



Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO
GEOLOŠKO
NAFTNI FAKULTET



STRUKTURNA GEOMORFOLOGIJA

Bruno Tomljenović

*Geomorfološki
markeri*

GEOMORFOLOŠKI MARKERI

Da bi kvantitativno odredili veličinu deformacije u nekom dijelu Zemljine kore nastalu tektonskim pokretima, ili da bi odredili veličinu vektora pomaka na rasjedima, odredili veličinu tektonskog i/ili izostatskog izdizanja ili spuštanja i sl., koristimo se različitim geomorfološkim markerima.

Drugim riječima, geomorfološki markeri predstavljaju prepoznatljive geološke i morfološke tvorevine koje se koriste kao referentni horizonti podobni za procjenu relativnih i apsolutnih vrijednosti vektora pomaka i deformacije u Zemljinoj kori.

Najbolji i najčešće korišteni geomorfološki markeri su geološke i morfološke tvorevine koje posjeduju sljedeće karakteristike:

- Primarni oblik im je dobro poznat i lako prepoznatljiv;
- Poznate su starosti;
- Nakon postanka mogu se očuvati kroz dulji vremenski period.

S obzirom na postanak razlikuju se marinski, jezerski, riječni i kopneni geomorfološki markeri.



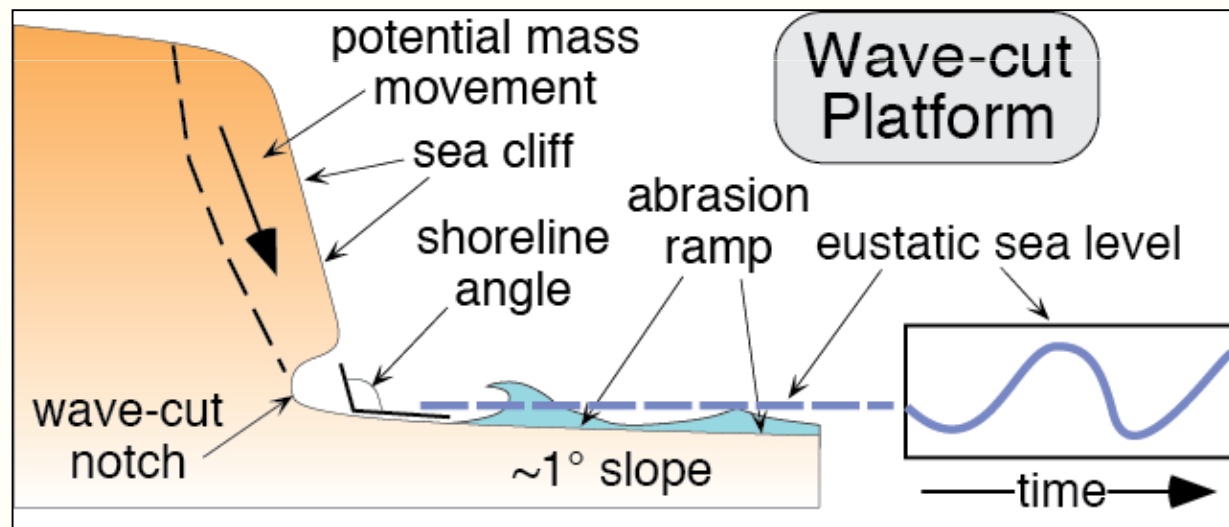
MARINSKI GEOMORFOLOŠKI MARKERI

□ Abrazijske terase

Ovaj tip marinskih teresa nastaje kao posljedica neprestanog erozijskog (abrazijskog) djelovanja valova na obalu.

- **Abrazijska terasa (A. rampa; engl. abrasion ramp):** predstavlja zaravnjeni, tijekom plime potopljeni dio obale, nagnut prema moru (oceanu) pod kutom od oko 1° . Stjenski materijal koji nastaje trošenjem uz obalu prenosi se po abrazijskim terasama od obale u dublje područje i to putem valova.

Na taj način, maksimalna dubina do koje je moguće formiranje ovih terasa ne prelazi ispod baze valova, što je u prosjeku do dubine oko 10 m (uz kut nagiba oko 1° maksimalna širina terasa je do 500 m).



(Iz Burbank & Anderson, 2012)





(Iz Burbank & Anderson, 2012)



- **Obalni klif ili obalni strmac (engl. sea cliff):** predstavlja strmi dio obale nastao abrazijom valova. Do formiranja klifova dolazi na obalama izgrađenim od kompaktnih (čvrstih) stijena, a kut nagiba klifa ovisi o čvrstoći i koheziji obalnih stijena.



http://en.wikipedia.org/wiki/Wave_cut_platform



□ Obalni strmac prema Juračić (2008)

- Obalni strmci nastali abrazijom valova ispred kojih se nalaze abrazijske i/ili taložne marinske terase su obalni klifovi. U slučaju strmih obala i kamenih litica ispred kojih nema abrazijske ni taložne terase (npr. južna obala Dugog Otoka na desnoj slici) autor koristi pojam **“tektonski oblikovani strmac”** ili **“strukturni strmac”** i ne smatra ih klifovima.

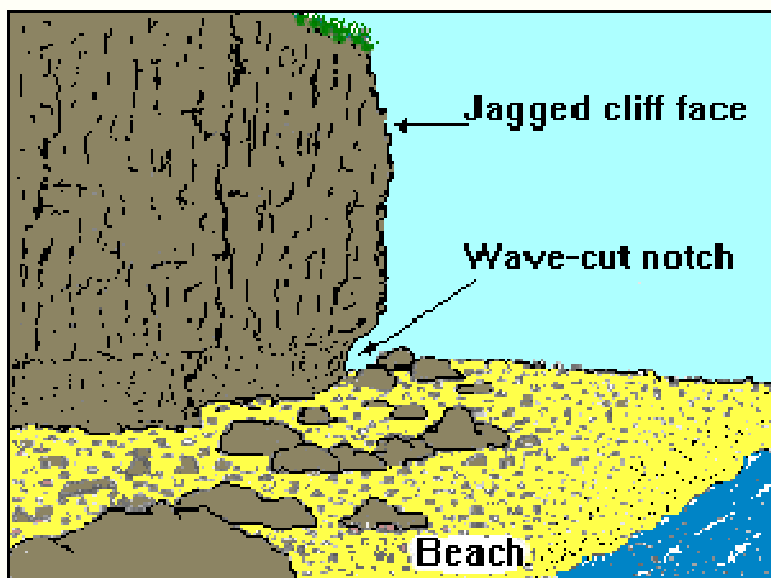
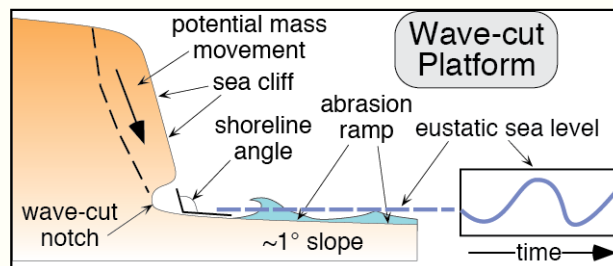
Obalni strmci

- Jesu li obalni strmci koje nalazimo na karbonatnoj jadranskoj obali (Krk, Dugi otok, Kornati) klifovi?
- Nisu. To su tektonski oblikovani strmci.
- Nema abrazijske i akumulacijske terase.



(Iz Juračić, 2008)

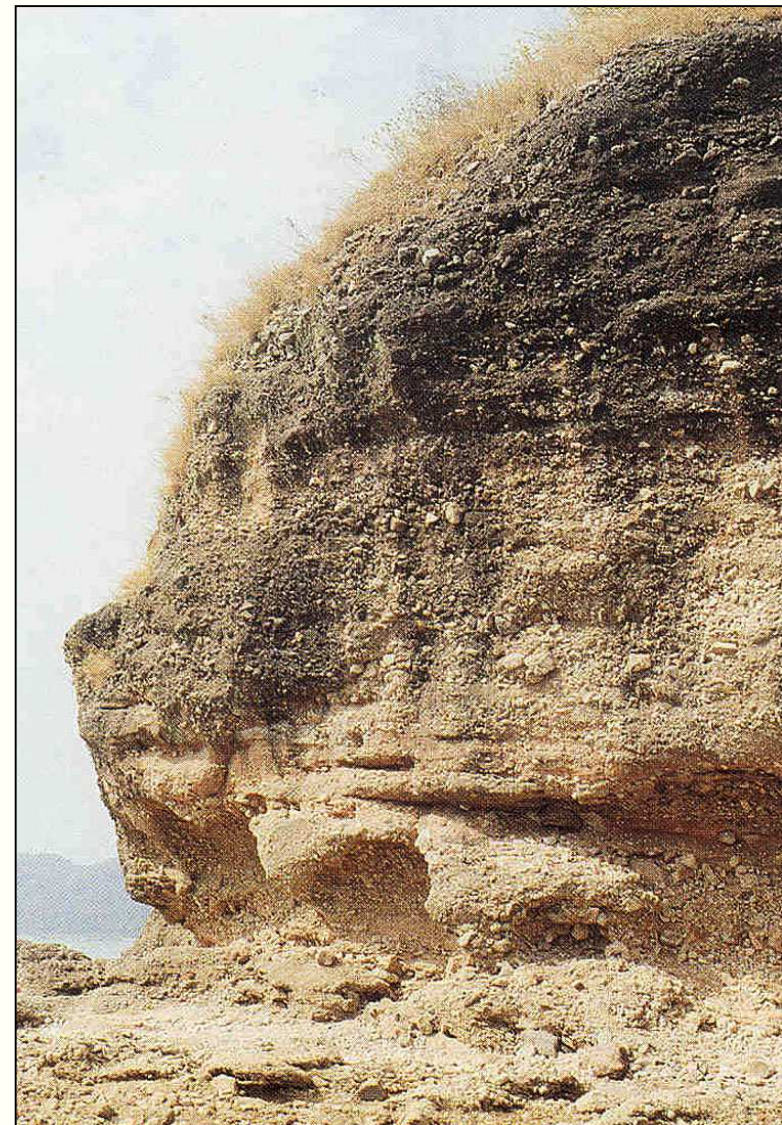
- **Valna potkapina (engl. wave-cut notch)** je konkavno udubljenje u bazi obalnog klifa nastalo abrazijom valova. Napredovanje valne potkapine dublje u obalne stijene dovodi do migracije ruba abrazijske terase prema kopnu. Taj proces dovodi i do sloma obalnog strmca čime obala postupno napreduje prema kopnu.



http://en.wikipedia.org/wiki/Wave_cut_platform

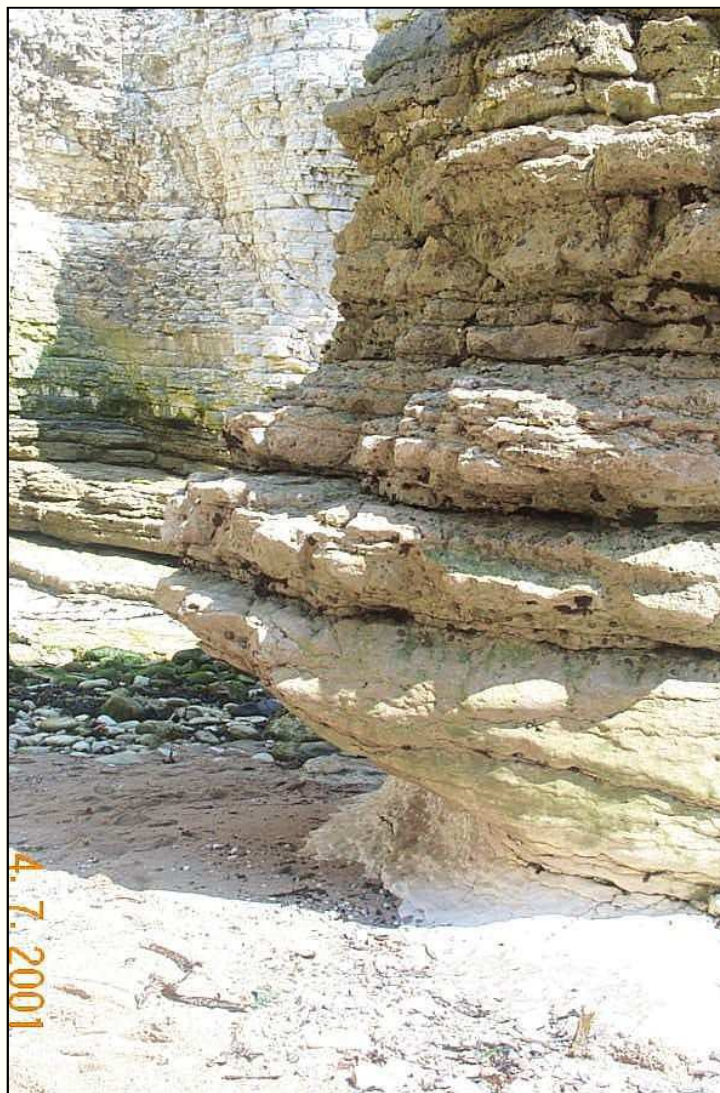


Valne potkapine na taj način predstavljaju geomorfološke markere koji vrlo precizno markiraju lokalnu razinu mora u vrijeme njihova stvaranja.



http://en.wikipedia.org/wiki/Wave_cut_platform





http://en.wikipedia.org/wiki/Wave_cut_platform



□ Plimne potkapina (engl. tidal notch)

- **Plimske potkapine** vezane su za proces brze biokorozije sinergističkim djelovanjem endolitskih algi koje žive u litoralu (zona između visoke i niske vode) i puževa koji se njima hrane.
- Također i biogeni imprinti tj. bušenja litoralnih organizama (prstaci).



(Iz Juračić, 2008)

□ Plimne potkapine

Položaj plimskih potkapina

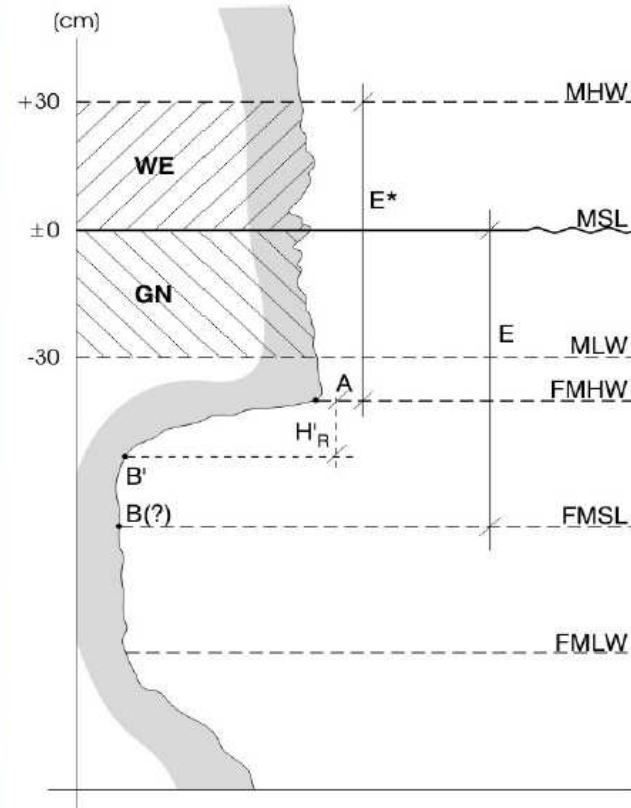
- Fosilizirane plimske potkapine nalazimo iznad i ispod morske razine
- Datiranje erozijskih formi vrlo je teško!
- Na karbonatnim obalama su najbolji indikator relativne promjene morske razine

Prema Laborel & Laborel-Deguen, 1994

(Iz Juračić, 2008)



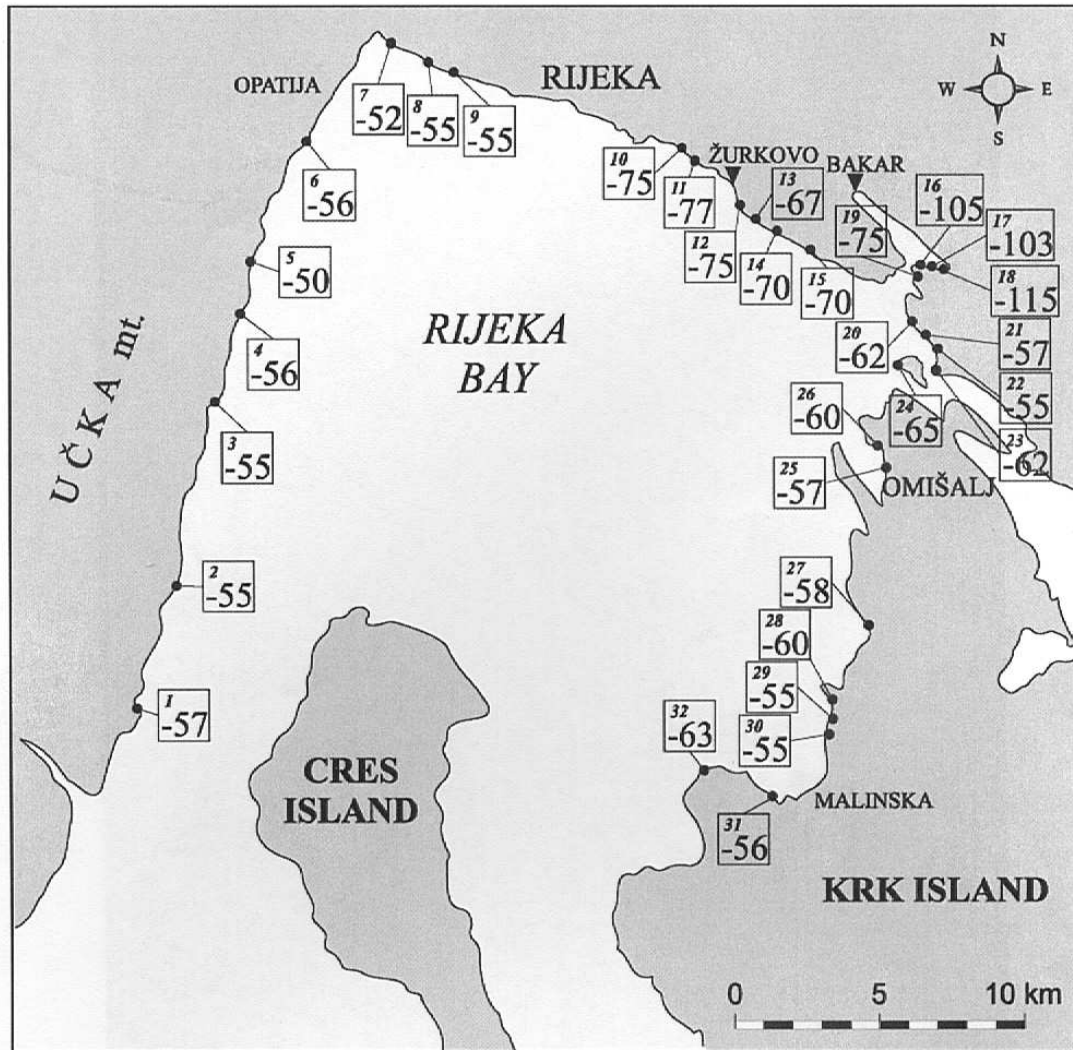
□ Plimne potkapine



Položaj fosilne plimske potkapine u Kvarneru je npr. na dubini 50 -100 cm ispod današnje morske razine.
(Iz Juračić, 2008)



□ Plimne potkapine



Položaj i dubina (u cm) plimnih potkapina uz obalu Riječkog zaljeva (Iz Benac et al., 2004).

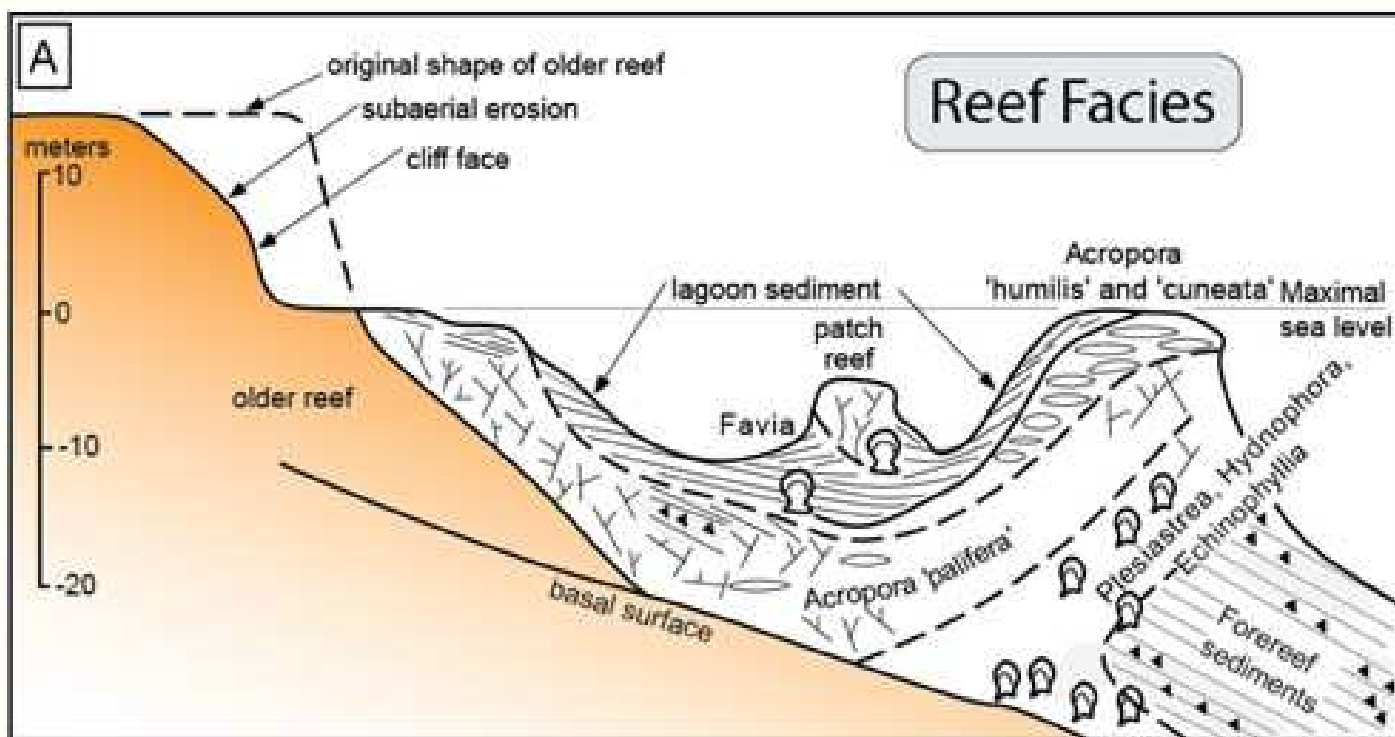
Zadatak:

**Pročitaj članak Benac et al. (2004)!
Razmisli o mogućim razlozima današnjeg položaja plimnih potkapina u Riječkom zaljevu !!!**



□ Konstruktivne marinske terase - koraljni grebeni

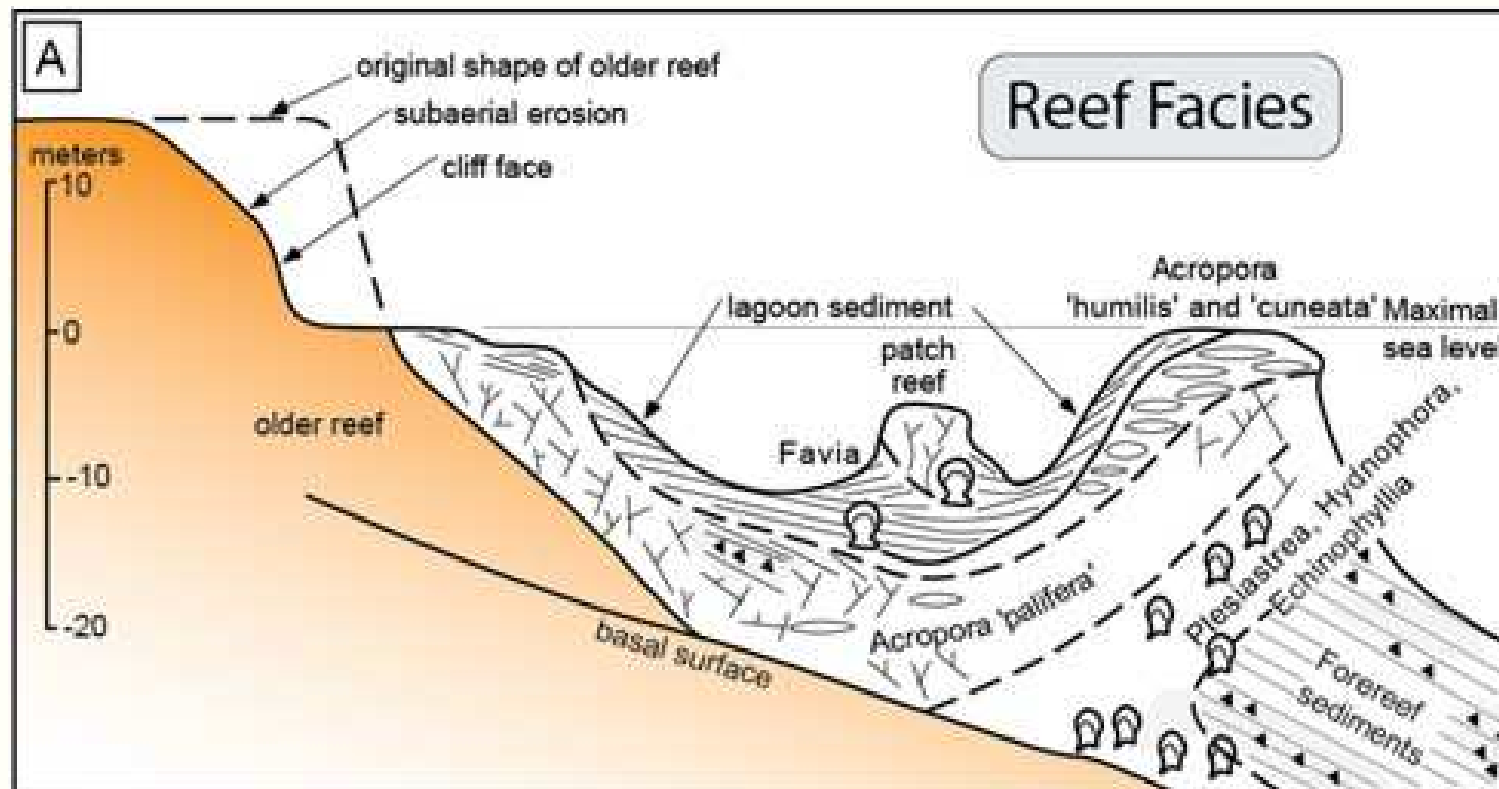
- Koraljni grebeni nastaju u području litorala gdje postoje povoljni uvjeti za rast koralja i koralinacejskih algi (tipični uvjeti: temperatura mora koja se zimi ne spušta ispod 18 °C, čisto more koje dozvoljava prolaz svjetla nužnog za fotosintezu te normalan salinitet).



Idealizirani prikaz geomatrije i rasporeda facijesa koraljnog grebena (Iz Burbank & Anderson, 2012).



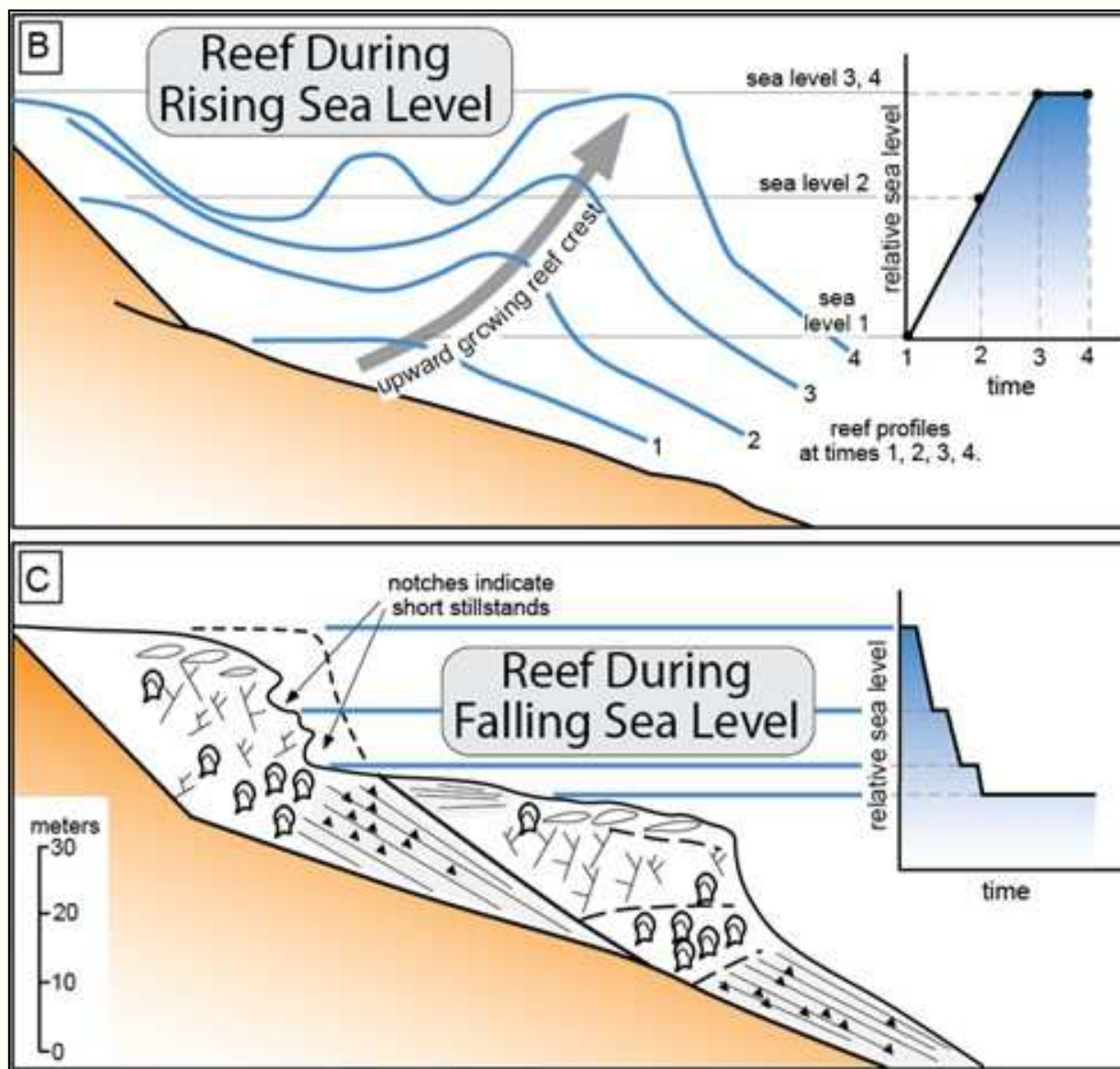
U povoljnim uvjetima koraljni grebeni napreduju i u vertikalnom i u horizontalnom smjeru (tj. prema morskoj površini i lateralno gdje ima slobodnog prostora), često i brzinom većom od 10 cm/god. U slučaju stabilne razine mora kroz dulje vrijeme rast grebena prema površini prestaje, grebeni se šire lateralno i na taj način čine konstruktivne marinske terase koje su markeri razine mora u tom vremenu.



(Iz Burbank & Anderson, 2001).

Relativnim podizanjem morske razine rast grebena se nastavlja, a relativnim spuštanjem morske razine dolazi do djelomične abrazije i erozije grebena, uz moguće formiranje novog grebena smještenog u predgrebenskoj zoni starijeg, do tad aktivnog grebena.

Idealizirani profil koraljnog grebena koji prikazuje trend rasta grebena u odnosu na relativnu promjenu razine mora
(Iz Burbank & Anderson, 2012).



Prema tome, koraljni grebeni mogu formirati konstruktivne marinske terase jedino tijekom perioda stabilne morske razine, odnosno za vrijeme kada postoje dugotrajni, povoljni uvjeti za lateralno širenje grebena, što uz abrazijsko djelovanje valova rezultira **grebenskom tvorevinom u obliku terase**.

Grebenske terase su dobar geomorfološki marker, jer im se može pouzdano i jednostavno odrediti starost, a u odnosu na druge markere u pravilu su i trajniji.

Treba napomenuti da svi opisani marinski geomorfološki markeri, na mjestu gdje ih danas nalazimo, označavaju **relativnu promjenu morske razine** od vremena njihova postanka.



Relativna promjena morske razine (RMR) dijelom je rezultat stvarne promjene morske razine (SMR), ali moguće i prividne promjene morske razine (PMR).

$$\text{RMR} = \text{SMR} + \text{PMR}$$

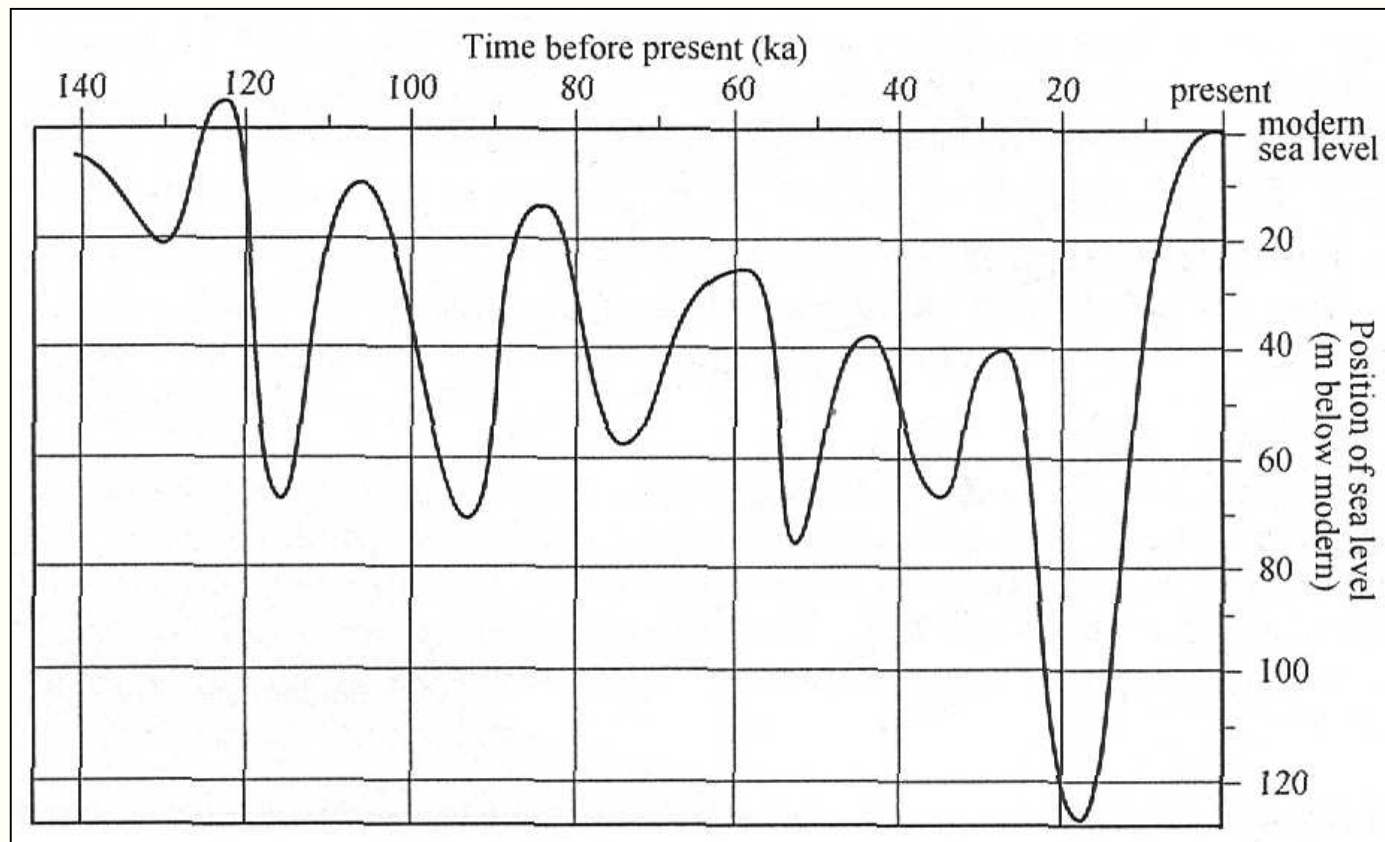
Stvarna (apsolutna) promjena morske razine posljedica je eustatske (globalne promjene razine mora koja je u pravilu u vezi s izmjenom glacijalnih i interglacijalnih razdoblja.

Prividna promjena morske razine posljedica je tektonskog izdizanja ili spuštanja obale i priobalnog dijela kopna.



□ Eustatska promjena razine mora

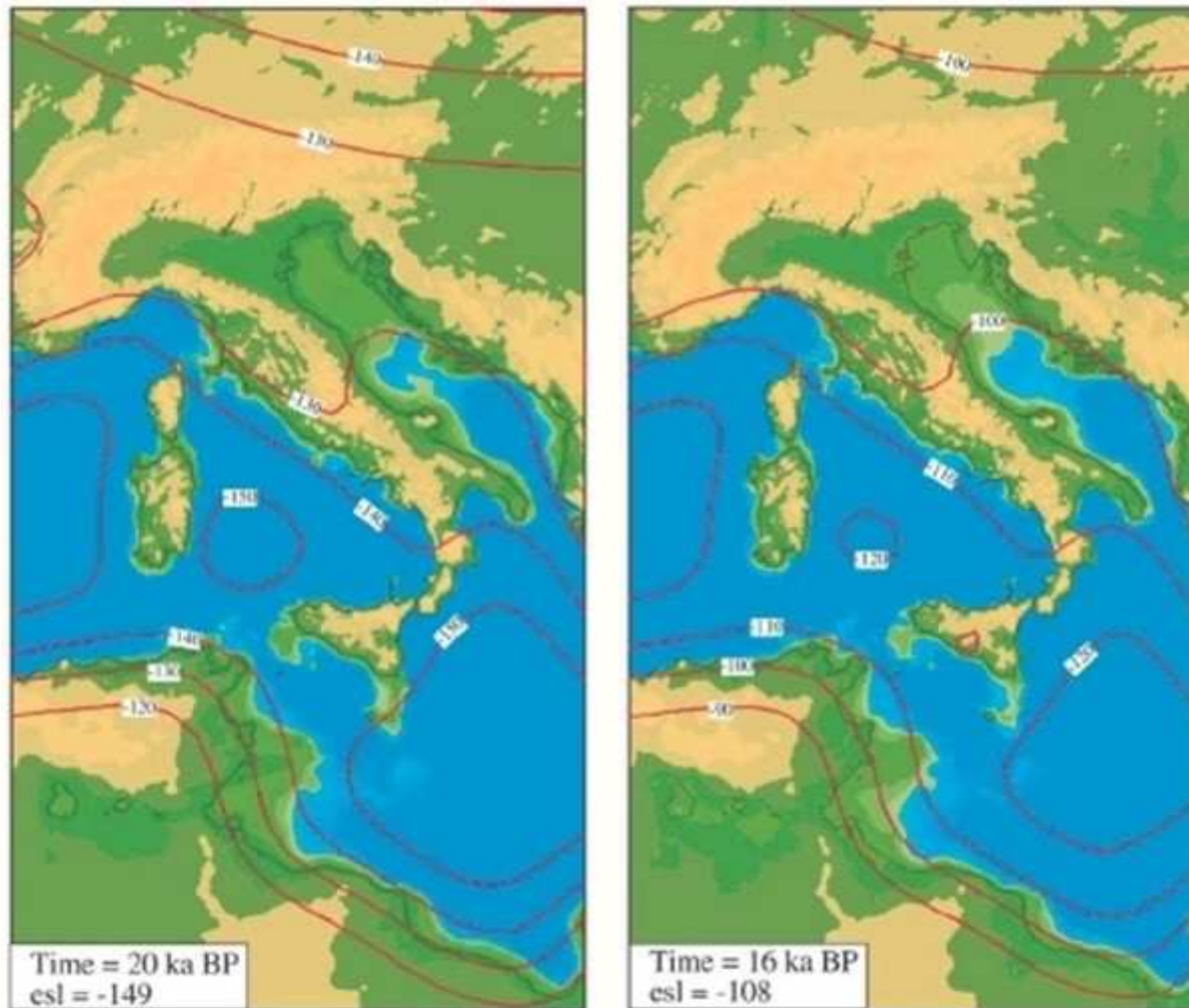
Globalna ili eustatska promjena morske razine je tijekom pleistocena bila u izravnoj vezi s promjenom volumena ledenog pokrivača na Zemlji. Tako je npr. prije svega 18.000 godina globalna razina mora bila za oko 130 m niža u odnosu na današnju razinu.



Globalna promjena razine mora tijekom zadnjih 140.000 godina (iz Keller & Pinter, 2002).



Globalna promjena morske razine tijekom pleistocena i holocena imala je važan utjecaj na paleogeografiju i režim taloženja u Jadranskom moru.



Paleogeografska rekonstrukcija središnjeg dijela Sredozemlja tijekom pleistocena (iz Lambeck et al., 2004). Crvene izolinije označavaju promjenu u razini mora.





Paleogeografska
rekonstrukcija
središnjeg dijela
Sredozemlja
tijekom pleistocena
(iz Lambeck et al.,
2004). Crvene
izolinije označavaju
promjenu u razini
mora.



Vježba 4. Zadatak uz članak Babić et al., 2012!



Figure 5: Poor bedding in conglomerates. Long diameter of the boulder to the right is 40 cm. Loc. 2 in Fig. 4. About 5m a.s.l. Photo by J. VRANIĆ.

(Iz Babić et al., 2012).

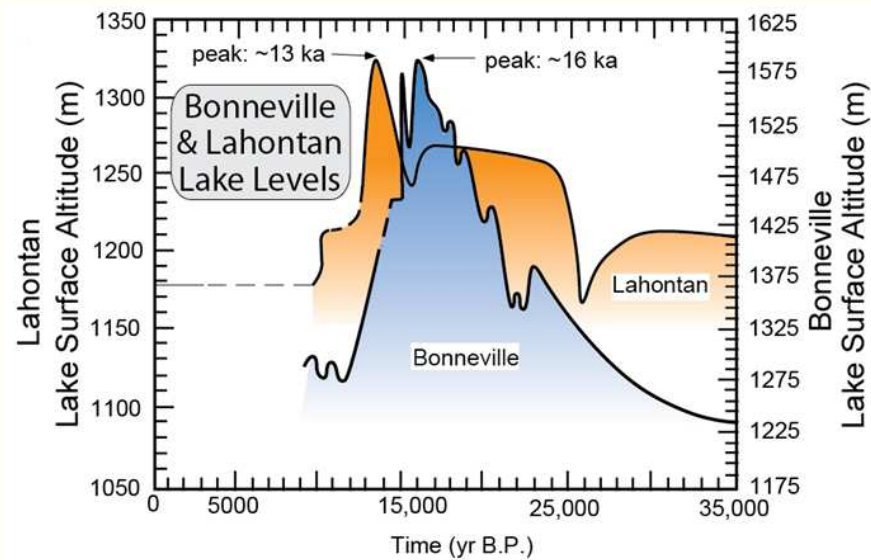
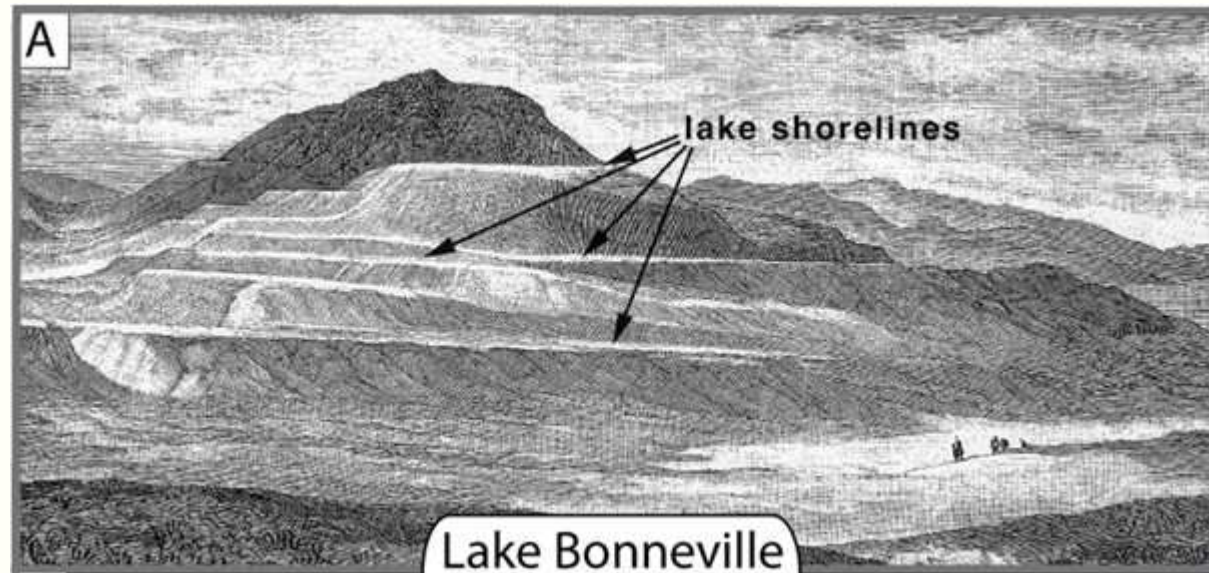


□ Jezerske terase - jezerske obalne crte

- Postanak i morfološke značajke jezerskih terasa i obalnih crta praktički su istovjetne kao i kod marinskih terasa. Njihova širina i dužina ovisi o otpornosti obalnih stijena na abrazijsko djelovanje valova, vremenskom trajanju abrazije tijekom kojeg se ne mijenja razina vode u jezeru, zračnim strujanjima koja generiraju valove i dr.
- Međutim, za razliku od marinskih terasa, jezerske terase predstavljaju lokalne geomorfološke markere koji su rezultat međudjelovanja endogenih i egzogenih procesa izrazito lokalnog karaktera. Tako npr. čak i u jezerima na međusobno maloj udaljenosti, promjene razine vode mogu biti vrlo neujednačene zbog lokalnih razlika u klimatskim prilikama, hidrografskoj mreži, veličini i morfologiji slivnog područja, lokalnog antropogenog utjecaja i dr., pa stoga korelacija među jezerskim terasama između dva ili više jezera najčešće nije izravno moguća, osim ukoliko se precizno odrede njihove apsolutne starosti.



Jezerske terase uz obalu jezera Bonneville i varijacije u razini jezerske vode između dva susjedna jezera (Iz Burbank & Anderson, 2012).

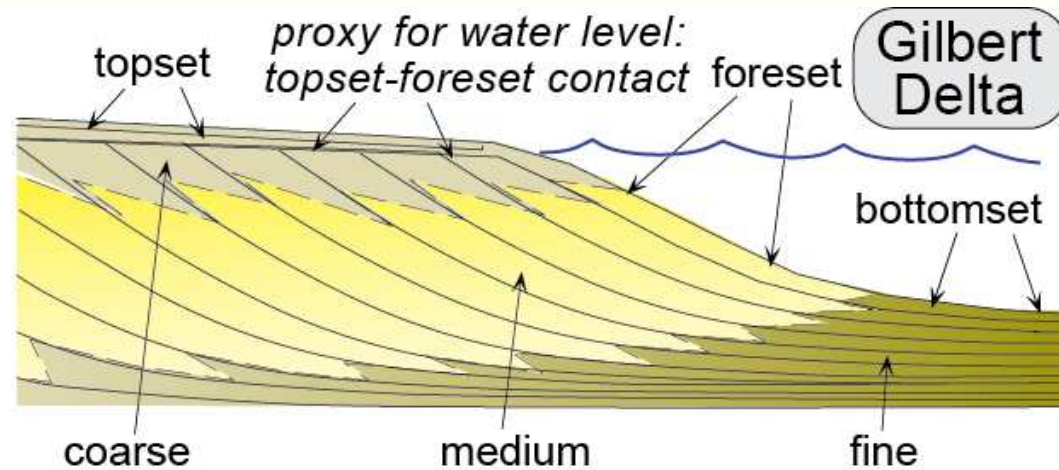


□ Delte

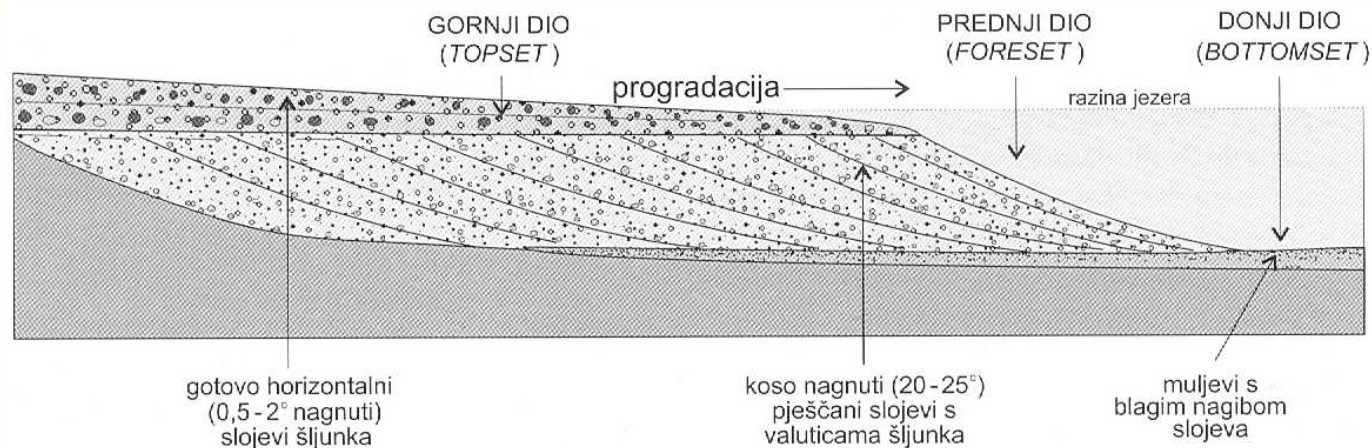
- Sedimenti jezerskih i marinskih delti predstavljaju markere jezerskih, odnosno morskih razina za vrijeme njihova postanka (taloženja). Zbog najčešće veće debljine, deltni sedimenti u pravilu imaju veći potencijal očuvanja u odnosu na terasne taložine, no s druge strane njihova je rasprostranjenost u pravilu rjeđa i lokalno ograničena.
- Na temelju analize sedimentnih tijela u deltama jezera Bonneville, Gilbert (1890) je opisao tri karakteristična dijela u građi deltnih sedimenata:
gornji dio (topset), prednji dio (foreset) i donji dio (bottomset).
- Razina vode u delti približno odgovara kontaktu gornjeg i srednjeg dijela (**topset/foreset kontakt**).



Poprečni presjek kroz deltne sedimente Gilbert tipa (Iz Burbank & Anderson, 2011).



Poprečni presjek kroz deltne sedimente Gilbert tipa (Iz Tišljar, 2004).

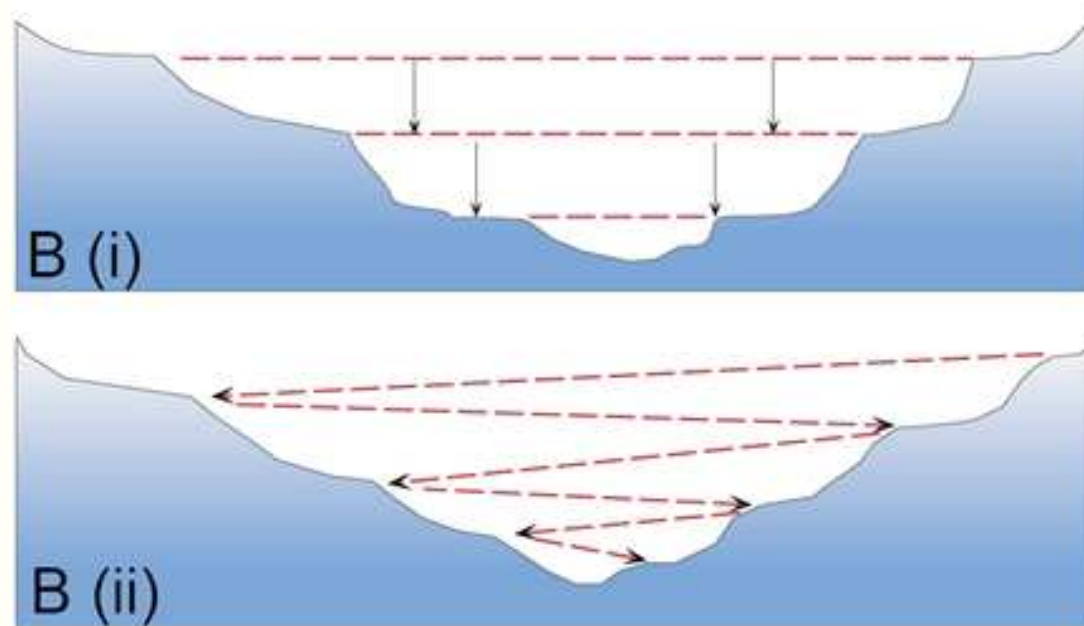


O taloženju u deltama vidi u Tišljar (2004), poglavlje 16 !



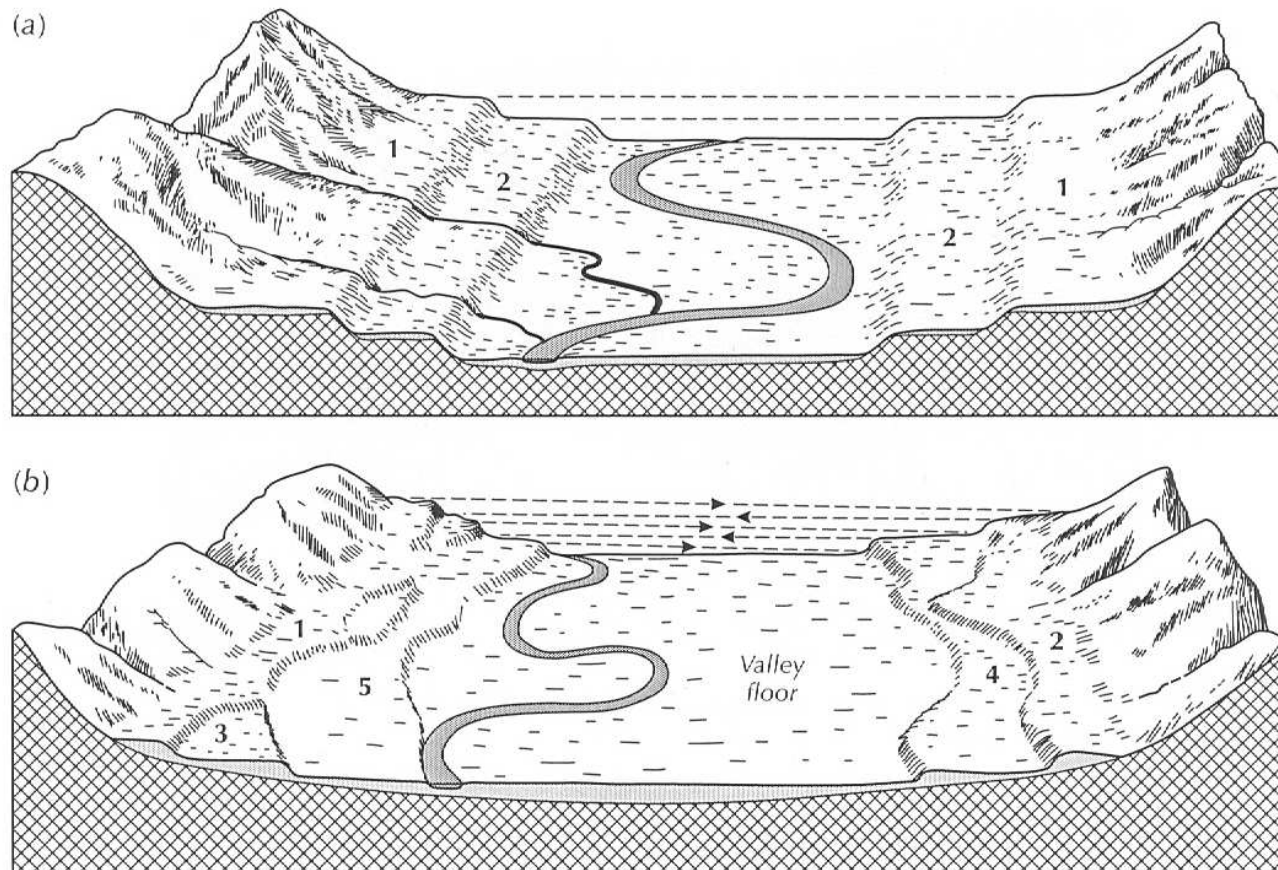
□ Riječne terase

- Morfološki predstavljaju zaravnjena područja uz korita rijeka koja su s obje strane omeđena strmije nagnutim padinama.
- Mogu biti **simetrične** (engl. *paired terraces*) ukoliko su raspoređene s obje strane korita rijeke na istoj nadmorskoj visini ili **asimetrične** (engl. *unpaired terraces*) ukoliko su raspoređene naizmjenično na jednoj pa na drugoj strani korita.



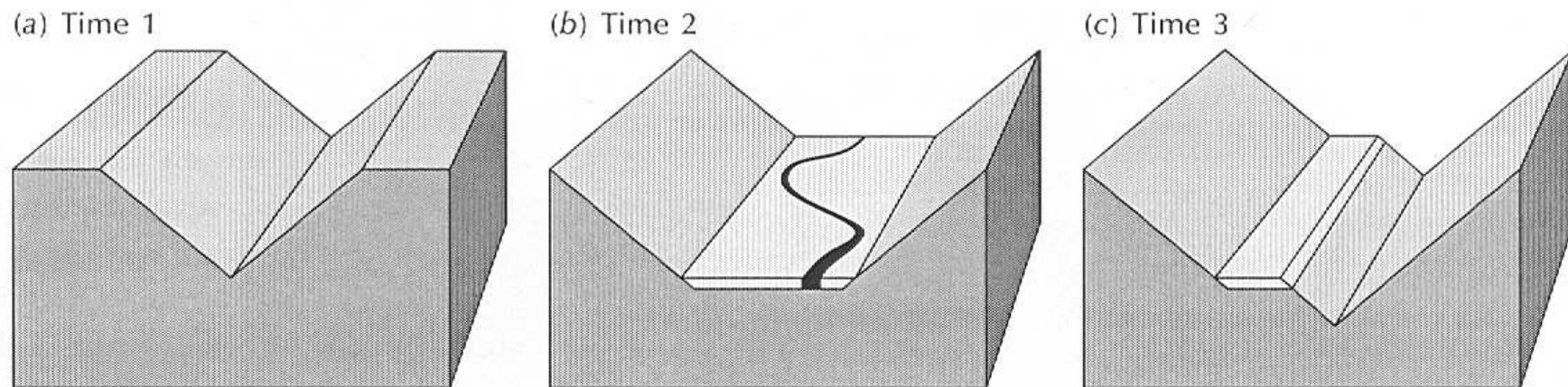
Simetrične (gore) i asimetrične (dolje) riječne terase (Iz Burbank & Anderson, 2011).

- U slučaju simetričnih terasa vertikalna erozija i usijecanje rijeke je intenzivnije i brže u odnosu na bočnu migraciju korita rijeke, dok je u slučaju asimetričnih terasa bočna migracija korita brža nego vertikalno usijecanje korita.



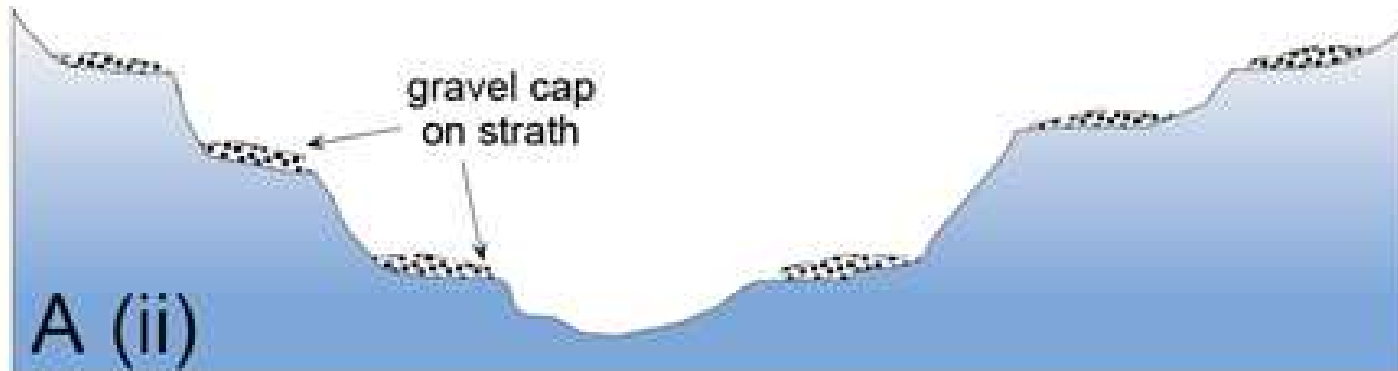
(a) Simetrične i (b) asimetrične riječne terase (Iz Huggett, 2007).

- Također, s obzirom na genezu razlikuju se **destruktivne i konstruktivne riječne terase**.
- **Destruktivne riječne terase (engl. Strath or degradational terraces):** nastaju kao rezultat usijecanja rijeke u podlogu koja je izgrađena od starijih stijena nakon čega dolazi do zaravnavanja i proširenja dna riječnog korita putem bočne erozije. Naknadnim usijecanjem rijeke, uz korito zaostaju terase koje predstavljaju bazu (dno) nekadašnjeg riječnog korita, a izgrađuju ih starije stijene (stijene kakve nalazimo u okolici riječnog korita koje nisu aluvijalnog podrijetla) preko kojih najčešće leži tanji interval šljunka (doduše u podlozi mogu biti i sedimenti, ali neke starije riječne terase).



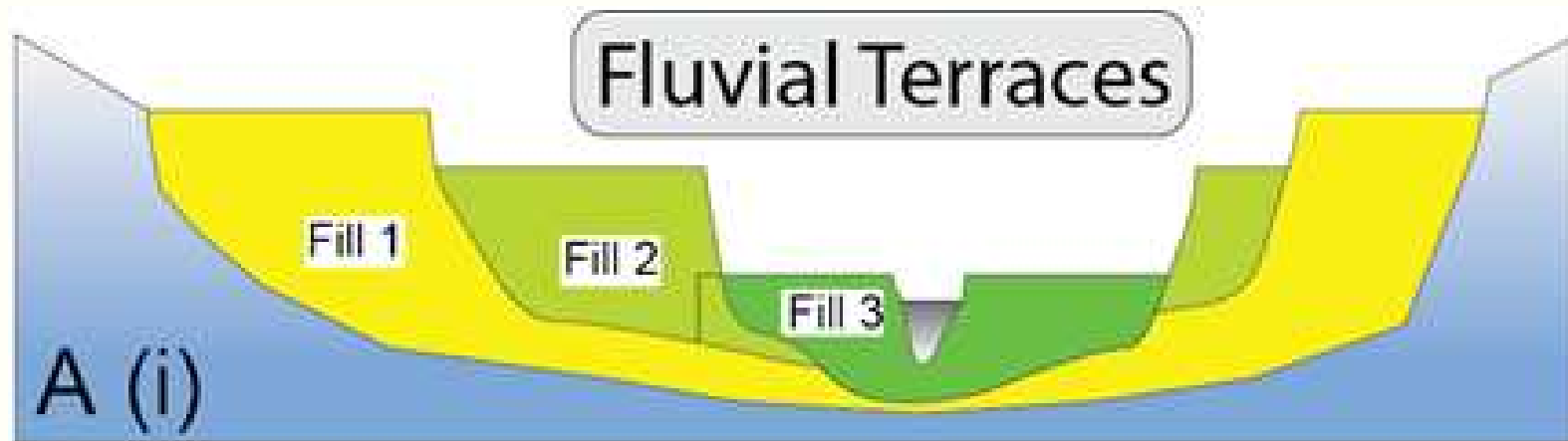
Postanak destruktivne riječne terase (Iz Huggett, 2007).

Profil kroz destruktivne riječne terase (Iz Burbank & Anderson, 2011).



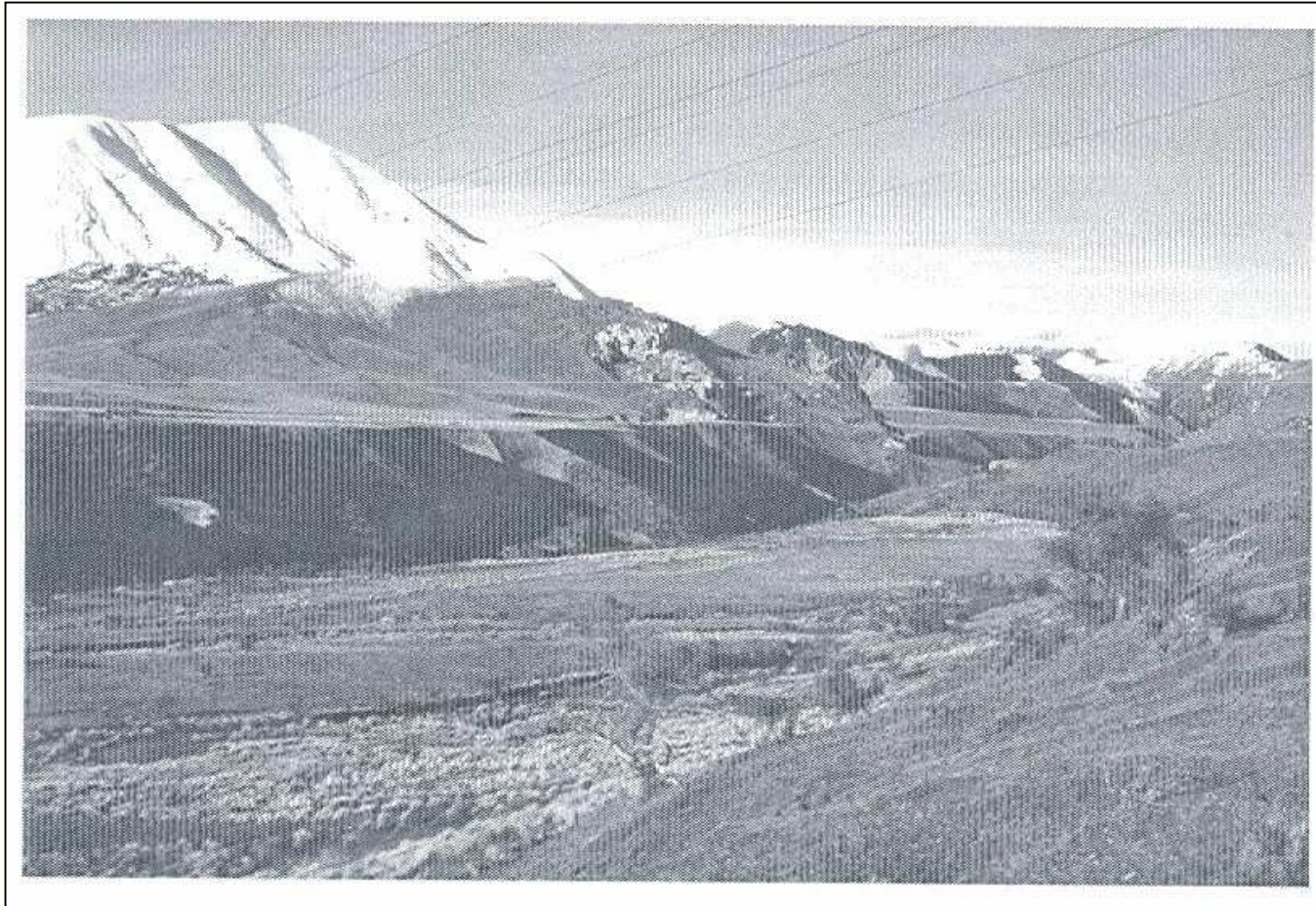
Destruktivna riječne terase (strath) oko 1.5 m iznad toka u koritu rječice Pancho Rico (preuzeto s adrese <http://serc.carleton.edu/details/images/18700.html>).

- **Konstruktivne riječne terase (engl. Alluvial, accumulation or aggradational terraces):** nastaju kao rezultat usijecanja rijeke u podlogu nakog kojeg slijedi proširenje riječnog korita putem bočne erozije, a potom i njegovo zapunjavanje aluvijalnim sedimentima (sedimentima poplavne ravnice).

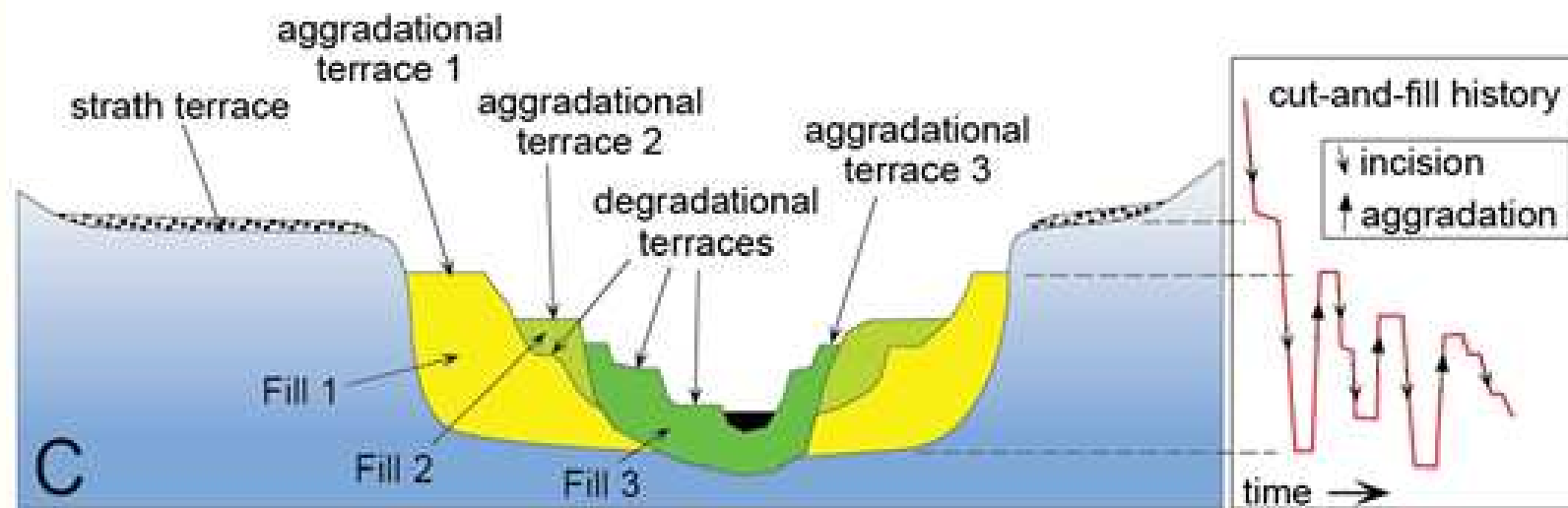


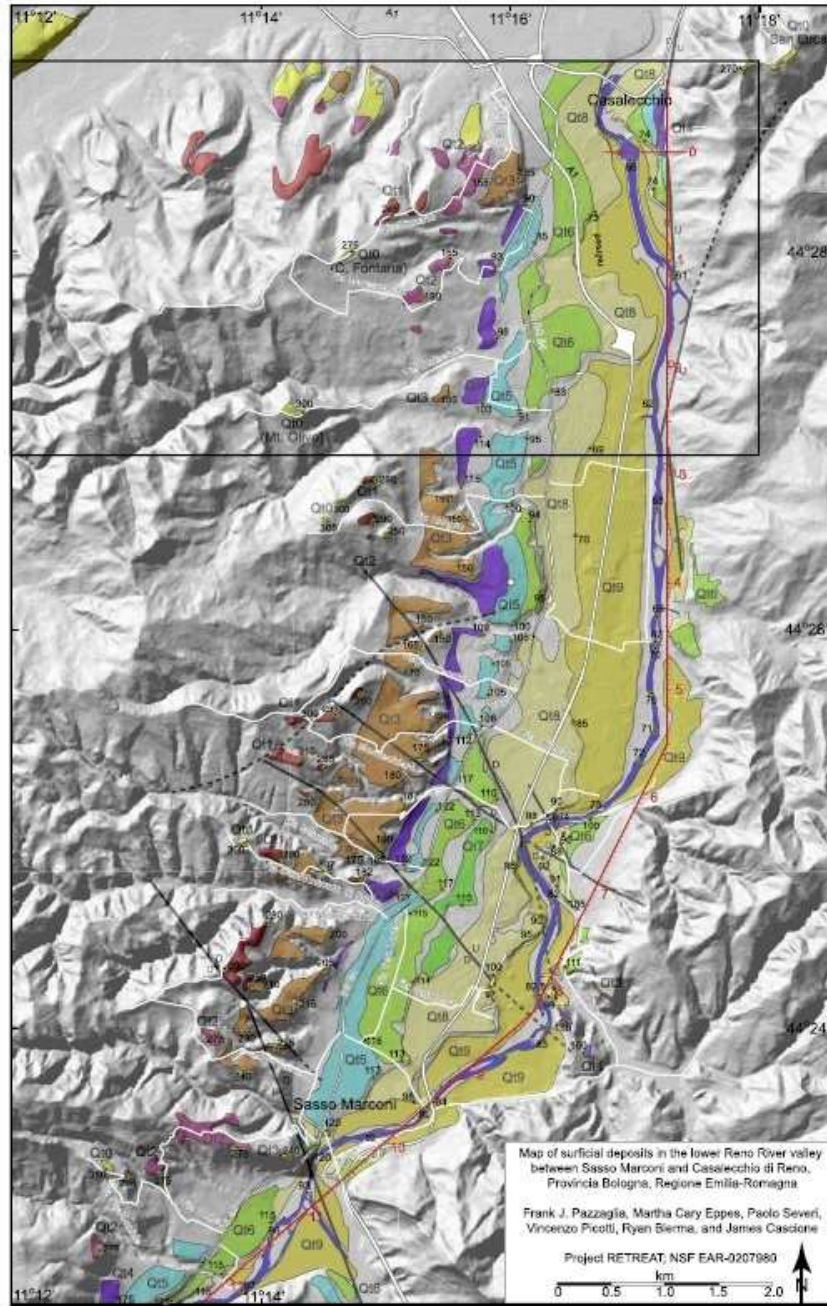
Konstruktivne (akumulacijske) riječne terase (Iz Burbank & Anderson, 2011).

Konstruktivne (akumulacijske) riječne terase uz Broken River na Novom Zelandu
(Iz Huggett, 2007).



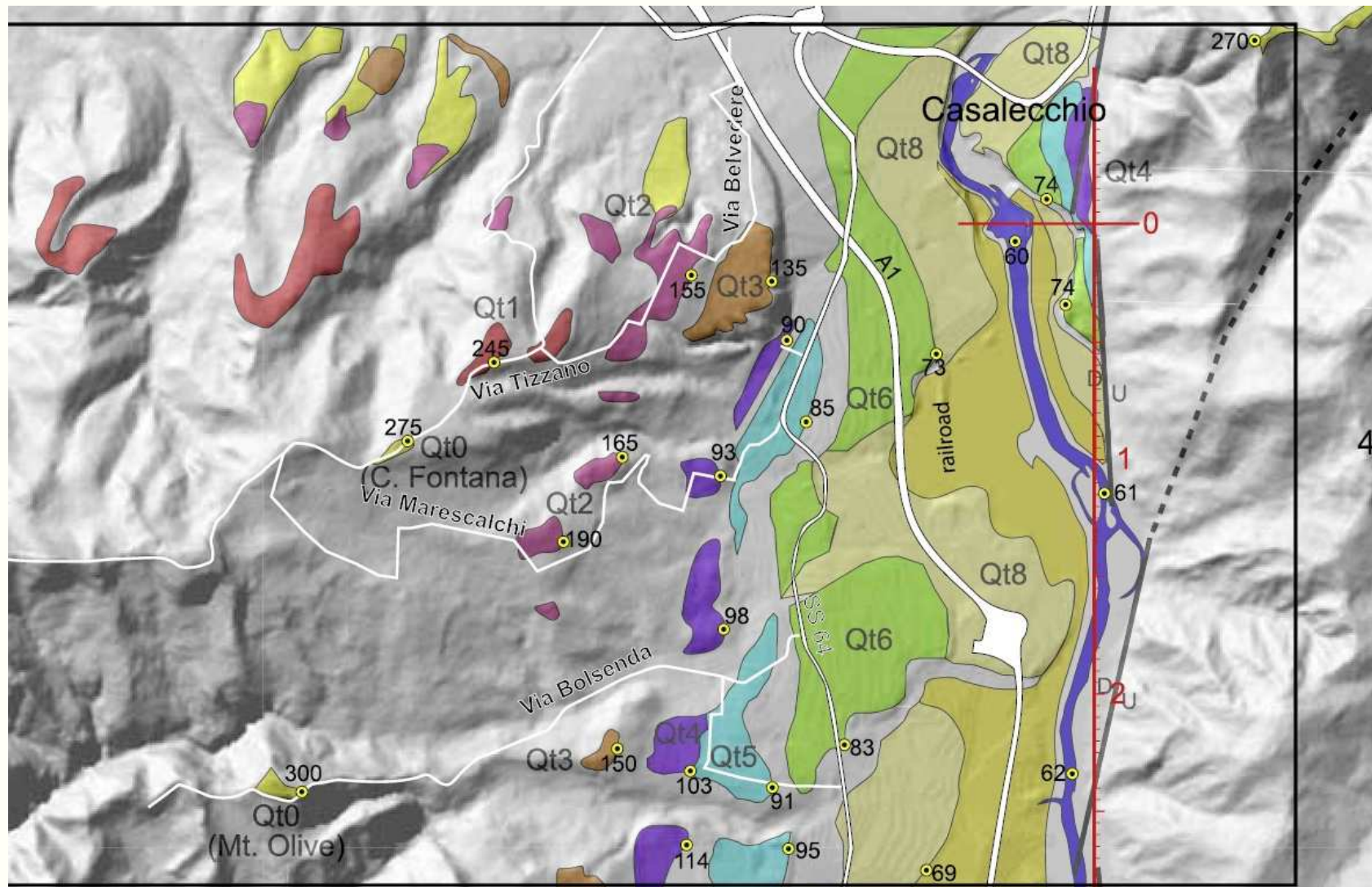
Shematski profil kroz akumulacijske i degradacijske riječne terase i njihova relativna starost (Iz Burbank & Anderson, 2011).



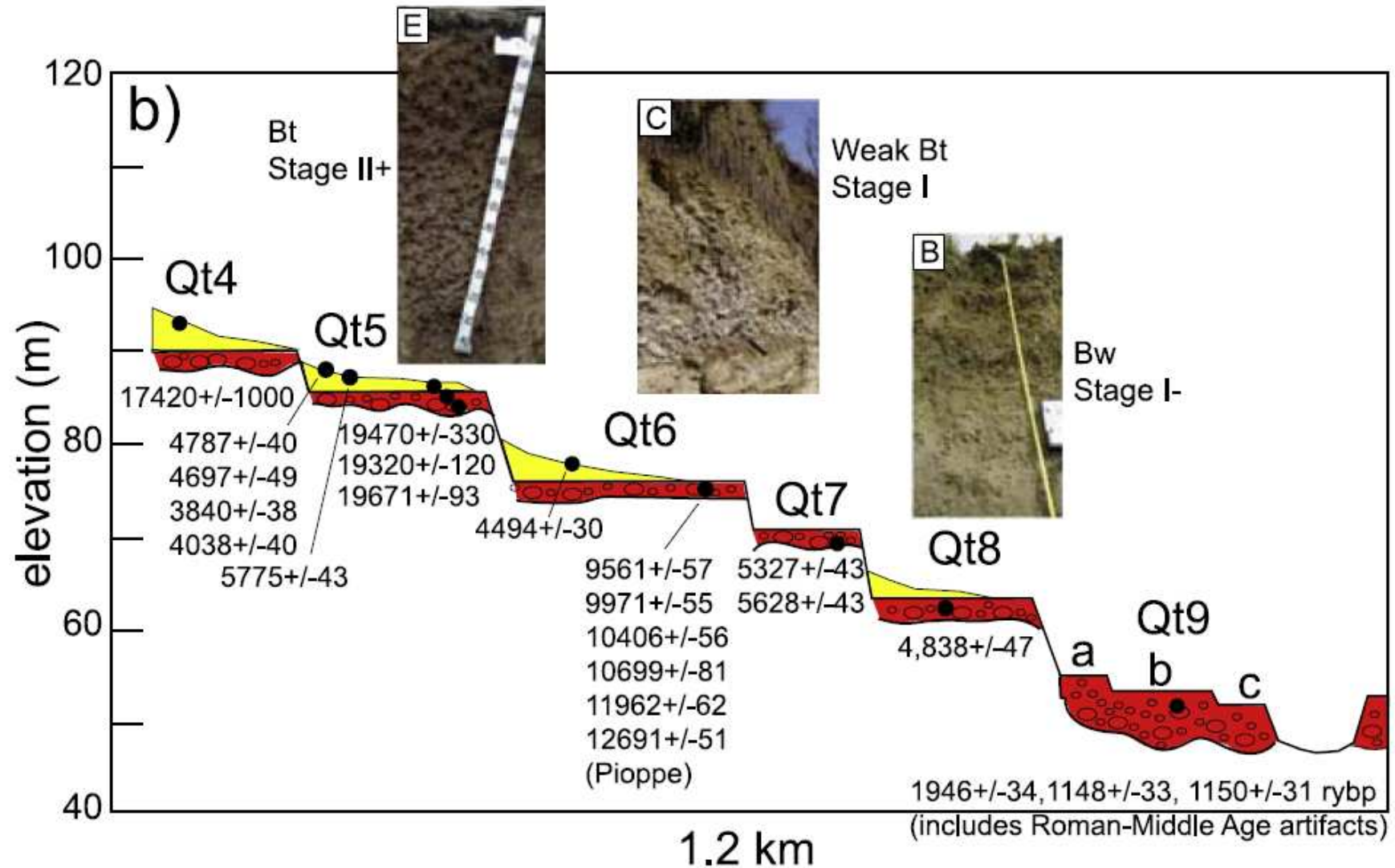


Karta rasprostranjenosti riječnih terasa u donjem dijelu toka rijeke Reno u području između gradića Sasso Marconi na jugu i gradića Casalecchio na sjeveru (Iz Picotti & Pazzaglia, 2008).

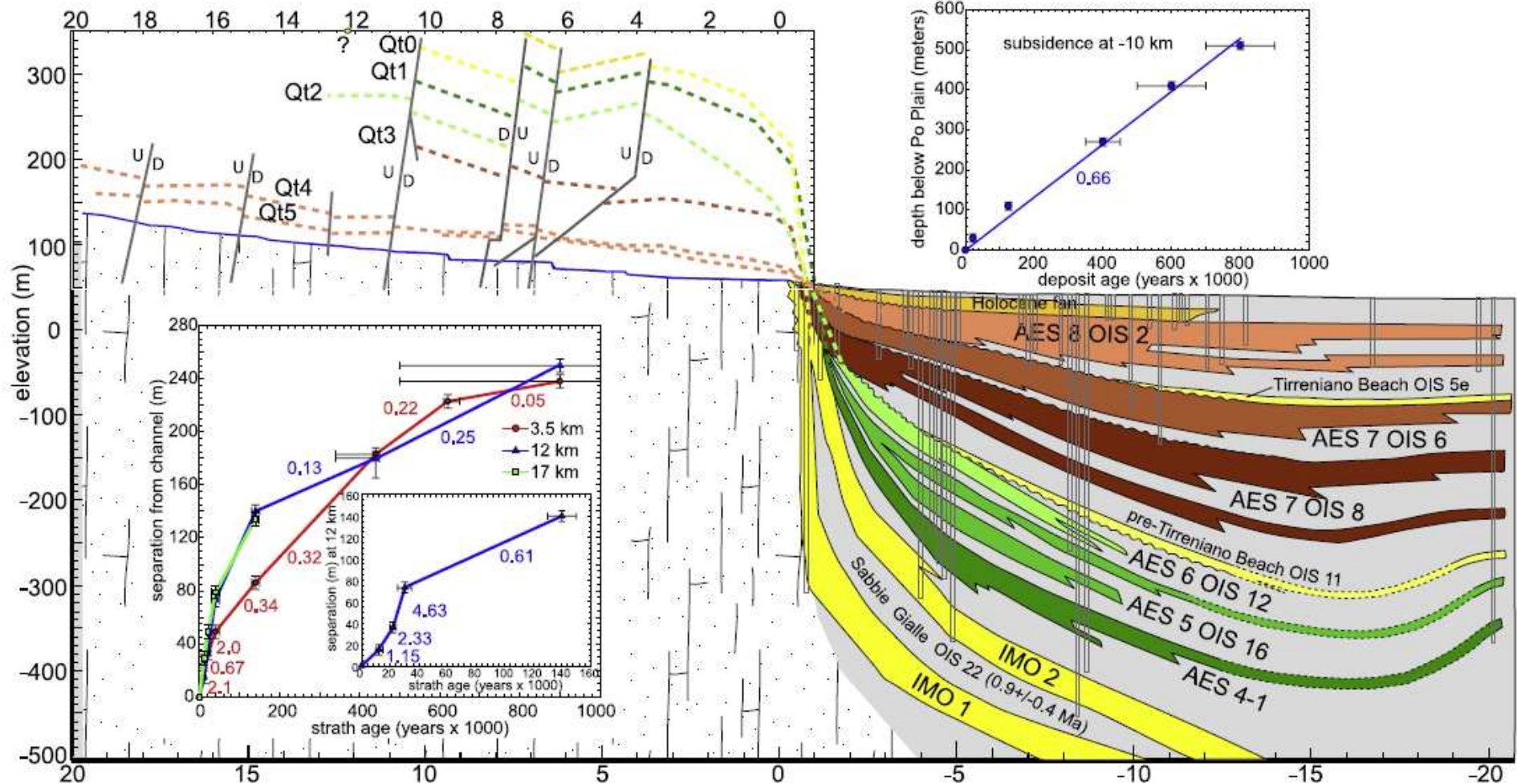
Detalj s prethodne slike (Iz Picotti & Pazzaglia, 2008).



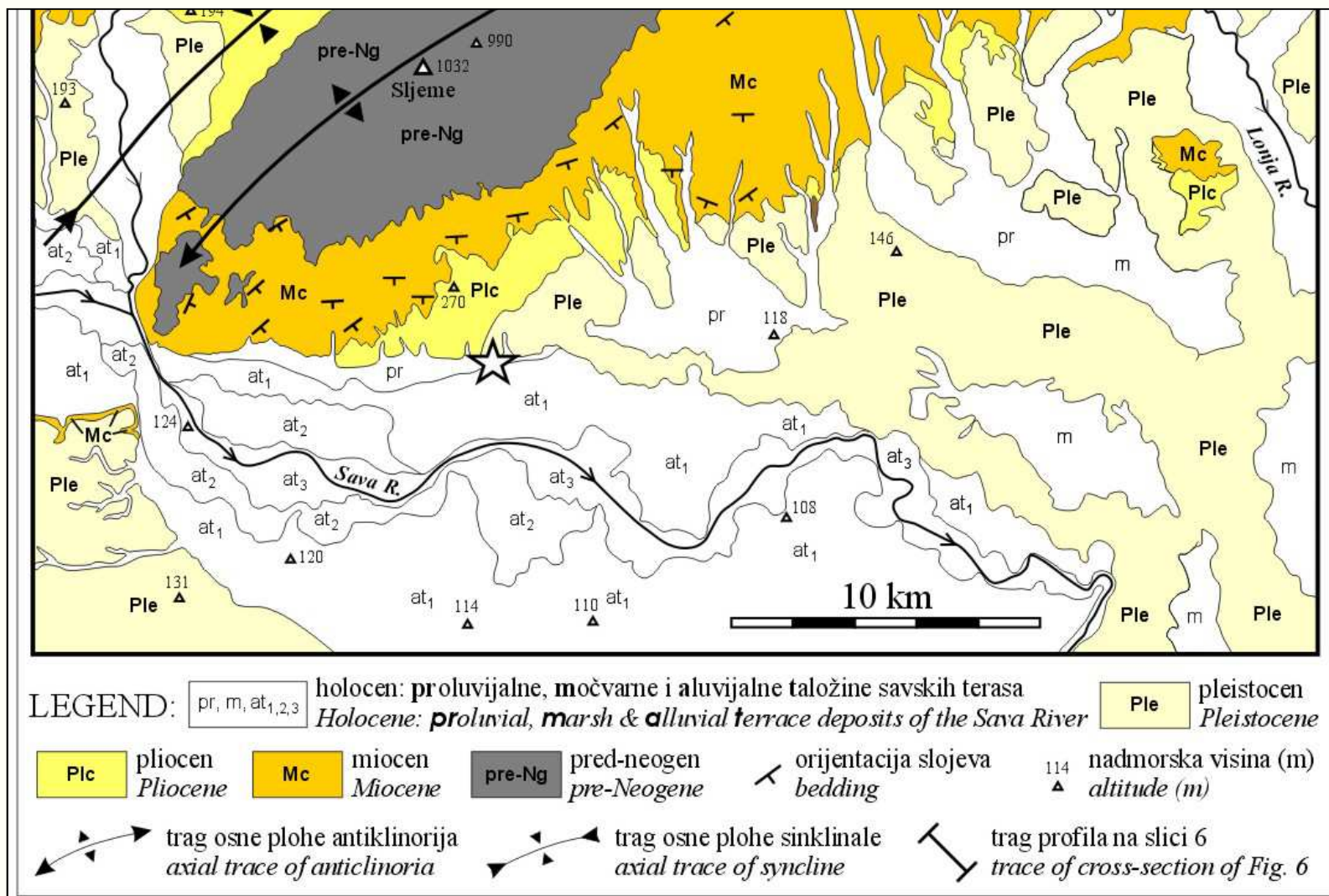
Profil kroz pleistocenske terase u dolini rijeke Reno (Iz Picotti & Pazzaglia, 2008). Legenda: crveno-alivijalne naslage; žuto-koluvijalne naslage



Projekcija i korelacija terasa planinskog dijela doline rijeke Reno s aluvijalnim naslagama u podzemlju doline rijeke Po (Iz Picotti & Pazzaglia, 2008).



Akumulacijske terase rijeke Save (at1,2,3) u okolici Zagreba (prema OGK list Zagreb).



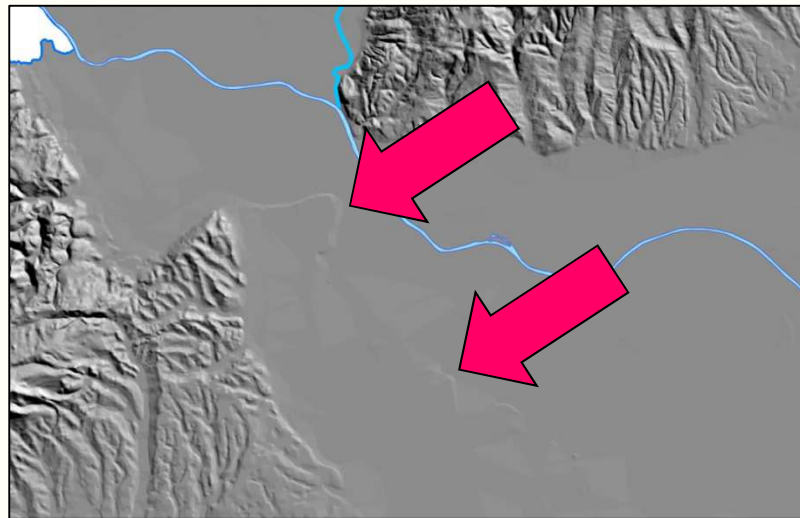
Akumulacijske terase rijeke Save (at1,2,3) u okolici Zagreba (opis iz Tumača OGK, list Zagreb)

- **At 1:** je najstarija akumulacijska terasa rijeke Save u okolici Zagreba (PAŽNJA: naslage ove terase su OGK lista Zagreb označene oznakom a₂). Sastoji se od izmjene **krupnozrnih šljunaka i pijesaka**, s povećanjem udjela pijeska idući nizvodno, odnosno prema jugoistoku. Petrografski sastav valutica je raznolik, prevladavaju **valutice karbonatnih stijena, rožnjaka, kvarcita, pješčenjaka i magmatskih stijena**. Među teškim mineralima u pijesku prevlada **granat (17-35%), epidot (11-20%) i aktinolit (8-21%)**, a podređeni su **staurolit, disten, rutil i titanit**. U lakoj mineralnoj frakciji uvijek dominira **kvarc**, uz podređene **feldspate i muskovit**. Debljina naslaga ove terase varira, kod Zagreba je **10-20 m**. Starost ove terase je **holocenska**, jer leži preko gornjopleistocenskih naslaga, zasad bez preciznije odredbe starosti (na području Krškog u Sloveniji starosti naslaga ove terase određena je na oko **1-5 ka**; prema Verbič, 2004).



Akumulacijske terase rijeke Save (at1,2,3) u okolici Zagreba (opis iz Tumača OGK, list Zagreb)

- **At 2:** je mlađa holocenska akumulacijska terasa rijeke Save u okolici Zagreba (PAŽNJA: naslage ove terase su OGK lista Zagreb označene oznakom a_1). Postanku ove terase prethodilo je razdoblje erozije i denudacije tijekom kojeg se Sava usjekla u naslage najstarije holocenske terase (at1), a potom je ponovno istaložila **šljunak, pijesak i podređeno glinu** u debljini od **10-25 m**. Naslage ove terase nalaze se za oko **0,5-2 m** niže u odnosu na terasu at1, između kojih postoji vidljiva, morfološka stepenica (engl. raiser).

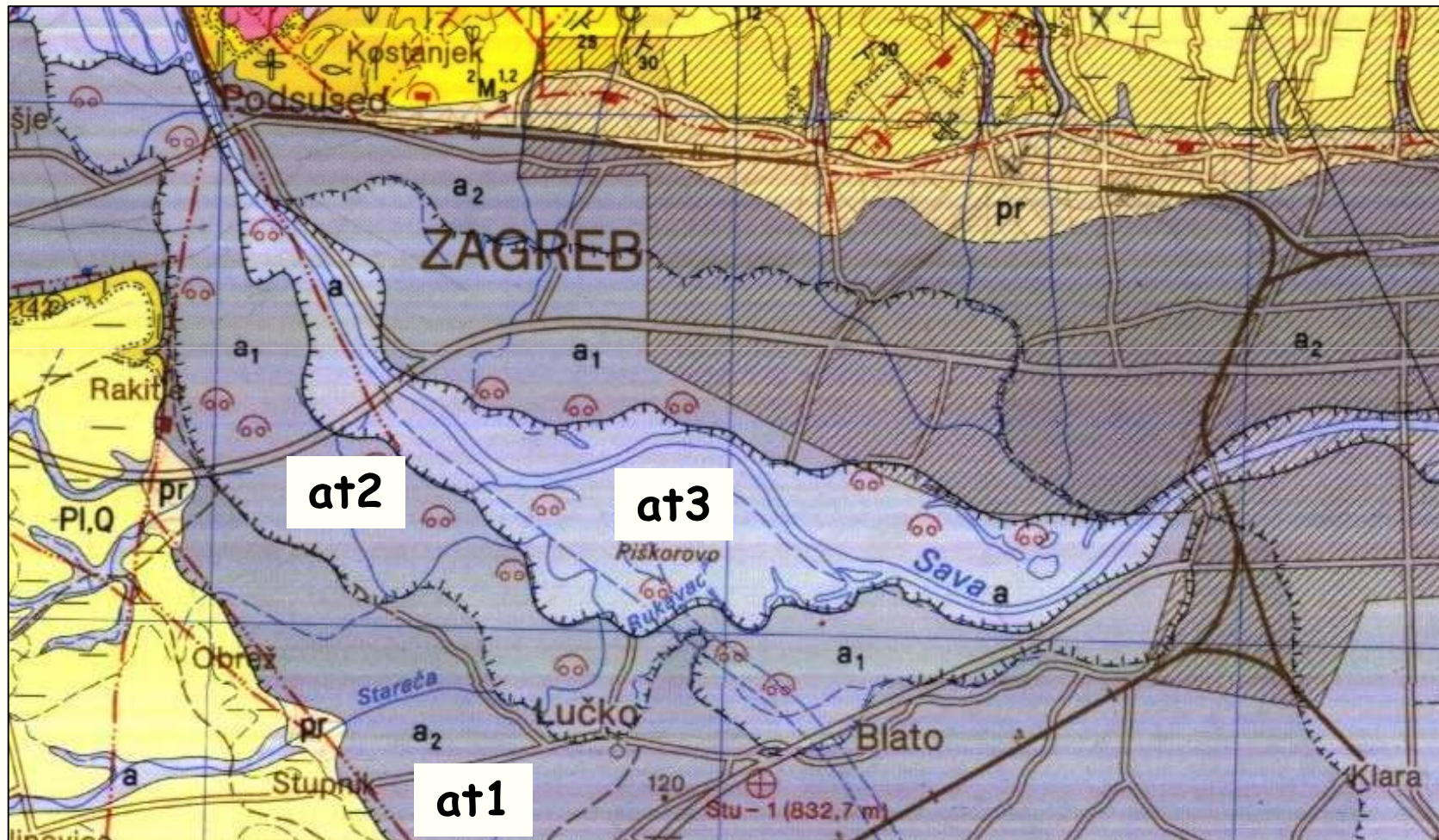


Akumulacijske terase rijeke Save (at1,2,3) u okolici Zagreba (opis iz Tumača OGK, list Zagreb)

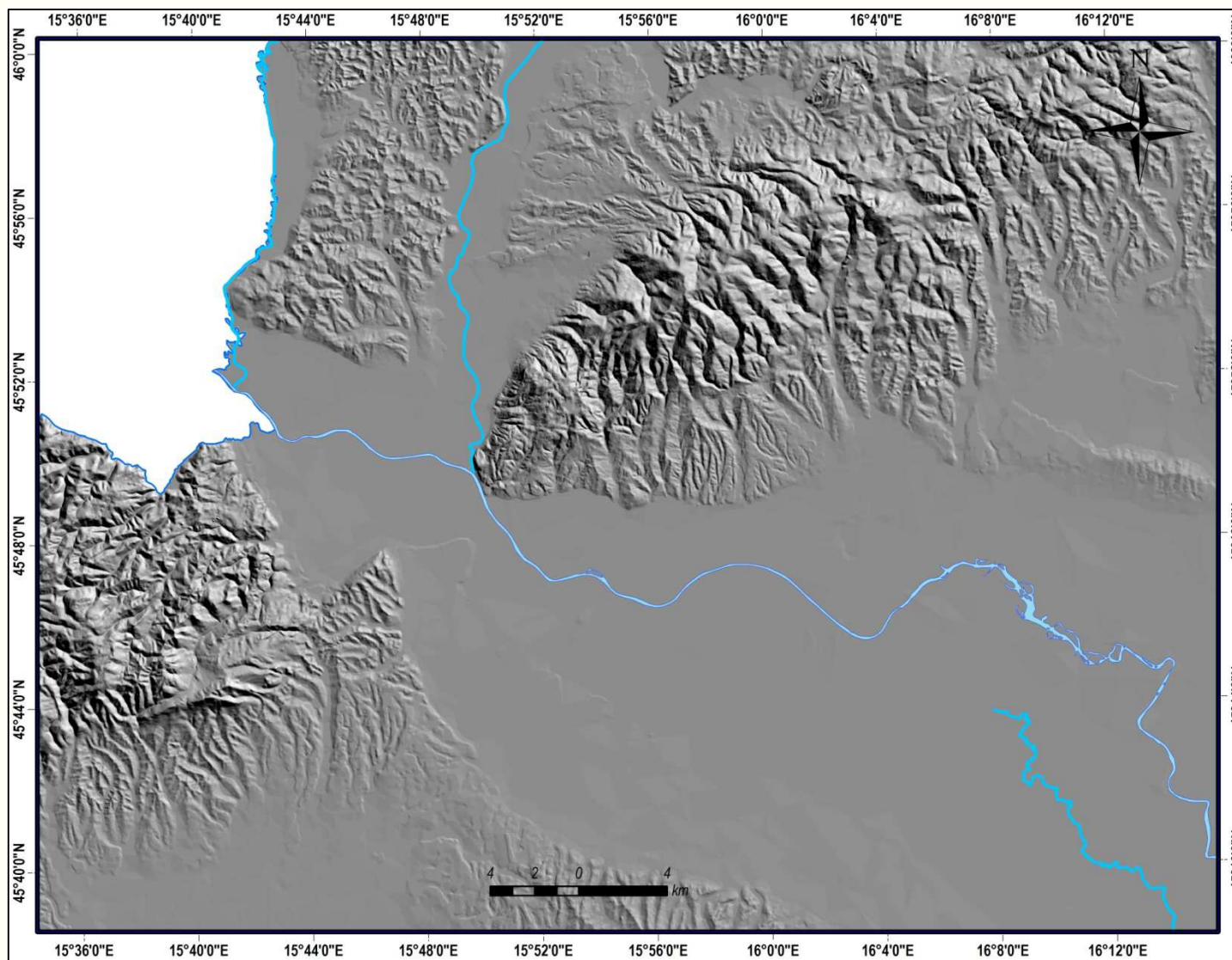
- **At 3:** je najmlađa holocenska akumulacijska terasa rijeke Save u okolici Zagreba (PAŽNJA: naslage ove terase su OGK lista Zagreb označene oznakom a). Također, i postanku ove terase prethodilo je razdoblje erozije i denudacije tijekom kojeg se Sava usjekla u naslage prethodne holocenske terase (at2), a potom je ponovno istaložila **pijesak i glinu, podređeno i šljunak** u ukupnoj debljini od **10-20 m**. Naslage ove terase nalaze se za oko **1-1,5 m** niže u odnosu na terasu at2, između kojih postoji vidljiva morfološka stepenica.



Akumulacijske terase rijeke Save (at1,2,3) u okolici Zagreba (iz OGK, list Zagreb; Šikić et al., 1978)



Digitalni elevacijski model – DEM zagrebačkog područja s vidljivim morfološkim stepenicama između terasa



IZVORI SLIKA, TABLICA, CRTEŽA I LITERATURNI NAVODI:

- Babić, Lj, Crnjaković, M. & Asmerom, Y. (2012): Uplifted Pleistocene marine sediments of the Central Adriatic Island of Brusnik.- *Geologia Croatica*, 65/2, 223-232.
- Benac, Č., Juračić, M. & 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.
- Burbank, D.W. & Anderson, R.S. (2001): *Tectonic Geomorphology*.- Blackwell Science Pub., Oxford, 274 str.
- Keller, E.A. & Pinter, N. (2002): *Active Tectonics: Earthquake, Uplift, and Landscape*.- 2nd ed. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 362 str.
- Hugget, R.J. (2007): *Fundamentals of Geomorphology*.- Routledge, London, 458 str.
- Juračić, M. (2008): *Geologija zaštite okoliša: Erozijska, poplavska, obalna*.- <http://geol.pmf.hr/~mjuracic/predavanja/Geol.zastite.okolisa/04.Erozijska.poplave.pdf>
- Lambeck, K., Antonioli, F., Purcell, A. & Silenzi, S. (2004): Sea-level change along the Italian coast for the past 10,000 yr.- *Quaternary Sci. Reviews*, 23, 1567-1598.



IZVORI SLIKA, TABLICA, CRTEŽA i LITERATURNI NAVODI:

- Picotti, V. & Pazzaglia, F.J. (2008): A new active tectonic model for the construction of the Northern Apennines mountain front near Bologna (Italy).- *Journal of Geophysical Research*, 113, B08412.
- Šikić, K., Basch, O. & Šimunić, A. (1977): Osnovna geološka karta 1:100.000, list Zagreb.- Inst. geol. istraž. Zagreb, Sav. geol. zavod Beograd.
- Tišljar, J. (2004): Sedimentologija klastičnih i silicijskih taložina.- Institut za geološka istraživanja - Zagreb, 426 str.
- Verbič, T. (2004): Stratigrafija kvartarja in neotektonika vzhodnega dela Krške kotline, 1. del: Stratigrafija.- Razrpave IV. razreda SAZU, XLV-3, Ljubljana, 171-225.

