

GEOMORFOLOŠKE ZNAČAJKE DUGOG OTOKA

KATARINA DŽAJA

Osnovna škola Zadarski otoci

Veli Iž

Elementary school Zadar Islands

Veli Iž Island

UDK: 551.4(497.5 Dugi otok)

Izvorni znanstveni članak

Original scientific paper

Primljeno: 2003-06-24

Received:

Dugi otok je najveći (114 km²) i najduži otok (44,4 km) zadarskog arhipelaga. Prema razvedenosti obalne crte (4,5) drugi je na Jadranu. Glavne geomorfološke karakteristike otoka su relativno velika podudarnost orografije s temeljnim geološkim strukturama i prevlast krškog tipa reljefa na karbonatnoj litološkoj osnovi. Bitan je i marinski tip reljefa, odnosno abrazijski proces. Usporednost otoka s temeljnim reljefnim i geološkim strukturama susjednog kopna svrstava otok u tip kontinentskih otoka izduženih dinarskim pravcem pružanja SZ-JI. Današnje reljefne značajke su posljedica poslijepleistocenske ingresije mora kada se svjetska morska razina izdigla oko 100 m.

Ključne riječi: abrazijska, ingresija, krš, Dugi otok

Dugi Otok Island is the biggest (114 km²) and the longest (44.4 km) of all Zadar archipelago islands. According to the coast indentedness (4.5), it is the second island in the Adriatic Sea. Basic geomorphological characteristics of the island are relatively great concordance of orography and basic geological structure and predominance of the karstic type of relief on the carbonate lithological basis. Marine type of relief is very characteristic, especially the features formed by abrasion process. Parallelism of the island with relief and geological structures of neighbouring mainland classifies the island into the type of continental islands extended in Dinaric NW-SE direction. Today's relief characteristics are primarily the result of the post-Pleistocene sea ingression, which is the consequence of the general raising of the world sea level for ca. 100 m.

Key words: abrasion, ingression, karst, Dugi Otok Island

Uvod

Dugi otok je najveći (114 km²) i najduži otok (44,4 km) zadarske otočne skupine. Glavne geomorfološke karakteristike otoka su relativno velika podudarnost orografije s temeljnim geološkim strukturama i prevlast krškog tipa reljefa na karbonatnoj litološkoj osnovi. U geološkom sastavu otoka prevladavaju vapnenci i dolomiti u kojima su se krškim i fluviokrškim procesima modelirali različiti egzokrški i endokrški reljefni

oblici. U oblikovanju otočne obalne crte, jedne od najrazvedenijih na istočnoj obali Jadrana (indeks razvedenosti je 4,5), uz ostalo, očituje se utjecaj abrazije, osobito na jugozapadnoj strani otoka, otvorenoj utjecaju vjetrova s pučine Jadranskog mora.

Geomorfološke su značajke jedan od najvažnijih čimbenika oblikovanja otočnog prirodnog pejzaža. Sam oblik otoka potaknuo je stanovnike da ga imenuju Dugim otokom. U srednjovjekovnim ispravama otok se naziva *Insula maior* i *Insula magna* (Veliki otok) (BATOVIĆ, 1997.), a na starim zemljovidima od 15. st. redovito se naziva *Isola Grossa* (Veliki otok) i *Isola Lunga* (Dugi otok) (KOZLIČIĆ, 1995., FARIČIĆ, 2003.). Među referentima (imenovanim objektima u prirodi) koji su uvjetovali postanak brojne otočne toponimije najbrojnija je skupina koja se odnosi na reljef otoka i pripadajućeg podmorja (SKRAČIĆ, 1997.).

Znakovito je kako su upravo geomorfološke specifičnosti potaknule mjerodavne državne institucije da južni dio otoka (Telašćica) bude uvršten u posebno čuvanu hrvatsku nacionalnu prirodnu baštinu, uključujući ga najprije u *Nacionalni park Kornati* (1980.), a potom osnivanjem zasebnog *Parka prirode Telašćica* (1988.).

Uz prirodne geomorfološke procese na oblikovanje reljefa Dugog otoka tisućljećima je djelovao čovjek pretvarajući ga u specifični kulturni krajolik. Gospodarsko vrjednovanje plodnih otočnih površina, nastalih u reljefnim udubinama i položitim padinama prekrivenim uglavnom crvenicom, započelo je tijekom starijega kamenog doba (BATOVIĆ, 1997.). Na istaknutijim otočnim vrhovima, primjerice Kruna, Gračina (Božava), Vrh zlata (Dragove), Gračina (Brbinj), Gomilina (Savar), Vela straža, Straža (Luka), Zarubinjak, Gračina, Gradac (Žman), Omiš, Veli Brčastac (Sali) i dr., najstariji su stanovnici izgradili gradinska naselja i utočišta (BATOVIĆ, 1997.).

Cilj je istraživanja bio analizirati temeljne geomorfološke oblike, strukture i procese te nakon sedamdeset godina od Poljakove studije (POLJAK, 1930.) izraditi prvu cjelovitu sintezu geomorfologije Dugog otoka.

Metode istraživanja

Pri izradi ovog rada iskorišteno je više metoda geomorfoloških istraživanja, koje su uobičajene u geomorfološkoj literaturi (BOGNAR, 1990., 1996.).

Metode terenskih opažanja i snimanja su, s obzirom na problematiku rada, osnovni način istraživanja. Na taj način bilo je moguće precizno definirati pojedine procese i njihov utjecaj na oblikovanje reljefa. Terenska istraživanja, odnosno uvid u petrografske sastav, dominantne klimatske procese, vegetacijski i pedološki pokrov, te antropogene utjecaje, omogućili su morfogenetsku klasifikaciju i utvrđivanje rasprostiranja pojedinih tipova reljefa. Tijekom terenskih istraživanja prikupljena je i odgovarajuća fotodokumentacija.

Metode geomorfološkog kartiranja upotrebene su radi određivanja pojedinih reljefnih oblika i njihova klasificiranja. Kartiranje na terenu, izvršeno je na topografskim podlogama u mjerilu 1:25000. Također, analizirane su topografske karte različitog mjerila (1:5000, 1:50000 i 1:100000) .

Iskorištene su također metode geomorfološke analize i sinteze. Pod pojmom geomorfološke analize misli se na primjenu skupa međusobno povezanih postupaka koji se koriste radi utvrđivanja geomorfoloških procesa na oblikovanje reljefa.

Geomorfološkom sintezom određeni su prostorno-vremenski odnosi pojedinih oblika i njihova odnosa prema geološkim značajkama.

Metoda morfostrukturne analize ima za cilj izdvojiti reljefne oblike formirane endodinamičkim procesima i definirati njihovu korelaciju s egzogeomorfološkim procesima. Zbog toga su uspoređivane različite morfometrijske karte (hipsometrijska, nagiba i energije reljefa) s geološkom kartom. Na osnovu toga, izdvojeni su oni reljefni oblici koji su svojim postankom vezani uz geološku građu.

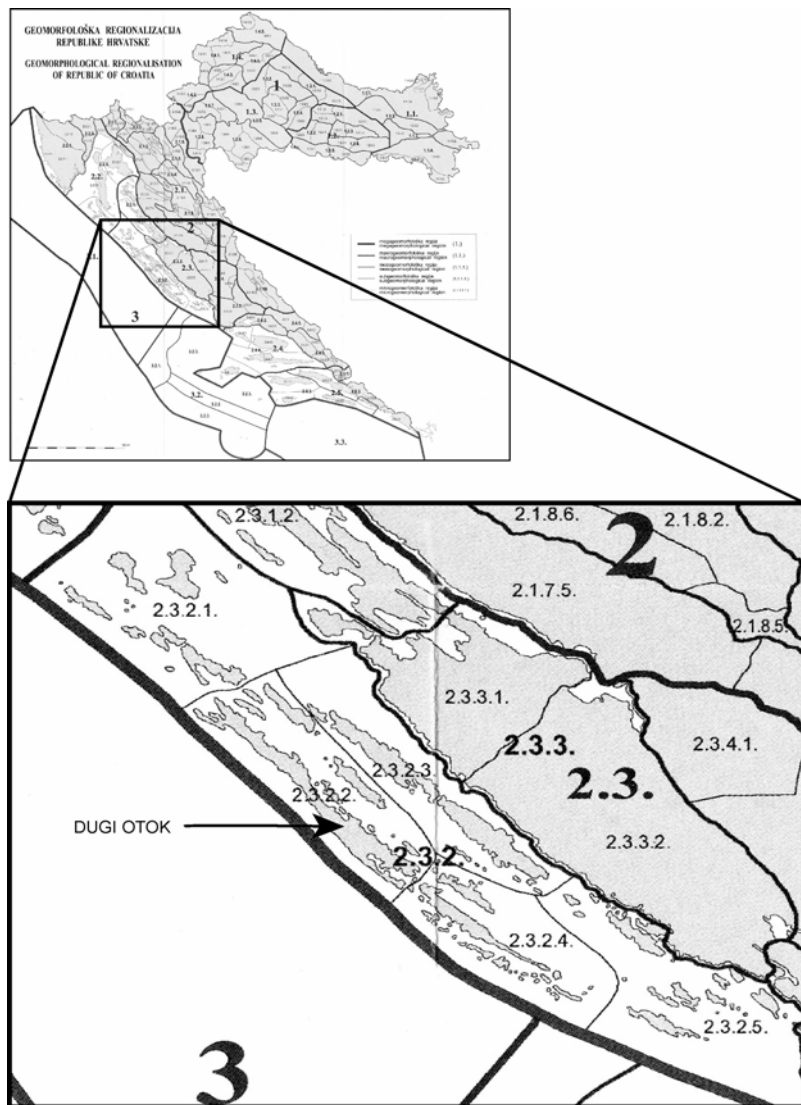
Pregled dosadašnjih istraživanja

Dugi otok, koji se ističe po svojim geomorfološkim obilježjima postaje relativno kasno predmetom geomorfoloških i geoloških istraživanja. Prva, a ujedno i najstarija geološka istraživanja obuhvaćena su u okviru Hauerove pregledne geološke karte list X Austro-Ugarske Monarhije (1868.). Poslije toga, STACHE (1889.) je izdao geološku kartu u mjerilu 1:1000000, a SCHUBERT sekciju Biograd 1:75000 (1902.-1905.). JELIĆ (1901. i 1904.) i HIRC (1905.) daju prve opise Strašne peći kod Savra, a POLJAK (1930.) prikaz geomorfoloških značajki otoka. MAMUŽIĆ (1958.) proučava dolomite Dugog otoka. Međutim, iznimno značenje imaju radovi u okviru izrade Osnovne geološke karte i tumača 1:100000, a autori su: MAMUŽIĆ i NEDELA-DEVIDE (1963.-1970.), MAMUŽIĆ i NEDELA-DEVIDE (1963.-1973.) MAMUŽIĆ (1963.-1969.-1970.), MAMUŽIĆ i SOKAČ (1967.-1973.), MAJCAN i dr. (1963.-1969.-1970.), MAJCAN i KOROLIJA (1967.-1973.). Detaljnijim geološkim istraživanjima na području Telašćice bavili su se FUČEK i dr. (1990.), a geomorfološkim značajkama, ali u okviru regionalno-geografskog rada, MAGAŠ (1997.). Od novijih speleoloških istraživanja treba istaknuti ona koja su proveli MALEZ (1953.), JURAČIĆ i dr. (2002.), MAGAŠ i SURIĆ (2000.), dok se problematikom obalnog krša bave PERICA i dr. (2004.).

Geomorfološki položaj

U Hrvatskoj se mogu razlikovati gorski, otočni, brdski, zavalski, nizinski, dolinski i podmorski tipovi geomorfoloških regija. Otočni reljef dijela akvatorija Jadranskog mora nastao je u postpleistocenu glacioeustatičkim povišenjem morske razine za približno 100 m. Geotektonski, Dugi otok pripada zoni Vanjskih Dinarida za koju je karakteristična borano-rasjedno-ljuskava geološka struktura.

Na temelju toga Dugi otok pripada megageomorfološkoj regiji Dinarskoga gorskog sustava, odnosno makrogeomorfološkoj regiji Sjeverne Dalmacije s otocima (Sl. 1.). Dalje, razvedenost i brojnost otoka nameće njihovu geomorfološku regionalnu diferencijaciju koja je izdvojena na principu homogenosti morfo-litogenih datosti. Otoci Sjeverne Dalmacije imaju pravilan Dinarski pravac pružanja SZ-JI. Postpleistocenskom transgresijom mora nastali su kanali, tako da se oni izdvajaju kao nizovi paralelnih hrptova i čine jedinstvenu mezogeomorfološku regiju (otočje SZ Dalmacije). No, u okviru nje može se izdvojiti i subgeomorfološka regija Dugi otok s Iško-sestrunjskim arhipelagom, kao posljedica intenzivne mikrotektonske razlomljenosti. Također, treba naglasiti da megageomorfološka regija Dinarskoga gorskog sustava upravo na području Dugog otoka graniči sa susjednom megageomorfološkom regijom Podmorja Jadranskog bazena (BOGNAR, 2001.).



Sl. 1. Geomorfološki položaj Dugog otoka: 2. – Dinarski gorski sustav (hrvatski dio); 2.3. – SZ Dalmacija s arhipelagom; 2.3.2. – Otočje SZ Dalmacije; 2.3.2.2. – Dugi otok s Iško-sestrunjskim arhipelagom (BOGNAR, 2001.).

Fig. 1 Geomorphological position of Dugi Otok Island: 2. – Dinaric mountain range (Croatian part); 2.3. – NW Dalmatia with archipelago; 2.3.2. – NW Dalmatian islands; 2.3.2.2. – Dugi otok Island with Iž-Sestrunj archipelago (BOGNAR, 2001.)

Utjecaj geoloških obilježja na razvoj reljefa¹

Geološki sastav i građa

Najstarije, a ujedno i najrasprostranjenije naslage koje sudjeluju u građi Dugog otoka su kredne starosti. S obzirom na litološki sastav, Otok je skoro u potpunosti izgrađen od karbonatnih stijena.

Barem-apt (K₁^{3,4}). Naslage donjokredne starosti nalaze se u jezgrama tektonski razorenih i poremećenih antiklinala, na krajnjem SZ dijelu Otoka (oko Božave). Razvijene su u facijesu tanko uslojenih do pločastih vapnenaca.

Vapnenci su sivosmeđe boje, tanko uslojeni, do pločasti, debljina slojeva je od 10 do 30 cm. Ulošci dolomita dosta su rijetki, a javljaju se u obliku uskih leća. Vapnenci pripadaju alohtonom tipu, a dominiraju kalcilituti i kalkareniti. Većim dijelom sadrže preko 95% CaCO₃, a samo neznatan dio ima taj postotak umanjen za povećanu glinenu komponentu, te čine prijelaz prema slabo laporovitim vapnencima (Božava). Početni stadij dolomitizacije uočen je na više lokaliteta. Udio CaMg(CO₃)₂ koleba od 5 do 7%. Postanak ovih stijena uvjetovan je akumulacijom intrabazenskoga vapnenačkog materijala, manjim je dijelom organogenog podrijetla. Zavisno od jačine turbulentnih stuja taloženi su fino zrnati ili krupno zrnati ekvivalenti – kalcilituti ili karkareniti. Kratkotrajne promjene temperature, redox potencijala i koncentracije Mg-soli u taložnoj sredini uvjetovale su pojavu dolomitizacije. Rekonstruirana debljina ovih naslaga iznosi oko 350 m.

Alb-cenoman (K_{1,2}). Alb-cenomanske naslage nadovezuju se kontinuirano na karbonatne naslage barem-apta. Javljaju se u četiri odvojena lokaliteta: Rt Barje, Soline – Dragove, Brbinj, Zaglav (podno V. straže 337 m) – Luka – Žman – Berčastac (200 m, vrh zapadno od Sali).

Osnovna je značajka ovih naslaga da ne sadrže fosile, te im je stratigrafska pripadnost određena samo na temelju superpozicijskog položaja. S obzirom na to da slijede barem-apske vapnence, a na njih se kontinuirano nadovezuju naslage cenoman-turona, njihov bi stratigrafski raspon bio uglavnom između apta i cenomana. Nije moguće ustanoviti koliko ovih dolomita pripada donjoj, a koliko gornjoj kredi, pa su izdvojeni simbolom K_{1,2}.

Dolomiti su uglavnom srednjozrnati do sitnozrnati, sive su boje i uglavnom su dobro uslojeni. Debljina slojeva je od 20 do 50 (na području Soline – Dragove), odnosno 10 do 30 cm (na području Zaglava), dok su na području Božave izdanci znatno raspucani, puni kalcitnih žila i nakupina kalcitnih kristala čija debljina mjestimično doseže širinu i od jednog metra. S obzirom na to da je taj dolomit na površini trošan, izdanci su zaobljeni, a uočavaju se i plohe trošenja nagnute niz strane Otoka. To je uvjetovalo prikriivanje slojevitosti, pa su slojnice samo mjestimično dobro izražene. Na kontaktu s podinom na nekoliko lokaliteta zapažene su dolomitno vapnenačke breče. Javljaju se u obliku leća dužine 10 do 15 m, dok im debljina doseže svega 0,5 m. Po tipu odgovaraju dolomitima sa svim članovima dolomitnog niza: magnezijски vapnenci, dolomitični vapnenci, vapnenački dolomiti i čisti dolomiti. CaMg(CO₃)₂ ulazi u sastav ovih stijena od

¹ Ovo poglavlje napisano je na osnovu sljedeće literature i izvora: MAJČEN, Ž., KOROLIJA, B., 1973; MAMUŽIĆ, P., NEDELA-DEVIDE, D.; 1973; MAMUŽIĆ, P., SOKAČ, B., 1973; MAJČEN, Ž. I DR., 1963.-1969; MAMUŽIĆ, P., 1963.-1969; MAMUŽIĆ, P., NEDELA-DEVIDE, D., 1963.

5,31 do 95,65%. U okviru dolomitnih stijena uočljive su manje pojave dolomitičnih breča nastalih u uvjetima razaranja litificiranih dolomita, na području Brbinja uočljiva je i rijetka pojava leća i proslojaka vapnenca, koji je najvećim dijelom dolomitiziran. Na području Zaglava u okviru dolomita pojavljuju se manji ulošci vapnenačkih breča.

Značajke analiziranih dolomitnih stijena upućuju na sekundarne dolomite nastale u uvjetima promjena temperature, redoks potencijala, koncentracije Mg-soli i dubine u taložnoj sredini. Utvrđena debljina ovih naslaga varira od 200 m na području Zaglava, na SI dijelu Otoka (lokaliteti Rt Barje i Soline – Dragove) doseže 400 m, a na području Brbinja 600 m. Otkrivena debljina doseže do 400 metara.

Cenoman-turon ($K_2^{1,2}$). Naslage cenoman-turona javljaju se u sedam odvojenih lokaliteta: Rt Shajane, SI od Verunića, od Solina do Savra, od Rta Zaglav do Dugonjiva, Vršak i Zaglav. Lokaliteti na SZ dijelu otoka su u rasjednom kontaktu s alb-cenomanskim naslagama, dok se oni na JZ dijelu otoka nadovezuju kontinuirano i nalaze se u krilima antiklinala.

Naslage cenoman-turona sastoje se uglavnom od vapnenaca s ulošcima sivog dolomita (debljine 10-30 cm), a u nižim dijelovima od alternacije jednih i drugih. Debljina dolomitnih uložaka varira od 10 do 30 cm. Također je česta pojava tanko uslojenih do pločastih (5-15 cm) vapnenaca, osobito u početnom i završnom dijelu ovih naslaga.

Litološki, ove naslage predstavljaju karbonatni razvoj u kojem u stalnoj izmjeni dolaze mehanički taložene vapnenačke stijene (kalcilutiti, kalkareniti i bioakumulirani vapnenci) i dolomitne stijene. Ova serija počinje užom zonom bijelih slabo kristaličnih vapnenaca (50-100 cm), na koju se nadovezuju dobro uslojeni do pločasti vapnenci (3-10 cm). Nakon početnih naslaga slijede svijetlosmeđi, dobro uslojeni vapnenci, u izmjeni sa sivim dolomitima. Debljina vapnenačkih slojeva varira od 30 do 60 cm u prosjeku, dok debljina dolomitnih slojeva osjetno varira. Zapravo, mjestimično su to samo tanki proslojci od svega nekoliko cm pa do nekoliko decimetara. Završni dio ovih naslaga čine pločasti do škrljav i smeđasti vapnenci. Debljina slojeva najčešće varira od nekoliko mm do nekoliko cm, a samo mjestimično doseže 10-20 cm.

Kod vapnenaca je sadržaj $CaCO_3$ dosta visok, u pravilu preko 90% (na SZ dijelu otoka i do 97,8%). Dolomiti također sadrže visok postotak magnezijeva karbonata (u prosjeku oko 90%) dok u prijelaznim slojevima iz vapnenca u dolomite postotak Ca-karbonata opada u korist Mg-karbonata. S obzirom na to da je dolomitizacija izražena u veoma promjenjivim postotcima, to uvjetuje prisutnost svih članova dolomitnog niza od magnezijskih vapnenaca do čistog dolomita. Čisti dolomiti formiraju mozaički agregat dolomitnih zona bez tragova strukture primarne stijene.

Na temelju analiziranih sedimenata može se zaključiti da se sedimentacija za vrijeme cenoman-turona odvijala dijelom u blizini grebena u području jačeg mlata valova i jačeg strujanja vode, a dijelom u plitkoj ili mirnoj sredini.

Turon-senon ($K_2^{2,3}$). Rudistni vapnenci turon-senona predstavljaju najrasprostranjeniji član koji sudjeluje u građi otoka. Pružaju se kontinuirano od središnjeg dijela (nedaleko od Brbinja) pa sve do krajnjeg JI dijela otoka. U odnosu na starije naslage (cenoman-turona) na JI dijelu otoka su u kontinuiranom odnosu, dok su na središnjem dijelu odvojene rasjedima, a ulaze u sastav krila bora.

Vapnenci su svijetlosive do smeđe boje, dobro uslojeni, debljine slojeva 20 do 60 cm. Ulošci dolomita i dolomitičnih vapnenaca sporadični su i tanki (10-30 cm). U bazi ovih vapnenaca javljaju se pločasti vapnenci. Litološki, ovo je jednoličan kompleks

vapnenaca, s visokim udjelom CaCO_3 (97-99%), koji je također visok i kod dolomitičnih vapnenaca (70%). To su finozrnate, mehanički taložene stijene alohtonog podrijetla, čiju alohtonost potvrđuje prisutnost krupnije, mehanički taloženih vapnenačkih članova. Postanak im je vezan za mirnije uvjete taloženja. Pristnost biokalkarenita i bioakumuliranih vapnenaca upućuje na sedimentaciju u supsprudnoj zoni, a materijal potječe od razaranja sprudnih tvorevina.

Senon (K_2^3). Naslage senona pružaju se na dva lokaliteta (SZ dio otoka na području Velog Rata i južno od Savra) i s njima prestaje razvoj krednih naslaga na otoku. Na području Velog Rata tvore jezgru sinklinale koja je rasjedom odvojena od naslaga cenoman-turona.

Litološki, ovo je monotona serija vapnenaca sa sporadičnim promjenama. To su uglavnom sivi, svijetlosivi do sivosmeđi vapnenci, debljine slojeva 20 do 60 cm. Uglavnom pripadaju kalcilititima, dok je kalkarenita manje. Oba su tipa produkt mehaničkog taloženja stijena. Priroda kalkarenita određena je organogenim detritusom, te su determinirani kao biokalkareniti. Biodetritus čine habane foramenifire i fragmenti drugih organizama. Sve se ove stijene odlikuju visokim postotkom CaCO_3 (96-98%). Postankom su vezane za relativno plitko more, nešto udaljenije od obale, budući da sadrže samo intrabazenski vapnenački detritus uz potpuno izostajanje terigenog materijala. Turbulentne struje i njihova jačina, te priroda sedimentiranog materijala, uvjetovale su postanak različitih ekvivalenata alohtone vapnenačke serije. Debljina ove jedinice doseže do 400 m.

Kvartar. Kao posljedica karbonatne podloge, osobito kao rezultat izrazite prevlasti vapnenaca u geološkom sastavu, te njihova trošenja, terra rossa (ts) (crvenica) je najznačajniji i najrasprostranjeniji sediment kvartarne starosti. Najčešće ispunjava morfološke udubine u obliku tankog sloja (1-3 m), dok su deblji nanosi rijetki (npr. Polje kod Božave i Žmanska jezera). Mjestimično je pomiješana s drugim kvartarnim tvorevinama, kao što su obronačne gline i kršje, a na području Žmanskih jezera i s pelitom jezerskog podrijetla. Prema analizi sa susjednog otoka Kornata, terra rossa je finozrnati sediment (promjer zrna 0,025 mm). Glavni sastojak je kvarc (76,73%), a slijede feldspati (13,59%) i mala količina rožnjaka (0,79%), dok prisutnost CaCO_3 nije utvrđena. Pri nastanku terra rosse najvažniji su bili hidrokemijski procesi. Tijekom dužeg razdoblja oni su otapali karbonatne naslage i njihov netopivi dio taložili u niže dijelove (dna ponikava, uvala, dolina). U vrijeme stvaranja ovih tvorevina istraživano područje sastojalo se i od klastičnih naslaga, poglavito eocenskih, koje su također imale znatan udio u stvaranju terra rosse. Na osnovu toga može se tumačiti velik udio teških minerala koji se u njoj nalaze, s obzirom na to da tih minerala u vapnencima nema. Drugi je faktor u stvaranju terra rosse transport, ponajprije zračnim ili vodenim putem. Terra rossa, kao fino zrnati materijal, u suhom se stanju veoma lako drobi i na taj bi način mogla biti dijelom transportirana zrakom. Najveći udio u transportu terra rosse imala je voda, koja je dijelom odnosila (s padina), a dijelom donosila (na dna) drugi materijal i na taj način izvršila miješanje ovog sedimenta s ostalima. Zbog toga je uvijek nalazimo s drugim primjesama.

Koštane breče pronađene su na području Velog Rata. Čvrsto su povezane kalcitom i terra rossom. Nedaleko od Velog Rata, na lokalitetu Banjorovica (u neposrednoj blizini svjetionika Veli Rat), na površini od 500 m² pronađeni su brojni kameni artefakti i neretuširani šiljci, koji su izrađeni od bijeloga, sivog i žutog rožnjaka, a koji potječe iz nodula nađenih na krednoj podlozi.

Artefakti su predstavljeni šiljcima, raznim tipovima strugala i rezalina. Na temelju tipologije može se zaključiti da pripadaju musterijenskoj (Mousterien) i orinjaškoj (Aurignacien) materijalnoj kulturi paleolitika, što vremenski odgovara raznim fazama virmske oledbe.

U do sada poznatim i istraženim speleološkim objektima na području otoka utvrđeno je postojanje sigovine nastale kristalizacijom kalcita iz vode cjednice u uvjetima promjene mikroklime i tlaka. Naslage sigovine dosežu debljinu i do nekoliko metara (npr. Strašna peć). Također, u potopljenom speleološkom objektu (na dubini od 2 do 15 m) u uvali Brbinjšćici pronađeni su sigasti oblici (speleothemi), a njihovu oblikovanju pogodovala su razdoblja leđenja tijekom Zemljine prošlosti kad je razina mora bila niža za približno 100 metara (JURAČIĆ I DR., 2002.).

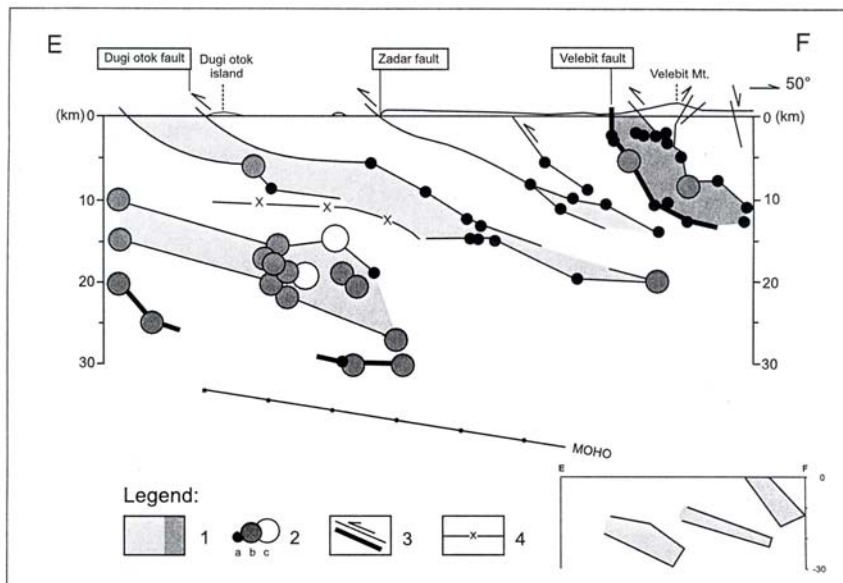
Tektonska struktura

Dugi otok svrstan je u prijelazno jadransko područje, odnosno u geotektonsku jedinicu Istra-Dalmacija, koju karakterizira plitkomorska karbonatna sedimentacija do eocena, zatim fliš, a dijelom i debela serija gornjoeocenskih molasnih sedimenata, i boranje uz reversna rasjedanja. Premda je veći dio naslaga karbonatnog razvoja, ni one nisu produkt kontinuirane sedimentacije, jer su epirogenetski pokreti u nekoliko navrata vršili prekid sedimentacije u dužim ili kraćim razmacima.

Dugi otok pripada u tektonsku jedinicu Zadarski otoci. Odlike ove tektonske jedinice su reversni rasjedi, tonjenje osi antiklinale i sinklinale, te djelomično prevrnute strukture. Struktura Dugi otok ima obilježje strukture Lošinja. Vapnenci barem-apta u području Božave nagnuti su na alb-cenomanske dolomite, koji su samo djelomično izoklinalno postavljeni. Vapnenci cenoman-turona većim su dijelom ustrmljeni kao i vapnenci senona, koji slijede iza njih. Svi su stratigrafski članovi međusobno u rasjednom kontaktu, od kojih je rasjed na kontaktu barem-aptskih vapnenaca i dolomita donja-gornja kreda najjači i reversan. Naslage Dugog otoka su borane i rasjedane. Kod Savra dolomit starosti donja-gornja kreda leži na cenomansko-turonskim naslagama navučen reversnim rasjedom. Prema JZ naslage su ispresijecane nizom rasjeda i pukotina koji su fotogeološki uočeni, a na terenu su maskirani trošnošću i čestim litološkim promjenama. Najstariji stratigrafski član kredni dolomiti su smješteni u jezgri antiklinale Luka-Žman-Sali. Osa joj je ploha uspravna, sa srednje strmim krilima. Prema JI antiklinala tone pod vapnence i dolomite s honrodontama i rudistne vapnence račvajući se u dva kraka – dvije nove antiklinale. Sjeverni krak predstavlja antiklinala otoka Žut, a južni krak antiklinala otoka Kornata. Sinklinala Telašćica (paralelna s antiklinalom Luka-Žman-Sali) uska je, sekundarno borana i rasjednuta, većim dijelom prevrnuta. Prema JI tone pod more u zaljev Telašćica. JZ krilo ove sinklinale u stvari je SI krilo jedne u tjemenu razorene antiklinale, sa strmo odsječenim JZ krilom. Zbog toga je obala Dugog otoka ovdje strma (do 200 m nad morem). Ova se pojava može pratiti dalje na JI preko rascjepkanog Kornatskog otočja.

Zbog podvlačenja jadranske pod dinarsku litosferu mikroploču ovo je područje neotektonski i seizmički aktivno. Prema KUK I DR. (1999.) izdvojene seizmotektonski aktivne zone koreliraju duž presjeka s rasjedima na površini (Sl. 2.). Prva je zona povezana s velebitskim rasjedom, koji je nagnut 55° u zoni od 10 km i obilježen hipocentrima na dubini od 13 km. Relativno usko područje, s nagibom od 20-30°, korelira s dugootočkim i zadarskim rasjedom. Prostorni razmještaj ovih zona ocrtavaju reversni

odnosi i zamjene strukturnih jedinica. Naj snažniji potresi pojavljuju se izvan ovih zona, na dubinama od 20-30 km. Najvjerojatnije su povezani s rasjedima koji dopiru na površinu u središnjem dijelu, na dnu Jadranskog mora, ili reflektiraju nedavne deformacije relativno dubljih dijelova Zemljine kore.



Sl. 2. Seizmotektonski presjek Dugi otok – Zadar – Velebit: 1 – seizmo-tektonski aktivne zone; 2 – epicentri potresa s magnitudama: a) < 4, b) 4-5, c) > 5; 3 – rasjedi; 4 – kontakt karbonata i drugih stijena (KUK I DR., 2000.)

Fig. 2 Seismotectonic cross-section Long Island – Zadar – Velebit: 1 – seismotectonically active zones; 2 – earthquake epicentres with magnitudes: a) < 4, b) 4-5, c) > 5; 3 – faults; 4 – 2 inferred contact between the carbonates and underlying rocks (KUK ET AL., 2000)

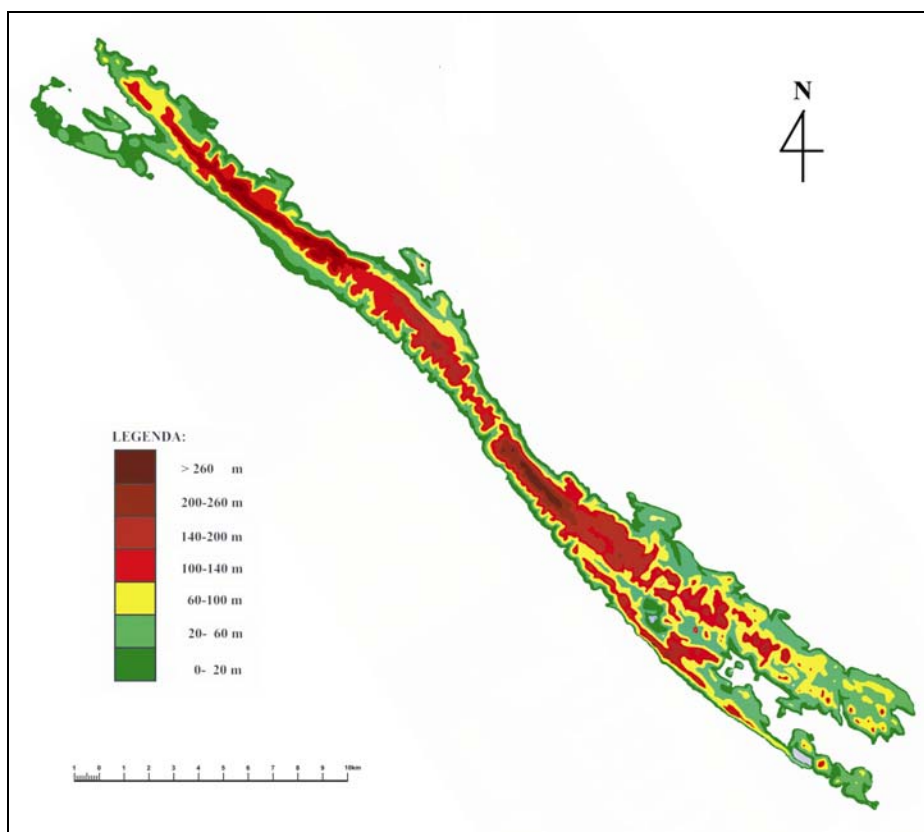
Analiza reljefa

Opće morfološke osobine

Dugi otok predstavlja hrptastu reljefnu strukturu koja se najvećim dijelom nalazi iznad mora. Hrbat je izdužen u dinarskom pravcu pružanja JI-SZ u dužini od 44,5 km, dok mu širina varira od 1,2 km (između uvale Vela luka na JZ padini i Uvale Hrnjetine na SI padini) do 4,5 km (kod Zaglava, odnosno 4,8 km na području PP "Telaščica"). U reljefnoj strukturi na otoku se izdvajaju tri dijela: jedinstveni, viši, hrptasti centralni dio koji prema SZ (kod Solina) i JI (PP "Telaščica") kraju otoka prelazi u odvojene, niže, razvedene dijelove.

Hipsometrija

Dugi otok ima jasno izražen dinarski pravac pružanja SZ-JI, pa iz toga slijedi i relativno pravilan zonalni raspored visinskih stupnjeva. Na središnjem dijelu otoka prostorni raspored visinskih katova upućuje na slabije izraženu asimetriju (kod Savra i Žmana). Na JI dijelu otoka uočava se niži dio oblikovan u sinklinali – udolini, dok su viši dijelovi, odnosno paralelni hrptovi (koji omeđuju zaljev Telašćicu) predstavljeni antiklinalama – uzvišenjima. Nagli prijelaz visinskih kategorija uočava se na vanjskoj, JZ strani otoka, koja zapravo predstavlja rasjedni, dugootočki strmac. Na krajnjem SZ dijelu otoka uočavaju se tri paralelna kraka. Najviši (apsolutne visine 132 m) od njih je krajnji SI krak, koji predstavlja antiklinalu – uzvisinu. Suprotno tome, najniži (apsolutne visine 37 m), JZ krak predstavlja sinklinalu – udubinu. (Sl. 3.)

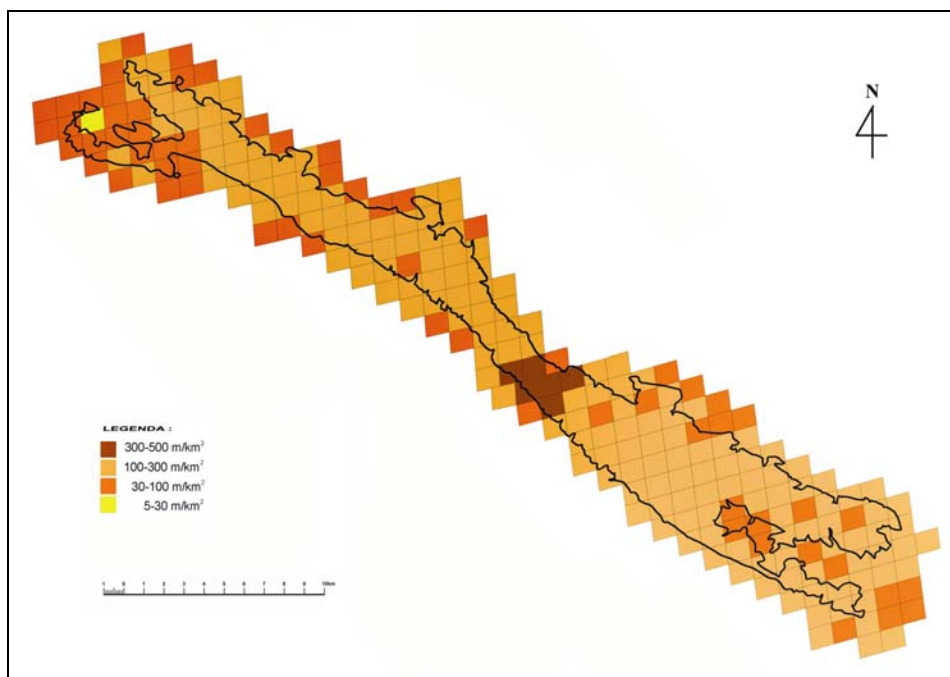


Sl. 3. Hipsometrijska karta
Fig. 3 Hypsometrical map

Vertikalna rasčlanjenost reljefa²

U skladu s intenzitetom tektonskih pokreta i djelovanja korozivskih, derazijskih i abrazijskih procesa, vertikalna rasčlanjenost reljefa obilježena je odgovarajućom dinamikom. Značajne razlike iskazuju se u pojedinim dijelovima istraživanog prostora.

Vertikalna rasčlanjenost (ili energija) reljefa pokazuje određene razlike po pojedinim reljefnim cjelinama. Središnji, hrptasti dio otoka je najraščlanjeniji, posebno u svom središnjem dijelu. Na ovom dijelu energija reljefa doseže i preko 300 m/km². Niže kategorije vertikalne energije reljefa su na SI padini središnjeg dijela otoka. Također, kategorije niže vrijednosti (30 do 100 km²) imaju krajnji, razvedeni JI, a posebno SZ dio otoka, gdje pripada i kategoriji od 5 do 30 km² (Sl. 4.).



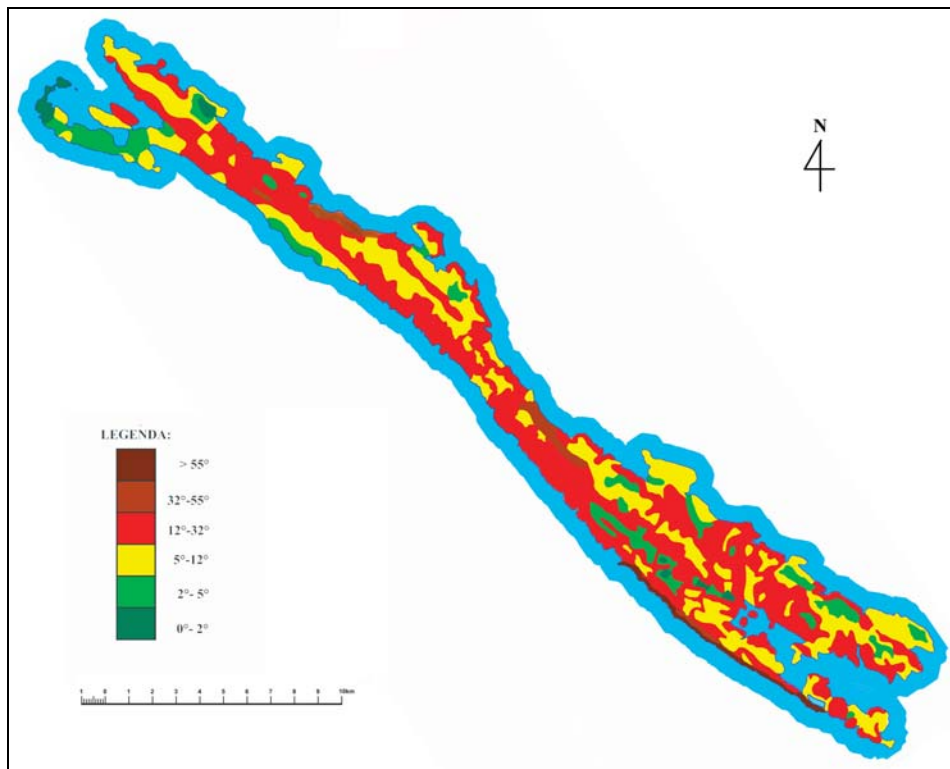
Sl. 4. Karta vertikalne raščlanjenosti reljefa

Fig. 4 Relative relief map

² Pri izradi karte energije reljefa uzete su u obzir i dubine mora jer padine otoka čine cjelinu do dubljih, ravnijih dijelova morskog dna.

Nagibi

Na području Dugog otoka, nagibi su zastupljeni sa svih šest osnovnih kategorija reljefa: od 0-2°, 2-5°, 5-12°, 12-32°, 32-55° i > 55°. Najveći dio otoka pripada četvrtoj kategoriji nagiba (12-32°), međutim, uočavaju se određene razlike. Najviše vrijednosti nagibi dosežu na području strukturnog strmca, na JI, pučinskoj strani, te na središnjem, hrptastom dijelu otoka. Najniže vrijednosti nagiba poglavito su vezane uz dna krških uvala, osobito na području sinklinala – udolina na SZ (Dolac kod Velog Rata) i krajnjem JI dijelu otoka (Žmanska jezera i Dugo njive) (Sl. 5.).

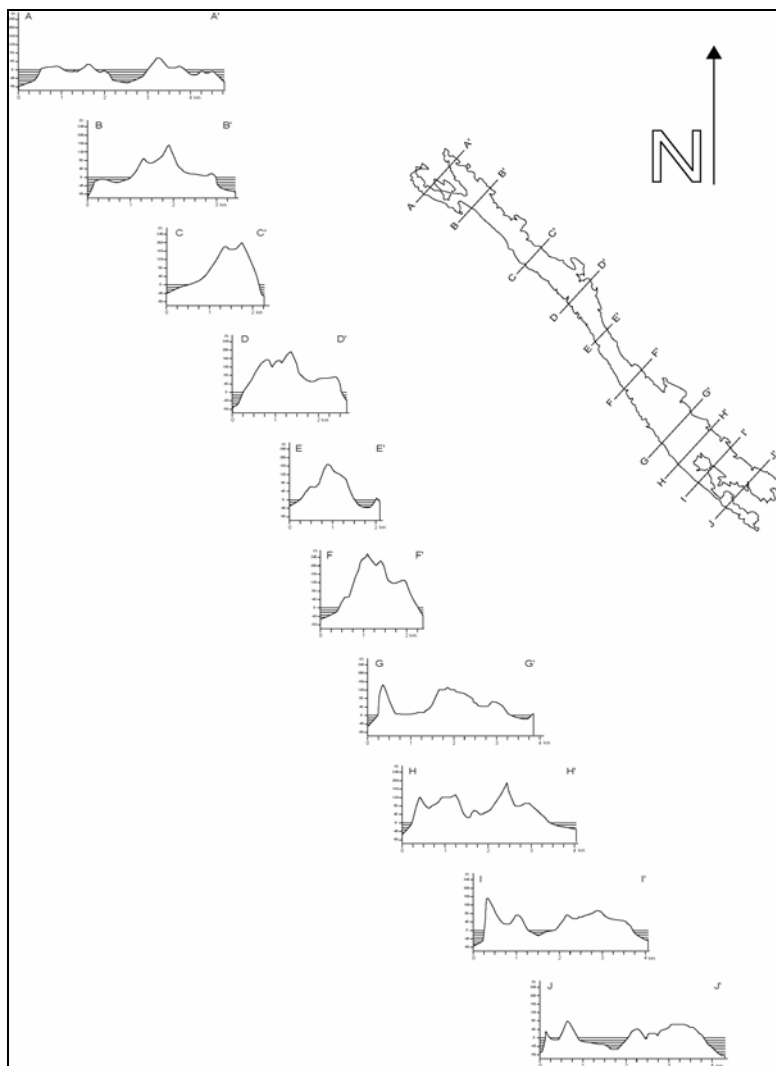


Sl. 5. Karta nagiba

Fig. 5 Inclination map

Strukturne geomorfološke značajke

Osnovna tektonska struktura Dugog otoka u kombinaciji s mladim pokretima i postpleistocenskom transgresijom bitno je utjecala na morfostrukturna obilježja reljefa (Sl. 6. i 7.). Mogu se izdvojiti tri osnovna tipa morfostrukturnih reljefnih jedinica. To su hrbat – antiklinale, udoline – sinklinale i asimetrična uzvišenja s blokovskom strukturom.



Sl. 7. Poprečni profili Dugog otoka
Fig. 7 Cross-sections of Dugi Otok Island

U pravilu, antiklinalne reljefne strukture poklapaju se s pozitivnim reljefnim oblicima, a to su izdužena uzvišenja dinarskog pravca pružanja koja su zavisno od egzogenog oblikovanja u predstransgresijskoj fazi oblikovana u niz istaknutih glavica i prijevoja. Izdizanje morske razine u postpleistocenu rezultiralo je potapanjem nižih sedala na krajnjem JI dijelu Dugog otoka, te je on tako odvojen od susjednog arhipelaga Kornata. U oblikovanju glavica i prijevoja veliko značenje imali su rasjedi pravca pružanja SI-JZ.

Udoline – sinklinale se fragmentarno pojavljuju na krajnjim SZ i JI dijelovima. Pretpostavlja se da su poprečni rasjedi utjecali na izdizanje, odnosno spuštanje dijelova sinklinala. Na području Dugog otoka mogu se izdvojiti dvije sinklinale – udoline. Manja udolina – sinklinala na SZ dijelu kod Velog Rata, a veća, na krajnjem JI dijelu, na području PP "Telašćica". Krajnja JI sinklinala - udolina dijelom je potopljena i predstavlja zaljev – Telašćicu (Sl. 8.). Najniži dijelovi sinklinala – udolina predstavljaju lokalne denudacijske baze padinskih procesa. Tako dolazi do izražaja koncentracija korelativnih sedimenata akumuliranih derazijskim procesima s padina. Udoline – sinklinale u lokalnoj toponomastici imenovane su kao polja, s obzirom na to da predstavljaju najvrjednije agrarne površine na otoku. Međutim, treba naglasiti da se tu ne radi o pravim zavalama polja u kršu. Korozijsko širenje tih polja u rubnom je smislu neznatno, pa iz toga slijedi zaključak da korozija nije imala značajniju ulogu u njihovu oblikovanju (JURAČIĆ I DR., 2003.).



Sl. 8. Morska uvala Telašćica nastala ingresijom mora i potapanjem krških uvala
Fig. 8 Telašćica Bay as the result of the post-Pleistocene transgression and submersion of karst uvalas

Dobar primjer za objašnjenje razlike između strukturalnog strmca i klifa je Dugootočki rasjed (Sl. 9.). Zbog različitih procesa koji se zbivaju u Zemljinoj unutrašnjosti, jadranska litosferna mikroploča (koja se odvojila od afrička megaploče) već se milijunima godina pomiče prema istoku, sjeveroistoku i sjeveru i podvlači (subducira) pod euroazijsku ploču. Cijeli sredozemni prostor, a samim tim i jadranski, leži upravo u ovoj seizmički aktivnoj zoni, u kojoj su se, kao posljedica, zbivala (i još uvijek se zbivaju) intenzivna boranja, rasjedanja i navlačenja Zemljine kore. Područje Dugog otoka pod utjecajem je znatne neotektonske i seizmičke aktivnosti. Naime, tu dolazi do sudaranja strukturalnih jedinica Jadrana i Dinarida, a uzročnici potresa su tektonski pritisci, koji uzrokuju navlačenje geotektonskih jedinica i horizontalno smicanje, te rotaciju tektonskih blokova. To navlačenje vidljivo je u obliku seta rasjeda (reverznih i normalnih,

relaksacijskih rasjeda), među koje pripada i poznati Dugootočki rasjed. Dugootočki rasjed karakteriziran je velikim skokom, te tvori visoke tektonske strnce. Zbog pritiska koji se javljaju u stijenama, dolazi do nastanka rasjeda, tj. pucanja Zemljine kore, te pomicanja blokova stijena po rasjednoj plohi, tj. paraklazi. Pomak tih stijenskih blokova može biti neznatan, no kadšto taj pomak iznosi i preko stotinjak metara. Dugootočki rasjed najljepše se oslikava upravo ovdje gdje se nalazi strmac Grpaščak visok oko 146 m. Okomite litice rasjednog podrijetla preoblikovane su abrazijom i denudacijom. Tektonska aktivnost bila je najizraženija u oligocenu, te u miocenu, te ponovno krajem pliocena i kroz čitav kvartar. Karakteristike Dugootočkog rasjeda su: veliki skok (visina iznad morske razine doseže 146 m, a ispod morske razine spušta se do dubine od 90-ak m), granica između geotektonskih jedinica, nagib slojeva od 55° te širina rasjedne zone pri površini od 10 do 20 km (JURAČIĆ I DR., 2003.).



Sl. 9. Dugootočki strmac ("klif")

Fig. 9 Dugi Otok Island structural slope ("cliff")

Čuvane "krune" (strmac) okrenute su prema otvorenom moru, a karakteriziraju većinu vanjskih otoka u pučinskom otočnom nizu. Procesi korozije, fizičkog trošenja i osobito abrazije samo su dodatno "ukrasili" ovu golemu plohu koja se ovdje okomito spušta u morske dubine. Naime, zbog jake energije valova koji djeluju na litice, na mjestima dolazi do stvaranja valnih potkapina, tj. valovi uzrokuju odlamanje komada stijena i nastaju uleknuća u stijeni na mjestima izloženim udaru valova. Valja istaknuti da ovi strmci nisu klifovi. Klifovi nastaju isključivo djelovanjem valova na obalu. Zbog toga u podnožju klifa (u morskoj razini) nalazimo blagu kosinu (abrazijsku terasu). Toga kod tektonskih strmaca nema, strmac se kontinuirano nastavlja i ispod morske razine (u ovom slučaju i do 90 m duboko) (JURAČIĆ I DR., 2003.).

Egzogeno-geomorfološke značajke

Intenzitet pojave pojedinih egzogenih reljefnih oblika, kao i njihove veličine, posljedica su utjecaja tektonskih pokreta, litoloških, strukturnih, reljefnih, pedoloških i klimatskih osobina na djelovanje korozijskog procesa, ali i antropogenih utjecaja. No,

zbog izrazite prevlasti karbonatnoga stijenskog kompleksa krški se reljef javlja kao dominantan na području Dugog otoka.

Kod litoloških osobina stijenskog kompleksa, pri oblikovanju krškog reljefa u prvom se redu misli na udio čistog CaCO_3 u sastavu stijena. Prema veličini egzokrških, ali i endokrških oblika, može se uočiti da je do njihova najčešćeg oblikovanja došlo u naslagama gdje dominiraju vapnenci s visokim udjelom čistog CaCO_3 .

Kod strukturne predispozicije u prvom se redu misli na vrstu i gustoću primarnih i sekundarnih šupljina i pukotina, kao i nagib slojeva. S obzirom na to da je Dugi otok skoro u potpunosti izgrađen od uslojenih naslaga, često je nagib njihovih slojeva utjecao na oblik i veličinu krških oblika (npr. asimetrične ponikve). Do intenzivnijega korozijskog procesa osobito je došlo na dijelovima sa povećanim nagibom slojeva, u prvom redu duž dijastroma. Tektonskim pokretima nastale su veće (paraklaze i dijaklaze) i osobito brojne, manje (brahiklaze i leptoklaze) pukotine, a uz njih korozijom brojni krški oblici. Jedno od osnovnih obilježja krških oblika (nastalih duž sekundarnih pukotina) je izduženost po pružanju pukotina.

Pojava, kao i gustoća pojedinih krških oblika ovisi o nagibu reljefa. Krški oblici znatno su raznovrsniji i veći na horizontalnim podlogama i blago nagnutim padinama (do 12°), gdje dominira poniranje vode i "prenošenje" korozijskog procesa u unutrašnjost karbonatnog stijenskog kompleksa. Suprotno tome, na dijelovima s većim nagibima, pojava takvih oblika znatno je rjeđa, a to je u prvom redu posljedica bržega površinskog otjecanja vode, te je na taj način smanjena mogućnost intenzivnijeg djelovanja korozije.

Klimatski elementi važni su s obzirom na dužinu i intenzitet korozije. Među njima se ističu količina padalina, temperatura i vjetar. Količina padalina s udaljavanjem od mora postupno raste (npr. V. Sestrica 581 mm, Sali 738 mm, a Brbinj 877 mm). Cijelo područje Dugog otoka karakterizira mediteranski pluviometrički režim, odnosno količina padalina veća je u hladnijoj nego u toplijoj polovici godine. S obzirom na geografski položaj Dugog otoka koji obilježava okolno more, ono utječe na njegove termičke značajke. Srednje mjesečne temperature tijekom cijele godine veće su od 8°C . Pojava hladnih dana praktično je zanemariva, te je kao posljedica toga i utjecaj leđenja na oblikovanje reljefa zanemariv. Naime, proces leđenja, odnosno raspadanje stijenskog kompleksa uvjetovano leđenjem vode u pukotinama, zapravo je najizrazitiji destruktivski proces pri oblikovanju reljefa, dok je zbog termičkih osobina na području Dugog otoka zanemariv (JURAČIĆ I DR., 2003.).

Visoke ljetne temperature zraka tijekom ljetnih mjeseci, mala količina padalina, te kontinuirana vjetrovitost tijekom toplije polovice godine utječu na jaku evapotranspiraciju, što uvjetuje njezinu izrazitu sušnost na području cijelog otoka. U takvim je uvjetima intenzitet korozije i biokorozije smanjen, zapravo za jačih suša skoro u potpunosti nedostaje u plitkim tlima koja prevladavaju.³

³ Mjerenjima intenziteta površinske korozije pomoću vapnenačkih tableta (PERICA, 1998.) to je i potvrđeno. Intenzitet korozije na JZ padini najveći je na njezinim središnjim dijelovima, dok neznatno opada prema nižim dijelovima, a izrazito prema vršnim dijelovima Velebita. Niže i središnje dijelove JZ padine karakterizira osjetno veći intenzitet korozije u tlu nego na površini. Tako je odnos intenziteta korozije na površini i u tlu na području V. Paklenice (560 m) 1:2,55, a na Babrovači (920 m) 1:3,49. Veći relativni odnos treba tražiti u jačem biokorozivskom procesu kojem pogoduje duže vegetacijsko razdoblje.

Vegetacijski pokrov, odnosno šume bora i crnike, makija i garig, te brojni maslinici i vinogradi, koji prekrivaju veći dio otoka, u znatnoj mjeri sprječavaju površinsko spiranje pedosfere, koja je u najvećoj mjeri predstavljena plitkim, skeletnim tlima. Zaštitno djelovanje vegetacijskog pokrova osobito je značajno na onim dijelovima otoka gdje je nagib padina veći od 12°.

Na oblikovanje reljefa znatan je utjecaj imala i klima tijekom zadnje oledbe. Tijekom zadnjeg zahlađenja (Würm III) temperatura zraka na ovom je području bila niža za približno 12 °C, odnosno prosječna godišnja temperatura zraka bila je oko 4 °C. S obzirom na to da takve termičke prilike danas vladaju u vršnim dijelovima Velebita, gdje je mrazno trošenje stijenskoga kompleksa danas jedan od dominantnih procesa u oblikovanju reljefa moguće je pretpostaviti slične procese na Dugom otoku tijekom Würma (JURAČIĆ I DR., 2003.).

Na kraju, čovjek, koji na ovom području kontinuirano boravi još od najranijih razdoblja pretpovijesti, uništavanjem vegetacijskog (šumskog) pokrova uvjetovao je znatno bržu denudaciju i spiranje tankoga pedološkog pokrova, pa je kao posljedica toga stijenska podloga izbila na površinu. Takvo dugotrajno, negativno gospodarenje prostorom utjecalo je na njegovu izrazitu ogoljelost, osobito na izbočenim dijelovima padina. Tako danas na mnogim dijelovima otoka (npr. Ribarska straža) dominiraju goli i polupokriveni krš, koji vrlo često prelaze u ljut. Suprotno tome, na "uvučenim" dijelovima jaruga, a osobito derazijskih dolina, te blažim dijelovima padina, nakupine tla privukle su čovjeka, te je tu izgradio cijele sustave terasastih polja.

Krški i fluviokrški reljef

Egzokrški reljef. Grižine, odnosno "izjedline" nastale korozijskim djelovanjem vode, najrasprostranjeniji su krški oblik na području Dugog otoka. Razni oblici grižina javljaju se počevši od morske obale, pa do najviših dijelova Dugog otoka. Najuočljivije su u obalnom području i ogoljenim dijelovima otoka.

Prema BÖGLJU (1980.), jedna od osnovnih odlika grižina je njihova iznimna raznolikost oblika i načina nastanka. Oblikovanje raznih tipova grižina uvjetovano je nagibom padina, litoškim osobinama stijena i stupnjem njihove raspucalosti. Njihov je izgled uvjetovan odnosom nagiba padine prema nagibu slojeva, stupnjem pokrivenosti karbonatnih stijena tlom i vegetacijom, odnosno stupnjem ogoljelosti karbonatne podloge, što je uvjetovalo način na koji je djelovala korozija: a) izravno atmosferskom vodom; b) vodom procijeđenom kroz tlo; c) vodom prisutnom u tlu ili d) miješanom morskom i atmosferskom vodom (u zoni mlata valova). Litostratigrafske osobine naslaga također imaju veliku važnost pri oblikovanju grižina. U tanko uslojenim naslagama one nedostaju, ili se uglavnom radi o grižinama manjih dimenzija, dok svoju raznolikost i maksimum razvoja dosežu u deblje uslojenim naslagama. Vrlo često postoje varijacije kad se dvije ili više vrsta grižina miješaju, pa zbog toga postoje razni prijelazni oblici. Promjena načina na koji djeluje korozija, uvjetovana ogoljavanjem padina ili, suprotno, njihovim obrastanjem, klimatskim promjenama ili promjenom nagiba (kod karbonatnih stijenskih blokova) vrlo često rezultira različitom genezom, a s tim povezano i vrstom grižina. Kao rezultat toga oblikuju se poligenetski tipovi grižina, a kadšto može doći i do potpune promjene tipa grižina (PERICA I DR., 2001.).

Među grižinama svojom čestinom pojave na području Dugog otoka izdvajaju se žljebovi, škrape, kamenice i biokorozijske udubine.

Morfološki, tipove grižina prema veličini FORD i WILLIAMS (1994.) dijele na *mikrogrižine* dimenzija manjih od 1 cm (najmanji oblici uočljivi su tek pod elektronskim mikroskopom), *grižine* dimenzija od 1 cm do 10 m, i *velike grižine*, koje su veće od 10 m. Osnovno obilježje mikrogrižina prema njima je njihov razvoj u homogenim, sitnozrnatim stijenama, a pojedini oblici nastaju kao posljedica korozijskog djelovanja vode koja je povučena kapilarnim tlakom. S obzirom na to da ove grižine imaju oblik nepravilnih žljebića, kadšto meandrirajućih, to potvrđuje korozijsko djelovanje vode kapilarnih tokova, koja je povučena kapilarnim tlakom. Također, pri oblikovanju mikrogrižina veliku biokorozijsku važnost imaju bakterije, lišajevi, i mahovine. Ističu se modrozeleno bakterije (cijanobakterije u starijoj literaturi poznate kao "alge") koje direktno stvaraju rupice u stijeni do dubine od 1 mm, a na njihovo mjesto dolaze druge vrste, koje zbog produkcije CO₂ i organskih kiselina omogućavaju razvoj korozijskog procesa (VERGES, 1985.). Prema FOLKU i DR. (1973.) modrozeleno "alge" osobito su važne pri oblikovanju priobalnih krških oblika.

Žljebovi se javljaju od obalnih dijelova, pa sve do najviših dijelova Dugog otoka. Prema nastanku razlikuju se dvije vrste žljebova, i to: a) oni koji su oblikovani na goloj karbonatnoj podlozi direktno korozijskim djelovanjem atmosferske vode, a u obalnim dijelovima (zoni mlata valova) i miješanom vodom i b) oni oblikovani pod pedološkim pokrovom (a naknadno su ekshimirani) vodom koja je dodatno obogaćena s CO₂ biogenog podrijetla (PERICA i DR., 2004.). Žljebovi nastali direktnim korozijskim utjecajem atmosferske i miješane vode (u obalnoj zoni) karakteristični su za strmije (nagiba većeg od 20°), ogoljele dijelove karbonatnih stijena. Nastaju na malim kamenim blokovima (površine svega nekoliko dm²), a svoj maksimum razvoja dosežu u obalnom području na nagnutim plohama slojeva.

Žljebovi nastaju pri ovlaživanju nagnutih, golih površina karbonatne stijene atmosferskom vodom bogatom s CO₂ iz zraka. Voda pri kontaktu snažno korodira golu karbonatnu podlogu, a zbog nagiba otječe prema nižim dijelovima najpogodnijim pravcem. Vrlo su česte na karbonatnim površinama čiji nagib varira od 30° do 70°. Iako je voda koja otječe, djelomično zasićena karbonatnom otopinom, zbog pritjecanja novih padalina u nižim dijelovima i miješane vode, ona je još uvijek (zapravo i jače) agresivna. Kao posljedica toga, prema nižim dijelovima dolazi do proširivanja i produbljivanja žljebova, dok se istodobno njihovi rubovi suzuju (BÖGLI, 1980.). Širina i dubina žljebova varira od nekoliko mm pri vrhu, postupno se šireći prema nižim dijelovima. U slučajevima kad dolazi do promjene nagiba žljebova, njihove se dimenzije (širina i dubina) mijenjaju. Pri povećanja nagiba žljebovi postaju uži i dublji, a na većim nagibima poprimaju izgled "klina". To je posljedica slabijega lateralnog, a bržega regresijskoga korozijskog djelovanja vode, koje je uvjetovano njezinim bržim specifičnim otjecanjem i jačom koncentracijom u samom krajnjem usjeku žlijeba. Suprotno tome, sa smanjenjem nagiba, a samim tim i sporijega specifičnog otjecanja vode, što uvjetuje jačanje lateralnoga korozijskog djelovanja, žljebovi postaju širi i plići, poprimajući blago zaobljen izgled (PERICA i DR., 2001.).

Žljebovi često dosežu širinu od 20 cm i dubinu do 10 cm, a kod pojedinih žljebova u obalnom području dimenzije mogu biti i veće. Ovakvi žljebovi osobito su česti u obalnom području (široj zoni mlata valova). Njihova veličina, odnosno dužina posljedica je podudarnosti površine stijenskog "lica" s nagibom padine – obale (stijenskog

lica). Za nastanak tako velikih žljebova zasigurno je veliku važnost imala miješana voda. Treba naglasiti da su najduži primjerci ovih žljebova nastali na mjestima nekadašnjih (najvjerojatnije antičkih) kamenoloma. Mjestimično, zbog lateralnog djelovanja korozije, bridovi žljebova sve se više stanjuju i postaju iznimno oštri, a na njihovim strmim stranama vrlo često dolazi do oblikovanja sekundarnih žljebova. Kao posljedica usijecanja sekundarnih žljebova bridovi poprimaju nazubljen izgled. Pri razvoju sekundarnih žljebova, oni su sve plići i širi u odnosu na primarni žlijeb, koji u pravilu ima povećan nagib strana. To je posljedica već navedenog primanja manje količine atmosfere vode na jedinicu površine i njezina bržeg zasićenja (PERICA I DR., 2001.). Konačni rezultat je manji odnos širine i dubine žljebova u odnosu na primarni žlijeb.

Drugi tip žljebova, nastao korozivnim djelovanjem vode koja je dodatno obogaćena biogenim CO₂, znatno je rjeđi. Ovi žljebovi (subkutani žljebovi), nastali su subkutanom korozijom pod pedološkim pokrovom. Uglavnom se pojavljuju samostalno, rjeđe u grupama, a značajno je da nastaju i na blažim nagibima. Ovaj tip žljebova može se uočiti na onim dijelovima obale gdje je došlo do novije ekshumacije obale mlatom valova. Obilježava ih blaga zaobljenost polukružnog oblika, plitki su, ali široki, a prema donjem dijelu znatno se slabije šire. U slučajevima kad ih se javlja više, odvojeni su blago zaobljenim pregibima. Takav njihov izgled posljedica je dužeg i sporijeg otjecanja vode u tlu, što uvjetuje ravnomjernije vlaženje, odnosno korozivno djelovanje na stijensku površinu. No, izgled ovih žljebova upućuje da je i ovdje došlo do koncentriranja vode pri slijevanju, ali u znatno manjoj mjeri nego na goljoj podlozi. Javljaju se i na svega nekoliko stupnjeva nagiba, no odnos dubine i širine žlijeba pri promjeni nagiba ima identične osobine kao i žljebovi nastali direktnim utjecajem atmosfere vode (PERICA I DR., 2001.).

Dijelove obale, udaljene od zone djelovanja mlata valova, obilježava i pojava brazdi humusne kiseline, a uglavnom se javljaju pojedinačno. Za razliku od prethodnog tipa žljebova, nastaju korozivnim djelovanjem vode koja se slijeva niz površinu karbonatnih stijena iz pedološkog pokrivača, rjeđe iz pukotina u stijeni, a koje su dodatno obogaćene s CO₂ biogenog podrijetla. Njihova je veličina manja od atmosferskom vodom oblikovanih žljebova, i to poglavito, zbog ograničene količine CO₂ u vodi, što uvjetuje njenu bržu zasićenost i prestanak daljnjeg oblikovanja (PERICA I DR., 2001.).

Kad se naiđe na blago nagnutu površinu od svega par stupnjeva, žljebove obilježava širenje i njihov potpuni nestanak. Međutim, kadšto u nastavku poprimaju meandrirajući oblik. Iznimno lijepi primjeri meandarskih žljebova mogu se uočiti na blaže nagnutim dijelovima obale. Meandri imaju tipičnu podrezanu kosinu na vanjskoj strani, a blagu na unutrašnjoj strani. Širina i dubina tih žljebova rijetko prelazi više od 5 cm, dok im dužina može biti i od više metara.

Škrape su osobito česte na položitim padinama (nagiba < 12°). Prema obliku dijele se na pukotinske i mrežaste, po genezi dijele se na one oblikovane na golim stijenama atmosferskom vodom i one oblikovane pod pedološkim i vegetacijskim pokrovom subkutanom korozijom. Na izgled škrapa također su utjecale litološke osobine stijena na kojima se javljaju. S obzirom na to da je otok pretežno izgrađen od srednje i deblje uslojenih karbonatnih naslaga, prevladavaju pukotinske škrape, dok su mrežaste škrape znatno rjeđe, a javljaju se u područjima za koja je karakteristično postojanje brojnih sekundarnih pukotina (npr. obalno područje podno Velog vrha). Oblikovanje pukotinskih škrapa u uslojenim naslagama poglavito je vezano uz dijastrome i dijaklaze. Pri oblikovanju mrežastih škrapa (Sl. 10.) veliko značenje imaju brahiklaze i leptoklaze koje su usmjerile korozivski proces (BOGNAR, BLAZEK, 1986.). Mrežaste škrape formirane na

uslojenim stijenama imaju pravilnije oblike (PERICA I DR., 2001.). Do njihova razvoja došlo je ponajprije na stijenama jače nagnutih slojeva, gdje se korozijsko djelovanje vode odvija uz dijastrome i sekundarno nastale pukotine. Škrapski kanali nastali uz dijastrome osjetno su duži, a često i dublji od ostalih, ponajviše okomitih kanala. Takvi primjeri mrežastih škrapa osobito su lijepo razvijeni na obalnom dijelu PP "Telašćica" podno Velog vrha (148 m) i na području Usobine.



Sl. 10. Mrežaste škrape na Ribarskoj straži

Fig. 10 Net karrens on Ribarska straža

Ekshumirane škrape, koje su oblikovane pod pedološkim pokrivačem, obilježavaju brojne udubine eliptičnog ili posve okruglog oblika, širina kanala koja premašuje 30 cm, njihova česta zaobljenost u rubnim dijelovima i koritast izgled pri dnu, kao i glatkoća bočnih strana kanala/udubina. Nastanak tih udubina/kanala posljedica je korozijskog djelovanja vode u tlu koja je dodatno obogaćena s CO₂ iz humusa. Takva voda djeluje korozijski u svim pravcima, što je utjecalo na istodobno bočno širenje i produbljivanje udubina. No, kad je dno kanala/udubine prekriveno većom količinom rezidualne gline, zbog velike količine suspendirane karbonatne otopine, korozijsko djelovanje (u dubinu) u takvim je slučajevima slabijeg intenziteta. To posebno utječe na slabije produbljivanje kanala. Uništavanje šumskog pokrova paljenjem koje je započelo još u pretpovijesti, a trajalo je do nedavne prošlosti (sredine 20. st.), radi stvaranja pašnjačkih površina, te nagib padina omogućili su jaku deraziju i deflaciju (odnošenje tla vjetrom) što je rezultiralo ogoljenjem padina (CVJIĆ, 1927., ROGIĆ, 1958., PERICA I DR., 2001.). Prema BÖGLIJU (1980.), ekshumirane škrape ogoljele su već oko dva stoljeća, odnosno njihov ranije zaobljeni rub zbog korozijskog djelovanja atmosferskih voda jedva

je prepoznatljiv. Međutim, tome osim korozije treba dodati i utjecaj jakog zagrijavanja površinskog dijela stijenske mase pri požarima (odnosno paljenju šuma radi stvaranja pašnjačkih površina i onih požara izazvanih udarima groma⁴) (PERICA, KUKIĆ, 1992.).

Za razliku od škrapa nastalih subkutanom korozijom, one nastale direktnim korozijskim djelovanjem atmosferskih voda imaju osjetno uže kanale i oštre vrhove. Atmosferska voda koja korodira golu karbonatnu podlogu, brzo otječe u pukotinama, tako da je odnos širine i dubine kod ovih škrapa znatno veći nego kod onih nastalih subkutanom korozijom. Iako je dubina njihovih kanala vrlo često i preko jednog metra, nju je teško odrediti zbog njihove u pravilu, iznimno male širine. Utvrđeni su i prijelazni oblici škrapa, osobito na dijelovima s blažim nagibima koji se koriste u agrarnoj proizvodnji, poglavito kao maslinici.

U obalnom području, odnosno zoni djelovanja mlata valova (odnosno miješane vode), često se može uočiti na maloj udaljenosti (od svega nekoliko metara) razvoj škrapa (najčešće mrežastih), od najmlađe do završne faze oblikovanja. Takav razvoj osobito je dobro uočljiv na onim dijelovima obale koji su blago nagnuti (manje od 12°) prema moru, a nagib slojeva sukladan je nagibu padine. Naime, "završetak" (izdanak) slojeva koji su u krovini, obilježava faza griža (poznatog i pod imenom grohot), dok one u podini obilježava pojava malih, novih pukotina. Na dijelovima gdje prevladavaju škrape na uslojenim stijenama blažeg nagiba, zbog usmjerenosti korozijskog djelovanja (sa svih strana stijenskog bloka, odnosno sloja) duž dijastroma dolazi do bržeg stvaranja griža. U slučajevima kada do njihova trošenja dolazi na strmijim padinama zbog gravitacijskoga kretanja fragmenata oblikuju se koluvijalni zastori. Također, mjestimično na obali dolazi do akumuliranja griža u obliku koluvijalnih zastora.

Na dijelovima gdje prevladava goli krš česta je pojava kamenica. Dubina im varira od nekoliko mm pa do nekoliko desetaka cm, a širina i dužina od nekoliko cm pa do nekoliko m. Najvećim, iznimno rijetkim primjercima dubina doseže i do 1 m, a dužina više od 15 m. Prema GAMSU (1974.) razlikuju se dvije vrste kamenica: kamenice oblikovane pod pedološkim pokrivačem subkutanom korozijom, i kamenice oblikovane na goloj karbonatnoj površini. Prva vrsta kamenica nastaje biokorozijskim produbljivanjem primarnih udubina. Ta vrsta kamenica uglavnom ima polukružni ocrtni profil. Jedno od osnovnih obilježja – prevjesni rub, u potpunosti nedostaje. Oblikovanje druge vrste kamenica, ili pravih kamenica prema GAMSU (1974.) vezano je za postojanje udubina na ravnim ili blago nagnutim površinama, koje su nastale pod pedološkim pokrovom subkutanom korozijom.

Pri razvoju kamenica druge vrste, na golim karbonatnim stijenama (ili "pravih kamenica" prema GAMSU, 1974.) treba razlikovati četiri faze. Prve su dvije faze razvojne, a druge dvije destruktivne. Veličina (u prvom redu promjer) ove vrste kamenica ovisi poglavito o nagibu stijenske podloge na kojoj dolazi do njihova oblikovanja. Znatno su veće na ravnim ili blago nagnutim površinama nego na onim strmijim, a prema GAVRILOVIĆU (1964.) utvrđene su i na površinama nagiba od 35°.

Prvu fazu oblikovanja kamenica obilježava zadržavanje atmosferske vode i njezino korozijsko djelovanje u udubinama s kojih je destruiran pedološki pokrov. Širina ovih udubina često je svega nekoliko cm promjera, a dubina im je svega par mm. Zbog

⁴ Velik dio Dugog otoka, posebno područja nekadašnjih pašnjaka i obradivih površina, obrastao je borovim sastojinama. Bor, koji je zapravo pionirska vrsta u pošumljavanju, iznimno je podložan požarima, koji su danas česta pojava na otoku.

postupnog snižavanja dubine vode isparavanjem, a često i njezina pojačanog biokorozijskog djelovanja, uvjetovanog raspadanjem nanesenih organskih primjesa (lišće, trave, alge, lišajevi i mahovine) korozija napreduje prema središnjim i nižim dijelovima udubina postupno povećavajući nagib strana. No, kako postupno dolazi do zasićenja vode otopljenim karbonatima u nižim slojevima, a vršni dio vode apsorbira CO₂ iz zraka, kamenica ima najveću širinu u središnjem dijelu. Snižavanje razine vode isparavanjem i njezina sve veća zasićenost otopljenim karbonatima prema nižim dijelovima smanjuje intenzitet korozije, te se prema dnu kamenica opet suzuje. Istodobno, ali sporije (skoro zanemarivo), dolazi do oblikovanja žlijeba (PERICA I DR., 2001.).

Drugu fazu oblikovanja kamenice obilježava sve jače lateralno, korozijski uvjetovano, usijecanje i širenje kamenice. Njezin vertikalni razvoj je neznatan ili stagnira zbog akumuliranja gline koja potječe od otopljenih karbonata i raspadnute biogene mase. Istodobno dolazi i do sve jačeg usijecanja žlijeba. Iako se njegovo usijecanje odvija sporije od onog kamenice, žlijeb pri njezinom oblikovanju dobiva sve veće značenje. Postupno, on se usijeca brže od dna kamenice, da bi ga na kraju dosegnuo, a tada ujedno prestaje i ova razvojna faza. Na kraju ove faze otjecanje vode kroz žlijeb zbog njegove dubine postaje sve veće, razina vode u kamenici zbog isparavanja sve niža je, a ona uz to zbog velike količine otopljenih karbonata postaje sve zasićenija. Upravo brzina intenziteta usijecanja žlijeba određuje veličinu (promjer) kamenice. Ono je znatno sporije na blago nagnutim dijelovima zbog toga što voda iz kamenice otječe širim profilom nego na strmijim, a to rezultira i slabijim intenzitetom korozije. U trenutku kad dođe do izjednačavanja dna kamenice i žlijeba, prestaje njezin razvoj i počinje njezina destrukcija.

Treću fazu oblikovanja kamenice obilježava početak razaranja kamenice. Uzrok tome je postupno širenje žlijeba lateralnom korozijom i destrukcija prevjesnog dijela kamenice regresijskim korozijskim djelovanjem atmosferske vode. Rub kamenice postupno gubi prevjesni oblik i postaje zaobljen, a žlijeb se širi poprimajući koritast oblik. Završnu, četvrtu fazu razvoja karakterizira potpuni nestanak prevjesnog ruba i proširenje žlijeba, koji često doseže širinu same kamenice (a kadšto i veću) (PERICA I DR., 2001.).

Po svojoj veličini posebno se ističu kamenice oblikovane u priobalnom dijelu (široj zoni mlata valova) (uvala Brbinjšćica i na području Velog Rata), te one nastale na području nekadašnjih kamenoloma nedaleko od uvale Brbinjšćice. Kamenice u kamenolomu nedaleko od uvale Brbinjšćice odlikuju se izduženošću (i do 15 m), a nastale su u udubinama koje zapravo predstavljaju najniže dijelove (dna) kamenoloma. Gledajući faze razvoja, one pripadaju prvoj, početnoj fazi, a to je i razumljivo s obzirom na starost inicijalnog reljefa. Naime, ovi su se kamenolomi iskorištavali od antičkog razdoblja.

Mjestimično se pojavljuju manje rupičaste udubine veličine svega od nekoliko mm do par cm, a nastale su biogenim korozijskim djelovanjem – biokorozijske udubine. Javljaju se u dva oblika, prvi nastao pod pedološkim pokrivačem otapanjem stijena korozijskim djelovanjem korijenja biljaka, i drugi, nastao na golim stijenama zbog korozijskog djelovanja bakterija, lišajeva i mahovina. Prvi tip ovih biokorozijskih udubina dosta je rijedak, a zanimljivo je da se na području Dugog otoka najčešće javljaju u obalnoj zoni. Pojava ovih udubina na površini u prvom je redu posljedica spiranja pedološkog pokrova morskom vodom (zona zapljuskivanja valova). Naime, ove udubine nastaju poradi pojačanoga korozijskog djelovanja kiselina koje luči korijenje biljaka. Međutim, njihova pojava na površini, odnosno erozija pedološkog pokrova može se objasniti tonjenjem obale. U slučajevima kad dođe do ogoljavanja padine, zbog ravnomjernijeg korozijskog djelovanja atmosferske vode dolazi do njihova brzog uništavanja. Prema

BÖGLIJU (1980.) ovaj tip grižina je nakon jednog stoljeća teško prepoznati. To je osobito čest slučaj s manjim udubinama, dok veće udubine pogoduju zadržavanju atmosfere vode i daljem korozivskom oblikovanju, te na taj način često služe kao početni stadij pri nastanku drugih krških formi (npr. mrežastih škrapa i kamenica). Druga vrsta biokorozivskog djelovanja algi, lišajeva i mahovina na golj karbonatnoj podlozi. Alge se opskrbljuju vodom poglavito iz zraka, te na taj način uz vlastiti CO₂ dobivaju i novi, koji je suspendiran u kišnici (FORD, WILLIAMS, 1994.). No, korozivsko djelovanje u dubinu često je usporeno zbog finoga glinenog taloga na dnu.

Sljedeći značajan oblik krškog reljefa su ponikve i uvale. Intenzitet njihove pojave, oblik i veličina uglavnom su posljedica međuovisnosti utjecaja litoloških, tektonskih, strukturnih, reljefnih i klimatskih čimbenika na djelovanje korozije.

S obzirom na njihovu pojavu može se uočiti da se javljaju na krajnjim SZ i JI dijelovima Dugog otoka (gdje prevladavaju manji nagibi), dok u središnjem dijelu otoka, koji se uz to odlikuje uskoćom i strmijim stranama, skoro u potpunosti nedostaju. Također, jedno je od osnovnih obilježja reljefa Dugog otoka da su ponikve dosta rijetke, dok su uvale osjetno češće. Pri oblikovanju ponikava i uvala presudna je bila tektonska i strukturna predisponiranost. Naime, uvale, kao i velike ponikve, najizraženije su u području udoline – sinklinale koja se proteže pravcem SI-JZ od uvale Telaščica do Velog vrha (330 m). U zoni ove udoline – sinklinale posebno se ističu ljevkaste: ponikva Malog jezera (Sl. 11.), te uvale Krajno polje, Gavno polje, Velo jezero i Dugo polje. Uvale i ponikve su također oblikovane i u udolini – sinklinali na krajnjem SZ dijelu, na području Velog Rata. Međutim, one su osjetno blažih strana i manje su po dimenzijama nego one u JI udolini – sinklinali. Na drugim dijelovima Dugog otoka ponikve i uvale nastale su kao posljedica tektonske predisponiranosti manjih rasjeda.



Sl. 11. Ponikva Malo Žmansko jezero

Fig. 11 Malo Žmansko Jezero Doline (Small Žman Lake)

Dalji čimbenik koji je utjecao na oblikovanje ponikava je nagib padina. Ponikve su oblikovane na onim dijelovima otoka gdje je manji nagib (od 12°). To je najčešće omogućilo smanjenje koeficijenta površinskog otjecanja, što je istodobno utjecalo na intenzivniji razvoj procesa okršavanja. Suprotno tome, na dijelovima gdje je povećan nagib ponikava uopće nema, i to poglavito zbog povećanoga koeficijenta površinskog otjecanja atmosfere vode.

Prema obliku na području Dugog otoka uočene su blage karličaste (tavaste) ponikve (Dočići iznad Luke), ljevkaste ponikve (Malo jezero, Brkin dolac i Slatino polje nedaleko Žmana), a posebno se izdvaja ljevkasta ponikva nedaleko od uvale Brbinjšćice, dok postojanje kotlastih i bunarastih ponikava nije zapaženo. Dna ponikava najvećim su dijelom ispunjena rezidijem i padinskim korelativom (kršje i ilovača), te su njihova dna i niži dijelovi padina obrađeni. Ponikva nedaleko od uvale Brbinjšćice po svom se nastanku posebno ističe. Naime, njezino se dno nalazi ispod morske razine (od mora je udaljena svega nekoliko metara), te je njezino dno ispunjeno morskom vodom. Zapravo, ona je s morem spojena uskim prolazom, a za tu stranu (južna) također je karakteristična veća ustrmljenost što je posljedica njezina urušavanja.

Na području Dugog otoka uvale su paralelne s pružanjem otočnog hrpta (pravcem SZ-JI). Dna uvala na malim su nadmorskim visinama, a slično kao i dna ponikava ispunjena su rezidijem i obronačnim korelativom. Upravo položaj dna na malim nadmorskim visinama (a u slučaju Veloga Žmanskog jezera i ispod razine mora -0,7m) spriječilo je odnošenje sitnog materijala dalje u poroznu karbonatnu unutrašnjost. Naime, zbog hidrostatskog tlaka za većinu dna jezera karakteristična je pojava vode na malim dubinama, a za Veliko i Malo (ponikva) Žmansko jezero i sezonsko plavljenje. Zbog ispunjenosti dna ovih uvala debljim slojem sitnozrnatoga rastresitog materijala (tla) ona se agrarno iskorištavaju i predstavljaju najvrjednije obradive površine na otoku. Suprotno tome, dna uvala koja se nalaze na višim nadmorskim visinama, karakterizira pojava manje količine rastresitog pokrivača za koji je karakteristična i pojava fragmenata kršja. Kao poseban primjer uvala može se istaknuti slano – morsko jezero Mir. Dubina ovog jezera doseže do 10 m i prekriveno je pelitom. Na krajnjim SZ i JI dijelovima nizom pukotina spojeno je s morem, a u geološkoj budućnosti treba očekivati da će i ono poput Žmanskih jezera biti zapunjeno sitnozrnatim sedimentima, poglavito padinskim procesima (spiranje) s okolnih strana jezera (JURAČIĆ I DR., 2003.).

Iako lokalno stanovništvo većinu ovih uvala i ponikava naziva poljima, u geomorfološkom značenju ona to nisu. Prema uvriježenim kriterijima polja u kršu predstavljaju zatvorene depresije dužine najmanje 1000 m, širine najmanje 400 m, a osnovna im je značajka postojanje krške hidrografije (FORD, WILLIAMS, 1994.). Naime, ni na jednom od ovih polja nema krških izvora, tekućica i ponora, dok se voda u njima (Žmanska jezera) javlja ponajprije kao posljedica hidrostatskog tlaka.

Kao posebno zanimljivi krški reljefni oblici na Dugom otoku izdvajaju se dva prirodna mosta i okno SZ od uvale Brbinjšćice. Njihovo oblikovanje predisponirano je postojanjem bočnih manjih pukotina u zoni Dugootočnog rasjeda. Naknadnim korozivnim djelovanjem ove su pukotine proširene u speleološke objekte, a naknadno je došlo do urušavanja špiljskih svodova. Poradi zadržavanja čvršćih dijelova došlo je do oblikovanja mostova, dok je suprotno tome okno nastalo na mjestu gdje je došlo do urušavanja (najvjerojatnije) tanjega krovinskog dijela. S obzirom na to da su okno i jedan prirodni most oblikovani u razini mora (okno), odnosno svega na dubini od 3 m (prirodni most), kao i nedaleko udaljena Y-špilja (čiji je ulazni dio na dubini od 12 do 6 m) do

njihova je oblikovanja došlo tijekom zadnjih oledbi kad je razina mora bila niža za 120 m. Međutim, treba uzeti u obzir i biokoroziju, te korozijsko djelovanje miješane vode (atmosferske i morske). Pri biokorozijskom oblikovanju ponajprije treba uzeti u obzir velike kolonije balanusa koje su upravo najbrojnije u zoni mrkijente.

Na području Dugog otoka česta je pojava gologa krša, koji se javlja u dva oblika: kao ljuti i stjenoviti krš. Krš koji vrlo često obilježava izmiješanost raznih tipova grižina, poznat je kao ljuti krš ili ljut, a prevladavaju oni oblikovani od škrapa ili škrapari. Najveća su područja njihova rasprostiranja na istaknutijim vrhovima u čijoj građi dominiraju vapnenci. Osim korozijskog oblikovanja veliko značenje ima i pojačano spiranje atmosferskom vodom, te ispuhivanje (deflacija) sitnih čestica tla vjetrom. Osobito lijep primjer ljuta je na vrhu Ribarske straže na krajnjem JI dijelu Dugog otoka. U morfološkoj strukturi škrapara prevladavaju pukotinske i mrežaste škrape raznih faza razvoja. Razvoju škrapara pogodovali su manji nagibi padina. Škrapari nastali na strmijim dijelovima padine, u starijim fazama razvoja zbog gravitacijskoga kretanja griža oblikuju koluvijalne zastore (BOGNAR, 1992.). Stariji škrapari su zbog trošenja (korozijskog i mehaničkog) u znatnoj mjeri prešli u fazu griža – grohota. Fragmenti tako nastalog kršja zatrpavaju pukotine. Škrapari su iznimno teško prohodni i predstavljaju predjele najljućeg krša.

Pojava stjenovitog krša također je vezana za istaknutije vrhove, a prevladava na dijelovima gdje nije došlo do intenzivnog razvoja škrapa. Pedološki pokrov, a osobito vegetacijski, iznimno je rijedak i ograničen je na manje nakupine u škrapskim udubinama. Na pojavu tako velikih površina pod golim kršem utjecao je čovjek svojom djelatnošću, a u obalnom dijelu oni su posljedica spiranja tla zapljuskivanjem valova. Već navedenim paljenjem šuma radi stvaranja pašnjačkih površina došlo je do spiranja tankog pedološkog pokrova (CVJIĆ, 1927., ROGIĆ, 1958., PERICA I DR., 2004).

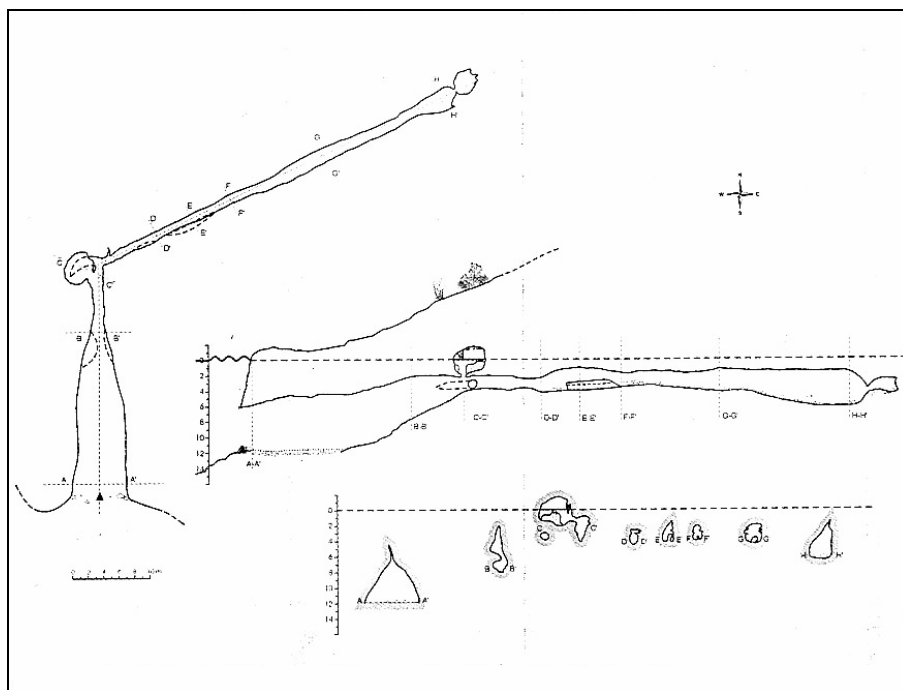
Podnožja padina, područja s blažim nagibima (osobito dna uvala i ponikava), ona u čijoj građi znatnije sudjeluju dolomiti, te dijelove otoka gdje je sačuvan autohtoni vegetacijski pokrivač, obilježava pojava polupokrivenog i pokrivenog krša. Oblikovanju ovih tipova krša u znatnoj je mjeri pogodovala upravo slabija podložnost stijenskog kompleksa koroziji. Pokriveni krš osobito je karakterističan za dna uvala i ponikava koja su pokrivena padinskim korelativima i rezidijem te predstavljaju najznačajnije obradive površine na otoku.

Endokrški reljef. Iako se za početak suvremene speleologije u Hrvatskoj uzimaju istraživanja Strašne peći ili Spilje Savar (kako su je zvali žitelji otoka) (ROLLI, 1898., JELIĆ, 1901., 1904.), kao i njezino turističko uređenje godine 1900. koje je izvelo turističko društvo "Liburnija" iz Zadra (BOŽIĆ, 1984., 1991.), od do sada poznatih 57 speleoloških objekata na otoku, većina njih do danas nije istražena. Također, do sada je utvrđeno postojanje većeg broja objekata koji su potopljeni ili u razini mora na području otoka, a među njima se izdvaja Y-špilja (Sl. 12).

Od do sada istraženih speleoloških objekata na području Dugog otoka većina ih pripada horizontalnim, a manji broj vertikalnim, jednostavnim speleološkim objektima. Od do sada poznatih horizontalnih speleoloških objekata najzanimljivija je Strašna peć. Ulaz joj je na nadmorskoj visini od 70 m, a oblikovana je u dobro uslojenim rudistnim vapnencima turon-senonske starosti (POLJAK, 1930., MALEZ, 1953., MAGAŠ, SURIĆ, 2000.). Nakon ulaza, koji je najvjerojatnije nastao urušavanjem dijela svoda, kanal se počinje (u prvom dijelu) blago, a zatim sve strmije spuštati do dna, koje je ispunjeno urušnim blokovima. S obzirom na to da je špilja ispunjena brojnim sigastim tvorevinama

(speleothemima), dok se javlja u vidu prokapsnice, to nas upućuje na zaključak da se ova špilja nalazi u završnoj fazi.⁵

Među vertikalnim objektima ističe se jama na sedlu (između Vrška /75 m/ i Lučke straže /110 m/) koje povezuje Luku i Žman. Iako je ovaj jednostavni vertikalni speleološki objekt dubok svega 12 m, značajno je da je on po hidrološkoj funkciji protočni objekt. Naime, u njemu je utvrđeno postojanje tekućice malog kapaciteta. Pojava vode, u ovom objektu, kao i njegovo oblikovanje, posljedica je njegove predispozicije na kontaktu između vodopropusnih vapnenaca barem-apske starosti s djelomično vodonepropusnim dolomitima alb-cenomanske starosti.



Sl. 12. Nacrt Y-špilje (JURAČIĆ I DR., 2002.);
Fig. 12 Scheme of the Y-Cave (JURAČIĆ ET AL., 2002.)

Potopljena Y-špilja nalazi se (prema JI) nedaleko od Uvale Brbinjšćice (Sl. 12). Oblikovana je u vapnencima turonske starosti. Ulaz joj se nalazi na dubini od 12 m (visok je 6 m), a duga je 87 m. Nakon ulaznog dijela kanal se blago uspinje i sužava. Proteže se u pravcu sjevera u dužini od 32 m, nakon čega skreće u pravcu azimuta od 65°. Na mjestu skretanja nalazi se jedno manje zračno zvono (doseže razinu od 2 m iznad razine mora). Za špiljski kanal karakteristična je pojava sigovine (stalaktita i stalagmita), kao i pojava

⁵ Završna faza karakteristična je po tome da sigovina zapunjava i smanjuje volumen kanala speleoloških objekata (BÖGLI, 1980.).

slatke vode, odnosno izvora na kraju kanala. Brojne sige upućuju na to da se i ovaj objekt, kao i Strašna peć nalazi u završnoj fazi. Međutim, ona je ingresijom mora potopljena. Također, sigovina upućuje na najvjerojatnije veliku starost ovog objekta, i njezino oblikovanje u uvjetima suših klima pleistocena, kad je bila niža razina morske vode. U njezinoj neposrednoj blizini nalazi se više speleoloških objekata, iznad razine morske vode i ispod nje.

Pri istraživanjima speleoloških objekata na Dugom otoku velik je problem njihova dostupnost. Najčešći je problem gusta makija ili njihov smještaj. Naime, neki od objekata (npr. Remetina peć i Golubinka) nalaze se na Dugootočkom strmcu (Sl. 13.).



Sl. 13. Dugootočki strmac obilježavaju brojni speleološki objekti

Fig. 13 Dugi Otok Island structural slope characterised by numerous spelological objects

Fluviokrški reljef. Kao posljedica izrazite prevlasti karbonatnih stijena u građi Dugog otoka u oblikovanju njegova reljefa fluvijalni procesi danas nemaju nikakvo značenje. U prilog tome govori i podatak da na površini otoka nema značajnijih stalnih izvora, te da je jedna od njegovih glavnih značajki izrazita bezvodnost. Naime, jedine značajnije pojave slatke vode na površini su u Žmanskim jezerima, no tu se ponajprije radi o atmosferskoj vodi koja se zadržava u ovim depresijama zahvaljujući hidrostatskom tlaku. Manji podzemni tok (iznimno malog kapaciteta) ustanovljen je u jami između Žmana i Luke. Pojava ovog toka je u prvom je redu posljedica kontakta dolomita, koji su poznati kao djelomično vodonepropusne naslage), s vapnencima (koji su u potpunosti vodopropusni).

Međutim, na fluvijalno oblikovanje (odnosno postojanje paleotekućica) tijekom geološke povijesti jasno upućuje oblik određenih dolina i morskih uvala na otoku. Među

njima se izdvajaju Kanali JI od Solina, Progon JI od Žmana, Magrovica u SZ dijelu uvale Mir, te osobito Čuška Dumboka u SI dijelu uvale Mir.

Oblikovanju, odnosno nastanku ovih paleotekućica, koje danas predstavljaju suhe doline, zasigurno su pogodovale klimatske prilike tijekom geološke prošlosti. Naime, njihovu oblikovanju pogodovalo je povećanje količine padalina za približno 20% tijekom prve polovice i sredine oledbi⁶ koje je paralelno praćeno smanjenjem temperature (što je uvjetovalo i smanjeno isparavanje) (ŠEGOTA, 1965.). U takvim uvjetima, na ovim dijelovima otoka koji su uz vapnence u znatnoj mjeri izgrađeni od (djelomično vodonepropusnih) dolomita, došlo je do izdizanja nivoa podzemne vode i stvaranja tekućica (JURAČIĆ I DR., 2003.). Među ovim paleotekućicama – suhim dolinama, posebno se ističe Čuška Dumboka (Sl. 14.). Smjer pružanja joj je prema sjeveru, s malim otklonom prema sjeverozapadu. Zadire u kopno dužinom od gotovo 900 m, gdje se dijeli na dva kraka: duži sjeverozapadni (oko 1000 m), i kraći, jugoistočni (oko 500 m). Na najširem dijelu široka je svega 150 m, a prema kopnu je sve uža. Dubina raste od kopna prema moru sve do maksimalne dubine od približno 40 m, koja je izmjerena na samom ulazu u uvalu Telašćicu. Čuška Dumboka potopljena je kanjonska riječna dolina; poput Limskog kanala, samo manjih dimenzija. S obzirom na izdizanje razine mora u razdoblju poslije oledbe veći dio ove paleotekućice je potopljen, a prema nekadašnjem jadranskom moru je najvjerojatnije otjecala dnom uvale Telašćica, te između Dugog otoka i Donje Abe (JURAČIĆ I DR., 2003.).



Sl. 14. Morska uvala, odnosno paleotok Čuška Dumboka

Fig. 14 Sea bay, palaeostream Čuška Dumboka

Padinski reljef

Procesi osipanja, urušavanja, spiranja i jaruženja danas su najizraženiji padinski (derazijski) destruktivski procesi u oblikovanju reljefa. U znatnijoj mjeri prisutni su na onim dijelovima otoka u čijoj je građi dolomit zastupljen u većoj mjeri. Osim recentnih padinskih procesa, veliko značenje za današnji izgled reljefa imali su i padinski procesi

⁶ Zadnja oledba (virm) na ovom području započela je prije 100000 godina, a prestala je pred približno 10 000 godina. Prvu polovicu oledbi obilježava povećanje količine padalina i blago opadanje temperature, dok od sredine oledbe količina padalina počinje opadati. Približno pred 20000 godina oledba doseže svoj maksimum kad su temperature na ovom području niže za oko 12 °C, a padaline za oko 20% (ŠEGOTA 1982., KLEIN, 1953.).

tijekom klimatskih zahlađenja. Naime, temperature zraka koje su tijekom zadnje oledbe bile niže za oko 12 °C, sigurno su pogodovale jačem termomehaničkom raspadanju stijenskog kompleksa nego što je to danas. Upravo klimatskim promjenama može se objasniti postanak velikih količina kršja koje se često javlja na dnima i stranama jaruga, derazijskih dolina, ponikava i uvala, a u znatnoj je mjeri izmiješano s tlom koje je također prenešeno padinskim procesima. Na intenzivne derazijske procese u uvjetima kopnenog razvoja područja Dugog otoka upućuju padinske akumulacije (pješčenjaci na dubina preko 25 m) i podmorski sipari u dubljim kanalima susjednoga Kornatskog arhipelaga (BOGNAR, GRIZELJ, 1996.).

Među eskarpmanima ili strmcima na Dugom otoku izdvaja se po svom značenju strukturni strmac na njegovu JI dijelu. Ovaj strmac, koji vrlo često nazivaju i Dugootočkim klifom, to zapravo nije. Naime, on je tektonski predisponiran, a samo je naknadno abrazijskim djelovanjem preoblikovan, odnosno ustrmljen. Visina mu doseže maksimalnih 146 m (Grpašćak) dok mu je najniža točka približno na dubini od 90 metara. Dužina mu doseže 7 km, a proteže s od prijevoja na JI (koji spaja jezero Mir s otvorenim morem) do Stivanjske gore na SZ. Osim toga strukturnog strmca postoji još jedan manji (dug 2 km, visine do 15 m, a spušta se do dubine od 20 m) kod uvale Brbinjšćice. Među manjim, egzogeno oblikovanim strmcima ističu se oni na području PP "Telašćica" (podno Ribarske straže i Obručana). Visina im doseže oko 10 m, a dužina do 100 m. Iako se kod ovih strmaca mogu uočiti i recentni procesi osipanja i urušavanja do njihova je oblikovanja najvjerojatnije došlo tijekom zadnjeg zahlađenja, kad su termomehanički procesi razaranja stijenskog kompleksa imali osjetno veće značenje.

Osipanje i urušavanje najčešće je vezano uz strukturni strmac (na JI dijelu otoka te kod uvale Brbinjšćice) i strmu stjenovitu obalu (od Stivanjske gore do Rta Zaglavić) koja se nalazi na južnom dijelu pučinske strane Dugog otoka. Iako su na ovom dijelu obale otoka uočljiva brojna točila, zbog dubine mora siparišni se konusi najvećim dijelom nalaze uz obalu, odnosno na kontaktnom dijelu s blažim morskim dnom (podno najizrazitijeg dijela strmca i na dubinama od 90 m). Manje pojave urušnih blokova mogu se uočiti na drugim dijelovima otoka. Poglavitito su vezane uz manje egzogene strmcce (Ribarska straža i Obručan). Da je tijekom geološke prošlosti termomehaničko raspadanje imalo osjetno veće značenje, upućuju brojni koluvijalni zastori i kupe na strmijim dijelovima otoka, a oni su naknadno umrtvljeni vegeacijom. Kao posljedica toga ti koluvijalni zastori i kupe danas osim kršja u znatnoj mjeri sadrže i rastresiti pedološki pokrov, te su u znatnoj mjeri pretvoreni u terasasta polja.

Sitniji fragmenti kršja, koji su mjestimično i slojeviti, oblikuju deluvijalne konuse. Često je njihov nastanak vezan uz pretaloživanje sitnijeg materijala atmosferskom vodom iz koluvijalnih kupa. Ovi konusi najčešće su oblikovani na kontaktnim dijelovima padina s dnima uvala i ponikava, a s obzirom da sadrže veliku količinu rastresitog materijala (tlo!) i oni su antropogeno preoblikovani u terasasta polja.

Jaruge i vododerine oblikovane su uglavnom na onim dijelovima otoka s većim nagibima, a gdje osim vapnenaca u građi sudjeluju slabije vodopropusni dolomiti. Uz to, često su i tektonski predisponirane. Destrukcijom je mjestimično došlo do ogoljavanja padine u tolikoj mjeri da se na površini pojavljuje matični supstrat. U podnožju padina od snesenog materijala su oblikovane proluvijalne plavine, a s obzirom na to da su dijelovi jaruga ingresijom mora potopljeni danas predstavljaju morske drage i uvale. Radom morskih valova od proluvijalnog materijala su oblikovane manje šljunčane plaže (npr. uvala Brbinjšćica). Mjestimično su dna jaruga ispunjena urušnim stijenskim blokovima i

koluvijalnim materijalom koji su također u najvećoj mjeri nastali u hladnijim razdobljima geološke prošlosti (naime, danas su u znatnoj mjeri umrtvljeni vegetacijom). Danas nastanku bujica i njihovu destruktivnom djelovanju pogoduju kratkotrajne, ali intenzivne padaline (u obliku pljuskova). Također, daljnjim oblikovanjem jaruga pod utjecajem spiranja, ali i osipanja i urušavanja, došlo je do smanjenja nagiba njihovih strana i prelaska u nešto šire derazijske doline. S obzirom na to da otok u orogafskom pogledu predstavlja hrbat, nasuprotnim usijecanjem jaruga i derazijskih dolina došlo je do oblikovanja brojnih sedala ili prijevoja, dok vrhovi između njih najčešće imaju oblik glavica.

Marinski i limnički reljef

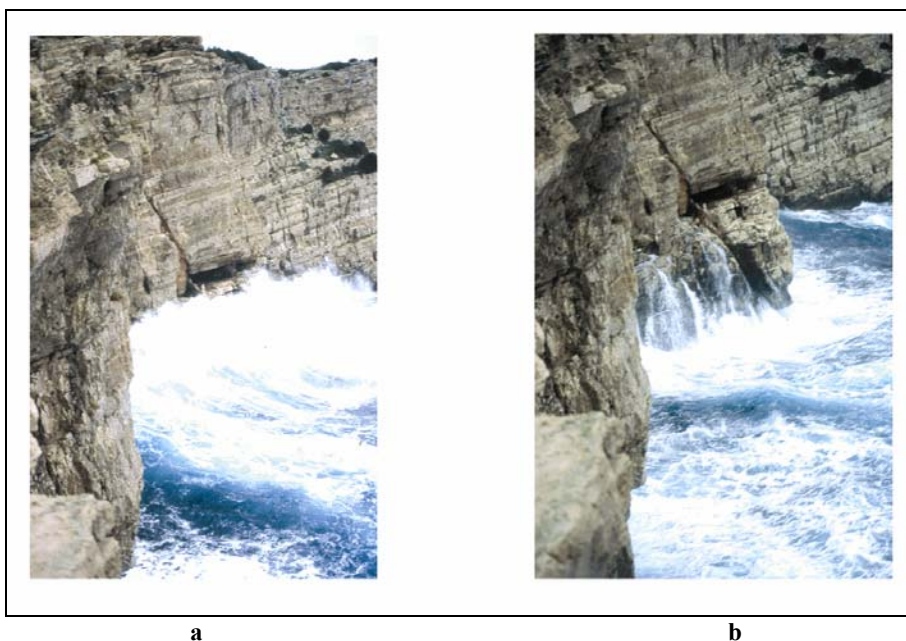
Marinski reljef. Pri oblikovanju obalnog reljefa najveće značenje imaju valovi koji pod utjecajem vjetrova nastaju na površini mora ili jezera. Valovi često velikom snagom udaraju o obalu, pomičući je i odnoseći otrgnuti materijal. Taj se proces naziva abrazija, a njezini učinci vidljivi su na gotovo svim obalama.

U ne tako dalekoj geološkoj prošlosti, za vrijeme pleistocena, morska razina bila je niža za 120 m od današnje (ŠEGOTA, 1982.). Tada je sjeverni Jadran, a u sklopu njega i Dugi otok, bio kopno. Današnji reljefni odnosi nastali su mladim glacioeustatičkim izdizanjem morske razine. Na području današnjega Dugog otoka potopljen je krški reljef (Telašćica), pa su obale otoka raznolike, dobro razvedene i relativno duge. Relativna razvedenost, koja iznosi 4,50 (indeks razvedenosti) daje realnu sliku bogatstva obalnih oblika, a predstavlja odnos apsolutne duljine obale i opsega kruga čija je površina jednaka površini otoka ($P = 114,4 \text{ km}^2$) (BOGNAR, GRIZELJ, 1996.).

Dugi otok pripada grupi dobro razvedenih otoka. Evolucija obalnih oblika u skladu je s formiranjem kopnenog reljefa, ali se neki njezini oblici ne mogu objasniti današnjom visinom obalne linije (uobičajeno, ali pogrešno nazivan "dugootočki klif"). Poprečnim suhim dolinama na kopnu odgovaraju zaljevi i morske uvale na obali, a izostaju karakteristične naplavine što upućuje da današnji oblici nisu nastali pri postojećoj razini mora, već znatno nižoj. To potvrđuju i naslage erodiranoga pleistocenskog nanosa ispod morske razine. Pozitivnim pomicanjem obalne linije, zbog općih glacioeustatičkih pokreta uvjetovano je oblikovanje otoka, kao i susjednoga Kornatskog arhipelaga.

Po svom morfološkom tipu obale se dijele na visoke i niske. Tip visokih obala dijeli se na dvije vrste, i to na klifove (nagib $> 55^\circ$) i klifaste obale (nagib 12° do 32° i od 32° do 55°). Pojava klifova i klifastih obala na području Dugog otoka najčešće je posljedica strukturnih i tektonskih odnosa. Klifovi, odnosno strukturni strmci, oblikovani su samo na JZ pučinskoj strani otoka, dok je pojava klifastih obala uvjetovana najčešće strukturnim odnosima, te je najizraženija na JI dijelu otoka (predisponirana antiklinalom Luka – Katina i prevrnutom sinklinalom Veli vrh – Telašćica). S obzirom na to da je obala Dugog otoka geološki mlada, odnosno nastala je u uvjetima ingresije mora poslije zadnje oledbe, odnosno, njezino oblikovanje počelo je pred približno 10000 godina, za nju je karakteristično da pravi klifovi nedostaju. Strma obala vanjskog dijela Dugog otoka, odnosno, njezin dio od prosike što spaja jezero Mir i otvoreno more, pa do Stivanjske gore, često se spominje kao *dugootočki klif*, no, on to zapravo nije. Taj dio obale tektonski je predisponiran Dugootočkim rasjedom, koji je tijekom holocena naknadnim djelovanjem abrazije preoblikovan u strmac. Također, i klifasta obala, u izmjeni s manjim klifovima u nastavku (prema SZ), pripada zoni Dugootočkog rasjeda. Međutim, na jak utjecaj abrazijskog djelovanja upućuju brojne potkapine i manje

abrazijske špilje, oblikovane na klifu i klifastom dijelu obale (Sl. 15. a i b.). One su oblikovane u prvom redu u nešto mekšim dijelovima naslaga, a osobito u manjim pojavama dolomita koji su podložniji mehaničkom trošenju.



Sl. 15. a i b Mlat valova za orkanskog juga na Dugootočkom strmcu
Fig. 15 a & b Sea waves during the SE wind on the Dugi Otok Island slope

Niske obale najrasprostranjenije su na nižim, krajnjim SZ i JI dijelovima otoka, i uglavnom su stjenovite. Osim reljefne predispozicije (mala visina i blaži nagibi), njihovu je oblikovanju mjestimično pogodovala i strukturna predispozicija, koja se poglavito ogleda u malom nagibu slojeva.

Žala, odnosno, niske obale u rastresitim klastičnim sedimentima rjeđe su. Izuzev krajnjeg SZ dijela oko Velog Rata, ove se obale javljaju na krajevima potopljenih jaruga i derazijskih dolina, gdje je abrazijskim djelovanjem preoblikovan padinski materijal. Kao posljedica toga, često su na krajevima suhih dolina, jaruga i derazijskih dolina oblikovana manja žala od šljunka, pijeska, ili u njihovoj izmjeni. Pješćana žala oblikovana su u jarugama, derazijskim i suhim dolinama s manjim nagibom, kako na površini, tako i u podmorju (npr. uvala Pećica u PP "Telašćica"). Akumuliranju pijeska upravo je pogodovao smanjen nagib koji je usporio transportnu snagu valova. Na krajnjem, SZ dijelu otoka, na području Velog Rata, gdje je more ingresijom potopilo blago razveden reljef, nekadašnje manje glavice zaostale su kao otočići. Naknadno, zbog smanjene transportne snage valova, došlo je do akumuliranja šljunka i oblikovanja dviju prevlaka ili tombola. Prevlaka, koja spaja nekad samostalan otočić Okljuk, nalazi se na krajnjem, SZ dijelu Dugog otoka. Duga je 150 m, visoka do 2 m, a na najužem dijelu široka 5 m. Promatrajući izdalje, nedaleki Valičin žal, također ima izgled prevlake, no, on to nije.

Valičin žal zapravo je kopneno suženje, na najužem mjestu široko svega 20 m, a visoko svega 0,5 m, s jasno uočljivim vapnenačkim naslagama od kojih je izgrađen. Druga, manja prevlaka – Žalić, spaja rt Lopatu s ostalim dijelom otoka, a nalazi se na južnoj strani uvale Sakarun.

U priobalnom području, osobito u zoni mrkijente (kameni, vlažni dio obale na kojoj žive razni organizmi, te je zbog toga tamne boje i jako izložena biokorozijskom modeliranju (ROGLIĆ, 1974.), na području niskih i dijela klifastih (nagiba do 32°) obala, kao posljedica kombiniranoga korozijskog djelovanja morske i atmosferske vode, te algi i lišajeva (FOLK I DR., 1973., VERGES, 1985.), došlo je do oblikovanja priobalnih grižina (Sl. 16.). Njihovu razvoju prethodilo je ogoljavanje priobalnog dijela karbonatnih stijena abrazijskim djelovanjem valova. Kapljice morske i atmosferske vode oblikuju grižine najrazličitijih oblika. Evolucijski gledano, nalaze se u različitim fazama oblikovanja, a na to upućuje izmiješanost pojave žlijebova, škrapa i kamenica.



Sl. 16. Obalne grižine – kamenice karakteristične su za niske stjenovite obale u vapnencima

Fig. 16 Coastal grikes – kamenitzas characteristic for low rocky carbonat coasts

Kao poseban tip marinskog, ali istodobno biokrškog, odnosno biogenog reljefa izdvajaju se grižine nastale biokorozijskim djelovanjem balanusa (Sl. 17.). Ovi puževi koji žive u kolonijama u zoni mrkijente, oblikuju razne forme (u obliku udubina, stupića, i drugog) koje su ujedno i najteže prohodni dijelovi obale.



Sl. 17. *Balanusi* biokorozijom oblikuju grižine
Fig. 17 *Balani* forming karrens by biocorrosion



Sl. 18. Morsko jezero Mir nastalo potapanjem krške uvale
Fig. 18 Marine lake Mir is the result of submersion of karst uvala

Limnički reljef. Jezero Mir (morsko jezero) (Sl. 18.) nalazi se u jugozapadnom dijelu Parka prirode "Telašćica". Nalazi se na uskom dijelu kopna između uvale Telašćica i otvorenog mora, a zapravo predstavlja kršku uvalu koja je ingresijom mora potopljena. Dužina mu je oko 900 m, široko je do 300 m, a maksimalna dubina je 5,6 m. Morska voda u kršku uvalu prodire kroz sustave pukotina na S i JZ dijelu (Sl. 19.), a za jakih južina i kroz prosiku na krajnjem JI dijelu. S obzirom na to da je propusna moć pukotina iznimno mala,⁷ a dotok slatke vode (sa susjedih jezerskih strana) malen, voda u jezeru je slanija (38,5‰) od susjedne morske. Povećan salinitet jezera posljedica je jačeg isparavanja vode iz jezera i malog dotoka vode iz mora i s jezerskih strana. Naime, voda u jezeru osjetno je toplija (ljeti se zagrije i do 33,0 °C, a zimi do 5 °C) od one, susjedne, u moru. Zbog male propusne moći dotok je vode u jezero slab, a na to upućuju i mijene koje u jezeru variraju u okviru 1 cm. Zapravo, za jakih plima na krajevima pukotina može se vidjeti kako voda iz mora u obliku uskih mlazova dotječe u jezero (JURAČIĆ I DR., 2003.).



Sl. 19. Jedna od pukotina na južnoj obali Dugog otoka zapunjena kalcitom i rasjednim brečama kroz koju najvjerojatnije morska voda podzemno dotječe u jezero Mir

Fig. 19 One of the cracks on the south coast of Dugi otok Island filled up with calcite and fault breccias through which, in all probability, sea water penetrating underground reaches the lake of Mir

⁷ Ove pukotine su u znatnoj mjeri zapunjene kalcitom i rasjednim brečama.

Obala jezera najvećim je dijelom niska i stjenovita, s brojnim škrapama, dok se samo na krajnjem SZ dijelu mogu uočiti manje akumulacije pijeska. Dno jezera u plićim je dijelovima stjenovito, u dubljim je prekriveno pelitom, a na JI dijelu i fangom (ljekovitim muljem).

S obzirom na postojeće prirodno-geografske procese, moguće je u geološkoj budućnosti očekivati postupno oplićavanje, a na kraju potpuno zatrpavanje jezera padinskim materijalom, kao što je to bio slučaj i sa Žmanskim jezerima (JURAČIĆ I DR., 2003.).

Antropogeni reljef

Dugotrajna naseljenost na ovom području, koja seže u pretpovijesno razdoblje, utjecala je na današnji izgled reljefa. Ona se očitovala na više načina, a po svom se značenju ističu: uništavanje šumskih površina radi stvaranja pašnjačkih površina; stvaranje agrarno iskoristivih površina; otvaranje kamenoloma i uređenje obale.

Tijekom prošlosti stanovništvo otoka stvaralo je pašnjačke površine uništavanjem autohtonoga vegetacijskog pokrova (šume hrasta crnike). Najčešće se tu radi o područjima koja su udaljenija od naselja, ili se nalaze na strmijim dijelovima padina na kojima je bio razvijen tanak pedološki pokrov. No, upravo takav način gospodarenja omogućio je odnošenje toga oskudnoga pedološkog pokrivača spiranjem atmosferskim vodama i deflacijom, tako da danas ima izgled golog i polupokrivenog krša. Suprotno tome, na dijelovima s nešto povoljnijim pedološkim prilikama (dublja tla) generacije žitelja Dugog otoka stvarale su maslinike, vinograde, polja i vrtove. Pri tome su oni stvarali-oblikovali brojne suhozide (Sl. 20.), gromače i terasasta polja.



Sl. 20. Suhozidi nastali čišćenjem tla radi dobivanja obradivih površina

Fig. 20 Drystone walls resulted from cleaning soil in order to obtain arable areas

Brojni suhozidi i gromače izgrađeni su na blaže nagnutim dijelovima otoka, a nastali su vađenjem kamenja iz ovih plitkih tala. Kao poseban tip suhozida mogu se smatrati podzidi terasastih polja. Oni naime imaju i funkciju zadržavanja nakupina tla na vrlo često strmim dijelovima padina. Osim toga na dnima uvala i ponikava, gdje je dublji pedološki pokrivač, osobito tamo gdje je prisutna veća količina gline na dnu, građeni su bunari i lokve za vodoopskrbu, navodnjavanje polja i napajanje stoke (npr. Polje podno Dragove). Depopulacijom otoka ove su površine danas u znatnoj mjeri zapuštene i obrasle šumama bora. A na strmijim dijelovima padina podzidi se poradi neodržavanja raspadaju i prelaze u manje kolvijalne kupe i zastore.

Također, od prapovijesti otvarani su kamenolomi, i zbog potreba za građevinskim kamenom na otoku, ali i zbog potreba na susjednom kopnu i otocima (Sl. 21.). Neki se od njih nalaze u unutrašnjem dijelu otoka, ali su najbrojniji na obali (npr. uvala Kobiljak podno Ribarske straže, kod rta Turčina i na otočiću V. Garmenjaku u PP "Telašćica"). Otvaranju kamenoloma na obali posebno je pogodovala sukladnost nagiba obalnih strana i slojeva, te dubina mora koja je omogućavala pristanak brodovima. Naime, drvenim klinovima koje bi nabili na kontakt između dva sloja (dijastrome!), more bi zapljuskivanjem povećalo volumen, te je na taj način došlo do odvajanja stijenskih blokova. Danas ti kamenolomi imaju izgled ravnih ploča (PERICA I DR., 2004.).



Sl. 21. Priobalni kamenolom

Fig. 21 Coastal stone-pit

Suprotno devastaciji obale i otoka kamenolomima, na pogodnim mjestima, u blizini obradivih površina, a često i na takvima koje su jamčile veću sigurnost, izgrađena su naselja. Uz to, u obalnim naseljima, kao i u njihovoj neposrednoj blizini, generacije

stanovnika utvrđivale su obalu kamenim blokovima da bi spriječile abrazijsko djelovanje morskih valova gradeći pri tom lukobrane, a za potrebe vezanja brodova molove.

Izgradnjom otočne ceste koja spaja njegove krajnje dijelove, na mnogim su mjestima nastali usjeci, ali i potporni nasipi.

Zaključak

Prema geomorfološkoj regionalizaciji Dugi otok pripada megageomorfološkoj regiji Dinarskoga gorskog sustava, odnosno makrogeomorfološkoj regiji Sjeverne Dalmacije s otocima. Na pučinskoj strani predstavlja granicu između Vanjskih Dinarida i Jadranskog šelfa. Ima izraziti hrptasti izgled, a geološke se strukture podudaraju s reljefnim, odnosno antiklinale predstavljaju uzvišenja, a sinklinale udubine. Najstarije, a ujedno i najrasprostranjenije naslage koje sudjeluju u građi Otoka, kredne su starosti. Prevladavaju vapnenci, a ima i dolomita. Današnji oblik reljefa rezultat je postpleistocenske ingresije mora kada se svjetska morska razina izdigla za otprilike 100 m. Od tipova reljefa najznačajniji je krški tip reljefa, a najrasprostranjeniji krški oblik su grizine, odnosno "izjedline" nastale korozivnim djelovanjem vode. Razni oblici grizina (žljebovi, kamenice i biokorozivne udubine) javljaju se počevši od morske obale pa do najviših dijelova Dugog otoka. Također su vrlo značajni oblici krškog reljefa ponikve (Malo jezero u blizini Žmana) i uvale (Dugo polje, Velo jezero). Na otoku je česta pojava gologa krša (ljuti krš i škrapari), a od endokrških tipova reljefa do sada je otkriveno 57 speleoloških objekata među kojima su najzanimljivija Strašna peć i potopljena Y-špilja nedaleko od uvale Brbinjšćice.

Od ostalih tipova reljefa treba svakako spomenuti marinski tip reljefa jer proces abrazije ima veliko značenje pri oblikovanju obale. Na JZ pučinskoj strani otoka pojavljuju se strukturni strmci, i to od prosike, koja spaja jezero Mir i otvoreno more, pa do Stivanjske gore. Taj dio obale nije klif jer je tektonski predisponiran Dugootočkim rasjedom, a tijekom holocena naknadno je oblikovan abrazijom. Niske obale pojavljuju se na krajnjim SZ i JI dijelovima otoka gdje se ujedno i nalaze žala i tombola. Limnički tip reljefa također se pojavljuje, ali samo u JZ dijelu PP "Telašćica", gdje se nalazi jezero Mir, koje je zapravo potopljena krška uvala.

Na kraju se nikako ne smije izostaviti utjecaj čovjeka na današnji izgled reljefa. Naime, naseljenost na otoku seže u pretpovijesno vrijeme. Čovjek je radi stvaranja pašnjačkih i obradivih površina sustavno uništavao šumu i izravno utjecao na odnošenje tankoga pedološkog pokrivača i pojavu gologa polupokrivenog krša. Na dijelovima s nešto povoljnijim pedološkim prilikama ljudi su oblikovali suhozide, gromače i terasasta polja unutar kojih su se danas nalaze maslinici, vinogradi, polja i vrtovi. Zbog potrebe za građevinskim kamenom otvarali su se na obali brojni kamenolomi koji danas imaju izgled ravnih ploča.

LITERATURA

BATOVIĆ, Š. (1997.): *O prapovijesti Dugog otoka*, Dugi otok, Zbornik radova, Matica hrvatska Zadar, Zadar, 99-159, Table I-VI.

- BOGNAR, A. (1990.): *Geomorfološke i inženjersko-geomorfološke osobine otoka Hvara i ekološko vrednovanje reljefa*, Geografski glasnik, 52, Zagreb, 49-65.
- BOGNAR, A. (1992.): *Pedimenti Južnog Velebita*, Geografski glasnik, 54, Zagreb, 19-32.
- BOGNAR, A. (2001.): *Geomorfološka regionalizacija Hrvatske*, Acta Geographica Croatica, 34, 1999., Zagreb, 7-29.
- BOGNAR, A., BLAZEK, I. (1986.): *Geomorfološka karta područja V. Paklenice 1:25000*, Simpozij "O kraškom površju", Postojna, 1985., Acta Carsologica, Ljubljana, 14-15, 197-206.
- BOGNAR, A., GRIZELJ, M. (1996.): *Geomorfološke značajke arhipelaga Kornata*, Ekološke monografije, 7, Zagreb, 53-66.
- BOŽIĆ, V. (1984.): *Počeci spiljskog turizma u Hrvatskoj*, Zbornik IX. jugoslavenskog speleološkog kongresa, Zagreb, 829-839.
- BOŽIĆ, V. (1991.): *O počecima organiziranog speleološkog rada u Hrvatskoj*, Spelaeologia Croatica, 2, Zagreb, 45-49.
- BÖGLI, A. (1980.): *Karst Hydrology and Physical Speleology*, Springer Verlag, Berlin, New York, pp. 284.
- CVJIĆ, J. (1927.): *Škrabe*, Glasnik SGD, Beograd, 17-29.
- FARIČIĆ, J. (2003.): *Zadarski otoci na kartografskim prikazima od 16. do početka 19. st.*, magistarski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- FUČEK, L., GUŠIĆ, B., JELASKA, V., KOROLIJA, B., OŠTRIĆ, N. (1990.): *Stratigrafija gornjokrednih naslaga jgoistočnog dijela Dugog otoka i njihova korelacija s istovremenim nalagama otoka Brača*, Geološki vjesnik, 43, Zagreb, 23-33.
- FOLK, R. L., ROBERT, H. H., MOORE, C. M. (1973.): *Black Phytokarst from Hell, Cayman Islands, West Indies*, Geol. Soc. Americ. Bull., 84, 2351-2360.
- FORD, D., WILLIAMS, P. (1994.): *Karst Geomorphology and Hydrology*, Chapman & Hall, London, pp. 601.
- GAMS, I. (1974.): *Kras*, Slovenska matica, Ljubljana.
- GAVRILLOVIĆ, D. (1964.): *Kamenice - Mali korozivni oblici na krečnjaku*, Glasnik SGD 44/1, Beograd, 53-60.
- HAUER, F. (1868.): *Geologische Uebersichtskarte der Öster.-Ung. Monarchie*, Blatt X, Dalmatien. Jb. Geol. Reichsanst., Wien, 18.
- HIRC, D. (1905.): *Prirodni zemjopis Hrvatske*, Zagreb, pp. 710.
- JELIĆ, L. (1901.): *Strašna peć kod Savara na Dugom otoku*, Smotra dalm., 14 br. 101, Zadar, 2.
- JELIĆ, L. (1904.): *Eine interessante Grotte der dalmatinischen Inselwelt (Dugi otok – Strašna peć)*, Illustr. Österreichische Riv. Zeitung, 10-11 i 14-15, 79-81, 118-120.
- JURAČIĆ, M., BAKRAN-PETRICIOLI, T., PETRICIOLI, D. (2002.): *Cessation of karstification due to the sea-level rise? Case study of the Y-cave, Dugi otok, Croatia*, Evolution of Karst: From Prekarst to Cessation, Ljubljana, Postojna, 319-326.
- JURAČIĆ, M., PERICA, D., MRAK, I., TRAJBAR, S., LONČAR, N., KRKLEC, K. (2003.) *Izveštaj Geološka i geomorfološka inventarizacija Parka prirode "Telašćica"*, Javna ustanova Park prirode Telašćica.
- KLEIN, A.-M. (1953.): *Die Niederschluge in Europa im Maximum der letzten Eiszeit*, Peterm. Geogr. Mitt. V., Stuttgart, 97.
- KOZLIČIĆ, M. (1995.): *Kartografski spomenici hrvatskog Jadrana*, AGM, Zagreb.
- KUK, V., PRELOGOVIĆ, E., DRAGIČEVIĆ, I. (1999.): *Seismotectonically Active Zones in the Dinarides*, Geologica Croatica, 53/2, IGI, Zagreb, 295-303.

- MAGAŠ, D. (1997.): *Zemljopisno-povijesna obilježja Dugog otoka*, Zbornik Dugi otok, Zadar, 11-44.
- MAGAŠ, D., SURIĆ, M. (2000.): *Contribution to the Knowledge about Speleological Features of the Dugi otok Island*, International Symposium on History of Speleology and Karstology in Alps, Carpathians and Dinarids, May, 2002., Zadar, 23-28, (u tisku).
- MAJČEN, Ž., KOROLIJA, B. (1973.): *Tumač za list Zadar L 33-139*, OGK, Zagreb, Beograd, pp. 44.
- MALEZ, M. (1953.): *Strašna peć na Dugom otoku*, Naše planine, 10-12, Zagreb, 309-315.
- MAMUŽIĆ, P., NEDELA-DEVIDE, D. (1973.): *Tumač za list Biograd K 33-7*, OGK, Zagreb, Beograd, pp. 27.
- MAMUŽIĆ, P., SOKAČ, B. (1973.): *Tumač za listove Silba i Molat L 33-126 i L 33-138*, OGK, Zagreb, Beograd, pp. 45.
- PENZAR, I., PENZAR, B. (1996.): *Kornatsko područje s meteorološkog stanovišta*, Kornati, Ekološke monografije, 7, Zagreb, 91-103.
- PERICA, D. (1998.): *Geomorfologija krša Velebita*, Doktorska disertacija, Geografski odsjek PMF-a Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1-251.
- PERICA, D., KUKIĆ, B. (1992.): *Karren on the South Velebit Range*, International Symposium "Geomorphology and Sea", Mali Lošinj, 1992., Zagreb, 153-157.
- PERICA, D., MARJANAC, T., MRAK, I. (2001.): *Vrste grižina i njihov postanak na području Velebita*, Acta Geographica Croatica, 34, Zagreb, 31-58.
- PERICA, D., MARIJANAC, T., ANIČIĆ, B., MRAK, I., JURAČIĆ, M. (2004.): Small karst features (karren) of Dugi Otok Island and Kornati Archipelago coastal karst, Acta carsologica (u tisku).
- P.(IETRO ROLLI), (1898.): *D'una grotta sconosciuta sull'isola Lunga*, Il Dalmata, 37, Anno XXXIII, Wednesday, May, 11, Zadar, pp. 1.
- POLJAK, J. (1930.): *Geomorfologija otoka Dugog*, Prirodoslovna istraživanja Sjevernodalmatinskog otočja, I. Dugi i Kornati, Prir. istraž. JAZU, 16, Zagreb, 305-311.
- ROGIĆ, V. (1958.): *Velebitska primorska padina*, Radovi Geografskog instituta u Zagrebu, 2, Zagreb, 1-114.
- ROGIĆ, J. (1974.): *Krška terminologija naroda Jugoslavije*, Knjiga III (Prilog hrvatskoj krškoj terminologiji, Krš Jugoslavije, 9/1, Zagreb, 1-72.
- RUBIĆ, I. (1936.): *Mali oblici na obalnom reljefu istočnog Jadrana*, Geografski vestnik, 12-13, Ljubljana, 3-53.
- SKRAČIĆ, V. (1997.): *Pristup toponomastičkoj građi Dugog otoka*, Dugi otok, Zbornik radova, Matica hrvatska Zadar, Zadar, 75-97.
- STACHE, G. (1889.): *Die Liburnische Stufe und deren grenzhorizonte*, Abh. Geol. Reichsanst. XIII, Wien.
- ŠEGOTA, T. (1963.): *Geografske osnove glacijacija*, Radovi Geografskog instituta, 4, Zagreb, 1-119.
- ŠEGOTA, T. (1982.): *Razina mora i vertikalno gibanje dna Jadranskog mora od ris-virmskog interglacijala do danas*, Geološki vjesnik, 35, Zagreb, 93-109.
- VERGES, V. (1985.): *Solution and associated features of limestone fragments in calcareous soil (lithic calcixeroll) from southern France*, Geoderma, 36, 109-122.

IZVORI

Državni hidrometeorološki zavod, Arhiva za razdoblje od 1. listopada 1966. do 30. rujna 1976., Grič 3, Zagreb.

MAJCEN, Ž., KOROLIJA, B., SOKAČ, B., NIKLER, L. (1963.-1969.): OGK 1:100000, list Zadar L 33-139, Zagreb, Beograd.

MAMUŽIĆ, P. (1963.-1969.): OGK 1:100000, list Molat L 33-138, Zagreb, Beograd.

MAMUŽIĆ, P., NEDELA-DEVIDE, D. (1963.): OGK 1:100000, list Biograd K 33-7, Zagreb, Beograd.

Topografske karte 1:100000 (1997.): listovi Biograd, Silba i Zadar, Državna uprava za katastar i geodetske poslove, Zagreb.

SUMMARY

Katarina Džaja: Geomorphological Characteristics of Dugi Otok Island, Croatia

Dugi Otok Island is the biggest and the longest island of the Zadar archipelago. According to geomorphological regionalization, Dugi Otok Island belongs to megageomorphologic region of the Dinaric mountain system, respectively to macrogeomorphologic region of North Dalmatia with islands. On the open sea side it represents the border between Outer Dinarides and the Adriatic shelf. It has a well-defined ridge and geological structures concord with relief - anticlines represent higher points and synclines lower points. The oldest and the most spread layers the island is built of are Cretaceous limestones and dolomites. Today's relief characteristics are primarily the result of the post-Pleistocene sea transgression that is the general raising of the world sea level for ca. 100 m.

The most significant type of relief is the karst type and the most spread karst features are karrens. From the sea level to higher parts of the Dugi Otok Island there are various types of karrens like biocorrosion holes - kamenitzas. There are also dolines (Malo Jezero Lake nearby Žman) and karst uvalas (Dugo polje, Velo jezero). Cryonival and semi-covered karst dominate on the Island.

Endokarst type of relief is also present. Fifty seven speleological objects have been discovered and the most interesting are Strašna peć Cave and Y-Cave nearby Brbinjšćica Bay.

Marine type of relief is very important too as abrasion process has significant influence on shaping the coast. On the SW sea side of the island from Prosika (which separates lake Mir from the open sea) to Stivanja Gora Hill there are structural slopes. This structural forms are as they are tectonically predisposed with Dugi Otok Fault and subsequently reshaped by abrasion during Holocene. In the NW and SE of the island, coasts are very low and there are rocky and sandy coasts.

Limnic type of relief occurs only in the SW of the island in the Nature Park "Telaščica" where the lake Mir – submerged karst uvala, is situated.

In the past, man had very big influence on relief. He had to destroy authentic forest for getting the pasture-ground and arable land. On the parts where pedological basis is appropriate, people built drystone walls and terraced fields where today olive-groves, vineyards, fields and gardens can be found.

Because of the need for building stone, by the coast numerous stone – pits were opened. Today they have a form of level slab.