

Promjene razine mora i riječna ušća (4)



Dr. sc. Igor Felja

Predavanja iz kolegija Geologija zaštite okoliša
(44087)

1. Promjene razine mora

2. Riječna ušća



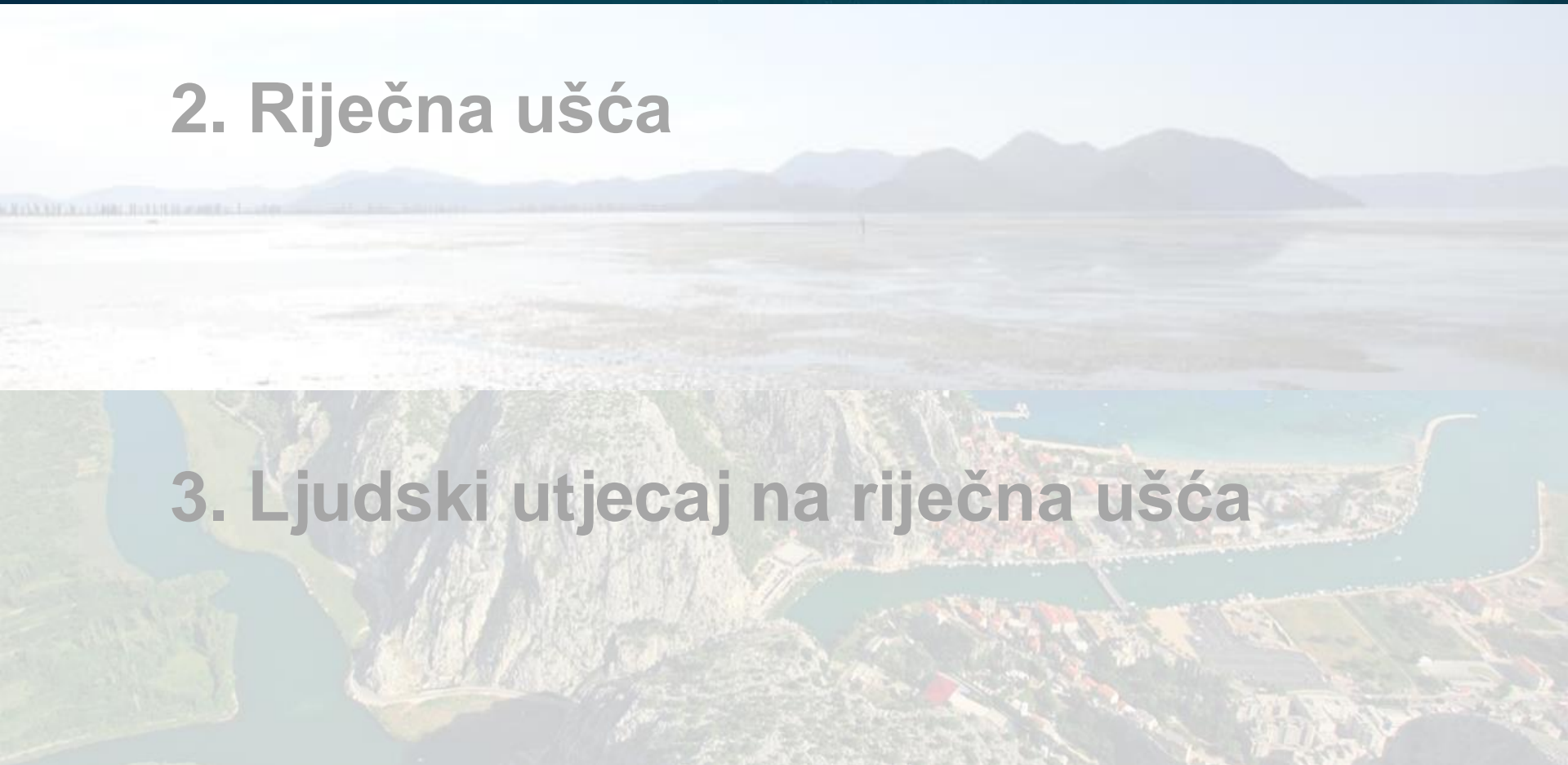
3. Ljudski utjecaj na riječna ušća



1. Promjene razine mora

2. Riječna ušća

3. Ljudski utjecaj na riječna ušća



Zašto je važna morska razina?

- To je ploha iznad koje prevladavaju procesi erozije/trošenja stijena, a ispod koje preteže akumulacija sedimenata.
- Intenzivni fizički i kemijski procesi
- Biološki vrlo važna zona
- Utjecaj na klimu
- Stupanj erozije kontinenata i ukupna sedimentacija u oceanima

Promjene razine mora

➤ Globalne:

- **Promjene volumena vode u oceanima**
- Promjene volumena oceanskog prostora

➤ Regionalne:

- Uslijed tektonike
- **Kompakcije sedimenata (delte)**
- Izostatsko izravnjavanje



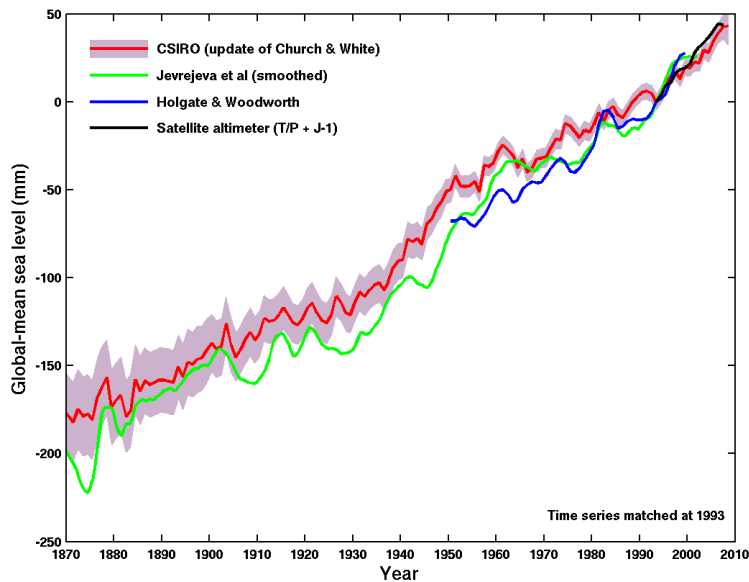
<https://www.cbc.ca/news/canada/british-columbia/western-glaciers-disappear-50-years-1.4959663>



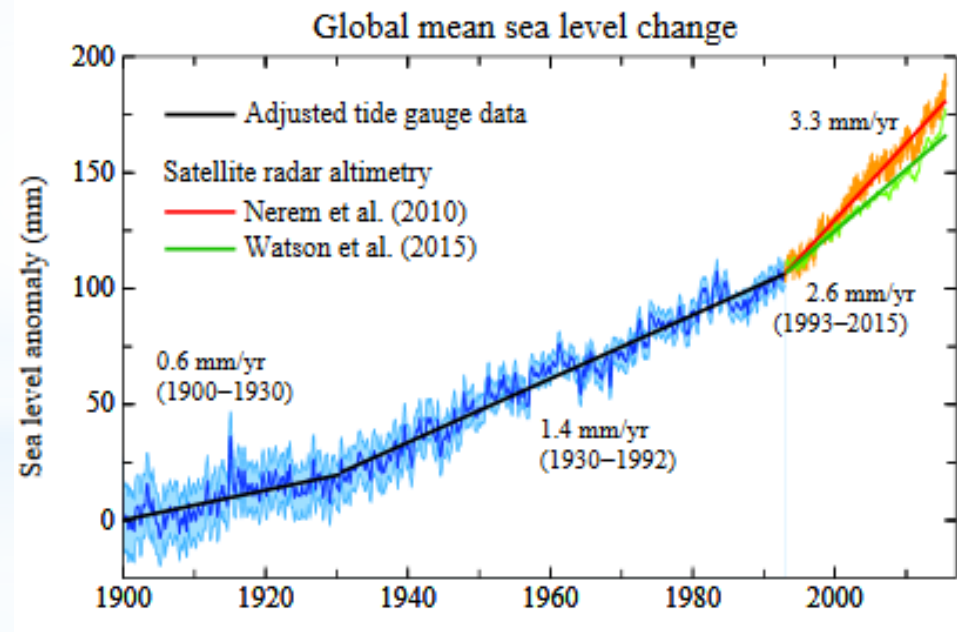
<http://www.topnews.in/files/Global-warming2.jpg>

Promjene razine mora tijekom pleistocena i holocena

➤ Lagani rast morske razine 1-2 mm/g. Smatra se radi **steričkih promjena** (promjena volumena vode radi zagrijavanja vode).



Global' Sea Curves from Different Authors
All analyses use the PSMSL data set, Woodworth, 2011



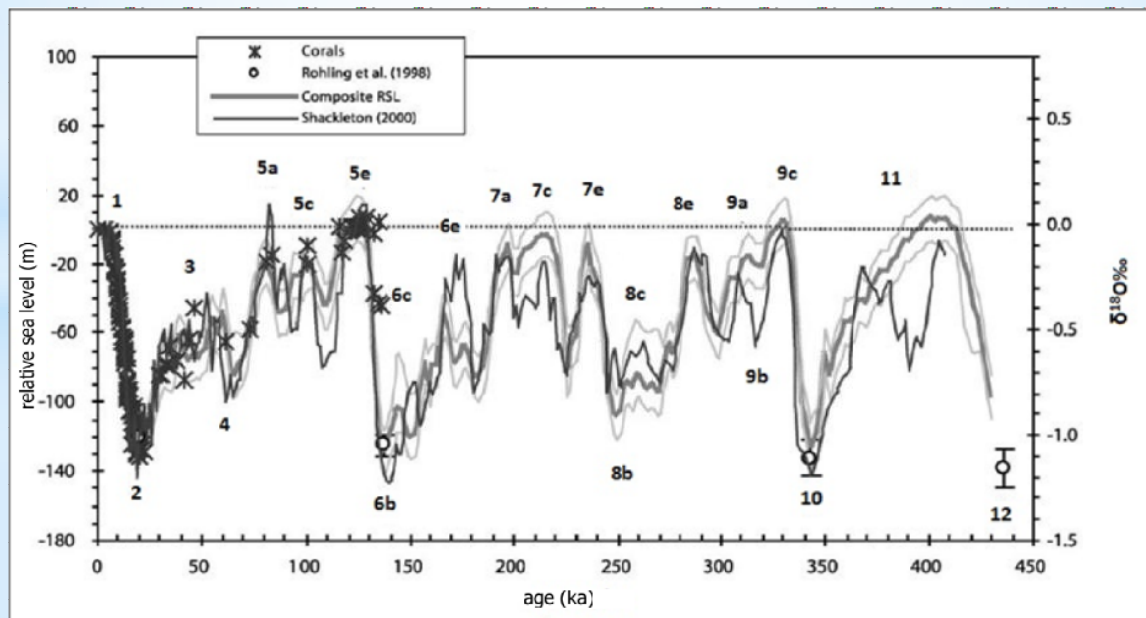
<https://robertscribblers.com/tag/sea-level-rise/>

Promjene razine mora tijekom pleistocena i holocena

➤ Razdoblje kvartara (zadnjih 2.6 milijuna godina) karakterizirano je velikim klimatskim promjenama (izmjenama glacijala i interglacijala).

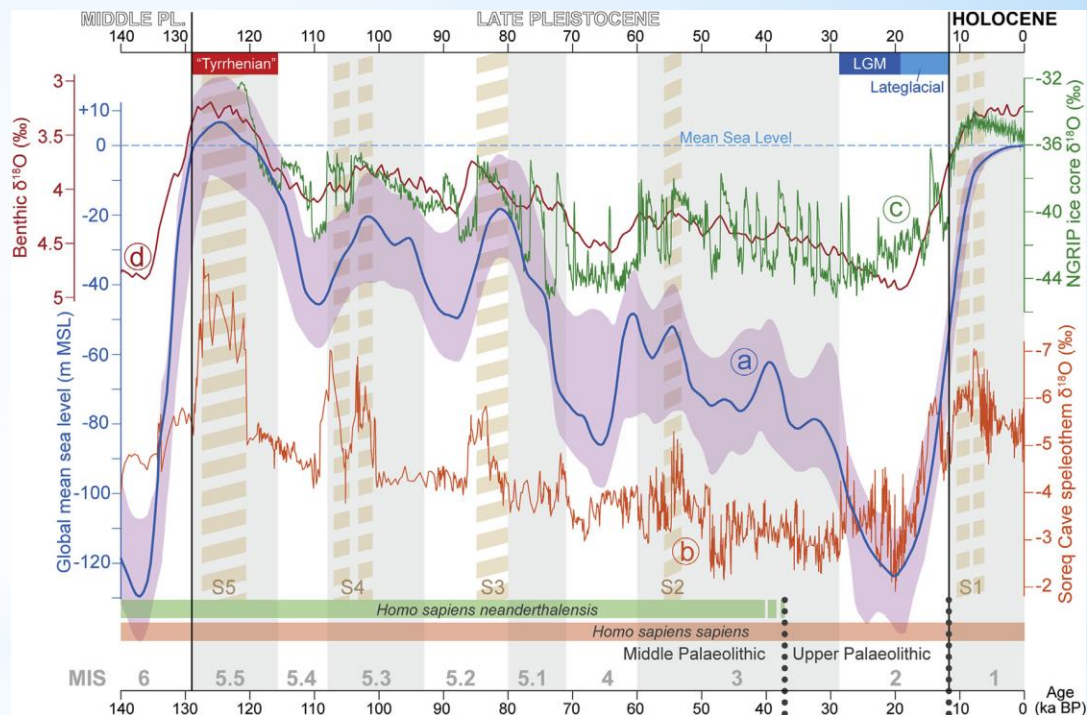
➤ Razlog?

➤ Promjene u orbitalnim parametrima Zemlje (Milankovićeve ciklusi), koji uzrokuju varijacije u intenzitetu Sunčevog zračenja na različite dijelove Zemljine površine, što dalje uzrokuje stvaranje ili otapanje velikih površina leda.



Promjene razine mora tijekom pleistocena i holocena

- Globalna razina mora, u zadnjih 2 milijuna godina, mijenjala je poziciju između ~130 m ispod današnje razine mora do ~6 m iznad današnje razine mora.
- Da li je u nekom razdoblju u prošlosti razina mora bila viša od današnje?
- Razdoblja kada su razine mora bile nisko (MIS4 i MIS3) i razdoblje kada je razina mora dosegla najnižu razinu (MIS2), bila su izuzetno važna u oblikovanju područja današnjeg Jadranskog i Sredozemnog mora.
- Riječni, padinski i eolski procesi, erozija, okršavanje, trošenje, stvaranje tla odvijalo se na velikim područjima sredozemnog obalnog područja, koje je danas ispod morske razine.



Usporedba između rekonstrukcije srednje razine mora kroz prošlost i paleoklimatski, paleoekološki i arheološki podaci iz Sredozemnog mora u zadnjih 140 tisuća godina.

a) Linija globalne srednje razine mora sa pogreškom označeno svijetlo plavo (Waelbroeck et al., 2002).

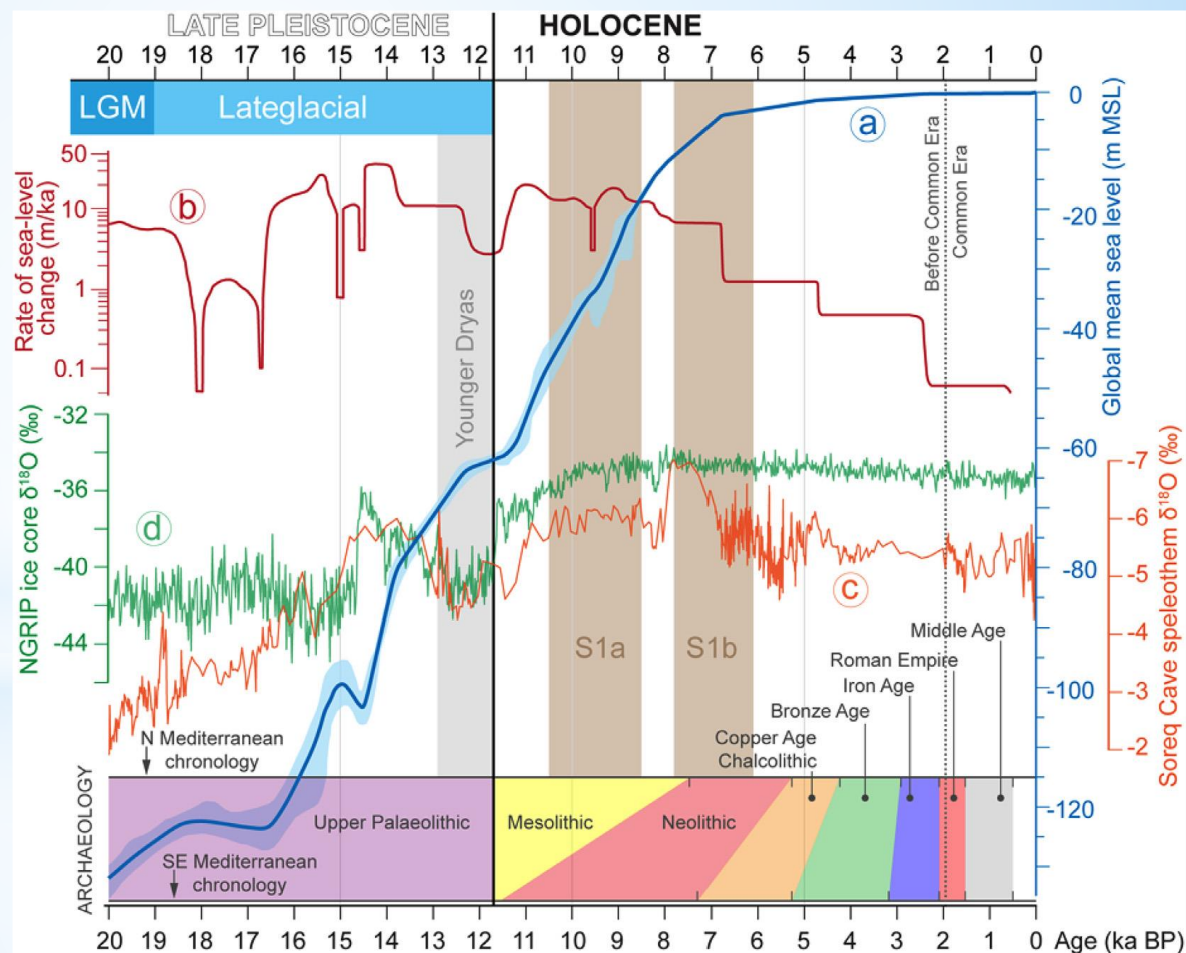
b) d18O sastav speleotema iz špilje Soreq;

c) d18O sastav NGRIP ledene jezgre (NGRIP members, 2004).

Smeđe linije označavaju razdoblja taloženja sapropela (Rohling et al., 2015). Benjamin et al., 2017.

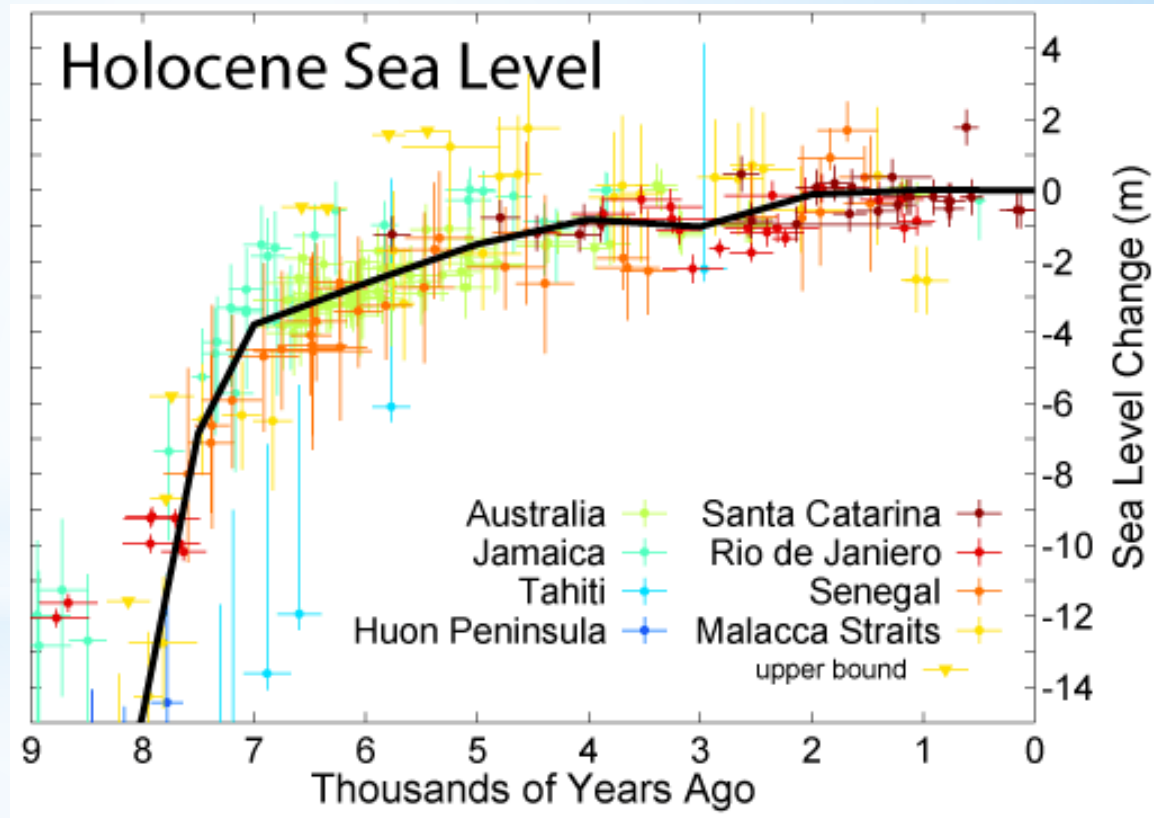
Promjene razine mora tijekom pleistocena i holocena

- Nakon kraja LGM značajni volumen vode završio je u oceanima kao posljedica topljenja površina pod ledom.
- Posljedica?
- Razina mora se u razdoblju 19,000-7000 BP podigla prosječnom brzinom od 12 mm/yr, ali u skokovima.
- Brzi porast između 14,500-14,000 BP (brzine veće od 40 mm/g)



Promjene razine mora tijekom pleistocena i holocena

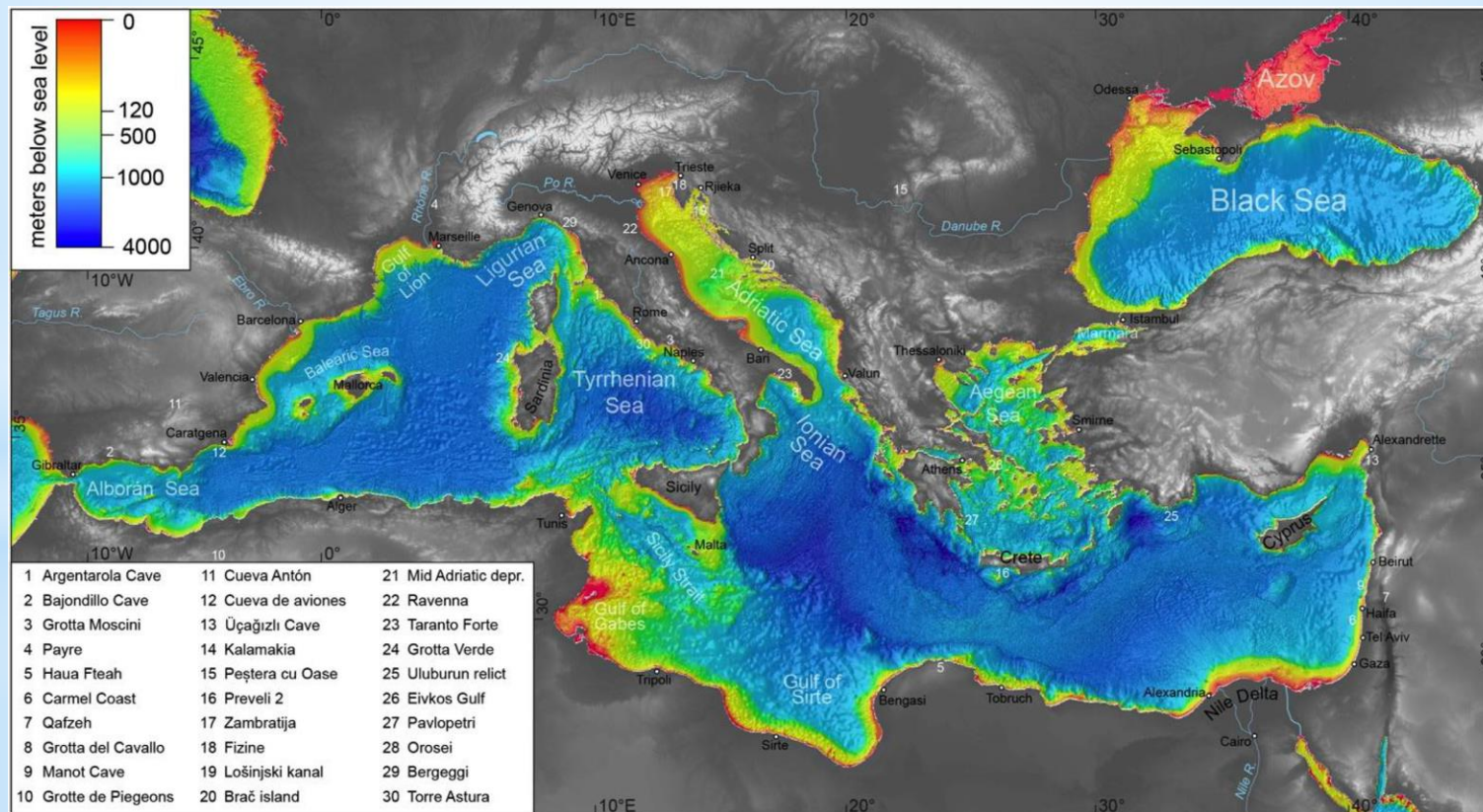
- Usporavanje porasta razine mora tijekom holocena
- Posljedice?
- Pojačani donos sedimenta, zapunjavanje dijelova bazena, postanak delti na ušćima



(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Holocene_Sea_Level.png)

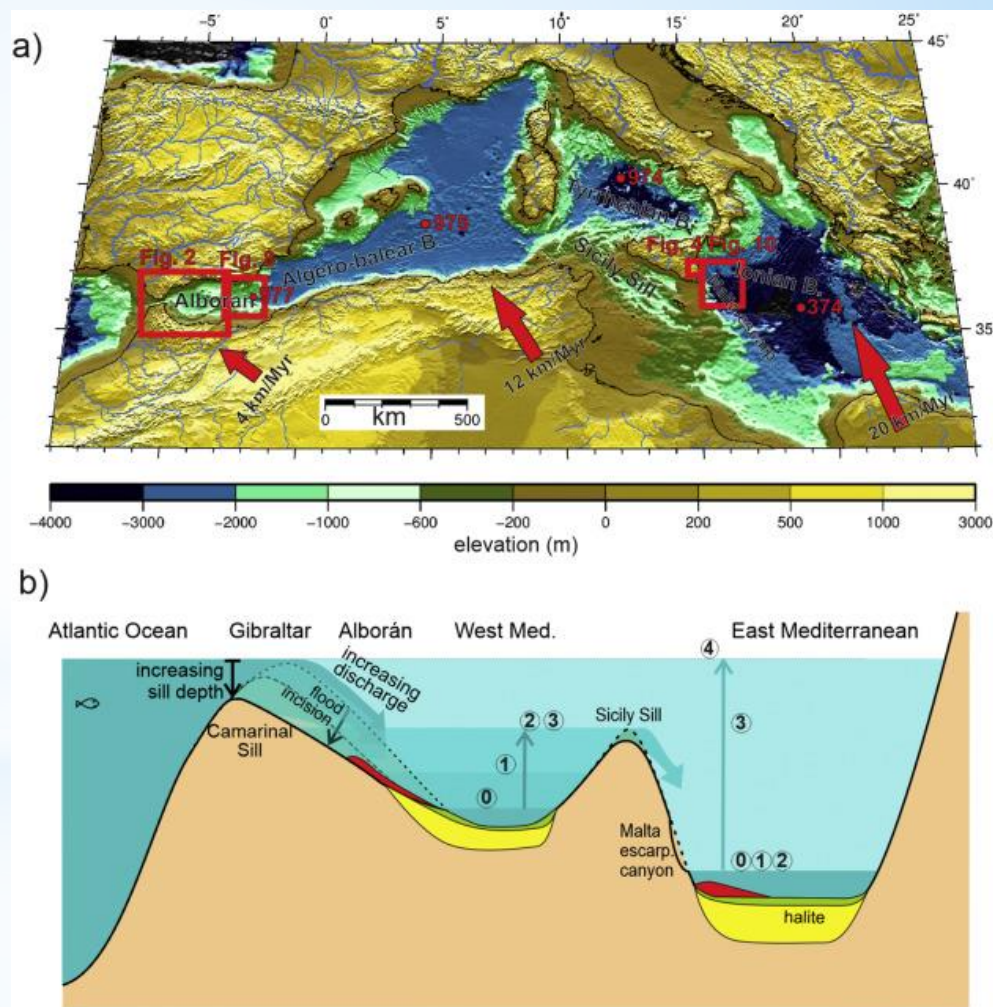
Promjene razine mora u Sredozemlju

- Topografska karta područja Sredozemlja s batimetrijskim podacima (European Marine Observation and Data Network; <http://www.emodnet.eu/>).

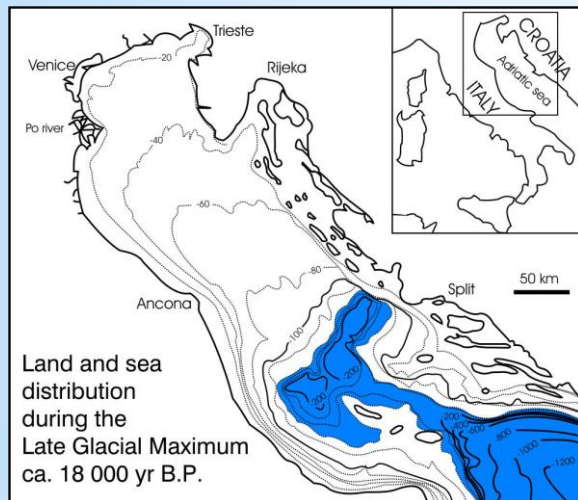


Promjene razine mora u Sredozemlju

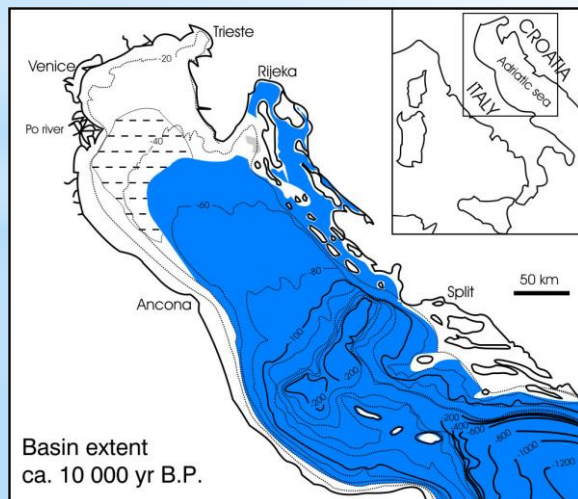
- Krajem miocena (u mesiniju od prije ~ 5,9 do 5,33 milijuna godina) cijelo Sredozemlje je isušilo (okršavanje i erozija).
- Punjenje Sredozemlja krajem mesinija; u stotinjak godina razina svjetskog mora snizila se za 10 m.



Promjene razine mora u Jadranu u zadnjih 20000 g



Corregiari et al, 1996.

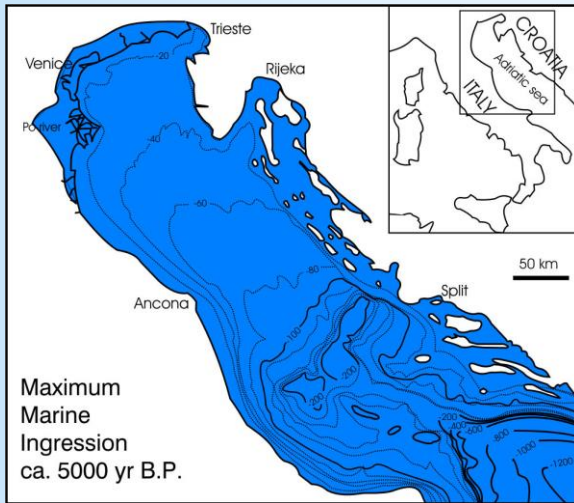


Corregiari et al, 1996.

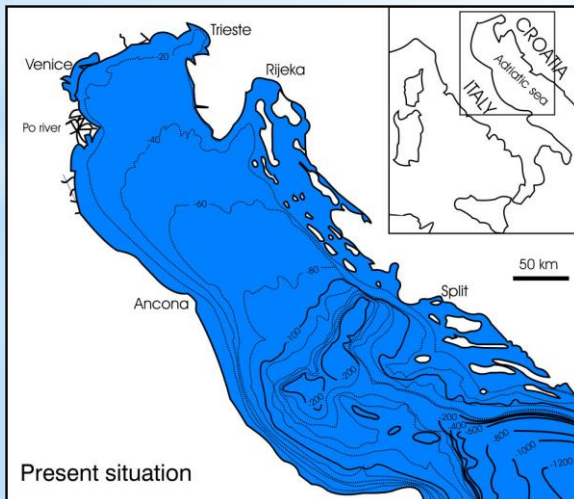
➤ Tijekom posljednjeg glacijalnog maksimuma (LGM, 29,000-19,000 godina BP) razina mora bila je približno 120 metara niža od današnje i veliki dio područja današnjeg Jadranskog mora bilo je kopno.

➤ Nakon kraja LGM (prije 19,000 godina), veliki volumeni leda su se počeli topiti i razina mora je rasla relativno brzo što je dovelo do globalne transgresije. More je počelo ispunjavati nekadašnje depresije.

Promjene razine mora u Jadranu u zadnjih 20000 g



Corregiari et al, 1996.



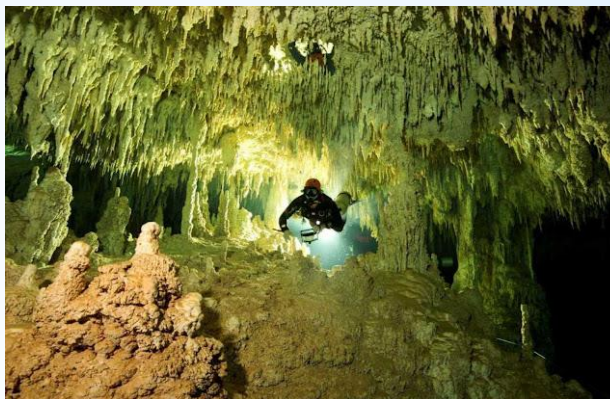
Corregiari et al, 1996.

- Porast razine mora se usporio prije 6000-7000g.
- Prije 5000 g more je dopiralo najdalje prema kopnu
- Od tada do danas donos materijala s obale i progradacija delti ispunili su velika područja sjeverozapadnog Jadrana do današnje situacije.
- Donos materijala od kuda?

Kako znamo da se morska razina mijenjala?

Indikatori promjene razine mora:

- Potopljeni riječni kanjoni
- Paleodelte
- Plimske potkapine
- Biogeni rubovi
- Prijelazni okoliši
- Špilje i sige u njima
- Arheološki dokazi
- ...



<https://www.geologyin.com/2018/01/worlds-longest-underwater-cave-system.html>



Fotografija: I. Felja



Benjamin et al., 2017.

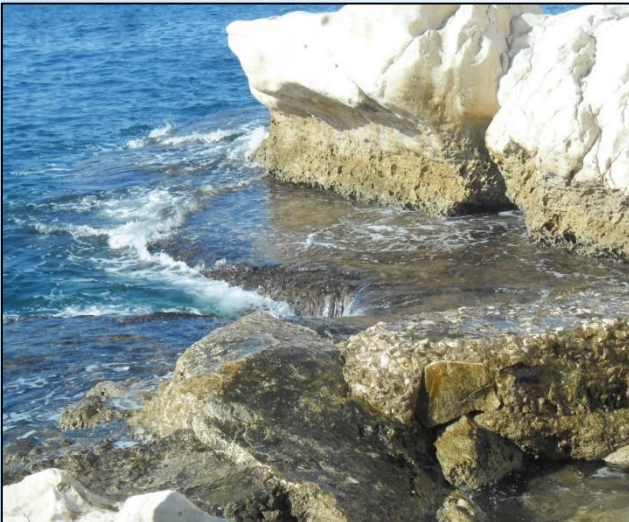


Fotografija: A. Fontana

Indikatori promjene razine mora - erozijski



Benjamin et al., 2017. Fotografija: F. Antonioli.



Fotografija: I. Felja

- Fossilna plimska potkapina (tidal notch); izmjerena visina 8.7 m; Orosei Gulf, Sardinia Italy.

- Recentna plimska potkapina i abrazijska terasa; Izrael.

Indikatori promjene razine mora - biokonstrukcijski



Faivre et al., 2013

- Biogeni obalni rub kojeg gradi crvena alga *Lithophyllum byssoides* (Lamarck) Foslie, 1900.
- Bušotine školjkaša (*Lithophaga lithophaga* Linnaeus, 1758) ili spužvi u stijenama
- Koraljni grebeni

Indikatori promjene razine mora - arheološki



Benjamin et al., 2017. Fotografija: J. Benjamin

- Bunar za vodu iz Neolitika (Kfar Samir lokacija, Izrael) (starost 7000 BP). Bunar je potopljen na razini -5 m ispod razine mora.



Benjamin et al., 2017. Fotografija: B. Goodman-Tchernov.

- Djelomično potopljene arheološki nalazi (Caesarea, Izrael). Iako su dijelovi nekadašnjih luka korisni indikatori razine mora važno je razumijeti originalnu funkciju i poziciju pojedinog dijela luke.

Indikatori promjene razine mora - taložni

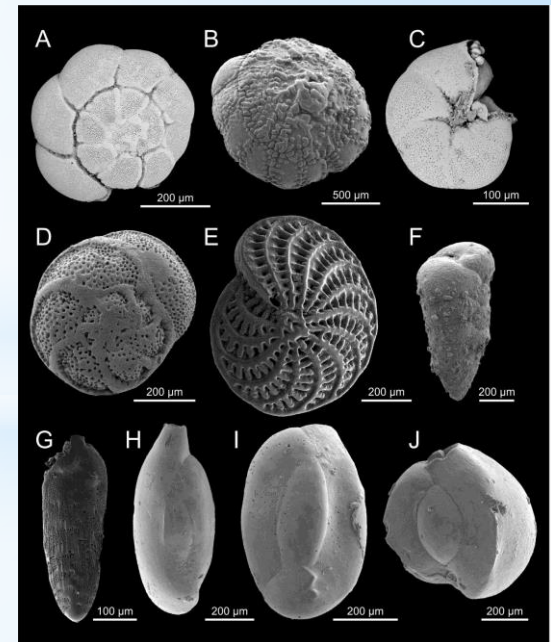


Fotografija: A. Fontana

- Sedimenti prijelaznih okoliša (fosilne zajednice u njima; foraminifere), koji se razvijaju oko srednje razine mora, npr. slane močvare i lagune, posebno su korisni u rekonstrukcijama razina mora u prošlosti.



Fotografija: M. Juračić



Felja, 2017. A - *Ammonia* sp. ; B - *Ammonia beccarii* (Linné, 1758); C - *Haynesina* sp.; D - *Rosalina* sp.; E - *Elphidium* sp.; F - *Textularia* sp.; G - *Brizalina* sp.; H - *Quinqueloculina* sp.; I - *Quinqueloculina seminula* (Linné, 1758) ; J - *Triloculina marioni* Schlumberger, 1893. (SEM Tescan TS5136).

1. Promjene razine mora

2. Riječna ušća

A wide, flat landscape with a body of water in the foreground and a range of mountains in the background under a clear sky. The water appears calm and reflects the light. The mountains are dark and silhouetted against the sky.

3. Ljudski utjecaj na riječna ušća

An aerial view of a river delta with a large dam and a city built along the riverbanks. The river is wide and flows into a large body of water. The city is densely packed with buildings and infrastructure. The dam is a prominent feature in the middle of the river.

Riječna ušća – delte i estuariji



- **Delte:** proširenja kopna u more na ušćima rijeka; sedimentno tijelo
- **Estuariji:** proširenja mora u kopno na ušćima rijeka; vodeno tijelo

➤ A što utječe na oblik riječnih ušća?

- Litološki sastav i geomorfologija obale i porječja (drenažnog prostora)
- Donos materijala rijekom
- Dinamika mora (struje morskih mijena, valovi, promjene razine mora)
- Klima
- Ljudski utjecaj?



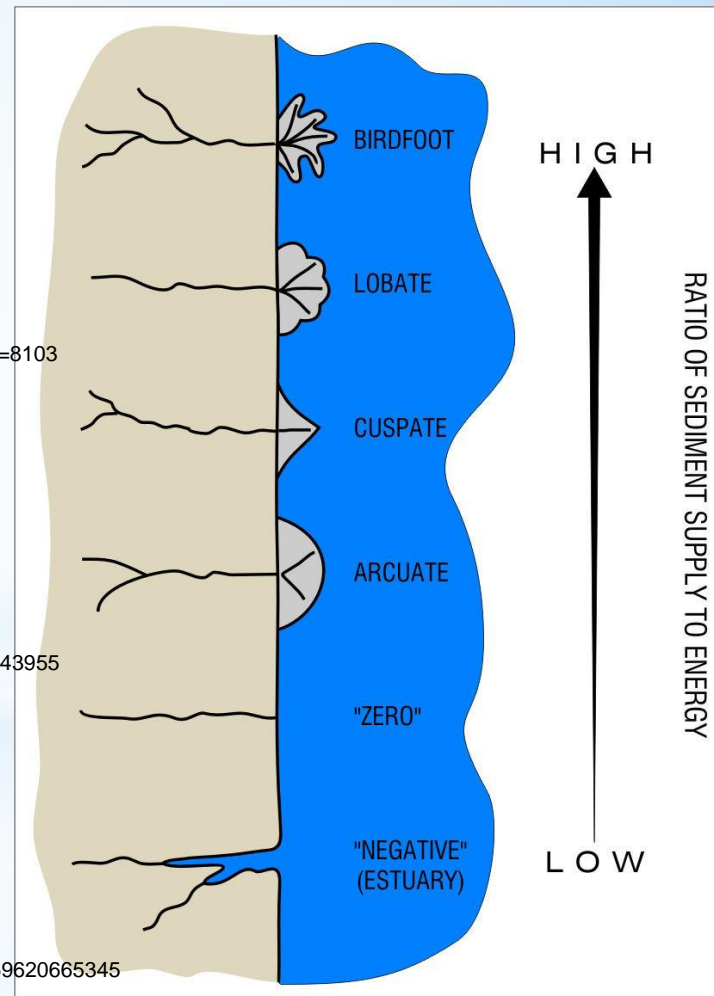
<https://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=8103>



<https://www.pinterest.com/pin/278941770643955142/>

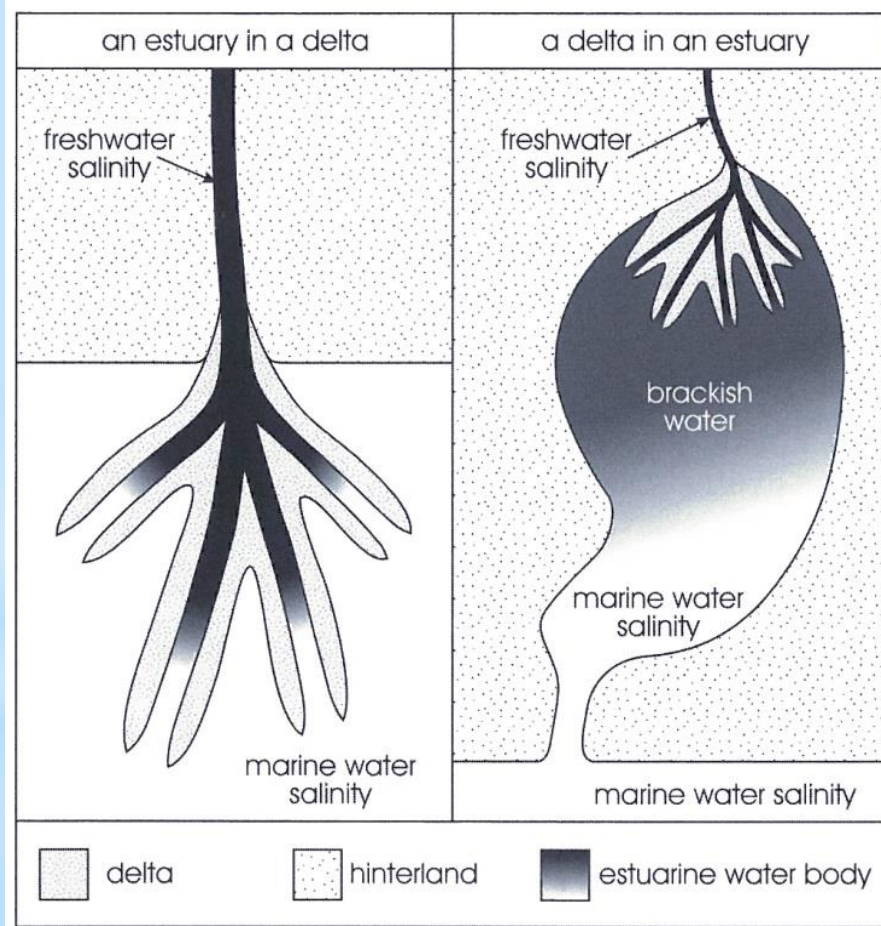


<https://www.thinglink.com/scene/688840759620665345>



Podjela riječnih ušća (Murray, 1975)

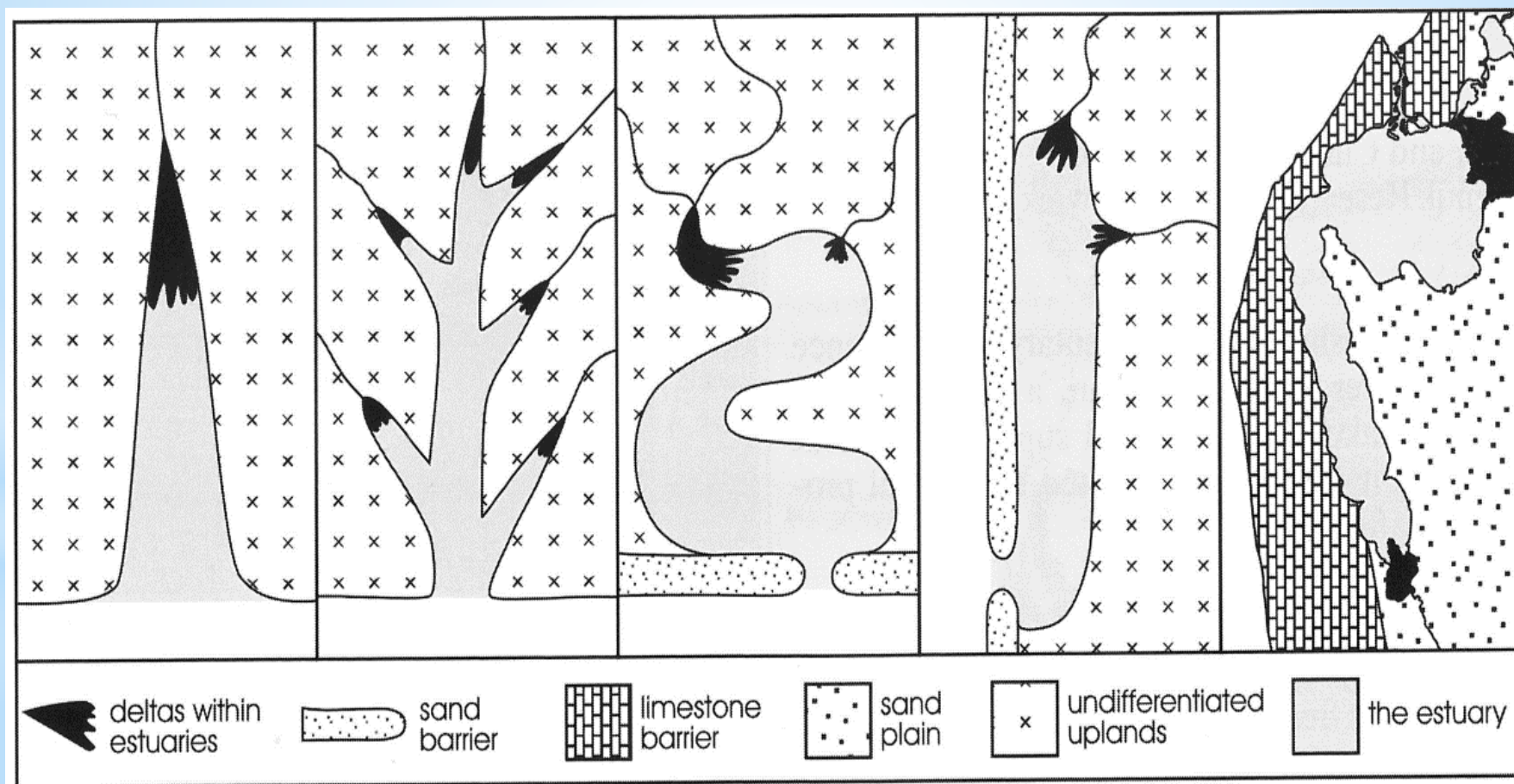
Riječna ušća – delte i estuariji



➤ Usporedba estuarija unutar velike delte i delte unutar estuarija



Prikaz različnih geomorfoloških tipov estuarija s intraestuarijskim deltama



Istočno-jadranska ušća – karakteristike krških estuarija



- Karbonatne stijene, pretežito vapnenci
- Kemijsko trošenje karbonata dominantno, uz to mehaničko trošenje pješčenjaka i lapora iz fliških naslaga
- Slaba površinska hidrografska mreža, krški teren, krške rijeke, u krškim kanjonima
- Sedimentni donos do obale relativno slab



Fotografija: I. Felja



<https://np-krka.hr/stranice/estuarij-kulturnopovijesna%20bastina-newsletter/500/hr.html>



<https://crorivers.com/zrmanja/>



Fotografija: A. Božić

Klasifikacija estuarija po načinu postanka (Cooper et al., 2011)



<https://crorivers.com/zrmanja/>



Fotografija: A. Božić

➤ “Give up” estuariji razvili su se tijekom holocena u uvjetima kada je donos sedimenata i nakon stabilizacije porasta razine mora bio zanemariv te su riječne doline ostale poplavljene morem nakon transgresije.

➤ “Catch up” estuariji razvili su se u uvjetima kada je porast razine mora nadvladao donos sedimenta te su prvo stvoreni duboki estuariji; nakon usporavanja brzine porasta razine mora estuariji su se postepeno punili sedimentom.

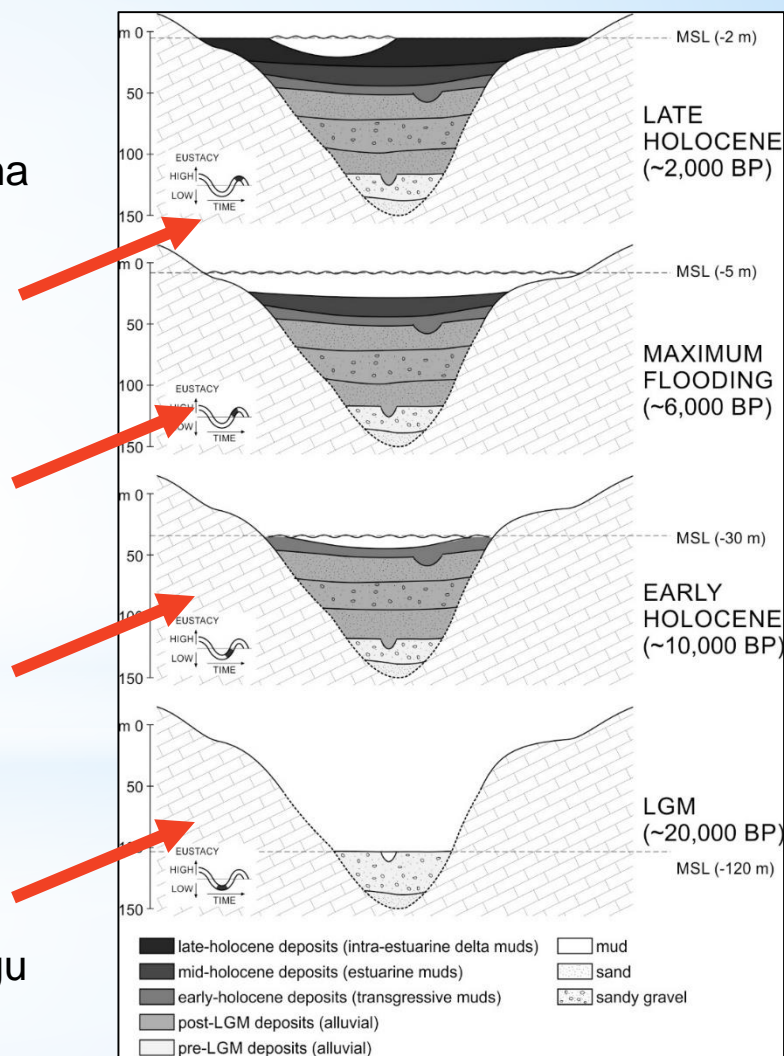
➤ “Keep up” estuariji su rijetki. Razvili su se samo u uvjetima kada je veliki donos sedimenta bio u ravnoteži s brzim porastom razine mora tijekom ranog holocena.

Klasifikacija estuarija po načinu postanka (Cooper et al., 2011)

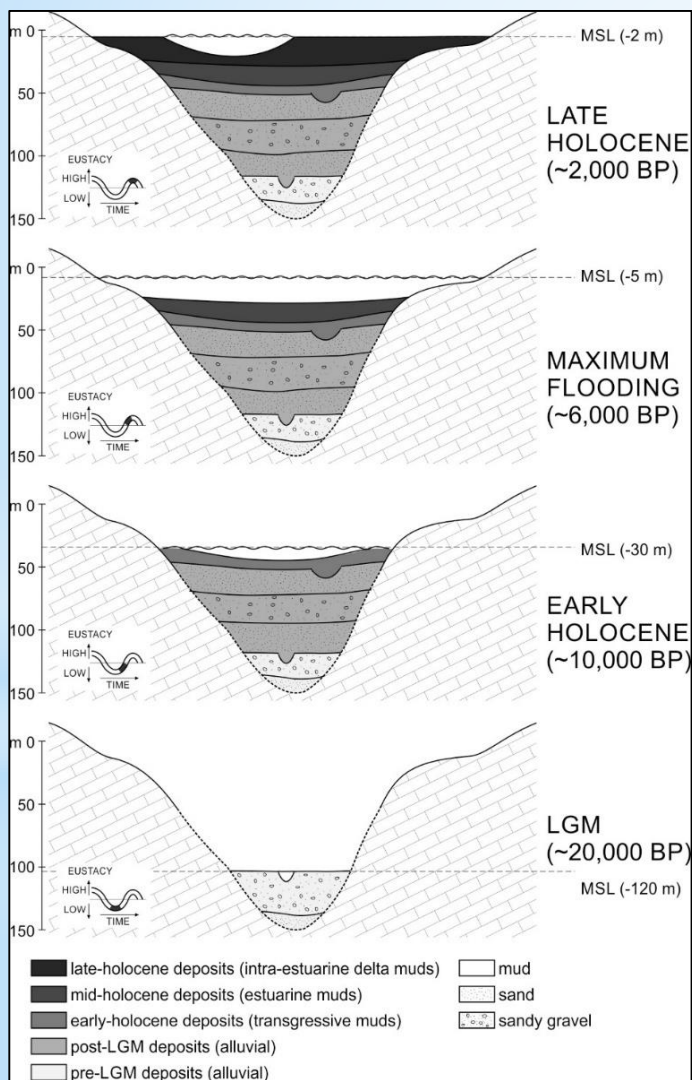


Idealizirani geološki profili različitih stadija ispunjavanja usječene riječne doline sedimentom, od zadnjeg glacijalnog maksimuma do kasnog holocena.

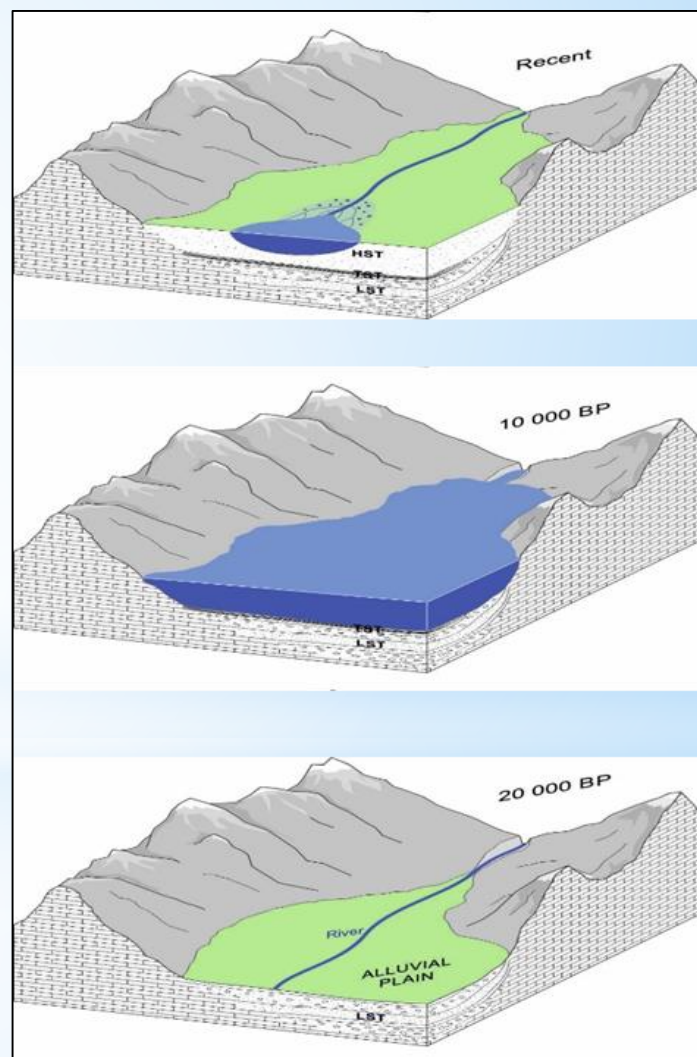
- Progradacija delte unutar estuarija tijekom srednjeg i kasnog holocena i ispunjavanje nekadašnje doline sedimentom.
- U periodu maksimalnog poplavlivanja taloženi su estuarijski/marinski sedimenti
- Brzi porast razine mora uzrokovao je potapanje doline i taloženje transgresivnih naslaga na starijim aluvijalnim naslagama
- U periodu zadnjeg glacijalnog maksimuma rijeke su erodirale starije sedimente i podlogu



Klasifikacija estuarija po načinu postanka (Cooper et al., 2011)



Felja, 2017.

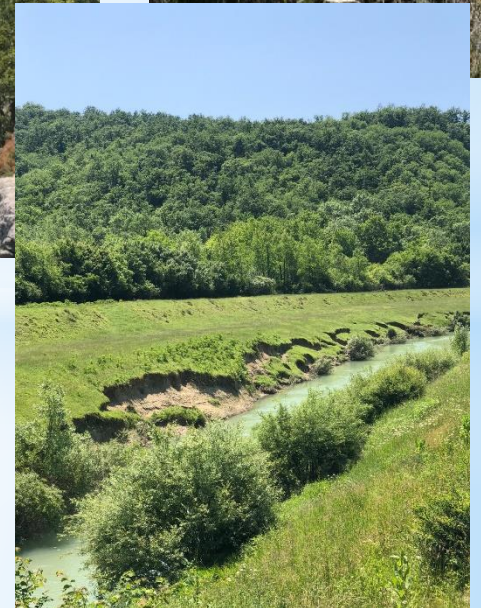


Izradio: R. Koščal.

Ušća na istočnom Jadranu



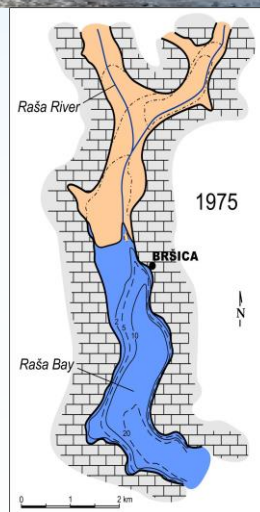
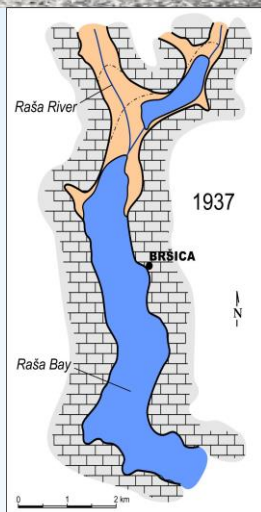
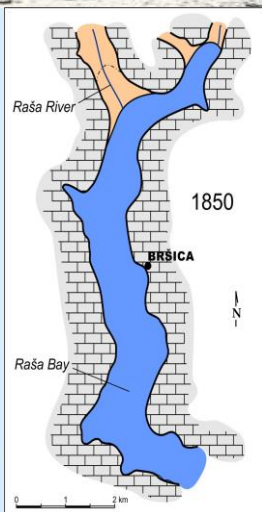
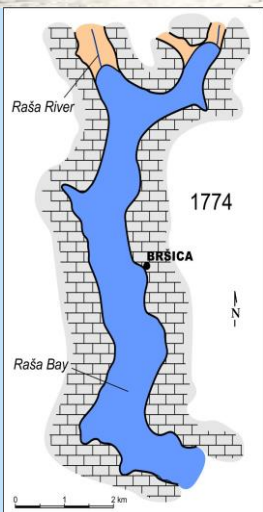
Mirna



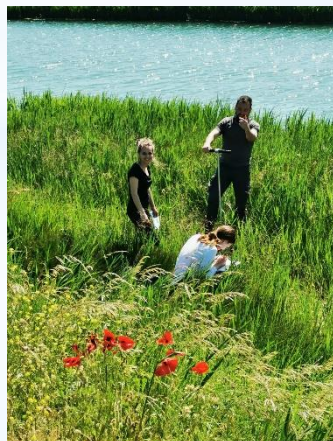
Fotografije: M. Juračić, A. Fontana, I. Felja, A. Božić



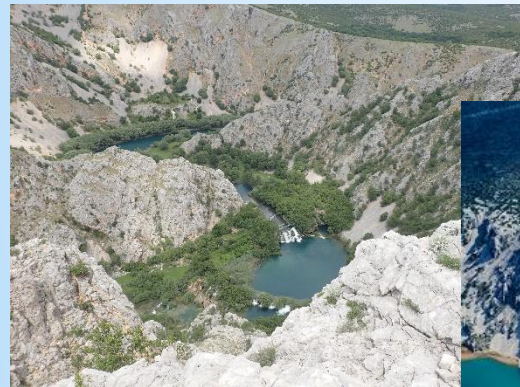
Raša



- prema Benac et al., 1991
- Progradacija delte unutar estuarija rijeke Raše 1774. - 1975.



Zrmanja

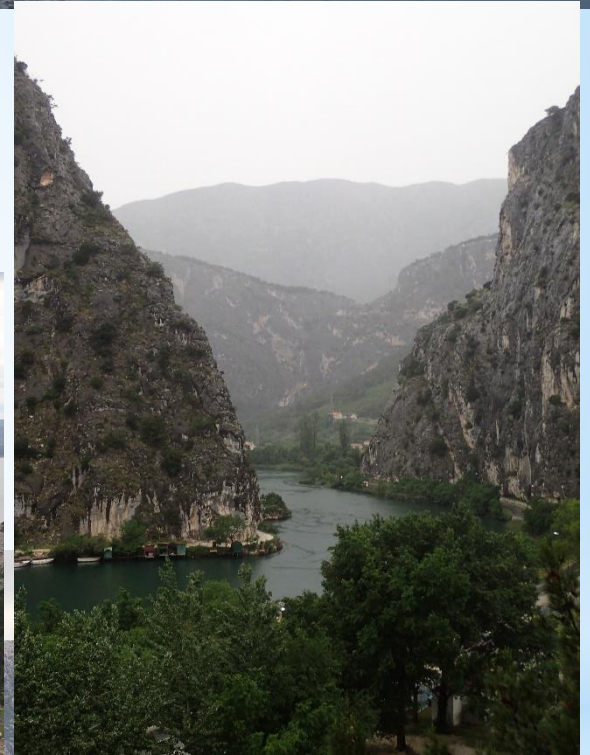
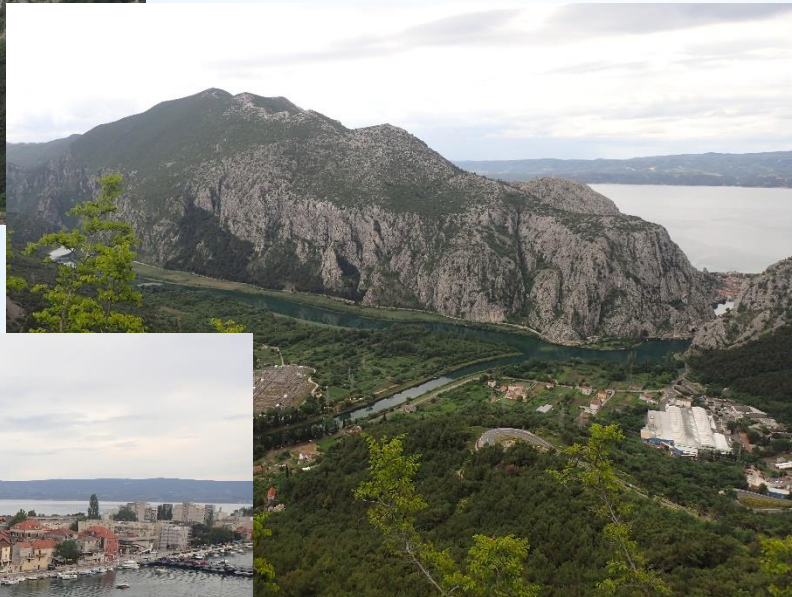
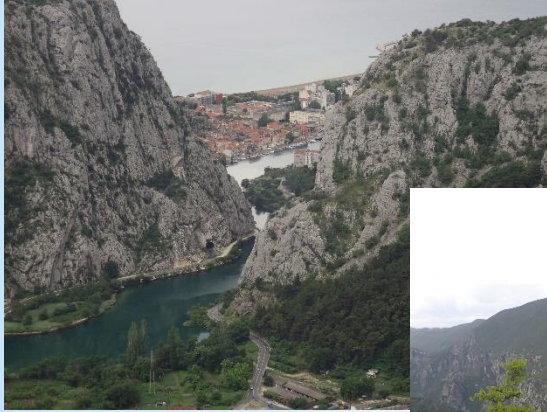


<https://cronivers.com/zrmanja/>

Krka

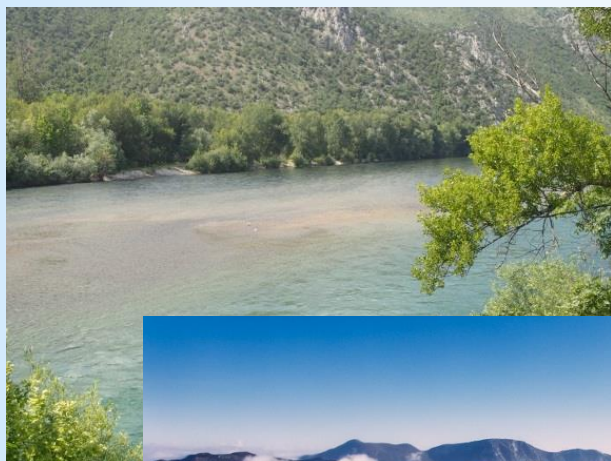


Cetina



Fotografije: M. Juračić, I. Felja

Neretva



Fotografije: M. Juračić, I. Felja

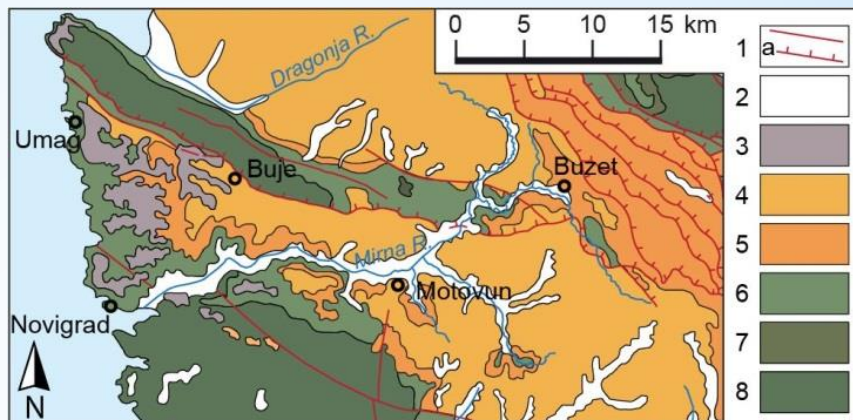


<https://plove.hr/galerije/rusce-neretva/>

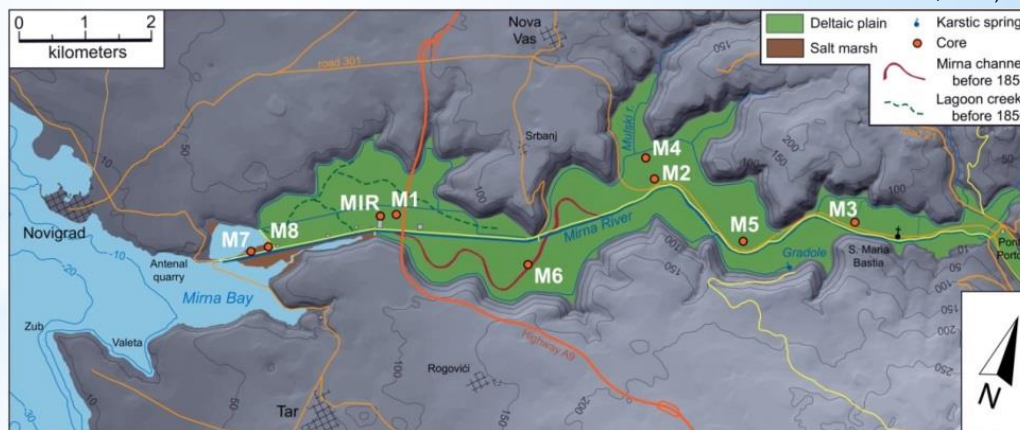
Istraživanje promjena taložnih okoliša i razine mora u deltnoj ravnici rijeke Mirne



Fotografija: M. Juračić



1. rasjed, 1a. navlaka,
2. kvartarne naslage,
3. Terra rossa (holocen).
4. naslage fliša (eocene),
5. liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci, prijelazne naslage (paleocen?, eocen),
6. rudistni vapnenci (kreda),
7. dolomiti i breče (kreda),
8. vapnenci i dolomiti (kreda) (Felja et al., 2015).

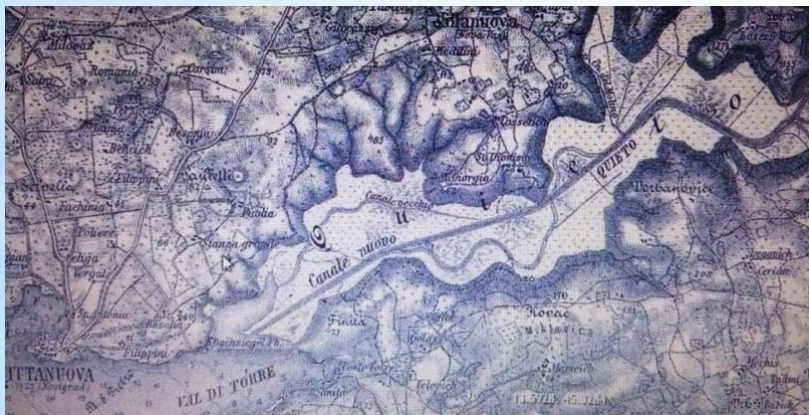


Geološka karta i karta deltno ravnice rijeke Mirne s lokacijama uzorkovanja jezgri (Felja et al., 2015).

Istraživanje promjena taložnih okoliša i razine mora u deltnoj ravnici rijeke Mirne

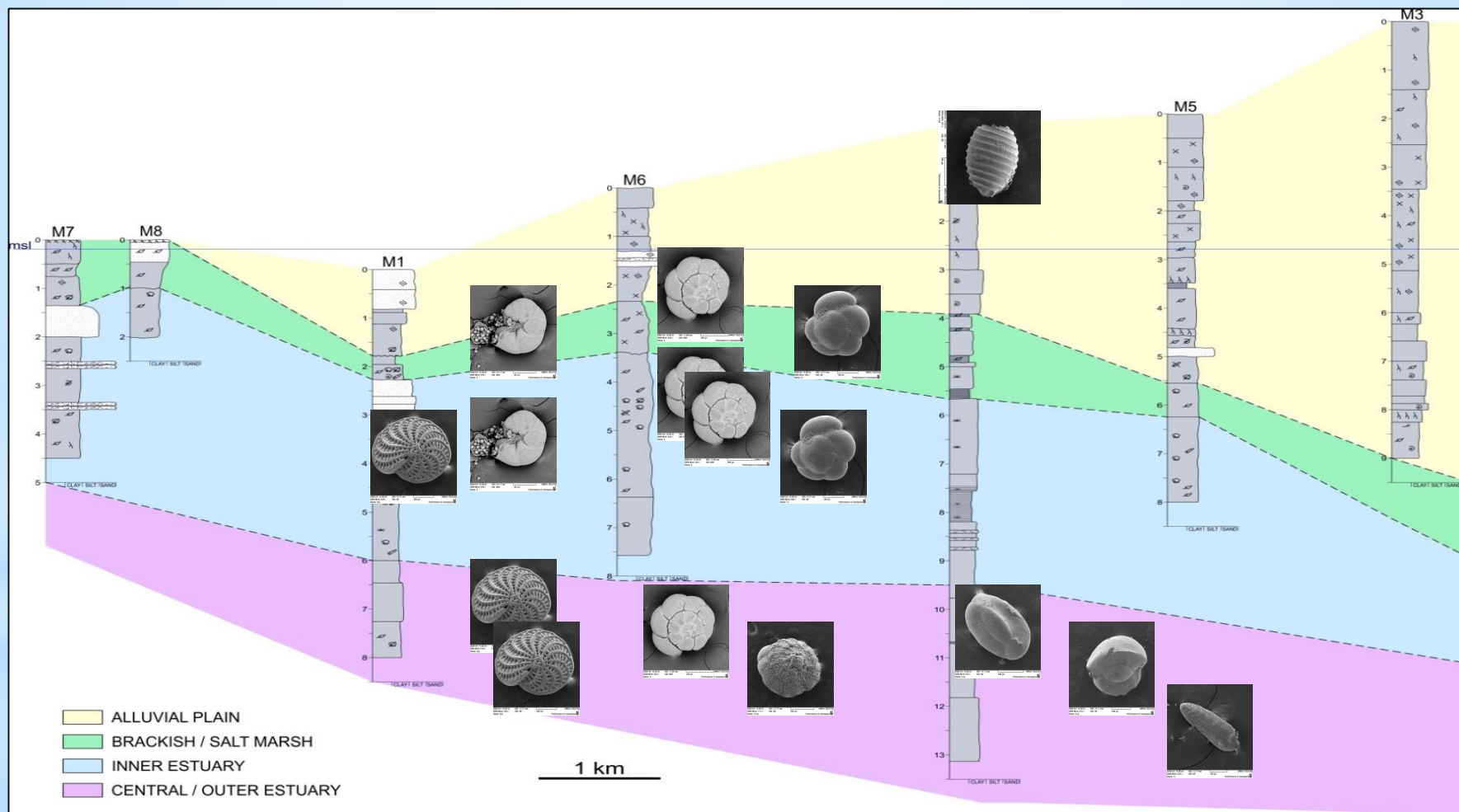


- Povijesne karte ušća rijeke Mirne
- Vidljiva progradacija (napredovanje prema moru) intraestuarijske delte



Povijesne karte ušća rijeke Mirne (1806-1869) (Timár et al., 2006) i (1869-1887) (Molnár & Timár, 2009) (Mapire.eu/en/).

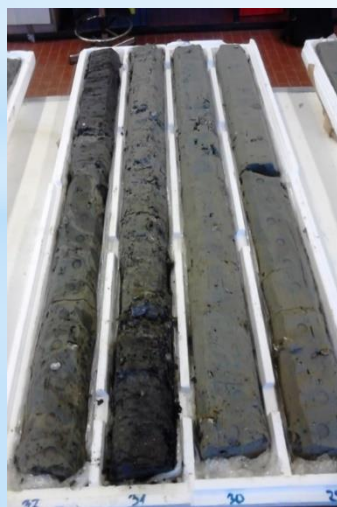
Istraživanje promjena taložnih okoliša i razine mora u deltnoj ravnici rijeke Mirne



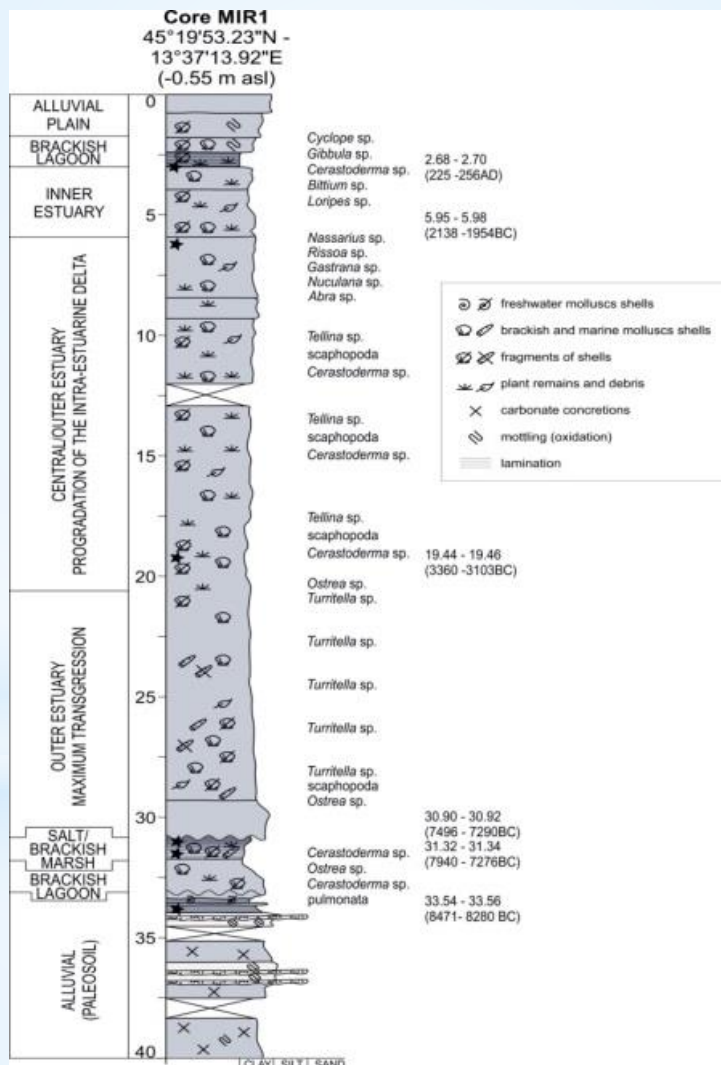
Istraživanje promjena taložnih okoliša i razine mora u deltnoj ravnici rijeke Mirne



Fotografija: A. Fontana



Fotografija: A. Fontana

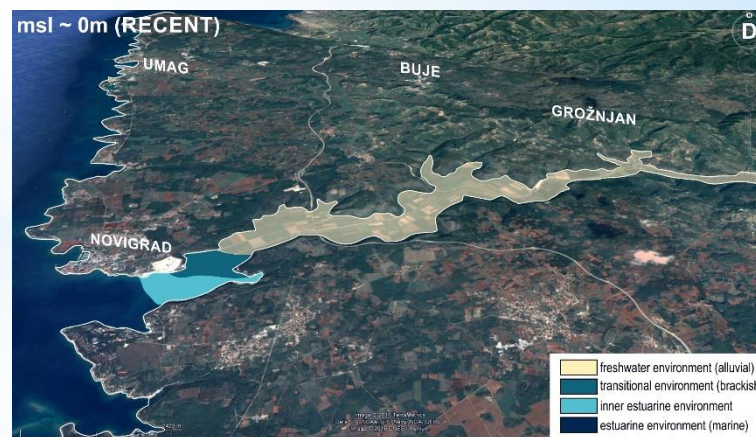
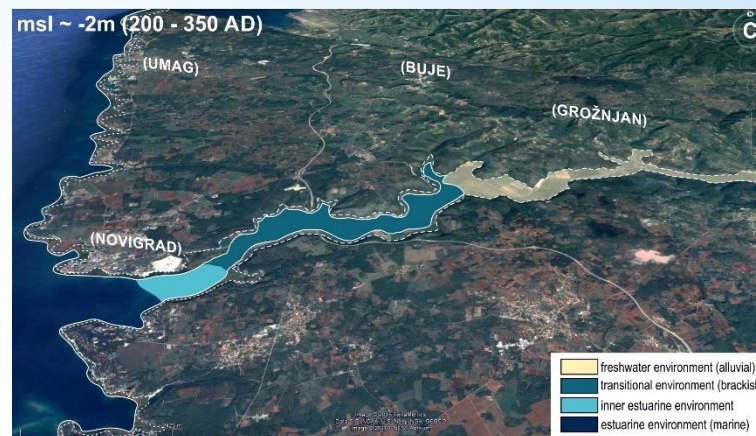
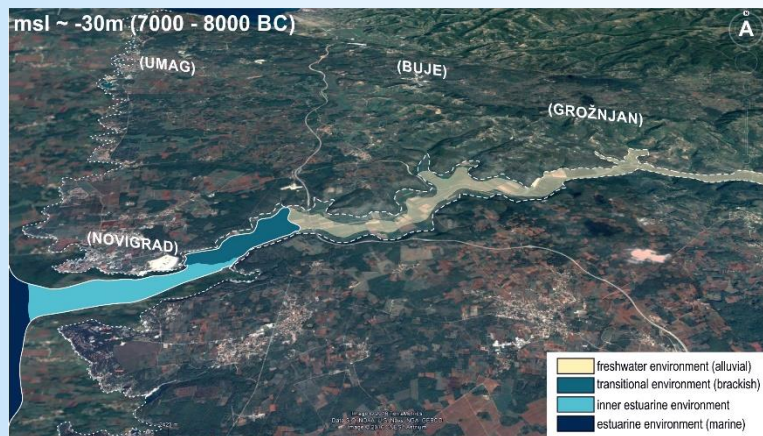


Felja, 2017



Fotografija: A. Fontana

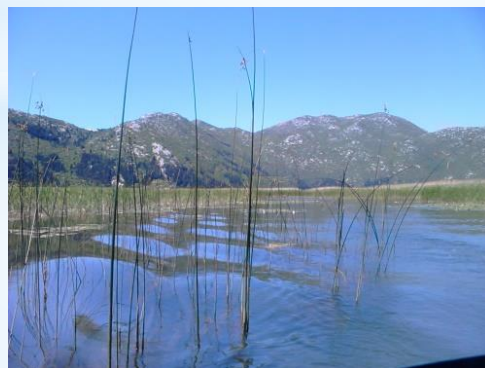
Istraživanje promjena taložnih okoliša i razine mora u deltnoj ravnicu rijeke Mirne



Istraživanje promjena taložnih okoliša i razine mora u deltnoj ravnici rijeke Neretve



Felja, 2017



Fotografije: I. Debeljak, P. Bakač

Istraživanje promjena taložnih okoliša i razine mora u deltnoj ravnici rijeke Neretve



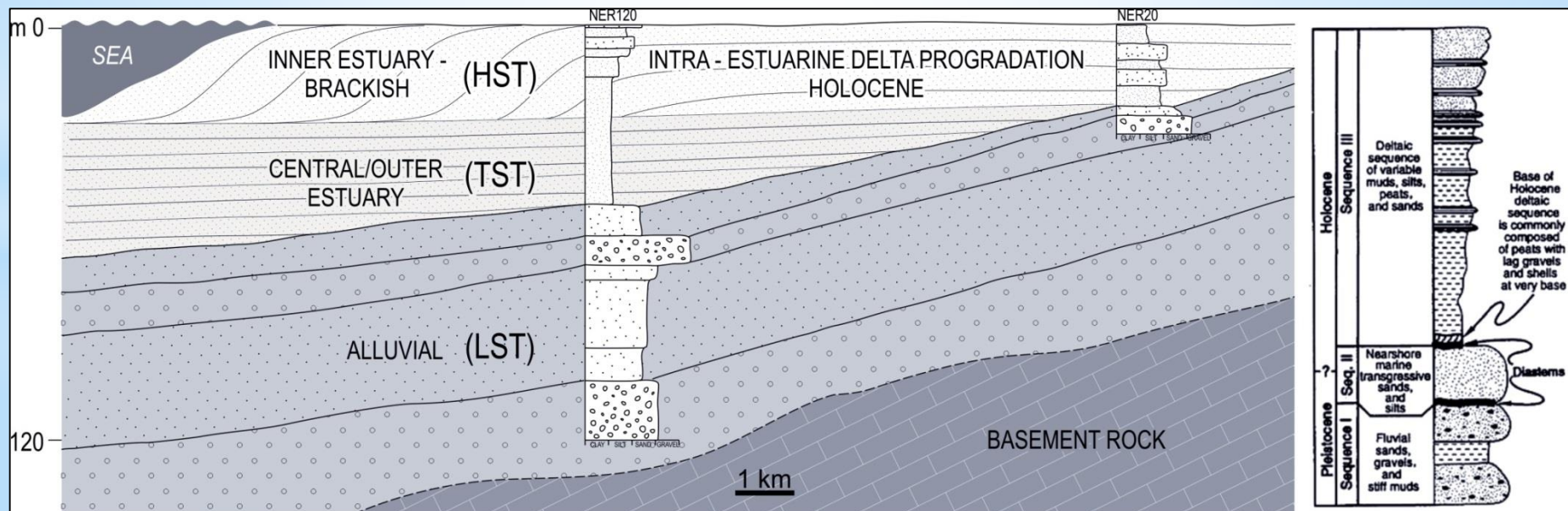
➤ Povijesna karta ušća rijeke Neretve



Delta Neretve prije regulacije

Povijesna karta područja delte rijeke Neretve tijekom drugog vojnog kartiranja Habsburškog Carstva (Mapire.eu/en/).

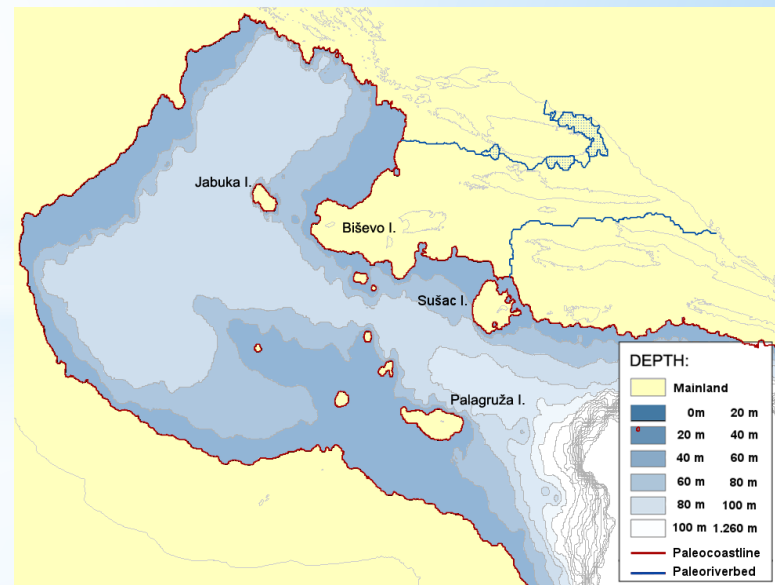
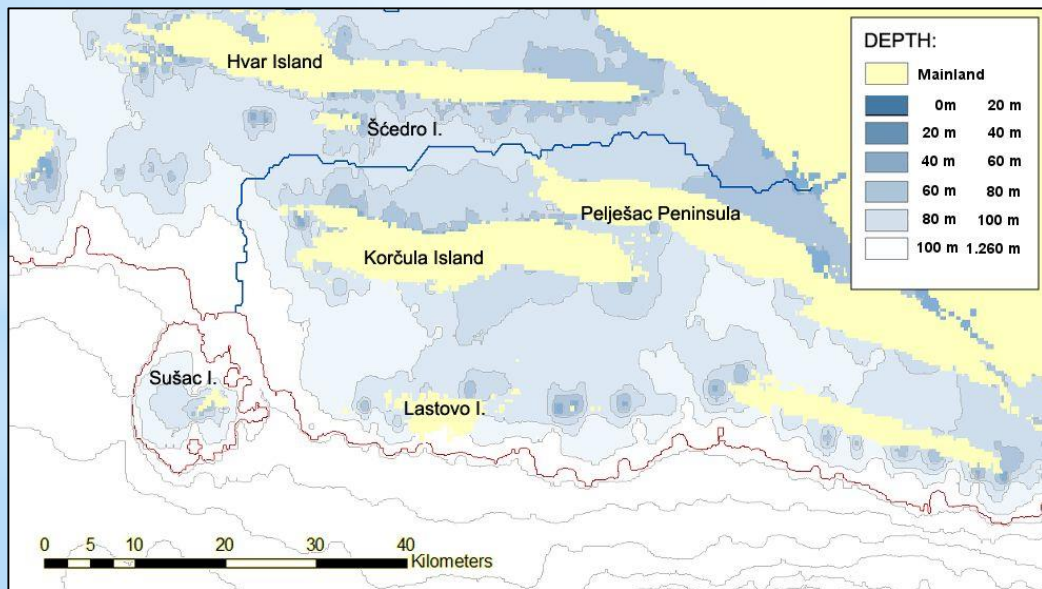
Istraživanje promjena taložnih okoliša i razine mora u deltnoj ravnici rijeke Neretve



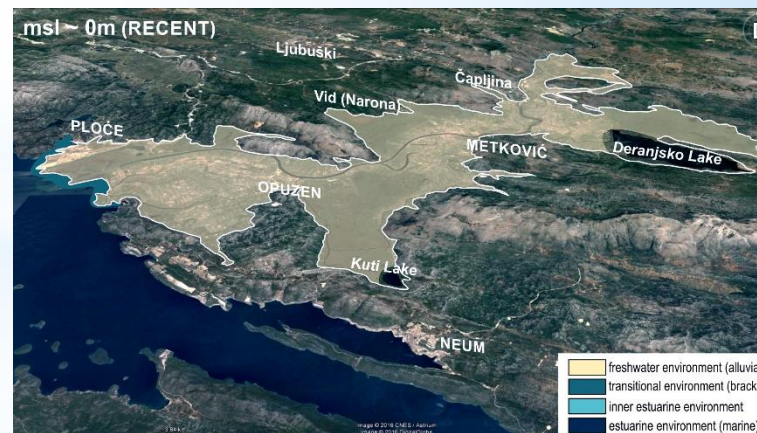
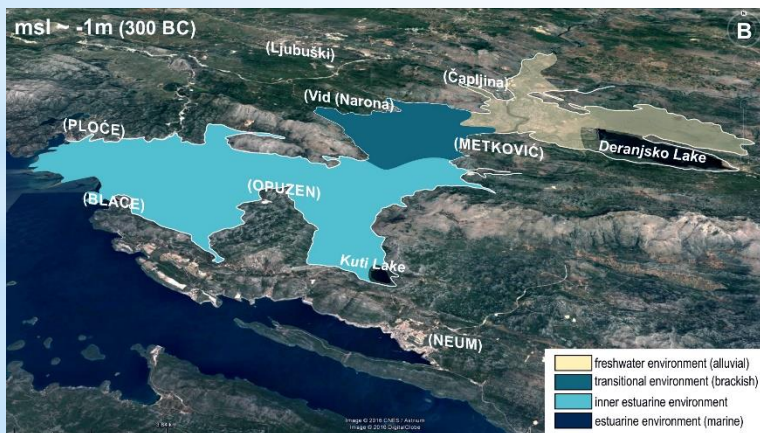
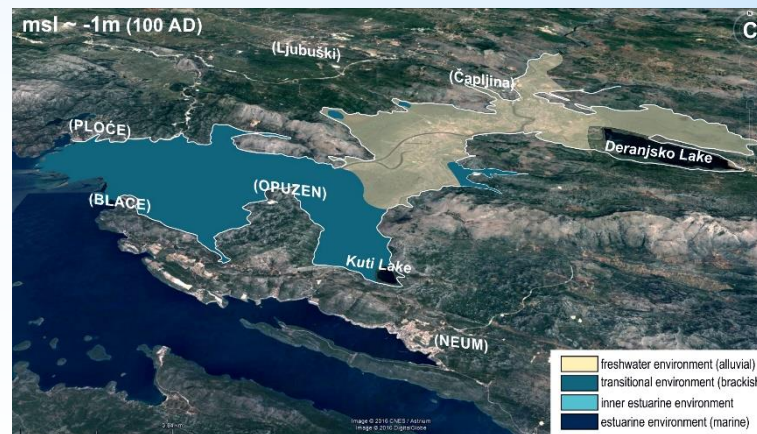
Istraživanje promjena taložnih okoliša i razine mora u deltnoj ravnici rijeke Neretve



- Rekonstrukcija paleokanala rijeke Neretve i paleo obale tijekom LGM (Digital elevation model (DEM)).
- Rijeka Neretva tekla je prema zapadu 110 km, od današnjeg ušća. Paleo ušće Neretve je najvjerojatnije bilo kod otoka Sušca, dodatna duljina toka Neretve 136km.



Istraživanje promjena taložnih okoliša i razine mora u deltnoj ravnicu rijeke Neretve

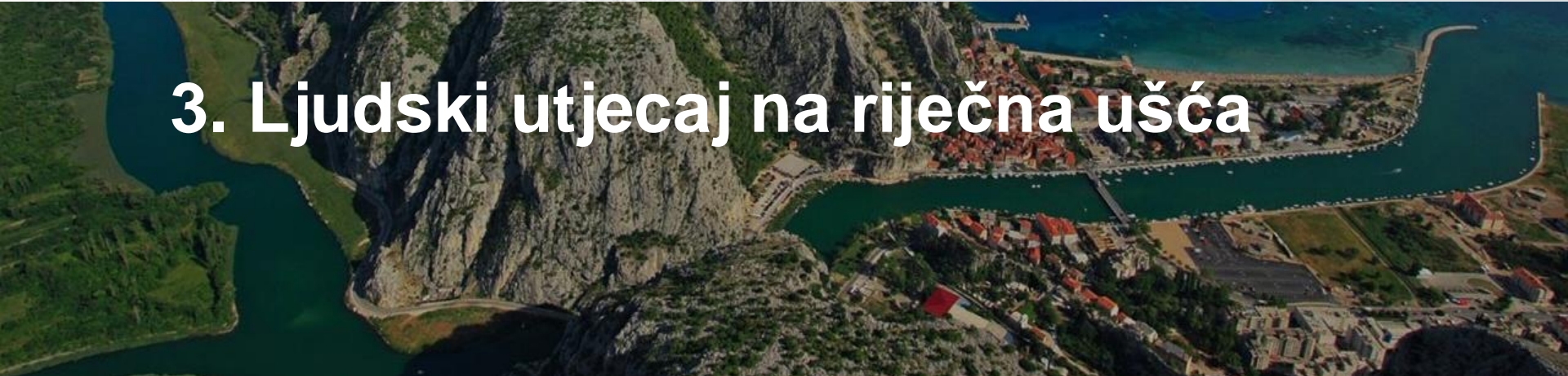


1. Promjene razine mora

2. Riječna ušća



3. Ljudski utjecaj na riječna ušća





- Eutrofikacija
- Kanalizacijski i organski otpad
- Gubitak i promjena staništa
- Kemijska zagađenja
- **Povećani i smanjeni donos sedimenta**
- Prekomjerni ribolov
- Invazivne vrste
- Izmijenjeni hidrološki režim
- Promjene klime
- **Obalna subsidencija**
- Otpad na površini i dnu mora



https://hr.wikipedia.org/wiki/Delta_Neretve



<http://www.energetika.ba/hidroenergija/3110-novi-uspjeh-hidroelektrana-na-neretvi-proizvodnja-elektricne-engije-veca-za-27-procenata.html>



<http://ancientromandeforestation.weebly.com>



<http://neretva-riverinperil.blogspot.hr/p/he-ulog-i-hes-gneretva-rs.html>



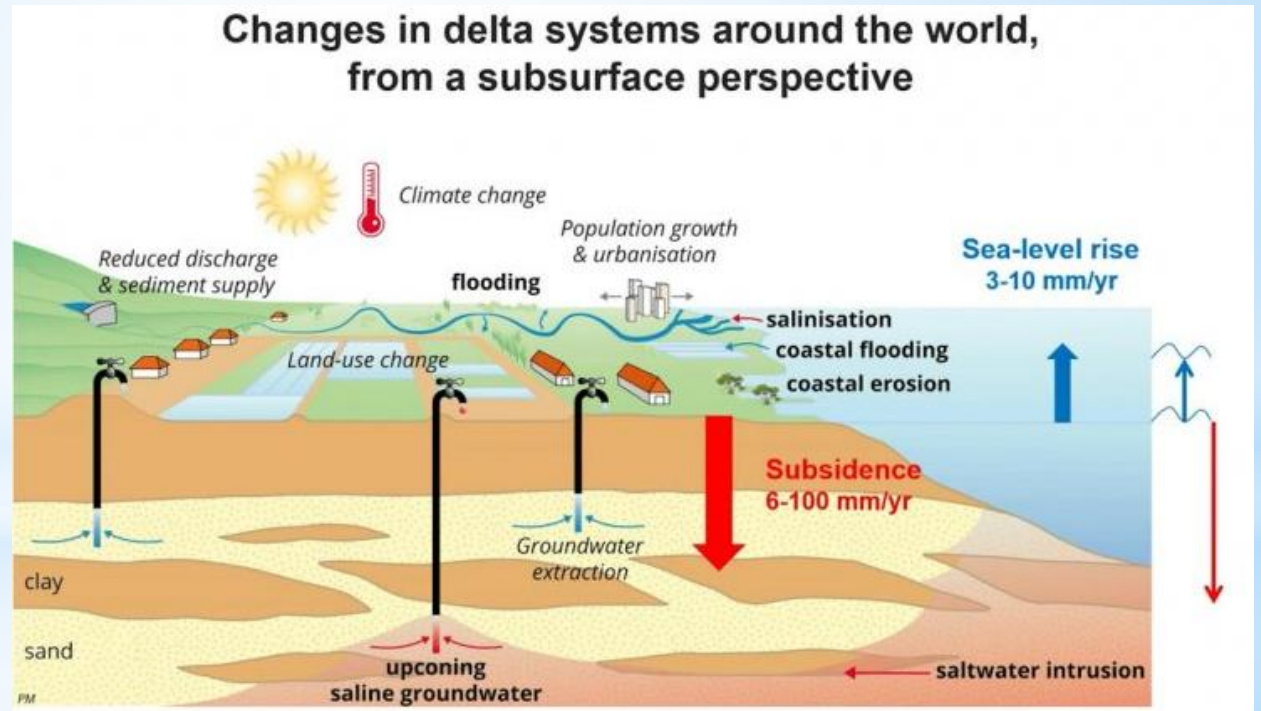
- Prirodni i ljudski čimbenici pomaknuli su mnoge delte iz faze aktivnog rasta u destruktivnu fazu pa su mnoga gusto naseljena područja danas ugrožena.



<http://www.vanguardngr.com/2012/10/flood-53000-displaced-11-communities-submerged-in-delta/delta-flood-flood/>



<http://msucare.com/disaster/flooding/images/corn.jpg>



<https://www.dutchwatersector.com/news/wwwweek-at-home-no-sediment-flow-no-river-delta>



- **Efektivni porast razine mora** je brzina mjerljive promjene razine mora u odnosu na površinu delte. Za pojedinu deltu, efektivni porast razine mora određen je kombinacijom sljedećih čimbenika:
 - 1. eustatičkog porasta razine mora
 - 2. prirodnom brzinom taloženja riječnih sedimenta
 - 3. subsidencije te ubrzane subsidencije uzrokovane crpljenjem podzemne vode i ugljikovodika.



1) Procjene brzine porasta razine mora u 20. stoljeću varirale su između 1.5 i 2 mm/god. S obzirom da više stotina milijuna ljudi žive u područjima s uzvišenjem od samo 1 metar od razine mora, porast ove magnitude predstavlja ozbiljnu prijetnju za ljude u tim područjima u sljedećim desetljećima.



http://archives.dailynews.lk/2009/07/16/z_page-21-Rising-sea01.jpg



http://www.ecologyflorida.org/mainsite/wp-content/uploads/2011/02/sea_level_rising_371845.jpg





2) Od kraja 19. stoljeća, značajno su se promijenile količine i brzine donosa sedimenta rijekama u obalne zone. Neke ljudske djelatnosti su uzrokovale povećani donos sedimenta rijekama, kao na primjer poljoprivreda, sječa šuma, rudarenje i urbanizacija, dok su druge ljudske djelatnosti smanjile donos sedimenta (gradnja rezervoara i brana, kontrola erozije tla, gradnja kanala...).



http://www.bayjournal.com/images/article_images/large/fhorton.jpg

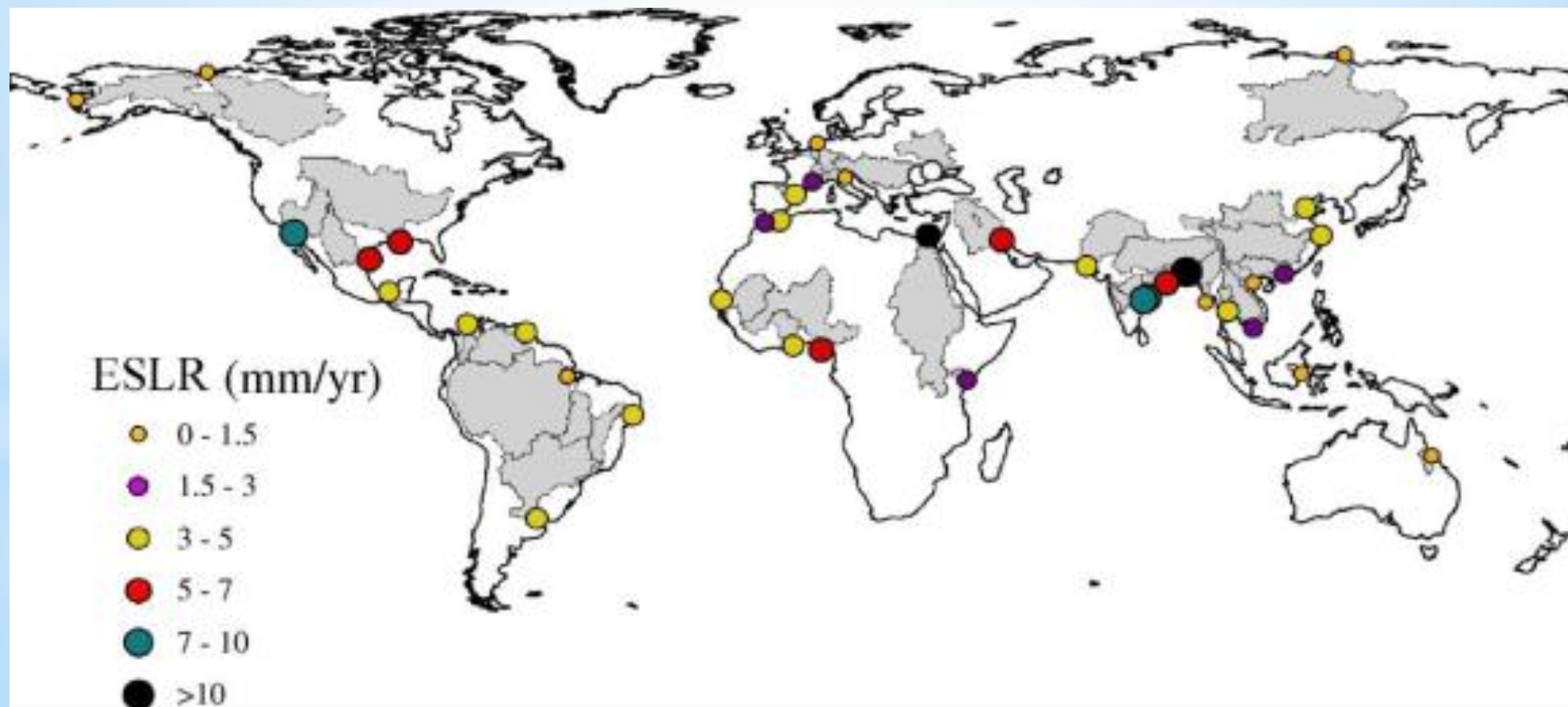


3) Subsidence nekonsolidiranog deltnog sedimenta

- posljedica kompakcije sedimenta zbog opterećenja krovinskim sedimentom i gubljenja vode iz sedimenta. Također, velika većina delti leže na velikim sedimentnim bazenima koji postupno tonu. Redovi veličina prirodnih subsidencija u deltama su oko 1-10 mm/god.
- Subsidence u mnogim deltama je ubrzana direktnim utjecajem čovjeka. Crpljenje ugljikovodika i podzemne vode iz vodonosnika unutar delti uzrokuje kompakciju sedimenta uslijed smanjenog porednog pritiska vode u vodonosniku i okolnom glinenom materijalu. Ubrzana subsidencija je primijećena na mnogim deltama po svijetu i može lokalno doseći do 300 mm/god.



- Globalna raspodjela efektivnog porasta razine mora pod trenutačnim uvjetima pokazuje procijenjene vrijednosti koje variraju od 0,5 mm/god do 12,5 mm/god, sa srednjom vrijednošću od 3,9 mm/god.





- Dominantni čimbenici odgovorni za efektivni porast razine mora u trenutačnim uvjetima za 40 delti. Gubitak sedimenata zbog gradnji rezervoara i promjene tokova je dominantan čimbenik za 27 delti, eustatički porast razine mora za 8 delti, a ubrzana subsidencija je dominantan čimbenik za 5 delti.



Literatura:

BENJAMIN, J; ROVERE, A; FONTANA, A; VACCHI, M; INGLIS, ROBYN H; GALILI, E; ANTONIOLI, F; SIVAN, D; MIKO, S; MOURTZAS, N; FELJA, I; MEREDITH-WILLIAMS, M; GOODMAN-TCHERNOV, B; KOLAITI, E; ANZIDEI, M; GEHRELS, R: Late Quaternary sea-level changes and early human societies in the central and eastern Mediterranean Basin: An interdisciplinary review. // Quaternary international, 449 (2017), 29-57 doi:10.1016/j.quaint.2017.06.025

CORREGGIARI, A., ROVERI, M. & TRINCARDI, F. (1996): Late Pleistocene and Holocene evolution of the north Adriatic sea II Quaternario. Italian Journal of Quaternary Sciences, 9/2, 697-704.

FELJA, I: Karstic estuaries along the eastern Adriatic coast: Late-Quaternary evolution of the Mirna and Neretva River mouths (Krški estuariji duž istočne jadranske obale: evolucija ušća rijeka Mirne i Neretve u mlađem kvartaru)., 2017., doktorska disertacija, 169 str., Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Zagreb.

FELJA, I., FONTANA, A., FURLANI, S., BAJRAKTAREVIĆ, Z., PARADŽIK, A., TOPALLOVIĆ, E., ROSSATO, S., ČOSOVIĆ, V. & JURAČIĆ, M. (2015): Environmental changes in the lower Mirna River valley (Istria, Croatia) during the Middle and Late Holocene. Geologia Croatica. 68, 3; 209-224

KENNISH, M. J. (2016): Encyclopedia of estuaries. Springer Dordrecht, Heidelberg, New York, London, 760 p.

SIKORA, M., MIHANOVIĆ, H. & VILIBIĆ, I. (2014): Paleo-coastline of the Central Adriatic Sea, and Paleo-Channels of the Cetina and Neretva rivers during the last glacial maximum. Acta Adriat. 55, 1; 3-18.

WAELEBROECK, C., LABEYRIE, L., MICHEL, E., DUPLESSY, J.C., LAMBECK, K., MCMANUS, J.F., BALBON, E. & LABRACHERIE, M. (2002): Sea-level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records. Quaternary Science Reviews 21, 295-305.