

REKONSTRUKCIJA RECENTNIH MORFOLOŠKIH PROMJENA ŽALA UZ POMOĆ METODE PONOVLJENE FOTOGRAFIJE - PRIMJER ŽALA ZOGON NA OTOKU HVARU (SREDNJI JADRAN)

RECONSTRUCTING RECENT BEACH MORPHOLOGICAL CHANGES BY REPEAT PHOTOGRAPHY - EXAMPLE OF ZOGON BEACH ON THE ISLAND OF HVAR (CENTRAL ADRIATIC)

SANJA FAIVRE¹, MARIN MIĆUNOVIĆ²

¹ Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Marulićev trg 19/II, 10000 Zagreb / *University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Geography*, e-mail: sfaivre@geog.pmf.hr

² Istarska 26, 21000 Split, e-mail: marin_micunovic@yahoo.com

DOI: 10.15291/geoadria.1412

UDK: 551.435.32(497.5)(210.7 Hvar)=163.42=111

Izvorni znanstveni rad / *Original scientific paper*

Primljeno / *Received*: 2017-2-11



U radu je analiziran geomorfološki sustav koji čine jaruga i žalo Zogon na otoku Hvaru s ciljem diferenciranja prirodnih i antropogenih procesa koji utječu na promjene žala. Primjenom metoda ponovljene fotografije, orto-foto snimaka i terenskog kartiranja ustanovljeno je da se u razdoblju od 60-ih godina 20. stoljeća do danas površina žala Zogon smanjila za oko 50 %. Smanjenje žala može se povezati s recentnim antropogenim djelatnostima na širem području istraživanja, osobito višestrukim nasipavanjem korita jaruge prilikom gradnje te manjim promjenama u korištenju zemljišta i prirodnom regeneracijom vegetacije što uzrokuje smanjenje dohrane žala. S druge strane, preokret u evoluciji žala u promatranom razdoblju, koje je po definiciji akumulacijski reljefni oblik, iz akumulacijskog ili stanja ravnoteže u stanje dominantne erozije možemo povezati s recentnim klimatskim promjenama i izdizanjem relativne morske razine.

KLJUČNE RIJEČI: žalo, jaruga, obalna geomorfologija, promjene zemljišnog pokrova, promjene korištenja zemljišta, klimatske promjene, vinogradarstvo, Sveta Nedjelja

The geomorphological system composed of a torrent and a beach on the Island of Hvar was analysed with the aim to define natural and anthropogenic processes which influence changes in beach morphology. Using repeat photography method, ortho-photo images and field mapping it was found that between the 60s of the last century and the present, the Zogon beach reduced in size by approximately 50%. The reduction of the beach size can be related to the recent anthropological activities in the wider study area particularly due to multiply filling of the torrent bed during construction works and minor land use changes, as well as due to natural reforestation which all cause a decrease in the supply of material to the beach. On the other hand, the reversal of the beach evolution in the observed period, which is, by definition the accumulative relief form, from the accumulative state or state of balance, to dominant erosion, can be associated with recent climate change and relative sea level rise.

KEY WORDS: beach, torrent, coastal geomorphology, land cover changes, climate changes, viticulture, Sveta Nedjelja

UVOD

Recentne klimatske promjene veliki su problem današnjice te su stoga i česta istraživačka tema. Najbolje se uočavaju na područjima koje čovjek dobro poznaje ili na područjima za koja postoje vizualni zapisi iz prijašnjih godina kao što su fotografije, videosnimke, slike krajolika i sl. Brojne promjene vidljive su danas duž istočne obale Jadrana npr.: otapanje leda u planinskim speleološkim objektima (Ledenica u Štirovači) (BOČIĆ I DR., 2012.), podizanje razine mora (FAIVRE I DR., 2013.; FAIVRE, BUTORAC, u tisku), poplave kao posljedica oborinskih ekstrema (ABDULAJ I DR., 2014.; GAJIĆ-ČAPKA, CINDRIĆ, 2014.) učestala jaruženja (FAIVRE I DR., 2011.), česta olujna nevremena i olujni uspori (MEĐUGORAC I DR., 2015), aktiviranje klizišta (FAIVRE I DR., 2013.; MIHALIĆ I DR., 2017.) i mnoge druge.

Promjene se najprije i najlakše mogu primijetiti duž obale, gdje se kopneni i marinski okoliši isprepleću. Stoga su obale danas ključna geografska područja, jer leže na sučelju klimatskih promjena (KANIEWSKI I DR., 2016.). Obala je dinamični geomorfološki sustav koji povezuje procese u moru i na kopnu. Procesni na kopnu iako izvan obalne zone mogu značajno utjecati na razumijevanje promjena na obali. Jedan od najdinamičnijih obalnih reljefnih oblika su žala. Naime, samo 20 % svjetskih žala pokazuje danas relativnu stabilnost, dok je ostalih 80 % u stalnim promjenama. Tendencija većine današnjih žala, njih 70 % je erozija, dok samo 10 % svjetskih žala raste (BIRD, 2008.).

Žala su vrlo atraktivne zone s turističke točke gledišta. Posljednjih godina za njima je sve veća potražnja zbog razvoja kupališnog turizma te su antropogene intervencije na njima sve češće. Upravo stoga razumijevanje geomorfoloških promjena na obali postaje još važnije za daljnje upravljanje obalnim resursima na održiv način (WOODROFFE, 2002.).

Žala su akumulacijska sedimentna tijela duž obale koja čine sedimenti različite veličine, u rasponu od vrlo finog pijeska, šljunka, valutica do ponekad i gromada (BIRD, 2008.). Istočna obala Jadrana uglavnom je stjenovita, 90 % obale oblikovano je u karbonatima, a samo oko 6 % u eocenskom flišu (PIKELJ, JURAČIĆ, 2013.). Stoga je i većina žala oblikovana u karbonatima. Iako po-

INTRODUCTION

Recent climate changes are an important issue today and therefore also a frequent research topic. They are best observed in areas which people know well, or in areas where there are visual records from previous years such as photographs, footages, landscape pictures etc. Numerous changes can be observed today along the eastern Adriatic coast e.g. ice melting in mountainous speleological objects (Ledenica in Štirovača, BOČIĆ ET AL., 2012), sea level rise (FAIVRE ET AL., 2013; FAIVRE, BUTORAC, in press), floods as a result of precipitation extremes (ABDULAJ ET AL., 2014; GAJIĆ-ČAPKA, CINDRIĆ, 2014), frequent gullyng (FAIVRE ET AL., 2011), frequent storms and storm surges (MEĐUGORAC ET AL., 2015), activation of landslides (FAIVRE ET AL., 2013; MIHALIĆ ET AL., 2017) and many others.

Changes can be first and best observed along the coast, where land and marine environment intertwine. Therefore, the coasts are key geographical areas today, as they lie at the of climate change (KANIEWSKI ET AL., 2016). The coast represents a dynamic geomorphological system that connects processes in the sea with those on land. Onshore processes, although outside the coastal zone, can have a significant impact on understanding coastal changes. One of the most dynamic coastal relief forms is a beach. Namely, only 20% of global beaches show relative stability today, while the other 80% are in constant change. The tendency of most of today's beaches is erosion (70%), while only 10% of world beaches are growing (BIRD, 2008).

Beaches represent very attractive zones from a tourist point of view. There has been an increasing demand for them in recent years due to the development of bathing tourism. So, anthropogenic interventions on the beaches are becoming more and more frequent. Consequently, the understanding of geomorphological changes on the coast is becoming even more important for sustainable management of coastal resources (WOODROFFE, 2002).

A beach is a shore accumulation of generally loose, unconsolidated sediment, ranging in size from very fine sand up to pebbles, cobbles and occasionally boulders (BIRD, 2008). The eastern Adriatic coast is mostly rocky, 90% of its shores are formed in carbonates and around 6% in Eocene

stoje različiti geomorfološki tipovi žala (vidi npr. PIKELJ, JURAČIĆ, 2013.; MARRINER I DR., 2014.; RUŽIĆ I DR., 2014.) velik broj žala duž istočne obale Jadrana formiran je u proluvijalnom materijalu derazijskih dolina i jaruga (JURAČIĆ I DR., 2009.; FAIVRE I DR., 2011.; RUŽIĆ I DR., 2011.). Povremeni tokovi donose materijal iz drenažnog bazena te oblikuju plavine u kojima se na kontaktu s morem formiraju žala. Stoga su kao i u većini slučajeva u umjerenim širinama, žala istočnog Jadrana formirana ponajprije u sedimentu terigenog podrijetla (PIRAZZOLI, 1993.). Tako morfološke značajke žala duž istočne obale Jadrana značajno ovise o donosu materijala s kopna (kao posljedica trošenja, jaruženja, spiranja, urušavanja, osipavanja) i utjecaju mora na taj istaloženi materijal. Položaj i orijentacija žala u odnosu na dominantni smjer valova kao i morfologija obale na kojem se žalo nalazi imaju iznimnu važnost u definiranju morfodinamičkih obilježja pojedinih žala. No vrlo važan čimbenik morfologije žala je i dinamika jaruženja, koja su sve intenzivnija i sve učestalija pojava i time danas uvelike utječu na morfologiju mnogih žala (npr. FAIVRE I DR., 2011.).

Geomorfološke promjene žala istočnog Jadrana u različitim prostornim i vremenskim mjerilima sve su češća istraživačka tema (npr. RAJČIĆ I DR., 2010.; BENAC I DR., 2010.; FAIVRE I DR., 2011.; RUŽIĆ I DR., 2011.; PIKELJ I DR., 2014.; PIKELJ I DR., 2015.; LONČAR I DR., 2016.; RUŽIĆ I DR., 2017.). Ovakva istraživanja omogućuju praćenje recentnih geomorfoloških promjena na žalima i njihove povezanosti s antropogenim djelatnostima.

Zbog specifičnih geomorfoloških obilježja, žala je poželjno proučavati zasebno u krupnom mjerilu (PIKELJ, JURAČIĆ, 2013.). Tako je predmet istraživanja ovoga rada žalo Zogon u Svetoj Nedjelji na otoku Hvaru. Žalo Zogon nastalo je s jedne strane procesima jaruženja te s druge strane, unazadnom (regresivnom) erozijom kvartarnih breča u kojima je žalo i oblikovano. U radu će se analizirati više desetljetne promjene žala od 60-ih godina 20. stoljeća do danas. Provest će se geomorfološka procjena promjene žala u razdoblju od oko šezdeset godina primjenom metode ponovljene fotografije koristeći geografski informacijski sustav (GIS), kartiranje uz pomoć GPS-a, te georeferenciranih orto-foto snimaka iz 1968. i 2011. godine. Raz-

flysch (PIKELJ, JURAČIĆ, 2013). Consequently, most of the beaches were formed in carbonate material. Even if there are different kind of beaches along the eastern Adriatic coast (see e.g. PIKELJ, JURAČIĆ, 2013; MARRINER ET AL., 2014; RUŽIĆ ET AL., 2014), a large number of beaches is formed in proluvial material of small valleys and gullies (ravines) (JURAČIĆ ET AL., 2009; FAIVRE ET AL., 2011; RUŽIĆ ET AL., 2011). The occasional streams bring the material out of the drainage basin and create fans in which the beaches are formed in the contact with the sea. Therefore, as usual in temperate zones, the beach material is primarily composed of sediments of terrigenous origin (PIRAZZOLI, 1993). Thus, morphological properties of beaches along the eastern Adriatic coast rely on the supply of terrigenous material as a result of weathering, gullyng, slope-wash erosion, rockfall and rockslide, and on the impact of the sea on that material. The position and orientation of beaches in relation to the dominant wave direction as well as the morphology of the shoreline are of utmost importance in defining morphodynamic characteristics of a particular beach. However, a very important factor of beach morphology is also the dynamics of gullyng, which is becoming more and more intense and more frequent, and thus greatly affects the morphology of many beaches (e.g. FAIVRE ET AL., 2011).

Geomorphological changes of beaches along the eastern Adriatic coast on different spatial and temporal scales is a research topic which rises a lot of interest today (e.g. RAJČIĆ ET AL., 2010; BENAC ET AL., 2010; FAIVRE ET AL., 2011; RUŽIĆ ET AL., 2011; PIKELJ ET AL., 2014; PIKELJ ET AL., 2015; LONČAR ET AL., 2016; RUŽIĆ ET AL., 2017). Such surveys enable the observation of recent geomorphological changes of beaches and their association with anthropogenic activities.

Due to their specific geomorphologic characteristics, it is preferable to study each beach separately and on a small scale (PIKELJ, JURAČIĆ, 2013). This research focuses on the Zogon beach at Sveta Nedjelja on the Island of Hvar. Zogon beach was created by the processes of gullyng, on one hand and, on the other hand, by the regressive erosion of Quaternary breccia in which the beach was shaped. In this paper, decadal changes of the beach morphology from

motrit će se i antropogeni utjecaji, odnosno načini na koje ljudske djelatnosti utječu na žalo (promjene u korištenju zemljišta i građevinski zahvati). Nepostojanje točnih zapisa inženjerskih radova često otežava odvajanje prirodnih procesa od antropogenih utjecaja.

PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

Hvar je najduži hrvatski otok s duljinom od 67,8 km, četvrti po veličini s površinom od 297,4 km² (DUPLANČIĆ LEDER I DR., 2004.). Zapadni dio

the 1960s in the last century till the present days were analysed. The geomorphological assessment of beach morphological change was conducted for the period of about 60 years based on the method of repeat photography using Geographic Information System (GIS), GPS mapping, and georeferenced ortho-photos from 1968 and 2011. Anthropogenic impacts, that is the ways in which human activity affects the beach (changes in land use and construction works) will be considered. The lack of accurate records on engineering works makes the separation between natural processes and anthropogenic influences rather difficult.



SLIKA 1. Područje istraživanja (a); šire područje jaruge (b); terase s vinovom lozom i korito jaruge (c); žalo Zogon (d i e).
 FIGURE 1 Research area (a); larger area of the gully (b); terraces with vineyards and gully bed (c); Zogon beach (d & e).

otoka doseže širinu od 10 km dok je istočni dio širok samo 2,5 km. Obala je duga 254,2 km, a koeficijent razvedenosti iznosi 4,14 te je poslije Dugog otoka najrazvedeniji hrvatski otok (BOGNAR, 1990.). Otok Hvar pripada skupini srednjodalmatinskih otoka. Otoci srednjodalmatinske otočne skupine specifični su po svojem pružanju u smjeru zapad – istok. Taj smjer je najistaknutiji kod otoka Hvara te cijela skupina otoka nosi naziv „hvarska“ (ROGLIĆ, 1977.). Maksimalne dubine mora oko otoka Hvara dosežu 87 m u hvarskom kanalu na sjeveru i 63 m na jugu u korčulanskom kanalu. Žalo Zogon nalazi se na južnoj obali otoka, u podnožju najvišeg vrha otoka Hvara (Sv. Nikola – 628 m) u mjestu Sveta Nedjelja (Sl. 1.).

GEOLOŠKA I GEOMORFOLOŠKA OBILJEŽJA

Otok Hvar izgrađen je ponajprije od stijena nastalih taloženjem u plitkom moru kao dio nekadašnje mezozojske karbonatne platforme (MARINČIĆ, 1995.; VLAHOVIĆ I DR., 2005.). Općenito, otok predstavlja veliku prebačenu antiklinalu izgrađenu od karbonatnih stijena kredne starosti, navučenih na južnom dijelu otoka, na srednje eocenske dubokomorske pješčenjake i lapore (Sl. 2) (MARINČIĆ, MAJCEN, 1976.).

Najstariji izdanci pripadaju donjoj kredi i oni se nalaze na zapadnom dijelu otoka, na području Pitava, Vrisnika, Svirača, Selca i Velog Grablja. To su smeđesivi dobro uslojeni dolomiti s rijetkim proslojcima i tanjim lećama vapnenca, te dobro uslojeni vapnenci debljine od oko 200 m (HERAK I DR., 1976; BOROVIĆ I DR., 1977).

Gornjokredne naslage predstavljene su svijetlosivim, slabo uslojenim dolomitima, debljine slojeva od oko 1 m. Na svijetlosive dolomite nastavljaju se dobrouslojeni smeđesivi vapnenci. Na perifernim dijelovima krila osnovne otočne antiforme nalaze se i dobro uslojeni i gromadasti rudistni vapnenci debljine oko 600 m. To su svijetlosmeđi i bijeli vapnenci s tankim lećama dolomita (HERAK I DR., 1976.).

Sedimenti iz razdoblja paleogena istaloženi su na okršenoj krednoj stijenskoj podlozi s mjestimičnim naslagama boksita. Nalazimo ih samo na

RESEARCH AREA

Hvar is the longest Croatian island with a length of 67.8 km, and the fourth in size with a surface of 297.4 km² (DUPLANČIĆ LEDER ET AL., 2004). The western part of the island reaches the width of 10 km while the eastern part is only 2,5 km wide. The coastline is 254.2 km long with the indentation coefficient of 4.14. Following the Island of Dugi otok it is the most indented island of Croatia (BOGNAR, 1990). The Island of Hvar belongs to the group of Central Dalmatian islands specific by its west-east spreading direction. As this spreading direction is most prominent on Island of Hvar, the whole group of islands is named “Island of Hvar group” (ROGLIĆ, 1977). The maximum sea depth around the Island of Hvar reaches 87 m in the Hvar Channel in the north and 63 m in the south in the Korčula Channel. Zogon beach is located on the southern coast of the island, at the foot of the highest peak of Island of Hvar (Sv. Nikola - 628 m) in Sveta Nedjelja (Fig. 1).

GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL PROPERTIES

Island of Hvar is composed mainly of rocks that were created by deposition in the shallow sea as part of the former Mesozoic carbonate platform (MARINČIĆ, 1995; VLAHOVIĆ, ET AL., 2005). Generally, the island represents a large overturned anticline composed of Cretaceous rocks thrust along the southernmost part of the island over the Middle Eocene deep-water sandstones and marls (Fig. 2) (MARINČIĆ, MAJCEN, 1976).

The oldest outcrops belong to the lower Cretaceous and they are located in the western part of the island, in the area of Pitve, Vrisnik, Svirče, Selca and Velo Grablje. Those are brownish well-layered dolomites with scarce interlayers and thin lenses of limestone as well as well-layered limestones around 200 m thick (HERAK ET AL., 1976; BOROVIĆ ET AL., 1977).

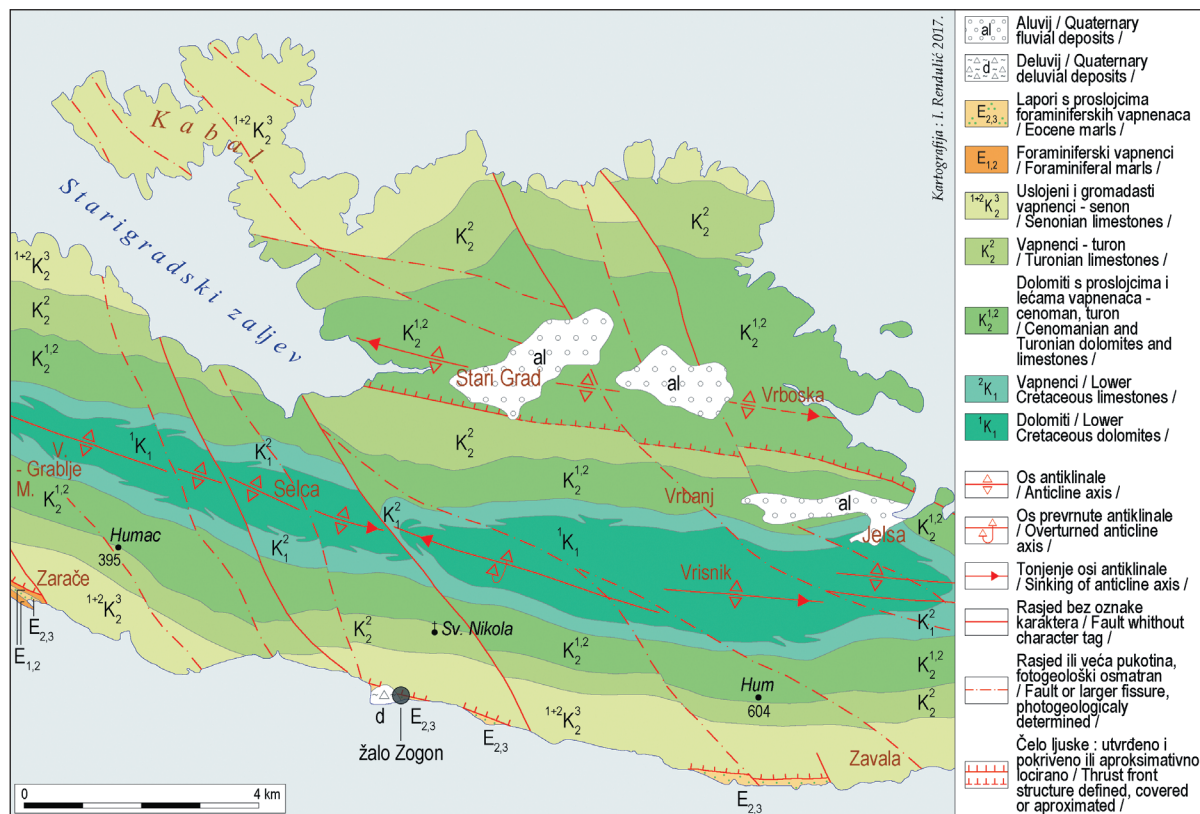
The upper Cretaceous deposits are represented with light grey, low-layered dolomite (layer thickness of about 1 m). On light grey dolomite, the

području između Hvara i Milne, Zračača, oko Zavale te uz obalu Svete Nedjelje. Paleogenske naslage čine foraminiferski vapnenci, prijelazni lapori te dubokomorski pješčenjaci i lapori (PAVELIĆ I DR., 2011.). Paleogenski fliš od velike je važnosti za stanovništvo otoka jer je dobra poljoprivredna osnova (plodno tlo) (ROGLIĆ, 1977.).

Kvartarni sedimenti nalaze se na sjevernoj padini otoka (Sl. 2.) u području Starigradskog polja, Vrbanja, Jelse i Vrboske, te na južnoj strani na području Zavale i Svete Nedjelje (MARKOVIĆ-MARJANOVIĆ, 1976.; MARINČIĆ, MAJČEN, 1976.; BO-

well-layered brownish limestones continue. On the peripheral parts of the limbs of the main island anti-form there are also layered bulky rudistic limestones about 600 m thick. Those are light brown and white limestones with thin dolomite lenses (HERAK ET AL., 1976).

Palaeogene sediments are deposited above the karstified surface of Cretaceous rocks with some pockets of bauxite. They can be found only in the area between Hvar and Milna, Zračača, around Zavala and near the coast of Sveta Nedjelja. Palaeogene deposits are composed of foraminiferal limestones,



SLIKA 2. Geološka karta dijela otoka Hvara (Izvor: Marinčić, Majcen, 1976.)

FIGURE 2 Segment of the Island of Hvar geological map (Source: Marinčić, Majcen, 1976.)

GNAR, 1990.).

Koluvijalne naslage predstavljene su siparišnim brečama, a uglavnom su rasprostranjene na južnoj padini Hvara u okolici Svete Nedjelje i Zavale. Na Hvaru se razlikuju tri „generacije“ sipara: 1. crveni sipari oblikovani od vapnenaca i dolomita povezani crvenicom, 2. sipari oblikovani od nezaobljenih vapnenaca i dolomita povezani lesnim materijalom te 3. najmlađi sipari smješteni na najvišim i najstrmijim dijelovima Hvara (MARKOVIĆ-MARJANOVIĆ, 1976.).

U okviru kvartarnih sedimenata također su zastu-

transitional marls and deep-water sandstones and marls (PAVELIĆ ET AL., 2011). Palaeogene flysch is of great importance for island population as it constitutes a good agricultural base (fertile soil) (ROGLIĆ, 1977).

Quaternary deposits can be found on the northern side of the island (Fig. 2.) on the area of the polje of Stari grad, Vrbanj, Jelsa and Vrboska, and on the southern side on the area of Zavala and Sveta Nedjelja (MARINČIĆ, MAJČEN, 1976; MARKOVIĆ-MARJANOVIĆ, 1976; BOGNAR, 1990).

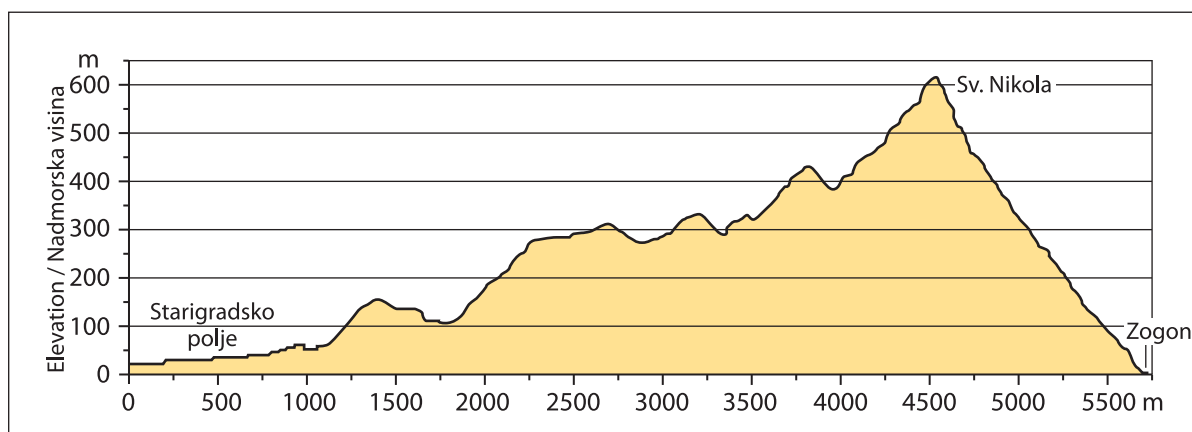
Colluvial deposits are represented with slope

pljeni eolski (PAVELIĆ I DR., 2011.) te proluvijalni i aluvijalni sedimenti (BOGNAR, 1990.). Proluvijalne plavine nalazimo osobito na području između Svete Nedjelje i Zavale u čijem su materijalu oblikovana žala, dok su aluvijalni sedimenti najzastupljeniji u Starigradskom polju te na području Jelse i Pitava (BOGNAR, 1990.).

Hvar je izduženog i asimetričnog oblika, na istoku jednostavan, a prema zapadu postaje viši, širi i složeniji (ROGLIĆ, 1977.). Južna strana otoka je strmija i jednostavnija, dok je sjeverna strana složenija i raščlanjenija (Sl. 3). Na njoj se ističe Starigradsko polje smješteno između glavnog hrpta Hvara i poluotoka Kabla. Polje je djelomično potopljeno (ROGLIĆ, 1977.) i danas je na tom mjestu duboko uvučeni Starigradski zaljev. Današnji izgled reljefa dokazuje snažnu strukturnu predispoziciju kao i dugotrajan utjecaj egzogenih sila na oblikovanje reljefa, a litološka obilježja dodatno utječu na dife-

breccia which is mainly present on the southern slope of Island of Hvar near Sveta Nedjelja and Zavala. On the Island of Hvar three generations of talus breccia can be distinguished: 1) red scree cones breccia formed of limestone and dolomite consolidated by terra rossa, 2) scree cones breccia formed of not rounded limestones and dolomite consolidated with loess material, and the 3) youngest scree cones breccia located on the highest and steepest parts of Island of Hvar (MARKOVIĆ-MARJANOVIĆ, 1976).

Quaternary sediments also includes aeolian (PAVELIĆ ET AL., 2011), alluvial and proluvial sediments (BOGNAR, 1990). Proluvial fans are found especially in the area between Sv. Nedjelja and Zavala, in whose material, beaches have been shaped, while alluvial sediments are most common in the Starigradsko polje and in the area of Jelsa and Pitve (BOGNAR, 1990).



SLIKA 3. Poprečni topografski profil Starigradsko polje – vrh Sv. Nikola – žalo Zogon

FIGURE 3 Transversal topographic profile of Stari Grad – St. Nikola peak – Zogon beach

rencijaciju aktualnih reljefnih oblika.

Najviše visine od preko 500 m nalaze se u središnjem dijelu otoka gdje je smješten najviši vrh (Sv. Nikola). Grebenom se otok može podijeliti na južnu i sjevernu stranu. Na Hvaru je zastupljeno svih šest kategorija nagiba (BOGNAR, 1990.). Najveći nagibi nalaze se podno hrpta te na klifovima uz more ($< 55^\circ$), a najmanji se javljaju u Starigradskom polju i zaravnjenim dijelovima pobjeda Rudine – Kabal ($> 2^\circ$) uz izuzetak strmijih primorskih padina na Kablu ($5 - 12^\circ$) (MIĆUNOVIĆ, 2017.).

Na otoku dominira krški i fluviokrški reljef, a oblik otoka i veliki nagibi pogodovali su aktiviranju brojnih geomorfoloških procesa. Fluviodenucijski i akumulacijski procesi ističu se na sjever-

Hvar is of elongated and asymmetrical shape, whose eastern part is simple while it becomes higher, wider and more complex toward the west (ROGLIĆ, 1977). The southern side of the island is steeper and simpler, while the northern side is more complex and segmented (Fig. 3). Polje of Stari Grad is well distinguished and is located between the major ridge of Hvar and Kabal peninsula. The polje is today partly submerged (ROGLIĆ, 1977) and the well indented bay of Starigrad is formed. Recent relief forms testify on strong structural predisposition as well as the long-lasting exogenous forces which influence relief development. Lithological properties additionally influence different evolution of actual relief forms.

noj strani otoka u blizini Jelse i Dola. Vezani su za aktivnost povremenih tokova (bujica) koji oblikuju derazijske doline. Padinski procesi karakteristični su za sve padine na otoku, no njihov intenzitet veći je na strmijim padinama gdje uglavnom sudjeluju dolomiti koji su mehanički trošniji od vapnenaca. Proces koji se najčešće javlja su osipanje, urušavanje, spiranje i jaruženje iz kojih nastaju primarno sipari i plavine. Jaruženje je najintenzivnije na južnoj strani otoka. U okolici te istočno od mjesta Zavala nalazi se i najveći broj jaruga njih čak 9 – 10 na km² (BOGNAR, 1990.). Na sutoku jaruga u more oblikovane su proluvijalne plavine. Na istočnom dijelu otoka javljaju se škrape i pliče ponikve (BOGNAR, 1990.) te speleološki objekti. Fluviokrški reljef zastupljen je u obliku zaravni i brojnih suhih dolina na sjevernoj padini otoka (MARKOVIĆ-MARJANOVIĆ, 1976.; BOGNAR, 1990.).

Na južnoj obali Hvara ističu se strukturno predisponirani klifovi najizraženiji zapadno od grada Hvara i Svete Nedjelje. Abrazijski utjecaj na klifove je mali s obzirom na to da im je baza u dubokom moru te je utjecaj valova neznatan. Ujedno treba istaknuti da je današnja obala Jadrana relativno mlada (BENAC, JURAČIĆ, 1998.; FAIVRE, FOUACHE, 2003.; SURIĆ, 2009.).

Gledajući otok u cjelini, najrasprostranjenije su stjenovite niske obale oblikovane u monoklinalnim i horizontalno položenim slojevima. Niske obale oblikovane u klastičnim sedimentima znatno su rjeđe zastupljene (BOGNAR, 1990.) i predstavljaju iznimno mali dio ukupne duljine obale otoka Hvara.

Jaruga na području istraživanja oblikovana je u dolomitima kredne starosti dok je samo žalo Zogon oblikovano u kvartarnim brečama na kontaktu s eocenskim laporima duž čela ljuske (Sl. 2.). Materijal hranjenja žala je terigenog podrijetla, to su kvartarne breče i bujični, to jest proluvijalni materijal. Budući da je žalo južne ekspozicije, izloženo je valovima iz južnog kvadranta (Sl. 1. i 7.).

The highest elevations above 500 m are located in the central part of the island where the highest peak (St. Nikola) is located. The island can be divided into the southern and northern side along the major ridge. All six categories of slope inclination are present on Island of Hvar (BOGNAR, 1990). The highest slopes are found at the foot of the ridge and on the sea cliffs ($< 55^\circ$), while the smallest appear in the polje of Starigrad and the levelled area of the hilly part Rudine - Kabal ($> 2^\circ$) with the exception of the steeper slopes of Kabal ($5-12^\circ$) (MIĆUNOVIĆ, 2017).

Karstic and fluviokarstic forms dominate on the island. The shape of the island and steep slopes favoured the activation of numerous geomorphological processes. Fluvio-denudational and accumulation processes are prominent on the northern side of the island near Jelsa and Dol. They are related to the occasional flows which form small valleys. Slope processes are widespread but their intensity is much more important on steep slopes formed mainly in dolomites which are mechanically more susceptible to weathering than limestones. The most commonly occurring processes are rockslide, rockfall, slope-wash erosion and gullyng, which primarily form scree cones and fans. Gullyng is most intense on the southern side of the island. In the vicinity of Zavala there is the largest number of gullies, even 9-10 on km² (BOGNAR, 1990). On the confluence of gullies with the sea proluvial fans are formed. In the eastern part of the island karrens are widespread. Shallow dolines (BOGNAR, 1990) and speleological objects can be also found. Fluviokarst relief is represented with erosional plains and numerous dray valleys on the northern slope of the island (MARKOVIĆ-MARJANOVIĆ, 1976; BOGNAR, 1990).

On the southern shores of Island of Hvar, westward from Hvar town and Sv. Nedjelja, structurally predisposed cliffs are the most prominent features. As those are plunging cliffs, the influence of waves is negligible. At the same time it should be noted that today's Adriatic coast is relatively young (BENAC, JURAČIĆ, 1998; FAIVRE, FOUACHE, 2003; SURIĆ, 2009).

Looking at the island as a whole, low sloping rocky coasts formed in monoclinal and horizontal layers are the most widespread. The low sloping shores formed in clastic sediments are significantly less present (BOGNAR, 1990) and represent an ex-

KLIMATSKA OBILJEŽJA OTOKA HVARA

Meteorološka postaja Hvar bilježi podatke od 1858. godine te je jedna od najstarijih meteoroloških postaja u Hrvatskoj (MAKJANIĆ, VOLARIĆ, 1977.). Podaci su kontinuirani od 1867. uz kratku stanku za vrijeme Prvoga i Drugoga svjetskog rata. Postaja se nalazi na južnoj obali otoka (43°10' N i 16°27' E) u gradu Hvaru, a udaljena je samo 15 km od područja istraživanja.

Zahvaljujući svojem geografskom položaju, kao i ostali srednjodalmatinski otoci, Hvar ima sredozemnu klimu, točnije prema Köpenovoj klasifikaciji klimu masline – Csa (ZANINOVIĆ I DR., 2008.) što je vidljivo na klimadijagramu (Sl. 4.). Specifičnost klime masline su suha razdoblja u toplom dijelu godine, gdje najsuši mjesec ima manje od 40 mm padalina. Također, klimu obilježavaju vruća i izrazito vedra ljeta, te blage, kišovite i vjetrovite zime (ZANINOVIĆ I DR., 2008.).

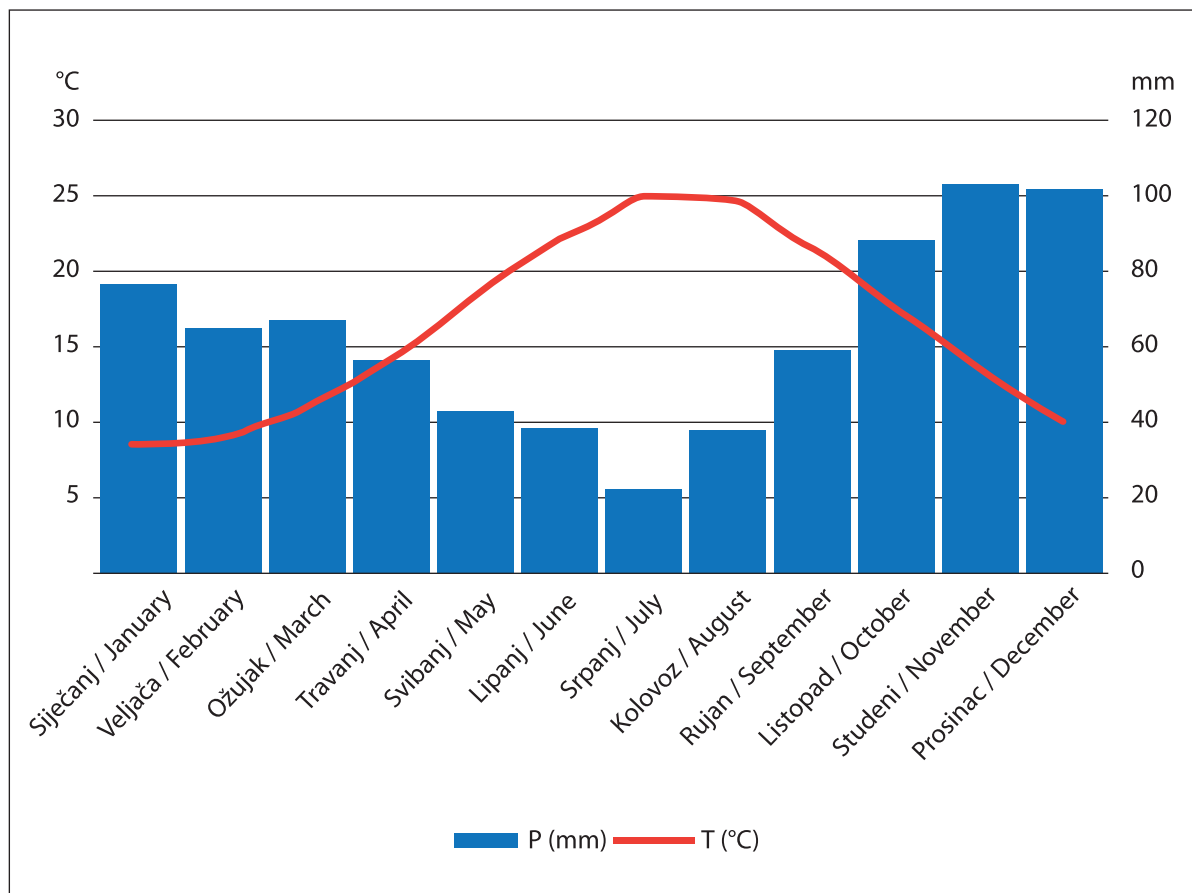
S obzirom na reljef i njegovu izduženost na

trremely small part of the total length of the coast of Island of Hvar.

The gully at the studied area is formed in dolomites of the Cretaceous period while the Zogon beach is formed in Quaternary breccia at the contact with Eocene marls along the thrust front (Fig. 2). The nourishment material of the beach is of terrigenous origin, those are Quaternary breccia and torrential proluvial material. As the beach is of southern exposure it is exposed to waves from the southern quadrant (Figs. 1 and 7).

CLIMATIC PROPERTIES OF THE ISLAND OF HVAR

Meteorological station Hvar has been recording data since 1858 and is one of the oldest meteorological stations in Croatia (MAKJANIĆ, VOLARIĆ, 1977). The data have been continuous since 1867 with a short break during the First and Second World War. The station is located on the southern



SLIKA 4. Klimadijagram za Hvar (1867. – 2015.) (Izvor: DHMZ)

FIGURE 4 Climatic diagram for the meteorological station Hvar (1867 – 2015) (Source: Croatian Meteorological and Hydrological Service – CMHS)

otoku postoje mikroklimatske razlike. Najizraženije su razlike između središta i obale te istočnog i zapadnog dijela otoka. Otok Hvar često je nazivan i „sunčani Hvar“, jer bilježi najveći broj sunčanih sati u Hrvatskoj. Dugogodišnji prosjek (1952. – 2015.) insolacije iznosi 2735,8 h/god, dok npr. godišnji ekstrem iz 2003. godine doseže vrijednost od 3054,3 h/god (DHMZ). Prema podacima DHMZ-a, najveća insolacija karakteristična je za srpanj čiji dugogodišnji prosjek iznosi 369,7 h. Najmanja insolacija, s obzirom na duljinu trajanja dana te povećanu naoblaku karakteristična je za prosinac, čiji prosjek iznosi 117,2 h (DHMZ).

Na godišnji hod temperature utječe insolacija, geografski položaj, udaljenost od mora i vjetar. Iz klimadijagrama, koji pokazuje prosječnu temperaturu zraka (1867. – 2015.) za sto četrdeset osam godina, vidljivo je kako je srednja temperatura zraka najhladnijeg mjeseca, siječnja, 8,7 °C, dok je srednja temperatura najtoplijeg mjeseca, srpnja, 25 °C. Najveći utjecaj na temperaturu zraka ima maritimnost. Zime su blage, ljeta nisu izrazito vruća, a amplituda temperature je manja nego na kontinentalnom području.

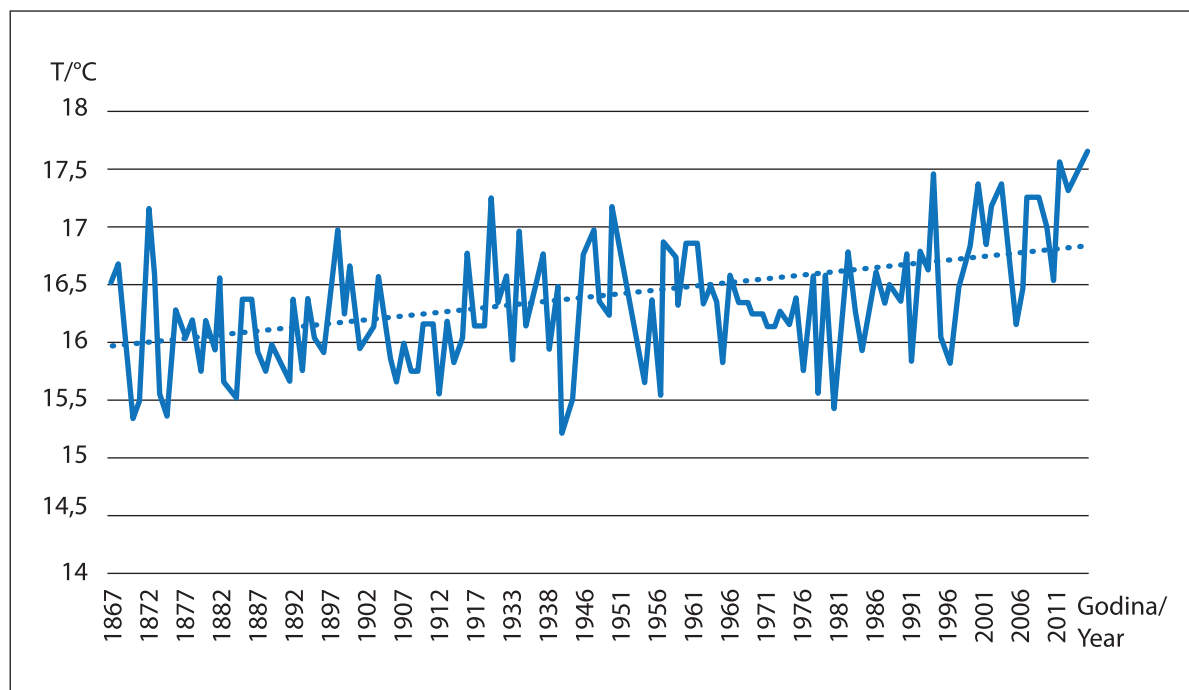
Zahvaljujući podacima DHMZ-a meteorološke

shore of the island (43° 10' N and 16° 27' E) in the town of Hvar and is only 15 km away from the research area.

According to its geographic position, as well as other Central Dalmatian islands, Hvar has a Mediterranean climate, according to Köpen's classification – the Olive Climate – Csa (ZANINOVIĆ ET AL., 2008) what is visible on the climatic diagram (Fig. 4). The specificity of the olive climate is a dry period in the warm part of the year, where the driest month has below 40 mm precipitation. Also, this climate type is characterized by hot and very clear summers, and mild, rainy and windy winters (ZANINOVIĆ ET AL., 2008).

According to the elongation of the island and its relief properties there are microclimate differences. The most prominent are the differences between the centre and the coast of the eastern and western parts of the island. The Island of Hvar is often called the “sunny Hvar” because it records the largest number of sunny hours in Croatia.

The long-term average (1952 – 2015) of insolation is 2735.8 h/year, while for example the annual extreme of 2003 reaches 3054.3 h/year (CMHS). According to CMHS data, the largest insolation is characteristic for July, whose long-term average



SLIKA 5. Prosječna godišnja temperatura zraka za razdoblje 1867. – 2015. za postaju Hvar. Podaci po godinama prikazani su punom, a linearni trend iscrtkanom linijom (Izvor: DHMZ)

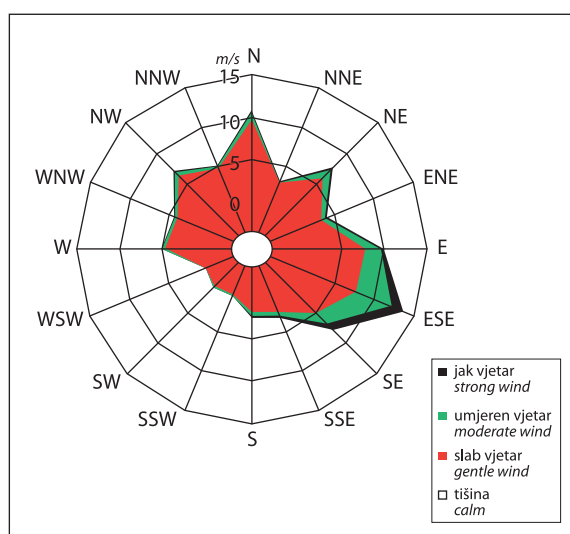
FIGURE 5 Average annual air temperature for the period 1867 – 2015, Hvar meteorological station. The yearly data are shown in full line while the linear trend is drawn in dotted line (Source: CMHS)

postaje Hvar, iz grafa temperature zraka (Sl. 5.) vidljiv je trend porasta temperature za otprilike 1 °C. Porast temperature zraka upućuje na zagrijavanje što dovodi do različitih promjena poput npr. povećanja ekstreme padalina (PATARČIĆ I DR. 2014.) i općenito sve češće pojave ekstremnih događaja različitih vrsta.

U skladu s klimom masline, godišnji hod padalina ima istaknuti maksimum u studenom i prosincu (oko 102 mm) te minimum ljeti, u srpnju (22,6 mm) kada je temperatura zraka najviša. Prema podacima DHMZ-a (1867. – 2015.), prosječna ukupna godišnja količina padalina na postaji Hvar iznosi 755 mm.

Količina padalina raste od pučine prema kopnu te ovisi o reljefu. Znatne su razlike između količine padalina na zapadnom i istočnom dijelu otoka. Zapadni dio otvoren je prema pučini, dok je istočni dio pod utjecajem velikog planinskog masiva Biokova, što utječe na porast količine padalina idući od zapada prema istoku. Na krajnjem istoku prosječna ukupna količina padalina iznosila je npr. za 1974. godinu čak 1110 mm (MAKJANIĆ, VOLARIĆ, 1977.).

Od vjetrova prevladavaju jugo, bura i maestral. Bura se javlja cijele godine, ali je najizraženija zimi i najviše utječe na sjevernu stranu otoka, dok je južna obala zaštićena. Vjetrovi iz jugoistočnog kvadranta (najviše jugo) dominantno utječu na južnu stranu otoka. Jugo dominira u hladnoj polovici go-



SLIKA 6. Ruža vjetrova za postaju Hvar u razdoblju od 1867. do 2015. godine (Izvor: DHMZ)

FIGURE 6 Wind rose for Hvar meteorological station for the period 1867–2015 (Source: CMHS)

is 369.7 h. The slightest insolation, given the duration of the day and the increase in cloudiness, is characteristic for December, whose average amounts to 117.2 hours (CMHS).

The annual temperature is influenced by insolation, geographical position, distance from the sea and the wind. From the climatic diagram, which shows the average air temperature (1867 - 2015) for a period of 148 years, it can be seen that the mean air temperature in the coldest month of January is 8.7 °C, while the mean temperature of the hottest month, July, amounts to 25 °C.

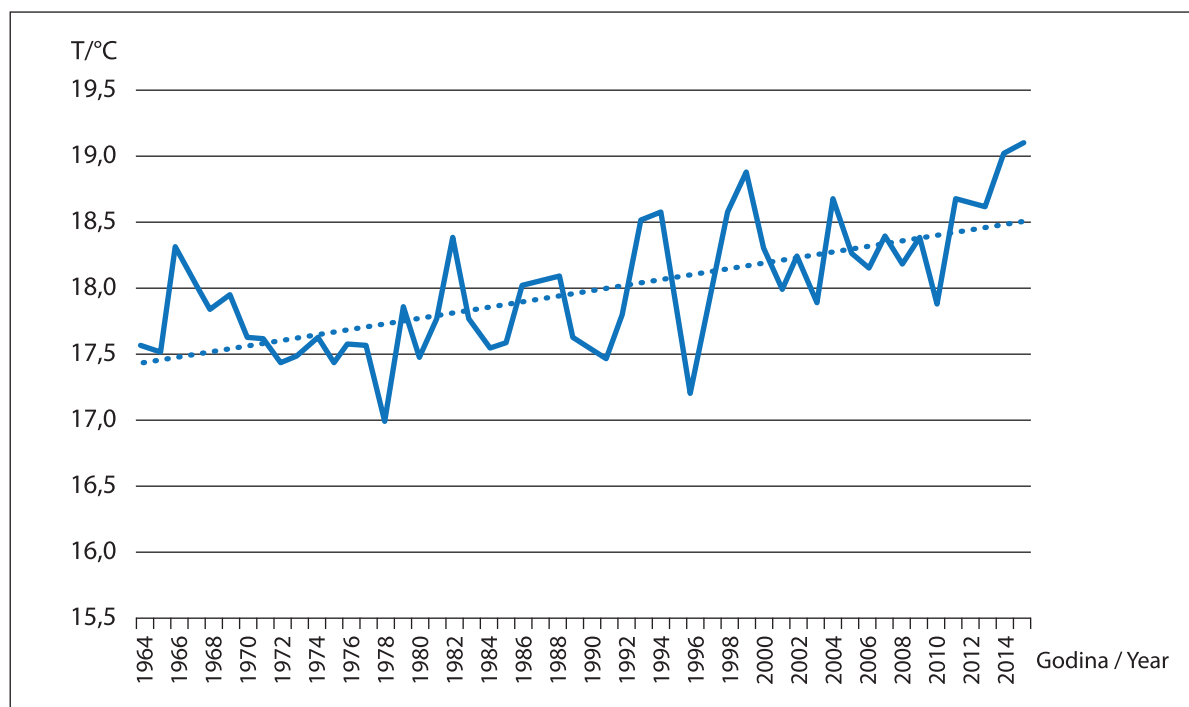
The graph of air temperature (Fig. 5) reveals a trend of rising temperature for about 1 °C during the period of measurement. The increase in air temperature indicates warming, which results in different changes such as increasing rainfall extremes (PATARČIĆ ET AL., 2014) and generally more frequent occurrences of different extreme events.

According to the climate of olive, the annual rainfall has a peak in November and December (about 102 mm) and a minimum in summer, in July (22.6 mm) when the air temperature is highest. According to CMHS data (1867 - 2015), the average annual total rainfall at the Hvar station is 755 mm.

The amount of rainfall increases from the open sea to the land and depends on relief properties. There are also significant differences between precipitation amounts on the western and eastern part of the island. The western part is open towards the open sea, while the eastern part is under the influence of the mountain Biokovo, which affects the increase in rainfall from the west to the east. At the eastern end, the average total rainfall was, for example, in 1974, up to 1110 mm (MAKJANIĆ, VOLARIĆ, 1977).

On the study area sirocco, bora and mistral wind predominate. Bora occurs throughout the year, but is most prevalent in winter and mostly affects the northern side of the island. Winds from the southeast quadrant (mostly south) dominate at the opposing side of the island. Sirocco dominates in the cold part of the year. In the summer, a mistral appears which brings freshness and alleviates the summer heat.

The main wind blowing directions are modified by relief (Pelješac, Korčula, Šćedro, Pakleni otoci). The influence of the sirocco is different on the western and eastern part along the southern side



SLIKA 7. Prosječna godišnja temperatura mora na mjernoj postaji Hvar 1964. – 2015. godine i linearni trend (Izvor: DHMZ)
 FIGURE 7 Average annual sea temperature at the Hvar station 1964–2015 and linear trend (Source: CMHS)

dine. Ljeti se javlja maestral koji donosi svježinu i ublažava ljetnu vrućinu.

Smjerovi puhanja glavnih vjetrova modificirani su reljefom (Pelješac, Korčula, Šćedro, Pakleni otoci). Utjecaj juga na zapadni i istočni dio južne strane otoka je različit. Jugo ima znatno manji utjecaj na istočnom dijelu južne strane otoka za razliku od zapadnog dijela koji mu je izravno izložen. U otvorenom moru privjetrišta su duga te su valovi veći. Visina najvišega izmjerenog vala za vrijeme juga na području Srednjeg Jadrana iznosila je 8,4 m (*Peljar za male brodove I dio*, 2002.).

Prema podacima postaje Hvar, izrađena je ruža vjetrova od početka mjerenja do danas (1867. – 2015.), iz koje je vidljivo kako su najučestaliji i najjači vjetrovi iz jugoistočnog kvadranta (Sl. 6.), dok su sjeveroistočni te sjeverozapadni i zapadni vjetrovi nešto manje izraženi. Vidljiv je također značajan utjecaj sjevernog vjetrova karakterističan za otvoreno more. Češći je i jači zimi nego ljeti (PENZAR I DR., 2001.).

Prema podacima DHMZ-a o temperaturi mora za postaju Hvar, od 1964. do 2015. prikazanima na Slici 7. vidljiv je i porast temperature mora za 1,1 °C u promatranom razdoblju.

Područje istraživanja spada u kategoriju mikro-

of the island. Sirocco has a much smaller impact on the eastern part of the southern side, unlike the western part that is directly exposed to it. In the open sea the fetches are long and waves are bigger. The maximum measured wave height during sirocco wind in the Central Adriatic area was 8.4 m (*Peljar za male brodove I dio*, 2002).

According to the data from the Hvar meteorological station the wind rose was being constructed since the beginning of measurements (1867 - 2015), showing that the most frequent and strongest winds comes from the Southeast quadrant (Fig. 6), while the north-eastern, north-western and western winds are slightly less expressed. The significant influence of the northern wind is also evident. It is a characteristic wind for the open sea and is more often and stronger in winter than in summer (PENZAR ET AL., 2001).

According to the sea temperature data (CMHS) for the period 1964 to 2015, as shown in Figure 7, the sea temperature raised by 1.1 °C.

The study area is in the category of micro-tidal coasts with an average amplitude of ± 25 cm, Split tide gauge, (ČUPIĆ, personal communication), so tides do not have a major influence on coastal morphology (RAJČIĆ ET AL., 2010; FAIVRE, BUTORAC, in press).

plimnih obala s prosječnom amplitudom morskih mijena od ± 25 cm, mareograf Split (ČUPIĆ, osobna komunikacija) te morske mijene nemaju veliki utjecaj na oblikovanje obale (RAJČIĆ I DR., 2010.; FAIVRE, BUTORAC, u tisku).

METODE I MATERIJALI

U ovome radu primijenjena je metoda ponovljene fotografije, nazvana još i refotografija. Ona podrazumijeva ponavljanje fotografiranja nekoga vizualnog fenomena ili fizičke lokacije (METCALFE, 2016.). Bit metode je utvrđivanje promjena na nekom području na temelju fotografije snimljene s istog mjesta u različitim vremenskim intervalima (RAJČIĆ I DR., 2010.), a preporučuje se za proučavanje nekog područja u duljem razdoblju (TURNER I DR., 2003.). Zato je upravo metoda ponovljene fotografije omogućila izradu ovoga rada.

Prve korake u razvoju metode ponovljene fotografije načinio je bavarski matematičar koji se bavio glaciologijom (WEBB I DR., 2010.) te tako korijene ponovljene fotografije nalazimo u Alpama središnje Europe. Godine 1888. Sebastian Finsterwalder započeo je fotogrametrijsko istraživanje planinskih ledenjaka u Tirolu. Sljedeće godine ponovno je došao na istu točku i fotografirao isti pogled. Uspoređujući novu i staru fotografiju uz pomoć rudimentarne fotogrametrije Finsterwalder je dokumentirao promjene ledenjaka tijekom vremena (HATTERSLY-SMITH, 1966.; WEBB I DR., 2010.). Slijedeći Finsterwalderov primjer mnogi su geomorfolozi toga vremena koristili ponovljenu fotografiju i tako je razvijali npr. G. K. Gilbert (1904.) u SAD-u i E. Cavell (1983.) u Kanadi. Osim u geomorfološkim studijama metoda ponovljene fotografije počela se brzo koristiti za dokumentiranje biljnih vrsta i promjena u krajolik (CLEMETS, 1905.). Od 40-ih godina prošlog stoljeća ponovljena fotografija sve se češće koristi u dokumentiranju promjena krajolika, osobito povezanih s promjenama u korištenju zemljišta, a primjena u geomorfologiji sve je raznolikija. Koristi se npr. u analizi trošenja (BRYAN, LA RUE, 1927.), procjeni intenziteta unazadne erozije (LONGWELL I DR., 1932.), analizi aktivnosti padinskih procesa (LOBECK, 1939.) i dr. U novije vrijeme koristi se i u društvenim znanostima npr. u sociologiji (MET-

METHODS AND MATERIALS

In this paper, the method of repeat photography was used, also called the rephotography. It implies a repetition of photographing of a visual phenomenon or a physical location (METCALFE, 2016). The principle of the method is to determine changes in an area based on a photography taken from the same location at different time intervals (RAJČIĆ ET AL., 2010), and it is suitable for observations of an area during a longer period of time (TURNER ET AL., 2003). Therefore, the method of repeat photography enabled this research.

First steps in developing the method of repeat photography were made by the Bavarian mathematician who dealt with glaciology (WEBB ET AL., 2010) so the roots of repeat photography can be found in the Alps of central Europe. In 1888 Sebastian Finsterwalder began a photogrammetric study of mountain glaciers in Tyrol. The following year he came again to the same point and took a picture of the same view. By comparing new and old photographs with the help of rudimentary photogrammetry Finsterwalder documented glacier changes over time (HATTERSLY-SMITH, 1966; WEBB ET AL., 2010). Following the example of Finsterwalder, many geomorphologists of that time used repeat photography and influenced its development, for example, K. Gilbert (1904) in US and E. Cavell (1983) in Canada. Besides geomorphological studies, the method of repeat photography began to be used to document plant species and landscape changes (CLEMETS, 1905). Since the 40s of the last century, repeat photography method has been increasingly used in documenting landscape changes, particularly related to changes in land use, while its use in geomorphology became more and more diverse. It is used, for example, in the analysis of weathering (BRYAN, LA RUE, 1927), estimation of backward erosion intensity (LONGWELL ET AL., 1932), analysis of activity of slope processes (LOBECK, 1939) etc. It has also recently been used in social sciences e.g. in sociology (METCALFE, 2016).

The method of repeat photography was applied in different disciplines, but it has the greatest significance in geosciences (geography, geomorphology) and environmental sciences as repeat photography

CALFE, 2016.).

Metoda ponovljene fotografije primjenjivala se u različitim disciplinama, ali najveće značenje ima u geoznanostima (geografiji, geomorfologiji) i znanostima o okolišu jer ponovljena fotografija daje mogućnost interpretacije velikog broja parametara i omogućuje interdisciplinarni pristup. Metoda ponovljene fotografije ne može pružiti isti tip kvantitativnih podataka koji se mogu dobiti putem satelitskih snimaka i aerofotogrametrije, ali ona može izvrsno poslužiti njihovoj nadopuni ili se rabiti u kombinaciji s njima. Može dati vrlo specifične informacije, a ponekad i podatke za dulji vremenski period od zračnih snimaka. To je izvrsna metoda za dokumentiranje dugoročnih promjena od najranije dostupnih fotografija krajolika, a može poslužiti stvaranju referentnog okvira za procjenu budućih promjena. Važnost ponovljene fotografije kao metode porasla je u svjetlu aktualnih rasprava o globalnim klimatskim promjenama.

S. T. Rajčić i dr. (2010.) prvi su primijenili metodu ponovljene fotografije u istraživanju morfoloških promjena žala za razdoblje od pedesetak godina. U ovome radu metoda je primijenjena u svrhu određivanja repera za procjenu veličine žala 60-ih godina prošlog stoljeća.

Geomorfološke promjene žala često se proučavaju uz pomoć izrade profila žala u različitim vremenskim intervalima najčešće kod praćenja sezonskih promjena morfologije žala (KRAUS, 2005.). Razvoj tehnologije u posljednjih pedesetak godina omogućio je i razvoj brojnih novih metoda u istraživanjima žala, kao što je GPS profiliranje (MORTON I DR., 1993.), korištenje aerofotogrametrijskih i laserskih metoda snimanja i skeniranja ili pak danas korištenje bespilotnih letjelica (dronova). Jedna od novijih metoda praćenja promjena na žalima i oko žala je i SfM fotogrametrija koja se počela rabiti i u Hrvatskoj (npr. PIKELJ I DR., 2014., RUŽIĆ I DR., 2014.; PIKELJ I DR., 2015; TOMINIĆ, 2017.).

Tri osnovne metode primijenjene u ovome radu se kombiniraju i nadopunjuju. Rad se temelji na definiranju razlika u veličini žala između dviju generacija orto-foto snimaka (1968. i 2011. godine). Budući da na navedenim snimkama nije moguće točno odrediti obalnu granicu žala, ova se metoda kombinira (nadopunjuje) metodom ponovljene

gives the ability to interpret a large number of parameters and allows an interdisciplinary approach. The method itself cannot provide the same type of quantitative data that can be obtained by satellite images and aero-photogrammetry, but it can be an excellent supplement or can be used in combination with them. It can provide very specific information, sometimes even data for a longer period of time than provided by air photography. This is an excellent method for documenting long-term changes from the earliest available landscape photographs and can serve as a reference framework for assessing future changes. The importance of repeat photography as a method has increased in the light of current discussions on global climate changes.

S. T. Rajčić et al. (2010) first applied the method of repeat photography in the study of morphological changes of beaches for a period of about 50 years. In this paper, the method was used to determine the markers to estimate the size of the beach in the 60s of the last century.

Geomorphological changes of beaches are often studied with the help of classical field profiling at different time intervals, most often when observing seasonal changes in beach morphology (Kraus, 2005). Development of technology over the last 50 years has also enabled the development of many new methods in research of beaches, such as GPS profiling (MORTON ET AL., 1993), the use of aerophotogrammetric and laser recording and scanning, or today the use of unmanned aerial vehicles (drones). One of the newest methods for tracking changes in morphology of beach and its surrounding is the SfM photogrammetry that started to be used in Croatia (e.g. PIKELJ ET AL., 2014; RUŽIĆ ET AL., 2014; PIKELJ ET AL., 2015; TOMINIĆ, 2017). Today, different methods are often combined and complemented.

This paper is based on three basic methods that are combined and supplemented. The work is based on defining the difference in the size of the beach between two generations of ortho-photos (1968 and 2011). Since on these photographs coastal margins cannot be accurately determined this method is combined with repeat photography method for the reconstruction of the beach boundary in the sixties of the 20th century as well as with the fieldwork to supplement the data of actual situation.

fotografije za okvirnu rekonstrukciju granice žala šezdesetih godina prošloga stoljeća te terenskim radom za nadopunu podataka današnje situacije.

Za rekonstrukciju površine žala u radu se koriste orto-foto snimke Državne geodetske uprave iz 1968. i 2011. godine te topografske karte 1:25000. Primijenjena je metoda obrade i analize podataka u ArcGisu 10.2. U svrhu rekonstrukcije površine žala šezdesetih godina prošlog stoljeća pomoću metode ponovljene fotografije upotrijebljeno je osam fotografija iz privatne zbirke iz razdoblja 1959. do 1964. (MIĆUNOVIĆ, 2017.). Budući da su fotografije obiteljskog karaktera, izabrane su tri najznačajnije fotografije na kojima su označeni reperi, ključni za rekonstrukciju morfoloških promjena žala (Sl. 8.). Reperi su istaknuti reljefni oblici koje se na fotografijama sa sigurnošću mogu prepoznati i upotrijebiti za rekonstrukciju. Kada je broj fotografija velik, moguće je načiniti jasnu distinkciju između plime i oseke, uz određenu pogrešku.

Aktualna je situacija definirana terenskim kartiranjem koje je provedeno u svibnju i srpnju 2017. godine uz pomoć ručnog GPS prijemnika marke GARMIN. Granica žala mjerena je na terenu ručnim GPS prijemnikom (pogreška ± 3 m), a određena je na temelju šest mjerenja koja su uprosječna. Granica žala definirana terenski unesena je na orto-foto snimku iz 2011. godine. Prilikom mjerenja granice žala uzeti su u obzir podaci o morskim mijenama Hrvatskoga hidrografskog instituta u Splitu, to jest mjerenje je provedeno za vrijeme srednje morske razine.

Površina žala izmjerena je na više načina. Uz pomoć GPS uređaja površina žala izmjerena je na terenu obilaskom žala. Mjerenje je obavljeno tri puta te je izračunata srednja vrijednost. Površina žala izmjerena je i digitalizacijom državnih orto-foto snimaka iz 1968. i 2011. godine u GIS-u.

Mogući utjecaj antropogenih djelatnosti razmotrit će se praćenjem promjena korištenja zemljišta na širem području istraživanja te evidentiranjem novijih građevinskih zahvata. Podaci o promjeni korištenja zemljišta od 19. stoljeća dobiveni su georeferenciranjem karata franciskanskog katastra iz 1834. godine (*Mappe catastali*, 1834.) te gereferenciranim orto-foto snimkama iz 1968. i 2011. godine DGU-a. Karte i orto-foto snimke

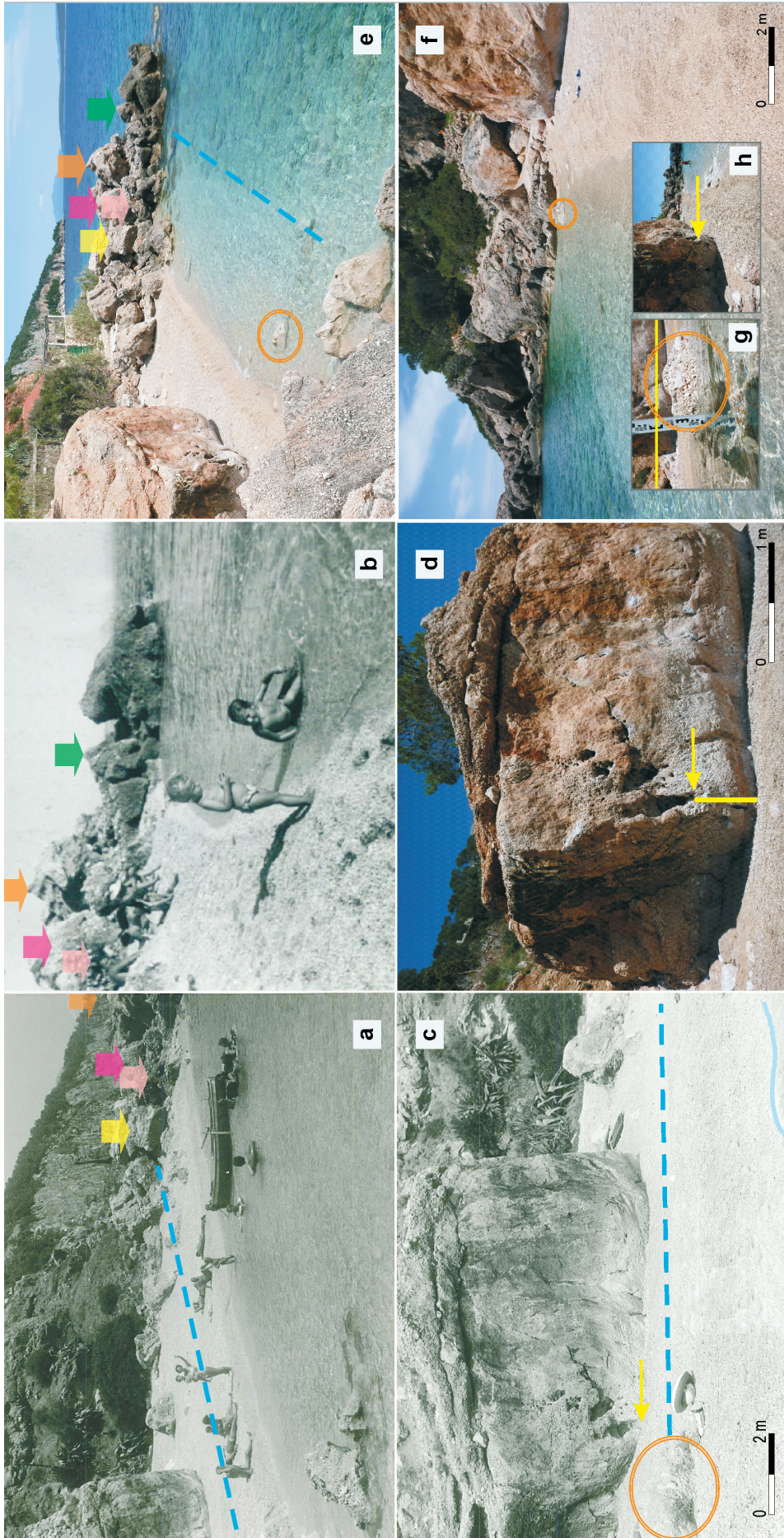
For the reconstruction of the beach surface changes ortho-photos from 1968 and 2011, acquired from the State Geodetic Administration of the Republic of Croatia, were used along with topographic maps 1: 25000. The method of processing and analyzing data in ArcGIS 10.2 was used. For the purpose of reconstruction of beach surface in the 1960s using the method of repeat photography, 8 photographs from the private collection from 1959 to 1964, were used (MIĆUNOVIĆ, 2017).

Since photographs are personal (private), three most significant photographs have been chosen on which the benchmarks are drawn which represent key elements for the reconstruction of morphological changes of the beach (Fig. 8). Benchmarks are prominent relief forms that can be reliably recognized and used for reconstruction. When the number of photographs is large it is possible to make a clear distinction between tides, of course with a level of error.

The current situation was defined by field mapping which took place in May and July 2017 with the help of the handheld Garmin GPS receiver (error ± 3 m). The boundary of the beach was measured in the field and determined on 6 measurements that were further averaged. This boundary defined in the field was further displayed on the ortho-photo from 2011. During mapping in the field, tides were taken into account using data from Croatian Hydrographic Institute in Split, i.e. measurements were made during the mean sea level.

The surface of the beach was measured in several ways. With the help of a GPS device, the surface was measured in the field by contouring the beach. The measurement was performed three times and the mean value was calculated. The surface of the beach was also measured by digitizing the state ortho-photos from 1968 and 2011 in GIS.

Possible impacts of anthropogenic activities were considered by tracking changes in land use in the wider research area and recording newer construction works. Data on land use changes from the 19th century were obtained by georeferencing the maps of the Franciscan Cadastre from 1834 (*Mappe catastali*, 1834) and by georeferencing ortho-photos from 1968 and 2011 from the State Geodetic Administration of the Republic of Croatia. Maps



SLIKA 8. Reperi korišteni za rekonstrukciju žala šezdesetih godina metodom ponovljene fotografije: (slike iz: a) 1959., b) 1962., c) 1959., u usporedbi s današnjom situacijom (slike d), e), f), g), h) iz 2017. godine).

FIGURE 8. Benchmarks used to reconstruct beach morphology in the 60s by means of repeat photography method (figures from: a) 1959, b) 1962, c) 1959) in comparison with actual situation (figures d), e), f), g), h) from 2017).

digitalizirane su metodom preklapanja da bi se definirali trendovi promjene korištenja zemljišta na istraživanom području kroz tri navedene faze. U ovom istraživanju razlikuju se površine pod šumom (na području istraživanja prevladava alepski bor (TRINAJSTIĆ, 1977.), a manjim dijelom zastupljena je makija) i obradive površine. Unutar obradivih površina mogu se razlikovati područja pod vinovom lozom (starom i mladom), maslinama, pašnjacima i stjenovite površine slabe plodnosti. Sve su analize načinjene pomoću programa ArcGis 10.2.

REZULTATI I RASPRAVA

Žalo Zogon oblikovano je u kvartarnim brečama (Sl. 2.) i u proluvijalnom materijalu 1023 m duge jaruge čije se izvorište nalazi podno najvišeg vrha otoka Hvara Sv. Nikole (Sl. 1 i 9). Jaruga i njezina proluvijalna plavina (to jest žalo) čine mali geomorfološki sustav. Sustavi u geomorfologiji su konceptualni modeli koji opisuju transfer sedimenta i energije i tako povezuju reljefne oblike na nekom području te daju okvir za tumačenje promjena u reljefu. Proluvijalna plavina, to jest tijelo žala osim bujičnim materijalom također je hranjena abrazijom breča u kojima je plavina oblikovana. Iako se radi o malom i jednostavnom geomorfološkom sustavu u kojem djeluju dobro poznati geomorfološki procesi, brojni su geodinamički aspekti još slabo poznati.

Topografija drenažnog bazena važan je parametar za kontrolu hidroloških uvjeta vezanih uz jaruženje na nekom području (FAIVRE I DR., 2011.). Nagibi od 12 do 32° iznimno pogoduju procesima jaruženja dok veći nagibi, koji su ovdje zastupljeniji osobito u vršnom dijelu područja, više pogoduju procesima osipanja i urušavanja (Sl. 3.). To direktno dokazuje i sipar koji se nalazi podno vrha Sv. Nikole (Sl. 1b). Južna ekspozicija i veće temperaturne amplitude mogu utjecati na pojačano trošenje. Nagib terena obično se smatra jednim od značajnijih parametara koji utječe na produkciju i transport bujičnog materijala (RUŽIĆ I DR., 2011.). Međutim, veza između nagiba sliva i veličine žala čini se nije jednoznačna (RUŽIĆ I DR., 2011.).

Žalo Zogon izgrađeno je od šljunka i valutica te

and ortho-photos are digitized by overlay method to define trends of land use changes in the investigated area through the three mentioned periods. In this study, forest surfaces (primarily aleppo pine and also maquis, TRINAJSTIĆ, 1977) and arable land was distinguished. Within the category of arable land, areas with vineyards (old and young), olive trees, pastures and small areas of poor fertility were taken into account. All analyses were made using the ArcGis 10.2 software.

RESULTS AND DISCUSSION

The Zogon beach is shaped in the Quaternary breccia (Fig. 2) and in proluvial material of 1023 m long gully whose source lies at the foot of the highest peak of the Island of Hvar Sv. Nikola (Figs. 1 and 9). The gully and its proluvial fan (i.e. the beach) represent a small geomorphological system. Systems in geomorphology are conceptual models that describe the transfer of sediments and energy and thus link relief forms in particular area and provide a framework for the interpretation of relief changes. The proluvial fan, i.e. the beach, beside this proluvial material, is also nourished with material from abrasion of breccia in which the fan is shaped. Although it is a small and simple geomorphological system in which well-known geomorphological processes take place, numerous geodynamic aspects are still little known.

The topography of the drainage basin is an important parameter for controlling the hydrological conditions associated with the gully on particular area (FAIVRE ET AL., 2011). Slopes of 12 to 32° are extremely susceptible for gully processes, while the higher inclines, which are predominantly present in the peak area, and are more conducive to rock slide and rock fall, that is to collapse processes (Fig. 3). This is directly confirmed by the scree cone at the foot of the Sv. Nikola peak (Fig. 1b.). South exposure and higher temperature amplitudes can increase weathering. Inclination is usually considered to be one of the most important parameter affecting production and transportation of torrential material (RUŽIĆ ET AL., 2011). However, it seems that the connection between the slope of the drainage basin and the size of the beach is

je direktno izloženo jakim valovima osobito iz južnog kvadranta (Sl. 5.). Budući da jugo puše dugo i ravnomjerno i izaziva najviše valove (*Peljar za male brodove I dio*, 2002.), pretpostavlja se da su ti valovi imali najveći utjecaj na današnji izgled žala, te da i dalje imaju najznačajniji utjecaj na njegovu morfodinamiku. Izloženost žala direktno je utjecala na abraziju kvartarnih breča. S obzirom na to da se žalo nalazi na iznimno izloženom dijelu obale u odnosu na navedene vjetrove i valove, važnu ulogu u njegovu formiranju i zadržavanju materijala ima poluotok i Rt Nedjelja.

Prema informacijama dobivenim od lokalnog stanovništva, vrlo intenzivno jaruženje dogodilo se u rujnu 1955. godine, kada se tijekom ekstremnih padalina formirao veliki bujični tok, što je rezultiralo donosom značajne količine sedimenata na žalo. Državni hidrometeorološki zavod bilježi padaline za Sv. Nedjelju od 1950. godine, te je u bazi podataka vidljiva znatna količina padalina 11. rujna 1955. od 94,6 L/m² (DHMZ) što se može povezati s navedenim informacijama lokalnog stanovništva. Zanimljivo je da su intenzivne epizode jaruženja i na Kvarneru zabilježene u rujnu (Faivre i dr., 2011.). Naime, maksimalni intenziteti padalina, u razdoblju 1981. – 2007. u zoni otoka Krka, javljaju se u rujnu, što je optimalno razdoblje za snažne epizode jaruženja. Intenzitet padalina u srpnju i kolovozu je u prosjeku dva puta niži nego u rujnu pa se tako i procesi jaruženja rjeđi (FAIVRE I DR., 2011.).

Žalo je nastalo prirodnim procesima, međutim do sada je i dva puta djelomično nasuto: 70-ih godina 20. stoljeća, te 2011. godine zbog građevinskih radova na prilaznom putu žala. Te je godine zbog smanjenja površine žala i nemogućnosti prilaza za vrijeme plime i/ili juga jugozapadnom dijelu žala načinjen prolaz s njegove zapadne i sjeverozapadne strane te je tim usitnjenim materijalom potom nasuto. Novoformirana antropogena površina nije uzeta u obzir pri izračunu recentne površine žala.

Širi prostor Svete Nedjelje odavno je poznat po vinogradarstvu. Velik broj sunčanih sati na južno eksponiranim padinama velikih nagiba bio je izvrstan preduvjet uzgoja vinove loze. Naime, područje današnje Svete Nedjelje u 16. stoljeću naseljavaju hvarski fratri augustinci. Godine 1591. iz

not straightforward (RUŽIĆ ET AL., 2011).

The Zogon beach is made of gravel and pebbles and is directly exposed to strong waves especially from the southern quadrant (Fig. 5). Since Sirocco, with intense and even gusts, generates the highest waves (*Peljar za male brodove I dio*, 2002) in the studied area, it is assumed that these waves had the greatest impact on today's appearance of the beach, and that they still have the most significant influence on its morphodynamics. Exposure of the beach directly affected the abrasion of Quaternary breccia. Given that it is located on the extremely exposed part of the coast in relation to the aforementioned winds and waves, the peninsula and cape Nedjelja play an important role in its formation and retention of sediment.

According to the information obtained from the local population, particularly intense gullyng occurred in September 1955, when during an extreme rainfall event a torrent flow was formed resulting in supply of significant amount of sediment to the beach. The CMHS records rainfall in Sv. Nedjelja, since 1950, consequently, a considerable amount of rainfall in the database during September 11, 1955, was found (94.6 L/m²) which can be related to information provided by the local population. It is interesting that an intense episode of gullyng in the Kvarner area was also recorded in September (Faivre et al., 2011). Namely, maximum rainfall intensity, in the period 1981-2007 in the area of Island of Krk, appeared in September, which seems to be an optimum period for episodes of strong gullyng. Rainfall intensity in July and August is twice lower than in September, so the gullyng processes are less frequent (FAIVRE ET AL., 2011).

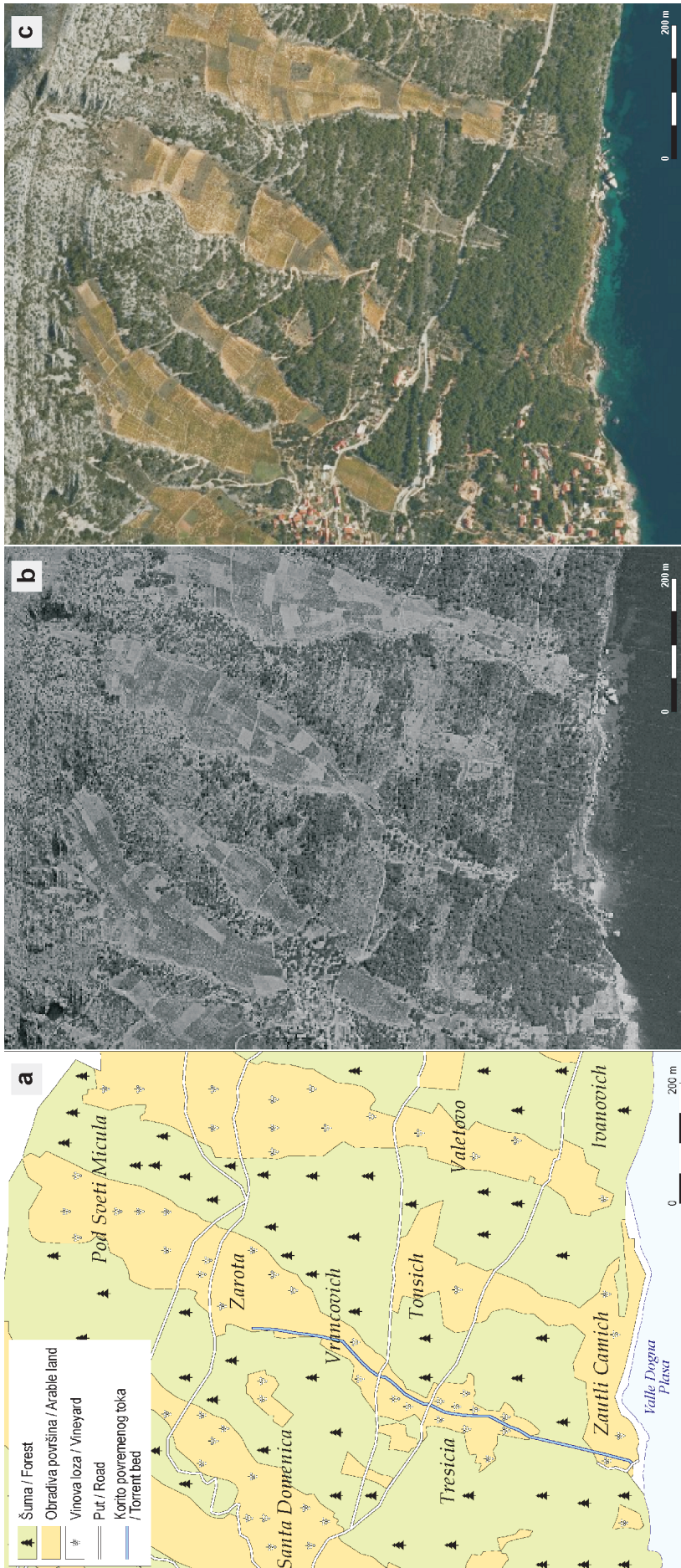
The beach was formed by natural processes, but it was also two times partly filled: in the 70s of the 20th century, and in 2011 due to the construction works on the access road to the beach. The same year, due to the reduction of the beach surface and the impossibility of accessing the southwestern part of the beach during high tides and/or waves during Sirocco, a passage was made from its west and north-western side. The beach was further filled with this material. This newly formed anthropogenic surface was not taken into account when calculating the actual surface of the beach.

The wider area of Sveta Nedjelja has been long

Svirča stižu prvi stanovnici radi obrađivanja zemlje augustinaca, stoga se već tada bilježe vrtovi i vinogradi u vlasništvu samostana Sv. Marije od Špilje (KOVAČIĆ, 2002.). Godine 1610. „fratri daju braći Carićima da dovrše sadnju loze na 30 motika zemlje“ (KOVAČIĆ, 2002., prema Župni arhiv Sućuraj, Augustinski spisi, II., II., 11); hvarska mjera za površinu – motika iznosi 435,322 m² (ZANINOVIĆ-RUMORA, 2008.). Dakle, u 17. stoljeću loza je bila zasađena na minimalno 13 059,66 m². Stoga možemo zaključiti da su već tada površine pod vinogradima vjerojatno bile veće od navedenog što jasno upućuje na širenje uzgoja vinove loze u Svetoj Nedjelji. Od kraja 18. stoljeća broj stanovnika konstantno raste i 1857. naselje Sv. Nedjelja prema prvom popisu stanovništva ima oko 180 stanovnika (SMOLJANOVIĆ DR., 1999.). Na temelju podataka franciskanskog katastra vidljivo je da je već 1834. godine područje oko jaruge i žala bilo korišteno u poljoprivredne svrhe u obimu sličnom današnjem (Sl. 9.). Uzgajaju se uglavnom vinova loza i masline. Od kraja 19. do sredine 20. stoljeća u Svetoj Nedjelji obitava oko dvjesto stanovnika, nakon čega kao i drugdje dolazi do pada broja stanovnika, međutim taj pad nije bio niti iz daleka sličan onom u većini drugih hvarskih naselja koja su ostala gotovo bez stanovnika. Naime, potkraj 20. stoljeća Sveta Nedjelja ima oko sto četrdeset stanovnika (KOVAČIĆ, 1987.) što je u prvom redu posljedica proizvodnje vina (KOVAČIĆ, 2002.). Usporede li se digitalizirani katastarski podaci iz 1834. godine i podaci digitalizirani s orto-foto snimaka iz 1968. i 2011. godine vidljivo je da obradivo zemljište zauzima vrlo slične površine od 19. stoljeća do danas. To upućuje na kontinuitet uzgoja vinove loze i maslina u navedenom razdoblju (Sl. 9.). Obradive površine početkom 19. stoljeća obuhvaćale su površinu od 55 273 m², a danas obuhvaćaju 47 547 m² (1968.) i 46 729 m² (2011.). Dakle, obradive površine danas zauzimaju oko 14 % manje površine nego 1834. godine (Sl. 9.).

Najveći dio navedene plitke jaruge i njezina okolnog područja je u promatranom razdoblju pod vinogradima. S obzirom na to da je nagib terena > 32° (Sl. 3.) na pojedinim dijelovima jaruge (uglavnom donjim) izgrađene su terase koje su omogućile uzgoj vinove loze, ali i zaštitu tla od erozije. Budući da sredinom vinograda prolazi korito povremenog bu-

known for its viticulture. A large number of sunny hours on highly inclined south exposed slopes were an excellent prerequisite for growing grapevines. Namely, the area of today's Sveta Nedjelja was settled in the 16th century by the Hvar Augustinian friars. In 1591, the first inhabitants arrived from Svirče to cultivate the land of the Augustinians, so gardens and vineyards were already present, owned by the monastery Sv. Marija od Špilje (KOVAČIĆ, 2002). In 1610, “the friars asked the brothers Carići to finish the planting of the grapes on 30 *earth hoes*” (KOVAČIĆ, 2002; Parish Archives of Sućuraj, Augustinian Writings, II, II, 11); the Hvar measure for the surface - the hoe - amounts to 435,322 m² (ZANINOVIĆ-RUMORA, 2008). So in the 17th century the grapevine was planted on a minimum 13,059.66 m². Therefore, it can be concluded that the vineyards probably occupy a larger area than the above mentioned, which clearly indicates the spread of grapevine production in Sv. Nedjelja. Since the late 18th century the number of inhabitants has been constantly growing. According to the first census, in 1857, Sv. Nedjelja had about 180 inhabitants (SMOLJANOVIĆ ET AL., 1999). Based on the data from the Franciscan cadastre it can be seen that in 1834 the area around the gully and the beach was used for agricultural purposes approximately as much as today (Fig. 9). Mainly vines and olives were grown. From the end of the 19th century until the middle of the 20th century, there were about 200 inhabitants in Sveta Nedjelja. Their number further declined. But this decline was far different from the case of most other villages on Island of Hvar which remained without residents. Namely, at the end of the 20th century, Sveta Nedjelja had about 140 inhabitants (KOVAČIĆ, 1987), primarily due to the wine production (KOVAČIĆ, 2002). If the digitized cadastral data from 1834 are compared with digitized orthophotos from 1968 and 2011 it can be observed that the arable land has been covering similar surface area since the 19th century until today. This indicates the continuity of growing grapevines and olives during this period (Fig. 9). Arable land at the beginning of the 19th century comprised an area of 55,273 m², in the 20th century of 47,547 m² (1968) and nowadays of 46,729 m² (2011). Thus, the arable land today occupies about 15%



SLIKA 9. Promjene korištenja zemljišta 1834. – 2011. a) franciskanski katastar (Mappe catastali, 1834., Državni arhiv u Splitu); b) orto-foto snimke iz 1968., (DGU) i c) orto-foto snimke iz 2011. (DGU)
 FIGURE 9 Changes in land use from 1834 to 2011 a) Franciscan Cadastre (Mappe Catastali, 1834, State Archives in Split); b) ortho-photo from 1968, (State Geodetic Administration) and c) ortho-photo from 2011, (State Geodetic Administration).

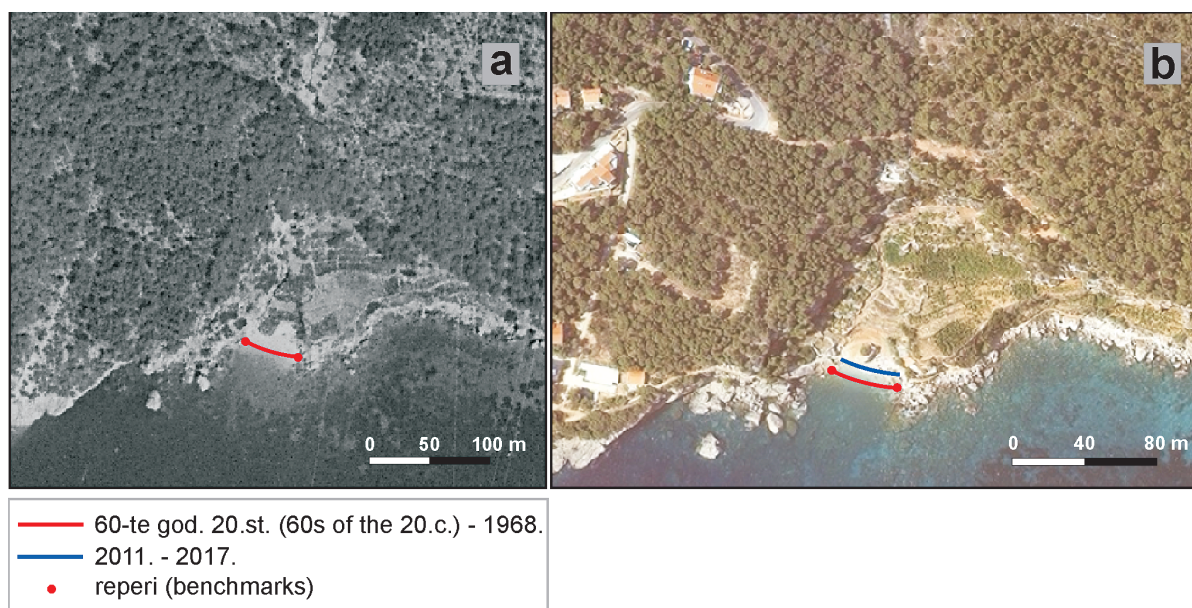
jičnog toka, između terasa je ostavljen prostor širok 2 m kako funkcioniranje jaruge ne bi bilo prekinuto (Sl. 1c). Usprkos tome, gradnja terasa zasigurno je utjecala na smanjenje dohrane žala. Nije poznato kada su one izgrađene. Ako se povuče paralela s razvojem vinogradarstva na otoku Visu, gdje je većina terasa za uzgoj vinove loze bila u funkciji u drugoj polovici 19. stoljeća kada je vinogradarstvo procvatilo i kada je površina pod vinogradima bila najveća (FAIVRE I DR., predan za tisak), vrlo je vjerojatno da su terase nastale u isto vrijeme i na području Svete Nedjelje. Zbog povoljnih uvjeta za uzgoj loze i na Visu i Hvaru te bolesti vinove loze u Italiji i Francuskoj otvara se mogućnost izvoza vina u to vrijeme najprije u Italiju, a zatim u Francusku i Mađarsku (POLITEO, 1978).

Godine 1971. izgrađena je glavna cesta koja povezuje Svetu Nedjelju i Jelsu kroz tunel Pitve – Zavala. Sveta Nedjelja je do tada bila izolirana, a u mjesto se jedino moglo doći pješačkim stazama ili morskim putem. Izgradnja ceste dovela je do izgradnje apartmana te porasta tercijarnog sektora, a istodobno dolazi do djelomičnog napuštanja drugih poljoprivrednih djelatnosti (osim vinogradarstva). Ujedno, korito potoka prestalo se čistiti te je danas obraslo vegetacijom. Godine 2010. izgrađena je i protupožarna cesta koja presijeca korito bujičnog vodotoka te je ono danas na više mjesta

smaller area than in 1834 (Fig. 9).

The largest part of the shallow gully and its surrounding area was under vineyards in the observed period. Since the slope of the area is $> 32^\circ$ (Fig. 3) terraces were constructed on some segments of the gully (mainly on lower ones) that allowed the cultivation of vines but also the protection of the soil from erosion. Since the gully bed passes through the middle of the vineyards a space of 2 m is left between the terraces, in order to allow the gully functioning (Fig. 1c). Nevertheless, the construction of terraces certainly contributed to the reduction of the beach nourishment. It is not known when they were built. But, if the parallel to the development of viticulture on the Vis island is withdrawn, where most of the vineyard terrace was in use in the second half of the 19th century, and when the area under the vineyards was the largest (FAIVRE ET AL., submitted), it is very likely that the terraces were constructed in Sveta Nedjelja at the same time. Due to the favourable conditions for cultivation of vine both in Vis and Island of Hvars and the appearance of vine disease in Italy and France, the possibility of wine export opened up, first to Italy, and subsequently to France and Hungary (POLITEO, 1978).

In 1971, the main road was built which links Sveta Nedjelja and Jelsa through Pitve - Zavala



SLIKA 10. Granica žala 60-ih godina 20. stoljeća i danas na podlozi orto-foto snimaka iz 1968. (10a) i 2011. (10b); snimke DGU-a

FIGURE 10 Beach boundary in the 60s of the 20th century and today on the ortho-photos of 1968 (10a) and 2011 (10b); ortho-photo from State Geodetic Administration

nasuto. Zatrpavanje korita na nekoliko mjesta za sigurno je, također, utjecalo na smanjenje donosa materijala na žalo.

Usporedimo li promjene vegetacijskog pokrova na širem području istraživanja, primjećuju se razlike između 1968. i 2011. godine. Kao i na većini otoka, vegetacijski pokrov je bio znatno reduciran 1968. godine što je jasno vidljivo na snimkama (Sl. 9.), dok je danas duž cijele obale Jadrana vidljiv trend prirodne regeneracije vegetacije (RUŽIĆ I DR., 2011.; FAIVRE I DR., predan za tisak). Usko područje oko samog žala ne bilježi zamjetne razlike u gustoći vegetacije između ta dva perioda vjerojatno zbog utjecaja valova (Sl. 9. i 10.).

Današnji trend povećanja gustoće vegetacije posljedica je zapuštanja prostora koji se nalazi oko vinograda. Gušća vegetacija za sigurno utječe na smanjenje intenziteta trošenja te svih destruktivnih padinskih procesa. Za vrijeme intenzivnih padalina vegetacija i tlo usporavaju i smanjuju koncentraciju kišnih kapi i mlazova pa time smanjuju i linearnu eroziju. Stoga se smanjuje i količina materijala koja dospijeva na žalo, dakle smanjuje se njegova prirodna dohrana. Slični su trendovi zabilježeni i na Kvarneru (RUŽIĆ I DR., 2011.).

Na slici 10. prikazana je veličina žala tijekom dva razmatrana perioda. Na orto-foto snimci iz 1968. godine zbog manje gustoće vegetacije dobro je vidljivo korito povremenog toka. Metodom ponovljene fotografije, to jest kombinacijom više fotografija odabrani su reperi koji su označeni na slikama 8. i 10. Pomoću repera procijenjena je približna granica žala 60-ih godina 20. stoljeća. Ta je granica prikazana na snimci iz 1968. (Sl. 10a). Današnja granica žala (mjerena na terenu) prikazana je na orto-foto snimci iz 2011. godine (Sl. 10b). Duljina žala Zogon iznosi danas (2017.) oko 25 metara, a površina iznosi $123 \pm 5 \text{ m}^2$. Na temelju digitalizirane orto-foto karte površina žala 2011. godine iznosila je oko 125 m^2 .

Na temelju definiranih repera izmjerena je udaljenost između današnje granice žala i granice 60-ih godina prošlog stoljeća te je vidljivo da se granica u razmaku od oko šezdeset godina pomaknula za oko 6 m prema kopnu. Eventualnu promjenu kopnene granice žala nije bilo moguće dokumentirati zbog nedostatka repera i antropogenih intervencija na žalu. Također, digitalizacijom žala s orto-foto

tunnel. Until then Sv. Nedjelja was isolated, as the place could have only be reached by hiking trails or from the sea. The construction of the road led to building of apartments and the increase of the tertiary sector, while at the same time a partial abandonment of other agricultural activities (except viticulture) occurred. At the same time, the gully bed ceased to be cleaned and is therefore today overgrown with vegetation. In 2010, a fire road was build that also crosses the drainage basin, so the gully bed was filled. Filling the gully bed in several places has also influenced the reduction of beach nourishment.

Comparison of land cover between the 1968 and 2011 in the wider study area also reveals differences. As it is the case on most of the islands, the vegetation cover was considerably reduced in 1968, which is clearly visible in the ortho-photos (Fig. 9), whereas today the entire eastern Adriatic coast is characterised by vegetation regeneration (RUŽIĆ ET AL., 2011; FAIVRE ET AL., submitted). The narrow area around the beach itself does not show any obvious differences in the vegetation density between these two periods probably due to the influence of waves (Figs. 9 and 10).

Recent trend of vegetation regeneration relates to the neglecting of the area around vineyards. The increased vegetation density reduces weathering intensity and all destructive slope processes. During intensive precipitation, vegetation and soil slow down and reduce the concentration of rain drops and streams, thereby reducing linear erosion. Therefore, the amount of material that arrives to the beach decreases, so its natural nourishment is reduced. Similar trends were recorded in the Kvarner area (RUŽIĆ ET AL., 2011).

Figure 10 shows the size of the beach during the two periods. On 1968 ortho-photo, due to lower vegetation density the bed of the occasional flow can be observed. The selection of benchmarks shown in Figures 8 and 10a was done in the frame of the method of repeat photography. The benchmarks were used for the estimates of the approximate margin of the beach shape in the 1960s. This limit is shown on the ortho-photo from 1968 (Fig. 10a). The current beach boundary (measured in the field) is shown on the ortho-photo from 2011 (Figure 10b). The length of the Zogon beach to-

snimke iz 1968. godine, a uzimajući u obzir granicu žala aproksimiranu na temelju repera, površina žala tada je iznosila približno $240 \pm 10 \text{ m}^2$. Uspoređujući površinu žala iz 60-ih godina 20. stoljeća te površinu žala danas vidljivo je da se površina smanjila za oko 120 m^2 . Dobiveni rezultati upućuju na značajnu promjenu veličine žala tijekom posljednjih šezdeset godina, to jest da je danas žalo gotovo dva puta manje.

A. Bognar (1990.) navodi da je na pjeskovito-šljunkovitim žalima otoka Hvara abrazija slabo izražena. No rezultati ovoga rada pokazuju da na žalu Zogon u promatranom razdoblju dominira erozija. Utjecaj erozije jasno je vidljiv ne samo kroz horizontalnu komponentu suženja tijela žala (Sl. 10.) već i kroz vertikalnu komponentu smanjenja količine sedimenta što je vidljivo na slikama 8d i 8e.

Prema E. Birdu (1985.), 70 % svjetskih žala danas obilježeno je erozijom što možemo direktno povezati s globalnim rastom relativne morske razine koji je započeo prema nekim istraživanjima potkraj 18. stoljeća (JEVREJEVA I DR., 2008.) ili prema drugima kasnije, potkraj 19. i početkom 20. stoljeća (KEMP I DR., 2011.; GEHRELS, WOODWORTH, 2013.).

Recentni relativni porast razine mora zabilježen je na širem području otoka Hvara primjenom različite metode, npr. na otoku Visu (FAIVRE I DR., 2010.; FAIVRE I DR., 2013.), na širem području Makarske (FAIVRE, BUTORAC, u tisku) i Šibenika (SHAW, 2013.; SHAW I DR., 2016.). Mareografi na Jadranu također bilježe globalni rast morske razine (TSIMPLIS I DR., 2012.). Prema tome, može se pretpostaviti kako podizanje razine mora vjerojatno utječe i na žalo Zogon. Rastom morske razine smanjuje se ujedno i potencijalna energija geomorfološkog sustava, što će ako se trend nastavi, također značajnije utjecati na dinamiku dohrane žala.

U sličnom razdoblju, žalo doline Milne na otoku Visu također ugrožava relativni porast razine mora što dovodi do smanjenja veličine žala $\approx 10 \pm 2 \text{ m}$ u 35 godina (1976. – 2009. – 2011.) (FAIVRE I DR., predan za tisak). Erozija žala zabilježena je na još nekoliko prirodnih žala (neobjavljeni podaci). Prema novim analizama, zbog globalnog zatopljenja očekivani ubrzani porast morske razine do kraja 21. stoljeća na globalnoj razini može biti 62 ± 14

day (2017) is about 25 meters and the surface area amounts to $123 \pm 5 \text{ m}^2$. Based on the digitized ortho-photo, the surface of the beach in 2011 was about 125 m^2 .

On the basis of the defined benchmarks, the distance measured between today's beach limit and the boundary in the 60s of the last century revealed that the boundary during the past 60 years shifted by about 6 m towards the mainland. The possible change of the landward boundary of the beach could not be documented due to the lack of benchmarks and to anthropogenic interventions on the shore. Digitizing the beach surface from the ortho-photos of 1968, and taking into account the margin of the beach approximated by the benchmarks, the surface was thus reconstructed to $240 \pm 10 \text{ m}^2$. If compared to the actual beach size it is noticeable that the beach has decreased in size about 120 m^2 . This reveals that the beach exhibited a distinct change in size during the last 60 years, that is, it is reduced almost by half today.

A. Bognar (1990) stated that on sandy-pebble beaches of the Island of Hvar abrasion is poorly expressed. However, the results of this paper show that Zogon beach in the observed period is dominated by erosion. The impact of erosion is clearly visible not only through the horizontal component of the narrowing of the beach body (Fig. 10) but also through the vertical component of sediment reduction as shown in Figures 8d and 8e.

According to E. Bird (1985), 70% of the world's beaches today are marked by erosion which can be directly associated with the global relative sea level rise that according to some researches, began at the end of the 18th century (JEVREJEVA ET AL., 2008) or others, later, at the end of the 19th and early 20th centuries (KEMP ET AL., 2011; GEHRELS, WOODWORTH, 2013).

The recent increase in relative sea level has been recorded in the wider area of the Island of Hvar using different methods, e.g. on the Island of Vis (FAIVRE ET AL., 2010, FAIVRE ET AL., 2013), in the wider Makarska area (FAIVRE, BUTORAC, in press) and Šibenik (SHAW, 2013; SHAW ET AL., 2016). Tide gauges in the Adriatic Sea also record global sea level rise (TSIMPLIS ET AL., 2012). Therefore, it can be assumed that raising sea level is likely to affect Zogon beach. The sea level rise also reduces the potential

cm (ORLIĆ, PASARIĆ, 2013.) što može izazvati velike promjene na žalima istočne obale Jadrana.

ZAKLJUČAK

Istraživanje promjena u sustavu jaruga – žalo Zogon pokazuje složenost utjecaja prirodnih i antropogenih čimbenika na mali jednostavni geomorfološki sustav. Primjenom metode ponovljene fotografije, orto-foto snimaka te terenskog rada ustanovljeno je da se žalo u razdoblju od 60-ih godina 20. stoljeća do danas smanjilo za oko 50 %. Upravo metoda ponovljene fotografije omogućila je definiranje repera i okvirnu rekonstrukciju veličine žala 60-ih godina 20. stoljeća bez kojih rad ne bi bilo moguće napraviti. Budući da je žalo po definiciji akumulacijski reljefni oblik, njegova aktualna erozija svjedoči o preokretu u evoluciji žala na što su vrlo vjerojatno utjecali i prirodni i antropogeni procesi.

Antropogeni procesi vezani su uz gradnju i način korištenja zemljišta. Veći utjecaj u sustavu transfera sedimenta i energije čini gradnja terasa za uzgoj vinove loze koje izravno utječu na smanjenje erozije, zadržavanje tla na padinama te tako utječu na smanjenje dohrane žala. Taj je proces vjerojatno započeo znatno prije promatranog razdoblja te zasigurno imao značajan utjecaj na žalo Zogon. Usporede li se podaci s početka 19. stoljeća s današnjim podacima, vidljivo je da obradive površine pod vinovom lozom i maslinama zauzimaju danas oko 15 % manje površine no 1834. godine što upućuje na prostorni kontinuitet korištenja zemljišta na području Svete Nedjelje u navedenom razdoblju (posljednjih dvjesto godina).

Značajniji impulsi u sustavu javljaju se povremeno, od kojih su neki na tijelo žala djelovali konstruktivno, a drugi destruktivno. Žalo su hranile epizode intenzivnog jaruženja kao i nasipavanje tijekom građevinskih radova. Suprotne i dugotrajnije efekte na tijelo žala izazvale su modifikacije korita jaruge tijekom gradnje cesta kao i promjene u korištenju zemljišta. Smanjenje poljoprivredne djelatnosti, iako od manje važnosti u odnosu na druga područja duž istočne obale Jadrana, dovodi do djelomične prirodne reforestacije u promatranom razdoblju što je također vrlo vjerojatno utjecalo na smanjenje dohrane žala.

energy of the geomorphologic system, which if the trend continues will also affect significantly the dynamics of the beach nourishment.

During the similar period, the sandy beach of the Milna Valley on Island of Vis is also threatened by the relative sea levels rise, leading to the decrease in the size of the beach of $\approx 10 \pm 2$ m in 35 years (1976 - 2009-2011) (FAIVRE ET AL., submitted). Beach erosion was noted on a number of natural beaches in Croatia (unpublished data). According to the new analyses, due to global warming, the expected accelerated sea level rise by the end of the 21st century on the global scale can be 62 ± 14 cm (ORLIĆ, PASARIĆ, 2013), which can cause major changes of the beaches along the eastern Adriatic coast.

CONCLUSION

Studying changes in the gully–beach system, the complexity of natural and anthropogenic factors which influence on a small simple geomorphological system have been observed. With the help of the method of repeat photography, ortho-photos and field work, it was found that in the period from the 1960s in the 20th century till today the beach surface reduced by about 50%. The method of repeat photography allowed the definition of benchmarks and a rough reconstruction of the size of the beach during the 60s of the last century without which this work could not be done. As the beach is an accumulative relief form by its definition, its current erosion testifies the reversal in the evolution of the beach, which is highly influenced by natural and by anthropogenic processes.

Anthropogenic processes are related to construction works and to the land use changes. A greater impact on the sediment and energy transfer in the system was caused by the construction of vineyard terraces that directly affect erosion reduction, soil retention on slopes, and thus reduce nourishment of the beach. This process probably started much earlier than the period of observation and certainly had a significant impact on Zogon beach. If the 19th century data are compared with actual data, it is apparent that today's cultivated areas with grape vines and olive trees occupy about 15% less surface area than in 1834, indicating the spatial

S druge strane klimatske promjene dovode do recentnog izdizanja relativne morske razine na širem području što direktno utječe na eroziju žala. Zajedno sa snažnim destruktivnim utjecajem olujnih valova uglavnom južnih smjerova i antropogeno induciranim procesima, navedeni procesi sinergijski utječu na negativnu bilancu sedimenta na žalu Zogon danas.

Očekivani jači rast morske razine do kraja 21. stoljeća uvelike bi mogao utjecati na daljnju eroziju žala duž istočne obale Jadrana koja su okosnica turističke ponude. Daljnji bi rast morske razine također utjecao na smanjivanje potencijalne energije reljefa i daljnje promjene u sustavu jaruga-žalo.

ZAHVALA

Ovo je istraživanje provedeno uz potporu Sveučilišta u Zagrebu za 2017. godinu (br. 20282602) – Paleo i recentne promjene okoliša krškog dijela Hrvatske. Posebno zahvaljujemo Ivici Renduliću za crtanje karata, obitelji Bubrig na ustupljenim fotografijama kao i recenzentima na preciznim komentarima i savjetima.

continuity of land use in the area of Sveta Nedjelja during the last 200 years.

Significant impulses in the system occur occasionally, some of which act constructively and others destructively on the body of the beach. The beach was nourished with episodes of intense gully-lyng as well as with filling during different construction works. Opposing and long-lasting effects on the beach body were caused by modifications of the torrent bed during the construction of roads or due to the changes in land use. The reduction of the agricultural activity, even if of a minor significance compared to other areas along the eastern Adriatic coast, results in partial natural reforestation during the observed period, which also likely effect on the reducing the beach nourishment.

On the other hand, climate changes lead to the recent relative sea level rise in the wider area which directly affects the erosion of the beach. Together with the strong destructive influence of storm waves mainly of southern directions and anthropogenically induced processes, they synergically have an effect on the negative balance of sediment on the Zogon beach today.

The expected significant sea level rise by the end of the 21st century could greatly affect further erosion of beaches along the eastern Adriatic coast, which are the framework of the tourist offer. The further sea level rise could also have an impact on the reduction of potential relief energy and could influence on further changes in the gully-beach system.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was made with the support of the University of Zagreb for 2017 (No. 20282602) - The paleo and recent environmental changes in Croatian karst. We would especially like to thank Ivica Rendulić for drawing of maps, the Bubrig family for the photographs as well as the reviewers for precise comments and advice.

IZVORI I LITERATURA / SOURCES AND BIBLIOGRAPHY

- ABDULAJ, R., MIKOVIĆ, N., OSKORUŠ, D., VUJNOVIĆ, T. (2014): Velike vode donjeg toka rijeke Save tijekom svibnja 2014, *Hrvatska vodoprivreda*, 207, 14-16.
- BIRD, E. (2008): *Coastal Geomorphology*, An Introduction, Wiley, Chichester, pp. 411.
- BENAC, Č., JURAČIĆ, M. (1998): Geomorphological indicators of sea level changes during Upper Pleistocene (Würm) and Holocene in the Kvarner region (NE Adriatic Sea), *Acta Geografica Croatica*, 33, 27-45.
- BENAC, Č., RUŽIĆ, I., ILIĆ, S. (2010): Morfodinamika minijaturnih žala (Kvarner, sjeveroistočni Jadran), u: *Abstracts Book, 4th Croatian Geological Congress with international participation* (ur. Horvat, M.), Šibenik, 384-385.
- BOČIĆ, N., FAIVRE, S., KOVAČIĆ, M., HORVATINČIĆ, N. (2012): Cave development under the influence of Pleistocene glaciation in the Dinarides – an example from Štirovača Ice Cave (Velebit Mt., Croatia), *Zeitschrift für Geomorphologie*, 56 (4), 409-433, DOI: 10.1127/0372-8854/2012/0083
- BOGNAR, A. (1990): Geomorfološke i inženjersko-geomorfološke osobine otoka Hvara i ekološko vrednovanje reļjefa, *Geografski glasnik*, 52 (1), 49-65.
- BOROVIĆ, I., MARINČIĆ, S., MAJČEN, Ž., MAGAŠ, N. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100,000, *Tumač za listove Vis K 33-33, Jelsa 33-34, Biševo 33-35*, Institut za geološka istraživanja Zagreb (1968), Savezni geološki zavod, Beograd, pp. 67.
- BRYAN, K., LA RUE, E. C. (1927): Persistence of features in an arid landscape: The Navajo Twins, Utah, *Geographical Review*, 17, 251-257, DOI: 10.2307/208227
- CAVELL, E. (1983): *Legacy in ice: The Vaux family and the Canadian Alps*, The Whyte Foundation, Banff, Alta, pp. 96.
- CLEMENTS, F. E. (1905): *Research methods in ecology*, Lincoln, NE: University Publishing Company, Toronto, pp. 368.
- Državna geodetska uprava (DGU), orto-foto snimke iz 1968. i 2011., topografske karte mjerila 1:25000, dostupno na <https://geportal.dgu.hr/>
- Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), srednje mjesečne i godišnje temperature zraka (°C) i srednje mjesečne i godišnje količine oborina (mm), trajanje sijanja sunca, čestina vjetrova i temperatura mora za postaju Hvar, razdoblje 1867. – 2015. i Dokument DHMZ
- DUPLANČIĆ LEDER, T., UJEVIĆ, T., ČALA, M. (2004): Duljine obalne crte i površine otoka na hrvatskom dijelu Jadranskog mora određene s topografskih karata mjerila 1:25000, *Geadria*, 9 (1), 5-32.
- FAIVRE, S., FOUACHE, E. (2003): Some tectonic influences on the Croatian shoreline evolution in the last 2000 years, *Zeitschrift für Geomorphologie*, 47 (4), 521-537.
- FAIVRE, S., BAKRAN-PETRICIOLI, T., HORVATINČIĆ, N. (2010): Relative Sea-Level Change During the Late Holocene on the Island of Vis (Croatia) – Issa Harbour Archaeological Site, *Geodinamica Acta*, 23, 209-223, DOI: 10.3166/ga.23.209-223
- FAIVRE, S., PAHERNIK, M., MARADIN, M. (2011): The gully of Potovošća on the Island of Krk- the effects of a short-term rainfall event, *Geologia Croatica*, 64 (1), 67-80, DOI: 104154/gc.2011.07
- FAIVRE, S., BAKRAN-PETRICIOLI, T., HORVATINČIĆ, N., ŠIRONIĆ, A. (2013): Distinct phases of relative sea level changes in the central Adriatic during the last 1500 years – influence of climatic variations?, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 369, 163-174, DOI: 10.1016/j.palaeo.2012.10.016
- FAIVRE, S., BUTORAC, V. (2017): Recently submerged tidal notches in the wider Makarska area (Central Adriatic, Croatia), *Quaternary International*, u tisku, DOI: 10.1016/j.quaint.2017.07.020
- FAIVRE, S., GALOVIĆ, L., SUMEGI, P., CVITANOVIĆ, M., HORVATINČIĆ, N. (2017): 1,5 ka palaeoenvironmental reconstruction of the Milna valley on the Vis island (Central Adriatic), *Quaternary International*, predan za tisak.
- GAJIĆ-ČAPKA, M., CINDRIĆ, K. (2014): Pojava oborinskih ekstrema s osvrtnom na poplave, *Hrvatska vodoprivreda*, 22, 96-99.
- GEHRELS, W. R., WOODWORTH, P. L. (2013): When did modern rates of sea-level rise start? *Global and Planetary Change*, 100, 263-277.
- GILBERT, G. K. (1904): Variations of Sierra glaciers, *Sierra Club Bulletin*, 5, 20-25.
- HATTERSLY-SMITH, G. (1966): The symposium on glacier mapping, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 3, 737-743, DOI: 10.1139/e66-055
- HERAK, M., MARINČIĆ, S., POLŠAK, A. (1976): Geologija otoka Hvara, *Acta geologica*, 9 (1), 5-14.
- JEVREJEVA, S., MOORE, J. C., GRINSTED, A., WOODWORTH, P. L. (2008): Recent global sea level acceleration started over 200 years ago?, *Geophysical Research Letters*, 35, L08715, DOI: 10.1029/2008GL033611
- JURAČIĆ, M., BENAC, Č., PIKELJ, K., ILIĆ, S. (2009): Comparison of the vulnerability of limestone (karst) and siliclastic coasts (example from the Kvarner area, NE Adriatic, Croatia), *Geomorphology*, 107, 90-99, DOI: 10.1016/j.geomorph.2007.05.020
- KANIEWSKI, D., MARRINER, N., MORHANGE, CH., FAIVRE, S., OTTO, T., VAN CAMPO, E. (2016): Solar pacing of

storm surges, coastal flooding and agricultural losses in the Central Mediterranean, *Scientific Reports* 6, 1-12, DOI: 10.1038/srep25197

KEMP, A. C., HORTON, B. P., DONNELLY, J. P., MANN, M. E., VERMEER, M., RAHMSTORF, S. (2011): Climate related sea-level variations over the past two millennia, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 11017-11022, DOI: 10.1073/pnas.1015619108

KOVAČIĆ, J. (1987): *Iz hrvatske kulturne baštine*, Hvar, šapirografirno.

KOVAČIĆ, J. (2002): Župa Sveta Nedilja na Hvaru, *Služba Božja: liturgijsko-pastoralna revija*, 42 (2-3), 121-148.

KRAUS, N. C. (2005): Profiling, Beach, u: *Encyclopedia of coastal science* (ur. Schwartz, M. I.), Springer Science & Business Media, 781.

LOBECK, A. K. (1939): *Geomorphology: An introduction to the study of landscapes*, McGraw-Hill, New York, pp. 731.

LONČAR, G., BEKIĆ, D., CAREVIĆ, D., MOSTEČAK, H., BABIĆ, M., GRBIĆ, N., PRANJIĆ, V. (2016): Numeričko modeliranje morfodinamike poprečnog profila na šljunčanom žalu Medveja, *Hrvatske vode*, 24, 29-38.

LONGWELL, C. R., KNOPF, A., FLINT, R. F. (1932): *A textbook of geology: Part I, Physical geology*, John Wiley and Sons, New York, pp. 471.

MAKJANIĆ, B., VOLARIĆ, B. (1977): Prilog poznavanju klime otoka Hvara, u: *Hvar u prirodnim znanostima*, (ur. Miličić, D.), JAZU, Zagreb, 171-173.

Mappe catastali, Comune di Sfirze, 1834., Državni arhiv u Splitu, Arhiv mapa za Istru i Dalmaciju, HR-DAST-152, kutija 575.

MARINČIĆ, S. (1995): Geologija otoka Hvara, u: *Otok Hvar* (ur. Mihovilović, M.), Matica hrvatska, Zagreb, 52-58.

MARRINER, N., MORHANGE, C., FAIVRE, S., FLAUX, C., VACCHI, M., MIKO, S., BOETTO, G., RADIC ROSSI, I. (2014): Post-Roman sea-level changes on Pag Island (Adriatic Sea): dating Croatia's "enigmatic" coastal notch?, *Geomorphology*, 221, 83-94, DOI: 10.1016/j.geomorph.2014.06.002

MARINČIĆ, S., MAJČEN, Ž. (1976): *Osnovna geološka karta SFRJ 1:100,000, list Jelsa K33-34*, Institut za geološka istraživanja Zagreb (1967-1968), Savezni geološki zavod, Beograd.

MARKOVIĆ-MARJANOVIĆ, J. (1976): Kvartarni sedimenti ostrva Hvara – srednji Jadran, *Glasnik prirodnjačkog muzeja*, knjiga 31, serija A, 199-214.

MEDUGORAC, I., PASARIĆ, M., ORLIĆ, M. (2015): Severe flooding along the eastern Adriatic coast: the case of 1 December 2008, *Ocean Dynamics*, 65, 817-830, DOI: 10.1007/s10236-015-0835-9

METCALFE, A. S. (2016): Repeat Photography and Educational Research, u: *Visual Research Methods in Educational Research*, (ur. Moss, J. i dr.), Palgrave Macmillan, New York, 153-172.

MIĆUNOVIĆ, M. (2017): *Recentne morfološke promjene žala Zogon (Sv. Nedjelja, otok Hvar)*, Prvostupnički rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geografski odsjek, Zagreb, 26.

MIHALIĆ ARBANAS, S., SEČANJ, M., BERNAT GAZIBARA, S., KRKAČ, M., BEGIĆ, H., DŽINDO, A., ZEKAN, S., ARBANAS, Ž. (2017): Landslides in the Dinarides and Pannonian Basin – from the largest historical and recent landslides in Croatia to catastrophic landslides caused by Cyclone Tamara (2014) in Bosnia and Herzegovina, *Landslides*, 14, 1-16, DOI: 10.1007/s10346-017-0880-1

MORTON, R. A., LEACH, M. P., PAINE, J. G., CARDOZA, M. A. (1993): Monitoring beach changes using GPS surveying techniques, *Journal of Coastal Research*, 9 (3), 702-720.

ORLIĆ, M., PASARIĆ, Z. (2013): Semi-empirical versus process-based sea-level projections for the twenty-first century, *Nature Climate Change*, 3, 735-738, DOI: 10.1038/nclimate1877

PAVELIĆ, D., KOVAČIĆ, M., VLAHOVIĆ, I., WACHA, L. (2011): Pleistocene calcareous aeolian-alluvial deposition in a steep relief karstic coastal belt (island of Hvar, eastern Adriatic, Croatia), *Sedimentary Geology*, 239 (1-2), 64-79, DOI: 10.1016/j.sedgeo.2011.05.005

PATARČIĆ, M., GAJIĆ-ČAPKA, M., CINDRIĆ, K., BRANKOVIĆ, Č. (2014): Recent and near-future changes in precipitation-extreme indices over the Croatian Adriatic coast, *Climate research*, 61 (2), 157-176, DOI: 10.3354/cr01250

Peljar za male brodove I dio, Hrvatski hidrografski institut, (ur. Gržetić, Z., Dupljančić Leder, T., Leder, N.), Split, 2002., pp. 269.

PENZAR, B., PENZAR, I., ORLIĆ, M. (2001): Vrijeme i klima Hrvatskog Jadrana, Nakladna kuća „Dr. Feletar“, Zagreb, pp. 258.

PIKELJ, K., KOVAČIĆ, M., CVETKO TEŠOVIĆ, B. (2014): Geological control of beach sediment in the Kaštela-Ploče flysch zone (Adriatic Sea, Croatia), *5th International Symposium Monitoring of Mediterranean coastal areas: problems and measurement techniques – Abstracts*, Livorno, Italy, 17-19 June, 2014.

PIKELJ, K., ILIĆ, S., JAMES, M. R., KORDIĆ, B. (2015): Application of SfM photogrammetry for morphological changes on gravel beaches: Dugi Rat case study (Croatia), *3rd Coastal and Maritime Mediterranean Conference*, Ferrara, Italija, 25. – 27. 11. 2015., 67-71, DOI: 10.5150/cmcm.2015.014

PIRAZZOLI, P. A. (1993): *Les littoraux: Leur évolution*, Nathan Universite, Paris, pp. 191.

POLITEO, I. (1978): Vinogradarstvo otoka Hvara, *Prilozi povijesti otoka Hvara*, 5 (1), 123-127.

RAJČIĆ, S. T., FAIVRE, S., BUZJAK, N. (2010): Promjene žala na području Medića i Mimica od kraja šezdesetih godina 20. stoljeća do danas, *Hrvatski geografski glasnik*, 72 (2), 27-48.

ROGLIĆ, J. (1977): Prilog geografiji Hvara, u: *Hvar u prirodnim znanostima*, (ur. Miličić, D.), JAZU, Zagreb, 5-20.

RUŽIĆ, I., BENAC, Č., ILIĆ, S., SUŠANJ, I., LJUTIĆ, K. (2011): Promjene korištenja zemljišta i regulacija bujičnih vodotoka: Utjecaj na žala Liburnije i otoka Cresa, u: 5. *Hrvatska konferencija o vodama: Hrvatske vode pred izazovom klimatskih promjena*, (ur. Biondić D. i dr.), Hrvatske vode, Opatija, 771-782.

RUŽIĆ, I., MAROVIĆ, I., BENAC, I., ILIĆ, S. (2014): Coastal cliff geometry derived from structure-from-motion photogrammetry at Stara Baška, Krk Island, Croatia, *Geo-Marine Letters*, 34(6), 555-565, DOI: 10.1007/s00367-014-0380-4

RUŽIĆ, I., BENAC, Č., DUGONJIĆ-JOVANČEVIĆ, S. (2017): Coastal Erosion and Instability Phenomena on the Coast of Krk Island (NE Adriatic Sea), u: *Adancing Culture of Living with Landslides*, (ur. Mikloš, M. et al.), Springer, 361-367, DOI: 10.1007/978-3-319-53483-1_43

SMOLJANOVIĆ, M., SMOLJANOVIĆ, A., NEJMAŠMIĆ, I. (1999): *Stanovništvo hrvatskih otoka*, Zavod za javno zdravstvo Županije splitsko-dalmatinske, Poljica, Split, pp. 322.

SHAW, T. A. (2013): *Reconstructing historical sea-level trends for the Croatian coast of the Adriatic Sea using salt-marsh foraminifera*, Doktorska disertacija, University of Liverpool, pp. 234.

SHAW, T. A., KIRBY, J. R., HOLLGATE, S., TUTMAN, P., PLATER, A. J. (2016): Contemporary salt-marsh foraminiferal distribution from the Adriatic coast of Croatia and its potential for sea-level studies, *The Journal of Foraminiferal Research*, 46 (3), 314-332, DOI: 10.21113/gsjfr.46.3.314

SURIĆ, M. (2009): Reconstructing sea-level changes on the Eastern Adriatic Sea (Croatia) – an overview, *Geoadria*, 14 (2), 181-199.

TOMINIĆ, T. (2017): *Varijabilnost morfologije i volumena žala Dugi Rat temeljena na SfM fotogrametriji*, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Zagreb, 55.

TRINAJSTIĆ, I. (1977): Osnovne značajke biljnog pokrova otoka Hvara i njegov fitogeografski položaj u okviru Evropskog dijela Sredozemlja, *Poljoprivreda i šumarstvo*, 23 (4), 1-36.

TURNER, R. M., WEBB, R. H., BOWER, J.E., HASTINGS, J. R. (2003): *The Changing Mile Revisited: An Ecological Study of Vegetation Change with Time in the Lower Mile of an Arid and Semiarid Region*, University of Arizona Press, Tucson, pp. 334.

TSIMPLIS, M. N., RAICICH, F., FENOGLIO-MARC, L., SHAW, A. G. P., MARCOS, M., SOMOT, S., BERGAMASCO, A. (2012): Recent developments in understanding sea level rise at the Adriatic coasts, *Physics and Chemistry of the Earth Parts*, 41-42, 59-71, doi: 10.1016/j.pce.2009.11.007

VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, I., VELIĆ, I., MATIČEC, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Paleogeography, main events and depositional dynamics, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220, 333-360, DOI: 10.1016/j.palaeo.2005.01.011

WEBB, R. H., TURNER, R. M., BOYER, D. E. (2010): Introduction: A Brief History of Repeat Photography, u: *Repeat photography, Methods and Applications in the Natural Sciences*, (ur. Webb, R., H., Boyer, D., E., Turner, R., M.), Island press, London, 3-11.

WOODROFFE, C. D. (2002): *Coasts: form, process and evolution*, Cambridge University press, Cambridge, pp. 640-

ZANINOVIĆ, K., GAJIĆ-ČAPKA, M., PERČEC-TADIĆ, M., VUČETIĆ, M., MILKOVIĆ, J., BAJIĆ, A., CINDRIĆ, K., CVITAN, L., KAŠUTIN, Z., KAUCIĆ, D., LIKSO, T., LONČAR, Ž., LONČAR, H., MIHAJLOVIĆ, D., PANDŽIĆ, K., PATARČIĆ, M., SRNEC, L., VUČETIĆ, V. (2008): *Klimatski atlas Hrvatske*, (ur. Zaninović, K.), Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, pp. 200.

ZANINOVIĆ-RUMORA, M. (2008): Hvarske komunalne mjere za dužinu i površinu kroz stoljeća, *Radovi Zavoda za povijesne znanosti HAZU u Zadru*, 50, 105-118.