

# Vrste riplova i upotreba indeksa riplova u tumačenju taložnih uvjeta

---

Koritnik, Jelena

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:846445>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-20**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Jelena Koritnik

**VRSTE RIPLOVA I UPOTREBA INDEKSA  
RIPLOVA U TUMAČENJU TALOŽNIH  
UVJETA**

Seminar III  
Preddiplomski studij geologije

Mentor:  
doc. dr. sc. Katarina Gobo

Zagreb, 2020. godina

## Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Vrste riplova .....	2
2.1.	Osnovna podjela i značajke .....	2
2.2.	Strujni riplovi.....	3
2.3.	Penjajući riplovi.....	5
2.4.	Eolski riplovi .....	7
2.5.	Valni riplovi.....	8
2.6.	Strujno-oscilatorni (kombinirani) riplovi .....	9
2.7.	Riplovi zapljuskivanja .....	10
3.	Indeksi riplova .....	11
4.	Analiza fotografija riplova.....	16
4.1.	Fotografija 1 .....	16
4.2.	Fotografija 2 .....	19
4.3.	Fotografija 3 .....	20
4.4.	Fotografija 4 .....	21
4.5.	Fotografija 5 .....	22
5.	Zaključak .....	23
6.	Literatura.....	24
7.	Prilozi.....	III

## 1. Uvod

Riplovi su taložni oblici nastali djelovanjem jednosmjernog ili oscilatornog toka na sediment veličine čestica najčešće od krupnog silta do srednjeznatog pijeska. Mogu se sačuvati kao taložne teksture stijene te kao takvi biti svojevrsan zapis procesa koji su se odvijali za vrijeme taloženja naslaga. Ako razumijemo fizičke procese koji djeluju u recentnim okolišima i ako ih možemo povezati s naslagama koje su nastale kao posljedica istovjetnih procesa u geološkoj prošlosti, moći ćemo odrediti vjerojatan okoliš njihova nastanka. Karakteristična geometrija riplova upućuje na određene taložne uvjete te njihovom analizom možemo dobiti informacije o toku kojim su nastali, o relativnoj jačini struje, dubini toka te o smjeru transporta sedimenta. Razlikovanje i određivanje vrste riplova se provodi upotrebom raznih indeksa od kojih su osnovni indeks riplova i indeks simetričnosti riplova, a koriste se i dodatni poput indeksa kontinuiranosti, ravnoće, račvanja te dva indeksa paralelnosti. Za izračun je nužno moći pribaviti mjere riplova koje nisu uvijek dostupne ili su kompromitirane kvalitetom izdanka.

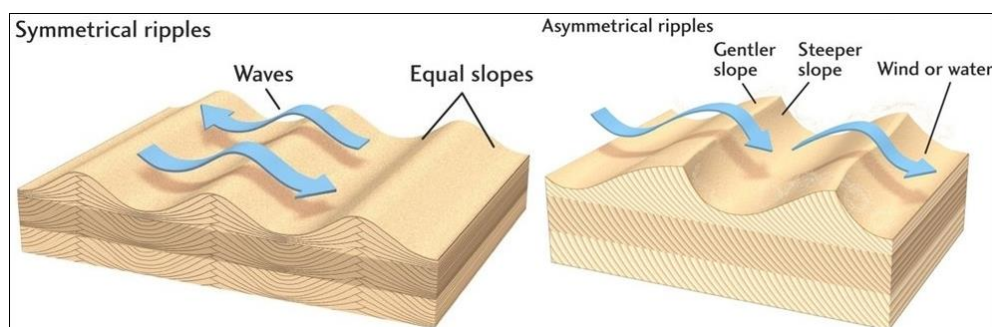
U ovom radu ću se osvrnuti na objašnjenje nastanka riplova, odnosno uvjeta u okolišu koji su potrebni za njihov nastanak te procesa koji uzrokuju i uvjetuju nastanak; navest ću osnovne vrste riplova, opisati njihove značajke i povezati ih s okolišima nastanka te objasniti određivanje i uporabu indeksa riplova. Na primjeru fotografija s terena pokušat ću odrediti mjere potrebne za računanje različitih indeksa, ovisno o ograničenjima fotografije, te na temelju njih odrediti uvjete i okoliš nastanka koje ću zatim usporediti s izvorom fotografije pa time provjeriti koliko su virtualne metode prikladne za okvirnu analizu riplova.

## 2. Vrste riplova

### 2.1. Osnovna podjela i značajke

Djelovanjem transportnog sredstva poput vode ili vjetra na nekohezivni sediment nastaju taložni oblici koji mogu biti sačuvani nakon litifikacije stijena kao taložne teksture te se njihovom analizom može saznati u kakvom su okolišu nastali. Riplovi su taložni oblici koji nastaju djelovanjem jednosmjernog toka vode, oscilatornim kretanjem vode kao i djelovanjem vjetra. Ovisno o njihovom porijeklu, riplovi će imati različitu geometriju koja se određuje mjerenjem karakterističnih veličina riplova.

Riplove čine grebenaste forme koje se nazivaju krestama te udubljenja, odnosno korita. Kosine između ove dvije forme mogu biti različite duljine i nagiba pa se razlikuju priklona blažeg nagiba i zaklona koja je strmija. Mjeriti se može visina od baze do najviše točke kreste, duljina priklone i zaklone strane, valna duljina koja je udaljenost između dvije kreste te amplituda koja je polovica visine. S obzirom na navedene mjere, riplovi mogu biti simetrični i asimetrični u poprečnom presjeku. Djelovanjem valova nastaju simetrični riplovi, a djelovanjem jednosmjernog toka nastaju asimetrični (slika 1).



Slika 1: Simetrični i asimetrični riplovi, smjer toka kojim nastaju te laminacije

( <https://slideplayer.com/slide/5257263/16/images/21/Ripple+marks.jpg> )

Simetrični riplovi nastaju samo u relativno plitkim vodama te se razlikuju valni riplovi i riplovi zone zapljuskivanja. Asimetrični nastaju djelovanjem toka vode neovisno o dubini podvodnog okoliša ili djelovanjem vjetra pa se razlikuju strujni riplovi i eolski riplovi (Tanner, 1967). Osim razlika u poprečnom presjeku, pojedinačne vrste riplova imaju različite kreste. Valni riplovi imaju duge, ravne ili sinusoidalne kreste koje se mogu računati, dok su one strujnih riplova često vrlo sinusoidalne te raskinute u kratke i zakrivljene kreste (Nichols, 2009). Račvanje se pojavljuje samo kod valnih i eolskih riplova kada se pojedinačna kresta razdvoji te se svaka novonastala može smatrati nastavkom izvorne (Tanner, 1967).

## 2.2. Strujni riplovi

Strujni riplovi su nizvodno-migrirajući asimetrični taložni oblici malih dimenzija nastali iz jednosmjernih vodenih tokova (Kovačić i Marković, 2016). Asimetričan oblik proizlazi iz razlike u nagibu priklone i zaklone strane. Priklona, odnosno uzvodna strana je blažeg nagiba, a zaklona, nizvodna je strmija (slika 1 i 2). Visina strujnih riplova iznosi nekoliko centimetara, a valna duljina manje od nekoliko desetaka centimetara. Kreste strujnih riplova mogu biti ravne do sinusoidalne ili stvarati uzorak nepovezanih lukova koje nazivamo jezičastim riplovima. Oblik kreste ovisi o trajanju i brzini toka; ravne kreste se s vremenom i povećanjem brzine toka pretvaraju u jezičaste (Baas, 1994).

Kako bih opisala na koji način nastaju strujni riplovi, potrebno je prvo opisati karakteristike toka iz kojeg nastaju te ću se u tu svrhu koristiti informacijama iz udžbenika „Sedimentology and Stratigraphy“ (Nichols, 2009). Kretanje fluida po površini sloja se odvija u tri dijela toka različitih svojstava. Slobodni tok (*free stream*) je dio toka koji nije pod utjecajem efekata koji nastaju interakcijom fluida i sloja, granični sloj toka (*boundary layer*) je dio u kojem se brzina toka smanjuje zbog trenja nastalog u kontaktu s površinom, a viskozni podsloj (*viscous sublayer*) je područje u kojem se turbulencije smanjuju te je tipično debljine manje od milimetra. Unutar viskoznog podsloja, turbulencije su prisutne u vidu turbulentnih zamaha (*turbulent sweeps*) koji uzrokuju kotrljanje ili poskakivanje čestica što dovodi do stvaranja lokalnih nakupina zrna. Visina tih nakupina može iznositi samo nekoliko zrna, no dovoljna je za stvaranje stepeničastih poremećaja u toku blizu površine sloja. Tok možemo predočiti strujnicama u fluidu, odnosno zamišljenim linijama koje ukazuju na njegov smjer. Ako je sloj po kojem se fluid kreće ravan, strujnice će mu biti paralelne; ako su na njemu prisutne nepravilnosti poput malih izdignuća nastalih nakupljanjem zrna, strujnice najbliže sloju će konvergirati te će u području gdje su one poremećene doći do povećanog transporta čestica. Strujnica se na vrhu izdignuća odvaja od površine sloja te se tako stvara područje razdvajanja graničnog sloja toka koje je omeđeno točkom razdvajanja toka i nizvodnijom točkom ponovnog pripajanja toka. Područje koje se nalazi ispod te strujnice se naziva zona razdvajanja. Prelaskom toka preko izdignuća dolazi do ponovnog povećanja tlaka koji je smanjen iznad nje zbog povećanja brzine pa se sposobnost fluida da dalje prenosi čestice smanjuje te se one talože na zaklonoj strani izdignuća.



Slika 2: Prikaz nastanka asimetričnih riplova (Tucker, 2001)

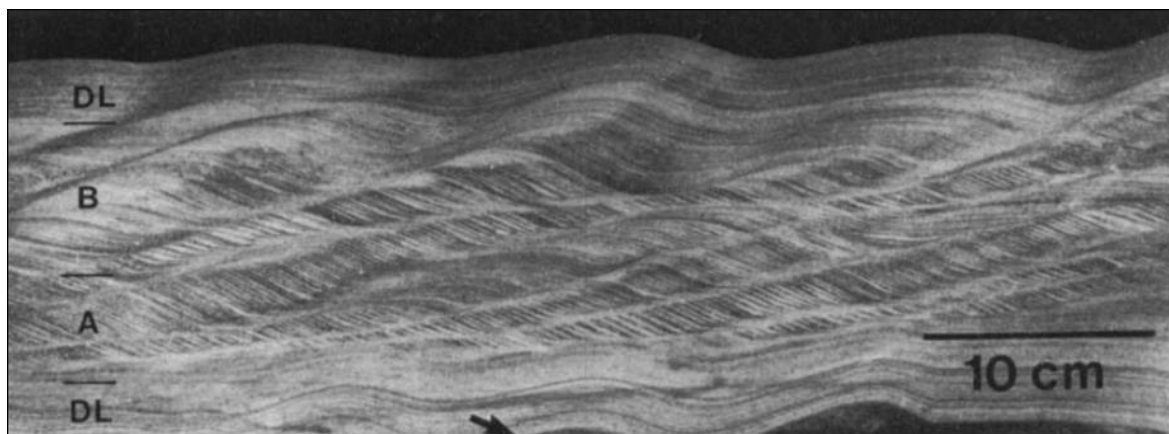
Za nastanak strujnih riplova ključno je upravo razdvajanje graničnog sloja toka (slika 2). Rastom nakupine zrna koja čini izdignuće nastaje kresta ripla, na kojoj se nalazi točka razdvajanja toka. Zrna pijeska se kotrljaju ili poskakuju po priklonoj strani ripla prema kresti na kojoj mogu postati nestabilna te se odroniti prema zaklonoj na kojoj se talože pod kutom koji je blizu maksimalnog kritičnog kuta kosine za pijesak ( $30^\circ$ ). U točki ponovnog pripajanja toka dolazi do povećanja pritiska na sloj što uzrokuje eroziju te stvaranje malog udubljenja kojeg nazivamo koritom ripla. Erozijom u koritu i u bazi priklojne strane, stvara se izvor pijeska koji se kreće uz priklonu stranu sljedećeg ripla tako da cijeli niz korita i kresta riplova migrira nizvodno. Pijesak se na zaklonoj strani taloži pod kutom pa migracijom riplova nastaju setovi lamina koji čine taložnu teksturu kose laminacije. Oblik kreste uvjetuje vrstu kose laminacije koja će nastati. Planarna kosa laminacija nastaje migracijom riplova ravnih kresta čije lamine leže u istoj ravnini i imaju isti smjer nagiba, a koritasta kosa laminacija potječe od sinusoidalnih i jezičastih kresta riplova čije su zaklone strane zakrivljene plohe pa migracijom nastaju lamine pod kutom na nizvodni pravac u koritastim područjima između pojedinačnih riplova.

Migracijom riplova u uvjetima konstantne količine dostupnog pijeska nastaju izgledniji (*starved*) riplovi kod kojih je količina erodiranog pijeska u koritima jednaka količini koja je dodana na krestu pa migracija stvara jednostavno polje riplova koje će se sačuvati jedino ako je prekriveno muljem. Taloženjem malih količina mulja u razdobljima niske energije vode, nastaju tanki nepovezani lećasti ulošci muljnog taloga unutar udolina pješćanih slojeva s riplovima koje nazivamo flazer slojevitost (Kovačić i Marković, 2016). Ako tok do ripla donosi više pijeska, nego što ga odnosi, na zaklonoj strani će se taložiti veća količina pijeska, nego što će se uklanjati s priklojne strane pa će riplovi migracijom rasti uz smanjenje dubine korita što omogućuje sačuvanje kosih lamina riplova koji su prethodili u migraciji pa nastaje

sloj koso laminiranog pijeska. Uz znatno veću količinu pijeska kojeg tok donosi ne događa se uklanjanje s priklone strane pa svaki ripl migrira uz priklonu stranu sljedećeg ripla što stvara penjajuće (*climbing*) riplove koji ukazuju na naglu sedimentaciju jer mogu nastati samo ako je količina donesenog pijeska jednaka ili veća od količine pijeska koji migrira (Allen, 1971).

### 2.3. Penjajući riplovi

Posebno značajna podvrsta strujnih riplova su penjajući riplovi koji su česti u sitnozrnatim fluvijalnim naslagama i naslagama delti. Kosa laminacija koja nastaje može samostalno pružiti informacije o kratkotrajnim brzinama taloženja sedimenta što omogućava bolje razumijevanje kratkih i naglih paleodogađaja poput riječnih poplava ili turbiditnih struja (Allen, 1971). Slojevi nastali ovakvim riplovima se sastoje od kombinacije dviju vrsta lamina; kosih lamina penjajućih riplova i sinusoidalnih, paralelnih ili kongruentnih lamina koje se nazivaju zavjesastom (*draped*) laminacijom, a ponekad dolaze u kombinaciji s planarnom horizontalnom laminacijom (slika 3).



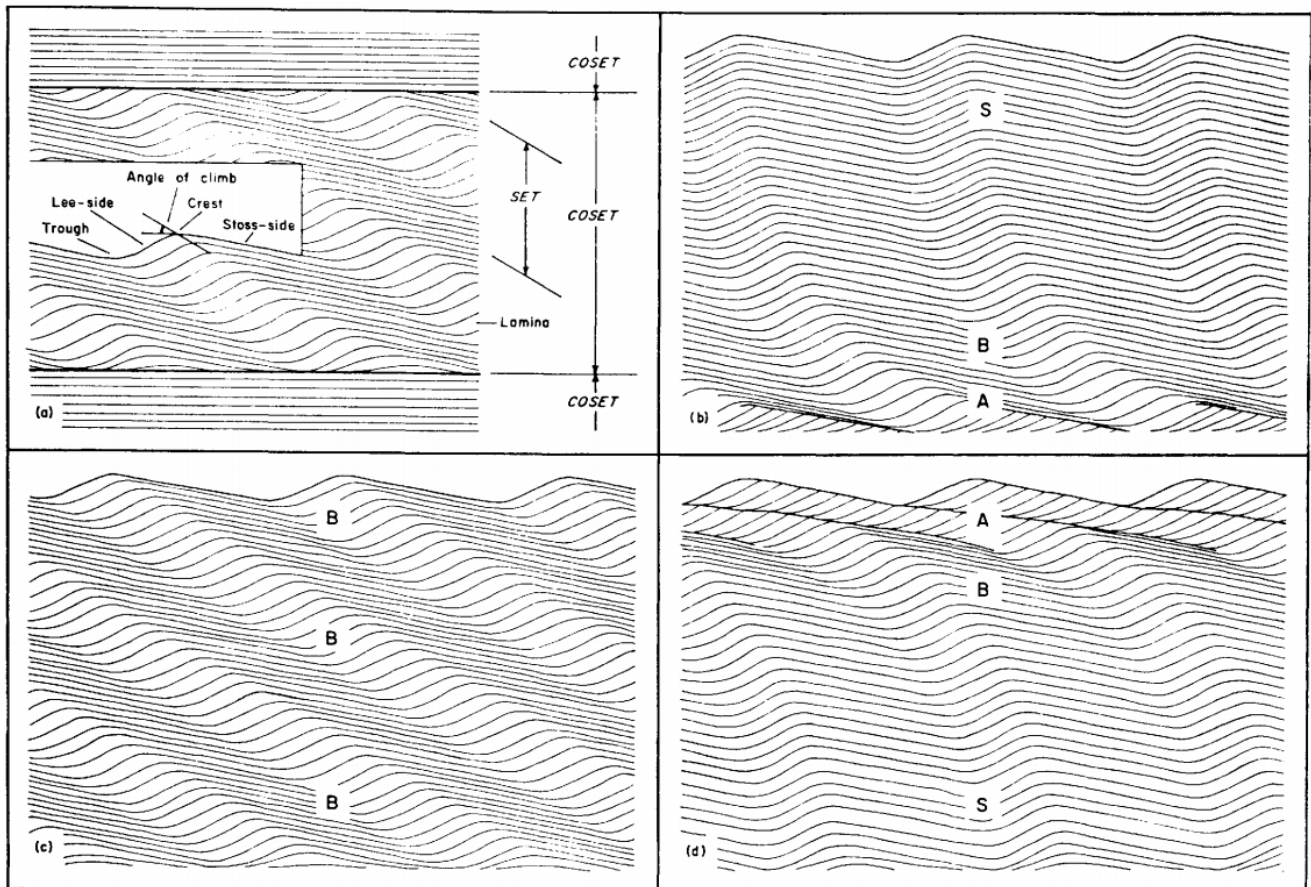
Slika 3: Zavjesasta laminacija DL te kose lamine tipa A i B penjajućih riplova nastale laboratorijskim eksperimentom (Ashley et al., 1982)

Allen (1973) je uveo razliku između „tipa“ kose laminacije penjajućih riplova koji se odnosi na značajke unutar seta lamina te odnosa sa susjednim setovima u ograničenom vertikalnom intervalu koso laminiranog sloja te „uzorka“ koji se temelji na značajkama cijelog koseta, odnosno vertikalne promjene kuta penjanja i prosječne veličine čestica unutar sloja (slika 4a). Tipovi se razlikuju prema vrsti kontakta među setovima koji može biti erozijski ili taložni, stupnju lateralne kontinuiranosti pojedinačne lamine, relativnoj debljini priklone i zaklone strane, razmjeru nakupljanja određenih veličina čestica na određenim



dijelovima riplova, stupnju asimetrije riplova te prema veličini kuta penjanja riplova. Tip A ili priklono-erozijski karakterizira sačuvanje zaklone strane, nakupljanje sitnih čestica u bottomsetu te kut penjanja uglavnom manji od  $10^\circ$ . Tip B ili priklono-taložni tip karakterizira sačuvanje i priklone i zaklone strane, kontinuiranost pojedinačnih lamina uz značajne razlike u debljini svake lamine na priklonoj i zaklonoj strani, asimetričnost, nakupljanje sitnijih čestica u priklonim dijelovima laminama te krupnijih u zaklonim kao i kut penjanja do najviše  $60^\circ$ . U rasponu kuta penjanja od  $10^\circ$  do  $20^\circ$ , tip B pokazuje neke značajke tipa A, odnosno granice među setovima su erozijske što uzrokuje odsustvo priklone strane. Tip S karakterizira taložni odnos među setovima, lateralna kontinuiranost lamina, slična debljina lamina priklone i zaklone strane, neznajno nakupljanje čestica određene veličine na određenim mjestima, mali stupanj asimetrije te kut penjanja veći od  $60^\circ$ . Uzorci se razlikuju prema vertikalnoj varijaciji kutova penjanja te prema načinu na koji se veličina čestica mijenja naviše. Uzorak I karakterizira povećanje kuta penjanja naviše uz smanjenje prosječne veličine čestica. Primjer ovakvog uzorka je koset koji počinje tipom A na koji slijedi tip B pa tip S (slika 4b). Uzorak II karakterizira konstantan kut penjanja, dok je samo ponekad prisutno smanjenje veličine čestica naviše (slika 4c). Uzorak III karakterizira smanjenje kuta penjanja naviše uz povećanje prosječne veličine čestica. Primjer ovakvog uzorka je koset koji počinje tipom S na koji slijedi tip B pa tip A (slika 4d). Uzorak IV obuhvaća sve ostale moguće kombinacije uzoraka koje još treba proučiti prije službenog klasificiranja.

Ashley et al. (1982) su proveli simulacije taloženja penjajućih riplova te potvrdili pretpostavku da tip stratifikacije ovisi o pridnenoj strukturi toka te o ujednačenom ispadanju sedimenta iz prezasićenog toka. Odredili su da tip A nastaje kada je brzina taloženja manja od brzine migracije riplova, tip B nastaje kada su brzine taloženja veće, a zavjesasta laminacija nastaje zbog kontinuiranog taloženja sedimenta iz suspenzije kada migracija riplova znatno uspori ili stane. Dodatno su odredili da je za taloženje paketa penjajućih riplova debljine 10-20 cm potrebno manje od desetak sati, a u eksperimentima gdje su takvi paketi nastajali kroz više od 10 sati, pojavila se atipična geometrija riplova koja uključuje oštre kreste i planarne zaklone strane. Za nastanak penjajućih riplova potreban je donji strujni režim, odnosno dovoljna brzina toka koja će omogućiti migraciju riplova, no ne smije biti toliko velika da počnu nastajati taložni oblici karakteristični za veće brzine toka, dine ili horizontalna laminacija (Ashley et al., 1982).



Slika 4: Prikaz seta i koseta (a), tipova (A, B i S) i uzoraka penjajućih riplova (b, c i d)  
(Allen, 1973)

## 2.4. Eolski riplovi

Djelovanjem struje zraka isto nastaju asimetrične slojne forme. Za prijenos sedimenta vjetrom potrebno je doseći kritičnu brzinu erozije, kao i kod prijenosa vodom. Kod pokretanja pijeska vjetrom brzine minimalno 15 cm/s, nastaju eolski riplovi koji se u pustinskim okolišima izravnavaju pri većim brzinama vjetra.

Kao i kod djelovanja vodenog toka na pijesak, vjetar erodira pijesak s priklone strane te ga taloži na zaklonoj strani, a valna duljina i visina eolskih riplova ovisi o veličini zrna, snazi vjetra i o dužini poskakivanja migrirajućih zrna pijeska. Kreste su im ravne što rezultira nastajanjem planarne kose stratifikacije u smjeru vjetra (Kovačić i Marković, 2016).

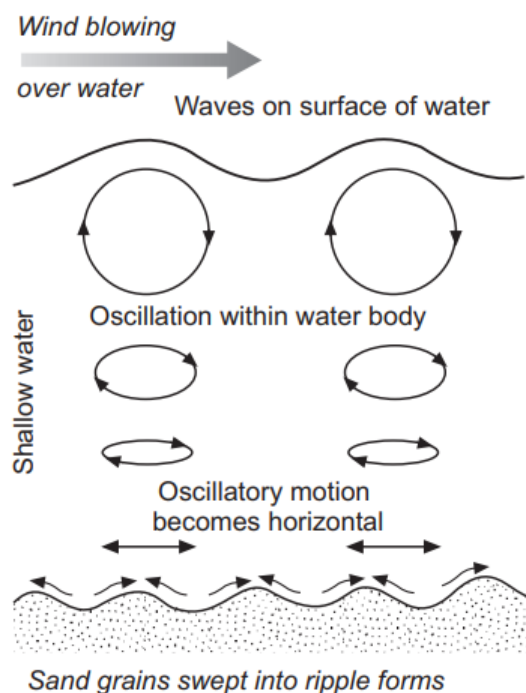
## 2.5. Valni riplovi

Valni riplovi su taložni oblici simetričnog profila i kontinuiranih ravnih kresti koji nastaju oscilatornim kretanjem vode, odnosno valova, a česti su u mnogim plitkomorskim, deltnim i jezerskim pijescima i vapnencima. Kreste su prilično oštre u usporedbi sa zaobljenijim koritima i uglavnom se račvaju. Lamine valnih riplova se često ne podudaraju s profilom riplova pa kosa laminacija valnih riplova može imati valovite i „cik-cak“ (*chevron*) lamine (Tucker, 2001).

Prema Nicholisu (2009) val je poremećaj koji putuje kroz plin, tekućinu ili krutinu s prijenosom energije među česticama, ali bez transporta mase. Uzrokuje oscilacije vodene površine i kružno kretanje te se valno gibanje prenosi prema obali bez da se vodena masa kreće. Definiran je krestom ili brijegom koja je najviši dio vala i dolom koji je najniži dio između dvije kreste. Valna duljina je udaljenost između dvije uzastopne kreste, visina vala je vertikalna udaljenost između brijega i dola, a amplituda je polovica visine.

Kontinuirani nizovi valova nastaju djelovanjem vjetra na površinu vodenog tijela zbog trenja vode i zraka. Vodeno tijelo može biti veličine manjeg jezera gdje valovi nastaju samo ako vjetar puše, do veličine oceana koji je uvijek u pokretu zbog velikog dohvata vjetra, odnosno udaljenosti na kojoj vjetar puše koja ovisi o dostupnoj vodenoj površini. Visina i energija valova su određene dohvatom vjetra i njegovom jačinom.

Voda se u valu kreće kružno, orbitalno zbog oscilatornog kretanja na površini vodenog tijela koje stvara kružnu putanju molekula u gornjem sloju kao i seriju kružnih ćelija u stupcu vode ispod gornjeg sloja. S povećanjem dubine, unutarnje trenje umanjuje učinke površinskog sloja na ostatak vodenog tijela pa se promjer kružnica s porastom dubine smanjuje toliko da je na dubini koja iznosi polovicu valne duljine, promjer jednak nuli. Tu dubinu nazivamo valnom bazom koja je krajnja dubina vala te voda ispod nje nije zahvaćena djelovanjem površinskih valova. U vrlo plitkoj vodi, gdje je cijeli stupac vode pod utjecajem valova, odnosno gdje je dubina vode manja od dubine valne baze, trenje uzrokuje postupno spljoštavanje orbite koja pri dnu prelazi u horizontalne oscilacije (slika 5). Kretanje naprijed-nazad pri dnu uzrokuje nastanak valnih riplova u sedimentu. Ako je kretanje vode čisto oscilatorno, nastat će simetrični riplovi, no ako je uz djelovanje valova prisutno i djelovanje struje, mogu nastati asimetrični riplovi.



Slika 5: Valovi u plitkoj vodi (Nichols, 2009)

Simetrični riplovi nastaju ako je dubina vode ispod valnih brijegova slična dubini ispod valnih dolova te ako nije prisutan utjecaj struja. Prema Tanneru (1967) kada djelovanje valova započne na glatkoj površini pijeska, u nekoliko se poteza počnu stvarati posmični hrptovi (*shear ridges*) velikih valnih duljina i malih visina. U vodi dubljoj od centimetra, kretanjem vode preko hrptova nastaju vrtlozi koji naizmjenice grade obične simetrične riplove (Tanner, 1963). Riplovi nastali nakon prvih nekoliko sekundi ili minuta su oblikovani vrtlozima koji se ponašaju kao kotrljajuće ćelije (*roller cells*) ispod najdonje valne orbite. Dvije susjedne ćelije stvaraju formu osmice koja se pomiće lateralno pa se polako stvaraju riplovi po cijelom polju jednako.

Pri niskim energijama nastaju riplovi kotrljajućih zrna (*rolling grain ripples*) koje karakteriziraju široka korita i oštre kreste. Nastaju jer se zrna kreću maksimalnom brzinom u središtu svake oscilacije, a prema rubovima se brzina smanjuje do nule. Takvo kretanje odnosi zrna iz sredine, gdje se stvara korito, do rubova gdje se nakupljaju u kreste riplova. Pri višim energijama, zrna se mogu u privremenoj suspenziji prenositi iz korita do kreste na kojoj ispadaju pa nastaju simetrični riplovi sa zaobljenijim krestama koje nazivamo vrtložnim riplovima (*vortex ripples*).

## 2.6. Strujno-oscilatorni (kombinirani) riplovi

U čisto oscilatornim tokovima nastaju simetrični riplovi širokih korita i uskih kresti, a dodavanjem učinka struje, dolazi do povećanja stupnja asimetrije riplova u smjeru ukupnog toka. Struja može biti toliko slaba da ne može pokupiti i prenositi zrna, a svejedno uzrokovati asimetriju tako što usmjeri čestice koje su već podignute s dna djelovanjem oscilatornog kretanja. Evans (1941) je primjetio da je u vrlo plitkim vodama usporavanje ispod valnog brijega dovoljno da uzrokuje asimetriju riplova, bez utjecaja struje.

Amos et al. (1988) su na Scotian šelfu u Kanadi proučavali nastanak riplova kombiniranim utjecajem valova i struja koristeći multi-instrumentalni sklop *Ralph* koji je 15 dana bilježio uvjete i događaje u vodi dubine 22 metra. Morsko dno je bilo prekriveno dobro sortiranim sitnim pijeskom kojeg su prenosili valovi u periodima intenzivne valne aktivnosti kao i tok plimskih struja. Na snimljenim fotografijama uočeno je osam različitih slojnih formi: valni riplovi, strujni riplovi s ravnim krestama, jezičasti strujni riplovi, strujno-valni riplovi (*wave and current ripples*), prijelazni valni riplovi, prijelazni strujni, biodegradirani slabo razvijeni riplovi te ravan sloj (*flat bed*). Dobro razvijeni riplovi, valni, strujno-valni i strujni se lako međusobno razlikuju, a svaka od ovih slojnih forma je razdvojena prijelaznim tipovima. Primjećena je i jasna razlika između dva tipa strujnih riplova, ravne kreste nastaju pri nižim pritiscima na sloj i u uvjetima niže valne aktivnosti, nego jezičaste. Potvrđeno je da slabo razvijeni riplovi nastaju kao posljedica varijacija u valnoj aktivnosti, nisu prisutni u uvjetima ekstremno niske valne aktivnosti, a raspon uvjeta toka struje tijekom kojih nastaju se povećava s povećanjem valne aktivnosti.

## 2.7. Riplovi zapljuskivanja

Kada val uđe u vrlo plitku vodu, amplituda mu se poveća te se lomi što uzrokuje horizontalno kretanje valova koje možemo uočiti na plažama mora i jezera. Riplovi zapljuskivanja se pojavljuju na dijelu plaže gdje je prisutno zapljuskivanje (*swash*) i povlačenje vode (*back-wash*). Paralelni su međusobno kao i s dužom dimenzijom plaže te imaju širok razmak i vrlo male visine.

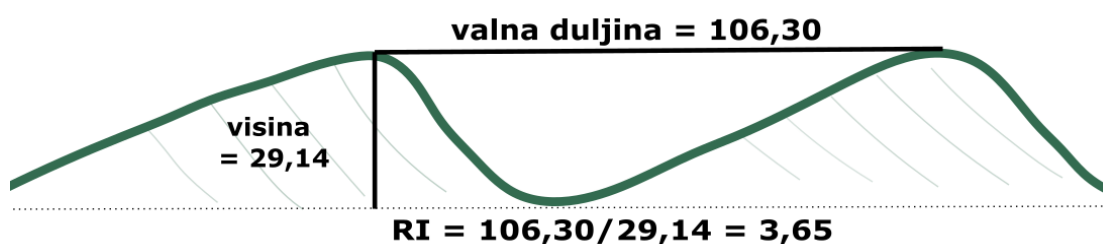
Nastaju alterirajućim kretanjem tankog sloja vode koji stvara dovoljno posmičnog naprezanja za deformaciju površine pijeska u hrptove (*ridges*), a koji nije dovoljno dubok za razvijanje vrtloga.

Dijele se na one djelomično oblikovane hidrauličkim skokom te na one koji nisu oblikovani njime. Hidraulički skok nastaje zbog razlika u dubini vode iznad kreste i iznad korita gdje dolazi do erozije. Obje vrste mogu nastati jednim zapljuskivanjem i povlačenjem vala preko površine pješčane plaže te su simetrični, a razlikuje ih se prema tome što riplovi oblikovani hidrauličkim skokom imaju manji razmak između kresta i veću visinu (Tanner, 1967).

### 3. Indeksi riplova

Indeksi riplova su bezdimenzionalne veličine koje predstavljaju omjer različitih dimenzija riplova, a koriste se za određivanje vrsta riplova pa i taložnog okoliša mjerenjem različitih aspekata geometrije riplova. Osnovni indeksi, koji se relativno lako mogu izmjeriti na poprečnim presjecima, su indeks riplova i indeks simetričnosti riplova, a uz njih postoji još pet dodatnih koje je utvrdio Tanner (1967) proučavanjem mnogih recentnih okoliša u kojima se riplovi pojavljuju. U nastavku ću definirati indekse i njihove raspone koji ukazuju na određenu vrstu i taložni okoliš prema njegovom radu. Vizualni prikazi izračuna indeksa (slike 5-11) su izrađeni u programu Inkscape (1.0.1), vrijednosti duljina su u mjerilu programa i ne predstavljaju stvarne vrijednosti, dok su omjeri (indeksi) izvedeni iz njih u skladu s onima koje bi se dobilo mjerenjem stvarnih duljina na uzorcima.

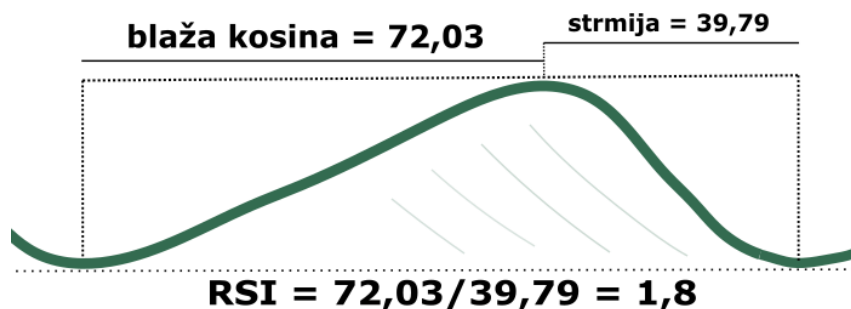
Indeks riplova (RI) je omjer valne duljine i visine (slika 5). Vrijednost do 15 obuhvaća riplove nastale djelovanjem vode, odnosno valne i strujne riplove, a vrijednost veća od 15 ukazuje na eolske. Iznimka su riplovi zapljuskivanja koji su nastali djelovanjem vode, a RI im je uglavnom između 300 i 400. Problem u interpretaciji pomoću ovog indeksa predstavljaju riplovi kojima je visina smanjena. Ona može biti prividno smanjena ako su glina ili sitni silt koji se talože iz vode koncentrirani u koritu, a zapravo smanjena ako je visina kreste promijenjena što je moguće uklanjanjem pijeska s kreste uslijed promjene u režimu toka, djelovanjem kiše koja ju može zaobliti ili raspršiti pijesak te padom razine vode toliko da se vrh kreste ukloni što je vrlo čest proces na plimnim ravninama.



Slika 5: Prikaz izračuna indeksa riplova (RI)

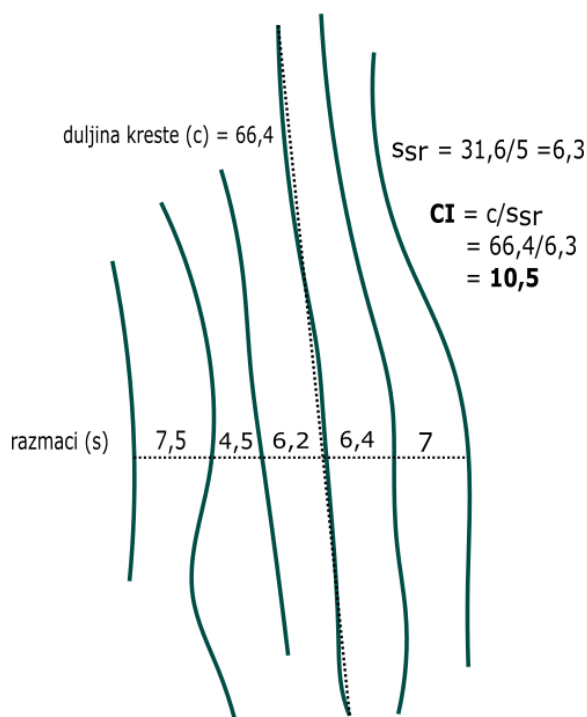
Indeks simetričnosti riplova (RSI) je omjer horizontalne udaljenosti od najviše točke kreste do najniže točke u koritu preko blaže kosine i udaljenosti tih istih točaka, ali preko strmije kosine (slika 6). Vrijednost 1 ukazuje na savršenu simetriju, stoga je i najmanja moguća vrijednost ovog indeksa. Kao i kod indeksa riplova, postoji problem točnog mjerenja u slučaju zapunjenog korita ili uklonjenog vrha kreste. Najmanje vrijednosti imaju valni riplovi i riplovi zapljuskivanja koji se općenito klasificiraju kao simetrični te njihov RSI iznosi manje od 1,5; vrijednost veća od 1 kod njih ukazuje na utjecaj slabe struje i/ili jako

plittke vode. Najveću asimetriju pa i vrijednost indeksa simetričnosti imaju strujni riplovi te ona iznosi više od 4. Vrijednost RSI za eolske riplove iznosi između 2 i 4.



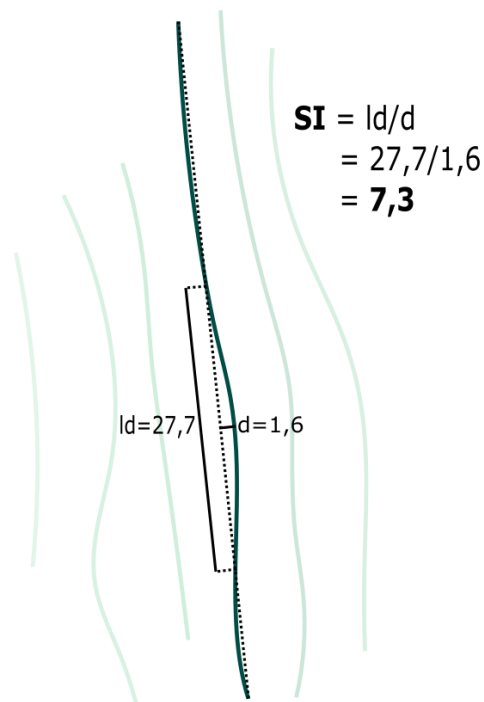
Slika 6: Prikaz izračuna indeksa simetričnosti riplova (RSI)

Indeks kontinuiranosti (CI) je omjer duljine kreste ( $c$ ) i prosječnog razmaka kresti u setu ( $s_{sr}$ ) (slika 7). Kod strujnih riplova, koji imaju kratke kreste, vrijednost indeksa kontinuiranosti je manja od 10, a ako je manja od 4 možemo biti sigurni da se radi o strujnim vrstama. Vrijednost veća od 10 ukazuje na valne riplove, a na eolske veća od 15.



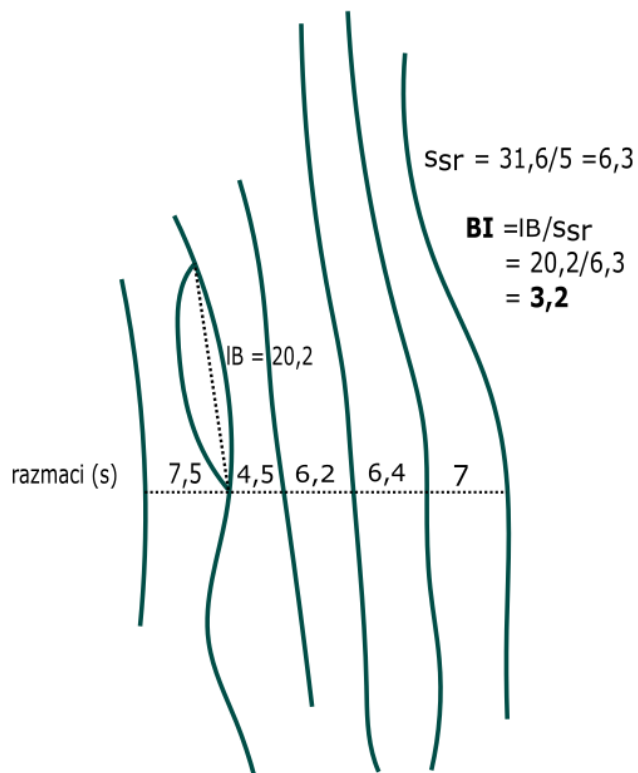
Slika 7: Prikaz izračuna indeksa kontinuiranosti

Indeks ravnoće (SI) je omjer udaljenosti paralelne kresti pri kojoj se uočava zakrivljenost ( $l_d$ ) i odstupanja kreste od ravne linije u toj udaljenosti ( $d$ ) (slika 8). Za strujne riplove iznosi manje od 4. Za riplove koji imaju karakteristične duge kreste ta vrijednost raste, za valne je tipična između 15 i 100, iako može biti i manja. Riplovi zapljuskivanja imaju SI između 9 i 15, a eolski od 15 do više od 100.



Slika 8: Prikaz izračuna indeksa ravnoće

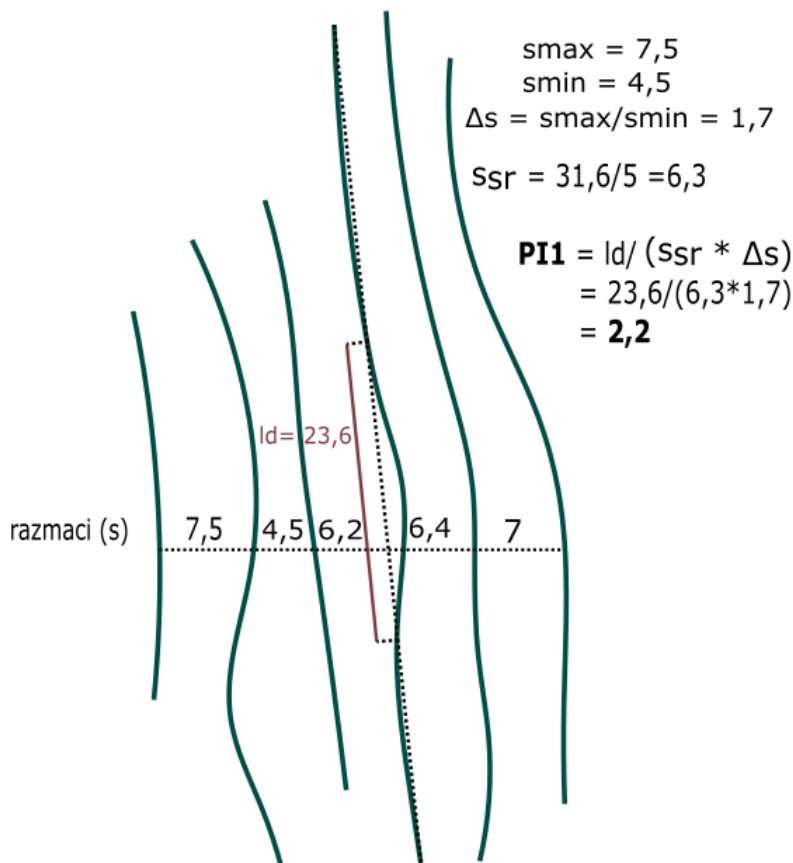
Indeks račvanja (BI) je omjer udaljenosti između dva račvanja duž pojedinačne kreste ( $l_B$ ) prosječnog razmaka kresti u setu ( $s_{sr}$ ) (slika 9). Kreste strujnih riplova se ne račvaju tako da se za njih ne može odrediti ovaj indeks. Za eolske iznosi manje od 1, a za valne više od 6.



Slika 9: Prikaz izračuna indeksa račvanja

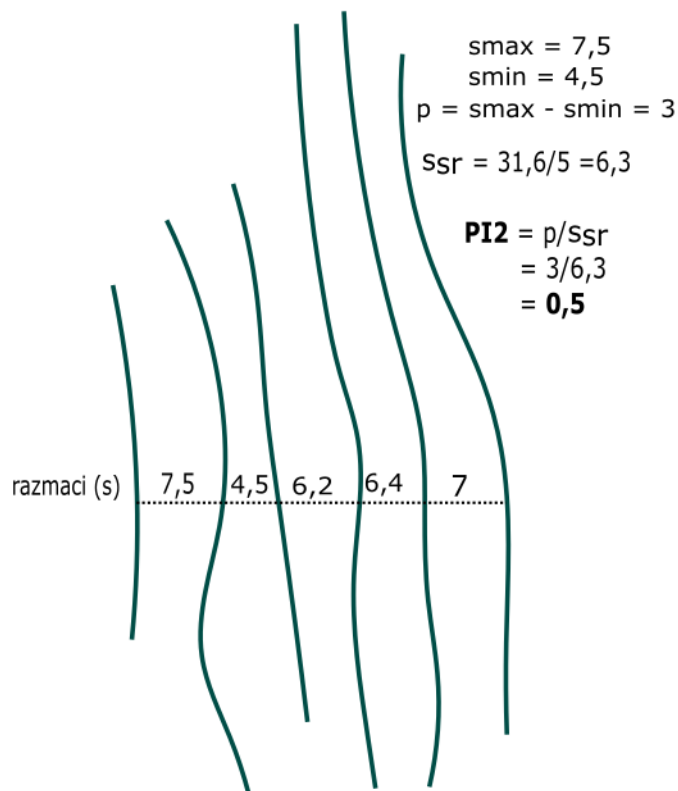


Paralelnost se iskazuje s dva indeksa. Prvi ( $PI_1$ ) je omjer udaljenosti paralelne kresti pri kojoj se uočava zakrivljenost ( $l_d$ ) i prosječnog razmaka kresti u setu ( $s_{sr}$ ) pomnoženog s omjerom najvećeg i najmanjeg razmaka ( $\Delta s$ ) te je on za strujne riplove manji od 1, za eolske i riplove zapljuskivanja između 2 i 7, a za valne veći od 7, iako može biti i manji (slika 10).



Slika 10: Prikaz izračuna prvog indeksa paralelnosti

Drugi indeks paralelnosti ( $PI_2$ ) je omjer razlike maksimalnog i minimalnog razmaka kresti jednog seta ( $p = s_{max} - s_{min}$ ) i prosječnog razmaka kresti u setu ( $s_{sr}$ ) (slika 11). Ako je manji od 0,2 radi se o valnim ili eolskim riplovima, a ako je veći od 0,4 o strujnim ili riplovima zapljuskivanja.



Slika 11: Prikaz izračuna drugog indeksa paralelnosti

Dodatni indeksi imaju rasponne vrijednosti koji mogu biti višeznačni u određivanju vrste riplova, također nije uvijek moguće pribaviti sva potrebna mjerenja, no mogu biti korisni pogotovo kada ih se kombinira. Kombinacijom indeksa riplova i indeksa simetričnosti riplova može se razlikovati eolske od riplova zapljuskivanja. Obje vrste imaju RI veći od 15, dok riplovi zapljuskivanja imaju RSI manji od 1,5, a eolski između 2 i 4. Ako se ovoj kombinaciji dodaju dodatni indeksi, možemo dobro razlikovati strujne od valnih riplova koji oboje imaju RI manji od 15. Ako je indeks simetričnosti manji od 2,5, indeks kontinuiranosti veći od 10, indeks ravnoće veći od 8, prvi indeks paralelnosti veći od 2, a drugi manji od 0,2 možemo biti prilično sigurni da se radi o valnim riplovima. Za strujne riplove će ti isti indeksi iznositi: RSI veći od 3, CI manji od 6, SI manji od 4,  $PI_1$  manji od 1, a  $PI_2$  veći od 0,4. Glavna razlika zbog koje strujni i valni riplovi imaju različita geometrijska obilježja pa time i indekse je u tome što strujni riplovi nastaju djelovanjem malih vrtloga u jednosmjernom toku, a valni, kao i eolski nastaju kratkim smicanjima.

## 4. Analiza fotografija riplova

Fotografije su analizirane u programu Inkscape (1.0.1) koristeći mjerilo programa, odnosno milimetre fotografije. Moguće je mjeriti i u pikselima, no tada bi vrijednosti bile puno veće pa su zbog preglednosti odabrani mm. Izmjerene vrijednosti ne predstavljaju stvarne veličine, no njihovi su omjeri jednaki omjerima koji bi se dobili upotrebom stvarnih.

Cjelovite fotografije s opisom se nalaze u poglavlju Prilozi.

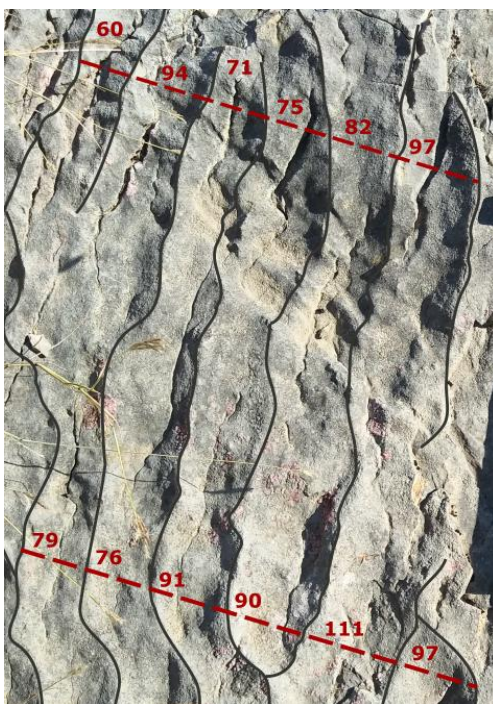
### 4.1. Fotografija 1

Na fotografiji (prilog 1) se uočavaju relativno duge, ravne do sinusoidalne kreste koje se mjestimično račvaju. Iz ove perspektive nije moguće odrediti indeks riplova ni indeks simetričnosti riplova zbog nemjerljive visine, ali je moguće odrediti dodatne indekse te prema njima odrediti vrstu te taložni okoliš.

Za izračun indeksa kontinuiranosti potrebna je duljina kreste (c) koja se s fotografije ne može točno izmjeriti jer je stijena odlomljena, no duljina najduljeg dijela iznosi otprilike 1200. Potrebno je izračunati i prosječan razmak kresti u setu ( $s_{sr}$ ) (slika 12 i tablica 1).

Tablica 1: Izmjerene vrijednosti razmaka i izračunata srednja vrijednost razmaka

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	Ssr
60	94	71	75	82	97	79	76	91	90	111	97	85



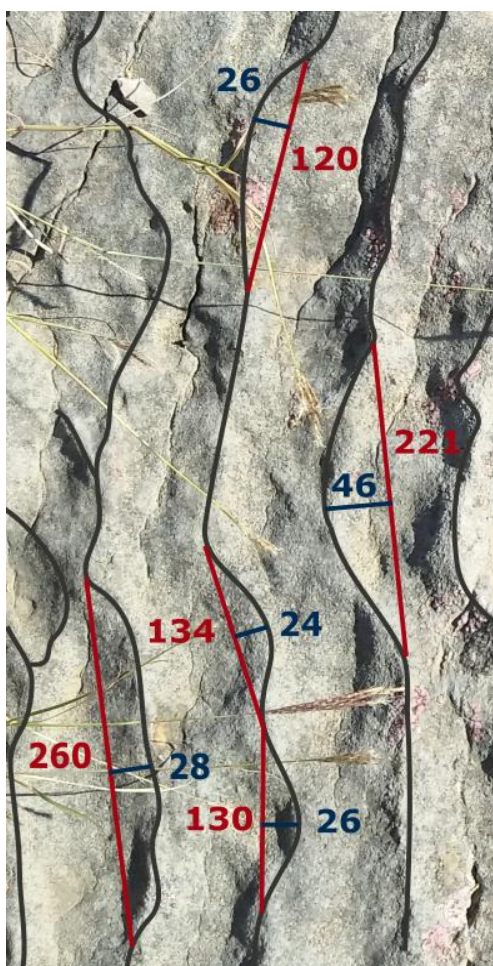
Slika 12: Prikaz mjerenja vrijednosti razmaka

Prema izmjerenim vrijednostima, indeks kontinuiranosti (CI) je 14, iako bi mogao biti i veći da su kreste sačuvane u stijeni cijelom svojom duljinom. Vrijednosti CI veća od 10 upućuje na djelovanje valova.

Indeks ravnoće (SI) je omjer udaljenosti paralelne kresti pri kojoj se uočava zakrivljenost ( $l_d$ ) i odstupanja kreste od ravne linije u toj udaljenosti ( $d$ ). Izmjerene i izračunate vrijednosti (tablica 2 i slika 13) ukazuju na prosječni indeks ravnoće 6. Za valne riplove je karakteristična vrijednost SI veća od 15, a za strujne riplove manja od 4. Izračunati indeks upućuje na nastanak riplova pod kombiniranim utjecajem valova i struje.

Tablica 2: Izmjerene vrijednosti potrebne za izračun indeksa ravnoće

$l_d$	120	221	134	260	130
$d$	26	46	24	28	26
$SI = l_d/d$	4,6	4,8	5,6	9,3	5



Slika 13: Prikaz mjerenja veličina potrebnih za izračun indeksa ravnoće

Za indeks račvanja (BI) potrebna je udaljenost između dva račvanja duž pojedinačne kreste koja se s fotografije ne može izmjeriti. Račvanja su prisutna, no ne duž iste kreste, odnosno duž onih kresti koje se mogu dobro pratiti na fotografiji.

Prvi indeks paralelnosti ( $PI_1$ ) je omjer udaljenosti paralelne kresti pri kojoj se uočava zakrivljenost ( $l_d$ ) i prosječnog razmaka kresti u setu ( $s_{sr}$ ) pomnoženog s omjerom najvećeg i najmanjeg razmaka ( $\Delta s$ ). Vrijednosti  $l_d$  i  $s_{sr}$  su već izračunate za prethodne indekse, a  $\Delta s$  se može izračunati iz mjerenja prethodnih indeksa (tablica 3). Vrijednosti manje od 1 upućuju na strujne riplove, a vrijednosti veće od 7 na valne riplove. Udaljenosti paralelne krestama pri kojima se uočavaju zakrivljenosti su relativno male što uzrokuje manji prvi indeks paralelnosti te bi se navedeno moglo pripisati utjecaju struje na nastanak kombiniranih riplova.

Tablica 3: Izračun prvog indeksa paralelnosti

$l_d$	120	221	134	260	130
$s_{sr}$	85	85	85	85	85
$\Delta s = s_{max}/s_{min}$	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
$PI_1 = l_d / (s_{sr} * \Delta s)$	0,7	1,4	0,8	1,6	0,8

Drugi indeks paralelnosti ( $PI_2$ ) je omjer razlike maksimalnog i minimalnog razmaka kresti jednog seta ( $p$ ) i prosječnog razmaka kresti u setu ( $s_{sr}$ ). Vrijednosti manje od 0,2 upućuju na valne ili eolske riplove, a veće od 0,4 na strujne ili riplove zapljuskivanja. Dobivena vrijednost  $PI_2$  (tablica 4) također upućuje na djelovanje struje.

Tablica 4: Izračun drugog indeksa paralelnosti

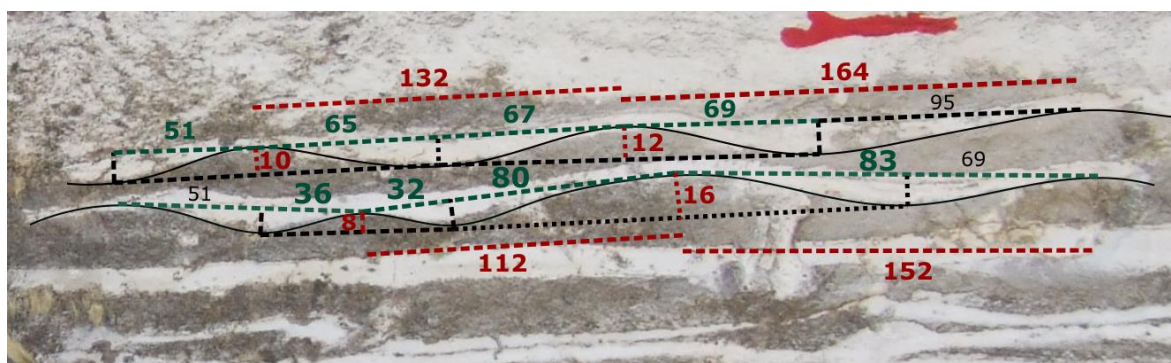
$p = s_{max} - s_{min}$	51
$s_{sr}$	85
$PI_2$	0,6

Kada bi se moglo mjeriti ove riplove iz profila, mogli bi se izračunati indeks simetričnosti i indeks riplova. Prema fotografiji, riplovi izgledaju djelomično simetrično, a indeks riplova ne bi vjerojatno bio veći od 15 jer su razmaci, odnosno valne duljine relativno male.

Izračunati dodatni indeksi definitivno upućuju na utjecaj struje pri nastanku ovih riplova, dok su kreste relativno duge i račvaju se pa se ne može reći da se radi samo u djelovanju struje nego i o djelovanju valova te bi se ovi riplovi zato mogli odrediti kao strujno-oscilatorni (kombinirani) riplovi.

## 4.2. Fotografija 2

Na fotografiji (prilog 2) primjećuje se izmjena svjetlijih i tamnijih lamina. Svjetlije lamine su sačinjene od sitnijih čestica u usporedbi s tamnijim, odnosno radi se o izmjeni kalklutita i kalkarenita. Riplovi su prisutni kao taložne teksture kalkarenita, no nisu dobro sačuvani, a u većini lamina nisu ni prisutni. Iz poprečnog presjeka riplova nije moguće izračunati dodatne indekse, ali je moguće izračunati indeks riplova (RI) i indeks simetričnosti riplova (RSI) (slika 14 i tablica 5). Provedena mjerenja nisu u potpunosti vjerodostojna jer geometrija riplova nije u potpunosti sačuvana što je vidljivo iz značajno različitih visina pojedinih riplova kao i neobičnog zadnjeg mjerenja (tablica 5) koje prema odnosu duljine priklone i zaklone strane upućuje na smjer toka s desna na lijevo dok ostali riplovi ukazuju suprotno. Ovakvi riplovi se unatoč tome ne mogu koristiti za određivanje smjera paleotransporta. Moguće je da su ovo izgledniji riplovi koji su nastali migracijom riplova u uvjetima konstantne količine pijeska, odnosno kada je količina erodiranog pijeska u koritima bila jednaka količini koja je dodavana na krestu te su se sačuvali samo kada su bili prekriveni sitnijim česticama kalklutita bez da im se značajno poremetio oblik.



Slika 14: Prikaz izračuna indeksa riplova (crveno) i indeksa simetričnosti (zeleno)

Tablica 5: Izračun indeksa riplova (RI) i indeksa simetričnosti riplova (RSI)

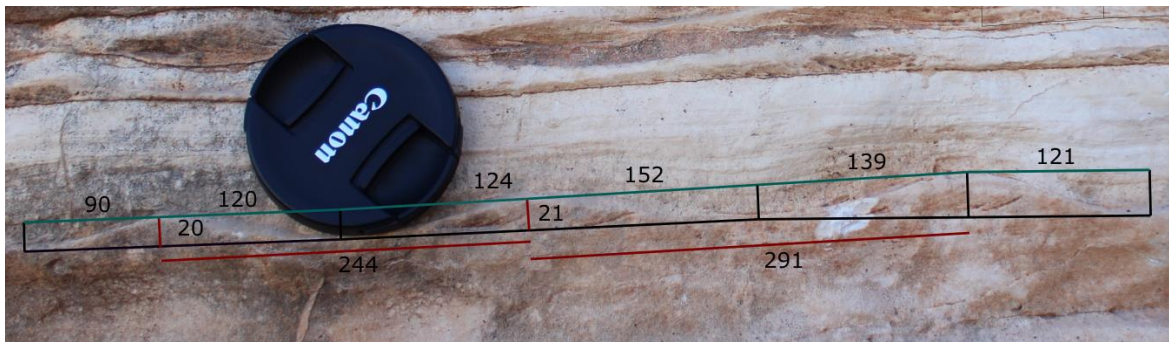
valna duljina	132	164	112	152	priklona strana	69	65	83	32
visina	10	12	8	16	zaklona strana	67	51	80	36
RI	13,2	13,7	14	9,5	RSI	1,03	1,3	1,04	0,9?

Vrijednosti indeksa riplova upućuju na riplove nastale djelovanjem vode, valne i strujne riplove. Valni riplovi imaju  $RSI = 1$  koji predstavlja savršenu simetriju, odnosno jednake priklone i zaklone strane, a vrijednost veća od 1 ukazuje na utjecaj neke struje. RSI strujnih riplova je 4 i više. S obzirom na navedeno, ovi riplovi su vjerojatno nastali kombiniranim djelovanjem valova i struje, no ta struja nije donosila značajnu količinu materijala da bi nastala kosa laminacija nego su nastali izgledniji riplovi.

### 4.3. Fotografija 3

Na fotografiji (prilog 3) primjećuju se slojevi kalkarenita narančaste boje te svijetli slojevi kalklutita. Riplovi se nalaze kao taložne teksture gornje slojne plohe kalkarenita, a prisutne su tri različite vrste riplova.

Riplovi koji se nalaze najniže na izdanku imaju indeks riplova manji od 15 što upućuje na strujne ili valne riplove te indeks simetričnosti malo veći od 1 što ukazuje na kombinirani utjecaj valova i struje (slika 15 i tablica 6).



Slika 15: Prikaz izračuna indeksa riplova i indeksa simetričnosti za prve riplove

Tablica 6: Izračun indeksa riplova i indeksa simetričnosti za prve riplovi

valna duljina	244	291	priklova strana	121	152	120
visina	20	21	zaklona strana	139	124	90
RI	12,2	13,9	RSI	0,9?	1,2	1,3

Sljedeći riplovi imaju  $RI = 19$ , a  $RSI = 1,9$  te bi se prema navedenim vrijednostima trebalo raditi o eolskim riplovima, s obzirom da geometrija nije jasno vidljiva, ne treba se pouzdati u ovo određivanje. Riplovi su loše sačuvani, a možda i slabo razvijeni, uočava se veći stupanj asimetrije od prethodnih te relativno velike valne duljine. Moguće je da su nastali u razdoblju smanjene valne aktivnosti kombiniranim djelovanjem struje i valova. Struja koja je uzrokovala njihov nastanak nije donosila puno materijala pa bi se i njih moglo nazvati izglednijim riplovima (slika 16).



Slika 16: Loše sačuvani riplovi relativno velikih valnih duljina

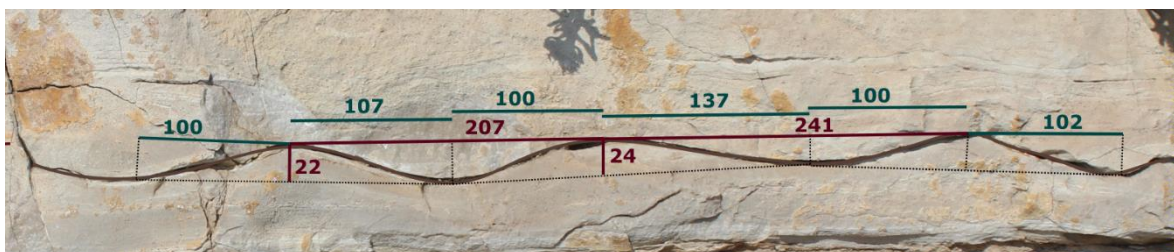
Treća vrsta su penjajući riplovi (slika 17). Sačuvane su samo lamine zaklone strane, a kut penjanja iznosi  $10^\circ$  pa ih se može definirati kao priklono-erozijski tip A koji nastaje kada je brzina taloženja manja od brzine migracije riplova. Pri vrhu je prisutna i zavjesasta laminacija nastala kontinuiranim taloženjem sedimenta iz suspenzije pri završetku migracije riplova. Iz ovakvih riplova se može odrediti smjer toka i to s lijeva na desno.



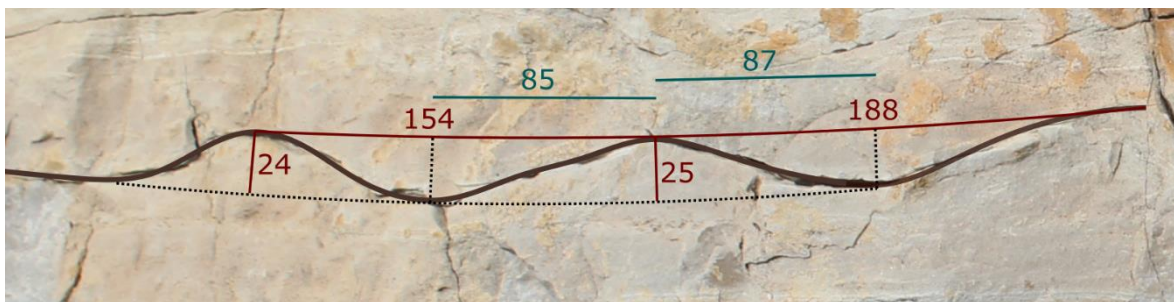
Slika 17: Penjajući riplovi tipa A

#### 4.4. Fotografija 4

Na fotografiji (prilog 4) se može primjetiti slojna ploha s riplovima u karbonatnoj stijeni, kalkarenitu. Moguće je izračunati indeks riplova i indeks simetričnosti (slika 18 i 19).



Slika 18: Prikaz izračuna indeksa riplova i indeksa simetričnosti



Slika 19: Prikaz izračuna indeksa riplova i indeksa simetričnosti

Izračunati indeksi (tablica 7) ukazuju na riplove nastale kombiniranim utjecajem valova i struje. Iako se vrijednosti više približuju onima karakterističnima za valne riplove, siguran je i utjecaj struje.

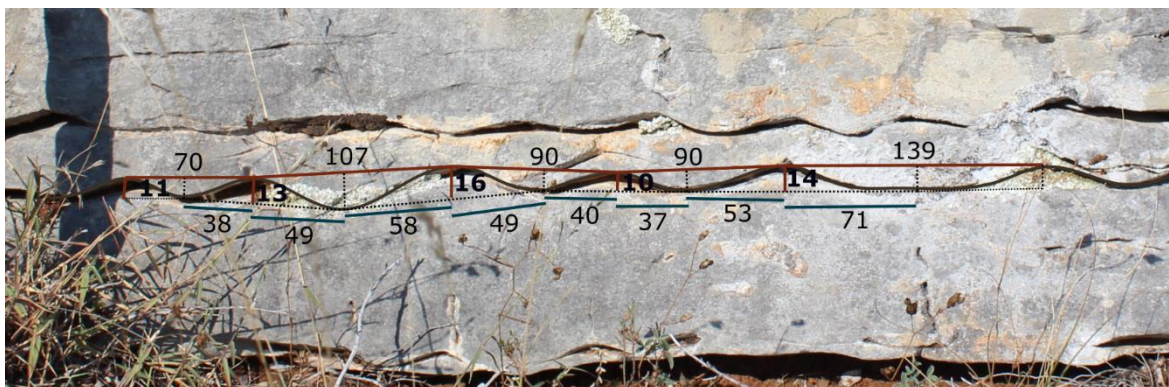


Tablica 7: Izračun indeksa riplova i indeksa simetričnosti

valna duljina	207	241	154	188	priklona strana	102	137	107	87
visina	22	24	24	25	zaklona strana	100	100	100	85
RI	9	10	6	7,5	RSI	1,02	1,37	1,07	1,02

#### 4.5. Fotografija 5

Na fotografiji (prilog 5) se nalazi kalkarenit s riplovima. Jasno je vidljivo da je litifikacijom naslaga izvorna geometrija riplova narušena (slika 20) pa izračunati indeksi (tablica 8) nisu jednaki onima koji bi se dobili mjerenjem riplova neposredno nakon njihova nastanka. Unatoč tome, vrijednosti indeksa ukazuju na riplove nastale djelovanjem vode zbog indeksa riplova koji je manji od 15, a indeks simetričnosti ukazuje na djelovanje valova uz utjecaj struje te se ovdje radi o strujno-oscilatornim (kombiniranim) riplovima.



Slika 20: Prikaz izračuna indeksa riplova i indeksa simetričnosti

Tablica 8: Izračun indeksa riplova i indeksa simetričnosti

valna duljina	70	107	90	90	139	priklona strana	71	40	58	49
visina	11	13	16	10	14	zaklona strana	53	37	49	38
RI	6	8	6	9	10	RSI	1,3	1,1	1,2	1,3

## 5. Zaključak

Dobro poznate karakteristike pojedinih vrsta riplova poput simetrije valnih i asimetrije strujnih, dugih ravnih kresta ili kratkih, jezičastih te specifične laminacije se mogu činiti dovoljnima za razlikovanje, što i je tako ako proučavamo recentne ili jako dobro sačuvane litificirane uzorke. No, riplovi koje pronalazimo u stijenama često ne otkrivaju sve značajke koje su nam potrebne, već su promijenjeni što zbog nedovoljno dobrog sačuvanja što zbog kasnijih procesa koji su utjecali na stijenu. Upotrebom indeksa riplova možemo značajno jednostavnije odrediti o kojoj se vrsti radi. Ako imamo poprečni presjek riplova, koristit ćemo indeks riplova i indeks simetričnosti, a ako imamo pristup pogledu odozgo na kreste možemo koristiti i dodatne indekse koji će potvrditi odredbu. Korištenjem različitih indeksa riplova za analizu fotografija dobiveni su rezultati koji upućuju na strujno-oscilatorne (kombinirane) riplove koji odgovaraju marinskim taložnim uvjetima pri kojima je nastao dio Prominskih naslaga u kojima se nalaze analizirani riplovi.

Određivanje vrste riplova je ključno u paleointerpretaciji. Različite vrste daju različite informacije koje mogu potvrditi ili usmjeriti analizu na taložne uvjete u kojima su nastali. Analizom asimetričnih riplova možemo odrediti smjer toka, odnosno paleotransporta, a analizom simetričnih, orijentaciju valova koji su ih stvorili te pravac paleotransporta. Pri odredbi smjera toka treba obratiti pozornost na asimetriju valnih riplova iz kojih se smjer ne može odrediti. Pravac paleotransporta, odnosno dolaska valova također nije potpuno pouzdan jer nije nužno da su kreste valnih riplova paralelne valovima koji su ih stvorili (Tanner, 1967). Zato je uobičajeno da se za određivanje regionalnog smjera paleotransporta koristi više izvora, od kojih su riplovi samo jedan.

## 6. Literatura

Allen, J.R.L. (1971): A theoretical and experimental study of climbing-ripple cross-lamination, with a field application to the Uppsala esker. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 53, 157–187.

Allen, J.R.L. (1973): A classification of climbing-ripple cross lamination. *Journal of the Geological Society*, 129, 537–541.

Amos, C.L., Bowen, A.J., Huntley, D.A. i Lewis, C.F.M. (1988): Ripple generation under the combined influences of waves and current on the Canadian continental shelf. *Continental Shelf Research*, 8(10), 1129–1153.

Ashley, G.M., Southard, J.B. i Boothroyd, J.C. (1982): Deposition of climbing-ripple beds: a flume simulation. *Sedimentology*, 29, 67–79.

Baas, J.H. i Oost, A.P. (1994): The development of small scale bedforms in tidal environments: an empirical model for unsteady flow and its applications. *Sedimentology*, 41, 883–903.

Evans, O.F. (1941): The classification of wave-formed ripple marks. *Journal of Sedimentary Petrology*, 11, 37–41.

Kovačić, M., Marković, F. (2016): *Petrologija sedimenata* (skripta), 156 str.

Nichols, G. (2009): *Sedimentology and stratigraphy* str. 44-68. Wiley-Blackwell, 419. str.

Tanner, W.F. (1963): Origin and maintenance of ripple marks. *Sedimentology*, 2, 307–311.

Tanner, W.F. (1967): Ripple mark indices and their uses. *Sedimentology*, 9, 89–104.

Tucker, M.E. (2001): *Sedimentary Petrology*. Blackwell Sci. Publ, Oxford, 261 str. prijevod

Medunić, G. (2008): *Petrologija sedimenata*. AZP Grafis, Samobor, 261 str.

Internet izvori:

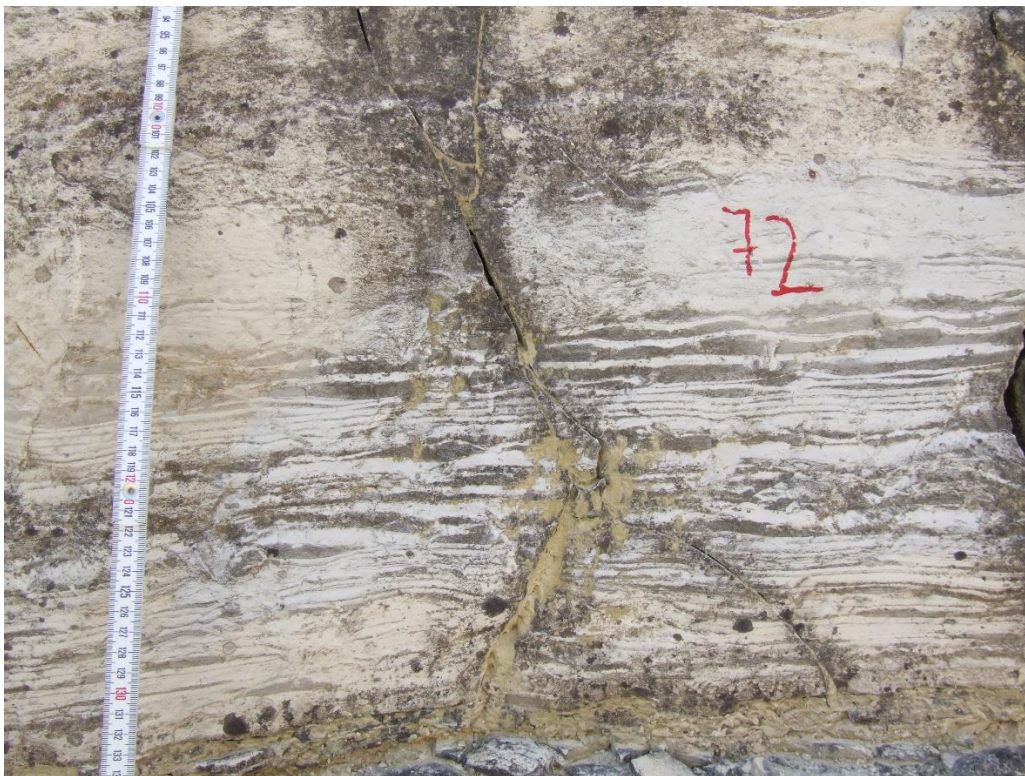
<https://slideplayer.com/slide/5257263/16/images/21/Ripple+marks> (18.09.2020.)

## 7. Prilozi

PRILOG 1: Kreste riplova na gornjoj slojnoj plohi kalkarenita. Prominske naslage, lokalitet Šuše (foto: K. Gobo).



PRILOG 2: Izmjene kalklutita i kalkarenita s vidljivim riplovima. Prominske naslage, lokalitet manastir Krka (foto: E. Mrinjek).



PRILOG 3: Izmjene kalklutita i kalkarenita s tri vrste riplova. Prominske naslage, Benkovački kamen (foto: K. Gobo).



PRILOG 4: Kalkrarenit s riplovima u bottomsetu Gilbertove delte. Prominske naslage, lokalitet Karin (foto: K. Gobo).



PRILOG 5: Kalkrarenit s riplovima u naslagama plitkovodne delte. Prominske naslage, lokalitet Karin (foto: K. Gobo).

