Temeljne geološke značajke Dugog otoka

Tvrtko Korbar[1], Maša Surić[2]

[1]Hrvatski geološki institut, Milana Sachsa 2, 10 000 Zagreb
[2]Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju, Dr. F. Tuđmana 24 i, 23 000 Zadar



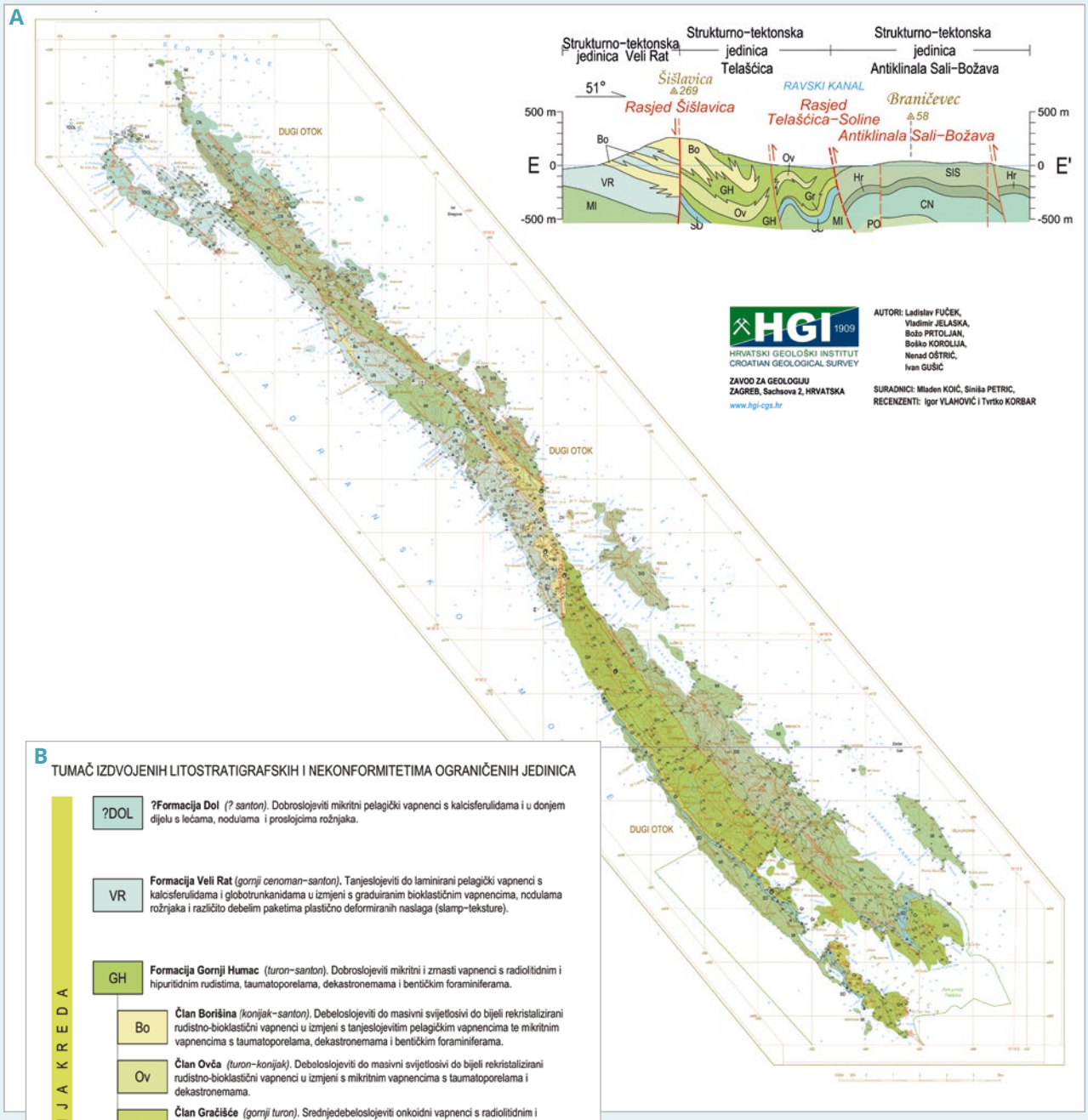
Uvod

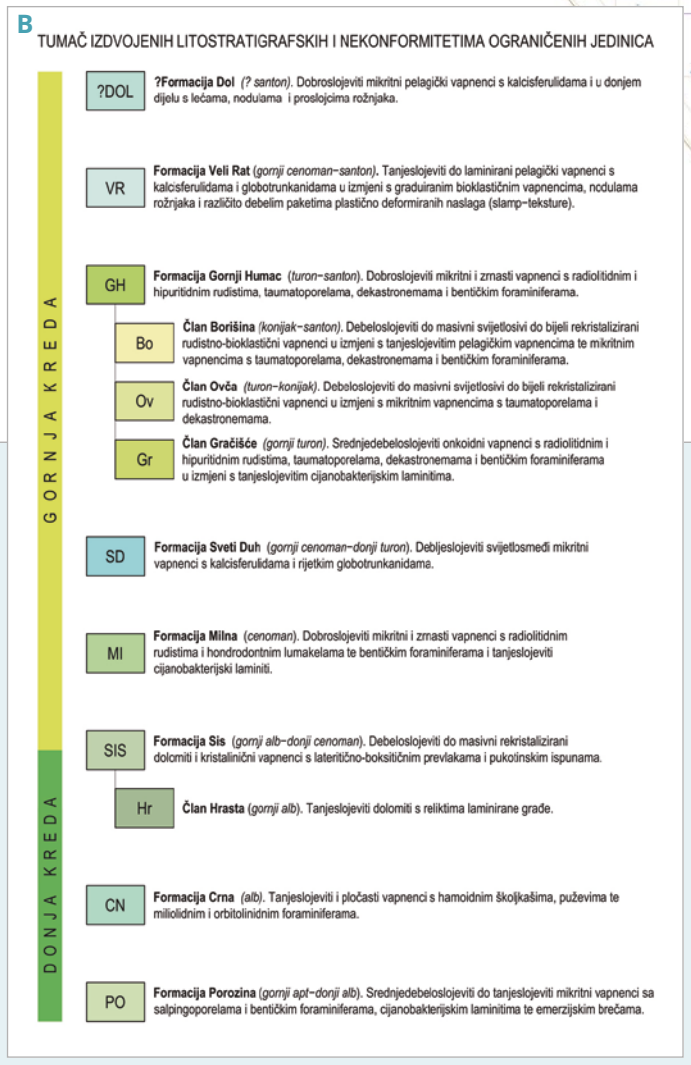
Današnji geografski položaj, geomorfološke te speleološke značajke Dugog otoka rezultat su dugotrajnih geoloških procesa koji su se odvijali tijekom posljednjih ~125 milijuna godina na putu središnjeg dijela Jadranske mikroploče (Adrije), od nekadašnjeg položaja usred tadašnjeg zapadnog Tetisa na oko 30° (**Slika 1a**), do današnjih 45° sjeverne zemljopisne širine (**Slika 1b**). Tijekom tog geodinamičnog putovanja, na rubovima Adrije formirani su perijadranski orogeni sustavi: Dinaridi, Alpe i Apenini. Dugi otok pripada vanjskom otočnom nizu sjeverne Dalmacije, koji u geotektonskom smislu čini rubni jugozapadni pojas središnjeg dijela vanjskih Dinarida (Korbar 2009). Generalno, Dugi otok proteže se paralelno s prednjom frontalnom navlakom tog borano-navlačnog, perijadranskog, alpinskog sustava, koja se nalazi u podmorju 20-ak kilometara JZ (Slika 1b). Frontalne dinarske strukture u podmorju JZ od Dugog otoka produžetak su istoga sustava koji se nalazi i na području susjednih Kornata, a koji s Dugim otokom čine strukturno-geološku, a s njegovim JI dijelom i jedinstvenu paleookolišnu cjelinu (Fuček i sur., 1990; Korbar i sur. 2010; Brčić i sur. 2019). Paralelno s pružanjem Dugog otoka, JZ od frontalnih dinaridskih struktura, u podmorju se nalazi i istoimeni najdublji taložni bazen našeg dijela Jadranskoga mora, koji je danas ispunjen naslagama dinaridskog predgorskog i recentnog Jadranskog bazena, u kojemu je istaložen gotovo 10 km debeli slijed naslaga mezozoika i kenozoika (Grandić i sur. 2002).

Čitavo područje Dugog otoka tijekom jure i krede generalno je bilo dio jadranske karbonatne platforme, jedne od nekoliko sličnih subtropskih platformi razvijenih na središnjoj Adriji, usred zapadnog Tetisa, na kojoj je istaložen nekoliko kilometara debeli slijed pretežito plitkovodnih karbonatnih naslaga (Fuček i sur. 1990; Vlahović i sur. 2005; **Slika 1a**). Nekad horizontalni slijed naslaga istaloženih tijekom mezozoika i početka kenozoika na relativno maloj mobilnoj Adriji, tektonski je deformiran i erodiran tijekom kenozoika uslijed podvlačenja te mikroploče pod euroazijsku tektonsku ploču. Zbog podvlačenja je došlo do dinaridske orogeneze, kad su gornji dijelovi zemljine kore u središnjem dijelu Adrije deformirani, izdignuti i erodirani te danas čine srednjodalmatinski otočni niz. Tako nastale strukture, naknadno intenzivno okršene, završno su oblikovane tijekom kvartara, a danas su dijelom preplavljene recentnim (holocenskim) morem (Surić i sur. 2014).



Slika 1. Položaj Dugog otoka sredinom razdoblja krede na shematskoj generalnoj paleookolišnoj karti područja zapadnog Tetisa (crvena strelica). Svijetloplavo = neritik, tamnoplavo = batijal. Modificirano prema Korbar (2019). b) Položaj Dugog otoka (crvena strelica) na shematskoj tektonskoj karti perijadranskog područja. Modificirano prema Korbar (2009).





Slika 2. Isječci Osnovne geološke karte Republike Hrvatske, list Dugi otok (preuzeto i prilagođeno iz Fuček i sur. 2016): a) geološka karta i karakterističan profil; b) tumač izdvojenih jedinica.

Paleookolišne, litostratigrafske i paleontološke značajke

Dugi otok izgrađen je gotovo isključivo od krednih karbonata, uz tek manje površine prekrivene tankim kvartarnim pokrovima koji na listu OGK RH (Fuček i sur. 2016) nisu prikazani (**Slika 2**). Krajem donje krede taloženi su isključivo plitkovodni karbonati koji su prepoznati kao široko rasprostranjene formacije apta i alba – Porozina i Crna, ukupne debljine >500 m. Tijekom prijelaza iz donje u gornju kredu (alb-cenoman) istaloženi su dolomiti formacije Sis debljine 150-200 m, a tijekom cenomana 250-300 m tipičnih peritajdalnih vapnenaca formacije Milna. Blago položene naslage formacije Milna obližnjeg otočića Lavdara, zbog specifičnog su mikritnog smećkastog vapnenca, relativno male tektonske raspucanosti i povoljnog priobalnog položaja eksploatirane kao arhitektonsko-građevni kamen i korištene za popločavanje ulica Zadra (Korbar i sur. 2015).

Na prijelazu iz cenomana u turon, zbog sinsedimentacijske tektonike došlo je do promjena u konfiguraciji paleookoliša i otvaranja unutarplatformnog bazena pa se paleookolišno jasno mogu izdvojiti SZ i JI dio otoka. Jugoistočni je dio izgrađen od dobrouslojenih plitkovodnih vapnenaca formacije Gornji Humac s pretpostavljenom debljinom većom od 400 m i čestim pojavama ljuštura izumrlih školjkaša – rudista, zbog čega se naslage gornje krede često nazivaju rudistni vapnenci. Naslage formacije Gornji Humac od cenomanskog su slijeda odvojene kalcisferskim vapnencima istaloženima na kratkotrajno potopljenoj platformi tijekom prijelaza iz cenomana u turon (~50 m debela formacija Sveti Duh, Gušić & Jelaska, 1993), dok su lateralno u tom horizontu, koji je taložen tijekom oceanskog anoksičnog događaja OAE-2, pronađeni i fosili amonita (Davey i Jenkyns 1999).

U središnjem dijelu otoka ističe se paleookolišna prijelazna rubna zona, vjerojatno formirana uz paleorasjed, duž koje su istaloženi debeloslojeviti sivi zrnasti vapnenci bogati skeletima školjkaša rudista (članovi Borišina i Ovča), koji čine kvalitetan, masivan arhitektonsko-građevni kamen, eksploatiran još od antičkih vremena, koji je ugrađen i u brojne građevine Zadra (Korbar i sur. 2015).

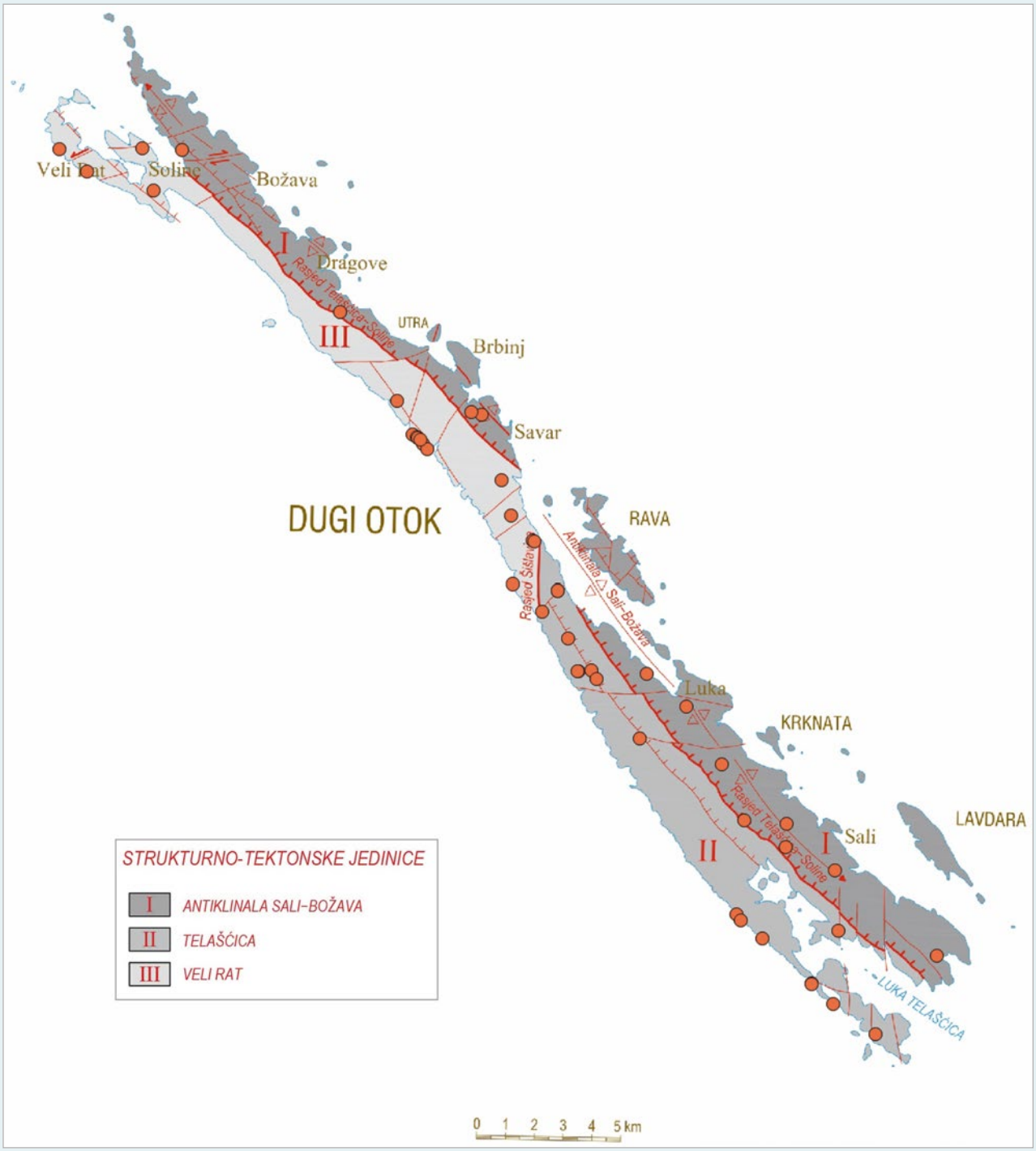
Sjeverozapadni dio otoka izgrađen je od unutarplatformnih dubljevodnih vapnenaca s planktonskim mikrofosilima (Kapović i Bauer 1971), koji su izdvojeni kao ~900 m debela formacija Veli rat (Fuček i sur. 2016). Unutar turonskih dubljevodnih pločastih vapnenaca kod Brbišnice (Fuček i sur. 1991), nađen je spektakularni fosil kostura mesosaura (Mekarski i sur. 2019), dok najmlađe bazenske naslage na Velom Ratu moguće pripadaju i formaciji Dol (santon), koje kao i najmlađi slojevi formacije Veli Rat sadržavaju nodule rožnjaka.

Strukturno-tektonske značajke

Dugi otok je borano-rasjedna struktura koja se sastoji od nekoliko subparalelnih rasjeda dinaridskog pravca pružanja (SZ-JI) te nekoliko paralelnih sinklinala i antiklinala (**Slika 3**). Mogu se razaznati tri strukturno-tektonske jedinice, a to su: I) Antiklinala Sali – Božava koja obuhvaća cijelom dužinom sjeveroistočnu stranu otoka; II) strukturno-tektonska jedinica Telašćica na jugozapadnom dijelu; III) Veli Rat na sjeverozapadnom dijelu Dugog otoka (**Slika 3**). Glavni lokalni reverzni rasjed pruža se središnjim dijelom otoka, dok su oni glavni regionalni locirani u podmorju nekoliko kilometara južnije (Grandić i sur. 2002; Korbar 2009; Korbar i sur. 2010). Frontalni rasjed vanjskih Dinarida nalazi se 20-ak km JZ od otoka, a južno od dinaridske fronte nalazi se Jadransko predgorje, kojeg čine mlađim naslagama prekriveni dijelovi karbonatne platforme koji nisu bili zahvaćeni dinaridskim deformacijama.

Današnji izgled otoka

Današnji izgled otoka, s dominantnim egzokrškim i endokrškim formama, rezultat je okršavanja u okviru kojeg se odvija i speleogeneza. Disolucijska faza speleogeneze, nerijetko je tektonski predisponirana. Naime, korozijsko djelovanje vode očekivano je intenzivnije u jače raspucanim dijelovima stijenske mase, što je u slučaju Dinarida posljedica boranja i rasjedanja. Iako je uobičajeno očekivati koncentraciju speleoloških objekata duž glavnih rasjednih i pukotinskih zona, na Dugom otoku duž glavnog reverznog rasjeda Telašćica – Soline zabilježena je manja učestalost spilja i jama nego duž pretpostavljene rasjedne zone koja se pruža



Slika 3. Tektonska karta Dugog otoka (preuzeto i prilagođeno iz Fuček i sur. 2016) s položajem speleoloških objekata (narančasti krugovi).

paralelno 0,5 – 1 km jugozapadno od glavnog rasjeda. Osim toga, veći broj speleoloških objekata formiran je i duž osi antiklinale Sali – Božava gdje u zoni tjemena antiklinale dolazi do ekstenzijskog naprezanja i pucanja stijenske mase, što omogućava intenzivnije okršavanje (Slika 3). Završno oblikovanje okoliša uvjetovano je kvartarnim promjenama klime koje su uzrokovale učestale fluktuacije morske razine. Tijekom glacijala, razina mora bila je niža i dolazilo je do emerzije karbonatne podloge i okršavanja kojim su formirani i preoblikovani brojni speleološki objekti. O tome svjedoče i brojne sige istaložene u tada subaerskim uvjetima. Konkretno, tijekom posljednjeg glacijalnog maksimuma (od prije 26 500 do prije 19 000 godina, Clark i sur. 2009), morska je razina bila niža 120 – 135 m (Peltier i Fairbanks 2006), dok je današnji Dugi otok u to doba bio uzvisina >400 m u prostranoj dolini rijeke paleoPo. No, posljednjim, gornjopleistocensko-holocenskim,

izdizanjem morske razine dio speleoloških objekata potpuno je ili djelomično potopljen (Surić i sur. 2010). Dijelom morem preplavljena Y-spilja u uvali Brbišnica jedan je od primjera tih tranzicijskih okoliša s iznimnim biološkim i hidrogeokemijskim okolišnim uvjetima (Juračić i sur. 2002, Radolović i sur. 2015) i potencijalnom geoarheološkom vrijednošću.

Literatura

- Brčić V., Korbar T., Fuček L., Palenik D., Belić N., Mišur I., L. Wacha, (2019). Osnovna geološka karta Republike Hrvatske mjerila 1:50 000 – NP Kornati. Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju, Zagreb, ISBN: 978-953-6907-72-4.
- Clark P. U., Dyke A. S., Shakun J. D., Carlson A. E., Clark J., Wohlfarth B., Mitrovica J. X., Hostetler S., W. Mccabe A. M. (2009). The Last Glacial Maximum. Science 325, 710–714.
- Davey S. D., Jenkyns H. C. (1999). Carbon-isotope stratigraphy of shallow-water limestones and implications for the timing of Late Cretaceous sea-level rise and anoxic events (Cenomanian-Turonian of the peri-Adriatic carbonate platform, Croatia). Eclogae Geologicae Helvetiae 92, 163–170.
- Fuček L., Gušić I., Jelaska V., Korolija B., Oštrić N. (1990). Stratigrafija gornjokrednih naslaga jugoistočnog dijela Dugog otoka i njihova korelacija s istovremenim naslagama otoka Brača. Geološki vjesnik 43, 23–33.
- Fuček L., Jelaska V., Gušić I., Prtoljan B., Oštrić N. (1991). Padinski turonski sedimenti uvale Brbišnica na Dugom otoku. Geološki vjesnik, 44, 55–67, Zagreb.
- Fuček L., Jelaska V., Prtoljan B., Korolija B., Oštrić N., Gušić I. (2016). Osnovna geološka karta Republike Hrvatske mjerila 1:50 000 – list: Dugi otok. Hrvatski geološki institut (Zavod za geologiju), Zagreb, ISBN: 978-953-6907-58-8 (https://www.hgi-cgs.hr/osnovna-geoloska-karta-150-000-geolosko-geografska-podrucja/ 10th of June, 2025)
- Grandić S., Veseli V., Kolbah S. (2002). Hydrocarbon potential of Dugi Otok basin in offshore Croatia. Nafta 53, 215–224.
- Gušić I., Jelaska V. (1993). Upper Cenomanian-Lower Turonian sea-level rise and its consequences on the Adriatic-Dinaric carbonate platform. Geologische Rundschau 82, 676–686.
- 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. U: Gabrovšek F. (ur.), Evolution of Karst: From Prekarst to Cessation - Proceedings of the international symposium, (Postojna, Slovenija), Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, 319–326
- Kapović B., Bauer V. (1971). Rezultati stratimetrijskog snimanja gornje krede Dugog otoka i otoka Premude. Nafta 22, 467–471.
- Korbar T. (2009). Orogenic evolution of the External Dinarides in the NE Adriatic region: a model constrained by tectonostratigraphy of Upper Cretaceous to Paleogene carbonates. Earth-Science Reviews 96, 296–312.
- Korbar T. (2019). The Cretaceous-Paleogene boundary tsunamite on the Adriatic carbonate platform and possible source of a hypothetical Atlantic-to-western-Tethys megatsunami. U: Koeberl C., Bice D. (ur.), 250 Million Years of Earth History in Central Italy: Celebrating 25 years of the Geological Observatory of Coldigioco, GSA Spec. Paper 542, 319–332.
- Korbar T., Surić M., Fuček L., Mihelčić V., Veseli V., Drobne K. (2010). Ekskurzija B1 – Geologija kornatskog otočja. 4. Hrvatski geološki kongres s međunarodnim sudjelovanjem (4th Croatian Geological Congress with international participation), Zagreb, 130–142.
- Korbar T., Fuček L., Matičec D., Palenik D., Oštrić N. (2015). Geological survey on building and platy limestone in the Adriatic karst region of Croatia for RoofOfRock project partners ZADRA, RERA SD, DUNEA and IDA. Data repository of the Croatian Geological Survey 99/15, pp. 194.
- Mekarski M. C., Japundžić D., Krizmanić K., Caldwell M. W. (2019). Description of a new basal mosasauroid from the Late Cretaceous of Croatia, with comments on the evolution of the mosasauroid forelimb. Journal of Vertebrate Paleontology 39, e1577872.
- Peltier W. R., Fairbanks R. G. (2006). Global glacial ice volume and Last Glacial Maximum duration from an extended Barbados sea level record. Quaternary Science Reviews 25, 3322–3337.
- Radolović M., Bakran-Petricioli T., Petricioli D., Surić M., Perica D. (2015). Biological response to geochemical and hydrological processes in a shallow submarine cave. Mediterranean Marine Science 16, 305–324.
- Surić M., Lončarić R., Lončar N. (2010). Submerged caves of Croatia – distribution, classification and origin. Environmental Earth Science 61, 1473–1480.
- Surić M., Korbar T., Juračić M. (2014). Tectonic constraints on the late Pleistocene-Holocene relative sea-level change along the north-eastern Adriatic coast (Croatia). Geomorphology 220, 93–103.
- Vlahović I., Tišljar J., Velić I., Matičec, D. (2005). Evolution of the Adriatic carbonate platform: palaeogeography, main events and depositional dynamics. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 220, 333–360.