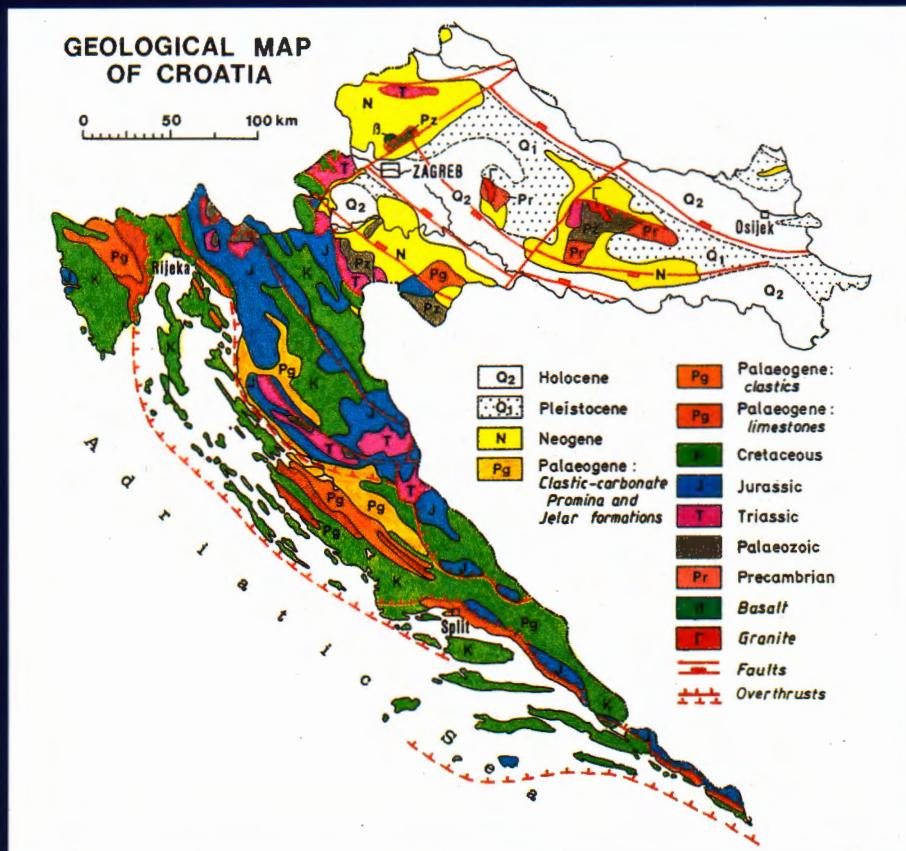


1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES  
FIRST CROATIAN GEOLOGICAL CONGRESS

OPATIJA, 18-21.10.1995.

# VODIČ EKSKURZIJA EXCURSION GUIDE-BOOK



Urednici - Editors:  
Igor VLAHOVIĆ & Ivo VELIĆ

Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology  
Hrvatsko geološko društvo - Croatian Geological Society

ZAGREB, 1995

# **1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES**

## **FIRST CROATIAN GEOLOGICAL CONGRESS**

**Opatija, 18-21.10.1995.**

### **Organizatori - Organized by:**

Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology  
Hrvatsko geološko društvo - Croatian Geological Society

### **Suorganizatori - Supported by:**

INA-Naftaplin - Zagreb  
JVP "Hrvatska vodoprivreda"  
Hrvatska kreditna banka za obnovu i razvoj - Direkcija kredita Svjetske banke  
"Kamen" - Pazin  
INA-Geološki konzalting - Zagreb

### **Pokrovitelj - Sponsor:**

Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske  
Ministry of Science and Technology of the Republic of Croatia

**ISBN 953-96520-3-0**

**Izdavač - Publisher:** Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology

**Urednici - Editors:** Igor VLAHOVIĆ & Ivo VELIĆ

**Tisk - Printing:** "Tipotisk", Selska c. 138, 10000 Zagreb, Croatia

**Izdano - Issued:** listopad 1995., 500 primjeraka - October 1995, 500 copies

---

**Ovitak - Cover:** Geološka karta Republike Hrvatske (autori: Ivo i Josipa VELIĆ) -  
Geological Map of Croatia (prepared by Ivo and Josipa VELIĆ)

**1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES  
FIRST CROATIAN GEOLOGICAL CONGRESS**

**OPATIJA, 18-21.10.1995.**

# **VODIČ EKSKURZIJA EXCURSION GUIDE-BOOK**

**Urednici - Editors:  
Igor VLAHOVIĆ & Ivo VELIĆ**

**Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology  
Hrvatsko geološko društvo - Croatian Geological Society**

**ZAGREB, 1995**

## UVOD

Završni dio I. hrvatskog geološkog kongresa bit će obilježen, kako geolozima i priliči, geološkim ekskurzijama u Istri. Usvojena shema kongresnih odjeljaka najvećim dijelom je odredila vrste i sadržaj geoloških ekskurzija. Izuzetak je odjeljak o geologiji ugljikovodika i geofizici, za kojega u ovom dijelu Hrvatske nije bilo moguće prirediti i odgovarajuće sadržaje u terenskome obilasku.

Priređenim ekskurzijama želimo sudionike upoznati s temeljnim stratigrafskim, sedimentološkim, mineralno-sirovinskim, hidrogeološkim i inženjerskogeološkim značajkama karbonatnih, a djelomice i klastičnih naslaga koje se u Istri, kao rijetko gdje na Jadranskoj karbonatnoj platformi, mogu prikazati na razmjerno malom području. Kako bismo te želje što bolje ostvarili pozivamo sudionike ekskurzija na aktivno sudjelovanje u raspravama na svim postajama, posebice na konstruktivne dijaloge i primjedbe u svezi s iznesenim interpretacijama. Za to se obratite voditeljima, jer oni su i priredivači ekskurzija i odgovorni autori tekstova vodiča.

Urednici

## INTRODUCTION

Geological excursions will form the final part of the First Croatian Geological Congress. The previously established programme of Congress sections set out the nature and content of the geological excursions. The only exception is with the Section on petroleum geology and geophysical exploration, since, unfortunately, there are no adequate conditions for organising field-trips in this part of Croatia.

With these excursions we would like to introduce participants to the basic characteristics of the stratigraphy, sedimentology, ore deposits, hydrogeology and engineering geology of Istria. We will deal with carbonates, and partially with clastic rocks, showing you many different features on such a small area of the Adriatic Carbonate Platform.

We invite all colleagues to actively participate in the discussions at every stops, and we especially welcome constructive criticism concerning the interpretations presented. Please address your comments to the field guides, who are also the authors of the excursions. We would particularly like all our foreign colleagues who don't understand Croatian to ask their guides for full detailed information and explanations concerning specific problems.

The editors

## SADRŽAJ - CONTENTS

VELIĆ, I., TIŠLJAR, J., MATIČEC, D. & VLAHOVIĆ, I.: Opći prikaz geološke građe Istre.....	5
<i>A Review of the Geology of Istria</i> .....	21
VELIĆ, I., MATIČEC, D., VLAHOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J.: Stratigrafski slijed jurskih i donjokrednih karbonata (bat - gornji alb) u zapadnoj Istri (ekskurzija A) - <i>Stratigraphic Succession of Jurassic and Lower Cretaceous Carbonates (Bathonian - Upper Albian) in Western Istria (Excursion A)</i> .....	31
TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., MATIČEC, D. & VELIĆ, I.: Platformni facijesi od gornjeg titona do gornjega alba u zapadnoj Istri i prijelaz u tempestitne, klinoformne i rudistne biolititne facijese donjega cenomana u južnoj Istri (ekskurzija B) - <i>Platform Facies from the Upper Tithonian to Upper Albian in Western Istria and Transition into Tempestite, Clinoform and Rudist Biolithite Facies of the Lower Cenomanian in Southern Istria (Excursion B)</i> .....	67
GABRIĆ, A., GALOVIĆ, I., SAKAČ, K. & HVALA, M.: Mineralne sirovine Istre - neka ležišta boksita, arhitektonsko-gradevinskog kamena i kvarcnoga "pijeska" (ekskurzija C) - <i>Mineral Deposits of Istria - Some Deposits of Bauxite, Building-Stone and Quartz "Sand"</i> (Excursion C)..	111
BIONDIĆ, B., BOŽIČEVIĆ, S., MLINAR, Ž., BRAUN, K., VULIĆ, Ž., MIKLIN, Ž., ANDRIĆ, M., BALEN, I., BIONDIĆ, R., BLAGUS, Z., BULJAN, R., DUKARIĆ, F., FUČEK, L., OŠTRIĆ, N., POLLAK, D., PRTOLJAN, B., ŠABAN, B. & VLAHOVIĆ, I.: Hidrogeološka, inženjerskogeološka i speleološka ekskurzija na području Istre i Kvarnera (ekskurzija D) - <i>Hydrogeological, Engineering-Geological and Spelaeological Excursion in the Area of Istria and Kvarner</i> (Excursion D).....	139



## Opći prikaz geološke građe Istre

Ivo VELIĆ<sup>1</sup>, Josip TIŠLJAR<sup>2</sup>, Dubravko MATIČEC<sup>1</sup> & Igor VLAHOVIĆ<sup>1</sup>

### 1. IZVORI I REGIONALNO-GEOLOŠKA PODJELA

Geološka literatura o Istri vrlo je bogata i sadržajno raznolika u vremenskom rasponu većem od dva stoljeća. Zato bi bilo preopširno opisivati slijed istraživanja i njihove znanstvene dosege. Ograničit ćemo se na one članke i rasprave u kojima je geološka grada istarskih terena kompleksnije prikazana, čak i pod cijenu izostavljanja i takvih radova poput čuvenoga "Die Liburnische Stufe..." (STACHE, 1889).

Najviše podataka o geološkoj gradi Istre nalazi se u kartama i tumačima listova Osnovne geološke karte. Oni su, doduše, objavljeni pred gotovo četvrt stoljeća, a sadrže rezultate istraživanja ostvarene do sredine šezdesetih godina. Stratigrafija, tekttonika, mineralne sirovine i povijest stvaranja terena područja Istre opisane su u šest tumača OGK: Pula (POLŠAK, 1970), Cres (MAGAŠ, 1973), Rovinj (POLŠAK & ŠIKIĆ, 1973), Labin (ŠIKIĆ & POLŠAK, 1973), Trst (PLENIČAR et al., 1973) i Ilirska Bistrica (ŠIKIĆ & PLENIČAR, 1975). U njima ćemo naći i iscrpne preglede dotadašnjih istraživanja i odnosnu literaturu. Za bolje poznavanje geologije Istre važni su i drugi radovi nastali tijekom istraživanja za OGK, primjerice POLŠAK (1965a, 1965b, 1967), ŠIKIĆ & BLAŠKOVIĆ (1965), ŠIKIĆ et al. (1969), MAGDALENIĆ (1972). Ovima svakako treba pribrojiti i nešto starije rasprave o geologiji istočne-sjeveroistočne Istre od M. Salopeka, a posebice onaj, klasični o ljuskavoj gradi Ćićarije i Učke (SALOPEK, 1954).

Od sredine šezdesetih do druge polovice osamdesetih godina u Istri nije bilo sustavnijih geoloških istraživanja regionalnog značenja. Međutim, važno je istaknuti da u sedamdesetim godinama započinju detaljna litofaciesna i biofaciesna istraživanja plitkovodnih karbonata Istre (na pr. TIŠLJAR, 1976, 1978a, 1978b; SOKAČ & VELIĆ, 1978; TIŠLJAR & VELIĆ, 1986, 1987). Također je održano i nekoliko

<sup>1</sup>Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.

<sup>2</sup>Sveučilište u Zagrebu, RGN fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska.

značajnih međunarodnih i domaćih geoloških skupova na kojima je prikazano više radova s novijim spoznajama o geologiji Istre, na pr.: 16. europski mikropaleontološki kolokvij (DROBNE, 1979; DROBNE et al., 1979; HAGN et al., 1979; BAUER & POLŠAK, 1979; SOKAČ & VELIĆ, 1979), IV regionalni skup IAS-a (TIŠLJAR et al., 1983), V skup sedimentologa Jugoslavije (TIŠLJAR & VELIĆ, 1986), te simpozij o evoluciji krške karbonatne platforme i odnosu s drugim periadriatskim karbonatnim platformama (VELIĆ et al., 1989).

Najnovija istraživanja za novu geološku kartu Republike Hrvatske 1:50.000 započela su u Istri polovicom osamdesetih. Tijekom tih istraživanja ostvaruju se novi i zanimljivi rezultati koji se sve češće objavljaju u domaćim i inozemnim časopisima (VELIĆ & TIŠLJAR, 1987, 1988; MARINČIĆ & MATIČEC, 1988, 1989, 1991; BARIŠIĆ et al., 1994; MATIČEC, 1994; TIŠLJAR et al., 1994; VELIĆ & VLAHOVIĆ, 1994; VLAHOVIĆ et al., 1994).

Opći pregled geološke grade Istre u ovom Vodiču temelji se na rezultatima istraživanja spomenutih istraživača, kao i na nekim novim spoznajama autora vodiča.

U geološkom pogledu u Istri se jasno uočavaju tri područja:

- jursko-kredno-paleogenski karbonatni ravnjak južne i zapadne Istre,
- kredno-paleogenski karbonatno-klastični pojas s ljuskavom gradom u istočnoj i sjeveroistočnoj Istri (od Plomina preko Učke u Ćićariju), te
- paleogenski flišni bazen središnje Istre.

Geološke specifičnosti i pojave u spomenutim dijelovima Istre zapažene su i od običnih ljudi - istarskih pučana, koji su te cjeline označili i posebnim imenima: *Crvena Istra* - južno i zapadnoistarski ravnjak nazvan je po zemlji crvenici koja velikim dijelom prekriva mlađe mezozojske i paleogenske karbonate, *Bijela Istra* okrštene izdanke "bijelih" kredno-paleogenskih vapnenaca od Plomina preko Učke u Ćićariju, a *Siva ili Zelena Istra* označava područje središnjega flišnoga bazena.

## 2. STRATIGRAFSKE I PALEOGEOLOŠKE ZNAČAJKE

Prema današnjim geološkim interpretacijama Istra bi pripadala SZ dijelu Jadranske karbonatne platforme. Izgrađena je pretežito od plitkomorskih karbonata stratigrafskoga raspona gornji doger-eocen i manjim dijelom od paleogenskih klastića - fliša i vapnenačkih breča. Na temelju rezultata dosadašnjih istraživanja otkrivene naslage u Istri mogu se podijeliti u četiri sedimentacijske cjeline ili megasekvencije

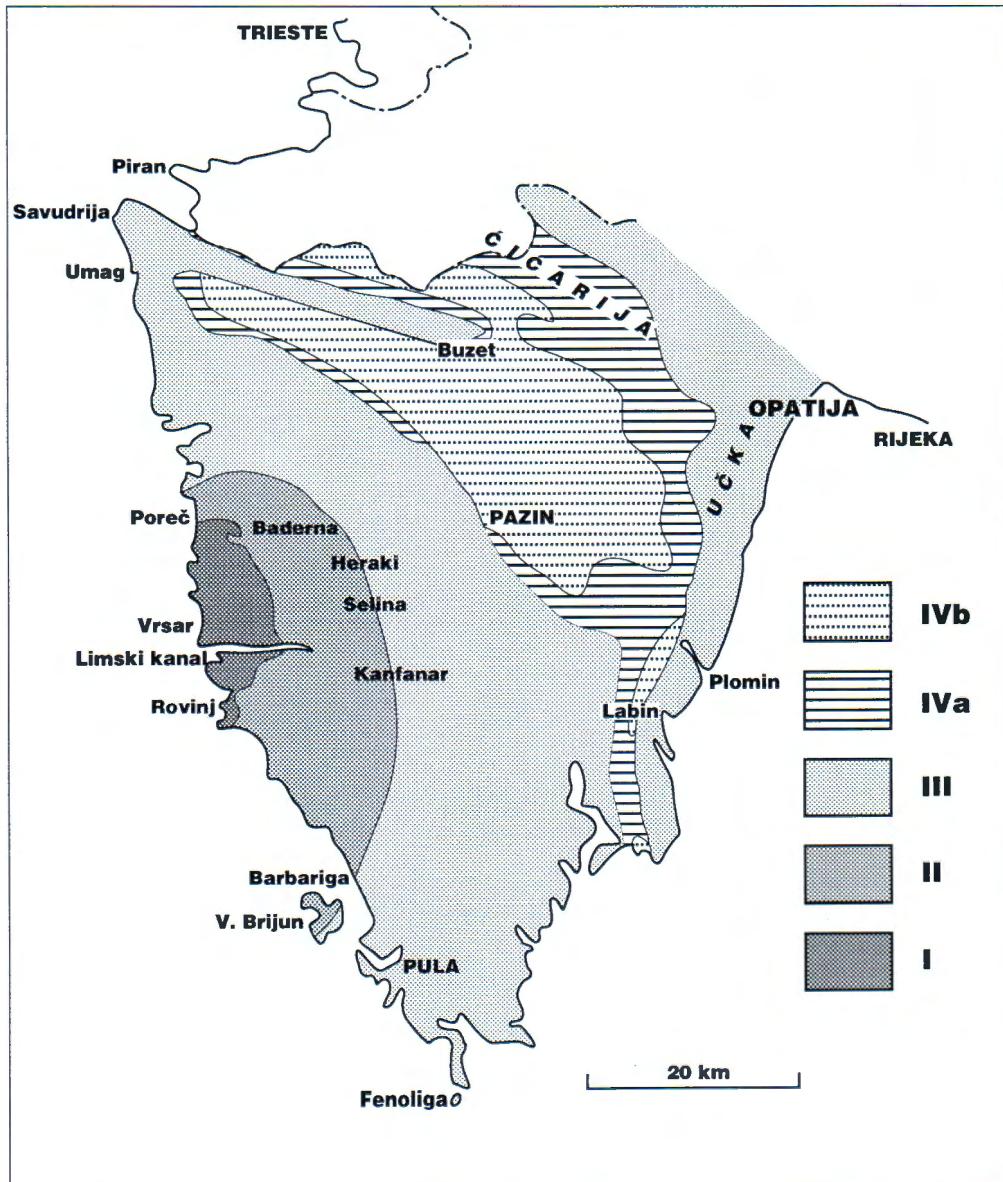
---

Sl. 1 Površinska rasprostranjenost izdvojenih megasekvencija u Istri (vrlo pojednostavljen, bez naznačenih tektonskih elemenata). Tumač: I) bat - donji kimeridž; II) gornji titon - gornji apt; III) gornji alb - donji kampan; IV) paleocen - eocen: a) foraminferski vapnenci, b) prijelazne naslage i fliš.

Fig. 1 Surface distribution of outlined megasequences in Istria (very simplified, tectonic elements omitted). Legend: I) Bathonian - Lower Kimmeridgian; II) Upper Tithonian - Upper Aptian; III) Upper Albian - Lower Campanian; IV) Palaeocene - Eocene: a) Foraminifera limestones, b) Transitional beds and flysch.

(sl. 1), međusobno odijeljene značajnim emerzijama različitoga trajanja. Za njihovo razgraničavanje i trajanje najbolje će poslužiti kronostratigrafska terminologija. Izdvajaju se megasekvencije u slijedećim stratigrafskim rasponima:

- 1) bat - donji kimeridž,
- 2) gornji titon - gornji apt,
- 3) gornji alb - donji kampan i
- 4) paleocen - eocen.



## 2.1. REGRESIVNA MEGASEKVENCIJA BAT - DONJI KIMERIDŽ

Temeljne značajke ove megasekvencije su oplicavanje naviše i pokrupnjavanje, što je u vršnom dijelu obilježeno i pojavom regresivnih breča (*Rovinj breče* - VELIĆ & TIŠLJAR, 1988), te konačno i okopnjavanjem s boksitima. Megasekvencija je predstavljena pretežito različitim tipovima platformnih vapnenaca, a otkrivena je u zapadnoj Istri između Poreča i Rovinja (sl. 1).

U batu i kaloviju prevladavaju okoliši zaštićenih plićaka u plitkom subtajdalnu i lagunama. Talože se srednje do debelo slojeviti madstoni i fosiliferni vekstoni (*Monsena jedinica* - VELIĆ & TIŠLJAR, 1988). U batu je utvrđena i sinsedimentacijska tektonika (MARINČIĆ & MATIČEC, 1991). Slični su uvjeti prevladavali i početkom oksforda, uz taloženje peloidnih pekstona i vekstona (*Lim jedinica* - VELIĆ & TIŠLJAR, 1988). Tijekom srednjega i mlađega oksforda formiraju se u visokoenergijskim plićacima i uz rubove laguna ooidni i bioklastični pješčani prudovi koji postupno progradiraju (*tidal bars* - TIŠLJAR & VELIĆ, 1987; *Muča jedinica* - VELIĆ & TIŠLJAR, 1988). Tendencija oplicaivanja nastavlja se pri kraju oksforda i početkom kimeridža, što rezultira nastajanjem regresivnih *Rovinj* i *Vrsar breča*, koje ujedno obilježavaju i završetak ove megasekvencije. Izgrađene su od ulomaka neposredne podloge (*Lim* i *Muča vapnenaca*). Slijedi potpuno okopnjavanje i okršavanje, posljedica kojega je razvedeni reljef u čijim se udubinama nakuplja ishodišni materijal za nastanak glinovitih boksita. Mjestimice se stvaraju značajne količine - ležišta boksita kao na pr. kod Rovinja (ekskurzija C, postaja C-3 - GABRIĆ et al., 1995), nešto manje SZ od Rovinjskog sela, kod Gradine i između Vrsara i Funtane (ŠINKOVEC, 1974).

Detaljnije faciesne osobitosti spomenutih naslaga prikazane su u opisima postaja stratigrafske ekskurzije A-1 do A-3 (VELIĆ et al., 1995).

## 2.2. TRANSGRESIVNO-REGRESIVNA MEGASEKVENCIJA GORNIJI TITON - GORNIJ APT

Ovu je megasekvenciju gotovo nemoguće odrediti u nekoliko riječi, s obzirom na njezinu faciesnu, a time i sekvensijsku raznolikost, te veliku debljinu. U litološkom pogledu prevladavaju različiti tipovi peritajdalnih, posebice peletnih i LLH-stromatolitnih vapnenaca, uz pojave emerzijskih breča s glinovitim matriksom (titon, otriv, barem), ranodijagenetskih i kasnodijagenetskih dolomita (berijas), te grejnstonea (*tidal bar* - bioklastičnih prudnih pijesaka u g. valendisu i g. baremu). Naslage ove megasekvencije otkrivene su od Poreča do Punte Furlan (Červar), odakle se lučno protežu zapadno od Heraka, Seline, Kanfanara, Bala i Negrina sve do obale od Zlatnoga Rta u Rovinju do Barbarige i Veloga Brijuna (sl. 1).

Megasekvencija započinje u mlađem titonu oscilirajućom transgresijom, tj. parasekvencijama oplicaavanja naviše taloženim u subtajdalnim, intertajdalnim i

supratajdalnim okolišima, predstavljenim *black-pebble* brečama/konglomeratima s glinovitim matriksom, madstonima i fenestralnim madstonima. Ti su vapnenci poznati kao arhitektonsko-građevinski kamen *Pietra d'Istria* ili *Kirmenjak*. Vršni dijelovi gornjotitonskih vapnenaca su više ili manje kasnodijagenetski dolomitizirani.

U uvjetima relativnoga opliceavanja tijekom berijasa i starijeg valendisa u subtajdalnim i intertajdalnim okolišima talože se vapnenci koji su kasnije najvećim dijelom kasnodijagenetski dolomitizirani, u izmjeni sa supratajdalnim ranodijagenetskim dolomitima (*Fantazija dolomiti* - VELIĆ & TIŠLJAR, 1988).

U mlađem valendisu prevladavaju parasekvencije opliceavanja, a mjestimice i okrupnjavanja naviše u okolišima dubljeg i plićeg subtajdala. Za otriv i veći dio barema također je značajno taloženje ciklusa opliceavanja naviše s čestim pojavama LLH-stromatolita, opetovanim emerzijama, i peritajdalnim brečama. U takvim baremskim peritajdalnim okolišima na otoku Veli Brijun nađeni su otisci stopala dinosaure, a na zapadnoj obali Istre u podmorju unutar negdašnjih močvarnih okoliša i dijelovi njihovih kostura.

Pri kraju barema zabilježene su pojave grejnstona (karbonatno-bioklastičnih prudnih pijesaka) u plitkom subtajdalnu-intertajdalnu s kosom slojevitošću, interpretirane kao ciklusi opliceavanja i okrupnjavanja naviše. Na prijelazu u apt evidentna je značajna regionalna promjena režima i okoliša kojom je zahvaćena cijela Istra: naglo i značajno produbljavanje uz prevladavanje okoliša zaštićenog dubljeg subtajdala i/ili lagune s povremenim manjim pučinskim utjecajem. Talože se debelo slojeviti onkolitni i baćinelski madstoni i floutstoni s pojedinačnim rekвиrijama, koji se iskorištavaju kao arhitektonsko-građevinski kamen zvan *Istarski žuti*.

Kolikogod je početak apta obilježen naglim produbljavanjem toliko je za mlađi apt značajno ubrzano oplicevanje, te potpuno okopnjavanje. Emerzija je regionalnog protezanja, a uzroke treba tražiti u snižavanju relativne morske razine uzrokovane međudjelovanjem eustatičkih promjena i tektonskih pokreta na istarskom dijelu karbonatne platforme (v. postaje A-6 stratigrafske ekskurzije - VELIĆ et al., 1995, i B-3 sedimentološke ekskurzije - TIŠLJAR et al., 1995). Pokreti su plikativnoga i disjunktivnoga karaktera, a posljedice su različito trajanje plitkovodnih taložnih okoliša u različitim dijelovima platforme s jedne, te različiti intenzitet erozije apatskih i baremskih nasлага u području Istre s druge strane. Konačno, završetak ove megasekvencije obilježen je taloženjem emerzijskih breča i konglomerata, gline i crnih močvarnih taloga na cijelom danas otkrivenom dijelu zap. Istre od Punte Furlan preko Baderne, Heraka, Seline, Kanfanara, Bala, Negrina, Barbarige do Veloga Brijuna. Između Seline i Negrina neerodirane su ostale niže razine gornjega apta, a erozija je najdublje zahvatila čak i niži dio barema (zapadno od Heraka prema Červaru - VELIĆ et al., 1989). Kod Baderne su na baremskim vapnencima uz emerziske breče zapažene i pojave boksita.

Pobliže litološke i facijesne značajke ove megasekvencije prikazane su u stratigrafskoj (postaje A-3 do A-6; VELIĆ et al., 1995) i sedimentološkoj ekskurziji (poglavlje 1, postaje B-1 do B-3; TIŠLJAR et al., 1995).

### 2.3. TRANSGRESIVNO-REGRESIVNA MEGASEKVENCIJA GORNJI ALB - DONJI KAMPAN

Ova megasekvencija ima veliku debljinu (više od 1.000 m) i vrlo različiti facijesni razvoj, pa će stoga ovdje biti prikazane samo temeljne litološke i sedimentološke značajke pojedinih kronostratigrafskih jedinica, posebice onih koje su obuhvaćene ekskurzijom.

Nakon opće emerzije tijekom mlađega apta i starijega alba nastupila je sredinom alba, tj. početkom mlađega alba, najprije postupna, a zatim i potpuna ingressija (vidi postaju B-3 sedimentološke ekskurzije - TIŠLJAR et al., 1995). Tom općom transgresijom ponovno je uspostavljen plitkomorski taložni sustav na cijelom dijelu platforme koji danas pripada području Istre. Tu se, međutim, može izdvojiti više većih taložnih jedinica. Unutar svake od tih jedinica postojali su približno slični uvjeti i okoliši taloženja. U osnovi to su:

- a) peritajdalni *i foreshore* taložni sustav tijekom alba;
- b) diferencijacija taložnih sustava tijekom vrakona i cenomana;
- c) taložni sustav potopljene platforme tijekom najmlađega cenomana i starijega turona;
- d) plitkomorski taložni sustav tijekom mlađega turona, konijaka i santonskog kampana.

#### 2.3.1. Facijesne značajke albskih naslaga

Sâm početak ove jedinice karakteriziran je oscilirajućom transgresijom, koja je sredinom alba zahvatila cijelo do tada okopnjeno područje Istre. Iz tih najstarijih slojeva mlađega alba na otoku Veli Brijun poznati su otisci stopala gmazova, koje je opisao POLŠAK (1965b).

Tijekom preostalog dijela mlađega alba u peritajdalnim *i foreshore* okolišima talože se velike količine tankoslojevitih (5-20 cm) zrnastih vapnenaca. Uglavnom su to dobro sortirani, sitnozrnasti, intraklastično-peloidni pekstoni/grejnstoni u izmjeni s foraminifersko-peloidnim pekstonima/vekstonima, dok su LLH-stromatoliti nešto rijedi. U najmladem dijelu albskih naslaga česte su i intraformacijske vapnenačke breče, pretežito nastale na peritajdalnu pri olujnim plimama, tj. kao talozi olujnih plima (*storm-tide deposits*), zrnasti vapnenci s blagom kosom slojevitošću i strujnim riplovima, te dijagenetski kvarcni sedimenti (ekskurzija C, postaja C-4 - GABRIĆ et al., 1995). Detaljnije litološke i sedimentološke značajke gornjoalbskih vapnenaca prikazane su u odjeljku 2 i postaji B-4 sedimentološke ekskurzije (TIŠLJAR et al., 1995).

### 2.3.2. Facijesne značajke vrakonskih i cenomanskih naslaga

Tijekom alba na cijelom području istarskog dijela Jadranske karbonatne platforme prevladavali su manje ili više stabilni peritajdalni - *foreshore* okoliši. Na prijelazu iz donje u gornju kredu uspostavljaju se različiti uvjeti i okoliši taloženja u sjevernoj i južnoj Istri (VLAHOVIĆ et al., 1994).

U sjevernom dijelu Istre (područje Umag - Savudrija - Buzet) stabilni peritajdalni uvjeti taloženja poput onih tijekom alba nastavljaju se i u najstarijem cenomanu. Tijekom mlađega dijela starijega cenomana i starijega dijela srednjega cenomana došlo je do diferencijacije prethodno jedinstvenih okoliša, tako da su istovremeno bočno uspostavljeni taložni sustavi peritajdala, plitkovodnog pješčanog pruda i blago položene unutarnje karbonatne rampe. U zapadnom dijelu sjeverne Istre talože se subtajdalni madstoni i peloidni vekstoni/pekstoni s bentosnim foraminiferama i kršjem rudista, te parasekvencije s debljim subtajdalnim madstonima i foraminfersko-bioklastičnim vekstonima i tanjim intertajdalnim fenestralnim madstonima i LLH-stromatolitima. U središnjem dijelu sjeverne Istre, u području Marušića, taloženo je prostrano karbonatno pješčano tijelo izgrađeno od dobro sortiranih bioklastičnih pekstona/grejnstona nastalih u plićem *shoreface* i *foreshore* okolišu. U istočnemu dijelu istovremeno su postojali taložni okoliši blago položene unutarnje karbonatne rampe s bioklastičnim, mjestimice i olujnim strujama resedimentiranim vekstonima/pekstonima i grejnstonima, sporadičnim ostacima krpastih rudistnih grebena i lokalno ograničenim zatvorenim lagunama karakteriziranim izmjenom proslojaka madstona i rožnjaka. Krajem cenomana dolazi do postupnog zapunjavanja takvoga razvedenoga taložnoga prostora i ponovne uspostave jedinstvenog plitkovodnog taložnog sustava karakteriziranog nepravilnom izmjenom svijetlih madstona i rudistnih floutstona (kokina).

U južnoj Istri na prijelazu iz mlađega alba u cenoman i u starijem cenomanu uspostavljen je *shoreface* taložni sustav obilježen sinsedimentacijskom tektonikom, slampovima, tempestitima, karbonatnim pješčanim i rudistnim klinoformnim i biolitnim tijelima. Podrobniiji podaci o facijesnim značajkama i uvjetima taloženja tih naslaga u južnoj Istri prikazani su u odjeljku 2 i postajama B-4 i B-5 sedimentološke ekskurzije (TIŠLJAR et al., 1995). Prijelaz iz toga taložnog sustava u srednjocenomanske i gornjocenomanske naslage je litofacijesno razmjerno oštar i jasno uočljiv, posebice po prijelazu iz masivnih i debeloslojevitih klinoformnih kokiških/mikrokokiških tijela u tankoslojevite (5-25 cm) vapnence taložene u sustavu niskoenergijskih plićaka. Prevladavaju peloidno-bioklastični vekstoni/pekstoni i peloidni grejnstoni s pojedinačnim rudistnim biostromama debljine 30-70 cm i ostrednjim kokinama.

Posebnu zanimljivost u ovoj jedinici predstavljaju tragovi gmazova na otočiću Fenoliga (GOGALA, 1975), koji se nalaze na gornjim slojnim plohamama bioklastičnih vekstona između rudistnih biostroma u kojima su rudisti u primarnom položaju

(TIŠLJAR et al., 1983). Mikrofossilna zajednica istovrsnih naslaga na kopnu ukazuje na cenomansku starost, što je u skladu s mišljenjem Gušića i Jelaske (GUŠIĆ & JELASKA, 1990), koji su na temelju izostanka rudista, te pojave amonita, pitonela i kalcisfera u donjem turonu, opisanim naslagama pripisali gornjocenomansku starost umjesto do tada određivane donjoturonske. Ovo je treća i najmlađa pojava tragova gmazova u južnoj Istri; dva starija, već spomenuta nalaza na otoku Veli Brijun, potječu iz barema i gornjega alba.

Druga je posebnost ove jedinice paket dobroslojevitih peloidnih pekstona s nodulama i lećama rožnjaka ("vapnenci s rožnjacima" - POLŠAK, 1965b). Premda sadrže kalcitizirane radiolarije i spikule spužvi, zbog čega su svrstavani u duboko-morske taloge, oni se pojavljuju unutar tipičnog peritajdalnog slijeda naslaga. Rožnjačke nodule i leće su nastale tijekom ranodijagenetskih procesa silicifikacije vapnenačkih muljeva u niskoenergijskim lagunskim plićacima (TIŠLJAR, 1978a). Iako su i te naslage u ranijim radovima svrstavane u donji turon, na temelju mikrofossilne zajednice u njihovoј neposrednoj krovini sa sigurnošću možemo reći da pripadaju višem dijelu cenomana.

### 2.3.3. Faciesne značajke naslaga najvišeg cenomana i donjeg turona

U južnoj Istri krajem cenomana i početkom turona uspostavlja se taložni sustav potopljene platforme u koji se mogu ubrojiti "vapnenci s amonitima" (POLŠAK, 1965b), odnosno vapnenci madston/vekston tipa s planktonskom faunom i amonitima, koji su posljedica globalnog porasta morske razine (GUŠIĆ & JELASKA, 1993).

Takvo produbljavanje, tj. potapanje koje se bilježi na velikome dijelu Jadranske karbonatne platforme, u sjevernome dijelu Istre nije zabilježeno, pače su gornjocenomanske naslage zahvaćene emergijom, tako da na njima slijede boksi i paleogenske transgresivne naslage. Takav slijed cenomanskih naslaga sjeverne Istre u usporedbi s južnom Istrom upućuje na neizostavnu ulogu sinsedimentacijske tektonike, koja je lokalno izrazito modificirala iznose batimetrijskih promjena uzrokovanih globalnom eustatikom (VLAHOVIĆ et al., 1994).

### 2.3.4. Faciesne značajke gornjoturonskih, konijačkih i santon-kampanskih naslaga

Tijekom mlađega turona, konijaka i santon-kampana (POLŠAK, 1965b) na cijelom području današnje Istre ponovno je uspostavljen plitkomorski platformni taložni sustav. Karakteriziran je dobroslojevitim vapnencima s izmjenama tankih slojeva madstona, bioklastičnih vekstona/pekstona i stromatolitnih lamina u starijem, a pretežito debelim slojevima rudistnih kokina i mikrokokina, te ostreidnih kokina u mlađem dijelu naslaga (TIŠLJAR, 1978a). Rudistne biostrome su mnogo rijede, jer su u visokoenergijskim uvjetima rudistne zajednice uglavnom bile razarane, a njihov je bioklastični detritus taložen u neposrednoj blizini. Najmladi dio krednih naslaga nedostaje, uslijed okopnjavanja vezanog za laramijsku orogenetsku fazu.

## 2.4. STRATIGRAFSKI SLIJED NASLAGA PALEOCEN-EOCEN

Ova megasekvencija obuhvaća razmjerno debeli paket karbonatnih i klastičnih stijena. Najveći se dio paleocensko-eocenskih naslaga u Istri nalazi u području Pazinskog bazena i njegovih rubnih dijelova, tako da su opisane u Tumačima OGK listova Rovinj (POLŠAK & ŠIKIĆ, 1973), Labin (ŠIKIĆ & POLŠAK, 1973), Ilirska Bistrica (ŠIKIĆ & PLENIČAR, 1975) i Trst (PLENIČAR et al., 1973).

Trajanje kopnene faze između gornje krede i paleogena bilo je vrlo promjenljivo od područja do područja. Različiti članovi paleogenskih naslaga su transgresivno taloženi na različite članove kredne podloge, a pritom je važnu ulogu imala izrazita diferencijacija prostora uzrokovanja laramijskom orogenetskom fazom. Zato je i slijed paleogenskih naslaga vrlo promjenljiv, kako lateralno tako i vertikalno, čemu posebice pridonose promijenjeni taložni uvjeti u paleogenskom moru. Općenito se naslage mogu podijeliti na *Liburnijske naslage, foraminiferske vaspnence, prijelazne naslage i fliš*.

*Liburnijske naslage* nisu svugdje prisutne, s obzirom da su taložene isključivo u najnižim dijelovima paleoreljefa. Karakterizira ih oscilirajuća ingressija, a pretežito su predstavljene slatkovodnim i brakičnim naslagama paleocenske starosti.

*Foraminiferski vaspnenci* se u Istri dijele u tri do četiri litostratigrafska varijeteta, koji su pretežito u superpozicijskom odnosu, a stratigrafski pripadaju kraju paleocena, donjem i dijelu srednjega eocena. To su miliolidni, alveolinski i numulitni vaspnenci, te diskociklinski vaspnenci koji se mogu izdvojiti kao najviši dio numulitnih vaspnenaca. Ti se vaspnenci pretežito sastoje od cijelih i fragmentiranih skeleta bentosnih foraminifera, te rjede školjkaša, ostrakoda, echinodermata i bariozoa, a u višem dijelu sadrže i glaukonit, što u potpunosti odgovara *foramol asocijaciji* karakterističnoj za okoliše suptropske i umjerene klime. Cijeli slijed zapravo predstavlja izmjenu različitih okoliša, od zaštićenog unutarnjeg dijela potopljene platforme (miliolidni vaspnenci), preko pličih i dubljih *shoreface* okoliša (alveolinski i numulitni vaspnenci) do dijelova negdašnje platforme koji su tektonikom poprimili odlike dubljeg dijela karbonatne rampe (diskociklinski vaspnenci). Sâm slijed znatno ovisi o lokalnim paleogeografskim osobitostima, tako da su nerijetko vidljive lateralne promjene, miješanja različitih varijeteta i sl. Opisani varijeteti nisu na svim dijelovima taložnog prostora potpuno jednake starosti. Ipak, svugdje je vidljiva tendencija produbljavanja, koja predstavlja posljedicu međudjelovanja različitih čimbenika, posebice intenzivne sinsedimentacijske tektonike koja je osiguravala akomodacijski prostor, te znatno sporije sedimentacije u sve nepovoljnijim uvjetima za obilnu karbonatnu produkciju.

*Prijelazne naslage* izgraduju glinoviti vaspnenci, kalcitični lapori i lapori koji pored sitnozrnastog karbonatnog i siliciklastičnog matriksa sadrže pojedinačne bioklaste bentosnih organizama i planktonske foraminifere, a taloženi su u već znatno produbljenim okolišima tijekom srednjega eocena.

*Flišne naslage* srednjoeocenske do gornjoeocenske starosti su zastupljene u Pazinskom, Labinskem i Plominskom bazenu, Učki, te dijelom na Ćićariji, a karakterizira ih izmjena slojeva karbonatnih pješčenjaka i laporanih.

### 3. TEMELJNE ZNAČAJKE TEKTONIKE U ISTRI

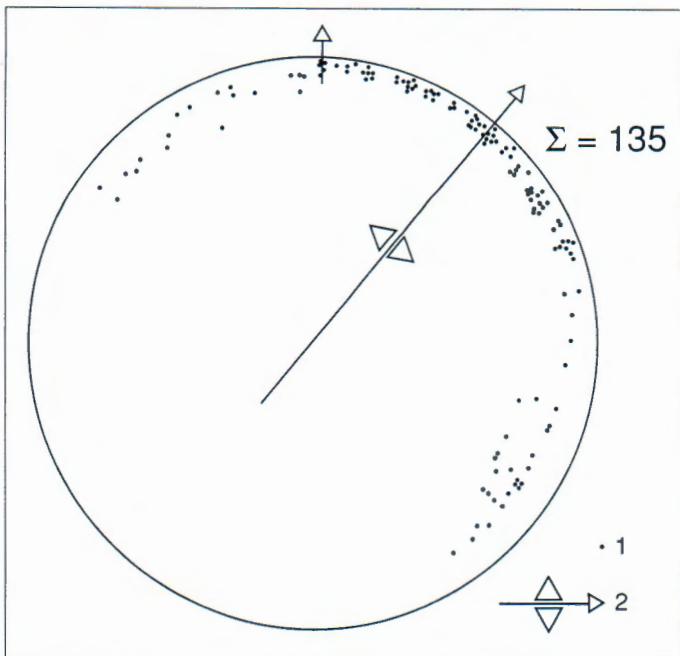
Najstariji zapis tektonske aktivnosti u području Istre predstavljaju strukture nastale sinsedimentacijskom tektonikom u naslagama gornjega dogera, u batu. Njihovi strukturno-tektonski elementi upućuju na kompresijski karakter deformacija s pravcem djelovanja najvećeg pritiska ( $\sigma_1$ )  $40^\circ$ - $220^\circ$ . Izravan posljedak bila je blaga kontrakcija zahvaćenog područja, koja je dovela do pojave lokalnih emerzija i razvedenosti subtajdalnog reljefa.

Nakon tog boranja i kratkotrajnih emerzija ponovno slijedi subtajdalna sedimentacija krovinskih naslaga, čime se nastali reljef zapunjava i izravnava. Kontinuitet sedimentacije se ne prekida do početka kimeridža, kada područje Iste zahvaća regionalna emerzija koja će potrajati kroz veći dio kimeridža i donji titon. Ovo okopnjavanje je posljedica jake radikalne, ekstenzijske tektonike po pravcu  $30^\circ$ - $210^\circ$ . Pokreti pripadaju mladokimerijskoj tektonskoj fazi.

Prve naznake tektonskog djelovanja u kredi vezane su za aptsku emerziju koja je regionalno zahvatila Istru, ali i šire područje Dinarida. Ona je uglavnom posljedica eustatičkih promjena, no tektonski su čimbenici lokalno korigirali iznose promjena relativne morske razine. Tijekom cenomana u području Iste dolazi do diferencijacije facijesa uzrokovane blagom, ali prepoznatljivom sinsedimentacijskom tektonikom.

Krajem krede gotovo je cijela Jadranska karbonatna platforma, pa tako i područje Istre, zahvaćena regionalnom emerzijom lokalno vrlo različitog trajanja. Ona je posljedica laramijskih tektonskih pokreta čiji kompresijski karakter ukazuje na djelovanje najjačeg pritiska po pravcu  $305^\circ$ - $125^\circ$ . Okopnjavanje je praćeno izdizanjem zapadnoistarske antiklinale koja je u to vrijeme u fazi formiranja (POLŠAK & ŠIKIĆ, 1973). Njezina geometrija (sl. 2), dobivena strukturnom obradom položaja slojeva repernih horizonata (MATIČEC, 1989), odražava djelovanje tadašnjeg stresa. Laramijskim pokretima ustvari započinje dezintegracija karbonatne platforme, a time je obilježen i kraj prave plitkomorske platformne karbonatne sedimentacije, jer obnovljeni marinski uvjeti u paleogenu imaju drukčija svojstva.

Paleogenska transgresija označava početak nove, pirenejske tektonske faze. O jačini ovih pokreta svjedoče formirani flišni bazeni, dok njihovo daljnje jačanje ima za posljedicu snažnu, regionalnu kontrakciju prostora čime pirenejska faza postaje presudan faktor u tektogenezi Dinarida. Rezultat ovog djelovanja uočljiv je duž Jadranskoga priobalja u obliku tzv. dinaridskog pružanja struktura. Međutim, u



Sl. 2 Dijagram polova padnih pravaca izmjerjenih u titonskim vapnencima *Kirmenjak jedinice*. Tumač: 1) polovi padnih pravaca; 2) os antiklinale sa smjerom nagiba.

Fig. 2 Lower hemisphere, equal area stereographic projection showing the poles of dip bedding directions in Tithonian limestones of the *Kirmenjak Unit*. Legend: 1) poles of dip bedding; 2) anticline axis with direction of its inclination.

području Istre, početak podvlačenja sjeveroistočnog dijela zapadnoistarske antiklinale pod buduće strukture Ćićarije dovodi do diferencijacije u iskazu stresa. Naime, nastankom zone podvlačenja podinski karbonatni kompleks zapadne i južne Istre, koji se uz razmjerno neveliki otpor podvlačio u smjeru sjeveroistoka, nije značajnije deformiran, izuzevši blago preboravanje starijih plikativnih struktura ili sporadičnog oživljavanja naslijedenih rasjeda. S druge strane, u krovini ove plitke subdukcije dolazi do snažne kontrakcije prostora, kojom nastaje kompleksna ljkuskava struktura Ćićarije karakterizirana navlačnom tektonikom jugozapadne vergencije. Pirenejske strukture oba područja, uz nasuprotno položene vergencije, imaju istu, stalnu i prepoznatljivu orientaciju, koja je posljedak kompresije izazvane regionalnim tangenciјalnim stresom s pravcem djelovanja najvećeg pritiska  $40^{\circ}$ - $220^{\circ}$ .

Trajanje pirenejske tektonske faze, tj. pitanje njezine gornje granice, nije jednoznačno određeno. U svakom slučaju za opisana zbivanja, bez obzira na intenzitet pokreta, trebalo je i dovoljno vremena, što znači da su najvjerojatnije barem jednim dijelom bila i miocenska.

Neotektonski su pokreti u cijelim Dinaridima, pa tako i u području Istre, posljedica djelovanja retrogradno zarotiranog regionalnog stresa iz njegove orientacije za vrijeme pirenejske tektonske faze (približno SI-JZ) u današnji pravac djelovanja (približno S-J). S obzirom na prisutne pirenejske strukture, djelovanje

neotektonskih pokreta se svodi ili na razbijanje starijih struktura, ili na rotaciju u idealni položaj prema novom stresu. Međutim, zbog spomenute, razmjerno male tektonske poremećenosti istarskog područja moguće je i formiranje novih, neotektonskih struktura (MATIČEC, 1994).

#### 4. LITERATURA

- BARIŠIĆ, D., PROHIĆ, E. & LULIĆ, S. (1994): Some problems of the radiometric mapping of carbonate terrains - an example from Istria (Croatia).- Geol. Croat, 47/1, 73-82, Zagreb.
- BAUER, V. & POLŠAK, A. (1979): Excursion I, Pula-Medulin, Istria: Cenomanian-Senonian.- 16<sup>th</sup> European micropaleont. coll., 199-208, Ljubljana.
- DROBNE, K. (1979): Paleogene and Eocene beds in Slovenia and Istria.- 16<sup>th</sup> European micropaleont. coll., 49-63, Ljubljana.
- DROBNE, K., PAVLOVEC, R., ŠIKIĆ, L. & BENIĆ, J. (1979): Excursion F, Pićan, Istria: Cuisian, Lutetian.- 16<sup>th</sup> European micropaleont. coll., 177-183, Ljubljana.
- GABRIĆ, A., GALOVIĆ, I., SAKAČ, K. & HVALA, M. (1995): Mineralne sirovine Istre - neka ležišta boksita, arhitektonsko-gradevinskog kamena i kvarcnoga "pijeska", ekskurzija C (Mineral deposits of Istria - some deposits of bauxite, building-stone and quartz "sand", Excursion C).- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Vodič ekskurzije (The First Croatian Geological Congress, Excursion Guide-book), 111-137, Zagreb.
- GOGALA, M. (1975): Sledi iz davnine na jugu Istre.- Proteus, 37, 229-232, Ljubljana.
- GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1990): Stratigrafija gornjokrednih naslaga otoka Brača (Upper Cretaceous Stratigraphy of the Island of Brač).- Djela JAZU, 69, 160 str. (p.), Zagreb.
- GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1993): Upper Cenomanian-Lower Turonian sea-level rise and its consequences on the Adriatic-Dinaric carbonate platform.- Geol. Rundsch., 82, 676-686.
- HAGN, H., PAVLOVEC, R. & PAVŠIĆ, J. (1979): Excursion G, Gračišće near Pićan, Istria: Eocene.- 16<sup>th</sup> European micropaleont. coll., 185-189, Ljubljana.
- MAGAŠ, N. (1973): Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Cres (Geology of Cres sheet).- Institut za geol. istraž. Zagreb, (1965), Savezni geološki zavod, 42 str. (p.), Beograd.
- MAGDALENIĆ, Z. (1972): Sedimentologija fliških naslaga srednje Istre

- (Sedimentology of central Istria flysch deposits).- Acta geol., 7/2, 34 str. (p.), Zagreb.
- MARINČIĆ, S. & MATIČEC, D. (1988): Žljebasti tektoglifi (Gutterlike tecto-glyphs).- Geol. vjesnik, 41, 219-229, Zagreb.
- MARINČIĆ, S. & MATIČEC, D. (1989): Kolapsne strukture u boksitnim jamama Istre (Collapse structures in bauxite pits of Istria).- Geol. vjesnik, 42, 121-131, Zagreb.
- MARINČIĆ, S. & MATIČEC, D. (1991): Tektonika i kinematika deformacija na primjeru Istre (Tectonics and kinematic of deformations - an istrian model).- Geol. vjesnik, 44, 247-268, Zagreb.
- MATIČEC, D. (1989): Strukturni sklop područja Rovinj-Poreč (zapadna Istra).- Magisterij (Unpublished M.Sc. Thesis), Sveučilište u Zagrebu (University of Zagreb), 50 str. (p.).
- MATIČEC, D. (1994): Neotectonic deformations in western Istria, Croatia.- Geol. Croat., 47/2, 199-204, Zagreb.
- PLENIČAR, M., POLŠAK, A. & ŠIKIĆ, D. (1973): Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Trst (Geology of Trieste sheet).- Geološki zavod Ljubljana in Institut za geološka istraživanja Zagreb (1965), Zvezni geološki zavod, 68 str., (p.), Beograd.
- POLŠAK, A. (1965a): Stratigrafija jurskih i krednih naslaga srednje Istre (Stratigraphie des couches jurassiques et crétacées de l'Istrie centrale).- Geol. Vjesnik, 18/1, 167-184.
- POLŠAK, A. (1965b): Geologija južne Istre s osobitim obzirom na biostratigrafiju krednih naslaga (Géologie de l'Istrie méridionale spécialement par rapport à la biostratigraphie des couches crétacées).- Geol. vjesnik, 18/2, 415-510, Zagreb.
- POLŠAK, A. (1967): Kredna makrofauna južne Istre (Macrofaune crétacée de l'Istrie méridionale, Jugoslavie).- Paleont. Jugoslav., 8, 1-218, Zagreb.
- POLŠAK, A. (1970): Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Pula (Geology of the Pula sheet).- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1963), Savezni geološki zavod, 44 str. (p.), Beograd.
- POLŠAK, A. & ŠIKIĆ, D. (1973): Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Rovinj (Geology of Rovinj sheet).- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1963), Savezni geološki zavod, 51 str. (p.), Beograd.
- SALOPEK, M. (1954): Osnovne crte geologije Čićarije i Učke (Grundlinien der Geologie der Čićarija und Učka in Istrien).- Prir. istraž. JAZU, 26, 59-98, Zagreb.

- SOKAČ, B. & VELIĆ, I. (1978): Biostratigrafska istraživanja donje krede Vanjskih Dinarida (I). Neokom zapadne Istre (Biostratigraphic investigations of the Lower Cretaceous of the Outer Dinarids I. The Neocomian of western Istria).- Geol. vjesnik, 30/1, 243-250, Zagreb.
- SOKAČ, B. & VELIĆ, I. (1979): Excursion J, Limska Draga: Lower Cretaceous in western Istria.- 16<sup>th</sup> European micropaleont. coll., 209-215, Ljubljana.
- STACHE, G. (1889): Die Liburnische Stufe und deren Grenz-Horizonte.- Abh. Geol. Reichsanst., 13, 170 p., Wien.
- ŠIKIĆ, D. & BLAŠKOVIĆ, I. (1965): Naslage donje krede u Učki, Ćićariji i Hrvatskom primorju (Schichten der unteren Kreide in dem Gebiet von Učka und Ćićarija Sowie im Kroatischen Küstenland).- Acta geol., 5, 353-358, Zagreb.
- ŠIKIĆ, D., MULDINI-MAMUŽIĆ, S., MAMUŽIĆ, P. & MAGAŠ, N. (1969): Litološki i biostratigrafski tipovi razvoja paleogena u Istri i Dalmaciji (Die litologische und biostratigraphische Typen der Paläogenentwicklung in Istrien und Dalmatien).- III. simpozij Dinarske asocijacija, 1, 247-265, Zagreb.
- ŠIKIĆ, D. & PLENIČAR, M. (1975): Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Ilirska Bistrica (Geology of Ilirska Bistrica sheet).- Institut za geološka istraživanja Zagreb i Geološki zavod Ljubljana (1967), Savezni geološki zavod, 51 str. (p.), Beograd.
- ŠIKIĆ, D. & POLŠAK, A. (1973): Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Labin (Geology of Labin sheet).- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1963), Savezni geološki zavod, 55 str. (p.), Beograd.
- ŠINKOVEC, B. (1974): Jurski glinoviti boksiti zapadne Istre (Jurassic clayey bauxites of western Istria).- Geol. vjesnik, 27, 217-226, Zagreb.
- TIŠLJAR, J. (1976): Ranodijagenetska i kasnodijagenetska dolomitizacija i dedolomitizacija u krednim karbonatnim sedimentima zapadne i južne Istre (Hrvatska, Jugoslavija) (Early diagenetic and late diagenetic dolomitization and dedolomitization processes in Cretaceous deposits of western and southern Istria Croatia, Yugoslavia).- Geol. vjesnik, 29, 287-321, Zagreb.
- TIŠLJAR, J. (1978a): Tidal flat, lagoonal and shallow marine carbonate sediments in the Upper Jurassic and Cretaceous of Istria, Yugoslavia (Supralitoralni, litoralni, sublitoralni, lagunarni i prateći plitkomorski karbonatni sedimenti gornje jure i krede u Istri).- Acta geol. 9/5, 159-194, Zagreb.
- TIŠLJAR, J. (1978b): Onkolitni i stromatolitni vapnenci u donjokrednim sedimentima Istre (Oncolites and stromatolites in Lower Cretaceous carbonate sediments in Istria, Croatia, Yugoslavia).- Geol. vjesnik, 30/2, 363-382, Zagreb.

- TIŠLJAR, J. & VELIĆ, I. (1986): Ritmička sedimentacija u peritidalnim i lagunarnim sedimentima donje krede Istre.- Vodič ekskurzije 5. skupa sediment. Jugoslavije, 26 str., Zagreb.
- TIŠLJAR, J. & VELIĆ, I. (1987): The Kimmeridgian tidal-bar calcarenite facies of western Istria, western Croatia, Jugoslavia (Oberjurassische Gezeitenbarren-Kalkarenit-Fazies im westlichen Istrien, Jugoslawien).- Facies, 17, 277-284., Erlangen.
- TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., RADOVČIĆ, J. & CRNKOVIĆ, B. (1983): Upper Jurassic and Cretaceous peritidal, lagoonal, shallow marine and perireefal carbonate sediments of Istria.- In: BABIĆ, LJ. & JELASKA, V. (eds.): Contributions to sedimentology of Some Carbonate and Clastic Units of the Coastal Dinarides. 4th I.A.S. Regional meeting, Split, 1983, Excursion Guide-book, 13-35, Zagreb.
- TIŠLJAR, J., VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (1994): Correlation of the Upper Jurassic carbonate platform deposits in Western Croatia.- First internat. meeting on Perimediterranean carbonate platforms Marseille 1994, Abstracts, 153-155, Marseille.
- TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., MATIČEC, D. & VELIĆ, I. (1995): Platformni facijesi od gornjeg titona do gornjega alba u zapadnoj Istri i prijelaz u tempestitne, klinoformne i rudistne biolititne facijese donjega cenomana u južnoj Istri, ekskurzija B (Platform facies from the Upper Tithonian to Upper Albian in western Istria and transition into tempestite, clinoform and rudist biolithite facies of the Lower Cenomanian in southern Istria).- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Vodič ekskurzije (The First Croatian Geological Congress, Opatija 1995, Excursion Guide-book), 67-110, Zagreb.
- VELIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1987): Biostratigrafske i sedimentološke značajke donje krede otoka Veli Brijun i usporedba s odgovarajućim naslagama jugozapadne Istre (Biostratigraphic and sedimentologic characteristics of the Lower Cretaceous deposits of the Veli Brijun Island and comparison with the corresponding deposits in SW Istria (Western Croatia, Yugoslavia).- Geol. vjesnik, 40, 149-168, Zagreb.
- VELIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1988): Litostratigrafske jedinice u dogeru i malmu zapadne Istre (Lithostratigraphic units in the Dogger and Malm of western Istria).- Geol. vjesnik, 41, 25-49, Zagreb.
- VELIĆ, I., TIŠLJAR, J. & SOKAČ, B. (1989): The variability of thicknesses of the Barremian, Aptian and Albian carbonates as a consequence of changing depositional environments and emersion in western Istria (Croatia, Yugoslavia).- Mem. Soc. Geol. It., 40 (1987), 209-218, Roma.

VELIĆ, I., MATIČEC, D., VLAHOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1995): Stratigrafski slijed jurskih i donjokrednih karbonata (bat-gornji alb) u zapadnoj Istri, ekskurzija A (Stratigraphic succession of Jurassic and Lower Cretaceous carbonates (Bathonian - Upper Albian) in western Istria, Excursion A).- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Vodič ekskurzije (The First Croatian Geological Congress, Opatija 1995, Excursion Guide-book), 31-66, Zagreb.

VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (1994): Foraminiferal Assemblages in the Cenomanian of the Buzet-Savudrija Area (Northwestern Istria, Croatia).- Geol. Croat, 47/1, 25-43, Zagreb.

VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J. & VELIĆ, I. (1994): Facies succession in the Cenomanian of Istria (Western Croatia): tectonics v.s. eustatic control.- First internat. meeting on Perimediterranean carbonate platforms Marseille 1994, Abstracts, 169-171, Marseille.

## A Review of the Geology of Istria

Ivo VELIĆ, Josip TIŠLJAR, Dubravko MATIČEC & Igor VLAHOVIĆ

### 1. SOURCES AND REGIONAL-GEOLOGICAL DIVISION

Geological literature on Istria is very abundant and heterogeneous and covers more than two centuries. Consequently, it would be take too long to go into completed investigations and scientific results. We will therefore restrict ourselves to papers and discussions of more complex reviews of the geology of Istria, even omitting papers like G. Stache's famous "Die Liburnische Stufe..." (STACHE, 1889).

The largest number of data on the geology of Istria can be found in the sheets and explanatory notes to the 1:100.000 scale Basic Geological Map, although they were published twenty to twenty-five years ago. The stratigraphy, tectonics, raw materials and geological history of Istria are described in six explanatory notes to the Basic Geological Map Sheets: Pula (POLŠAK, 1970), Cres (MAGAŠ, 1973), Rovinj (POLŠAK & ŠIKIĆ, 1973), Labin (ŠIKIĆ & POLŠAK, 1973), Trieste (PLENIČAR et al., 1973) and Ilirska Bistrica (ŠIKIĆ & PLENIČAR, 1975). Here one can also find detailed reviews of previous investigations and lists of references. The geology of Istria has also been presented in other more important papers based on investigations conducted for the Basic Geological Map, e.g. POLŠAK (1965a, 1965b, 1967), ŠIKIĆ & BLAŠKOVIĆ (1965), ŠIKIĆ et al. (1969), MAGDALENIC (1972). The list of older references should be completed by adding the discussions of the geology of E-SE Istria, written by M. Salopek, especially the classic paper on thrust sheets in Ćićarija and Učka Mts. (SALOPEK, 1954).

From the mid-sixties to mid-eighties there were no systematic geological investigations of regional significance in Istria. However, it should be noted that in the seventies detailed lithofacies and biofacies investigations of shallow water carbonates in Istria were started (e.g. TIŠLJAR, 1976, 1978a, 1978b; SOKAČ & VELIĆ, 1978; TIŠLJAR & VELIĆ, 1986, 1987). In addition, several important international and national geological meetings were held, presenting new knowledge of the geology of Istria, e.g. the 16th European Micropaleontological Colloquium (DROBNE, 1979; DROBNE et al., 1979; HAGN et al., 1979; BAUER & POLŠAK, 1979; SOKAČ & VELIĆ, 1979), the fourth Regional Meeting of IAS (TIŠLJAR et al., 1983), the fifth Meeting of Sedimentologists of Yugoslavia (TIŠLJAR & VELIĆ, 1986) and the International Symposium on the Evolution of the Karstic Carbonate

Platform: Relations with other Periadriatic Carbonate Platforms (Trieste, 1987; VELIĆ et al., 1989).

Recent investigations for the new Geological Map of the Republic of Croatia (lithostratigraphic map, scale 1:50000) started in Istria in the mid-eighties. In the course of these investigations new and interesting results have been obtained, which have been increasingly published in Croatian and international journals (VELIĆ & TIŠLJAR, 1987, 1988; MARINČIĆ & MATIČEC, 1988, 1989, 1991; BARIŠIĆ et al., 1994; MATIČEC, 1994; TIŠLJAR et al., 1994; VELIĆ & VLAHOVIĆ, 1994; VLAHOVIĆ et al., 1994).

This review is based on the results of our aforementioned colleagues, as well as on some new results of our own work.

From the geological point of view Istria can be divided into three regions:

- the Jurassic-Cretaceous-Palaeogene carbonate plain of southern and western Istria,
- the Cretaceous-Palaeogene carbonate-clastic zone, characterised by over-thrusting structures in eastern and north-eastern Istria (from Plomin and Učka to Ćićarija), and
- the Palaeogene flysch basin in central Istria.

The geological peculiarities of these regions have been noticed by the inhabitants of Istria, who have specific names for them: *Red Istria* - the southern and western Istrian plain named after the terra rossa covering a large part of the younger Mesozoic and Palaeogene carbonates; *White Istria* - in eastern and north-eastern Istria, characterised by karstified outcrops of "white" Cretaceous-Palaeogene limestones; *Gray or Green Istria* - in central Istria, characterised by flysch.

## 2. STRATIGRAPHIC AND PALAEOGEOLOGICAL CHARACTERISTICS

According to recent interpretations, Istria belongs to the NW part of the Adriatic Carbonate Platform.

It consists predominantly of shallow-water carbonate rocks of the Dogger-Eocene stratigraphic range with subordinate Palaeogene clastic rocks, flysch and calcareous breccia. According to the results of investigations, deposits in Istria can be divided into four sedimentary units or megasequences bounded by important emergences of different duration. In a further text, the fixing of their boundaries and duration will be done in terms of chronostratigraphy. The following megasequences have been separated (Fig. 1):

- 1) Bathonian - Lower Kimmeridgian;
- 2) Upper Tithonian - Upper Aptian;
- 3) Upper Albian - Lower Campanian;
- 4) Paleocene - Eocene.

## 2.1. BATHONIAN - LOWER KIMMERIDGIAN REGRESSIVE MEGASEQUENCE

This megasequence is mainly characterised by a shallowing- and coarsening-upward trend, which in the uppermost part is expressed by the appearance of regressive breccia (*Rovinj breccia* - VELIĆ & TIŠLJAR, 1988), and a final emergence with bauxite deposits.

The Bathonian - Lower Kimmeridgian megasequence is represented predominantly by different types of shallow-water limestones and outcrops in western Istria between Poreč and Rovinj (Fig. 1).

In the Bathonian and Kallovian, restricted shallow subtidal and lagoon environments prevailed, characterised by deposits of middle- to thick-bedded mudstones and fossiliferous wackestones (*Monsena Unit* - VELIĆ & TIŠLJAR, 1988). In Bathonian deposits, elements of synsedimentary tectonics have been documented (MARINČIĆ & MATIČEC, 1991). Similar depositional environments also predominated during the oldest Oxfordian, resulting in the deposition of peloidal packstones and wackestones (*Lim Unit* - VELIĆ & TIŠLJAR, 1988). During the Middle and Late Oxfordian, sand bars composed of ooids and bioclasts were formed in high-energy shallows and marginal parts of lagoons, which gradually prograded (tidal bars - TIŠLJAR & VELIĆ, 1987; *Muča Unit* - VELIĆ & TIŠLJAR, 1988). The shallowing-upward tendency continued to the end of the Oxfordian, and during the oldest Kimmeridgian, resulted in the formation of regressive *Rovinj* and *Vrsar breccia*, representing the end of this megasequence. They are composed of clasts from immediate footwall (*Lim* and *Muča limestones*). Complete emersion and karstification followed, which is evidenced by the formation of intense relief characterised by an accumulation of origin material for the formation of clayey bauxites. In some places important quantities of bauxite deposits have been formed, e.g. near Rovinj, to a lesser extent NW from Rovinjsko selo, near Gradina, and between Vrsar and Funtana (ŠINKOVEC, 1974).

More details on the facies characteristics of the described deposits are given in the description of stops A-1 to A-4 of the stratigraphical excursion (VELIĆ et al., 1995).

## 2.2 UPPER TITHONIAN - UPPER APTIAN TRANSGRESSIVE-REGRESSIVE MEGASEQUENCE

This megasequence is very complex, especially with regard to its facies heterogeneity and great thickness. From the lithological point of view, different types of peritidal deposits predominate, especially pelletal limestones and LLH-stromatolites, with subordinated emersional breccia with a clayey matrix (Tithonian, Hauterivian, Barremian), early- and late-diagenetic dolomites (Berriasian), and grainstones (bio-

clastic sand bars in the Upper Valanginian and Upper Barremian). Deposits of this megasequence outcrop from Poreč to Punta Furlan (Červar), and then, in the form of an arc, westwards from Heraki, Selina, Kanfanar, Bale and Negrin to the coast from Zlatni Rt in Rovinj to Barbariga and the island of Veli Brijun (Fig. 1).

The megasequence started in the younger Tithonian with oscillating transgression, i.e. shallowing-upward parasequences deposited in subtidal, intertidal and supratidal environments. These limestones, known as architectural-building stone named *Pietra d'Istria* or *Kirmenjak*, are composed of black-pebble breccia/conglomerates, mudstones and fenestral mudstones. The uppermost part of Upper Tithonian limestones are more or less late-diagenetic dolomitised.

Relative shallowing during the Berriasian and older Valanginian resulted in the deposition of limestones in subtidal and intertidal environments, which were later almost completely late-diagenetic dolomitised, and early-diagenetic dolomites in supratidal environments. This alternation of late and early-diagenetic dolomites is known by the name of *Fantazija dolomites* (VELIĆ & TIŠLJAR, 1988).

In the younger Valanginian, shallowing-upward, mainly subtidal parasequences prevailed, sporadically characterised by a coarsening-upward tendency. A similar situation continued in the Hauterivian and a major part of the Barremian, when shallowing-upward parasequences were characterised by frequent LLH-stromatolites, numerous emersions and peritidal breccia. Footprints of dinosaurs have been found in such Barremian rocks on the island of Veli Brijuni, as well as bones on the sea-floor near the western coast of Istria.

By the end of the Barremian, bioclastic carbonate sand bars characterised by cross-bedding were deposited in shallow subtidal-intertidal environments. The very transition to Aptian is characterised by a regionally evident change in the depositional system, which is obvious throughout the whole of Istria: sudden and relatively important relative deepening into restricted lower subtidal and/or lagoon environments with sporadic pelagic influences. Therefore, the Lower Aptian is characterised by thick-bedded to massive floatstones with oncolites, *Bacinella* and *Requienia* bioclasts, which are well-known as architectural-building stone *Istarski žuti* (*Yellow Istrian* - named after its yellowish colour).

Upper Aptian deposits in Istria are characterised by relatively rapid shallowing, resulting in complete emersion. This regional emersional phase was the result of a relative fall in sea-level caused by the interaction between eustatic changes and synsedimentary tectonics on the Istrian part of the Adriatic Carbonate Platform (see stops A-6 of the stratigraphical excursion - VELIĆ et al., 1995, and B-3 of the sedimentological excursion - TIŠLJAR et al., 1995). These movements were probably of a plicative and disjunctive character, resulting in the different duration of shallow-water environments on different parts of the platform, as well as in the different intensity of the erosion of Aptian and Barremian deposits. Finally, the end of this megase-

quence is marked by deposition of emersional breccia and conglomerates, clay and black swamp deposits, which are well exposed in a complete zone in western Istria, from Punta Furlan, Baderna, Heraki, Selina, Kanfanar, Bale, Negrin and Barbariga to Veli Brijun. Between Selina and Negrin uneroded relics of Upper Aptian deposits have been found (see Fig. 25 in excursion A - VELIĆ et al., 1995). The deepest erosion, even up to Lower Barremian, was recorded from west of Heraki to Červar (VELIĆ et al., 1989). In the vicinity of Baderna, besides emersional breccia, there are traces of bauxite on Barremian limestones.

More details on lithological and facies characteristics of this megasequence are given in the stratigraphical (stops A-3 to A-6; VELIĆ et al., 1995) and sedimentological excursions (chapter 1, stops B-1 to B-3; TIŠLJAR et al., 1995).

### 2.3. UPPER ALBIAN - LOWER CAMPANIAN TRANSGRESSIVE-REGRESSIVE MEGASEQUENCE

This megasequence is very thick (more than 1,000 m.) with very variable facies succession. Therefore, in this review we will discuss only the basic lithological characteristics of certain chronostratigraphic units, especially those covered by our excursions.

After extensive emersion during the late Aptian and early Albian, during the middle of the Albian, i.e. by the beginning of the late Albian, at first gradual, and later complete ingressions occurred (see stop B-3 of the sedimentological excursion - TIŠLJAR et al., 1995). In this way, the shallow-water platform carbonate system was reestablished in the whole of the Adriatic Carbonate Platform that today belongs to Istria. However, several larger sedimentary units can be separated, each characterised by relatively similar sedimentary conditions and environments. These are:

- a) the peritidal and foreshore sedimentary system during the Albian;
- b) differentiation of sedimentary systems during the Vraconian and Cenomanian;
- c) the drowned platform system during the youngest Cenomanian and early Turonian;
- d) the shallow-water sedimentary system during late Turonian, Coniacian & Santonian-Campanian.

#### 2.3.1. Facies characteristics of Albian deposits

The beginning of this unit is characterised by oscillating transgression in the Middle Albian, covering a formerly completely emerged area of Istria. In the late Albian a thick sequence of thin-bedded (5-20 cm) grainy limestones was deposited in peritidal and foreshore environments. These rocks are mostly well sorted, fine-grained intraclastic-peloidal packstone/grainstones alternating with foram-peloid packstones/wackstones, while LLH-stromatolites are not so frequent. The uppermost

part of Albian deposits is commonly represented by limestone breccia (mostly formed in peritidal environments during severe storms), grainy limestones with gently inclined cross-bedded sets and current ripples and diagenetic quartz sediments (stop C-4 of the excursion on ore deposits; GABRIĆ et al., 1995). More details on the lithological and sedimentological properties of Upper Albian limestones are presented in chapter 2 and stop B-4 of the sedimentological excursion (TIŠLJAR et al., 1995).

### 2.3.2. Facies characteristics of Vraconian and Cenomanian deposits

During the Albian the entire Istrian part of the Adriatic Carbonate Platform was characterised by more or less stable peritidal - foreshore environments. The transition from Lower to Upper Cretaceous is marked by the establishment of different sedimentary environments in northern and southern Istria (VLAHOVIĆ et al., 1995).

In northern Istria (the Umag - Savudrija - Buzet area) stable peritidal conditions like those in the Albian continued into the earliest Cenomanian. The younger part of the Early Cenomanian and the older part of the Middle Cenomanian are characterised by the facies differentiation of a formerly united depositional area, with the establishment of peritidal - shallow-water sand bar - gently inclined inner carbonate ramp lateral facies. Consequently, in the western part of northern Istria, subtidal mudstones and peloid wackestone/packstones with benthic forams and rudist debris were succeeded by parasequences with thicker subtidal members consisting of mudstones and foraminifera-bioclastic wackestones and thinner intertidal fenestral mudstones and LLH-stromatolites. In the central part of northern Istria, near Marušići, a large prograding carbonate sand body composed of well-sorted bioclastic packstone/grainstones was deposited in upper shoreface and foreshore environments. In the eastern part of northern Istria, contemporary sediments deposited on a gently inclined inner carbonate ramp are represented by bioclastic, occasionally storm-deposited wackestones, packstones and grainstones, sporadic relics of rudistid patch reefs, and locally restricted closed lagoons with an alternation of mudstone and chert beds. By the end of the Cenomanian, such a highly differentiated depositional area was filled up, resulting in the reestablishment of united environments characterised by an irregular alternation of light-coloured mudstones and rudistid floatstones.

In southern Istria latest Albian and Early Cenomanian are characterised by the establishment of a shoreface depositional system with effects of synsedimentary tectonics, slumps, tempestites, carbonate sand and rudistid clinoform and biolithite bodies. More detailed data on facies characteristics and the depositional conditions of these deposits are presented in Chapter 2 and stops B-4 and B-5 of the sedimentological excursion (TIŠLJAR et al., 1995). The boundary between these deposits and Middle to Upper Cenomanian limestones is sharp and obvious, especially in the change from massive and thick-bedded clinoform bioclastic bodies into thin-bedded

(5-25 cm) limestones deposited in low energy shallow-water environments. Peloid-bioclastic wackestone/packstones and peloid grainstones predominate, while 30-70 cm thick rudistid biostromes and ostreid coquinas are infrequent.

An interesting property of this unit is the presence of reptile tracks on the island of Fenoliga (GOGALA, 1975), which have been found on the upper bedding surfaces of bioclastic wackestones surrounded by rudist biostromes characterised by rudists in growing position (TIŠLJAR et al., 1983). Microfossil assemblage of equivalent deposits on land verifies the Cenomanian age, conforming to the opinion of GUŠIĆ & JELASKA (1990), whose conclusion on the Upper Cenomanian age of these beds (instead of Lower Turonian) was based on the absence of rudists and the appearance of ammonites, pithonelas and calcisphaeres in the Lower Turonian.

Another interesting feature of this unit is represented by well-bedded peloid packstones with chert nodules and lenses ("limestones with chert" - POLŠAK, 1965b). Although these limestones contain calcitised radiolarians and sponge spicules, which is why they were interpreted as being of deep-marine origin, they appear in a succession of typical peritidal facies. Chert nodules and lenses were formed by early-diagenetic silicification of carbonate mud in low-energy lagoons (TIŠLJAR, 1978a). Although in previous papers these deposits were interpreted as Lower Turonian, from the rich microfossil assemblage found in overlying deposits it may be certainly concluded that they belong to the Middle to Upper Cenomanian age.

### 2.3.3. Facies characteristics of uppermost Cenomanian and Lower Turonian deposits

In southern Istria, by the end of the Cenomanian and at the beginning of the Turonian, a drowned platform depositional system was established, resulting in the deposition of "limestones with ammonites" (POLŠAK, 1965b), i.e. mudstone/wackestones with planctonic fauna (including ammonites), as a result of global eustatic rise (GUŠIĆ & JELASKA, 1993).

This deepening, i.e. drowning event which left traces on a large part of the Adriatic carbonate platform, was not recorded in northern Istria; on the contrary, Upper Cenomanian beds were emerged and covered by bauxites and transgressive Palaeogene deposits. The succession of Cenomanian deposits in northern Istria compared to southern Istria indicate the important role of synsedimentary tectonics, which has significantly modified local amounts of bathimetrical change caused by global eustatics (VLAHOVIĆ et al., 1994).

### 2.3.3. Facies characteristics of Upper Turonian, Coniacian and Santonian-Campanian deposits

During the Late Turonian, Coniacian and Santonian/Campanian (POLŠAK, 1965b) a shallow-water platform depositional system was reestablished in the entire region of modern-day Istria. It was represented by well-bedded limestones with an

alternation of thin layers of mudstone, bioclastic wackestone/packstone and stromatolite laminae in the older part, and mostly thin-bedded rudist coquina/microcoquina and ostreid coquina in the younger part of the deposits (TIŠLJAR, 1978a). Rudist biostromes are infrequent, because they were mostly destroyed in relatively high-energy environments, with biotritus deposited in their vicinity. The youngest part of Cretaceous deposits is missing, as a result of emersion related to the Laramian orogenetic phase.

#### 2.4. PALAEOCENE-EOCENE STRATIGRAPHIC SUCCESSION

This megasequence comprises a relatively thick succession of carbonate and clastic rocks. Its greatest part outcrops in the area of the Pazin Basin and neighbouring areas, therefore being described in the explanatory notes to the Basic Geological Map sheets for Rovinj (POLŠAK & ŠIKIĆ, 1973), Labin (ŠIKIĆ & POLŠAK, 1973), Ilirska Bistrica (ŠIKIĆ & PLENIČAR, 1975) and Trieste (PLENIČAR et al., 1973).

The duration of the emersion phase between the Upper Cretaceous and Palaeogene differed from area to area. Different members of Palaeogene deposits were transgressively deposited on different members of the Cretaceous basement, which was significantly influenced by the differentiation caused by the Laramian tectonic phase. Consequently, the succession of Palaeogene deposits is very variable in the lateral and vertical sense, especially concerning changed conditions in Palaeogene marine environments. Deposits can be, in general, divided into *Liburnian deposits*, *Foraminifera limestones*, *Transitional beds* and *Flysch*.

*Liburnian deposits* are not present everywhere, being exclusively deposited in the lowest parts of the palaeorelief. They are characterised by oscillating ingression, and are mostly represented by fresh-water and brackish deposits of the Palaeocene age.

*Foraminifera limestones* in Istria can be divided into three or four lithostratigraphic types deposited from the end of the Palaeocene to the Middle Eocene, and which are mostly in superpositional relations. These are Miliolid, Alveolina and Nummulite limestones, and Discocyclina limestones which specifically represent the uppermost part of Nummulite limestones. *Foraminifera limestones* are mostly composed of whole and disintegrated tests of benthic foraminifera, while the detritus of molluscs, ostracods, echinoderms and bryozoans, as well as glauconite in the uppermost part, are subordinated. This composition is typical of foraml association, being typical of subtropical and temperate environments. The sequence of *Foraminifera limestones* represents a succession of different environments, from the restricted inner part of the carbonate platform (Miliolida limestones), through shallower and deeper parts of shoreface environments (Alveolina and Nummulite limestones) to deeper parts of relatively open carbonate ramps (Discocyclina limestones). The sequence depends upon local palaeogeographic properties resulting in the lateral

changes, the mixing of different types, etc. Therefore, the described varieties are not always of the same age. However, a similar deepening-upward trend is always present. Such a tendency is a consequence of the interaction of causes, mainly intense synsedimentary tectonics ensuring appropriate accommodation space and a relatively low sedimentation rate (as a consequence of deposition in environments which were no longer ideal for carbonate production).

*Transitional beds* consist of clayey limestones, calcitic marls and marls, composed of fine-grained carbonate and a siliciclastic matrix with planktonic foraminifera and bioclasts of benthic organisms. They were deposited in the significantly deeper environments of the Middle Eocene age.

*Flysch* deposits of the Middle to Upper Eocene age outcrop in the Pazin, Labin and Plomin basins, Mt. Učka., and partially on Mt. Ćićarija. They are characterised by an alternation of marl and carbonate sandstone beds.

### 3. BASIC CHARACTERISTICS OF TECTONICS IN ISTRIA

The oldest record indicating tectonic activity in Istria has been found in structures formed by synsedimentary tectonics in the Bathonian. The effects of these movements, i.e. their structural-tectonical elements, point to the compressional character of deformations with the strongest compression ( $\sigma_1$ )  $40^\circ$ - $220^\circ$ . The direct consequence of these movements was the mild contraction of the area, leading to local emersions and more intensified relief of the subtidal area.

After folding and short-lasting emersions, subtidal sedimentation was reestablished, resulting in the filling of the former relief. The continuity of the deposition was not interrupted until the beginning of the Kimmeridgian when the area of Istria was influenced by a regional emersion, lasting through the major part of the Kimmeridgian and Early Tithonian. This phase was the consequence of strong radial, extensional tectonics oriented  $30^\circ$ - $210^\circ$ , belonging to the Early Kimmerian tectonic phase.

The first effects of tectonics in the Cretaceous are connected with the regional Aptian emersion, recorded in Istria, but also in the wider Dinarides area. This emersion was mainly the consequence of eustatic changes, but tectonic factors locally changed the amounts of relative sea-level changes. Cenomanian facies differentiation was caused by mild, but recognisable synsedimentary tectonics.

By the end of the Cretaceous almost the entire Adriatic Carbonate Platform, including Istria, was affected by regional emersion of very variable duration. It was the consequence of compression by Laramian tectonic movements. Emersion was accompanied by an uplifting of the West Istrian anticline which was in the phase of being formed (POLŠAK & ŠIKIĆ, 1973). Its geometry, obtained by the structural analysis of bed dipping for marker horizons (Fig. 2; MATIČEC, 1989), indicates a

stress orientation of  $305^{\circ}$ - $125^{\circ}$ . The Laramian phase commenced the disintegration of the carbonate platform, and the end of typical, productive platform carbonate sedimentation, since renewed marine conditions in the Palaeogene had different characteristics.

Palaeogene transgression represents the beginning of the new Pyrenean phase. The intensity of these movements was witnessed by the formation of flysch basins, while their further increase resulted in a regional contraction of space. Therefore, the Pyrenean phase became the decisive factor in the tectogenesis of the Dinarides. The result of this activity is obvious throughout the Adriatic coastline in the form of the so-called Dinaric strike of structures. However, in Istria the beginning of the subduction of the NE part of the Western Istrian anticline beneath the future structures of Ćićarija resulted in a differentiation of stress. Namely, by the formation of a subduction zone, the underlying carbonate complex of western and southern Istria, which was subducted with low resistance, was not intensively deformed, except mild refolding of former plicative structures or sporadic reactivation of former faults. On the contrary, deposits overlying this shallow subduction were affected by significant contraction, resulting in the formation of the overthrusting structure of Ćićarija characterised by SW vergence. The Pyrenean structures of both areas, with opposite vergence, have the same, uniform and specific orientation, as a result of compression caused by regional tangential stress oriented  $40^{\circ}$ - $220^{\circ}$ .

The duration of the Pyrenean tectonic phase, i.e. the question of its upper boundary, is not definitively denoted. In any case, the above described events required enough time, without the intensity of movements. Therefore, it may be presumed that they also partially belong to the Miocene age.

Neotectonic movements in the entire Dinarides represent a consequence of counter-clockwise rotation of regional stress, from its former orientation during the Pyrenean phase (approximately NE-SW) to its recent position (app. N-S). Due to the presence of older, Pyrenean structures, Neotectonic activity comprised either the disintegration of older structures or their rotation into ideal position to the new stress. However, because of the aforementioned relatively low level of tectonic disturbance of the Istrian region, the formation of new, Neotectonic structures is possible (MATIČEC, 1994).

	1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES First Croatian Geological Congress	Vodič ekskurzija Excursion Guide-Book	31 - 66	ZAGREB 1995
-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------	------------------------------------------	---------	-------------

## **Stratigrafski slijed jurskih i donjokrednih karbonata (bat - gornji alb) u zapadnoj Istri (ekskurzija A)**

Stratigraphic Succession of Jurassic and Lower Cretaceous Carbonates  
(Bathonian - Upper Albian) in Western Istria  
(Excursion A)

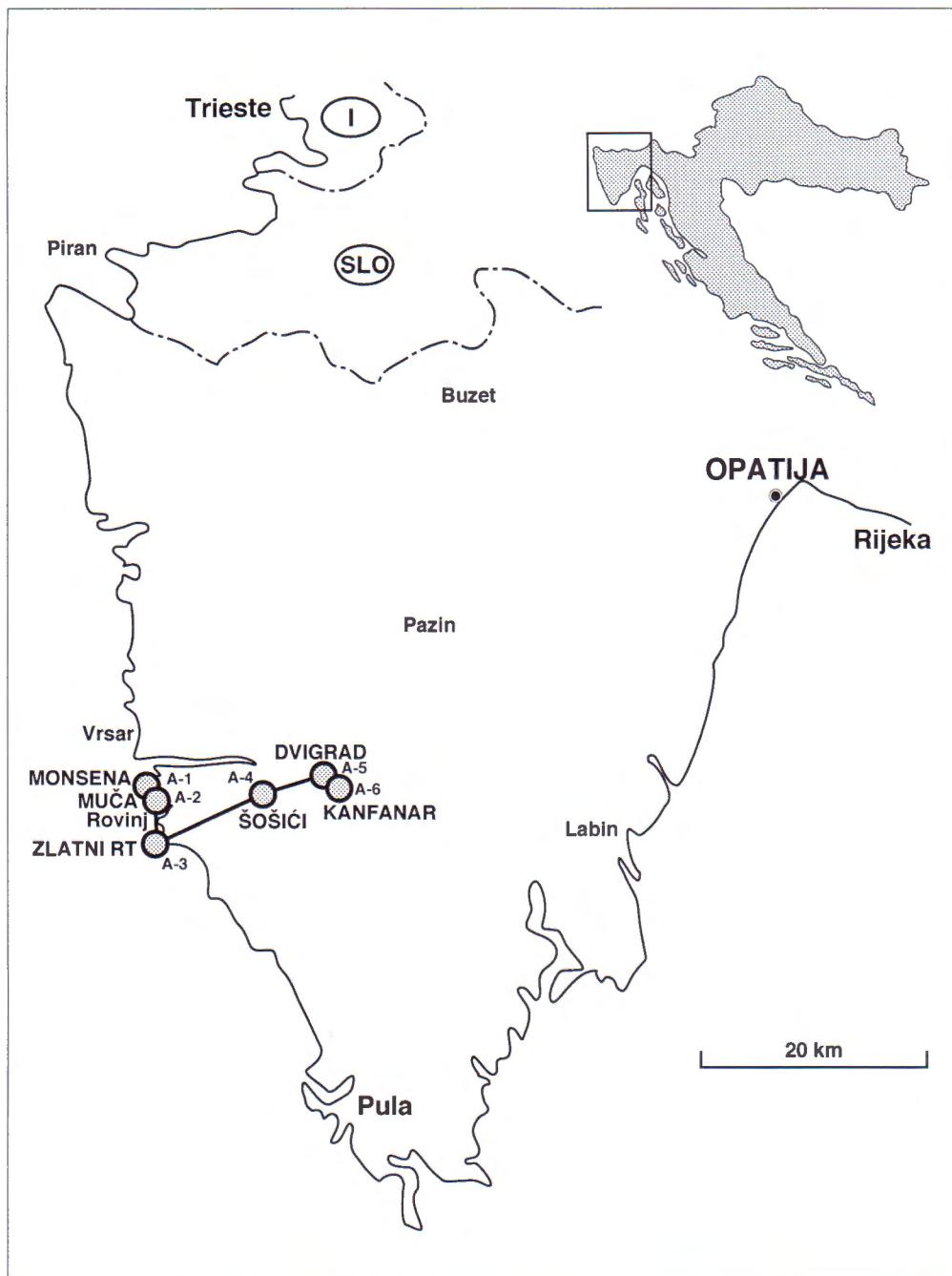
Ivo VELIĆ<sup>1</sup>, Dubravko MATIČEC<sup>1</sup>, Igor VLAHOVIĆ<sup>1</sup> & Josip TIŠLJAR<sup>2</sup>

Stratigrafska ekskurzija priređena je u zapadnoj Istri (između Rovinja i Kanfanara, sl. 1) u plitkovodnim platformnim karbonatnim naslagama raspona gornji doger do srednja kreda. Kako je već u prethodnome članku opisano (VELIĆ et al., 1995) u spomenutom slijedu izdvojene su tri megasekvencije ograničene dvjema izrazitim emerzijama, dotično kopnenim fazama: starijom u kimeridžu i donjem titonu, te mladom u aptu i donjem albu.

Postaje A-1 (bat-kalovij) i A-2 (oksford) pripadaju prvoj-regresivnoj megasekvenciji (bat-kraj oksforda/početak kimeridža), postaja A-3 smještena je na kraj prve (vršni oksford/početak kimeridža) i početak druge (gornji titon) regresivno-transgresivne megasekvencije (raspona gornji titon-gornji apt), postaja A-4 (valendis) je unutar druge megasekvencije, a postaja A-5 zahvaća granične naslage između završnih slojeva druge (gornji apt) i prvih slojeva (gornji alb) treće megasekvencije (raspona od g. alba do kampana).

<sup>1</sup>Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.

<sup>2</sup>Sveučilište u Zagrebu, RGN fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Zemljovidni položaj postaja stratigrafske ekskurzije.

Fig. 1 Location map of the stratigraphical excursion.

## Postaja A-1: Biofacijesi i biostratigrafija gornjega dogera i sinsedimentacijska tektonika - *Monsena jedinica* (profil Rt Križ-kamp Monsena, sjeverno od Rovinja)

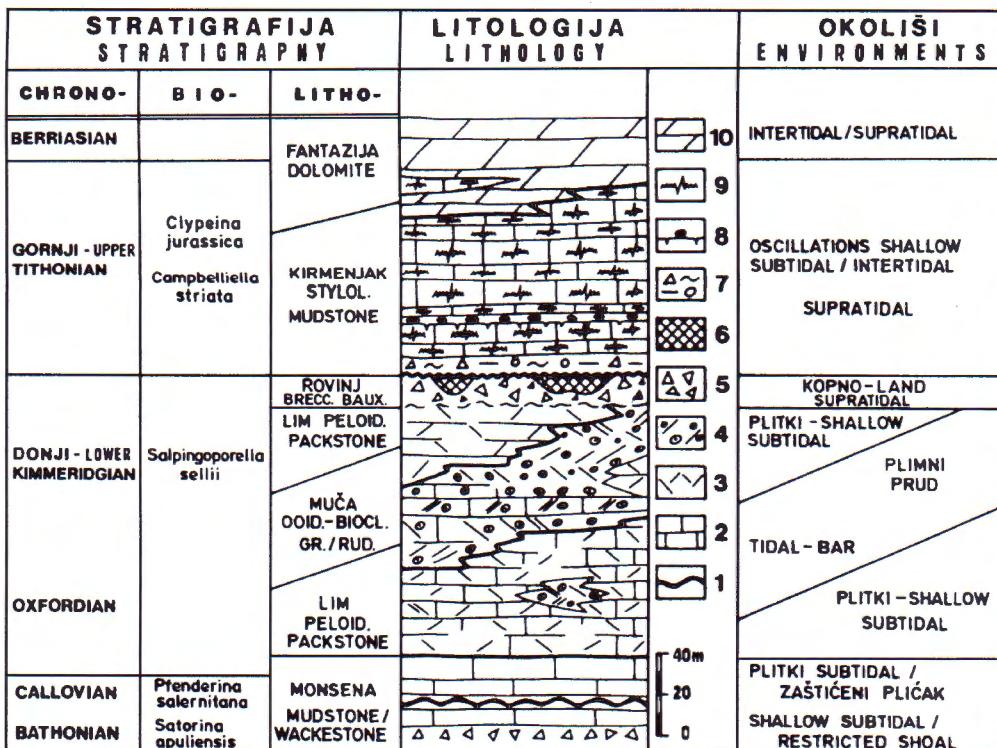
Stop A-1: Biofacies and biostratigraphy of the Upper Dogger and synsedimentary tectonics - the *Monsena Unit*

In the shallow subtidal lagoon and/or restricted shallows, mudstones and fossiliferous wackestones, and rarely oncrite floatstones, were deposited. A debris of molluscs, hydrozoans and echinoderms drifted sporadically into environments with predominant mud deposition. Biofacies is characterised by benthic foraminifera assemblages, which indicate the Bathonian and, from the sequence of superposition, the Callovian age (for microfossil assemblages see Croatian text). These deposits were described by VELIĆ & TIŠLJAR (1988) as an informal lithostratigraphic *Monsena unit* (Fig. 2). It is characterised by synsedimentary tectonics in the Bathonian. MARINČIĆ & MATIČEC (1991) described compressional tectonics resulting in a short-lasting emersion phase (with erosion and formation of breccia). The subtidal regime was re-established still within the Bathonian.

Od rta Križ obalom do turističkog naselja Monsena otkrivene su naslage gornjega dogera u debljini od oko 50 metara. VELIĆ & TIŠLJAR (1988) detaljno su opisali litofacijese i biofacijese, te okoliše i uvjete taloženja ovih naslaga, koje su prema litostratigrafskoj klasifikaciji, premda neformalno, izdvojili kao *Monsena jedinicu* odnosno *Monsena mikrite*, a ovaj profil je i njihov tipični lokalitet. Na sl. 2 prikazani su medusobni odnosi jurskih litostratigrafskih jedinica u zapadnoj Istri; uočljivo je da *Monsena jedinica* vršnim dijelom ulazi i u malm. Kasnijim istraživanjima i u pripremi ekskurzije upotpunjeni su biostratigrafski i facijesni podaci. MARINČIĆ & MATIČEC (1991) opisali su i sinsedimentacijsku tangencijalnu tektoniku u batskom katu na ovom profilu i u Limskom kanalu.

U litološkom pogledu *Monsena jedinica* izgrađena je pretežito od fosilifernih madstona i vekstona s kojima su mjestimice udruženi i onkoidni floutstoni. Taloženi su u plitkom subtajdalnom okolišu lagune i ili zaštićenoga plićaka. U te je okoliše s pretežitim taloženjem mulja povremeno naplavljivano i usitnjeno kršje bodljikaša, školjkaša i hidrozoa iz okolnih plićaka s pokretljivom vodom. U najmladem dijelu jedinice očigledan je utjecaj biotritusa (kršje moluska, bodljikaša, hidrozoa) što je povezano s porastom energije vode i donosom skeletnoga kršja s obližnjih krpastih grebena.

Kad se radi o biofacijesu *Monsena jedinice* značajnije mjesto pripada mikroorganizmima (sl. 3). Opisani okoliši, osobito zaštićeni plićaci i lagune bili su staništa betosnih foraminiferskih zajednica. U njima su utvrđeni oblici različitoga stratigrafskoga raspona, a prisutnost usko provodnih omogućava i precizno datiranje i biostratigrafsko zoniranje. Detaljnijem praćenjem vertikalnoga protezanja i učestalosti pojava kako pojedinih taksona tako i zajednica jasno se razlikuju dva dijela unutar *Monsena jedinice*. Niži dio je i vrstama i primjercima, posebice provodnim vrstama,



Sl. 2 Litostratigrafske jedinice dogera i malma u zapadnoj Istri (prema VELIĆ &amp; TIŠLJAR, 1988).

Fig. 2 Lithostratigraphic units of the Late Dogger and Malm in western Istria (after VELIĆ &amp; TIŠLJAR, 1988).

izrazito bogatiji od višega dijela u kojem je fosilifernost osiromašena, a provodnih oblika gotovo i nema.

U prvo spomenutoj, starijoj zajednici utvrđene su:

*Paleopfenderina salernitana* (SARTONI & CRESCENTI),

*Satorina mesojurassica* (MAYNC),

*Satorina apuliensis* FOURCADE & CHOROWICZ,

Sl. 3 Tipični biofaciesi *Monsena* jedinice (batski kat). 20x.

a) *Paleopfenderina salernitana*, *Satorina apuliensis*, *Valvulina lugeoni*.

b) *S. apuliensis*, *P. salernitana*, *V. lugeoni*.

c) *Satorina mesojurassica*, *Kilianina blancheti*, *P. salernitana*.

d) *K. blancheti*, *P. salernitana*, *V. lugeoni*.

Fig. 3 Typical biofacies of the *Monsena* Unit (Bathonian). 20x.

a) *Paleopfenderina salernitana*, *Satorina apuliensis*, *Valvulina lugeoni*.

b) *S. apuliensis*, *P. salernitana*, *V. lugeoni*.

c) *Satorina mesojurassica*, *Kilianina blancheti*, *P. salernitana*.

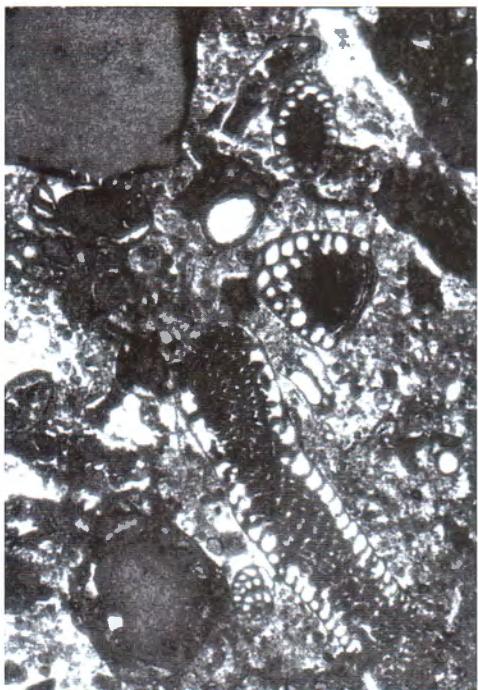
d) *K. blancheti*, *P. salernitana*, *V. lugeoni*.



a



b



c



d

*Kilianina blancheti* PFENDER,  
*Alzonella cuvillieri* BERNIER & NEUMANN,  
*Pseudeggerella elongata* SEPTFONTAINE,  
*Pfenderella arabica* REDMOND,  
*Praekurnubia crusei* REDMOND,  
*Valvulina lugeoni* SEPTFONTAINE i  
*Trocholina gr. alpina-elongata* (LEUPOLD).

Prvih šest vrsta provodne su za batski kat, a preostalih pet proteže se kroz gornji dojer, malm, a troholine i valvuline i u neokom. Biostratigrafski zajednica pripada ***Paleopfenderina salernitana* i *Alzonella cuvillieri* assemblage zoni** (prema SEPTFONTAINE et al., 1991) koja ima raspon najgornji bajocij-kraj bata.

Viši dio naslaga *Monsena* jedinice mikrofosilno je siromašniji, a određeni oblici slabe su stratigrafske provodnosti. Iz prethodnoga intervala nastavljaju se;

*Pfenderella arabica*,  
*Praekurnubia crusei*,  
*Valvulina lugeoni* i  
*Trocholina gr. alpina-elongata*.

Pri samom kraju *Monsena* jedinice pojavljuju se:

*Kurnubia palastiniensis* HENSON i  
*Cladocoropsis mirabilis* FELIX.

Sama po sebi ova mlada zajednica nema pouzdaniju provodnost i naslage u kojima se pojavljuje mogu se odrediti kao općenito malmske. Međutim, na ovom profilu, gdje kontinuitet slojeva nije upitan s utvrđenim prvim nalazima *K. palastiniensis* može se s velikom vjerojatnošću govoriti o kalovijskoj starosti i prijelazu u oksford. U biostratigrafskom pogledu opisani mlađi dio *Monsena* jedinice pripada ***Pfenderina salernitana* - *Salpingoporella sellii* interval zoni**. S obzirom na iznesene značajke potrebito je pripomenuti da se ovdje litostratigrafska jedinica i biostratigrafska interval zona ne poklapaju s kronostratigrafskom granicom kalovij-oksford, jer lito i bio jedinice vršnim dijelom ulaze u oksford.

U već spomenutom kontekstu sekvencijske stratigrafije u području Istre pojedine megasekvencije su obilježene i svojim strukturno-tektonskim karakteristikama. Naime, utjecaj pojedinih tektonskih faza ili tek jače upečatljivih stadija, vremenski se podudara sa sekvencijskim promjenama. Posljedice tih tektonskih kretanja su zabilježene u istaloženom i litificiranom sedimentu u obliku plikativnih i disjunktivnih strukturnih elemenata koji su po svojoj orientaciji u prostoru i tipu deformacije prepoznatljivi. Znači, granice definiranih megasekvencija se u svojoj vremenskoj komponenti uglavnom podudaraju s promjenom djelovanja tektonskih faza/stadija, odnosno promjenom tipa deformacija.

Najstarije naslage u Istri pripadaju gornjem dogeru (bat-kalovij). Zabilježene su na samo dva lokaliteta - Monsena/rt Križ i Limski kanal. To su madstoni i



Sl. 4 Intraformacijske breče u naslagama bata na rtu Križ.

Fig. 4 Bathonian intraformational breccia. Cape Križ.

foraminiferski vekstoni unutar kojih se sukcesivno u mlađem batu sve učestalije pojavljuju intraformacijske breče. Sedimentološki protumačen regresivni karakter ovih naslaga mjestimice završava pojava breča i znakovima emerzije. Da nije riječ samo o oscilaciji morske razine, već i o ulozi tektonike u ovom regresivnom slijedu vidljivo je na oba istražena lokaliteta. Strukturno-tektonski elementi mjereni u naslagama kod rta Križ svojom orientacijom i tipom deformacije u potpunosti odgovaraju onima iz Limskog kanala.

Sinsedimentacijska tektonika bila je kompresijska. Od istraženih strukturnih elemenata najizrazitije su metarske bore malih (do 1/2m) amplituda, koje ponegdje izdignute, tj. spuštene duž klivaža osne ravnine, čine undulirani reljef izražajnijim. Na sl. 4 jasno su uočljive intraformacijske breče, koje zapunjavanjem novonastalih depresija u reljefu niveliraju podlogu na kojoj su taložene krovinske naslage.

Od razvijenih pukotinskih sustava registrirani su sustavi tenzijskih pukotina I i II reda, te konjugirani sustavi kliznih ( $h0l$ ) pukotina. Najveći tangencijalni pritisak ( $\sigma_1$ ) djeluje po pravcu  $40-220^\circ$ , dok strukturalna B-os ima orientaciju  $130/5$ . Na lokalitetu rt Križ (sl. 4) uočljivo je da ovi disjunktivni strukturni elementi ne prelaze izvan uložaka intraformacijskih breča.

**Postaja A-2: Lateralne i vertikalne izmjene facijesa i okoliša u oksfordu i početku kimeridža: Muča jedinica  
(poluotok Muča, bolnica u Rovinju)**

Stop A-2: Lateral and vertical changes of facies and environments during the Oxfordian and basal Kimmeridgian - the *Muča Unit*  
(Muča peninsula near Rovinj Hospital)

The main lithofacies characteristic of the informal lithostratigraphic *Muča unit* (VELIĆ & TIŠLJAR, 1988) is rhythmical alternation, i.e. cyclical deposition of three limestone types (Fig. 5):

- a peloid skeletal wackestones deposited in shallow subtidal during low energy conditions;
- b ooid grainstones with cross-bedding deposited on a tidal bar under predominant tidal influence, and
- c ooid grainstones and bioclastic rudstones composed of coarse hydrozoan, coral and mollusc bioclasts and *Cladocoropsis* cortoids. These deposits were produced by the disintegration of reefs during storm-events.

Thickening-upward and coarsening-upward sequences were produced by progradation of coarse-grained bidetritus. The biofacies of the *Muča unit* is characterised by different groups of organisms, especially in b and c members. The most frequent are reef-builders (corals, hydrozoans/stromatoporoids), echinoderms, molluscs and forams. The fossil assemblages are quoted in the Croatian text.

Od svih jurskih naslaga zapadne Istre facijesi oksforda površinski su najrasprostranjeniji. Izmjenjuju se na malim udaljenostima i bočno i naviše, pa je oksford zapadne Istre po facijesnoj raznolikosti osobit i lako prepoznatljiv kao nijedna starija ili mlada jedinica (sve do cenomana južne Istre). Ti su facijesi detaljno proučeni i opisani upravo na poluotoku Muča u Rovinju (TIŠLJAR & VELIĆ, 1987; VELIĆ & TIŠLJAR, 1988), tipičnom lokalitetu za neformalnu litostratigrafsku - *Muča jedinicu* (sl. 2).

Litološkim sastavom, uvjetima i okolišima taloženja ona se znatno razlikuje od ostalih malmских jedinica po izuzetno velikom udjelu fosilnoga detritusa i ooida. Bitna je značajka ritmična izmjena ili ciklično taloženje tri tipa vapnenaca (sl. 5):

- a peloidnih skeletnih vekstona taloženih u vrlo plitkom subtajdalu tijekom niske i vrlo niske energije;
- b ooidnih grejnstona s čestim pojавama kose slojevitosti taloženih na plimnom prudu pod prevladavajućim djelovanjem plimnih struja (sl. 6);

---

Sl. 5 Shematski stup *Muča jedinice* (tidal bar facies) na tipičnom lokalitetu - poluotok Muča, Rovinj (prema TIŠLJAR & VELIĆ, 1987).

Fig. 5 Schematic column of the *Muča Unit* (tidal bar facies) at the type locality - Muča peninsula, Rovinj (after TIŠLJAR & VELIĆ, 1987).

L. K I M M E R I D G I A N		SIMPLIFIED COLUMN	LITHOLOGY AND SPECIAL FEATURES	ENVIRONMENT
PELOIDAL - PACKSTONE FACIES	U. TITHONIAN	STRATIGRAPHY / LITHOFACIES		
		DESIDICATION MUDSTONE FACIES	<p>Desiccation cracks</p> <p>Black pebbles</p> <p>Vertical burrows</p> <p>Desiccation breccia</p> <p>Shore-line and emersion breccia</p> <p>Erosion</p> <p>Oncoidal wackestone</p>	SHALLOW - SUBTIDAL - TOP INTERTIDAL OSCILLATIONS
			<p>Indistinctly cross-bedding;</p> <p>Massive and thick-bedded ooid and bioclastic grainstone to rudstone;</p> <p>b-c single large transported corals and hydrozoans</p>	
	a	Peloidal packstone/grainstone		
	b-c	Cross-bedded bioclastic rudstone; ground mass is ooid grainstone		
	a	Peloidal packstone-grainstone		
	c	Cross-bedding and wave ripples; thick-bedded ooid and bioclastic rudstone/grainstone;		
	b	Ooid grainstone		
	a	Well-bedded foraminiferal, peloidal and oncoidal wackestone		
	c	Massive cross-bedded ooid and bioclastic grainstone rudstone;		
	b	Ooid grainstone		
	a	Peloidal and skeletal wackestone		
		Ooid grainstone		
		10m		
			Thin-bedded oncoidal floatstone with foraminifers hydrozoans, gastropods and peloids.	
	5	0m	Well-bedded pelletal packstone, rare grainstone and wackestone, with foraminifers and green algae	SHALLOW SUBTIDAL



Sl. 6 Kosa slojevitost u ooidnim grejnstonima - b član Muča jedinice, poluotok Muča, Rovinj.

Fig. 6 Cross-bedded ooid grainstone - b member of the Muča Unit, Muča peninsula, Rovinj.

- c ooidnih grejnstona i bioklastičnih radstona sastavljenih od krupnih bioklasta (hidrozoa/stromatoporoida, koralja, moluska) i kortoida (*Cladocoropsis*, sl. 9) taloženih tijekom olujnih valova. Ovaj krupnozrasti biodetritus potječe od razaranja organogenih grebena.

Za Muča jedinicu znakoviti su ciklusi podebljavanja i pokrupnjavanja naviše kao rezultat progradacije krupnozrnastoga biodetritusa (sl. 5). Ona bočno odgovara *Lim* jedinici izgradenoj od debelo slojevitih fosilifernih peloidnih pekstona, rijede grejnstoni ili vekstona (sl. 2). Po svojim okolišnim značajkama *Lim* vapnenci predstavljaju član a Muča jedinice. Taloženi su u subtajdalnim plićacima s niskom energijom vode, odnosno plićacima u kojima plimne struje i olujni valovi nisu naplavljivali ooidni i bioklastični detritus.

Postupni prijelazi u slijedu jurskih facijesa Istre od *Monsena* jedinice, preko *Lim* jedinice u Muča jedinicu pokazuje odlike prijelaza od unutarnje karbonatne rampe u tzv. obrubljeni šelf (*rimmed shelf*).



Sl. 7 koralna gruda iz c člana Muča jedinice, poluotok Muča, Rovinj.

Fig. 7 Coral head from the c member of the Muča Unit, Muča peninsula, Rovinj.



Sl. 8 Površinsko trošenje ooidno-foraminiferskoga, pretežito šablezijsko-troholinskoga grejnstona. Muča jedinica, b član, Koversada, Limski kanal. 3x.

Fig. 8 Weathered surface of ooid-foraminiferal, mostly chablaisia-trocholina grainstone. Muča Unit, b member, Koversada, Limski kanal. 3x.

Izuzetno bogata fosilifernost *Muča jedinice*, posebice *b i c* članova iz ritmične izmjene, posljedica su povoljnih paleoekoloških i taložnih uvjeta. U tim visokoenergijskim okolišima uz temeljnu masu, ooidni pjesak, akumulirao se i obilni fosilni detritus: od bioklasta najvećeg promjera do 40-ak cm (sl. 7) do kućica foraminifera veličine i ispod 2 mm (sl. 8 i 10). Organizmi osjetljivije, nježnije skeletne građe, poput vapnenačkih alga ili pučinskih organizama, mogu se očekivati u zaštićenijim sredinama kakve su prevladavale u okolišima *a* člana *Muča jedinice* i *Lim jedinici*.

U ooidno-bioklastičnim mikrofacijesima utvrđene su bogate zajednice foraminifera, koralja, hidrozoa i prvi najstariji pahiodontni školjkaši u zapadnom dijelu Jadranske karbonatne platforme.

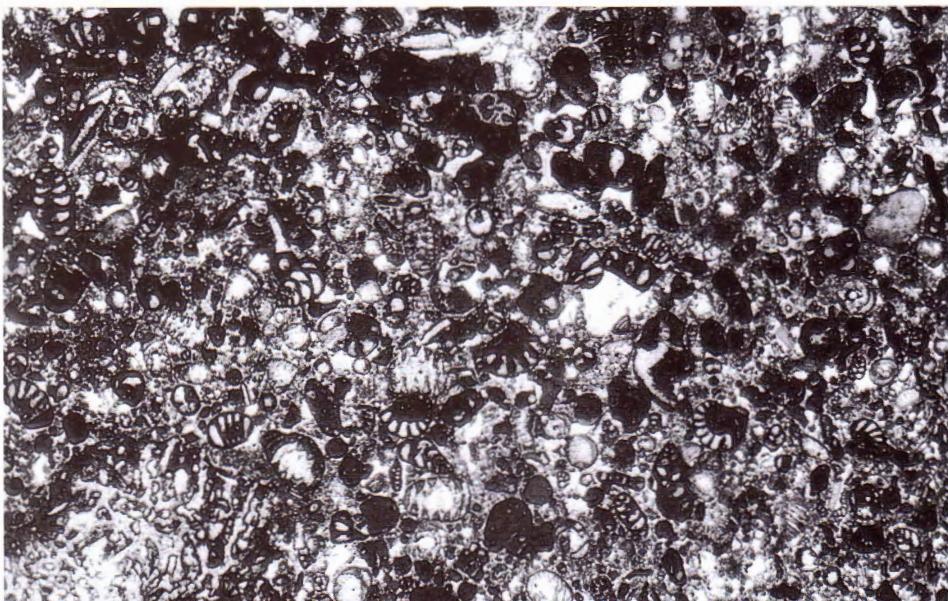
Foraminiferska zajednica predstavljena je slijedećim oblicima:

- Trocholina alpina* (LEUPOLD),
- T. elongata* (LEUPOLD),
- T. gigantea* PELLISSIE & PEYBERNES,
- Chablaisia chablaisensis* (SEPTFONTAINE),
- Valvulina lugeoni* (SEPTF.),
- Kurnubia palastiniensis* HENSON,
- Praekurnubia crusei* REDMOND,
- Nautiloculina oolithica* MOHLER,
- Pfenderella arabica* REDMOND,
- Protopeneroplis striata* WEYNSCHENK,



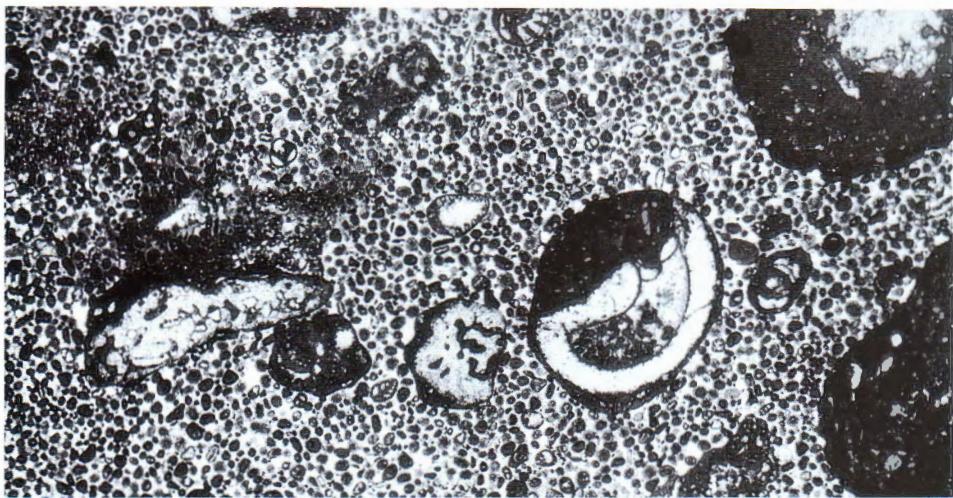
Sl. 9 Hidrozojski (*Cladocoropsis* i dr.) kortoidni radston. Muča jedinica, c član, Zlatni rt, Rovinj. Mjerilo u cm.

Fig. 9 Hydrozoan (*Cladocoropsis* etc.) cortoid rudstone. Muča Unit, c member, Zlatni rt, Rovinj. Scale in cm.



Sl. 10 Foraminiferski pekston-grejnston sa *Chablaisia chablaisensis* i *Trocholina* gr. *alpina-elongata*. Muča jedinica, b član, Koversada, Limski kanal. 6x.

Fig. 10 Foraminiferal packstone-grainstone composed mostly of *Chablaisia chablaisensis* and *Trocholina* gr. *alpina-elongata* tests. Muča Unit, b member, Koversada, Limski kanal. 6x.



Sl. 11 Ooidno-bioklastični grejnston-radston s foraminiferama, kršjem puževa i hidrozojskim kortoidima. Muča jedinice, c član, poluotok Muča, Rovinj. 6x.

Fig. 11 Ooid-bioclastic grainstone-rudstone containing forams, gastropod shells and hydrozoan cortoids. Muča Unit, c member, Muča peninsula, Rovinj. 6x.

*Pseudocyclammina lituus* (YOKOYAMA),  
*Conicospirillina basiliensis* MOHLER,  
*Everticyclammina* sp.

Kad bi se radio statistički proračun zastupljenosti pojedinih citiranih taksona, više od 90% pripalo bi predstavnicima rodova *Trocholina* i *Chablaisia*. U izbrusima oni su, uz ooide, najčešći sastoјci (sl. 8 i 10). Razmjerno slaba, gotovo zanemarujuća zastupljenost rodova *Protopeneroplis* i *Conicospirillina*, ukazuje da su okoliši taloženja ovoga facijesa pretežito pripadali unutarnjem dijelu karbonatne platforme.

Od vapnenačkih alga određena je *Griphoporella minima* NIKLER & SOKAČ, a POLŠAK (1965) spominje i vrstu *Triploporella remesi* (STEINMANN). *Cladocoropsis mirabilis* FELIX je u pojedinim slojevima masovan, najčešće obavljen (kortoidi) slično kao i drugi stromatoporoidi i hidrozojski bioklasti (sl. 9, 11, 12), te koralji (sl. 13).

Mnogobrojni su ostaci i drugih makrofosila: školjkaša, puževa, bodljikaša, briozoa i dr. Najčešće su polomljeni, abradirani te olujnim valovima i plimnim strujama prenašani, pretaložavani i sl., tako da su cijelovito uščuvani primjerici prava rijetkost. U novije vrijeme nisu posebice obradivani, pa se, za sada, mogu navesti samo podaci iz radova ranijih istraživača. POLŠAK (1965) i POLŠAK & ŠIKIĆ (1973) navode: hidrozoja *Actinostroma istriana* MILAN, koralje *Isastraea thurmani* ETALLON i *I. variabilis* ETALLON, puža *Ptygmatis bruntrutana* THURMANN, brahiopode roda *Rhynchonella*, te pahiodontnog školjkaša *Megadiceras salopeki* POLŠAK.



Sl. 12 Bioklastični radston s foraminifera-ma, kršjem školjkaša i puževa, te hidrozojskim kortoidima. Muča jedinice, c član, poluotok Muča u Rovinju. 6x.

Fig. 12 Bioclastic rud-stone with forams, bioclasts of molluscs and gastropods, and hydrozoan cortoids. *Muča Unit*, c member, Muča peninsula, Rovinj. 6x.



Sl. 13 Bioklastični flout-ston-radston s koral-jnim i stromato-poroidnim kortoidima. Muča jedinice, c član, poluotok Muča u Rovinju. 6x.

Fig. 13 Bioclastic float-stone-rudstone with coral and stromato-poroid cortoids. *Muča Unit*, c member, Muča peninsula, Rovinj. 6x.



Sl. 14 Povijanje klivaža u vapnencima *Muča* jedinice na Zlatnom rtu, Rovinj.

Fig. 14 Cleavage bending in the limestones of the *Muča* Unit at Zlatni rt, Rovinj.

Biostratigrafski gledano naslage *Muča* jedinice, kao biofaciesno specifične, mogu se odrediti kao *abundance* zona prema International Stratigraphic Guide (SALVADOR, 1994), ranije tzv. *acme*-zona. U našem slučaju puni naslov biozone bio bi *Trocholina alpina* i *Chablaisia chablaisensis abundance zone*. Razlozi su jasni: citirane vrste *T. alpina* i *C. chablaisensis* su dominantni taksoni u *Muča* jedinici. Konostratigrafski ona bi u Istri odgovarala višem oksfordu i početku kimeridža ili središnjem dijelu biostratigrafske *Salpingoporella sellii assemblage zone* (prema VELIĆ & TIŠLJAR, 1988).

Facies *Muča* jedinice predstavlja izrazitu promjenu strukturnog tipa stijene, kako u lateralnom tako i u vertikalnom smislu. To ne samo da je imalo za posljedicu različitu gustoću raspucavanja stijenske mase, već i nepredvideno zakretanje pružanja pukotinskih sustava (sl. 14), što otežava praćenje tektonske aktivnosti u naslagama *Muča* jedinice. Naime, u nedostatku plikativnih struktura pukotinski sustavi bili su jedini temelj za strukturno-tektonska istraživanja.

### **Postaja A-3: Emerzijsko-transgresivni kontakt dviju megasekvencija: stratigrafska praznina gornji oksford/početak kimeridža - gornji titon (nekadašnji kamenolom *Pietra d'Istria*, Zlatni rt u Rovinju)**

Stop A-3: Emersional-transgressive contact of two megasequences: hiatus between the uppermost Oxfordian or basal Kimmeridgian and the Late Tithonian (abandoned quarry of *Pietra d'Istria* stone - cape Zlatni rt in Rovinj)

The first megasequence in Istria (Bathonian - basal Kimmeridgian) is characterised by a regressive trend and by the transition from the inner carbonate ramp into a rimmed shelf. This megasequence terminated with regressive *Rovinj breccia* (VELIĆ & TIŠLJAR, 1988), composed of *Muča* and *Lim* limestones clasts. The second transgressive-regressive megasequence (stratigraphic range Late Tithonian - Late Aptian) started with a 50 cm thick bed of black-pebble breccia. The beginning of the overlying *Kirmenjak unit* (Upper Tithonian, VELIĆ & TIŠLJAR, 1988) is characterised by oscillating transgression and shallowing-upward parasequences (see stop B-1 of sedimentological excursion - TIŠLJAR et al., 1995). The *Kirmenjak limestone* is the famous building-stone known under the name *Kirmenjak* (old names were *Pietra d'Istria* and *Orsera*), used for the construction of a large part of Venice. The main fossils are quoted in the Croatian text. The boundary described here between the first and the second megasequence is in some places characterised by bauxite deposits.

Malmska emerzija ili kopnena faza u kimeridžu i starijem titonu opisana je u ovom vodiču u općem prikazu geološke građe Istre (VELIĆ et al., 1995). Može se tek podsjetiti da se uzduž toga emerzijsko-transgresivnoga kontakta sporadično pojavljuju i boksiti. U Rovinju na sjevernim padinama uzvisine Mondolaco poznato je veće ležište boksita, nažlost slabe uporabivosti zbog visokoga sadržaja silicija. Više podataka o tom ležištu može se u ovom vodiču naći u opisu postaje C-3 ekskurzije o mineralnim sirovinama (GABRIĆ et al., 1995).

Na ovoj postaji u nekadašnjem kamenolomu otkriven je izravni dodir dviju megasekvencija: podinske regresivne, predstavljene *Muča jedinicom*, s krovinskom transgresivno-regresivnom kojoj je početni dio transgresivna gornjotitonska *Kirmenjak jedinica*. Podini pripada prvi devet metara stup, uglavnom s člana *Muča jedinice*. Slijedi 50-ak cm debeo sloj *black-pebble* breče. Njoj bočno odgovaraju mjestimična ležišta boksita sjeverno od Rovinja (vidi postaju C-3 ekskurzije o mineralnim sirovinama, GABRIĆ et al., 1995) i u okolini Vrsara. Ove breče s glinovitim matriksom i crnim valuticama obilježavaju početak oscilirajuće transgresije *Kirmenjak jedinice* (sl. 15), odnosno početak druge, transgresivno-regresivne megasekvencije. Otkriven je oko 35 m debeo stup tih naslaga, tj. *Kirmenjak stilolitiziranih madstona* (VELIĆ & TIŠLJAR, 1988), koji su pri samome kraju profila zahvaćeni i kasnodijagenetskom dolomitizacijom. Temeljne makroskopske značajke ovih, u graditeljstvu poznatih vapnenaca, su vrlo dobra slojevitost (debljine slojeva od 20-ak do 200 cm, najčešće oko 1 m), izraziti i karakteristični horizontalni stiloliti, te izmjena svijetlih, često porculanastih mikrita, s tanjim proslojcima *black-pebble* breča/konglomerata.



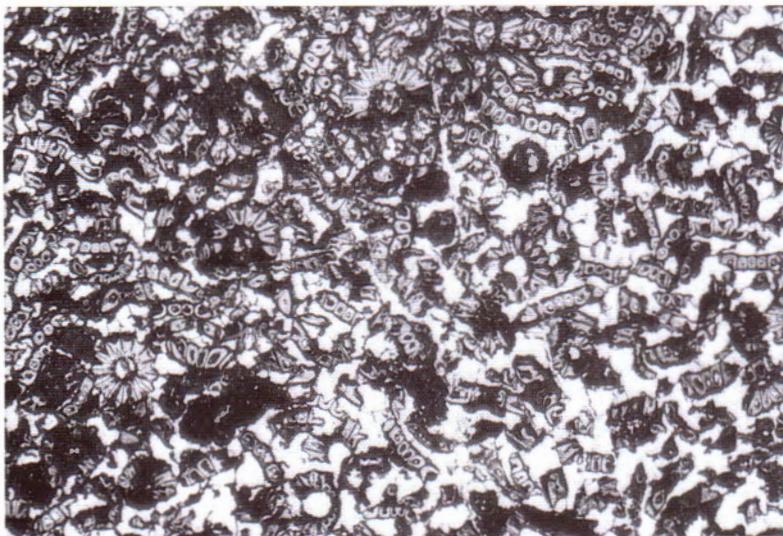
Sl. 15 Emerzijska granica između prve i druge megasekvencije platformnih karbonata zapadne Istre na Zlatnom rtu, Rovinj. Tumač: a) Muča jedinica, c član (kraj oksforda/početak kimeridža); b) emerzijska breča (kimeridž-stariji titon); c) madston, početak Kirmenjak jedinice (mladi titon); d) black-pebble breča s karbonatnim matriksom - prvi član parasekvencije oplicavanja naviše vapnenaca Kirmenjak jedinice; e) debeoluslojeni stilolitizirani madston - drugi član parasekvencije oplicavanja naviše vapnenaca Kirmenjak jedinice.

Fig. 15 Emersonian boundary between the first and second megasequence of platform carbonates in western Istria at Zlatni rt, Rovinj. Legend: a) Muča Unit, c member (latest Oxfordian-earliest Kimmeridgian); b) emersion breccia (Kimmeridgian-early Tithonian); c) mudstone, beginning of Kirmenjak Unit (late Tithonian); d) black-pebble breccia with carbonate matrix - the first member of the shallowing-upward parasequence of the Kirmenjak Unit; e) thick-bedded stylolitised mudstone - the second member of the shallowing-upward parasequence of the Kirmenjak Unit.

Detaljniji litofacijesni opisi Kirmenjak jedinice nalaze se u ovome vodiču u postaji B-1 sedimentološke ekskurzije (TIŠLJAR et al., 1995). Zato će se u dalnjem prikazu postaje pri razmatranju stratigrafskih odnosa pozornost više usmjeriti na njezine biofacijese i biostratigrafiju.

U biofacijesu podinske Muča jedinice zapaženi su predstavnici manje-više svih skupina fosilnih organizama navedenih kod postaje A-2. Ovdje je još dodatno utvrđena vrlo značajna i provodna vapnenačka alga *Salpingoporella sellii* (CRESCENTI). U skladu s tim stratigrafska pripadnost vršnih naslaga podinske megasekvencije je donjomalmska, tj. oksford-donji kimeridž.

Facijesne, okolišne značajke Kirmenjak jedinice, koja je tipičan primjer ciklusa ili parasekvencija oplicavanja naviše, nisu odgovarale bujnijem razvitu mikro-



Sl. 16 Algalni grejnoston - tempestit, izgraden od kršja alge *Clypeina jurassica*. Kamenjak, mladi titon. 6x.

Fig. 16 Algal grain-stone - tempestite, composed of *Clypeina jurassica* detritus. Kermenjak quarry, Late Tithonian, 6x.

fosila (makrofosila uopće nema - do sada u Istri nisu nađeni). Mikrofossilni ostaci svode se uglavnom na nekoliko vrsta vapnenačkih alga. Foraminifere su prava rijetkost u cijeloj Kermenjak jedinici, a na ovom profilu nisu nađene. VELIĆ & TIŠLJAR (1988) navode: *Kurnubia palastiniensis* i *Parurgonina caelinensis* CUVILLIER et al. Alge su prisutne najčešće kao bioklasti u debelo uslojenim stilolitiziranim madstonima (vidi drugi član ciklusa, postaja B-1, TIŠLJAR et al., 1995), rijede u tempestitnim naplavinama (sl. 16). Odredene su:

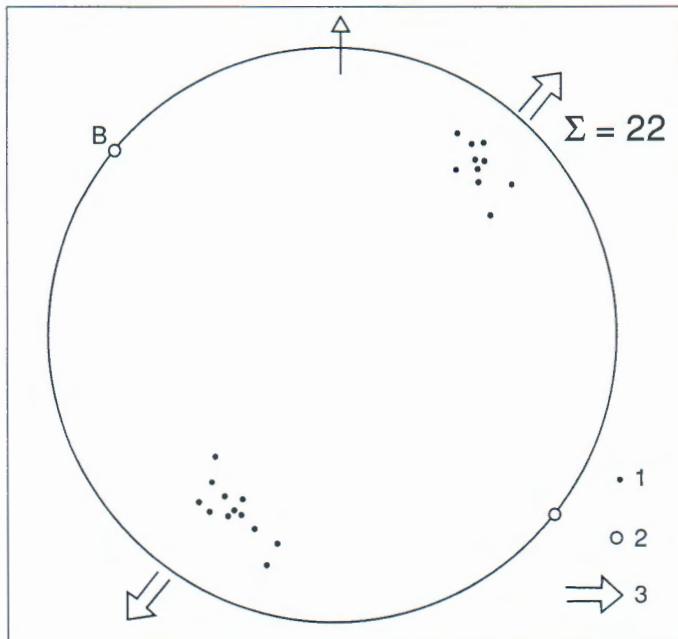
*Clypeina jurassica* FAVRE,  
*Campbelliella striata* (CAROZZI),  
*Salpingoporella annulata* CAROZZI i  
*Salpingoporella grudii* (RADOIČIĆ).

Od ostalih mikroorganizama nađu se ostaci hidrozoja *Cladocoropsis mirabilis*, a mjestimice i favreine i to:

*Favreina cf. fendiensis* BRÖNNIMANN & ZANINETTI i  
*Favreina guinchoensis* BRÖNNIMANN.

Prva je vrsta opisana iz dogera, ali je očito da se proteže i na malm, a druga ima raspon srednji kimeridž-portland, što je u skladu sa stratigrafskim rasponom ove jedinice.

*Kermenjak vapnenci* sa citiranim fosilnom zajednicom biostratigrafski pripadaju *Campbelliella striata* rasponskoj ili *taxon-range* zoni. Kronostratigrafski to bi odgovaralo titonu, a u području Istre, s obzirom na emerziju, najvjerojatnije i/ili pretežito njegovom mlađem dijelu. Uporište za takvo stajalište leži u činjenici što se *C. striata* u Istri pojavljuje (skupa s *C. jurassica*) u prvim slojevima transgresivne Kermenjak jedinice, a u Dinaridima joj je do sada utvrđen raspon od mlađega donjeg titona do granice s berijasom.



Sl. 17 Polovi ravnina ekstenzijskih konjugiranih rasjeda nastalih tektonskom aktivnošću u vrijeme najranijeg kimeridža. Tumač: 1) pol ravnina pukotine iz sustava (h01); 2) b-os; 3) smjer ekstenzije.

Fig. 17 Lower hemisphere, equal area stereographic projection showing poles of extensional conjugated faults originating from the earliest Kimmeridian. Legend: 1) poles of (h01) joint system; 2) b-axis; 3) direction of extension.

Krajem bata dolazi do smirivanja tektonske aktivnosti i započinje ciklus kontinuirane sedimentacije u subtajdalnom okolišu (kraj *Monsena jedinice* i početak *Lim jedinice*). U sukcesiji naslaga koja slijedi nisu više prisutne strukture koje bi ukazivale na obnovljenu kontrakciju prostora. Naprotiv, strukturni elementi prisutni u krovinskim naslagama opisanih intraformacijskih breča, ali i u njihovoj podini, sasvim su drugaćijega pružanja. Oni predstavljaju posljedice suprotnog tipa deformacije, tj. ekstenzije izazvane jakom radikalnom tektonikom.

Već u oksfordu, a naročito kroz vjerojatno prisutni dio donjeg kimeridža, sve je naglašeniji utjecaj pličih okoliša i blizine obale. Sve učestalija prisutnost tipičnog *tidal bar* facijesa (*Muča vapnenci*) završava regionalnom emerzijom već tijekom starijeg kimeridža. Emerzija traje kroz veći dio kimeridža i donji titon. Novonastali reljef predodređen je strukturno-tektonskim disjunktivnim elementima koji nedvojbeno ukazuju na izdizanje uslijed tektonske aktivnosti. Na svim istraženim lokalitetima u zapadnoj Istri, u podini regresivnih *Rovinj* i *Vrsar breča* znakovita je istovrsna orijentacija pružanja konjugiranih sustava rasjeda ( $300^\circ$ - $120^\circ$ , sl. 17). Suprotni nagib njihovih ploha pod  $60^\circ$  (JZ i SI) ukazuje na vertikalni smjer najvećeg pritiska ( $\sigma_1$ ). Posljedice ovih pokreta nisu uočljive samo u novonastalom reljefu, već su prisutne i na svim izdancima podinskih naslaga.

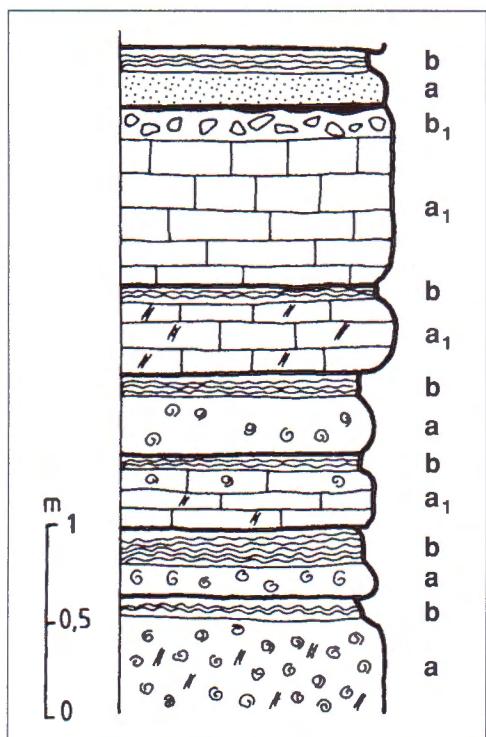
### Postaja A-4: Peritajdalni ciklusi opličavanja naviše u mlađem valendisu (kamenolom Šošići istočno od Rovinja)

Stop A-4: Shallowing-upward peritidal parasequences in younger Valanginian  
(Šošići quarry east of Rovinj)

The second megasequence is dominated by carbonates deposited in peritidal shallows, resulting in great sensitivity to the slightest relative sea-level changes due to autocyclicity (progradation of tidal flat), tectonics and / or eustatics. In the Šošići quarry shallow-subtidal peloid-skeletal grainstones alternate with intertidal LLH-stromatolites.

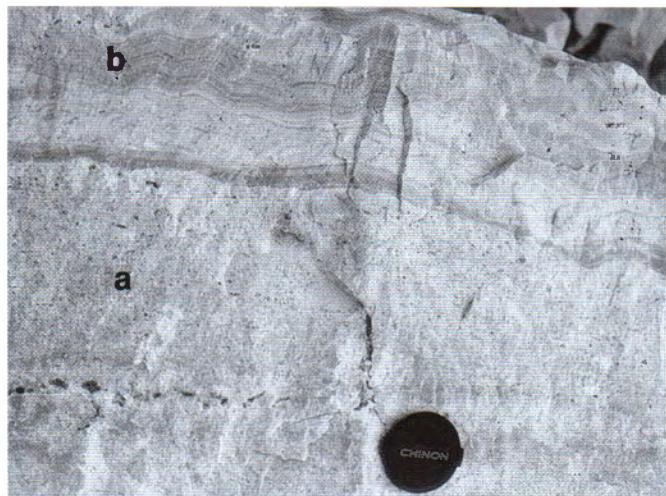
The fossil assemblage is composed of green algae, gastropods and forams. The macrofossils have not been determined yet, while the lists of microfossils can be found in the Croatian text.

U drugoj zapadnoistarskoj megasekvenciji pretežu karbonatne naslage nastale u peritajdalnim plićacima gdje su došle do izražaja i najmanje facijesne promjene, bilo zbog autocikličnosti, tektonskih ili eustatičnih događaja. Tako se nalaze supratajdalni ranodijagenetski dolomiti, intertajdalni LLH-stromatoliti, peritajdalne i desikacijske breče, prudni bioklastični pijesci, učestala izronjavanja s emerzijskim brećama/ konglomeratima i sl. Jedan karakterističan profil u vapnencima nastalim u okolišima plitkoga subtajdala i intertajdala bit će prikazan na ovoj postaji.



Sl. 18 Primjer ciklusa opličavanja naviše u peritajdalnim vapnencima valendisa. Kamenolom Šošići (prema TIŠLJAR et al., 1983). Tumač: a) peloidni i intraklastični biospariti - plitki subtajdal; b) LLH-stromatoliti - intertajdal; a<sub>1</sub>) biomikriti sa zelenim algama, foraminiferama i gastropodima - laguna-plitki subtajdal; b<sub>1</sub>) peritajdalne breče - gornji intertajdal-subtajdal.

Fig. 18) An example of shallowing-upward parasequences in Valanginian peritidal limestones. Šošići quarry (after TIŠLJAR et al., 1983). Legend: a) peloid and intraclastic biosparites - shallow subtidal; b) LLH-stromatolites - intertidal; a<sub>1</sub>) biomicroites containing green algae, forams and gastropods - lagoon-shallow subtidal; b<sub>1</sub>) peritidal breccia - upper intertidal-subtidal.



Sl. 19 Ciklus oplicačavanja naviše u peritajdalnim vapnencima valendisa. Poklopac objektiva je promjera 60 mm. Tumač: a) peloidno-skeletni grejnston - subtajdalni član; b) LLH-stromatolit - intertajdalni član.

Fig. 19 Shallowing-upward parasequence in Valanginian peritidal limestones. Objective cap for scale is 60 mm in diameter. Legend: a) peloid-skeletal grainstone - subtidal member; b) LLH-stromatolite - intertidal member.

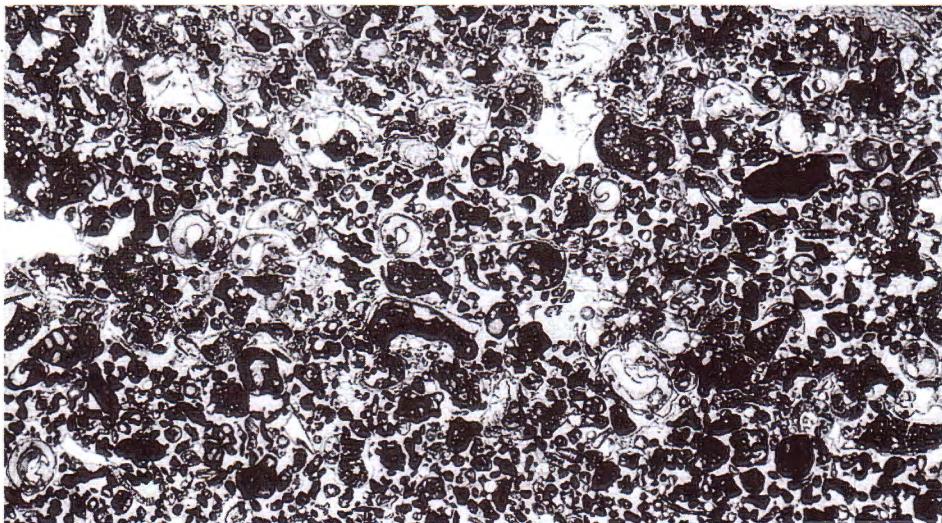
Kamenolom Šošići usječen je u tanko slojevitim vapnencima valendisa koji se odlikuju ritmičnom izmjenom peletno skeletnih grejnstona s LLH-stromatolitima u ciklusima oplicačavanja naviše (sl. 18; TIŠLJAR et al., 1983). Prvi član u ciklusima, peletni grejnston/pekston, taložen je u niskoenergijskom subtajdalnu koji postupno oplicačava, što se u gornjem dijelu člana odražava i fenestralnom građom (sl. 19). Oplicačavanjem nastaje prostrana plimna ravnica (*tidal flat*), na kojoj se taloži drugi član ciklusa, LLH-stromatolit. Osobitost tih stromatolita je njihova valovita, bočno povezana poluloptasta gornja slojna površina tipična za intertajdalne LLH-stromatolite (sl. 20).

U pojedinim ciklusima kao prvi i izrazito deblji član pojavljuju se bioklastični grejnstoni (a na sl. 19, 21). Uz intraklaste izgrađuje ih različito abradirano i fragmentirano skeletno krše alga, sitni gastropodi i kućice foraminifera. Na gornjoj slojnoj površini imaju i tipične intertajdalne valne riplove. Idući naviše, u mlađe slojeve,



Sl. 20 LLH-stromatolit s tipičnim, valovito povijenim lamina - intertajdalni član ciklusa oplicačavanja naviše.

Fig. 20 LLH-stromatolite with typical, wavy laminae - intertidal member of the shallowing-upward parasequence.



Sl. 21 Bioklastično-skeletni grejnston sa sitnim puževima, foraminiferama (*Vercorsella*, *Praechrysalidina* i dr.) i zelenim algama - subtajdalni član ciklusa opličavanja naviše. 6x.

Fig. 21 Bioclastic-skeletal grainstone with typical small gastropods, forams (*Vercorsella*, *Praechrysalidina* etc.) and green algae - subtidal member of the shallowing-upward parasequence.

udio stromatolita se općenito smanjuje, a postupno izostaju i ciklusi opličavanja naviše.

Najveći dio fosilnoga sadržaja u naslagama mlađega valendisa vezan je za opisane bioklastične grejnstone. Za te biofacijese znakoviti su i najučestaliji slojevi s gastropodima, te foraminifere i vapnenačke alge (sl. 21). U radovima SOKAČ & VELIĆ (1978, 1979) naveden je najveći broj mikrofossilnih taksona, pa se uz novije odredbe, napravljene za ovaj vodič, može navesti slijedeća zajednica:

*Epimastopora cekici* RADOIČIĆ,  
*Salpingoporella annulata* CAROZZI,  
*Salpingoporella pygmaea* (PIA),  
*Salpingoporella istriana* (GUŠIĆ),  
*Salpingoporella praturloni* (DRAGASTAN),  
*Actinoporella podolica* ALTH,  
*Heteporella paucicalcarea* CONRAD & RADOIČIĆ,  
*Dissocladella hauteriviana* MASSE,  
*Falsolikanella campanensis* (AZEMA & JAFFREZO),  
*Vercorsella camposaurii* (SARTONI & CRESCENTI),  
*Vercorsella tenuis* (VELIĆ & GUŠIĆ),  
*Vercorsella scarsellai* (De CASTRO),  
*?Pseudotextulariella salevensis* CHAROLLAIS et al.,  
*Praechrysalidina infracretacea* LUPERTO-SINNI,  
*Citaella? favrei* CHAROLLAIS et al.,

*Trocholina alpina* (LEUPOLD),  
*Trocholina delphinensis* ARNAUD-VANNEAU,  
*Trocholina sagittaria* ARNAUD-VANNEAU  
*Debarina* sp.

Osim alga i foraminifera određeni su još *Favreina njegosensis* BRÖNNIMANN i hidrozoj *Cladocoropsis mirabilis* FELIX.

Navedena zajednica određuje opisanim vaspencima u kamenolomu Šošići stratigrafsku pripadnost valendisu. Te naslage, kao niti donja kreda u okolini Rovinja i cijeloj Istri, nisu još biostratigrafski zonirane i interpretirane. Istraživanja u tom smislu tek su započela kroz radove za Geološku kartu RH 1:50.000.

#### **Postaja A-5: Stratigrafski slijed gornji otriv-gornji alb - Limska draga kod Dvigrada**

**Stop A-5: Stratigraphic succession from the Upper Hauterivian to the Upper Albian in the Limska draga (north of Kanfanar)**

This profile presents a succession of shallow-water Lower Cretaceous deposits between two emersions: the older between Hauterivian and Barremian, and the younger during the Upper Aptian and Lower Albian.

Upper Hauterivian deposits below the first emersion are represented by massive mudstones and pelletal and fossiliferous wackestones, frequently with fenestral fabric. Emersion breccia with a clayey matrix is very obvious in the field, being overlayed by a 76 m thick sequence of Barremian limestones characterised by shallowing-upward parasequences (Fig. 22). Microfossil assemblages (calcareous algae and foraminifera) proving Barremian age are quoted in the Croatian text.

In the upper part of the profile an c. 15 m thick bed of massive oncolite limestone is visible (*b* on Fig. 24), which is used as a building-stone known under the name *Istarski žuti* (Yellow Istrian). It was deposited in somewhat deeper, protected environments during the Early Aptian. The most frequent fossil component of these limestones is *Bacinella irregularis* RADOIČIĆ, which is commonly present as a core in numerous oncoids.

Above the oncolite there is a 2 to 4 m thick sequence of skeletal grainstones composed of molluscs, gastropods, corals, algae and foraminifera, followed by an c. 2 m thick coquina composed of mollusc shells. These are terminal beds of the Lower Aptian characterised by a shallowing-upward tendency. At this stop the Upper Aptian is represented by deposits only 3 to 4 m thick: shell coquina and wackestones with numerous *Salpingoporella dinarica* RADOIČIĆ. The following emersion, which lasted through the larger part of the Upper Aptian and Lower Albian, will be described at the next stop.

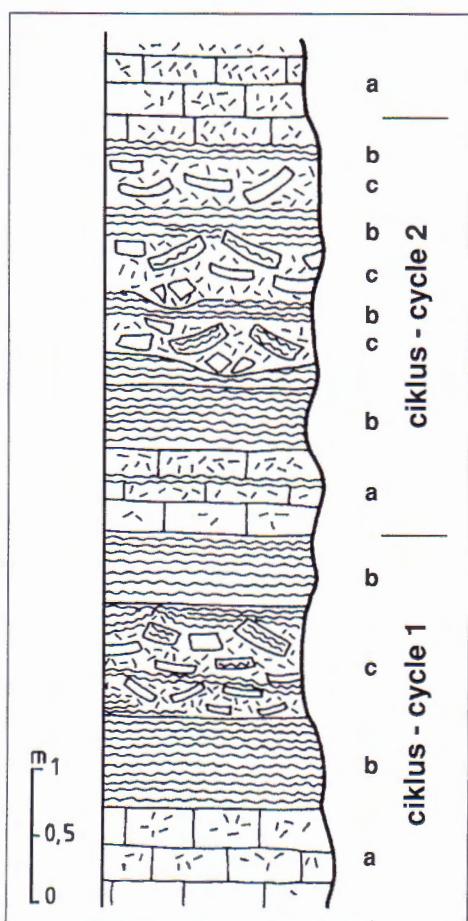
Na padinama Limske drage sjeverno od Kanfanara izvrsno je otkriven neporemećeni slijed gotovo horizontalnih slojeva gornjega otriva, barema, apta i gornjega alba (sl. 24). Međutim, stratigrafski je kontinuitet prekinut dvjema emerzijama: starijom, lokalnom u završnim slojevima otriva i početkom barema, te mlađom, regionalnom emerzijom krajem apta i u donjem albu.

Podinu prve emerzije, koja stratigrafski pripada gornjem otrivu, izgrađuju pretežito niskoenergijski subtajdalni, debelo uslojeni do masivni stitolitizirani mad-

stoni, rjeđe peletni ili ostrakodni vekstoni. Vršni dijelovi slojeva često pokazuju fenestralnu građu, a zatim i erozijske površine na kojima slijede emerzijske breče s glinovitim matriksom bočno promjenljive debljine (10-80 cm). Nakon emerzije uspostavlja se peritajdalni režim sedimentacije s obiljem LLH-stromatolita.

Madstoni i vekstoni sadrže ostatke sitnih foraminifera, vapneničkih alga, ostrakoda, favreina, puževa i školjkaša, iz kojih je određena gornjootrivaška mikrofossilna zajednica sa slijedećim vrstama:

- Clypeina solkani* CONRAD & RADOIČIĆ,
- Salpingoporella annulata* CAROZZI,
- Salpingoporella biokoviensis* SOKAČ & VELIĆ,
- Praturlonella danilovae* (RADOIČIĆ),
- Campanellula capuensis* DE CASTRO,
- Mayncina bulgarica* LAUG et al.
- Favreina njegosensis* BRÖNNIMANN.



Sl. 22 Dva tipa ciklusa oplićavanja naviše u baremu kod Dvigrada (prema TIŠLJAR et al., 1983). Tumačenje: a) fenestralni mikrit/biomikrit - plitki subtajdal; b) LLH-stromatolit - intertajdal; c) peritajdalna olujna breča s fragmentima a i b člana - intertajdal s olujnim valovima.

Fig. 22 Two types of shallowing-upward parasequences in the Barremian deposits near Dvigrad (after TIŠLJAR et al., 1983). Legend: a) fenestral micrite/biomicrite - shallow subtidal; b) LLH-stromatolite - intertidal; c) peritidal tempestite breccia containing fragments of the a and b members - intertidal with storm events.

Na opisanoj emerziji, koja obilježava i granicu otriv-barem, leži 76 m deboj slijed baremskih vapnenaca. Njihovo je glavno obilježje izmjena ciklusa opličavanja naviše, među kojima prevladavaju dva temeljna tipa (sl. 22).

Prvi ciklus sastoji se od članova: *a* - subtajdalni algalni, peletni i fenestralni madstoni, na kojima slijedi član *b* - LLH-stromatolit iz plimne, intertajdalne faze, pa član *c* - plimne i olujne breče nastale razaranjem i fragmentiranjem madstona i stromatolita nabačenih na intertajdalne stromatolitne algalne livade ili u intertajdalne kanale. Na ovima ponovo slijedi *b* član - LLH-stromatolit (sl. 22). Slijed članova u prvom ciklusu je *a-b-c-b (-a)*, a u drugom, nakon početnoga *a-b-c* poretka, na peritajdalnoj breći u izmjeni s LLH stromatolitom, tj. na *c* članu, slijedi ponovno *a* član - algalni fenestralni madston/peletni grejnston.

Na kraju barema talože se bioklastično-kortoidni radstoni s kršjem gastropoda, koralja, školjkaša, hidrozoa, briozoa, alga, foraminifera i intraklasta, koji su kao krupniji sastojci uvaljani u sitnozrnasti karbonatni matriks. Na pojedinim slojevima zapaža se i kosa laminacija (sl. 23) s "pješčanim valovima" (*sand wave*) na gornjim slojnim površinama. Ovaj bioklastično-kortoidni facijes pokazuje sve značajke sekvencije pokrupnjavanja naviše, a najbolje je izražen u sjevernom dijelu (od Heraka prema Poreču).

S paleontološkoga stajališta baremske naslage vrlo su sadržajne i razmjerno bogate. U opisanim subtajdalnim madstonima, a osobito u bioklastično-kortoidnim



Sl. 23 Kosa laminacija u bioklastično-kortoidnim grejnstonima i radstonima najgornjeg barema. Uz krše makrofossila (puževi, školjkaši, koralji, briozoji, hidrozoji) bogate su zajednice vapnenačkih alga i foraminifera. Punta Furlan, sjeverno od Poreča.

Fig. 23 Cross-lamination in bioclastic-cortoid grainstones and rudstones of the latest Barremian. Besides macrofossil debris (gastropods, molluscs, bryozoa, hydrozoa), they are characterised by rich fossil assemblages of calcareous algae and forams. Cape Furlan, north of Poreč.



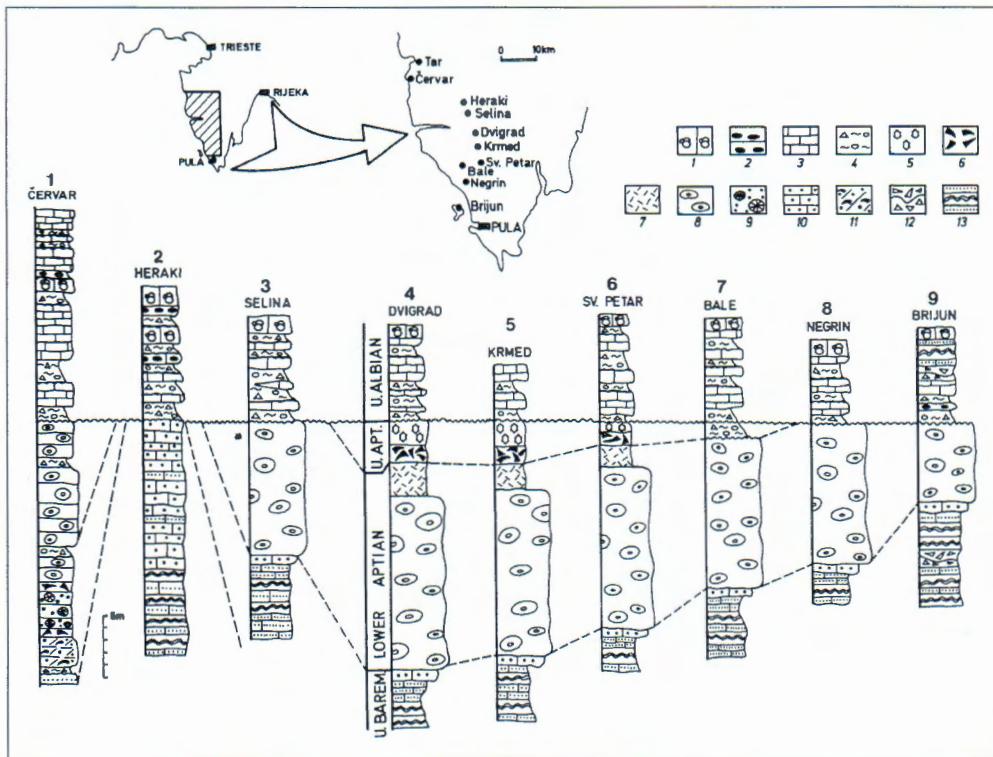
Sl. 24 Neporemećen slijed donjokrednih naslaga od gornjeg otriva do gornjeg alba, profil Sv. Ilija u Limskoj dragi.  
Tumač: a) gornji otriv i barem; b) donji apt - *Istarski žuti*; c) gornji apt, u krovini emerzijske breče raspona gornji apt-baza gornjeg alba; d) gornji alb.

Fig. 24 Undisturbed succession of Lower Cretaceous deposits from the Upper Hauterivian to Upper Albian, St. Ilija profile in Limskia draga. Legend: a) Upper Hauterivian and Barremian; b) Lower Aptian - *Istarski žuti* (Yellow Istrian); c) Upper Aptian and emersion breccia of the stratigraphic range Upper Aptian - basal Upper Albian; d) Upper Albian.

radstonima i peletnim grejnstonima utvrđene su bogate zajednice vapnenačkih alga i foraminifera. Nema literaturnih podataka o odredbama makrofosila - koralja, puževa, školjkaša i dr.

Algalno-foraminferske zajednice biostratigrafski do sada nisu interpretirane, ali se pretpostavlja mogućnost izdvajanja više biozona. Baremska starost ovih naslaga dokazana je nalazima više vrsta krupnih dazikladaceja roda *Salpingoporella*. U mikrofossilnoj zajednici određene su:

*Salpingoporella melitae* RADOIČIĆ,  
*Salpingoporella muehlbergii* (LORENZ),  
*Salpingoporella genevensis* CONRAD,  
*Praturlonella danilovae* (RADOIČIĆ),  
*Cylindroporella ivanovici* (SOKAČ),  
*Humiella pupnatensis* SOKAČ,  
*Clypeina solkani* CONRAD & RADOIČIĆ,  
*Clypeina somalica* CONRAD et al.,  
*Actinoporella* sp.,



Sl. 25 Korelacijska shema dijela donjokrednih naslaga (od barema do gornjeg alba) u Istri (dopunjeno prema VELIĆ et al., 1989). Tumač: 1) foraminferski biomikrit/biosparit; 2) black-pebble breča; 3) mikrit i fenestralni mikrit; 4) emerzijska breča i/ili mud-pebble konglomerat (glinoviti matriks); 5) algalni biomikrit/biosparit; 6) kokina; 7) dobrosortirani biointrasparit; 8) masivni mikrit/onkolit (*Istarski žuti*); 9) biosparrudit (kortoidi, koralji i dr.); 10) intrasparit; 11) koso slojeviti biosparit; 12) tempestit; 13) stromatolit/pelmicrit.

Fig. 25 Correlation scheme of part of the Lower Cretaceous deposits (Barremian to Upper Albian) in Istria (modified after VELIĆ et al., 1989). Legend: 1) foraminiferal biomicrite/biosparite; 2) black-pebble breccia; 3) micrite and fenestral micrite; 4) emersion breccia and/or mud-pebble conglomerate (clay matrix); 5) algal biomicrite/biosparite; 6) coquina; 7) well-sorted biointrasparite; 8) massive micrite/oncolite (*Istarski žuti* - Yellow Istrian); 9) biosparrudite (cortoids, corals, etc.); 10) intrasparite; 11) cross-bedded biosparite; 12) tempestite; 13) stromatolite/pelmicrite.

*Sabaudia minuta* (HOFKER),  
*Vercorsella scarsellai* (DE CASTRO),  
*Novalesia distorta* ARNAUD-VANNEAU,  
*Novalesia cornucopia* ARNAUD-VANNEAU,  
*Mayncina bulgarica* LAUG et al.,  
*Debarina hahounerensis* FOURCADE et al.,  
*Praechrysalidina infracretacea* LUPERTO-SINNI.

Početkom apta uspostavlja se režim sedimentacije u lagunama i/ili zaštićenim plićacima dubljega subtajdala. U odnosu na podinske slojeve u baremu osobito je izraženo naglo produbljavanje koje se odražava kroz cijeli istarski donji apt. Talože

se masivni onkolidni vapnenci. U profilu na sjevernim padinama Limske drage morfološki se osobito ističu kao kompaktan, oko 15 m debeo sloj (sloj *b* na sl. 24 i slojevi *b* i *c* na sl. 26). To je poznati arhitektonsko-građevinski kamen *Istarski žuti*.

Detaljne facijesne značajke i sedimentološka interpretacija ovih donjoaptskih vapnenaca nalaze se u postaji B-3 sedimentološke ekskurzije (TIŠLJAR et al., 1995), a važniji podaci o njihovim tehničkim značajkama i eksploataciji u postaji C-5 ekskurzije o mineralnim sirovinama (GABRIĆ et al., 1995). Da bi se izbjegla ponavljanja u opisima točaka na kojima se susreću aptske naslage, te granični slojevi i kontakt druge megasekvencije (g. titon - g. apt) s trećom megasekvencijom (g. alb - kampan) zadržat ćemo se samo na prikazu njihovih stratigrafskih obilježja.

Gornjoaptska emerzija je regionalni događaj zabilježen na cijeloj Jadranskoj karbonatnoj platformi. Na sl. 25 vidljivo je da se emerzija u Istri na pojedinim lokalitetima različito odrazila po stratigrafskoj praznini koju je uzrokovala: od najveće u okolini Baderne i Heraka, gdje transgresivni gornji alb leži na donjem baremu, do najmanje ovdje u Limskoj dragi i Kanfanaru, gdje gornji alb leži na gornjem aptu. To je rezultat uzročno-posljedične veze, tj. uzajamnog djelovanja tektonike (blago boranje i rasjedanje) i promjena morske razine, kako u dijelu platforme pripadajućem današnjoj Istri, tako i na cijeloj Jadranskoj platformi. Takvi značajni događaji, čije su se posljedice odrazile na apskim i baremskim sedimentima u podni emerzije, kao i gornjoalbska transgresija u njezinoj krovini, vrlo jasno obilježavaju granicu između dviju megasekvencija. Nova megasekvencija gornji alb - kampan započinje oscilirajućom transgresijom, vrlo slično početku prethodne u mlađem titonu.

#### **Postaja A-6: Stratigrafija apskih naslaga i granica dviju megasekvencija u području Limska draga - Kanfanar (kamenolom Kanfanar)**

Stop A-6: Stratigraphic succession of the Aptian deposits and the boundary between two megasequences (Kanfanar quarry)

At this stop the stratigraphical sequence of the Aptian deposits is identical to the previous stop: the Lower Aptian is represented by massive oncrolite *Istarski žuti* (Yellow Istrian; *b* on Fig. 24 and *b, c* on Fig. 26), overlayed by skeletal-bioclastic grainstones and shell coquina. Besides *Bacinella irregularis* RADOIČIĆ and other fossil remains quoted in the Croatian text, the molluscs *Requienia ammonia* (GOLDFUSS) have been found. The Upper Aptian begins with shell coquina and wackestones with *Salpingoporella dinarica*, followed by emersion.

Emersional breccia, which is 1-2 m thick, represents the boundary between the underlying second megasequence (Upper Tithonian - Upper Aptian) and overlying third megasequence (Albian - Campanian).

The younger megasequence begins with oscillating transgression (represented by further 3-6 short-lasting emersions) during the Late Albian. The peritidal parasequences are composed of fenestral mudstones, fossiliferous wackestones and packstones alternating

with high-energy conglomerates and black-pebble breccia. The late Albian age is proven by fossil assemblages quoted in the Croatian text.

Na već opisanim baremskim gastropodnim grejnstonima (*a* na sl. 26) slijedi 15 do 18 m debo "sloj" masivnog onkolinog vapnenca donjega apta iz kojega se vade blokovi arhitektonsko-gradevnog kamena *Istarski žuti* (*b, c* na sl. 26).

Glavno biofaciesno obilježje *Istarskom žutom* daje masovna pojava fosila *Bacinella irregularis* RADOIČIĆ, koju kao jezgru nalazimo u bezbrojnim onkoidima (sl. 27). Za niži dio stupa karakteristični su kokinski floutstoni s ostacima pahiodontnoga školjkaša *Requienia ammonia* (GOLDFUSS) (*c* na sl. 26). U fosilifernim vekstonima u prostorima između baćinelskih onkoida nalaze se pojedinačni ostaci alge *Salpingoporella dinarica* RADOIČIĆ i foraminifera:

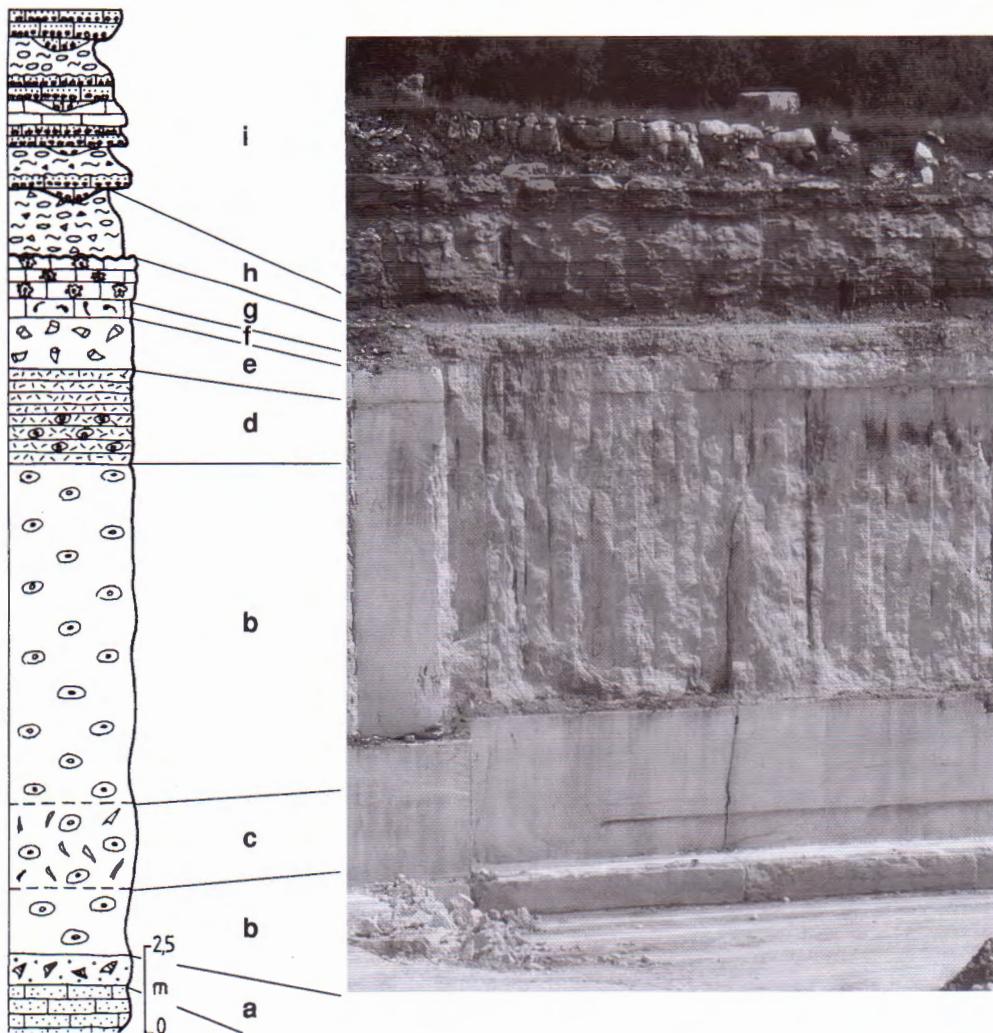
*Palorbitolina lenticularis* (BLUMENBACH),  
*Sabaudia briacensis* ARNAUD-VANNEAU,  
*Sabaudia minuta* (HOFKER),  
*Vercorsella scarsellai* (DE CASTRO),  
*Vercorsella laurentii* (SARTONI & CRESCENTI),  
*Novalesia distorta* ARNAUD-VANNEAU,  
*Praechrysalidina infracretacea* LUPERTO-SINNI,  
*Debarina hahounerensis* FOURCADE et al.,  
*Mayncina bulgarica* LAUG et al.,  
*Voloshinoides murgensis* LUPERTO-SINNI & MASSE,  
"Barkerina" sp.

Osobito su vrijedni vrlo rijetki nalazi za donji apt provodne i zato važne orbitoline *Praeorbitolina cormyi* SCHROEDER.

U krovini baćinskog onkolita slijedi 2-4 m debo sloj šupljikavih skeletno-bioklastičnih grejnstona s kršjem školjkaša, puževa, koralja, alga, baćinskim onkoidima i mnoštvom foraminifera u kojemu su također određeni svi prethodno navedeni taksoni (*d, e* na sl. 26; *a* na sl. 28). Naviše na opisanim grejnstonima leže do 1,5 metara debeli slojevi floutstona izgradenog od nesortiranog i nezaobljenog kršja školjkaša (*f* na sl. 26; *b* na sl. 28). Ovaj dio stupa iznad baćinelskih onkolita, tj. *Istarskog žutog*, pokazuje tendenciju opličavanja i okrupnjavanja naviše, što je nagovještaj nastupajuće emerzije. U kronostratigrafском pogledu to su prijelazni horizonti iz donjega u gornji apt.

Biostratigrafski donji apt Istre ne može se zonirati kao u drugim područjima Jadranske karbonatne platforme zbog slabe zastupljenosti uže provodnih orbitolinidnih vrsta. Zato se opisane naslage mogu neformalno izdvojiti u *Palorbitolina lenticularis* rasponsku ili *taxon-range zonu*.

Gornji apt šire okolice Kanfanara predstavljen je sa svega 3-4 metra debelim naslagama. Izgraduju ih 0,5 do 1,5 m debeli slojevi školjkovitih floutstona (*b* na sl. 28) i 0,2 do 0,4 m debeli slojevi salpingoporelskih vekstona (*c* na sl. 28).



Sl. 26 Korelacija istovremenih naslaga okoline Dvigrada (geološki stup) i kamenoloma Kanfanar (fotografija). Tumač: a) gastropodni grejnston - gornji barem; b) baćinelski onkolit - donji apt; c) baćinella oncolite with *Requienia* - Upper Aptian; d) bioklastično-skeletni grejnston - Lower Aptian; e) bioklastični grejnston s kršjem pahiodontnih školjkaša - Lower Aptian; f) školjkoviti floutston - Upper Aptian; g) biomikrit sa *Salpingoporella dinarica* - Upper Aptian; h) emersion breccia bounding two megasequences - Upper Aptian-basal Upper Albian; i) oscillating transgression of the Upper Albian represented by alternation of thin-bedded mudstones and wackestones, black-pebble breccia and emersion breccio-conglomerates.

Fig. 26 Correlation of the contemporaneous deposits of Dvigrad surroundings (geological column) and the Kanfanar quarry (photograph). Legend: a) gastropod grainstone - Upper Barremian; b) *Bacinella* oncrite - Lower Aptian; c) *Bacinella* oncrite with *Requienia* - Upper Aptian; d) bioclastic-skeletal grainstone - Lower Aptian; e) bioclastic grainstone with pachiodont molluscs debris - Lower Aptian; f) bivalve floatstone - Upper Aptian; g) biomicrite with *Salpingoporella dinarica* - Upper Aptian; h) emersion breccia bounding two megasequences - Upper Aptian-basal Upper Albian; i) oscillating transgression of the Upper Albian represented by alternation of thin-bedded mudstones and wackestones, black-pebble breccia and emersion breccio-conglomerates.



a

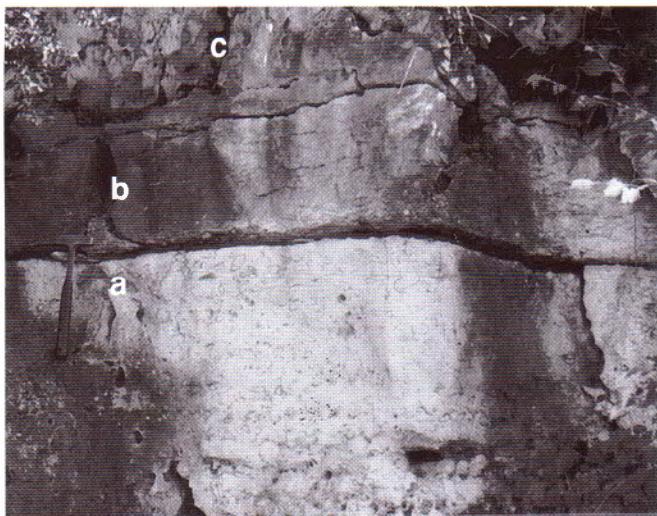


b

Sl. 27 Baćinelski onkolitni vapnenac - Istarski žuti. Donji apt. Piljene i polirane ploče: a) paralelno sa slojevitosti (poklopac objektiva je promjera 60 mm); b) okomito na slojevitost, pri čemu se vidi izmjena onkolitnih i mikritnih slojeva (mjerilo u cm).

Fig. 27 *Bacinella* oncólite - *Istarski žuti* (Yellow Istrian). Lower Aptian. Polished samples: a) parallel to bedding (objective cap for scale is 60 mm in diameter); b) normal to bedding, with alternation of oncólite and micrite beds (scale in cm).

Ljušturni ostaci u kokinama do sada nisu obradivani, pa nema podataka o kojim se skupinama makrofosila radi. U muljnim dijelovima kokina česti su, mjes-timice i masovni, presjeci alge *Salpingoporella dinarica* RADOIČIĆ i foraminifere *Praechrysalidina infracretacea* LUPERTO-SINNI. *S. dinarica* u gornjemu aptu postiže maksimum razvoja, kako na cijeloj Jadranskoj platformi (VELIĆ & SOKAČ, 1983), tako i u Istri.



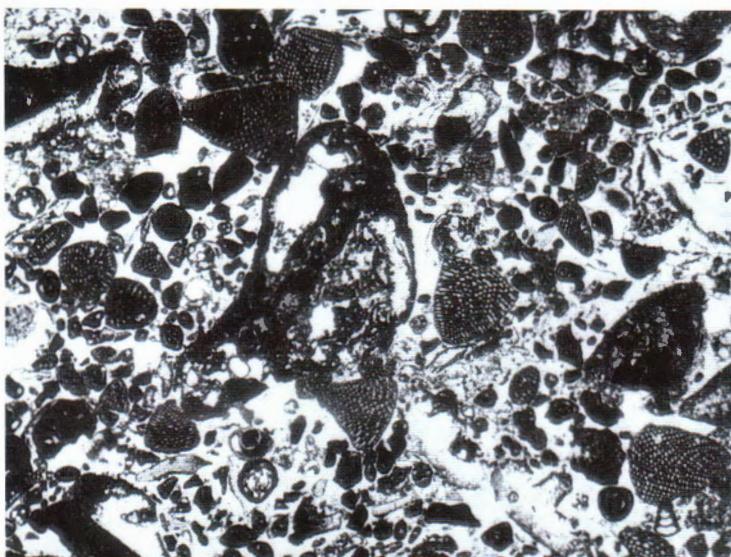
Sl. 28 Granični slojevi donji-gornji apt u Limskoj dragi. Tumač: a) skeletno-bioklastični grejNSTON - donji apt; b) školjkoviti flout-STON - početak gornjeg apta; c) salpingoporeLSKI vekSTON - gornji apt.

Fig. 28 Boundary between Lower and Upper Aptian deposits in Limska draga. Legend: a) skeletal-bioclastic grainstone - Lower Aptian; b) bivalve floatstone - beginning of Upper Aptian; c) *Salpingoporella* wackestone - Upper Aptian.

Premda je debljinski gotovo zanemariv, gornji apt zapadne Istre biostratigrafski se može neformalno izdvojiti kao *Salpingoporella dinarica abundance* zona, tj. zona "obilja", ranije **epibola** ili **acme-zona**. U paleogeološkom pogledu prisutnost gornjega apta u široj okolini Kanfanara izuzetno je važna s obzirom na paleotektonске i okolišne promjene na istarskom dijelu Jadranske karbonatne platforme od barema do gornjega alba. To je već opisano u drugim radovima u ovome Vodiču, kao i u nekim prethodnim radovima (vidi VELIĆ & TIŠLJAR, 1987; VELIĆ et al., 1989).

Na salpingoporelskim vaspencima gornjega apta leži od 1-2 metra debeo sloj emerzijskih breča/konglomerata. Izgrađeni su od ulomaka i valutica apatskih vaspencaca uloženih u matriks emerzijskih glina i/ili laporanih (*h* na sl. 26). Ovaj sloj razgraničava dvije megasekvencije, pa je u regionalnom pogledu vrlo značajan za Istru i susjedne terene (na pr. Ćićarija, Cres). Granica između megasekvencije gornji titon - gornji apt i megasekvencije gornji alb - kampan obilježava protezanje upravo ovoga emerzijskog sloja kroz zapadnu Istru od Punte Furlan (sjever. od Poreča), preko Seline, Kanfanara i Bala do Barbarige (južno od Rovinja) i otoka Veli Brijun (sl. 25). Detaljan opis i interpretacija facijesa, okoliša i dogadaja vezanih uz ovu emerziju može se naći u vodiču sedimentološke ekskurzije u postaji B-3 (TIŠLJAR et al., 1995). Ono što je potrebito naglasiti kod opisa ove postaje jest činjenica da je stratigrafska praznina kao posljedica opisane emerzije u okolini Kanfanara najmanja: od gornjega apta u podini do gornjega alba u krovini emerzijskih breča/konglomerata. Sjeverno i južno od ovoga dijela Istre hijatus se povećava, a najveći je sjeverozapadno, između Heraka i Baderne (sl. 25), gdje su u podini breča/konglomerata utvrđeni donjobaremski vaspenci i, mjestimice, tragovi boksita. Najnoviji rezultati istraživanja pokazuju da su neposredna krovina emerzijskim brečama/konglomeratima gornjoalbski vaspenci i konglomerati iz oscilirajuće transgresije (*i* na sl. 26). U sklopu

učestalih lokalnih emerzija i razmjerno dugotrajnih održavanja peritajdalnih uvjeta (kroz otriv i barem) do opisane glavne gornjoaptske emerzije, nisu neobični nalazi baremskih tragova stopala dinosaura na otoku Veli Brijun (VELIĆ & TIŠLJAR, 1987) i najnovija otkrića kostiju, pa moguće i čitavih skeleta dinosaura u plitkom podmorju južno od Rovinja (DALLA VECCHIA, 1995).



Sl. 29 Skeletno-peloidni grejNSTON s kršjem moluska i *Valdanchella dercourtii* i *Neairaqua insolita*. Gornji alb, Limska draga (član d na sl. 24 i i na sl. 26). 6x.

Fig. 29 Skeletal-peloid grainstone with mollusc debris and *Valdanchella dercourtii* and *Neairaqua insolita*. Upper Albian, Limska draga (member d on Fig. 24 and i on Fig. 26). 6x.

U kamenolomu Kanfanar i njegovoј široј okolici (sl. 26) na sloju emerzijskih breča/konglomerata gornjoaptsko-donjoalbske starosti slijedi transgresivni gornji alb. Radi se o već opisanoj oscilirajućoj transgresiji kao posljedici opće ingressije istarskoga dijela Jadranske karbonatne platforme početkom gornjega alba. To je ujedno i početak nove megasekvencije stratigrafskog raspona od gornjega alba do zaključno kampana (vidi postaju B-3 i poglavlje 2 u sedimentološkoj ekskurziji, TIŠLJAR et al., 1995). Zato se u opisu litofacijesa i interpretaciji okoliša može tek usputno spomenuti da je početni dio naslaga albske transgresije uglavnom predstavljen izmjenom slojeva peritajdalnih fenestrálnih madstona, fosilifernih vekstona, rijetko i pekstona s visokoenergijskim konglomeratima i *black-pebble* brečama, uz utvrđenih 3 do 6 kraćih emerzija. Posebnost stratigrafskog slijeda u kamenolomu Kanfanar predstavljaju opetovani reduktivni, vjerojatno močvarni, taložni uvjeti, koji su izraženi zacrnjavanjem prethodno istaloženih peritajdalnih gornjoalbskih vapnenaca (*i* na sl. 26). Takvo je obojenje posljedica prisutnosti pirita nastalog životnim procesima bakterija koje reduciraju sulfatne.

Zahvaljujući prisutnosti za gornji alb provodnih foraminifera, tzv. "primitivnih" orbitolinida nađenih u fosilifernim vekstonima-pekstonima u prvim slojevima transgresivnoga slijeda, odredena je njegova stratigrafska pripadnost gornjem albu.

Mikrofossilna zajednica sadrži oblike različitoga stratigrafskoga raspona i provodnosti. Prvenstvo svakako pripada spomenutim orbitolinidama i to vrstama:

*"Valdanchella" dercouri* DECROUEZ & MOULLADE,  
*Neoiraquia insolita* (DECROUEZ & MOULLADE) i  
*Paracoskinolina fleuryi* DECROUEZ & MOULLADE.

One su kao zajednica (sl. 29) s ovdje također nađenom algom *Salpingoporella turgida* RADOIČIĆ provodne za gornji alb krških Dinarida, dotično Jadranske karbonatne platforme (VELIĆ & SOKAČ, 1983). Uz spomenute oblike u gornjem albu okolice Kanfanara nalaze se i foraminifere širega raspona:

*Nummuliculina heimi* BONET,  
*Cuneolina parva* HENSON,  
*Cuneolina pavonia* D'ORBIGNY,  
*Vercorsella scarsellai* (DE CASTRO),  
*Vercorsella laurentii* (SARTONI & CRESCENTI),  
*Sabaudia minuta* (HOFKER),  
*Sabaudia auruncensis* (CHIOCCHINI & DI NAPOLI)  
*Mayncina bulgarica* LAUG et al. i  
*Nezzazatinella picardi* (HENSON).

Također su prisutne i mnogobrojne sitne miliolide, ataksofragmiide i druge specifički neodredive foraminifere.

U biostratigrafском pogledу naslage gornjega alba Istre moguće bi se detaljno zonirati. Međutim, do sada takva istraživanja nisu obavljena, pa ostaje zaključak da se ove naslage mogu uvrstiti u zonu "Valdanchella" dercouri, koju su za gornji alb krških Dinarida u Hrvatskoj postavili VELIĆ & SOKAČ (1978). Prema rezultatima dosadašnjih biostratigrafskih istraživanja u Istri zona "Valdanchella" dercouri bila bi tzv. **rasponska ili taxon-range zona**.

Ovom biostratigrafском odrednicom zaključili bismo opis kako ove postaje tako i cjelokupne stratigrafko-tektonske ekskurzije Prvoga hrvatskog geološkog kongresa.

## LITERATURA - REFERENCES

- DALLA VECCHIA, F.M. (1995): Jurassic and Cretaceous sauropod evidence in the Mesozoic carbonate platforms of the Southern Alps and Dinarids.- Gaia, 8, 1-9.
- GABRIĆ, A., GALOVIĆ, I., SAKAČ, K. & HVALA, M. (1995): Mineralne sirovine Istre - neka ležišta boksita, arhitektonsko-građevinskog kamena i kvarcnoga "pijeska", ekskurzija C (Mineral deposits of Istria - some deposits of bauxite, building-stone and quartz "sand", Excursion C).- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Vodič ekskurzije (The First Croatian Geological Congress, Excursion Guide-book), 111-137, Zagreb.
- MARINČIĆ, S. & MATIČEC, D. (1991): Tektonika i kinematika deformacija na primjeru Istre (Tectonics and kinematic of deformations - an Istrian model).- Geol. vjesnik, 44, 247-268, Zagreb.
- POLŠAK, A. (1965): Stratigrafija jurskih i krednih naslaga srednje Istre (Stratigraphie des couches jurassiques et crétacées de l'Istrie centrale).- Geol. vjesnik, 18/1, 167-184, Zagreb.
- POLŠAK, A. & ŠIKIĆ, D. (1973): Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Rovinj (Geology of Rovinj sheet).- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1963), Savezni geološki zavod, 51 str. (p.), Beograd.
- SALVADOR, A. (ed.) (1994): International Stratigraphic Guide.- Int. Subcomm. on Stratigr. Classif. of IUGS, Int. Comm. on Stratigraphy, The Geological Society of America, XIX+214 p., Boulder, Co.
- SEPTFONTAINE, M., ARNAUD-VANNEAU, A., BASSOULLET, J.P., GUŠIĆ, I., RAMALHO, M. & VELIĆ, I. (1991): Les foraminifères imperforés des plates-formes carbonatées jurassiques: état des connaissances et perspectives d'avenir.- Bull. Soc. vaud. Sc. nat., 80/3, 255-277, Lausanne.
- SOKAČ, B. & VELIĆ, I. (1978): Biostratigrafska istraživanja donje krede Vanjskih Dinarida (I). Neokom zapadne Istre (Biostratigraphic investigations of the Lower Cretaceous of the Outer Dinarids I. The Neocomian of western Istria.- Geol. vjesnik, 30/1, 243-250, Zagreb.
- SOKAČ, B. & VELIĆ, I. (1979): Excursion J, Limska Draga: Lower Cretaceous in western Istria.- 16th European micropaleont. coll., 209-215, Ljubljana.
- TIŠLJAR, J. & VELIĆ, I. (1987): The Kimmeridgian tidal-bar calcarenite facies of western Istria, western Croatia, Jugoslavia (Oberjurassische Gezeitenbarren-Kalkarenit-Fazies im westlichen Istrien, Jugoslawien).- Facies, 17, 277-284, Erlangen.

- TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., RADOVČIĆ, J. & CRNKOVIĆ, B. (1983): Upper Jurassic and Cretaceous peritidal, lagoonal, shallow marine and perireefal Sediments of Istria.- In: BABIĆ, Lj. & JELASKA, V. (eds.): Contribution to Sedimentology of Some Carbonate and Clastic Units of the Coastal Dinarides. Excursion Guidebook, 4th I.A.S. Regional Meeting, 13-35, Split.
- TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., MATIČEC, D. & VELIĆ, I. (1995): Platformni faciesi od gornjeg titona do gornjega alba u zapadnoj Istri i prijelaz u tempestitne, klinoformne i rudistne biolititne facijese donjega cenomana u južnoj Istri, ekskurzija B (Platform facies from the Upper Tithonian to Upper Albian in western Istria and transition into tempestite, clinoform and rudist biolithite facies of the Lower Cenomanian in southern Istria).- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Vodič ekskurzije (The First Croatian Geological Congress, Opatija 1995, Excursion Guide-book), 67-110, Zagreb.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1978): Zone s orbitolinidama u krednim naslagama krškog dijela hrvatskih Dinarida (Orbitolidae biozones in the Cretaceous deposits of the Croatian Karst Dinarides).- IX Kongres geol. Jugosl. Sarajevo 1978, Zbornik radova, 215-222, Sarajevo.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1983): Stratigraphy of the Lower Cretaceous index-fossils in the Karst Dinarides (Yugoslavia).- *Zitteliana*, 10, 485-491, München.
- VELIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1987): Biostratigrafske i sedimentološke značajke donje krede otoka Veli Brijun i usporedba s odgovarajućim naslagama jugozapadne Istre (Biostratigraphic and sedimentological characteristics of the Lower Cretaceous deposits of the Veli Brijun Island and comparison with the corresponding deposits in SW Istria (Western Croatia, Yugoslavia).- *Geol. vjesnik*, 40, 149-168, Zagreb.
- VELIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1988): Litostratigrafske jedinice u dogeru i malmu zapadne Istre (Lithostratigraphic units in the Dogger and Malm of western Istria).- *Geol. vjesnik*, 41, 25-49, Zagreb.
- VELIĆ, I., TIŠLJAR, J. & SOKAČ, B. (1989): The variability of thicknesses of the Barremian, Aptian and Albian carbonates as a consequence of changing depositional environments and emersion in western Istria (Croatia, Yugoslavia).- *Mem. Soc. Geol. It.*, 40 (1987), 209-218, Roma.
- VELIĆ, I., TIŠLJAR, J., MATIČEC, D. & VLAHOVIĆ, I. (1995): Opći prikaz geološke građe Istre (A review of the geology of Istria).- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Vodič ekskurzije (The First Croatian Geological Congress, Opatija 1995, Excursion Guide-book), 5-30, Zagreb.



**Platformni facijesi od gornjeg titona do gornjega alba u zapadnoj  
Istri i prijelaz u tempestitne, klinoformne i rudistne biolititne  
facijese donjega cenomana u južnoj Istri  
(ekskurzija B)**

Platform Facies from the Upper Tithonian to Upper Albian in Western  
Istria and Transition into Tempestite, Clinoform and Rudist Biolithite  
Facies of the Lower Cenomanian in Southern Istria  
(Excursion B)

Josip TIŠLJAR<sup>1</sup>, Igor VLAHOVIĆ<sup>2</sup>, Dubravko MATIČEC<sup>2</sup> & Ivo VELIĆ<sup>2</sup>

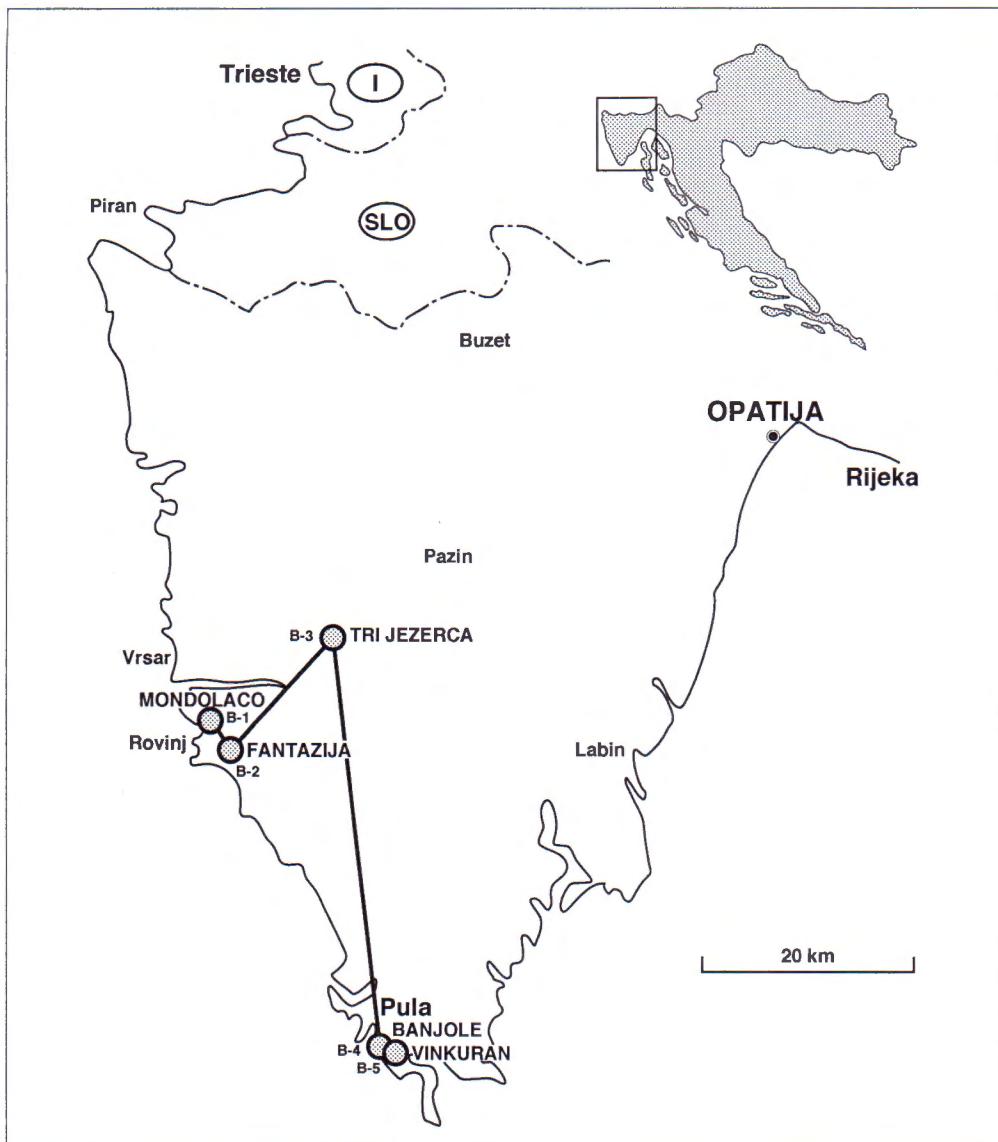
**1. OPĆE STRATIGRAFSKO-SEDIMENTOLOŠKE ZNAČAJKE GORNJE  
JURE I DONJE KREDE ZAPADNE ISTRE**

U zapadnoj Istri sedimentološka ekskurzija postajama B-1 i B-2 obuhvaća plitkomorske ciklički taložene karbonatne sedimente gornjega titona i berijasa, a postajom B-3 donjoaptske lagunske vapnence, gornjoaptsku emerziju i albske transgresivne kabonate (sl. 1). Gornjotitonski, berijaski i apski karbonati pripadaju drugoj transgresivno-regresivnoj megasekvenci, a albski transgresivni karbonati trećoj megasekvenci jursko-donjokrednih platformnih karbonata zapadne Istre.

Prva regresivna megasekvencija obuhvaća najstarije otkrivene jurske naslage zapadne Istre, a završava kimeridž-donjotitonskom emerzijom (sl. 2). VELIĆ & TIŠLJAR (1988) su unutar ove megasekvencije izdvojili ove litostratigrafske jedinice: a - *Monsena mikrite*, taložene u rasponu bat - stariji oksford u lagunskim i subtajdalnim okolišima; b - *Lim peletne vapnence* taložene tijekom oksforda u niskoenergijskim subtajdalnim okolišima, uglavnom iznad osnovice valova lijepa vremena, koji lateralno prelaze u ooidno-bioklastične plimne prudove, odnosno u

<sup>1</sup>Sveučilište u Zagrebu, RGN fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska.

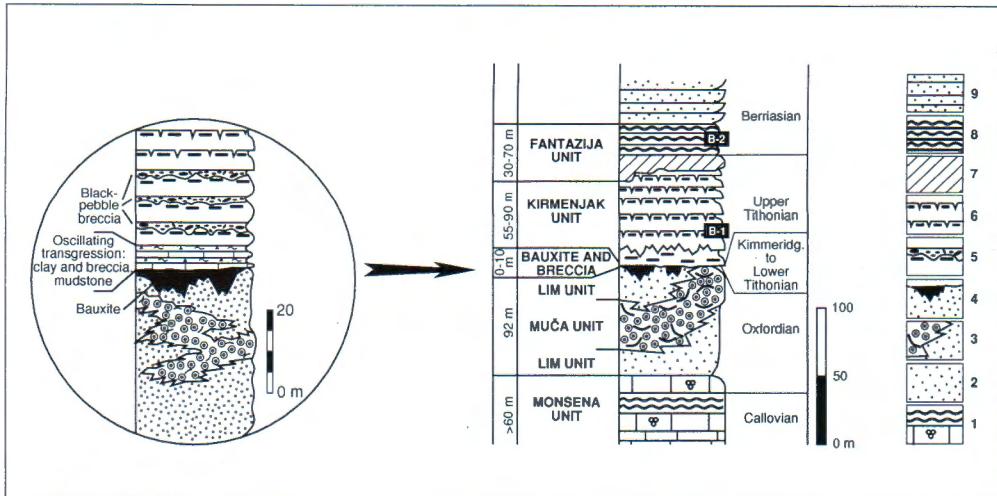
<sup>2</sup>Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Zemljovid s naznačenim postajama sedimentološke ekskurzije.

Fig. 1 Location map.

jedinicu c - *Muča ooidno-bioklastične vapnence*; d - *Rovinjske breče* nastale pri snižavanju morske razine krajem oksforda i najstarijega kimeridža, te boksitna ležišta nastala u emerijskoj fazi tijekom kimeridža i starijega titona (sl. 2). Detaljnije podatke o stratigrafskim, sedimentološkim i tektonskim značajkama jurskih sedimenta vidi u ovom vodiču - ekskurzija A (VELIĆ et al., 1995).



Sl. 2 Pregledni geološki stup jurskih i starijih donjokrednih naslaga zapadne Istre s položajem postaja B-1 i B-2 ekskurzije i detaljnijim prikazom emerzije s boksitima (iz TIŠLJAR et al., 1994, djelomice dopunjeno na temelju litostratigrafskih jedinica VELIĆ & TIŠLJAR, 1987). Tumač: 1) Monsena mikriti: dobroslojeviti foraminiferski vekstoni/madstoni (niskoenergijski subtajdal ili laguna); 2) Lim peletni vapnenci: debeloslojeviti i masivni sitnozrnnasti peletni pekstoni/vekstoni (niskoenergijski subtajdal - kasni HST), s lateralnim ekvivalentom - Muča jedinicom; 3) Muča ooidni i bioklastični vapnenci: debeloslojeviti ooidni grejnstoni i bioklastični radstoni sastavljeni od ooida i bioklasta briozoa, koralja, stromatoporoida i foraminifera (visokoenergijski facijes plimnog pruda - progredacija tijekom kasnog HST); 4) Rovinjske breče i boksiti: regresivne breče (LST), te emerzijske breče i boksiti (nastali tijekom dugotrajne kopnene faze); 5) Niži dio Kirmenjak stilolitiziranih mikrita: izmjena glina, breča i madstona (talzoj oscilirajuće transgresije - TST); 6) Kirmenjak stilolitizirani mikriti: parasekvencije oplicaavanja naviše sastava black-pebble breča - madston - fenestralni madston s erozijskom površinom ili desikacijskim pukotinama, nerijetko s talozima olujnih plima (peritajdalni ciklus sa smanjivanjem udjela subtajdalnog facijesa naviše taloženi tijekom HST i početka LST); 7) kasnodijagenetski dolomitizirane naslage Kirmenjak stilolitiziranih mikrita; 8) Fantazija dolomiti: parasekvencije oplicaavanja naviše: kasnodijagenetski dolomitizirani subtajdalno-intertajdalni vapnenci - supratajdalni ranodijagenetski dolomiti s fenestralnim stromatolitima, desikacijama i erozijskim površinama (LST); 9) Berriasan shallowing-upward parasekvencije oplicaavanja naviše: peletni vekstoni-favreinski pekstoni/grejnstoni i/ili LLH stromatoliti (TST-HST).

Fig. 2 Schematic geological column of jurassic and older Lower Cretaceous deposits of western Istria with position of stops B-1 and B-2 of this excursion and detail of emersion with bauxite deposits (after TIŠLJAR et al., 1994, partly modified according to lithostratigraphic units from VELIĆ & TIŠLJAR, 1987). Legend: 1) *Monsena micrites*: well-bedded foraminifera wackestone/mudstones (low-energy subtidal or lagoon); 2) *Lim pellet lime-stones*: thick-bedded and massive fine-grained pelletal packstone/wackestones (low-energy subtidal - late HST), with its lateral counterpart - *Muča unit*; 3) *Muča ooid and bioclastic limestones*: thick- bedded ooid grainstones and bioclastic rudstones composed of ooids and bioclasts bryozoans, corals, stromatoporoids and foraminifera (high-energy tidal-bar facies prograding during LST); 4) *Rovinj breccia and bauxites*: regressive breccia (LST), and emersion breccia and bauxite (formed during long-lasting emersion phase); 5) Lower part of the *Kirmenjak stylolitised micrites*: alternation of clay, breccia and mudstone (deposits of oscillating transgression - TST); 6) *Kirmenjak stylolitised micrites*: shallowing-upward parasequences consisting mostly of black-pebble breccia - mudstone - fenestral mudstone with erosional surfaces or desiccation cracks, frequently capped by storm-tide deposits (peritidal with an upward decreasing proportion of subtidal facies deposited during HST and beginning of LST) 7); late-diagenetically dolomitised *Kirmenjak stylolitised micrites*; 8) *Fantazija dolomites*: shallowing-upward parasequences consisting mostly of late- diagenetically dolomitised subtidal-intertidal deposits - supratidal early-diagenetic dolomites capped by fenestral stromatolites, desiccation cracks and erosional surfaces; 9) Berriasan shallowing-upward parasequences consisting mostly of pelletal wackestones - favreina packstone/grainstones and/or LLH stromatolites (TST-HST).

Druga transgresivno-regresivna megasekvencija gornjojursko-donjokrednih karbonata zapadne Istre započinje oscilirajućom transgresijom i taloženjem gornjotonskih karbonata u obliku ciklusa oplicačavanja naviše (postaja B-1 ove ekskurzije), odnosno litostratigrafskom jedinicom *Kirmenjak stitolitiziranih mikrita* (VELIĆ & TIŠLJAR, 1988). Njezin je vršni dio na različitim mjestima različito duboko zahvaćen kasnodijagenetskom dolomitizacijom (član 7 na sl. 2). Na njoj slijedi litostratigrafska jedinica *Fantazija dolomita* berijaske starosti (postaja B-2 ove ekskurzije), koja se odlikuje ritmičnom izmjenom, tj. parasekvencijama oplicačavanja naviše sastavljenim od potpuno kasnodijagenetski dolomitiziranih subtajdalnih i intertajdalnih vapnenaca i ranodijagenetskih supratajdalnih dolomita (TIŠLJAR, 1977). Na *Fantazija dolomitima* slijedi više litostratigrafskih jedinica, odnosno facijesa kronostratigrafskog slijeda od berijasa, preko valendisa, otriva i barema do donjega apta, sastavljenih od peritajdalnih vapnenaca, često s ciklusima oplicačavanja naviše. Ciklusi obično započinju subtajdalnim peletnim vekstonima/pekstonima a završavaju intertajdalnim LLH-stromatolitima s ili bez desikacija, erozijskim površinama i emerijskim brečama (TIŠLJAR et al., 1983). Ti su facijesi detaljnije prikazani u okviru stratigrafske ekskurzije A (VELIĆ et al., 1995, postaje A-4 i A-5).

Donji apt se odlikuje masivnim onkoidnim floutston i madston vapnencima taloženim u niskoenergijskom subtajdalnu i laguni. Gornji je apt u zapadnoj Istri pretežito zastupljen emerijskim brečama i konglomeratima s glinovitim i laporovitim matriksom (postaja B-3 ove ekskurzije), a samo mjestimice, zbog različita početka i trajanja emerzije na različitim mjestima, i plitkomorskim peletnim i salpingoporelskim vekstonima/pekstonima do grejstonima, te lamelibranhiatnim floutstonima (VELIĆ et al., 1989; sl. 25 i 26, te postaje A-4 i A-5 u stratigrafskoj ekskurziji - VELIĆ et al., 1995). Gornjoaptskom emerzijom završava druga transgresivno-regresivna megasekvencija taloženja platformnih karbonata zapadne i središnje Istre.

Treća megasekvencija platformnih peritajdalnih karbonata započinje postupnom i oscilirajućom transgresijom početkom mlađega alba (postaja B-3 ove ekskurzije).

#### **Postaja B-1: Ciklusi oplicačavanja naviše s *black pebble*-brečama (gornji titon, stari kamenolom Mondolaco kod Rovinja)**

Stop B-1: Shallowing-upward parasequences with black-pebble breccia (Upper Tithonian, old quarry Mondolaco near Rovinj)

In the old quarry of Mondolaco near Rovinj (Fig. 3) the Upper Tithonian peritidal limestones outcrop in c. 13 m thick cyclical succession (Fig. 4). They represent the lower part of approximately 63 m thick Upper Tithonian limestones (lithostratigraphic unit *Kirmenjak stylolitised micrites* - VELIĆ & TIŠLJAR, 1988), which have been well known for centuries



Sl. 3 Stari kamenolom Mondolaco kod Rovinja u gornjotitonskim vapnencima s deset parasekvencija opločavanja naviše.

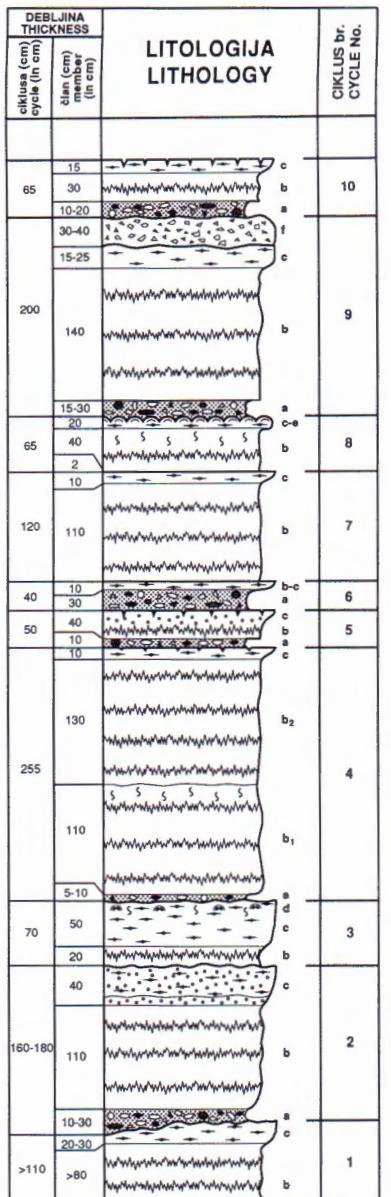
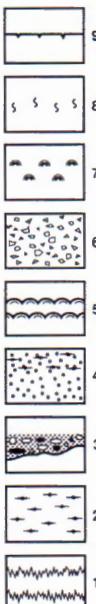
Fig. 3 Old Mondolaco quarry near Rovinj: Upper Tithonian limestones composed of ten shallowing-upward parasequences.

under the name *Pietra d'Istria* or *Orsera* as the building stone used for the construction of many buildings and palaces in Venice, Ravenna and Loret.

This unit represents the first part of the second transgressive-regressive megasequence of Jurassic-Cretaceous shallow-water carbonates of Western Istria. Above the underlying bauxites it begins with oscillating transgression characterised by thin beds of mudstones, clayey marls, clays and black-pebble breccia (Fig. 2).

Stop 1 represents shallowing-upward parasequences composed of three members (Figs. 3 and 4):

- 1) a thin, laterally variable bed of black-pebble breccia with carbonate, clayey or marly matrix. This member was formed by the redeposition of material originating from marsh deposits enriched in organic matter, which was eroded and transported during a rise in the relative sea-level.
- 2) thick (100 to 200 cm) stylolitised mudstone with rare bioclasts of *Clypeina jurassica* FAVRE, *Salpingoporella annulata* CAROZZI, *Campbelliella striata* (CAROZZI). In some parasequences its upper part is characterised by vertical bioturbations, fenestral fabric, desiccation cracks and erosional surfaces. This member was deposited in low-energy subtidal.
- 3) in this part of the *Kirmenjak* sequence the third member is not always present (it is typical of the middle and upper parts of the unit). It is characterised by variable lithology and structural fabric. At this Stop it is predominantly represented by vadose fabrics, intraclasts with pisoid coatings, and in places by brackish to fresh water(?) stromatolites. The upper bedding surfaces are sharp, irregular with desiccation cracks and/or erosional features. This member was formed in an intertidal and/or vadose zone.

TUMAČ:  
LEGEND:

Sl. 4 Geološki stup gornjotitonskih vapnenaca s ciklusima opločavanja navise u starom kamenolomu Mondolaco kod Rovinja. Tumač: **Litologija i tekture** - 1) stilolitizirani madston; 2) fenestralni madston; 3) black-pebble breča s vapnenačkim, glinovitim ili laporovitim matriksom taložena iznad erozijske površine; 4) izmjena intraklastičnog pekstona/grejnstona i madstona s fenestralnom gradom u gornjem dijelu; 5) poluloptaste stromatolitne kore; 6) emerzijiska breča; 7) vadozne tvorevine - pisoidi; 8) bioturbacije; 9) desikacijske pukotine. **Interpretacija** - a) preplavljanje uz taloženje plimom i valovima naplavljjenog glinovitog i karbonatnog detritusa (uključujući i znatan udio crnih fragmenata erodiranih močvarnih taloga) u depresijama supratajdalna i plimnim kanalima intertajdalna; b) niskonergijski subtajdal; c) donji do gornji intertajdal; d) meteorska i/ili vadozna zona; e) vjerojatno oslađena priobalna jezera i plićaci; f) kratkotrajna emerzija.

Fig. 4 Geological column of Upper Tithonian shallowing-upward cycles (parasequences) in old Mondolaco quarry near Rovinj. Legend: **Lithology and structures** - 1) stylolithised mudstone; 2) fenestral mudstone; 3) black-pebble breccia with carbonate, clayey or marly matrix deposited on top of erosional surface; 4) alternation of intraclastic packstone/grainstones and mudstones with fenestral fabric in the upper part; 5) hemispheroid stromatolite structures; 6) emersion breccia; 7) vadose fabrics - pisoids; 8) bioturbations; 9) desiccation cracks. **Interpretation** - a) inundation with deposition of clayey and carbonate detritus (including frequent black-pebbles originating from destruction and reworking of blackened marsh deposits) within subtidal depressions and tidal channels; b) low-energy subtidal; c) lower to upper intertidal; d) meteoric and/or vadose zone; e) probable fresh-water influenced shallows and near-shore lakes; f) short-lasting emersion.

The complete sequence of the *Kirmenjak Unit* is characterised by a gradual change in the parasequence composition and thickness. Generally, the succession shows a decrease in the thickness of the subtidal members (second member), and an increase in the thickness of the intertidal, supratidal and vadose members (third member). The first member, black-pebble breccia, is completely missing in the middle and upper part of the sequence. The parasequence thickness decreases from the older to the younger deposits. Such a stacking pattern, i.e. thinning-upward parasequences, is characteristic of the late HST and LST (TUCKER, 1993).

U starom kamenolomu Mondolaco kod Rovinja (sl. 3) otvoreni su izdanci gornjotitonskih peritajdalnih vapnenaca u oko 13 m debelom cikličnom slijedu (sl. 4). Ti izdanci pripadaju donjem dijelu otprilike 63 m debelih vapnenaca gornjega titona toga dijela Istre, odnosno donjem dijelu litostratigrafske jedinice *Kirmenjak stilolitizirani mikriti* (VELIĆ & TIŠLJAR, 1988). Točnije, u stupu te jedinice oni započinju na osamnaestom metru u krovini boksita, tj. iznad emerzije koja je trajala od kraja oksforda pa do početka miladega titona. Jedinica je nazvana po današnjem komercijalnom nazivu već stoljećima poznatog arhitektonsko-gradevnog kamenja koji je eksplotiran u okolici Rovinja, u Limskom kanalu i kod Vrsara (otuda i staro ime *Orsera* - vrsarski kamen). Poznat je po karakterističnom polusjaju i boji bjelokosti, a od njega su izgradene mnoge palače u Veneciji, Raveni i Loretu. I danas ga poduzeće "Kamen" iz Pazina vadi u nekoliko kamenoloma u okolici sela Kirmenjak.

Jedinica *Kirmenjak stilolitizirani mikriti* u stratigrafsko-sedimentološkom smislu pripada početnom faciesu druge tresgresivno-regresivne megasekvencije jursko-krednih plikomorskih karbonata zapadne Istre. Iznad boksita (sl. 2), na kojima obično slijedi tanki sloj močvarnih taloga, ova jedinica započinje oscilirajućom transgresijom predstavljenom izmjenom tankih slojeva madstona, glinovitih laporanih i *black pebble*-breča s laporovitim matriksom. Tamo gdje nema boksita, tj. na regresivnim *Rovinjskim brečama*, obično odmah slijedi donji dio jedinice koji se odlikuje 50 do 260 cm debelim ciklusima opločavanja naviše (parasekvencijama) uvijek jednoličnoga sastava, ali različitim debljinama ciklusa i debljinama pojedinih članova, slojeva, unutar ciklusa. Ciklusi ili ritmovi su pri tome međusobno odvojeni jasnim mehaničkim diskontinuitetom - proslojkom gline, *black pebble*-breče s glinovitim i laporovitim matriksom ili pak desikacijskim pukotinama i desikacijskom brečom (sl. 4 i 7).

Unutar oko 60 metara debelog paketa tih vapnenaca postoji značajna razlika u debljini i gradi ciklusa u donjem i gornjem dijelu jedinice.

U donjem dijelu, u prvih 30-tak metara debljine *Kirmenjak stilolitiziranih mikrita*, u kome su smješteni mnogi noviji kamenolomi u području sela Kirmenjak, te stari kamenolomi u okolici Rovinja (primjerice kamenolom Mondolaco - ova postaja ekskurzije), u Limskom kanalu i području Vrsara, ciklusi su puno veće debljine od ciklusa u gornjem, tj. mlađem dijelu naslaga. Osim toga, u starijem je dijelu i građa ciklusa drugačija, a granice ciklusa su obično jasno odvojene mehaničkim diskontinuitetima, tj. proslojcima glinovitih *black pebble*-breča. S obzirom da ekskurzijska postaja B-1 obuhvaća izdanke donjega dijela naslaga ovdje će podrobnije biti opisani samo tipični ciklusi karakteristični za taj dio naslaga (sl. 3 i 4):

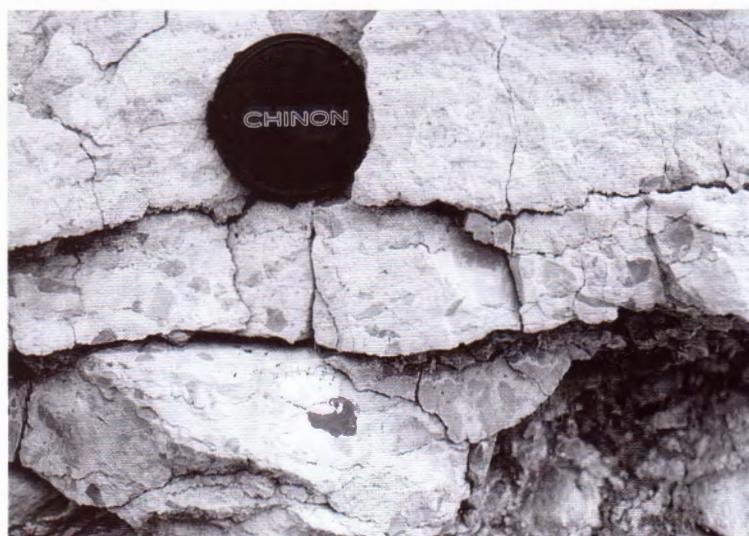
**Prvi član ciklusa** obično je tanki, bočno nejednolično debeli, proslojak *black pebble*-breče s vapnenačkim (sl. 5 i 6), glinovitim ili laporovitim matriksom, koji čini najvažniji mehanički diskontinuitet između ciklusa, odnosno određuje maksimalnu



Sl. 5 Black-pebble breča s karbonatnim matriksom iz drugog ciklusa kamenoloma Mondolaco (poklopac objektiva je promjera 60 mm).

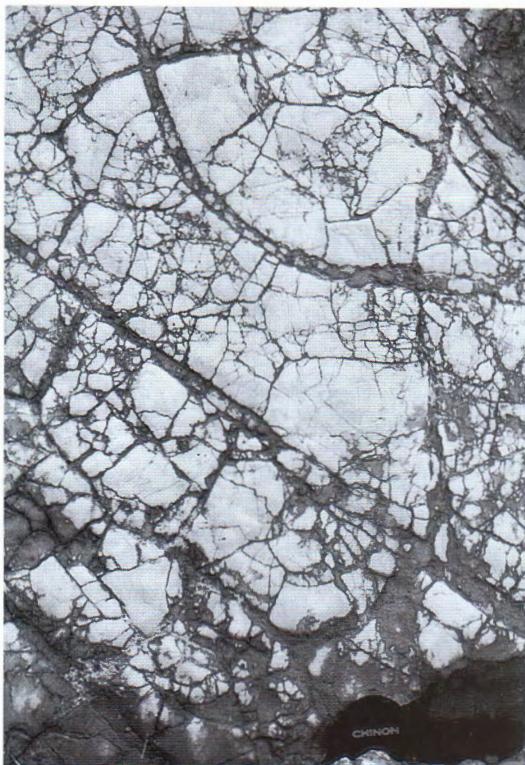
Fig. 5 Black-pebble breccia with carbonate matrix from second cycle of the Mondolaco quarry (objective cap for scale is 60 mm in diameter).

moguću eksploatabilnu debljinu kamenoga bloka. Glinoviti i/ili laporoviti matriks se, kako to pokazuju rendgenske analize uzoraka iz kojih je prethodno otopljen karbonat (TIŠLJAR, 1978b), redovito sastoji od ilita i klorita, te nešto montmorilonita, kao i malih količina albita i zeolita. Sadržaj kalcita u matriksu varira od ciklusa do ciklusa (između 20 i 32%), s manje-više stalnom tendencijom opadanja prema mlađim ciklusima. Fragmenti i poluzaobljene valutice pripadaju svijetlosivim, sivim ili tamnosivim i crnim vaspencima tipa madstona i fenestralnih madstona iz viših članova prethodnog ciklusa opričavanja naviše. Tamnosivi i crni fragmenti i valutice (*black pebbles*) predstavljaju relikte plimama i valovima razorenih, erodiranih i pretaloženih



Sl. 6 Black-pebble breča s glinovitim (donji dio) i karbonatnim matriksom (središnji dio) u stilolitskom kontaktu s fenestralnim madstonom (gornji dio); 6. ciklus (poklopac je promjera 60 mm).

Fig. 6 Black-pebble breccia with clayey (lower part of photo) and carbonate matrix (central part) in stylolitic contact with fenestral mudstone (upper part); 6th cycle (objective cap for scale is 60 mm in diameter).



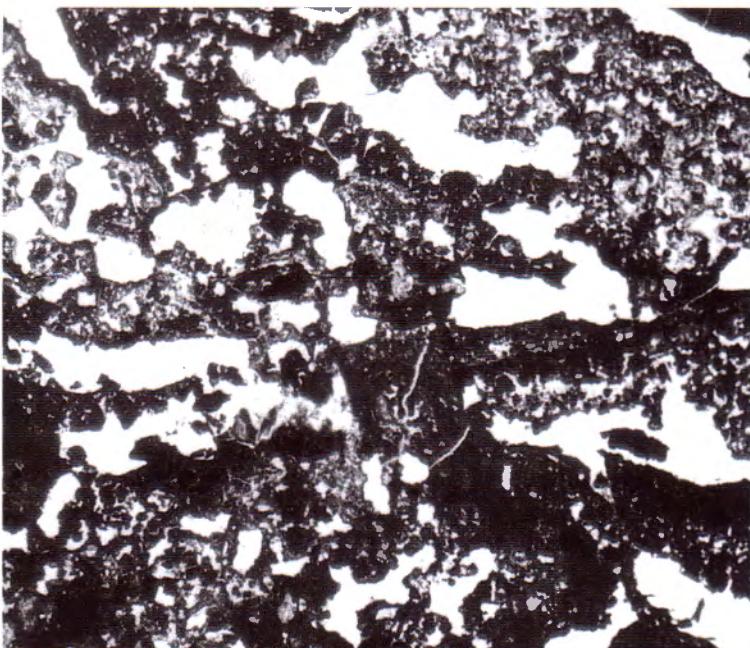
Sl. 7 Desikacijske pukotine na gornjoj slojnoj plohi fenestralnog madstona; 10. ciklus kamenoloma Mondolaco (poklopac objektiva je promjera 60 mm).

Fig. 7 Desiccation cracks in the upper bedding surface of fenestral mudstone; 10th cycle of the Mondolaco quarry (objective cap for scale is 60 mm in diameter).

močvarnih taloga pri relativnom dizanju morske razine, tj. ponovnom preplavljivanju (ingresiji) supratajdalne zone i izronjenog dijela platforme na kojoj su postojale močvare s reduktivnim uvjetima. U tim se močvarama zbog taloženja organske tvari i izlučivanja pirita posredstvom bakterija koje reduciraju sulfate zacrnjivao karbonatni talog (TIŠLJAR, 1986).

Prvi je član ciklusa nastao u početnoj fazi preplavljivanja vagnenačkoga taloga kraće ili duže vrijeme izronjenog iznad srednje razine plime ili u vadoznu zonu. Pri takvom se preplavljivanju u depresijama na intertajdalnu i u subtajdalnu zonu, ali i u plimnim kanalima, taloži valovima i plimnim strujama naplavljeni, prethodno sa susjednih supratajdalnih i izronjenih dijelova platforme erodirani krupnozrnasti vagnenački, te isprani sitni glinoviti detritus. Međusobni udjeli crnih, sivih i svijetlih valutica i fragmenata (sl. 5 i 6), kao i glinovitog detritusa, uvjetovan je pri tome trajanjem emerzijske faze, morfologijom izronjenog dijela platforme i postojanjem reduktivnih močvara i bara, klimom i načinom fizikalnoga i kemijskoga trošenja, te energijom plimnih struja i valova pri ingressiji, kao i morfologijom preplavljenog dijela platforme.

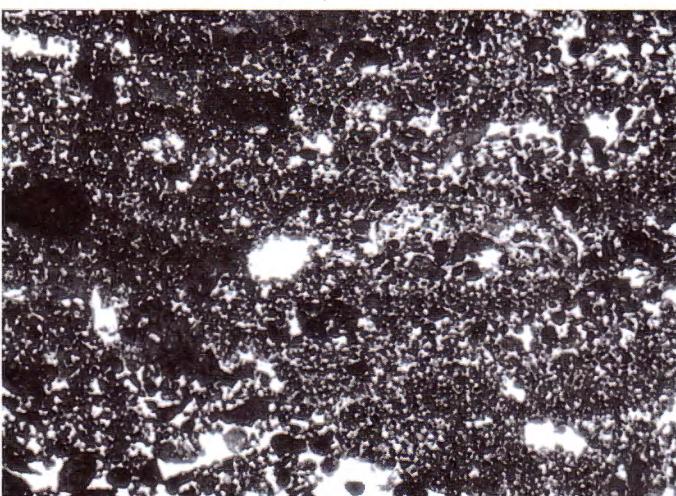
**Drugi član ciklusa**, gusti stitolitizirani mikrit boje slonovače, je najdeblji član, i čini glavni produktivni sloj arhitektonsko-građevinskog kamena *Kirmenjak* tipa. U



Sl. 8 Fenestralni onkoidno-intraklastično-peleteti pekston/grejnston iz trećeg člana ciklusa; 9x.

Fig. 8 Microphotograph of fenestral oncoid-intraclastic-pelletal packstone/grainstone from third member of the cycle; 9x.

donjem dijelu paketa gornjotitonskih vapnenaca njegova debljina obično iznosi od 100 do 170, rijede i do 200 cm. U gustoj, izuzetno sitnozrnastoj ( $2\text{-}4 \mu\text{m}$ ) mikritnoj temeljnoj masi sadrži rijetke, pojedinačne, rijede i brojne bioklaste zelenih alga (*Clypeina jurassica* FAVRE, *Salpingoporella annulata* CAROZZI, *Campbelliella striata* (CAROZZI)). Nastao je dugotrajnim taloženjem mikrometarski sitnoga vapneničkoga mulja u niskoenergijskom subtajdalnom plićaku odmah ispod razine oseke. Pred kraj njegova taloženja nastupa postupno opličavanje uz izronjavanje



Sl. 9 Tipičan primjer sitnozrnastog intraklastično-peloidnog grejnston/pekstona iz trećeg člana ciklusa; 9x.

Fig. 9 Microphotograph of typical fine-grained intraclastic-peloid grainstone/packstone from third member of the cycle; 9x.

mulja u intertajdalnu i supratajdalnu zonu i njegovo isušivanje. U pojedinim ciklusima to je oplicavanje praćeno vertikalnim bioturbiranjem i pojavom nepravilnih i laminoidnih fenestra, a sâmo isušivanje desikacijskim pukotinama na gornjoj slojnoj površini (sl. 7) ili tanjim proslojcima desikacijskih breča. U takvim je slučajevima to ujedno i jasni mehanički diskontinuitet koji određuje debljinu bloka pri eksploraciji. Debljina bloka, međutim, može biti odredena i pojavom pojedinih debljih otvorenih stilolitnih šavova ispunjenih glinom. Naime, uz brojne zatvorene stilolite seizmogram tipa, koji poput šava na kostima lubanje povezuju dva dijela stijene i ne predstavljaju mehanički diskontinuitet, deblji horizontalni stilolitni šavovi ispunjeni glinom tvore prave mehaničke diskontinuitete (koje kamenari nazivaju "slojnica").

**Treći član ciklusa**, fenestralni mikrit i/ili fenestralni onkoidno-intraklastično-vadoidni biosparit/biosparrudit (sl. 8), ima od ciklusa do ciklusa jako promjenljivu debljinu (5-50 cm), gradu i strukturu. Sastoji se od sitnih ili krupnih intraklasta, odnosno komada vapnenaca nastalih erozijom prethodno opisanog člana i peloida (sl. 9), te od algalnih onkoida i/ili vadoznih pizoida. To je materijal pretežito nastao nabacivanjem i naplavljivanjem karbonatnoga detritusa olujnim plimama i valovima na intertajdalnu i supratajdalnu zonu, te njegovim opetovanim vlaženjem i isušivanjem, te rastom cijanobakterijskih nakupina i onkoida. Sve se događalo uz vadoznu dijagenezu u subaerskim uvjetima, tj. iznad razine mora i razine temeljne vode. U pojedinim ciklusima treći se član odlikuje brojnim vadoznim tvorevinama (pizoidno obavijenim intraklastima, algalnim korama, geopetalnim punjenjem korozijskih šupljina i šupljina otapanja, mikrostalaktitnim i meniskus cementima), a u nekim ciklusima i brakičnim do slatkovodnim (?) stromatolitnim korama i/ili grudastim stromatolitima (sl. 10 i 11). Gornja slojna ploha trećega člana je oštra, neravna, erozijska ili desikacijska, pa su stoga i mehaničke plohe diskontinuiteta ("slojnice") između ciklusa otvorene, osobito ako na njemu slijedi prije opisani glinoviti prvi član.

Debljina trećega člana se općenito povećava od starijih prema mlađim ciklusima i najveća je u gornjem dijelu *Kirmenjak jedinice*. Slojne plohe između drugoga i trećega člana su obično erozijske ili desikacijske, ili pak samo stilolitne s pukotinicama ispunjenim tankim filmom gline, pa su izuzetno važna odrednica eksploracijske debljine bloka unutar ciklusa.

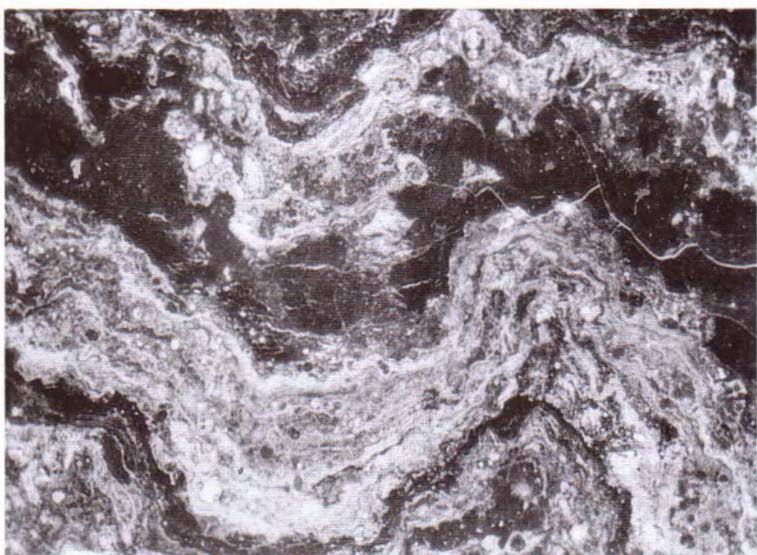
U gornjem, mlađem dijelu paketa naslaga izostaje prvi član ciklusa, glinovita *black pebble*-breča, a znatno se mijenja i medusobni odnos debljina članova unutar ciklusa, općenito u korist debljine člana s fenestralnom građom ili vadoznim tvorevinama. Unutar ciklusa u sedimentacijskoj se ritmici obično pojavljuju četiri člana (*A-B-C-D* u radu TIŠLJAR et al., 1983). Ciklus započinje članom *A* - stilolitiziranim madstonom (prije opisanim drugim članom ciklusa) čija debljina nije više tako dominantna unutar ciklusa nego je gotovo podjednake debljine s *C* članom ciklusa. Član *A* se taložio u niskoenergijskom plitkom subtajdalnu uz postupno oplicavanje u gornji intertajdal u kojemu je došlo do slabijeg ili jačeg isušivanja i erozije



Sl. 10 Sloj poluloptastih stromatolita i stromatolitnih kora kojima završava osmi ciklus u kamenolому Mondolaco (poklopac objektiva je promjera 60 mm).

Fig. 10 Bed of hemispheroid stromatolite crust from end of 8th cycle in Mondolaco quarry (objective cap for scale is 60 mm in diameter).

desikacijama ispucanoga taloga (= član *B*, tj. desikacijska ili erozijska faza). Na takvu površinu subtajdalno-intertajdalnih taloga visokim je olujnim plimama naplavljen krupnozrnasti karbonatni deritus, uglavnom intraklasti, peloidi i onkoidne cijanobakterijske grude (= *C* član ciklusa ili talog olujnih plima - *storm tide deposit*). Taj je talog duže ili kraće vrijeme bio izložen subaerskim i/ili vadoznim uvjetima (= faza *D*) uz povremena vlaženja morskom vodom prije ponovnog preplavljuvanja i uspostavljanja subtajdalnih uvjeta, tj. faze *A* i početka taloženja novoga ciklusa. U fazi *D*, ovisno o uvjetima i odnosu utjecaja morske i meteorske vode, zbivali su se diagenetski procesi tipični za intertajdalne ili vadozne uvjete (*beach rock-cementacija*, fenestralna grada, šupljine otapanja, vadozna cementacija s izlučivanjem



Sl. 11 Mikrosnimak stromatolita sa slike 10. 6x

Fig. 11 Microphotograph of the stromatolite from fig. 10. 6x

meniskusnog i mikrostalaktitnog cementa, vadoznog silta, kalkretnih i cijanoficejskih obavijanja). Ciklusi završavaju erozijskom površinom, desikacijama ili desikacijskim brečama, pa su nazvani "desikacijskim ciklusima" (TIŠLJAR et al., 1983). Granična površina između prvoga i drugoga, tj. mikritnoga i vadoznoga člana, je obično markirana stilolitnim šavom ili desikacijama, često bez mehaničkoga diskontinuiteta, što omogućuje dobivanje blokova čije su debljine odredene samo debljinama ciklusa. Ovom tipu ciklički sedimentiranih vapnenaca pripadaju stari kamenolomi u području sela Kirmenjak poznati po tipu *Kirmenjak tamni* jer fenestralni i vadozni članovi (*C* i *D*) ciklusa imaju tamnu boju zbog povišenog sadržaja organske tvari i organskoga pirita.

Varijacije debljina pojedinih ciklusa u kamenolomu Mondolaco, kao i debljina pojedinih članova ciklusa i promjenljivosti njihovog litološkog sastava te teksturno-strukturnih značajki, uz temeljnu interpretaciju uvjeta i okoliša taloženja prikazuje sl. 4.

U ukupnom slijedu gornjojurskih i donjokrednih plitkomorskih karbonata zapadne Istre, kako je to već spomenuto u poglavlju 1, izdanci gornjotitonskih ciklički taloženih karbonata pripadaju donjem dijelu litostratigrafske jedinice *Kirmenjak stilolitizirani mikriti*, odnosno početku druge megasekvencije. Na sl. 2 su prikazane glavne značajke pojedinih jedinica i opća sedimentološka interpretacija uvjeta taloženja tih jedinica u smislu sekvencijske stratigrafije i relativnih promjena morske razine (TIŠLJAR et al., 1994). Bitno je ovdje, pored objašnjenja uz tu sliku, pripomenuti da unutarnje ustrojstvo *Kirmenjak jedinice* i vertikalni slijed ciklusa oplicavanja naviše, odnosno parasekvencija četvrtog do petog reda, pokazuju značajke smanjivanja debljine parasekvencija naviše, tj. *thinning upward parasequences*, u kojima se od starijih prema mladim parasekvencijama više-manje konstantno smanjuje debljina subtajdalnog, a raste debljina intertajdalno/supratajdalnog člana. Takvo unutarnje ustrojstvo sekvencije i slijed parasekvencija su prema Tuckeru (TUCKER, 1993) znakoviti za kasni HST i LST, tj. kasnu fazu sustava visoke i prijelaz u taložni sustav niske razine mora. To znači da je taloženje *Kirmenjak jedinice* na početku bilo vezano uz relativni porast morske razine (transgresivni sustav), a potom postupno za relativno spuštanje morske razine (regresivni sustav). Taj je regresivni sustav, odnosno sustav niskoga stanja morske razine, svoju kulminaciju dosegnuo tijekom berijasa stvaranjem ciklusa sa supratajdalnim ranodijagenetskim *Fantazija dolomitima* (TIŠLJAR et al., 1994).

**Postaja B-2: Peritajdalne parasekvencije s potpuno kasnodijagenetski dolomitiziranim subtajdalno-intertajdalnim vapnencima i supratajdalnim ranodijagenetskim dolomitima  
(berijas, stari kamenolom Fantazija kod Rovinja)**

Stop B-2: Peritidal parasequences composed of late-diagenetical dolomitised subtidal-intertidal limestones and supratidal early-diagenetical dolomites  
(Berriasic, old Fantazija quarry near Rovinj)

In the old Fantazija quarry (Fig. 12), now protected as a geological natural monument, Berriasic dolomites were exploited as building stone. The lithostratigraphic unit *Fantazija dolomites* (VELIĆ & TIŠLJAR, 1988), named after this type locality, represents a part of the second megasequence of Jurassic-Cretaceous platform carbonates in western Istria. It is composed of numerous shallowing-upward parasequences consisting of dark macrocystalline late-diagenetical dolomites (originating from subtidal-intertidal limestones) and light supratidal early-diagenetical dolomites (FÜCHTBAUER & TIŠLJAR, 1975; TIŠLJAR, 1976).

On the smooth walls of the quarry, as well as on numerous stone blocks, many structures and textures typical of supratidal dolomitisation can be found: stromatolites, tepee-structures, fenestral fabric, load casts and microcasts, desiccation cracks, shrinkage cracks, "sand-watch" structures, supratidal breccia, tide channels, erosional surfaces, etc (Figs. 12, 13, 14 and 15).

Rhythmical sedimentation of subtidal-intertidal limestones (i.e. dark layers of late-diagenetical dolomites) and supratidal dolomites (i.e. light-coloured early-diagenetical dolomites - Figs. 13 and 14) can probably be described as fifth-order parasequences. In terms of sequence stratigraphy, in a continuous succession above the *Kirmenjak Unit* (stop 1 of this excursion), these deposits have been interpreted as deposits of Low-stand System Tract (Fig. 2). It is probable that the late-diagenetical dolomitisation of subtidal-intertidal limestones could be attributed to a large fall in relative sea-level, when the mixing zone of sea and fresh water migrated towards the sea.

Kamenolom Fantazija, zaštićen kao geološki spomenik prirode, smješten je oko 2 km istočno od Rovinja. Nalazi se u berijaskim dolomitima (sl. 12), čije se protezanje u periklinalnom pojusu može pratiti od uvale Škaraba i Cuvi južno od Rovinja, preko Limskoga kanala i Žbandaja sve do obale u području Picala sjeverno od Poreča. Dolomiti kontinuirano slijede na više ili manje kasnodijagenetski dolomitiziranim vapnencima *Kirmenjak stilolitiziranih mikrita* ili na kasnodijagenetskim dolomitima nastalim potpunom dolomitizacijom vapnenaca te jedinice, kako to shematski prikazuje sl. 2. Kasnodijagenetski dolomiti u podini berijaskih dolomita, tj. u gornjem, kasnodijagenetski dolomitiziranom dijelu *Kirmenjak jedinice*, na različitim mjestima različito duboko zahvaćaju vršni dio te jedinice, odnosno gornjotitonske vapnence. Granica gornji titon - berjas karakterizirana je upravo pojavom cikličke izmjene kasnodijagenetskih i ranodijagenetskih dolomita *Fantazija* tipa (VELIĆ & TIŠLJAR, 1988). Debljina dolomita u takvoj cikličkoj izmjeni iznosi oko 35 m. Zbog izuzetno velikog broja odlično očuvanih teksturno-struktturnih značajki u ranodijagenetskim dolomitima, koje su jedinstveni sedimentološki zapisi o uvjetima i načinu



Sl. 12 Izmjena tamnih slojeva kasnodijagenetskih i svijetlih slojeva supratajdalnih ranodijagenetskih dolomita u kamenolomu Fantazija. Karakteristični su oštiri i neravni kontakti između ta dva tipa dolomita.

Fig. 12 Alternation of beds of dark-coloured late-diagenetic and light-coloured supratidal early-diagenetic dolomites characterised by sharp and irregular contacts in the Fantazija quarry.

nastanka ranodijagenetskih dolomita u supratajdalnim okolišima, kamenolom Fantazija bio je objekt mnogih geoloških, posebice sedimentoloških ekskurzija (TIŠLJAR et al., 1983; TIŠLJAR & VELIĆ, 1986).

U kamenolomu Fantazija na glatkim, žičnim pilama rezanim zidovima ritmički se izmjenjuju 0.4 do 1.2 m debeli slojevi tamnog makrokristalastog kasnodijagenetskog dolomita s 0.3 do 0.6 m debelim svjetlim slojevima supratajdalnog ranodijagenetskog dolomita (FÜCHTBAUER & TIŠLJAR, 1975; TIŠLJAR, 1976). Premda ritmičko redanje tamnih slojeva kasnodijagenetskih dolomita i svjetlih slojeva ranodijagenetskih dolomita ima sve značajke konkordantnog slijeda, slojne su plohe između pojedinih članova unutar ciklusa, kao i između ciklusa, vrlo neravne i oštре (sl. 12). Osim toga, debljina jednog te istog sloja nije ujednačena. To je protumačeno kao posljedica kompleksnih sinsedimentacijskih procesa:

1. neravnomjerno dubokog zahvaćanja subtajdalno-intertajdalnih taloga ranodijagenetskom dolomitizacijom pri njihovom izronjavanju u supratajdal, što se lijepo vidi na kontaktima podinskih tamnih slojeva kasnodijagenetskog dolomita i krovinskih svjetlih slojeva ranodijagenetskog dolomita;
2. neravnomjerne erozije površinskog dijela u supratajdal izronjenih taloga, što je očigledno na gornjim slojnim plohami svjetlih slojeva ranodijagenetskih dolomita;
3. utiskivanja brzo očvrsnutih supratajdalnih ranodijagenetskih dolomita u podinske još mekane i poluplastične slojeve subtajdalno-intertajdalnih taloga (sada tamnih slojeva kasnodijagenetskih dolomita), kako to pokazuju brojni tragovi utiskivanja, pucanja i razaranja svjetlih slojeva, pukotine stezanja (sl. 14) i "strukture pješčanoga sata", te sinsedimentna rasjedanja svjetlih slojeva;



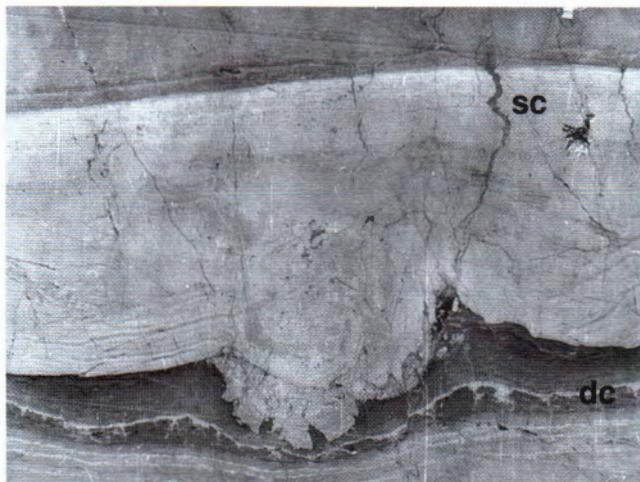
Sl. 13 Sloj supratajdalnog stromatolitnog ranodijagenetskog dolomita koji se odlikuje isprekidanim laminama i laminoidnim fenestrami. Poklopac objektiva je promjera 60 mm.

Fig. 13 Bed of supratidal stromatolitic early-diagenetic dolomite characterised by disturbed laminae and laminoid fenestral fabric. Objective cap for scale is 60 mm in diameter.

4. neravnomjernog rasta, stezanja i rastezanja ili kovrčanja laminiranih stromatolitnih proslojaka u gornjem dijelu svijetlih ranodijagenetskih slojeva koji pripadaju cijanobakterijskim "livadama", što se manifestira valovitim isprekidanim laminama, *tepee*-strukturama i desikacijskim pukotinama.

Dok u tamnim slojevima kasnodijagenetskih dolomita ne nalazimo nikakve unutarnje teksturne značajke, slojevi svijetlih ranodijagenetskih dolomita obiluju izvanrednim primjerima unutarnjih i vanjskih tekstura među kojima su najčešće fenestralna građa i stromatolitne lamine (sl. 13), *tepee*-strukture, tragovi utiskivanja s mikro-utiskivanjima i raskidima slojeva, desikacijske pukotine i pukotine stezanja (sl. 14), supratajdalne breče, plimni kanali, erodirane površine slojeva i sl. Valovite laminacije pripadaju LLH-stromatolitima nastalim na supratajdalu, tj. algalnim livadama *Schizotrix* tipa.

Desikacijske pukotine se nalaze samo u svijetlim slojevima ranodijagenetskih dolomita i na gornjim slojnim površinama nekih tamnih slojeva koji su izronili u gornji intertajdal. Posebno su česte desikacijske pukotine malih, tj. milimetarskih, dimenzija u tankim proslojcima ili laminama stromatolita. Desikacijske pukotine centimetarskih dimenzija su uslijed piljenja kamenih blokova horizontalnim i vertikalnim rezovima vidljive i u vertikalnim i u subhorizontalnim presjecima. U ver-



Sl. 14 Utiskivanje brzo očvrnutog ranodijagenetskog dolomita (svijetli sloj) u podinski, još djelomiće mekani sloj subtajdalno-intertajdalnog taloga (tamni sloj). Vidljive su desikacije (dc) i pukotine stezanja (sc) ispunjene sedimentom krovinskog sloja. Visina slike je oko 70 cm.

Fig. 14 Load cast structures formed by loading of already lithified early-diagenetic dolomite (light-coloured bed) into still soft bed of subtidal-intertidal sediment (dark-coloured bed). Note desiccation cracks (dc) and shrinkage cracks (sc) filled by overlying sediments. Height of photo is c. 70 cm.

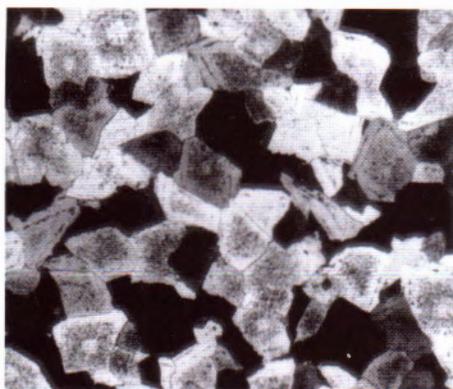
tikalnom presjeku imaju V-oblik (sl. 14), a u horizontalnom presjeku imaju poligonalni raspored (sl. 15). Ispunjene su materijalom iz krovinskoga taloga.

Duboke pukotine stezanja (*shrinkage cracks*) se nalaze isključivo u svijetlim slojevima i ispunjene su materijalom krovinskog tamnog sloja (sl. 14), koji pokazuje karakteristične oblike usipavanja rasutoga taloga u pukotinu stezanja, tj. "strukture pješčanoga sata". To jasno pokazuje da je sloj ranodijagenetskog supratajdalnog dolomita već bio razmjerno čvrsto litificiran u vrijeme postanka pukotina stezanja, tj. prije ponovnog preplavljivanja i taloženja krovinskog sitnozrnastog karbonatnog detritusa u subtajdalno-intertajdalnom okolišu, čime započinje novi ciklus. Osim pukotina stezanja potvrdu o brzoj litifikaciji svijetlih slojeva nalazimo i u brojnim raskidima slojeva, obično iznad tragova utiskivanja, kao i jasnim primjerima sinsedimentacijskog rasjedanja svijetlih slojeva koja se u podinskim, još neočvrsnutim slo-



Sl. 15 Desikacijske pukotine na gornjoj slojnoj plohi tamnog sloja (dc na slici 14). Dužina olovke je 12 cm.

Fig. 15 Desiccation cracks in the upper bedding surface of the dark bed (dc on Fig. 14). Pencil is 12 cm long.



Sl. 16 Hipidiotipna dolomitna mozaična struktura s kristalima veličine 0,1 do 0,4 mm koji sadrže zonalno raspoređene uklopke kerogena. Tipični kasnodijagenetski dolomit, ukriženi nikoli, 24x.

Fig. 16 Hypidiotopic dolomite mosaic with crystals ranging from 0.1 to 0.4 mm with zonally arranged kerogen inclusions. Typical late-diagenetic dolomite, crossed Nichols, 24x.

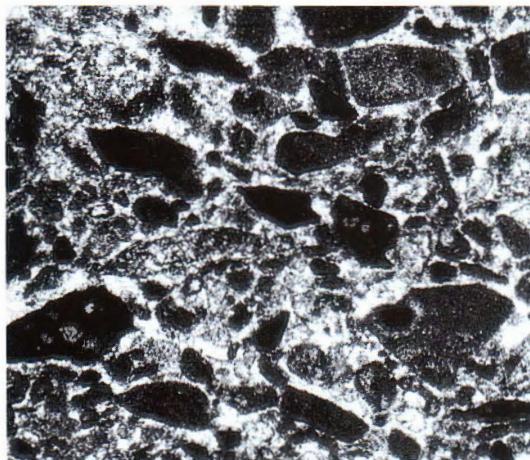
jevima manifestira samo plastičnim deformacijama i istiskivanjima.

Sve se te teksturno-strukturne odlike mogu vidjeti ne samo na piljenim zidovima kamenoloma, već i, nerijetko mnogo bolje, na brojnim kamenim blokovima izloženim oko kamenoloma u prvotnoj geopetalnoj orijentaciji. Na tim se blokovima, kao na blok dijagramima, mogu u dva presjeka i tri dimenzije pratiti praktički sve teksturno-strukturne značajke jednoga ili više slojeva, a na pojedinim blokovima i kompletнога ciklusa.

Grada, sastav i struktura svijetlih slojeva ranodijagenetskih i tamnih slojeva kasnodijagenetskih dolomita su bitno različiti.

Tamni slojevi imaju jednoličnu makrokristalastu mozaičnu dolomitnu strukturu koja se odlikuje hipidiotipnim do ksenotipnim dolomitnim kristalima veličine od 0,1 do 0,4 mm s brojnim sitnim uklopcima kerogena, u pravilu zonarno raspoređenih unutar dolomitnih kristala (sl. 16). Samo rijetko u tim se dolomitima na širem području oko kamenoloma Fantazija, posebice u donjem i gornjem dijelu sekvensije s cikličnom sedimentacijom, mogu naći nedolomitizirani ostaci subtajdalno-intertajdalnih vapnenaca (peletnih vekstona/pekstona, grejnstona i madstona sa stromatolitnim laminama). To, uz makrokristalastu strukturu dolomita i ritmičnu sedimentaciju, ukazuje da su tamni slojevi nastali kasnodijagenetskom dolomitizacijom peritajdalnih vapnenaca, dakle znatno poslije litifikacije vasprenačkoga taloga. Tamni slojevi nesumnjivo pripadaju kasnodijagenetskim dolomitima.

Svijetli slojevi dolomita imaju vrlo varijabilan sastav i strukturu. Pojedini slojevi ili njihovi pojedini dijelovi, ili pak samo proslojci, su sastavljeni od kriptokristalastog dolomita (dolomikriti), loše sortiranih dolomitnih intraklasta i dolomitnoga cementa (dolointraspariti, sl. 17), dolomitnih peloida i peleta, te dolomitnoga matriksa ili dolomitnoga cementa (dolopelmikriti i dolopelspariti). Neki pak pripadaju dolomitnim fenestralnim LLH-stromatolitima, što je obično slučaj u gornjem dijelu svijetloga sloja (sl. 13). Fenestre su u pravilu laminoidne, rjeđe nepravilne, uvijek su ispunjene bistrim dolomitnim cementom, a malogdje i internim sedimentom u obliku



Sl. 17 Dolointrasparit izgrađen od loše sortiranih dolomitnih intraklasta nastalih razaranjem i naplavljivanjem karbonatnog detritusa na supratajdal. Tipični ranodijagenetski dolomit, 16x.

Fig. 17 Dolointrasparite composed of unsorted dolomite intraclasts formed by disintegration and redeposition of carbonate detritus on supratidal. Typical early-diagenetic dolomite, 16x.

vadoznog kristalnog silita sa značajkama geopetalne strukture. Intraklasti, peleti i peloidi su sastoјci koje su visoke plime i olujni valovi naplavili iz subtajdala na intertajdal i supratajdal. Intraklasti većih dimenzija, poglavito oni koji tvore supratajdalne breče, su nastali razaranjem i pretaložavanjem gornjih dijelova brzo litificiranih ili pukotinama isušivanja ispucanih gornjih djelova izronjenih taloga.

Dimenzije dolomitnih kristalića od kojih se sastoje peleti, intraklasti, peloidi i dolomikritni proslojci ili dolomitne stromatolitne kriptagalne lamine su u pravilu manji od  $10 \mu\text{m}$ , a dolomitnih kristalića u intergranularnim porama oko  $10-30 \mu\text{m}$ .

Relativno visok suvišak kalcija u kristalnoj rešetki dolomita iz svjetlih slojeva ( $\text{Ca}_{52,1-55,8}\text{Mg}_{44,2-47,9}$  - dolomiti) uz razmjerno nizak stupanj uređenja njihove kristalne rešetke ukazuje na ranodijagenetsku dolomitizaciju, koja u klimatskom pogledu odgovara recentnim ranodijagenetskim dolomitima vlažne klime Floride ili Bahama, a ne aridne klime Perzijskoga zaljeva ili Bonaira (FÜCHTBAUER & TIŠLJAR, 1975).

Ritmična sedimentacija subtajdalno-intertajdalnih vapnenaca, odnosno sada tamnih slojeva kasnodijagenetskih dolomita, i supratajdalnih ranodijagenetskih dolomita, tj. svjetlih slojeva dolomita, ima sve odlike ciklusa opličavanja naviše. Možemo je shvatiti kao parasekvencije, vjerojatno petoga reda, i u smislu sekvensijske stratigrafijske objasnjenosti, u kontinuiranom slijedu s ciklusima *Kirmenjak stilolitiziranih mikrita* (postaja B-1 ove ekskurzije), kao taloge nastale u sustavu niskog stanja - LST, kako je to shematski prikazano na sl. 2 (TIŠLJAR et al., 1994). Pri tome treba naglasiti da je u smislu sekvensijskog tumačenja dolomitizacije (TUCKER, 1993) moguće da je kasnodijagenetska dolomitizacija primarno vapnenačkog mulja mogla biti vezana za veće oscilacije relativne morske razine, kada je zbog snižavanja morske razine miješana zona morske i slatke vode migrirala u smjeru mora. Na taj način dolomitizirani su u miješanoj zoni svi subtajdalno-intertajdalni vapnenački muljevi.

Sama pak cikličnost decimetarsko-metarskih debljina (parasekvencije vjerojatno petoga reda) mogla bi velikim dijelom biti posljedica utjecaja autocikličnih procesa, vezanih uz brzinu sedimentacije i subsidencije, te progradaciju plimne ravnice. Ti su procesi mogli značajno utjecati na akomodacijski prostor stvoren oscilacijama morske razine uzrokovanim orbitalnim ciklusima.

### **Postaja B-3: Lagunski onkolitni vapnenci donjega apta, gornjoaptska emerzija i albska transgresija (kamenolom Tri jezerca kod Seline)**

Stop B-3: Lagoonal oncrites of the Lower Aptian, Upper Aptian emersion and Albian transgression (Tri Jezerca quarry near Selina)

In the Tri Jezerca Quarry, building-stone known under the name of *Istarski žuti* (*Istrian Yellow*) was exploited. This stone is at present exploited in a few quarries in Central Istria by the "Kamen-Pazin" company (see stops A-6 and C-5). It is part of the Lower Aptian massive limestones forming the uppermost part of the second megasequence in the predominant part of Istria (Fig. 25 in the stratigraphic excursion - VELIĆ et al., 1995). *Istarski žuti* stone is characterised by rhythmical alternations of mudstone and bacinella-oncrites (i.e. oncoid floatstones). It is subdivided into short and long rhythms (TIŠLJAR et al., 1983): short rhythms are 25-50 cm thick, composed of layers of mudstone with rare oncoids and layers of oncrites; long rhythms are 150-280 cm thick, composed of thick micrite beds (high sedimentation rate) and a few short rhythms (low sedimentation rate).

In the Tri Jezerca quarry only the upper part, about 10 m thick, of these limestones outcrops (Fig. 18). In the uppermost part there are indications of a relative sea-level fall and the beginning of a regression phase culminating in the general Upper Aptian emersion (Fig. 25 in the stratigraphic excursion - VELIĆ et al., 1995). Besides intense vertical bioturbation, indicating lowered sedimentation rates, weakly expressed palaeokarstification effects occur. A further relative sea-level fall resulted in clearly visible emersion with palaeokarstified relics of *Istarski žuti* (Fig. 23) and a clay bed. This bed represents a stratigraphic gap lasting from the Upper Aptian to the beginning of the Upper Albian (VELIĆ et al., 1987).

The beginning of the Upper Albian deposition is characterised by oscillating transgression, and deposition of peritidal limestones and high-energy conglomerates (5, 6 and 7 at Fig. 18, Fig. 22). The following 15 m of succession is composed of similar peritidal and fore-shore limestones with two additional weak emersions.

In the area today belonging to Istria, emersion commenced in different periods, and is characterised by variable duration (as seen at Fig. 25 in the stratigraphic excursion - VELIĆ et al., 1995). This is explained by the relative sea-level fall and different local influences of synsedimentary tectonics.

U kamenolomu Tri jezerca (sl. 22) u blizini mjesta Selina (sjeverno od ceste Kanfanar - Sv. Lovreč), u kome se vade blokovi arhitektonsko-gradevnog kamena poznatog kao *Istarski žuti* (d.d. "Kamen" - Pazin), dobro su otvoreni masivni onkolitni vapnenci donjega apta, zatim gline i emerzijske breče gornjoaptske emerzije, te na njima transgresivni konglomerati gornjega alba i peritajdalni vapnenci (sl. 18). Tu se, dakle, nalaze dobro otvoreni masivni onkolitni vapnenci donjega apta s tragovima pradavnog okršavanja i tanjim emerzijskim talozima, kojima završava u uvodu spomenuta druga megasekvencija taloženja gornjojursko-donjokrednih plitko-

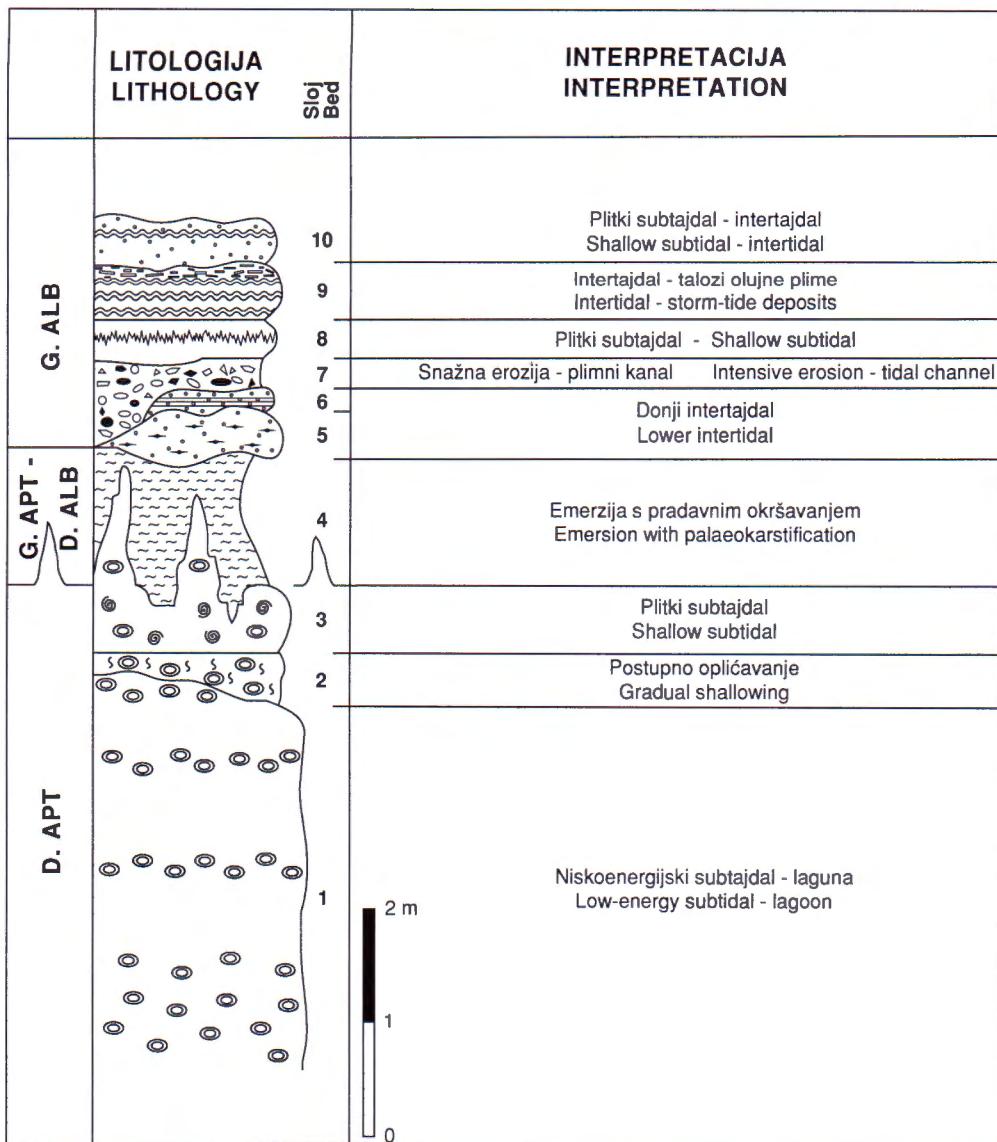
morskih karbonata, te donjoalbski peritajdalni vapnenci koji predstavljaju početak treće megasekvencije taloženja donjokrednih plikomorskih platformnih karbonata središnje i južne Istre.

Donjoaptski masivni onkolitni vapnenci (*Istarski žuti*) u kontinuiranom slijedu taloženja nastavljaju se na baremske peritajdalne vapnence karakterizirane ciklusima oplicavanja naviše. Takvi baremski ciklusi obično započinju subtajdalnim peletnim ili algalnim madstonima, slijede intertajdalni fenestralni madstoni, a ciklus završava LLH-stromatolitima ili plimnim brečama sastavljenim od prerađenih fragmenata stromatolita (TIŠLJAR et al., 1983). Krajem barema ciklusi postupno izostaju, smanjuje se udjel intertajdralnih, a prema mlađim naslagama sve više raste udjel subtajdralnih vapnenaca, uglavnom horizontalno bioturbiranih peletnih vekstona i madstona tamnosive boje s povišenim sadržajem organske tvari. To su talozi nastali u niskoenergijskom plićaku ili laguni. Razlog postupnom izostajanju ciklusa treba vjerojatno tražiti u našoj nemogućnosti da raspoznamo ritmove koji više nisu kompletni, tako da se subtajdralni dijelovi više ritmova amalgamiraju u deblji subtajdralni paket, predstavljajući tzv. *missing beats* (GOLDHAMMER et al., 1990).

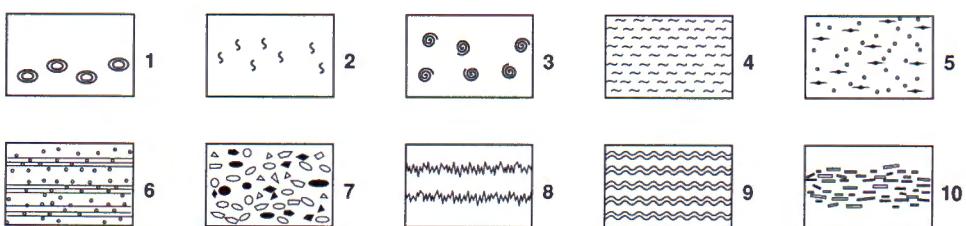
Početkom apta dominiraju prostrani niskoenergijski plićaci i lagune u kojima se taloži velika količina sitnog karbonatnog detritusa, na samom početku (u prvih 2 do 5 m debljine) s naplavljenim ljušturama školjkaša, među kojima je POLŠAK (1965a) odredio vrstu *Requenia ammonia* (GOLDFUSS), i različitim bentosnim foraminiferama (sl. 19; vidi i postaje A-5 i A-6 stratigrafske ekskurzije, VELIĆ et al., 1995), te mnogobrojnim krupnim (1-8 mm) onkoidima kojima su kao jezgre poslužili skeleti *Bacinella irregularis* RADOIČIĆ (sl. 20) ili kućice gastropoda. U okolici sela Selina, dakle i u kamenolomu Tri jezerca, masivni donjoaptski onkolitni vapnenci su debeli od 10 do 14 m. Debljina toga paketa izravno ovisi o početku, trajanju i intenzitetu emerzije (sl. 25 u vodiču ekskurzije A, VELIĆ et al., 1995). Sastav i glavne sedimentološke značajke tih masivnih vapnenaca su, bez obzira na njihovu debljinu, praktički iste za cijeli periklinalni pojas donjoaptskih vapnenaca koji se proteže od Lakovića u središnjoj Istri, preko Seline, Limske drage, Kanfanara, Krmeda i Bala do Velog Brijuna u jugozapadnoj Istri.

Masivni donjoaptski vapnenci (facijes građevnog kamena *Istarski žuti*) se sastoje od ciklične izmjene dva osnovna tipa vapnenaca: madstona i onkolita, odnosno onkolitnog floutstona. Razlikuju se dva ciklusa (TIŠLJAR, 1978a):

- a) dugi ciklus (1.5 - 3 m debljine), sastavljen od 0.8 - 1.5 m debelog sloja madstona i više tanjih onkolitnih slojeva u izmjeni sa slojevima madstona, odnosno kratkim ciklusima. Madstoni obično sadrže rijetke, a onkoliti brojne krupne (10 - 60 mm) baćinelske onkoide u mikritnom matriksu.
- b) kratki ciklus sastavljen od izmjene 10 do 20 cm debelih slojeva madstona s rijetkim onkoidima i 5 do 15 cm debelih slojeva pretežito sastavljenih od krupnih baćinelskih onkoida.



#### TUMAČ - LEGEND:



Baćinelski onkoidi, kako oni u slojevima madstona tako i oni u onkolitima, uvijek imaju, zbog povećanog udjela organske tvari, tamniju nijansu smedkaste boje od okolnoga mikrita, pa se na poliranim kamenim pločama, ali i na izdancima u kamenolomu, jasno ističu. Nepravilnog su, grudastog oblika i razmjerno velikih dimenzija, najčešće od 5 do 80 mm, zbog čega su često nazivani "makroidima". Već golinjokom, a osobito s pomoću povećala, u njihovom se središtu jasno zapaža inkrustirani skelet baćinela i oko njih deblji ili tanji mikritni onkoidni ovoj (sl. 20). Volumni udjel onkoida u onkolitima obično iznosi između 40 i 80% ukupnoga volumena stijene, a u pojedinim proslojcima u kojima tvore onkoidne koraste tvorevine poput tvrdoga dna, oni su praktično jedina komponenta. Tu su nastali u uvjetima vrlo malih obroka taloženja karbonatnog mulja uz dominantan razvoj i rast baćinela i cijanobakterija kojima su baćinelski skeleti služili kao supstrat.

Postanak opisanih dugih i kratkih cikusa objašnjen je različitim obrocima taloženja karbonatnog mulja i rasta baćinela i cijanobakterija u niskoenergijskom plićaku ili laguni. U razdobljima s velikim obrocima donosa, stvaranja i taloženja karbonatnog mulja taloženi su madstoni, a u razdobljima spore sedimentacije mulja omogućen je rast i razvoj algi i cijanobakterija uz stvaranje onkoida, odnosno postanak onkolita. Na relativno spori donos i taloženje karbonatnog mulja u uvjetima taloženja onkolita, uz već spomenute onkoidne koraste tvorevine, upućuje i bioturbacija, odnosno brojni tragovi rovanja i bušenja sedimenta.

U kamenolomu Tri jezerca otvoren je gornji dio masivnih onkolitnih vapnenaca u debljini od otprilike 10 metara. Njihov vršni dio pokazuje utjecaj relativnog snižavanja morske razine, kojim je nagovješten početak regresije i nastupajuće emerzije. Jedan od elemenata za takvu interpretaciju predstavlja i pojava neravnomjerno debele (20 - 60 cm) bioturbirane zone vršnoga dijela onkolitnog vapnenca (zona 2 na sl. 18, sl. 21). Intenzivna bioturbacija upućuje na slab intenzitet sedimentacije, a pretežito vertikalni i subvertikalni cjevasti bioturbacijski oblici su nastali ukopavanjem organizama u sediment, vjerojatno neposredno prije njegova izronjavanja i isušivanja. Uz bioturbiranje, koje je rezultiralo brećoidnim trošenjem ovoga dijela onkolitnog madstona, njegov vršni dio pokazuje i slabo izražene efekte pradavnog okršavanja u obliku limonitičnih prevlaka i limonitičnih ispuna bioturbacija.

Prvi potpuni prekid kontinuiteta taloženja lagunskih onkolitnih vapnenaca faciesnog tipa *Istarski žuti* zabilježen je slijedećim, 50 cm debelim slojem svijet-

---

Sl. 18 Detaljni geološki stup aptskih i albskih naslaga u kamenolomu Tri jezerca. Tumač: 1) ritmička izmjena baćinelskih onkolita i madstona; 2) bioturbacije; 3) gastropodi i/ili kalupne šupljine gastropodnih skeleta; 4) glina i glinoviti lapor; 5) fenestralni peloidni vekston; 6) intraklastični grejnston s laminama pekstona i madstona; 7) loše sortirani krupnozrnasti brećokonglomerat; 8) stilolitizirani madston; 9) stromatolit; 10) peritajdalna breča.

Fig. 18 Detailed geological column of Aptian and Albian deposits in Tri jezerca quarry. Legend: 1) rhythmic alternation of bacinella oncrolites and mudstones; 2) bioturbations; 3) gastropods and/or skeletal molds; 4) clay and clayey marls; 5) fenestral peloid wackestone; 6) intraclastic grainstone with packstone and mudstone laminae; 7) ill-sorted coarse-grained breccio-conglomerate; 8) stylolitised mudstone; 9) stromatolite; 10) peritidal breccia.

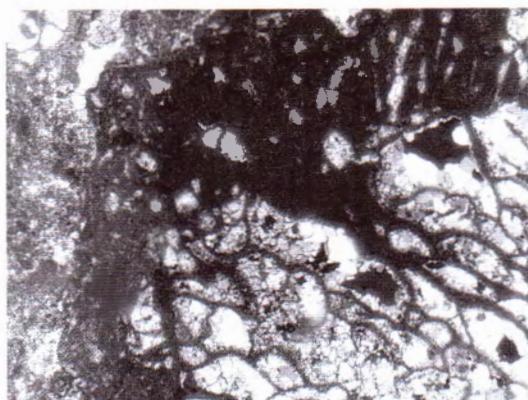


Sl. 19 Vapnenac iz donjeg dijela masivnih onkolita (*Istarski žuti*). U sitnozrastoj temeljnoj masi tipa skeletnog vek-stona nalaze se krupne lju-štute i fragmenti školjkaša. Donji apt, 6x.

Fig. 19 Limestone from the lower part of massive oncrites (*Istarski žuti*). Coarse shells and debris of the mollusc are embedded in a fine-grained skeletal wackestone matrix. Lower Aptian, 6x.

losmedkastoga madstona taloženog u plitkom subtajdalnu, a vjerojatno i intertajdalnu s izronjavanjem u vadoznu zonu. Stijena sadrži rijetke gastropode, zelene alge i algalne onkoide, fenestre, šupljine otapanja, a mjestimice u gornjem dijelu ima i okršenu površinu s ljevkastim vertikalnim, šrapama sličnim tvorevinama ispunjenim limoni-tičnim krupnozrnastim vapnenačkim detritusom (sloj 3 na sl. 18).

Na tome sloju slijedi glavna emerzija predstavljena sivozelenkastom glinom (sloj 4 na sl. 18, sl. 22) taloženom na intenzivno okršenim, "šrapastim" piramidalnim ostacima tamnosivih do crnih vapnenaca madston i floutston tipa (sloj 3 na sl. 18, sl. 23). Na izdancima gdje je glinoviti talog erodiran i gdje su dugo vremena bili izloženi atmosferilijama, vapnenci su po površini manje-više potpuno oksidirani - izbjlijeni. Zbog različitog intenziteta pradavnog okršavanja tijekom emerzijske faze vapnenci imaju piramidalnu morfologiju, čija udubljenja ispunjava glina. Međutim, i



Sl. 20 Dio baćinelskog onkoida s debelim, tamnim mikritnim ovojem. Donji apt, 17x.

Fig. 20 Part of bacinella oncoid with thick, dark-coloured micrite cortex. Lower Aptian, 17x.



Sl. 21 Bioturbirani onkolit. Sloj 2 na sl. 18 (poklopac objektiva je promjera 60 mm). Donji apt.

Fig. 21 Bioturbated oncolite. Bed 2 on Fig. 18 (objective cap for scale is 60 mm in diameter). Lower Aptian.

tamo gdje su piramidalni oblici okršenih vapnenaca najviši uvijek se na njima nalazi još desetak centimetara gline. Uz vrlo sitni karbonatni mulj okršeni vapnenci redovito sadrže, baćinske onkoide, bioklaste sitnih gastropoda i zelenih algi, te bentosne foraminifere, a mjestimice organsku tvar i pirit. U njima su nalaze i korozionske šupljine s geopetalnom strukturom: donji je dio ispunjen internim sedimentom, a u gornjem se dijelu nalazi kalcitni cement. Okršeni vapnenci predstavljaju emerzijske ostatke donjoaptskih vapnenaca taloženih u lagunama i peritajdalnim priobalnim plićacima, koji su prigodom snižavanja morske razine postupno pretvarani u slane i brakične močvare s reduktivnim uvjetima, bez značajnije karbonatne sedimentacije ali s nakupljanjem organske tvari i razvojem bakterija koje reduciraju sulfate. To je uzrokovalo zacrnjivanje podinskih vapnenaca. Kako je već objašnjeno na postaji B-1 ove ekskursije, takvi su vapnenci bili izvorište *black pebble* fragmenata i valutica prije njihovog pretaložavanja nedaleko od mjesta nastanka. Nalazimo ih i ovdje unutar sloja emerzijskih breča.

Emerzijske gline prema rendgenskim analizama uzoraka nakon otapanja karbonata (čiji sadržaj varira od 19-26%  $\text{CaCO}_3$ ) sadrže ilit kao glavni mineral, te još montmorilonit, klorit i mali udio kvarca, albita i zeolita. Mjestimice se sadržaj kalciita povećava i do 64%, pa gline prelaze u lapore (TIŠLJAR, 1978b). U glinama i laporima ponegdje se nalaze krupni, korodirani fragmenti madstona koji predstavljaju relikte pradavnog okršavanja.



Sl. 22 Kontakt masivnih donjoaptskih onkolistih vapnenaca (*Istarski žuti*), emerzijskih glina i tankoslojevitih karbonatnih naslaga gornjega alba prikazan na sl. 18. Visina izdanaka je oko 9 m.

Fig. 22 Contact of massive Lower Aptian oncólites (*Istarski žuti*), emersion clays and thin-bedded carbonate deposits of Upper Albian age as illustrated on Fig. 18. Outcrop is c. 9 m high.

Na sloju emerzijskih glina i/ili lapora taložen je pri ingressiji mora prvi transgresivni član (sloj 5 na sl. 18), debljine oko 40 cm. To je sitnozrnasti peloidni vekston do madston s laminoidnim i nepravilnim fenestrama i rijetkim kalupnim šupljinama skeleta (vjerovatno zelenih alga), što ukazuje na taloženje u peritajdalnoj zoni. Bočno vrlo varijabilna debljina toga sloja uzrokovana je manjim dijelom neravninama i erozijom podinskog glinovitog sloja, a većim dijelom različitim intenzitetom erozije samoga sloja krovinskim sedimentom (sl. 24). Zato ovaj sloj bočno mjestimice potpuno izostaje, pa je na sloju gline izravno taložen slijedeći sloj 6, tj. svijetlosivi intraklastični grejnston s laminama pekstona i madstona. Laminacija i izmjena zrnastog i muljevitog vapnenačkog detritusa mjestimice ima odlike valovite do flaserske slojevitosti malih dimenzija. Sastav i strukturno-teksturne značajke toga vapnenca ukazuju na taloženje u peritajdalnoj zoni - *foreshore* tipa - s promjenljivom energijom plimnih struja i općom tendencijom porasta energije naviše. U vršnim dijelovima sloja nalaze se i pojedinačni krupni poluguagliasti do zaobljeni intraklasti promjera i preko 10 mm. Gornja slojna ploha je izrazito neravna, ponegdje jasno erozijska, a mjestimice s upadanjem, odnosno utiskivanjem krupnoklastičnog detritusa novog sloja kanalnog oblika (sloj 7 na sl. 18, sl. 24) u vjerovatno još mekani i vodom zasićeni, žitki karbonatni pijesak.

Slijedeća taložna jedinica je nastala u visokoenergijskim uvjetima, vjerovatno peritajdalnih ili priobalnih plićaka. Odlikuje se snažnom erozijom i erozijskim kanalima, mjestimice sve do sloja 4, tj. do emerzijske gline, i akumulacijom krupnozrnastog karbonatnog detritusa brečo-konglomeratnog tipa (sloj 7 na sl. 18, sl. 24). Sastoji se od loše sortiranih, 2-100 mm velikih klasta madstona, fenestralnih madstona, grejnstone i mjestimice *black pebble* fragmenata. Zrna su pretežito nastala erozijom vapnenaca taloženih u jedinicama 5 i 6, a vjerovatno i od crnih okršenih vapnenaca iz



Sl. 23 Gornjoaptska-donojoalbska emerzija predstavljena glinom (sloj 4 na sl. 18) i okršenim, škrapskim piridalnim ostacima donjoaptskih onkolitnih vaspnenaca. Promjer poklopca je 60 mm.

Fig. 23 Upper Aptian - Lower Albian emersion represented by clay (bed 4 on Fig. 18) and karstified, pyramid-like relics of Lower Aptian oncolitic vaspnenaca. Objective cap for scale is 60 mm in diameter.

emerzije, tj. iz jedinice 4. Uz klaste se nalazi i karbonatni pjeskovito-muljeviti matriks, a mjestimice i tanji ulošci ili leće grejnstona i madstona s blagom kosom laminacijom *foreshore* pjesaka ili simetričnih strujnih riplova (?). Zajedno s podinskim muljevitim i laminiranim zrnastim vaspnencima (jedinice 5 i 6) ova jedinica tvori ciklus pokrupnjavanja naviše, kao rezultat taloženja u uvjetima porasta energije vode od niskoenergijskih u visokoenergijske plićake peritajdalne zone. Uzdužne osi kanala imaju pružanje približno sjeveroistok - jugozapad (azimut između 40 i 60 na 220 do 240°), što bi odgovaralo pružanju lokalne obalne crte približno pravcem sjeverozapad - jugoistok. Sudeći prema dosadašnjim radovima moglo bi se prepostaviti da je "kopno" bilo približno na sjeveroistoku, a "more" na jugozapadu, što se pretežito podudara s prostornim rasporedom najdužega trajanja emerzija (vidi sl. 25 u VELIĆ et al., 1995).

Nakon brečokonglomerata taloženih u visokoenergijskom plićaku s plimnim i erozijskim kanalima uspostavljuju se manje-više stabilni peritajdalni uvjeti i okoliši taloženja. Tako se u plitkom subtajdalnu taložu vaspnački muljevi - madstoni, a na intertajdalu ili plimnoj ravnici (*tidal flat*) vaspnački muljevi u izmjeni s peletima i cijanobakterijskim livadama (sl. 25), te desikacijama i pretaloženim pločastim stromatolitnim i madstonskim fragmentima, tj. madstoni, peletni vekstoni i stromatoliti s plimnim brečama (jedinice 8, 9 i 10 na sl. 18). Zbog desikacija i povremeno jačih plimnih struja i olujnih valova brzo litificirani stromatolitni talozi su razarani i pretaložavani mjestimice u obliku tankih slojeva desikacijskih breča, a češće u obliku plimnih breča u plimnim kanalima i depresijama na intertajdalu. Plimne breče obično sadrže fragmente madstona uklopljene u stromatolitne lamine, što ukazuje na njihovo naplavljivanje valovima na intertajdal na kojemu su postojale cijanobakterijske livade koje su obavijale i u sebe uklapale takve fragmente. Dalje u stupu slijede slični



Sl. 24 Detalj kontakta slojeva 5, 6 i 7 sa sl. 18. Vidljiva je snažna erozija podinskih vapnenaca (slojevi 6 i 5) kanalnim brečokonglomeratima (sloj 7). Gornji alb.

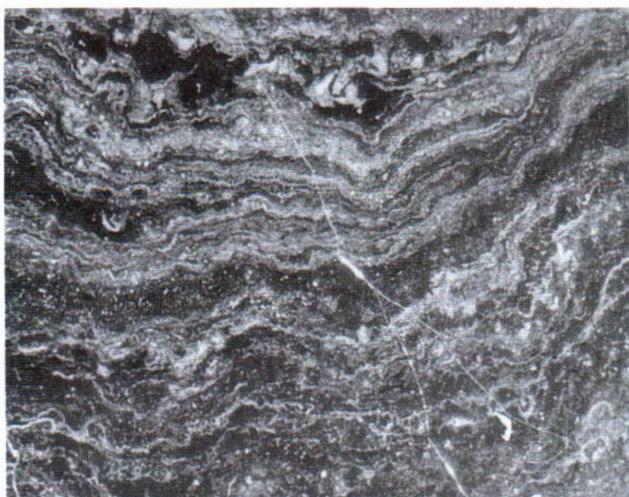
Fig. 24 Detail of contact of beds 5, 6 and 7 from Fig. 18. Intensive erosion of underlying limestones (beds 6 and 5) is caused by channel-shaped breccio-conglomerates (bed 7). Upper Albian.

albski peritajdalni vapnenci s još dvije slabije izražene emerzije unutar slijedećih 15-ak metara naslaga donjega alba.

Na slici 25 u vodiču ekskurzije A (VELIĆ et al., 1995) shematski su prikazane debljine donjoaptskih onkolitnih vapnenaca, tj. facijesa *Istarskog žutog*, u odnosu na različite početke i različito trajanje aptskih emerzija na istarskom dijelu karbonatne platforme.

Na različitim mjestima u području današnje Istre do izronjavanja je došlo u različito vrijeme, tj. s različitim početkom, a i različitim trajanjem emerzije, što je posljedica nejednolično izražene sinsedimentacijske tektonike. To je rezultiralo različitom debljinom vapnenaca facijesa *Istarski žuti*, pri čemu je na njihovu današnju debljinu utjecaj imao i intenzitet erozije i okršavanja tijekom apske emerzije.

Na cijelom središnjem i jugozapadnom dijelu Istre (Selina, Dvigrad, Kanfanar, Krmed, Sv. Petar, Bale, Negrin, Veli Brijun) donji apt je litofacijesno jednoličan, ali su mu debljine različite: u području Dvigrada i Kanfanara je najdeblji (oko 16 m), jer je emerzija nastupila tek u gornjem aptu, dok je u području Selina i Brijuna bitno tanji (oko 6-12 m) jer je tu emerzija nastupila krajem donjega apta. U području Baderne i Heraka najvjerojatnije uopće nije bilo taloženja, jer je tu emerzija bila najdulja: kopneni režim taloženja trajao je oko 15 milijuna godina (VELIĆ et al., 1989), od srednjega barema do srednjega alba, o čemu svjedoče i sporadični tragovi boksita. U sjeverozapadnoj Istri (područje Tar - Červar) najmladi barem je razvijen u



Sl. 25 Tankolaminirani stromatolit iz sloja 9 na sl. 18. Gornji alb, 6x.

Fig. 25 Thin laminated stromatolite from bed 9 at Fig. 18. Upper Albian, 6x.

drugacijem faciesu, karakterističnom za taloženje u plićacima s višom energijom vode. To se odražava dobro slojevitim intraklastičnim onkosparitima i onkomikritima pigmentiranim limonitom i hematitom, koji sadrže obavijene bioklaste (kortoide) bivalva, bioklaste bodljikaša i bentosne foraminifere. Sličan je i donji apt u kojem se talože debeloslojeviti baćinelski onkoliti.

Gornji apt je zbog oplicačavanja i poglavito emerzija mjestimice razvijen u većoj ili manjoj debljini (Dvigrad, Kanfanar, Sv. Petar; vidi sl. 25 i 26 u vodiču stratigrafske ekskurzije, VELIĆ et al., 1995), a ponegdje i potpuno nedostaje (Selina, Negrin, Veli Brijun) ili je kondenziran u 10 - 60 cm debelim slojevima emerzijskih breča (Bale). Sastoji se od 0.1 - 1.5 m debelih slojeva kokinskih vapnenaca pretežito sastavljenih od nesortiranih bioklasta bivalva, koji ukazuju na plićake s pokretljivom vodom i manjim krpastim grebenima školjkaša (sloj b na sl. 28 u vodiču stratigrafske ekskurzije, VELIĆ et al., 1995). Ti su plićaci imali ograničenu rasprostranjenost unutar prostranijih emergiranih područja. U rubnim područjima između njih i okopnjenih dijelova platforme nalazile su se močvare s reduktivnim uvjetima, gdje su se taložili biljni ostaci i pirit uz sudjelovanje bakterija koje reduciraju sulfate (crni talozi). Takva raznovrsnost facijesa ukazuje na izrazitu morfološku razvedenost ovoga dijela karbonatne platforme tijekom apta.

Najmlađe gornjoaptske naslage, koje se neposredno ispod emerzije nalaze samo u području Dvigrad - Kanfanar - Krmed - Sv. Petar, zastupljene su algalnim vekstonima i grejnstonima s obiljem skeleta *Salpingoperella dinarica* RADOIČIĆ. Facijesno odgovaraju niskoenergijskim subtajdalnim vapnencima.

Nova, opća ingressija cijelog istarskog dijela karbonatne platforme nastupila je početkom mlađega alba i u početku je imala značajke oscilirajuće transgresije, što se manifestira pojmom slojeva peritajdalnih vapnenaca, visokoenergijskih brečokonglomerata, breča s *black pebbles* i 3 do 6 kraćih emerzija. U takvim okolišima

objašnjivi su i logični nalazi tragovi stopala dinosaura, koje u albu Velog Brijuna navodi POLŠAK (1965b).

Različiti početak i trajanje aptske emerzije na istarskom dijelu karbonatne platforme protumačeni su, uz opće globalno sniženje morske razine, koje bi se na cijelom plitkomorskem, pretežito peritajdalnom dijelu platforme moralo reflektirati istodobnim početkom emerzije, još i djelovanjem sinsedimentacijske tektonike malih vertikalnih iznosa na velikom prostoru karbonatne platforme. Dok VELIĆ et al. (1989) prepostavljaju da je sinsedimentacijska tektonika pretežito mogla bila disjunktivna, danas na temelju novijih istraživanja sve više elemenata upućuje i na stvaranje blagih, prostranih plikativnih strukturnih oblika.

S aptskim emerzijama bilo je povezano i pradavno okršavanje i erozija vapnenaca faciesnog tipa *Istarski žuti*, već prema tome gdje i kada su tijekom apta nastupile emerzije, tj. kada je bilo prekinuto njegovo taloženje i koliko je dugo trajala kopnena faza. S druge pak strane, tijekom emerzija su taloženi tanji ili deblji proslojci (10 - 60 cm) emerzijskih breča ili brečokonglomerata s glinovitim ili laporovitim mariksom, i/ili glinovito-laporoviti ili reduktivni močvarni talozi. Te su naslage u postkrednoj i posteocenskoj kopnenoj fazi predstavljale odlučujući čimbenik zaštite vapnenca tipa *Istarski žuti* od okršavanja i procesa površinskoga trošenja. Najmanje je okršavanje, a i mehaničko oštećenje stijenske mase, na onim lokalitetima gdje je gornjoaptska emerzija bila praćena taloženjem nekoliko slojeva emerzijskih vapnačko-glinovitih do laporovitih breča i brečokonglomerata, pod uvjetom da nisu erodirani u recentnoj kopnenoj fazi. Glinoviti slojevi predstavljali su zaštitne (tampon) slojeve koji su spriječavali jače postsedimentacijsko okršavanje i oštećivanje stijenske mase mikritno-onkolitnoga vapnenca, posebice tijekom najmlade, recentne kopnene faze. U područjima gdje *Istarski žuti* izdanjuje na površinu bez krovine s emerzijskim glinovitim ili laporovitim brečama i tanjom krovinom albskih vapnenaca njegova su mehanička svojstva bitno lošija. Naime, okršavanje i, posebice, stilolitizacija po kontaktima onkoid - mikrit uzrokovali su slabljenje mehaničkih veza, te lakše raspadanje i drobljenje stijene, poglavito vapnenca onkolitnog tipa.

## 2. OPĆE STRATIGRAFSKO-SEDIMENTOLOŠKE ZNAČAJKE GORNJOALBSKIH I STARIJIH CENOMANSKIH KARBONATA JUŽNE ISTRE

U južnoj Istri sedimentološka ekskurzija postajama B-4 i B-5 (sl. 1) obuhvaća slijed peritajdalnih facijesa gornjega alba, njihov postupni prijelaz u *shoreface* okoliš donjega cenomana, obilježen sinsedimentacijskom tektonikom (sinsedimentni rasjedi, slampovi) i tempestitima u transgresivnom sustavu, a potom tendencijom oplicačavanja i taloženjem karbonatnih pješčanih tijela, bioklastičnih klinoformi i rudistnih biohermi.

Karbonatni sedimenti gornjega alba u južnoj su Istri zastupljeni tankoslojevitim (pretežito 5-20 cm) peritajdalnim, odnosno *foreshore* vapnencima, koji su mjestimice jače ili slabije kasnodijagenetski dolomitizirani, a ponegdje i pretvoreni u više-manje čiste kasnodijagenetske dolomite hipidiotipne mikrokristalaste do makrokristalaste mozaične dolomitne strukture (TIŠLJAR, 1978b). Među vapnencima dominiraju sitnozrnasti, dobro sortirani peloidalni i intraklastični grejnstoni i pekstoni u izmjeni s peloidalnim i skeletnim vekstonima i madstonima, mjestimice i LLH-stromatolitima i peritajdalnim brečama kao talozima nastalim tijekom olujnih plima (*storm tide deposits*). Muljeviti vapnenci (poglavitno vekstoni i madstoni) u pravilu su taloženi u niskoenergijskom plitkom subtajdalnu, a LLH-stromatoliti intertajdalnu. Zrnasti su vapnenci (peloidni i intraklastični grejnstoni do pekstoni), kao i peritajdalne breče, taloženi u plitkom subtajdalnu i intertajdalnu s povиenom energijom vode, odnosno *foreshore* okolišu. Zrnasti vapnenci vrlo često pokazuju male strujne riplove (amplituda 1-7 cm, valnih dužina 10-60 cm), kosu, valovitu i flazersku slojevitost karakterističnu za *foreshore* sedimente s nešto višom energijom plimnih struja i valova. U najmlađem dijelu gornjoalbskih vapnenaca česti su slampovi koji ukazuju na početak odredene tektonske aktivnosti i blagog nagibanja toga dijela karbonatne platforme (postaja B-4 ove ekskurzije).

Početkom cenomana prestaje peritajdalni, odnosno *foreshore* taložni sustav i uspostavljuju se, od mjesta do mjesta na karbonatnoj platformi, vrlo različiti taložni sustavi na relaciji od zaštićenih pličaka, *shoreface* okoliša, preko pješčanih prudova i rudistnih biolitita s progradacijom kokinskih klinoformnih tijela do rudistnih kolonija (postaja B-5). Prevladavaju kokinski i kokinitni vapnenci sastavljeni od kršja rudista i hondrodonti, a mjestimice i krupnih ostreidnih školjkaša.

U srednjem i gornjem cenomanu ponovno se uspostavlja pretežito peritajdalni ili plikomorski sustav taloženja s rudistnim kolonijama i tragovima gmazova, te nodulama dijagenetskih rožnjaka (VLAHOVIĆ et al., 1994).

U najmlađem cenomanu prevladava dubljevodni taložni sustav, uglavnom kao posljedica globalnog porasta morske razine, što se manifestira uspostavom taložnog sustava potopljene platforme, posebice izraženog na prijelazu iz mlađeg cenomana u stariji turon (GUŠIĆ & JELASKA, 1993).

**Postaja B-4: Peritajdalni facijesi gornjega alba i njihov postupni prijelaz u  
*shoreface* okoliš donjega cenomana obilježen sinsedimentacijskom tektonikom,  
 slampovima, tempestitima i karbonatnim pješčanim tijelima  
 (profil duž obale u uvali Banjole, 7 km južno od Pule)**

Stop B-4: Upper Albian peritidal facies and gradual transition into Lower Cenomanian shoreface - offshore-transition deposits characterised by synsedimentary tectonics, slumps, tempestites and carbonate sandstone bodies (Banjole cove, 7 km South of Pula)

Upper Albian shallow marine limestones are characterised by cyclical alternations of pelletal packstone/grainstones (locally with small-scale current ripples), laminated pelletal wackestone/packstones with sporadic stromatolite laminae, and stromatolites (Fig. 26). The thickness of the stromatolites decreases towards the younger part of the deposits. By the end of the Albian only intraclast-peloidal packstones and grainstones were deposited in shoreface environments. Synsedimentary tectonics is manifested by slumps, sliding, creeping and small-scale faulting (Fig. 29), probably formed during the tectonic activity caused by platform tilting. Tectonical disturbances, together with probable eustatic changes, led to a rise in relative sea-level. Therefore, Lower Cenomanian deposits are characterised by deposition predominantly in the offshore-transition and the lower shoreface environments, predominantly close to the fair-weather wave base (swaley cross-bedding and hummocky cross-bedding tempestites - Figs. 30 and 31). The overlying 180 cm thick bed composed of "nodular" fine-grained peloid-orbitolinid grainstones with basal lag containing large rudist shells and debris is interpreted as a relic of deformed amalgamated hummocky cross-stratified beds. Amalgamated beds mark the beginning of a regressive sequence. In a further succession there is a few-metre-thick carbonate sandstone body composed of fine-grained carbonate biotritus, overlaid by clinoforms composed of rudist debris (see Stop B-5).

U uvali Banjole, 8 km južno od Pule (sl. 1), na samoj je morskoj obali otvoren profil s izdancima tankoslojevitih peritajdalnih vapnenaca gornjega alba i njihov prijelaz u *shoreface* okoliš donjega cenomana obilježen sinsedimentacijskom tektonikom, slampovima, tempestitima i zatim debelim klinoformnim karbonatnim pješčanim tijelima.

Zbog velike dužine albskoga profila postaja B-4 ove ekskurzije obuhvaća samo završnih desetak metara debljine tankoslojevitih peritajdalnih vapnenaca gornjega alba. Tu se izmjenjuju pojedinačni nešto deblji (20 cm) slojevi laminiranih vapnenaca vekston/peksston tipa s tankoslojevitim (2-5 cm) sitnozrnastim peletnim peksston/grejnstonima i stromatolitima (sl. 26). U laminiranim vekston/peksstonima se izmjenjuju skeletno-peloidni vekstoni, rijede pekstoni s tankim kriptagalnim lamina, a vrlo rijetko i tankim laminama peloidnog grejnstona. Od skeleta prevladavaju ostrakodi i taumatoporele, dok su sitne bentosne foraminifere znatno rijede. Peletni pekstoni/grejnstoni se sastoje od dobro sortiranih peloida, dobro zaobljenih intraklasta, skeleta miliolida, rijede zelenih alga, te varijabilnih udjela mikritnog matriksa i mjestimice kalcitnog cementa (sl. 27). Stromatoliti se sastoje od nejednolično debeleih, valovito povijenih, mjestimice raskinutih kriptagalnih lamina (sl. 28) i tanjih

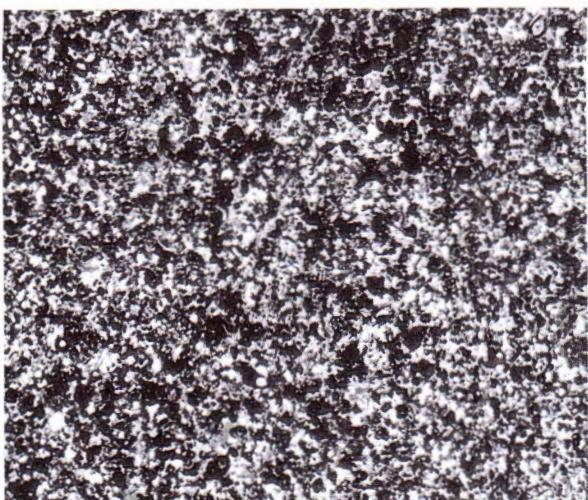


Sl. 26 Izmjena tankih slojeva sitnozrnastih peletnih pekstona/grejnstona i rijetkih stromatolita. Gornji alb.

Fig. 26 Alternation of thin-bedded fine-grained pelletal pack-stone/grainstones and infrequent stromatolites. Upper Albian.

lamina ostrakodnih vekstona, peloidnih pekstona/grejnstona, a katkada i madstona s više-manje jasnom mrvičastom strukturom. Brojne raskinute kriptagalne lamine sadrže sitne desikacijske pukotine ili su strujama plime premještene i nakupljene u obliku stromatolitne intertajdalne breče.

Mjestimice se na gornjim slojnim površinama zrnastih vapnenaca nalaze slabo očuvani strujni riplovi malih amplituda (< 10 mm) s valnim dužinama od 10 do 15 cm. Uzdužne osi riplova imaju pravac pružanja 200 do 205 na 20 do 25°, čime markiraju pružanje lokalne obalne crte u vrijeme taloženja. Pojedini slojevi peloidnih grejnstona pokazuju kosu laminaciju s blago položenim setovima kosih lamina. Debljina jednog te istog sloja lateralno je dosta promjenljiva. Tako mjestimice nekoliko tankih slojeva bočno potpuno isklinjava ili su raskinuti i horizontalno razmaknuti tvoreći depresiju širine oko 1.8 m i maksimalne dubine do 30 cm. Depresiju ispunjava više tanjih (1-6 cm) lećastih, slojeva laminiranih krupnozrnastijih peloidnih i intraklastičnih pekstona. Najveću debljinu lećasti slojevi imaju u središnjem dijelu depresije, a prema njezinim rubovima se istanjuju i potpuno nestaju. Premda donekle slične plimnom ili erozijskom kanalu, depresije nisu nastale erozijskim djelovanjem već raskidima slojeva nekonsolidiranoga taloga zbog potresa i sinsedimentacijske tектonike koja je izazvala blagu promjenu nagiba još uvijek plitkoga dijela platforme, što je kasnije u nešto mlađim slojevima znatno jasnije izraženo. Na lećastim slojevima koji ispunjavaju depresiju, a bočno na slojevima u kojima se depresija pojavljuje, kontinuirano se nastavlja slična peritajdalna sedimentacija. Talože se tankoslojeviti (2-4 mm) i laminirani sitnozrnasti peloidni pekstoni/grejnstoni s rijetkim centimetarskim proslojcima madstona. Pri tome pojedini slojevi sitnozrnastih peloidnih vapnenaca pokazuju strujne riplove malih amplituda.



Sl. 27 Sitnozrnasti peloidni grejnston sastavljen od dobro sortiranih peloida i dobro zaobljenih intraklasta, rijede miliolida i zelenih alga. Gornji alb, 6x.

Fig. 27 Fine-grained peloid grainstone composed of well-sorted peloids and well-rounded intraclasts; miliolids and green algae are rare. Upper Albian, 6x.

Na postupno opadanje energije vode, tj. struja plima i oseka, praćeno prestankom taloženja laminiranih peloidnih taloga u plićem subtajdalu i pretežito intertajdalu ukazuju pojedinačni slojevi stromatolita nastali na muljevitom intertajdalu posredstvom cijanobakterija (sl. 28). Stromatolitni se sloj odlikuje neravnom, grudastom gornjom slojnom površinom i brzom litifikacijom. Brza se litifikacija jasno manifestira pucanjem, ali i reversnim najahivanjem jednog raskinutog dijela stromatolita na drugi (sl. 29). To se zbivalo tijekom taloženja novog sloja na stromatolitu. Tek istaloženi, još mekani krovinski karbonatni muljeviti talog je pritom slampiran u čelu reversije. To jasno ukazuje na sinsedimentacijsku tektoniku i blagu



Sl. 28 Mikrosnimak stromatolita: izrazito valovite lamine su mjestimice raskinute, a zatim su preko njih ponovno rasle neprekinute cijanobakterijske livade. Gornji alb, 6x.

Fig. 28 Microphotograph of stromatolite: wavy laminae are partially disturbed, and overlaid by new, continuous cyanobacterial mats. Upper Albian, 6x.



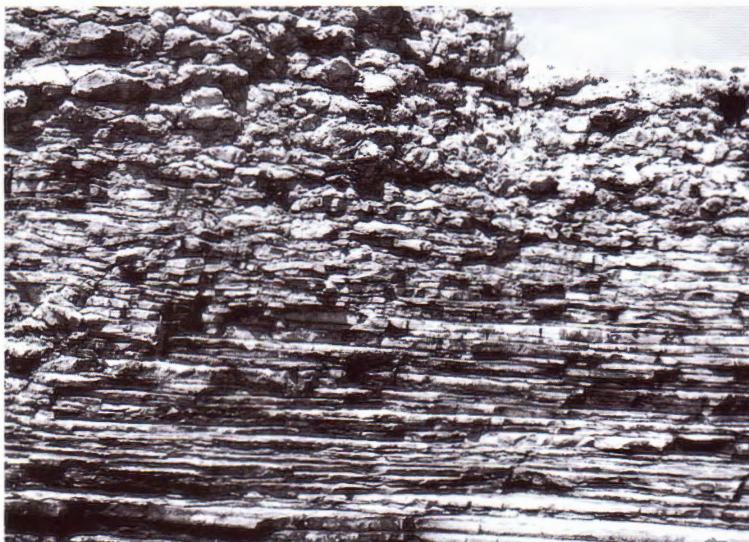
Sl. 29 Sinsedimentacijska tektonika: reversno najahivanje raskinutog, brzo litificiranog stromatolitnog sloja, pri čemu je još nepotpuno litificirani krovinski muljeviti talog slampiran u čelu reversije. Gornji alb (poklopac objektiva je promjera 60 mm).

Fig. 29 Synsedimentary tectonics: reversed overriding of already lithified stromatolite bed, resulting in visible slump structure of overlying, still incompletely lithified mudstone bed. Upper Albian (objective cap for scale is 60 mm in diameter).

promjenu nagiba toga još uvijek plitkog (peritajdalnog) dijela platforme. Na taj se način taj dio platforme postupno pretvara u blago nagnutu padinu, kosinu ili rampu s tendencijom produbljavanja donjem nagnutog dijela.

U dalnjem slijedu naslaga stromatoliti potpuno nestaju, a uz tankoslojevitete peloidne vapnence s laminacijskom izmjenom peloidnih vekstona i pekstona postupno se nalazi sve više debljih slojeva (30 - 40 cm) srednje do krupnozrnastih, dobro sortiranih intraklastično-peloidnih grejnstona koji sadrže miliolidne foraminifere i pojedinačne krupne (0.5 - 4 mm) mikritne intraklaste.

Deblji slojevi grejnstona imaju bočno vrlo promjenljivu debljinu: manjim dijelom zbog erozije, a pretežito zbog raskida slojeva i puzanja još nevezanih karbonatnih pijesaka pri povećanju kuta nagiba ovoga dijela platforme uzrokovanoj sinsedimentacijskom tektonikom. Raskidi i puzanja još nekonsolidiranih karbonatnih pješčanih slojeva, kao i njihova upadanja ili utiskivanja u žitke podinske taloge slične *ball-and-pillow* strukturama, uzrokovani su vjerojatno potresima i tektonskim šokovima, dakle seizmičkim efektima, pa se mogu smatrati nekom vrstom *seizmita*. Pritom su glavni efekti sinsedimentacijske tektonike nastali tijekom kratkotrajnih jačih tektonskih šokova, čiji su tragovi ostali zabilježeni samo u pojedinim slojevima. Naime, sudeći po neporemećenim debljim paketima slojeva, između tektonskih šokova postojale su znatno duže faze relativnog tektonskog mirovanja, tj. razdoblja



Sl. 30 Tankoslojeviti sitnozrnasti peletni pekston/grejnstoni (donji dio slike), humčasto koso slojeviti peletno-intraklastični grejnstoni (središnji dio slike) i "nodularni" peloidno-orbitolinid vekston/pekstoni s bioklastima rudistnih školjkaša u erozijskom dodiru s podinom (gornji dio slike). Prijelaz gornji alb - donji cenoman. Visina prikazanog izdanka je 3.5 m.

Fig. 30 Thin-bedded fine-grained pelletal packstone/grainstone (lower part of photo), hummocky cross-stratified pelletal-intraclastic grainstone (central part) and "nodular" peloid-orbitolinid wackestone/packstone with rudist bioclasts in erosional contact with underlying deposits (upper part of photo). Upper Albian - Lower Cenomanian transition. Height of shown outcrop is c. 3.5 m.

bez izrazitije tektonske aktivnosti. Sva reversna najahivanja, puzanja i svi slampovi uvijek imaju isti smjer nagiba, tj. isti nagib padine prema istoku-jugoistoku.

Zbog povećanja kuta nagiba padine plikovodni - peritajdalni ili *foreshore* - taložni sustav postupno se zamjenjuje nešto dubljim - *shoreface* taložnim sustavom, uglavnom između osnovice valova lijepa i olujna vremena. To se manifestira postupnom pojavom izoliranih tankih proslojaka s vjerojatnom dolinastom kosom slojevitošću (SCS), a zatim i pojavom amalgamiranih tempestita s dobro razvijenom humčastom kosom slojevitošću (HCS). Humčasta kosa slojevitost (središnji dio sl. 30) se pojavljuje u laminiranim, jako sitnozrnastim (0.03 do 0.1 mm), odlično sortiranim intraklastičnim i/ili peloidnim grejnstonima i peloidnim pekstonima (sl. 31) u kojima se mjestimice nalaze pojedinačne sitne bentosne foraminifere i bioklasti tankoljušturnih školjkaša.

Dok članovi P, F i X idealne tempestitne BPHFXM-sekvencije nisu jasno razvijeni, ili su vrlo tanki, član H, tj. jedinica s humčastom kosom slojevitošću - HCS, je najdeblji (20-60 cm) i za karbonatne stijene izvanredno lijepo i jasno razvijen, obično višekratno umnožen. To je posljedica amalgamiranja niza tempestitnih sekvencija u plićem dijelu *offshore-transition zone* i donjem dijelu *shoreface* okoliša tj. neposredno ispod i iznad osnovice valova lijepa vremena.

U stupu slijedi oko 180 cm debeli paket "nodularnih" peloidalno-orbitolinskih vekstona/pekstona s jasnom erozijskom donjom slojnom površinom (gornji dio sl.



Sl. 31 Tanko laminirani, dobro sortirani peletno-intraklastični grejnstoni/pekstoni iz središnjeg paketa (s humčastom slojevitotošću) na sl. 30. 6x.

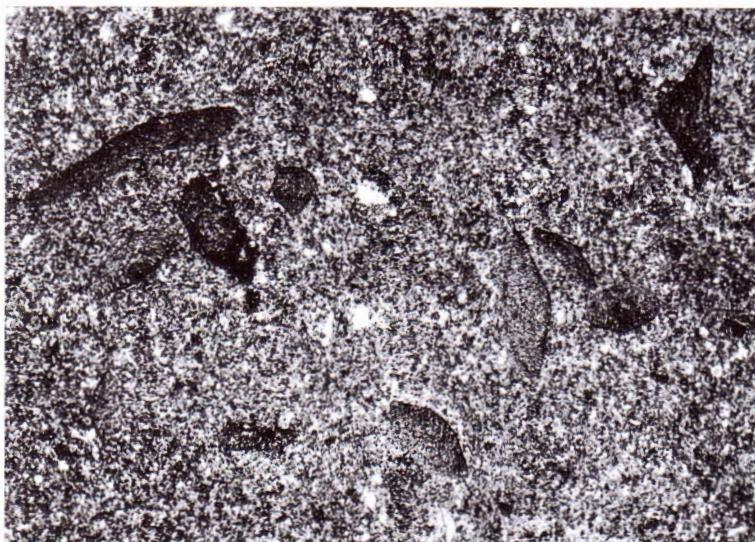
Fig. 31 Thin-laminated, well-sorted pelletal-intraclastic grainstone/packstones from central part (exhibiting hummocky cross-stratification) of Fig. 30. 6x.

30). Ti su vapnenci pretežito sastavljeni od dobro sortiranog sitnozrnastog plemikritnog matriksa i varijabilnih udjela abradiranih skeleta orbitolina i bioklasta rudistnih školjkaša (sl. 32). To je prva sigurno dokazana donjocenomska fauna, koja se sastoji od krupnih (10 - 20 cm) pojedinačnih rudista i mnogobrojnih orbitolina, posebice *Orbitolina (Conicorbitolina) conica* (D'ARCHIAC). Najveće su koncentracije orbitolina u obliku orbitolinskog grejnstona oko "nodula" unutar nodularnog vapnenca. U donjem dijelu ovoga paketa nodularnih vapnenaca "nodule" su promjera od 5-10 cm, a širine 10 do 15 cm. U gornjem dijelu debljina se "nodula" smanjuje na oko 3-5 cm uz istu širinu, tako da imaju diskoidalni oblik. Gornja trećina ovog paketa "nodularnog" vapnenca je bioturbirana.

Novi paket "nodularnoga" vapnenca debljine oko 170 cm započinje 30 cm debelim slojem grejnstona koji mjestimice sadrži gastropode i bioklaste rudistnih školjkaša u tolikoj količini da stijena ima značajke kokine, a završava bioklastično-peloidnim pekstonom s rijetkim bioklastima rudista i horizontalnim bioturbacijama.

"Nodule" ili humci u ova dva paketa nodularnih vapnenaca vjerojatno su ostaci deformiranih, višekratno amalgamiranih i dijagenetski izmijenjenih tempestitnih humaka.

Donos krupnih rudistnih ljuštura i bioklasta ukazuje na istovremeno postojanje rudistnih kolonija u susjednim plitkomorskim područjima, iz kojih su donešeni djelovanjem jakih oluja. Građa i sastav tempestitnih sekvencija navodi na zaključak da je njihovo taloženje bilo naglo, karakterizirano velikom količinom karbonatnog detritusa koji je akumuliran blizu osnovice valova lijepa vremena. Upravo je velika količina naglo taloženog materijala spriječila njegovo znatnije preradivanje plitko-



Sl. 32 Abradirani skeleti orbitolinida u dobro sortiranom sitnozrnastom pelmikritnom matriksu. Cenoman, 7,5x.

Fig. 32 Abraded tests of orbitolinids in well-sorted fine-grained pelmicite matrix. Cenomanian, 7.5x.

morskim procesima. Vršni dijelovi ovih paketa nodularnih vapnenaca s vidljivim bioturbacijama upućuju na duže faze lijepa vremena i razmjerno sporiju sedimentaciju.

Trenutnim taloženjem velike količine karbonatnog detritusa obroci taloženja su nadilazili obroke subsidencije, te je na taj način započelo razmjerno brzo ispunjavanje taložnog prostora stvorenog pod pretežitim utjecajem sinsedimentacijske tektonike. Naime, formiranjem blagih plikativnih oblika u najdubljim su dijelovima stvoreni dublji okoliši (*offshore-transition, lower shoreface*), a u pličim dijelovima okoliši pogodni za naseljavanje rudistnih kolonija, koji su predstavljali izvorište velike količine rudistnog detritusa. Amalgamiranje, odnosno sjedinjavanje slojeva s humčastom kosom slojevitošću karakteristično je za donji *shoreface* i početak regresivnog slijeda u taložnom sustavu (CHEEL & LACKIE, 1993).

Dalje u stupu slijedi nekoliko metara debelo, masivno vapnenačko pješčano tijelo nastalo taloženjem dobro sortiranog, sitnozrnastog karbonatnog pješčanog detritusa u obliku pješčanoga pruda, a na njemu debela klinoforna tijela rudistnih kokina vapnenaca koji će biti prikazani u kamenolomu Vinkuran (postaja B-5 ove ekskurzije). Pretežiti dio ovih masivnih vapnenaca pripada dobro sortiranim pekstonima do grejnstonima uglavnom sastavljenim od sitnorazdrobljenog rudistnog kršja, peloida, kršja bodljikaša i krupnih orbitolina. Pored mjestimice prisutne manje količine mikritnog matriksa, detritus je uglavnom cementiran mikrokristalastim kalcitnim cementom.

Masivno pješčenjačko vapnenačko tijelo predstavlja akumulaciju i litifikaciju sitnozrnastog karbonatnog taloga na *shoreface*-u nakon njegove migracije po blago nagnutom dnu. Sastav detritusa od kojega se to tijelo sastoji pokazuje dvojaki izvor: sitnozrnasti peloidi i krupnije ljušturice orbitolina naplavljeni su iz subtajdalnih plićaka, a sitnorazdrobljeno rudistno krše, čiji udjel konstantno raste naviše, potječe

od razaranja rudistnih kolonija iz okolnih izdignutih i morfološki reljefno istaknutih dijelova karbonatne platforme. Progradacijom rudistnoga krša i samih rudistnih kolonija taložni se prostor razmijerno brzo ispunjava, što dovodi do relativnog opličavanja uz taloženje sekvencije s klinoformama i značajkama pokrujnjavanja naviše (postaja B-5 ove ekskurzije).

### **Postaja B-5: Klinoformna tijela bioklastičnih rudistnih kokinitnih i kokinskih vapnenaca (cenoman, kamenolom Vinkuran, 6 km južno od Pule)**

Stop B-5: Clinoform bodies composed of bioclastic rudist coquinas  
(Cenomanian, Vinkuran quarry 6 km South of Pula)

The Vinkuran quarry (Fig. 33) has been known from Roman times. From the stone blocks extracted from this quarry numerous buildings were built, and the most famous is, undoubtedly, Arena in Pula (the end of the first, and the beginning of the second century). The c. 40 m thick sequence of massive bioclastic limestones comprises three different types, known under the commercial names *Vinkuran statuario*, *Vinkuran unito* and *Vinkuran fiorito*.

*Vinkuran statuario* (microcoquina), fine-grained, well-sorted bioclastic packstone/grainstone occurring in the lower part of the quarry, represents the uppermost part of the carbonate sandstone body presented at the Stop B-4.

*Vinkuran unito* (unito means uniform) occurs in the upper lower part of the quarry, as well as in the middle part of the quarry, where it combines with the fiorito type to form clinoform bodies. These consist of porous rudist microcoquinite (bioclastic packstone/float-stone - Fig. 34).

*Vinkuran fiorito* (fiorito means blooming) is associated with the unito type in clinoform bodies in the middle part of the quarry, while in the upper part of the quarry it comes alone. It is highly porous coquina (rudist floatstone - Fig. 35), and in the upper part of the quarry rudist biolithite (biostroma).

The succession of Lower Cenomanian clinoform limestones in the Vinkuran quarry presents a typical coarsening- and shallowing-upward sequence, formed by progradation of rudist debris and colonies towards the South-East.

Kamenolom Vinkuran (d.d. "Kamen" - Pazin) je poznat još iz rimskoga doba (Cava romana). Tu su vađeni kameni blokovi od kojih su izgrađene mnoge građevine, a svakako najznačajnija je arena u Puli, građena krajem prvoga i početkom drugoga stoljeća poslije Krista.

Oko 40-tak metara debela stijenska masa masivnih doniocenomanskih hondrokontno-rudistnih vapnenaca (sl. 33) sadrži tri različite komercijalne vrste kamena poznate kao *Vinkuran statuario*, *Vinkuran unito* i *Vinkuran fiorito*.

Tip *statuario* se javlja samo u donjem, najdubljem dijelu kamenoloma i predstavlja vršni dio sitnozrnastog karbonatnog pješčanog tijela s kraja profila u uvali Banjole (postaja B-4 ove ekskurzije). To je mikrokokinitski vapnenac, odnosno sitnozrnasti bioklastični pekston/grejnston, pretežito sastavljen od vrlo sitnog, dobro sortiranog, poput "kamenog brašna" razdrobljenog krša rudistnih ljuštura i od peloida. Sitnozrnasti karbonatni detritus je nepotpuno cementiran mikrokristalastim kalcit-



Sl. 33 Masivni cenomanski mikrokokinitni i kokinitni vapnenci. Kamenolom Vinkuran.

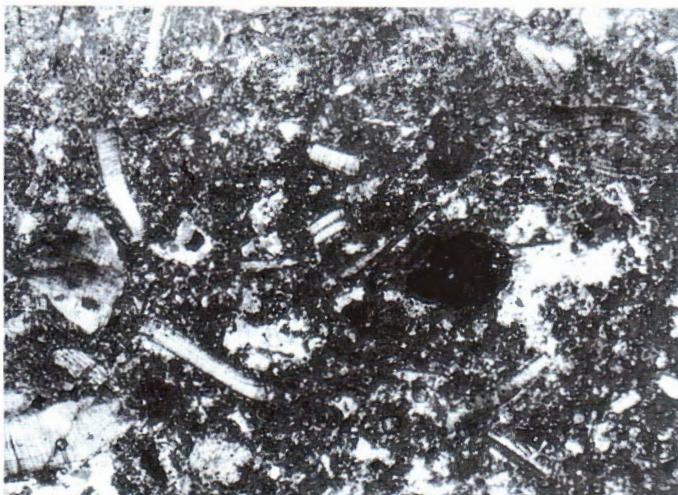
Fig. 33 Massive Cenomanian microcoquinite and coquinite limestones. Vinkuran quarry.

nim cementom, a mjestimice i mikritnim matriksom, tako da intergranularne pore i njihovi pojedini dijelovi ostaju neispunjeni. Ime *statuario* je dobio zbog toga što je vrlo pogodan za izradu kipova, odnosno rado upotrebljavan od kipara i kamenoklesara.

Tip *unito* (= jednoličan) se uglavnom pojavljuje u višem donjem i srednjem dijelu stijenske mase u kamenolomu, obično u izmjeni s *fioritom*, a pripada poroznom rudistnom mikrokokinitnom vapnencu (bioklastičnom pekstonu/floutstonu do grejstonu/radstonu) sastavljenom od 0,5 - 3 mm velikih, dobro sortiranih, nezaobljenih fragmenata rudistnih i hondrodontnih ljuštura te matriksa tipa "kamenog brašna" i kalcitnog mikrokristalastog cementa koji samo djelomice ispunjava intergranularne pore (sl. 34).

Tip *fiorito* se pojavljuje u obliku kliniformi zajedno s *unitom* u srednjem, a sam i u gornjem dijelu stijenske mase kamenoloma. Po sastavu je to visoko porozni, tipični rudistični kokini ili floutstone vapnenac sastavljen od krupnih i sitnih, loše sortiranih, nezobljenih fragmenata ili naplavljениh cijelih ljuštura rudista, rjeđe hondodonti i gastropoda, te varijabilnog udjela matriksa tipa *unito* i makrokristalastog kalcitnog cementa. U vršnom dijelu kamenoloma tipu *fiorito* pripadaju i rudistični biolititni vapnenci sastavljeni od pojedinačnih kolonija rudista litificiranih na staništu u položaju rasta. Ime je (*fiorito* = rascvjetan) dobio po tomu što presjeci rudistnih ljuštura na poliranim pločama imaju izgled tkanine s cvjetnim uzorcima (sl. 35).

Sva ova tri komercijalna tipa kamena su porozni, vrlo čisti mikrokokinitni, mikrokokinski ili kokinski vapnenci, uglavnom sastavljeni od sitnoga rudistnoga kršja i/ili naplavljениh rudistnih ljuštura različitih dimenzija, stupnja sortiranosti i zaobljenosti, praktično bez siliciklastičnog materijala, koji sadrže oko 99,2% CaCO<sub>3</sub> (TIŠLJAR, 1978b).



Sl. 34 Tipičan mikrokokiniti vapnenac (tip *unito*) sastavljen od sitnorazdrobljenih ljuštura školjkaša. 18.5x.

Fig. 34 Typical microcoquinite limestone (*unito* type) composed of fine-grained mollusc shell debris. 18.5x.

U vagnencima kamenoloma Vinkuran POLŠAK (1967) je od makrofosila determinirao rudistne rodoje *Gyropleura*, *Monopleura*, *Ichthyosarcolites*, *Sauvagesia*, *Radiolites* i *Praeradiolites*, te hondrodonte *Chondrodonta joannae* (CHOFFAT), *Ch. joannae angusta* SCHUBERT, *Ch. joannae levis* SCHUBERT i *Ch. munsoni* HILL.

U neposrednoj krovini kamenoloma nalazimo prve vagnence koji sadrže bentosnu foraminiferu *Chrysalidina gradata* d'ORBIGNY, koja je provodna za plitkovodne facijese srednjega i gornjega cenomana Mediterana, pa tako i na Jadranskoj karbonatnoj platformi (GUŠIĆ & JELASKA, 1993), te u sjevernom dijelu Istre (VELIĆ & VLAHOVIĆ, 1994).

Donjocenomanski hondrodontno-rudistni vagnenci, čije izdanke osim u kamenolomu Vinkuran nalazimo na širokom prostoru južne Istre, nastali su razaranjem taloženjem kršja rudista i rudistnih ljuštura u visokoenergijskim okolišima podalje od rudistnih kolonija. Donosom velike količine krupnog i sitnog fosilnoga kršja iz plićaka s rudistnim kolonijama i njegovim taloženjem u udubljenjima i dubljim dijelovima morfološki razvedenog dna postupno se stvaraju uvjeti za progradaciju, tj. bočnu taložnu migraciju, najprije rudistnoga detritusa, a potom i samih rudistnih kolonija. U prvoj se fazi u depresijama udaljenijim od plićaka s rudistnim kolonijama taloži najsitniji detritus - *statuario* tip, a zatim postupnom progradacijom sve krupniji i krupniji rudistni detritus u klinoformnim oblicima (*unito* i *fiorito* tip). Progradacijom nastaju tipične klinoforme, čije se debljine od rudistnih kolonija prema dubljem dijelu plićaka smanjuju od prosječnih 2-6 m na svega par decimetara. Takvim načinom taloženja sve se više i više ispunjava dio dublji dio plićaka, neravnine na dnu su se postupno izravnavale, a voda je postajala sve plića i pogodna za bočno širenje, tj. progradaciju rudistnih kolonija.



Sl. 35 Rudistni kokina vapnenac (tip *fiorito*) sastavljen od krupnih ljuštura i bioklasta rudista i sitnozrnastog bioklastičnog matriksa i kalcitnog cementa. Gornji dio slijeda naslaga u kamenolomu Vinkuran. Širina polirane ploče prikazane na slici je 23 cm.

Fig. 35 Rudist coquina limestone (*fiorito* type) composed of large rudist shells and fine-grained bioclastic matrix and calcite cement. Upper part of sequence in Vinkuran quarry. Width of polished slab shown on photo is 23 cm.

Sedimentno tijelo sastavljeno od više kliniformi ima pri tomu značajke taložne sekvencije pokrujavanja naviše, što je jasno vidljivo na južnom čelu kamenoloma (slijed *statuario* - *unito* - *fiorito*). Tu se u srednjem dijelu žičnim pilama rezane stijenske mase također dobro vide kliniforme sastavljene od sitnog i krupnog rudistnog kršja i njihova erozijska donja granica, a u gornjem dijelu pretežito krupno rudistno krše s pojedinačnim rudistnim kolonijama litificiranim na staništu u položaju rasta (biolitit). Međutim, kliniformni su oblici i progradacija rudistnih biolitita u naslagama *Vinkuran* tipa najljepše uočljivi na velikim izdancima na strmoj zapadnoj morskoj obali u okolini Banjola, što je u kontekstu korelacije cenomana sjeverne i južne Istre bilo prikazano na posteru (VLAHOVIĆ et al., 1994), a u pripravi je i poseban rad s kompleksnom sedimentološkom i sekvencijsko-stratigrafskom interpretacijom karbonatnih sedimenata alba i cenomana južne Istre.

### 3. LITERATURA - REFERENCES

- CHEEL, R.J. & LACKIE, D.A. (1993): Hummocky cross-stratification.- In: WRIGHT, V.P. (ed.): Sedimentology review, 1, 103-122, Blackwell Sci. Pub.
- FÜCHTBAUER, H. & TIŠLJAR, J. (1975): Peritidal cycles in the Lower Cretaceous of Istria (Croatia, YU).- Sedimentary Geology, 14, 219-233.
- GOLDHAMMER, R.K., DUNN, P.A. & HARDIE, L.A. (1990): Depositional cycles, composite sea-level changes, cycle stacking patterns, and the hierarchy of stratigraphic forcing: Examples from Alpine Triassic platform carbonates.- Geol. Soc. Am. Bull., 102/5, 535-562.

- GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1993): Upper Cenomanian-Lower Turonian sea-level rise and consequences on the Adriatic-Dinaric carbonate platform.- *Geol. Rundsch.*, 82/4, 676-686.
- POLŠAK, A. (1965a): Stratigrafija jurskih i krednih naslaga srednje Istre (Stratigraphie des couches jurassiques et crétacées de l'Istrie centrale).- *Geol. vjesnik*, 18/1, 167-184.
- POLŠAK, A. (1965b): Geologija južne Istre s osobitim obzirom na biostratigrafiju krednih naslaga (Géologie de l'Istrie méridionale spécialement par rapport à la biostratigraphie des couches crétacées).- *Geol. vjesnik*, 18/2, 415-510, Zagreb.
- POLŠAK, A. (1967): Kredna makrofauna južne Istre (Macrofaune crétacée de l'Istrie méridionale, Yougoslavie).- *Paleont. Jugoslav.*, 8, 1-218, Zagreb.
- TIŠLJAR, J. (1977): Ranodijagenetska i kasnodijagenetska dolomitizacija i dedolomitizacija u krednim karbonatnim sedimentima zapadne i južne Istre, Hrvatska, Jugoslavija (Early-diagenetic and late-diagenetic dolomitisation and dedolomitisation in the Cretaceous sediments of western and southern Istria).- *Geol. vjesnik*, 29, 287-321.
- TIŠLJAR, J. (1978a): Onkolitni i stromatolitni vapnenci u donjokrednim Istre (Oncolite and stromatolite limestones in the Lower Cretaceous of Istria).- *Geol. vjesnik*, 30/2, 363-382.
- TIŠLJAR, J. (1978b): Tidal flat, lagoonal and shallow marine carbonates in the Upper Jurassic and Cretaceous of Istria (Yugoslavia).- *Acta geologica*, IX/5, 159-194, Zagreb.
- TIŠLJAR, J. (1986): Postanak crnih valutica i oblutaka ("black pebbles") u periplimnim vapnencima titona zapadne Istre i barema otoka Mljeta (Origin of the black-pebbles and fragments in the peritidal limestones of the western Istria (Tithonian) and island of Mljet (Barremian)).- *Geol. vjesnik*, 39, 75-94.
- TIŠLJAR, J. & VELIĆ, I. (1986): Ritmična sedimentacija u peritidalnim i lagunskim sedimentima donje krede Istre.- *Vodič ekskurzije V Skupa sedimentologa SFRJ, Brijuni*, Hrvatsko geološko društvo, 1-27, Zagreb.
- TIŠLJAR, J. & VELIĆ, I. (1987): The Kimmeridgian Tidal-Bar Calcarenite Facies of Western Istria (Western Croatia, Yugoslavia).- *Facies*, 17, 277-284.
- TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., RADOVČIĆ, J. & CRNKOVIĆ, B. (1983): Upper Jurassic and Cretaceous peritidal, lagoonal, shallow marine and perireefal Sediments of Istria.- In: BABIĆ, Lj. & JELASKA, V. (eds.): Contribution to Sedimentology of Some Carbonate and Clastic Units of the Coastal Dinarides. Excursion Guidebook, 4th I.A.S. Regional Meeting, 13-35, Split.

- TIŠLJAR, J., VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (1994): Correlation of the Upper Jurassic Carbonate Platform Deposits in western Croatia.- First International Meeting on Perimediterranean Carbonate Platforms, Abstracts, 153-156, Marseille.
- TUCKER, M.E. (1993): Carbonate diagenesis and sequence stratigraphy.- In: WRIGHT, V.P. (ed.): Sedimentology review, 1, 51-73, Blackwell Sci. Pub.
- VELIĆ, I., MATIČEC, D., VLAHOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1995): Stratigrafski slijed jurskih i donjokrednih karbonata (bat-gornji alb) u zapadnoj Istri, ekskurzija A (Stratigraphic succession of Jurassic and Lower Cretaceous carbonates (Bathonian - Upper Albian) in western Istria, Excursion A).- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Vodič ekskurzije (The First Croatian Geological Congress, Opatija 1995, Excursion Guide-book), 31-66, Zagreb.
- VELIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1987): Biostratigrafske i sedimentološke značajke donje krede otoka Veli Brijun i usporedba s odgovarajućim naslagama jugozapadne Istre (Biostratigraphic and sedimentologic characteristics of the Lower Cretaceous deposits of the Veli Brijun island and comparison with the corresponding deposits in SW Istria (western Croatia, Yugoslavia)).- Geol. vjesnik, 40, 149-168.
- VELIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1988): Litostratigrafske jedinice u dogeru i malmu zapadne Istre, zapadna Hrvatska, Jugoslavija (Lithostratigraphic units in the Dogger and Malm of western Istria).- Geol. vjesnik, 41, 25-49.
- VELIĆ, I., TIŠLJAR, J. & SOKAČ, B. (1989): The variability of thicknesses of the Barremian, Aptian and Albian Carbonates as a Consequence of Changing Depositional Environments and Emersions in Western Istra (Croatia, Yugoslavia).- Mem. Soc. Geol. Italia, 40, 209-218.
- VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (1994): Foraminiferal Assamblages in the Cenomanian of the Buzet-Savudrija Area (Northwestern Istria, Croatia).- Geologia Croatica, 47/1, 25-44.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J. & VELIĆ, I. (1994): Facies succession in the Cenomanian of Istria (Western Croatia): Tectonic vs. Eustatic Control.- First International Meeeting on Perimediterranean Carbonate Platforms, Abstracts, 169-171, Marseille.



## Mineralne sirovine Istre - neka ležišta boksita, arhitektonsko-gradevinskog kamena i kvarcnoga "pijeska" (ekskurzija C)

Mineral Deposits of Istria - Some Deposits of Bauxite, Building-Stone and Quartz "Sand"  
(Excursion C)

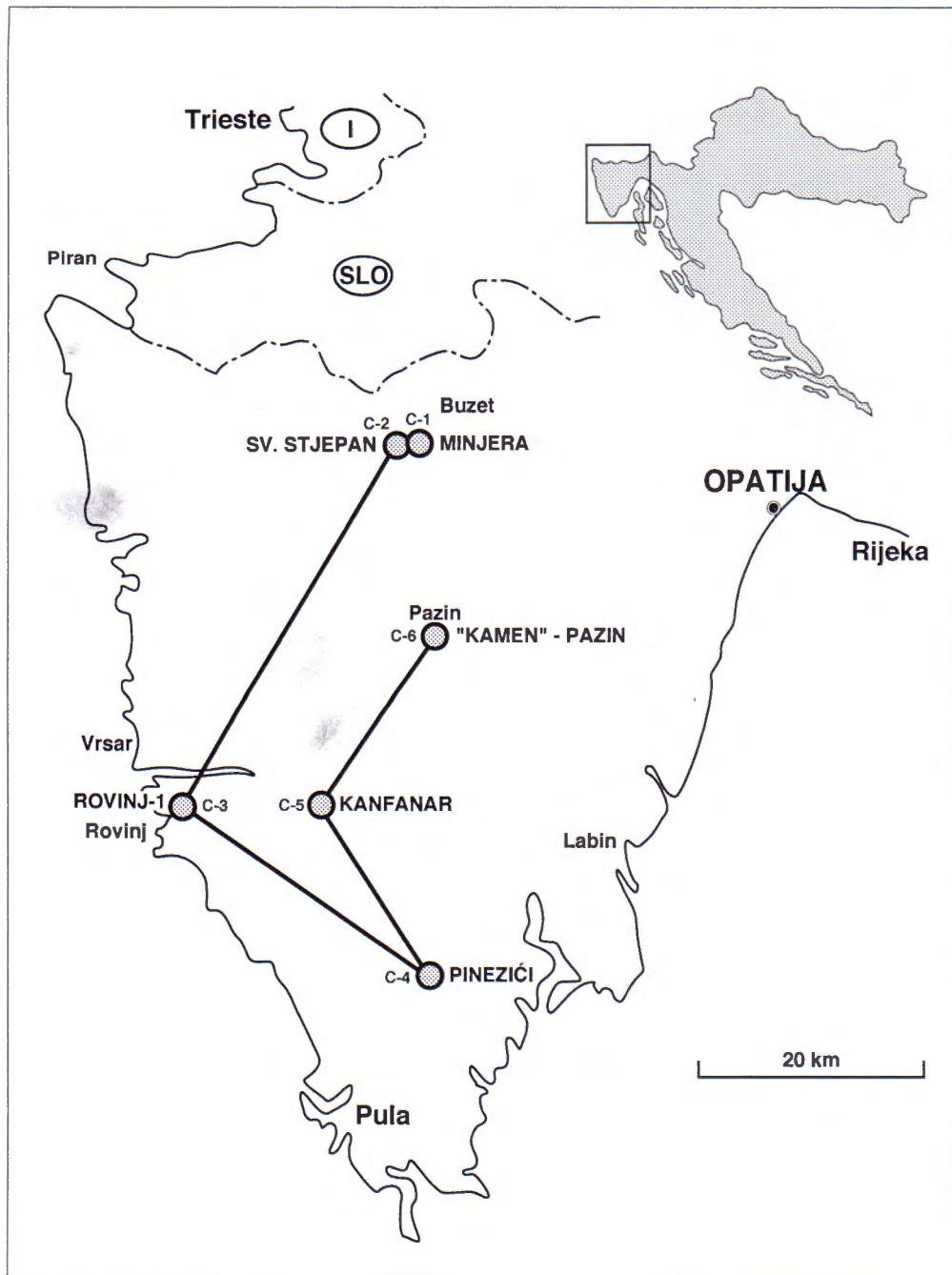
Anto GABRIĆ<sup>1</sup>, Ivan GALOVIĆ<sup>1</sup>, Krešimir SAKAČ<sup>2</sup> & Mladen HVALA<sup>3</sup>

Ekskurzija o mineralnim sirovinama Prvoga hrvatskog geološkog kongresa (sl. 1) obuhvaća sljedeće postaje: C-1 - očuvani ostaci jamske eksploatacije piritiziranih paleocenskih boksita rudnika "Minjera" u dolini Mirne, C-2 - nekadašnju jamsku eksploataciju u kamenolomu ukrasnoga rudistnog vapnenca "Sv. Stjepan" kod Istarskih Toplica, C-3 - površinski kop crvenih malmskih boksita ležišta Rovinj-1, C-4 - jamski kop albskih kvarencnih "pijesaka" kod Pinezića, te C-5 - impozantni kop donjokrednog vapnenca, poznatog pod nazivom *Istarski žuti* kod Kanfanara. Posljednja postaja, C-6 ekskurzije predvidena je u rezalištu i mjestu daljnje obrade arhitektonsko-gradevinskog kamena poduzeća "Kamen" u Pazinu.

<sup>1</sup>Institut za geološka istraživanja, Sachova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.

<sup>2</sup>Hrvatski prirodoslovni muzej, Demetrova 1, 10000 Zagreb, Hrvatska.

<sup>3</sup>KAMEN d.d. PAZIN, Trg Slobode 2, 51400 Pazin, Hrvatska.



Sl. 1 Zemljovidni položaj postaja ekskurzije.

Fig. 1 Location map of the excursion.

## Postaja C-1: Minjera - napušteni rudnici piritiziranog boksita u dolini Mirne

### Stop C-1: Minjera - The abandoned mines of pyritized bauxite in the valley of Mirna

The geological exploration and exploitation of the Paleocene red bauxites of Istria date from the beginning of the twentieth century. During the period between the two world wars, they represented 10% of world production.

The 16<sup>th</sup> century mining and manufacturing (vitriol and alum) of pyritized bauxites in Minjera has been given historical significance as a result of the most recent research into the historical archives. Historical priority is given to the published paper on the pyritized bauxite - "pirite" - by TURINI (1808) with regard to the description of bauxite from Les Beaux published by BERTHIÈR (1821).

The geological setting of the bauxite-bearing area of Minjera is relatively simple. It is represented by the Cretaceous brachianticline with slightly dislocated carbonate and clastic Paleogene beds on its limbs. The immediate foot-wall is formed by the karstified Cenomanian-Turonian limestones, while the hanging-wall consists of freshwater-brackish-water Paleocene limestones (Kozina beds). In the Minjera locality 17 bauxite deposits were excavated by underground mining, always using adits which served both for the carting of the ore and drainage.

The mineral composition of pyritized bauxites from Minjera reveals boehmite, pyrite, marcasite, hematite, goethite, kaolinite, diaspore, gibbsite, anatas, turmaline and zircon. The prevailing opinion nowadays is that the pyritization of bauxite is an epigenetic process requiring the presence of a swampy environment when the sedimentation of the immediate cover, rich in organic substances, was just beginning. Due to the decay of the plant material in an anaerobic environment, hydrogen sulphide was released which, reacting with the hematite in bauxite, produced pyrite and marcasite. According to ŠINKOVEC et al. (1994), this process is only the first phase of pyritization which effects only a thin upper part of bauxite deposits. The second phase of pyritization is accomplished through the agency of sulphur in the sea-water which, passing through a thin and porous hanging-wall, enters a bauxite body and affects the deeper parts of the deposit.

### Uvod

Geološka istraživanja i eksploracija crvenih boksita paleocenske starosti u Istri datiraju iz početka 20. stoljeća. Značajno je da se u periodu između dva svjetska rata iz tog područja dobivalo oko 10% ukupne svjetske proizvodnje boksita, koji se potom u inozemnim tvornicama glinice prerađivao do finalnog proizvoda - aluminija.

Do sada se smatralo da je francuski kemičar Pierre Berthièr još 1821. godine prvi objavio podatke o kemijskom sastavu i fizičkim svojstvima boksita prema uzorcima te rude iz Les Beauxa u Provansi, po kojem je i potekao naziv boksite (BERTHIÈR, 1821). Isto tako se drži da je u Villeveyracu, također u Provansi, otvoren 1873. godine prvi rudnik boksita na svijetu.

Medutim, unazad nekoliko godina istraživanja arhivske grade kao i provjera na terenu (MARUŠIĆ et al., 1993; SAKAČ et al., 1993; ŠINKOVEC et al., 1994)

“izvukla” su iz zaborava niz objavljenih radova o jamskoj eksploraciji boksita, staroj 400 godina, u dolini Mirne podno kaštela Sovinjak nedaleko Buzeta u sjevernoj Istri. Podaci o tome objavljeni su i na svjetskom znanstvenom skupu o boksitima, glinici i aluminiju održanom u Madarskoj (MARUŠIĆ et al., 1995), kojom prigodom je dogovarana međunarodna stručna ekskurzija u Minjeru u dolini Mirne.

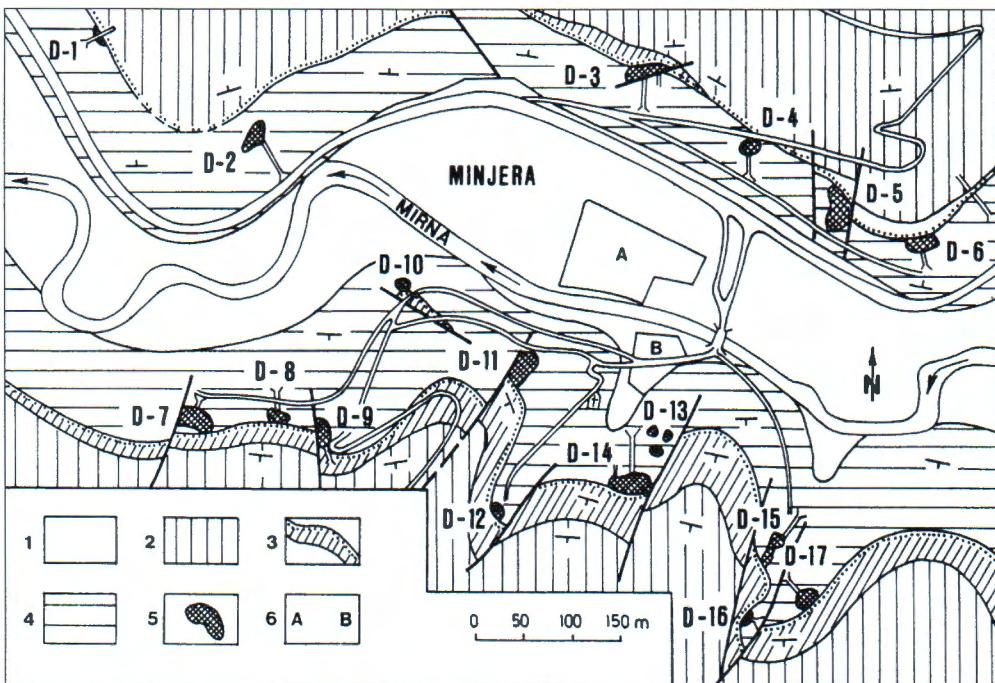
Po tome svjetski primat za *locus typicus* boksita pripada Istri, gdje se od 16. stoljeća pa do sredine 19. stoljeća od sivozelenog piritiziranog boksita proizvodila sumporna kiselina (vitriol) i alaun. To dokazuju objavljeni rad Pietra Turini-a iz 1808. godine o boksu iz Minjere pod nazivom “pirite” (TURINI, 1808), kao i podatak novigradskog biskupa Tommasinija iz 1646. godine o preko 80 godina rudarenja u “miniere di allume” kod Sovinjaka (TOMMASINI, 1873).

### Geološka građa šire okolice Minjere

Geološka građa šire okolice Minjere relativno je jednostavna (sl. 2). Osnovna tektonska struktura je brahiantiklinala krednih naslaga pružanja sjeverozapad-jugostok. Nju prate blago dislocirane karbonatne i klastične naslage starijeg paleogenog. Prema PLENIČAR et al. (1969) naslage starosti alb/cenoman/turon sastoje se od vapnenaca i podredeno dolomita. Te su naslage podina ležišta boksita. Naslage starijeg paleogenoga sastoje se od slatkovodno-brakičnih Kozina-naslaga, plitkovodnih marin-skih foraminiferskih vapnenaca te debele serije flišnih sedimenata.

Kozina-naslage paleocenske starosti leže s malom kutnom i jako izraženom erozijskom diskordancijom na podlozi krednih karbonatnih stijena. To su tanko uslojeni, zaglinjeni mikritni, organskom supstancijom impregnirani vapnenci debljine do 10 m, mjestimice s tankim slojevima ugljena i proslojcima ugljevitih glina. Oni su neposredna krovina boksita. Foraminferski vapnenci paleocena i dijela donjeg eocenea deblje su uslojeni i ukupne debljine oko 200 m. Flišni sedimenti imaju znatnu rasprostranjenost izvan užeg boksonosnog područja Minjere. Starost im je srednji eocen.

Neporemećeni kontakti krednih karbonatnih naslaga s paleocenskim kozinskim vapnencima, tj. podine i krovine boksita, ostali su očuvani u većem dijelu razmatranog područja. To je dobro vidljivo pod Sovinjakom u kanjonu rijeke Mirne, a djelomice pod Mlunom te kod Zrenja. Krovinske naslage boksita su na krilima kredne antiklinale blago nagnute prema sjeveroistoku odnosno jugozapadu. U njima se, ali i u podinskim krednim naslagama, zapažaju kraći rasjedi i tenzijske pukotine, koje su međusobno gotovo okomite. Te su rupture inicijalno laramijske, nastale krajem krede i početkom paleogenog, a obnavljane su i naglašene kasnijim mladim pokretima. One su posješile rastrožbu karbonatnih naslaga krednog paleokopna i nastanak paleokrških oblika kao što su paleoponikve, plitki kanjoni, gudure i ponori. Ti negativni krški oblici pogodovali su akumulaciji dezintegrata u paleocenu, koji su daljnjim dijagenetskim procesima pretvoreni u boksit.



Sl. 2 Geološki položaj ležišta boksita u dolini Mirne (prema ŠINKOVEC et al., 1994). Tumač: 1) aluvij, holocen; 2) foraminiferski vapnenci, paleocen-eocen; 3) kozina naslage, paleocen; 4) rudisti vapnenci gornje krede; 5) ležišta piritnih boksita; 6A) separacija tvornice; 6B) tvornica alauna i vitriola.

Fig. 2 Geological position of bauxite deposits in the Mirna valley (after ŠINKOVEC et al., 1994). Legend: 1) Alluvion, Holocene; 2) Foraminifera limestones, Paleocene-Eocene; 3) Kozina layers, Eocene; 4) Limestones with rudists, Upper Cretaceous; 5) Piritic bauxite deposits; 6A) Site of ore dressing plant; 6B) Site of alum and vitriol factory.

Tijekom dijageneze promijenjen je volumen primarnih sedimentata od kojih su nastali boksići. Posljedica je to istiskivanja u njima sadržane konatne vode uslijed litifikacije krovinskih naslaga i rastućeg naprezanja. Osim toga, hipergenetski površinski hidratacijski procesi uzrokuju postupnu razgradnju karbonatnih stijena u podini boksita, što je praćeno "spuštanjem" ležišta. Posljedica obaju procesa je razlamanje krovinskih slojeva ležišta boksita duž sustava pukotina i nastanak karakterističnih plitkih sinformnih struktura. Te su strukture, ovisno o veličini boksitnih ležišta, promjera od tek nekoliko metara do nekoliko desetaka metara. One su indikativne za boksitna rudna tijela i pomažu pri pronalaženju boksita i na terenu gdje su ležišta maskirana krovinskim naslagama u Istri (MARINČIĆ & MATIČEC, 1989). Moguće je da su i stari rudari u potrazi za piritnim boksitom zapazili ovu povezanost boksita s "uleknućima" u krovinskim naslagama, što im je moglo pomoći pri pronalaženju boksitnih ležišta.



Sl. 3 Krovina, boksit i podina na ležištu D-17 (foto: S. Božičević).

Fig. 3. Roof, bauxite and floor-deposit D-17 (photo by S. Božičević).

### Rudarski radovi

Ležišta boksita koja su eksplorirana za potrebe "Minjere" nalaze se na strmim stranama kanjona rijeke Mirne pod Sovinjakom i nasuprotnim Mlunom, u neposrednoj blizini negdašnje tvornice. Na terenu površine oko  $0,6 \text{ km}^2$  autori su otkrili sedamnaest lokacija na kojima je kopan piritni boksit.

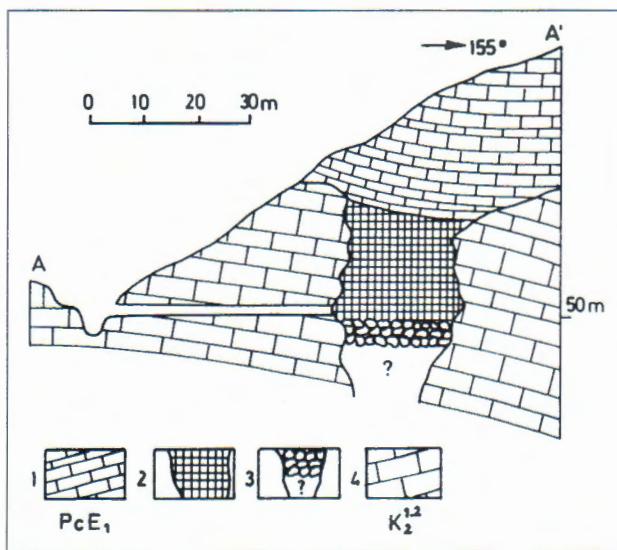
Boksit se po pravilu pridobivao jamskom eksploracijom (sl. 3, 4 i 5). Jamsko otkopavanje potkraj 18. i u dijelu 19. stoljeća u Istri danas može djelovati barem djelomice nerazumljivo, jer je Istra bogata površinskim ležištima boksite. Desetljećima se ovdje, nakon Prvoga svjetskog rata, boksit eksplorirao površinski. To je, uz mehanizaciju u ovom stoljeću, sigurnije i efikasnije od mnogo složenije jamske eksploracije. Međutim, u prošlim stoljećima rudarski rad obavljao se ručno, bez mehanizacije, i jamska je eksploracija imala prednost pred površinskom. To je bio prvi razlog za primjenu jamske eksploracije. Drugi je konfiguracija terena koja omogućuje uspješno otvaranje ležišta potkopom, koji onda služi za izvoz rude i odvodnjavanje rudnika. Treći razlog za primjenu jamske eksploracije "Minjere" bila je sklonost pirita brzoj razgradnji oksidacijom i hidratacijom. Bilo je dakle potrebno podzemnim radom doći do nedirnutog, krovinskim naslagama zaštićenog piritnog boksite.

Ležišta boksita su se u vrijeme rudarenja u "Minjeri" mogla otkriti na izdanku ili rudarskim istražnim radovima kao što su okna, niskopi ili potkopi. Zbog pogodne



Sl. 4 Potkop ležišta D-6 (foto: S. Božičević).  
Fig. 4. Deposit D-6-adit (photo by S. Božičević).

konfiguracije terena, ležišta s lijeve i desne strane Mirne istraživala su se potkopima. Svi su istražni potkopi jednakog poprečnog profila, a imali su i funkciju pripreme. Na trinaest od sedamnaest otkrivenih ležišta ti se istražni potkopi još dobro vide. Dužine su od nekoliko metara do više desetaka metara. Najbolje očuvani potkopi, dugi ne više od 20 m, nalaze se na ležištima D-2, D-3, D-14 i D-15. U većini slučajeva



Sl. 5 Ležište boksita D-14 (prema SAKAČ et al., 1993). Tumač: 1) kozina naslage, paleocen; 2) otkopani boksit; 3) zarušak; 4) vapnenci gornje krede.

Fig. 5 Bauxite deposit D-14 (after SAKAČ et al., 1993). Legend: 1) Kozina layers, Paleocene; 2) Exploited space; 3) Collapsed structure; 4) Upper Cretaceous limestones.

potkopima se pronalazilo rudno tijelo. Bilo je, međutim, i negativnih istražnih rada-va. O količini ukupno izvadenog piritiziranog boksita za sada nema dovoljno čvrstih podataka. Međutim, u knjizi ubilježbi grada Buzeta, za razdoblje od 1752-1806. godine, navodi se da je u okolini Sovinjaka od rada u rudnicima i tvornici živjelo oko 500 obitelji. Propašću Mletačke Republike cjelokupno poduzetništvo se smanjuje, te se za vrijeme vlasti Austrije i gasi.

### Mineraloško-kemijski sastav piritiziranog boksita

Prvi opis piritiziranog boksita iz Minjere dao je TURINI (1808). Rudu naziva "pirite", a daje i opis prerade u vitriol i alaun.

Detaljno ispitivani mineraloški i kemijski sastav piritiziranih i crvenih boksita iz istih ležišta Minjere naveden je u tablicama 1 i 2.

U mineralnom sastavu piritiziranih boksita Minjere utvrđeni su: bemit, pirit, markazit, hematit, getit, kaolinit, dijaspor, hidrargilit, anatas, turmalin i cirkon.

	1	2
SiO <sub>2</sub>	9,75	1,93
TiO <sub>2</sub>	2,26	3,17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	55,80	63,60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,66	16,65
MnO	<0,05	<0,05
MgO	0,33	0,30
CaO	<0,05	<0,05
Na <sub>2</sub> O	<0,05	<0,05
K <sub>2</sub> O	<0,05	<0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08	0,05
Gub. žar.	19,64	15,32
Ukupno	89,52	101,02
Sulfidi:		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,73	-
S	5,40	-

Tablica 1. Kemijski sastav (postotak oksida) u zelenom (1) i crvenom (2) boksitu prema ŠINKOVEC et al. (1994).

Table 1. Chemical composition (oxide percentage) of green (1) and red (2) bauxites after ŠINKOVEC et al. (1994).

	1	2
Ba	22	35
Co	6	39
Cr	232	443
Cu	18	45
Ga	33	48
Mo	28	<5
Nb	71	77
Ni	282	151
Pb	14	22
Rb	10	12
Sr	134	123
Th	22	51
U	17	5
V	168	287
W	7	18
Y	<5	21
Zn	44	56
Zr	241	274

Tablica 2. Sadržaj elemenata u tragovima (ppm) u zelenim (1) i crvenim (2) boksitima prema ŠINKOVEC et al. (1994).

Table 2. Trace elements composition (in ppm) of green (1) and red (2) bauxites after ŠINKOVEC et al. (1994).

Glavni su minerali bemit i sulfidi željeza, dok je dijaspor konstatiran samo u nekim uzorcima.

Pojave piritiziranih boksita u svijetu su dosta česte. Prevladava mišljenje, kao npr. CAILLERE & POBEGUIN (1963), DUDICH (1965) i KOMLOSSY (1968), da je piritizacija boksita epigenetski proces, uvjetovan močvarnom sredinom nad ležištem u početku taloženja krovinskih naslaga. Truljenjem močvarnog bilja bogatog sumporom, nastaju reduktivni uvjeti, pri čemu oslobođeni  $H_2S$  reagira s hematitom boksita dajući pirit i markazit.

Prema ŠINKOVEC et al. (1994) prethodno mišljenje čini samo prvu fazu piritizacije, koja zahvaća samo tanki površinski sloj boksita. U drugoj fazi boksit je piritiziran sumporom iz morske vode, koja je zbog tanke i porozne krovine ležišta mogla doći u kontakt s niže ležećim boksitom, zahvaćajući pri tome i dublje dijelove ležišta.

### **Postaja C-2: Podzemni kamenolom "Sv. Stjepan" kod Buzeta**

Stop C-2: Underground Quarry "Sv. Stjepan" Near Buzet, Istria

The abandoned quarry of rudist limestone called Sv. Stjepan, is located in the river Mirna valley, not far from the town of Buzet.

More than a hundred years of mining activity, as well as very specific underground mining exploration, make this quarry exceptionally significant and characteristic.

One bed of rudist limestone of very good quality and valuable for decoration was exploited, with a successive progression towards the hill interior, leaving secure pillars.

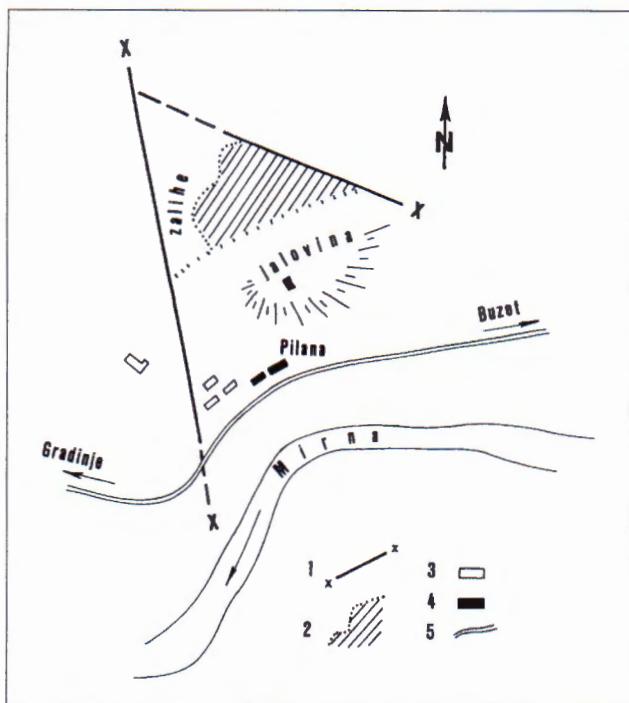
Although the quarry was working without geological and mining investigations and plans, it ran as a very effective business, supplying numerous objects in our country and worldwide with quality decoratively coated stone plates.

By the end of 1965 the quarry was declared unprofitable and closed.

Napušteni kamenolom "Sv. Stjepan" smješten je na sjevernim padinama doline Mirne oko 80 m iznad ceste, udaljen 13 km od Buzeta (sl. 6 i 7). Prema geološkom izvješću BOLČIĆ & JOVANOVIĆ (1951), kada je kamenolom radio u okviru poduzeća "Istarski kamenolomi-Pula", navodi se stogodišnji period podzemnog rudarenja blokova vapnenaca.

Jamski je vaden sloj kvalitetnog cenomanskog rudistnog vapnenca, kojeg u krovini i podini kontinuirano prate slojevi "brašnastog" te pločastog, često bituminoznog vapnenca kao "otpadni" materijal.

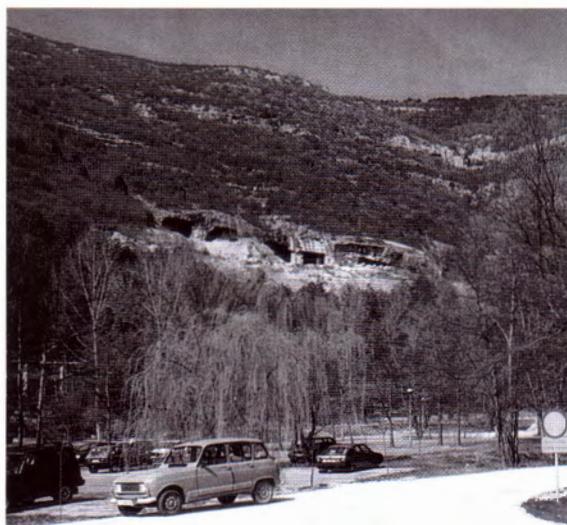
Za blokove eksplorirani vapnenac nije mineraloški ni geomehanički ispitivan. Po makroskopskom izgledu bio je to zrnasti, žućkasto-bijelo-svijetlosmedi vapnenac (rudistni floutston), koji poliran dobiva dekorativan izgled sa sitnim mrljama. Višegodišnjom primjenom dokazana mu je otpornost na atmosferilije. Vrlo se lako obradivao i zadovoljavao je uvjete za vanjska i unutarnja opločenja. Plasiran je pod komercijalnim nazivom "ukrasni kamen Sv. Stjepan iz Istre".



Sl. 6 Skica kamenoloma "Sv. Stjepan" (prema POLAK, 1953). Približno mjerilo 1:5.000. Tumač: 1) Rasjed; 2) Današnje stanje otkopa; 3) Ruševine; 4) Postojeće zgrade; 5) Cesta.

Fig. 6 Schematic map of the "Sv. Stjepan" Quarry (after POLAK, 1953). Scale 1:5.000 (approximate). Legend: 1) Fault; 2) Present state of excavation; 3) Ruins; 4) Existing buildings; 5) Road.

Jamski su radovi postupno napredovali u unutrašnjost brijega uz ostavljanje sigurnosnih potpornih stupova (sl. 8). Ti su stupovi ostavljani neplanski i vrlo često neovisno i pogrešno u odnosu na broj, veličinu i raspored dijaklaza u krovinskim naslagama. Na mjestima urušavanja krovine gradeni su zidani stupovi ili su takva nesigurna područja zapunjavana jalovinskим materijalom.



Sl. 7 Napušteni kamenolom Sv. Stjepan u dolini rijeke Mirne.

Fig. 7 Abandoned Sv. Stjepan quarry in the Mirna valley.



Sl. 8 Pogled iz kamenoloma Sv. Stjepan; vidljivi su sigurnosni potporni stupovi.

Fig. 8 View from the abandoned Sv. Stjepan quarry showing safety pillars.

Eksplotirani sloj razdijeljen je pukotinom u dvije ploče. Vertikalne pukotine koso su položene na nagib sloja, pa su dobivani blokovi vapnenaca u formi romboedara, koji su potom u pilani rezani u prizmatske blokove. Dimenzije podzemnog radilišta su cca 150x150 m s visinom od 5-7 m. Čelo radne fronte bilo je uglavnom orijentirano prema sjeverozapadu, prateći pružanje sloja, s blago valovitim nagibom prema sjeveroistoku. Izvadeni su blokovi vapnenaca, najčešće neujednačenih dimenzija, voženi kolima lošim putom ili spuštani klizanjem duž padine, do pilane u dolini Mirne.

Eksplotacija nije praćena geološkim i rudarskim istražnim radovima i projektima, pa se prema lokalnim prilikama često mijenjala lokacija čela radilišta, a time u

svezi i unutarnji promet i transport. Unatoč dugogodišnje jamske aktivnosti, na površini iznad Jame nema pojava slijeganja ili urušavanja terena.

Ležište je sa sjevera i zapada ograničeno rasjedima (sl. 6), pa procjena ostatka zaliha iznosi cca 50.000 m<sup>3</sup> vapnenca (POLAK, 1953). Snimajući strukturno-tektoniske prilike radilišta a posebno prisutne dijaklaze, SILA & JOVANOVIĆ (1957) utvrđuju da razmak izmedu potpornih stupova u jami ne smije biti veći od 15 m, a dimenzije baze potpornog stupa najmanje 8 x 10 m. Ukupna površina radilišta iznosi la je 10.759 m<sup>2</sup>, dok je 29 postojećih stupova blokiralo površinu od 1.200 m<sup>2</sup>. Iz toga proizlazi odnos od 8,9 m<sup>2</sup> slobodnog prostora na 1 m<sup>2</sup> pod stupom.

Sveukupno proizvedene količine vapnenačkih blokova nisu poznate, a zasigurno su znatne obzirom na tako dugi vijek eksploatacije. Ploče ukrasnog kamena iz Sv. Stjepana ugradene su na brojnim objektima kod nas i u inozemstvu.

Opisana proizvodnja arhitektonsko-gradevinskog vapnenca u kamenolomu Sv. Stjepan, raritetna je po podzemnoj metodi pridobivanja. Od početka šezdesetih godina kamenolom je u vlasništvu poduzeća KAMEN iz Pazina, a krajem 1965. godine, zbog za tadašnje prilike nerentabilne proizvodnje, definitivno prekida s radom.

### **Postaja C-3: Ležište malmskih boksita - "Rovinj-1"**

#### **Stop C-3: The Malmian bauxite deposit - Rovinj-1**

Bauxite occurrences and deposits of Malmian age can be found in many places in western Istria within the Poreč-Rovinj area.

The exploration and description of Malmian bauxites in Istria date as far back as the beginning of this century. They were then thoroughly investigated in the period 1970-1982. Major deposits occupy locations near Vrsar, Gradina, Bralić and Rovinj. For more details on stratigraphy and sedimentology of Upper Jurassic deposits in western Istria see stops A-2 and A-3 in stratigraphical excursion (VELIĆ et al., 1995) and stop B-1 in sedimentological excursion (TIŠLJAR et al., 1995) in this book.

According to their mineral and chemical compositions, the Istrian bauxites appear to be "highly silicified", while those from Herzegovina and Montenegro represent a convenient raw material for the production of aluminium.

The Malmian bauxite deposit ROVINJ-1 is the most significant, considering the calculated reserves of 2.2 milion tons as well as the level of reconnaissance. The average chemical composition is as follows: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 45.57%, SiO<sub>2</sub> = 20.12% and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 18.10%, while in the mineral composition boehmite, kaolinite and hematite prevail. Due to their higher kaolinite content they belong to the group of clayey bauxites. All the bauxite that had been exploited up to this time was used in the cement industry for the correction of silicate or aluminous factor in the ore. According to ŠINKOVEC (1974), the source materials in the genesis of these bauxites had been provided from two origins: one is the insoluble residue of carbonate footwall beds, while the other is of aeolian origin. VELIĆ & TIŠLJAR (1988) excluded more significant role of the insoluble residue of footwall carbonate rocks in the bauxite formation.

## Uvod

Na boksitonosnom području zapadne Istre najznačajnija pojava malmskih boksića je ležište "Rovinj-1" (sl. 9 i 10), s obzirom na količine utvrđenih rezervi kao i dobro ispitanu kakvoću rude. Zahvaljujući višegodišnjoj eksploataciji, ležište je u znatnoj mjeri otkriveno i time instruktivno za promatranja.

Prema rezultatima ispitivanja lithostratigrafskih obilježja podinskih i krovinskih naslaga brojnih ležišta, te kemijskog i mineralnog sastava boksića u njima, za šire područje Dinarida utvrđeno je jedanaest stratigrafskih boksitonosnih horizonta (SAKAČ, 1973), u rasponu od srednjeg trijasa do miocena. Među njima značajno mjesto pripada i malmskim boksim.

### Opće značajke malmskih boksića

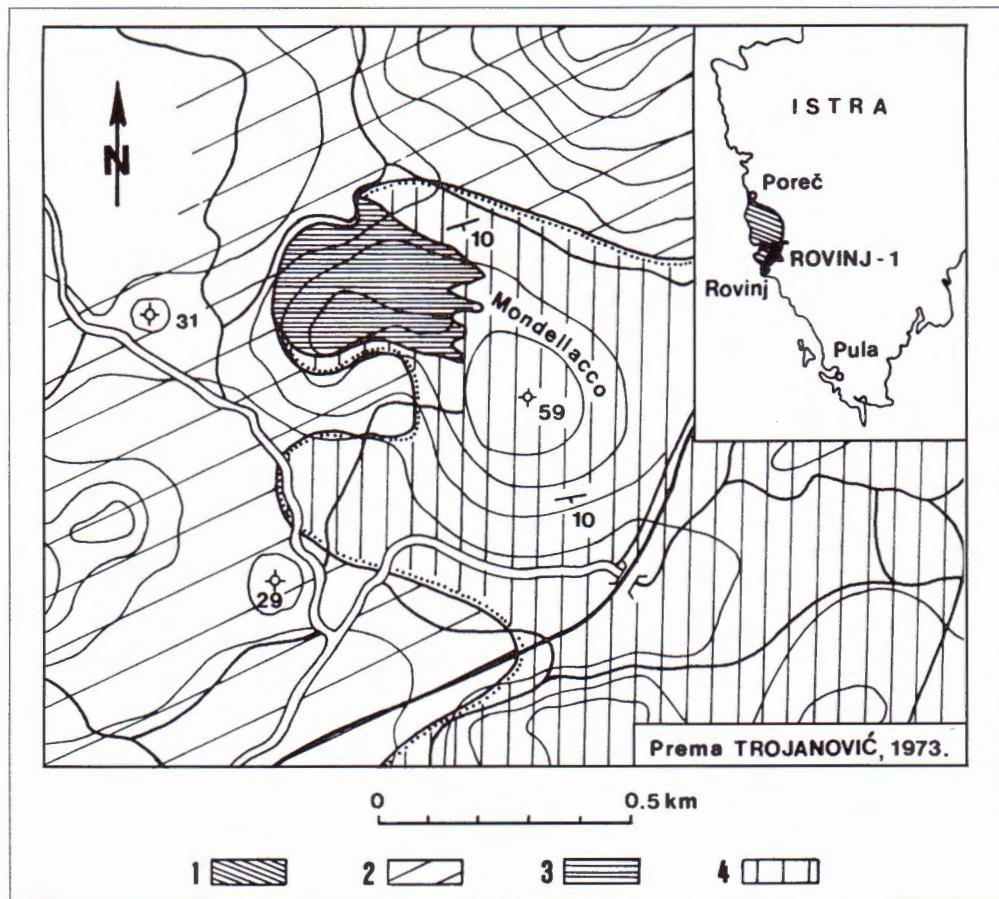
Ležišta malmskih boksića nalaze se u Sloveniji (Hrušice, Nanos), Žumberku, zapadnoj Istri, Hercegovini, te na brojnim lokacijama zapadne Crne Gore. Stratigrafska praznina između podinskih i krovinskih naslaga u ležištima je različita i kreće se od gornjeg trijasa do donjeg malma. Malmski boksići Slovenije predstavljaju lećasta ležišta debljine 1-3 m, dok su orudnjenja u Istri prosječne debljine 5-10 m. Po veličini se ističu ležišta Crne Gore, sa srednjom debljinom boksića i do 40 m.

Prema mineraloško-kemijskom sastavu malmski boksići redovito sadrže bemit i kaolinit. Udio kaolinita je neujednačen, što rezultira često povиšenim sadržajem  $\text{SiO}_2$  komponente. Tako su malmski boksići Slovenije i Istre "visokosilicijski", dok su isti u Hercegovini i Crnoj Gori zbog nižeg sadržaja na  $\text{SiO}_2$  pogodni za tehnologiju prerade i proizvodnje aluminija (SAKAČ, 1973).

### Malmski boksići zapadne Istre

Istraživanja i opisi malmskih boksića poznati su još iz razdoblja između dva svjetska rata (D'AMBROSI, 1927, 1940), kada se smatralo da im je stratigrafski položaj na transgresivnom kontaktu malmskih i donjakrednih naslaga. Tek je POLŠAK (1965) točno locirao stratigrafski nivo malmskih boksića uz transgresivnu granicu između naslaga kimeridža i titona. Rekonstrukcijom geoloških prilika opisuje plitkomorske, potom grebenske i pseudogrebenske vapnence kimeridža, te kraće lokalne emerzije u donjem titonu s deponiranjem boksića. Isti autor ujedno isključuje mogućnost da su pojave boksića rezultat tektonskih pokreta i s tim u svezi i strukturnih promjena.

Još iscrpljije podatke o stratigrafiji, litofacijesima, okolišima taloženja i položaju zapadnoistarskih malmskih boksića daju VELIĆ & TIŠLJAR (1988). Najnoviji rezultati istraživanja gornojurskih karbonatnih sedimenata s emerzijom, brećama i boksimima nalaze se u ovom vodiču u stratigrafskoj ekskurziji, postaje A-2 i A-3 (VELIĆ et al., 1995) i sedimentološkoj ekskurziji u uvodnom dijelu poglavlja 1 (sl. 2) i postaji B-1 (TIŠLJAR et al., 1995).



Sl. 9 Lokacija ležišta boksita Rovinj-1. Tumač: 1) naslage mlade jure u zapadnoj Istri; 2) vapnenci kimeridža; 3) bok-sitno ležište; 4) titonski vapnenci.

Fig. 9 Geological position of the Rovinj-1 bauxite deposit. Legend: 1) Middle and Late Jurassic deposits in western Istria; 2) Kimmeridgian limestones; 3) Bauxite deposit; 4) Tithonian limestones.

Pojave i ležišta malmskih boksita Istre nalaze se između Poreča i Rovinja, unutar antiklinalne strukture zapadne Istre, te uz rubove transgresivnih ostataka titonskih nasлага na naslagama kimeridža u okolini Vrsara (TROJANOVIĆ, 1973). Značajnija ležišta po stupnju istraženosti rezervi i kakvoći boksita su ona kod Vrsara, Gradine, Bralića i Rovinja. Međusobno se razlikuju po dužini izdanaka, koja npr. kod Vrsara iznosi čak 120 m. Sva ležišta imaju oblik izduženih leća s nepravilnom donjom plohom, koja zapravo prati razvedenost paleoreljefa. Debljina rudnog tijela iznosi od nekoliko pa do 20 m, i redovito je najveća u središtu ležišta.

Istraživanja na ležištu "Rovinj-1" započeta 1964., dovršena su 1982. godine izradom elaborata o rezervama i kakvoći boksita (MIHOVILOVIĆ & RAŠKOVIĆ, 1982), te izradom rudarskog projekta (ABRAMOVIĆ, 1982).



Sl. 10 Ležište boksita Rovinj-1.

Fig. 10 Rovinj-1 bauxite deposit.

Ukupna površina ležišta iznosi  $80.000 \text{ m}^2$ , a utvrđene zalihe 2,2 milijuna tona. Prema rezultatima 45 istražnih bušotina utvrđena je srednja debljina boksita od 8,6 m, u rasponu od 2-18 m. Proračunom dobiveni odnos boksita i otkrivke iznosi 1:3. Utvrđeni prosječni kemijski sastav boksita za cijelo ležište ne odstupa od ostalih istraženih u Istri i iznosi:  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 45,57\%$ ;  $\text{SiO}_2 = 20,12\%$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 18,10\%$ ;  $\text{TiO}_2 = 2,07\%$ , te gubitak žarenjem od 12,88%. Ležište je tektonski praktički neporemećeno. Manji, strmo postavljeni rasjed na istočnom rubu kopa (sl. 11) vrlo je uočljiv, ali na sreću bez značajnog utjecaja na strukturu ležišta. Do sada izvađeni boksit uglavnom je upotrebljavan u cementnoj industriji kao korektiv silikatnog ili aluminatnog modula osnovne sirovine.

Rezultate i interpretaciju brojnih i raznovrsnih istraživanja sastava i strukture malmskih boksita iz ležišta kod Vrsara, Gradine i Rovinja opisao je ŠINKOVEC (1974), a prikazani su na tablicama 3 i 4. Tabelarni prikaz (tablica 3) ukazuje na znatnu ujednačenost srednjeg kemijskog sastava boksita.

Istraživanja mineralnog sastava istih uzoraka rendgenskom analizom utvrdila su da je najzastupljeniji mineral bemit, a slijede kaolinit, hematit, klorit, anatas i rutil.

Varijacije sastava su slijedeće:

- bemit - 30 do 50%,
- kaolinit - 20 do 45%,
- hematit - 5 do 24%,
- klorit - 3 do 6%,
- anatas i rutil - 1,8 do 3,2%.

Zbog redovito povećanog sadržaja kaolinita, malmski su boksići Istre klasificirani u skupinu glinovitih boksita. Mikroskopskim analizama boksita utvrđena je kriptokristalasta građa i intimna međusobna veza zrna svih glavnih prisutnih minerala.



Sl. 11 Rasjed u boksitnom ležistu.

Fig. 11 Fault in bauxite deposit.

	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	16,52	16,47	16,78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47,00	43,80	46,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,50	24,00	20,20
TiO <sub>2</sub>	2,36	2,58	2,40
Gub. žar.	11,38	11,13	11,20

Tablica 3. Srednji kemijski sastav boksita (u %) prema ŠINKOVEC (1974). Tumač: 1) Vrsar; 2) Gradina; 3) Rovinj.

Table 3. Average chemical composition of bauxites (in %) after ŠINKOVEC (1974). Legend: 1) Vrsar; 2) Gradina; 3) Rovinj.

n	Ni	Co	Cu	Cr	V	Zr
1.	6 (168-185)	31 (21-49)	53 (34-71)	198 (160-250)	270 (210-310)	450 (410-620)
2.	10 (115-220)	22 (9-29)	52 (26-120)	176 (160-240)	315 (230-450)	485 (360-660)
3.	1	170	20	37	145	290
4.	1	190	150	29	160	270
5.	1	185	49	25	165	350

Tablica 4. Sadržaj mikroelemenata u boksitima (u ppm) prema ŠINKOVEC (1974). Tumač: 1) Vrsar; 2) Gradina; 3-5) Rovinj; n) broj uzoraka; u zagradama su granične vrijednosti.

Table 4. Microelement contents in bauxites (in ppm) after ŠINKOVEC (1974). Legend: 1) Vrsar; 2) Gradina; 3-5) Rovinj; n) number of samples; boundary values are given in parenthesis.

Redovito je dobro uočljiva pseudoolitična i pelitna, iznimno samo pelitna, struktura boksita. Akcesorni minerali su vrlo rijetki, a utvrđeni su cirkon, turmalin i apatit.

U smislu kompleksne problematike o genezi malmskih boksita pretpostavljaljalo se podrijetlo ishodišnog materijala iz dva izvora: od netopivog ostatka podinskih karbonatnih stijena i od donosa eolskog materijala (ŠINKOVEC, 1974). Međutim, prema rezultatima istraživanja jurskih plitkovodnih karbonatnih facijesa i sedimentacijskih okoliša VELIĆ & TIŠLJAR (1988) isključuju značajniju ulogu otapanja podinskih vapnenaca u nastanku ovih boksita.

#### **Postaja C-4: Kvarcni "pijesak" Istre - rudnik "Pinezići"**

##### **Stop C-4: Quartz "sand" of Istria - Pinezići Mine**

The so-called "Quartz sands" - quartz sediments in Istria - have been found in three beds within 70 m thick part of the Upper Albian carbonate deposits. The first bed is 0.5 to 0.8 m thick, the second 1 to 6 m, and the third c. 1 m.

Quartz appears either in the form of sandstone with quartz, or more often calcite cement, or as unlithified quartz sand. The thickness of the main, second bed is very variable, depending upon palaeorelief and sedimentary conditions. The SiO<sub>2</sub> content in quartz sediment reaches up to 98%.

Quartz sediment was formed by silicification of soft carbonate sediments. These processes were caused by dissolved SiO<sub>2</sub> originating from volcanic ash.

Rudnik kvarcnog "pijeska" "Pinezići" u Istri nalazi se desetak km sjeverno od Pule. Kvarcni pjesak eksploatira se iz drugog kvarcnog sloja debljine od 2-2,5 m. Zona kvarcnog "pijeska" proteže se od Pule do Tinjana u dužini od 35 km, a vađen je i na drugim, sada napuštenim lokalitetima (Loborika, Šaulaga, Butkovići i dr.).

Kvarcni "pijesci" Istre poznati su još iz rimskih vremena. Dokazano je da se radi o tri kvarcna sloja unutar karbonatnih naslaga gornjeg alba (GALOVIĆ & MARKOVIĆ, 1972). Prvi sloj (donji) je debljine od 50-80 cm i javlja se kao vezani kvarcni sediment, tzv. kvarcni "pješčenjak". Na njemu slijedi cca 25 m vapnenaca s nešto dolomita, na koji se kontinuirano nastavlja drugi kvarcni sloj (glavni), debljine od 1-6 metara, razvijen u obliku kvarcnog "pješčenjaka" ili kao nevezani kvarcni "pijesak". Na drugom kvarcnom sloju nastavlja se karbonatna serija vapnenaca s nešto dolomita, na kojima leži treći kvarcni sloj (gornji), debljine oko 1 m, uglavnom u obliku kvarcnog "pješčenjaka". Na njemu slijedi karbonatna serija albskih naslaga.

Podina kvarcnog sloja po nagibu i pružanju varira, a predstavljena je izmjenom pekstona s peloidnim vekstonima i peloidnim grejnstonima, LLH-stromatolitima i intraformacijskim peritajdalnim brečama ili tzv. *mud pebble* konglomeratima. Nalaze se i manji plimni kanali ispunjeni intraformacijskim brečama. Viši dio podinskih naslaga odlikuje se učestalom, gotovo ritmičnom izmjenom pločastih do tankslojevitih (5-25 cm) fosilifernih vekstona, pekstona i LLH-stromatolita. U neposrednoj

podini kvarcnog sloja nalaze se tankoslojeviti do pločasti (5-60 cm) vapnenci sa strujnim riplovima (*ripple marks*) s malim dužinama i malim amplitudama vala. Unutar njih mjestimice je vidljiva i kosa laminacija. Izravna podina kvarcnog sloja je slabo silicificirani LLH-stromatolit (3-5 cm debljine) s izmjenama kriptagalnih pelsparinih i mrvičasto mikritnih lamina, te autigenim kvarcom u obliku hipidiomorfnih kristalnih agregata i manjih gnijezda. Kvarc potiskuje karbonat.

U jami rudnika Pinezići (sl. 12 i 13) u podini kvarcnog sloja nalazimo pločaste, slabo horizontalno laminirane peletiferne madstone, ostrakodno-peletne vekstone, madstone i sporadično kriptagalne madstone i peletne grejnstone, LLH-stromatolite, peritajdalne breče kao i *mud pebble*. Mjestimice se u podini javlja leća sitnokristaličnog dolomita.

Sedimentološke značajke vapnenca u podini drugog kvarenog sloja predstavljaju izvanredno dobra slojevitost, te mjestimice izrazito tanke, a često više ili manje jasne laminacije. Sedimentacija se odvijala u zatvorenim plićacima ili većim lagunama uz povremeno opličavanje u intertajdal i gornji subtajdal. Energija vode je pretežito bila niska, ali uz povremeno jače prenošenje nevezanog sitnozrnastog taloga.

Kvarcni sloj se javlja kao vezani sediment, tzv. kvarcni "pješčenjak" (do 65%  $\text{SiO}_2$ ) ili kao nevezani sitnozrnasti kvarcni "pijesak" (oko 83%), po čemu je i dobio ime. U rudniku Loberika u podini drugog kvarenog sloja nađeno je 10 cm montmorilonitne gline.

Kvarcni sloj se sastoji od kvarcnih hipidiomorfnih i alotriomorfnih, rijetko idiomorfnih kristala, te kalcedona. Pojedini agregati imaju oblik rozete u kojima kvarcni kristali izduženog heksagonalnog oblika imaju zonalnu građu, posljedicu rasta od središta prema rubu, te stvaranje više sukcesivno poredanih terminalnih ploha. Ovakve rozete imaju sve karakteristike mineralnih agregata nastalih iz koloidalnih otopina. Mjestimice se po rubovima javlja mikrokristalasti kvarc. Kvarc se javlja u zrnima nepravilnog oblika u kristalima ili dijelovima kristala sa ili bez zonalne grade. Veličina kvarcnih zrna varira od 0,03-0,75 mm. Srednja vrijednost kreće se oko 0,075 mm. Kod nevezanog kvarenog sloja, "pijeska", nema kalcita i rijedak je kalcedon. U kvarnom sloju nalazimo i jače ili slabije silicificirane relikte vapnenaca, najčešće u podini, i to mikrite sa silicificiranim ljušturicama foraminifera i ostrakoda, ali i druge tipove vapnenaca.

Vrstom vapnenaca u podini kvarenog sloja određena je i debljina kvarenog sedimenta. Kada su u podini kvarenog sloja vapnenci tipa vekston-grejnston s razvijenim *ripple marks* teksturama, stromatoliti, peritajdalne breče, pa i *mud pebble* konglomerati, te plimni kanali (što odgovara tipičnim ciklusima opličavanja naviše) kvarcni je sloj lateralno promjenljive debljine od minimalno 50-140 cm. Međutim, kad su u podini kvarenog sloja pretežito madstoni, taloženi u nešto dubljim, zatvorenim plićacima/lagunama tada debljina kvarenog sedimenta iznosi od 2-6 m. Činjenica je da je kvarcni sloj najtanji tamo gdje su podinski vapnenci taloženi u najplićim



Sl. 12 Uлaz u rudnik "Pinezići".

Fig. 12 Entrance to the Pinezići mine.

dijelovima (gornji subtajdal, intertajdal) i obrnuto. Iz toga slijedi zaključak o razvedenosti morskog dna, odnosno o različitoj batimetriji u različitim dijelovima platformnih plićaka.

Krovinu drugog kvarcnog sloja izgrađuju uglavnom tankoslojeviti do pločasti (5-30 cm), često horizontalno laminirani ostrakodni vekston/pekston i skeletni pekston/vekston vapnenci.

Geneza kvarcnih pijesaka Istre unutar karbonatnih sedimenata krede bila je kroz čitavu povijest istraživanja glavna problematika rada brojnih geologa (CRNKOVIĆ, 1967; POLŠAK, 1970; GALOVIĆ, 1992; TIŠLJAR, 1994). Rješenje



Sl. 13 Kvarjni pijesak u jami ruudnika "Pinezići".

Fig. 13 Quartz sands in the pit of the Pinezići mine.

podrijetla silicija ( $\text{SiO}_2$ ) nađeno je u samom kvarcnom sedimentu. Vulkanski pepeo u glini, kao i vulkansko staklo iz baze kvarcnog sloja u rudniku Loborika upućuju na vulkansko podrijetlo gline. Dakle, može se zaključiti da je kvarcni sediment u obliku u kakvom se danas pojavljuje u Istri nastao silicifikacijom (metasomatozom) karbonatnog mulja singenetski i u ranodijagenetskoj fazi, kao i precipitacijom (kristalizacijom) iz vodene otopine. Kvarcni sediment je rezultat otopljenog vulkanskog pepela u vodi, donošenog vjetrom iz područja vulkanske aktivnosti.

Rudnik "Pinezići" s dva niskopa ima površinu  $47.650 \text{ m}^2$  i rezerve A+B+C od 350.000 tona kvarnog pjeska. Dužina hodnika iznosi preko 500 m, do dubine od 40 m. Ukupne geološke rezerve u kvarcnoj zoni Pula-Tinjan (dužina 35 km) iznose cca 100,000.000 t  $\text{SiO}_2$ .

### **Postaja C-5: Istarski žuti - kamenolom Kanfanar**

#### **Stop C-5: Istarski žuti (Yellow Istrian) - Kanfanar quarry**

*Istarski žuti (Yellow Istrian)* is a famous architectural building-stone of Lower Aptian age. This type of limestone is characterised by the cyclic alternation of mudstone and oncrite beds. It is composed of short and long rhythms, caused by periodical changes in the sedimentation rate in restricted environments of the carbonate platform:

- a) long rhythms (1.5 to 3 m thick) are composed of a micrite layer (0.8 to 1.5 m thick) and several oncrite layers (i.e. short rhythms). The micrite layer contains macroids, i.e. large (10 to 60 mm in diameter) oncoids.
- b) short rhythms are composed of alternations of 10 to 20 cm thick micrite layers with rare oncoids and 5 to 15 cm thick layers of oncrites (composed of *Bacinella* oncoids).

For more details on stratigraphy and sedimentology of *Istarski žuti* stone see stops A-5 and A-6 in stratigraphical excursion (VELIĆ et al., 1995), and stop B-3 in sedimentological excursion (TIŠLJAR et al., 1995).

Kamenolom Kanfanar (sl. 14) nalazi se cca 17 km istočno od Rovinja, odnosno jugozapadno od mjesta Kanfanar. U njemu se eksplorira vapnenac zvan *Istarski žuti*. To je debelouslojeni do masivni vapnenac donjoaptske starosti koji se rabi kao arhitektonsko-gradevinski kamen. Od cca 15 m debelog sloja uporabivo je cca 5 metara. Zona *Istarskog žutog* proteže se gotovo čitavim pružanjem donjoaptskih vapnenaca kroz središnju i južnu Istru, tako da je uz kamenolom Kanfanar vađen i na drugim lokalitetima (napušteni: Lakovići, Selina, Bale, Negrin i Čabrunići, vidi sl. 25 u stratigrafskoj ekskurziji ovoga vodiča - VELIĆ et al., 1995).

*Istarski žuti* predstavljen je faciesima mikrita i onkolita. U donjem dijelu litofacijesa u debljini od cca 2-5 m nalazimo izmjenu mikrita i onkolita s brojnim ostacima ljuštura školjkaša *Requienia ammonia*, na kojima slijede masivni mikriti u izmjeni s onkolitima. U osnovi razlikujemo dva ciklusa: mikritni i onkolitni. TIŠLJAR (1978a, b) razlikuje kratki ciklus i dugi ciklus. To su:



Sl. 14 Zračna snimka kamenoloma Kanfanar.

Fig. 14 Aerial photo of the Kanfanar quarry.

- a) dugi ciklus (1,5-3 m debljine) sastavljen od mikritnog sloja (0,8-1,5 m debljine) i više onkolitnih slojeva (kratkih ciklusa). Mikritni sloj obično sadrži makroide, tj. krupne (10-60 mm) onkoide.
- b) kratki ciklus sadrži 10-20 cm debele mikritne slojeve pretežito sastavljene od makroida.

Makroidi, odnosno krupni onkoidi i u mikritima i u onkolitima su u stijeni tamnije smedkasti od okolnog žućkastog mikrita u kojem se nalaze. Oni su pretežito kuglasti, dimenzija između 5 i 80 mm. Tamnije smedu nijansu, koja se na poliranim pločama jasno ističe, uzrokuje povišeni sadržaj organske tvari, što je posljedica rasta, ugibanja i truljenja organizma koji su sudjelovali kod stvaranja onkoida. Onkoidi u

onkolitnom paketu slojeva sudjeluju sa 40-80% ukupnog volumena stijene. Makroidi, koji unutar onkolitnog paketa tvore onkolitni sloj, često su lepezasto razmješteni ili prerastaju jedni u druge i tako tvore onkoidne kore. U njihovim centrima već golin okom zapažamo kao inkrustirane jezgre skelet baćine ili kućicu gastropoda. Oko jezgre javlja se obično debela, nepravilno razvijena hipokristalasta ovojnica nastala hvatanjem i ljepljenjem najsitnijeg karbonatnog mulja na sluz i vlakanca cijanobakterija koje su obraštavale jezgru. Manjim dijelom ovojnice su nastale i kao rezultat mikritizacijskih procesa, tj. djelovanjem alga koje buše supstrat.

Osim makroida, koje najvećim dijelom izgrađuje *Bacinella irregularis*, te školjkaša (*Requienia* i dr.) ovi vapnenci sadrže i fosilne ostatke zelenih alga, mikritiziranih foraminifera, ostrakoda, gastropoda, školjkaša, i rijetke mikritizirane krhotine bodljikaša, što ukazuje na uvjete zaštićenog plićaka ili lagune.

Izmjena dugih i kratkih ciklusa objašnjava se kao posljedica periodične izmijene brže i sporije sedimentacije karbonatnog mulja u zaštićenom plićaku. U razdoblju brze i povišene akumulacije karbonatnog mulja nastaje deblji mikritni sloj, a u vrijeme spore akumulacije, kada je omogućen rast i razvoj cijanobakterija po površinama, te razvoj baćinela, gastropoda i drugih organizama, nastaju onkolitni slojevi.

Onkolitni korasti i lepezasto-korasti proslojevi unutar nekih kratkih ciklusa nastali su pri vrlo malom ili gotovo nikakvom odnosu karbonatnog sedimenta, kada dominira rast i razvoj cijanobakterija. Unutar ovog razvoja česti su mnogobrojni tragovi bušenja crva, što također upućuje na relativno spori donos i taloženje karbonatnog mulja (TIŠLJAR, 1978b).

Kamenolom "Kanfanar" se sastoji od 5 kopova *Istarskog žutog* u dužini od preko 1 km, od čega su 3 u eksploataciji sa  $12.000 \text{ m}^3$  godišnje proizvodnje. Rezerve *Istarskog žutog* u kamenolomu "Kanfanar" iznose  $300.000 \text{ m}^3$ .

Tehnički podaci *Istarskog žutog* u kamenolomu Kanfanar:

- čvrstoća na tlak:
  - u suhom stanju: 196,5 MPa;
  - u vodom zasićenom stanju: 174,0 MPa;
  - poslije smrzavanja: 142,0 MPa;
- čvrstoća na svijanje: 12,0 MPa;
- otpornost na habanje struganjem:  $19,8 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ ;
- volumna masa:  $2,66 \text{ g/cm}^3$ ;
- gustoća:  $2,76 \text{ g/cm}^3$ ;
- stupanj gustoće: 0,971;
- porozitet: 2,92%;
- upijanje vode: 0,64%;
- postojanost na suhom: postojan.

Geološki odnosi, posebice stratigrafija i interpretacija sedimentoloških značajki *Istarskog žutog* u zapadnoj Istri prikazani su u ovom vodiču u opisu postaja A-5 i A-6 stratigrafske ekskurzije (VELIĆ et al., 1995) i postaje B-3 sedimentološke ekskurzije (TIŠLJAR et al., 1995).

### **Postaja C-6: Pogon pilane i obrade arhitektonsko-građevinskog kamena poduzeća Kamen d.d. Pazin**

Stop C-6: the firm "Kamen" - Pazin

The exploitation, processing and utilisation of architectural and building-stone in Istria, has a millennial tradition. Relying on this tradition, its experience and accomplishments, the firm "Kamen" ("Stone") Pazin was founded in 1954.

During the first 10 years of activity, the firm succeeded in unifying all the industrial facilities of the Istria region. Since then remarkable progress has been made; thanks to new technology, modern equipment, new production processes and the appropriate organisation of work, the production and range of products have been increased. The company is manufacturing stone blocks in 10 quarries in Istria, where different sorts of limestones are exploited: hard limestone - *Vrsar stone* (*Pietra d'Istria* - type *Orsera*) in the quarry "Kirmenjak", *Yellow Istrian* (*Giallo d'Istria*) in the quarries "Kanfanar" and "Selina"; medium-hard in the quarries "Grožnjan" and "Lucija"; softer materials in the quarries "Valtura" and "Vinkuran".

The principal sources for raw-material granite are the quarries in Brazil, Gabon and Zimbabwe.

The "Sawmill" Pazin is where stone blocks, stone slabs and solid objects from materials of the limestone group, marble and granite are processed, as well as a wide assortment of different products.

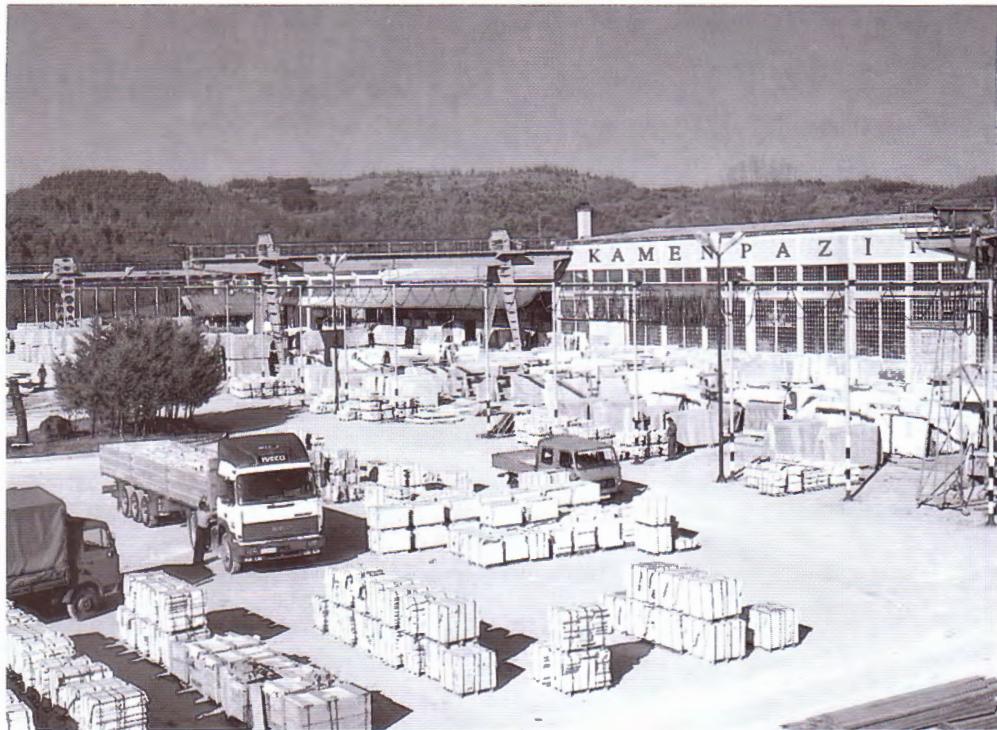
The final phase of activity is the installation of stone slabs and other elements in the buildings. Good materials and well processed materials, appropriate application as well as good installation give an objective picture of the company's quality.

During its 40 years of activity, the company has been extending its business contacts in Croatia and abroad. Business relations are maintained with lots of companies all over Croatia and abroad as in: Italy, Slovenia, Austria, Bohemia, Slovakia, Germany, Hungary, Macedonia, Spain, Brazil, Zimbabwe, Taiwan etc.

Na području Hrvatske nalaze se brojna nalazišta arhitektonsko-građevinskog kamena. Eksplotacija i obrada kamena posebno je intenzivna u jadranskom području (Istra i Dalmacija s otocima), gdje ima vjekovnu tradiciju.

Centar za obradu i proizvodnju kamena u Istri je "Kamen"-Pazin iz Pazina, poduzeće koje ima veliki poslovni ugled u zemlji i inozemstvu. Osim iz nalazišta arhitektonsko-građevinskog kamena u zemlji (posebice u Istri), poduzeće "Kamen" izvodi eksplotaciju i finalnu obradu "ukrasnog" kamena i iz nalazišta u više zemalja svijeta, obogaćujući time paletu svojih finalnih proizvoda i zadovoljavajući domaće i posebno izbirljivo strano tržište.

Oslanjajući se na tu tradiciju, iskustva i stečena znanja, 1954. godine osnovano je poduzeće "Kamen" u Pazinu. U prvih deset godina poslovanja uspjelo je objediniti sve kapacitete djelatnosti kamenarstva sa područja Istre. U svom dalnjem razvoju



Sl. 15 Pilana arhitektonsko-gradevnog kamena poduzeća "Kamen d.d." Pazin.

Fig. 15 Building stone sawmill of the firm "Kamen" Pazin.

do današnjih dana, primjenjujući nove tehnologije, suvremenu opremu, nove proizvodne postupke i prilagođavajući tome organizaciju rada, poduzeće povećava proizvodnju i assortiman proizvoda. Proizvodi blokove raznih varijeteta vapnenaca u 10 kamenoloma na području Istre. Tvrdi vapnenci su *Kirmenjak* u kamenolomu "Kirmenjak" i *Istarski žuti* u kamenolomima "Kanfanar" i "Selina", srednje tvrdi su materijali u kamenolomima "Grožnjan" i "Lucija", a mekši u kamenolomima "Valtura" i "Vinkuran". Vlastita sirovinska osnova granita su kamenolomi u Brazilu, Gabonu i Zimbabveu.

"Pilana" u Pazinu je pogon za preradu blokova, ploča i masivnih elemenata. Obraduje materijale grupe vapnenaca, mramora i granita te široki assortiman raznih proizvoda.

Obujam današnje proizvodnje i obrade sedimentnih stijena iznosi 25.000 m<sup>3</sup>/god za blokove, te 350.000 m<sup>2</sup>/god. za finalno obradene ploče. Kod proizvodnje i obrade eruptivnih stijena godišnja proizvodnja ploča iznosi 45.000 m<sup>2</sup>. Mogućnosti instaliranih strojeva i suvremene tehnologije rada nadilaze današnje potrebe.

Montaža finalnih proizvoda je posljednja u tehnološkom procesu rada, ali najvažnija u formiranju ugleda poduzeća. U podugačkom nizu uređenih objekata treba

navesti barem neke: rekonstrukciju tornja i balustrade Zagrebačke katedrale, rekonstrukciju crkve Sv. Marka u Zagrebu, potpunu rekonstrukciju Trga Bana Jelačića u Zagrebu, dogradnju Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu, kompletno opremanje hotela "Sheraton", te brojne robne kuće, banke, hotele i dr.

U značajne poslovne i stručne uspjehe ubrajaju se i brojni reprezentativni objekti u inozemstvu, kao na pr. Hotel Forum u Bratislavi, Hotel "1200" u Moskvi, Iječilište u Pieštanima u Slovačkoj, isporuka materijala za zgradu Prezidija Akademije nauka u Moskvi, pothodnik Josephine Charlotte u Bruxellesu, isporuka kamenih elemenata za sanaciju Venecije i dr.

### LITERATURA - REFERENCES:

- ABRAMOVIĆ, V. (1982): Glavni rudarski projekt otvaranja i eksploatacije ležišta boksite Rovinj.- Fond RGNF, Zagreb.
- BERTHIÈR, P. (1821): Analyse de l'alumine hydratée des Baux, departement des Bouches-du-Rhone.- Ann. Mines, 6, 531-534, Paris.
- BOLČIĆ, I., & JOVANOVIĆ, D. (1951): O geološkom pregledu kamenoloma Sv. Stjepan kod Buzeta u Istri.- Fond struč. dok. IGI, 1871, Zagreb.
- CAILLERE, S. & POBEGUIN, T. (1963): Sur les différents types de bauxites de la région du Durban.- C.R. Acad. Sc., 257, 3953-3956, Paris.
- CRNKOVIĆ, B. (1967): Quarzsedimente in Istrien - Produkte der Kieselsäurefällung.- Ber. deutsch.Ges.geol.Wiss.B.Miner.Lagerst., 12/2, 181-186.
- D'AMBROSI, C. (1927): Segnalazione di nuovi affioramenti giuresi presso Parenzo e Rovigno in Istria.- Atti Accad. Scient. Veneto-Trentino-Istriana, 18, Padova.
- D'AMBROSI, C. (1940): Sull'eta e sul significato geologico dei calcari brecciatati di Orsera in Istria e delle loro bauxiti.- Boll. Soc. Geol. Ital., 59/1, 25-36, Roma.
- DUDICH, E. (1965): Sulfurhavaj bauksitoj de Hungario (Geokemia studio de la Darvastokusejo).- Kemio internacia, 1, 2, Montevideo.
- GALOVIĆ, I. (1992): Geološki položaj i geneza kvarcnih sedimenata Istre.- Disertacija (Unpublished PhD Thesis), Sveučilište u Zagrebu (University of Zagreb), 120 str. (p.).
- GALOVIĆ, I. & MARKOVIĆ, S. (1972): Izvješaj o detaljnom geološkom kartiranju područja sjeveroistočno od Vodnjana.- Fond struč. dok. IGI, 5182/1, Zagreb.
- KOMLOSSY, Gy. (1968): Etude minéralogique et génétique de la pyritisation de quelques bauxites Hongraises, l'exemple d'occurrence a Iszkaszentgyorgy.- Travaux ICSOBA, 5, 71-81.

- MARINČIĆ, S. & MATIČEC, D. (1989): Kolapsne strukture u boksitnim jamama Istre.- Geol. vjesnik, 42, 121-131, Zagreb.
- MARUŠIĆ, R., SAKAČ, K. & VUJEC, S. (1993): Four centuries of bauxite mining.- Rudarsko-geološko-naftni Zbornik, 5, 15-20, Zagreb.
- MARUŠIĆ, R., SAKAČ, K. & VUJEC, S. (1995): The World's oldest bauxite mining.- Travaux ICSOBA, 22, 81-98.
- MIHOVILOVIĆ, M. & RAŠKOVIĆ, G. (1982): Elaborat o rezervama boksita ležišta Rovinj.- Fond str. dok. Istarski boksiti, Rovinj.
- PLENIČAR, M., POLŠAK, A. & ŠIKIĆ, D. (1969): Osnovna geološka karta SFRJ, M 1:100.000, list TRST.- Savezni geol. zavod, Beograd.
- POLAK, K. (1953): Izvještaj o pregledu istarskih kamenoloma kod Čabrunića, Bala i Sv. Stjepana.- Fond Udruženja rudnika i industrije nemetala, Zagreb.
- POLŠAK, A. (1965): Stratigrafija jurskih i krednih naslaga srednje Istre.- Geol. vjesnik, 18/1, 167-181, Zagreb.
- POLŠAK, A. (1970): Osnovna geološka karta 1:100.000, Tumač za list Pula (Geology of the Pula sheet).- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1963), Savezni geološki zavod, 44 str. (p.), Beograd.
- SAKAČ, K. (1973): Stratigrafski položaj i opće karakteristike boksitnih ležišta Dinarida.- II. Jug. simpozij o istraživanju i eksploataciji boksita, A-XV, 1-20, Tuzla.
- SAKAČ, K., VUJEC, S. & MARUŠIĆ, R. (1993): "Minjera" - svjetski značajan mineraloški i rudarski lokalitet Istre.- Buzetski zbornik, 18, 49-77, Buzet.
- SILA, A. & JOVANOVIĆ, D. (1957): Pregled kamenoloma Sv. Stjepan kod Buzeta.- Fond struč. dok. IGI, 2837, Zagreb.
- ŠINKOVEC, B. (1974): Jurski glinoviti boksi zapadne Istre.- Geol. vjesnik, 27, 217-226, Zagreb.
- ŠINKOVEC, B., SAKAČ, K. & DURN, G. (1994): Pyritized bauxites from Minjera, Istria, Croatia.- Natura Croatica, 3, 41-65, Zagreb.
- TIŠLJAR, J. (1978a): Onkolitni i stromatolitni vapnenci u donjokrednim sedimentima Istre.- Geol. vjesn., 30/2, 363-382, Zagreb.
- TIŠLJAR, J. (1978b): Tidal flat, lagoonal and shallow marine carbonate sediments of Upper Jurassic and Cretaceous of Istria (Yugoslavia).- Acta geologica, 9/5, 159-194, Zagreb.
- TIŠLJAR, J. (1994): Sedimentne stijene.- Školska knjiga, Zagreb, 422 str. (p.).

- TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., MATIČEC, D. & VELIĆ, I. (1995): Platformni faciesi od gornjeg titona do gornjega alba u zapadnoj Istri i prijelaz u tempestitne, klinoformne i rudistne biolititne facijese donjega cenomana u južnoj Istri (Platform carbonate facies from the Upper Tithonian to the Upper Albian in western Istria and transition into tempestite, clinoform and rudist biolithite facies of the Lower Cenomanian in southern Istria).- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Vodič ekskurzije (The First Croatian Geological Congress, Opatija 1995, Excursion Guide-book), 67-110, Zagreb.
- TOMMASINI, G.F. (1873): De comentarii istorici-geografici della Provincia dell'Istria (Reprint of year 1646).- L'Archeografo Triestino, IV, Trieste.
- TROJANOVIĆ, D. (1973): Jurski boksiti zapadne Istre.- II Jug. simpozij o istraživanju i eksploataciji boksita, A-III, 1-6, Tuzla.
- TURINI, P. (1808): Della preparazione dell'allume nella minera di S. Pietro nel dipartimento dell'Istria.- Antonio Curti qu. Giacomo, 1-67, Venezia.
- VELIĆ, I., MATIČEC, D., VLAHOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1995): Stratigrafski slijed jurskih i donjokrednih karbonata (bat-gornji alb) u zapadnoj Istri, ekskurzija A (Stratigraphic succession of Jurassic and Lower Cretaceous carbonates - Bathonian to Upper Albian - in Western Istria, Excursion A).- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Vodič ekskurzije (The First Croatian Geological Congress, Opatija 1995, Excursion Guide-book), 31-66, Zagreb.
- VELIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1988): Litostratigrafske jedinice u dogeru i malmu zapadne Istre (Lithostratigraphic units in the Dogger and Malm of western Istria).- Geol. vjesnik, 41, 25-49, Zagreb.





## Hidrogeološka, inženjerskogeološka i speleološka ekskurzija na području Istre i Kvarnera (ekskurzija D)

Hydrogeological, Engineering-Geological and Spelaeological  
Excursion in the Area of Istria and Kvarner  
(Excursion D)

Božidar **BIONDIĆ**<sup>1</sup>, Srećko **BOŽIČEVIĆ**<sup>1</sup>, Željko **MLINAR**<sup>1</sup>, Karlo **BRAUN**<sup>1</sup>,  
Željko **VULIĆ**<sup>1</sup>, Željko **MIKLIN**<sup>1</sup>, Miroslav **ANDRIĆ**<sup>2</sup>, Ivan **BALEN**<sup>2</sup>,  
Ranko **BIONDIĆ**<sup>1</sup>, Zvonimir **BLAGUS**<sup>1</sup>, Renato **BULJAN**<sup>1</sup>, Franjo **DUKARIĆ**<sup>1</sup>,  
Ladislav **FUČEK**<sup>1</sup>, Nenad **OŠTRIĆ**<sup>1</sup>, Davor **POLLAK**<sup>1</sup>, Božo **PRTOLJAN**<sup>1</sup>,  
Branimir **ŠABAN**<sup>1</sup> & Igor **VLAHOVIĆ**<sup>1</sup>

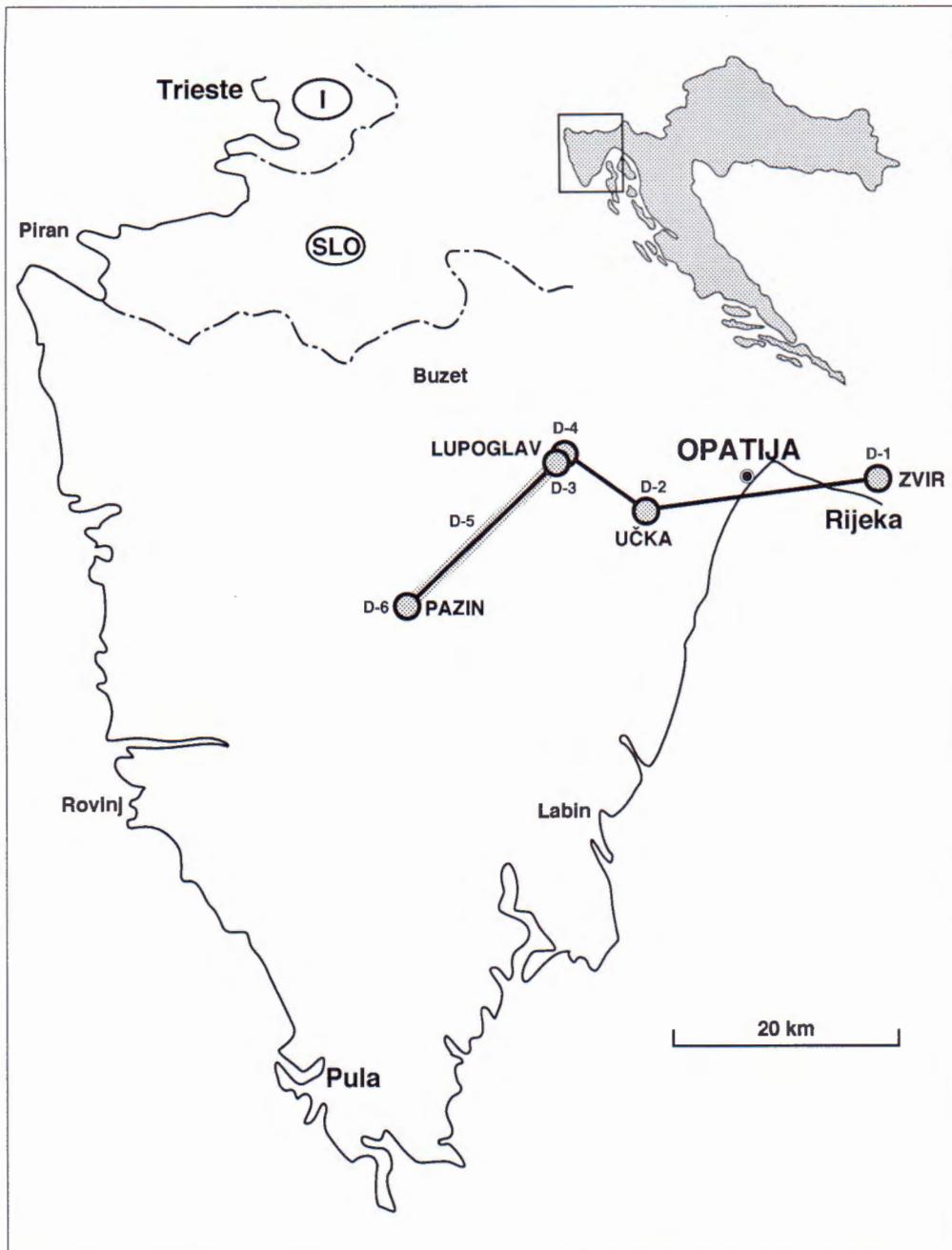
### Uvod

Željko **MIKLIN**

U šest postaja ekskurzije D obradeni su najinteresantniji hidrogeološki, inženjerskogeološki i speleološki objekti na području Istre i Kvarnera (sl. 1). U prvom dijelu obuhvaćeni su hidrogeološki problemi i rješenja vodoopskrbe u velikim gradovima na tri različita vodocrpilišta: Zvir kao otvorena kaptaža, Zvir II kao podzemna galerija (postaja D-1), te kaptaža u kaverni ispod tunela "Učka" (postaja D-2). Drugi dio ekskurzije bavit će se inženjerskogeološkim problemima klizišta Lupoglavlje (postaja D-3) i proboga željezničkog tunela "Čićarija" (postaja D-4). Profilom od Lupoglavlja do Cerovja (postaja D-5) sudionici ekskurzije biti će upoznati sa inženjerskogeološkim značajkama trase ove ceste. Na kraju upoznat ćemo se sa "Pazinskom jamom" (postaja D-6), kao najmarkantnijom geomorfološkom pojavom hrvatskog krša.

<sup>1</sup> Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.

<sup>2</sup> Geofizika, Savska 64, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Zemljovidni položaj postaja ekskurzije.

Fig. 1 Location map of the excursion.

## Postaja D-1: izvor Zvir i kaptažni zahvat Zvir II

Stop D-1: the spring Zvir and abstraction structure Zvir II

Božidar **BIONDIĆ**

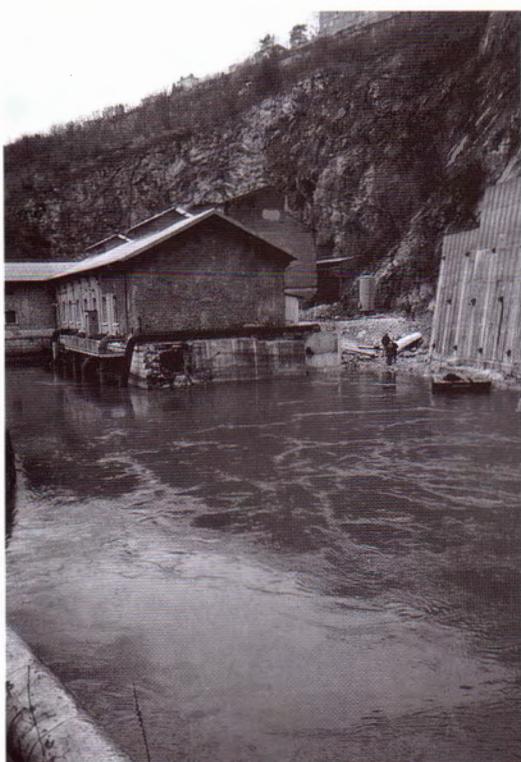
### Izvor Zvir

Kaptažni objekt Zvir (sl. 2) najstariji je Riječki vodoopskrbni izvor, kaptiran još u 19 stoljeću. To je ujedno i najveći krški izvor Kvarnerskog zaljeva. Izdašnost mu varira između 0,9 i  $7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Mogućnosti pridobivanja vode u ljetnim sušnim razdobljima nedovoljne su za rješavanje potreba grada. Česte redukcije vode donosile su znatne ekonomski štete. U takvim uvjetima aktivirana su hidrogeološka istraživanja 1985. godine s namjerom ocjene mogućnosti povećanja izdašnosti izvora.

Izvor Zvir je najveći stalni izvor u gradu Rijeci, sliva površine oko  $600 \text{ km}^2$ . Radi se tipičnom krškom sливу našeg Dinarskog područja. U geološkoj gradi prevladavaju karbonatne stijene, pretežito vapnenci, što je povoljno za razvoj krških procesa i vodoobilnost tog područja. Karbonatne stijene, starosti od trijasa do paleogena imaju uglavnom dinarski smjer pružanja. Interesantne su pojave flišnih naslaga u zaledu glavnih izvora u priobalju, koje bi kao nepropusni medij trebale predstavljati barijere tečenju podzemne vode prema moru, a to se ne dogada. Strukturalna građa tipično je dinarska. Osnovne su tangencijalne forme, poremećene neotektonskim, pretežito rotacijskim, horizontalnim i vertikalnim kretanjem većih strukturnih blokova. Za dinamiku vode u krškom podzemlju osnovnu predispoziciju daju tangencijalni položaji pojedinih vodonosnih formacija, a glavne zone istjecanja su vezane za zone rasjeda, pretežito rotacijskih, koje presijecaju tangencijalne forme (izvor Rječine, Zvir, Martinščica, Bakarski zaljev - BIONDIĆ et al., 1979).

Trasiranja podzemnih tokova su pokazala da flišna zona samo mjestimice ima hidrogeološku funkciju barijere i da podzemne vode uglavnom protječu ispod tih vodonepropusnih naslaga, što kao posljedicu ima arteški (uzlazni) karakter izvora Zvir (sl. 3), ali i većine krških izvora u Dinaridima (BIONDIĆ & GOATTI, 1984). Saznanja o uzlaznom tipu izvora i dubokom vodonosniku u samoj zoni izviranja bili su jedan od glavnih pokazatelja na koji su vezana istraživanja, kao znanstveno-stručna podloga današnjeg projekta novog kaptažnog zahvata u izgradnji. Važno je napomenuti da sлив obiluje oborinama (do 4.000 mm godišnje na planinama) i da se deficit vode slijivi nadoknadju već prvim većim oborinama.

Istraživanja su uključivala spuštanje crpki za 1 m u novoizgrađenom bazenu, koji je s grotлом izvora povezan čeličnom cijevi promjera 1200 mm. Opažanja su organizirana u ljetnom sušnom razdoblju 1985. godine, koje je imalo karakteristike stogodišnje suše. Crpljenje je rađeno u skladu s potrebama normalne vodoopskrbe grada i može se reći da je na taj način bila spašena vodoopskrba grada. Od 19. rujna do 30. listopada održano je crpljenje na razini od 1.200 l/s, što niti teoretski ne bi bilo



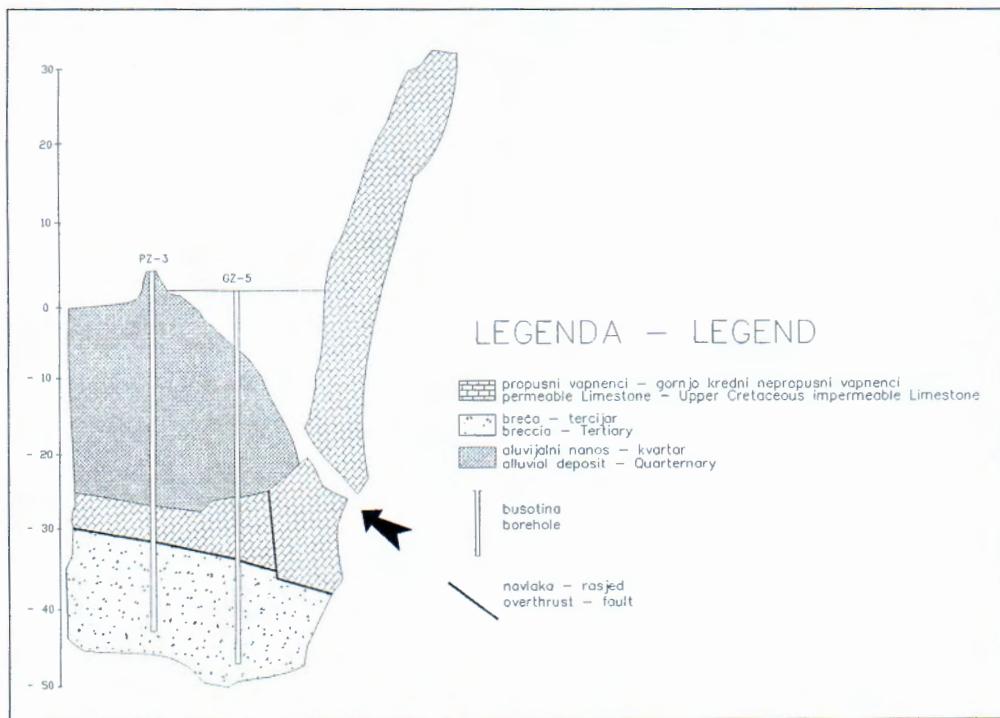
Sl. 2 Kaptažni objekt Zvir.

Fig. 2 The abstraction structure Zvir.

moguće bez zahvata na izvoru. Računa se da je uz sniženje od 1 m dobiveno povećanje izdašnosti od oko 30 do 40%. U razdoblju ispitivanja nisu zapažene promjene sadržaja klorida, pa se može ustvrditi da izvorište Zvir nije pod utjecajem mora, čak niti u ekstremno sušnim uvjetima. Kvaliteta vode na crpilištu bila je cijelo vrijeme ispitivanja izuzetna, praktički bez potrebe za bilo kakvim kondicioniranjem prije upuštanja u vodoopskrbni sustav. Tijekom ispitivanja iscrpljeno je ukupno  $6,525.272 \text{ m}^3$  uz efektivno sniženje na izvoru od samo 1,2 m, što ukazuje na postojanje značajnog retencijskog prostora, direktno povezanog sa zonom izviranja Zvir (sl. 4).

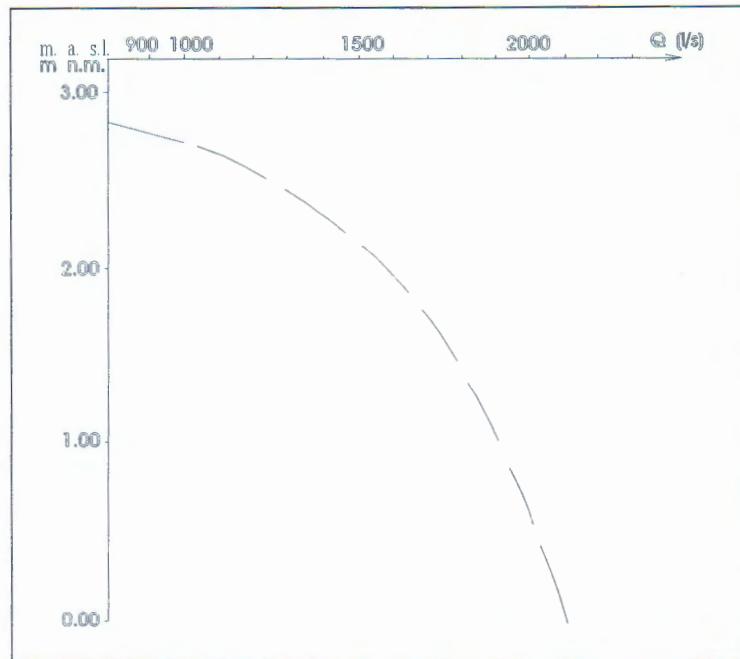
Rezultati su potvrdili potrebu projektiranja i izgradnje novog crpilišta, koje će omogućiti prognozirana sniženja vode u grotlu izvora uz crpljenje vode do količine od 1.600 l/s. Količine od 2.000 l/s mogu se postići presjecanjem gubitaka iz grotla izvora kroz nanos fosilnog korita vodotoka, koji je započinjao izvorom.

U tijeku su radovi na rekaptiranju izvora. Izvedena injekcijska zavjesa zabrtvila je fosilno korito vodotoka i već je samo tim zahvatom povećana izdašnost u ljetnim sušnim razdobljima, međutim sniženjem vode u novom crpnom bazenu do razine mora omogućit će se crpljenje prognoziranih količina.



Sl. 3 Hidrogeološki profil na izvoru Zvir.

Fig. 3 Hydrogeological profile of the Zvir spring.



Sl. 4 Q/s krivulja izvora Zvir.

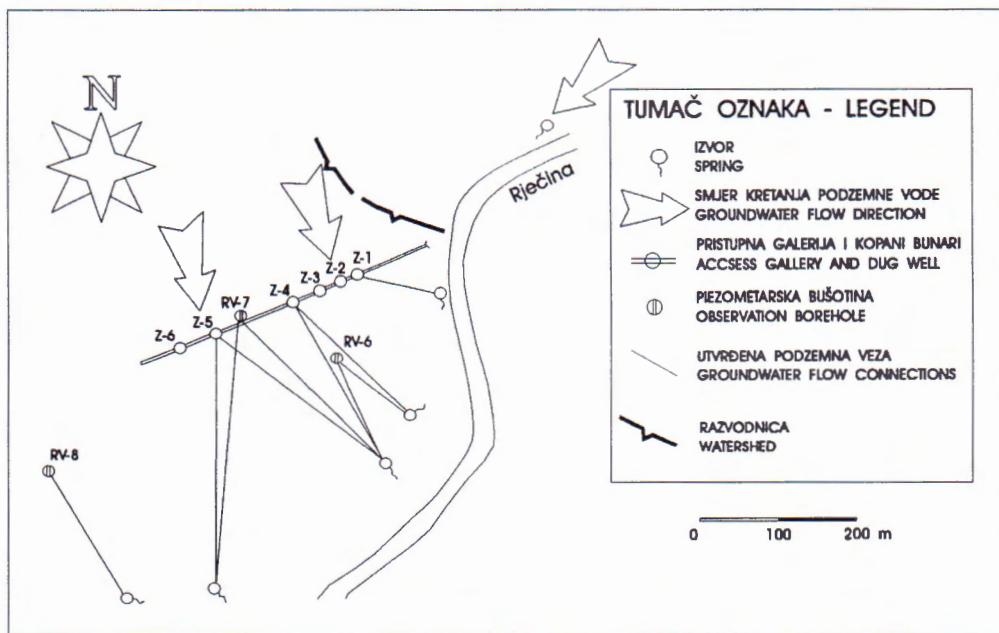
Fig. 4 Q/s diagram of the Zvir spring.

U sklopu izgradnje nove crpne stanice Zvir radena je sanacija padine povrh samog crpilišta. Prvi put u Hrvatskoj je rađeno Diwidag sidrima. Podloga projekta su vrlo detaljna inženjerskogeološka istraživanja. Raspored i dužina sidara određeni su temeljem rasporeda strukturno-tektonskih blokova, a po prvi put je za najoštećenije zone korišten mikroarmirani mlazni beton visoke čvrstoće.

### Kaptažni zahvat Zvir II

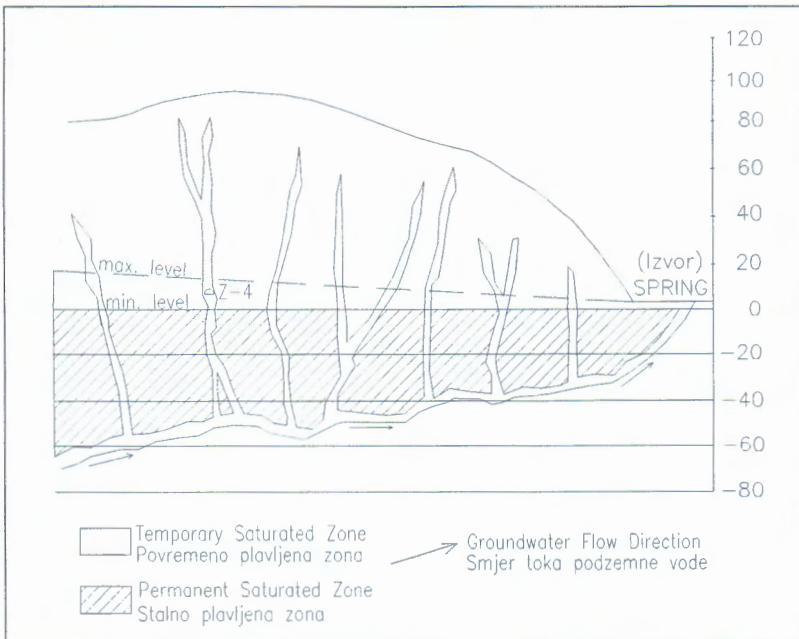
Hidrogeološkim kartiranjem i hidrološkim mjerjenjima utvrđeno je da na desnoj obali nizvodno od izvora Zvir istječu brojni izvori, čija ukupna izdašnost u ljetnim sušnim razdobljima dosije i do 600 l/s. Vode svih tih izvora imaju zajedničko podrijetlo kao i glavni izvor Zvir, ali međusobni utjecaj je minimalan. Dinamika vode je vezana za pliće zone (oko 50 m ispod razine mora), što je potvrđeno istražnim bušenjem. Problem je bio na koji način zahvatiti te vode s obzirom da su primarna mesta izviranja pokrivena gradskim objektima. Jedina mogućnost bio je zahvat podzemne vode u zaledu izvora, unutar karbonatnog masiva, iako tada povezan s nepremostivim problemima efikasnosti takvih objekata izgrađenih na drugim dijelovima našeg krškog područja (BIONDIĆ et al., 1983).

Kaptažni objekt je projektiran i izведен kao kombinacija pristupne galerije i kopanih bunara (sl. 5). Pristupna galerija dužine 400 m locirana je na takav način da



Sl. 5 Kaptažni zahvat Zvir II.

Fig. 5 The abstraction structure Zvir II.



Sl. 6 Skica tečenja podzemne vode u zoni kaptaze u prirodnim uvjetima.

Fig. 6 Scheme of underground flows in the abstraction zone under natural conditions.

presjeca mnogobrojne registrirane rasjede, potencijalne drenove podzemne vode prema izvorima, a visinski unutar zone promjena razina podzemne vode (između 6,5 i 8,0 m n.v.). Samo visoke vode prelaze niveletu tunela, pa je za njihovo dreniranje izgrađen temeljni drenažni kanal prema koritu Rječine. Pristupnim tunelom presjećeno je nekoliko vrlo jakih rasjednih zona s otvorenim kaveroznim prostorima vertikalnog rasprostiranja.

U zonama rasjeda u pristupnoj galeriji izbušeno je 6 istražnih bušotina, kojima su određene dubine glavnih drenažnih zona prema izvorima. Nisu zapažena horizontalna kretanja podzemne vode uz piezometarsku razinu, osim u vrijeme visokih vodnih valova, kada tunel ima funkciju drena. Najveći dio vode doticao je u galeriju kroz vertikalne kaverne i istražne bušotine, direktno povezane s dubokim podzemnim drenovima prema izvorima (sl. 6). Traser utisnut kroz te bušotine vrlo je brzo registriran na mjestima prirodnih istjecanja.

Na mjestima istražnih bušotina u pristupnoj galeriji izvedeno je 6 kopanih bunara, dubine oko 12 m, što znači 4-5 m ispod razine mora. U bunarima, u stanju mirovanja, nije bilo toka vode. Tek aktiviranjem crpki aktivirani su i dotoci u bunarski prostor. Crpljenjem svakog bunara zasebno utvrđeno je da ni bunari nisu međusobno povezani, već su vezani za pojedine drenažne zone predestinirane vertikalnim rasjedima. Prvo probno crpljenje bunara je pokazalo izdašnost zahvata od 260 l/s, vrlo dobru kvalitetu vode i nikakvu promjenu sadržaja klorida, što je vrlo značajno jer je zahvat svega 800 m udaljen od mora.

S količinom vode od 260 l/s u ljetnim sušnim razdobljima nismo bili zadovoljni, svjesni da osnovni problem hidrauličke veze bunara i dubokih podzemnih drenova nije do kraja riješen, a da je optimalna izdašnost objekta ovisna o toj vezi. Bunari su kopani vertikalno i nisu pratili dubinsko prostiranje kaverni, koje su imale manje devijacije u odnosu na vertikalnu. Na taj način nije postignuto optimalno sniženje vode u kavernama, pa niti optimalna izdašnost svih bunara. S obzirom da je najveći dio vode dotjecao u bunare kroz istražne bušotine, u svakom od bunara izvedene su po tri dodatne bušotine, koje su poslužile za miniranje cijele zone do glavnog dubokog drena. Probno crpljenje dalo je tada daleko bolje rezultate. Dobivena je količina od 800 l/s, s time da su eksplotacijske mogućnosti zbog dubine objekata 600 l/s. Određenim tehničkim zahvatom moguće je i tih 200 l/s pretvoriti u eksplotacijske količine.

Kaptažni zahvat izgrađen je praktički u samom centru grada, ispod naselja Kozala. Nekoliko godina nakon izgradnje objekta u galeriji je zapažen prodror mazuta povrh bunara br. 4 iz toplinske stanice na Kozali. U tijeku je sanacija tog problema. Već dosadašnjim ispiranjem podzemlja izvučeno je gotovo 5 tona materijala, a ispiranje će trebati raditi u nekoliko navrata. Danas je situacija daleko bolja nego ranije. Saniran je objekt na Kozali i smanjena količina mazuta u podzemlju.

#### **Stop D-1: the spring Zvir and abstraction structure Zvir II**

##### **The spring Zvir**

Abstraction structure Zvir (Fig. 2) is the oldest water supply source of the city of Rijeka, capped in the 19th century. At the same time, this is the largest karst spring in the Kvarner Bay. Its capacity varies between 0.9 and 7.5 m<sup>3</sup>/s. The possibilities of water intake during dry summer periods are insufficient to meet city water demand. Frequent reductions in water supply brought about significant economic losses. In such conditions, hydrogeological investigations have been activated in 1985, with the aim to assess the possibility of increase in spring capacity.

The spring Zvir is the largest permanent spring of the Springs Catchment in the city of Rijeka. It occupies the area of about 600 km<sup>2</sup>. This is a typical karst catchment of our Dinaric region. Carbonate rocks dominate in the geological structure, mainly limestone, which favors the development of karst processes and water abundance in this region. Carbonate rocks, ageing from Triassic to Palaeogene period, mainly have Dinaric direction of spreading. Flysch sediments in the background of main springs along the coast represent interesting phenomena. Being an impervious medium, they are to represent barriers to groundwater flow towards the sea, but this isn't the case. The structure is characteristic for the development of Dinarides. Main tangential forms have been disordered by neotectonic, mainly rotational and horizontal movement of structural blocks. Main prerequisite for water dynamism in karst underground is provided by tangential location of individual water bearing structures, and main runoff zones are connected to fault zones, mainly rotational, which intersect tangential forms (springs of Rječina, Zvir, Martinščica, the Bakar Bay - BIONDIĆ et al., 1979).

The tracing of groundwater flows has shown that the flysch zone only occasionally has the hydrogeological function of the barrier and that groundwater mainly flow beneath

these water impermeable sediments. As the result, the spring Zvir (Fig. 3) is of artesian (raising) character and so are most of karst springs in Dinarides (BIONDIĆ & GOATTI, 1984). The information on raising type of the spring and the existence of deep aquifer in the spring zone itself, was one of main indicators on which the investigations have been based and represents scientific and expert basis of current project of the new abstraction structure which is under construction. It is to be stated that the catchment abounds in precipitation (up to 4000 mm per year in the mountains) and that water shortage in the catchment is being compensated by first larger precipitation.

The investigations included the lowering of pumps by 1 m in the newly built basin which is connected with the gulf of the spring by means of a steel pipe of 1200 mm dia. The observations have been organized in the dry summer period in 1985, which has had the characteristics of a hundred year draught. The pumping has been performed in accordance with usual city water supply requirements and we could say that the water supply of the city has been saved in that way. From September 19, to October 30, the extraction of 1200 l/s has been performed which wouldn't be possible even theoretically without the intervention on the spring. It has been estimated that additional capacity of 30% to 40% has been obtained by 1 m lowering. During the period of tests no changes in chloride contents were noticed, and the conclusion could be drawn that the spring Zvir isn't influenced by the sea, not even in extremely dry conditions. Water quality at the extraction site was exquisite during the entire testing time. Practically, there was no need to condition it prior to feeding it into water supply system. Total quantity of 6,525.272 m<sup>3</sup> of water has been pumped in the testing period with effective lowering at the spring of only 1,2 m. This points to the fact that significant retention area exists which is directly connected to the spring zone Zvir (Fig. 4).

The results have confirmed the need to design and construct new extraction site which shall enable the foreseen water level lowering in the spring gulf at the extraction of 1600 l/s of water. Water quantities of 2000 l/s could be obtained by intersecting the losses from the spring gulf through the sediment of fossil riverbed which origins at the spring.

The works on recapping the spring are under way. The grout curtain has sealed the fossil bed of the waterflow and this work alone has increased the capacity in dry summer periods. However, the lowering of water in new pumping basin up to the sea level would enable the extraction of envisaged water quantities.

The remedy of slope above the extraction site has been performed in the scope of the construction of new pumping station Zvir. Diwidag anchors were used for the first time in Croatia. Very detail engineering and geological investigations served as project basis. The layout and length of anchors were determined on the basis of layout of structural and tectonic blocks. For the first time, micro-reinforced jet concrete of high firmness has been used in most damaged zones.

#### Abstraction structure Zvir II

Hydrogeological mapping and hydrologic measurements have determined that numerous springs outflow on the right riverbank downstream from the spring Zvir, total capacity of which in dry summer period reaches up to 600 l/s. The waters of all these springs have the same origin as the main spring Zvir, but the reciprocal influence is minimum. The water dynamism is related to shallow zones (about 50 m below sea level), which has been ascertained by research drilling. The problem has been how to catch these waters since primary spring sites were covered by city structures. The only solution was the groundwater intake in the background of the spring, within carbonate massif, although this solution has been linked to unresolved problems regarding the efficiency of similar facilities already constructed in other parts of our karst region (BIONDIĆ et al., 1983).

Abstraction structure has been designed and constructed as the combination of access gallery and excavated wells (Fig. 5). Access gallery, 400 m long, intersects numerous recorded faults, potential drains of groundwater towards springs and within the height zone in which groundwater tables vary (between 6.5 and 8.0 m a.s.l.). Only high waters exceed the absolute elevation of the tunnel, so that the bottom drainage tunnel has been constructed in order to drain these waters towards the riverbed of the Rječina. Access tunnel intersects several very powerful fault zones with open caverns of vertical spreading.

Six exploration boreholes have been drilled in the fault zone in the access gallery, by which the depths of main drainage zones towards springs have been determined. No horizontal dynamism of groundwater along piezometric level have been noticed, except in the period of high water waves when the tunnel serves as drain. Most water quantities inflow to the gallery through vertical caverns and exploration boreholes directly connected with deep underground drains leading towards springs (Fig. 6). The tracer inserted in these boreholes has been registered very soon on the sites of natural outflow.

On the location of exploration boreholes in the access gallery, 6 wells, about 12 m deep i.e. 4-5 m below sea level, were excavated. In idle state, there has been no waterflow in the wells. By activating the pumps, the inflow into the area of wells has started, too. The exploitation of each individual well has determined that these wells are not interconnected but are connected to individual drainage zones predestined by vertical faults. First test exploitation of wells has shown the abundance of 260 l/s, very good water quality and no change in chloride content, which is very significant since the abstraction structure is only 800 m far from the sea.

We were not satisfied with the water quantity of 260 l/s in dry summer period and were aware that the main problem of hydraulic link between wells and deep underground drains haven't been fully resolved and that the optimum abundance of the facility depends on this link. The wells have been excavated vertically and haven't followed deep spreading of caverns which have had minor deviations with relation to the vertical. In this way no optimum water lowering in caverns has been achieved, and neither has the optimum capacity of all wells.

Since the largest quantity of water inflows into the wells through exploration boreholes, three additional boreholes were drilled in each of the wells and served for mining the entire zone up to the main deep drain. Test exploitation gave much better results. Obtained water quantity amounted 800 l/s, but the actual exploitation possibilities, due to the depth of the facility, are 600 l/s. Technical intervention could transform the remaining 200 l/s into exploitation quantity, too.

Abstraction structure has been constructed practically in the centre of the city, below the Kozala settlement. Several years upon the construction of the facility an intrusion of mazute from the heating station located in Kozala has been spotted above well no. 4. The remedy of this problem is under way. During rinsing performed so far almost 5 tons of material have been extracted, and the rinsing should be performed several times. Current situation is much better than before. The facility on Kozala has been remedied and the mazute quantity in the underground reduced.

## Postaja D-2: kaptaža u kaverni ispod tunela "Učka"

Stop D-2: tunnel "Učka"

Srećko BOŽIČEVIĆ

Prigodom miniranja 22. srpnja 1977. u cestovnom tunelu Učka na stacionaži 1+632 s kvarnerske strane, neočekivano se otvorila šupljina u lijevom boku na kontaktu fliš-vapnenac. Iz dna otvora istekla je znatna količina vode te poplavila tunel gotovo do samog izlaza. Ulaz u šipilju je ubrzo pregrađen debelim armirano-beton-skim zidom s ostavljenim uskim prolazom za ulazak u nabušenu kavernu.

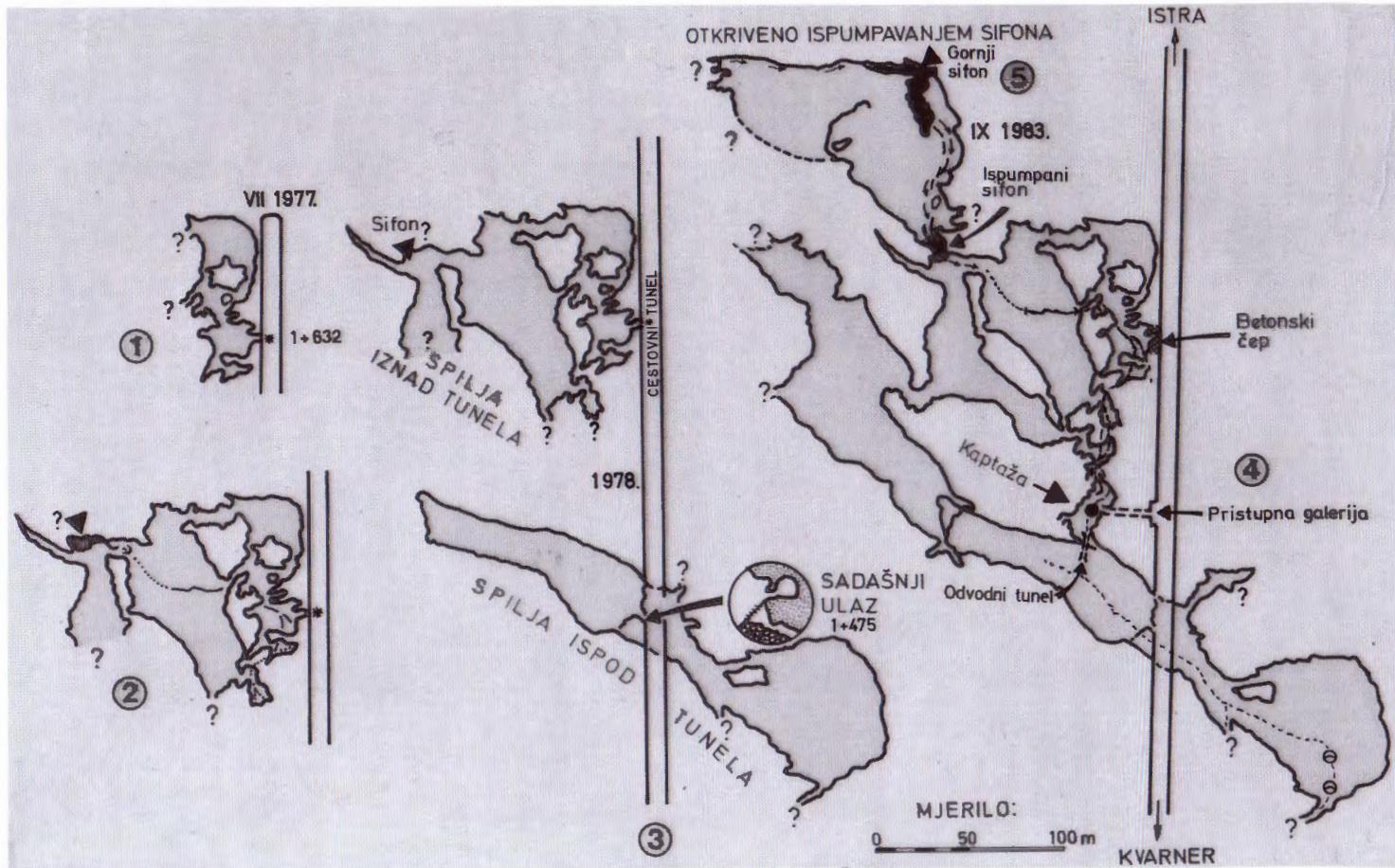
Iako se izvodač tunela zanimalo samo za detaljno saznanje o izgledu šupljine 10-20 m s desne i lijeve strane tunela, projektant je ipak želio znati koliko se daleko i u kojim dimenzijama proteže otkrivena šupljina.

Na ovo traženje započela su prvo pregledna, a kasnije i detaljna speleološka i hidrogeološka istraživanja Instituta za geološka istraživanja iz Zagreba, koja je predvodio autor. Bila su potrebna i dodatna geodetska mjerena koja su, također, radena pod vrlo otežanim uvjetima.

U mjesecu kolovozu iste godine izrađen je nacrt 180 m dugog šipiljskog sustava (sl. 7). Tada su pronađeni dijelovi prostora u smjeru iz kojeg je dolazio podzemni vodotok. Uočivši značenje vode na toj nadmorskoj visini dali smo prijedlog programa dalnjih hidroloških i speleoloških radova.

U prosincu 1977. godine u neposrednoj blizini ispod postojećeg ulaza u jedno sifonsko suženje vodenog toka ubaćeno je 400 litara razrijedene boje. Pojava boje registrirana je uz obalu u Lovranu i Ičićima (sl. 8 i 9). Istodobno na stacionaži 1+475 bližoj ulazu u tunel pod stropom već izbušenog dijela tunela primijetili smo omanji otvor u kojeg se, zbog torkretirane stijene, nije moglo ući bez visokih ljestava. Ulaskom u taj otvor ekipu je iznenadila jaka cirkulacija zraka i na dnu svladane vertikale otkriće horizontalnog kanala nove šupljine u kojoj se, također, čuo tok vode. Spuštanjem niz više od 30 m strmu i u najvećem dijelu previjesnu vertikalnu, otkriven je novi šipiljski prostor u dužini od oko 400 metara. Zapaženo je da je debljina prirodne stijene ispod izbušene tunelske cijevi relativno vrlo mala, i znatno raspušćena. Ustanovio sam da će biti potrebno izraditi dodatno ojačanje zbog sigurnosti građevinskog objekta cestovne trake.

Daljnja istraživanja nastavljena su 1978. i ukazala da su oba otkrivena šipiljska sustava (gornji i donji) jedinstvena morfološka cjelina. Betoniranjem tunela zazidan je prvobitni ulaz na radnoj stacionaži 1+632, pa sam predložio probijanje prolaza od nivelete tunela do otkrivene šupljine na stacionaži 1+475. Iza probijenog otvora postavljene su brodske ljestve zbog sigurnijeg silaska. Uredenjem pristupa i proširivanjem pukotina i prolaza miniranjem olakšan je ulaz do mjesta poniranja podzemnog vodotoka. Na najpovoljnijem mjestu u šupljini ureden je kanal i izrađen Tompsonov preljev. Radnici "Komunalca" Opatija povremeno obavljaju mjerena.



Sl. 7 Otkriveni špiljski sustav uz cestovni tunel Učka. Postupne faze otkrivanja kaverne (1-5, od 1977 do 1983).

Fig. 7 Discovered system of caves along the Učka road-tunnel. Gradual phases of cavern discovery (1-5, from 1977 to 1983).

Ukazana potreba da se s ove strane ulazi i u gornji dio špiljskog sustava zahtjevala je da se u najnižem dijelu znatno snizi razina vode i osigura prolaženje. Krajem 1978. godine minirana su i proširena sva suženja, pri čemu je trebalo paziti da se ne poremeti stabilnost postojećih labilnih blokova, kako se ne bi izvazvala urušenja. Ispred i oko "gornjeg" sifona miniranjem su razbijeni veći blokovi, a izbacivanjem šljunčanog nanosa i ukopavanjem u dno snižavana je razina tog sifona, odnosno ujezerene vode. U trenutku najniže postignute razine ustanovili smo da se sa suprotne strane čuje šum tekuće vode u obliku slapa, što je dalo naslutiti postojanje nastavka špiljskog prostora i s druge strane vodene barijere.

Detaljno inženjersko-geološko snimanje svih pukotina obavljeno je 1979. u dijelu šupljine ispod tunela zbog ojačanja tunelske cijevi. Podaci su unašani na odgovarajuće geodetske snimke izrađenih profila. Za potrebe vodoopskrbe iskopan je okomito na cestovni tunel horizontalan, a na njegovom kraju i vertikalni rov do izrađene betonske kaptaže u kaverni, deset metara nizvodno od mjernog preljeva.

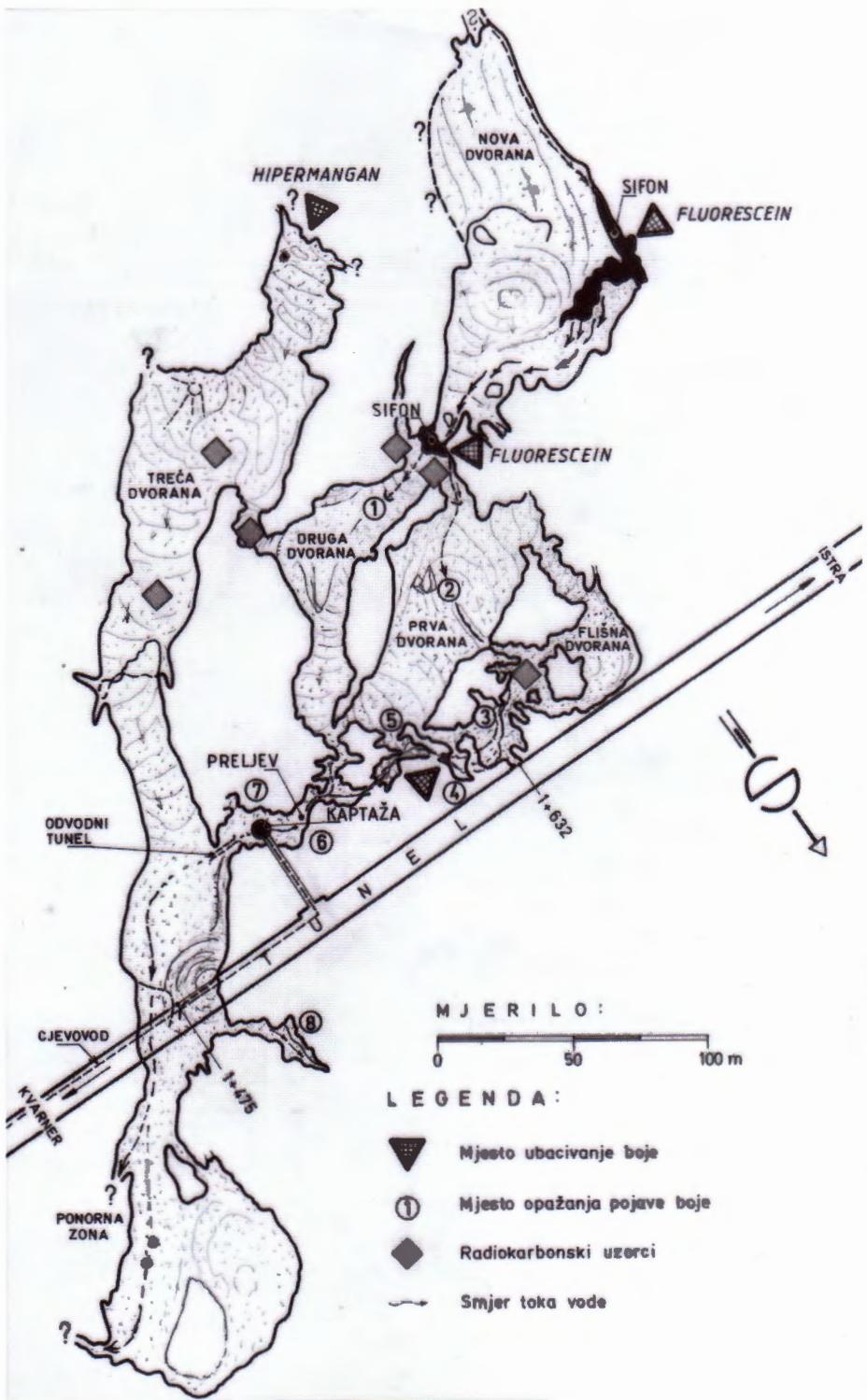
Bakteriološka ispitivanja utvrdila su fekalno zagadenje koje je dolazilo s površine u podzemlje. Tek 1982. otkriven je zagadivač - objekti odmarališta "INA", te se morao izgraditi odvod tako opterećenih voda izvan zaštitne zone podzemne kaptaže. U ljeti iste godine preronjen je gornji sifon i potvrđeno postojanje nastavka špiljskog sustava s dotokom vode iz još jednog velikog podzemnog jezera koji je izbijao iz hipsometrijski više položenog, ali vrlo dubokog sifona.

Godine 1983. postavljene su crpke u završnoj vodovodnoj kaptaži za punjenje rezervoara bazena izgrađenog na površini neposredno pred ulazom u tunel. U vrijeme velikih vodnih "valova" podzemni je vodotok u potpunosti plavio kaptažu. Zbog toga je probijena pregrada koja je taj dio dijelila od nižeg dijela ulazne velike dvorane u koju se sada silazilo postavljenim stepeništem. Probijeni rov torkretom je ojačan i zaštićen od dodatnih oštećenja.

U kolovozu 1983. godine obavljeno je planirano crpljenje gornjeg sifona s mjeranjem dotoka vode. Za vrijeme dok je sifon bio ispružen rekognosciran je i izrađen nacrt otkrivene "nove dvorane", a u njezinom vodotoku i dodatno bojenje radi utvrđivanja gubitaka.

### Morfologija špiljskog sustava

Radi lakšeg opisa i praćenja kavernoznog sustava, sada jedinstven špiljski prostor podijeljen je na *gornji* i *donji*. *Gornji dio* je šupljina iznad nivelete tunela do kaptaže, a *donji* od kaptaže do najniže dosegnutih prostora tog sustava, odnosno do sitastih ponora. Kod morfoloških opisa svaki od tih sustava posebno je označen položajem nabušenih radnih stacionaža: "1+632" i "1+475" radi lakšeg uočavanja prvotnih ulaza s razine nivelete cestovnog tunela.



Sl. 8 Vodeni tokovi i opažaća mjesta u špiljskom sustavu uz cestovni tunel Učka.  
Fig. 8 Waterflows and observation sites in the system of caves along the Učka road-tunnel.

### Gornji dio špiljskog sustava

Prostor uz tunel sastoji se od ulazne vrlo urušene dvorane i uskih bočnih kanala s dotokom vode ispod blokova. Naknadno je utvrđena teško prolazna veza između uskog kanala iznad sifona i donjeg dijela prve dvorane.

*Flišna dvorana* je najširi prostor u neposrednoj blizini izbušenog tunela. Karakteristika dvorane je nagnutost prema sjeveru. Na nekim dijelovima dvorane nagib iznosi i više od  $45^{\circ}$ . Južni i jugoistočni dio dvorane ispunjavaju golemi urušeni kameni blokovi i sitno kršje. Zapadni i sjeverni dio karakteriziran je debelim flišnim naslagama i kontaktnom linijom fliš - vapnenac. U dnu dvorane "urezan" je jarak povremenog vodotoka s mnogo zaobljenih valutica pješčenjaka i ovećih komada zaokruženih blokova vapnenaca. Karakteristično je i naglo skretanje vodotoka iz smjera sjever-jug u smjer prema istoku, gotovo paralelno s osi tunela.

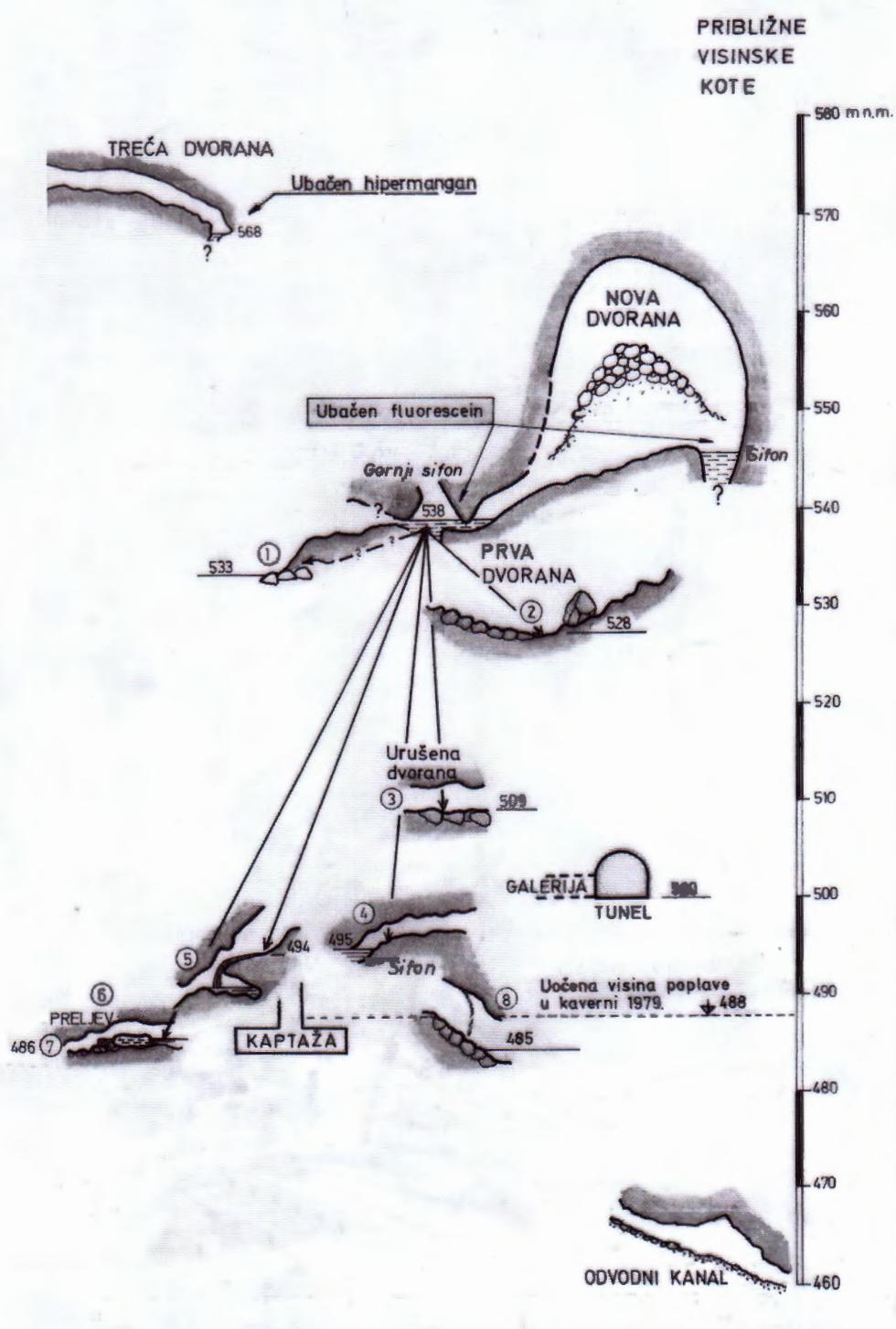
*Urušeni kanal* nastavlja se iza najvišeg dijela jugozapadnog prostora *flišne dvorane* s vrlo niskim prolazom, strmijeg ili blažeg nagiba. Prolaz je moguć provlačenjem između kamenih blokova. Širina kanala varira od 5 do skoro 10 m, a visina od 1-4 m. Izlaz je usmjeren u *prvu dvoranu* uz strmiji uspon između raspuknutih blokova, pri čemu se dolazi na kotu od oko 542 m n.m., ili više od 40 m iznad posjeće nivelete tunela.

*Prva dvorana* orientirana je pravcem sjeveroistok-jugozapad s velikim udubljenjem u središnjem dijelu kroz koji protječe potok. Izmjerena dužina iznosi 105, a širina 45 m. U središnjem dijelu širina varira od 20-25 m. Visina je u najširem dijelu oko 12 metara, dok u ostalim dijelovima varira između 5 i 8 m. Prostor je prekriven obrušenim oštrim kamenim kršjem s prevlakom blata. Karakterističan je i velik urušen raspuknut blok, visok 10, te širok više od 5 m, što govori o urušavanju prilikom tektonskih pomaka u nedavnoj geološkoj prošlosti. Strop donjeg dijela dvorane je rasjedna ploha na kojoj su vidljive i strije.

*Vodeni kanal* nastavlja se na južnom gornjem dijelu prve dvorane. Ispod blokova čuje se i vidi protjecanje vode u smjeru dvorane. Kanal završava nakupinom vode (nazvanom *gornji sifon*) iz koje dolaze najveće količine vode u splet šupljina. U boku i stropu kanala vidljiva je "cementirana" breča sa sigastim formama.

*Gornji sifon* čini nekoliko metara široka nakupina vode na visini 538 m n.m., a razina oscilira ovisno o njezinom dotjecanju. Sifonsko udubljenje duboko je nekoliko metara. Prema morfologiji kanala, obrušenim blokovima i naplavljenoj količini šljunka, pijeska i mulja u vodi mogli smo pretpostaviti da se iza tog sifona mora nalaziti još neki od špiljskih prostora. Zbog preduboke vode prolaz kroz sifon bio je moguć jedino roniocu ili samo za osjetnog sniženja razine.

*Druga dvorana* gotovo je paralelna s prvom i svijena je poput luka, spajajući se pri svom dnu s niskim strmim kanalom *prve dvorane*. Dok se u gornjem dijelu dvorane nalazi mnoštvo odvaljenih blokova ispod kojih se samo djelomice vidi tok vode, dotle je južni rub središnjeg dijela na dužini većoj od 30 m ispunjen vrlo debe-



lim nanosom mješavine blata i vrlo sitnog kršja (sl. 10). Dužina ove dvorane iznosi 100 m s izmjeronom širinom od oko 12 m na početku, te 25 m u središnjem dijelu, uz postupno suženje na svega nekoliko metara u najnižem dijelu. Tlo je ispunjeno vrlo labilnim odlomljenim kršjem i blokovima veličine do 2x2 m. Miniranjem uskih prolaza spojeni su "gornji" i "donji" dijelovi tog podzemnog prostora.

*Sustav sifona i donjeg jezera* nalazi se ispod najdonjih dijelova "prve" i "druge dvorane". Spuštanjem niz strminu uskih prolaza između blokova ulazi se u koso nagnut prostor ispod kojeg je voden i tok. Voda u taj dio dopire iz najbližeg sifona. Koso položenim pukotinama i provlačenjem ispod slapa ulazi se u oko 15 m dug kanal u kojem voda, čineći sifonsku nakupinu, nastavlja put u niže dijelove. Uski prolazi između kaptaže i *gornjeg sifona* su prošireni miniranjem.

*Strmi kanal* ima jedva vidljiv ulaz na jugoistočnoj strani *druge dvorane* u udubljenju ispod nanosa blata. Ulaz u taj prostor širok je više od 10 m, a prolaz je moguć samo na jednom mjestu, i to puzajući. Nastavak kanala je pod kutem većim od  $30^\circ$ , a kada se na dužini od oko 40 m uzdigne za oko 30 m i dosegne kotu od 557 m n.m. dovodi nas u prostor *treće dvorane*. Prosječna širina tog kanala iznosi oko 5 m, dok visina varira od 1 m na početku do 2,5 m u središnjem dijelu. Najveći dio tla kanala prekriven je sigastom korom, te s nešto stalagmita visine desetak centimetara. Sigasta kora i nakupina dokazuje nastupanje faze naglog snižavanja erozijske baze vodenog toka u niže dijelove šupljina.

*Treća dvorana* predstavlja širok prostor u kojem se najvjerojatnije ispod odvaljenih i obrušenih blokova nalazi nastavak prolaza u ostale, za sada nepoznate šupljine, a koje se vjerojatno nastavljaju prema kontaktu vapnenaca s fliškom podlogom. Jugozapadno od ulaza je najviši dio dvorane na koti od oko 580 m n.m., odnosno 80 m iznad nivelete tunela. Među blokovima vidi se neznatno tečenje vode. Najširi prostor je kod spomenutog ulaza i iznosi 70 m. Visina varira od 8 do 10 m, a dužina iznosi 175 m, čemu treba pridodati i 20 m uskog i niskog kanala. Glavni smjer dvorane je sjeveroistok-jugozapad s padom većim od  $20^\circ$  prema najdonjim dijelovima. Širina dvorane varira od 30 m do 70 m u središnjem, dok u donjim, najnižim dijelovima ne prelazi 30 m. Visina od neravnog tla do stropa približno je 5 m, osim u najdonjem dijelu gdje dosiže i 15 m. Tu je završetak dvorane u uskom, teško prolaznom kanalu na koti od 515 m n.m. Karakteristika tog najdonjeg dijela dvorane je velika količina tanke kalcitne prevlake na sitnom kršju, kao i znatno deblji sloj kalcitne kore u najnižem dijelu, koji nije omogućio prolaz u niži sustav prostora.

*Nova dvorana* otkrivena je direktnim ulaskom ronioca u sifon, u ljeti 1982., a istražena je u kolovozu 1983. nakon crpljenja *gornjeg sifona* tijekom dodatnih hidro-

Sl. 9 Visinske kote vodenih tokova i mjesta opažanja.

Fig. 9 Elevations of waterflows in the cave and observation sites of tracer color.



Sl. 10 Dio 100 m dugačke dvorane u kojoj je tlo prekriveno kršjem stijena različitih veličina.

Fig. 10 A part of the 100 m long hall in which the soil is covered by debris of various dimensions.

loških mjerena. Ulaz u tu dvoranu je na koti razine sifona na 538 m n.m. Dubina sifona iznosi od 2-5 m (ovisno o količini dotoka vode). Dužina ulaznog, koso položenog dijela kroz sifon do prostora iznad vode je nešto veća od 10 metara. Dno sifona ispunjeno je u ulaznom dijelu sa znatnim količinama šljunka, pijeska i mulja, dok se na suprotnoj strani na tlu nalaze plitke kalcitne kamenice. Taj sifonski bazen nije primarna tvorevina na tom mjestu. On je najvjerojatnije nastao iznenadnim urušavanjem blokova duž tektonskih pukotina u *vodenom kanalu*. Male sigaste nakupine ili kamenice na tlu nastajale su kada je voda nakapnica obogaćena kalcijevim karbonatom polagano protjecala uz postojeću cirkulaciju zraka, odnosno kada ovaj dio nije bio pod vodom. Oko dvadeset metara od izlaza sa suprotne strane *sifona* kameni kršje iz nanosa i blokova tvore "brdo" visoko više od 15, te šire od 50 m. Čitav urušeni prostor dvorane s vodenim tokom na njezinom sjevernom rubu dug je nešto preko 80 m, uz širinu od 60 m. Pukotine duž kojih je došlo do urušavanja vidljive su na stropu i uz rubove dvorane. U jugozapadnom dijelu, ispod urušenih blokova, istraživanje nije provedeno zbog vrlo ograničenog boravka tijekom rada crpki u sifonu. Ovdje negdje trebao bi biti spoj s najvišim dijelovima također urušenog prostora *treće dvorane*, ali vjerojatno i postojanje još jedne paralelne dvorane. Na zapadnom rubu *nove dvorane* nalazi se vodeni bazen, odnosno novi sifon neispitane dubine. Bazen je na koti 545 m n.m., odnosno svega 7 m više od ispumpanog sifona. Voda iz tog, najviše položenog sifona kaskadno otječe uz rub *nove dvorane* preko dosta debove naslage kalcitnog taloga, što upućuje na dugotrajno

protjecanje vode kroz taj dio prostora. Sjeverni rub dvorane čini djelomice kompaktna vapnenačka stijena, dok je dio bliži ispumpanom sifonu ispresijecan brojnim pukotinama i zdrobljenim zonama karbonatnih naslaga.

Navlačni kontakt fliša i vapnenca vidljiv je od kraja novog sifona uz zapadni rub dvorane, a naslage fliša moguće je pratiti puzanjem kroz dovodni kanal u dužini od oko 100 m. Tim kanalom za vrijeme obilnih padalina najvjerojatnije dotječe voda s gravitirajućeg dijela površine.

Sveukupna dužina kanala i prolaza u *gornjem špiljskom sustavu* iznosi za sada 1.075 m. Visinska razlika tog dijela sustava je 95 m. Najudaljeniji istraženi prostor od tunela je južni rub *treće dvorane*, udaljen za čitavih 215 m. Isrtavanjem *gornjeg* i dodatnom izradom *donjeg sustava*, potvrđena je povezanost kada su se položaji kanala medusobno preklopili, a jedva primjetna cirkulacija zraka dala je naslućivati i postojanje fizičke povezanosti neprolazne za čovjeka.

#### Donji dio špiljskog sustava

Današnji ulaz u taj dio špiljskog sustava je kroz probijeni otvor uz bok cestovnog tunela, ali se u njega može sići i kroz pristupni tunel kaptaže i stepenicama sići niz njegov vertikalni dio. Prvac protezanja *velike* ili *ulazne dvorane* je sjeveroistoč-jugozapad u dužini od oko 60 m. Najveća širina je 40 m, u središnjem dijelu, uz postupno suženje na više od 20 m u smjeru *gornjeg kanala*, te suženje na 15 m prema *odvodnom kanalu*. Izmjerena visina do vidljivog vrha u pukotini, niz koju povremeno pada vodeni slap, iznosi 55 m. Sjeverozapadni rub te dvorane izgrađuje visoki siparišni nanos s velikim odvaljenim blokovima i sitnijim kršjem. Danas taj dio prekriva betonska ispuna, odnosno potporanj, koja u potpunosti osigurava stabilnost stijene ispod postojeće tunelske cijevi. Kroz jugoistočni dio dvorane s nešto ravnijim dnom u razdoblju dugotrajnih padalina protjeće voda. Dno te dvorane je na koti od oko 480 m n.m. U sredinu dvorane ulazi umjetno iskopan odvodni tunel da bi, od izgradene podzemne kaptaže, odvodio povremeno visoke naplavne vode.

*Gornji kanal* je nastavak spomenute dvorane i proteže se u pravcu juga. Uspinjući se preko blokova prekrivenih debelim prevlakama blata dolazi se nakon 50 m do dostupnog kraja. Tu se, između obrušenih blokova, nalaze uske pukotine u kojima se, kako je ranije već spomenuto, negdje pod stropom nalaze prolazi u najdonji dio *treće dvorane*.

*Kanal s ponorima i s izgrađenom podzemnom kaptažom* imao je teško primjetljiv ulaz na jugozapadnom rubu *velike dvorane* iznad obrušenih blokova. Ulaz je bio gotovo pod rubom strme stijene i pristup je bio moguć jedino uspinjanjem po stijeni i provlačenjem kroz usku pukotinu. Taj dio je miniranjem uređen za laganiji pristup prema kaptažnom betonskom bazenu i umjetno prokopanom odvodnom tunelu. U početnom dijelu kanal je širok 10 m s visinom od 8 m, ali idući prema uzvodnom toku vode visina se postupno snižava, a i širina polagano smanjuje.

Završetak tog kanala, dugog oko 70 m, bio je kod prvobitno nazvanog *donjeg jezera ili sifona* na koti od 485 m. Na to mjesto dolazi se i sa strane *gornjeg sustava*, odnosno kroz šupljine vezane za otvor na stacionaži 1+632. Naknadno izvedenim miniranjem snižen je nivo vode koja je protjecala, te osiguran prolaz i za gornje dijelove špiljskog sustava.

Nešto nizvodnije bio je izgrađen Tompsonov preljev zbog mjerjenja oscilacije i veličine protoka vode. U prošrenom, tada završnom dijelu tog kanala, voda je ponirala uz sjeverni rub stijene i među blokovima na kraju pješčanog nanosa.

Oko izgrađene betonske kaptaže okolne stijene i zemljani nanos torkretiran je i betoniran. U kaptaži je izrađen taložnik za mutniji dio vode s odvodnim kanalom koji se danas nastavlja u umjetno izbijen rov za brži odvod veće količine naplavnih voda (BOŽIČEVIĆ & GOATTI, 1984).

*Odvodni kanal* nastavlja se na kraju *velike dvorane* u smjeru sjeveroistoka kao protočni kanal. Za taj kanal karakteristični su vrlo veliki erodirani urušeni blokovi.

U *ponornoj dvorani* nalazi se više od 10 m visoki istaloženi nanos blata duž njezinog zapadnog dijela, te malo udubljeno šljunkovito korito s nešto pješčanog materijala. Ponor ili ponore u kojima nestaju naplavne vode predstavlja sitasto dno najnižih kota. Najniža kota u toj dvorani je 445 m n.m., pa prema tome visinska razlika između najviše točke u *gornjem kanalu* i mjesta poniranja iznosi 67 metara.

*Strmi odvojak s vodenim slapovima* ima ulaz na rubu siparišnog nanosa sjeverno od mjesta prvog silaska iz tunela, odnosno iza betonskog ojačanja tunelske cijevi. Desetak metara niže od mjesta silaza, u blizini kontakta vapnenaca i fliša, iz stropa izbija nekoliko slapova vode kapaciteta nekoliko litara u sekundi.

Sveukupna dužina istraženog *donjeg dijela špiljskog sustava* na stacionaži 1+475 iznosi 415 m s visinskom razlikom od 67 m između najviše i najniže točke. Taj dio kaverognog prostora morfološki je jednostavniji od prije opisanog gornjeg sustava, iako je on, zapravo, jedinstveni dio podzemnih šupljina. Kompletan špiljski sustav gornjeg i donjeg dijela istražen je u dužini od ukupno 1.490 metara, dok izmjerena nivelmanska visinska razlika između najviše točke (u *trećoj dvorani*) gornjeg dijela i najnižeg dijela (*ponorna dvorana*) donjeg dijela iznosi 135 metara.

### Sanacija dijela cestovnog tunela

Zbog sanacije tunelske cijevi ispod otvora na stacionaži 1+475 obavljena su detaljna mjerjenja pukotina i kartiranje na geodetskim profilima. Opća karakteristika promatrane stijene je njezina izražena zdrobljenost i lučenje u obliku debljih "listova". "Listovi" se luče paralelno sa zidom u različitim debljama od nekoliko do 70 cm. Čitavo podnožje stijene ispunjeno je u najvećoj mjeri odvaljenim fragmentima kamenog krša. Karakteristika drugog ruba stijene je nešto deblja "slojevitost" ili raspucalost, te veća kompaktnost stijene. Kut nagiba iznosi od 75-80°. Promatrane pukotine su bez ispune crvenice i dolaze pod kutom od 70-85°. Na rubu kaverne je

utvrđeno da je cijeli blok stijene bio pomaknut prilikom navlačenja pri postanku šupljine, o čemu su dokazivale i nađene strije i harniši. Kod izrade osiguranja za građevinski zahvat bušenjem u bokove utvrđen je početak kompaktnosti stijene i tek tada se prišlo izvedbi sanacije. Vrlo uspješno izvodjenje podupore izbijene tunelske cijevi nad kavernoznim prostorom na stacionaži 1+475 realizirano je unatoč nepovoljnim položajima pukotina, velikoj količini blokova i najsvježijem odronu nastalom uslijed miniranja u tunelu. Prepostavlja se da je ugradeno oko  $300\text{ m}^3$  betonskog materijala. Projektant se opredijelio za najpovoljnije rješenje u sprečavanju mogućnosti prolama prometne površine i urušavanja tunelske cijevi u kavernu. Za potpunu sigurnost tog dijela cestovnog tunela svakako je presudno otkriće potkraj 1977. godine. Projekt sanacije izradio je dr. ing. M. Hudec (HUDEC et al., 1980).

### Hidrološke karakteristike u špiljskom sustavu

Pojava toka podzemne vode u kavernoznom prostoru registrirana je najprije u dijelu prostora najbližem tunelu uz stacionažu 1+632. U vrijeme jačih i dugotrajanjih padalina na masivu Učke razina podzemne vode vrlo brzo se povećava i tada ona ispunjava najniže dijelove šupljina. Protjecanje vode u gornjem dijelu kavernognog prostora nije koncentrirano već prošireno ispod obrušenih blokova. Promatranjem je utvrđeno, da protok varira od 10-30 l/s (od kolovoza do prosinca 1977., te u siječnju 1978.).

Stalna količina vode utvrđena je kao vidljiv potok koji se nalazio u velikom udubljenju u *prvoj dvorani*. U toj dvorani voda se pojavljivala na dnu velikog obrušenog bloka dotječući ispod kamenog nanosa u vodenom kanalu, s glavnim "izvorom" iz *gornjeg sifona*. Odatle se najveći dio odlijeva kroz kanal u smjeru *prve dvorane*, a iz nje dalje prema tunelu, dok se manji dio iscjeđuje niz kosinu *druge dvorane* i tamo "nestaje" u kamenom kršu. Pojava vode na višim kotama utvrđena je i u *trećoj dvorani* ispod obrušenih blokova. U dijelu *donjeg sifona* (koji je kasnije pretvoren u prolaz), kao i na mjestu uredenog preljeva registrirana je najjače koncentrirana količina protočne vode.

Ubacivanje boje u sifonu neposredno ispod stacionaže 1+630 obavljeno je 4. prosinca 1977. u 11.30 sati. Količina od 230 kg Na-fluoresceina i 15 kg Na-lužine rastopljena je u 400 l vode. Protok vode u momentu ubacivanja boje bio je oko 10 l/sek, tako da je sva istekla kroz sifon u roku od deset minuta. Kota na kojoj je ubaćena boja iznosi 495 m n.m.

Uzimanje uzoraka radi utvrđivanja povezanosti vodotoka u tunelu i izvora organizirano je na 6 lokacija. Uzorci vode uzimani su u intervalu od po 6 sati, a prikupljeno je 367 uzoraka. Analize su pokazale da je najjači intenzitet pojave boje bio  $1\text{ mg/m}^3$ , a registriran je na izvoru kod bolnice u Lovranu, te na izvoru u Ičićima. Intenzitet pojave boje na ostalim izvorima bio je vrlo slab (od  $0,1 - 0,5\text{ mg/m}^3$ ), čemu su vjerojatno uzrok obilne kiše koje su tada padale i razrijedile ubaćenu boju.

Teoretska brzina obojenog toka izračunata za izvor kod Lovrana bila je 5,11 cm/sek ili 184 m/sat. Taj je izvor udaljen 4.650 m od mjesta ubacivanja boje, uz visinsku razliku od 495 m.

Crpljenje *gornjeg sifona* obavljeno je u sušnom periodu između 23. kolovoza i 4. rujna 1983. godine. Probnnim crpljenjem tijekom 24 sata iscrpljeno je  $1.245 \text{ m}^3$  vode, pa se procjenjuje da je ukupni volumen potopljenog sifonskog bazena oko  $160 \text{ m}^3$ . Analizirajući dobivene rezultate utvrđeno je da je registriran dotok od  $12,5 \text{ l/s}$  u minimumu, dok visoki vodni valovi nisu mjerljivi postajeći vodomjerom, a prelaze i nekoliko stotina l/s. Crpljenje sifonskog bazena pokazalo je da je protok vode prema kaptaži uglavnom koncentriran, ali ipak postoji mali rasap duž puta. Na kaptažu dotječe  $12,5 \text{ l/s}$  vode. U gornjem sifonskom bazenu moguća je eksplotacija oko  $16 \text{ l/s}$ , ali je za takvu eksplotaciju potrebno produbiti gornji sifonski bazen unutar nanosa i blokova, radi smještaja usisne košare. Postoji mogućnost da se izradi gravitacijski dovod vode od sifona u novoj dvorani do cjevovoda uz cestovnu traku bez dizanja vode troškom električne struje. Do sada je između 1984. i 1989. iz kaverne ispumpano preko  $7.500.000 \text{ m}^3$  vode ili prosječno preko  $1.200.000 \text{ m}^3$  godišnje.

### Morfogeneza istraživanog špiljskog sustava

Postanak kavernognog prostora vezan je uz tektonska zbivanja u morfološkom oblikovanju čitavog masiva Učke. Geološka grada pokazuje da je špiljski prostor formiran uz navlačni kontakt dobro vodopropusnih gornjokrednih karbonatnih naslaga u krovini šupljine, te vodonepropusnih naslaga paleogenskog fliša u podini. Makro i mikrotektonski odnosi vidljivi su na nizu glatkih ploha na stropovima kanala ili dvorana s uočljivim strijama, harnišima i tragovima kretanja. Oborinske vode, koje su prodirale kroz vodopropusne karbonate, zaustavljane su na naslagama fliša.

Iz oblikovanih dvorana i kanala voda je otjecala u niže dijelove vapnenačkih naslaga, koje su, također, ispod "paketa" fliša bile zahvaćene intenzivnim tektonskim pokretima. Povremeno i djelomično zapunjavanje šupljina flišolikim materijalom uvjetovalo je lokalno mijenjanje smjera toka vode, daljnje korodiranje razlomljenih vapnenačkih naslaga i poniranje u niže dijelove planinskog masiva.

Može se pretpostaviti da se iznad gornjih dijelova *treće i nove dvorane* nalazi sustav neistraženih šupljina u obliku dvorana i kanala koji prate kontakt fliša i vapnenca, tj. navlačnu plohu.

Neke od ponikava ili jama na površini masiva Učke vjerojatno su povezane s opisanim podzemnim prostorima, a direktni kontakt pregraduje ili onemogućuje nanos obrušenog materijala. Relativno velika visinska razlika između otkrivene najviše i najniže točke (ukupno 135 m) na manje od 500 m horizontalne udaljenosti daje naslutiti da je istražen samo jedan dio podzemnog sustava na smjeru snažnog dreniranja površinskih voda prema kontaktu s nepropusnom podlogom.

Razvoj morfologije kavernoznog sustava rezultat je i površinskog klimatskog variranja temperature u vrijeme pleistocena, odnosno izmjene ledenih i međuledenih razdoblja, kada je ovdje bilo mnogo više oborina nego ih ima danas.

Povremeno duže akumuliranje ili zaustavljanje protočne podzemne vode rezultat je stvorenih hidrogeoloških odnosa unutar razrađenih sustava pukotina, kanala i dvorana na neposrednom kontaktu dobropropusnih vapneničkih naslaga i vododrživih ili nepropusnih flišolikih sedimenata.

Za objašnjenje morfogeneze špiljskog prostora poslužile su radiokarbonske analize prikupljenih uzoraka kalcitnih nakupina, kao i promatranje stijene ispod ulaza na stacionaži 1+475, gdje je realizirano ojačanje tunelske cijevi. Podaci dobiveni na šest uzoraka kalcita analiziranih na Institutu "Ruder Bošković" su slijedeći: najmlađi uzorak (odlomljeni kameni blok) bio je star  $7.330 \pm 150$  godina. Drugi po starosti (uzet kod *gornjeg sifona*) imao je  $10.370 \pm 20$  godina, a iza njega su slijedili uzorci s izmjerrenom starosti od  $28.110 \pm 1.300$  i  $31.430 \pm 2.100$  godina (iz *treće dvorane*). Najstariji uzorci (iz *strmog kanala* prema *trećoj dvorani*) pokazivali su više od 40.000 godina starosti. Ti podaci potvrđuju činjenicu da je *treća dvorana* "najstarija" i da njezin nastanak seže u pleistocen, odnosno u razdoblje Würma ( $W_2$ ). Najmlađe sigaste naslage upućuju na kasni glacijal, odnosno razdoblje zadnjeg topljenja ledenjaka u prostoru kvarnerske regije (BOŽIČEVIĆ, 1993).

#### Stop D-2: tunnel "Učka"

Unexpectedly, during the excavation of road-tunnel Učka on the Kvarner side a spelaeological phenomenon has been discovered. In July 1977, left lateral wall of the tunnel was mined and a cavity of unknown dimensions occurred at the distance 1+632 on the contact of flysch and limestone. Since significant water quantity flew out of this cavity, the bottom of the tunnel has been flooded almost to the exit. In order to provide safety of further work, the tunnel has been protected by the wall of reinforced concrete and hasn't been flooded any more. Although the contractor has been interested to inspect the condition and form of the cavity only along the tunnel pipe, our first reconnaissance has shown that this is a complex system of caves with constant underground streamflow.

Interested water resources management companies in Opatija and Rijeka enabled the continuation of investigations. Upper system of spacious halls and channels was discovered in total length of 1075 m, having the entrance at the distance 1 + 632 m. The explored lower system of channels was 415 m long and had separate entrance at the distance 1 + 475 m - this system remained unnoticed by the contractors till our arrival. Subsequent explorations and detail recordings of site plan and mining works on the extension of individual narrowings have integrated both systems in one morphologically undivided space with height difference of 135 m. It has been noticed that, in the course of geological history, once unique entirety of channels and halls have been partitioned off at certain sites by rockslide during cave formation. The solifluction lobe pointed to very intensive water erosion activity and its accumulation in formed cavities. All this could be formed in limestone layers which were, due to overthrust tectonics, intensively fractured and intersected by numerous joints of micro and macro dimensions.

During exploration works, a very thin layer of rock between tunnel pipe and cave has been noticed, which called for the construction of concrete reinforcing at this location in order to provide full safety of planned car- traffic.

The carried out hydrogeological investigations have established minimum water quantities of 16 l/s flowing in the underground. The upper siphon has been pumped out. Water dyeing has ascertained only the flow through underground halls. It has been established that the waterflow of this cave is connected with the springs on the route Opatija - Medveja.

Concrete abstraction structure has been constructed at the lower elevation in front of natural sinkhole zone as the result of investigations. As of 1983, the water is being pumped out from the cave, thus mitigating potable water demand of the Opatija region during dry summer season.

Protection zone has been defined on the surface above the cavern in order to prevent pollution of the underground streamflow.

Radiocarbon analyses have clarified the morphogenesis of explored system of caves and established that the genesis phases of individual halls range from 7 to 40.000 years, i.e. the Würm period in Pleistocene.

The discovery of a system of caverns along the road-tunnel Učka originated first of all from spelaeological interest of explorers to get through and reach all passages accessible and approachable to men and to use the discovery of permanent waterflow for the benefit of inhabitants in this part of our arid karst.

### **Postaja D-3: klizište "Lupoglav"**

Stop D-3: landslide site "Lupoglav"

**Željko MLINAR**

Uvod

Klizište Lupoglav nastalo je krajem 1950. godine klizanjem dijela željezničke pruge Lupoglav-Štalije, dužine preko 2 km, te u manjoj mjeri lokalne ceste Mikulićići-Lupoglav. Već početkom 1951. godine izvedeni su odgovarajući istražni radovi, potrebni za definiranje uzroka i opsega kliznog procesa, kao i za prijedlog sanacijskih mjera. Temeljem provedenih geoloških, geomehaničkih, geofizičkih i bušačkih istraživanja, a na prijedlog tadašnjeg povjerenstva za opisane radove, prisutno se sanaciji klizišta, odnosno izradi drenažnog sustava, usjeka, zasječaka i sl. Ovi zahvati u području klizišta dali su uglavnom dobre rezultate, t.j. uspjeli su na najvećem dijelu zaustaviti proces klizanja. Kasnijim radovima na rekonstrukciji lokalne ceste, te istraživanjima za potrebe gradnje nove cestovne prometnice Učka-Lupoglav, dobiven je također čitav niz korisnih podataka. Najnovija istraživanja provedena u okviru geotehničkih istraživanja u zoni istarskog portala željezničkog tunela "Ćićarija", upotpunila su sliku o opsegu, obliku i dubini klizne plohe i pokazala da je proces klizanja u tom dijelu još uvijek aktivran. Dakle, korelacijom detaljnog inženjerskogeološkog kartiranja i geotehničkih bušotina, s odgovarajućim geomehaničkim ispitivanjima i geofizičkim mjeranjima, došlo se do potrebnih ulaznih podataka za definitivno rješavanje ovog problema.

Klizište se nalazi sjeverno i južno od stare ceste Lupoglav-Učka, između zaseoka Mikuličići s istočne strane, te Kosića i Barbića sa zapadne strane. Općenito se može reći da se nalazi oko 1,5 km jugozapadno od mjesta Lupoglav. Sjeverni dio klizišta, saniran 60-tih godina, čini blago nagnutu padinu prema jugu, a njegov središnji (aktivni), kao i južni dio nejednoliko je, ali znatno strmije nagnuta padina, prema jugu i jugozapadu. S istočne strane klizište je ograničeno istaknutim, spuštenim karbonatnim blokom velikih dimenzija, a sa zapadne strane prostire se do drugog, takoder karbonatnog bloka, koji čini znatno blaži reljef u odnosu na onaj istočni.

Dužina klizišta iznosi u pravcu sjever-jug oko 500 m, a širina (istok-zapad) oko 200 m. Koritastog je oblika, nastalo na laporovitoj podlozi. Visinska razlika između gornjeg i donjeg dijela iznosi oko 45 m. Prema procjenama iz 1951. godine pokrenuta klizna masa zahvatila je prostor od oko 70000 m<sup>2</sup>. Tadašnja pruga Lupoglav-Štaliće, kao i lokalna cesta Lupoglav-Vranje bile su teško oštećene. Za ilustraciju veličine klizanja treba reći da je nasip željezničke pruge bio pomaknut oko 30 m niz padinu, a visinski spušten za oko 13 m. Klizna masa deformirala je okolni teren i lepezasto se kretala na niže, a vapnenci sa zapadne strane usporili su je i usmjerili prema jugu.

#### Litološki sastav, stratigrafske odrednice i hidrogeološke značajke

Podlogu istraživanog klizišta Lupoglav izgrađuju karbonatno-klastične naslage eocenske starosti, i to većim dijelom lapori prijelaznih naslaga (La; E<sub>2</sub>) i lapori flišnih naslaga (La; E<sub>2,3</sub>), zabilježeni na površini u sjevernom dijelu klizišta. Na spomenute naslage na zapadnoj strani klizišta navučeni su diskociklinski (V; <sup>4</sup>E<sub>1,2</sub>), odnosno numulitni vapnenci (V; <sup>3</sup>E<sub>1,2</sub>). Kontakt ovih naslaga nagnut je pod kutem od oko 15° do 20° prema istoku. Na istočnom dijelu klizišta na spomenute lapore naliježu alveolinski vapnenci (V; <sup>2</sup>E<sub>1,2</sub>), odvaljeni od karbonatnog grebena udaljenog oko 1 km od klizišta. Na temelju ranijih istraživanja šireg prostora klizišta i radova za željeznički tunel "Ćićarija", vidljivo je da se spomenute naslage duž trase tunela ponavljaju, jer se radi o poznatoj Ijuskavoj gradi Ćićarije.

Lapor je sive do sivozelene boje, u gornjem dijelu često i trošan (tada je žutosmede boje). Polučvrst je do čvrst, zavisno od sadržaja karbonatne komponente. Često je ispresjecan tankim žilicama kalcita. U kontaktnoj zoni s vapnencima, koja je promjenljive debljine (najviše do desetak metara,) lapor je najčešće potpuno uništene primarne strukture, smrvljen i ponegdje kavernozan. Slojevitost je vidljiva samo mjestimice, a na nju ukazuju tanki proslojci pješčenjaka ili kalcita. Debljina slojeva je promjenljiva, a nagib slojeva iznosi od 15° do 30° prema istoku.

Zbog povećanja laporovite komponente diskociklinski vapnenac na zapadnoj strani klizišta predstavlja postupni prijelaz iz foraminferskih vapnenaca u spomenute lapore. Čvrst je i kompaktan, sivosmede boje, neznatno okršen u pripovršinskoj zoni,

fosiliferan. Nagnut je prema zapadu pod kutom od oko  $20^{\circ}$  i leži na numulitnom vapnenu, koji je također homogene strukture, čvrst i kompaktan, pretežito osrednje okršen. Boja mu je sivosmeđa do sivožuta. Mjestimice je jako bituminozan. Alveolinski vapnenac na istočnoj strani klizišta je sličnih značajki, samo znatno više raspucan i okršen.

Iznad sjevernog dijela klizišta nalazi se ljska izgrađena od foraminiferskih vapnenaca, morfološki vrlo istaknuta, izrasjedana poprečnim lomovima, što je omogućilo odlamanje blokova vapnenaca i njihovo gravitacijsko klizanje niz padinu, za oko 100 m. Ta padina prekrivena je vrlo heterogenim siparišnim materijalom, promjenljive debljine, tako da nije vidljiv kontakt laporu i "klizajućih" vapnenaca. Upravo tu vidljivo je kontinuirano vlaženje tla, a proces klizanja ovog koluvijalnog glinovito-laporovitog materijala pomiješanog s odlomcima vapnenaca, različitih dimenzija, odvija se i danas, samo je u odnosu na prvobitno klizište (1950/51) znatno manjeg opsega.

U hidrogeološkom smislu naslage pokrivača na klizištu promjenljive su propusnosti i međuzrnske poroznosti. Tako su laporovite naslage u podlozi u cjelini nepropusne, a njihov pripovršinski dio promjenljive je propusnosti zbog trošnosti i okršenosti. Poroznost im je međuzrnska i pukotinska. S druge strane karbonatne stijene dobro su propusne, a poroznost im je pukotinska. Površinske vode povremene su, a vide se u plitkim jarcima sjeverno od klizišta, te južno od trase u širem području portala. Ovdje se na kontaktu nepropusne laporovite podloge s alveolinskim vapnencima pojavljuje izvor ( $Q \approx 0,5 \text{ l/s}$ ), kaptiran i onečišćen utjecajem prometa. Ispod njega na padini nalazi se zona vlaženja terena, jer vode duž kontakta lapor-vapnenac vjerojatno nisu u cijelosti obuhvaćene drenažom. Dakle, vode s ovoga izvora izravno utječu na stabilnost okolne padine i ceste na njoj. Inače, izvorišno područje vode koja vlaži klizište nalazi se sjevernije. Svojedobnim drenažnim zahvatima uglavnom je uklonjen negativni utjecaj na klizište, iako ne u potpunosti.

U području klizišta na nekoliko mjesta opetovano je tijekom dužeg perioda mjerena razina podzemne vode. Rezultati su pokazali da je ona u gornjem dijelu klizišta sasvim plitka, t.j. na 2 do 3 m dubine, osim na bušotini L-7, gdje je izmjerna dubina do vode oko 9,5 m, što se obzirom na morfologiju uklapa u opću sliku. Bušotine L-11 i L-15 u središnjem, odnosno donjem dijelu bile su suhe.

#### Opće inženjerskogeološke značajke

Šire područje klizišta Lupoglav igraden je od granulometrijski vrlo heterogenog materijala. Obrušavanje i klizanje enormnih količina stijenske mase iz područja između zaseoka Škrlji i sela Dolenja Vas dogodilo se između "greda", t.j. čelnih dijelova ljsaka izgrađenih od diskociklinskog vapnenca donjo-srednjoeocenske starosti. Taj dio ograničen je sa zapadne strane rasjedom koji se proteže jugoistočno od naselja Škrlji prema selu Gorenja Vas (vrlo strma litica koja presjeca

“gredu” diskociklinskih vapnenaca). Na istočnom dijelu također rasjedna granica proteže se od doline zapadno od područja Glavica do sela Dolenja Vas. Dio naselja Gorenja Vas, naselje Mariškići, crkva Sv. Marije i naselje Prčinići nalaze se na vapneničkim blokovima mega dimenzija, koji su odvaljeni iz stijenskog masiva ovog dijela strukture Ćićarije. Jedan od takvih većih blokova alveolinskog vapnenca u kojem je usjećena željeznička pruga nalazi se u neposrednoj blizini zaseoka Mikulićići.

Obrušavanje je uzrokovano stalnim vlaženjem kontakta foraminiferski vapnenci-eocenski fliš iz doline zapadno od Glavice, a vjerojatno i duž jednog dijela navlačnog kontakta na potezu Škrlji-Dolenja Vas. Odvaljivanje stijena se nastavilo i produbljavalо do sadašnjeg oblika “klina”, zahvaćajući i dio druge navlačne plohe s numulitnim vapnencima jugozapadno od područja Glavica. Obrušavanje blokova vapnenaca pokrenulo je i dio flišnih naslaga ispod foraminiferskih vapnenaca, što je dobro vidljivo u vršnim dijelovima “klina” zapadno od Glavice.

Odvaljeni i odsklizani materijal prekrio je cijelo područje između spomenutih rasjeda, duž kojih je došlo do obrušavanja i dijela terena jugoistočno od Gorenje Vasi do Mikulićića, pa sve do područja zapadno od Dolenje Vasi.

Najveći gravitacijski blokovi vapnenaca (hektometarskih dimenzija) nalaze se oko i istočno od Gorenje Vasi (diskociklinski vapnenac), zatim u području Mariškića i crkve Sv. Marije (numulitni vapnenac), te u području sjeveroistočno i sjeverno od Mikulićića (alveolinski vapnenac).

U preostalom odvaljenom materijalu nalazi se vapnenačko kršje, blokovi manji od  $0,1 \text{ m}^3$ , preko nekoliko prostornih metara, do nekoliko desetaka prostornih metara. Na više mjesta vidljive su i nakupine flišnog materijala, vjerojatno ostaci potpuno raspadnutih flišnih naslaga. Nevezani materijal što se nalazi između blokova i kršja stijena, glinovit je ili glinovito-laporovit, a nastao je manjim dijelom pretaložavanjem starijeg deluvijalnog pokrivača i većim dijelom trošenjem i izluživanjem flišnog detritusa.

Daljnijim vlaženjem odvaljenog i dijelom odsklizanog materijala, u terenu između Gorenje Vasi i Mikulićića došlo je 1950. do pojave toka materijala (poznatog kao klizište “Lupoglavl”), koje je kako je već spomenuto 60-tih godina sanirano izradom drenažnog sustava. No, sanacija nije uspjela u potpunosti, jer se u tom području i sada zapažaju oznake kretanja koluvijalne mase i stijenskih blokova u njoj. U neposrednoj blizini zaseoka Mikulićići nastavlja se i dalje klizni proces.

Južni dio terena u području klizišta, a i izvan njega izgrađen je od laporovitih naslaga (prijelazne naslage,  $E_2$  i fliš,  $E_{2,3}$ ), koje djelomice još pripadaju tektonskoj strukturi ljuskave grade Ćićarije.

#### Inženjerskogeološka situacija užeg područja klizišta

Površinski pokrivač najvećeg dijela klizišta Lupoglavl čine granulometrijski vrlo heterogene i nestabilne naslage kvartarne starosti (sl. 11). To je mješavina sti-

jenskih blokova, kršja i gline. Upravo na dijelu klizišta na kojem je projektirana trasa buduće željezničke pruge znatna je nestabilnost terena izazvana klizanjem. Između stacionaža km 18+260 i km 18+335 klizanje je ranije bilo najintenzivnije, a aktivno je i danas, što je vidljivo na lokalnoj cesti iznad portala. I sam ulaz u tunel, t.j. istarski portal, najvjerojatnije će u cijelini biti izведен u koluvijalnoj, granulometrijski heterogenoj i nestabilnoj mješavini vapnenačkih blokova, kršja i gline. Tako se i ulaz u budući tunel nalazi u području, u kojem je već došlo do sloma materijala i stvaranja odrona, odnosno klizišta. Južno od lokalne ceste jasno su vidljive pukotine metarskih dimenzija, zamaskirane raslinjem, tako da nisu poznate njihove stvarne dimenzije. U gornjem dijelu su prazne do oko 1,0 m, a širina zijeva im je od 10-15 cm.

Prema rezultatima obrade podataka inženjerskog geološkog kartiranja, istražnog bušenja (portalne bušotine ĆIP-1, 2, 2a) i refrakcijske seizmike može se zaključiti da je kontakt laporanog vapnenca blago nagnut prema istoku, što potvrđuju i bušotine izvedene u istražnim radovima za ovo klizište.

Naslage u području klizišta možemo općenito podijeliti na naslage *pokrivača* i *podlage*.

U *pokrivaču* razlikujemo nevezane i poluvezane naslage.

Od nevezanih izdvojen je *nabačaj*. Uglavnom su to odlomci i kršje, rijetko blokovi manjih dimenzija, te glina i pjesak. Prostiranje ovih naslaga vezano je za sjeveroistočni dio klizišta u području željezničke pruge Lupoglav-Raša, te manje područje južno od lokalne ceste, a sjeverno od projektom predvidene trase buduće željezničke pruge. Debljina im je različita, ali ne veća od 1 m.

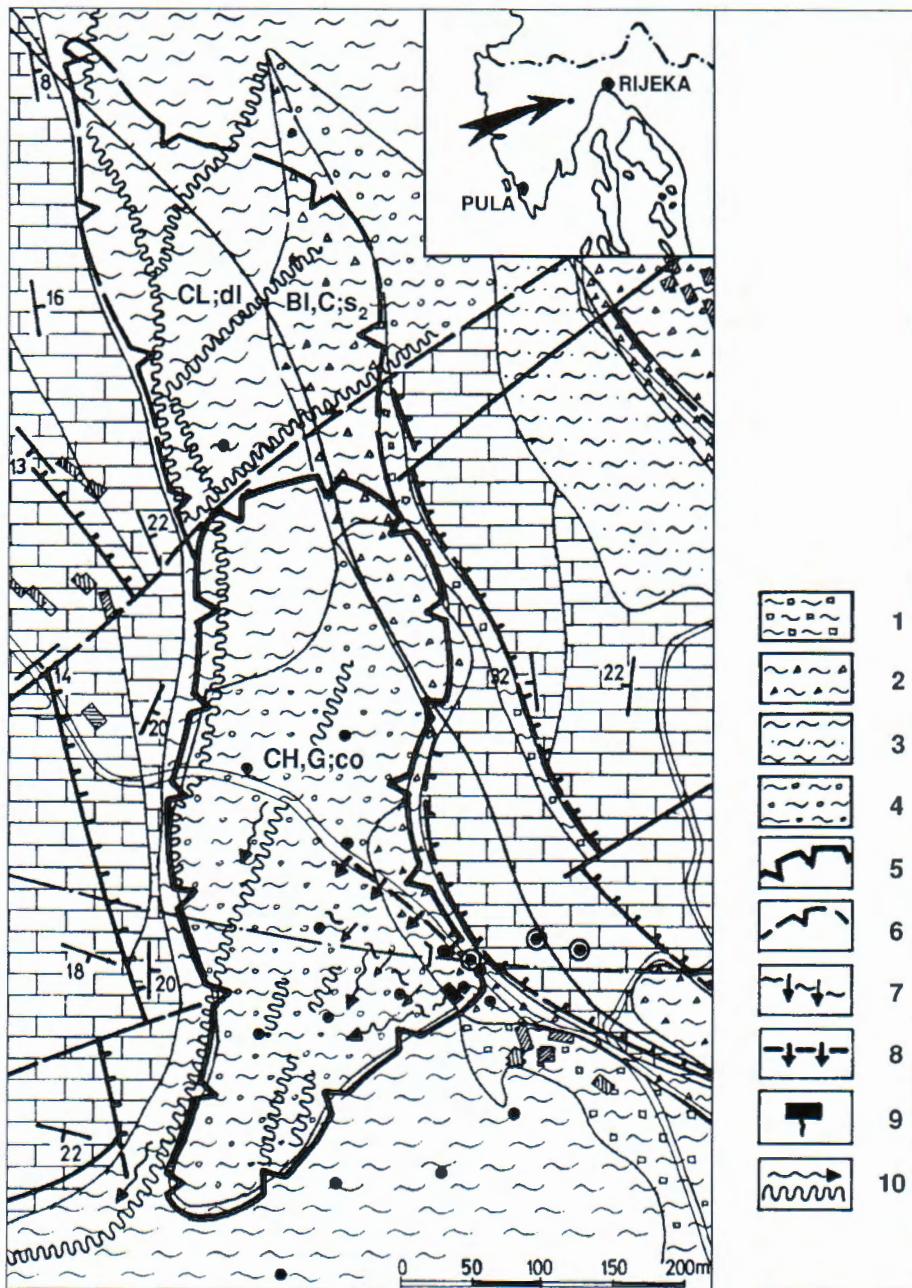
Među poluvezanim naslagama izdvojeni su *sipar konsolidirani*, *koluvij* i *deluvij*. *Sipar konsolidirani* ( $s_2$ ) nalazimo na krajnjem, sjeveroistočnom dijelu klizišta i to na vrlo maloj površini. Čine ga blokovi i kršje s odlomcima i dosta gline. Nastao je u podnožju morfološki vrlo istaknutog grebena alveolinskog vapnenca, a debljina mu

---

Sl. 11 Inženjerskogeološka karta klizišta Lupoglav (M 1:5.000). Tumač: 1) BI, C;  $s_2$  - sipar konsolidirani (blokovi manjih dimenzija i kršje s glinom) - kvartar; 2) Cb, C; dl,  $s_2$  - mješovito deluvij i sipar (kršje i odlomci s glinom, oštrobridni do poluzaobljeni. Gлина je niske plastičnosti, žutosmeda) - kvartar; 3) Cl; dl - deluvij (gлина niske plastičnosti, pjeskovito-prašinasta, s odlomcima laporanog (dl) i vapnenca (ts). Boja: smeđa (dl) i crvenosmeda (ts)) - kvartar; 4) CH, G; co - koluvij (gлина visoke plastičnosti, smeđa, s valuticama i odlomcima, veličine do 10 cm. Odlomci su poluzaobljeni do zaobljeni. Matična stijena su im vapnenci, laporji i pješčenjaci) - kvartar; 5) granica klizišta; 6) granica saniranog dijela klizišta; 7) puzanje terena; 8) vlačne pukotine, makro dimenzija; 9) izvor, stalan, kaptiran; 10) jaruga s povremenim vodotokom.

Fig. 11 Engineering-geological map of the "Lupoglav" landslide site (M 1: 5,000). Legend: 1) BI, C;  $s_2$  - consolidated rock-fall breccia (small-scale blocks and debris with clay) - Quaternary; 2) Cb, C; dl,  $s_2$  - mixed detrital deposits and rock-fall breccia (debris and fragments with clay, angular to subrounded. Clay is low plastic, yellowish-brown) - Quaternary; 3) Cl; dl - detrital deposits (low plastic clay, sandy-silty, containing fragments of marls (dl) and limestones (ts). Brown (dl) and reddish brown (ts)) - Quaternary; 4) CH, G; co - coluvium (high plastic clay, brown, containing cobbles and fragments up to 10 cm in size. Fragments are subrounded to rounded, originating from limestones, marls and sandstones) - Quaternary; 5) Landslide boundary; 6) Boundary of the improved part of the landslide; 7) Creep; 8) Macro size strain cracks; 9) Spring used for water supply; 10) Gully with a seasonal waterflow.

varira zavisno od nagiba padine između pola metra i maksimalno 7 metara. *Koluvij* (co) pripada također skupini poluvezanih stijena. Prekriva oko 80% od ukupne površine klizišta (sl. 12). Izgrađen je od gline visoke plastičnosti s varijabilnim sadržajem valutica i odlomaka. Boja mu je žuta do žutosmeda. Odlomci su poluzabljeni do zaobljeni, veličine do 10 cm. Debljina ovih naslaga je različita, iznosi od





Sl. 12 Kolvijalni materijal u središnjem dijelu klizišta.

Fig. 12 Coluvial material in the central part of the landslide site.

2 do 8 m, a predstavljaju najveći dio pokrenute klizne mase. *Deluvij* (dl) je poluvezana stijena koja prekriva sjeverni dio klizišta, kao i gotovo čitavu okolicu, izuzevši istočnu stranu. Sastoji se od prašinaste gline, niske do pretežito visoke plastičnosti, svijetlosmeđe boje. Odlomci su uglavnom oštrobriđni, sivoplave i smeđe boje. Ove naslage nastale su spiranjem materijala s viših dijelova terena, odnosno trošenjem i transportom sitnoklastičnih flišnih naslaga. Matična stijena je lapor ili pješčenjak iz fliša. Debljina *deluvija* iznosi od 2 do 7 m. Mješovite naslage *deluvija* (dl) i *sipara konsolidiranog* ( $s_2$ ) ubrajamo u poluvezane stijene, a prekrivaju neveliko područje na sjeveroistočnom dijelu klizišta, iznad željezničke pruge, kao i malo područje u portalnom dijelu tunela, t.j. sjeverno od ceste Lupoglav-Vranje. Predstavljene su kršjem i odlomcima s glinom. Krše je pretežito oštrobriđno, rijetko poluzaobljeno. Gлина je prašinasta, niske do visoke plastičnosti, crvenosmeđe boje. Debljina ovih naslaga prema podacima istražnog bušenja varira od oko 0,7 do oko 2,5 m.

Od stijena *podloge* najzastupljeniji su *lapori s globigerinama* ( $E_2$ ), t.j. lapori prijelaznih naslaga. Na površini, u području klizišta nisu zabilježeni, iako su u okolini jasno vidljivi. Utvrđeni su u većini bušotina izvedenih na klizištu, osim na L-3, 6 i 17, gdje je nabušen vapnenac. Lapori su homogenomasivne strukture, polučvrsti do čvrsti, sive do sivoplave i zelenkaste boje. Lom im je ravan do malo nepravilan. U gornjem dijelu nerijetko su deformirani uslijed procesa klizanja i oštećeni transportom većih blokova. U površinskoj zoni uglavnom su žutosmeđe ili smeđe boje, trošni. Najčešće pripadaju I-II kategoriji trošnosti. Ispresjecani su tankim, uglavnom pravilnim pukotinama, koje se često podudaraju sa slojevitosti. Hrapavost pukotina je vrlo mala (JRC = 2-6). Zatvorene su i prazne, bez ispune. RQD varira od 25% do 90%, što zavisi od udjela karbonatne komponente u laporu. U podlozi krajnjeg

zapadnog dijela klizišta bušenjem je registriran uslojeni *diskociklinski vapnenac* ( $^4E_{1,2}$ ). Čvrst je i kompaktan, detritičan, sive boje, nepravilnog do školjkastog loma. Mjestimice je malo laporovit. Vidljiva su 4 pukotinska sustava. Hrapavost prema ISRM-u JRC = 10-14. U pukotinama su zabilježene pojave bitumena. RQD varira od 60% do 100%. U gornjim dijelovima vapnenac može biti malo trošan, ali najčešće pripada I kategoriji trošnosti.

Kao što je ranije spomenuto na području klizišta izvedena su geofizička mjerena - seizmička refrakcija i geoelektrično profiliranje. Tako su dobivene brzine Vp i Vs valova. One su za pojedine vrste naslaga u granicama slijedećih vrijednosti:

- mješovito: *deluvij + sipar konsolidirani*: Vp=445-700 m/s; Vs=180-370 m/s;
- *koluvij*: Vp=250-1445 m/s; Vs=140-730 m/s;
- *deluvij*: Vp=280-730 m/s ; Vs= 75- 320 m/s;
- rastrošena stijena podloge: Vp=1330 m/s; Vs=600 m/s;
- lapor: Vp=1400-3390 m/s; Vs=565-1520 m/s;
- vapnenac: Vp=1365-2350 m/s ; Vs=585-1030 m/s.

Treba istaći da su najveće brzine Vp u laporu podloge dobivene na području bušotina L-10 i L- 16, gdje je on registriran na dubini < 4,00 m. Maksimalna vrijednost za Vs u laporu dobivena je u području bušotine L-7 i iznosi 1840 m/s.

Tijekom bušenja uzimani su i uzorci za laboratorijska ispitivanja, pa tako imamo podatke za gustoću većine naslaga i jednoosnu čvrstoću stijena podloge:

- za lapore gustoća je prosječno oko  $2,52 \text{ Mg/m}^3$ , a jednoosna čvrstoća varira od 9,0 do 20,0 MPa, a najveća je u području bušotine L-10.
- za vapnence gustoća iznosi oko  $2,5 \text{ Mg/m}^3$ , a jednoosna čvrstoća varira od 67 do 246 MPa (L-6).

### Mehanizam i uzroci klizanja

Prema postojećim tragovima plitkog pripovršinskog klizanja u području budućeg portala, a i drugdje, vidljivo je da je proces stvaranja klizišta (podaci iz 1951. godine) tekao relativno sporo. Manifestirao se postupnim pomicanjem nasipa i uopće, deformacijom željezničke pruge.

Klizište Lupoglavlje pripada konsekventnom tipu, kod kojeg se trošna i raspadnutu stijenu kreće po svojoj matičnoj podlozi - laporu. Nekoliko je razloga bilo za stvaranje klizišta 1950/51, koji su za njegov trenutno aktivni dio aktualni i danas:

- padina dijela klizišta je vrlo trošna i takvog granulometrijskog sastava, da obilnije i dugotrajnije kiše mogu bitno utjecati na njezinu stabilnost;
- osjetna razlika u geomehaničkim značajkama materijala u pokrivaču, u odnosu na materijal u podlozi, t.j. svježi lapor;
- utjecaj podzemnih voda na kontaktu flišnog laporu i obrušenog bloka vapnenca. Stalnim vlaženjem toga kontakta, a i dijela padine ispod izvorišta, smanjuje se kohezija materijala, što već labilnim masama omogućuje potpuni gubitak ravnoteže i njihovo premještanje - klizanje u niže dijelove terena.

Jasno je da svemu rečenom ide u prilog i vrlo strma padina.

Dubina utjecaja klizišta, odnosno klizne plohe je prema podacima bušenja i geofizike, sjeverno od lokalne ceste Lupoglav-Vranja i iznosi od 8 do 10. Južno od spomenute ceste ta je dubina manja i do nadmorske visine +320,00 m.n.m. iznosi od 4 do 7 m. Još južnije klizna ploha je između 1,5 i 4,0 m, no tu je bolje govoriti o puzanju padine i mjestimičnim potencijalnim nestabilnostima, nego o klasičnom klizanju.

Nagib klizne plohe neravnog oblika sličan je nagibu same padine. Upravo ta nepravilnost, uvjetovala je i ranije (1950/51. godine), a i sada različitu brzinu pomicanja padine. To je naročito bilo vidljivo, a i danas je na strmijim dijelovima padine, gdje su deformacije terena i najočitije.

Problem ovog klizišta vjerojatno je moguće riješiti odgovarajućim uredenjem postojećeg izvora (izvorišne zone) i izgradnjom što efikasnijeg drenažnog sustava, kojim bi se sve površinske vode odvele daleko izvan područja klizišta.

Što se buduće željezničke pruge tiče i njezinoga prijelaza preko klizišta, to je kao što se projektom i predvida, najbolje učiniti vijaduktom. Pritom će nosive stupove biti potrebno temeljiti u čvrstim i kompaktnim laporima stijene podlage.

#### **Stop D-3: landslide site "Lupoglav"**

Landslide site Lupoglav has been formed at the end of 1950, and its activation caused one part of railroad Lupoglav-Štaliće to slide down in the length of 2 km, as well as local road Mikuličići-Lupoglav (to a lesser degree).

The substructure of the landslide is composed of Eocene layers, mostly marl of transitional layers ( $E_2$ ) and flysch marl ( $E_{23}$ ) visible in the northern part. To the west of the landslide, these layers are covered by Discocyclina ( $E_{1,2}$ ) and Nummulite ( $E_{1,2}$ ) limestone over-thrust and in the eastern part by Alveolina limestone ( $E_{1,2}$ ) slid down from carbonate ridge located to the north-east of the landslide, lean on the above layers. The contact of marl and limestone is inclined towards the east at the angle of 15-20°.

The landslide site is boot-shaped (Fig. 11), and spreads in the direction north-south. Its northern part is remedied and constitutes a mild slope towards the south. Its central part is a slope which is unevenly and much more steeply spreading towards the south, but also in the direction SE-SW. Southern part of the landslide is more stable than the central one, but the traces of sliding are also visible. In the direction north-south, the landslide is about 500 m long and its width (east-west) from Mikuličić to Gorenja Vas is about 200 m. It is trough-shaped and the height difference between upper and lower part is about 45 m. The documentation states that the landslide mass encompasses the area of about 70000 square meters. In order to illustrate the scope of sliding, it should be said that the railroad embankment at the time has滑ed down the slope by about 30 m, which in height terms means about 13 m. The landslide mass has moved in the form of a fan towards the south. Limestone located at the western side has been slowing it down and has had influence on its further motion.

The landslide area is made of coluvial (Fig. 12), from granulation point of view very heterogeneous material originating from Quaternary period, on which enormous quantity of Discocyclina limestone has once fallen. This phenomenon is caused by permanent moisturizing of contacts between Foraminifera limestone and flysch from the valley located to

the north of the landslide, which has reduced the cohesion of material and resulted in the loss of balance.

The material lowered by gravitation has been accumulated in this area and today has a wedge-like shape. It affected and shifted one part of flysch sediments, too. Slided material is occasionally mixed with blocks of various dimensions from several spatial decimetres to several meters. Untied material between blocks is clay or clay-marl and has emerged by the wear of flysch or by re-sedimentation of old diluvial cover. Major part of the landslide zone has been remedied by the construction of drainage system which has minimized or completely eliminated negative influence of seepage waters from the background. We can, thus, say that the northern part of the landslide zone is covered by diluvial cover, the thickness of which varies from 0.5 m to about 10 m.

On a very small area in the north-eastern part of the landslide we can find half-tied blocks, debris and fragments containing significant quantity of clay. They represent consolidated thalus,  $s_2$ , with various thickness depending on the angle of dip, i.e. from 0.5 to several meters.

Mixed layers of thalus and coluvium are very similar to the above described ones, only the share of clay is somewhat larger, i.e. that of blocks significantly reduced. Their thickness is from about 0.7 to about 2.5 meters.

Coluvial layers cover about 80% of landslide area and are made of high-plastic clay with variable content of grain and fragments. Its thickness varies from 2 to 8 m and it forms major part of the sliding mass.

The foundation rock is mainly made of marl of transitional layers (marls with globigerina,  $E_2$ ) of grayish-blue to greenish color, half-solid to solid, often distorted by sliding process and damaged by the conveyance of larger blocks. Their presence has been established by exploration boreholes.

Discocyclina limestone ( ${}^4E_{12}$ ) has been drilled at the far western part of the landslide, i.e. firm and compact gray rock, occasionally a little bit marly.

On the part of the landslide which is even today partly active, a railroad route has been planned, i.e. a part of the route from future railroad tunnel Čičarija to Lupoglav. The sliding has even before been most intensive in this part and today it could be noticed on the local road above the portal of the future tunnel. Open joints which could be measured in meters could be noticed to the south of the road. The spring zone is located immediately below them. It has the capacity of 0.5 l/s and is located on the contact of impervious marly foundation with Alveolina limestone. The surface evidence of moisturizing is visible to the west of the portal and is caused by the lack of drainage network on one part of contact between pervious and impervious layers.

The landslide is of consequential type and the process of its formation progressed with a relatively slow pace. There were several reasons for its formation, and the most important one is granular composition of the slope and, thus, the impact of abundant rains on the stability of the slope. The difference in geomechanical features between surface layers and foundation rocks is significant. The impact of groundwater at the contact of marl and limestone plays an important role.

The depth of sliding sheet to the north of the road Lupoglav-Vranja is 8 to 10 m, and to the south 4 to 7 m, with the tendency of thickness reduction. The shape of the sliding sheet is irregular, thus causing various speed of sliding. This could be seen even today on steeper parts of the slope, where terrain distortions are most visible.

## Postaja D-4: željeznički tunel "Čićarija"

Stop D-4: railway tunnel "Čićarija"

Božidar **BIONDIĆ**, Karlo **BRAUN**, Igor **VLAHOVIĆ**, Branimir **ŠABAN**,  
Željko **MLINAR**, Miroslav **ANDRIĆ**, Ivan **BALEN**, Ranko **BIONDIĆ**,  
Zvonimir **BLAGUS**, Renato **BULJAN**, Franjo **DUKARIĆ**, Ladislav **FUČEK**,  
Nenad **OŠTRIĆ**, Davor **POLLAK** & Božo **PRTOLJAN**

Željeznički tunel kroz Čićariju, dužine preko 14 km, kapitalni je objekt željezničkog spoja Istre i ostalog dijela Hrvatske u koji se može uklopiti i buduća Jadranska željeznica. Za potrebe projektiranje i izgradnje tunela provedena su kompleksna istraživanja prema programu koji je obuhvatio temeljna geološka, inženjerskogeološka, geofizička i geotehnička istraživanja, te istraživanja bušenjem, sa svim analizama potrebnim za geotehničko projektiranje. Istraživanja su proveli djelatnici Instituta za geološka istraživanja - Zagreb, "Geofizike" - Zagreb, "Geotehnikе" - Zagreb i Instituta građevinarstva Hrvatske - Zagreb.

U skladu s rezultatima provedenih temeljnih geoloških istraživanja, trasa tunela "Čićarija" prolazi terenom u kojem naslage alba predstavljaju najstariji stratigrafski član. Predstavljene su vapnencima koji postupno prelaze u dolomitizacijske breče starosti vršni alb-donji cenoman. Mlađe gornjokredne sedimentne stijene su pretežito predstavljene vapnencima. Naslage krednog makrotektonskog bloka su krupnim smičnim (transkurentnim) rasjedom na stacionaži km 14+880 dovedene u neposredan kontakt s naslagama paleoleta. U paleogenskom bloku izmjenjuju se navlačne ljske u kojima su zastupljeni miliolidni, alveolinski, numulitni i diskociklinski vapnenci, dok u manjoj mjeri sudjeluju i prijelazne i flišne naslage. Istarski portal tunela se nalazi u dijelu terena karakteriziranom slomom stijenskih masa i gravitacijskim otklizavanjem vrlo velikih stijenskih blokova izgrađenih od miliolidnih, alveolinskih, numulitnih i diskociklinskih vapnenaca. Do gravitacijskog klizanja karbonatnih stijenskih masa došlo je po flišnim i prijelaznim naslagama, na koje su u ovom dijelu terena, starije karbonatne palogenske naslage navučene. Nastala klizajuća masa, u kojoj se nalaze blokovi vrlo različitih dimenzija, može se, u stvari, smatrati koluvijalnim nanosom.

U strukturno-tektonskom smislu u istraživanome području može se izdvojiti nekoliko strukturnih jedinica (idući od SI prema JZ slijede: borano područje Zvoneća, navučeni kompleks Lisine, komprimirana sinklinala Mrzljaka, neotektonski poremećena antiklinala Planika, paleogenska ljskava struktura i pazinski flišni bazen), kao i više rasjedno-pukotinskih sustava (pirenejski sustav generalnog pružanja SZ-JI i neotektonski sustav pružanja S-J i I-Z).

Rezultati geološkog kartiranja područja uz trasu tunela bili su podloga za izvođenje inženjerskogeoloških istraživanja koja su obuhvatila detaljno terensko snimanje geoloških, strukturnih i drugih inženjerskogeoloških podataka. Točke opaža-

nja i uzorkovanja, sva mjerena, rezultati istražnog bušenja i svi drugi podaci relevantni za klasifikaciju stijenskih masa, uneseni su u odgovarajuću bazu podataka informatičkog sustava tunela "Ćićarija", koja je kompatibilna bazama Informacijskog sustava Republike Hrvatske. Podaci za inženjerskogeološku interpretaciju grade i karakteristika stijenskih masa i tla u području tunela snimani su u skladu s metodologijom koju preporuča Internacionalno udruženje za mehaniku stijena.

Inženjerskogeološke karakteristike stijena u tunelu prognozirane su na temelju snimljenih podataka geološkog i inženjerskogeološkog kartiranja, statističke obrade dobivenih podataka, te prema rezultatima geofizičkih istraživanja, istražnog bušenja i analiza uzoraka uzetih tijekom inženjerskogeološkog kartiranja i iz istražnih bušotina.

Istražne bušotine su locirane na mjestima na kojima su se mogli dobiti pokazatelji o strukturno-litološkim odnosima znakovitim za šire područje. Bušotine su u potpunosti jezgrovane, te uzorkovane za potrebe stratigrافsko-sedimentoloških, inženjerskogeoloških i geotehničkih istraživanja. Projektirane su tako da zahvate niveletu budućeg tunela. Temeljna namjena bušotine ŽTC-1 (dubine 350 m) u jugozapadnom dijelu istraživanog područja bila je potvrda tipa ljudskave grade paleogenskih struktura. Bušotina ŽTC-2 (takoder dubine 350 m) locirana je u području sjevernoga dijela istraživanog terena da bi se dokazao normalni stratigrafski, a time i normalni strukturni položaj prijelaznih naslaga između donje i gornje krede. Naime, tijekom dosadašnjih geoloških istraživanja na ovome području postojalo je više pretpostavki o postanku vapnenačko-dolomitnih brečolikih naslaga i njihovu mjestu u strukturi. Tijekom geološkog rekognosciranja i kartiranja utvrđeno je, a ovom bušotinom i dokazano, da te naslage stratigrafski pripadaju gornjem albu i donjem cenomanu, a da je njihov brečoliki habitus posljedica postdijagenetskih procesa kataklaziranja i kasnodijagenetske dolomitizacije i dedolomitizacije. Stoga je njihov položaj u geološkoj strukturi Ćićarije normalan, tj. unutar slijeda kređnih naslaga.

Na kraju svih predviđenih geoloških i inženjerskogeoloških istraživanja, te konzultiranja podataka dobivenih drugim istražnim radovima, u prvom redu dubokim istražnim buštinama i geofizičkim istraživanjima, izrađen je prognozni geološki profil i prognozni inženjerskogeološki profil, a stijene na niveleti tunela su klasificirane i kategorizirane. Rezultati istraživanja, u konačnom obliku prezentirani su kao ulazni podaci za klasifikaciju stijenskih masa prema geomehaničkoj "RMR"-klasifikaciji (BIENAWSKI, 1979, 1989) i "Q"-klasifikaciji (BARTON et al., 1974), prilagođeno potrebama geotehničkog projektiranja (HOEK et al., 1992; HOEK, 1995a, 1995b).

#### Stop D-4: railway tunnel "Ćićarija"

A 14 km long tunnel through Ćićarija is the capital facility of the railway connection between Istria and other parts of Croatia. It is a part of optional solutions in which the future Adriatic Railways could fit in.

For the needs of project engineering and the construction of the railway tunnel through Čićarija, complex investigations have been carried out in accordance with the program which encompassed basic geological, engineering geological, geophysical and geotechnical investigations and drilling investigations with all analyses required for geotechnical design. The investigation has been carried out by the employees of Geology Institute, Zagreb, "Geofizika" Zagreb, "Geotehnika" Zagreb and Croatian Civil Engineering Institute, Zagreb.

In accordance with the results obtained from fundamental geological investigations, the Čićarija tunnel route passes over the terrain on which the Albian sediments represent the oldest stratigraphic member. They are represented by limestones which gradually change into dolomite breccias of the Upper Albian - Lower Cenomanian age. The layers of Middle Cenomanian to Upper Turonian/Coniacian age are represented by limestones. The layers of Cretaceous macrotectonic block have been brought in direct contact with Paleogene sediments by huge transcurrent fault at the distance 14+880 km. Paleogene tectonic block is made of overthrust sheets with miliolide, alveolinidae, nummulite and discocyclinid limestones, while transitional and flysch layers participate in lesser proportion. The exiting part of the tunnel is located on the part of the terrain where rocky masses have broken and huge rocky blocks made of miliolide, alveolinidae, nummulite and discocyclinid limestone gravitationaly slided. Gravity sliding of rocky masses occurred along flysch layers with an overthrust of older Paleolithic layers in this part of the terrain. Formed masses, in which rocky blocks of different dimensions occur, could in fact be considered a coluvial layer.

As regards structure and tectonics of the investigated area, we could single out several large structural units (in the direction NE-SW: folded area of Zvoneće, overthrust complex of Lisina, compressed syncline of Mrzljak, neotectonically disturbed anticline of Planik, Paleogene overthrust structure and the Pazin flysch basin), as well as several joint systems (the Pyrenean system generally spreading NW-SE and neotectonic system spreading N-S and E-W).

The results of geological mapping of the region along the tunnel route were the basis for engineering and geological investigations. These investigations encompassed detail on-site recording of geological, structural and other engineering geological data. Observation and sampling points, all measurements, results of exploratory drillings and all other data relevant for the classification of rocky masses have been entered into appropriate database of the Čićarija tunnel information system which is compatible with databases of Croatian Information System. Data for engineering and geological interpretation of structure and characteristics of rocky masses and soils in the tunnel region have been recorded pursuant to the methodology recommended by International Association for the Mechanics of Rocks.

Engineering and geological characteristics of rocky masses in the tunnel have been forecasted on the bases of data recorded in geological and engineering geological mapping, statistical processing of obtained data, results obtained by geophysical investigations, results of exploratory drilling and analyses of samples taken during engineering geological mapping and exploratory drilling.

Exploratory boreholes were drilled on the sites where indicators on structural and lithological relations significant for wider area could be obtained. Rock core boring logs were performed and samples taken for the needs of stratigraphic-sedimentological, engineering geological and geotechnical investigations, and have been designed to encompass the absolute elevation of the future tunnel. Basic aim of the ŽTC-1 borehole (350 m deep) in the south western part of the investigated area was to confirm the type of Paleogene structures created by thrusting over rather gently inclined surfaces. The borehole ŽTC-2 (also 350

m deep) is located in the northern part of the explored terrain with the aim to confirm the existence of breccia-like rocks originating from the Lower to Upper Cretaceous transition. During geological investigations performed so far in this area, there were several assumptions on the origin of these layers and their place in the structure. During geological reconnaissance and mapping, it has been determined, and proven by this borehole, that these layers occurred during late-diagenetic processes of cataclasis, dolomitisation and dedolomitisation, so that appropriate layers are present in the structure.

At the end of all anticipated geological and engineering geological investigations and with reference to data obtained by the investigation works, first of all by deep exploratory boreholes and geophysical investigations, the forecasting geological profile and engineering geological longitudinal forecasting profile have been elaborated, and the rock at tunnel absolute elevation classified and categorised. The investigation results, in final form, have been presented as input data for the classification of rocky masses pursuant to geomechanical classification "RM" (BIENIAWSKI, 1979, 1989) and "Q"-classification (BARTON et al., 1974) and adjusted to the needs of geotechnical design (HOEK et al., 1992; HOEK, 1995a, b).

### **Postaja D-5: inženjerskogeološke značajke trase, projektirani i izvedeni objekti na cesti Lupoglav-Cerovlje**

Stop D-5: Engineering and geological characteristics  
of the road Lupoglav - Cerovlje

**Željko VULIĆ**

Brza cesta Lupoglav-Cerovlje je dionica ceste Matulji - Tunel Učka - Lupoglav - Cerovlje - Pazin - Baderna - Poreč, i dio je tzv. istarskog "ipsilona". Povezuje središnju Istru s tunelom "Učka" i ostvaruje bolju povezanost zaleđa s turističkim gradovima i naseljima na zapadnoj obali Istre. Dužina ceste iznosi 12.406 km, a najveći nagib 3,88%. Na cesti postoji 6 viadukata ukupne dužine 1.320 m. Idejni projekt načinjen je 1972., a gradevinski projekt 1986. godine. Izradio ga je Gradevinski institut FGZ. Investitor je bio RSIZ za ceste Hrvatske, izvoditelj "Viadukt" Zagreb s kooperantima, a nadzor su obavljali "Urbis 72" i GI-FGZ.

Cesta se nalazi u brdskoj zoni do Boruta i dolinskoj zoni do Cerovlja. Prvi dio ceste je u području tektonske jedinice *Ljuskava struktura jugozapadne Ćićarije*, a drugi u tektonskoj jedinici *Pazinski tercijarni bazen*. Također, prvi dio pripada slivnim područjima Mirne i/ili Boljunšćice, a drugi dio Fojbe (Pazinšćice). Trasa se nalazi u inženjerskogeološkim kompleksima *vezanih dobroočvrslih karbonatnih stijena* - vapnenci (do Mrzlića), *vezane očvrsle sitnozrnaste stijene* - siltiti, lapori, pješčenjaci, breče - fliš (do Boruta) i *vezane neočvrsle sitnozrnaste stijene* - prahovi i gline (do Cerovlja).

U prvom dijelu trase (do Mrzlića) stijenski materijal je vapnenac. Prema stanju diskontinuiteta i opažanjima postojećih zasjeka preporučen je pokos zasječka 3:1. Geomehaničkom analizom ova je preporuka prihvaćena. Nasip je temeljen bez problema, a stupovi viadukta "Mrzlići" izvedeni su s plitkim temeljima.

U drugom dijelu trase (do Boruta) utvrđeni su slijedeći inženjerskogeološki tipovi: lapor vrlo velike debljine slojeva, lapor i siltit s ulošcima pješčenjaka male debljine slojeva i breče s kalcitnim vezivom. Slojevi breče otvoreni su u dva usjeka. Prema materijalima stijene, stanju diskontinuiteta i obliku stijenske mase preporučen je pokos za zasjeke 2:1, slično kao na zasjeku željezničke pruge kod stanice Hum. S obzirom na geološke i hidrogeološke uvjete stabilnosti upozorenje je na usjecanje kod Sv. Stjepana. Tijekom izvođenja dio stijene podloge je kliznuo po slojnoj plohi, stabilizirajući se na konačnom pokosu 1:2.5.

Geotehničke značajke laporanih ulošcima pješčenjaka ovise o trošnosti, koja je uz horizontalne i/ili blago nagnute slojeve uvjetovana prisutnošću/izostankom nepropusnih laporanih u krovini. Preporučeni su slijedeći pokosi zasjeke inženjerskogeoloških tipova i podtipova: za lapor 2:1, za lapor i siltit s ulošcima pješčenjaka 1:1 i trošni lapor i siltit s ulošcima pješčenjaka 1:1.25. Geomehaničkim analizama propisan je jedinstveni pokos 1:1.5. Na oko 80% površine ovog IG-kompleksa, stijena podloge je pri površini (0.5 m) pretvorena u rezidualno tlo. U depresijama se nalazi pokrivač, deluvijalni nanos veće debljine (prah/gлина). Pri temeljenju nasipa kod većeg nagiba ( $7^{\circ}$ ) uklanjan je pokrivač, a podloga je stepeničasto oblikovana. Kod većih debljina pokrivača projektirane su potporne konstrukcije u dnu nasipa. Pri izvođenju nasipa kao nekoherentni materijal u donjem dijelu korištena je breča, dok su lapor ugradivani samo u gornji dio. Temeljenje stupova viadukta bilo je rješeno plitko, prolazom kroz pokrivač i ulaskom u svježu stijenu. Iznimku čine stupovi viadukta Borut, koji su zbog debljine pokrivača (do 10 m) temeljeni na pilotima. Oko stacionaže km 6+460 već je ranije postojalo aktivno klizište na kojem su gline i prah pokrivača kliznuli po podlozi od laporanih, uz procjeđivanje vode po kontaktu. Klizište je sanirano potpornim zidom ( $v = 4.7$  m) i drenažama. Treći dio trase (do Cerovlja) nalazi se na staroj riječnoj terasi, te proluvijalnom nanosu na mjestima poprečnih dolina u boku. S obzirom na različite hidrogeološke značajke pokrivača na inače nepropusnoj podlozi stvoreni su takvi hidrogeološki uvjeti da su nasipi rješeni kao propusni u donjem dijelu, a prati ih i vrlo učinkovita lateralna površinska i podzemna odvodnja. Prema podacima inženjerskogeološkog kartiranja zasijecanje uvjetno stabilnih dijelova padina u boku izbjegnuto je odmicanjem trase uz prethodnu regulaciju korita Fojbe.

Problemi stabilnosti padina, s kojima se ranije susrelo pri izgradnji ceste Tunel Učka - Buzet, utjecali su i na rješenje trase ove ceste po hrptovima brda. Pripadnost slivnog područja Fojbe slivnom području izvora uz rijeku Rašu (preko ponora u Pazinu) uvjetovala je uređenje dijela ceste kao vodozaštitnog područja: obostrani rigol, dvostrana distantsna elastična odbojna ograda, prihvata voda s krune ceste u uljne mastolove. Zaštita od spiranja, erozije i ljuštenja stijena na zasjecima provedena je zatravljivanjem.

### Stop D-5: Engineering and geological characteristics of the road Lupoglav - Cerovje

The road Lupoglav - Cerovje connects the tunnel Učka with central Istria and settlements on the western coast of the peninsula. The road route, including six viaducts, is 12.5 km long.

A part of the road is located in highlands zone (Lupoglav - Borut) and the other part is situated in lowlands zone (Borut - Cerovje).

From engineering geological standpoint, the first part of the road from Lupoglav to Mrzlići is designed in the engineering geological complex of calcareous hard rocks and thereafter in engineering geological complex of fine-grained soft rocks. The hindmost part of the route is located in engineering geological complex of coherent soils.

Design solutions are adjusted to engineering geological, hydrogeological and geo-mechanical properties of rocks and terrain. They also comply with high environmental protection requirements.

### Postaja D-6: Pazinska jama

Stop D-6: the Pazin pit

Srećko BOŽIČEVIĆ

Otvor Pazinske jame (ili "Fojbe") spada među najmarkantnije geomorfološke pojave u području hrvatskoga krša, a posebice u Istri. To je aktivni ponor 14 km dugog vodotoka Pazinčice ili "Patoka", koji dovodi vodu s obronaka Čićarije, odnosno s flišnog područja površine 77 km<sup>2</sup> sjeveroistočno od Pazina.

U vrijeme obilnih i dugotrajnih oborina naglo se poveća dotok vode. Tada se grotlo pazinskog ponora zaguši uz znatno dizanje razine vode, pa nastane jezero dužine od preko 2-3 kilometra (sl. 13). Otvor ponora smješten je u preko stotinu metara strmom i isto toliko širokom amfiteatru između starog Kaštela i ruba grada s jedne strane i motela "Lovac" s druge strane.

Ispod polukružno zaobljene stijene nalazi se osamdeset metara širok i dvadeset metara visok otvor iz koje vodi podzemni odvodni kanal uz blagi nagib dna. Dalje slijedi nepravilno formirana dvorana, te završna duguljasta dvorana s ogromnim sifonskim jezerom. Dužina sifonskog jezera iznosi oko 80 m uz širinu kanala od 20-27 m, dok visina do stropa varira od 13 do 15 m. Razina jezera je za oko 12 m niža od ulaza u sam ponor, odnosno pristupačno dno je oko 140 m ispod nivelete grada Pazina.

Ukupna dužina čovjeku dostupnih i prohodnih kanala, od ulaza do kraja sifonskog jezera iznosi 215 metara (sl. 14). Daljnji nastavak vodom potopljenih kanala ronilački je istraživan godine 1975. Tada su ronioci na dubini od 18 m ispod razine jezera u mutnom i zagadenom vodotoku naišli na jedan nastavak kanala i izronili u slijedeću ovalnu prostoriju dugu 12 m, iz koje postoji još neotkriveni nastavak u daljnji splet odvodnih kanala. Planirana su i daljnja istraživanja uz suvremeniju opremu.



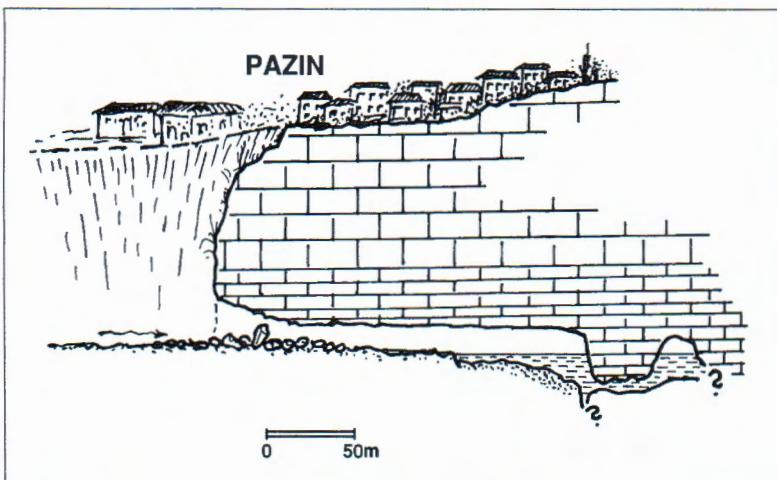
Sl. 13 Slika jedne od najvećih poplava Pazinčice u kišnom periodu ( proljeće 1974. godine), kada ponor nije mogao "progutati" svu vodu.

Fig. 13 Detail of one of the maximum floods of the Pazinčica waterflow in rainy period (spring of 1974.) when the swallow hole can't "swallow" all abounding water.

Zanimljivo je napomenuti da se za ovu našu morfološku rijetkost zainteresirao i poznati pisac znanstvenofantastičnih romana Jules Verne, koji ju godine 1885. opisuje u svom romanu "Mathias Sandorf". Podzemlje pazinskog ponora on spominje u prvoj knjizi romana, u poglavljju "Kanjon Foibe". Njegovi su junaci Mathias i Bathory bili zatočeni u starom pazinskom Kaštelu. Kada su jedne olujne noći odlučili pobjeći na slobodu, spuštaju se žicom gromobrana. Udarac ih groma iznenada ruši niz stijenu u hladne valove Pazinčice i plutajući na ostatku stabla su odvučeni u tamu podzemlja. Mašta vještog romanopisca "vodi" ih kroz taj tada malo poznati svijet krša. Nošeni na stablu njegovi junaci "izlaze" ponovno na svjetlo dana u Limskom kanalu! Tako je napisao Jules Verne (sl. 15).

Vidimo, da su ronioci iz Pazina prošli tek samo mali dio dužine po tragu Verneovih junaka, no kako se u nas speleološka istraživanja i dalje nastavljaju, ne smijemo isključiti i mogućnost novih spoznaja uz današnje moderne metode.

Najveći broj dosadašnjih hidrogeoloških i speleoloških istraživanja u ovom području nije još dokazao točnost pretpostavke Julesa Vernea, ali istraživanja još uvek nisu završena. Ubacivanjem boje u Pazinski ponor dokazala se veza ponora s



Sl. 14 Uzdužni profil Pazinske jame (prema M. Malezu) sa do sada znanim dijelovima dostupnim čovjeku.

Fig. 14 Longitudinal profile of the Pazin swallow hole (according to M. Malez) with currently known accessible parts of the cavity.

nekoliko izvora uz rijeku Rašu i jednim priobalnim izvorom južno od Barbana. Boja je ubaćena kada je u ponor tekla manja količina vode u odnosu na velike količine vode koje u ponor poniru u kišnom razdoblju. Rezultati bojenja bi sigurno bili drugačiji za vrijeme visokih voda u kišnom "maksimumu". Međutim, tada nastaje poteškoća kako i čime obojiti tu golemu količinu tekućine, da se ona previše ne razrijeti do teško uočljivih "tragova"?

Pazinska jama je zbog svoje morfološke i pejsažne pojave zakonski vrednovana i zaštićena u kategoriji značajni krajolik - spomenik prirode na teritoriju Republike Hrvatske.

#### Stop D-6: the Pazin pit

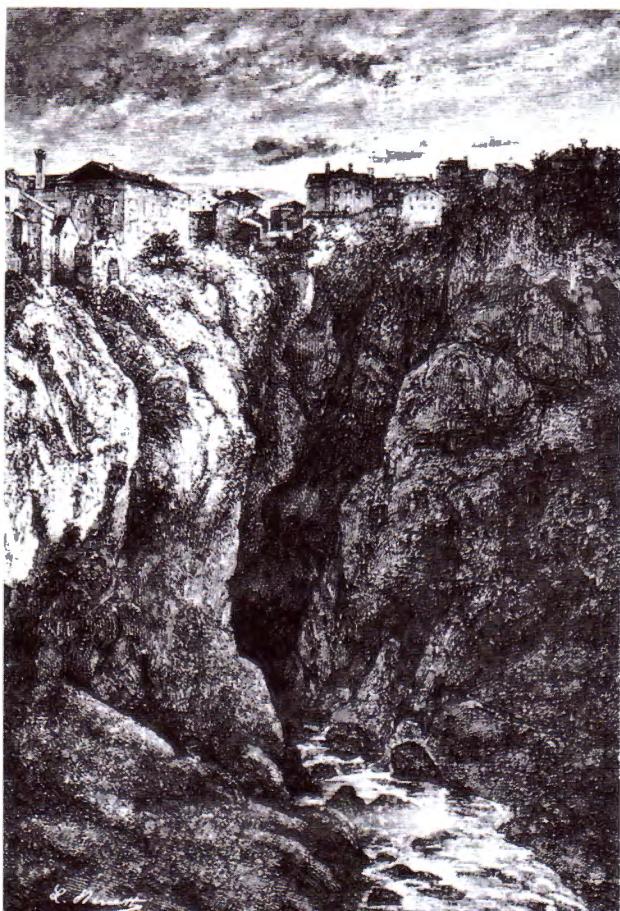
The Pazin Pit (or "Fojba") is one of most prominent geomorphologic phenomena on the territory of Dinaric karst, and especially in Istria. This is an active swallow hole belonging to the 14 km long waterflow of the Pazinčica or "Patok" which supplies water from the slopes of Čićarija, i.e. flysch region encompassing 77 km<sup>2</sup> located to the north-east of Pazin.

In rainy period, the gulf of the Pazin swallow hole is being choked so that the rising water table forms a 2-3 km long "lake" (Fig. 13).

Semi-circular opening of the swallow hole is located below the vertical of limestone rock. An about 215 m long channel stretches from that point on, ending in a siphon basin (Fig. 14). Terminal siphon lake is 80 m long. The width of the channel exceeds 20 m, while its height to the ceiling amounts 15 m. In 1975, this lake has been dived to the small hall from which the unexplored part of the swallow hole spreads.

Grandiose opening of the swallow hole and "mysterious" flow of the underground stream have inspired the famous writer Jules Verne. In his novel "Mathias Sandorf" dating from 1885, he leads his heroes, after escaping the Pazin Kaštel dungeon, through water torrent of the Pazinčica (Fig. 15) up to the Limski Kanal where, according to J. Verne, they emerged on the surface and daylight again.

Hydrogeological and spelaeological investigations performed to date in this part of Istria haven't proved the accuracy of writer's visionary assumptions - since the investigations haven't yet been completed!



Sl. 15 Crtež otvora Pazinske jame s tokom rijeke Pazinčice iz knjige "Mathias Sandorf" Julesa Vernea, izdane 1885. godine.

Fig. 15 Sketch of the entrance of the Pazin swallow hole with the stream-flow of the Pazinčica from the book "Mathias Sandorf" by Jules Verne, published in 1885.

The performed dyeing have proved that the connection exists between the swallow hole and several springs along the Raša River and one littoral spring located to the south of Barban.

The Pazin Pit is, due to its morphological, hydrogeological and visual manifestation, legally assessed and protected under category significant scenery - natural monument!

## LITERATURA - REFERENCES

- BARTON, Z.T., LIEN, R. & LUNDE, J. (1974): Engineering Classification of Rock Masses for Design of Tunnel Support.- Rock Mechanics, 6/4, 183-236.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1979): The Geomechanic Classification in Rock Engineering Applications.- Proc. Fourth Congress of ISRM, 2, 41-48, Montreux (Suisse).
- BIENIAWSKI, Z.T. (1989): Engineering Rock Mass Classifications: a Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering.- A Wiley-Interscience publications, New York, 251 p.
- BIONDIĆ, B. & GOATTI, V. (1984): Zaštitne zone izvorišta pitke vode na području općine Rijeka.- Zbornik radova Jugosl. simp. za inž. geologiju i hidrogeol., 1, 281-289, Budva.
- BIONDIĆ, B., GOATTI, V., MILOŠEVIĆ, V. & TOLJ, V. (1983): Istražno-eksploatacijski objekt Zvir II u Rijeci.- Zbornik radova Jugosl. simp. o inž. hidrologiji, 2, 149-165, Split.
- BIONDIĆ, B., GOATTI, V. & VULIĆ, Ž. (1979): Hidrogeološka istraživanja u slivu izvora Rječine, Grobničkog polja, Zvira i Martinšćice.- Zbornik radova 1. međunarodnog simpozija za hidrogeologiju, 61-69, Zagreb.
- BOŽIĆEVIĆ, S. (1978): Tunel Učka. Speleološka istraživanja nabušenih kaverni (stac.1+475 i 1+630).-Arhiv IGI, Zagreb.
- BOŽIĆEVIĆ, S. (1980): Hidrogeološka opažanja u nabušenoj kaverni.- Arhiv IGI, Zagreb.
- BOŽIĆEVIĆ, S. (1993): Kaptaža u kaverni ispod tunela "Učka".- Pomor. zborn., 31, Rijeka.
- BOŽIĆEVIĆ, S., GOATTI, V. & BIONDIĆ, B. (1984): Vodoistražni radovi u spiljskom sistemu uz cestovni tunel Učka.- Arhiv IGI, Zagreb.
- BOŽIĆEVIĆ, S. & GOATTI, V. (1987): Ekonomičnije rješavanje vodozahvata u spiljskom prostoru.- Zbornik referata IX. Simpoz. o hidrog. i inž.geol., 1, Priština.
- HOEK, E. & BRAY, J., (1974): Rock Slope Engineering.- Institution of Mining and Metallurgy, Gresham press, London, 309 p.
- HOEK, E., WOOD, D. & SHAH, S. (1992): A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses.- Proc. Rock. Characterization, Symp. Int. Soc. Rock. Mech., EUROCK '92, 209-214, London.
- HOEK, E. (1995a): Strength of Rock and Rock Masses.- ISRM News Journal, 4-16, Lisaboa, Portugal

- HOEK, E. (1995b): The Challenge of Input Data for Rock Engeneernig.- ISRM News Yournal, 23-24, Lisaboa, Portugal
- HUDEC, M., BOŽIČEVIĆ, S., BRUNA, V. & BLAJVAS, R. (1980): Stabilizacija svoda kaverne u tunelu Učka.- 5. Simp. društva za mehan. stijena i podz. vode, 2.
- ISRM (1978): Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses.- Commission on standardization of laboratory and field tests, Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr., 15, 319-368.
- MARIĆ, Z. & VELAN, D. (1988): Mostovi na cesti Lupoglav-Borut-Cerovlje.- Ceste i mostovi, 34/11-12, 437-446.
- POLOŠKI, D. (1988): Magistralna cesta 2.1 dionica Lupoglav-Cerovlje; značenje, planiranje, izgradnja.- Ceste i mostovi, 34/11-12, 431-436.
- STANIĆ, B., ORTOLAN, Ž., CVIJANOVIĆ, D., PREIĆ, D. & KLASNIĆ, Z. (1984): Magistralna cesta 2.1 - dionica: Lupoglav-Borut-Cerovlje. D.2 Geomehanički istražni radovi za trasu.- Arhiv Zavod za geotehniku GI - FGZ.
- STANIĆ, B., TUŠAR, Z., ORTOLAN, Ž. & KLASNIĆ, Z. (1990): Magistralna cesta 2.1, dionica Lupoglav-Cerovlje. Uloga geomehaničkih istraživanja.- XIII Kongres Saveza društava za puteve Jugoslavije, Neum, 1990.
- VULIĆ, Ž. & MLINAR, Ž. (1984): Cesta Lupoglav-Cerovlje. Inženjerskogeološki radovi.- Arhiv Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.

**ORGANIZACIJSKI ODBOR  
ORGANISING COMMITTEE**

**Đuro BENČEK**

predsjednik - president

**Marko ŠPARICA**

dopredsjednik - vicepresident

Bruno ALJINOVIĆ

Josip BENIĆ

Mare GOLAC

Elza HRVOJIĆ

Mladen HVALA

Darko IVIČIĆ

Katarina KRIZMANIĆ

Eugen KRKALO

Mladen MACHALA

Ivo VELIĆ

Boro VLAŠIĆ

**POČASNI ODBOR  
SCIENTIFIC COMMITTEE**

Stjepan BAHUN

Milan HERAK

Ivan JURKOVIĆ

Velimir KRANJEC

Vladimir MAJER

Branko SOKAČ

Stjepan ŠČAVNIČAR

**ZNANSTVENI ODBOR  
HONORARY COMMITTEE**

Božidar BIONDIĆ

predsjednik - president

Ivan GUŠIĆ

Krešimir JELIĆ

Vladimir JURAK

Darko MAYER

Ladislav PALINKAŠ

Josip SEČEN

Jožef ŠIMON

Boris ŠINKOVEC

Josip TIŠLJAR

ISBN 953-96520-3-0



9 789539 652034