

Geologija mora

Mediterran i Jadran (13)

Mladen Juračić, Geološki odsjek PMF-a,
Sveučilište u Zagrebu, 2013/14

Mediteran (Sredozemlje)

- Mediteran (Sredozemlje) je nastao sabijanjem prostora Tetisa između Afrike i Eurazije.
- Ostatak je većeg oceanskog bazena.



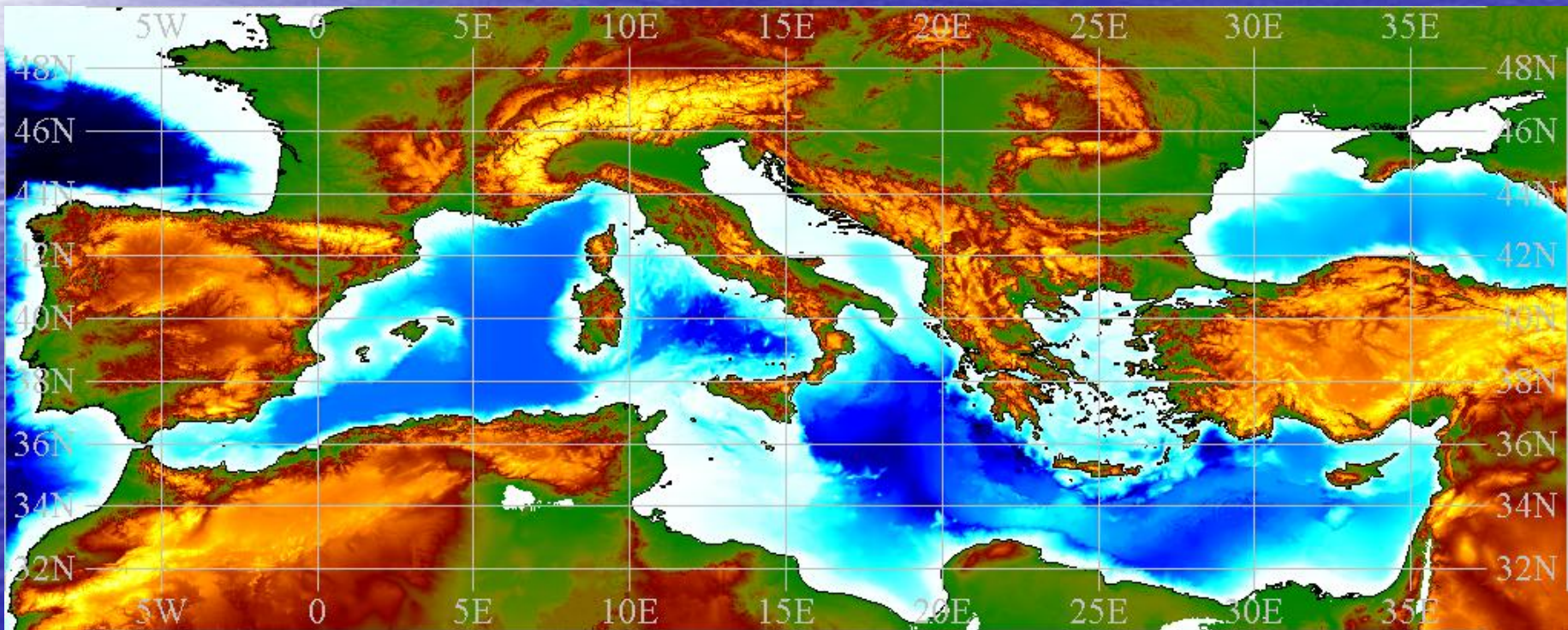
Mediteran

- Vrlo komplicirane geologije (mozaik malih i velikih litosfernih ploča)
- Konvergencija dvaju kontinentskih ploča karakterizirana je neotektonskim gibanjima, vulkanizmom, potresima.



Mediteran

- Klasičan primjer relativno malenog, a dubokog i kompleksnog bazena okruženog kontinentima
- Prema njemu se definiraju i ostala sredozemna mora Shepard (1948):
 - Meksički Zaljev, Karibi, Kinesko more, iako su tektonogenetski drugačija.
- Mediteran je malo plići od oceana ali mu dubine dopiru i do 5000 metara (5121 m).



Mediteran

- Geološki, Sredozemlje je kompleksno područje konvergencije.
- Tektonska evolucija puna je kontroverzi jer ga je istraživalo i njime se bavilo puno europskih istraživača raznih škola!
- Svi se slažu da je u pitanju kolizija kontinent/kontinent, a puno podataka ima u nabranom gorju oko Mediterana.
- Dugačak je oko 4000 km i sastoji se iz tri dijela
 1. **Balearski bazen**, ravna abisalna ravnica;
 2. **Tirensko-Egejsko područje**, karakteristična podmorska uzvišenja (seamounts) i vulkani;
 3. **Istočni Mediteran**, s lučnim grebenom (Mediteranski greben) podmorskim jarkom.
- Zajednička u sva tri dijela je pliokvartarna klastičnu serija, gornje miocenski evaporiti, te starije dubokomorski sedimenti

Mediteran

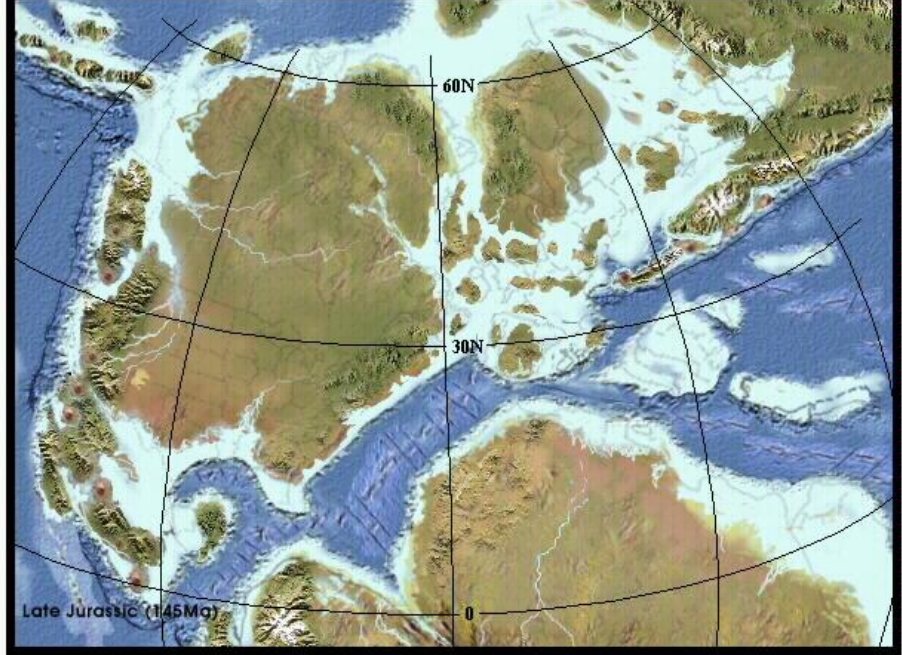
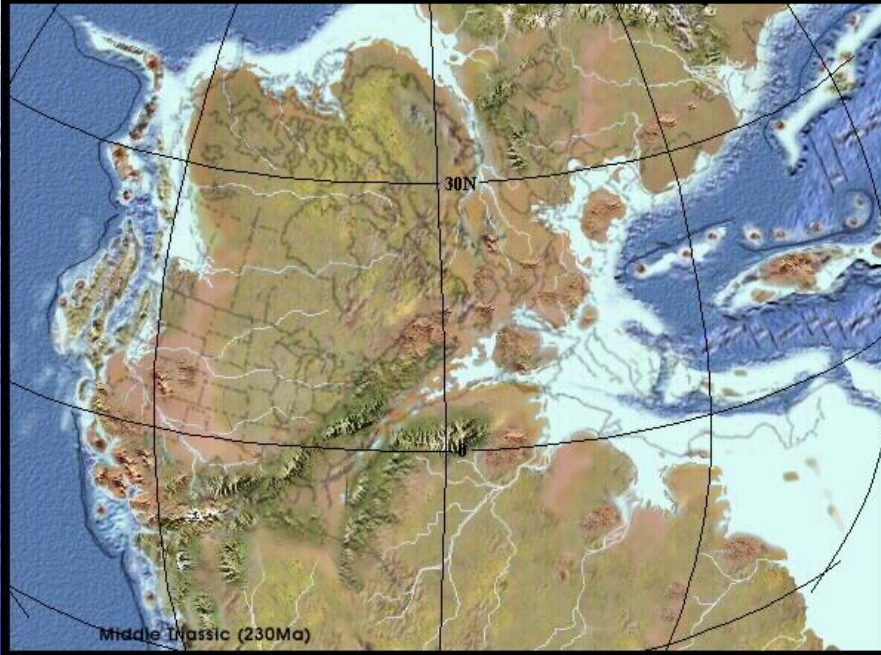
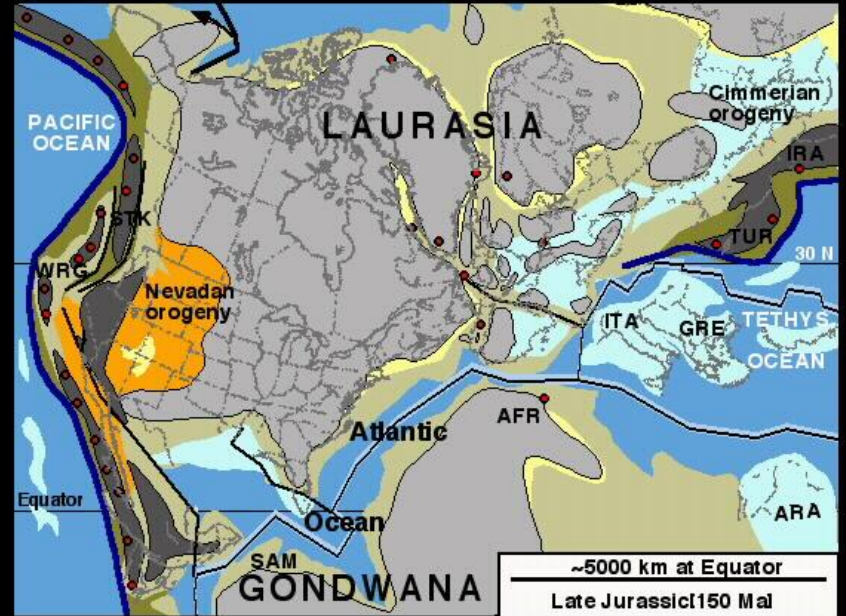
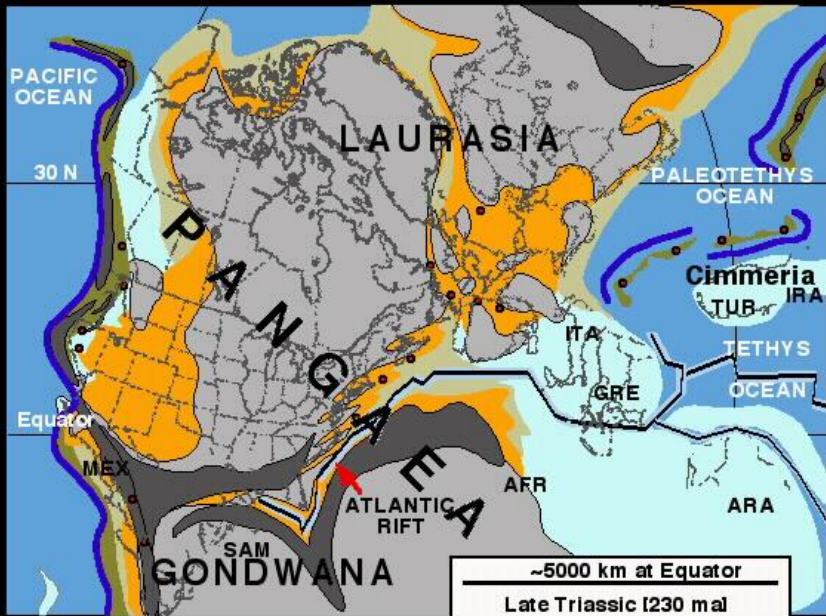
- Međutim, Balearski, Tirenski i Egejski bazen su mlađi, formirani od oligocena do današnjice, a Istočni Mediteran je ostatak ranomezozojskog oceana i južnog kontinentskog ruba.
- Agrand (još 1924) kompleksnost Mediterana objašnjava pomicanjem (driftom) kontinenata i rotacijom mikrokontinenata, te kaže da je Mediteran s rubnim gorjem najzapadniji dio tektonskog pojasa Tetisa.

Mediteran

- Neumayr (1883) je prvi spomenuo Paleomediteran koji se proteže od Indije do centralne Amerike, a na temelju jurske faunalne biogeografije, što je preuzeo i Suess (1885) i dao naziv Tetis.
- Du Toit (1937) je iznio pretpostavku da je Tethys dijelio **Lauraziju** od **Gondwane** od sredine paleozoika nadalje.

Mediteran

- Današnji Mediteran skriva strukturne odnose između tektonskih pojasa sjeverne Afrike i južne Europe.
- Mediteranski prostor je mijenjajući mozaik malih i velikih ploča, te se stvaraju grebeni, brazde, otočni lukovi i novi bazeni
- **NEOTETIS.**

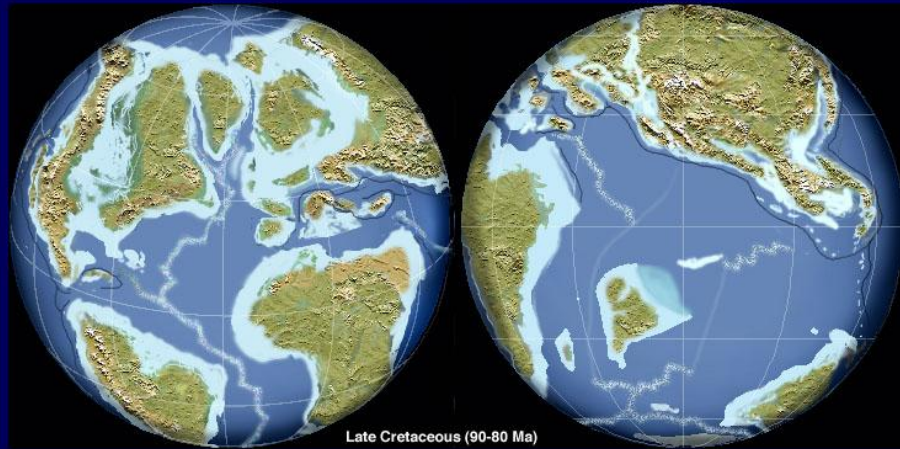




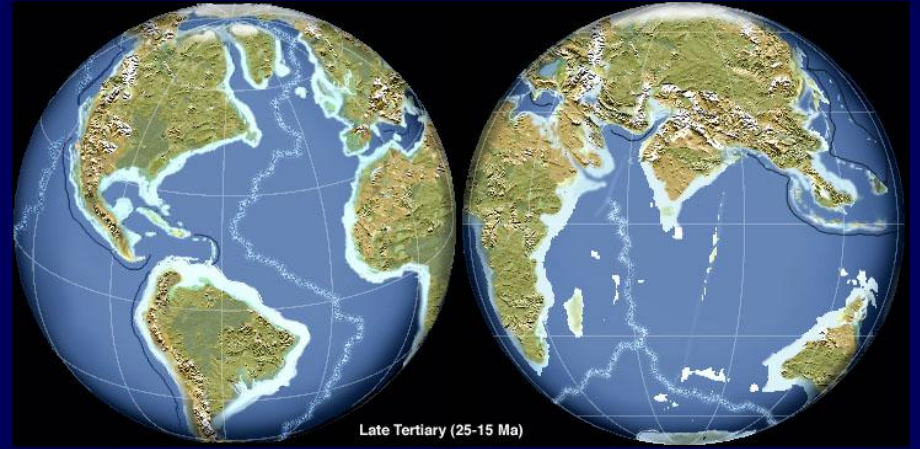
**Late Cretaceous-
Early Tertiary**



Tethys → Mediteran



Late Cretaceous (90-80 Ma)



Late Tertiary (25-15 Ma)



Late Cretaceous 80 Ma



Early Miocene 20 Ma

Mediteran

- “Salinity crisis” u Mediteranu.
- U gornjem miocenu je došlo do zahlađenja i sakupljanja leda na Antarktiku (koji se potom tamo i zadržao sve do današnjice), te dolazi do glacioeustatičkog sniženja morske razine za **40 m**.
- To je iniciralo spektakularne događaje u Mediteranu.
- Dotadašnja veza s Atlantikom bio je **Betički tjesnac** - prolaz kroz Andaluziju (tzv. **IBERIJSKI PORTAL**), jedino mjesto morske veze koje je ostalo zbog sudaranja Afrike i Južne Europe.
- U mesiniju od ca 6,5 Ma do početka pliocena (tabian) oko 5,3 Ma nastalo je od Mediterana **Lago mare** u kojem se istaložilo $1 \times 10^6 \text{ Km}^3$ evaporita (gips, halit i drugo).

Mediteran

- Recentni Mediteran ima volumen od oko $3,7 \times 10^6 \text{ km}^3$, a višak evaporacije je oko $3,3 \times 10^3 \text{ km}^3/\text{y}$.
- Da se Gibraltar zatvori, trebalo svega oko 1130 godina da se isuši!

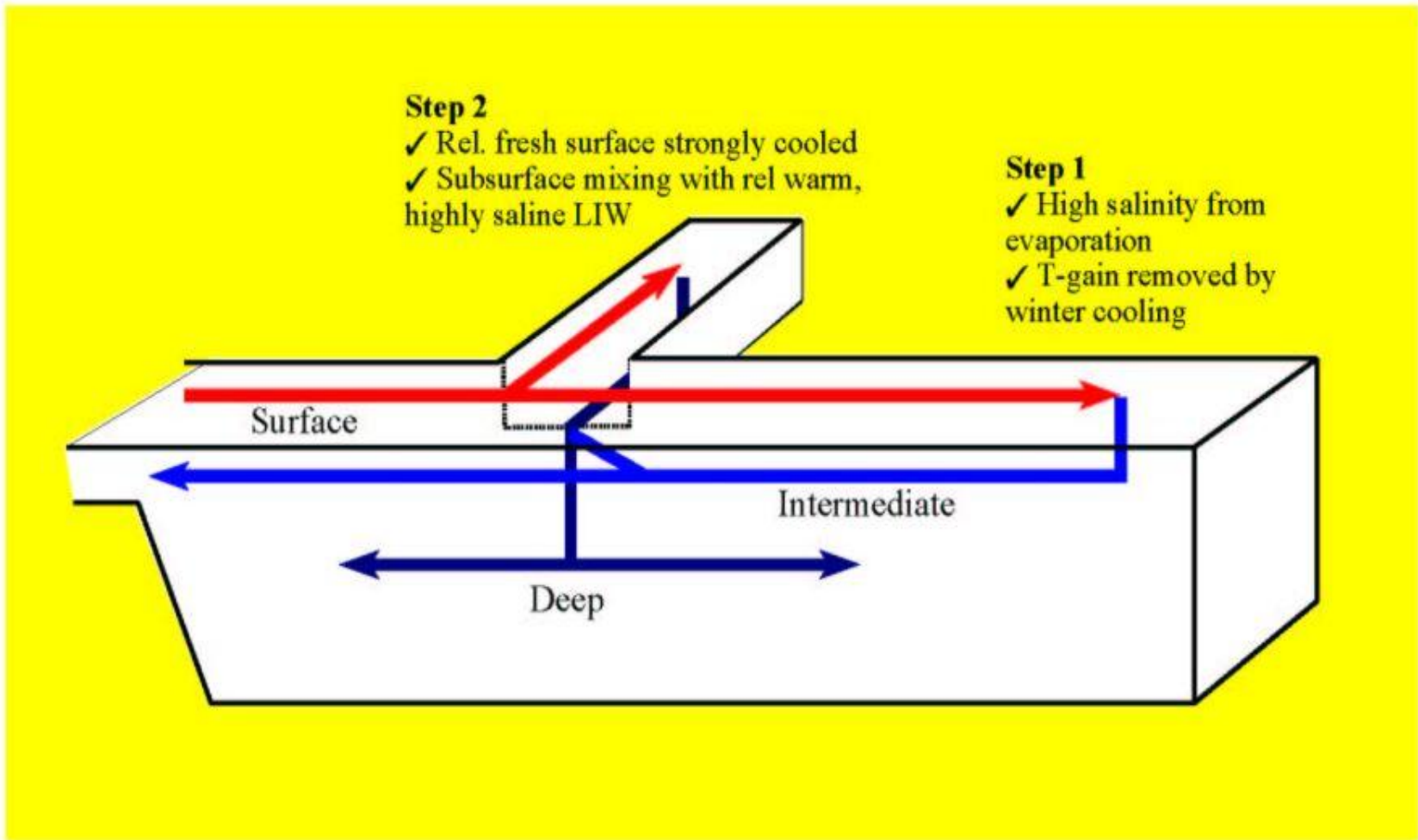


Mediteran

- 1972. DSDP: Evaporiti u Mediteranu debeli i 2-3 km
- Procjena da se trebalo isušiti 40 volumena Mediterana da bi nastale tolike količine evaporita.
- Kao posljedica taloženja tolike količine evaporita treba pretpostaviti da je salinitet ostatka svjetskog mora opao. To je i dokumentirano. Salinitet svjetskog mora pao je sa 36 na 34 odnosno za 6 %.
- Povećanjem saliniteta Mediteranske vode nastali su stresni uvjeti koji su doveli do gotovo **biotički sterilnih uvjeta**.
- Razvoj **krize saliniteta (*salinity crisis*)**.
- Dominacija ostrakoda i diatomeja koje dobro podnose visoki salinitet - tripoli sedimenti.
- Punjenje kroz Gibraltar (~100 g.), nastup nove faune, dokazi o dubokom bazenu koji se isušio itd.

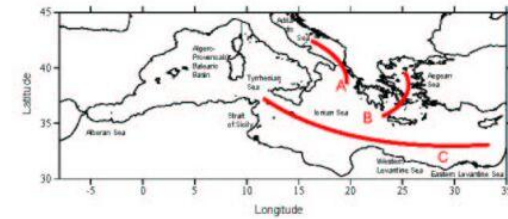
Mediteran

- U neposrednoj geološkoj prošlosti, prije 9500 do prije 6000 godina u cijelom Istočnom Mediteranu taloženi su **sapropeli**, na dubinama preko 350 m.
- Naime, zbog povećanog dotoka slatkih voda nije dolazilo do tonjenja intermedijernih voda u duboki dio Sredozemlja kao što se to danas događa:

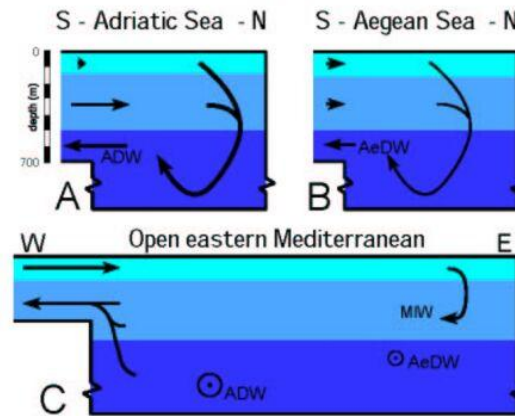


Sadašnja način cirkulacije voda u istočnom Sredozemlju

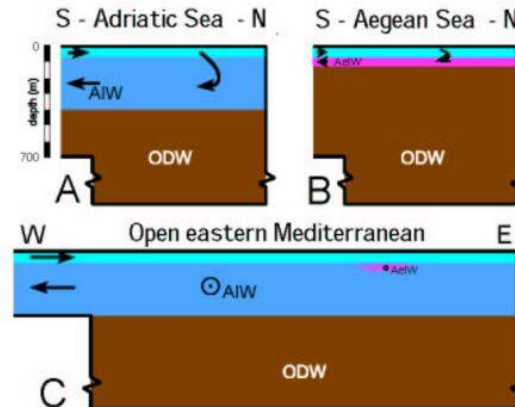
- Treba istaknuti da je sustav cirkulacije voda u Sredozemlju dosta nestabilan te da manje klimatske promjene (na koje djeluje i čovjek) mogu dovesti do znatnih promjena u okolišu. Zamijećen je porast prosječne temperature duboke zapadno-sredozemne vode od 0,1 °C u prošlom stoljeću.
- Može se pretpostaviti da gradnja brana na rijekama i veća upotreba riječnih voda mijenja bilancu Sredozemne vode.



Present-Day (pre 1988)



Sapropel-time



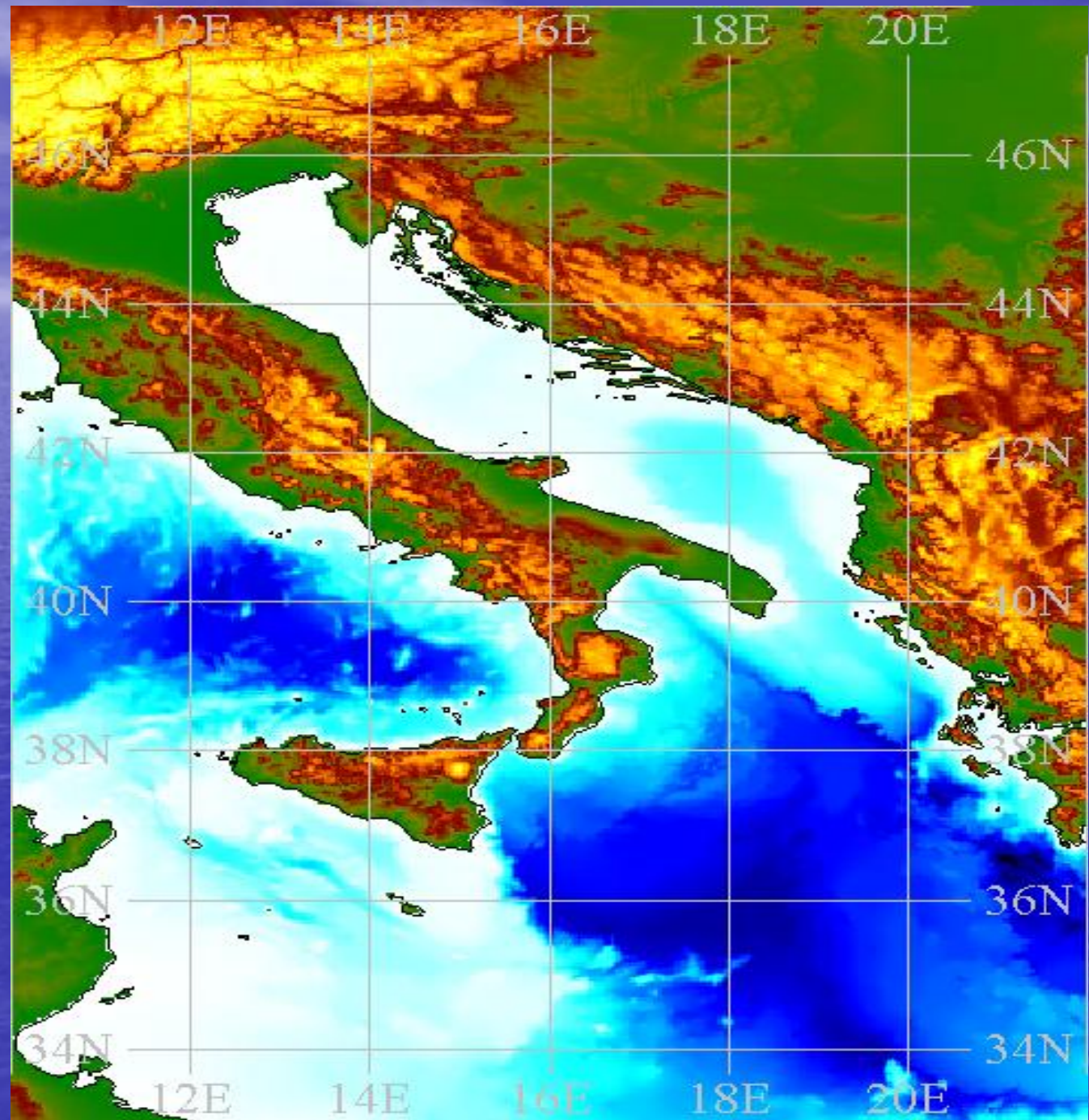
Jadran

tektonski sklop,
razvitak,
morfologija,
sedimenacija

0 500km

A topographic map of the Adriatic region, showing the Italian Peninsula, the Balkans, and the Adriatic Sea. The map uses color to represent elevation, with green for lowlands and brown for highlands. A scale bar at the bottom indicates 0 to 500 km.

Jadran



Jadran

- Geofizički i geološki podaci iz središnjeg dijela Mediterana ukazuju da su **Jadran i padska nizina** mikroploča koja se odvojila od Afričke megaploče u mezoziku.
- Odvajanje je počelo u srednjem - gornjem trijasu ($T_{1,2}$) a da je potpuno odvojena u dogeru (J_2)
- U to se doba otvorila "jonska zona" i istočni Mediteran u kojima nalazimo i pravu oceansku koru.

Jadran

- U današnjem jadranskom području tijekom donjeg trijasa taložili su se vapnenci s cefalopodima, a u srednjemu algalni vapnenci.
- Od norika (T_3) do gornje krede (oko 160 Ma) postojao je jedinstven taložni prostor karakteriziran debelim slijedom karbonatnih sedimenata (vapnenci i dolomiti) tzv. **Jadranska karbonatna platforma (ADCP)**.
- Njene ostatke osim u Jadranu nalazimo i u nabranim gorjima oko Jadrana (Južne Alpe, Dinaridi).

Jadran

- U **eocenu** i početkom oligocena ploča se kretala prema N, NE pa se izdižu (stvaraju) Alpe i Dinaridi.
- Krajem **oligocena** mijenja smjer kretanja - formira se čvrsti kontakt s Europskom pločom te kretanje skreće u SW smjer, te se s dijelovima europske ploče stvaraju Apenini i Talijanska čizma. Velike količine klastičnog, terigenog materijala nastalog erozijom uzdignutih masiva zapunjavaju depresije (**taloži se fliš**).
- U **miocenu** i **pliocenu** strukturno gledano Jadran je formiran kao os grebena (tzv. srednje-jadranski greben a bočno se nalaze depresije na kojima se prati i dalje navlačenje s obje strane (vergencije sa suprotnih strana).
- U području Albanije izraziti su transformni rasjedi.

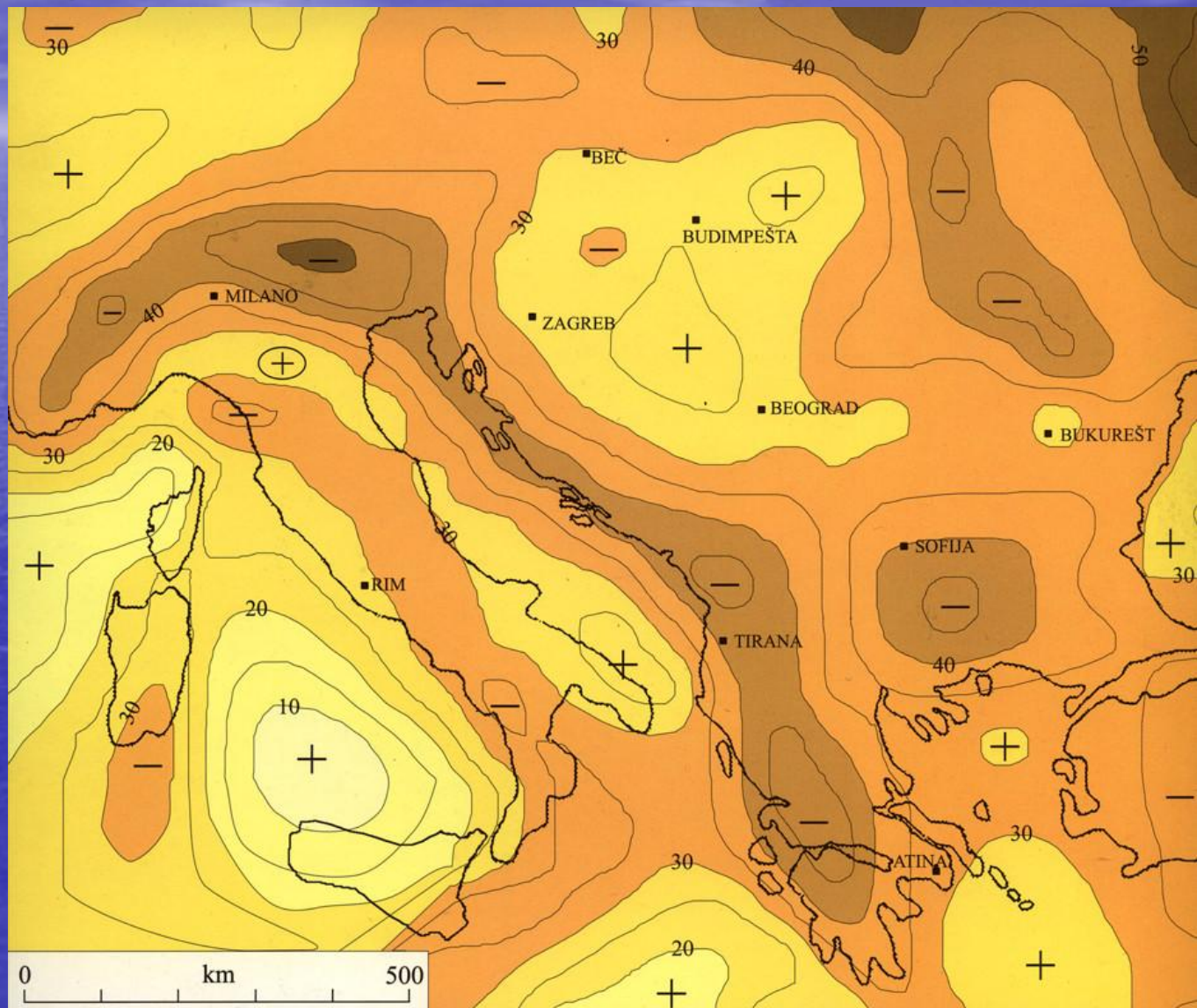
Jadran

- Krajem miocena (u mesiniju prije oko 5 Ma) kao i u cijelom Mediteranskom prostoru izniman geološki događaj, važan za razumijevanje nastanka Jadrana (okršavanje i subaerski erozijski procesi).
- Na tako pripravljenom površinskom obličju, nakon poplavlivanja zbog otvaranja Gibraltara, sad već jasno vidljivih obrisa bazena današnjeg Jadranskog mora talože se naslage **pliocena**, **pleistocena** i **holocena**.

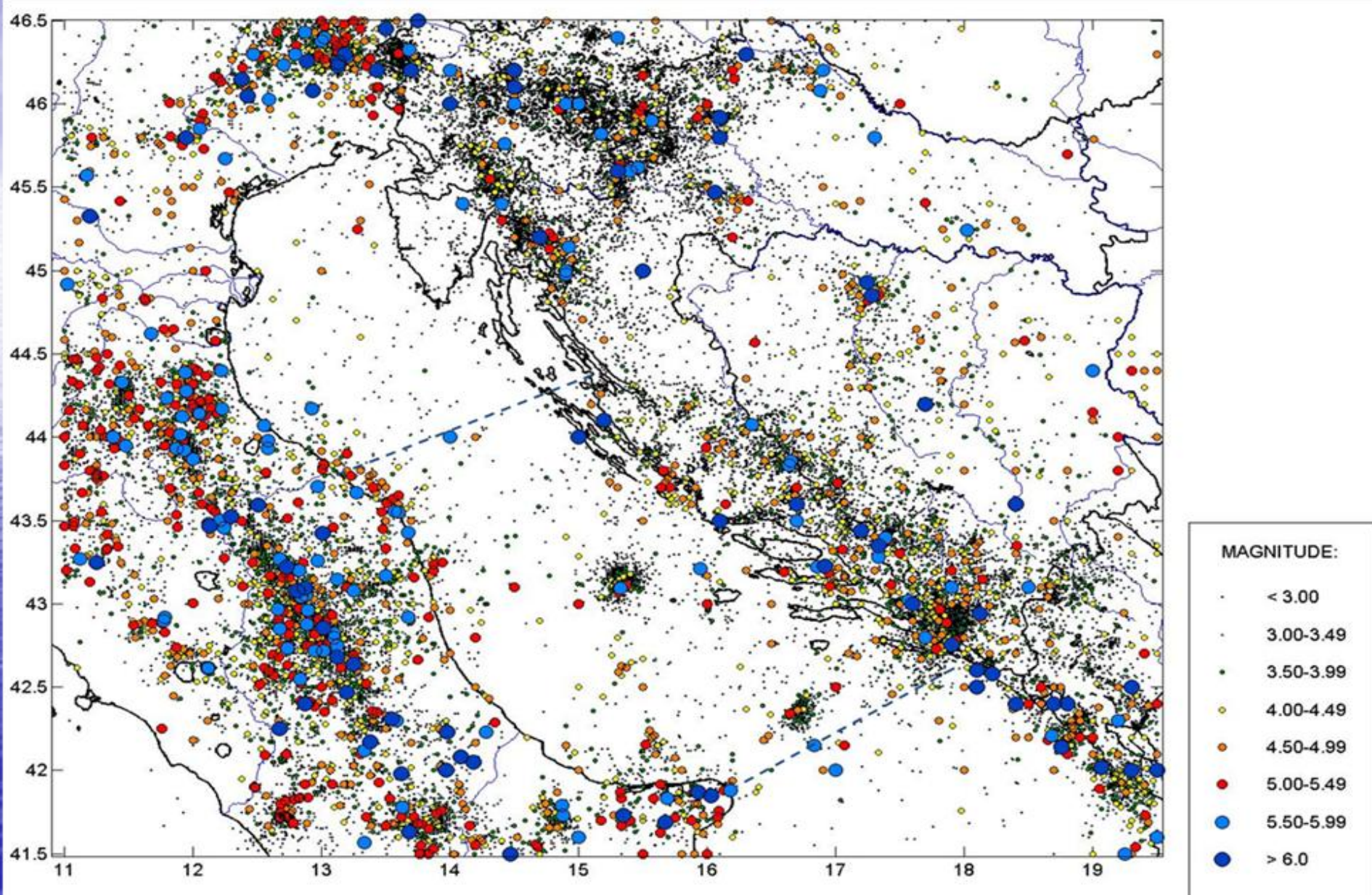
Jadran

Danas je Mohorovičićev diskontinuitet u Jadranu na dubini od oko 30 km (dakle je kontinentska kora) a tone i pod Dinaride i pod Alpe.

U Jonskom moru je oceanska kora (s dubinom Moha na samo 14 km!). Transformni rasjedi aktivni u južnojadranskom području uz albansku obalu (jaka neotektonika)



Današnja tektonska aktivnost odražava se u potresima



Jadran

- Dubina do kristalina u Jadranu varira od 6-13 km, a do karbonata od 0-6 km.
- Debljina pliokvartarnih sedimenata (sedimenti taloženi nakon mesinija - oko 5 Ma) je od 0-6 km. Nema ih uglavnom duž istočne obale i ispod Monte Gargana, a debeli su u bazenu i delti Poa - 6 km; u bazenu ispred Pescara-Benedetta - 4 km; u srednjodalmatinskom bazenu (Dugi otok-Kornat) - 2 km; te uz Crnogorsko-albansku obalu - 6 km.

Jadran

- Recentna **morfologija** dna Jadrana
- Osnovni podaci:
 - Dužina 783 km
 - Širina 248 km
 - Površina 138.597 km²
 - Hrvatskoj 54.031 km²
 - Dubina (prosječna) 1223 m (173 m)
 - Volumen 34.977 km³
- vezan s Mediteranom Otrantskim vratima 72 km, prag na 741 m.

Jadran

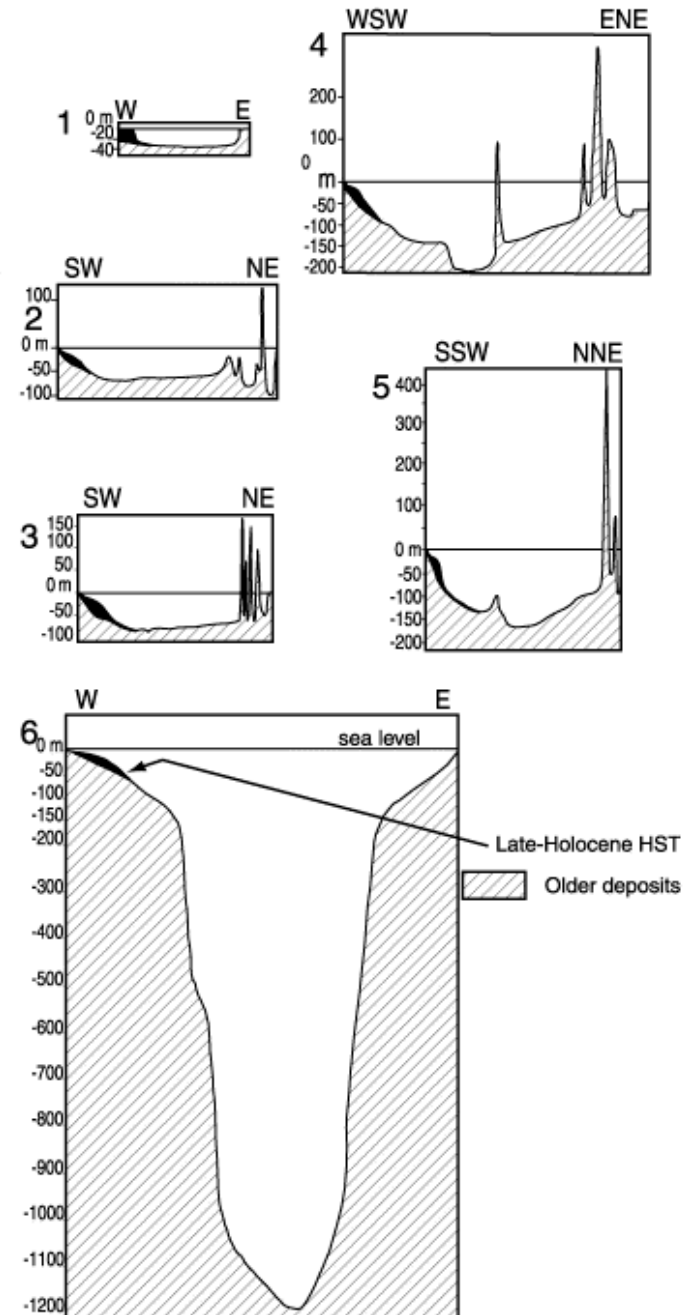
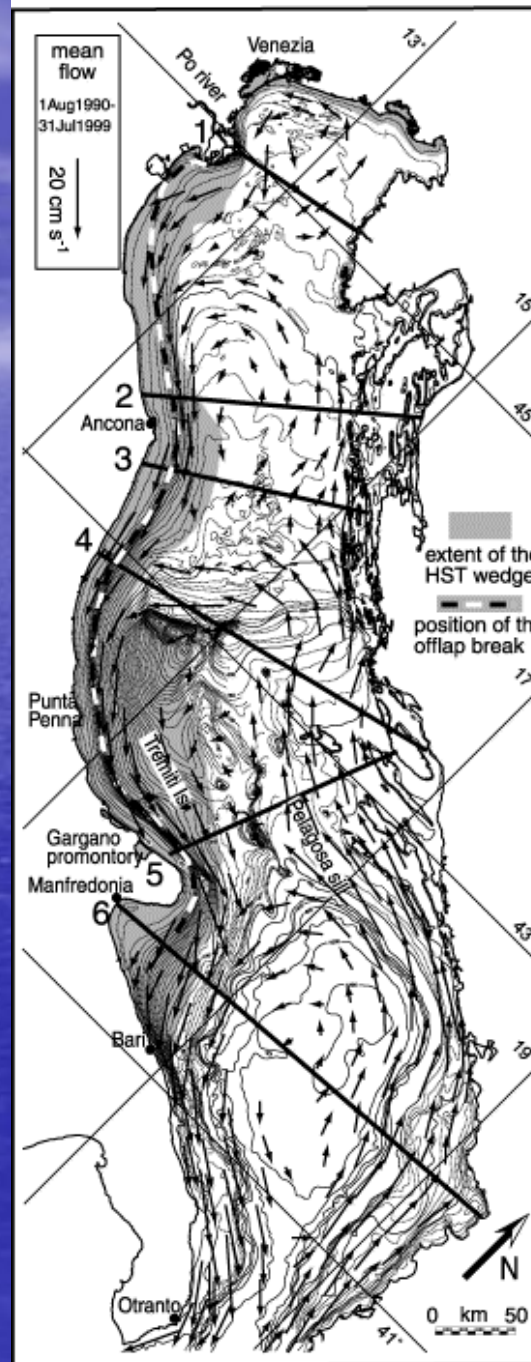
- Salinitet: 38,30 manje od istočnog Mediterana (39). Dotok rijekama i vruljama.
- Temperatura površinska 12 do 25°C.
- Dubokomorska (ispod termokline) 12-13 °C. U sjevernom Jadranu ponekad 6-8°C (zimi hladna voda rijeke Po).
- Strujni sustav: ciklonalni (suprotno od kazaljke na satu), ali se to sad i rafinira i istražuje. Petlja sjeverni Jadran.

Morfologija Jadrana

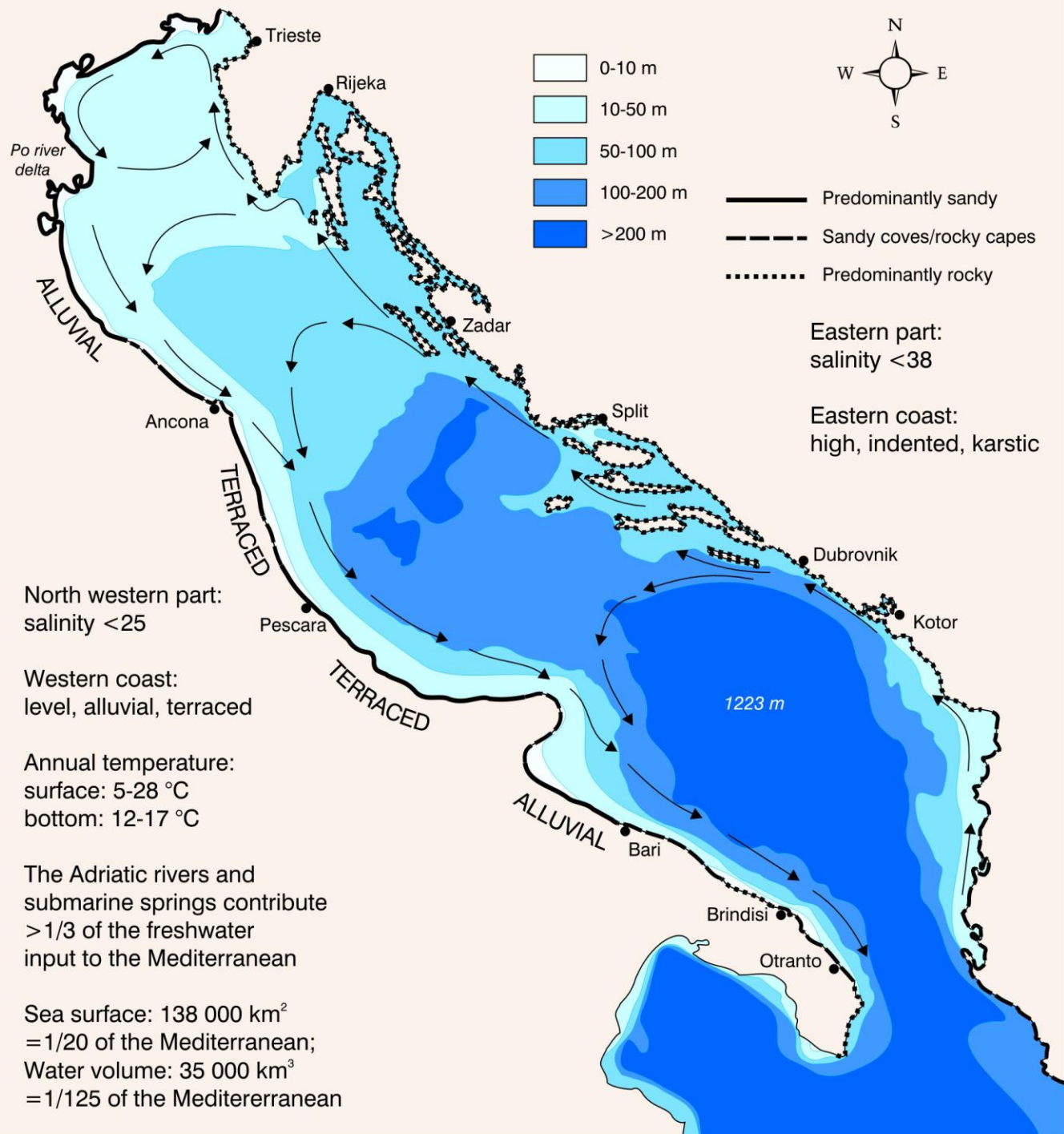
- Pet odvojenih morfoloških cjelina (Mosetti, 1966):
 1. **Sjeverni Jadran** (do 100 m, sr 35 m) nagib 0.25‰
 2. **Sjevero-jadransko otočno područje** zaštićeno vanjskim otocima od zapunjavanja sedimentima (pretholocenski krški reljef) (do 125 m)
 3. **Srednjo-jadransko otočno područje**. Veliki dalmatinski otoci, prijelazne karakteristike
 4. **Srednji Jadran** obilježen Jabučkom kotlinom (272 m) Padine nagiba do 14 ‰ na sjevernoj padini. Preostatak veće depresije zapunjavane sa sjevera u pleistocenu (paleoPo)
 5. **Južni Jadran** (Gargano-Dubrovnik). Šelf uz rub do oko 180 m i Južnojadranska kotlina sa nagibima bokova (50-170 ‰) i zaravnjenim dnom (8000 km², 1220-1223 m)

Morfologija Jadrana

- Karakteristični profili (preuveličani!)
- Područje priobalnog recentnog taloženja muljeva



Jadranske obale



North western part:
salinity < 25

Western coast:
level, alluvial, terraced

Annual temperature:
surface: 5-28 °C
bottom: 12-17 °C

The Adriatic rivers and
submarine springs contribute
> 1/3 of the freshwater
input to the Mediterranean

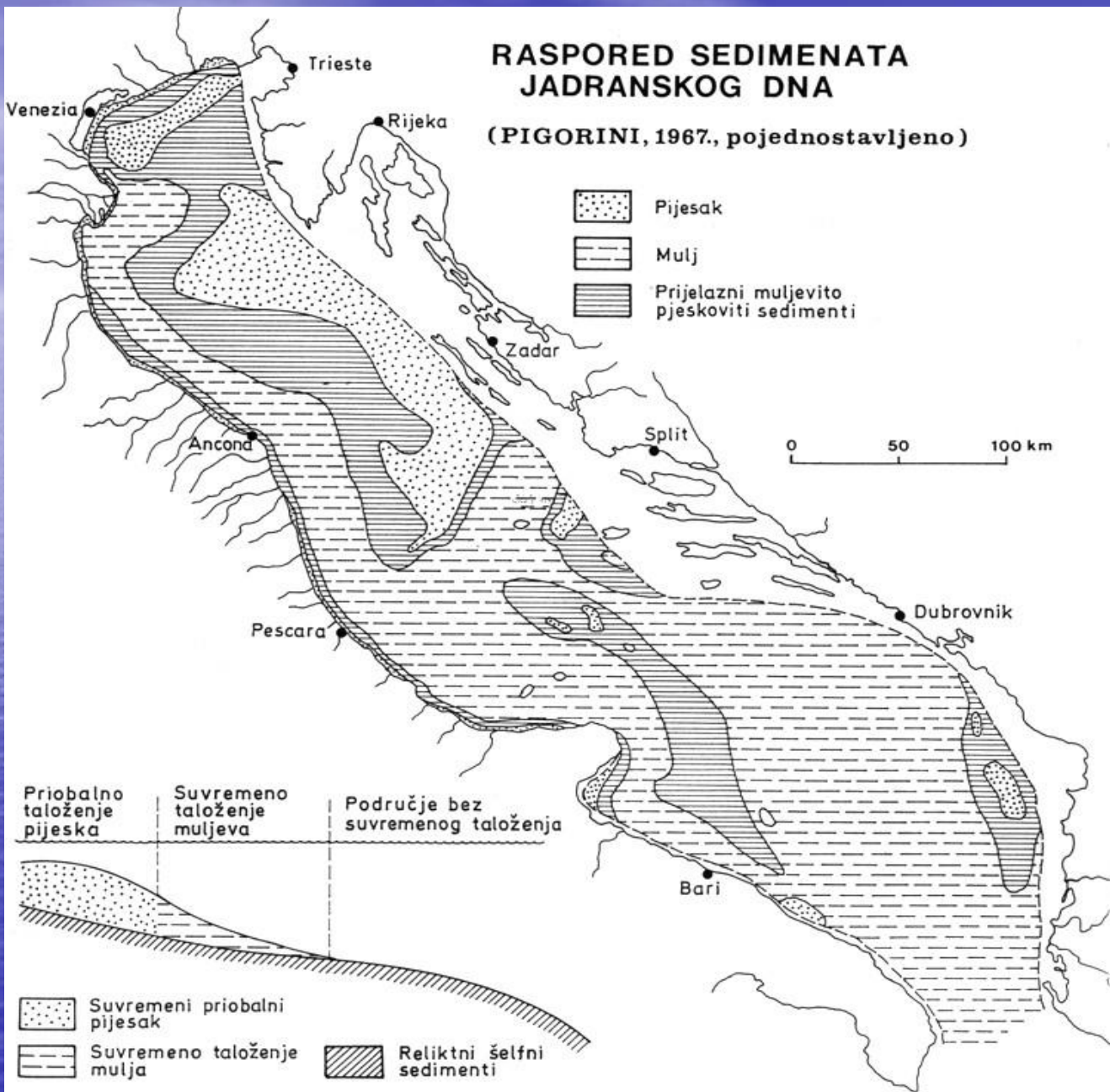
Sea surface: 138 000 km²
= 1/20 of the Mediterranean;
Water volume: 35 000 km³
= 1/125 of the Mediterranean

Recentna sedimentacija i raspored sedimenata u Jadranu

- Izvori materijala koji se taloži u Jadranu:
- Veći dio **klastičnog materijal** koji se danas taloži u Jadranu stiže i danas sa sjeverozapada (Po + Reno, Adige, Brenta, Tagliamento, Piave, Soča/Isonzo)
- Apenini daju umjerenu količinu terigenog materijala
- Zanimariv donos s istočne obale: **litologija** (Rječina, Zrmanja, Krka, Cetina, Ombla) + Dragonja, Mirna, Raša, Neretva (lokalizirano na ušćima)
- **Biogena sedimentacija** manje je važnosti u sadašnjim klimatskim prilikama, ali nikako zanemariva!

RASPORED SEDIMENATA JADRANSKOG DNA

(PIGORINI, 1967., pojednostavljeno)

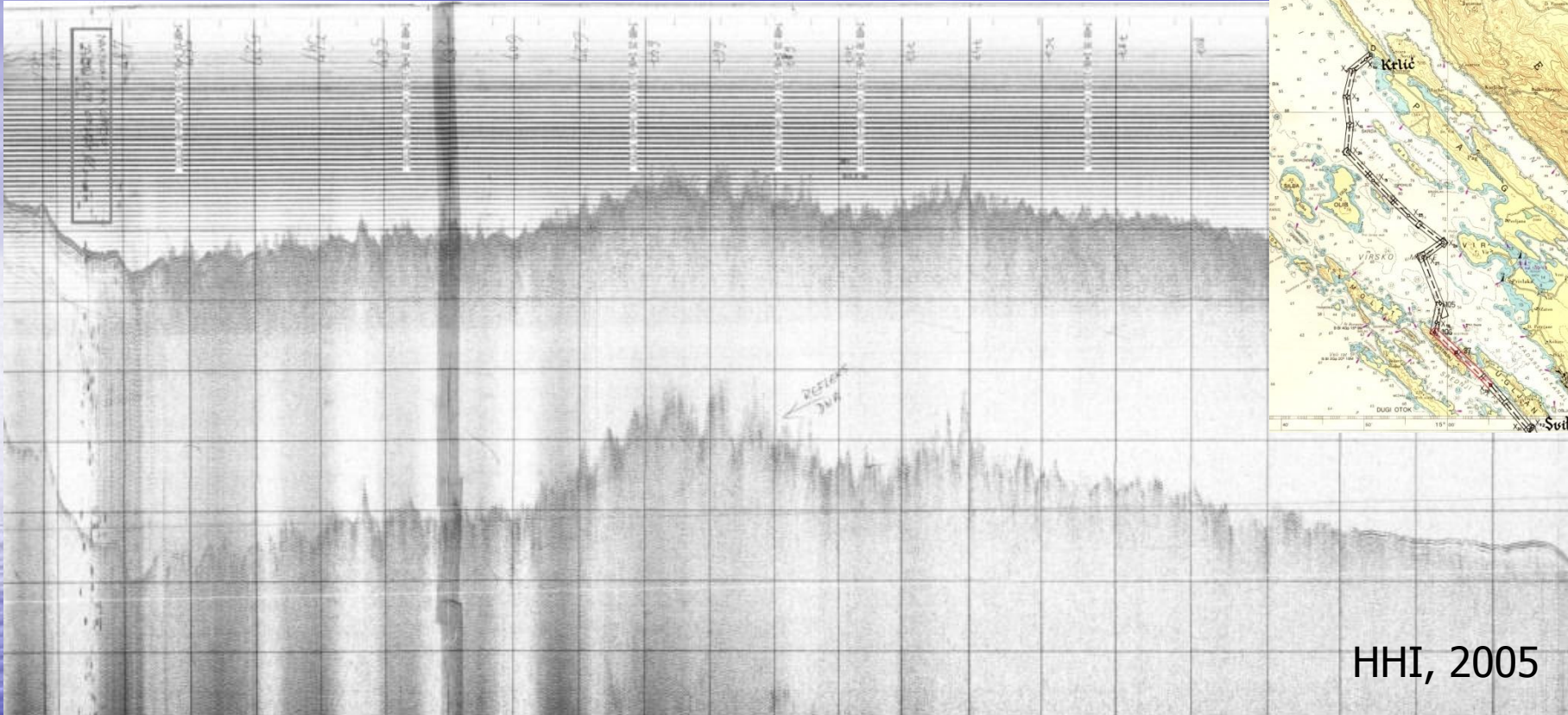
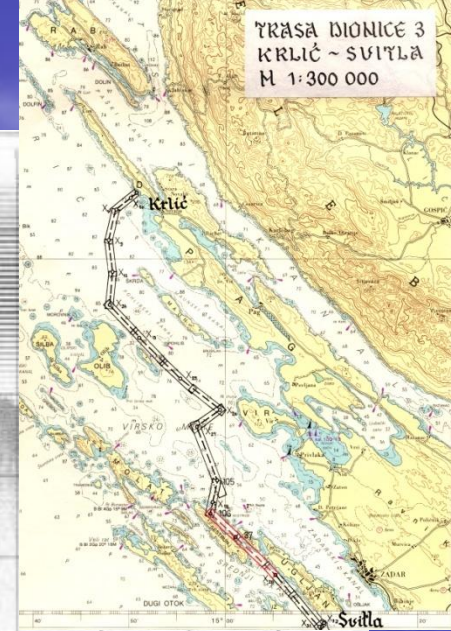


**Shematski presjek sedimentnih facijesa
na mnogim suvremenim šelfovima.**

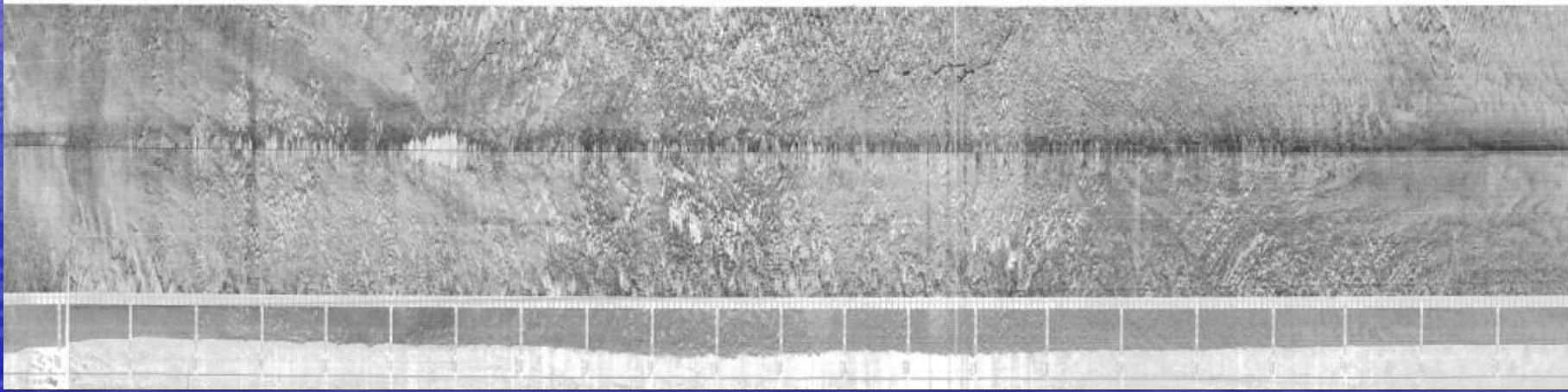
Recentna sedimentacija i raspored sedimenata u Jadranu

- Na jadranskom šelfu možemo razlikovati nekoliko sedimentacijskih okoliša i s njima vezanih tipova sedimenata.
- Zapadni dio: Počevši od obale tu su **lagunarni sedimenti**, **obalni pijesci**, **predobalni muljni pojas** te **rezidualni pijesci**.
- Istočna obala: lokalno taloženje uz riječna ušća, abrazijski procesi (utjecaj organizama) te **rezidualna dna**. Slabašan donos čestica s kopna! Vrlo raznoliki sedimenti. U sjevernojadranskoj otočnoj zoni **muljeviti** sedimenti. Značajan dio međuotočnog područja **bez recentnih sedimenata**. Izdanci mezozojskih i paleogenskih vapnenaca i/ili eocenskog fliša.
- Razlika u sedimentaciji vidljiva je i u dubljim dijelovima Jadrana. Turbiditska ravnica, dijelom očito pleistocenska. Sapropeli - stagnantni uvjeti, 11500 i 9000 aBP - zbog naglog zagrijavanja površinskih voda! Vulkanski pepeo (Santorin, Vezuv).

Primjer iz Rivanjskog kanala ~ 30 m dubine.



HHI, 2005



Recentna sedimentacija i raspored sedimenata u Jadranu

- Analiza mineralnih provincija.
- Na temelju teških minerala ali i omjera karbonata/alumosilikata:
- **Venecijanska** (augit, granat, hornblenda, karbonatna - Istočne Alpe)
- **Padanska** (granat, epidot, rogovača, SiO₂ - centralne zap. Alpe)
- **Južna augitska** (augit - Apenini)
- **Albanska** (epidot, kromski spinel! ofioliti) “Zagađenja Dubrovačkog akvatorija!”
- transverzalni i longitudinalni smjer prijenosa sedimenata.

Ušća jadranskih rijeka

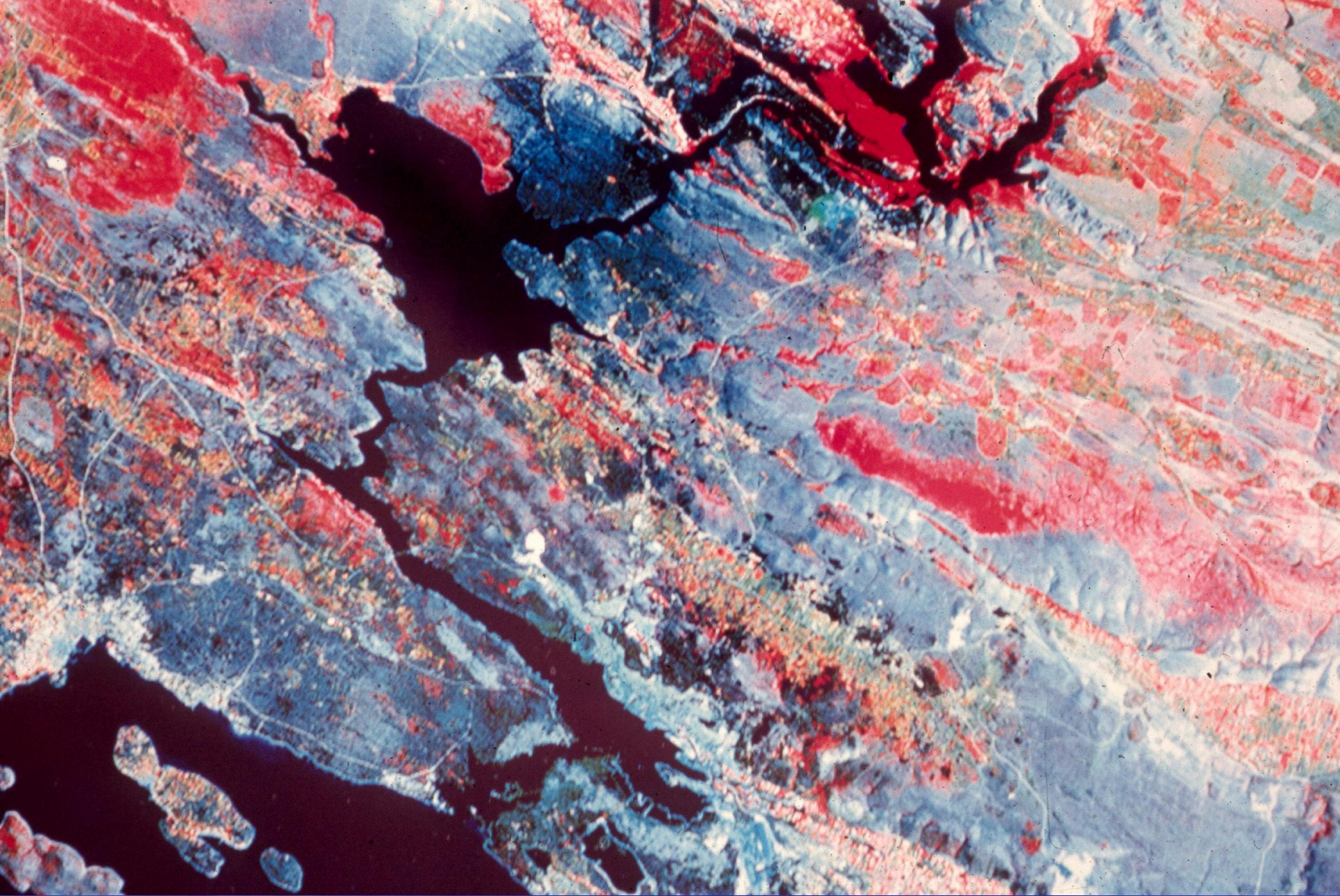
- Posebnosti i značajke:
 - a) krška obala, rijeke usječene u vapnence
 - b) veliki raspon riječnog dotoka
 - c) Uglavnom mali donos terigenog materijala
 - d) mikrotajdalno područje
 - e) Izrazita stratifikacija voda
- Primjeri:

Krka, Neretva (?), Zrmanja, Raša,

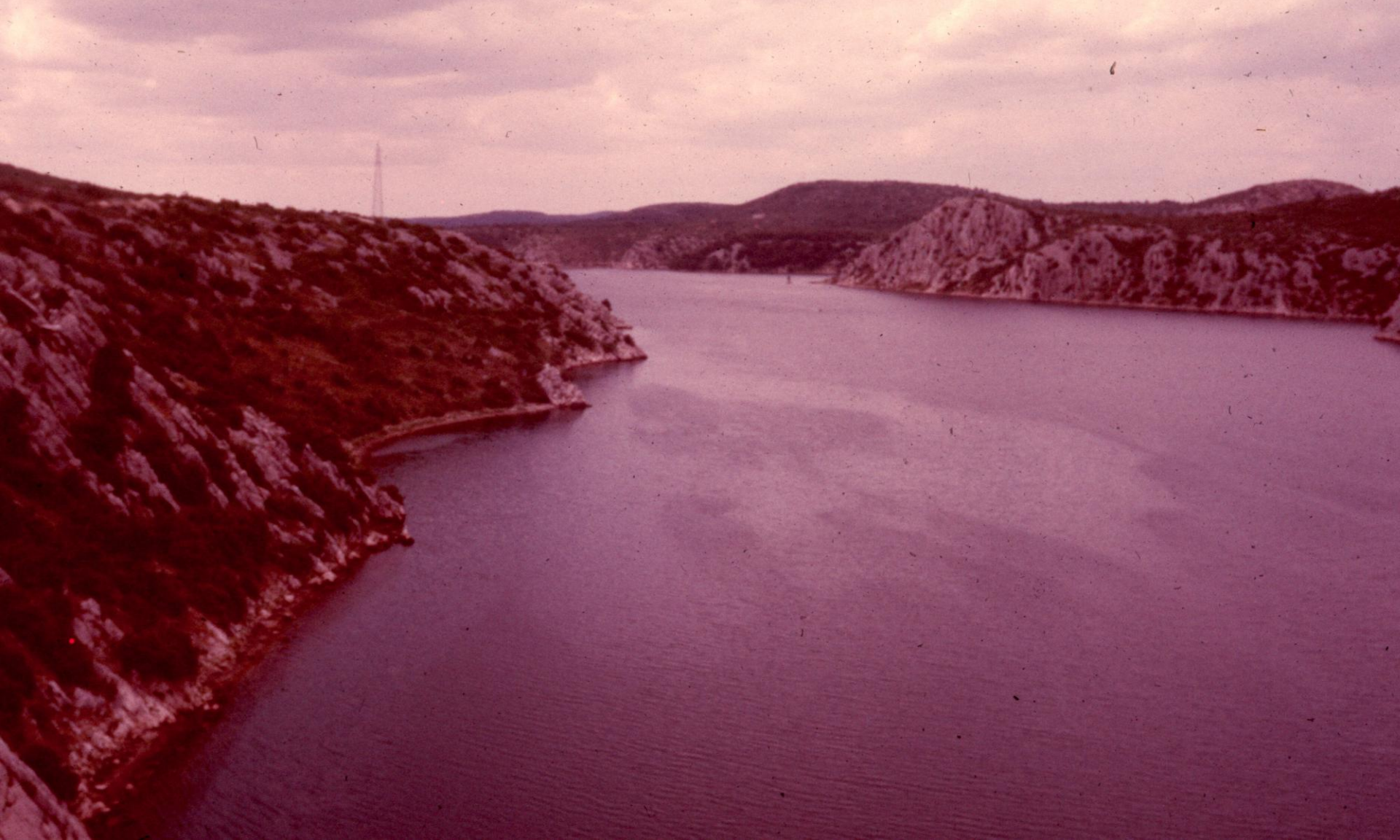
Ušće Krke, rijas ili estuarij ?



- $L = 49 \text{ km}$ (72)
- $A = 2088 \text{ km}^2 +$
- $Q = 49 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (4-415)
- $S = 5.000 \text{ ty}^{-1}$



Estuariji rijeke Krke, Landsat (false colour image), 1975.



Estuarij Krke, riječni kanjon usječen u vapnence preplavljen morem, pogled sa Šibenskog mosta, 1984.

Krka, Visovačko jezero, riječni kanjon usječen u sjevero-dalmatinsku zaravan. Ujezerenje zbog stvaranja i rasta sedrene barijere, 6.2006.





Krka, Skradinski buk, 3.3.1987. veliki protok



Krka, Skradinski buk, 12.7.1981. mali protok

Primjer izrazite stratifikacije površinske slatke/boćate i niže morske vode. Termoklina/haloklina/piknoklina u estuariju Krke (Gospa od Zdravlja, 2,9 m, 3.7.1984.)



Ušće Zrmanje, estuarij ili rijas ?

Estuarij Zrmanje
nizvodno od
Obrovca, biogena
sedimentacija,
6.1985.

Ušće Neretve, delta ili estuarij?

$L = 218 \text{ km}$

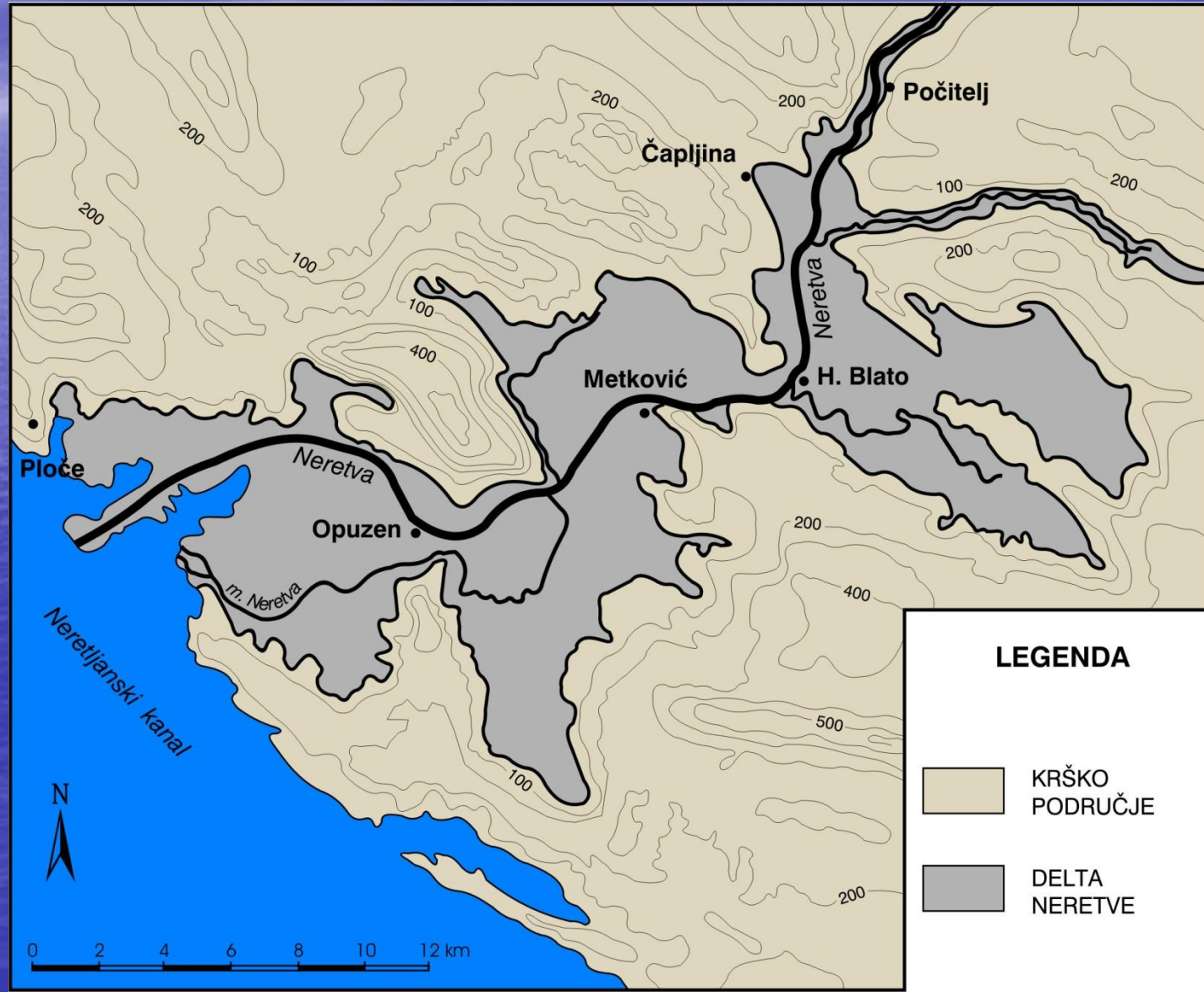
$A = 5580 \text{ km}^2$

$Q = 426 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$
(2130)

$S = ?? \text{ ty}^{-1}$

- Delta (?)
= 170 km^2

- Neretva je tipična alogena rijeka



Delta Neretva

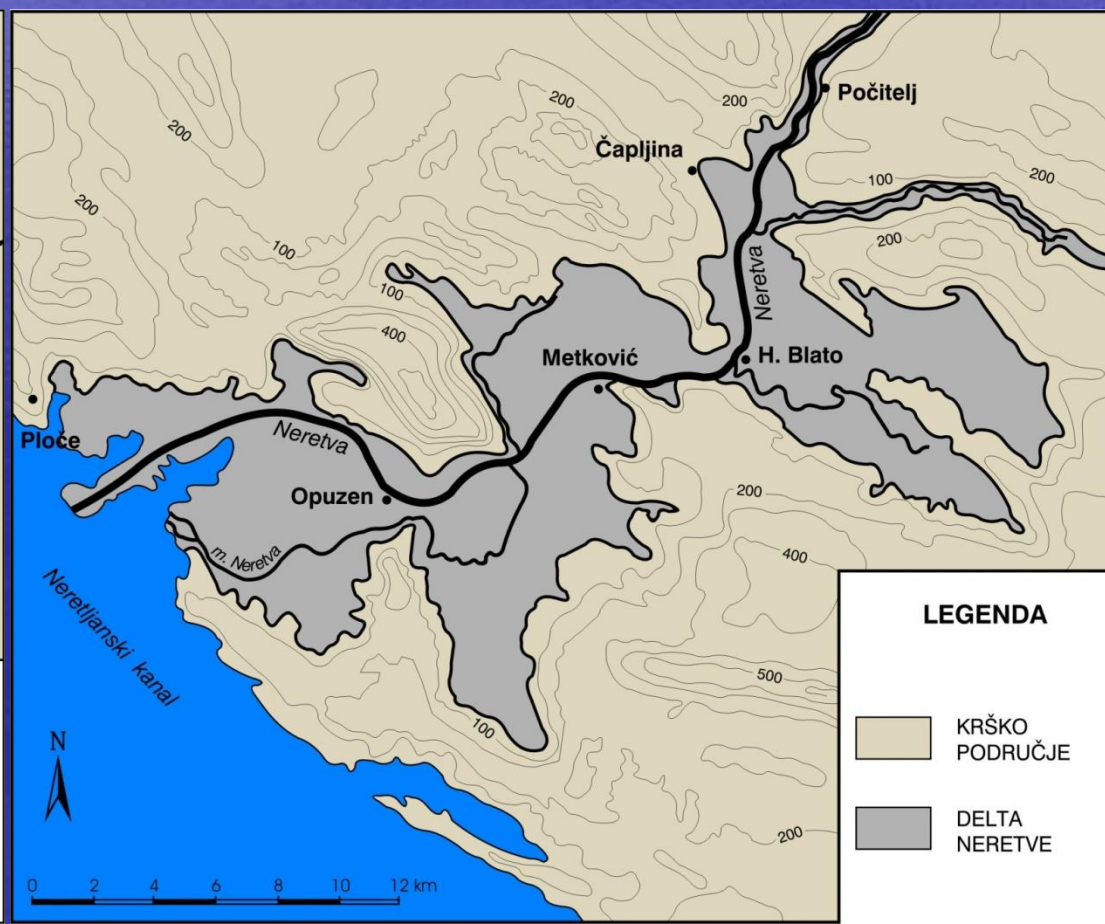


Delta Neretve

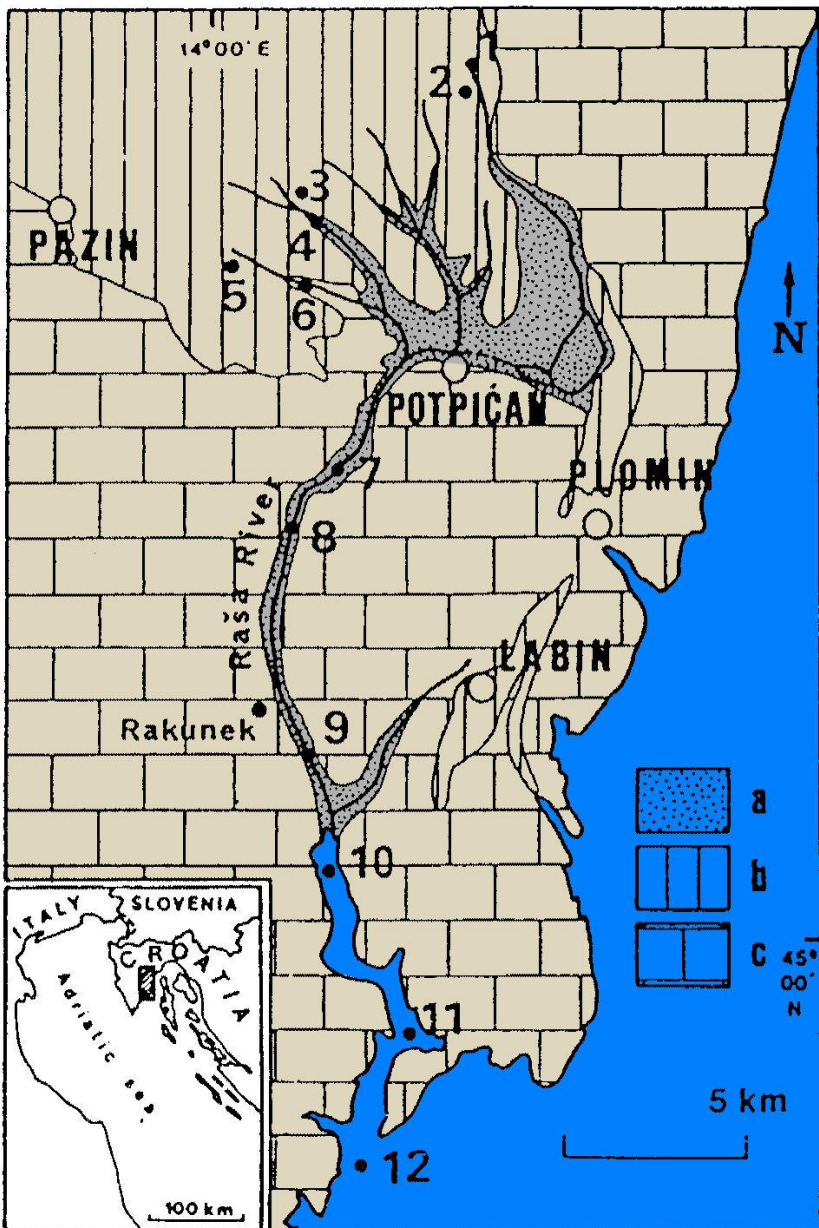
Znatan
antropogeni
utjecaj na
sedimentacijske
processe



Koje su sličnosti, a koje razlike između ušća Krke i Neretve?



Ušće Raše, delta, rijas ili estuarij ?



- $L = 21 \text{ km}$ (35)
- $A = 164 \text{ km}^2$ ++
- $Q = 5,3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$
- $S = 200.000 \text{ ty}^{-1}$



Deltno ušće u estuariju Raše (?), 12. 1994.



Estuarij rijeke Raše, Suspendirani materijal uz desnu obalu, Trget, 12. 1994.

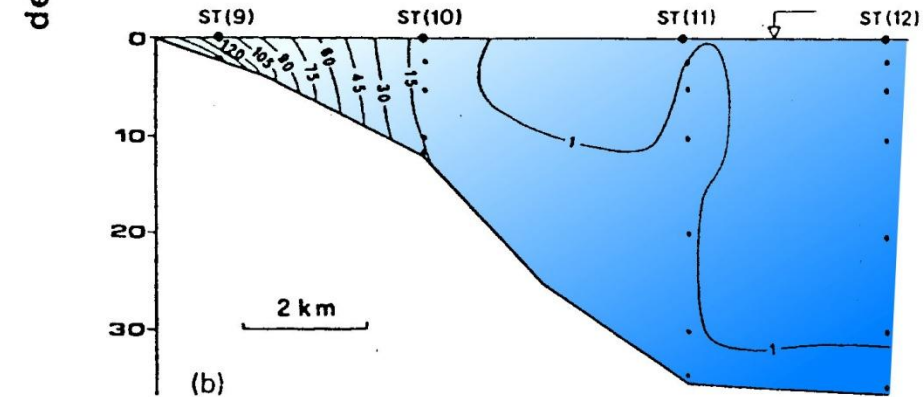
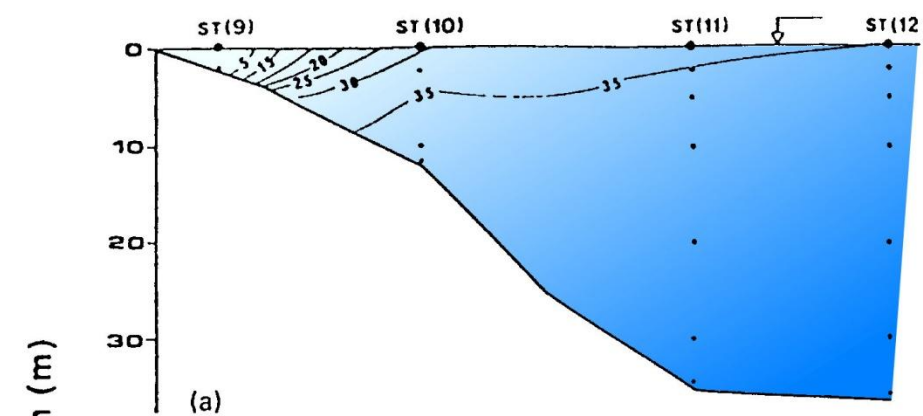
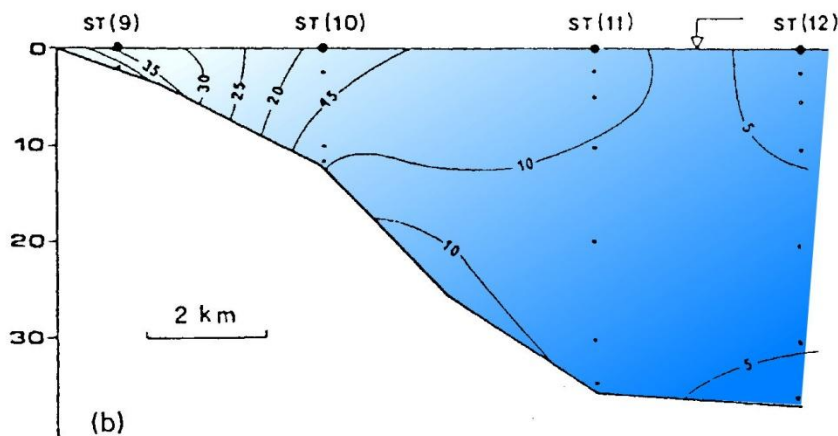
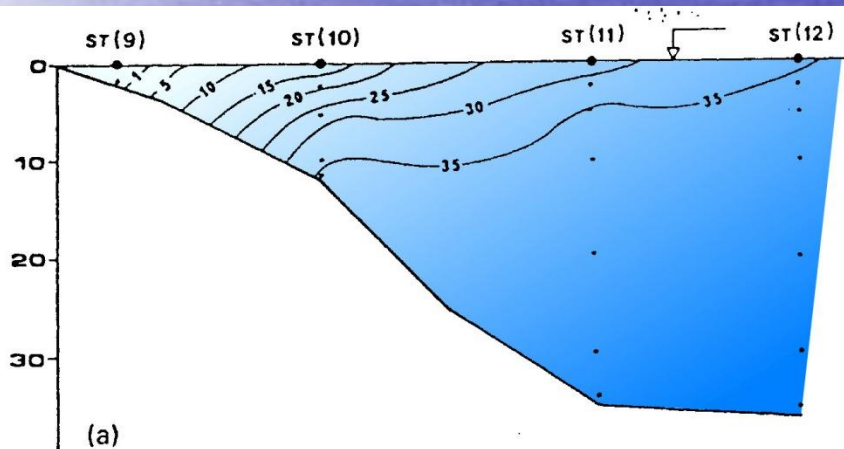


D. Petricioli

Estuarij Raše, uvala Tepla, 1995. Coriolis efekt

Stratifikacija voda u estuariju Raše

- a) salinity
- b) TSM (turbidity)



Progradacija estuarijske delte rijeke Raše (I)

prema Benac et al., 1991

Izgled ušća rijeke Raše
1774. godine

Raša River

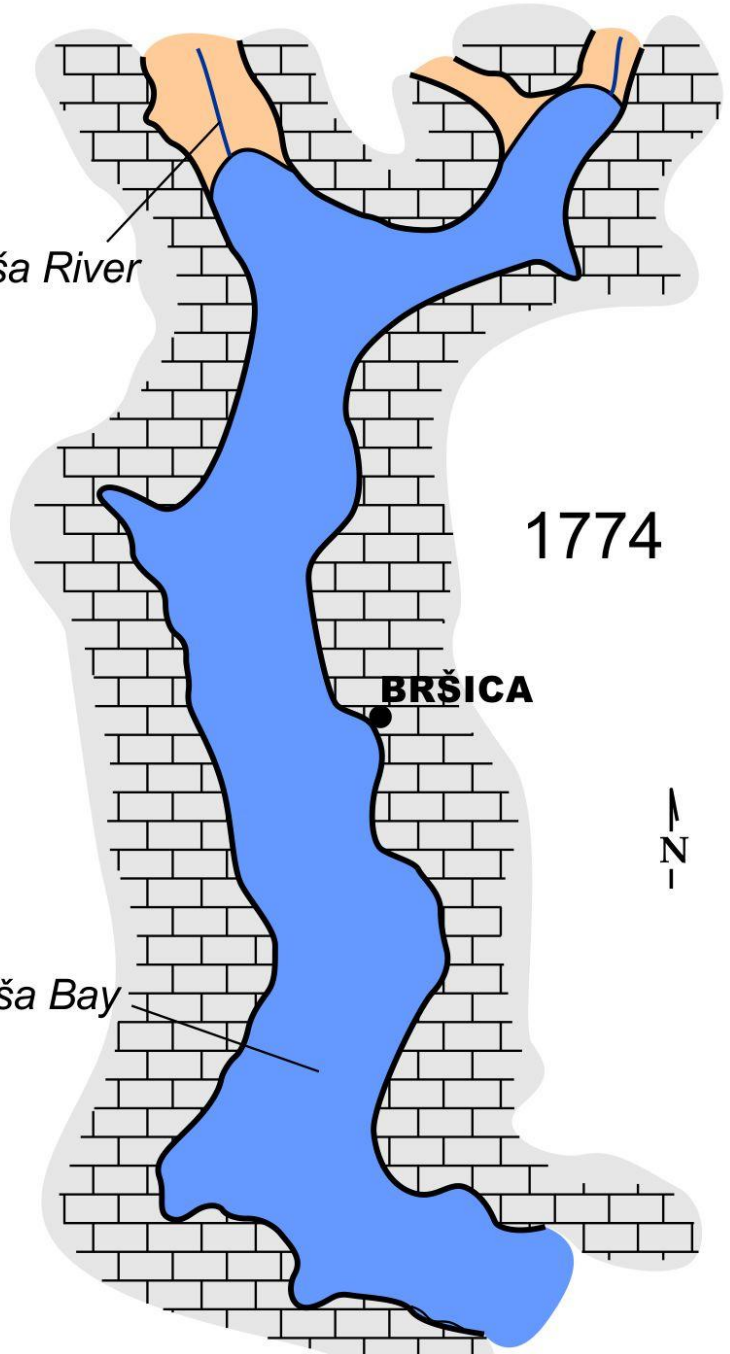
1774

BRŠICA

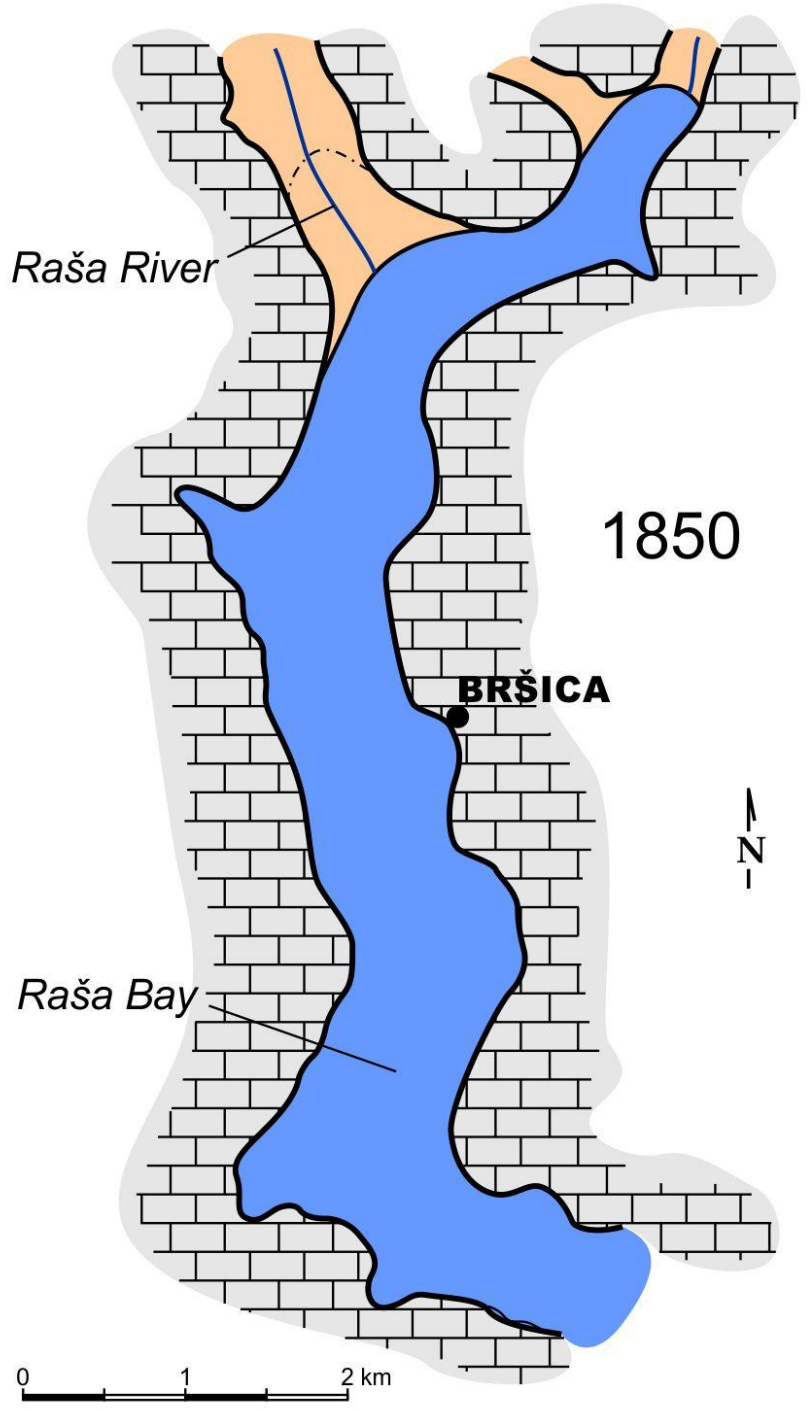
Raša Bay



0 1 2 km

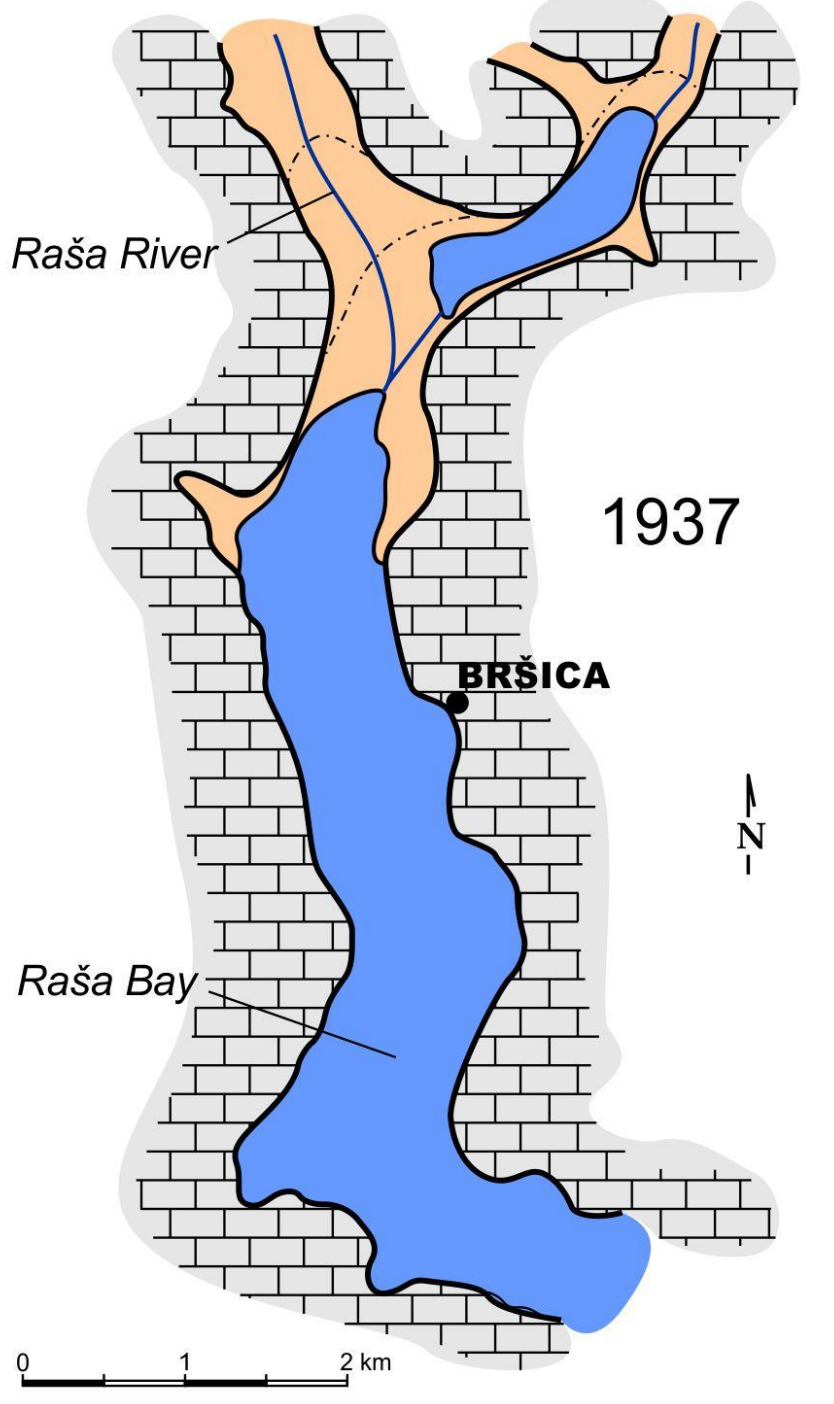


Progradacija estuarijske delte rijeke Raše (II) prema Benac et al., 1991



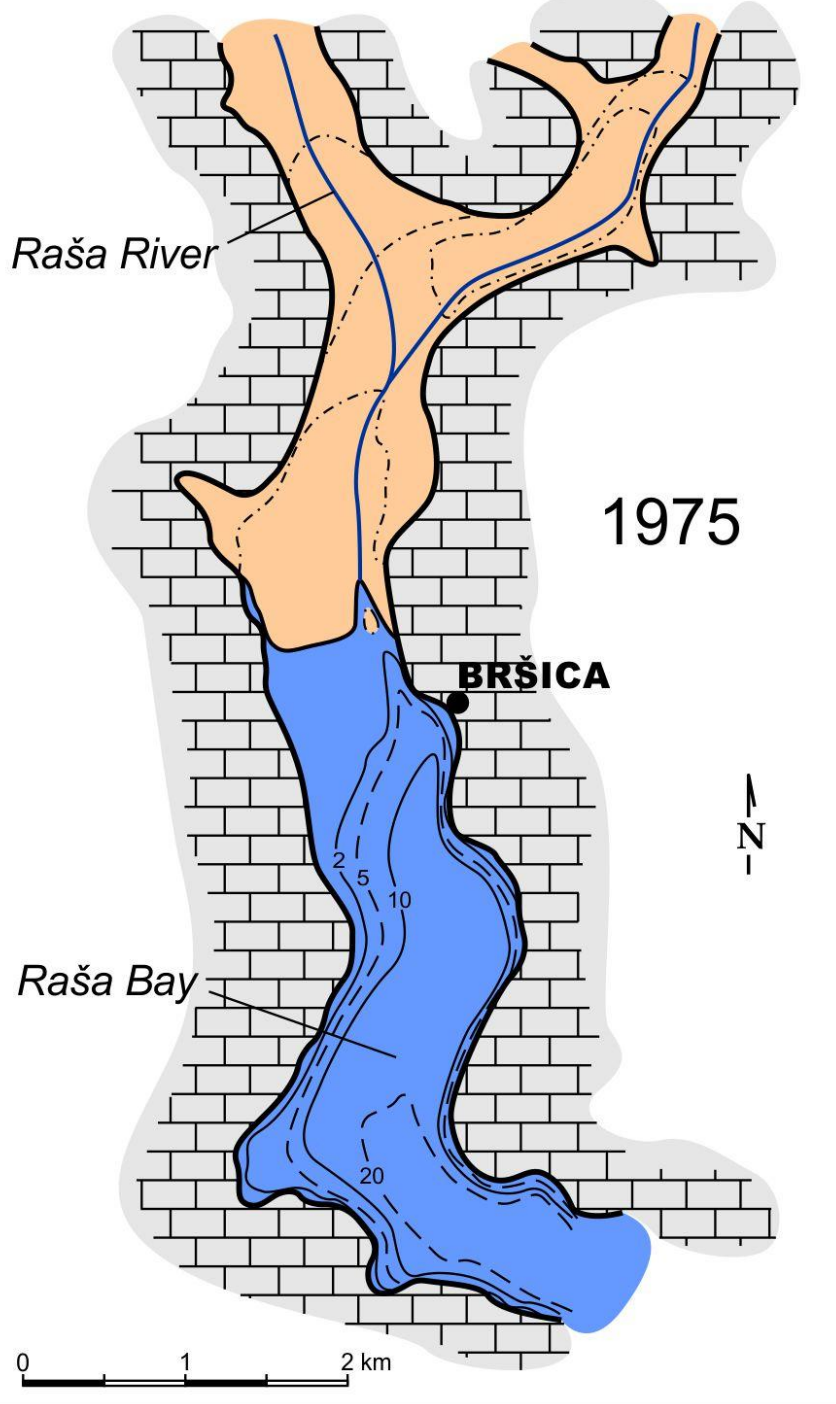
Izgled ušća rijeke Raše
1850. godine

Progradacija estuarijske delte rijeke Raše (III) prema Benac et al., 1991



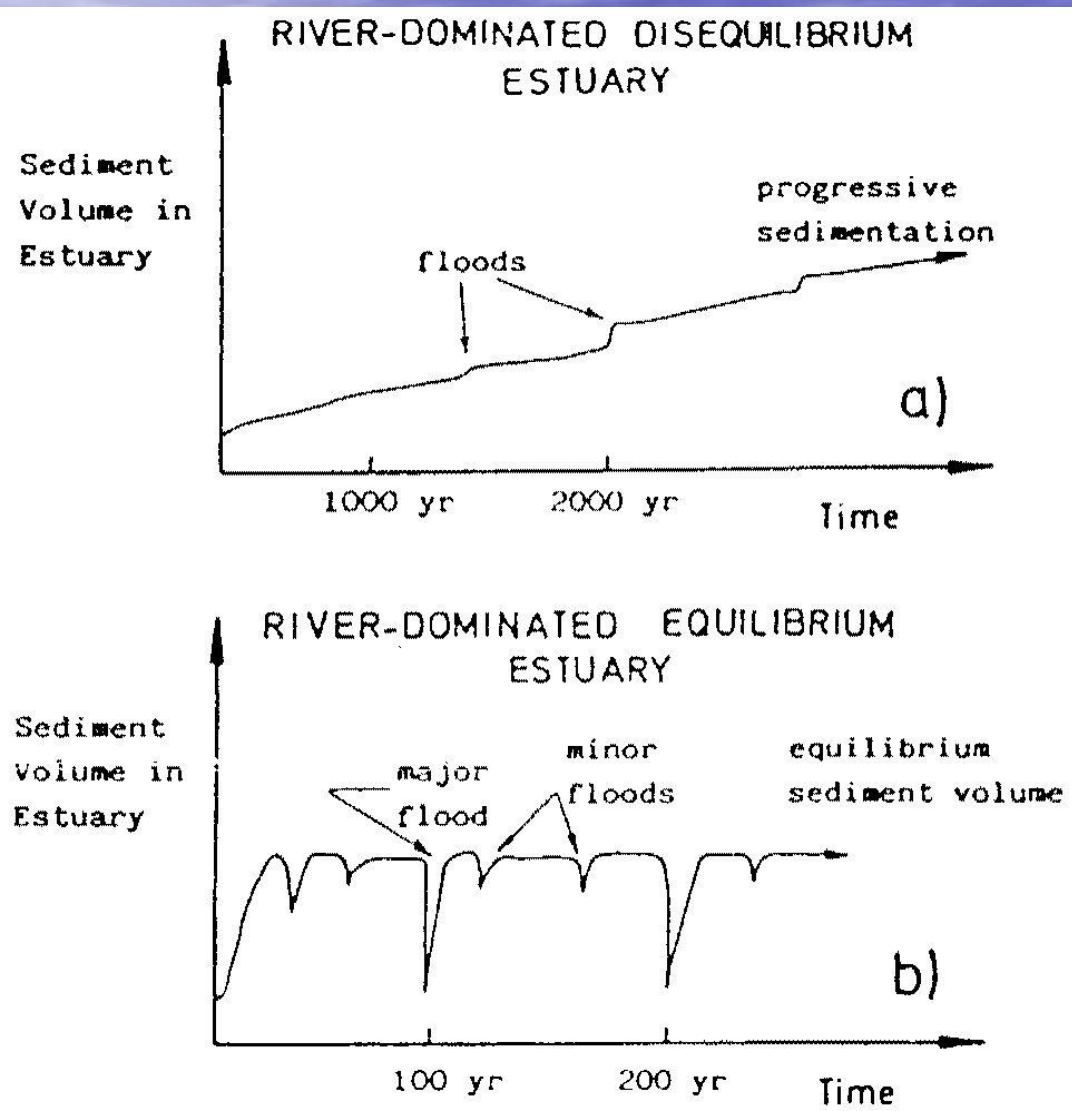
Izgled ušća rijeke Raše
1937. godine

Progradacija estuarijske delte rijeke Raše (IV) prema Benac et al., 1991



Izgled ušća rijeke Raše
1975. godine

Raša, neravnotežni krški estuarij



Estuarij rijeke Raše kao primjer neravnotežnog estuarija pod dominantnim riječnim utjecajem

Sondi et.al., 1995

- Izraz krški estuarij je primjenjiv. Ima svoj opseg i značenje.
- Hrvatski krški estuariji su:
 - usječeni u vapnence
 - pod dominantnim riječnim utjecajem, u mikrotajdalnom području i zaštićeni od djelovanja valova
 - izrazito stratificirani
 - zapunjavaju se s vremenom - neravnotežni

