Plimna potkapina kao indikator relativne promjene razine mora: primjer poluotoka Luna (otok Pag)

Vidić, Sofija

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:681796

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-24**

Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

Sofija Vidić

Plimna potkapina kao indikator relativne promjene morske razine: primjer poluotoka Luna (otok Pag)

Diplomski rad
predan na ocjenu Geografskom odsjeku
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu
radi stjecanja akademskog zvanja
magistra Znanosti o okolišu

Zagreb,
2016. godine

Ovaj je diplomski rad izrađen u sklopu diplomskog sveučilišnog studija *Biologija; smjer: Znanosti o okolišu* pri Biološkom, Geografskom i Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, pod vodstvom prof.dr.sc. Sanje Faivre.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geografski odsjek

Diplomski rad

Plimna potkapina kao indikator relativne promjene razine mora: primjer poluotoka Luna (otok Pag)

Sofija Vidić

Izvadak: Utvrđivanje stope današnje promjene morske razine postaje sve važnije iz različitih znanstvenih i socioekonomskih razloga. Kako bi se predvidjele promjene koje će uslijediti, nužno je poslužiti se kako direktnim, tako i indirektnim metodama rekonstruiranja porasta morske razine. Hrvatska se obala smatra neotektonski aktivnim područjem, te je moguće rekonstruirati jedino krivulju relativne promjene morske razine, najčešće pomoću indirektnih metoda. Zbog proučavanja upravo takvih promjena, u radu se prezentira istraživanje temeljeno na mjerenju plimne potkapine - najboljeg geomorfološkog indikatora relativne promjene morske razine. Rezultati mjerenja, koje je obavljeno duž poluotoka Luna (otok Pag), generalno odgovaraju mjerenjima s drugih lokacija na otoku Pagu. Na temelju dosadašnjih istraživanja može se zaključiti da su istražene fosilne plimne potkapine vjerojatno nastale u vrijeme stabilnih odnosa kopna i mora prije oko 2000 godina od kada je došlo do porasta morske razine za oko 50±10 cm.

40 stranica, 14 grafičkih priloga, 6 tablica, 47 bibliografskih referenci; izvornik na hrvatskom jeziku

Ključne riječi: relativna promjena razine mora, plimna potkapina, otok Pag

Voditeljica: prof.dr.sc. Sanja Faivre

Povjerenstvo:

prof.dr.sc. Sanja Faivre
doc.dr.sc. Tatjana Bakran-Petricioli
izv.prof.dr.sc. Danijel Orešić
izv.prof.dr.sc. Nenad Tomašić

Tema prihvaćena: 09.02.2016.

Rad prihvaćen: 03.05.2016.

Datum i vrijeme obrane: 16.05.2016. u 12 sati

Rad je pohranjen u Središnjoj geografskoj knjižnici Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Marulićev trg 19, Zagreb, Hrvatska.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geography

Master Thesis

Tidal notch as a relative sea-level change indicator: an example of Lun peninsula (island of Pag)

Sofija Vidić

Abstract: The determination of the present-day rate of sea level change is important for a variety of scientific and socioeconomic reasons. To be able to predict following changes, it is important to utilize either direct, or indirect methods to succesfully reconstruct the sea level rise. Croatia has been considered as a neotectonic active area, thus making only the curve of relative sea level change possible to reconstruct, mostly by using indirect methods. Regarding this paper, the survey was carried out by measuring tidal notches – one of the best relative sea level change indicators. The results of the survey (which took place along the Lun peninsula on the island of Pag) are essentially in accordance with the results from previous research. The studied tidal notches were developed during the period of stability ~2000 years ago, since which the sea level rose for 50±10 cm.

40 pages, 14 figures, 6 tables, 47 references; original in Croatian

Keywords: relative sea-level change, tidal notch, the island of Pag

Supervisor: Sanja Faivre, PhD

Reviewers:

Sanja Faivre, PhD, Full Professor
Tatjana Bakran-Petricioli, PhD, Assistant Professor
Danijel Orešić, PhD, Associate Professor
Nenad Tomašić, PhD, Associate Professor

Thesis submitted: 9th February, 2016

Thesis accepted: 3rd May, 2016

Thesis defense: 16th May, 2016 at 12 PM

Thesis deposited in Central Geographic Library, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19, Zagreb, Croatia.

Sadržaj

1. Uvod 1

1.1.Globalne klimatske promjene i promjene morske razine 1

1.2.Cilj istraživanja 3

1.3.Pregled dosadašnjih istraživanja 4

1.4.Teorijski okvir 6

1.4.1. Apsolutna *vs.* relativna promjena morske razine 6

1.4.2. Indikatori promjene morske razine 7

1.4.3. Plimna potkapina kao indikator relativne promjene morske razine 14

1.4.3.1.Geneza i razvoj plimnih potkapina 14

1.4.3.2.Klasifikacija marinskih potkapina 15

1.4.3.3.Određivanje starosti plimnih potkapina 20

2. Metodologija istraživanja 21

3. Fizičko - geografska obilježja istraživanog područja 22

3.1.Geografska obilježja 22

3.2.Geološka i geomorfološka obilježja 24

3.3.Klimatska obilježja 26

4. Rezultati 28

5. Diskusija 31

5.1. Distribucija dosadašnjih izmjerenih potkapina na otoku Pagu…….31

5.2. Distribucija dosadašnjih izmjerenih potkapina na Jadranu……...33

6. Zaključak 36

7. Popis literature i izvora 37

PRILOZI VI

1. Uvod

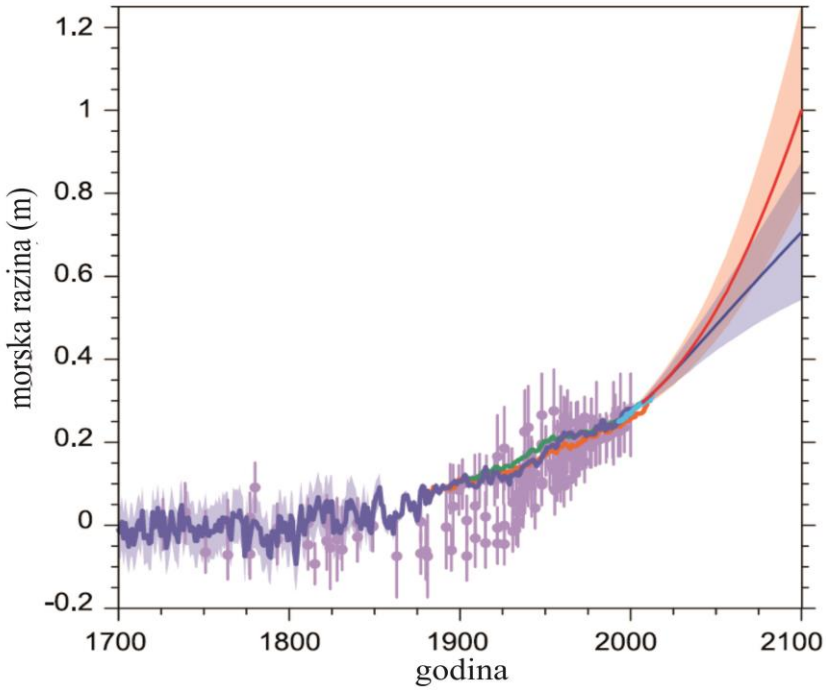
1.1. Globalne klimatske promjene i promjene razine mora

Mnogi znanstvenici i, sve više, mnogi svjetski političari smatraju klimatske promjene posljedicom antropogenog emitiranja stakleničkih plinova. Danas je generalno prihvaćeno da se globalne klimatske promjene događaju i da su te promjene odgovorne za današnji neprekidni porast globalne razine mora. Promjene morske razine uzrokovane su različitim čimbenicima. Primarnim uzročnicima suvremene promjene razine mora smatraju se temperaturna ekspanzija oceana kao posljedica njegova zagrijavanja, te transport vode skladištene na kopnu u ocean, osobito one vode pohranjene u ledenim pokrovima i ledenjacima (IPCC, 2013). Promatranja još od 1971. godine ukazuju na to da utjecaj termalne ekspanzije i topljenja leda objašnjavaju oko 75% do tada utvrđenog porasta morske razine. Također, smatra se da je negativno djelovanje ledenih pokrova Greenlanda i Antartike poraslo od početka 90-ih godina 20. stoljeća zbog ubrzanog otapanja leda što je izazvano sve većim zagrijavanjem susjednog oceana (IPCC, 2013).

Promjena razine mora postala je tema od velikog interesa iz dva osnovna razloga. Prvo, promjene u stopi porasta razine mora direktno su povezane s promjenama klime na Zemlji. Drugo, promjena razine mora ima važne socioekonomske posljedice na stanovništvo koje živi u blizini trenutne srednje razine mora. Zbog toga je iznimno bitno utvrditi trenutnu stopu globalne promjene razine mora, definirati je li ta stopa u porastu, i naposljetku, identificirati uzroke tih promjena. Determiniranje trenutne stope i ubrzanja promjene razine mora veoma je važno da bi se uspješno utvrdilo predviđanje temperature i promjena razine mora prema globalnom klimatskom modelu (Cazenave i Nerem, 2004).

Nesumnjivo, najpouzdaniji izvori o klimatskim predviđanjima prisutni su u izvještajima IPCC-a (Intergovernmental Panel on Climate Change), organizacije koju čini grupa međunarodnih znanstvenika iz različitih područja. Posljednje izvješće IPCC-a iz 2013. godine (Fifth Assessment Report) uključuje i poglavlje posvećeno promjenama morske razine koje na neki način sumira sve što do sada znamo o prošloj, trenutnoj i budućoj promjeni morske razine.

Prema paleopodacima postoji velika vjerojatnost da je za vrijeme posljednjeg interglacijala (~129 to 116 ka) tijekom nekoliko tisuća godina morska razina bila za oko 5 m viša od današnje (kada je globalna srednja temperatura bila i do 2 °C viša od predindustrijske), te da nikada nije bila viša od 10 m u odnosu na današnju morsku razinu (IPCC, 2013). Instrumentalni podaci (mareografska mjerenja) o razini mora ukazuju da je prijelaz iz 19. u 20. stoljeće bila prekretnica u povećanju stope porasta razine mora, nakon relativno niske stope tijekom posljednjih 2000 godina. U periodu između 1901. i 2010. godine srednja stopa porasta globalne morske razine iznosila je oko 1,7 (1,5 do 1,9) mm/god što znači da je ukupni porast iznosio 0,19 (0,17 do 0,21) m. Između 1993. i 2010. godine, stopa je porasla na 3,2 (2,8 do 3,6) mm/god. Slične visoke stope bile su uočene i u periodu između 1920. i 1950. godine (IPCC, 2013) (Sl. 1.).



Sl. 1. Kompilacija paleopodataka, mareografskih i altimetrijskih podataka o razini mora; srednje vrijednosti morske razine i predviđanja o globalnom porastu razine mora do 2100. godine na temelju dva različita scenarija (plava i crvena linija).

Izvor: Fifth Assessment Report, IPCC 2013.

Veoma je vjerojatno da će stopa globalnog porasta srednje razine mora tijekom 21. stoljeća nadmašiti stopu iz perioda između 1971. i 2010. godine s obzirom na porast u zagrijavanju oceana i smanjenje mase ledenjaka i ledenih pokrova. Predviđanja o porastu razine mora veća su nego prije, primarno zbog napredovanja u samom procesu modeliranja. Za period između

2081. i 2100. godine predviđeno je da će vrlo vjerojatno doći do porasta od 0,52 do 0,98 m sa stopom od 8 do 16 mm/god (IPCC, 2013).

Stoga ovaj rad obuhvaća trenutno razumijevanje varijabilnosti razine mora, s fokusom na utvrđivanje iste indirektnim mjerenjem plimne potkapine duž zapadne obale poluotoka Luna na otoku Pagu. S obzirom na dosadašnje rezultate za istarsko i kvarnersko područje koji upućuju na porast morske razine od 50 cm u posljednjih 2000 godina može se reći da je došlo do relativno brzog eustatskog porasta – 0,1 cm/god u posljednja dva stoljeća što se smatra posljedicom globalnog zagrijavanja (Fouache i dr., 2005).

1.2.Cilj istraživanja

Cilj ovoga rada istražiti je obale poluotoka Luna, te utvrditi postoje li na tome području plimne potkapine. Ukoliko se utvrdi njihovo postojanje utvrdit će se i njihova morfologija, aktivnost i položaj u odnosu na trenutačnu srednju morsku razinu. Dobiveni će se rezultati potom usporediti s podacima iz dosadašnjih istraživanja na otoku Pagu, te s do sada obavljenim podacima s istočne obale Jadrana.

Istraživanja morske razine na hrvatskoj obali provodila su se različitim metodama, koristeći pritom neposredne i posredne pokazatelje razine mora – geomorfološke i biološke indikatore, arheološke i historiografske dokaze, te podatke o pomacima kopna i mora dobivene mareografskim i geodetskim mjerenjima. Tek kombinacijom tih metoda, zajedno s radiometrijskim datiranjem, moguće je doći do prihvatljivih rezultata (Surić, 2009). Stoga, s obzirom na okršenu i razvedenu obalu, raznoliku geomorfološku građu i brojne paleontološke i arheološke ostatke, hrvatska se obala može pohvaliti doista širokim rasponom različitih metoda rekonstruiranja morske razine. Međutim, za potrebe ovoga rada korištena je ipak najbolje istražena metoda do sada na Jadranu – metoda rekonstrukcije morske razine uz pomoć geomorfološkog markera plimne potkapine.

Budući da je plimna potkapina na istočnome Jadranu bila predmet istraživanja mnogih autora, pomoću njihovih rezultata i iznesenih zaključaka moguće je dobivene rezultate nastale u svrhe ovoga rada usporediti s njihovima što je upravo jedan od ciljeva ovoga istraživanja. Nadalje, jedan od ciljeva također je svrstati mjerene potkapine u kategoriju do sada određenih oblika potkapina kako bi se utvrdio njihov nastanak.

1.3.Pregled dosadašnjih istraživanja

Od velikog broja do danas dokumentiranih plimnih potkapina na području Mediterana proučavanih u svrhu rekonstrukcije promjene morske razine, mnogo ih pripada upravo području Jadranskoga mora, posebice njegovom sjevernoistočnome dijelu (Torunski, 1979; Pirazzoli, 1980; Fouache i dr., 2000; 2004; 2005; Faivre i Fouache, 2003; Benac i dr., 2004; 2008; Antonioli i dr., 2007; Faivre i dr., 2007; 2010a i b, 2012; Furlani i dr., 2011; Marriner i dr., 2014.). Na području Sjevernog jadranskog primorja (Fouache i dr., 2000) prepoznat je veliki broj dobro razvijenh plimnh potkapina koje se nalaze ispod današnje srednje razine mora (MSL – mean sea level). Ipak, kasnijim se mjerenjima ukazalo na njihovu prisutnost i južnije (Faivre i dr., 2007; 2010a i b, 2012, 2013; Antonioli i dr., 2007) (Tab. 1.).

Tab. 1. Dosadašnja mjerenja plimnih potkapina na Jadranu prema mnogim autorima geografski gledajući od sjevera prema jugu. (A) Lokacija istraživanog područja; (B) Minimalna dubina (cm); (C) Maksimalna dubina (cm); (D) Srednja dubina (cm); (E) Izvori.

(A) Područje istraživanja	Dubina potkapine (cm)			(E) Izvor
	(B) Min	(C) Max	(D) $\bar{x}$	
Zapadna Istra	-60	-80	-70	Fouache i dr. (2000); Faivre i dr. (2011)
Riječki zaljev	-50	-115	-60	Benac i dr. (2004)
Vinodolski kanal	-45	-115	-50	Benac i dr. (2008)
Otok Pag (Paški most)	-	-	-60	Furlani i dr. (2011)
Otok Pag (Caska)	-	-	-55	Fouache i dr. (2000); Marriner i dr. (2014)
Otok Pag (Drljanda)	-	-	-55	Fouache i dr. (2000)
Otok Pag (Lunski poluotok)	-32	-68	-51	Ovaj rad
Otok Vis	-20	-30	-25	Faivre i dr. (2010; 2013)
Otok Korčula	-	-	-40	Faivre i Fouache (2003; 2007); Faivre i dr., (2010b; 2012)
Poluotok Pelješac	-	-	-30	Antonioli i dr. (2007)

Pirazzoli (1980) je među prvima mjerio plimne potkapine na Jadranu, i to na nekoliko lokacija na otoku Lošinju te Vinodolskom i Velebitskom kanalu gdje je zabilježio dubinu njihova verteksa (retreat point) na otprilike 0,5 do 0,6 m ispod srednje razine mora. Također, spominje njihov karakterističan V i U oblik što se potvrdilo kako kasnijim mjerenjima, tako i ovim radom. Nadalje, Fouache i dr. (2000; 2004; 2005) i Faivre i Fouache (2003) opisali su plimne potkapine na dubinama od 0,5 do 0,7 m na istarskome poluotoku, na otocima Rabu i Pagu i duž Velebitskog kanala, no oni su poziciju svojih potkapina povezali s porastom razine mora od Rimskog razdoblja koristeći se datiranim arheološkim ostacima.

Kasnijim su se istraživanjima bavili Benac i dr. (2004; 2008) na riječkome području (otok Krk, Bakar i Vinodolski kanal), međutim, oni su svoja mjerenja uglavnom koristili u svrhe determiniranja neotektonske aktivnosti tj. koseizmičkog spuštanja terena. Različita dubina njihovih potkapina, od 0,4 do 1,15 m ispod današnje morske razine ipak upućuje na kompleksnost tektonskoga sklopa tog područja zbog čega neki autori sugeriraju poslijerimske koseizmičke događaje kako bi objasnili današnju poziciju ovih potkapina – možda potres u Cissi (današnja Caska na otoku Pagu) 361 AD (Pirazzoli, 1980; Benac i dr., 2004; 2008). Među posljednjima bili su Furlani i dr. (2011) koji su mjerili potkapine na području Istre, na otocima Krku, Cresu i Pagu, te u okolici Zadra pokušavajući odrediti njihov nastanak i razvoj mjereći brzinu oblikovanja potkapine pomoću mikroerozio metra.

1.4.Teorijski okvir

1.4.1. Apsolutna *vs*. relativna promjena razine mora

Kada govorimo o promjeni morske razine valja prvo definirati kakva ona može biti s obzirom na točku odakle se mjeri. Položaj morske razine mjeri se generalno na dva načina; od površine Zemljine kore (izostatska/relativna razina mora) s obzirom na razinu položaja kopna, ili od geocentrične referentne točke kao što je referentni elipsoid – središte Zemlje (eustatska/geocentrična/apsolutna razina mora) (IPCC, 2013). Relativna razina mora mjeri se mareografima unazad nekoliko stoljeća, a procjenjuje se pomoću geoloških i geomorfoloških podataka kroz dulji vremenski period. S druge strane, eustatska/geocentrična/apsolutna razina mora mjeri se unazad dva desetljeća korištenjem satelitske altimetrije (vidi poglavlje *1.4.2. Indikatori promjene morske razine*).

Naime, lokalna relativna razina mora može se značajno razlikovati od globalne srednje razine mora zbog prostorne varijabilnosti morske površine i dubine oceanskog dna. Prošle i sadašnje varijacije u distribuciji kopnenog leda utječu na oblik i gravitacijsko polje Zemlje, što rezultira regionalnom fluktuacijom razine mora. Dodatne varijabilnosti morske razine uzrokovane su više lokalnim procesima kao što su zbijanjem sedimenata i tektonikom. Vertikalno pomicanje kopna kao posljedica kretanja litosfernih ploča također može uzrokovati odstupanja od globalnog trenda srednje razine mora u nekim područjima. Duž bilo koje obale, vertikalno pomicanje, bilo to morske ili kopnene površine, uzrokuje relativnu promjenu morske razine. Na primjer, lokalna promjena može biti inicirana spuštanjem ili izdizanjem kopna (IPCC, 2013).

Generalno gledajući, promjena morske razine zbroj je eustatskih, glacio-hidro-izostatskih i tektonskih čimbenika. Eustatska promjena je globalna, apsolutna i vremenski ovisna, dok promjena morske razine uzrokovana glacio-hidro-izostatskim i tektonskim čimbenicima varira ovisno o lokaciji (Antonioli i dr., 2007). Prilikom mjerenja dubine plimne potkapine moramo imati na umu da ta dubina može biti uzrokovana postupnim porastom razine mora i koseizmičkim pomacima (Evelpidou i dr., 2012). Dakle, mjereći relativnu promjenu morske razine zapravo mjerimo globalnu komponentu morske razine (eustatizam), tektonske pomake (izdizanje i spuštanje) te na nekim mjestima spuštanje koje je nastalo kao rezultat prirodnog zbijanja sedimenta (Morton i dr., 2002).

1.4.2. Indikatori promjene morske razine

Prema IPCC-u (2013), u suštini, postoje dva tipa promatranja koja mjere morsku razinu direktno: (A) mareografska mjerenja, koja u par slučajeva potječu još od prije 100 godina, i (B) mjerenja satelitskom altimetrijom, koja su dostupna jedan kraći vremenski period, tek u posljednjih 20 godina. U drugim se pak slučajevima, primjerice na tektonski aktivnim obalama kao što je to Jadranska obala, primjenjuju uglavnom indirektne metode kao što su: (C) geomorfološki indikatori, (D) biostratigrafski indikatori, (E) arheološki nalazi, (F), geodetska mjerenja, te (G) radiometrijske analize (Surić, 2009).

A. Mareografska mjerenja

Mareografska mjerenja primarni su set podataka korišteni prilikom utvrđivanja stope promjene morske razine u posljednjih 50 do 100 godina. Mareografi osiguravaju izvrsno mjerenje relativne promjene razine mora, dok je utvrđivanje apsolutne promjene razine mora (što je od interesa u proučavanju klime) ipak malo problematičnije (Cazenave i Nerem, 2004). Mareografska mjerenja obilježavaju dva glavna nedostatka: (1) imaju rijetku prostornu distribuciju, i (2) nalaze se na kopnu koje se može pomicati vertikalno tako kreirajući promjene razine mora nevezane s klimatskim varijacijama. Mareografi se primarno koriste za bilježenje morskih mijena, no na temelju niza podataka višegodišnjeg perioda mogu se dobiti i podaci o relativnoj promjeni razine mora (Surić, 2009).

Na istočnoj obali Jadrana kontinuirani nizovi mareografskih podataka (Bakar, Rovinj, Split i Dubrovnik) dostupni su tek za posljednjih 50 godina, iako su prva mjerenja počela u Trstu još 1859., a u Bakru 1929. godine (Surić, 2009). Na temelju podataka navedenih mareografa, Orlić i Pasarić (2000) donose pretpostavke o suvremenom trendu relativne promjene razine mora od +1 mm/god za sjeverni Jadran (izuzev neotektonski aktivno područje oko Bakra), te 0 mm/god za južni dio. Naime, prilikom interpretiranja mareografskih podataka uvijek bi se trebao uzeti u obzir utjecaj kako eustatske promjene razine mora tako i pokretanje kopna tzv. izostatska promjena razine mora (Faivre i Fouache, 2003).

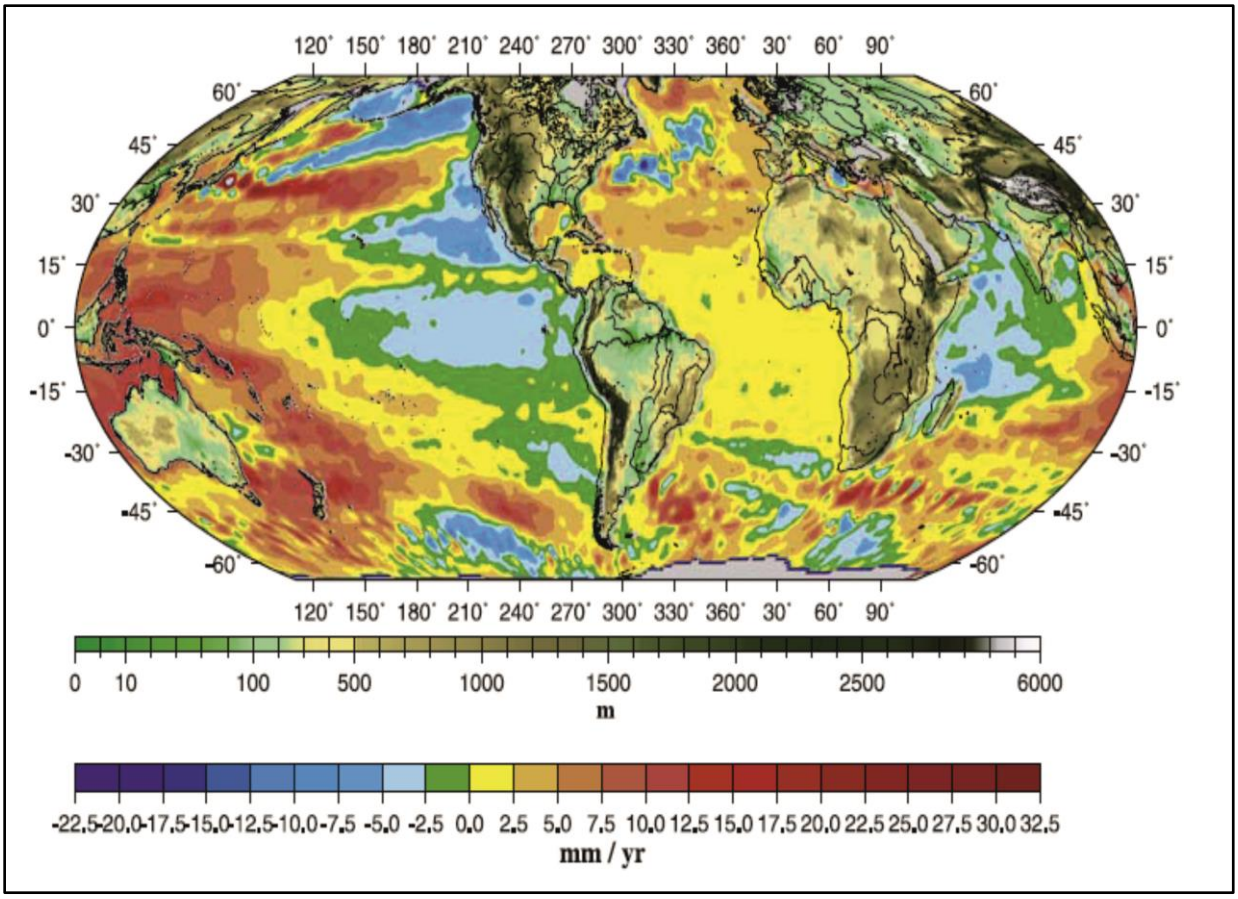
Globalno gledajući, kombinacija paleopodataka i višegodišnjih mjerenja mareografa potvrđuje da je stopa porasta razine mora narasla od niske stope promjene za vrijeme kasnog Holocena do stope od skoro 2 mm/god što je prosjek za 20. stoljeće, s velikom mogućnošću nastavka porasta tijekom 21. stoljeća (IPCC, 2013). Budući da postoje određena nepodudaranja u interpretaciji mareografskih mjerenja, nužna su daljnja istraživanja kako bi se ista mogla povezati s mjerenjima satelitske altimetrije.

B. Satelitska altimetrija

S preko dva desetljeća preciznog mjerenja razine mora satelitskom altimetrijom i trenutnim lansiranjem novih satelita obuhvaćajući različite aspekte promjene razine mora, imamo više informacija o promjeni razine mora nego ikada prije. Današnja stopa promjene morske razine utvrđena je mjerenjima TOPEX/Poseidon (T/P) altimetrijskim satelitima za vrijeme posljednja dva desetljeća, te je izmjerena stopa od +2,8 ± 0,4 mm/god. (3,1 mm/god. nakon korekcije izostatičke komponente). Tako dobivena vrijednost znatno je veća u odnosu na vrijednosti dobivene mareografskim mjerenjima (Cazenave i Nerem, 2004).

Era precizne satelitske altimetrije započela je lansiranjem TOPEX/Poseidon satelita 1992. godine. Lansiranjem satelita Jason 2001. godine višedesetljetno mjerenje preciznom satelitskom altimetrijom je produljeno (Cazenave i Nerem, 2004). Altimetar mjeri domet između satelita i morske površine preko dvije različite mikrovalne frekvencije (koje su udružene u jedinstveni korigirani ionosferni domet).

Važan rezultat T/P altimetrije kartiranje je geografske distribucije promjene morske razine (Sl. 2.). Dok su rezultati do kojih se došlo mjerenjima razine mora preko mareografa pokazivali uniformnu promjenu razine mora, sada po prvi put svjedočimo jednoznačajnom dokazu o regionalnoj varijabilnosti promjene razine mora, s nekim područjima izloženima trendu razine mora i do deset puta većim od globalnog prosjeka (Cazenave i Nerem, 2004). Na primjer, zapadni Pacifik i istočno Indijski ocean su područja gdje porast razine mora doseže najveću magnitudu, dok u nekim područjima pada (istočni Pacifik i zapadni Indijski ocean), iako prema globalnom prosjeku razina mora generalno raste.



Sl. 2. Geografska distribucija promjene morske razine prema T/P misiji u periodu od 1993. do 2003. godine. Globalni prosjek na ovoj slici iznosi 2,8 mm/god.

Izvor: Cazenave i Nerem, 2004.

Podaci satelitske altimetrije o promjeni morske razine sada su već dovoljno dugo prikupljani da se može postaviti pitanje da li je izmjerena stopa porasta razine mora dovoljno reprezentativna da bi se mogla povezati s klimatskim promjenama.

C. Geomorfološki indikatori

U geomorfološke indikatore za rekonstruiranje promjene razine mora ubrajaju se žala, plimne i valne potkapine, klifovi, potopljene morske spilje itd., međutim, na hrvatskoj su se obali ipak najviše proučavale upravo plimne potkapine (Sl. 3.a.), pogotovo na sjeveroistočnom Jadranu (Torunski, 1979; Pirazzoli, 1980; Fouache i dr., 2000; 2004; 2005; Faivre i Fouache, 2003; Benac i dr., 2004; 2008; Antonioli i dr., 2007; Faivre i dr., 2007; 2010a i b; 2013; Furlani i dr., 2011; Marriner i dr., 2014). Oblici slični plimnim potkapinama su valne potkapine i morske spilje oblikovane abrazijom u području djelovanja valova, no na hrvatskoj se obali nisu još proučavali u svrhe rekonstrukcije morske razine (Surić, 2009).

Duž obale Jadrana u svrhu istraživanja promjene morske razine korištene su i sige pronađene u potopljenim spiljama koje prema svom nastanku mogu biti isključivo terestričkog podrijetla, te njihov trenutni položaj ispod morske razine upućuje na nižu relativnu morsku razinu tijekom njihova formiranja. Takve su npr. spilje koje nastaju otapanjem karbonatnih stijena podzemnom vodom (Surić, 2006) (Sl. 3.b.).

Sl. 3. a) Potopljena plimna potkapina br. 19 slikana na lokaciji 3; b) Potopljena siga na dubini od 56 m na otoku Braču.

b) Izvor: Surić, 2009.

Zahvaljujući sigama kao akumulacijskim oblicima koji se mogu precizno apsolutno datirati, moguće je prilično točno odrediti određene promjene morske razine (Surić, 2009). Također, geomorfološki indikatori koje je moguće batimetrijski pratiti do dubine od ~100 m su paleokorita i kanjoni, te sedra koja se danas nalazi u podmorju i koju je također moguće apsolutno datirati (Surić, 2009).

D. Biostratigrafski indikatori

Jedni od najboljih bioloških indikatora morske razine su endolitski i epilitski organizmi koji obitavaju u intertajdalnoj zoni i čije se ljušture sačuvaju *in situ* (npr. *Lithophaga litophaga*) (Surić, 2009). Biostratigrafska istraživanja obuhvatila su brojne fosilne ostatke pleistocenske faune na mnogim jadranskim otocima, no nažalost, ovim se istraživanjima ne može precizno odrediti položaj morske razine u određenom razdoblju. Ipak, jedan od prihvatljivijih paleobioloških nalaza faune za određivanje razine mora na Jadranu bio je skeletni materijal nađen na morskome dnu (-80 m) između Raba i Paga koji pripada vrsti *Mammathus meridionalis adriacus* n. ssp iz mindelskog glacijala (Malez i Lenardić-Fabić, 1988).

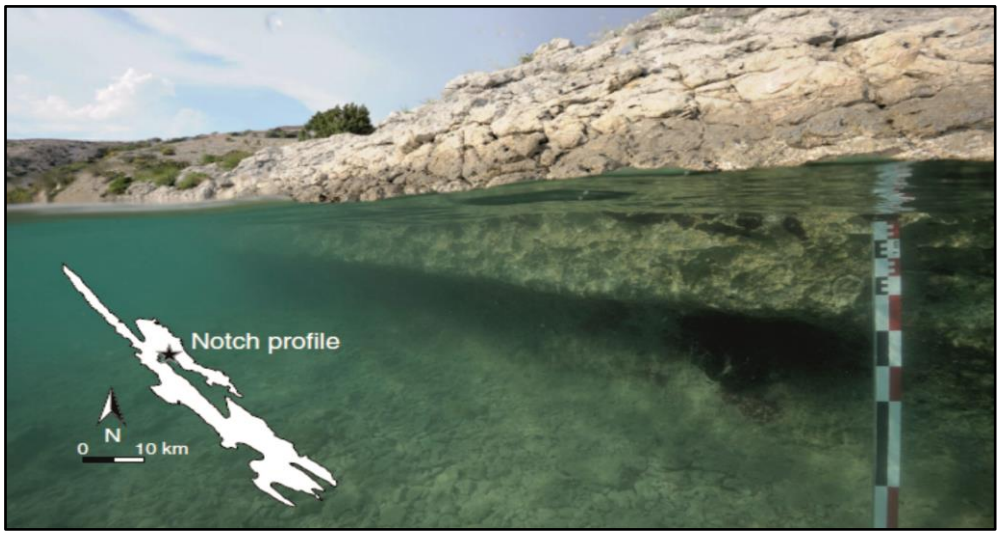
Nadalje, moguće je otkrivene biostratigrafske indikatore korelirati s arheološkim nalazima i geomorfološkim indikatorima kao što su to napravili Faivre i dr. (2010a) na otoku Visu. Naime, oni su dubinu potopljenih arheoloških ostataka antičke luke Issa usporedili s podacima dobivenim na temelju datiranja algnih vijenaca te dubinom plimnih potkapina. Naime, to je istraživanje pokazalo da su plimne potkapine kao i algne biokonstrukcije nastale znatno kasnije (prije ~500 godina) u odnosu na arheološke ostatke (~2,4 ka). Kasnije, biokonstrukcije građene od crvenih algi *Lithophyllum byssoides* pronađene su na iznimno eksponiranim stjenovitim obalama na otocima Visu, Ravniku i Biševu (Faivre i dr., 2013). Ove su biogene naslage potom izmjerene i uzorkovane za ^{14}C datiranje. Rezultati su pokazali veliku vjerojatnost da su ove velike naslage algi nastale za vrijeme približno stabilnih uvjeta morske razine za vrijeme dva relativno hladnija perioda u posljednjih 1500 godina.

E. Arheološki nalazi

S obzirom da je hrvatska obala karakterizirana velikom zastupljenošću arheoloških ostataka iz rimskoga doba i srednjega vijeka smještenih uz obalnu crtu ili pod morem, moguće je odrediti relativnu promjenu morske razine, barem u posljednjih 2100 godina. Prisutnost mnogobrojnih takvih potopljenih rimskih ostataka, poglavito u Istri, na otoku Pagu te na području između Zadra i Splita, daje dokaz o poslijerimskom preplavljivanju jadranske obale (Fouache i dr., 2005). Naime, u obzir bi se trebali uzeti samo objekti koji su izravno bili vezani uz obalnu crtu kao npr. solane, dokovi, gatovi, ribnjaci, lučke konstrukcije i sl. čega su se držali i Faivre i Fouache (2003), Fouache i dr. (2000; 2004) te Faivre i dr. (2010a i b). Oni su svoja istraživanja bazirali na koreliranju arheoloških nalaza s geomorfološkim oblikom - plimnom potkapinom došavši do zaključka da je more na području Istre i Kvarnera, prije ~2000 godina za vrijeme rimskoga perioda, bilo za 0,5-0,6 m ispod današnje srednje morske razine.

Primjer rimskog nalazišta Cissa (Kissa) na otoku Pagu

Potopljena luka u zaljevu Caska na otoku Pagu datira još iz 1. ili 2. st. AD. Potopljena plimna potkapina smještena uokolo zaljeva može upućivati na hipotezu o koseizmičkim promjenama razine mora od ~55 cm nakon rimskoga vremena (Fouache i dr., 2000) (Sl. 4., Tab. 1.).



Sl. 4. Plimna potkapina pomoću koje je rekonstruirana promjena razine mora u zaljevu Caska

Izvor: Marriner i dr., 2014.

F. Geodetska mjerenja

Na temelju vrlo preciznog GPS mjerenja, Altiner (1999) je prvi napravio geodetski model današnjih tektonskih kretanja na području Jadrana. Očekivalo se da će tzv. CRODYN GPS mreža uspostavljena 1994., u okviru tri kampanje (1994., 1996. i 1998.) na temelju 41 GPS postaje na području Jadrana i susjednih regija, razriješiti vertikalnu i horizontalnu komponentu regionalnih pomaka Zemljine kore (Altiner i dr., 2006). Gledajući izmjerenu relativnu vertikalnu komponentu korigiranu fiksnim koordinatama i brzinama postaje u Grazu, sve mjerne točke pokazuju porast visine (Faivre i Fouache, 2003), međutim uzimajući u obzir absolutni model definiran na temelju četiri fiksne stanice u Europi (Wettzel, Matera, Graz i Zimmerwald) dobiveni se rezultati znatno mijenjaju. Stoga ovog trenutka, dobivene rezultate nije moguće jednoznačno interpretirati već je potrebno pričekati dužu seriju mjerenja.

G. Radiometrijske analize

Radiometrijske analize odnose se na apsolutno datiranje pojedinih događaja ^{14}C, U-Th i sličnim metodama (Surić, 2009). Među radiometrijskim istraživanjima na Jadranu smatraju se datiranja potopljenih siga (17 uzoraka) uzetih s dubina od 1,5 do 41,5 m iz 7 speleoloških objekata (Jama U na otoku Krku, Medvjeđa spilja na Lošinju, Spilja u uvali Tihovac na Pagu, Vrulja Zečica kraj Starigrada, Jama kod Iškog Mrtovnjaka, Jama Zmajevo uho kraj Rogoznice i Jama u uvali Lučice na Braču) (Surić, 2006). Rezultati dobiveni ovim istraživanjima generalno se podudaraju s krivuljom globalne morske razine (Lambeck i Purcell, 2005), iako još treba provesti korelaciju s izostatskim modelima (Surić, 2009).

Kasnijim su se radiometrijskim analizama bavili Faivre i dr. (2010a; 2013; 2015). Međutim, oni su pronađene biogene litoralne naslage algi i prethodno sakupljene uzorke algi i školjkaša (1836.-1946.) datirali ^{14}C metodom kako bi utvrdili njihovu starost, okolišne uvjete te morsku razinu u vrijeme njihova nastanka.

1.4.3. Plimna potkapina kao indikator relativne promjene morske razine

Plimne potkapine su česti i vrlo dobri indikatori razine mora, posebice na vapnenačkim obalama (Pirazzoli, 1986). Profil plimne potkapine smatra se izvrsnim pokazateljem morske razine jer pruža informacije o poziciji srednje razine mora za vrijeme njihova formiranja, te determinira moguće vertikalno premještanje, bilo postupno ili koseizmičko (Pirazzoli, 1986; Evelpidou i Pirazzoli, 2014).

1.4.3.1. Geneza i razvoj plimnih potkapina

Razvoj marinskih potkapina može se pripisati različitim procesima kemijske, fizičke, biološke ili mehaničke prirode (Pirazzoli, 1986). Usprkos relativno velikom broju literaturnih referenci koja ih opisuje, njihov postanak još uvijek nije u potpunosti razriješen. Ipak, Pirazzoli (1986) među prvima predlaže „marinsku koroziju“ kao glavni proces formiranja potkapine, te je dijeli na dva glavna segmenta: koroziju i bioeroziju. Bioerozija koja pridonosi procesu formiranja potkapine čak 64% (Trudgill, 1976), u ovome slučaju podrazumijeva penetriranje endolitskih organizama u vapnenac litoralne zone. Nadalje, površinski konzumenti (*Patella coerulea, Acanthopleura, Paracentrotus lividus* itd.) stružu epi- i endolitske alge, simultano abradirajući površinu stijene svojim tvrdim zubima i radulama, tako direktno erodirajući kamen (Pirazzoli, 1986).

Plimne potkapine istočnoga Jadrana također primarno nastaju bioerozijom, i to u zoni plime i oseke (intertidal, eulitoral, midlitoral ili mediolitoral) na relativno skrivenim vapnenačkim obalama s malim rasponom plime i oseke (Pirazzoli, 1986). Arheološki dokazi koje su osigurali Fouache i dr. (2000), u korelaciji s verteksom potkapine tj. s tadašnjom razinom mora, indiciraju da su potkapine sjeveroistočnog Jadrana formirane prije otprilike 2000 godina što se slaže s dosadašnjim idejama koje je iznio Pirazzoli (1980). Iz tog razloga prihvaćena je hipoteza da su ove potkapine formirane za vrijeme perioda relativne stabilnosti morske razine u vrijeme rimskoga razdoblja i naposlijetku bile potopljene u kasnijem periodu, prije manje od 2000 godina. Pretpostavljajući da prosječna brzina nastanka potkapine u vapnencima iznosi ~1 mm/god (Torunski, 1979), ova je stabilnost trajala barem nekoliko stotina godina za vrijeme perioda najmanje fluktuacije razine mora (rimski i poslije rimski period) (Fouache i dr., 2000; 2003; 2005).

1.4.3.2. Klasifikacija marinskih potkapina

I. Na temelju mjesta nastanka

Marinske su potkapine podijeljene unutar dvije glavne grupe s obzirom na mjesto njihova nastanka (Pirazzoli, 1986):

a) Valne potkapine (engl. wave-cut notch)

Ove potkapine nastaju samo na izloženim mjestima te su uglavnom formirane iznad razine plime abrazijom valova (Pirazzoli, 1986). Valne potkapine skupa s plimnim potkapinama predstavljaju geomorfološke markere koji vrlo precizno markiraju lokalnu razinu mora u vrijeme njihova stvaranja (Sl. 5.a.).

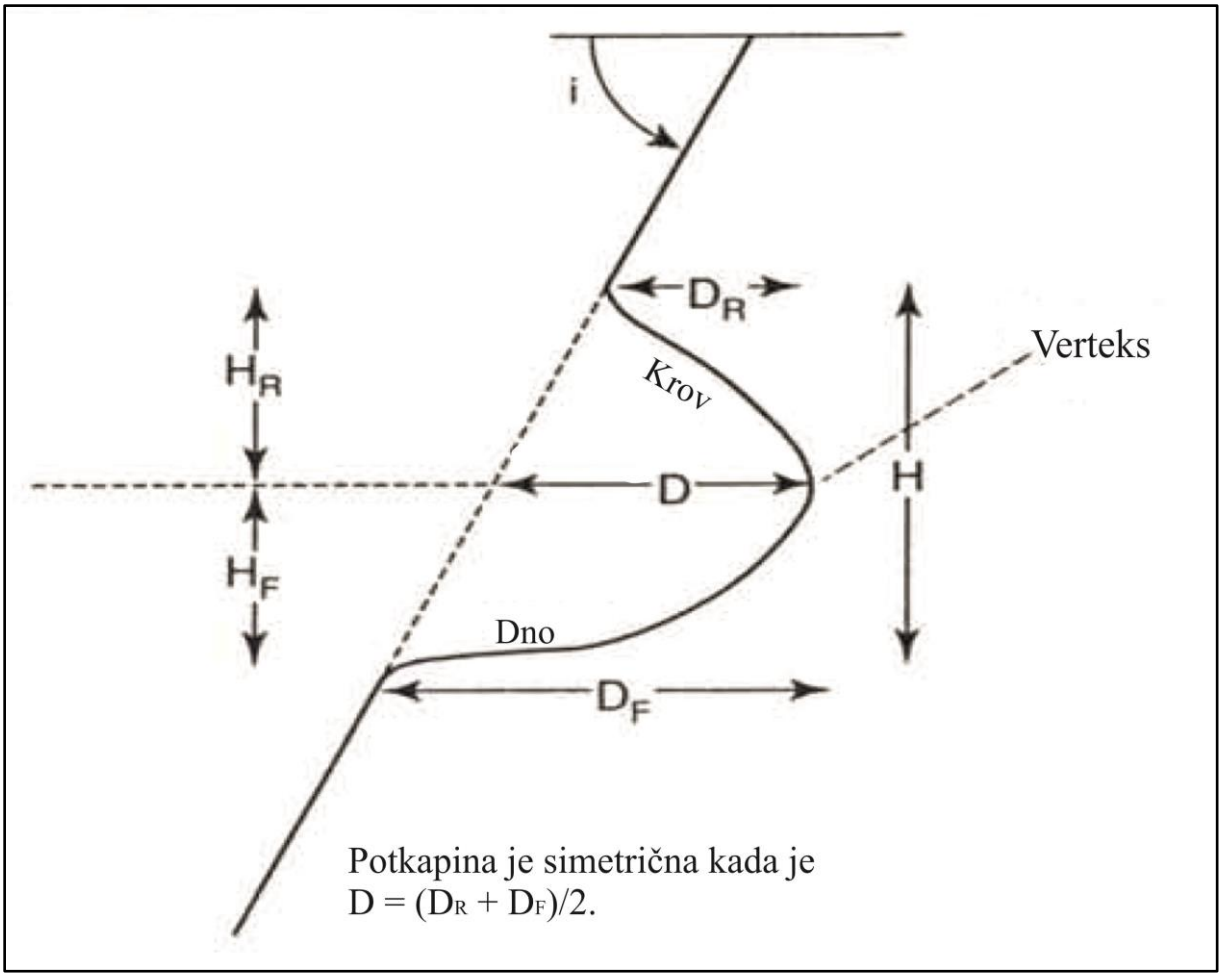
b) Plimne potkapine (engl. tidal notch)

Ove se vrste potkapina formiraju na relativno zaklonjenim mjestima te nastaju ili su nastale u mediolitoralu (eulitoralu), području izmjene plime i oseke koje se proteže od gornje granice visoke plime do donje granice normalne oseke (intertajdalna zona). Nakon toga tektonskim procesima mogu biti izdignue iznad morske razine ili se naći potopljene ispod morske razine. Ovaj tip potkapine je najčešći i najkorisniji indikator razine mora (Pirazzoli, 1986) (Sl. 5.b.).

Sl. 5. a) Valna potkapina; b) Plimna potkapina br. 17 slikana na lokaciji 3 (vidi poglavlje *4. Rezultati*).

b) Izvor: https://en.wikipedia.org/wiki/Wave-cut_platform

Kod mjerenja plimnih potkapina na vertikalnom, djelomično zaštićenom strmcu, donji dio nazvan *dnom* ili *floor* (Sl. 6.) najčešće se prostire do najniže razine oseke. Dubina D potkapine postupno raste iznad dna, do segmenta maksimalne konveksije tzv. *verteksa* koji predstavlja srednju razinu mora. Iz točke verteka dubina D se postupno smanjuje i doseže *krov* ili *roof* koji se nalazi blizu gornje granice visoke plime (Pirazzoli, 1986). *Visina* potkapine H ovisi o amplitudi plime i oseke, ali i o ekspoziciji samog strmca. Kada se nalazimo pred fosilnom potkapinom ispod ili iznad današnje morske razine, verteks predstavlja glavni geometrijski reper koji pokazuje nekadašnju srednju razinu mora (Fouache i dr., 2005).

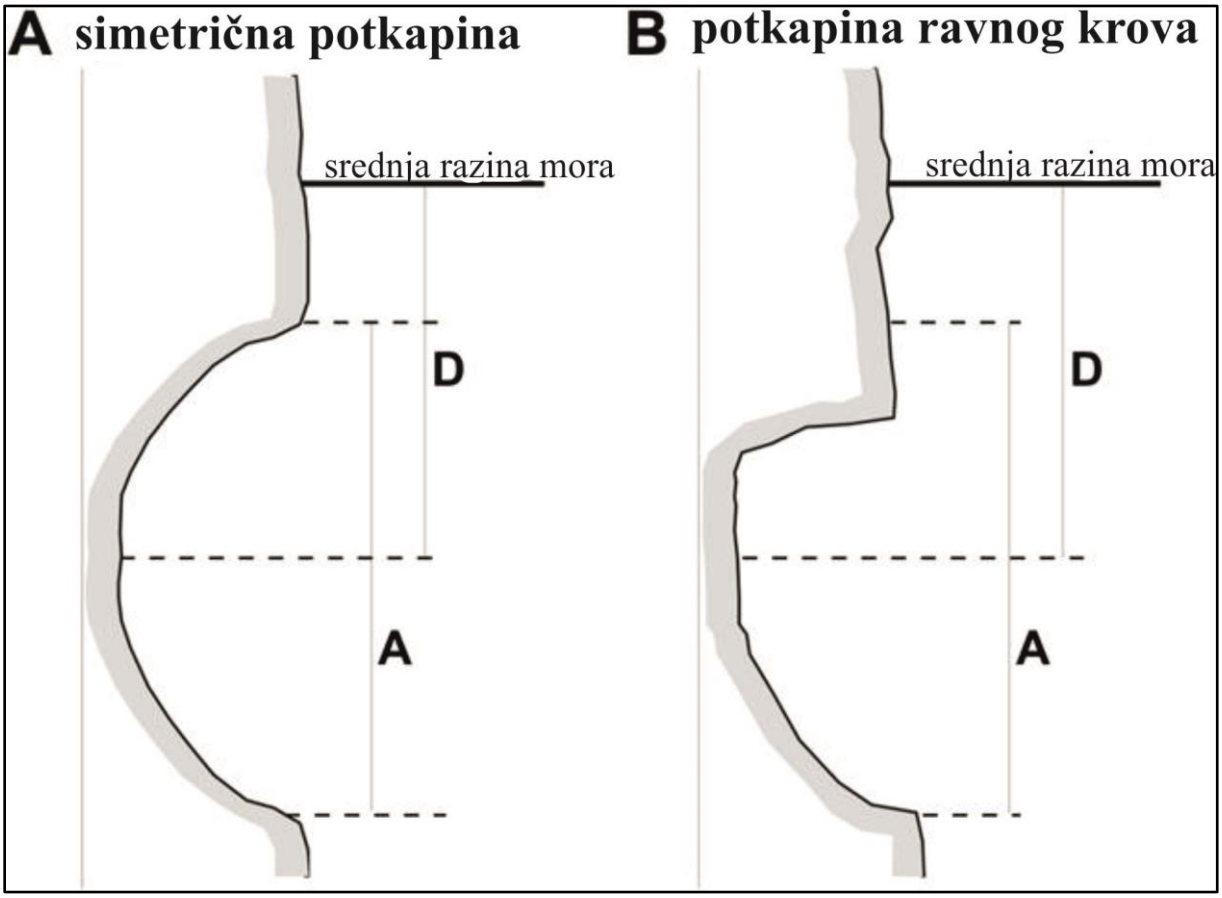


Sl. 6. Geometrijske karakteristike profila plimne potkapine

Izvor: Pirazzoli, 1986.

II. Na temelju profila

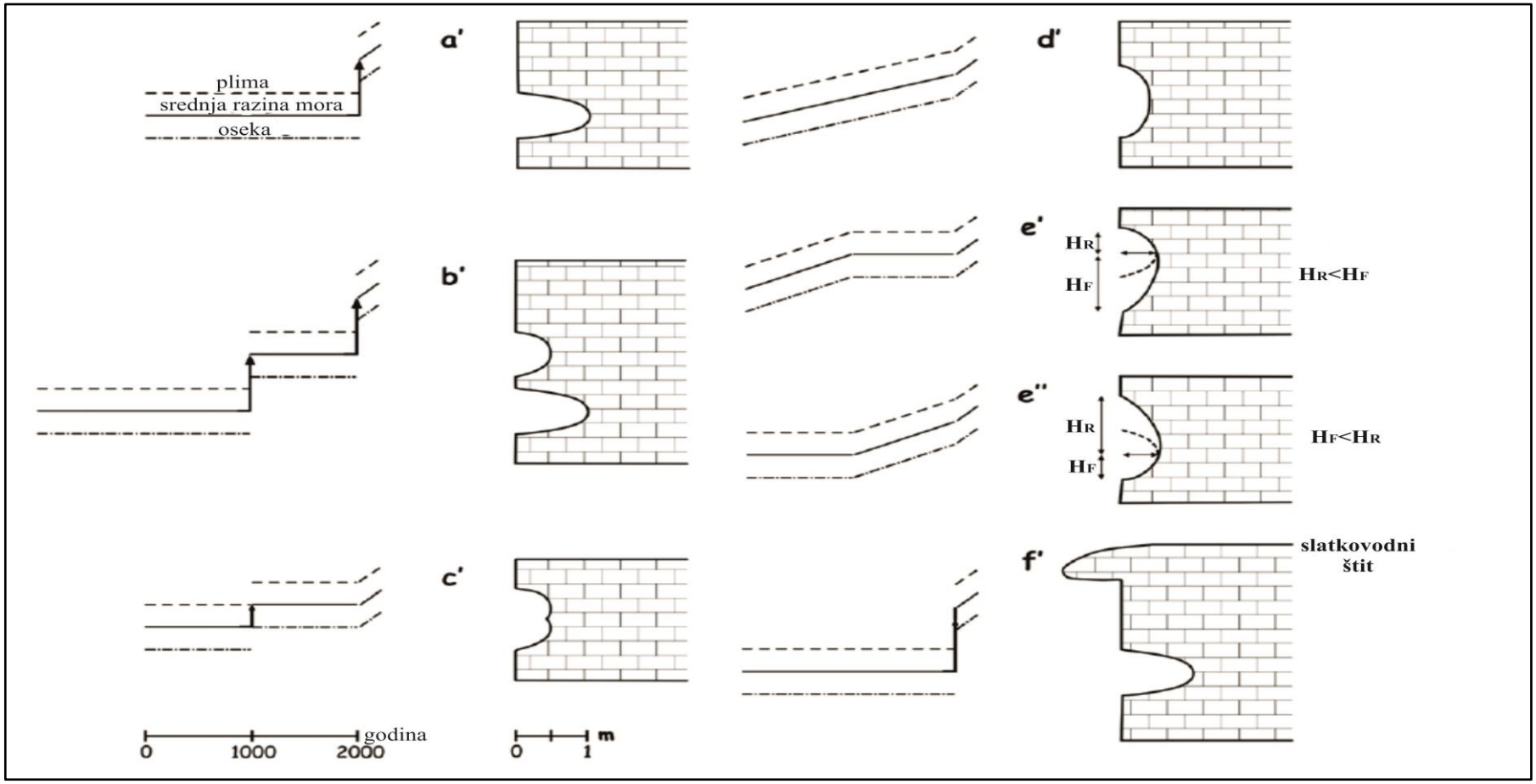
Na istočnome su Jadranu do danas uočena dva tipa profila plimne potkapine: (1) simetrični profil karakterističnog U oblika (Sl. 7.a.), i (2) profil ravnoga krova (prisutan kod potkapina V oblika s asimetričnim profilom i dobro razvijenim i očuvanim krovom) (Sl. 7.b.) (prema Pirazzoliju, 1986). Prema podacima Furlanija i dr. (2011), na kvarnerskom području (Krk, Pag, Cres) izmjerene su potkapine dubine između -40 i -60 cm koje pripadaju potkapinama ravnoga krova. Nadalje, dubina potkapina istraživanih duž obale pored grada Rovinja iznosi ~ -70 cm te ove potkapine svojim profilom također pripadaju potkapinama ravnoga krova, tako da su prijašnja mjerenja obližnjih lokacija (Fouache i dr., 2000; Antonioli i dr., 2007) potvrđena.



Sl. 7. Crtež koji prikazuje oblik potkapina istočnog Jadrana: (A) simetrična potkapina; (B) potkapina ravnog krova. A je amplituda potkapine, dok je D dubina verteksa potkapine

Izvor: Furlani i dr., 2011.

I. Na temelju postanka



Sl. 8. Teoretski grafički prikazi profila plimne potkapine, na vertikalnim vapnenačkim klifovima kao posljedica različitih kombinacija relativne promjene razine mora. Za objašnjenje vidi Tablicu 2.

Izvor: Evelpidou i dr., 2012.

Tab. 2. Različiti tipovi profila plimnih potkapina. Za schematski prikaz vidi Sl. 8.

Tip potkapine	Karakteristike	Opis
a'	Profil potkapine U oblika s visinom krova (Hr) veoma sličnom visini poda (Hf)	Ova se potkapina očuvala pod vodom nakon naglog spuštanja terena, većeg od raspona plime i oseke.
b'	Dvije potopljene fosilne potkapine	Ove dvije fosilne potkapine očuvane su podvodno nakon dva brza pokreta spuštanja, veća od raspona plime i oseke.
c'	Fosilna potkapina viša od raspona plime i oseke s dva verteksa. Potkapina razdvojena pregradom.	Potkapina se potopila zbog naglog spuštanja terena, manjeg od raspona plime i oseke, prije i poslije kojeg se odvijala relativna stabilnost morske razine.
d'	Fosilna potkapina viša od raspona plime i oseke, ali ograničene dubine	Ova je potkapina nastala postupnim porastom razine mora čija je stopa manja od stope bioerozije.
e'	Fosilna potkapina s većom visinom od raspona plime i oseke gdje je Hr<Hf	Ovaj tip potkapine nastao je uslijed postupnog porasta razine mora nakon kojeg je uslijedila stabilnost relativne razine mora.
e''	Fosilna potkapina s većom visinom od raspona plime i oseke gdje je Hr>Hf	Ovaj je tip nastao zbog stabilnosti razine mora nakon koje je more počelo postupno rasti.
f'	Potopljena potkapina s tzv. štitom odmah iznad morske razine.	Štit je nastao otapanjem vapnenca u područjima istjecanja slatke vode.

Izvor: Evelpidou i dr., 2012

1.4.3.3.Određivanje starosti plimnih potkapina

Potopljene plimne potkapine nemoguće je direktno datirati zbog odsustva živih organizama kao što su epi- i endolitske alge koje sudjeluju u procesu geneze potkapina. Nakon potapanja uništavaju se pouzdani fosili pa se stoga njihova starost danas uglavnom određuje uspoređivanjem s arheološkim, stratigrafskim ili geomorfološkim indikatorima morske razine (Evelpidou i Pirazzoli, 2014).

a) arheološki ostaci – potopljeni arheološki nalazi korelirani s dubinom potopljene potkapine osiguravaju korisnu informaciju o morskoj razini za vrijeme njihova formiranja kao i dokaze o koseizmičkim pomacima (Pirazzoli, 1980).

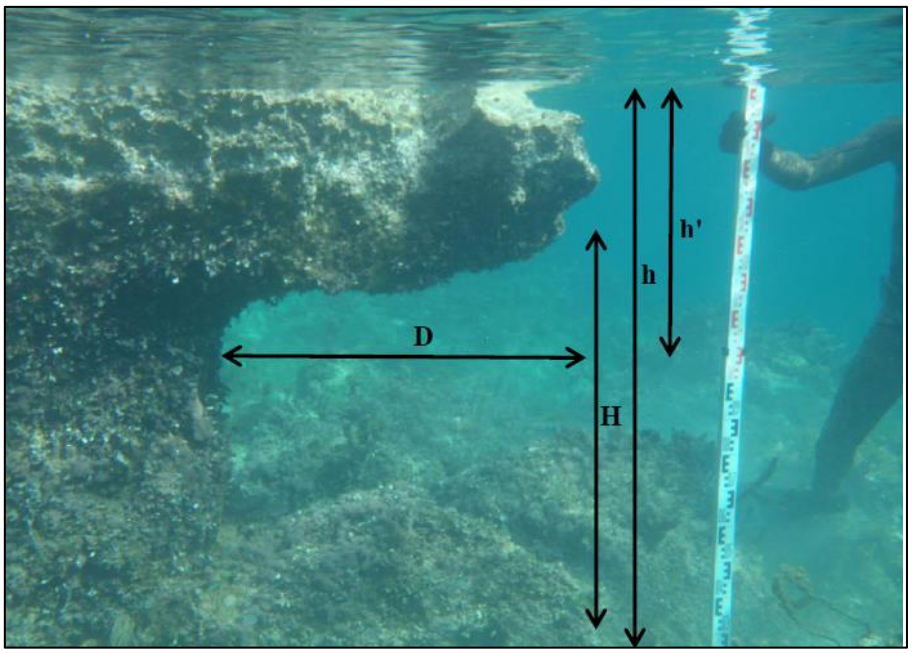
b) stratigrafski nalazi – starost plimne potkapine moguće je povezati sa starošću okolnih stratigrafskih sekvenci (npr. stratigrafski stupci iz slanih močvara na otoku Pagu) (Marriner i dr., 2014).

c) geomorfološki nalazi – gdje god se cementirana žala („beachrock“) i potkapina nađu na istoj razini, vrlo je vjerojatno da su iste starosti. U tome je slučaju moguće datirati razinu mora pomoću organskog materijala sadržanog u samom beachrock-u (Pirazzoli, 1986).

2. Metodologija istraživanja

Za vrijeme detaljnog istraživanja zapadne obale poluotoka Luna (sjeverozapadno od grada Novalje), za mjerenje su izabrane samo kompaktne karbonatne stijene kako bi se izbjegle deformirane plimne potkapine zbog razlomljene stijenske mase. Sustavno istraživanje duž karbonatnih strmaca koji su se činili pogodni za visoku stopu bioerozije u mediolitoralnoj zoni obavljalo se brodom. Dubina potkapina mjerena je prema geometrijskim kriterijima koje je zadao Pirazzoli (1986) (vidi poglavlje *1.4.3.2. Klasifikacija marinskih potkapina*). Pomoću metalne skale postavljene okomito uz potkapinu izmjereni su sljedeći parametri (Sl. 9.):

- dubina *h'* (duljina između trenutne razine mora i verteksa);
- dubina *h* (duljina između razine mora i dna);
- otvor *H* (raspon nekadašnje plime i oseke);
- udubljenje *D* (horizontalna komponenta koja upućuje na trajanje stabilnosti kopna i mora kao i na intenzitet bioerozije).



Sl. 9. Profil plimne potkapine br. 18 (lokacija 3); prikaz mjerenih geometrijskih parametara

Sva su mjerenja provedena za vrijeme perioda niske energije valova i potom korigirana na srednju morsku razinu na temelju podataka zabilježenih na najbližem mareografu (Zadar), uzimajući u obzir stvarne meteorološke uvjete (atmosferski tlak i vjetar).

3. Fizičko - geografska obilježja istraživanog područja

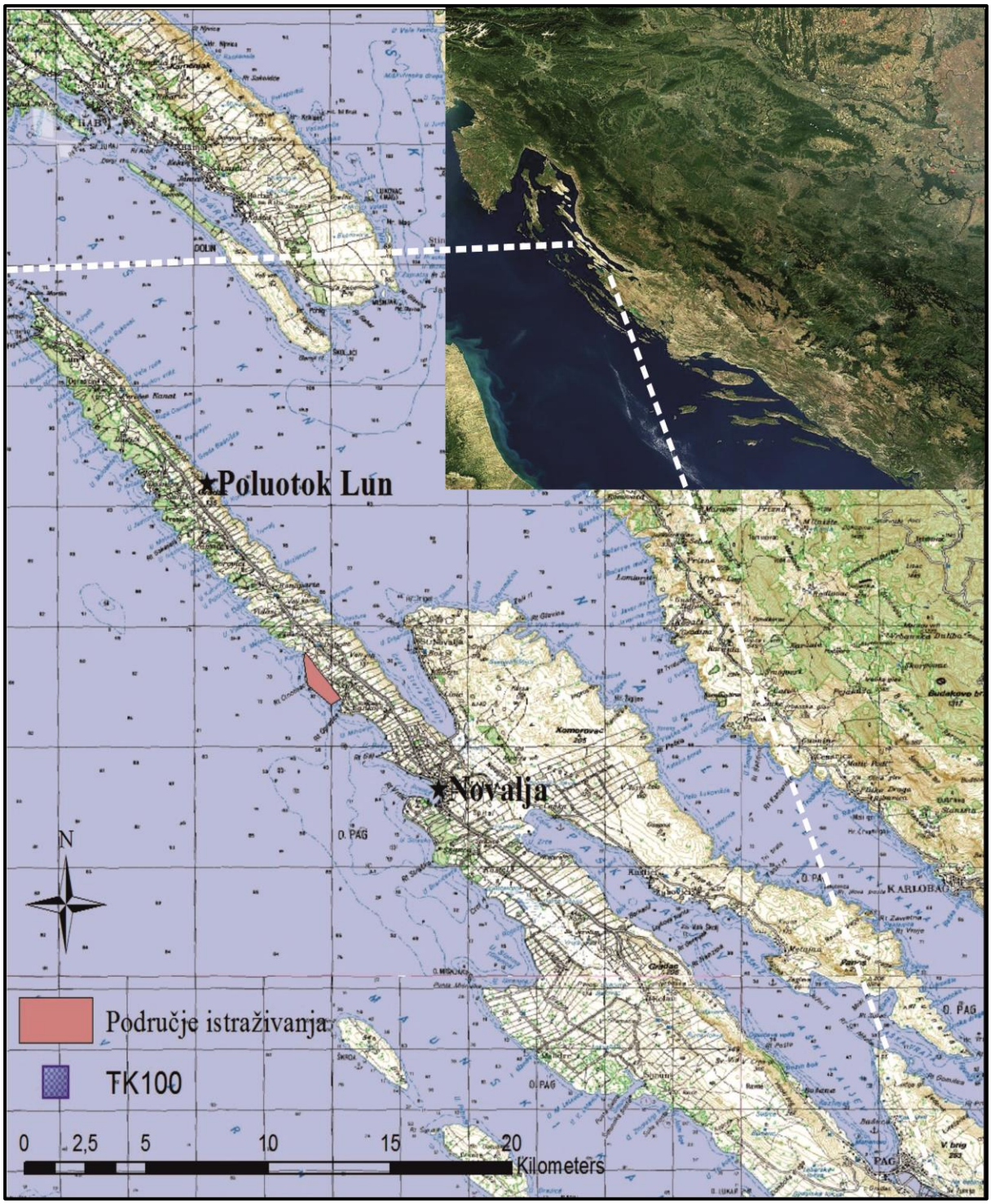
3.1. Geografska obilježja

Grad Novalja i poluotok Lun nalaze se na sjeverozapadnom dijelu otoka Paga - 59 km dugačakom otoku koji se pruža paralelno uz kopno i leži udaljen 2 km od najbližeg kopna (Sl. 10.). Širina otoka varira, ali nikad ne premašuje 10 km (Marriner i dr., 2014). Među hrvatskim otocima, otok Pag je peti otok po veličini, odmah nakon Krka, Cresa, Brača i Hvara, a prije Korčule, Dugog Otoka, Mljeta, Visa i Raba. Površina otoka Paga iznosi 284,56 km^2 i skupa s obližnjim otocima čini grupu paških otoka (Maun, Škrda, Veli i Mali Sikavac, Veli i Mali Brušnjak, Sestakovci, Maletinac, Veli i Mali Maškalić, Triget, Mišnjak, Žigljen, Zakućenica, Lukar itd.).[1]

Otočni nizovi Cres – Lošinj i Krk – Rab – Pag dijele Kvarner na Riječki zaljev, Kvarnerski zaljev, Kvarnerić i Velebitsko-Vinodolski kanal (Benac i dr., 2008). Prema nekim autorima, otok Pag pripada skupini kvarnerskih otoka, međutim, od referenduma 1997. godine, jugoistočne admistrativne jedinice grad Pag i naselje Povljana pripisuju se Zadarskoj županiji, dok grad Novalja i sjevernija naselja Ličko-Senjskoj županiji (Magaš, 2000). Stoga možemo reći da otok Pag predstavlja dio SZ Dalmacije (područje Zadra), ali je također i dio kvarnerske grupe otoka. Otok Pag je komponentna jedinica Ravnih Kotara od kojih je odvojen trenutnim geološkim procesima te je blizina s kopnom u povijesti uzrokovala mnoge sjevernodalmatinske utjecaje na razvoj gospodarstva i stanovništva otoka (Magaš, 2000). Prema Bognarovoj (2001) geomorfološkoj regionalizaciji Hrvatske otok Pag pripada makrogeomorfološkoj regiji *dinarskog gorskog sustava*, mezogeomorfološkoj regiji *SZ Dalmacije s arhipelagom*, subgeomorfološkoj regiji *Rabsko – Paškog arhipelaga* i mikrogeomorfološkoj regiji *otoka Paga s arhipelagom*.

Dosta strme, pretežito zaštićene vapnenačke obale s malim rasponom plime i oseke zadovoljavaju uvjete za očuvanje velikog broja obalnih, potopljenih plimnih potkapina duž čitavog otoka. Kvarnersko se područje smatra tektonski aktivnim zbog podvlačenja karbonatne platforme Adriatik pod dinaridsku (Benac i dr., 2004). Uslijed te subdukcije došlo je do naglog koseizmičkog pomaka zbog čega je moguće današnje potkapine naći ispod razine mora.

[1] Republika Hrvatska, Statistički podaci, 24, Zagreb, 1992, p.36



Sl. 10. Geografski položaj područja istraživanja (TK 1:100 000)

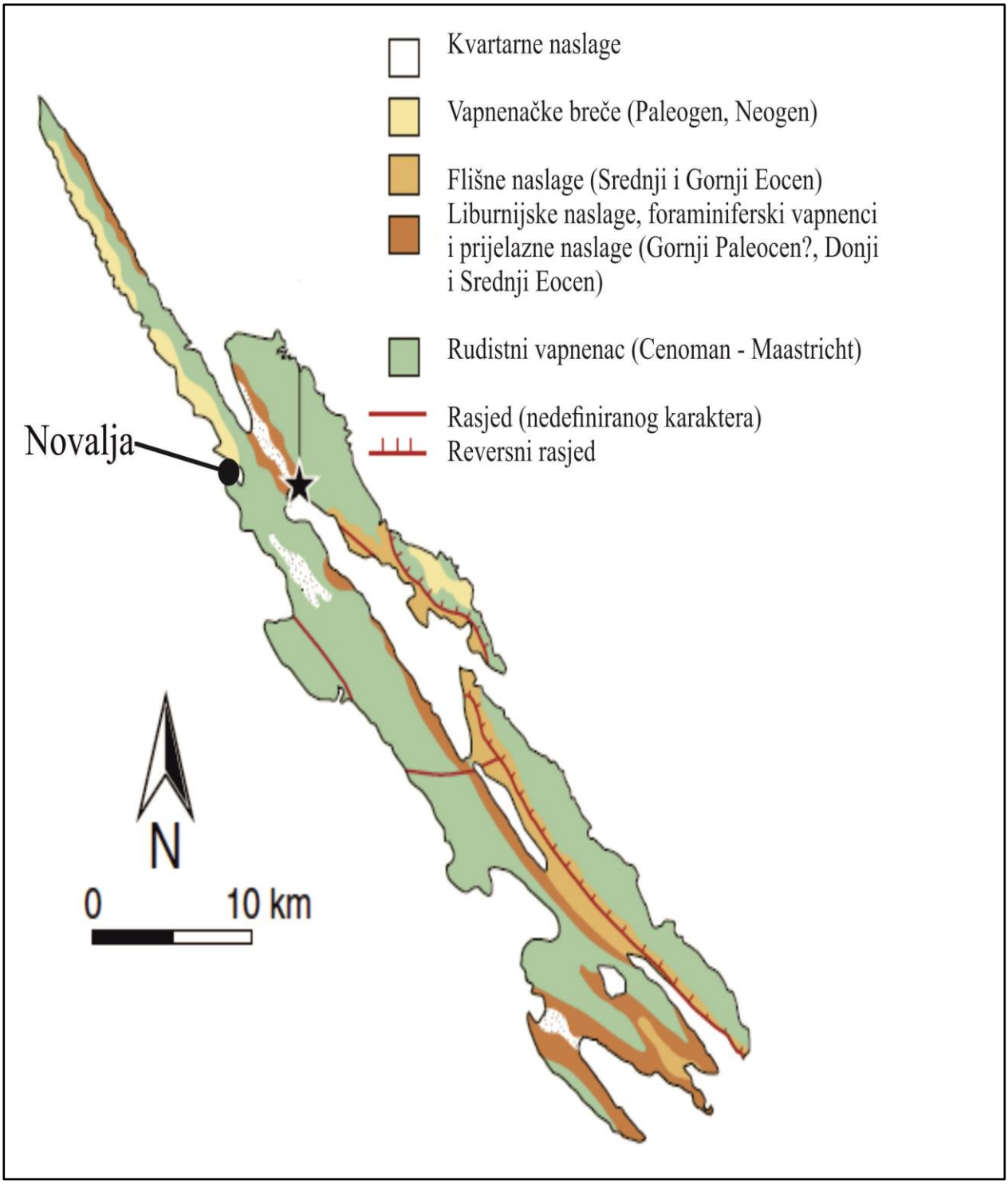
Izvor: http://geoportal.dgu.hr/ (dorađeno u ArcMap10.3.1.)

3.2. Geomorfološka i geološka obilježja

Otok Pag dio je Vanjskih Dinarida i pripada strukturnoj jedinici Adriatik (Herak, 1991). Područje istraživanja može biti opisano kao tipičan dalmatinski tip obale karakteriziran dobrom razvedenošću te se pruža paralelno uz kopnenu obalu u smjeru SZ-JI.

Strukturno gledajući, otok Pag uključuje gornjokredne i eocenske vapnence (Sl. 11.). Najstarije slojeve na otoku čine cenomanski i turonski vapnenci i dolomiti prisutni u antiklinali, oni su potom prekriveni slojevima svijetlosivog do smeđeg, dobro stratificiranog senonskog vapnenca (Sokač i dr., 1976). Potom su transgresivno uslijedili vapnenci donjeg i srednjeg eocena prisutni u sinklinali. Srednje i gornje eocenski slojevi karakterizirani su izmjenama lapora, pješčenjaka i vapnenaca čineći tzv. flišnim naslagama. Tranzicija prema flišnim naslagama je nagla i prepoznatljiva, s povremenom pojavom laporovitog vapnenca. U nekim se područjima na kredne slojeve transgresivno nastavljaju sivo, sivo-smeđe ili crvenkaste naslage vapnenačkih breča ili konglomerata (Sokač i dr., 1976). Za vrijeme Miocena i Pliocena taložе se glineni i pješčani laporoviti sedimenti. Nadalje, na većem dijelu danjašnjeg Paškog zaljeva, na području Crnike i Kolanskog polja za vrijeme donjeg Miocena postojalo je slatkovodno jezero. Za vrijeme pleistocena došlo je do taloženja aluvijalnih naslaga, koje je moguće pronaći u sinklinalnim udubljenjima, a koje su mjestimično bile izložene kasnoj kvartarnoj tektonici (Sokač i dr., 1976) te se zajedno s holocenskim organogenim aluvijem i slanim močvarama, smatraju najmlađim sedimentima na otoku Pagu.

Struktura otoka Paga karakterizirana je blago do srednje strmim naslagama dinaridskog pružanja (NW-SE). Generalno, reljef se slaže s geološkom strukturom. Antiklinalni dijelovi naslaga odgovaraju povišenim grebenima i uzvišenjima, dok sinklinalni dijelovi odgovaraju ravnim, niskim depresijama. Antiklinale su građene od gornjokrednih rudistnih vapnenaca i dolomita i paleogenskih foraminiferskih vapnenaca, dok su sinklinale ispunjene paleogenskim klastitima (eocenski lapor, pješčenjaci i foraminiferski vapnenci). Oni su samo djelomično prekriveni kvartarnim naslagama (glina, pijesak i breča) (Sokač i dr., 1974). Na otoku Pagu moguće je pronaći veliki broj raznih krških geomorfoloških oblika: špilje, potkapine, jame, ponori itd. Jedna od špilja nađena je u području Stare Novalje, a jedna od tipičnih krških jama tzv. jama Ivča blizu mjesta Caska (Magaš, 2000).



Sl. 11. Geološka karta otoka Paga

Izvor: prema Velić i Vlahović, 2009.

3.3. Klimatska obilježja

Što se tiče klime, otok Pag pripada tranzicijskoj eumediteransko-submediteranskoj zoni mediteranske klime što se reflektira na vegetacijski pokrov, značajke tla, krške oblike itd. (Magaš, 2000). Prema Köppenovoj klimatskoj regionalizaciji Hrvatske otok Pag ima »umjereno toplu vlažnu klimu s vrućim ljetom« (klima *Cfa*) (Filipčić i Šegota, 2003). Klima otoka uglavnom se ne razlikuje od susjedne obalne zone Ravnih Kotara kao ni od klime otoka Raba. Na otoku postoji nekoliko glavnih meteoroloških postaja; Pag, Lun (Gager), Novalja, Vlašići i Barbat.

Srednja godišnja temperatura otoka Paga iznosi 15,3 °C (1951-1985), srednja amplituda iznosi 17,7 °C između 7,0 °C u siječnju i 24,7 °C u srpnju. Izmjereni maksimum temperature iznosi 37,0 °C (1957), dok minimum iznosi -12,5 °C (1963). Izmjerena srednja temperatura u Lunu iznosi 15,2 °C, a maksimum 37,0 °C (1957). Najtoplijim mjesecima smatraju se srpanj i kolovoz, a najhladnijim siječanj i veljača. Srednje vrijednosti temperature zraka vidljive su u Tablici 3.:

Tab. 3. Godišnji hod temperature zraka (°C)

	month													
Station (period)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Ann	∅ ampl
Pag (1951-85)	7,8	7,5	9,9	13,6	18,2	22,1	24,7	24,1	20,8	15,8	11,7	8,7	15,3	17,7
Lun (1952-63)	7,6	7,5	9,5	13,5	17,4	21,2	24,0	24,1	20,8	16,2	11,9	9,1	15,2	16,6
Zadar (1850-87)	6,7	7,2	9,4	13,5	18,1	21,9	24,5	24,1	23,3	16,1	11,5	8,0	15,2	17,8

Izvor: Klimatski podaci SR Hrvatska, RGZ, Zagreb, 1971.

Srednja godišnja količina padalina na otoku Pagu iznosi između 1050 mm i 1106 mm. Kroz nekoliko godina mjerenja, izmjerene su relativno stalne vrijednosti količine padaline u Pagu, Kolanu, Vlašićima i Lunu (Gager), dok su manja odstupanja prisutna u Novalji.

Na otoku Pagu prisutna je učestalost jakih vjetrova, osobito na njegovom sjeveroistočnome dijelu koji je izložen buri - suhom i relativno hladnom vjetru koji puše iz smjera Velebita. Bura može puhati velikom snagom osobito zimi, dok je ljeti generalno rijetka i slaba. Osim bure, prisutan je i južni vjetar jugo (Magaš, 2000). Iako sjeveroistočni vjetar bura doseže najveću brzinu duž toga područja jadranske obale, ono ne uzrokuje najveće valove. Olujni jugoistočni vjetar jugo („scirocco“) s brzinom od 20 m/s može uzrokovati najveće valove te oni u okolici grada Novalje dosežu visinu i do 3 m. Maksimalna visina vala na Sjevernom Jadranu izmjerena je na 10,8 m (Leder i dr., 1998).

Morske mijene Jadranskoga mora poludnevnog su tipa (u jednom Mjesečevom danu pojavljuju se dvije visoke i dvije niske vode) (Benac i dr., 2008). Iako podaci o lokalnim izmjenama plime i oseke govore o srednjoj amplitudi od 25 cm (Vilibić i dr., 2005, mareograf u Zadru), fluktuacije morske razine također su uzrokovane i atmosferskim uvjetima. Naime, za vrijeme sjeveroistočnoga vjetra (bura) i visokog atmosferskog tlaka, morska razina može biti značajno niža, dok za vrijeme jugoistočnoga vjetra (jugo) i niskog atmosferskog tlaka, morska razina može porasti na više od 1,1 m iznad srednje razine mora (Juračić i Benac, 2005).

4. Rezultati

Izmjerena je i fotografirana sveukupno 21 potkapina na tri različite lokacije duž zapadne obale poluotoka Luna na otoku Pagu, 8. i 9. listopada 2015. godine. Na prvoj lokaciji izmjerene su tri potkapine, na drugoj lokaciji devet, kao i na trećoj lokaciji (Sl. 12.). Srednja vrijednost dubina (*h'*) svih potkapina zajedno iznosi -51 cm (nakon korekcije na srednju morsku razinu) (Tab. 5.). Dubina *h'* najpliće potkapine iznosi -32 cm, dok one najdublje -66 cm. Osim dubine *h'* izmjerena je i dubina mora (*h*) koja u prosjeku iznosi -170 cm, dužina maksimalnog udubljenja (*D*) čija je srednja vrijednost 57 cm, te otvor potkapine (*H*) od krova do dna sa srednjom vrijednošću 87 cm (Tab. 4.). Potkapine prve lokacije pokazuju najmanju dubinu (-43 cm), dok potkapine treće lokacije najveću (-53 cm). Srednje vrijednosti potkapina prve lokacije moraju se uzeti s oprezom zbog relativno malog broja izmjerenih potkapina (svega tri) i plićeg mora.

Gledajući profil, ove potkapine pripadaju potkapinama ravnoga krova, tj. e' tipu profila kao i većina drugih plimnih potkapina mjerenih na Jadranu do sada (vidi poglavlje *1.4.3.2. Klasifikacija marinskih potkapina, str. 15-19*).

Sl. 12. Lokacije plimnih potkapina istraživanih u svrhe ovoga rada; srednja vrijednost dubine potkapina na svakoj lokaciji temeljeno na broju potkapina prikazanih u zagradi

Tab. 4. Lokacija, vrijeme, vremenske prilike i izmjerene vrijednosti potopljene plimne potkapine na poluotoku Lunu. (A) izmjerena dubina mora; (B) izmjerena dubina potkapine (verteks); (C) dužina maksimalnog udubljenja; (D) otvor potkapine. Dane vrijednosti nisu korigirane.

	Br. potkapine	Datum	Sat (h:min)	Vremenske prilike	(A) h (cm)	(B) h' (cm)	(C) D (cm)	(D) H (cm)
	1	08.10.2015.	12:41	20 °C; oblačno; padaline 5 %	-145	60	25	80
LOKACIJA 1	2	08.10.2015.	12:55	20 °C; oblačno; padaline 5 %	-128	50	15	x
	3	08.10.2015.	13:20	20 °C; oblačno; padaline 5 %	-125	50	35	90
	4	09.10.2015.	12:58	21 °C; poluoblačno; padaline 0 %	-165	45	40	70
	5	09.10.2015.	13:01	21 °C; poluoblačno; padaline 0 %	-135	45	40	80
	6	09.10.2015.	13:08	21 °C; poluoblačno; padaline 0 %	-150	60	40	70
	7	09.10.2015.	13:10	22 °C; poluoblačno; padaline 0 %	-150	75	80	90
LOKACIJA 2	8	09.10.2015.	13:14	21 °C; poluoblačno; padaline 0 %	-175	70	x	x
	9	09.10.2015.	13:18	21 °C; poluoblačno; padaline 0 %	-220	70	65	x
	10	09.10.2015.	13:23	21 °C; poluoblačno; padaline 0 %	-135	65	55	75
	11	09.10.2015.	13:27	21 °C; poluoblačno; padaline 0 %	-170	50	x	x
	12	09.10.2015.	13:30	22 °C; mjestimice sunčano; padaline 0 %	-145	55	25	50
	13	09.10.2015.	14:41	22 °C; mjestimice sunčano; padaline 0 %	-171	61	80	x
	14	09.10.2015.	15:00	22 °C; mjestimice sunčano; padaline 0 %	-180	65	80	x
	15	09.10.2015.	15:23	22 °C; mjestimice sunčano; padaline 0 %	-210	60	70	150
	16	09.10.2015.	15:34	22 °C; mjestimice sunčano; padaline 0 %	-185	65	80	x
LOKACIJA 3	17	09.10.2015.	15:38	22 °C; mjestimice sunčano; padaline 0 %	-180	65	110	100
	18	09.10.2015.	15:40	22 °C; mjestimice sunčano; padaline 0 %	-190	60	70	100
	19	09.10.2015.	15:49	22 °C; mjestimice sunčano; padaline 0 %	-154	45	55	90
	20	09.10.2015.	15:59	22 °C; mjestimice sunčano; padaline 0 %	-157	60	70	x
	21	09.10.2015.	16:16	22 °C; mjestimice sunčano; padaline 0 %	-300	80	50	x
				$\bar{x}$	-170	60	57	87

Tab. 5. Korigirane vrijednosti dubine potkapine (verteksa) iz Tab. 4. podacima s mareografa u Zadru na vrijednosti srednje razine mora

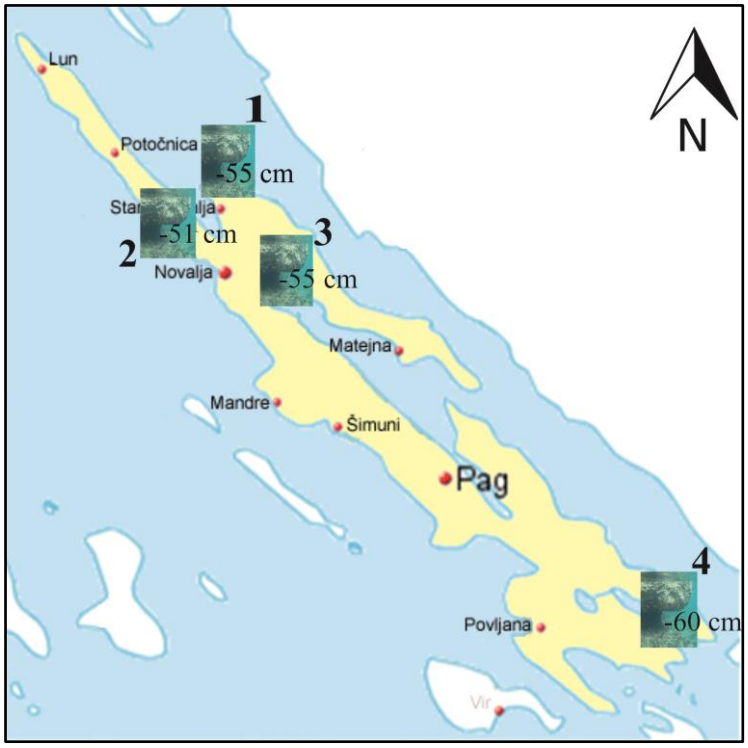
	Br. Potkapine	Datum	Sat (h:min)	Dubina h' (cm)	Korekcija MSL (cm)	Korigirana dubina h' (cm)	x̄
	1	08.10.2015.	12:41	60	-12,2	**47,8**	
LOKACIJA 1	2	08.10.2015.	12:55	50	-11,9	**38,1**	
	3	08.10.2015.	13:20	50	-11,4	**38,6**	**42**
	4	09.10.2015.	12:58	45	-6,9	**38,1**	
	5	09.10.2015.	13:01	45	-6,8	**38,2**	
	6	09.10.2015.	13:08	60	-6,9	**53,1**	
	7	09.10.2015.	13:10	75	-7,4	**67,6**	
LOKACIJA 2	8	09.10.2015.	13:14	70	-6,4	**63,6**	
	9	09.10.2015.	13:18	70	-6,7	**63,3**	
	10	09.10.2015.	13:23	65	-7	**58**	
	11	09.10.2015.	13:27	50	-7	**43**	
	12	09.10.2015.	13:30	55	-7,2	**47,8**	**53**
	13	09.10.2015.	14:41	61	-2,9	**58,1**	
	14	09.10.2015.	15:00	65	-6,3	**58,7**	
	15	09.10.2015.	15:23	60	-9	**51**	
	16	09.10.2015.	15:34	65	-11,4	**53,6**	
LOKACIJA 3	17	09.10.2015.	15:38	65	-11,8	**53,2**	
	18	09.10.2015.	15:40	60	-12,1	**47,4**	
	19	09.10.2015.	15:49	45	-12,6	**32,4**	
	20	09.10.2015.	15:59	60	-13,4	**46,6**	
	21	09.10.2015.	16:16	80	-14,5	**65,5**	**52**
			x̄	60	-9	**51**	

5. Diskusija

5.1. Distribucija dosadašnjih izmjerenih potkapina na otoku Pagu

Do danas su na otoku Pagu plimne potkapine istraživane na šest različitih lokacija, ubrojimo li i tri lokacije mjerene u svrhe ovoga rada (Sl. 13., Tab. 6.). Srednje vrijednosti dubina ovih potkapina generalno se poklapaju te se mogu svrstati među potkapine Istre i Kvarnera prosječne dubine od -50±10 cm što nam govori o njihovoj istoj starosti.

Sudeći prema e' tipu profila koji ih karakterizira, ove potkapine nastale su uslijed postupnog sporog porasta razine mora nakon kojeg je uslijedila stabilnost relativne morske razine. Oblik profila potkapina ravnoga krova govori nam pak o koseizmičkim pomacima koji su morali uslijediti nakon perioda stabilnosti jer bi u protivnom potkapina bila uništena ili izobličena. Duljina maksimalnog udubljenja ovih potkapina (~57 cm) ukazuje na trajanje perioda stabilnih uvjeta. Naime, ukoliko se uzme u obzir brzina nastanka potkapina u vapnencima od 1 mm/god, može se reći da je vrijeme potrebno za formiranje paških potkapina trajalo nešto više od pet stotina godina, odnosno da se morska razina kroz rimski i poslijerimski period nije značajno mijenjala.



Sl. 13. Karta otoka Paga s lokacijama dosadašnjih izmjerenih plimnih potkapina i njihovim dubinama (vidi Tab. 6.)

Tab. 6. Tablični prikaz dosadašnjih pronađenih i izmjerenih potkapina na otoku Pagu (vidi Sl. 13.)

Br. potkapine	Lokacija	Dubina potkapine (cm)	Izvor
1	Drljanda	-55	Fouache i dr. (2000)
2	Poluotok Lun (3)	-51	Ovaj rad
3	Caska	-55	Fouache i dr. (2000; 2005) Marriner i dr. (2014)
4	Paški most	-60	Furlani i dr. (2011)

Starost plimne potkapine u uvali Caska Marriner i dr. (2014) povezali su sa stratigrafskim stupcima iz okolnih slanih močvara. To je istraživanje pokazalo da je potapanje plimne potkapine na otoku Pagu moguće povezati s naglim koseizmičkim spuštanjem terena. Tako bi nagla relativna promjena morske razine, veća od raspona plime i oseke, očuvala potkapine od daljnje erozije u mediolitoralu. Paradoksalno, duž otoka nije uočeno formiranje novih potkapina iako se morska razina smatra relativno stabilnom u posljednjih 1000 godina. To odsustvo može se pripisati nedovoljnom trajanju uvjeta stabilnosti mora ili pak promjenama okolišnih uvjeta (npr. klima, pH vode i temperatura) (Marriner i dr., 2014). Sada se jedino postavlja pitanje koji su to koseizmički događaji mogli uzrokovati potapanje ovih potkapina? Prema empirijskim jednadžbama (Pavlides i Caputo, 2004), potres magnitude između 6,5 i 7,0 potreban je da bi došlo do vertikalng pomaka od ~50±10 cm kao što je to uočeno na otoku Pagu. Također, Fouache i dr., (2000) smatraju da se potres mogao dogoditi nakon rimskoga perioda zbog pronađenih plimnih potkapina i na rimskim nasipima. Stoga se predlaže snažan potres u antičkom gradu Cissa (361 AD) kao potencijalan uzrok potapanja potkapina na Jadranu (Benac i dr., 2004). Također se smatra kako bi jedino relativno snažan kasniji potres minimalne magnitude od 6,8 vjerojatno bio potreban za takvo vertikalno pomicanje, međutim, takav potres nije zabilježen u Katalogu potresa Republike Hrvatske (Herak i dr. 1996; Marriner i dr., 2014).

Stoga se može reći da geografska raspodjela potkapina na otoku Pagu ukazuje na to da se sve nalaze na podjednakoj dubini od ~50±10 cm, ali da su potrebna daljnja istraživanja kako bi se preciznije objasnio njihov današnji položaj.

5.2. Distribucija dosadašnjih izmjerenih potkapina na Jadranu

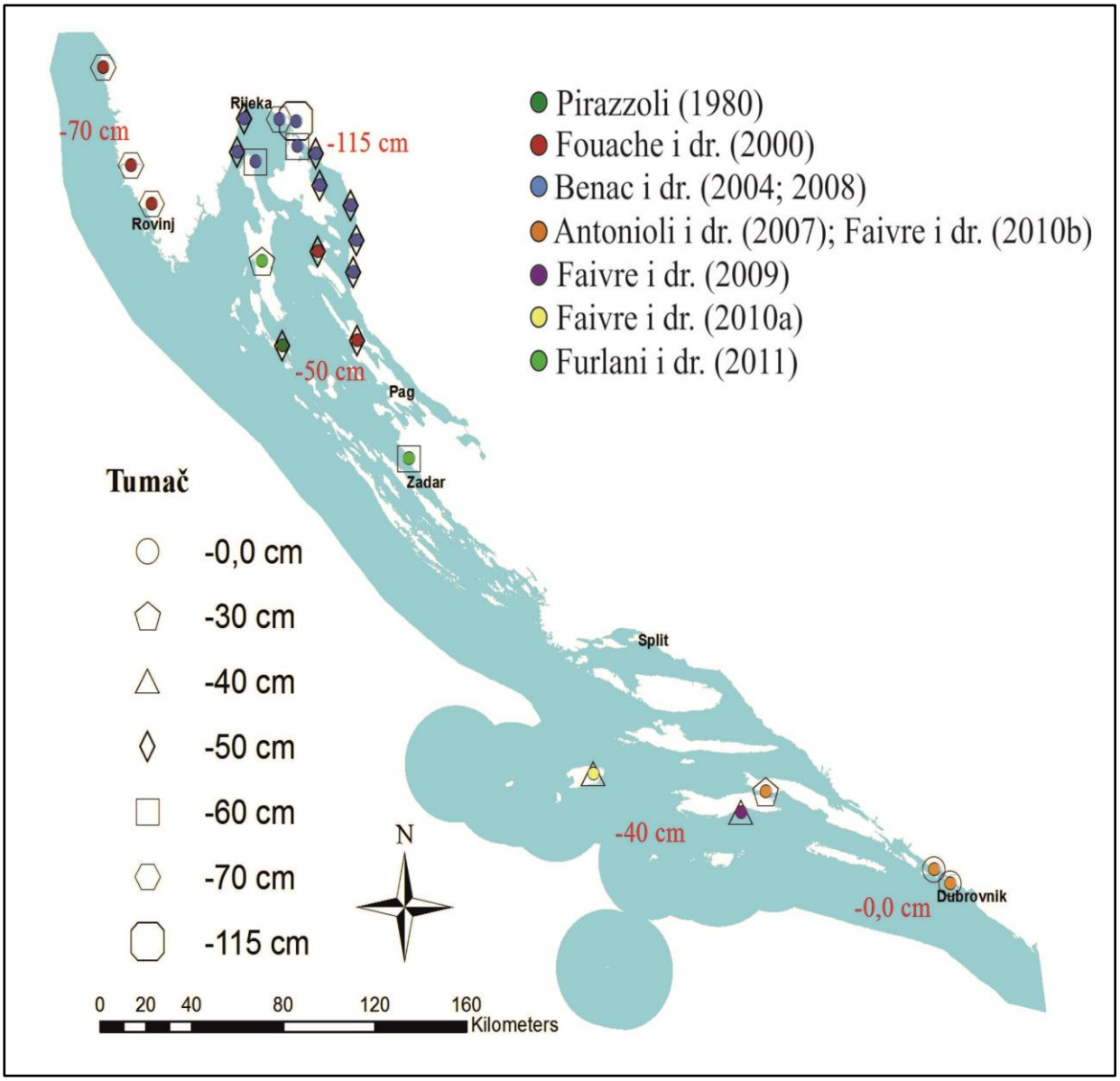
Dosadašnje izmjerene potkapine na području istočnoga Jadrana nisu pravilno raspoređene duž obale (Sl. 14.) jer su limitirane područjima u čijim bi lokalnim uvjetima bila dopuštena njihova formacija. Na primjer, nisu sve karbonatne stijene jednako pogodne na razvoj plimne potkapine: nagib slojeva stijena i nepravilnosti u stijenskoj strukturi ili površini mogu lokalno spriječiti nastanak plimne potkapine (Pirazzoli i Evelpidou, 2013). Tako na primjer, velika debljina slojeva vapnenaca spriječava mogućnost pronalaska strukturnih potkapina na području Pule, dok su pak tanki horizontalni slojevi prihvatljiviji za njihovo strukturiranje (Furlani i dr., 2011). Nadalje, u Vinodolskom kanalu (Benac i dr., 2008) potkapine su rijetke u dolomitnim vapnencima i krednim dolomitnim brečama. Također, plimne je potkapine nemoguće pronaći u flišu ili kvartarnim naslagama (Furlani i dr., 2011).

Do danas, potkapine su istraživane na sveukupno 70 različitih lokacija na istočnome Jadranu (plus područje poluotoka Luna istraživano u svrhe ovoga rada), međutim, veoma je izražena lokalna i regionalna varijabilnost njihove distribucije (Faivre i dr., 2012). Na mnogim lokacijama između SZ Istre i Zadra kao i na otocima Rabu, Pagu, Cresu, Krku i Lošinju, u vapnenačkim obalama, pronađene su i izmjerene kontinuirane potkapine na -30 cm – -70 cm ispod današnje morske razine. Izuzetak čini područje Bakarskog zaljeva gdje potkapina doseže dubinu od -115 cm ispod današnje morske razine što se pripisuje povećanim spuštanjem terena za koje se smatra da je tektonski vrlo aktivno (područje aktivnog regionalnog rasjeda) (Benac i dr. 2004; 2008).

Na području između Zadra i Šibenika potkapina nije pronađena, međutim, potopljeni arheološki ostaci na ovom području kojima su se služili Faivre i dr. (2012) upućuju na promjenu razine mora od minimalno 1.5 m u posljednjih 2000 godina. Na ovome području nagibi stijena su blago nagnuti. Terra rossa i pliocenske breče uglavnom sačinjavaju kontinentalnu obalu, dok su strmi vapnenci većinom pronađeni na otocima (Faivre i Fouache, 2003) što potencijalno može objasniti nedostatak potkapina na ovome području.

Dalje prema jugu, od Šibenika do Prevlake potkapine su uočene sporadično (otok Korčula i Vis, poluotok Pelješac) na dubini od -40 do 0 cm, dok odgovarajući arheološki ostaci na tom području gotovo da nisu pronađeni (Faivre i dr., 2009; Faivre i dr., 2010a; Antonioli i dr.,

2007). Oko grada Dubrovnika potopljene plimne potkapine nisu uočene, ali potkapine na srednjoj morskoj razini jesu čineći ovo područje jedinim duž cijelog istočnog Jadrana gdje je moguće pronaći dobro razvijene potkapine koje su u svom punom procesu razvoja (Faivre i dr., 2010b). Visoke su 44 cm i udubljene oko 20 cm što se slaže sa srednjim vrijednostima morskih mijena (Faivre i dr., 2010b).



Sl. 14. Geografska distribucija do danas otkrivenih potkapina na Jadranu i njihova dubina prema mnogim autorima (ArcMap10.3.1)

Razvitku potopljenih potkapina na područjima Istre i Kvarnera pogodovalo je dugotrajno razdoblje stabilnosti morske razine. Uzimajući u obzir stopu biokorozije vapnenaca od ~1 mm/god (Torunski, 1979), ova je stabilizacija trajala najmanje pet stotina godina. Nakon stabilizacije vjerojatno je uslijedilo brzo spuštanje jer bi u protivnom potkapine bile uništene ili izobličene (Faivre i dr., 2010b). Nadalje, ako se faktor tektonskog spuštanja doda eustatizmu, moguće je objasniti odsutnost fosilnih potkapina na području između Zadra i Šibenika. U tom slučaju, ovo bi područje bilo zahvaćeno bržim spuštanjem od cca 0,075 cm/god. u posljednjih 2000 godina čineći proces suviše brzim za formiranje potkapina (Faivre i dr., 2012). Kao posljedica toga, vjerojatno nije došlo do stabilnosti morske razine (Faivre i dr., 2010b). S druge pak strane, dobro razvijene današnje potkapine na području Dubrovnika ukazuju na trenutnu stabilizaciju relativne razine mora što se slaže s podacima mareografa (Orlić i Pasarić, 2000). Oni su pomoću podataka iz četiri postaje mareografa (Rovinj, Bakar, Split i Dubrovnik) unazad posljednjih 40 godina izračunali stopu porasta morske razine od 1 mm/god za sjeverni dio Jadrana, dok se morska razina na južnome dijelu pokazala stabilnom. Naime, Stiros i Moschas (2012) i njihovo kompjutersko modeliranje geografske distribucije potopljenih potkapina kvarnerskog područja dopuštaju zaključiti da ove potkapine potječu iz superpozicije dva različita efekta, sub-regionalog uniformnog porasta razine mora i lokalne tektonske aktivnosti.

Zaključno, promatrajući od Istre prema jugu Dalmacije, nije zastupljena samo nepravilna distribucija plimnih potkapina, već i pad njihove dubine (od -115 cm u Bakru do -0,0 cm u okolici Dubrovnika) što se može objasniti različitošću strukturnih jedinica od kojih se područje Jadrana sastoji.

6. Zaključak

Duž zapadno eksponirane obale poluotoka Luna prisutne su dobro izražene potopljene plimne potkapine. One imaju izduženi asimetrični oblik s dobro očuvanim krovom. Podaci o njihovoj dubini dobiveni ovim istraživanjem služe nam kao novi dokazi o kompleksnosti promjene morske razine duž istočnojadranske obale. Oni potvrđuju dosadašnje procjene bazirane na geomorfološkim podacima o relativnoj promjeni morske razine od 50±10 cm u posljednjih ~2000 godina te vertikalnog spuštanja kopna na otoku Pagu. Generalno, ovi novi rezultati poklapaju se s rezultatima prijašnjih izmjerenih lokacija ne samo na otoku Pagu, već šireg područja Istre i Kvarnera. Kod mjerenja relativne promjene morske razine Jadrana nužno je uzeti u obzir stopu spuštanja kopna, odnosno tektonsku aktivnost, kao i sve veći apsolutni/eustatski porast uzrokovan globalnim klimatskim promjenama. Stoga se položaj ovih plimnih potkapina u budućnosti može očekivati na sve većim dubinama.

S obzirom na tektonsku aktivnost istočnoga Jadrana, jedino je kombinacijom različitih metoda moguće doći do pouzdanijih rezultata pomoću kojih bi se preciznije interpretirala relativna promjena morske razine. No ukoliko se služimo jedino plimnom potkapinom kao indikatorom, možemo doći do zaključka o vjerojatnoj relativnoj stagnaciji i naknadnom porastu morske razine potpomognutom tektonskim spuštanjem sjevernog Jadrana tijekom posljednjih ~2000 godina. No koji su točno i da li su uopće seizmički događaji potpomognuli u potapljanju ovih plimnih potkapina ne može se sa sigurnošću reći. Tek daljnjim istraživanjem, kombiniranjem metoda i multidisciplinarnim pristupom možemo doći do takvih i brojnih drugih odgovora.

7. Popis literature i izvora

1. Altiner, Y. (1999): Analytical surface deformation theory for detection of the Earth's crust movements, Springer-Verlag, Berlin Heideberg New York, pp 100.

2. Altiner, Y., Marjanović, M., Medved, M. i Rasić, LJ. (2006): Active deformation of the Northern Adriatic region: result from the CRODYN geodynamical experiment. In: Pinter, N. et al. (Eds.), The Adria Microplate: GPS Geodesy, *Tectonics and Hazards. Springer*, Dordrecht, 257-268.

3. Antonioli F., Anzidei M., Lambeck K., Auriemma R., Gaddi D., Furlani S., Orru P., Solinas E., Gaspari A., Karinja S., Kovačić V. i Surace L. (2007) Sea-level change during the Holocene in Sardinia and in the northeastern Adriatic (central Mediterranean Sea) from archaeologial and geomorphological data, *Quaternary Science Reviews* 26, 2463-2486.

4. Benac, C., Rubinic, J. i Ozanic, N. (2003) The origin and evolution of coastal and submarine springs in Bakar Bay. *Acta Carsologica* 32/1 (12), 157–171.

5. Benac Č., Juračić M. i Bakran-Petricioli T. (2004) Submerged tidal notches in the Rijeka Bay NE Adriatic Sea: indicators of relative sea-level change and of recent tectonic movements, *Marine Geology 212*, 21-33.

6. Benac Č., Juračić M. i Blašković I. (2008) Tidal notches in Vinodol Channel and Bakar Bay, NE Adriatic Sea: Indicators of recent tectonics, *Marine Geology* 248, 151-160.

7. Bognar A. (2001) Geomorfološka regionalizacija Hrvatske, *Acta Geografica Croatica*, 34, 7-29.

8. Cazenave, A. i Nerem R. S. (2004), Present-day sea level change: Observations and causes, *Rev. Geophys*., 42, RG3001, doi:10.1029/2003RG000139.

9. Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer i A.S. Unnikrishnan (2013) Sea Level Change. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

10. Evelpidou N., Kampolis I., Pirazzoli P.A. i Vassilopoulos A. (2012) Global sea-level rise and the disappearance of tidal notches. *Global and Planetary Change*, 92-93, 248-256.

11. Pirazzoli P.A. i Evelpidou N. (2013) Tidal notches: A sea-level indicator of uncertain archival trustworthiness, *Palaeogeography, Palaeoclimatology*, Palaeoecology 369, 377–384

12. Evelpidou N. i Pirazzoli P.A. (2014) Holocene relative sea-level changes from submerged tidal notches: a methodological approach, *Quaternaire* 25 (4), 383-390.

13. Faivre S. & Fouache E. (2003) Some tectonic influences on the Croatian shoreline evolution in the last 2000 years, *Z. Geomorph. N.F.* Suppl.-Bd. 47 (4): 521-537.

14. Faivre, S., Fouache, E. (2007) Submerged tidal notch on the island of Korcula. In: *Convegno Internazionale "L'archeologia dei paesaggi costieri e le variazioni climatiche"*, 8-10 novembre 2007, pp. 6-7.

15. Faivre, S., Bakran-Petricioli, T., Horvatinčić, N. (2010a) Relative sea-level change duringthe Late Holocene on the Island of Vis (Croatia) — Issa harbour archaeological site. *Geodinamica Acta* 23 (5–6), 209–223.

16. Faivre, S., Fouache, E., Kovačić, V., Gluščević, S. (2010b) Some geomorphological and archaeological indicators of the Croatian shoreline evolution in the last two thousand years. Geology of the Adriatic area, *GeoActa Special Publication* 3,125–133.

17. Faivre S., Fouache E. i Prelogović E. (2012) Relative sea level change along the Croatian shoreline in the last 2000 years in correlation with recent tectonic movements, Prirodoslovna istraživanja riječkoga područja, 149-154.

18. Faivre S., Bakran-Petricioli T., Horvatinčić N., Sironić 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* 369:163–74.

19. Faivre S, Bakran-Petricioli T, Barešić J., Horvatinčić N. (2015) New data on marine radiocarbon reservoir effect in the Eastern Adriatic based on pre-bomb marine organisms from the intertidal zone and shallow sea, Radiocarbon, Vol 57, Nr 4, 527–538.

20. Fouache E., Faivre S., Dufaure J.-J., Kovačić V. i Tassaux F. (2000) New observations on the evolution of the Croatian shoreline between Poreč i Zadar over the past 2000 years, , *Z. Geomorph. N.F.* Suppl.-Bd. 122, 33-46.

21. Fouache E., Faivre S., Dufaure J.-J., Kovačić V., Tassaux F. i Tronche P. (2004) Morska razina u rimsko doba na području Istre, VAMZ, 3.s., XXXVII 173-190.

22. Fouache E., Faivre S., Gluščević S., Kovačić V., Tassaux F. i Dufaure J.-J. (2005) Evolution of the Croatian shore like between Poreč and Split ove the past 2000 years, *Archaeologia Maritima Mediterranea*, 114-134.

23. Furlani S., Cucchi F., Biolchi S. i Odorico R. (2011) Notches in the Northern Adriatic Sea: Genesis and development, *Quaternary International* 232, 158-168.

24. Herak, M. (1991) Dinarides—mobilistic view of the genesis and structure, Prirodoslovna istrazivanja 63. *Acta Geol*. 21 (2), 35–117.

25. Herak,M., Herak, D., Markušić, S., (1996) Revision of the earthquake catalogue and seismicity of Croatia, 1908–1992. *Terra Nova 8* (1), 86–94.

26. Juračić, M. i Benac, Č. (2005) Tidal notches and recent tectonics. Abstract Book of 3nd Croatian Geological Congress, 67–68, Opatija, September 2005. Croatian Geological Institute, Zagreb.

27. Lambeck, K. i Purcell, A. (2005): Sea-level change in Mediterranean Sea since the LGM: model predictions for tectonically stable areas, *Quaternary Science Reviews*, 24, 1969-1988, doi:10.1016/nj.quascirev.2004.06.025.

28. Leder, N., Smirčić, A., Vilibić, I. (1998) Extreme values of surface wave heights in the Northern Adriatic. *Geofizika* 15, 1–13.

29. Magaš D. (2000) Contribution To The Knowledge Of The Geographical Characteristics Of The Pag Island, *Geoadria* 5, 5-48.

30. Filipčić, A. i Šegota, T. (2003) Köpennova podjela klima i hrvatsko nazivlje, *Geoadria*, 8/1, 17-37

31. Malez, M., Lenardić-Fabić, J. (1988): New subspecies of the southern elephant (*Mammuthus meridionalis adriacus* n. ssp.) from the bottom of the Adriatic Sea (Croatia, Yugoslavia), Palaeontologia Jugoslavica, 37, 1-36.

32. Marriner N., Morhange C., Faivre S., Flaux C., Vacchi M., Miko S., Dumas V., Boetto G. i Radić rossi I. (2014) Post-Roman sea-level changes on Pag Island (Adriatic Sea): Dating Croatia's „enigmatic“ coastal notch?, *Geomorphology* 221, 83-94.

33. Morton, R. A., Buster, N. A.i Krohn, M. D. (2002) Subsurface controls on historical subsidence rates and associated wetland loss in southcentral Louisiana: Transactions Gulf Coast, *Association of Geological Societies*, v. 52, p. 767-778.

34. Orlić, M. and M. Pasarić. (2000) Sea-level changes and crustal movements recorded along the east Adriatic coast. *Nuovo Cim*., C23: 351-364.

35. Pavlides, S., Caputo, R. (2004) Magnitude versus faults' surface parameters: quantitative relationships from the Aegean Region. *Tectonophysics* 380, 159–188.

36. Pirazzoli, P.A. (1980) Formes de corrosion marine et vestiges archeologique submerges: interpretation neotectonique de quelques exemples en Grece et en Yougoslavie. *Annales de l'Institut de Oceanographique* 56, 101-111.

37. Pirazzoli, P.A. (1986) Marine notches. In: van de Plassche, O. (Ed.), Sea-level Research: a Manual for the Collection and Evaluation of Data. Geo Books, Norwich, pp. 361-400.

38. Sokač, B., Nikler, L., Velić, I.,Mamužić, P. (1974) Basic Geological Map of SFRY, 1:100000, Gospić sheet (in Croatian) Institutza geološka istraživanja Zagreb, 1963–1967, Savezni geološki zavod Beograd.

39. Sokač, B., Šćavničar, B., Velić, I. (1976) Basic Geological Map of SFRY, 1:100000 Explanantion notice for Gospić sheet (in Croatian).

40. Stiros S.C. i Moschas F. (2012) Submerged notches, coastal changes and tectonics in the Rijeka area, NW Croatia, *Marine Geology 329-331*, 103-112.

41. Surić, M. (2006): Late Pleistocene – Holocene palaeoenvironmental changes – records from submerged speleothems from the Eastern Adriatic Sea (Croatia). PhD thesis, Faculty of Science, University of Zagreb, pp 213, Zagreb, (in Croatian).

42. Surić, M. (2009): Reconstructing sea-level changes on the Eastern Adriatic sea (Croatia) – An overview, *Geoadria* 14/2, 181-199.

43. Torunski, H. (1979) Biological erosion and its significance for the morphogenesis of limestone coasts and for nearshore sedimentation (northern Adriatic). *Senckenbergiana Maritima* 11 (3-6), 193-265.

44. Trudgill, S.T. (1976) The marine erosion of limestones on Aldabra Atoll, Indian Ocean, *Zeitschrift fur Geomorphologie*, Supplement Band, 26, 164-200.

45. Valna potkapina, https://en.wikipedia.org/wiki/Wave-cut_platform (17.04.2016.)

46. Velić, I., Vlahović, I., (eds.) (2009) Geological map of the Republic of Croatia, 1:300 000, Croatian geological institute, Zagreb.

47. Vilibić, I., Orlić, M., Čupić, S., Domijan, N., Leder, N., Mihanović, H., Pasarić, M., Pasarić, Z., Srdelić, M., Strinić, G. (2005) A new approach to sea level observations in Croatia.*Geofizika* 22, 21–57.

PRILOZI

POPIS SLIKA

Slika 1: Kompilacija paleopodataka, mareografskih i altimetrijskih podataka o razini mora; srednje vrijednosti morske razine i predviđanja o globalnom porastu razine mora do 2100. godine na temelju dva različita scenarija (plava i crvena linija).....2

Slika 2: Geografska distribucija promjene morske razine prema T/P misiji u periodu od 1993. do 2003. godine. Globalni prosjek na ovoj slici iznosi 2,8 mm/god……...…9

Slika 3: a) Potopljena plimna potkapina br. 19 slikana na lokaciji 3; b) Potopljena siga na dubini od 56 m na otoku Braču…….10

Slika 4: Plimna potkapina pomoću koje je rekonstruirana promjena razine mora u zaljevu Caska…….12

Slika 5: a) Valna potkapina; b) Plimna potkapina br. 17 slikana na lokaciji 3 (vidi poglavlje *4. Rezultati*)……...15

Slika 6: Geometrijske karakteristike profila plimne potkapine……16

Slika 7: Crtež koji prikazuje oblik potkapina istočnog Jadrana: (A) simetrična potkapina; (B) potkapina ravnog krova. A je amplituda potkapine, dok je D dubina verteksa potkapine...…17

Slika 8: Teoretski grafički prikazi profila plimne potkapine, na vertikalnim vapnenačkim klifovima kao posljedica različitih kombinacija relativne promjene razine mora. Za objašnjenje vidi Tablicu 2…….18

Slika 9: Profil plimne potkapine br. 18 (lokacija 3); prikaz mjerenih geometrijskih parametara…….21

Slika 10: Geografski položaj područja istraživanja (TK 1:100 000)……23

Slika 11: Geološka karta otoka Paga…….25

Slika 12: Lokacije plimnih potkapina istraživanih u svrhe ovoga rada; srednja vrijednost dubine potkapina na svakoj lokaciji temeljeno na broju potkapina prikazanih u zagradi……28

Slika 13: Karta otoka Paga s lokacijama dosadašnjih izmjerenih plimnih potkapina i njihovim ……...……31

Slika 14: Geografska distribucija do danas otkrivenih potkapina na Jadranu i njihova dubina prema mnogim autorima (ArcMap10).……..…….. 34

POPIS TABLICA

Tablica 1: Dosadašnja mjerenja plimnih potkapina na Jadranu prema mnogim autorima geografski gledajući od sjevera prema jugu. (A) Lokacija istraživanog područja; (B) Minimalna dubina (cm); (C) Maksimalna dubina (cm); (D) Srednja dubina (cm); (E) Izvori.....4

Tablica 2: Različiti tipovi profila plimnih potkapina. Za schematski prikaz vidi Sl. 8……19

Tablica 3: Godišnji hod temperature zraka (°C)……...……26

Tablica 4: Lokacija, vrijeme, vremenske prilike i izmjerene vrijednosti potopljene plimne potkapine na poluotoku Lunu. (A) izmjerena dubina mora; (B) izmjerena dubina potkapine (verteks); (C) dužina maksimalnog udubljenja; (D) otvor potkapine. Dane vrijednosti nisu korigirane …….……29

Tablica 5: Korigirane vrijednosti dubine potkapine (verteksa) iz Tab. 4. podacima iz mareografa u Zadru za vrijednosti srednje razine mora ……..……30

Tablica 6: Tablični prikaz dosadašnjih pronađenih i izmjerenih potkapina na otoku Pag…...35