi od 105 °C, poslije ohlađeni u eksikatoru i zatim vagani. Nakon određivanja mase (m_s) uzorci su se potapali u posudi s destiliranom vodom do $\frac{1}{4}$ svoje visine. Poslije 1 sat posuda se nadopunila vodom do polovice visine uzorka, a nakon 2 sata do $\frac{3}{4}$ visine. Poslije 22 sata uzorci su se potpuno potopili u vodi. Nakon 24 sata od početka potapanja uzorci su se vagali prvi puta. Mjerenja su se obavljala svaka 24 sata, sve dok se uzorci nisu do kraja zasitili vodom, tj. do konstantne mase (m_v).

Upijanje vode se u masenim postocima računalo prema formuli:

$$U_v = \frac{(m_v - m_s)}{m_s} * 100$$

gdje je:

U_v – upijanje vode (%);

m_s – masa suhog uzorka (g);

m_v – konstantna masa uzorka nakon upijanja vode (g).

B.2.2. ODREĐIVANJE GUSTOĆE I POROZNOSTI

Određivanja gustoće i poroznosti stijena provedena su na istim uzorcima kao i ispitivanja upijanja vode. Ispitivanje je također izvršeno u Institutu građevinarstva Hrvatske, prema trenutno važećoj normi za “Određivanje zapreminske mase sa porama i šupljinama, zapreminske mase bez pora i šupljina i koeficijenta zapreminske mase i poroznosti prirodnog kamena” (HRN B.B8.032/80).

Poslije mjerenja konstantne mase uzorka nakon upijanja vode (m_v), obavlja se mjerenje mase vodom zasićenog uzorka pomoću hidrostatičke vage, tj. pod vodom (m_2). S obzirom da je prema definiciji gustoća prirodnog kamena s porama i šupljinama definirana kao odnos njegove mase i volumena zajedno s porama i šupljinama, gustoća na 209 uzoraka izračunata je prema formuli:

$$\rho_v = \frac{m_s}{(m_v - m_2) \cdot 1/\rho_{sv}}$$

gdje je:

ρ_v – gustoća s porama i šupljinama (g/cm^3);

ρ_{sv} – gustoća destilirane vode (uzima se 1 g/cm^3);

m_s – masa uzorka osušenog na zraku (g);

m_v – konstantna masa uzorka nakon upijanja vode (g);

m_2 – masa vodom zasićenog uzorka mjerena u vodi (g).

Nakon toga se na nekim uzorcima (24 kom.) određivala njihova gustoća bez pora i šupljina, pri atmosferskom pritisku, pomoću vakuuma (ρ_s).

Osušeni uzorak (na 105°C) se najprije ohladi i zatim se približno 30 g praha istog uzorka stavlja u piknometar volumena 50 cm^3 i mase (m_p), a zatim se odredi masa piknometra zajedno s uzorkom ($m_p + m_s$). Nakon što se piknometru dodaje destilirana voda, vakuumom se oslobode svi mjehurići zraka. Nakon prestanka izlaska mjehurića zraka, u piknometar se dolijeva voda (do oznake) i određuje masa piknometra, uzorka i vode ($m_p + m_s + m_m$).

Gustoća bez pora i šupljina izračunava se prema formuli:

$$\rho_s = \frac{(m_p + m_s) - m_p}{50 - (((m_p + m_s + m_m) - (m_p + m_s))/\rho_{sv})}$$

gdje je:

m_p – masa piknometra (g);

m_s – masa uzorka osušenog u zraku (g);

m_m – masa vode u piknometru (g);

ρ_{sv} – gustoća destilirane vode (g/cm^3);

ρ_s – gustoća uzorka bez pora i šupljina (g/cm^3).

Ovim je ispitivanjima omogućeno izračunavanje koeficijenta gustoće i apsolutne poroznosti na 24 uzorka.

Koeficijent gustoće (i) je odnos gustoće s porama i šupljinama, i gustoće mase bez pora i šupljina. Dakle:

$$i = \frac{\rho_v}{\rho_s}$$

gdje je:

i – koeficijent gustoće;

ρ_s – gustoća bez pora i šupljina (g/cm^3);

ρ_v – gustoća s porama i šupljinama (g/cm^3).

Poroznost (apsolutna poroznost - n) je odnos volumena pora i šupljina i cjelokupnog volumena stijene u prirodnom stanju, a izračunava se prema formuli:

$$n = \left(\frac{1 - \rho_v}{\rho_s} \right) * 100$$

gdje je:

n – poroznost (%);

ρ_s – gustoća bez pora i šupljina (g/cm^3);

ρ_v – gustoća s porama i šupljinama (g/cm^3).

B.2.2.a. PODJELA POROZNOSTI

Podjelu poroznosti karbonatnih stijena razradili su Choquette i Pray (1970). Njihova podjela poroznosti temelji se na morfologiji pora, ali i genezi, ovisno o tome jesu li pore nastale pod utjecajem strukture stijene (fabric selective) ili ne. U radu se koristi podjela poroznosti koju su nadogradili Reeckmann i Friedman (1981) (Tablica 6), selektirajući pore prema vremenu postanka na:

- primarne – nastale prilikom taloženja, i
- sekundarne - nastale nakon završetka taloženja.

Tablica 6. Podjela poroznosti karbonatnih stijena prema Reeckmann-u i Friedman-u (1981) (iz Tišljar, 1994; str 267, 268).

Primarna poroznost	Sekundarna poroznost
poroznost biogene skeletne rešetke:	unutarkristalna
a) unutar skeletarna,	kalupna
b) međuskeletarna;	šupljinska
unutarzrnska	kanalna
međuzrnska	špiljska
fenestralna	prslinska
kišobranska	brečna
	«kredasta»
	nastala organizmima koji buše podlogu
	bioturbacijska
	poroznost pukotina stezanja

B.2.3. LABORATORIJSKO ISPITIVANJE ULTRAZVUKOM

Brzina širenja seizmičkih valova kroz uzorke ispitana je određivanjem brzine širenja elastičnih valova ultrazvučnom tehnikom niske frekvencije, baziranoj na preporukama ISRM-a (1978b). Mjerenje je provedeno na uzorcima pripremljenim za ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće (209 kom.). Ispitivanja su izvršena uređajem OYO, New-Sonicviewer 5217A.

Dobivene se brzine širenja primarnih (v_p) i sekundarnih (v_s) valova često koriste za izračunavanje dinamičkih modula i Poisson-ovog koeficijenta ispitivanog uzorka, ali i za određivanje poroznosti, strukture stijene itd.

B.3. ODREĐIVANJE MEHANIČKIH SVOJSTAVA STIJENE

B.3.1. PRIPREMA UZORAKA ZA ISPITIVANJE

Uzorci intaktne stijene odabrani su iz jezgre bušotina, i nisu bili zaštićeni od gubitka i primitka vlage. Prirodna vlažnost im nije utvrđivana.

Fragmenti jezgre obrađeni su u skladu s preporukama američkog standarda ASTM, D4543-85. Naime, prema tim preporukama odnos visine i promjera uzorka je 2.0-2.5. Baze valjaka su okomite na os uzorka i izbrušene upotrebom dijamantnih brusnih ploča. Posebna pozornost se posvećuje paralelnosti baza valjaka.

B.3.2. ISPITIVANJE JEDNOOSNE TLAČNE ČVRSTOĆE

Jednoosna tlačna čvrstoća (σ_u) definirana je kao odnos maksimalne sile (P_{max}) i površine poprečnog presjeka (A_0) koju je uzorak imao na početku pokusa.

Promjena dužine uzorka (l_0) i sila (P) tijekom pokusa mjereni su pomoću transducera za duljinu odnosno silu. Uz pomoć AD konvertera izmjerene veličine su digitalizirane što je omogućilo kreiranje dijagrama «osno naprezanje - osna deformacija». Zabilježene su vrijednosti sile i pomaka svake druge sekunde tijekom pokusa.

Ovdje treba napomenuti da preporuka ISRM-a, prema kojoj bi promjer uzorka morao biti najmanje 6-10 puta veći od najvećeg zrna u uzorku, prilikom ispitivanja Promina konglomerata, radi tehničkih razloga nije mogla biti ispunjena.

Rezultati ispitivanja 209 uzoraka u obliku dijagrama «osna deformacija – osno naprezanje» prikazani su u knjizi Laboratorijska istraživanja (IGH, 1999b). U istoj knjizi navedeni su osnovni podaci o uzorku, i izračunate vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće i Youngovog modula.

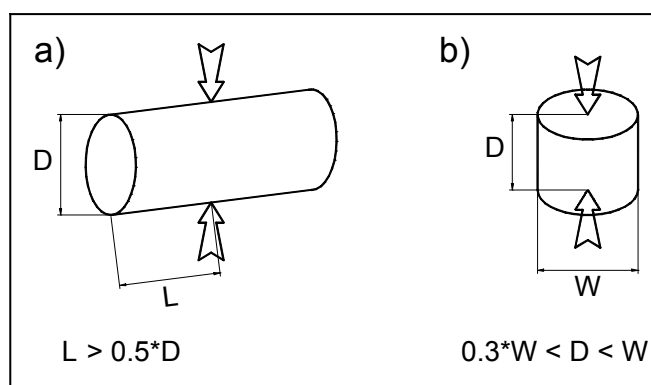
Ispitivanje je provedeno u preši RDT-500 (SBEL, USA) ukupnog kapaciteta 2MN.

B.3.3. ISPITIVANJE ČVRSTOĆE STIJENE U TOČKI

Osim procjene čvrstoće intaktne stijene čekićem, na terenu se ponekad provode i ispitivanja čvrstoće stijene pri opterećenju u točki. Dobiveni rezultati se gotovo isključivo koriste kao indeksni pokazatelj čvrstoće kojim se mogu reducirati vrlo skupa i kompliciranija ispitivanja jednoosne tlačne ili vlačne čvrstoće.

Ispitivanje je rađeno prema postupku za ispitivanje čvrstoće stijene pri opterećenju u točki, tj. prema preporukama Komisije Međunarodnog društva za mehaniku stijena (ISRM, 1985). Obavljena su na 233 uzorka nabušene jezgre uglavnom dijametralnim, a vrlo rijetko aksijalnim testom (Slika 7).

Posebnost ovoga testa je u tome što se sila prenosi preko konusnih elemenata i djelujući u dijametralnim točkama uzorak dovodi do sloma.



Slika 7. Standardi za odabir uzoraka određivanja čvrstoće stijene u točki a) dijametralni b) aksijalni test (ISRM, 1985).

Nekorigirana čvrstoća stijene u točki izračunava se prema izrazu:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2}$$

gdje je:

I_s – nekorigirana čvrstoća stijene u točki;

P – primijenjena sila prilikom sloma;

D_e – ekvivalentan promjer jezgre, koji je jednak:

$D_e^2 = D^2$, za dijametralni test, dok za aksijalni test vrijedi:

$$D_e^2 = \frac{4 \cdot A}{\pi}$$

gdje je:

$A = W \cdot D$, tj. površina ispitivanog tijela definirana točkama djelovanja sile.

S obzirom da je I_s u velikoj mjeri ovisan o D odnosno D_e vrijednostima kod aksijalnog testa, rezultati se vrlo često korigiraju, tj. svode na standardne D vrijednosti od 50 mm. Time se dobiva

korigirani indeks koji se označava $Is_{(50)}$. Naravno, i u ovom radu su rezultati prikazani kroz korigirani indeks $Is_{(50)}$ koji je jednak:

$$Is_{(50)} = F * Is$$

gdje je:

$$F = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{0.45}$$

Korelacija $Is_{(50)}$ podataka s jednoosnom čvrstoćom moguća je preko korelativnog faktora, koji znatno varira ovisno o vrsti materijala (15-50), trošenju, razlomljenosti, itd., tako da se on ne može preuzeti iz literature.

B.3.4. ISPITIVANJE INDIREKTNE VLAČNE ČVRSTOĆE (BRAZILSKIM TESTOM)

Ispitivanje vlačne čvrstoće temelji se na činjenici da uzorak djelovanjem iznadgraničnog vlačnog naprezanja doživi slom koji daje vrijednost vlačne čvrstoće. Promatrano u dvoosnom polju naprezanja, vrijednost vlačne čvrstoće se može odrediti i primjenom jednoosne tlačne sile, pod uvjetom da konačno tlačno naprezanje ne smije biti tri puta veće od glavnog vlačnog naprezanja. Takav test se naziva Brazilskim i daje indirektnu vlačnu čvrstoću.

Slijedeći upute ISRM-a (1978a) provedeni su Brazilski testovi na valjkastim uzorcima (24 kom.) iz jezgri bušotina, čija je visina bila gotovo jednaka radijusu baze.

Vrijednost vlačne čvrstoće dobivena je iz izraza:

$$\sigma_t = \frac{-0.636 * P}{D * t}$$

gdje je:

σ_t – vlačna čvrstoća (MPa);

P – sila prilikom sloma (N);

D – promjer uzorka (mm);

t – visina valjkastog uzorka (mm).

B.3.5. ISPITIVANJE ČVRSTOĆE POD TROOSNIM OPTEREĆENJEM

Ispitivanje čvrstoće intaktne stijene pod troosnim opterećenjem je provedeno u skladu sa standardom ASTM D 2664-86, pa su prije ispitivanja uzorci (12 kom.) obavijeni teflonskom membranom. Ispitivanje se odvijalo u triaksijalnoj ćeliji SBEL TRIAXIAL CELL 10 u preši RDT-500 ukupnog kapaciteta 2 MN.

Bočni ćelijski tlakovi na kojima je ispitivano bili su 5, 10, 15, 20, 25 i 30 MPa.

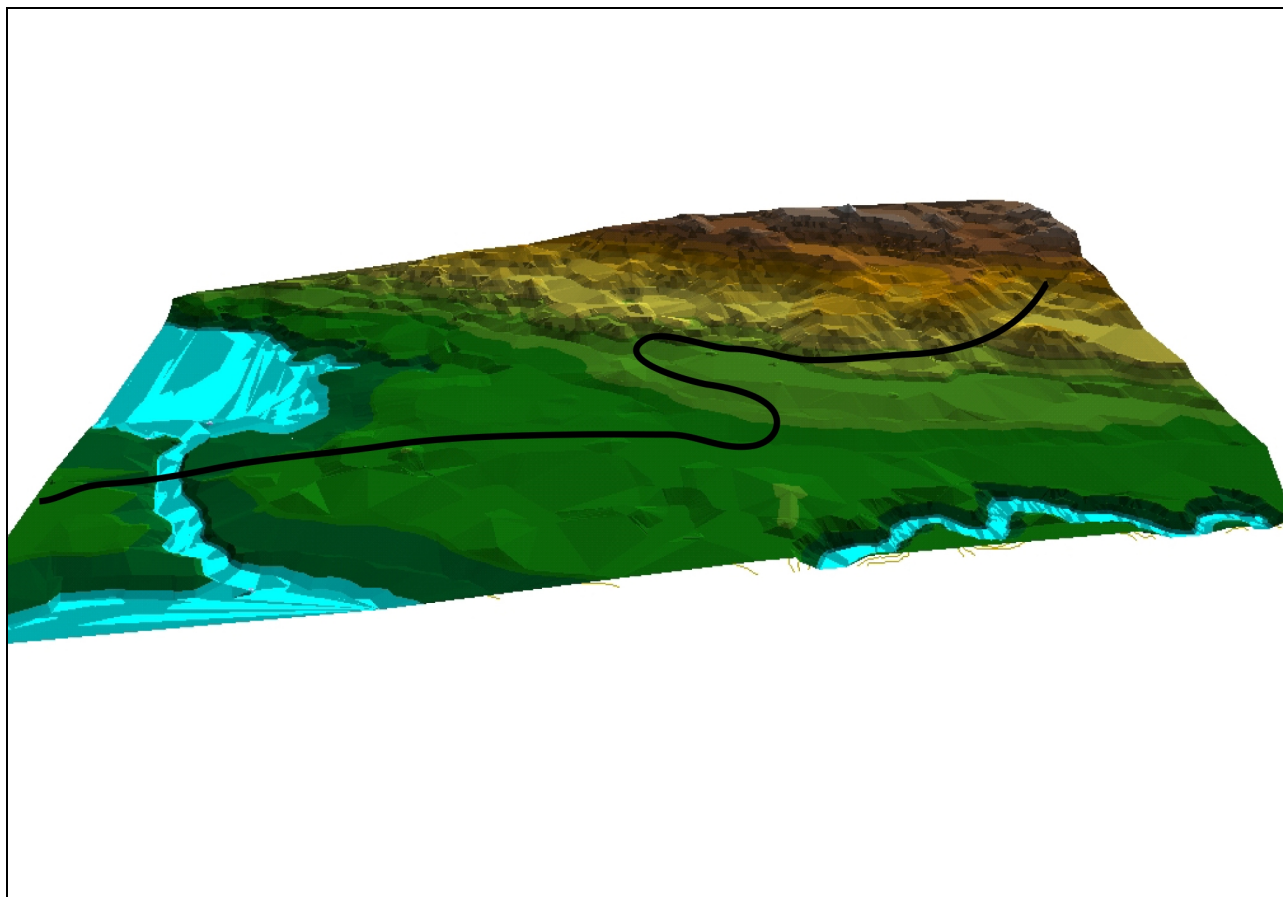
Vršna čvrstoća definirana je kao odnos maksimalne sile ($P_{\max}$) i površine poprečnog presjeka (A_0) uzorka prije početka pokusa. Youngov modul određen je kao sekantni modul za odabrane vrijednosti aksijalnog naprezanja.

Rezultati ispitivanja prikazani su na dijagramima deformacija-naprezanje. Na istim priložima prikazani su osnovni podaci o uzorku, bočni tlak na kojem je pokus obavljen, kao i izračunate vrijednosti vršne čvrstoće i Youngovog modula (IGH, 1999b).

IV. OPIS IZDVOJENIH JEDINICA

Trasa buduće autoceste od južnog portala tunela «Sv. Rok» pa do sela Zelenikovac, tj. sjeverni i sjeveroistočni dio istraživanog područja, prolazi strmim južnim padinama Velebita južno od Tulovih Greda. Padine karakterizira razvedeni reljef (Slika 8) i snažna okršenost, a izgrađene su od naslaga donje krede (neokom, apt i alb) i Jelar breča. Od sela Zelenikovac preko zaseoka Božići do Masleničkog mosta trasa autoceste prolazi blažim, djelomično «zaravnjenim» terenom izgrađenim uglavnom od karbonatnih naslaga neokoma, cenomana, Jelara i Promine. Samo uže područje oko budućeg vijadukta «Rovanjska» izgrađeno je od foraminiferskih vapnenaca (Pollak & Navratil, 2000) (Prilog 2).

Pojave kvartarnih naslaga rijetke su i samo djelomično prekrivaju teren gotovo isključivo u području južnih Velebitskih obronaka. Čine ih deluvijalni nanosi i crvenica, koja je često pokrivena makijom.



Slika 8. Trodimenzionalni prikaz morfologije šireg područja istraživanja.

A. KREDA

Najveći dio istraživanog terena izgrađen je od krednih karbonatnih naslaga. Donjokredne naslage ovog područja čine vapnenci i vapnenačke breče, koje izvan područja istraživanja transgresivno naliježu na jurske naslage (Ivanović et al., 1976a, b). Sedimentacija se, nakon prekida, nastavlja i u mlađoj kredi tako da u gornjokrednim naslagama dominiraju vapnenci.

A.1. VAPNENCI I BREČE – K₁¹⁻⁴ (NEOKOM)

Naslage koje predstavljaju donji dio donje krede pokrivaju veliki dio istraživanog područja. Njihova detaljnija raščlamba na vapnence i breče učinjena je isključivo prema litološkom kriteriju.

Vapnenci su masivni⁵ do debeloslojeviti, sivosmeđe do svjetlosmeđe boje, uglavnom madstonskog tipa s proslojcima peletnih vekstona i pekstona, rjeđe grejnstona. Prema Folkovoj klasifikaciji (Folk, 1959 i 1962) to su uglavnom mikriti, peletiferni mikriti, potpuno ili djelomice rekristalizirani mikriti grumulozne strukture i rjeđe pelmikriti do pelspariti. Vapnenci sadrže malo fosilnih ostataka, od neskeletnih sastojaka uglavnom peleta, do skeletnih sastojaka miliolide i ostrakode. Temeljem nalaza *Favreina njegosensis* BRÖNNIMANN ovim je naslagama određena neokomska starost (Matićec & Fuček, 1999). Strukture mikrofosila se uglavnom odlikuju mikritnim ili fibroznim kalcitom promjera 0.02-0.8 mm.

Prema istraživanjima za Osnovnu geološku kartu – list Obrovac, vapnenci iz ove litostratigrafske jedinice imaju visok postotak CaCO₃ i to oko 97-98 % (Vrsalović-Carević, 1967).

Rekristalizacija je relativno česta, a obuhvatila je najčešće mikritni, ali i fosilni detritus. Vapnenci su često brečoliki, razlomljeni, raspucani i po prslinama prožeti mrežom kalcitnih žilica.

Između pojedinih paketa slojeva vapnenca nalaze se slabo sortirane i neuslojene **breče**. Debljina proslojaka varira, ali pretežito iznosi 40-60 cm (Matićec & Fuček, 1999). Kršje je uglavnom uglato do poluuglato (prema Krumbein i Sloss, 1963). Breču sačinjava kršje donjokrednog sivosmeđeg do svjetlosmeđeg vapnenca iz neposredne stratigrafske podine, monomiktnog sastava i jednakog strukturnog tipa kao i gore opisani vapnenci, tj. uglavnom pripada vapnencima madston, a rjeđe vekston i pekston tipa. Veličina kršja je 0.1-5.0 cm, ali prevladavaju klasti između 0.5 i 2.0 cm. Vapnenački mikritni matriks rijetko sadrži primjese limonitne supstancije, koja u većim koncentracijama daje vezivu crvenkastu boju. Ima ga dovoljno pa dobro veže kršje, osim u rjeđim slučajevima gdje je pod utjecajem dijagenetskih ili postdijagenetskih procesa otopljen ili ispran.

Cijeli ovaj paket neokomskih naslaga, izgrađen od vapnenaca i breča, često je razlomljen, s nepravilnim tankim žilicama kalcita, a nerijetko i pukotinama zijeve do 2 mm s kalcitnom ispunom.

⁵ U tekstu se masivnim naslagama smatraju one koje nisu slojevite ili nemaju izražene slojne plohe.

U jače razlomljenim zonama česte su pojave rekristalizacije, pa mjestimice čak i dolomitizacije koje zonarno prate pukotine ili žilice. U takvim zonama i vapnenac može imati brečasti izgled, radi cementacije prslina i pukotina i rekristalizacije stijene.

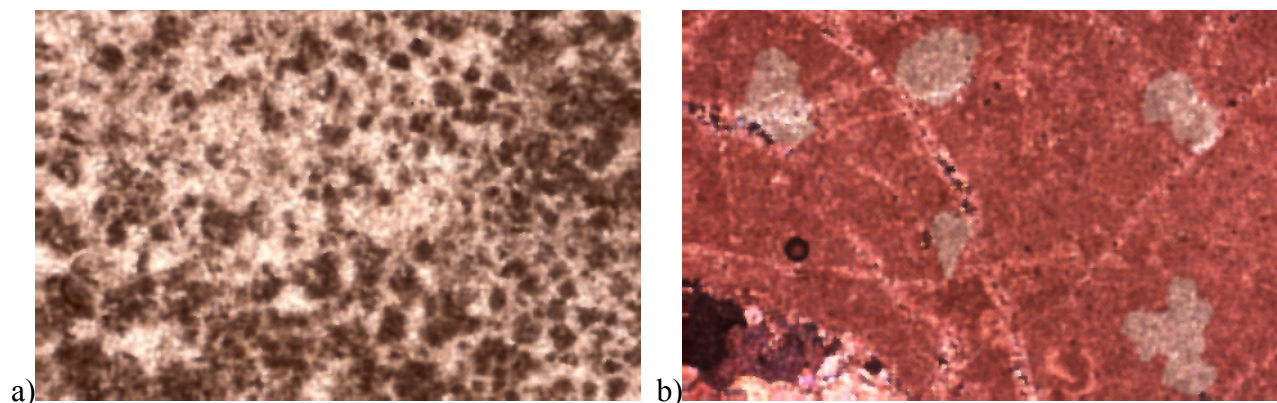
Na temelju sličnosti razvoja ovih naslaga s neokomskim vapnencima u drugim dijelovima Jadranske karbonatne platforme, može se pretpostaviti da u starijem dijelu ovog paketa naslaga prevladavaju vapnenci, dok je u mlađem dijelu zabilježena izmjena vapnenaca i breča (Matićec & Fuček, 1999). Granica između breča i vapnenaca je oštra i neravna, a mjestimice i nepravilna.

A.1.1.a. MIKROFACIJESI NEOKOMSKIH VAPNENACA I BREČA

Mikroskopskim istraživanjima neokomski su vapnenci prema mikrofacijesima razdijeljeni na:

1a) madstoni⁶

Pretežno su mikritnog sastava, bez fosilnog sadržaja, u nekim uzorcima djelomično rekristalizirani i s grumuloznom strukturom (Slika 9a). Makro i mikropukotine su vrlo česte. Njihove ispune sastoje se od nekoliko generacija sparitnog kalcita. Nerijetke su nepotpuno ispunjene ili prazne prsline, kao i šupljine otapanja i kavernice sa sekundarnim ispunama sparitnog kalcita. U odabranim uzorcima vrlo su rijetke pojave kasnodijagenetske dolomitizacije koje su također vezane uz pukotinske sustave (Slika 9b).



Slika 9. a) grumulozna struktura (bez analizatora, φ 20x⁷, $\blacksquare$ 13⁸, $\square$ 3122⁹) i b) početak kasnodijagenetske dolomitizacije vezan uz prsline (s analizatorom, obojano, φ 20x, $\blacksquare$ 19, $\square$ 3093a).

Navedena svojstva ukazuju na taloženje u niskoenergijskim okolišima zaštićenih plićaka/laguna s nepovoljnim uvjetima za život, gdje je bilo moguće odlaganje jedino karbonatnog mulja i vrlo rijetkih skeleta organizama.

⁶ Oznake pojedinih mikrofacijesa (1a, 1b, 2a, ...) primjenjuju se na mnogim prikazima rezultata ispitivanja, a njihov pregled prikazan je u prilogu 3

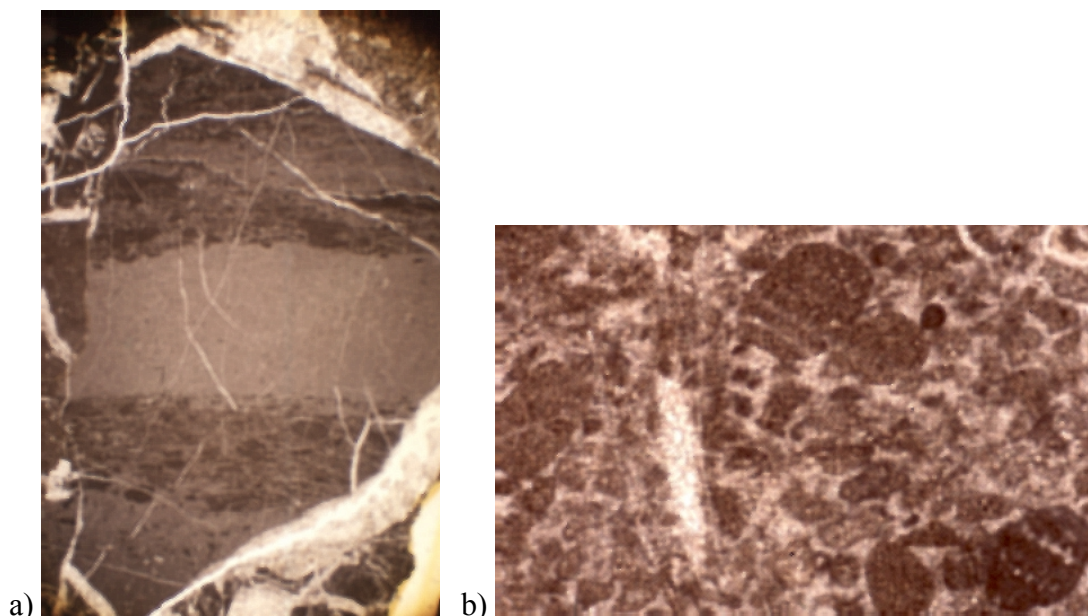
⁷ φ 20x -povećanje

⁸ $\blacksquare$ 13 - broj snimka na filmu

⁹ $\square$ 3122 – oznaka uzorka

1b) peletni i skeletni vekstoni/pekstoni, rjeđe grejnstoni

Unutar mikritnih vapnenaca nalaze se proslojci s alokemima najčešće, peloidima mikritne strukture (Slika 10a). Nerijetki su ostaci fekalnih peleta, favreina, na temelju čijeg nalaza je i određena starost naslaga (Slika 10b). Nešto su rjeđe pojave miliolida, ostrakoda, tankoljuštunih školjkaša i rijetko drugih intraklasta. Sortiranost alokema je relativno dobra, ali se mogu naći cijeli ostaci organizama ili samo njihovi fragmenti koji su uglati do poluzaobljeni. Vezivo je uglavnom mikritno, ali mjestimice i sparitno, tj. mikrosparitno. Pojava sparita je vrlo nepravilna i često vezana za procese rekristalizacije. Prema strukturnom tipu najčešći su pelmikriti, zatim biomikriti i biospariti, rijetko intraspariti.



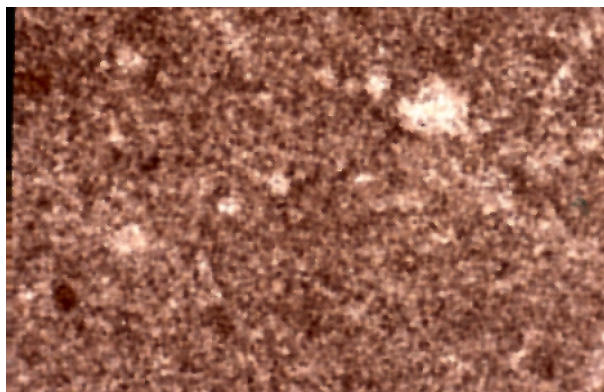
Slika 10. a) lamine pelmikrita u mikritu (bez analizatora, φ 5x, $\times$ 12, $\square$ 3110), b) favreinski pelsparit (bez analizatora, φ 20x, $\times$ 14, $\square$ 3116).

1c) rekristalizirani vapnenci

Djelomična ili potpuna rekristalizacija obuhvaća relativno velik dio neokomskih vapnenaca i breča. Često je vezana uz mikropukotinske ili makropukotinske sustave, osobito na mjestima gdje je primaran mikritni kalcit. U djelomično rekristaliziranim mikritnim dijelovima stijene vide se «rekristalizacijska gnijezda», i grumulozna struktura (Slika 11). Kristalići kalcita nastali rekristalizacijom su najčešće mikrosparitnih dimenzija s neravnim i nazubljenim ili nejasnim granicama.

Ovoj mikrofacijsnoj grupi dodani su samo oni uzorci koji su potpuno ili gotovo potpuno rekristalizirani.

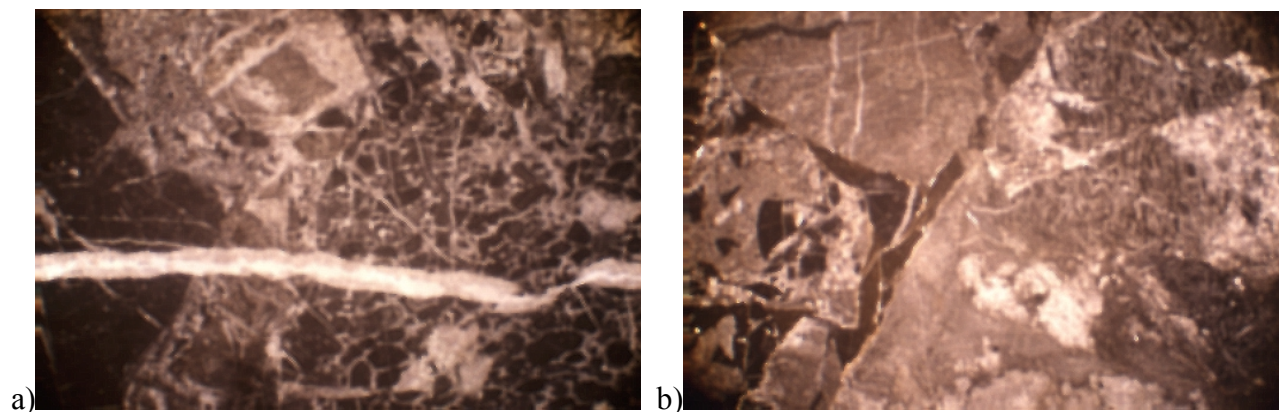
Vapnenačke breče nisu, temeljem mikroskopskih istraživanja preparata, detaljnije podijeljene, pa će se razmatrati kao jedinstveni mikrofacijs.



Slika 11. Potpuno rekristaliziran vapnenac grumulozne strukture s mikrosparitnim do sparitnim kalcitom (bez analizatora, φ 20x, ω 15, $\square$ 2912).

1d) vapnenačke breče

Breče se sastoje isključivo od vapnenačkih klasta centimetarskih do milimetarskih dimenzija. Klasti su uglavnom uglati do poluuglati, nesortirani ili slabo sortirani, u tangencijalnom kontaktu. Sastoje se od svih navedenih tipova neokomskih vapnenaca i to u gotovo podjednakom omjeru. Klasti su vezani mikritnim matriksom ili sparitnim kalcitom, a mjestimično se dobiva dojam da plivaju u rekristaliziranom dijelu stijene (matriksu). Breče su vrlo često nakon litifikacije tektonski raspucane i razlomljene i tako predstavljaju povoljan medij za rekristalizacijske procese, osobito mikritnog matriksa (Slika 12a i b).



Slika 12. Neokomske breče: a) (bez analizatora, φ 20x, ω 16, $\square$ 3075) i b) (bez analizatora, φ 5x, ω 20, $\square$ 3101).

A.1.2. INTERPRETACIJA OKOLIŠA TALOŽENJA

Masivni do debeloslojeviti neokomski vapnenci pretežno madstonskog tipa taloženi su u stabilnom plicem potplimnom (subtidal) okolišu s niskom energijom vode i nepovoljnim uvjetima za život. Mjestimični proslojci vekstona, pekstona ili rjeđe grejnstona s favreinama, peloidima, mikritnim intraklastima i rijetko miliolidama ukazuju na povremene donose intrabazenskog nelitificiranog materijala iz platformskih plićaka u mirnije i zaštićenije lagunske okoliše, tj. na vremenski ograničene, kraće periode s višom energijom vode.

U gornjim dijelovima ove litostatigrafske jedinice vidljivo je da su vapnenci ispresijecani mikroprrlinama i pukotinama paleookršavanja, a česte su i mikrokavernice milimetarskih dimenzija koje su naknadno ispunjene sparitnim kalcitom. Duž pukotina su mjestimice koncentrirana zrnca kvarca i limonita?, a stijena je naknadno intenzivno rekristalizirana. Unutar tih vapnenaca nalaze se ranije opisane nepravilne leće vapnenačkih breča koje pripadaju periplimnim intraformacijskim brečama i emerzijskim brečama.

Navedene karakteristike naslaga u gornjem dijelu litostratigrafske jedinice mogu se protumačiti djelovanjem sinsedimentacijske tektonike kada dolazi do učestalih oscilacija nivoa morske vode, pa se, uz vapnence izložene emerziji, pojavljuju i intraformacijske breče emerzijskog tipa.

Karakteristike ovih naslaga mogu se gotovo poistovjetiti sa značajkama litostratigrafskih jedinica Dragozetići-1 i 2 na otoku Cresu (Fuček et al., 1995), a mnogi su elementi zajednički s facijsnim jedinicama starije krede dinaričkog krša (K-1 i K-2) (Tišljar & Velić, 1991).

A.2. VAPNENCI - K₁⁵ (APT)

Zbog toga što se dio trase ceste koji čine aptske naslage nalazi u miniranom području, osnovne karakteristike ove litostratigrafske jedinice dobivene su iz okolice istraživanog prostora. Pretpostavlja se da ova litostratigrafska jedinica ne izgrađuje veliki dio trase.

Vapnenci aptske starosti su debeloslojeviti (2-3 m), do masivni, mjestimice sa stilolitskim šavovima, smeđaste do žućkastosive boje, strukturnog tipa madston do peloidni vekston, rjeđe peloidno-skeletni pekston. Od mikrofosilne zajednice utvrđene su orbitolinidne foraminifere (*Palorbitolina lenticularis*), rijetki ostaci onkoida izgrađenih od vapnenčke alge *Bacinella irregularis*, te proslojci bogati presjecima zelene alge *Salpingoporella dinarica* (Matićec & Fuček, 1999). Mjestimice, stijene sadrže i miliolidne foraminifere, prekrisalidine, ostrakode, nubekularide i kršje rudista. Na temelju utvrđene mikrofosilne zajednice može se utvrditi da stijene ove jedinice pripadaju donjem aptu (vapnenci s palorbitolinama, baćinelama i kršjem rekvijenija), a vjerojatno i gornjem aptu (uzorci s brojnim salpingoporelama koje su u širem području Jadranske karbonatne platforme u toj množini karakteristične upravo za to razdoblje) (Matićec & Fuček, 1999).

A.2.1. INTERPRETACIJA OKOLIŠA TALOŽENJA

Promjena uvjeta taloženja u odnosu na prethodni litostratigrafski član, osobito njegov «gornji dio», očituje se izostankom emerzijskih breča, strukturnim značajkama i fosilnim sadržajem koji je karakterističan za naslage taložene u nešto dubljoj, zaštićenoj lagunskoj sredini. Sve ovo upućuje na relativni porast morske razine koji je za ovo razdoblje karakterističan i u drugim dijelovima Jadranske karbonatne platforme (Cres – Fuček et al., 1995; zapadna Istra – Velić et al., 1995; Tišljar & Velić, 1991).

A.3. VAPNENCI I BREČE - K₁⁶ (ALB)

I ovaj je litostratigrafski član, radi opasnosti od mina, istražen u okolici istraživanog prostora. Bez obzira što naslage alba ne izgrađuju dio trase buduće autoceste, u ovom su radu predložene njihove osnovne karakteristike, da bi se dobio uvid u slijed i uvjete taloženja naslaga na ovim prostorima.

Albske naslage karakterizira izmjena slojeva vapnenaca i intraformacijskih breča. **Vapnenci** su žućkastosive boje, dobro uslojeni, nešto tanji od aptskih (< 50 cm), a predstavljaju peloidne vekstone-pekstone i žućkastosive madstone. **Breče** pokazuju značajke slične neokomskim: jasno je vidljiva interstratificiranost s vapnencima, zrnasta potpora, a u fragmentima nema mladih zrna. Na temelju nalaza mezoritolina i bentoske foraminifere *Pseudonummoloculina heimi* utvrđena je pripadnost albu (Matićec & Fuček, 1999).

A.3.1. INTERPRETACIJA OKOLIŠA TALOŽENJA

Nakon relativnog produbljivanja sedimentacijskog bazena u aptu, albske naslage nam ukazuju na njegovo oplićavanje. Opisani vapnenci su vjerojatno taloženi u plićacima s promjenjivom energijom vode. Tako su, u inače zaštićenoj i mirnoj sredini s malom energijom vode, povremeno olujama nanašane miliolide i gastropodi. Oscilacija morske razine i povremena kratkotrajna razdoblja olujnih plima tijekom alba dovele su do nastajanja proslojaka, leća ili slojeva peritidalnih breča.

A.4. VAPNENCI - K₂¹ (CENOMAN)

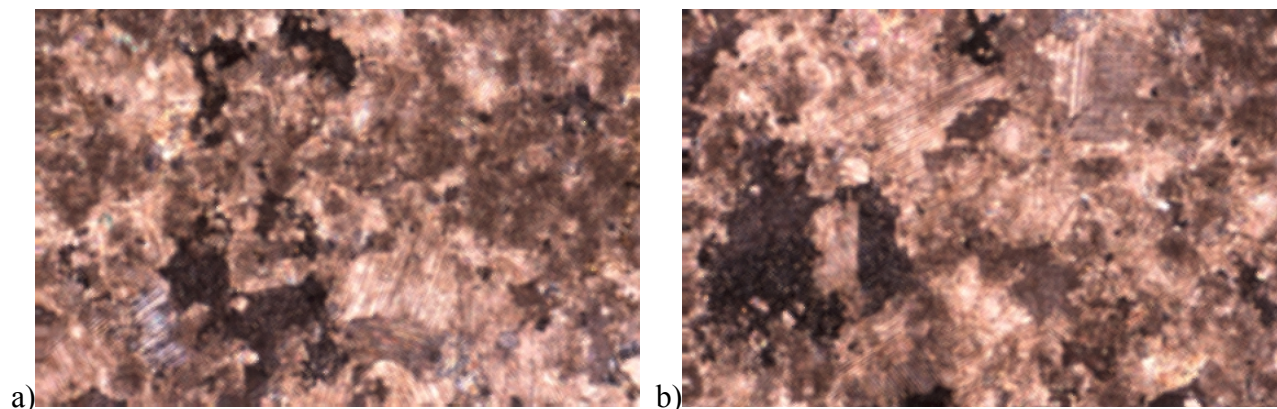
Cenomanski **vapnenci** su dobro slojeviti (30-60 cm), mjestimice čak laminirani, svjetložućkaste do svjetlosmeđe boje. Uglavnom su to mikro do makrokristalasti intenzivno rekristalizirani madstoni često grumulozne strukture. Skeletni i bioklastični vekstoni i pekstoni su rijetki i gotovo u potpunosti rekristalizirani. Unutar laminiranih madstona mjestimice se zapaža fenestralna građa. Sitno se rudistno kršje u području između Rovanske i Jasenica nalazi tek mjestimice, dok su u području južno od Rovanske utvrđeni pojedini slojevi s brojnim radiolitidnim rudistima i njihovim kršjem (Matićec & Fuček, 1999). Mikrofosilna zajednica sadrži oblike šireg stratigrafskog raspona, kao što su numolokuline, tekstularide, spirolokuline, nubekularide i sl. Na području trase sjeverno od Jasenica su zabilježeni presjeci bentoske foraminifere *Broeckina* (*Pastrikella*) *balcanica*, kao i brojnih drugih oblika koji ukazuju na stratigrafsku pripadnost višem dijelu srednjega i gornjem cenomanu (Matićec & Fuček, 1999). Vršni dijelovi ovih naslaga su crvenkasto obojeni, izrazito okršeni, nerijetko i brečirani (breče otapanja), pri čemu su dublje penetrativne pukotine nerijetko ispunjene boksitičnom tvari. Zapažene su i pojave lokalne kasnodijagenetske dolomitizacije mikritnog i rekristaliziranog vapnenca s idiomorfnim dolomitnim romboedrima, ali mjestimice i procesima dedolomitizacije.

A.4.1.a. MIKROFACIJESI CENOMANSKIH VAPNENACA

Cenomanski vapnenci su, prema mikrofacijesnim značajkama, razdijeljeni na:

2a) rekristalizirani vapnenci

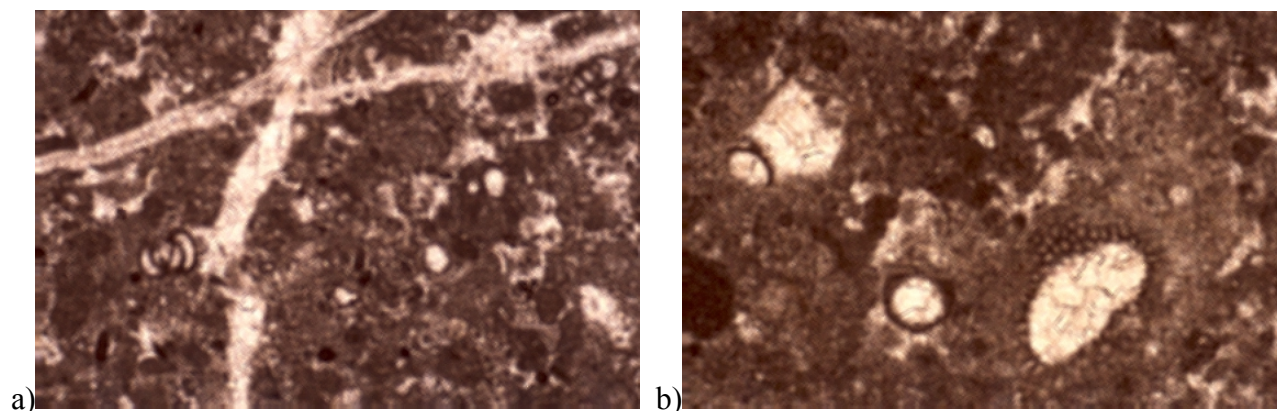
Vrlo intenzivni rekristalizacijski procesi često zahvaćaju cenomanske vapnence istraživanog područja. Rijetki relikti primarne stijene uglavnom su madstonskog tipa. U mikroskopskim preparatima s nekompletnom rekristalizacijom vide se «rekristalizacijska gnijezda» sparitnog kalcita. Veličina kristalića varira od mikrosparita do krupnokristaliničnog sparita veličine oko 0.5 mm. Rubovi kristalića su nepravilni i nazubljeni ili nejasni, a primarna struktura stijene u većini slučajeva je kompletno izgubljena (Slika 13). Učestalost pukotina je vrlo velika, tj. stijena je jako razlomljena.



Slika 13. Sparitni kalcit većih dimenzija nastao rekristalizacijom: a) (s analizatorom, φ 20x, ω 30, $\square$ 3174) i b) (s analizatorom, φ 20x, ω 31, $\square$ 3174)

2b) peloidni grejnstoni (biospariti) i skeletni pekstoni/vekstoni (biomikriti)

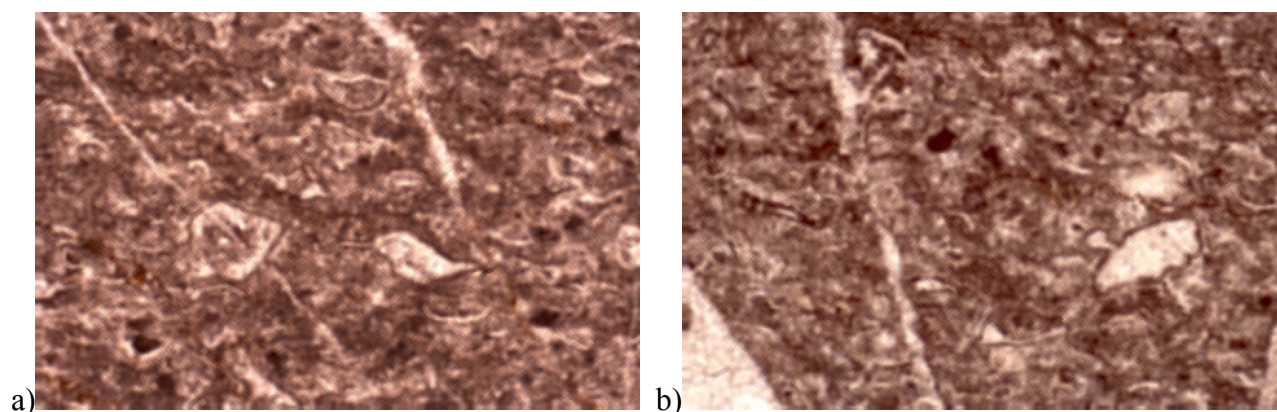
U reliktima stijene koji nisu rekristalizirani rjeđe se zamjećuju vapnenci s peloidima, foraminiferama (miliolida i Textularida) miliolidama (Slika 14a), cijanobakterijama (Aeolisachus katori), algama (Taumatoporella) (Slika 14b) i intraklastima maksimalne veličine do 2 mm. Cement je mikritno-sparitni, mjestimice rekristaliziran. Sudeći prema biofacijesu, zaobljenosti intraklasta i tipu cementa, može se zaključiti da je ovaj tip stijene taložen u plićoj sredini s nešto povišenom energijom vode.



Slika 14. a) Miliolidno-peloidni sparit do mikrit (bez analizatora, $\varnothing$ 20x, $\times$ 28, $\square$ 3168), i
b) Taumatoporellsko-peloidni mikrit do sparit (bez analizatora, $\varnothing$ 20x, $\times$ 29, $\square$ 3144).

2c) laminirani vapnenci

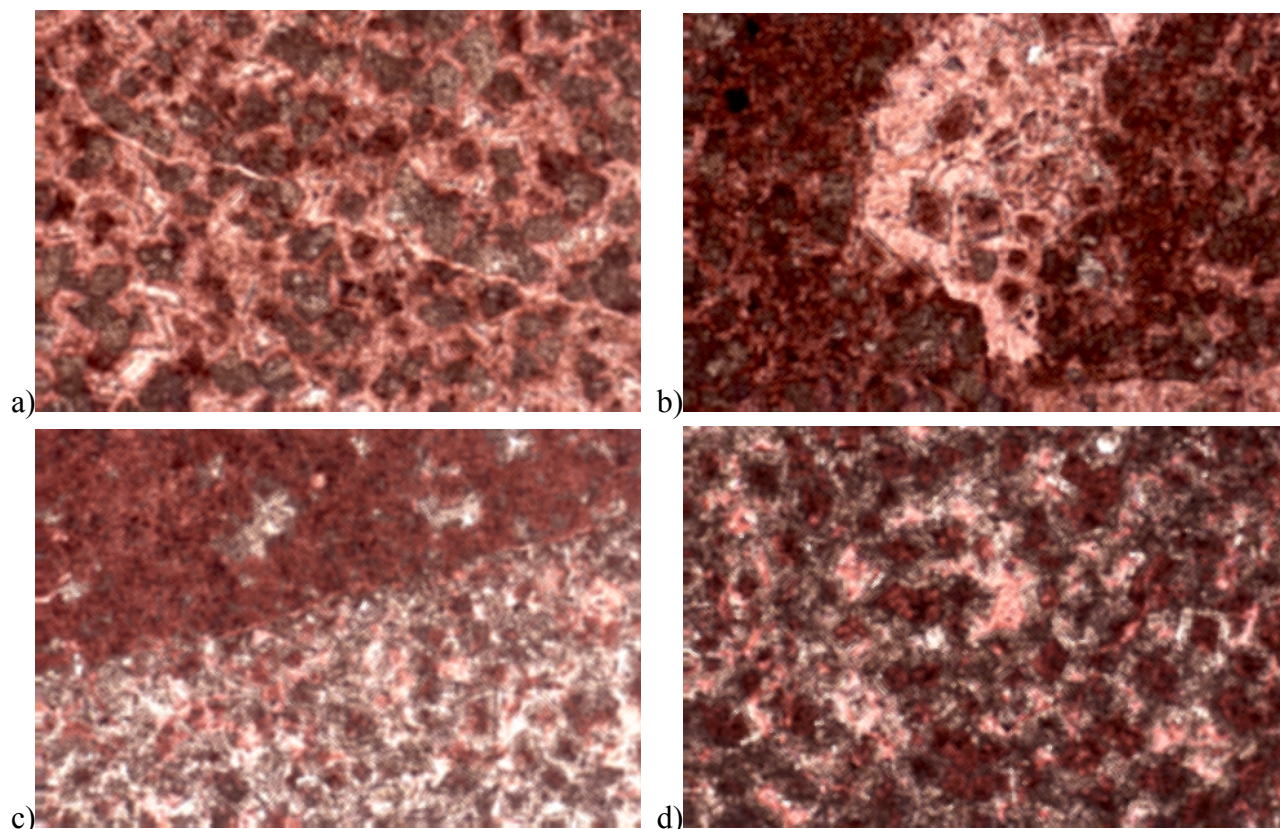
Laminirani vapnenac s mnoštvom ljušturica ostrakoda veličine oko 0.5 mm, mjestimice je rekristaliziran. Vidljivi su i elementi fenestralne građe. Laminiranost je slabo izražena, preferiranom orijentacijom ostataka organizama. Primarna poroznost je, u odnosu na druge vapnence, relativno velika (Slika 15).



Slika 15. Laminirani cenomanski vapnenac s izraženom primarnom poroznošću: a) bez analizatora, $\varnothing$ 20x, $\times$ 34, $\square$ 2781, i b) bez analizatora, $\varnothing$ 20x, $\times$ 33, $\square$ 2781.

2d) dolomitični vapnenac

Kasnodijagenetska dolomitizacija opisanih naslaga vezana je uz pojedine jače razlomljene zone. U preparatima su vidljivi idiomorfni kristali kasnodijagenetskog dolomita veličine 0.1-0.3 mm. “Buran život” ove stijene time nije završen, jer su nakon toga rašireni dedolomitizacijski procesi na koje ukazuju mjestimične pojave pseudomorfoze kriptokristalastog kalcita po dolomitu i nepotpuno dedolomitizirani dolomitni kristalići – dedolomit (Slika 16). Svi ovi procesi ostavili su traga na interkristalnoj, i zbog izluživanja dedolomita, šupljinskoj poroznost stijene.



Slika 16. Dedolomitizacija kasnodijagenetskih dolomita (bez analizatora, obojano): a) dedolomitizacija idiomorfni dolomitnih kristala ($\varnothing$ 20x, $\times$ 22, $\square$ 3126a); b) selektivna dedolomitizacija ($\varnothing$ 20x, $\times$ 23, $\square$ 3126a); c) vezanost dedolomitizacije uz diskontinuitete ($\varnothing$ 20x, $\times$ 25, $\square$ 3124a); d) dedolomitizacija i ispunjavanje interkristalne poroznosti kalcitom ($\varnothing$ 20x, $\times$ 26, $\square$ 3124a).

A.4.2. INTERPRETACIJA OKOLIŠA TALOŽENJA

Veći dio ove jedinice čine vapnenci mikritne strukture s rijetkim nalazima miliolida, nastalim u zaštićenim lagunama male dubine i niske energije. Zagrebenski dijelovi laguna dali su bioklastične vapnence tipa vekston/pekston (biomikrite), s ostacima miliolida, algi, cijanobakterija i peloida. Laminirani proslojci s fenestralnom građom nastali su u plimnoj zoni s niskom energijom vode.

Općenito govoreći, veliki dio stijenske mase je djelomično ili potpuno promijenjen dijagenetskim procesima. Veći dio jedinice je djelomično ili potpuno rekristaliziran, a mjestimično je dolomitiziran i dedolomitiziran. Česte su kalcitne žilice, pukotine i gnijezda. Uz to se mogu zapaziti mikrotilolitski šavovi ispunjeni opâkim materijalom (nečistoćama otopljenog vapnenca). Na mjestima intenzivnijeg djelovanja tektonskih pokreta došlo je do stvaranja tektonskih breča.

B. PALEOGEN

U istraživanom području sedimentacija paleogenskih naslaga započinje s foraminiferskim vapnencima.

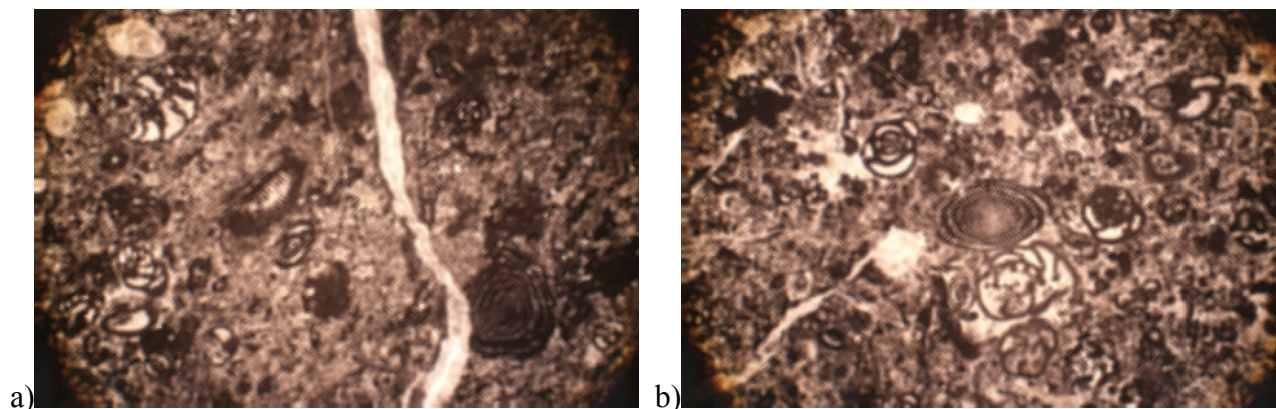
B.1. FORAMINIFERSKI VAPNENCI – P_c, E₁ (PALEOCEN, DONJI EOCEN)

Paleogeni slabo uslojeni do gotovo masivni foraminiferski **vapnenci** su žućkastosive do svjetlosmeđe boje. Sastoje se od čitavih ili krhotina ljušturica foraminifera (miliolidnih i alveolinskih), nekoliko ljušturica ostrakoda, kršja vapnenca i peloida mikritne građe. Na temelju zajednice: *Alveolina* sp., *Chrysalidina* (*Chrysalidina*) cf. *alva* (SILVESTRI), *Chrysalidina* sp., *Acervulina* (*Acervulina*) *linearis* HANZAVA i *Rotalia* sp. Hajek-Tadesse je ustanovila donjo-eocensku starost naslaga (cuisij). Intraklasti su veličine 0.02-4 mm i «plivaju» u cementu ili su u tangencijalnom kontaktu. Cement od mikro ili srednjekristaliničnog sparitnog kalcita je mjestimice rekristaliziran. Prema strukturnom tipu to su foraminiferski intraspariti i biointraspariti, mjestimično rekristalizirani. Prema kemijskim analizama za OGK – list Obrovac (Vrsalović-Carević, 1967), sadržaj CaCO₃ u ovim vapnencima je visok (94.2-98.7%).

B.1.1.a. MIKROFACIJES FORAMINIFERSKIH NASLAGA

3a) foraminiferski grejnstoni (biospariti)

Izrazito fosiliferna stijena s brojnim ostacima cijelih alveolina i miliolida ili njihovih fragmenata (Slika 17). Mjestimično se može naći i kršje mikritnog vapnenca, ostrakoda, peloida i sl.. Intraklasti su nesortirani i nezaobljeni, u tangencijalnom kontaktu. Cement je uglavnom sparitni, rjeđe mikritni, mjestimično rekristaliziran.



Slika 17. a) i b) foraminiferski biospariti (bez analizatora): a) 5x, 35, 3156; b) 5x, 36, 3154

B.1.2. INTERPRETACIJA OKOLIŠA TALOŽENJA

Djelovanje tektonike i promjene razine mora koncem krede uzrokovale su dugotrajnu emerziju. Tijekom emerzije su izložene naslage bile podvrgnute okršavanju, a u većim depresijama su nastala boksitna ležišta. Tako su foraminiferski vapnenci transgredirali na vrlo razveden i okršen reljef.

Ovaj dio naslaga predstavlja samo dio cijele serije «foraminiferskih vapnenaca» koji su karakteristični na velikom dijelu Jadranske karbonatne platforme. Inače, karakterističan slijed foraminiferskih naslaga počinje u sredini zaštićenih šelfova s «miliolidnim vapnencima» (Drobne et al., 1991). U istraživanom prostoru, foraminifere, čiji brojni ostaci tvore ovu stijenu, svjedoče o plitkovodnim, vrlo povoljnim uvjetima za život. Međutim, nezaobljeno kršje ljušturica foraminifera i ostali klasti predstavljaju dokaz da je materijal koji čini stijenu, nakon vrlo kratkog transporta akumuliran i litificiran pod djelovanjem povišene energije vode.

B.2. BOKSITI

Pretpostavlja se da je akumulacija boksita u ovom području predisponirana starijim rasjedima i pukotinama laramijske i ilirske faze Sakač et al. (1978). U takvim oslabljenim zonama okršavanje podloge se odvijalo brže nego li u neporemećenim naslagama, pa nastaju morfološke depresije. Podlogu ležišta boksita, koja se nalaze u istraživanom prostoru (Dračevac i Jasenica) čine foraminiferski vapnenci, a u široj okolini to su i gornjokredni vapnenci (Duge njive) (Sakač et al., 1978).

S obzirom da su u spomenutim ležištima boksiti već eksploatirani gotovo u potpunosti, u radu nisu posebno istraživane njegove karakteristike. Nalaz boksitnih naslaga u istraživanom području nam ukazuje na stratigrafski raspon unutar kojega su bili pogodni uvjeti za nastanak boksita.

Potrebno je još napomenuti da jalovinski materijal koji je izvađen prilikom eksploatacije boksitnih ležišta prekriva znatan dio foraminiferskih naslaga.

B.3. PROMINA NASLAGE - E₃, OI (GORNJI EOCEN, OLIGOCEN)

Kompleks Promina naslaga se u istraživanom području sastoji uglavnom od konglomerata i rjeđe od proslojaka i leća kalkarenita¹⁰.

Naslage su dobro planarno kososlojevite s prosječnom debljinom konglomerata 30-60 cm i kalkarenita oko 10 cm.

¹⁰ U radu se zadržava radni naziv "kalkarenit" za stijene, koje prema litološkom sastavu i genezi odgovaraju kalklititima (Folk, 1968 i Pettijohn, 1975).

Konglomerati sadrže valutice vapnenačkog sastava svjetlosive, smeđesive, svjetlosmeđe, žućkaste i crvene boje. Valutice su zaobljene do vrlo dobro zaobljene, uglavnom nesortirane, veličine 0.5-10 cm, u prosjeku 2-5 cm. Čine ih vapnenci različitih strukturnih tipova (donjo, gornjokredne i paleogenske starosti) ali i pretaložene vapnenačke breče, fragmenti ljuštura organizama, valutice boksita itd. Vezivo je sitnozrni matriks, s obiljem sitnih fragmenata i ljuštura organizama i odlomaka stijena, a pojavljuju se i čestice kvarca i rožnjaka. Limonitna supstanca je nepravilno dispergirana ili tvori prevlaku po prslinama. Cement je sparitni, mjestimice i rekristaliziran.

Slojevi konglomerata su planarno koso slojeviti s mjestimičnim pojavama erozije baze.

Prema kemijskim analizama sadržaj CaCO_3 u konglomeratima je oko 96%, a netopivi ostatak oko 2% (kvarc i minerali glina) (Sakač et al., 1978).

Kalkareniti su sitnozrnati do krupnozrnati, svjetlosmeđe do svjetložute boje. Dominiraju vapnenačke čestice (mikritne, pelmikritne, biomikritne i mikrosparitne), dok su rjeđe zastupljeni ostaci vapnenačkih fosila, kvarc i rožnjak. Dobro sortirani ulomci uglavnom veličine 0.06-2 mm, rjeđe su veći, nepravilnog oblika, uglati do poluuglati, u tangencijalnom su kontaktu ili plivaju u vapnenačkom matriksu. Prema kemijskim analizama za potrebe izrade osnovne geološke karte – list Obrovac, sadržaj CaCO_3 u kalkarenitima je 96-98 % (Ivanović et al., 1976a).

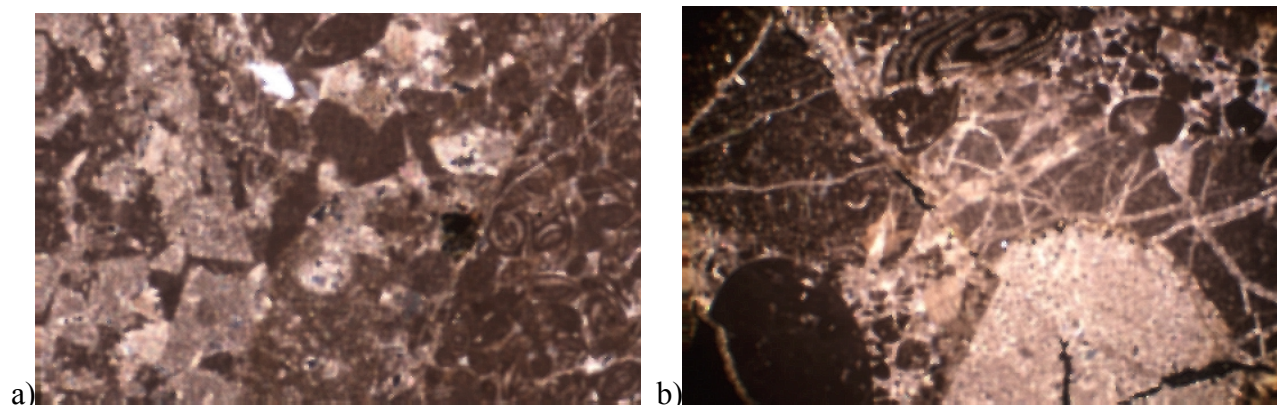
Promina naslage su mjestimice kasnodijagenetski **dolomitizirane** (uz rasjedne zone). Dolomitizacijski procesi su u većoj mjeri zahvatili kalkarenite.

B.3.1.a. MIKROFACIJESI PROMINSKIH NASLAGA

S obzirom na veličinu zrna prominske su naslage podijeljene na:

4a) konglomerat

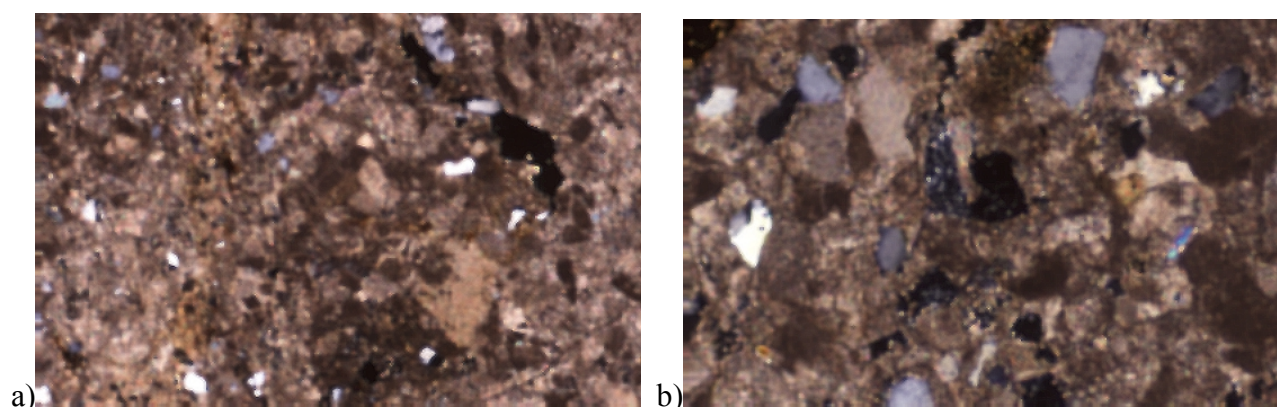
Vrlo dobro zaobljene i sferične valutice uglavnom vapnenca, vrlo su varijabilnih veličina vekstonske, grejnstonske i madstonske građe. Stijenu sačinjavaju neokomske (favreine), albske? (pitonele), cenomanske? (jako rekristalizirane) i foraminiferske vapnenačke valutice, ali i mnoge druge čestice vapnenačkog sastava i nepoznate starosti (mikritni, pelmikritni, rekristalizirani vapnenci i vapnenačke breče). Na obodima valutica rijetko se zapaža obrubni cement, a mjestimično je cement u kontaktu s valuticom otopljen (sekundarna poroznost). Matriks čine vapnenačke čestice arenitnih dimenzija, ali i dobro zaobljena zrnca kvarca i rožnjaka veličine 0.1-1.0 mm (Slika 18). Rijetko su prisutni listići muskovita, zrnca epidota i rožnjaka. Neka od kvarcnih zrnaca imaju izraženo undulozno potamnjenje. U matriksu su prisutne i ljušturice raznih organizama i foraminifera. Cement je uglavnom sparitni, mjestimice rekristaliziran. Sastav matriksa i njegov odnos s cementom vrlo je varijabilan.



Slika 18. Promina konglomerat: a) dobro zaobljena valutica for. vapnenca s arenitnim vapnenačkim i kvarcnim matriksom + zrnice epidota (s analizatorom, φ 20x, ω 9, $\square$ 3148); b) matriks sastavljen od uglatih do poluuglatih vapnenačkih zrnaca, zrnaca kvarca i listića muskovita (s analizatorom, φ 5x, ω 11, $\square$ 3150).

4b) kalkarenit

Prema mineralnom sastavu preko 90% čestica je kalcitnog sastava, a kvarcnih zrnaca ima svega nekoliko postotaka (Slika 19). Rjeđe su pojave kristalića muskovita, rožnjaka, epidota i granata. Vapnenačka zrnca najčešće su mikritna, ali su prisutna i pelmikritna, dedolomitna, rekristalizirana, kalciferska i foraminiferska zrnca, kao i ljuštore organizama. Zrnca koja čine ovu klastičnu stijenu, uglavnom su dobro sortirana, veličine 0.1-0.5 mm. U manjoj mjeri prisutni su i krupnozrnati varijeteti koji čine prijelaz prema konglomeratima. To su kalkarenit-konglomerati, koji su u istraživanom području ipak slabo zastupljeni, pa nisu zasebno opisani. Zaobljenost zrnaca varira, ovisno o mineralnom sastavu od poluuglastih (kvarc, muskovit, rožnjak, granat), poluzaobljenih do zaobljenih (vapnenačka zrnca) (Slika 19b). Cement je mozaičan, sparitni, a mjestimice ima intergranularnih pora veličine do 0.03 mm (primarna poroznost).



Slika 19. Kalkarenit: a) sadržaj kvarcnih zrnaca mjestimično je povećan (s analizatorom, φ 20x, ω 6, $\square$ 3164); b) varijabilna zaobljenost zrnaca vapnenca, kvarca i rožnjaka u sparitnom i mikrosparitnom cementu (s analizatorom, φ 50x, ω 7, $\square$ 3166).

B.3.2. INTERPRETACIJA OKOLIŠA TALOŽENJA

Za razliku od okolnog područja, u istraživanom terenu ovaj kompleks klastičnih naslaga je relativno jednostavne građe i sastavljen samo od petromiktnih ortokonglomerata i kalkarenita, što je u literaturi nazvano «jedinica konglomerata» (Babić & Zupanič, 1990). Naslage prekrivaju starije naslage gornje krede, boksita i paleogenskih foraminiferskih vapnenaca.

Gledajući regionalno, krupnoklastični dijelovi serije koji prevladavaju u istraživanom području, mjestimice s lećama i proslojcima kalkarenita, mogu se interpretirati kao sediment padine Gilbertove delte (Babić & Zupanič, 1990). Taj tip delti je vezan za snažne rijeke i velike količine materijala koje su brzo progradirale preko obalnog, plažnog materijala.

Uzastopno izmjenjivanje kalkarenitnih i konglomeratnih slojeva, odijeljenih erozijskom plohom, posljedica su ritmičkog spuštanja sjevernog ruba sedimentacijskog bazena i njegovog napredovanja prema sjeveroistoku.

B.4. JELAR NASLAGE - E₃, OI (GORNJI EOCEN, OLIGOCEN)

Jelar naslage prekrivaju značajan dio istraživanog prostora, osobito jače izražene tektonske zone.

U istraživanom prostoru Jelar naslage čine neuslojene, nesortirane **vapnenačke breče**, rijetko brečokonglomerati. Kršje je gotovo isključivo vapnenačkog sastava, a čine ga fragmenti donjo i gornjokrednih vapnenaca. Uglato je do poluuoglato, a rijetke valutice su zaobljene i vrlo dobro zaobljene (prema Krumbeinu i Slossu, 1963). Sortiranost je izrazito loša, veličina kršja jako varira, od milimetarskih do decimetarskih dimenzija, ali se uglavnom kreće između 0.5-5 cm. Radi polimiktnog sastava, ulomci su raznobojni, od svjetlosivih, smeđesivih, svjetlosmeđih do žućkastosmeđih i ružičastih. Vezivo između ulomaka je klastičnog podrijetla, vapnenačkog sastava i crvene do žutocrvene boje. Mikroskopskim istraživanjima je ustanovljeno da je matriks često rekristaliziran, a uz vapnenačko kršje mikritnoga tipa nerijetko sadrži i uglata, rijetko poluzaobljena zrnca kvarca do 0.3 mm i zrnca hematita i limonita. Evidentno je da boja matriksa, pa i cjelokupan dojam o boji stijene, ovisi o količini željezovite komponente unutar osnove. Količina osnove u odnosu na kršje varira od prekomjerne do jedva dostatne da čvrsto veže zrna.

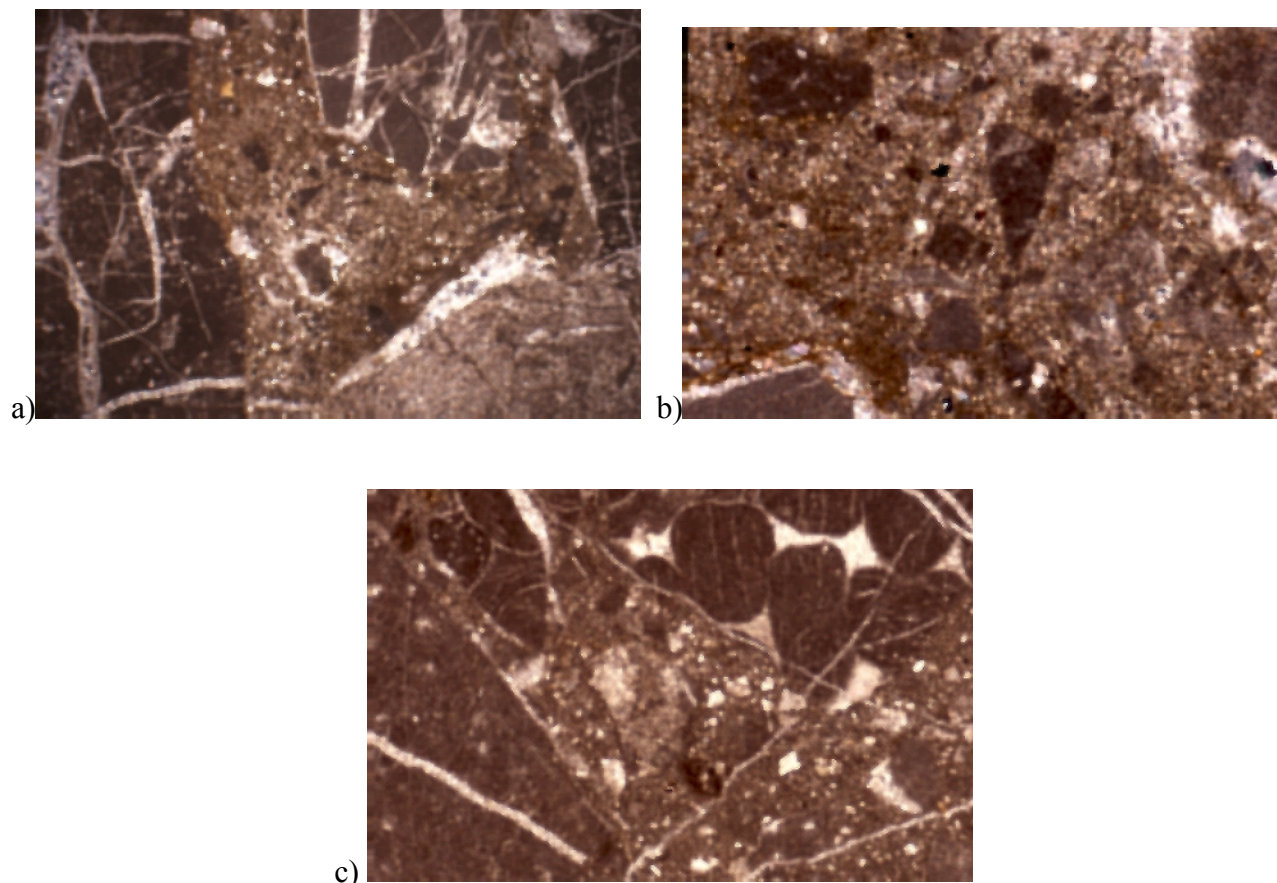
Jelar breče su mjestimice slabije i rjeđe gotovo potpuno **rekristalizirane**, a na nekim lokacijama i/ili malo **dolomitizirane**. Rekristalizacijski procesi i dolomitizacija su vezani za tektonske i jače razlomljene zone. Na mjestima gdje su dijagenetski procesi, milonitizacija i kataklaziranje zahvatili gotovo cijelu stijensku masu, primarne strukture breča se ne vide ili su jedva vidljive.

B.4.1.a. MIKROFACIJESI JELARSKIH NASLAGA

Radi pretpostavke da je vapnenačka Jelar breča u nekim segmentima rekristalizacijom izmijenjena i pritom vjerojatno oslabljena, smatra se potrebnim izdvojiti dva mikrofacijesa:

5a) vapnenačka breča

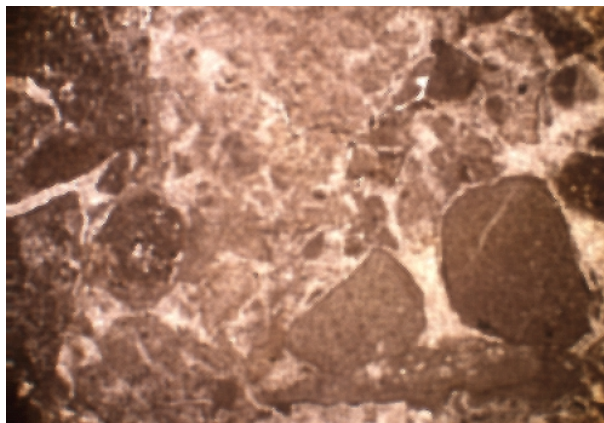
Kršje je uglavnom vapnenačkog sastava, mikritne, biomikritne (foraminifere, ostrakodi, peloidi, peleti) i sparitne strukture. Veličina fragmenata je jako varijabilna, od nekoliko centimetara ili decimetara do svega par milimetara. Uglato do poluuglato kršje nema obrubnog cementa. Matriks čine vapnenački fragmenti do 0.5 mm, uglata do poluuglata zrnca kvarca do 0.3 mm (oko 1%), i rijetko zrnca opakog minerala (hematit?). Cement je mikritni do sparitni, kalcitnog sastava s čestim primjesama ili prevlakama limonita što cementu, ali i matriksu, daje crvenkastu boju. Vidljiva je i sekundarna poroznost, djelomice ispunjena sparitnim kalcitom.



Slika 20. Jelar breča: a) kršje mikritne građe i vezivo sastavljeno od vapnenačkog matriksa i mikrosparitnog cementa (s analizatorom, φ 5x, θ 2, $\square$ 2954); b) detalj veziva: djelomično rekristalizirani vapnenački matriks s Q i Cc zrcima, limonitnom prevlakom cementa i opâkim Fe mineralima (s analizatorom, φ 20x, θ 3, $\square$ 2954); c) fragment favreinskog grejnstona, kršja mikritnog vapnenca i matriks sa zrcima kalcita (bez analizatora, φ 20x, θ 4, $\square$ 3079).

5b) rekristalizirane Jelar breče

Gotovo potpuno rekristalizirani dijelovi Jelar breča određeni su isključivo temeljem geoloških terenskih zapažanja i lokalnoga sklopa. Gotovo su istovjetni potpuno rekristaliziranim dijelovima drugih litostratigrafskih jedinica, sa sparitnim i mikrosparitnim kalcitnim kristalićima s nepravilnim, neravnim ili nejasnim granicama kristala. Unutar njih zapažaju se manje rekristalizirani dijelovi stijene koji odgovaraju opisu mikrofacijesa vapnenačkih breča (5a).



Slika 21. Djelomično rekristalizirana vapnenačka breča. Rekristalizacijom je više zahvaćena osnova (bez analizatora, φ 5x, ω 5, $\square$ 2773).

B.4.2. INTERPRETACIJA OKOLIŠA TALOŽENJA

Položaj jelarskih naslaga na starijim donjokrednim i gornjokrednim vapnencima je diskordantan, a njihov kontakt izuzetno nepravilan. Naime, pretpostavlja se da su Jelar breče kontinentalnog podrijetla, siparišnog karaktera, nastale iz razlomljenog materijala strmih padina i taložile se neposredno u njihovu podnožju (Bahun, 1974). To se može vidjeti i po tome što su mnogi vapnenački ulomci prethodno bili jako razlomljeni, a tek zatim taloženi i cementirani u čvrstu stijenu. Transport fragmenta bio je minimalan, a na to ne upućuju samo nesortiranost materijala i uglatost fragmenata, nego i geometrija tijela. Naime, u ovom su području Jelar breče gotovo u pravilu prekrivale tektonske zone za koje su vezane i načinom postanka. Tako da su mnogi stariji rasjedi maskirani erozijskim ostacima Jelar naslaga. Rijetke dobro zaobljene valutice unutar breča mogu se tumačiti pretaložavanjem drugih klastičnih naslaga.

Gotovo jednake karakteristike Jelar naslaga na širem području opisivali su Herak i Bahun (1979). Prema njihovom mišljenju, Jelar naslage su vremenski ekvivalent Promina naslaga.

Općenito se postanak Jelar naslaga veže za tektonske cikluse kojima su tijekom tercijara podvrgnuti Dinaridi. Ti su ciklusi bili vrlo snažni, relativno dugotrajni i odvijali su se na širem prostoru. Tako se i mogu protumačiti činjenice da su Jelar breče pojedinog područja nastale u različito vrijeme, ali i da su vrlo varijabilne po sastavu (Vlahović et. al, 1999).

C. KVARTAR

C.1. DELUVIJ - d

Naslage deluvija ispunjavaju dna depresija ili jaraka i obično su vezane za jače razlomljene zone. Rjeđe su to siparišni nanosi vezani uz strme južne Velebitske obronke. Debljina ovih naslaga uglavnom ne prelazi 1.5 m, osim u jače izraženim jarcima, iznad jače okršanih i razlomljenih zona, na mjestima gdje dolaze kao ispuna okršanih pukotina ili kaverni (bušotina SM-1).

Deluvijalne naslage su uglavnom izgrađene od kršja i odlomaka vapnenaca ili breča iz podloge, mjestimice povezanih sa smeđecrvenom glinom i malim primjesama karbonatnog pijeska i praha.

C.2. CRVENICA - ts

Ispunjava mnoga krška udubljenja, ali i prekriva neke blaže padine, uglavnom na sjeveroistočnom dijelu terena, tj. na južnim obroncima Velebita. Prosječna debljina crvenice je oko 0.5 m, ali maksimalno do 1.5 m. Predstavljaju je visoko do niskoplastična glina crvenosmeđe do smeđecrvene boje (60-90 %) s kršjem vapnenca ili breče do 5 cm (10-40 %).

V. INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZNAČAJKE PODRUČJA

U istraživanom području izrađene su vrlo detaljne geološke karte s inženjerskogeološkim elementima (Prilog 2), no one same po sebi ne sadrže dovoljno podataka za izradu geotehničkog projekta. Za potrebe takvih projekata izrađuju se inženjerskogeološki modeli u kojima su uz geološke podatke vezane numeričke vrijednosti. Takav zadatak nije nimalo lak i zahtijeva detaljno proučavanje svih značajki intaktne stijene i stijenske mase.

Stvaranje inženjerskogeološkog modela zasniva se na generalizaciji svih podataka dobivenih “in situ” kategorizacijom, mjerenjima, opažanjima i brojnim laboratorijskim ispitivanjima. Uz to je vrlo važno koristiti analogiju s drugim ispitanim područjima sličnih značajki (Yufin, 1995). Zaključivanju modela prethodi obrada podataka u kojoj se koriste brojne statističke metode.

U istraživanom području izdvojeno je pet litostratigrafskih jedinica, koje su detaljnije razdijeljene prema mikrofacijsnim značajkama. Svaka od njih je okarakterizirana inženjerskogeološkim svojstvima koja ovise o brojnim faktorima. U ovom poglavlju inženjerskogeološka svojstva stijena prikazana su u svjetlu njihovih sedimentno-petrografskih značajki.

A.1. ZNAČAJKE INTAKTNE STIJENE

Za razumijevanje inženjerskogeoloških značajki bilo kojeg terena u čvrstim stijenama vrlo je bitno odrediti karakteristike intaktne stijene, koje zajedno sa značajkama diskontinuiteta određuju stijensku masu. U inženjerskoj geologiji se **intaktnom stijenom** smatra dio stijenske mase koji se nalazi između diskontinuiteta (Hoek, 1994). Prema toj definiciji, fragmenti intaktne stijene mogu biti milimetarskih, pa do metarskih dimenzija.

Često je vrlo teško, ili gotovo nemoguće, izdvojiti uzorak stijene bez diskontinuiteta ili drugih defekata (koji sasvim sigurno utječu na rezultate ispitivanja), a da je dovoljno velik za ispitivanje. Jasno je da gotovo niti jedan uzorak koji je određen za ispitivanje ne predstavlja idealan, neporemećen, ili na bilo koji način neizmijenjen fragment stijene. Stoga je vrlo bitno već terenskim istraživanjima odabrati uzorke koji bi mogli biti pravi reprezentanti intaktne stijene. To ne znači da se za testiranje uzimaju samo uzorci, za koje se pretpostavlja da imaju najbolja svojstva, nego se pažljivom selekcijom uzoraka moraju upoznati sve različitosti svojstava intaktne stijene.

Naime, pogrešno je izraz “intaktan” tumačiti netaknutim u geološkim smislu. Naprotiv, uzorak intaktne stijene treba reprezentirati sve odlike materijala stijene, uključujući njegove izmjene, deformacije i općenito sve one karakteristike koje ga obilježavaju.

U konkretnom slučaju, stijena je itekako “taknuta” mnogim sekundarnim i dijagenetskim procesima i poremećajima. Zapaža se da su mnogi uzorci ispucani djelovanjem mnogih tektonskih faza, rekristalizirani, dolomitizirani i okršeni, i kao takvi su pravi reprezentanti materijala od kojeg je teren izgrađen.

Naravno, uzorci koji pokazuju prevelika (nerealna) odstupanja u rezultatima ispitivanja uvjetovanih jakim lomovima, kavernama i trošenjem odbačeni su kao anomalije koje ne predstavljaju intaktnu stijenu, ali su razmatrani prilikom obrade razlomljenih ili oslabljenih zona.

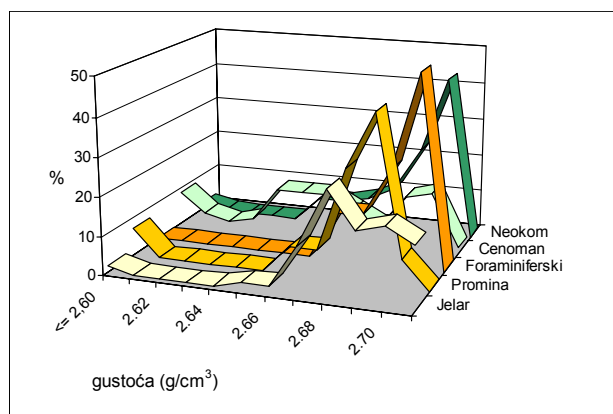
Litostratigrafske jedinice koje su izdvojene na terenu nemaju posve homogenu i jednaku građu u cijelom intervalu. To se i vidi po rezultatima ispitivanja raznih fizičkih i mehaničkih svojstava. Varijacije svih ispitivanih svojstava najčešće se pripisuju: promjenama uvjeta taloženja, procesima dijageneze i trošenja, itd. Radi toga je, za potrebe inženjerskogeoloških značajki područja, vrlo bitno odrediti segment jedinice na koji se ustanovljeni rezultati odnose.

S obzirom na intenzivnu tektoniku koja je u istraživanom prostoru ostavila značajan trag na stijeni, kriteriji za selekciju uzoraka morali su biti prilagođeni upravo toj činjenici. Tako se u ovom poglavlju govori o značajkama karbonatnih intaktnih stijena koja sadrže brojne pukotine i prsline manjih dimenzija. Uzorci na kojima su obavljena laboratorijska ispitivanja relativno su malih dimenzija 10-20 cm po dužoj osi valjka (jezgre bušotine), pa je i na taj način ipak donekle smanjen utjecaj relativno snažne razlomljenosti stijenske mase.

A.1.1. GUSTOĆA

Kao jedna od osnovnih fizičkih konstanti mineralne tvari, gustoća se ispitivala na gotovo svim uzorcima koji su bili podvrgnuti raznim fizičkim i mehaničkim ispitivanjima. Zbog toga je broj uzoraka koji su ispitivani na gustoću relativno velik. U poglavlju “Metode istraživanja” može se vidjeti da je gustoća ispitivana određivanjem vrijednosti s porama i šupljinama i bez njih.

Gledajući rezultate brojnih ispitivanja gustoće s porama i šupljinama (Slika 22), može se ustanoviti da su oni za gotovo sve litostratigrafske jedinice vrlo ujednačeni s vrijednostima između 2.66 i 2.70 g/cm³. S obzirom da se radi o materijalima s vrlo visokim udjelom kalcita, može se ustvrditi da su stijene vrlo kompaktne, s velikim brojem ispunjenih prslina i vrlo malom primarnom, ali i sekundarnom poroznosti. Izuzetak su cenomanski vapnenci i Promina naslage.



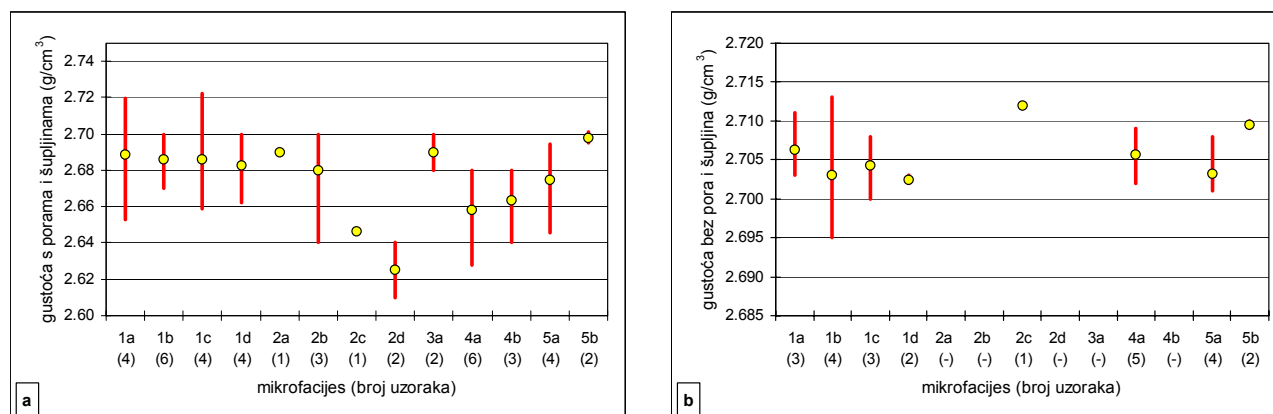
Slika 22. Gustoća s porama i šupljinama pojedinih litostratigrafskih jedinica.

Na uzorcima određenih mikrofacijsnih karakteristika (Slika 23a) vidljivo je da je smanjenje gustoće cenomanskih naslaga uvjetovano strukturno-teksturnim značajkama: laminiranim dijelovima (2c) koji imaju primarnu poroznost, i stvaranjem poroznosti dolomitizacijskim procesima pojedinih dijelova naslaga (2d).

S obzirom da karakteristike cementa i matriksa, koji čine međuzrnski prostor prominskih klastita, variraju ovisno o sedimentološkim prilikama, nije čudno da pojedini uzorci imaju manju gustoću što je prouzročeno procesima otapanja, primarnom poroznošću, ali malim dijelom i prisutnošću minerala koji imaju manju gustoću od kalcita (kvarc do 1%, 2.6 g/cm³). Slični su razlozi za nešto manje vrijednosti gustoće jelarskih breča, samo što je njihova poroznost ipak manja.

Premda gustoća prvenstveno ovisi o mineralnom sastavu stijene može se desiti da gustoća s porama i šupljinama bude smanjena dolomitizacijom, bez obzira što dolomit ima veću gustoću (2.8 g/cm³) od kalcita. Naime, proces dolomitizacije uzrokuje povećanje gustoće mineralne tvari, ali time i povećanje poroznosti. U ovom slučaju, povećanje poroznosti uzrokovano dolomitizacijom ima veći utjecaj na rezultate ispitivanja gustoće s porama i šupljinama, nego povećanje gustoće mineralne tvari. Zato dolomiti (2d) imaju relativno malu gustoću s porama i šupljinama (Slika 23a). Osim toga, u ovom području je kasnodijagenetska dolomitizacija obuhvatila isključivo jače razlomljene zone, koje same po sebi imaju povećanu sekundarnu poroznost. Proces dedolomitizacije, koji djelomično obuhvaćaju stijenu, dodatno su smanjili gustoću dolomita (2d).

Iz uzoraka na kojima je određivan tip mikrofacijsa može se zaključiti da kretanje vrijednosti gustoće bez pora i šupljina ne ovisi bitno o tipovima mikrofacijsa koji su izdvojeni. Razlog tome je prije svega u gotovo monomineralnom sastavu stijena, koje osim kalcita odnosno dolomita sadrže samo manje primjese limonita, kvarca i drugih minerala. (Slika 23b; 1a-1d).



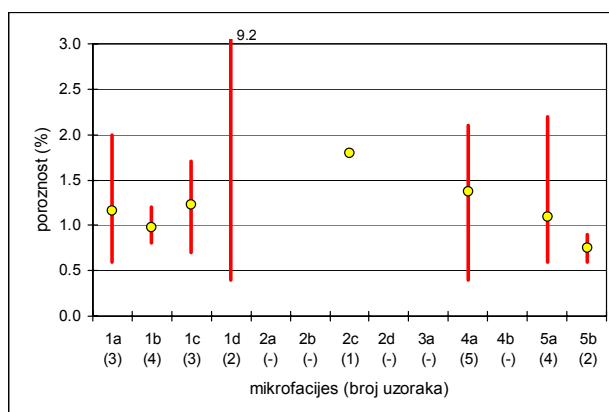
Slika 23. Raspon i prosječne vrijednosti gustoće pojedinih mikrofacijskih grupa: a) s porama i šupljinama, i b) bez pora i šupljina. Za oznake mikrofacijsa vidi prilog 3.

A.1.2. POROZNOST

Na istim uzorcima kojima je određena gustoća bez pora i šupljina izračunata je i apsolutna poroznost (Slika 24).

Vrijednosti apsolutne poroznosti su pokazatelj pakiranja, kompaktacije, cementacije sedimenta, različitih diagenetskih promjena, ali i sekundarnih procesa (razlomljenost i trošenje) pojedinih mikrofacijskih grupa. Na žalost ovim se ispitivanjima udjeli primarne i sekundarne poroznosti u ukupnom rezultatu ne mogu izdvojiti, pa se njihov odnos samo može pretpostavljati.

Iz priloga (Slika 24) je vidljivo da laminirani vapnenci (2c) cenomanskih naslaga (fenestralna poroznost), i konglomerati (4a) prominske serije imaju nešto povećanu poroznost u odnosu na druge naslage, pa se njihova primarna poroznost koju nameću uvjeti sedimentacije ne smije zanemariti. Posebno su zanimljivi rezultati poroznosti Jelar breča (5a, 5b). Vidljivo je da se rekristalizacijskim procesima koji su izraženi u grupi 5b zatvaraju porni prostori u odnosu na grupu 5a, bez obzira jesu li primarnog ili sekundarnog podrijetla. Takva pojava, međutim, nije izražena kod rekristaliziranih neokomskih naslaga (1c).



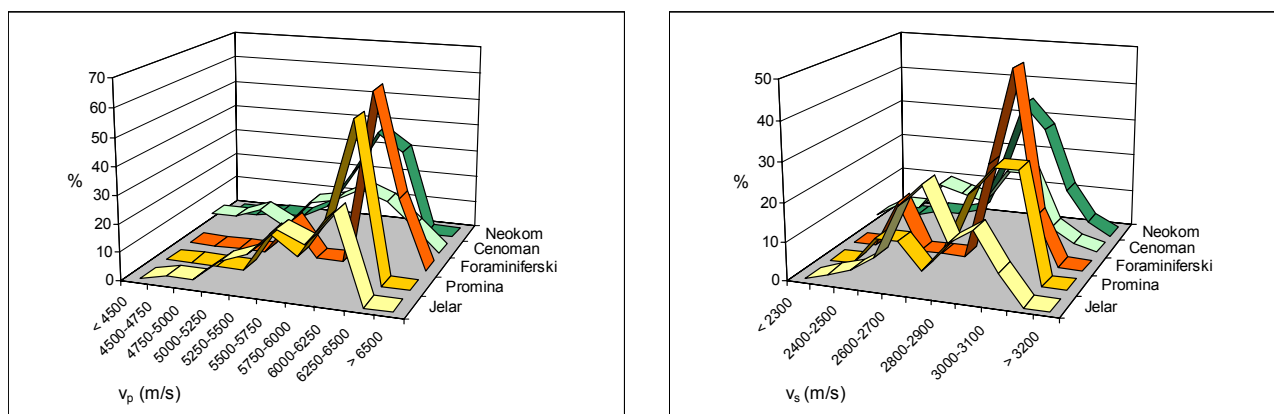
Slika 24. Raspon i prosječne vrijednosti apsolutne poroznosti pojedinih mikrofacijskih grupa. Za oznake mikrofacijsa vidi prilog 3.

A.1.3. LABORATORIJSKO ISPITIVANJE ULTRAZVUKOM

Ispitivanja provodljivosti ultrazvuka se u programima za geotehničke istražne radove provode iz više razloga. Poznato je da se iz brzina širenja ultrazvučnih valova može doznati više o strukturi i razlomljenosti intaktne stijene. Brzine širenja primarnih (v_p) i sekundarnih (v_s) valova mogu se koristiti za izračunavanje dinamičkih modula i Poisson-ovog koeficijenta. Osim toga, usporedbom podataka o brzini širenja primarnih (v_p) i sekundarnih (v_s) valova na laboratorijskim uzorcima i seizmičkim ispitivanjima na terenu, može se dobiti relativni pokazatelj oslabljenja stijenske mase u odnosu na intaktnu stijenu. Uz to treba napomenuti da bez sagledavanja lokalnih geoloških značajki terena ovakve korelacije mogu dovesti do zablude.

Gledajući rezultate ispitivanja na laboratorijskim uzorcima karbonatnih stijena (Mirković & Vujnović, 2000), može se vidjeti kako brzine širenja ultrazvučnih valova ovise o diskontinuitetima, njihovom zijeju i ispuni.

Brzine širenja seizmičkih valova mjerene na laboratorijskim uzorcima relativno su velike (Slika 25) i kreću se od 5750-6500 m/s za primarne valove i pretežno u rasponu 2800-3200 m/s za sekundarne valove. Manji broj uzoraka Jelar breča i rekristaliziranih cenomanskih vapnenaca ima nešto manje brzine širenja seizmičkih valova, što je posljedica razlomljenosti ili trošnosti materijala.



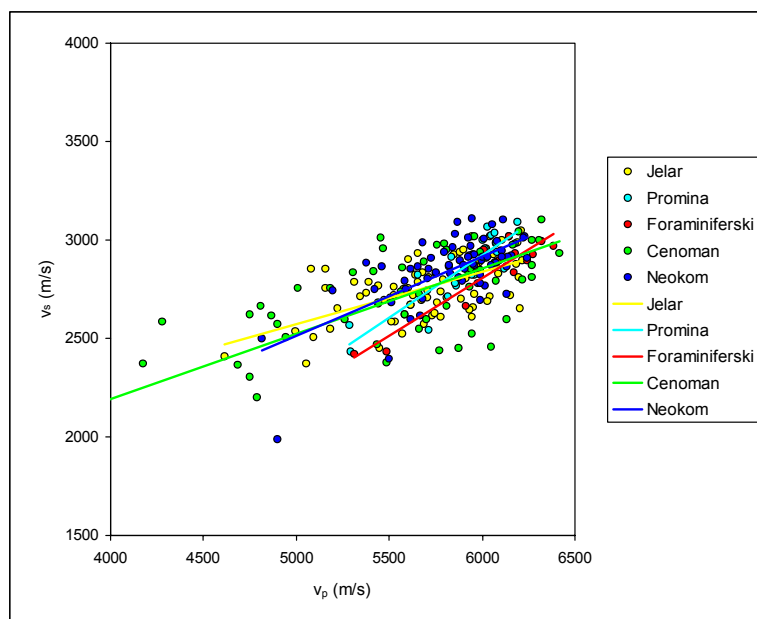
Slika 25. Brzine širenja primarnih (v_p) i sekundarnih (v_s) ultrazvučnih valova kroz (laboratorijske) uzorke.

Odnos brzina širenja primarnih i sekundarnih seizmičkih valova (v_p/v_s) na intaktnim stijenama vrlo je sličan kod svih izdvojenih jedinica i uglavnom se kreće oko 2.05-2.07 (Tablica 7). Od ovih vrijednosti jedino odskaku foraminiferski vapnenci (2.14). Prema relativno malim vrijednostima standardnih devijacija može se vidjeti da su odstupanja odnosa v_p/v_s relativno mala.

Tablica 7. Odnosi brzina širenja primarnih i sekundarnih seizmičkih valova dobiveni ultrazvučnom tehnikom.

	Neokom	Cenoman	Foraminiferski	Jelar	Promina
v_p/v_s (prosjeak)	2.05	2.05	2.14	2.07	2.07
standardna devijacija	0.10	0.19	0.06	0.11	0.07
broj uzoraka	64	59	12	77	19

Linearnom korelacijom vrijednosti brzina širenja primarnih i sekundarnih seizmičkih valova, kroz intaktnu stijenu, dobiveni su korelacijski pravci (Slika 26). Iz slike je vidljivo da nagibi tih pravaca nisu jednaki, naime može se vidjeti da je nagib korelacijskih pravaca prominskih klastičnih naslaga i foraminiferskih vapnenaca veći nego kod ostalih izdvojenih jedinica. Stoga se može pretpostaviti da se odstupanje u nagibu korelacijskih pravaca može pripisati strukturnim posebnostima krupnozrnatih prominskih klastita ili vapnenaca s velikim bioklastima kao što su foraminifere, ali i litološkim i tekturnim značajkama prominskih klastita (raznoliki litološki sastav, količina i vrsta matriksa i cementa, pakiranja valutica itd.).



Slika 26. Korelacija brzina širenja uzdužnih i poprečnih ultrazvučnih valova kroz uzorke pojedinih litostratigrafskih jedinica.

A.1.4. ČVRSTOĆA INTAKTNE STIJENE

Čvrstoća intaktne stijene definira se kao njezina otpornost na djelovanje naprezanja. Parametar čvrstoće intaktne stijene je sila pri kojoj dolazi do njenog sloma. Definiranje parametara čvrstoće intaktne stijene u ovom je radu provedeno ispitivanjem njene tlačne i vlačne čvrstoće.

Osim direktnog ispitivanja parametara čvrstoće, do njihovih vrijednosti se može doći i empirijskim putem. Hoek i Brown tvrde da se njihov empirijski kriterij sloma intaktne stijene dobro poklapa s mjerenjima čvrstoće prilikom djelovanja troosnog tlaka intaktne stijene ukoliko je slojevitost na odabranom uzorku okomita na njegovu dužu os (Hoek & Brown, 1988). Kriterij je izražen jednostavnom jednadžbom, a osim za određivanje empirijskog kriterija čvrstoće intaktne stijene, koristi se i za procjenu sloma razlomljenih stijenskih masa:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \left(m_i \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + 1 \right)^a$$

gdje je:

σ_1' – maksimalni efektivni tlak prilikom sloma;

σ_3' – minimalni efektivni tlak prilikom sloma;

σ_c – jednoosna tlačna čvrstoća intaktne stijene;

m_i – konstanta materijala intaktne stijene;

a – $\frac{1}{2}$ za intaktne stijene.

Vidljivo je da su autori primijetili utjecaj petrografskih, a u slučaju sedimentnih stijena, i sedimentoloških značajki na čvrstoću intaktne stijene. On je u formuli izražen preko konstante materijala (m_i) i dan je u tablici (Tablica 8).

Tablica 8. Vrijednosti m_i konstanti za sedimentne intaktne stijene. (Vrijednosti u zagradama su procijenjene). (Hoek, 1994).

Tip stijene	Klasa	Grupa	Tekstura			
			Krupnozrnati	Srednjezrnati	Sitnozrnati	Finozrnati
Sedimentne	Klastične		Konglomerat (22)	Pješčenjak 19 Grauvaka (18)	Siltit 9	Glinjak 4
				Kreda 7 Ugljen (8-21)		
	Neklastične	Organske				
		Karbonatne	Breča (20)	Sparitni vapnenac (10)	Mikritni vapnenac 8	
		Kemijske		Gips 16	Anhidrit 13	

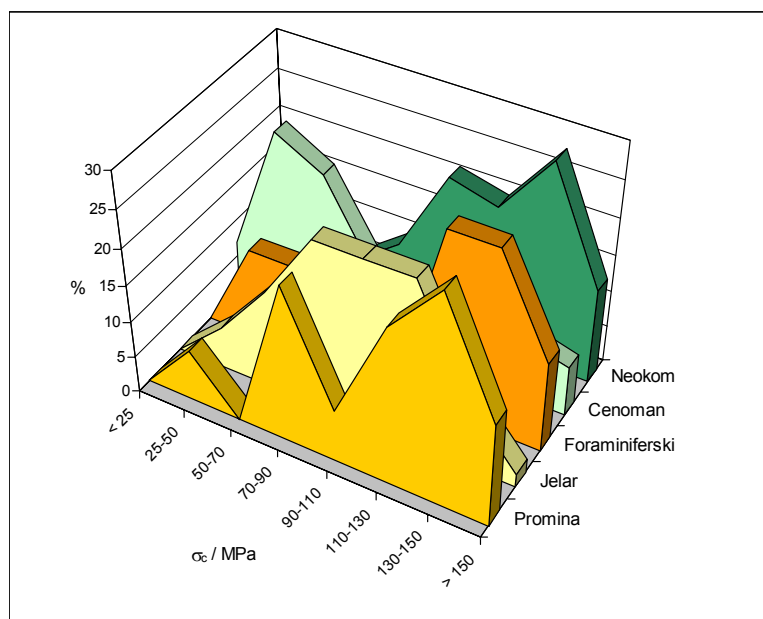
Treba napomenuti da konstanta materijala intaktne stijene (m_i), koja je važan faktor u Hoek-Brown-ovom kriteriju sloma intaktne stijene, kod sedimentnih karbonatnih stijena ne ovisi samo o veličini zrna i teksturi, što se može zaključiti iz gornje tablice. Konstanta m_i ovisi i o mineralnom sastavu, različitim strukturnim elementima: pakiranju čestica ili zrnaca, poroznosti, cementu, matriksu; i mnogobrojnim diagenetskim procesima. Naravno, Hoek napominje da se m_i vrijednost intaktne stijene znatno smanjuje ako slom nastaje po nekoj od predisponiranih ploha oslabljenja. Ako isključimo sekundarne procese, u sedimentnim stijenama na to mogu utjecati mnogi primarni teksturni i strukturni elementi. Radi toga bi se u budućim istraživanjima veća pažnja trebala posvetiti opravo odredbi m_i konstanti za različite tipove karbonatnih stijena.

A.1.4.a. JEDNOOSNA TLAČNA ČVRSTOĆA

Standardni postupak prema kojem se na uzorcima određivala jednoosna tlačna čvrstoća već je opisan. Uzorci su prije, ali i nakon pokusa, detaljno pregledani i razvrstani u litostratigrafske jedinice. Na manjem broju uzoraka provedena je i odredba mikrofacijesa.

Prema rezultatima ispitivanja prikazanim na dijagramu (Slika 27) može se vidjeti da neokomski i foraminiferski vapnenci iz istraživanog područja imaju znatno veću čvrstoću nego uzorci

cenomanskih vapnenaca. Gledajući karakteristike ovih vapnenaca to i nije tako neobično s obzirom na njihove velike razlike u strukturnom i tekturnom smislu. Naime, slojevi neokomskih i foraminiferskih vapnenaca masivnije su građe sa slabo izraženom slojevitošću, za razliku od cenomanskih vapnenaca koji se odlikuju boljom slojevitošću, mjestimice i laminacijom. Osim toga, cenomanske su naslage puno intenzivnije rekristalizirane, s karakterističnom «kristaliničnom» građom, što je promijenilo prvobitnu strukturu, ali i narušilo čvrstoću intaktne stijene. Osim rekristalizacijskih, u pojedinim uzorcima cenomanskih vapnenaca zamijećeni su i dolomitizacijski procesi koji dodatno smanjuju čvrstoću intaktne stijene.



Slika 27. Jednoosne tlačne čvrstoće mjerene na uzorcima iz jezgri bušotina, razdijeljene prema litostratigrafskom kriteriju.

Jelar breče imaju solidne i relativno ujednačene čvrstoće s normalnom raspodjelom vrijednosti, tj. jednim izraženim maksimumom 90-110 MPa. Takva raspodjela vrijednosti čvrstoća govori o kvazihomogenosti naslaga u mehaničkom smislu, iako se radi o vapnenačkim brečama koje su, litološki gledano vrlo heterogene. Vrlo ujednačene jednoosne tlačne čvrstoće jelarskih breča rezultat su vrlo gustog i potpuno litificiranog matriksa koji u potpunosti ispunjava međuzrnski prostor.

Raspodjela čvrstoća Promina klastičnih naslaga (Slika 27) s gotovo tri maksimuma proizlazi iz heterogenosti materijala koji ih izgrađuje, veličine zrna, ali i «(ne)kvalitete» međuzrnske osnove.

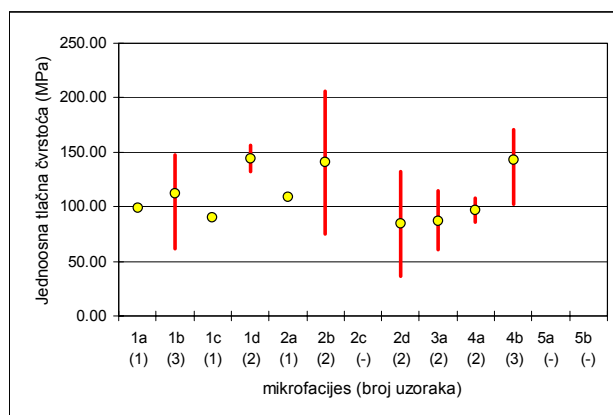
Detaljnija podjela unutar litostratigrafskih jedinica donijela je nove spoznaje o distribuciji vrijednosti čvrstoće unutar samih jedinica. Naime, na manjem broju uzoraka, osim ispitivanja čvrstoće, provedena su i mikrofaciesna istraživanja. Ako se podaci o čvrstoćama vežu uz izdvojene mikrofaciesne grupe, razlučivanje distribucije prikazanih podataka postaje jasnije. Treba napomenuti da je broj uzoraka na kojima su obavljena i mikroskopska istraživanja relativno mali, pa se rezultati pokazuju trendove i osnovne razlike u fizičkim svojstvima pojedinih mikrofaciesnih grupa.

Vrlo ujednačenu čvrstoću neokomskih naslaga kao cjeline (1) remete vapnenačke breče (1d) (Slika 28). To ne začuđuje, s obzirom na to da su vapnenci u velikoj mjeri ispresijecani pukotinama i prslinama, pa imaju nešto manje vrijednosti jednoosne čvrstoće od breča. Ispitivane breče neokomske starosti imaju vrlo čvrsti, gusti, i kvalitetan vapnenački cement, dok su varijeteti u kojima je cement više trošan ili djelomice otopljen vrlo rijetki. Iz dobivenih podataka ne može se pouzdano reći utječu li varijacije u postotku intraklasta, njihovom podrijetlu i sastavu, na jednoosnu čvrstoću stijene. Na mjerenim uzorcima odstupanja nisu velika, zapravo, gotovo su zanemariva (1a-1b). Također je utvrđeno da slabije rekristalizirani dijelovi neokomskih naslaga ne pokazuju očekivana odstupanja (1c) od nerekrystaliziranih ekvivalenata (1a, 1b).

Unutar cenomanskih naslaga razlike u jednoosnoj tlačnoj čvrstoći su puno veće (Slika 28; 2a, 2b, 2d). Istina, dobivene vrijednosti jednoosne čvrstoće na malom broju uzoraka, gdje je određivan tip mikrofakijesa, znatno su više od prosjeka cenomanskih naslaga cijeloga područja. Ipak, gledajući relativan odnos dobivenih podataka, vidljivo je da rekristalizirani (2a) i dolomitizirani (2d) dijelovi naslaga imaju smanjenu čvrstoću u odnosu na «primarnu» stijenu (2b).

Uzorci foraminiferskih naslaga (3a) kojima su istraživana mikrofakijesna svojstva imaju pak manju čvrstoću nego što je prosječna u ovom litostratigrafskom članu. To je uvjetovano time što su uzorci uzeti u rasjednoj, razlomljenoj i kavernožnoj zoni, koja razgraničava cenomanske od foraminiferskih naslaga.

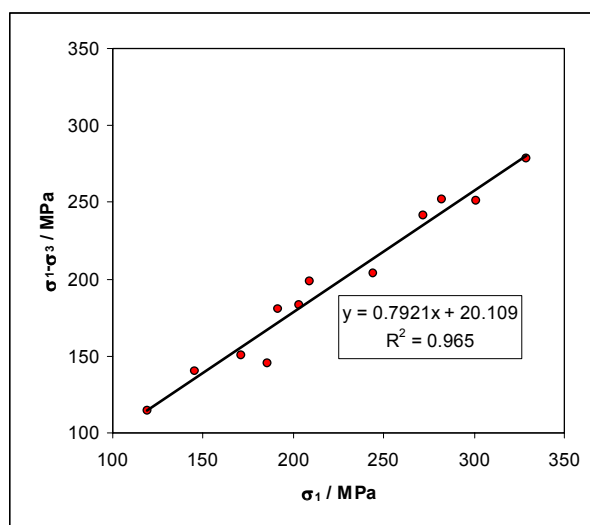
U istraživanom području su, prema litološkom kriteriju, Promina naslage podijeljene na konglomerate (4a) i kalkarenite (4b). Valutice koje izgrađuju konglomerate (4a) su različitog litološkog sastava, ali i vrlo varijabilne veličine. Pretpostavlja se da na čvrstoću ovih naslaga velik utjecaj imaju cement i matriks koji se nalaze između valutica, odnosno matriksna ili zrnna potpora. Građa međuzrnskog prostora varira, manje je homogena i kvalitetna u mehaničkom smislu nego kod Jelar breča. Kalkarenitne naslage (4b) mnogo su bolje sortirane, s ujednačenom kvalitetom i sastavom cementa, pa imaju i veće vrijednosti jednoosne čvrstoće od svojih krupnozrnatih ekvivalenata. Prema tome se i vidi zbog čega postoji velika varijabilnost, ali i više izraženih maksimuma čvrstoće cjelokupne litostratigrafske jedinice Promina naslaga.



Slika 28. Rasponi i prosječne vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće za pojedine mikrofakijesne grupe. Za oznake mikrofakijesa vidi prilog 3.

A.1.4.b. ČVRSTOĆA INTAKTNE STIJENE POD TROOSNIM OPTEREĆENJEM

S obzirom da je postupak za ispitivanje čvrstoće intaktne stijene pod troosnim opterećenjem vrlo složen i skup, u sklopu ovakvih projekata se obično obavlja samo na zahtjevnijim dionicama ili skupim građevinskim objektima. U ovom slučaju je ispitivanje provedeno samo na nekoliko uzoraka Jelar naslaga, i to na mjestima budućih tunela. Kao što je vidljivo, čvrstoća Jelar breča pod maksimalnim tlakom (σ_1) varira u rasponu između 100-350 MPa, ovisno o bočnom tlaku (σ_3) za vrijeme testa (Slika 29).



Slika 29. Odnosi maksimalnih i minimalnih tlakova prilikom sloma uzorka u troosnom naprežanju.

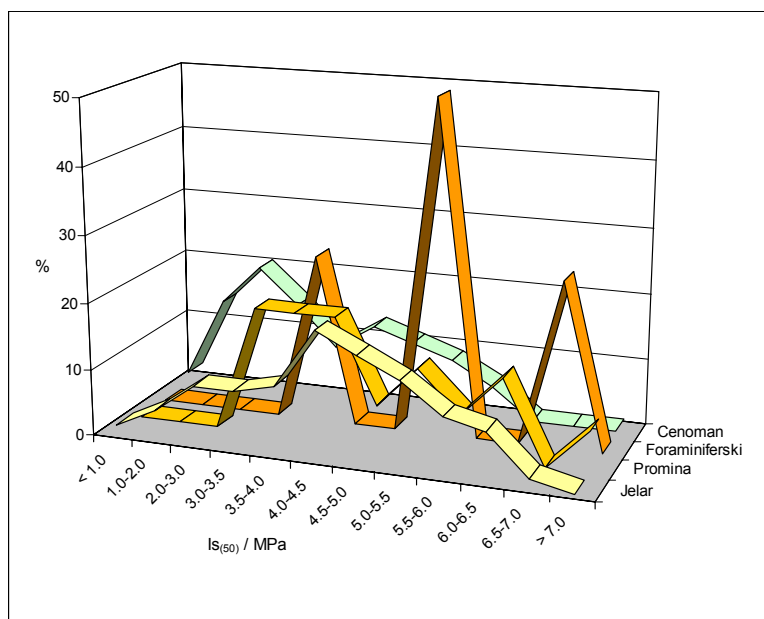
Ovaj pokus se razlikuje od jednoosnog po tome što se regulacijom bočnog tlaka utječe na vrijednosti glavnih naprežanja u trenutku sloma, te omogućuje da se uz pomoć Mohrovih kružnica konstruira Mohrova anvelopa, i odrede parametri čvrstoće smicanja (c i ϕ).

A.1.4.c. ČVRSTOĆA U TOČKI

Pokusom opterećenja intaktne stijene u točki dobiva se indeksna čvrstoća stijene u točki (I_s). Bez obzira što se u nekim primjerima može vidjeti da je I_s lako usporediv s jednoosnom tlačnom čvrstoćom, njihov korelacijski odnos nije baš jednostavan. Tako razni autori za korelaciju litološki istovrsnih stijena preporučuju sasvim drugi faktor. Jasno je da osim razlomljenosti stijene na korelativni faktor sedimentnih stijena utječu i tekstura, struktura itd. Faktori se kreću od 10-35, ovisno o autorima, geometriji i veličini uzorka, a najzanimljiviji se čini primjer kristaliničnog vapnenca kod kojeg je ustanovljen korelacijski faktor od čak 54 (Norbury, 1986).

U istraživanom prostoru ispitivanja su provedena na mnogim uzorcima iz jezgre bušotina i pokrivaju sve litostratigrafske jedinice osim neokomskih vapnenaca.

Prema dijagramu (Slika 30) može se vidjeti da su odnosi $Is_{(50)}$ vrijednosti između pojedinih litostratigrafskih jedinica vrlo slični onima koji su ustanovljeni jednoosnim tlačnim čvrstoćama. Naime, cenomanski vapnenci pokazuju najmanje vrijednosti čvrstoće, a svježi foraminiferski vapnenci najveće. Čvrstoće jelarskih naslaga vrlo su ujednačene, za razliku od prominskih klastita čije čvrstoće u točki variraju u relativno velikom rasponu, kao što je to primijećeno u istraživanjima jednoosne tlačne čvrstoće.



Slika 30. Rezultati mjerenja čvrstoće stijena u točki preračunati na $Is_{(50)}$.

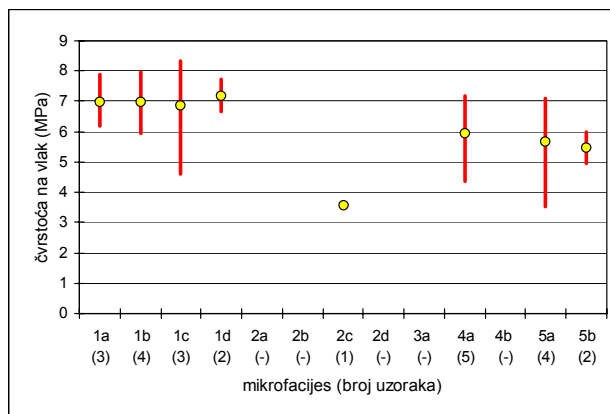
Prema dobivenim rezultatima i iznesenim podacima može se zaključiti da se provedenim ispitivanjima vrlo lijepo može pratiti relativan odnos čvrstoća intaktnih karbonatnih stijena. Stoga se pretpostavlja da bi se uspostavljanjem korelacijskog faktora za svaku prepoznatu litostratigrafsku jedinicu u budućim projektima mogli dobiti dovoljno pouzdani podaci o kretanjima čvrstoće intaktne stijene (Tablica 9). Detaljnom determinacijom svakog uzorka, primjenom sedimentoloških i petrografskih kriterija izbjegle bi se pogreške u primjeni korelativnog faktora i tako uštedila značajna sredstva predviđena za laboratorijska ispitivanja.

Tablica 9. Odnosi prosječnih vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće i čvrstoće u točki.

jedinica	σ_c (prosjeak) / MPa (broj mjerenja)	standardna devijacija	$Is_{(50)}$ (prosjeak) / MPa (broj mjerenja)	standardna devijacija	korelacijski faktor $\sigma_c/Is_{(50)}$
Cenoman	77.00 (59)	47.01	3.53 (148)	1.39	22
Foraminiferski	89.89 (13)	58.59	5.32 (4)	1.31	17
Promina	106.40 (20)	40.94	4.68 (16)	1.32	23
Jelar	104.12 (64)	29.25	4.34 (68)	1.25	24

A.1.4.d. VLAČNA ČVRSTOĆA

Vlačna čvrstoća je na malom broju uzoraka određena tzv. indirektnim postupkom – Brazilskim pokusom (Slika 31).



Slika 31. Rasponi i prosječne vrijednosti čvrstoće na vlak testirane Brazilskim pokusom, i prikazane prema mikrofacijskim grupama. Za oznake mikrofacijsa vidi prilog 3.

Gotovo svi litološki tipovi vapnenaca (1a-1c) i vapnenačke breče (1d) koji čine neokomske naslage istraživanog područja imaju prilično ujednačene vrijednosti ispitivanja vlačne čvrstoće (Slika 31).

Na dijagramu (Slika 31) se odmah ističe znatno manja vlačna čvrstoća laminiranih cenomanskih naslaga (2c). Laminirani dijelovi serije nisu jako sedimentološki markirani, ali bez obzira na to, njihovo svojstvo anizotropije je vrlo jako izraženo. Nažalost, ovdje se ne može kvantificirati anizotropnost laminiranih dijelova stijene, jer prilikom ispitivanja nije utvrđivana orijentacija strukturnih i teksturnih elemenata u odnosu na djelovanje sile.

Primjećuje se i nešto veća čvrstoća prominskih konglomerata (4a) od jelarskih breča (5a) (Slika 31).

Unutar samih Jelar naslaga (5a-5b), rekristalizirani dijelovi (5b) su oslabljeni u odnosu na primarne (5a) vapnenačke breče. Prije svega, oslabljenje je, vjerojatno posljedica izuzetne razlomljenosti stijene. U tim je dijelovima rekristalizacija olakšana, i velikim dijelom zahvaća samo cement, tako da vapnenačko kršje ostaje nerekrystalizirano. Tako se brojne prsline i kalcitne žilice, kao i nekvalitetna veza između rekristaliziranih i reliktnih dijelova stijene, mogu smatrati glavnim “krivcima” za relativno slabu vlačnu čvrstoću dijagenetski promijenjenih dijelova Jelar naslaga. Osim toga na vlačnu čvrstoću vjerojatno je utjecao i stupanj litifikacije i izluživanja matriksa između kršja.

Općenito govoreći, određivanja vlačne čvrstoće su pokazala da je kvaliteta cementa klastičnih naslaga (Promina i Jelar) relativno velika, čak iznad očekivane. Iako s manjim vrijednostima vlačne čvrstoće od onih u vapnencima, ispitivane klastične naslage karakterizira vrlo čvrst i kompaktan cement koji neznatno smanjuje mehaničke karakteristike cjelokupne intaktne stijene. Naravno, postoje izuzeci s djelomično otopljenim i oslabljenim cementom, ali oni ne čine značajan dio stijenske mase. Navedeni podaci poklapaju se sa značajkama cementa svih navedenih naslaga.

Ipak, ako se usporede vrijednosti vlačne (σ_t) i tlačne čvrstoće (σ_c) stijena iz istraživanog prostora (Tablica 10) može se zapaziti znatno odstupanje vrijednosti odnosa (σ_t/σ_c) klastičnih karbonatnih stijena. Odstupanje uzrokuje njihova manja vlačna čvrstoća u odnosu na vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće. Time je pokazano da odnos vlačne i tlačne čvrstoće može biti vrlo važan indikator «kvalitete» veziva klastičnih karbonatnih stijena, pa se određivanjem vlačne čvrstoće može izbjeći «krivi dojam» o čvrstoći tih stijena uzrokovan većim vrijednostima tlačne čvrstoće.

Tablica 10. Odnos indirektne vlačne i tlačne čvrstoće.

	vapnenci	rekristalizirano	klastično
indirektna čvrstoća na vlak σ_t (MPa) (prosječne vrijednosti)	7.0	6.3	6.1
jednoosna tlačna čvrstoća σ_c (MPa) (prosječne vrijednosti)	111.6	99.6	130.3
σ_t/σ_c	1/16	1/16	1/21

A.2. ZNAČAJKE STIJENSKE MASE

U inženjerskoj geologiji, pa i u ovom radu izraz **stijenska masa** obuhvaća intaktnu stijenu i diskontinuitete kojima je ona odijeljena. Zbog toga je za određivanje značajki stijenske mase, osobito za određivanje njezine čvrstoće, osim iznesenih svojstava intaktne stijene, vrlo važno odrediti značajke diskontinuiteta. Naravno, ovdje se ne govori samo o diskontinuitetima sekundarnog podrijetla nastalim tektonskim aktivnostima, nego i diskontinuitetima slojevitosti, koja je jedna od glavnih značajki sedimentnih stijena.

Prilikom proučavanja svojstava karbonatne stijenske mase posebna pozornost je usmjerena na osobitosti nastanka, dijageneze i trošenja koji su kod karbonatnih stijena specifični.

A.2.1. RAZMAK DISKONTINUITETA I RQD

Osnovni parametri za geotehničko projektiranje u čvrstim stijenskim masama su orijentacija i razmak diskontinuiteta. Osnovne značajke orijentacija svih sustava diskontinuiteta već su spomenute u poglavlju «Tektonika». Naime, prilikom terenskih istraživanja, mjerenje razmaka diskontinuiteta mora biti vezano za pojedine sustave poznate orijentacije i geneze.

U obradi podataka prikupljenih u istraživanom području, unutar jedne litostratigrafske jedinice naglašene su razlike u: razmacima diskontinuiteta, RQD vrijednostima i veličini blokova pojedinih zona trošenja, tektonski razlomljenih područja i zonama s različitim debljinama slojeva.

A.2.1.a. RAZMAK DISKONTINUITETA

Slojevitost

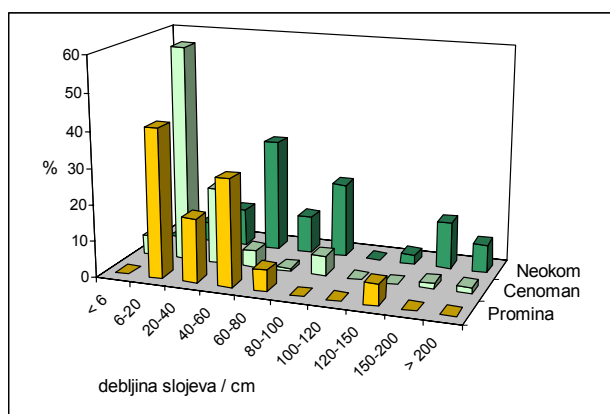
Osnovna primarna teksturna odlika sedimentnih stijena je uslojenost. Bez obzira na to, ona ne mora biti izražena kod svih sedimentnih stijena kao što je to i slučaj u masivnoj «Jelar breči», koja prekriva veliki dio istraživnog prostora.

«Sloj je geološko tijelo uglavnom jednoličnog sastava po cijeloj debljini, koje je od stijena u krovini i podini odvojeno diskontinuitetom» (Tišljar, 1994). Do nastajanja slojevitosti može doći raznim promjenama uvjeta sedimentacije (fizičkih, kemijskih, bioloških ili dijagenetskih) (Collinson & Thompson, 1989). Ovisno o intenzitetu i vrsti promjena uvjeta sedimentacije slojeve mogu dijeliti pravi diskontinuiteti, tj. oštre slojne plohe, ali slojevi mogu biti definirani i postepenim prijelazima (Collinson & Thompson, 1989).

U inženjerskoj geologiji veća se pažnja usmjerava na slojeve koji su definirani ostrim slojnim ploham. Međutim, nekim procesima trošenja ili antropogenog djelovanja i «skriveni» slojne plohe,

bez vidljivog diskontinuiteta, mogu preći u interslojne diskontinuitete, što na inženjerskogeološka svojstva stijena ima velik utjecaj. To se može vidjeti na izdancima stromatolitnih dijelova «hauptdolomita» (Pollak & Braun, 1998) ili laminiranim proslojcima albskih vapnenaca Gorskog kotara (Pollak, 2000). U njihovim trošnim površinskim zonama dolazi do fizičkog razdvajanja laminiranih serija, koje u dubljim, manje trošnim dijelovima stijenske mase ne dolaze do izražaja. Osim toga, u karbonatnim stijenama je vrlo česta i bitna pojava stilolita, koji u ovom području ipak nisu toliko izraženi i zbog toga neće biti razmatrani.

Terenskim radovima, nažalost, nisu odvajani pojedini litotipovi unutar litostratigrafskih jedinica. Tako nije bilo moguće odvojiti i zasebno analizirati terenske podatke koji se odnose na stijene nastale i «živjele» u različitim uvjetima unutar jedne litostratigrafske jedinice. Međutim, već samim pregledom rezultata površinskih mjerenja razmaka diskontinuiteta u pojedinim litostratigrafskim jedinicama vidljivo je da uvjeti postanka i dijageneze stijene izravno impliciraju debljinu slojeva (Slika 32).



Slika 32. Debljine slojeva mjerene na izdancima.

Uspoređujući, na primjer, debljine slojeva neokomskih i cenomanskih naslaga vidljivo je da su neokomske naslage slabo uslojene, deblje do masivne, dok cenomanske naslage imaju bolje izraženu slojevitost manje debljine, ili su laminirane (Slika 32).

Foraminiferski vapnenci su, općenito, slabije uslojeni, do masivni, s malim brojem mjerenja koja ovdje nisu prikazana.

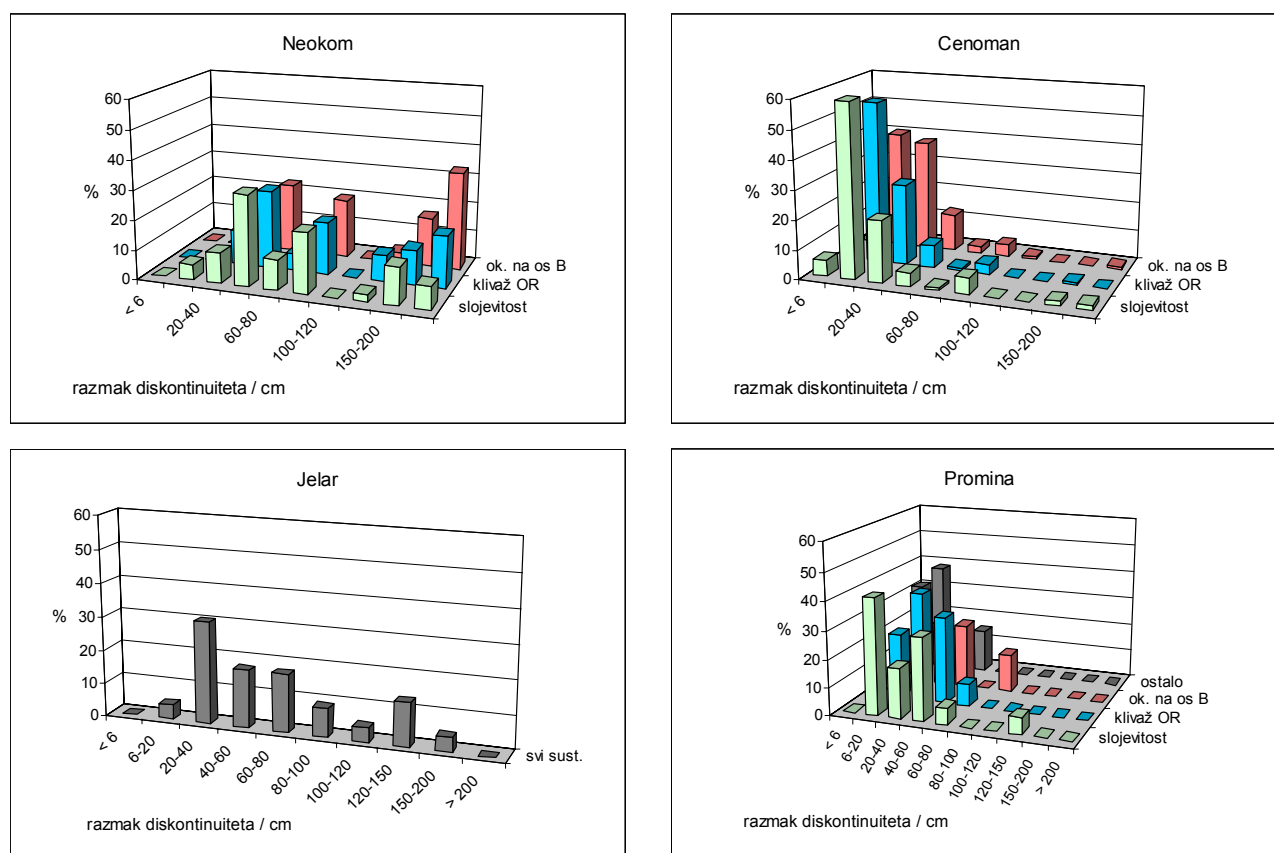
Jelar breče nemaju izraženu slojevitost i karakteriziraju ih veći blokovi.

Promina konglomerati i kalkareniti su dobro uslojeni. Debljina konglomeratnih setova je 40-60 cm, dok su kalkareniti tanje uslojeni 6-20 cm.

S obzirom na uvjete taloženja, navedene litostratigrafske cjeline istraživanog područja imaju logičnu i očekivanu raspodjelu debljine slojeva.

Ostali diskontinuiteti

Prema rezultatima mjerenja razmaka diskontinuiteta na mnogobrojnim izdancima ustanovljeno je da primarni diskontinuiteti, tj. diskontinuiteti slojevitosti i/ili mogući diskontinuiteti unutar sloja (laminacija), gotovo izravno utječu na razmake diskontinuiteta ostalih, sekundarnih, pukotinskih sustava (Slika 33). To znači da je veličina bloka čvrstih sedimentnih stijena, koja je također bitan parametar u geotehničkom projektiranju, u velikom broju slučajeva pod izravnim utjecajem debljine slojeva, zapravo uvjeta u kojima se stijena taložila.



Slika 33. Distribucije razmaka pojedinih sustava diskontinuiteta mjerenih na izdancima različitih litostratigrafskih jedinica.

U skladu s tim, debeloslojevite do masivne naslage neokomskih vapnenaca i Jelar breča daju veće blokove stijena, dok tanje, ali i bolje uslojene naslage cenomanskih vapnenaca i prominskih klastita daju manje blokove stijena.

Naravno, ovim zaključkom nisu obuhvaćena «područja anomalija», kao što su jako razlomljene rasjedne zone u kojima je broj diskontinuiteta daleko iznad, a veličina bloka daleko ispod prosjeka.

A.2.1.b. INDEKS KVALITETE JEZGRE - RQD

Osim razmaka među diskontinuitetima u inženjerskoj geologiji se koristi još jedno mjerilo razlomljenosti stijenske mase – Rock quality designation (RQD) ili indeks kvalitete jezgre. Uveo ga je 1964. godine Deere, a predstavlja postotak fragmenata jezgre iz bušotine dužih od 10 cm.

Premda je primarno uveden za određivanje razlomljenosti jezgre bušotine, korištenjem formule može se dobiti i indirektno, iz površinskih mjerenja (Palmström, 1982):

$$RQD = (115 - 3.3 * J_v)$$

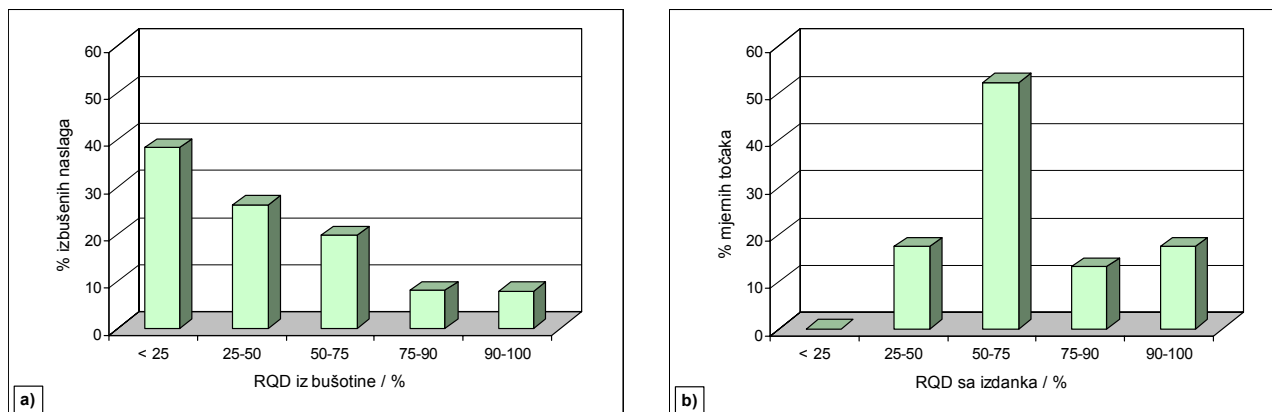
gdje je:

RQD – indeks kvalitete jezgre (%);

J_v – ukupan broj pukotina u m^3 .

Vrijednosti RQD-a koji se dobivaju iz bušotina i terenskim mjerenjem na izdancima ne mogu se direktno uspoređivati, s obzirom da se mjerenja na izdancima najčešće odnose na površinsku zonu, a bušenjem dobivaju RQD vrijednosti iz dubljih, obično manje rastrošenih zona. Osim toga, treba imati na umu da se na većini odabranih izdanaka mjerenje razmaka diskontinuiteta može obaviti u najmanje dvije dimenzije, za razliku od bušenja kojim se dobiva razmak diskontinuiteta u samo jednom pravcu.

Suprotno očekivanjima, u ponekim se slučajevima može dogoditi da površinska mjerenja daju veće iznose RQD-a nego jezgre bušotine, kao što je to slučaj sa cenomanskim vapnencima (Slika 34).



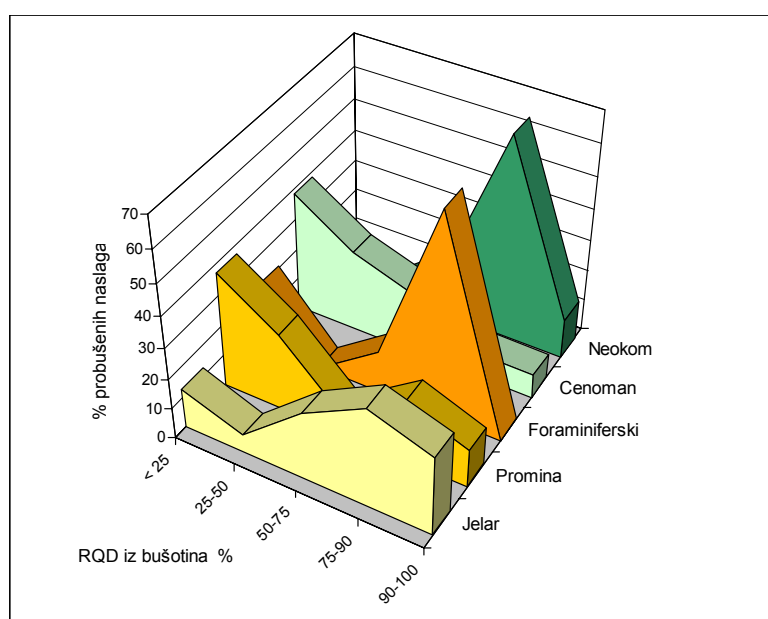
Slika 34. RQD vrijednosti cenomanskih naslaga: a) iz istraživačkih bušotina, b) preračunate iz površinskih mjerenja.

Postoji više tumačenja ovakvih rezultata. Nekvalitetnim bušenjem mogu se dobiti fragmenti stijena koji nisu odijeljeni prirodnim diskontinuitetima, nego je mehaničkim «forsiranjem» stijena uništena, pa izvađena jezgra ne predstavlja reprezentativan uzorak. Osim toga, mjerenje orijentacije i razmaka diskontinuiteta svedeno je na svježije izdanke koji su manje razlomljeni i trošni, jer se na izdancima, koja se sastoje od odlomaka i kršja stijene iz podloge, pouzdano mjerenje niti ne može obaviti. I konačno, ali u ovom slučaju ne manje važno, laminirani dijelovi stijene koji

primarno nemaju otvorene diskontinuitete, mogu se mehaničkim djelovanjem (bušenjem) vrlo lako po laminama odvojiti.

S obzirom da u ovom slučaju cenomanskih vapnenaca, laminirani dijelovi stijene ne predstavljaju toliki udio u cijeloj litostratigrafskoj jedinici, prezentirani rezultati su vjerojatno posljedica svih navedenih utjecaja. Stoga bi pažnju trebalo usmjeriti na sve prikazane aspekte, ali posebno na teksturne značajke stijene koje se ne smiju previdjeti ili zaboraviti pri obradi podataka.

Ipak, bušenjem i pravilnom interpretacijom podataka može se potvrditi puno pretpostavki, ali i otkriti do tada nepoznate činjenice. RQD vrijednosti dobivene bušenjem pojedinih litostratigrafskih jedinica potvrđuju velik utjecaj sedimentoloških značajki stijena na njena inženjerskogeološka svojstva (Slika 35).



Slika 35. Relativan odnos RQD vrijednosti pojedinih jedinica (dobivenih bušenjem).

Stoga ne začuđuje što prikazane vrijednosti i relativni odnosi pojedinih litostratigrafskih jedinica podsjećaju na rezultate dobivene površinskim mjerenjem debljina slojeva (Slika 32), jer, kako je već prikazano, upravo o njoj direktno ovisne.

Tako, masivnije naslage neokoma i foraminiferskog vapnenca imaju vrlo visoke vrijednosti RQD indeksa.

Cenomanske, dijagenetskim procesima promijenjene, mjestimično laminirane i dolomitizirane naslage i konglomerati, posebno tankoslojeviti kalkareniti Promina naslaga, imaju znatno niže vrijednosti RQD indeksa.

Masivne, ali mjestimice znatno okršene Jelar breče imaju vrijednosti RQD indeksa koje se uglavnom kreću između 75-100 %, što spada u grupu dobrih i vrlo dobrih indeksa.

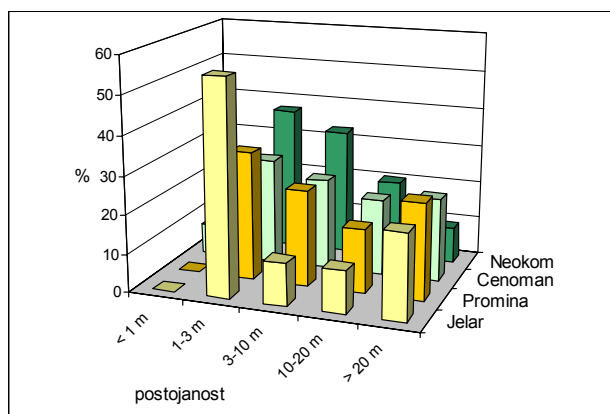
A.2.2. ZNAČAJKE DISKONTINUITETA

S obzirom da su diskontinuiteti vrlo bitni u određivanju geotehničkih parametara stijenske mase, njihova su svojstva na terenu detaljno istražena. Opisivanje, tj. svrstavanje pojedinih značajki diskontinuiteta u grupe olakšano je međunarodnim preporukama, prema kojima su i obavljena terenska istraživanja (ISRM, 1978c).

A.2.2.a. POSTOJANOST

«Postojanost ili perzistencija diskontinuiteta definira omjer u kojem značajke intaktne stijene i diskontinuiteta, odvojeno gledano, utječu na ponašanje stijenske mase» (Bieniawski, 1989).

U zajedničkom prikazu svih sustava diskontinuiteta unutar jedne litostratigrafske jedinice mogu se izdvojiti male postojanosti slabo uslojenih ili masivnih neokomskih vapnenaca i Jelar breča (Slika 36). Jasno je da je takav općeniti dojam uvjetovan malom postojanosti diskontinuiteta slojevitosti ili čak njihovom odsutnošću.

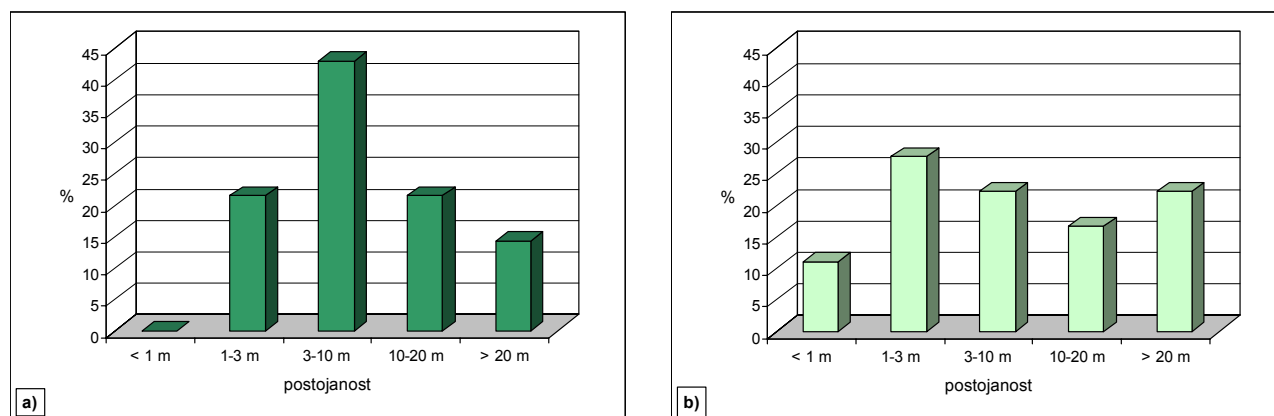


Slika 36. Postojanost svih sustava diskontinuiteta za pojedine litostratigrafske jedinice.

Postojanost diskontinuiteta slojevitosti određena je uvjetima sedimentacije, dijageneze i procesima trošenja. Ako iz sveukupnih podataka izdvojimo samo one koji se odnose na slojevitost, na primjeru neokomskih i cenomanskih vapnenaca može se vidjeti u kojoj mjeri je to izraženo (Slika 37).

Vidljivo je da neokomski vapnenci, u slučaju kada se slojevitost i može prepoznati, imaju vrlo slabo izražene diskontinuitete slojevitosti.

Za razliku od njih, cenomanski vapnenci, u značajnijem postotku, imaju diskontinuitete slojevitosti veće postojanosti, što je pokazatelj značajki slojne plohe definirane uvjetima taloženja, dijageneze i ostalog.

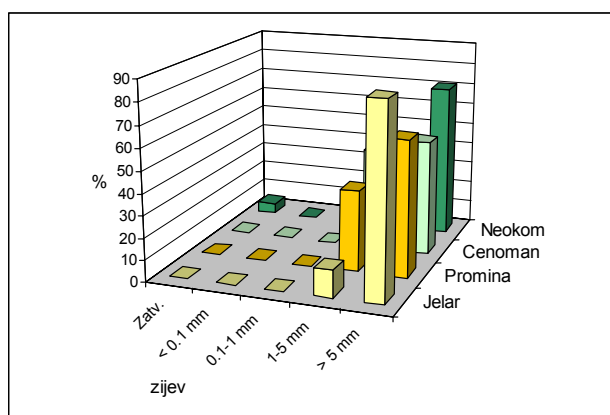


Slika 37. Postojanost diskontinuiteta slojevitosti: a) neokomskih i b) cenomanskih vapnenaca.

A.2.2.b. ZIJEV

Zijev je jedan od parametara diskontinuiteta o kojem ovisi njihova čvrstoća. Osim zijeva, utjecaj na čvrstoću diskontinuiteta imaju: ispuna (prisutnost ispune i mineralni sastav), hrapavost i trošnost stijenki.

S obzirom da je istraživano područje izgrađeno od karbonatnih stijena koje su vrlo podložne okršavanju, osobito uzduž prslina i pukotina, nije čudno što je zijev pukotina mjerjen na površini vrlo velik (Slika 38). Osim toga, on je izrazito varijabilan, a u pojedinim slučajevima na površini, ali i na većim dubinama, može biti i veći od nekoliko decimetara. Osim toga, manje ili veće kaverne gotovo su isključivo vezane za pukotinske sustave i u geotehničkom smislu se mogu shvatiti kao izraziti zijev pukotina. Razvoj takvih krških pojava vezan je za strukturni karakter pojedinih diskontinuiteta (Jamičić & Novosel, 1999), ali i za svojstva stijena u kojima se razvija.

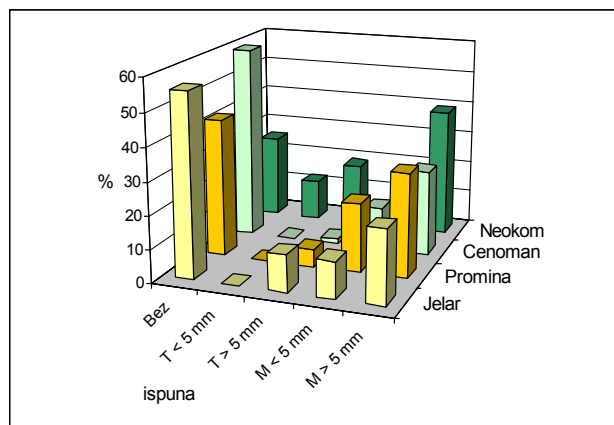


Slika 38. Zijev svih sustava diskontinuiteta pojedinih litostratigrafskih jedinica mjerjen na površini.

U dubljim dijelovima stijenske mase, gdje je utjecaj okršavanja manji, diskontinuiteti imaju znatno manji zijev, vrlo često do 1 mm, a poneki su zatvoreni.

A.2.2.c. ISPUNA

U istraživanom prostoru je sastav ispune pukotina tipičan za krško područje. Na površini su vrlo česti otvoreni diskontinuiteti bez ispune, dok se, idući prema dubini, mogu naći mješovite ispune (mješavina kršja i gline), zatim se, u dubljim zonama bez direktnog utjecaja s površine pojavljuju glinovite (meke), rjeđe kalcitne (tvrde) ispune pukotina (Slika 39).



Slika 39. Ispune svih sustava diskontinuiteta pojedinih litostratigrafskih jedinica (T-tvrda i M-mekana ispuna).

Debljina ispune varira ovisno o zijeju diskontinuiteta. Općenito se može reći da su rijetke “tvrde” ispune diskontinuiteta zijeja većeg od 1 cm, osim ako se ne radi o speleološkim tvorevinama ili kalcitnim gnijezdima u kavernoznim dijelovima stijene.

U istraživanom području pukotine su često ispunjene materijalom s površine (terra rossa, rjeđe boksit), što je vrlo čest slučaj u pripovršinskoj zoni. Ovisno o cirkulaciji vode i supstratu koji su nosile, u dubljim dijelovima stijenske mase mogu se naći glinovite, glinovito-kalcitne ili kalcitne ispune pukotina.

U zonama rasjeda, ispune pukotina vrlo često su glinovite ili su barem smatrane takvima. Međutim, u sličnim (karbonatnim) stijenama Postojne, ustanovljeno je da je većina ovakvih «glinovitih» ispuna po mineralnom sastavu uglavnom kalcitna (Zupan Hajna, 1995). Do zabune često dovodi boja ispune koja je diktirana udjelom akcesornih minerala, tj. odnosom količina getita (žuto-crvena) i hematita (crvena).

Gledajući prema litostratigrafskom sastavu, ispune pukotina u istraživanom području gotovo su jednake za sve jedinice. Izuzetak su jedino neokomske naslage gdje je povišen sadržaj tzv. “tvrdih” ispuna kalcitnog sastava. Sudeći prema intenzivnim dijagenetskim procesima, osobito cenomanskih vapnenaca, neki su slabije izraženi diskontinuiteti «zacičljeni», što je «učvrstilo» ranije jače razlomljenu stijenu.

A.2.2.d. HRAPAVOST

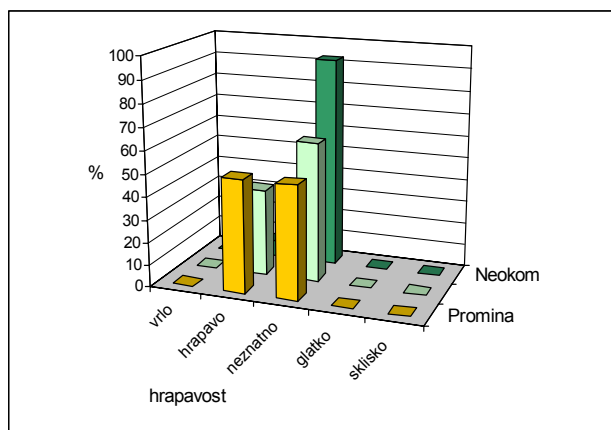
Zapažanje morfologije diskontinuiteta na terenu uobičajeno se provodi u raznim veličinskim područjima motrenja. Na decimetarskoj i metarskoj skali diskontinuiteti se promatraju isključivo na izdancima, zasjecima i usjecima, dok se centimetarsko područje motrenja hrapavosti stijene (JRC_{10}) može promatrati i na jezgrama bušotina.

Morfologija diskontinuiteta slojevitosti

Morfologija primarnih diskontinuiteta u istraživanom području, osobito u površinskoj zoni, je pod utjecajem procesa okršavanja. Bez obzira što je taj parametar plod subjektivne terenske procjene, uočljivo je da teksturne i strukturne značajke pojedinih litostratigrafskih jedinica utječu na «hrapavost» diskontinuiteta slojevitosti, kao što je to vidljivo na slici (Slika 40).

Veća hrapavost slojnih ploha **prominskih klastita**, osobito konglomerata, očekivana je s obzirom na uvjete taloženja, veličinu valutica, klastnu ili matriksnu potporu i mjestimične pojave erodirane podloge na kojima se talože krupnozrnatiije serije (Slika 41b).

Rekristalizacijski procesi koji su u velikoj mjeri zahvatili **cenomanske naslage**, mjestimice su potpuno «izbrisali» prvobitnu strukturu stijene, ali i utjecali na hrapavost slojnih ploha, koja je prvobitno ipak, vjerojatno bila manja.



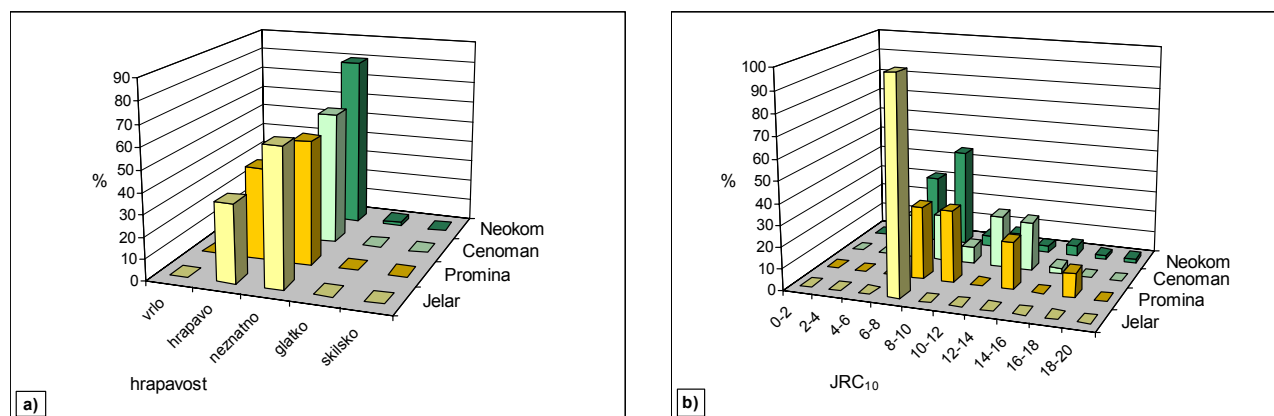
Slika 40. Terenske procjene hrapavosti ploha slojevitosti.

Morfologija sekundarnih diskontinuiteta

Morfologija sekundarnih diskontinuiteta u stijenskoj masi ovisi o mnogim faktorima. Tako, važnu ulogu u oblikovanju morfologije stijenke diskontinuiteta imaju: mineralni sastav stijene, međusobne veze čestica koje tvore stijenu, struktura i tekstura, geneza i kinematika nastanka diskontinuiteta. Treba imati na umu da je djelovanje sekundarnih procesa na već postojeće primarne ili sekundarne diskontinuitete u krškim područjima posebno naglašeno.

Upravo ove postavke su dokazane umjetnim stvaranjem pukotina na intaktnim vapnenačkim stijenama, djelovanjem vlačnih sila na uzorak (Brazilski test) (Mogilevska & Kujundžić, 1988). Autori ovih istraživanja su na pukotinama mjerili nagibne kutove nastalih neravnina (α). Na uzorcima vapnenaca i vapnenačkih breča različite razlomljenosti i homogenosti, ustanovljeno je da zrnatost sedimenta utječe na morfologiju površine diskontinuiteta. Tako bi, recimo, madstonski vapnenci trebali imati manje kutove α od zrnatih, rekristaliziranih vapnenaca sa sparitnim kristalićima. Isto pravilo vrijedi za klastične sedimente kao što su vapnenačke breče ili konglomerati i kalkareniti. Rasipanje podataka α vrijednosti ovisi o veličini zrna, ali i o heterogenosti materijala. Osim toga, u klastičnim sedimentima veliku ulogu na izgled plohe diskontinuiteta imaju svojstva cementa. Ako se radi o slabijem, pukotine se šire isključivo kroz cement, dok kod snažnijeg cementa pukotine prolaze i kroz klaste koje stijena sadrži.

Navedeno se odnosi na novonastale generacije sekundarnih pukotina, koje su u terenu znatno izmijenjene, zapravo okršene. Zahvaljujući okršavanju stijenki pukotina, osobito u pripovršinskoj zoni, dolazi do izjednačavanja njene hrapavosti, koja je gotovo ista za sve izdvojene jedinice. Površina svih sustava diskontinuiteta je uglavnom valovita-glatka, tj. neznatno hrapava. Na 10 centimetarskoj skali diskontinuiteti gotovo svih jedinica imaju JRC_{10} između 6 i 10.

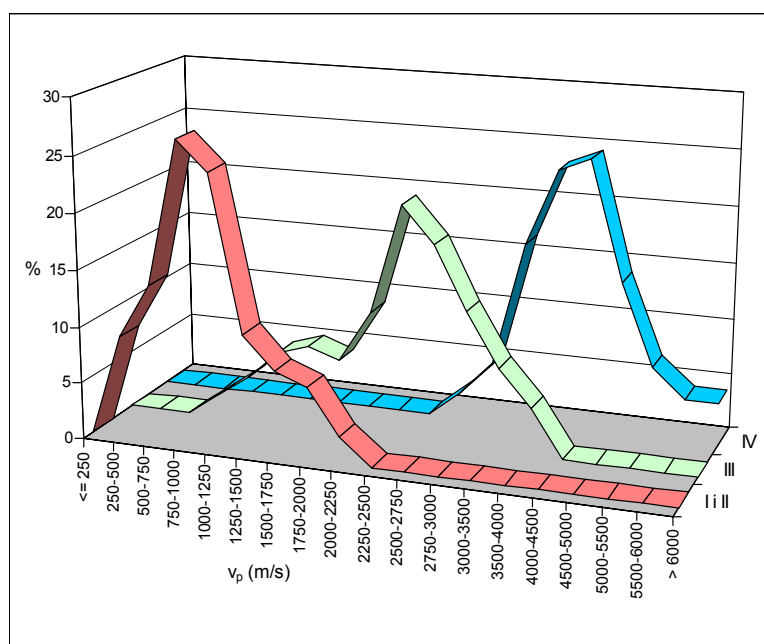


Slika 41. Hrapavost svih diskontinuiteta za pojedine litostratigrafske jedinice. Područje motrenja: a) metarsko i b) 10 cm.

A.3. TROŠENJE, ZONE TROŠENJA I GEOTEHNIČKE SREDINE

Bez obzira radi li se o neklastičnim ili klastičnim karbonatnim stijenama okršavanje u velikoj mjeri utječe na inženjerskogeološka svojstva stijenskih masa. Tijekom inženjerskogeološkog kartiranja je ustanovljeno da je istraživano područje u velikoj mjeri okršeno. Međutim, već pregledom terena je ustanovljeno da su pojedine izdvojene jedinice «pogodnije» za okršavanje. Tako nešto je površinskim istraživanjima vrlo teško definirati, ali se motrenjem na terenu može nazrijeti po debljini i značajkama pokrivača, broju krških pojava (vrtače), izgledu i intenzitetu okršanih površina, broju kaverni i slično. Vezu morfologije krških terena i facijesnih tipova jurskih i donjokrednih naslaga vanjskih Dinarida uspostavili su Tišljar i Velić (1991). Iz njihovog rada je vidljivo da ne samo facijesni tipovi stijena, nego i njihova tekstura diktiraju način i intenzitet trošenja karbonatnih stijena.

Teško je i nepouzđano samo vizualnim pregledom terena usporediti intenzitet okršavanja pojedinih litostratigrafskih jedinica i uspostaviti zone trošenja. U tu svrhu se najčešće koriste podaci terenskih istražnih radova: seizmičkih profila i istraživačkih bušotina. Prema tim podacima mogu se izdvojiti zone trošenja i područja jače razlomljenosti stijenske mase (Slika 42). Temeljem navedenih podataka u istraživanom se području mogu izdvojiti četiri geotehničke sredine. Bez obzira što se iz slike može naslutiti da je zonarnost geotehničkih sredina jasno određena i pravilna, u prirodi to baš i nije tako. Vrlo je čest slučaj, recimo, da se u istraživanom području izdvojene sredine međusobno isprepliću, te vertikalno i bočno nepravilno izmjenjuju. Do «nepravilnog» zoniranja dolazi i na mjestima jačih rasjeda ili tektonski razlomljenih područja čije granice s ostalim geotehničkim sredinama mogu biti i vertikalne.



Slika 42. Usporedba brzina širenja primarnih seizmičkih valova u pojedinim geotehničkim sredinama.

Generalno gledajući, na istraživanom prostoru moguće je izdvojiti slijedeće geotehničke sredine (Pollak & Navratil, 2000) (Tablica 11):

I sredina se na ovom terenu rijetko pojavljuje, a uglavnom je izgrađena od nevezanih materijala (nasip, terra rossa, deluvijalne naslage) malih brzina širenja primarnih seizmičkih valova 300-1000 m/s. Prosječna dubina je oko 0.5-1 m.

II sredina uglavnom predstavlja površinsku zonu okršavanja stijene koja je u podlozi. Radi se o jako okršenoj stijeni s kršjem, odlomcima i blokovima na površini. Mjestimice su takve naslage prekrivene ili pomiješane s terra rossom. U ovu su zonu svrstane i jako razlomljene stijene sa slabo vezanim fragmentima, tektonskom brečom ili jako razlomljenom stijenom s glinovitim vezivom ili ispunom. Brzina širenja primarnih seizmičkih valova je uglavnom između 800-1800 m/s. Može se općenito reći da se debljina ove zone uglavnom kreće 0.5-3 m, a na mjestima rasjeda ili razlomljenih zona dopire i znatno dublje. RQD se uglavnom kreće oko 0-40 %.

III sredina je uglavnom izgrađena od kompaktne stijene, još uvijek okršene, mjestimice kavernozone, često s glinovitim ispunama pukotina. Dubina do koje dopire ta zona je jako varijabilna, a granica s IV zonom jako nepravilna u vertikalnom i horizontalnom smislu. Brzine širenja primarnih seizmičkih valova su između 1800-4000 m/s, a RQD vrijednosti se uglavnom kreću 50-80 %.

IV sredina predstavlja najmanje alteriranu stijenu, bilo okršavanjem ili utjecajem tektonike. Bez obzira na to, i u ovoj zoni se mogu naći kaverne i glinovite ispune pukotina. Brzine širenja primarnih seizmičkih valova su preko 4000 m/s, a RQD vrijednosti uglavnom preko 80 %.

Prema opisu izdvojenih geotehničkih sredina i brzinama širenja seizmičkih valova, vidljivo je da se njihove karakteristike mogu uspoređivati sa sličnim krškim područjima (Jurak et. al., 1989).

Tablica 11. Osnovne značajke geotehničkih sredina.

Geotehnička sredina	Značajke	Dubina zone (m)	v_p (m/s)	RQD (%)
I	nevezani materijal, pokrivač	0-1	300-1000	-
II	površinska zona okršavanja	2-3	800-1800	0-40
III	jače raspucana i okršena stijena	4-6-?	1800-4000	50-80
IV	kompaktnija i manje okršena stijena	?	> 4000	> 80

Ako se cijelo područje podijeli na litostratigrafske jedinice, što je i učinjeno, mogu se vidjeti međusobne razlike u geofizičkim značajkama, ali i srednjim dubinama doseganja pojedinih geotehničkih sredina (Tablica 12). U skladu sa značajkama svih krških terena, dubine pojedinih zona variraju u širokom rasponu i ovise o lokalnim uvjetima.

Koeficijent oslabljenja dobiven je odnosom brzina širenja primarnih seizmičkih valova (v_p) dobivenih seizmičkom refrakcijom (na terenu) i laboratorijskim ispitivanjem ultrazvukom (na

intaktnoj stijeni). Iz tablice je vidljivo da je stijena u svim litostratigrafskim jedinicama znatno oslabljena.

S obzirom da se u istraživanom prostoru I geotehnička sredina vrlo rijetko pojavljuje, njezine se značajke neće razmatrati.

Tablica 12. Koeficijenti oslabljenja i dubine geotehničkih sredina pojedinih litostratigrafskih jedinica.

litostratigrafska jedinica	geotehnička sredina	dubina (m)	v_p (m/s) stijenske mase	v_p (m/s) intaktne stijene	koeficijent oslabljenja
Jelar	II	3.01	1194	5707	0.21
	III	6.04	2259		0.40
	IV	?	3875		0.68
Promina	II	1.89	744	5884	0.13
	III	6.07	1624		0.28
	IV	?	3842		0.65
Foraminiferski	II	-	-	6039	-
	III	4.91	1451		0.24
	IV	?	4752		0.79
Cenoman	II	2.25	1137	5465	0.21
	III	5.7	2635		0.48
	IV	?	3947		0.72
Neokom	II	2.21	786	5834	0.13
	III	5.26	1985		0.34
	IV	?	4235		0.73

Gledajući relativne odnose gotovo svih navedenih svojstava litostratigrafskih jedinica, može se primijetiti da se svojstva **Jelar naslaga** gotovo uvijek nalaze u sredini. Jednako tako je i s trošenjem. Na terenu se masivne Jelar naslage odlikuju zaobljenim blokovima velikih dimenzija. Na površini su diskontinuiteti velikog zijeva, zaobljeni i jako okršeni. Mnoge bušotine u Jelar naslagama dokazale su postojanje kaverni na presjecištima diskontinuiteta.

Male brzine primarnih valova (v_p) u II zoni **Promina naslaga**, u odnosu na druge jedinice, ukazuju na pojačano trošenje i «raslojavanje», osobito tanje uslojenih kalkarenitnih proslojaka u površinskoj zoni. Istina, nešto slabiji rezultati posljedica su i nepovoljne orijentacije dobro razvijenih diskontinuiteta slojevitosti ovih naslaga u odnosu na pravce geofizičkog profiliranja.

Velikim dijelom debeloslojevite do masivne **foraminiferske naslage** odlikuju se svježim izdancima, i manjim pojavama trošenja od ostalih naslaga istraživanog područja.

U površinskoj zoni trošenja (gornji dio II zone) **cenomanskih naslaga**, na površini je stvoren tanki sloj nevezanog kršja (10-30 cm), odlomaka i blokova, mjestimice pomiješanih s crvenicom. Ispod toga cenomanske naslage nemaju okršavanjem proširene diskontinuitete velikog zijeva (kao Jelar ili neokom) što značajno i pozitivno utječe na rezultate ispitivanja II i III zone trošenja ovih naslaga.

Okršavanje **neokomskih naslaga** slično je jelarskim. Na površini, diskontinuiteti su znatno prošireni, sa zijevom i do 50 cm. Izdanci ili blokovi stijena nisu u toj mjeri zaobljeni (kao Jelarski) jer je stijena homogenija i manje porozna, tako da je okršavanje neokomskih naslaga u površinskoj zoni gotovo u cijelosti usmjereno na proširivanje diskontinuiteta, a znatno manje na masivnu i relativno homogenu stijenu.

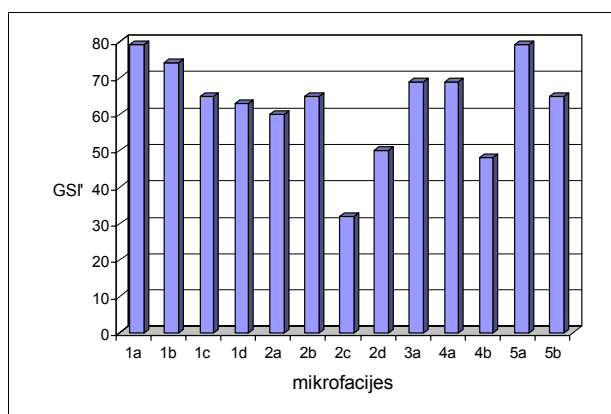
Za cijelo područje je karakteristično da su pojave vrtača rijetke, a njihove dimenzije male. U velikim morfološkim udubljenjima (čije se dimenzije mjere u desetinama, pa i stotinama metara) koja su vezana za razlomljene zone cenomanskog vapnenca mogu se naći boksitne naslage.

A.4. GSI'

Temeljem prikazanih podataka, određen je geološki indeks čvrstoće (GSI^{11}) (Hoek & Brown, 1997) za svaki izdvojeni mikrofacijes (Slika 43). Bitno je napomenuti da je u ovom radu GSI indeks dobiven preko RMR klasifikacije iz 1989 godine (Bieniawski, 1989):

$$GSI = RMR_{89} - 5.$$

Zbog toga što je tema ovog rada utjecaj **sedimentno-petroloških** značajki na inženjerskogeološka svojstva, GSI vrijednosti nisu dobivene na uobičajen način i stoga su označene kao GSI'. Naime, inače u proračun ulaze značajke najkritičnijeg sustava diskontinuiteta. Međutim, u svrhu određivanja utjecaja sedimentno-petroloških značajki na svojstva stijenske mase, u ovom radu su za izračun GSI' indeksa korištena svojstva **diskontinuiteta slojevitosti**. Takvim pristupom može se istaknuti važnost pojedinih sedimentno-petroloških svojstava, i u kojoj mjeri ona utječu na geotehnički proračun. Prema GSI' vrijednostima može se vidjeti da se većina izdvojenih mikrofacijesa može smatrati dobrim ili povoljnim za izgradnju (Slika 43). Niži indeks imaju laminirani cenomanski vapnenci.



Slika 43. Geološki indeks čvrstoće pojedinih mikrofacijesa. Za oznake mikrofacijesa vidi prilog 3.

¹¹ Geological strength index (Hoek & Brown, 1997)

VI. DISKUSIJA

Iz rezultata istraživanja vidljivo je da velika većina sedimentno-petroloških značajki karbonatnih stijena utječe na njihova inženjerskogeološka svojstva. Naravno, ne odražava se svaka, pa i najmanja promjena navedenih značajki na jednak način i u jednakoj mjeri na svojstva intaktne stijene i stijenske mase. Jedino proučavanjem uvjeta u kojima je stijena nastala, očvrsnula i mijenjala se može se spoznati uzrok o kojem pojedino svojstvo ovisi, ali i mjeru u kojoj je to izraženo.

A.1.1. MINERALNI SASTAV

Mineralni sastav stijena jedan je od osnovnih petrografskih značajki stijena. O mineralnom sastavu stijene ovise dijagenetski procesi koji se u stijeni zbivaju, način njenog trošenja, ali su njime određena i mnoga fizička i mehanička svojstva stijena.

Vapnenci

Sadržaj od preko 95% CaCO_3 pokazuje da je udio drugih minerala, osim kalcita, u vapnencima istraživanog područja vrlo malen. U takvim, gotovo monomineralnim stijenama, ponekad je vrlo teško razlučiti podrijetlo i “ulogu” pojedinih kristalnih jedinki.

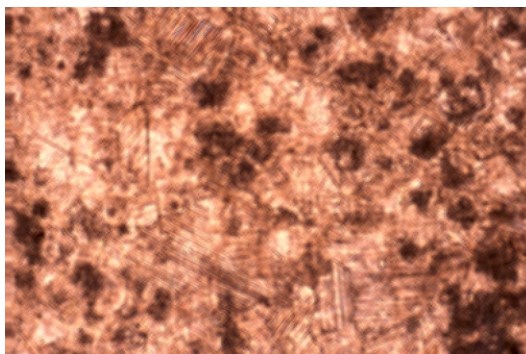
To se naročito odnosi na kalcit kriptokristalnih dimenzija koji u promatranim stijenama tvori mikrit, intraklaste, peloide, stijenke nekih fosila itd.

Mikrosparitni i sparitni kalcit vrlo često je nastao cementacijom stijene, kao mozaični cement u međuzrnskom prostoru, ali redovito ispunjava i šupljine primarne poroznosti. Međutim, u ovom području vrlo je čest sparitni kalcit nastao rekristalizacijom (Slika 44). Morfologija njegovih rubova sasvim je drugačija, nepravilna, neravna, nazubljena, a vrlo često i nejasna. Veličina takvih kristala varira u širokom rasponu, a ovisi o broju zametaka u kojima je započet proces rekristalizacije.

Prsline i pukotine su djelomično ili potpuno ispunjene sparitnim kalcitom uglavnom preko 0.2 mm, ali i do 2 mm.

U površinskim ili jače razlomljenim zonama ispunjena diskontinuiteta je takozvana «mekana», tj. diskontinuiteti su osim kalcitom ispunjeni i mineralima glina, što je vrlo važno u geotehničkom smislu.

Rijetki su slučajevi da se unutar ovih vapnenaca nalaze minerali SiO_2 (kvarc, opal, kalcedon), opaki minerali, za koje se smatra da su terigenog podrijetla. Ako takvih pojava i ima onda je njihova koncentracija vrlo mala, te ima puno veći sedimentološki nego inženjerskogeološki značaj.



Slika 44. Sparitni kalcit nastao rekristalizacijom cenomanskih vapnenaca (bez analizatora, φ 20x, 32, 3174).

Dolomiti i dedolomiti

Manji dio cenomanskih vapnenaca ovog područja je dolomitiziran, a iz mikroskopskih istraživanja je vidljivo da su naslage u velikoj mjeri i dedolomitizirane. Općenito rečeno, višestruke diagenetske promjene ove stijene utjecale su na degradaciju fizičkih i mehaničkih svojstava stijena, posebice to vrijedi za one koji su zahvaćeni procesima dedolomitizacije. Prema rezultatima ispitivanja promjene nastale procesima dolomitizacije i dedolomitizacije najviše utječu na gustoću i čvrstoću.

Klastične karbonatne stijene

U istraživanom području mogu se naći vapnenačke breče, konglomerati i kalkareniti.

Vapnenačke breče kredne i paleogenske starosti (Jelar) imaju gotovo monomineralni, kalcitni, sastav fragmenata i cementa, pa nemaju velikih oscilacija u fizičkim svojstvima. U mehaničkim svojstvima intaktne stijene izražene su varijacije uvjetovane vrlo varijabilnim veličinama i oblikom kalcitnih kristala u mikritnim, alokemijskim, biokemijskim i drugim fragmentima vapnenca, ali i različitim tipovima cementa i matriksa, strukture, teksture itd.

Klastične stijene Promina naslaga imaju siliciklastičnog materijala do nekoliko postotaka. Uglavnom su to kvarc, zatim, rožnjak, a rjeđe epidot, muskovit i granat. Udio siliciklastičnog materijala raste s dužinom transporta koju je sediment pretrpio. Ovisno o promjenama količine siliciklastičnog materijala variraju i fizička svojstva kao što je specifična težina stijene. S aspekta inženjerske geologije te su razlike u ovom slučaju ipak zanemarive.

U klastičnim stijenama gotovo sva inženjerskogeološka svojstva uvjetovana su «kvalitetom cementa». Bez obzira što je kalcitni cement u klastičnim karbonatnim stijenama istraživanog područja vrlo kvalitetan, i ima ga dovoljno da čvrsto veže zrna (gotovo bez poroznosti), uočavaju se nešto niže vrijednosti vlačne čvrstoće klastičnih karbonatnih stijena od vapnenaca.

Cement i matriks ispitivanih klastičnih stijena (osobito Jelara i Promine) često su pigmentirani opâkim Fe-oksidima koji se kao prevlake i zrnca nalaze uklopljeni u kalcitu. Njihova prisutnost

nema izravnog značajnog utjecaja na fizička i mehanička svojstva stijena. Međutim, trošenjem željeznih oksida dolazi do pretvorbe fero u feri željezo, hidratacije itd. Promjena mineralnog sastava stijene prouzročena procesima trošenja obično narušava strukturu stijene, povećava poroznost, ali i mijenja kemizam okolini što može dodatno ubrzati trošenje, osobito u karbonatnim sredinama.

Dakle, mineralni sastav i kristalografske karakteristike ispitivanih stijena utječu na :

- gustoću stijene;
- čvrstoću (čvrstoća minerala, njihove međusobne veze, izgled ploha kristala, veličina kristala);
- brzinu širenja ultrazvučnih valova;
- trošenje.

Već je spomenuto da intenzitet, tj. mjera u kojoj mineralni sastav utječe na navedena svojstva može biti u jednom slučaju minimalan, zanemariv, a u drugom dominantan i odlučujući.

A.1.2. STRUKTURA I TEKSTURA

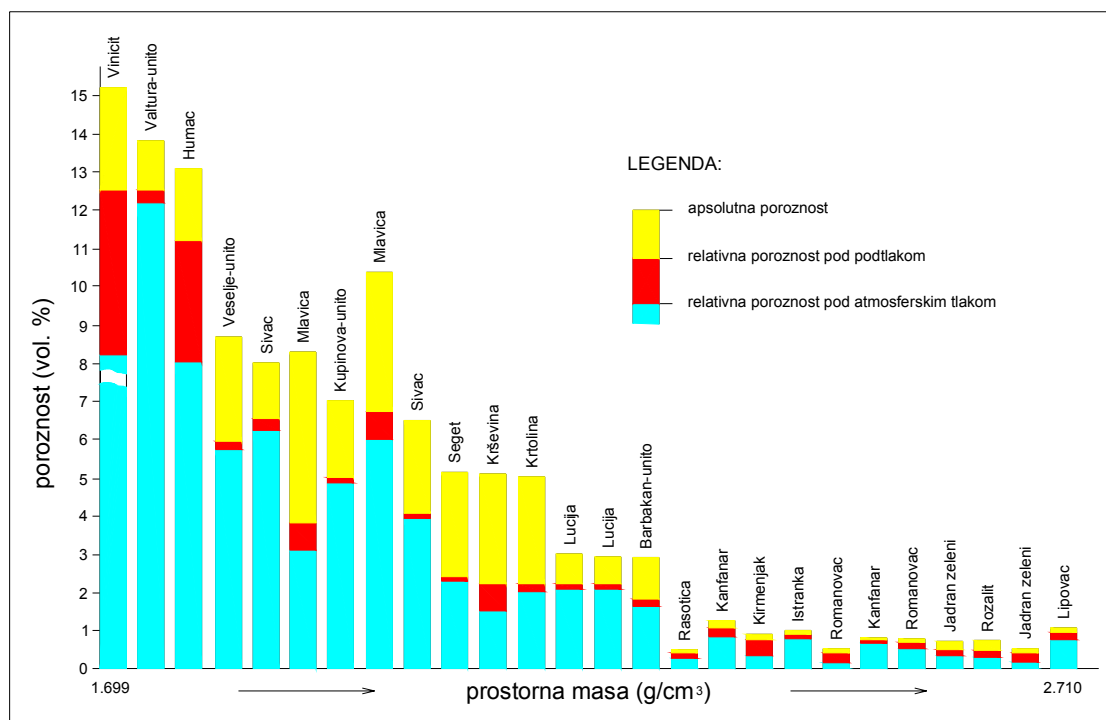
Proučavanje strukture i teksture sedimentnih stijena vrlo je bitno, jer se činjenicama o građi stijene može doći do vrijednih zaključaka za koje je, u prethodnom poglavlju, pokazano da imaju utjecaj na inženjerskogeološka svojstva. Naime, iz prikazanih rezultata se vidi da građa sedimentnih karbonatnih stijena od terenskog do mikroskopskog područja motrenja utječe na čitav niz vrlo bitnih inženjerskogeoloških svojstava.

A.1.2.a. STRUKTURA

Izučavanje strukture karbonatnih stijena, osobito vapnenaca, prilikom inženjerskogeoloških istraživanja bilo je često zapostavljano. Radom je pokazano da je raščlanjivanje litostratigrafskih jedinica prema strukturnom i teksturnom kriteriju neophodno. To posebice vrijedi za područja u kojima se rade detaljna inženjerskogeološka istraživanja.

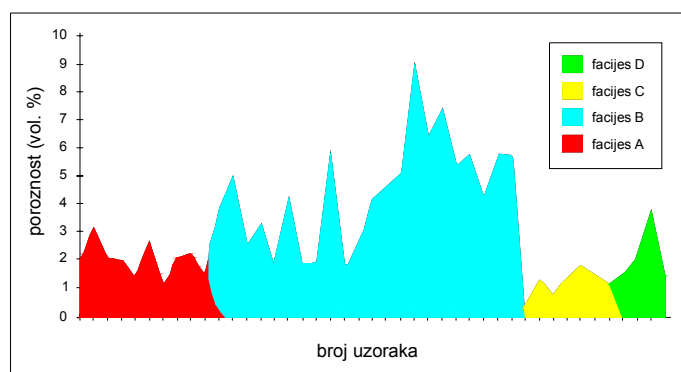
Do takvog zaključka navode rezultati ispitivanja gustoće (s porama i šupljinama) gdje je vrlo bitan način slaganja i pakiranja čestica sedimenta, njihova sortiranost, zaobljenost, i drugo.

Uz strukturu stijene vezana je i primarna poroznost koja je također vrlo bitna značajka sedimenta. Bez obzira što je u istraživanim sedimentima poroznost vrlo mala, prema rezultatima ranijih ispitivanja Tomašića i Ženka (1993), vidi se, da ovisno o strukturnim (ali i teksturnim i dijagenetskim) značajkama karbonatnih stijena, poroznost može biti značajna (Slika 45) i tako još i više utjecati na ostala inženjerskogeološka svojstva karbonatnih stijena.



Slika 45. Poroznost uzoraka arhitektonsko-građevnog kamena karbonatnog sastava (Tomašić & Ženko, 1993).

Utjecaj strukture (uz ostala svojstva) na poroznost vapnenaca vidljiv je u istraživanju Tišljara et al. (1997). Naime, detaljnim sedimentološkim istraživanjima donjokrednih vapnenaca iz kamenoloma Lakovići izdvojeno je nekoliko facijesnih jedinica. Vidljivo je da s većom poroznosti odstupa facijesna jedinica B koja sadrži sitno do krupnozrnate vapnenačke pijeske iz visokoenergetskih plićaka i plaža, čija je struktura bitno drugačija od ostalih izdvojenih facijesnih jedinica (Slika 46).

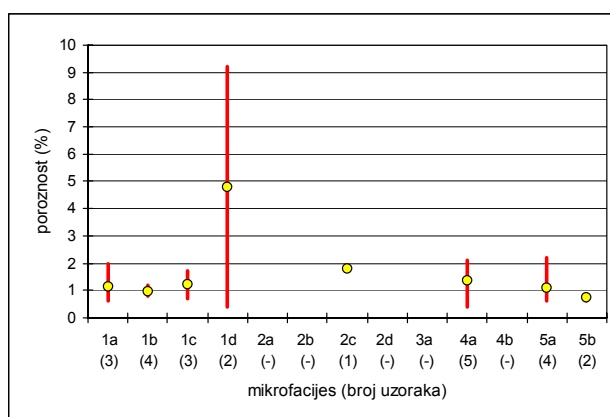


Slika 46. Poroznost različitih facijesnih jedinica donjokrednih vapnenaca iz kamenoloma Lakovići. Facijes A – mikritni vapnenac iz ciklusa oplicavanja na više, facijes B – sitno do krupnozrnati vapnenački pijesci iz visokoenergetskih plićaka i plaža, facijes C – mikritni vapnenci taloženi u potplimnim niskoenergetskim uvjetima, facijes D – zrnati vapnenci taloženi kao karbonatni pijesci u visokoenergetskim plićacima. (Tišljara et al., 1997).

Zbog toga što poroznost utječe na mnoga tehnička svojstva intaktne stijene, u radu je njezino izučavanje pokriveno mikroskopskim istraživanjima, određivanjem apsolutne poroznosti u laboratoriju, ali i neposredno, određivanjem brzine širenja ultrazvučnih valova kroz uzorak. Naime, poznato je da je provodljivost ultrazvučnih valova u velikoj mjeri ovisna o poroznosti stijena, pa se

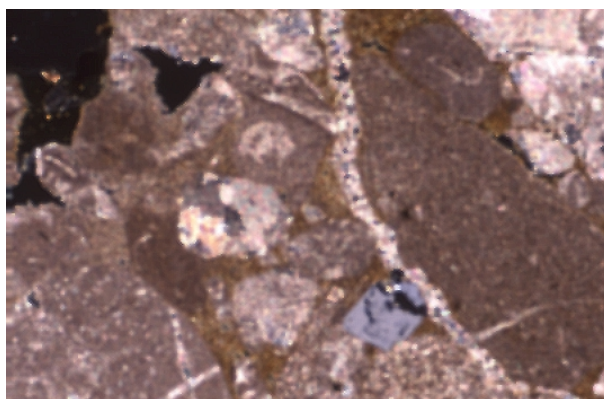
laboratorijsko ispitivanje ultrazvukom koristi i za određivanje kolapsa pornog prostora u kolektorskim stijenama (Scott et al., 1995).

Karbonatne stijene istraživanog područja su čvrste i kompaktne što je u svakom slučaju posljedica procesa dijageneze (cementacije) stijene koja je potpuna. To se vidi i prema podacima o poroznosti vapnenaca koja se uglavnom kreće između 0.6-2.0 % (1a-1c) (Slika 47). Poroznost laminiranih (2c) dijelova stijene je povećana i iznosi oko 1.8%. Premda nije izmjerena, temeljem mikroskopskih istraživanja povećana poroznost očekuje se i kod dolomitiziranih i dedolomitiziranih dijelova stijene. Poroznost klastičnih naslaga je ista ili nešto povećana u odnosu na vapnence (4a i 5a), a u pojedinim dijelovima, gdje je došlo do otapanja cementa može biti znatno povećana (1d).



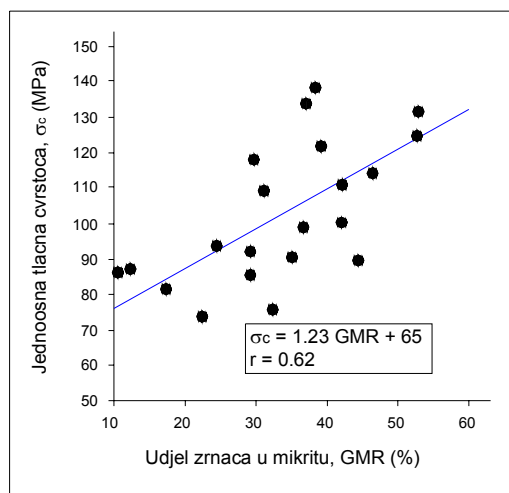
Slika 47. Apsolutna poroznost svih ispitanih uzoraka, razdijeljena prema izdvojenim mikrofacijesnim grupama. Za oznake mikrofacijesa vidi prilog 3.

Kod prominskih konglomerata naglašen je utjecaj kvalitete cementa na poroznost, a onda i na čvrstoću. U tim je naslagama primijećeno da sitne prsline sekundarnog podrijetla, osim što povećavaju poroznost naslaga, narušavaju i čvrstoću intaktne stijene (Slika 48). Prema tome, veza između klasta i cementa nije toliko jaka kao što su klasti ili valutice sami za sebe. Bez obzira što je tako nešto logično, ne treba čuditi što kod ostalih klastičnih naslaga u istraživanom prostoru ta pojava nije toliko izražena (kredne i jelarske vapnenačke breče). Naime, međuzrnska osnova je u ovim brečama sasvim drugačija, uglavnom mikritna, manje porozna i očito tehnički puno kvalitetnija.



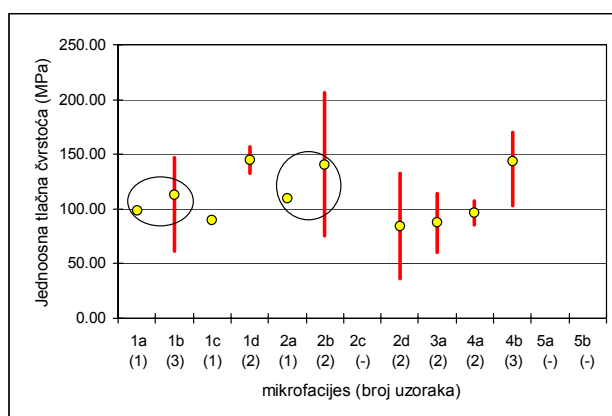
Slika 48. Sekundarna (pukotinska i šupljinska) poroznost Promina konglomerata (s analizatorom, $\varnothing$ 20x, $\times$ 10, $\times$ 2753;).

Prema nekim autorima, odnos pojedinih zrnaca, klasta, fosila, peleta, peloida i ostalih intraklasta u mikritnom dijelu vapnenaca utječe na jednoosnu tlačnu čvrstoću (Slika 49). Prema slici je vidljivo da u njihovom slučaju porastom tog odnosa raste i čvrstoća intaktne stijene.



Slika 49. Odnos zrnatosti i jednoosne tlačne čvrstoće devonskog vapnenca istočnog dijela Istanbula (Turgul & Zarif, 2000).

Takav trend vidljiv je i u istraživanim uzorcima, tj. u odnosima izdvojenih grupa 1a-1b i 2a-2b (Slika 50). Međutim, ako pokušamo usporediti sve rezultate ispitivanja bez obzira na stratigrafsku pripadnost naslaga, može se vidjeti da foraminiferski vapnenci (3a), koji imaju «najzrnatiju» strukturu, prema provedenim mjerenjima imaju najnižu jednoosnu čvrstoću. Čak i u slučaju da zanemarimo te podatke, koji su ipak smanjeni pod utjecajem veće raspucanosti stijene, bilo bi ishitreno ovdje zaključivati o tome kakav je utjecaj «zrnatosti» vapnenaca na njihovu čvrstoću ili općenito fizička i mehanička svojstva.



Slika 50. Jednoosna tlačna čvrstoća različitih mikrofaciesa. Označena područja naglašavaju odnos čvrstoća intaktne stijene, unutar jedne litostratigrafske jedinice, ovisno o zrnatosti vapnenaca. Za oznake mikrofaciesa vidi prilog 3.

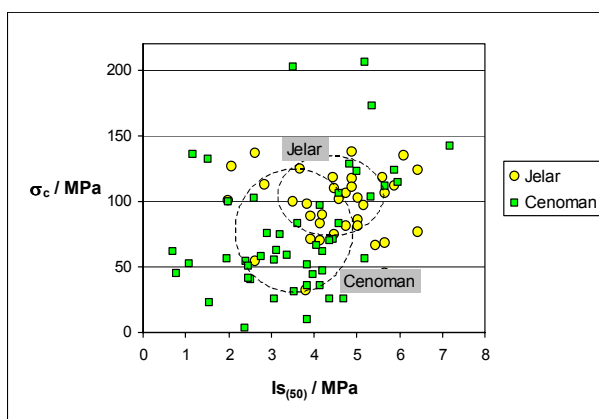
Usporedimo li rezultate mjerenja čvrstoće u točki s jednoosnom tlačnom čvrstoćom nekih naslaga u istraživanom prostoru, može se vidjeti da njihov faktor korelacije ne varira u toliko širokom rasponu koji se mogao očekivati. Naime, za Jelar breče on je oko 24, dok je za cenomanske naslage

oko 22 (Tablica 13). Potpuno različita struktura ovih dviju jedinica nije dala značajne razlike u korelativnim faktorima ova dva vida čvrstoće stijene.

Tablica 13. Srednje vrijednosti i standardne devijacije rezultata svih mjerenja: čvrstoće u točki (Is_{50}) i jednoosne tlačne čvrstoće (σ_c), jelarskih i cenomanskih naslaga.

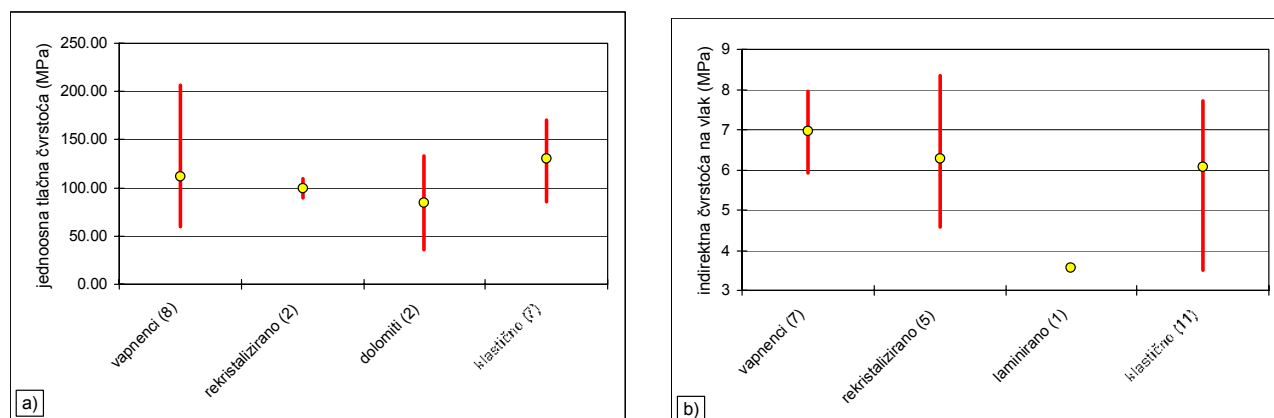
	Is_{50}		σ_c		faktor korelacije
	sr. vrijednost	st. devijacija	sr. vrijednost	st. devijacija	
Jelar	4.34	1.25	104.12	29.25	24
Cenoman	3.53	1.39	77.00	47.00	22

To ne znači da naslage ovih dviju jedinica imaju gotovo jednaka mehanička svojstva. Naprotiv, i prema priloženom grafičkom prilogu (Slika 51) vidi se da čvrstoća intaktne stijene spomenutih naslaga varira u širokom rasponu, ali se ipak prepoznaju znatno niže čvrstoće cenomanskih naslaga.

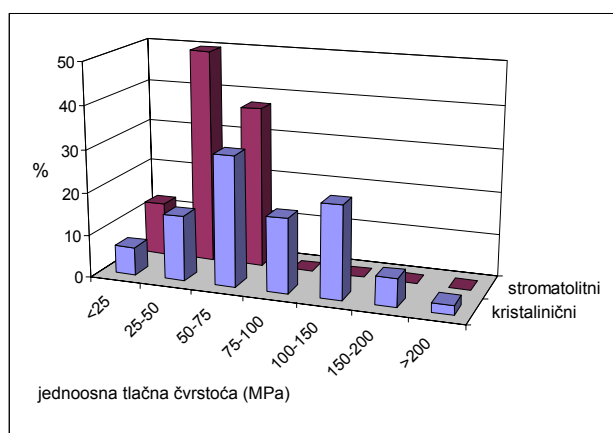


Slika 51. Korelacija čvrstoće u točki (Is_{50}) i jednoosne tlačne čvrstoće (σ_c). Označena područja predstavljaju vrijednosti unutar standardnih devijacija pojedinih litostratigrafskih članova (Tablica 13).

Objedinjavanjem rezultata ispitivanja stijena različitih litoloških tipova može se vidjeti kako strukturni elementi utječu na čvrstoću karbonatnih stijena u području istraživanja. Vidljivo je da je jednoosna tlačna čvrstoća u manjoj mjeri smanjena rekristalizacijskim procesima i dolomitizacijom, a klastične stijene, ponajprije zahvaljujući dobrim mehaničkim značajkama vapnenačkih breča imaju čak i veće vrijednosti čvrstoća od vapnenaca (Slika 52a). Zanimljivo je usporediti podatke jednoosne tlačne i vlačne čvrstoće (Brazilski test). Iz rezultata ispitivanja indirektno vlačne čvrstoće vidi se da na nju strukturni elementi imaju veliki utjecaj (Slika 52b). Karakteristično je znatno odstupanje laminiranih vapnenaca od njihovih nelaminiranih ekvivalenata, kao što je to zapaženo i na «hauptdolomitima» Gorskog kotara (Slika 53). Osim toga, vlačna čvrstoća klastičnih karbonatnih stijena (prije svega konglomerata) manja je od vapnenaca.

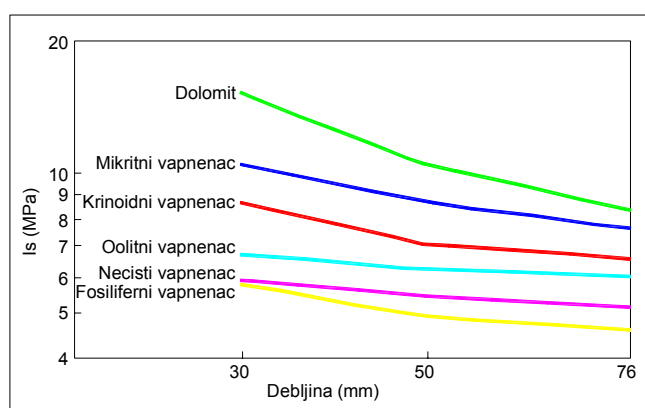


Slika 52. Utjecaj strukture na: a) jednoosnu tlačnu čvrstoću i b) indirektnu vlačnu čvrstoću (Brazilski pokus).



Slika 53. Čvrstoće dijelova "hauptdolomita" Gorskog kotara različitih tekstura (Pollak & Braun, 1998).

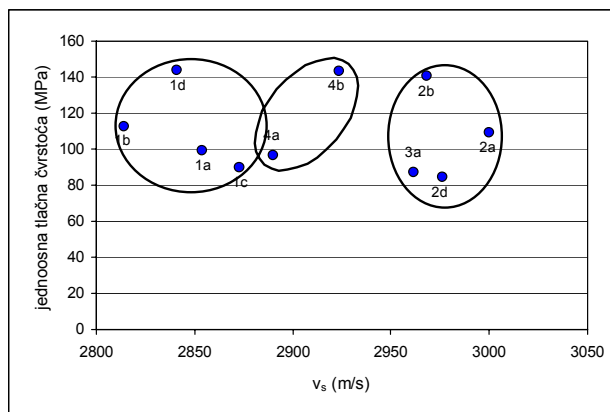
Utjecaj strukture i sastava vapnenaca na čvrstoću vidi se u indeksnom ispitivanju čvrstoće u točki, koje je proveo Hawkins (1998) (Slika 54). Na slici se također može vidjeti kako veličina uzorka utječe na vrijednosti čvrstoće u točki.



Slika 54. Čvrstoća u točki (I_s) različitih strukturnih tipova vapnenaca (okolica Bristol) u ovisnosti o dimenzijama uzorka (pokusi na jezgrama bušotina) (Hawkins, 1998).

Grupiranje podataka dobivenih ultrazvučnim ispitivanjima također je odraz strukture stijene (Slika 55). Ispitivanje je provedeno na relativno malom broju uzoraka (24), pa se u grafičkom prilogu

trebaju promatrati samo njihovi relativni odnosi. Zanimljivo je to da su izdvojene grupe, zapravo litostratigrafske jedinice, pa se izvodi zaključak da utjecaj na brzinu širenja sekundarnih seizmičkih valova imaju prije svega raspucanost i sitne mikropukotine, a tek onda ostale značajke strukture stijene. Naime, već je spomenuto da su neokomski vapnenci vrlo često prožeti mrežom prslina (1a-1d), dok su cenomanski vapnenci znatno rekristalizirani (2a-2d). Proces rekristalizacije u cenomanskim vapnencima je vjerojatno «popravio» kvalitetu stijene, dok su neokomski vapnenci sitnim prslinama oslabljeni.



Slika 55. Brzine širenja sekundarnih seizmičkih valova (ultrazvuka) u odnosu na jednoosnu tlačnu čvrstoću.

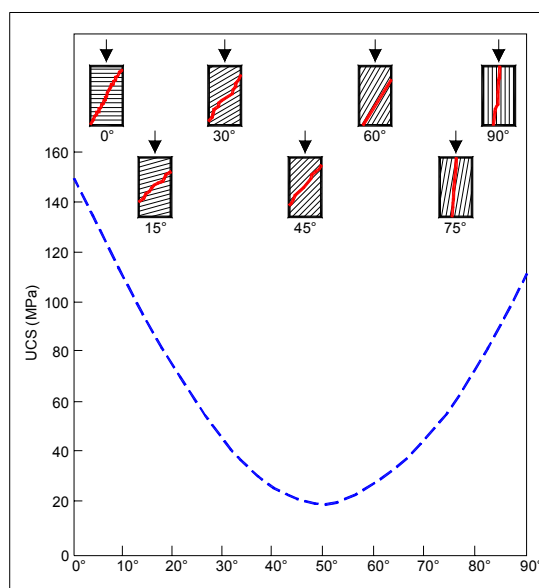
Navedeni primjeri samo su neki od mogućih utjecaja strukturnih faktora karbonatnih stijena na njihova fizička i mehanička svojstva. Način pakiranja zrnaca, njihova sortiranost, zaobljenost i veličina utječu i na brojna druga fizička i mehanička svojstva stijena (hrapavost diskontinuiteta, bazični kut trenja, itd.).

Zato se može reći da struktura intaktne stijene u velikoj mjeri utječe na gotovo sva njezina fizička i mehanička svojstva.

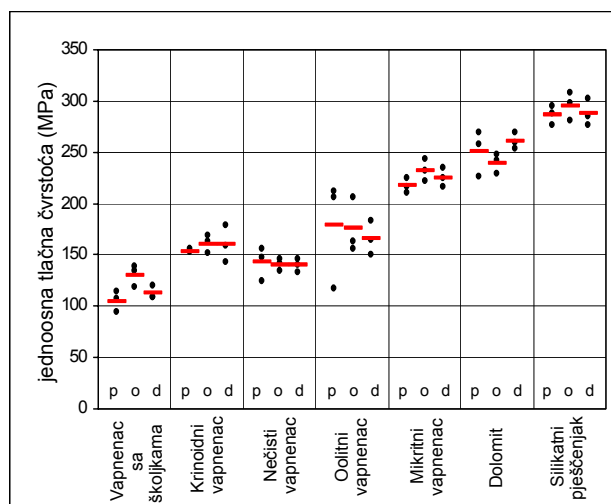
A.1.2.b. TEKSTURA

Utjecaj teksture na mehanička svojstva stijena može biti još veći. Kod ispitivanja mehaničkih svojstava intaktne stijene neke od teksturnih značajki, kao što je škrljavost, mogu dovesti do pojave anizotropije (Slika 56). Pretpostavlja se da je anizotropnost gotovo isključivi razlog znatno nižih vrijednosti indirektno tlačne čvrstoće laminiranih dijelova cenomanskog vapnenca u istraživanom području (Slika 52b).

Manje je izražena, ali i dokazana anizotropija unutar jednog sloja vapnenaca, koja je prouzročena njegovom nehomogenom građom. Prema ispitivanjima Hawkins-a (1998) i u uzorcima koji obuhvaćaju teksturne elemente vrlo je bitno znati orijentaciju uzorka u odnosu na pravce u kojima se ispitivanja provode (Slika 57).



Slika 56. Utjecaj orijentacije teksturnih elemenata na jednoosnu tlačnu čvrstoću devonskih škriljavaca (Brown et al., 1977; iz Hawkins, 1988).



Slika 57. Jednoosna tlačna čvrstoća intaktnih stijena ispitivana paralelno (p), okomito (o) i dijagonalno (d) u odnosu na slojevitost (Hawkins, 1998).

Teksturni elementi sedimentnih stijena utječu na postojanost slojnih ploha, i njihovu morfologiju (hrpavost), što je i prikazano u prethodnom poglavlju.

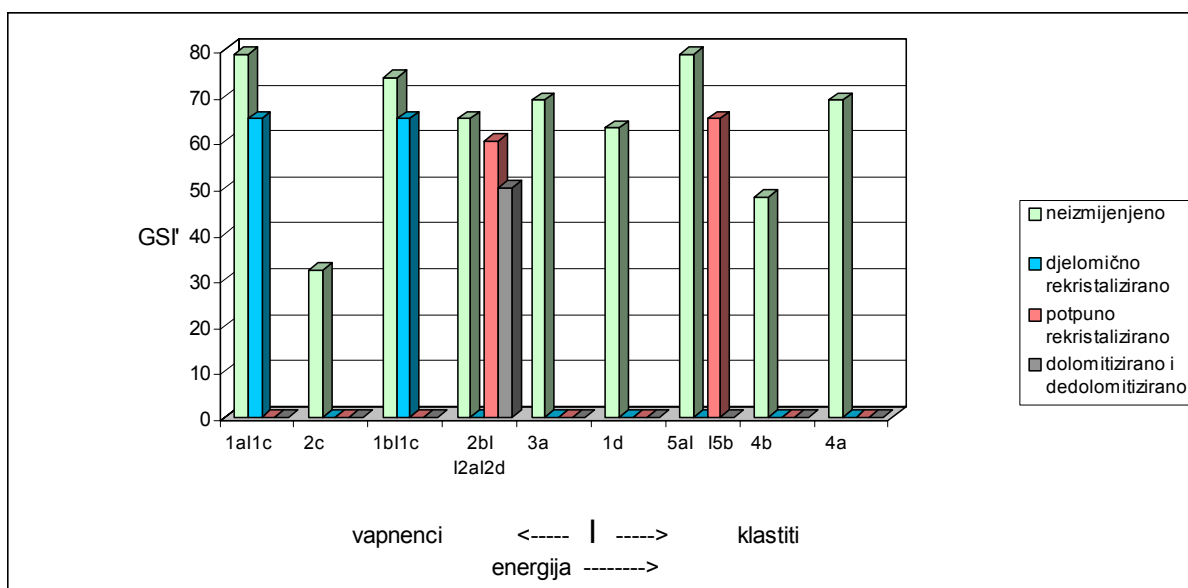
Prema svemu prikazanom, može se zaključiti da teksturne značajke stijena imaju izravan i jak utjecaj na inženjerskogeološke parametre koji se koriste u geotehničkom projektiranju.

A.1.3. DIJAGENETSKI PROCESI

S obzirom na glavna obilježja istraživanih područja velika pažnja se mora usmjeriti upravo na dijagenetske procese. Već je na mnogim mjestima bilo govora o izuzetnom značenju cementacije, rekristalizacije, dolomitizacije i dedolomitizacije na svojstva intaktne stijene, ali i stijenske mase. Ona se vidi gotovo u svakom grafičkom prilogu.

Za kvantificiranje utjecaja dijagenetskih procesa na kvalitetu stijenske mase potrebno je mikrofacijese podijeliti u skupine. Prema intenzitetu i vrsti dijagenetskih promjena mogu se razlikovati četiri skupine stijena (Slika 58):

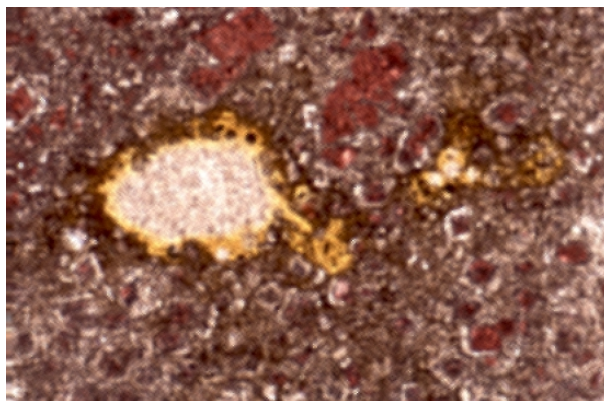
- neizmijenjene;
- djelomično rekristalizirane;
- potpuno rekristalizirane;
- dolomitizirane i dedolomitizirane.



Slika 58. Utjecaj dijagenetskih promjena i energije okoliša taloženja stijena na geološki indeks čvrstoće (GSI'). Za oznake mikrofacijesa vidi prilog 3.

Kao što se i pretpostavljalo, neizmijenjene stijene imaju bolja geotehnička svojstva od svojih dijagenetski izmijenjenih ekvivalenata. Intenzitet dijagenetskih promjena je također vrlo bitan.

Dolomitizirane naslage su dijagenetskim promjenama uglavnom oslabljene. Gledajući čvrstoće cenomanskih naslaga to se i potvrđuje, jer dolomitični vapnenci, dolomiti i dedolomiti (2d) imaju znatno manju čvrstoću od vapnenaca (2a i 2b) (Slika 50). Sama dolomitizacija ne bi bila uzrokom ponekad i drastičnog smanjivanja mehaničkih svojstava stijene da se ne događa uz temeljite strukturne promjene. Dolomitizacijom se često potpuno uništava prvobitna struktura stijene, pa ona postaje poroznija i podložnija trošenju. **Dedolomitizacija**, koja je nakon toga zahvatila veliki dio dolomitičnih cenomanskih naslaga, dodatno oslabljuje njezina tehnička svojstva (Slika 59).



Slika 59. Poroznost dedolomitiziranih naslaga cenomana (bez analizatora, obojano, φ 20x, $\times$ 24, $\square$ 3124a).

Utjecaj **rekristalizacije** na čvrstoću intaktne stijene također je vrlo bitan. Zanimljivo je to što rekristalizirane naslage, u odnosu na svoje nerekristalizirane ekvivalente, imaju neznatno smanjenu jednoosnu tlačnu čvrstoću. Vrijednosti vlačne čvrstoće rekristaliziranih stijena u odnosu na nerekristalizirane dijelove stijena nešto su više smanjene. Rekristalizacijom je u ovim naslagama došlo do povećanja veličine kristala. Kristalne plohe su često vrlo nazubljene, nejasne i nepravilne. Osim toga rekristalizacija često zahvaća pukotine i prsline i time «zacijeljuje» stijenu. Bez obzira na to, očito je da procesi rekristalizacije smanjuju čvrstoću stijene, osobito vlačnu čvrstoću. To dovodi do zaključka da procesi rekristalizacije oslabljuju veze između kristala, i stijena usprkos nazubljenosti kristalnih granica i zacjeljivanju velikog broja prslina poprima manje vrijednosti vlačne čvrstoće. Naravno, intenzitet rekristalizacijskih procesa, i veličina kristala koji pri tom nastaju u znatnoj mjeri određuju intenzitet promjena mehaničkih svojstava stijena.

VII. ZAKLJUČAK

U Hrvatskoj se izvode mnogi infrastrukturni objekti (ceste, građevine, vodovodi, plinovodi) od velikog značenja za razvoj zemlje, pa su zadnjih godina provedena opsežna i vrlo detaljna inženjerskogeološka istraživanja na relativno velikom području. Znatan dio ovih istraživanja proveden je u karbonatnim stijenama, a iskustvo koje je pri tome stečeno ukazivalo je na potrebu interdisciplinarnog pristupa inženjerskogeološkim problemima u kršu.

Detaljno terensko istraživanje u karbonatnim stijenama dionice buduće jadranske autoceste «Tunel Sveti Rok-Maslenica» poslužilo je kao osnova za istraživanja veze sedimentno-petroloških i inženjerskogeoloških značajki područja. Terenski rad stoga nije poslužio samo kao prilika da se “ugrabi” čim više «inženjerskih» podataka, nego se detaljnim pregledom terena stvarala što objektivnija slika o ukupnim geološkim značajkama stijenske mase. Smatra se da je slika o inženjerskogeološkim značajkama terena puno realnija upravo zahvaljujući provedenim sedimentno-petrološkim istraživanjima.

Područje istraživanja je podijeljeno na nekoliko litostratigrafskih jedinica:

- 1) neokomski vapnenci i breče (K_1^{1-4}),
- 2) cenomanski vapnenci (K_2^1),
- 3) foraminiferski vapnenci (Pc , E_1),
- 4) Promina naslage (E_3 , Ol) i
- 5) Jelar naslage (E_3 , Ol).

Litostratigrafske jedinice su detaljnije podijeljene prema mikrofacijsnim značajkama:

1. neokomski vapnenci i breče:
 - a) madstoni,
 - b) peletni i skeletni vekstoni/pekstoni, rjeđe grejnstoni,
 - c) rekristalizirani vapnenci,
 - d) vapnenačke breče;
2. cenomanski vapnenci:
 - a) rekristalizirani vapnenci,
 - b) peloidni grejnstoni i skeletni pekstoni/vekstoni,
 - c) laminirani vapnenci,
 - d) dolomitičan vapnenac;

3. foraminiferski vapnenci:
 - a) foraminiferski grejnston;
4. Promina naslage:
 - a) konglomerat,
 - b) kalkarenit;
5. Jelar naslage:
 - a) vapnenačka breča, i
 - b) rekristalizirane Jelar breče.

Detaljnijom podjelom litostratigrafskih jedinica uvidjelo se da pojedine mikrofacijsne grupe imaju karakteristična fizička, mehanička i inženjerskogeološka svojstva.

Fizička svojstva stijena iz istraživnog prostora su pod direktnim utjecajem litološkog sastava, strukture, teksture, dijagenetskih procesa i procesa trošenja.

S obzirom da su stijene iz istraživnog prostora monomineralne (osim Promina i Jelar klastita), promjene *gustoća* (s porama i šupljinama) uvjetovane su prvenstveno strukturnim elementima, ali i vrstom i intenzitetom dijagenetskih procesa i procesa trošenja. Radi toga se manjim gustoćama u odnosu na ostale naslage ($2.66\text{--}2.70\text{ g/cm}^3$) ističu laminirani vapnenci (2c) (2.64 g/cm^3) i dolomitični vapnenci (2d) (2.62 g/cm^3) (Slika 23a, str. 56).

Poroznost je očito pod jakim utjecajem strukture i teksture, ali i dijagenetskih procesa i procesa trošenja. Naime, pokazalo se da oslabljeno vezivo neokomskih vapnenačkih breča (1d) (4.8 %), i laminiranost cenomanskih vapnenaca (2c) (1.8 %) u velikoj mjeri stijenama povećavaju poroznost u odnosu na ostale naslage (0.8-1.2 %) (Slika 24, str. 56).

Mehanička svojstva stijena uvjetovana su cijelim nizom značajki: litološkim sastavom, strukturom, teksturom, dijagenetskim procesima i trošenjem.

Prema rezultatima ispitivanja *tlačne čvrstoće* ističu se cenomanski vapnenci (2) koji imaju znatno manje jednoosne čvrstoće (77 MPa) od neokomskih naslaga (110 MPa), jelarskih breča (104 MPa) i prominskih klastita (106 MPa) (Slika 27, str. 60). Takav rezultat ispitivanja uvjetovan je snažnim rekristalizacijskim procesima, dolomitizacijom i dedolomitizacijom, ali i laminiranošću dijela cenomanskih naslaga (Slika 30, str. 63). Prominske klastične naslage imaju vrijednosti tlačne čvrstoće koje variraju u širokom rasponu (4) (Slika 27, str. 60, Slika 30, str. 63) što je prije svega posljedica varijabilne strukture, teksture i kvalitete veziva (4a, 4b) (Slika 28, str. 61).

Očekivano, laminirani dijelovi cenomanskih vapnenaca (2c) imaju znatno manju *vlačnu čvrstoću* (3.57 MPa) od vapnenaca (1a-1d) (6.84-7.17 MPa) (Slika 31, str. 64). Isto tako, niže vrijednosti vlačnih čvrstoća klastičnih (4a, 5a) i rekristaliziranih naslaga (5b) (5.46-5.93 MPa) (u odnosu na vapnence) posljedica su strukturnih, teksturnih značajki ali i intenziteta i vrste dijagenetskih procesa.

Iz rezultata ispitivanja čvrstoće intaktnih stijena vidljivo je da pojedini strukturni i teksturni elementi imaju puno veći utjecaj na vlačnu nego na tlačnu čvrstoću (σ_c), pa se uz ispitivanje tlačne čvrstoće, preporučuje i određivanje vlačne čvrstoće (σ_t). Omjerom tih dviju čvrstoća (σ_t/σ_c) dolaze do izražaja značajke veziva klastičnih karbonatnih stijena. Naime, pokazalo se da klastične karbonatne stijene iz istraživanih područja imaju znatno manji omjer vlačne i tlačne čvrstoće (1:21), nego vapnenci i rekristalizirane naslage (1/16) (Tablica 10, str. 65).

Inženjerskogeološka svojstva stijena, koja kasnije ulaze u klasifikaciju stijenskih masa uglavnom su definirana teksturom, dijagenetskim procesima i procesima trošenja (ako se izuzmu tektonski elementi).

Razmak i postojanost diskontinuiteta slojevitosti (tj. debljina slojeva) diktiran je okolišem u kojem stijene nastaju. Fizički uvjeti koji su vladali u delti sa snažnim tokom, velikom količinom materijala i brzom progradacijom, uvjetovali su nastanak srednje debelih konglomerata i tankih slojeva kalkarenita (Promina naslaga) s velikom postojanosti (Slika 32, str. 67). Za razliku od njih, siparišne Jelar breče, taložene gotovo bez transporta u neposrednom podnožju padina, nemaju izraženu slojevitost (masivne su). Neokomski vapnenci taloženi u stabilnom potplimnom okolišu imaju slabo izraženu slojevitost (mala postojanost) (Slika 37a, str. 72) i velike debljine slojeva (Slika 32, str. 67), dok cenomanski vapnenci nastali u zaštićenim lagunama male dubine i niske energije s laminiranim serijama nastalim u plimnoj zoni, imaju izraženije slojne plohe (Slika 37b, str. 72), i znatno manje debljine slojeva (Slika 32, str. 67).

Zijev i ispuna gotovo su jednaki za sve izdvojene jedinice, i karakteristični su za terene izgrađene od karbonatnih stijena. Zijev diskontinuiteta vrlo je velik (>5 mm) (Slika 38, str. 72), osobito u površinskoj zoni trošenja, a diskontinuiteti su vrlo često prazni ili djelomično ispunjeni glinom, kalcitom i kalcitičnom glinom (Slika 39, str. 73).

Hrapavosti diskontinuiteta slojevitosti predodređene su uvjetima taloženja, ali i dijageneze. Veća hrapavost slojnih ploha prominskih klastita, osobito konglomerata, očekivana je s obzirom na uvjete taloženja, veličinu valutica, klastnu ili matriksnu potporu i mjestimične pojave erodirane podloge na kojima se talože krupnozrnatiije serije (Slika 41b, 75). Rekristalizacijski procesi koji su u velikoj mjeri zahvatili cenomanske naslage, mjestimice su potpuno «izbrisali» prvobitnu strukturu stijene, ali i utjecali na hrapavost slojnih ploha, koja je prvobitno ipak, vjerojatno bila manja (Slika 41b, 75).

Poznato je da *trošenje* u velikoj mjeri utječe na inženjerskogeološka svojstva stijenskih masa. U ovom radu je ustanovljeno da je način i intenzitet trošenja (okršavanja) naslaga također predodređen strukturnim i teksturnim elementima pojedinog litološkog tipa. Općenito se može reći da su masivne i gotovo neuslojene naslage Jelar breča i neokomskih vapnenaca, svojstvene po velikim (zaobljenim) blokovima na površini, strmim padinama, diskontinuitetima velikog zijeva i čestim pojavama kaverni. Izdanci prominskih klastičnih naslaga su na površini često «uglati», pločasti, s najizraženijim okršavanjem duž slojnih ploha. Cenomanski rekristalizirani vapnenci često su

prekriveni slojem nevezanog kršja, odlomaka i blokova, s malim zijevom diskontinuiteta na površini, i odlikuju se blagim reljefom.

Temeljem geofizičkih ispitivanja i istraživačkog bušenja u radu su izdvojene četiri *geotehničke sredine*:

- I. nevezani materijal, pokrivač,
- II. površinska zona okršavanja,
- III. jače raspucana i okršena stijena i
- IV. kompaktnija i manje okršena stijena.

Modelom (prilog 4) je pokazano da se u istraživanom području mogu izdvojiti zone različitih geotehničkih značajki, ali treba imati na umu da su te zone vrlo nepravilnog rasporeda kao što je to čest slučaj u terenima izgrađenim od karbonatnih stijena.

Na modelu je također vidljivo da sedimentno-petrološke značajke karbonatnih stijena u velikoj mjeri utječu na geološki indeks čvrstoće (GSI) koji je u ovom slučaju poslužio kao mjera kvalitete stijenske mase.

Prikazani rezultati istraživanja vrijedni su kao relativni pokazatelj inženjerskogeoloških značajki u odnosima izdvojenih litostratigrafskih i mikrofacijsnih cjelina. Prikazano je i dokazano da je taj odnos uvelike diktiran sedimentološkim i petrografskim svojstvima naslaga istraživanog područja, pa se iz izloženih razmišljanja i rezultata može izvući jednostavan zaključak: ***«proučavanje sedimentno-petroloških značajki karbonatnih stijena znatno olakšava i poboljšava inženjerskogeološke klasifikacije područja i izradu modela stijenske mase».***

U kojoj mjeri je to izraženo?

To opet ovisi o «sedimentologiji» područja. Teoretski se može desiti da je cijelo područje koje je obuhvaćeno istraživanjima nastalo u jednakim ili gotovo istim uvjetima, prošlo iste dijagenetske promjene i na kraju se na jednaki način i istim intenzitetom trošilo. U tom slučaju bi se inženjerskogeološki podaci dobiveni na nekoliko lokacija morali poklapati ili biti vrlo slični. No, u praksi se zapaža sasvim drugačiji trend i čini se da je, bez obzira na veličinu objekta istraživanja, to vrlo malo vjerojatno.

Međutim, nije dovoljno samo provesti detaljna sedimentološka istraživanja, nego se dobiveni podaci moraju znati na pravi način protumačiti i interpretirati. Osim toga, vrlo je bitno kvalitetno prikazati rezultate, iz kojih se ne dobivaju samo znanstvena saznanja, nego i korisne informacije pri rješavanju konkretnih zadataka kod geotehničkog projektiranja.

U daljnjim inženjerskogeološkim istraživanjima krupnog mjerila stoga se predlažu sedimentološka istraživanja: geometrije sedimentnog tijela, litologije, strukturnih i teksturnih značajki stijena, dijagenetskih procesa i procesa trošenja koji daju mnoge vrijedne podatke o inženjerskogeološkim svojstvima sedimentnih stijena. Prema prikazanim rezultatima terenskih i laboratorijskih ispitivanja

veza sedimentno-petroloških značajki karbonatnih stijena s inženjerskogeološkim svojstvima može se shematski prikazati na slijedeći način:

Tablica 14. Veza istraživanih sedimentno-petrografskih i inženjerskogeoloških svojstava karbonatnih stijena.

	GEOMETRIJA SEDIMENTNOG TIJELA	LITOLOGIJA	STRUKTURA	TEKSTURA	DIJAGENETSKI PROCESI	PROCESI TROŠENJA
IG KOMPLEKSI, JEDINICE	-određivanje granica i -geometrije IG jedinica	-rašćlanjivanje prema litološkom sastavu	- raščlanjivanje prema strukтури	-rašćlanjivanje prema teksturi	-prepoznavanje i kvantificiranje dijagenetskih procesa	-zone trošenja IG jedinica -geotehničke sredine
FIZIČKA SVOJSTVA	-	-gustoća -provodljivost ultrazvuka	- gustoća - poroznost - provodljivost ultrazvuka	-poroznost -provodljivost ultrazvuka	-gustoća -poroznost -provodljivost ultrazvuka	-gustoća -poroznost -provodljivost ultrazvuka
MEHANIČKA SVOJSTVA	-	-čvrstoća - m_i -JCS	- čvrstoća - m_i - JCS	-čvrstoća - m_i -JCS	-čvrstoća - m_i -JCS	-čvrstoća - m_i -JCS
RAZMAK DISKONTINUITETA	-	-	-	-debljina slojeva (RQD, veličina blokova)	-«uništavanje» slojnih ploha (dolomitizacija, rekristalizacija)	-raslojavanje
KARAKTERISTIKE DISKONTINUITETA	-	-	- hrapavost	-postojanost -hrapavost	-postojanost -hrapavost -ispuna diskontinuiteta	-zijev i ispuna diskont. -hrapavost -trošnost stijenki

Iz se rada može vidjeti da bolje poznavanje svih navedenih sedimentoloških značajki područja u kojem se obavljaju inženjerskogeološka istraživanja vode prema kvalitetnijem inženjerskogeološkom modelu terena i stijenske mase.

VIII. LITERATURA

- Aljinović, B. & Blašković, I. (1989): Some characteristics of the carbonate complex in the offshore Adriatic area, Evolution of the Karstic carbonate platform: Relation with other Periadriatic carbonate platforms, Trieste, Italia, Memoire della Società Geologica Italiana, Società Geologica Italiana, Roma, 40, XL-1987, 327-334
- ASTM D 2664-86: Standard Test Method for Triaxial Compressive Strength of Undrained Rock Core Specimens Without pore Pressure Measurements
- Atterberg, A. (1905): Die rationelle Klassifikation der Sande und Kiese. Chem. Zeitschr. (iz Tišljara, 1994), 29, 195-198
- Aubouin, J. (1960): Essai sur l'ensemble Italo-Dinarique et ses rapports avec l'arc Alpin. Bull. soc. geol. Fr., Paris, 7/2
- Babić, Ž. & Miletić, P. (1963): HE Obrovac. Akumulacija Ričice. Geološka i hidrogeološka istraživanja. Fond stručne dokumentacije IGI, br. 3581, Zagreb
- Babić, Lj. & Zupanić, J. (1983): Paleogene clastic formations in northern Dalmatia. 4th International Association of Sedimentologists, Regional Meeting, Split, Hrvatska, Excursion Guide book, Zagreb, 37-61
- Babić, Lj. & Zupanić, J. (1988): Krupnozrnati aluvij u paleogenu sjeverne Dalmacije (Hrvatska, Jugoslavija). Rad JAZU, Razred za prirodne znanosti, Zagreb, 23, 139-164
- Babić, Lj. & Zupanić, J. (1990): Progradacijski slijedovi u paleogenskom klastičnom bazenu vanjskih Dinarida, od sjeverne Dalmacije do zapadne Hercegovine. Rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Razred prirodne znanosti, Zagreb, 24, 319-343
- Babić, Lj. & Zupanić, J. (1998): Nearshore deposits in the Middle Eocene clastic succession in northern Dalmatia (Dinarides, Croatia). Geologia Croatica, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 51/2, 175-194
- Bahun, S. (1974): Tektogeneza Velebita i postanak Jelar-naslaga. Geološki vjesnik, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 27, 35-51
- Bieniawski, Z. T. (1989): Engineering rock mass classifications. John Wiley & Sons, New York, str. 251
- Braun, K. & Pollak, D. (1998): Jadranska autocesta, Dionica Sveti Rok-tunel Sveti Rok-Maslenica, Geotehnički istražni radovi, Idejni projekt, "Inženjerskogeološki istražni radovi, Poddionica tunel Sveti Rok-Maslenica". Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 80/98
- Choquette, P. W. & Pray, L. C. (1970): Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates.. The American association of petroleum geologists bulletin, 54/2, 207-250

- Collinson, J. D. & Thompson, D. B. (1989): Sedimentary structures. Unwin Hyman, Boston-Sydney-Wellington, str. 185
- Ćirić, B. (1960-63): Le développement des Dinarides Yugoslaves pendant le cycle Alpin. Livre mém. prof. Paul Fallot, Soc. Geol., Paris, 2
- Drobne, K., Vlahović, I., Trutin, M., Pavlovec, R., Čosović, V., Babac, D., Cimerman, F., Lučić, D. & Pavšić, J. (1991): Excursion B – Ravni Kotari Paleogene. 2. intern. symp. on the Adriatic carbonate platform (Excursion Guide book), Zagreb, 53-90
- Dunham, R. J. (1962): Classification of the carbonate rocks according to depositional texture, Classification of carbonate rocks (iz Tišljar, 1994). American association of petroleum geologists Mem., 1, 108-121
- Flügel, E. (1982): Microfacies analysis of limestones. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, str. 404
- Folk, R. L. (1959): Practical petrographic classification of limestones. Bulletin of American Association of Petroleum Geologists, 1-38
- Folk, R. L. (1962): Spectral subdivision of limestone types. iz: Classification of carbonate rocks, Bulletin of American Association of Petroleum Geologists, 1, 62-84
- Franotović, D. (1956): Boksiti Novigradskog mora I i II, Drniš. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Fond stručne dok. br. 2660
- Fritz, F. (1967): Geološki i hidrogeološki odnosi u širem području projektiranih hidroelektranana na Krki i Zrmanji (neobjavljeno)
- Fuček, L., Velić, I., Vlahović, I., Oštrić, N., Korolija, B. & Matičec, D. (1995): Novi podaci o stratigrafiji donje krede otoka Cresa. 1. Hrvatski geološki kongres, Opatija, Hrvatska, Zbornik radova, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 1, 167-172
- Grandić, S., Oluić, M. & Bodrožić, Đ. (1976): Noviji postupci i rezultati u istraživanju boksitnih ležišta u području Bukoviće-Dalmacija. IV jugoslovenski simpozijum o istraživanju i eksploataciji boksita, Hercegnovi, Zbornik radova, 73-80
- Grubić, A. (1959): Razmatranja o opštem tektonskom sklopu naših Dinarida. Vesn. zav. geol. i geof. istr., Beograd., 17, 9-16
- Grubić, A. (1975): Geologija jugoslovenskih boksita. Posebna izdanja Srpske akad. nauka i umetn., Beograd, 44
- Hauer, F. (1868): Erläuterungen zur Geologischen Uebersichtskarte der Österreichischen Monarchie. Blatt X, Dalmatien, Jahrb. geol. R. A. , Wien, 18/3, 431-454
- Hawkins, A. B. (1998): Aspects of rock strength. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Springer-Verlag, Berlin, 57/1, 17-30
- Herak, M. (1991): Dinaridi: Mobilistički osvrt na genezu i strukturu. Acta geologica, Zagreb, 21/2, 35-117
- Herak, M. & Bahun, S. (1979): The role of the calcareous breccias (Jelar Formation) in the tectonic interpretation of the High Karst Zone of the Dinarides. Geološki vjesnik, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 31, 49-59

- Hoek, E. (1994): Strength of rock and rock masses. ISRM News journal, International society for rock mechanics, Lisboa, 2/2, 4-16
- Hoek, E. & Brown, E. T. (1988): The Hoek-Brown failure criterion-a 1988 update, Rock engineering for underground excavations. Proceedings 15th Canadian rock mechanics symposium, Dept. Civ. Engineering, University of Toronto, 31-38
- Hoek, E. & Brown, E. T. (1997): Practical estimates of rock mass strength. iz Singh, B., Goel, R., K. (1999): Rock mass classification. Elsevier, Amsterdam, str. 266
- HRN B.B8.010/80. Pravilnik br. 31.17505/1, 6.11.1980, Ispitivanje prirodnog kamena. Određivanje upijanja vode. Službeni list SFRJ, 68/80
- HRN B.B8.032/80. Pravilnik br. 31.17505/1, 6.11.1980, Ispitivanje prirodnog kamena. Određivanje zapreminske mase sa porama i šupljinama, zapreminske mase bez pora i šupljina i koeficijenta zapreminske mase i poroznosti. Službeni list SFRJ, 68/80
- IGH (Zavod za geotehniku), (1999a): Jadranska autocesta, Dionica Sveti Rok-tunel Sveti Rok-Maslenica, Geotehnički istražni radovi, Glavni projekt, "C.8.2. Istražno bušenje, Poddionica tunel Sveti Rok-Maslenica". Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb
- IGH (Zavod za geotehniku), (1999b): Jadranska autocesta, Dionica Sveti Rok-tunel Sveti Rok-Maslenica, Geotehnički istražni radovi, Glavni projekt, "C.6.2. Laboratorijski istražni radovi, Poddionica tunel Sveti Rok-Maslenica". Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb
- IGI (Braun, K. i suradnici), (1997): Cestovni tunel «Sveti Rok», Geotehnički projekt, Knjiga 4 – Geološki, inženjerskogeološki i hidrogeološki istražni radovi. Institut za geološka istraživanja, Zagreb; fond stručne dokumentacije br. 63/97
- ISRM Commission on standardization of laboratory and field tests, (1978a): Suggested method for determining tensile strength of rock materials. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Pergamon press Ltd, 15, 99-103
- ISRM Commission on standardization of laboratory and field tests, (1978b): Suggested methods for determining sound velocity. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 15, 53-58
- ISRM Commission on standardization of laboratory and field tests, (1978c): Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 15, 319-368
- ISRM Commission on testing methods, (1985): Suggested method for determining point load strength. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Pergamon press Ltd, 22/2, 51-60
- Ivanović, A., Sakač, K., Marković, S., Sokač, B., Šušnjar, M., Nikler, L. & Šušnjara, A. (1976): OG karta SFRJ - list Obrovac (M= 1:100000). Savezni geološki zavod, Beograd
- Ivanović, A., Sakač, K., Sokač, B., Vrsalović-Carević, I. & Zupanić, J. (1976a): Tumač za OG kartu SFRJ - list Obrovac. Savezni geološki zavod, Beograd,
- Jamičić, D. & Novosel, T. (1999): The dynamics of tectonic modelling of some caves in the karst region. Geologia Croatica, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 52/2, Zagreb, 197-202

- Jurak, V., Novosel, T., Mitrović, G. & Krsnik, M. (1989): Ocjena kvalitete stijenske mase za potrebe temeljenja mosta preko Rijeke dubrovačke. VII jugoslavenski simpozijum za mehaniku stena i podzemne radove, Beograd, 33-38
- Jurković, I. & Sakač, K. (1964): Stratigraphical, Paragenetical and Genetical Characteristics of Bauxites in Yugoslavia. Symposium sur les bauxites, oxydes et hydroxides d'aluminium, Actes du symp. T., Zagreb, 1, 253-263
- Kerner, F. (1916): Geologie der Bauxitlagerstätten des südlichen Teiles der Österreichisch-ungarischen Monarchie. Berg. u. Hüttenm. Jb., Wien, 64, 139-170
- Kober, L. (1952): Leitlinien der tektonik Jugoslawien. Poseb. izd. SAN, Geol. inst., Beograd, 3
- Krumbein, W. C. & Sloss, L. L. (1963): Stratigraphy and sedimentation. Freeman, San Francisco, II edition, str. 660
- Kuk, V., Prelogović, E. & Tomljenović, B. (1998): "Seizmološki i seizmotektonski istražni radovi, Jadranska autocesta, Dionica Sveti Rok-tunel ""Sveti Rok""-Maslenica". C.7., Zagreb
- Magdalenić, A. & Mamužić, P. (1961): Geološka, hidrogeološka i inženjerskegeološka istraživanja lista Obrovac. Knj. I i II, Zagreb, Fond struč. dokum. IGI br. 3400
- Marić, L. (1970): Sur la morphologie des gisements et la composition minéralogique des bauxites d'Obrovac (Dalmatie Septentrionale). Annal Inst. Geol. Hung., Budapest, LIV. 3, 403-409
- Matićec, D. & Fuček, L. (1999): Jadranska autocesta, Dionica Sveti Rok-tunel Sveti Rok-Maslenica, Geotehnički istražni radovi, "Knjiga C.3. Inženjerskegeološki istražni radovi (Geološki istražni radovi), C.3.2 Poddionica tunel Sveti Rok-Maslenica". Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 81/99
- Matićec, D., Fuček, L. & Oštrić, N. (1997): Izvješće o rezultatima geoloških istraživanja na trasi tunela Sveti rok kroz Velebit. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 70/97
- Matićec, D., Fuček, L., Vlahović, I. & Oštrić, N. (1998): Jadranska autocesta, Dionica Sveti Rok-tunel Sveti Rok-Maslenica, Geotehnički istražni radovi, Idejni projekt, "Inženjerskegeološki istražni radovi (Geološki istražni radovi), Poddionica tunel Sveti Rok-Maslenica". Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 80/98
- Mirković, O. & Vujnović, T. (2000): Utjecaj diskontinuiteta na vrijednosti brzina seizmičkih valova (laboratorijska ispitivanja ultrazvukom). 2. hrvatski geološki kongres, Cavtat-Dubrovnik, Hrvatska, Zbornik radova, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 695-699
- Mitrović, G. (1999): Geofizički istražni radovi, Jadranska autocesta, Dionica Sveti Rok-tunel "Sveti Rok" - Maslenica, Poddionica tunel "Sveti Rok" – Maslenica. Knjiga C.5.2., Zagreb
- Mogilevska, S. E. & Kujundžić, B. (1988): Morfologija pukotinskih površi u stenskim masama, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi". Beograd, str. 146
- Norbury, D.R. (1986): The point load test, U: Hawkins, A. B. (1998): Aspects of rock strength. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Springer-Verlag, Berlin, 57/1, 17-30

- Novosel, T. (1994): Maslenički most; Geotehnički istražni radovi. Knjiga 6- Inženjerskogeološka istraživanja, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb; arhiv IGH
- Novosel, T. (1995): Maslenički most. Strukturno-tektonski odnosi i odraz na inženjerskogeološke značajke. Diplomski rad; Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu
- Palmström, A. (1982): The volumetric joint count - A useful and simple measure of the degree of jointing. IV th International Congress of IAEG, New Delhi, 221-228
- Pavičić, A. & Ivičić, D. (1998): Jadranska autocesta, Dionica Sveti Rok-tunel Sveti Rok-Maslenica, Geotehnički istražni radovi, Idejni projekt, Hidrogeološki istražni radovi, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 87/98
- Petković, K., (1958): Neue erkenntnisse über den bau der Dinariden. Jahrb. geol. Bundesanst., Wien, 101
- Pollak, D. (2000): Engineering-geological investigations of karst terrain (Karlovac-Rijeka highway, Croatia). Karst 2000, Marmaris, Turkey, u tisku
- Pollak, D. & Braun, K. (1998): Sedimentology in the service of engineering geology: Study of some results of the explorations for highway construction and tunneling in Croatia. 8th International IAEG Congress, Vancouver, Canada, Proceedings, Balkema, Rotterdam, 1, 195-199
- Pollak, D., Matičec, D., Fuček, L., Blagus, Z., Navratil, D. & Kolarić, J. (1999): Jadranska autocesta, Dionica Sveti Rok-tunel Sveti Rok-Maslenica, Geotehnički istražni radovi. Knjiga C.3. Inženjerskogeološki istražni radovi, C.3.2 Poddionica tunel Sveti Rok-Maslenica, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 81/99
- Pollak, D. & Navratil, D. (2000): Inženjerskogeološko istraživanje na trasi Jadranske autoceste (dionica tunel "Sv. Rok"-Maslenica). 2. hrvatski geološki kongres, Cavtat-Dubrovnik, Hrvatska, Zbornik radova, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 741-747
- Prvanović, M., Vilus, Ž. & Meded, V. (1966): Tumač za osnovnu hidrogeološku kartu lista Obrovac. Geotecnika, Zagreb., 51/2, 3, 4
- Prelogović, E., Jamičić, D. & Novosel, T. (1995): The dynamics of joint and fault modelling in carbonate rocks – Maslenica structure (Croatia). Proceedings of the second International conference on the mechanics of jointed and faulted rock, Viena, Balkema, 355-358
- Quitow, H.W. (1941): Stratigraphisch-tectonische Untersuchungen im nord-dalmatinischen Alttertiar. Jb. R. A. Bodenforsch, Wien.
- Quitow, H.W. (1944): Die geologische Stellung der ostadriatischen Bauxitvorkommen, Ztschr. prakt. Geologie. Halle, 52, H. 2, 11-19
- Reeckman, A. & Friedman, G. M. (1981): Exploration for carbonate petroleum reservoirs. Wiley Intersci. Publ., New York-Chichester-Brisbane-Toronto-Singapore, str. 213
- Sakač, K. (1961): Geološka građa i boksitne pojave područja Novigrad-Obrovac u sjeverozapadnoj Dalmaciji. Geološki vjesnik, Zagreb, 14, 323-344

- Sakač, K. (1972): A new survey of stratigraphic bauxite-bearing horizons in Croatia (Yugoslavia). *Bull. Sci. Cons. Acad. RSFY, Zagreb*, 17/7-8, 221-223
- Sakač, K. (1973): Stratigrafski položaj i opće karakteristike boksitnih ležišta Dinarida. *Radovi II jug. simp. istr. ekspl. boksita, Tuzla, A-XV*, 2pp.
- Sakač, K. & Raljević, B. (1960): Geološka građa i hidrogeološke prilike šire okolice Obrovca u SZ Dalmaciji. *Fond stručne dokumentacije IGI, Zagreb*, br. 3283
- Sakač, K., Šinkovec, B., Gabrić, A., Pencinger, V. & Lukšić, B. (1978): Analiza stratigrafskih i tektonskih odnosa boksitonosnog područja Jasenice-Rovanjska. *Institut za geološka istraživanja, Zagreb*, 210/78
- Schubert, R. (1903): Zur Geologie des Kartenblatt-Bereiches Benkovac-Novigrad (z. 29 kol. XII). *Verh. Geol. R. A. , Wien*, N. 78, N. 10, N. 14, 278-288
- Schubert, R. (1904): Das Verbreitungsgebiet der Prominaschichten im Kartenblatte Novigrad-Benkovac. *Jb. Geol.R. , Wien*, A. 54, 4.3-4, 461-510
- Schubert, R. (1908a): Die nutzbaren Minerallagerstätten Dalmatiens. *Ztschr. prakt. Geol., Wien*, 16, 49-56
- Schubert, R. (1908b): Erläuterungen zur geologischen Karte Novigrad-Benkovac. *Wien*
- Schubert, R. (1909): Erläuterungen zur Geologischen Karte Novigrad-Benkovac. *Wien*
- Scott, T. E., Azeemuddin, Jr. M., Zaman, M. & Rogiers, J. C. (1995): Changes in acoustic velocity during pore collapse of rocks. *ISRM News journal*, 3/1, 14-17
- Sikošek, B. & Medwenitsch, W. (1965): Neue daten zur facies und tektonik der Dinariden. *Ztschr. Deutsch. geol. Gesellschaft , Berlin*, 116/2
- Šikić, D. (1964): Horizontalna kretanja u Dinaridima. *Zbor. radova Rudar.odj. Tehn. Fak., Zagreb*, 129-141
- Šušnjara, A. & Šćavničar, B. (1976): Akcesorni teški minerali u bositima i karbonatnim stijenama podine boksita u SR Hrvatskoj. *IV jugoslovenski simpozij o istraživanju i eksploataciji boksita, Hercegnovi, Zbornik radova*, 53-66
- Tišljar, J. (1994): Sedimentne stijene. *Školska knjiga, Zagreb*, str. 422
- Tišljar, J. (2001): Sedimentologija karbonata i evaporita. *Institut za geološka istraživanja, Zagreb*, str. 375
- Tišljar, J. & Velić, I. (1991): Carbonate facies and depositional environments of the Jurassic and Lower Cretaceous of the coastal Dinarides (Croatia). *Geološki vjesnik, Zagreb*, 44, 215-234
- Tišljar, J., Đokić, Z. & Ženko, T. (1997): Influence of sedimentary environment on the technical properties of the lower Cretaceous limestones from the Lakovići quarry in Istria (Croatia). *Rudarsko-geološko-naftni zbornik; 9; Zagreb*; 23-39
- Tomašić, I. & Ženko, T. (1993): Utjecaj strukturno tekturnih značajki i diagenetskih procesa na poroznost arhitektonskog kamena. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Zagreb*, 5, 165-172

- Turgul, A. & Zarif, I. H. (2000): Engineering aspects of limestone weathering in Istanbul, Turkey. *Bulletin of engineering geology and the environment*; 58/3; Springer; Berlin; 191-206
- Velić, I., Matičec, D., Vlahović, I. & Tišljarić, J. (1995): Stratigrafski slijed jurskih i donjokrednih karbonata (bat-gornji alb) u zapadnoj Istri. 1. Hrvatski geološki kongres, Opatija, Vodič ekscurzija (A), Zagreb, 31-66
- Vlahović, I., Velić, I., Tišljarić, J. & Matičec, D. (1999): Lithology and origin of Tertiary Jelar breccia within the framework of Tectogenesis of Dinarides. Harold Reading's IAS Lecture Tour '99; Field trip guide book: Some carbonate and clastic successions of the external Dinarides, Croatia; Institute of Geology; Zagreb, 23-25
- Wentworth, C.K. (1922): A scale of grade and class term for classifying sediments. *Journal of Geology*, 30, 377-392
- Wilson, J. L. (1975): Carbonate facies in geologic history. Springer-Verlag, Berlin, 471 str.
- Yufin, S.A. (1995): General report. Eurock '93, Balkema, Rotterdam, 1029-1041
- Zupan Hajna, N. (1995): Mineral composition of loams from different types of fault zones in karst. 1. Hrvatski geološki kongres, Opatija, Hrvatska, Zbornik radova, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 2, 657-660
- Zupanić, J. (1969): Promina naslage planine Promine. *Geološki vjesnik*, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 22, 477-494
- Zupanić, J. & Babić, Lj. (1981): Postanak starijeg dijela Promina-formacije (paleogen) sjeverozapadno od Benkovca. *Vesnik (Geologija)*, Zavod za geološka i geofizička istraživanja, Beograd, 38/39 Serija A, 227-230

IX. ŽIVOTOPIS

OSOBNİ PODACI

<i>Ime i prezime:</i>	Davor Pollak
<i>Datum i mjesto rođenja:</i>	8 siječanj 1968; Zagreb, Hrvatska
<i>Spol:</i>	muški
<i>Bračni status:</i>	oženjen, dvoje djece
<i>Državljanstvo:</i>	hrvatsko

OBRAZOVANJE

- 1991 stručna praksa (tijekom studija geologije u Zagrebu) u Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, u trajanju od dva mjeseca u 1991. godini
- 1994 stjecanje titule diplomiranog inženjera geologije, usmjerenje mineralogija i petrologija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska.
- 2001 poslijediplomski studij geologije, smjer Petrologija i ležišta sedimentnog ciklusa (Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu). Nalazim se pred obranom magistarskog rada pod naslovom: "Ovisnost inženjerskogeoloških svojstava karbonatnih stijena o njihovim sedimentno-petrološkim značajkama (trasa Jadranske autoceste: "Tunel Sv. Rok – Maslenica")"
-

ZAPOSLENJE I STATUS

- Institut za geološka istraživanja, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju
- 1994-2000 znanstveni novak
 - 2000- stručni suradnik
-

PODRUČJE STRUČNOG DJELOVANJA I INTERESA

- inženjerska geologija, sedimentologija, mineralogija, strukturna geologija, hidrogeologija i ekologija, informatika
-

OSTALA ZNANJA

- u stručnom radu koristim: MS Windows - Word and Excel, WordPerfect, Rockworks, Stereo, LogPlot, Visual Basic, Dbase, Access, Clarion, AutoCAD, ArcView.
 - tečno govorim i pišem engleski jezik (TOEFL 550)
 - osnove njemačkog jezika
-

STRUČNO ISKUSTVO

1. sudjelovanje u izradi inženjerskogeološke karte RH list Rogatec (M 1:100 000)
- sudjelovanje u programiranju, vođenju i izvođenju inženjerskogeoloških istražnih radova i izvještaja za brojne geotehničke podloge velikih infrastrukturnih projekata u Hrvatskoj:
 - Tunel Čićarija
 - Tunel "Mala Kapela"
 - Tunel "Grič"
 - Vodovod, Zadar-Krka
 - Autocesta Zagreb-Rijeka, Dionica Kupjak-Bosiljevo trasa i tuneli (Javorova kosa, Pod Vugleš, Čardak, Veliki Gložac)
 - Istarski Y (poluautocesta)

- Jadranska autocesta, Dionica Sv. Rok-Maslenica trasa i tuneli (Ledenik, Čelinka, Bristovac), Dionica Maslenica-Zeleni Hrast, Dionica Otočac-Lički Osik
2. izrada osnovne baze inženjerskogeoloških podataka Republike Hrvatske
 3. aktivno sam sudjelovao na nekoliko internacionalnih i domaćih simpozija i kongresa
 4. u autorstvu i koautorstvu sam napisao nekoliko znanstvenih i ostalih članaka

X. POPIS OBJAVLJENIH RADOVA

1. Radovi objavljeni u domaćim znanstvenim časopisima:

a) s međunarodnom recenzijom

Crnković, B., Tadej, N., Pollak, D. (1994): THE INFLUENCE OF ACID RAINS ON THE LITHOTHAMNIAN LIMESTONE ON THE GALLERY OF THE MARY'S ASCENSION CATHEDRAL, ZAGREB, CROATIA, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Zagreb, Vol. 6, 1-9

b) s domaćom recenzijom

Pollak, Z., Pollak, D. (1999): NOVI PRISTUP KONDICIONIRANJU PODZEMNIH VODA NA PRIMJERU CRPILIŠTA PETRUŠEVEC U ZAGREBU, Hrvatske vode, godina 7, broj 29, Zagreb, 381-394

2. Znanstveni radovi objavljeni u zbornicima kongresa i znanstvenih skupova:

a) domaćih

Biondić, B., Braun, K., Vlahović, I., Mlinar, Ž., Andrić, M., Balen, I., Pollak, D., Fuček, L., Oštrić, N., Prtoljan, B., Šaban, B., Blagus, Z., Dukarić, F., Buljan, R., Biondić, R. (1995): INŽENJERSKOGEOLOŠKI MODEL ŽELJEZNIČKOG TUNELA ČIĆARIJA, Opatija, 18-21.10.1995, Zbornik radova, knjiga 1, 81-89

Braun, K., Pollak, D., Mlinar, Ž. (1995): INŽENJERSKOGEOLOŠKO MODELIRANJE, 1. hrvatski geološki kongres, Opatija, 18-21.10.1995, Zbornik radova, knjiga 1, 1995, 125-131

Braun, K., Pollak, D. (1999): DISKONTINUITETI, NJIHOV POSTANAK, GENETSKA KLASIFIKACIJA I MORFOLOGIJA, Znanstvenostručno savjetovanje s međunarodnim sudjelovanjem: Mehanika stijena i tuneli (MESTU '99). Zagreb 30.9-2.10.1999, Zbornik radova, Knjiga 1, Građevinski fakultet i RGN fakultet, Zagreb, 23-27

Pollak, D., Navratil, D. (2000): INŽENJERSKOGEOLOŠKO ISTRAŽIVANJE NA TRASI JADRANSKE AUTOCESTE (DIONICA TUNEL "SVETI ROK"-MASLENICA), 2. hrvatski geološki kongres, Cavtat-Dubrovnik, 741-747

b) međunarodnih

Pollak, D., Braun, K. (1998): SEDIMENTOLOGY IN THE SERVICE OF ENGINEERING GEOLOGY: STUDY OF SOME RESULTS OF THE EXPLORATIONS FOR HIGHWAY CONSTRUCTION IN CROATIA, 8th Congress of the International Association for Engineering Geology and the Environment. Vancouver, Canada. 21-25 September 1998, Proceedings Eighth International Congress, Volume I, A.A. Balkema, Rotterdam, 195-199

Pollak, D. (2000): ENGINEERING-GEOLOGICAL INVESTIGATIONS OF KARST TERRAIN (KARLOVAC-RIJEKA HIGHWAY, CROATIA), Karst 2000, Marmaris, Turkey, u tisku

XI. KRATKI SADRŽAJ

U magistarskom radu se sagledavaju podaci dobiveni vrlo detaljnim geološkim, inženjerskogeološkim, ali i sedimentološkim istraživanjima na trasi buduće Jadranske autoceste – dionica “Tunel Sveti Rok – Maslenica”. Na toj dionici trasa autoceste prolazi kroz različite tipove karbonatnih stijena od vapnenaca do klastičnih karbonatnih stijena (vapnenačkih breča, konglomerata i kalkarenita).

U istraživanom području je izdvojeno pet litostratigrafskih jedinica (od donje krede do paleogena), a svaka od njih je detaljnije podijeljena prema mikrofacijsnim značajkama.

Vrlo detaljna i opsežna terenska i laboratorijska ispitivanja pokazala su da su varijacije fizičkih, mehaničkih i ostalih svojstava intaktne stijene i stijenske mase, (kojima se bavi inženjerska geologija) u velikoj mjeri posljedica strukturne i teksturne građe i dijagenetskih procesa.

Ovakvim pristupom, tj. ispitivanjem sedimentno-petroloških značajki stijena prilikom detaljnih inženjerskogeoloških istraživanja, dobiveni su mnogi vrijedni podaci koji se mogu koristiti za realniju procjenu kvalitete stijenske mase.

Ključne riječi:

sedimentologija, inženjerska geologija, karbonatne stijene, struktura, tekstura, dijagenetski proces, Jadranska autocesta, tunel «Sveti Rok», Maslenica

XII. ABSTRACT

This work elaborate a very detailed geological, engineering-geological and sedimentological survey of the future Adriatic highway – section “Tunnel Sveti Rok – Maslenica”. The highway route is laid across various carbonate rock types. From the pure limestones to the clastic carbonate rocks (limestone breccia, conglomerate and calcarenite).

Five lithostratigraphical units (Lower Cretaceous – Paleogene) constitute the investigated area. Each of the unit is subdivided according to the microfacies characteristics.

Numerous and detailed field investigations and laboratory tests established direct influence of texture, structure and diagenetic processes on physical, mechanical and other properties of intact rock and rock masses.

It has become evident that sedimentological and petrological investigations are contributing many valuable data for more realistic evaluation of the rock mass quality.

Key words:

sedimentology, engineering-geology, carbonate rocks, texture, structure, diagenetic process, Adriatic highway, Tunnel “Sveti Rok”, Maslenica