



Opažanje i modeliranje klimatskih promjena u moru

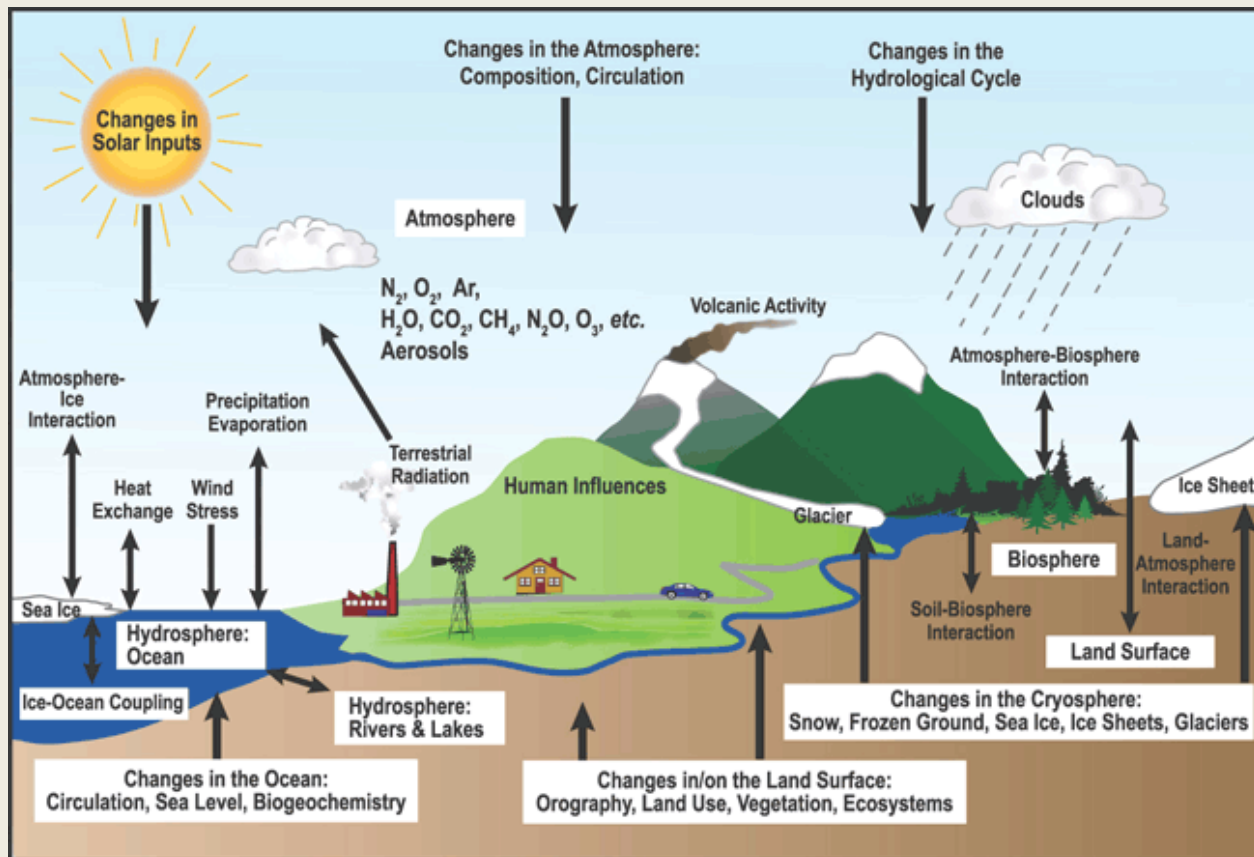
Mirko Orlić

Geofizički zavod 'Andrija Mohorovičić'

Prirodoslovno-matematički fakultet

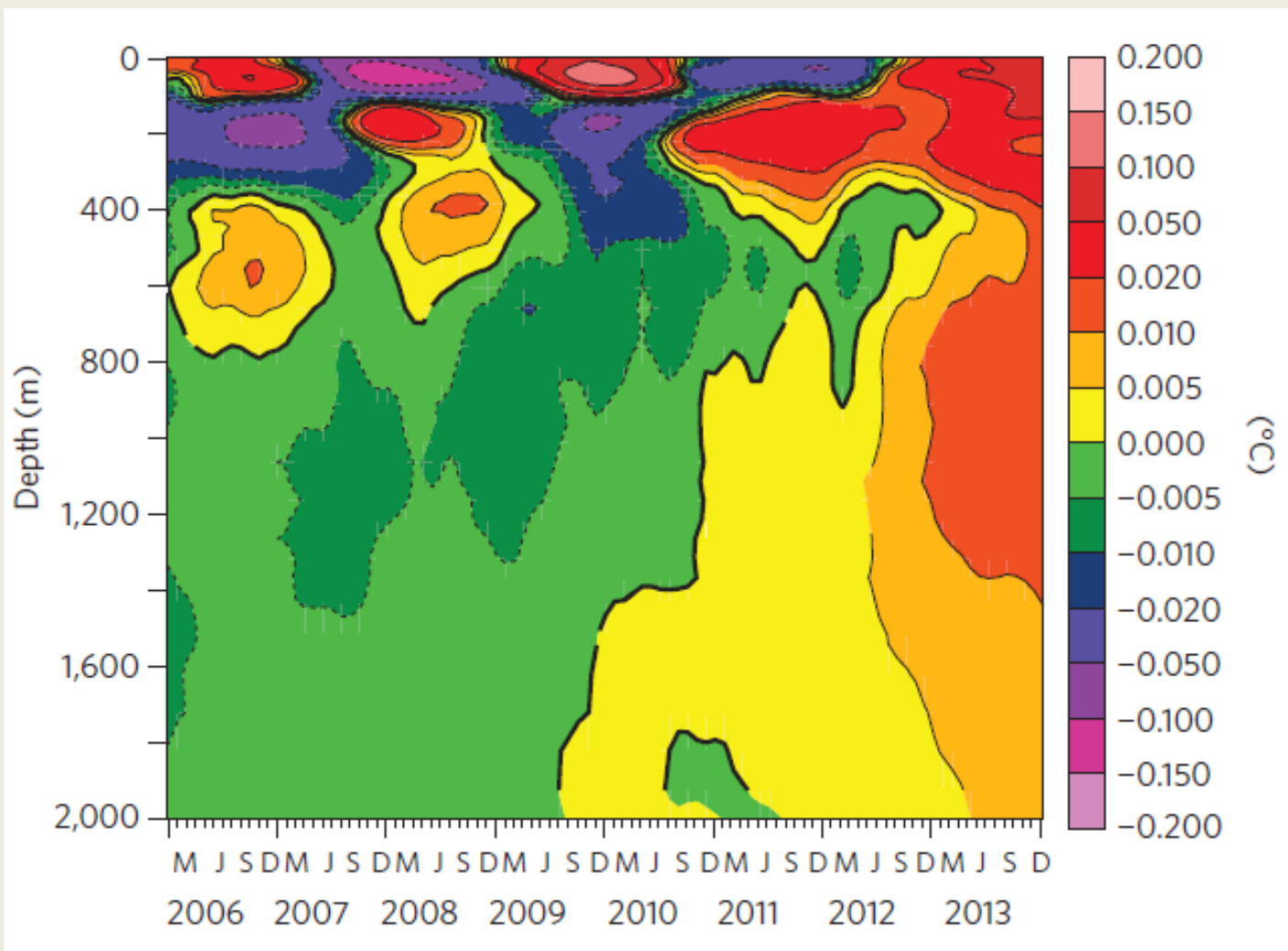
Sveučilište u Zagrebu

Klimatski sustav

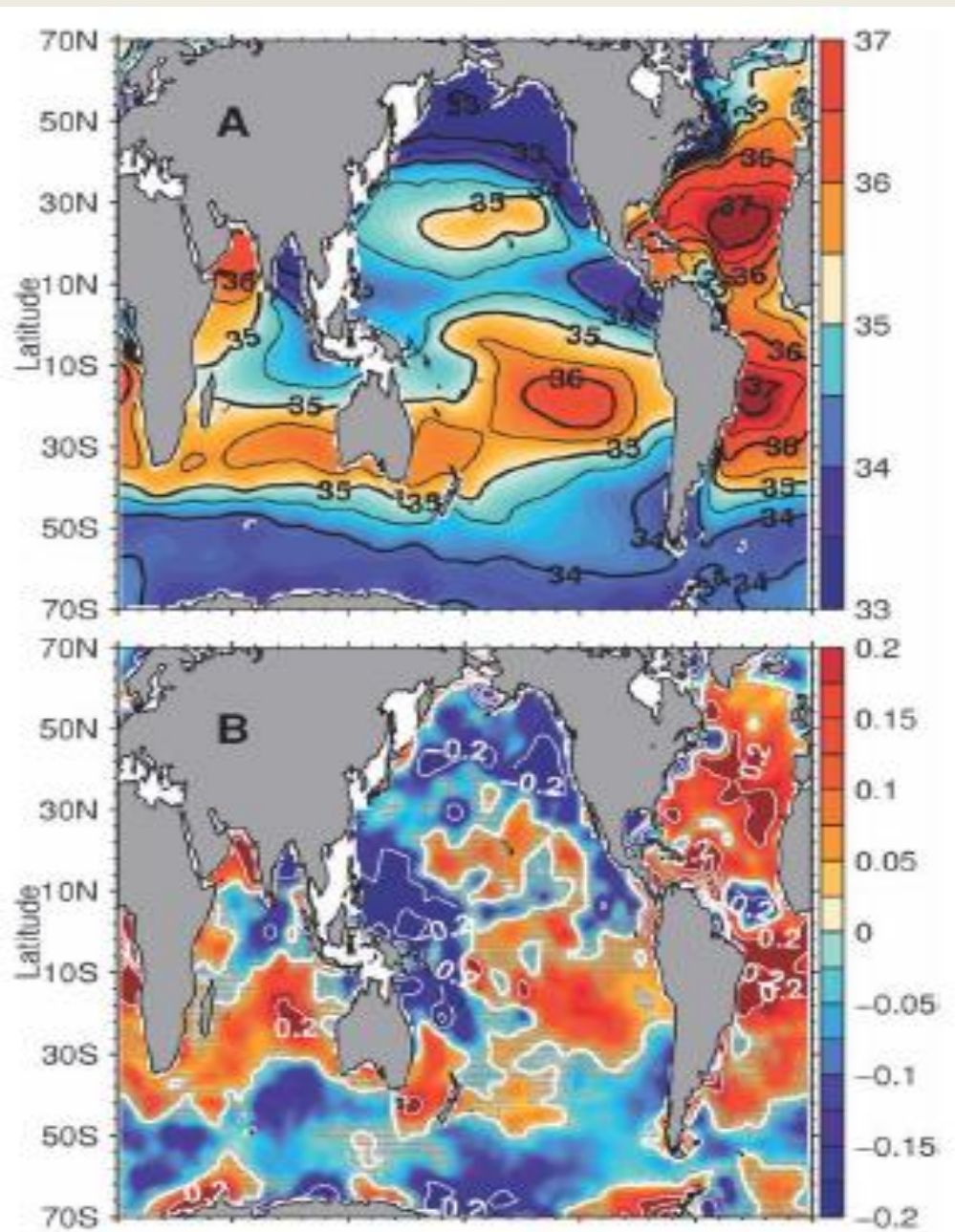


- Atmosfera
- **Oceani i mora**
- Rijeke i jezera
- Podzemne vode
- Kopno
- Kriosfera
- Biosfera

Izmjerene temperature mora (mreža ARGO)

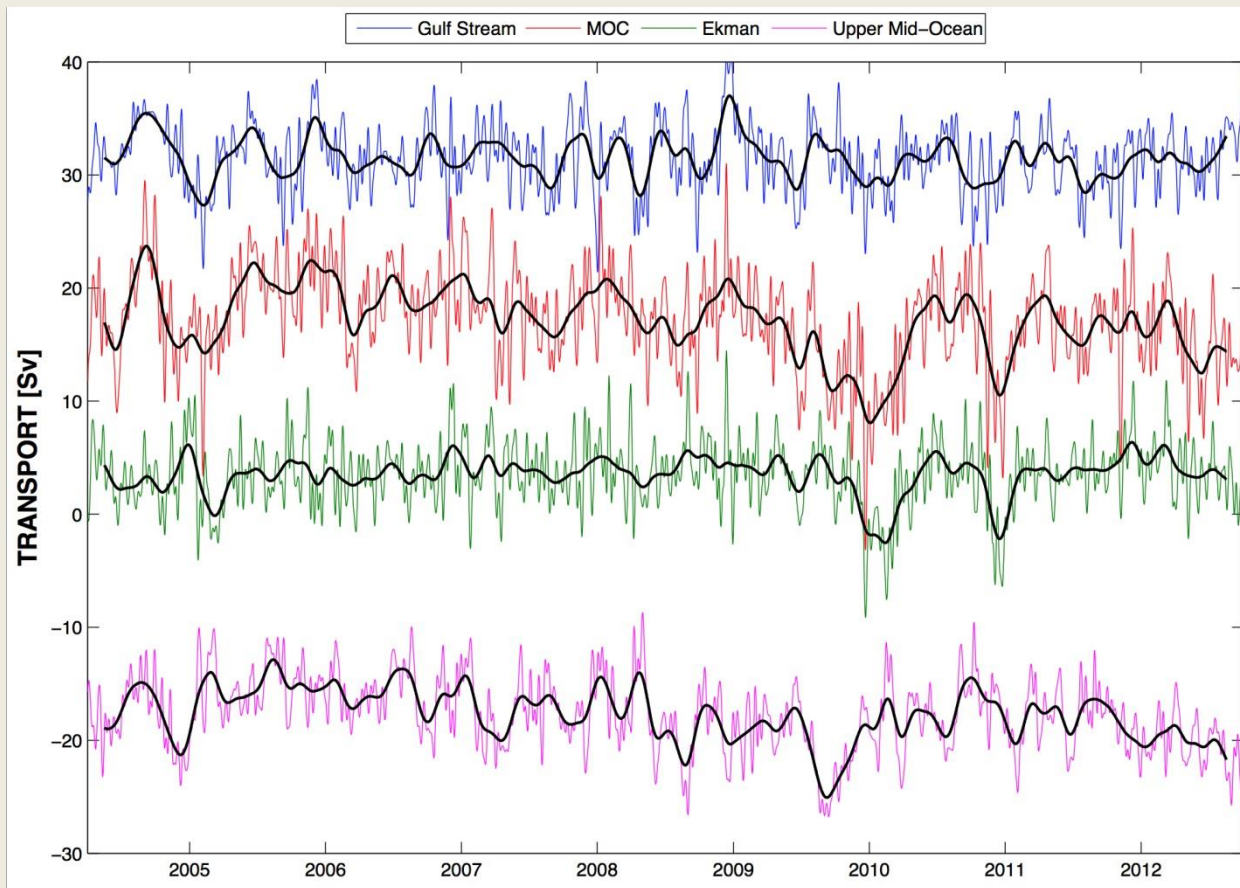
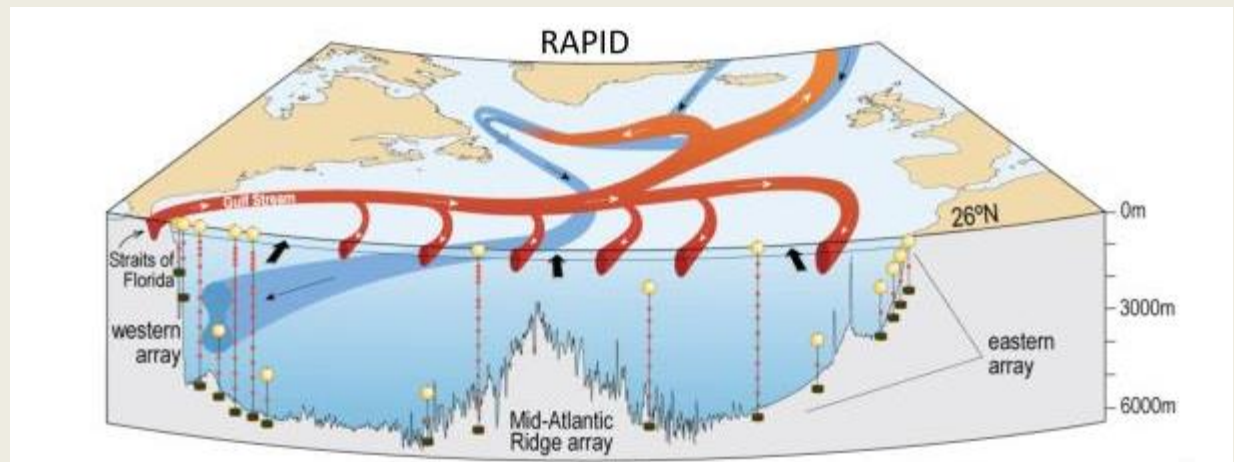


Izmjereni saliniteti i pripadni trendovi



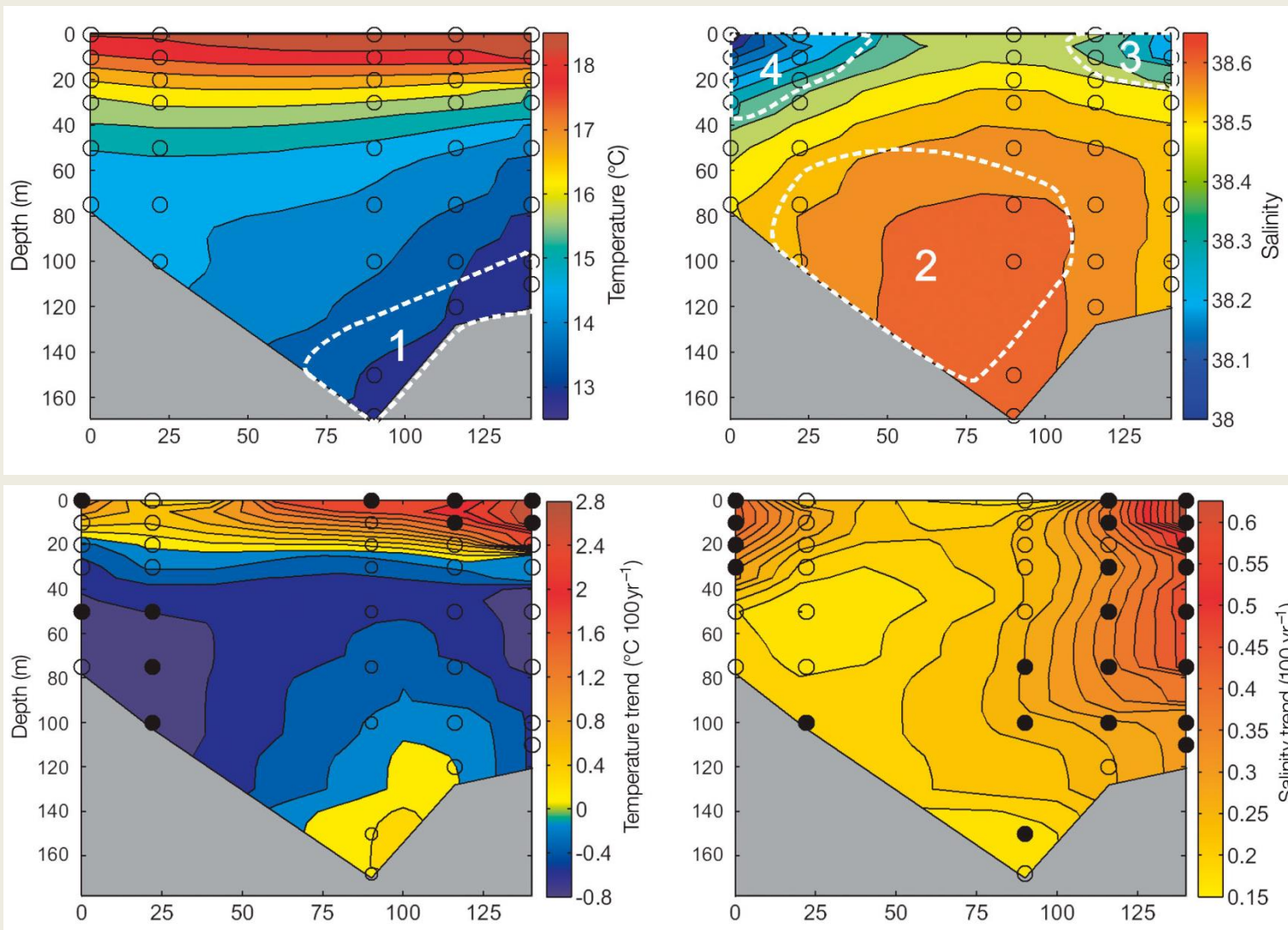
P. J. Durack, S. E. Wijffels (2010)

Izmjerene struje

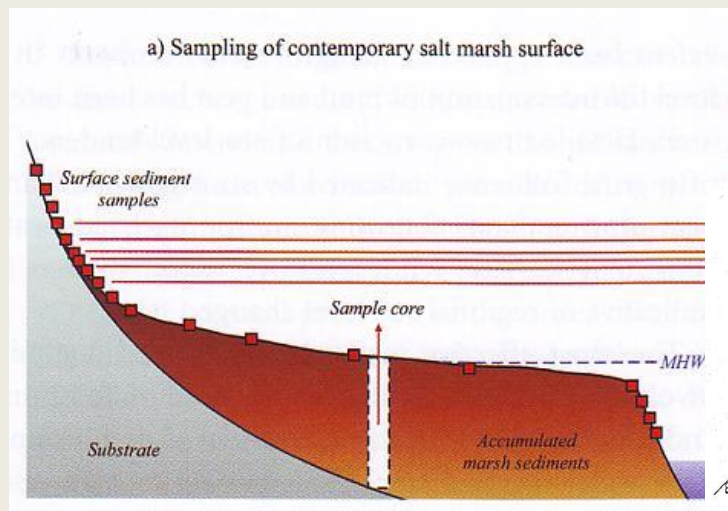


D. A. Smeed et al. (2014)

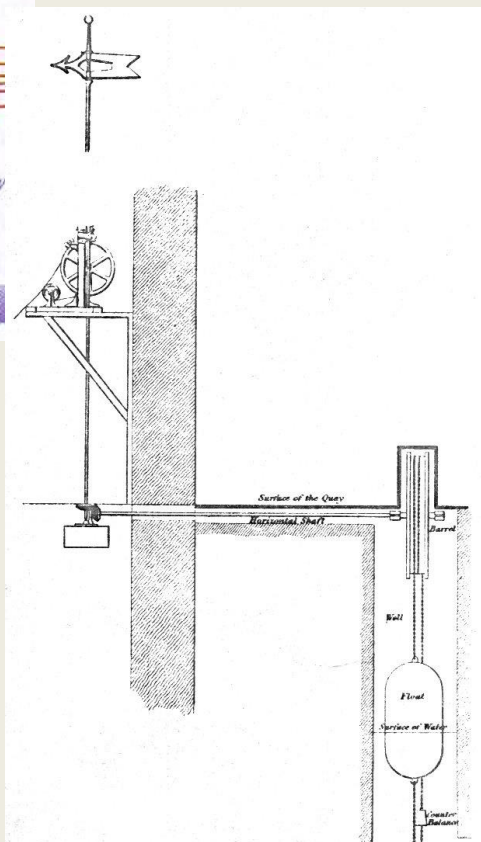
Temperatura i salinitet Jadranskog mora: srednje vrijednosti i trendovi (1952.–2010.)



Mjerenje visine morske razine

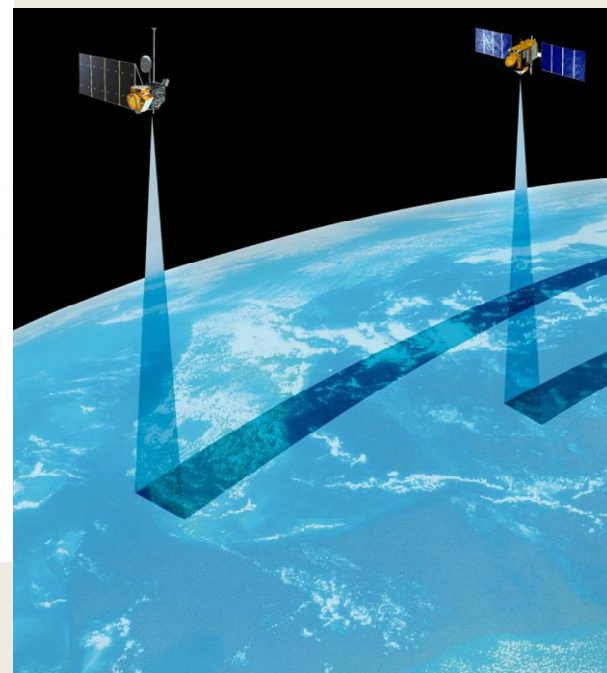


Sedimenti

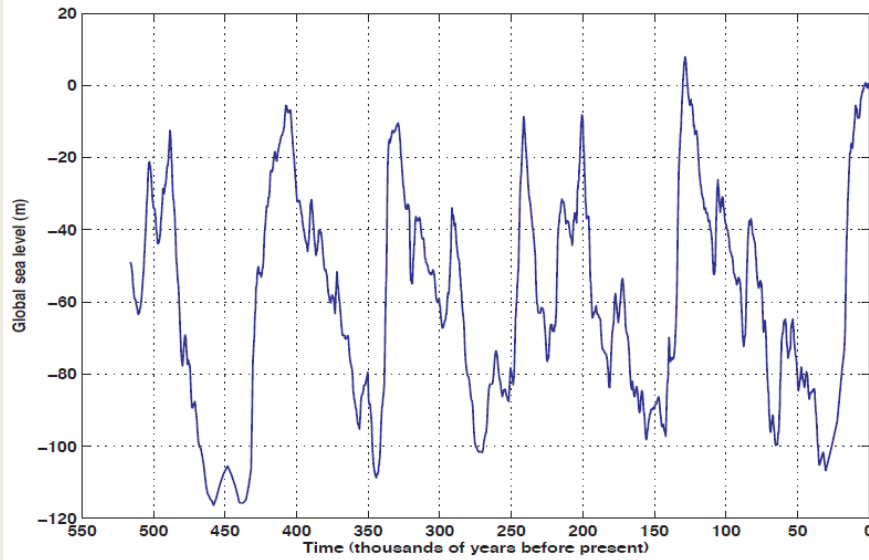


Mareograf

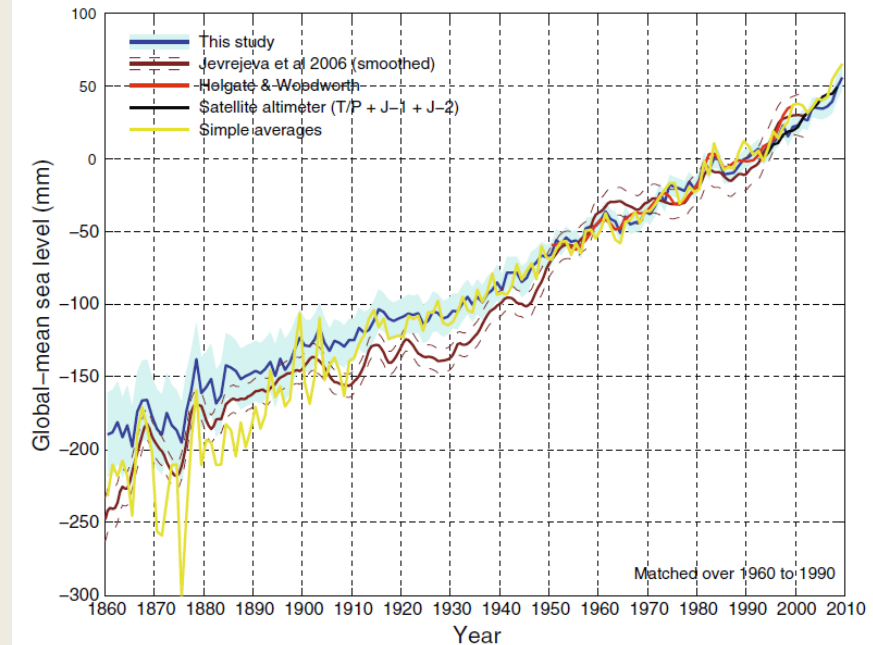
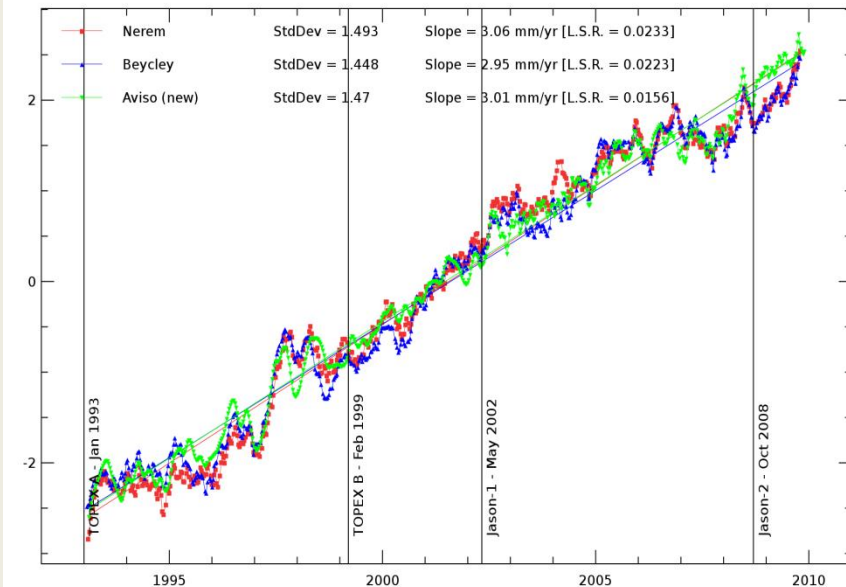
Satelitski visinomjer



Promjene globalne morske razine



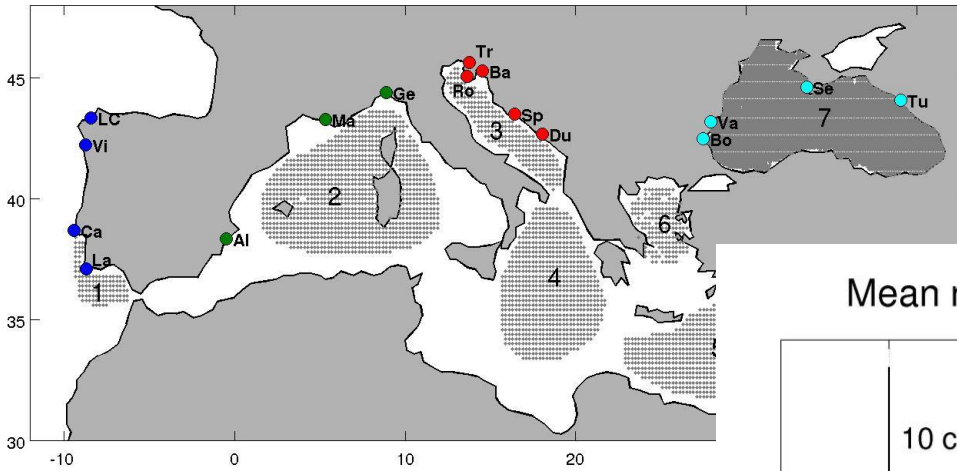
E. J. Rohling et al. (2009)



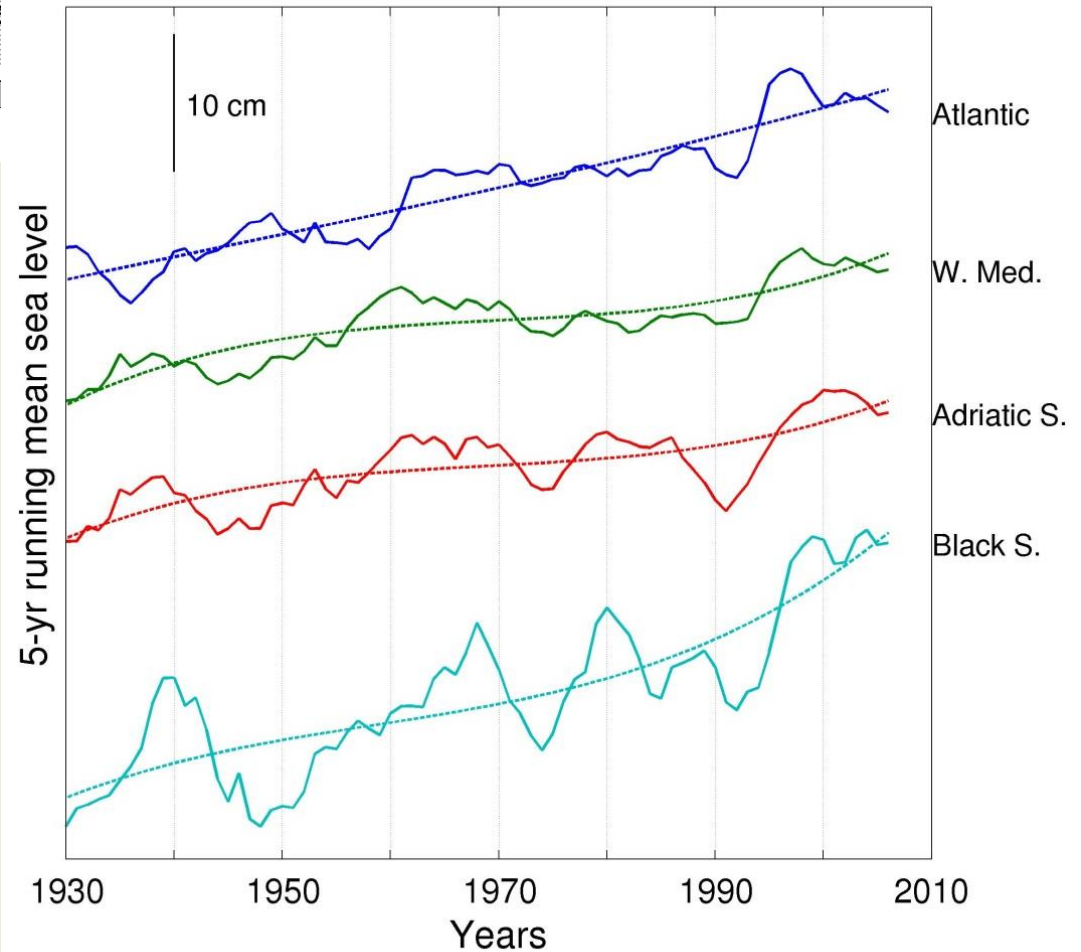
J. A. Church, N. J. White (2011)

A. Cazenave (2010)

Promjene razine Sredozemnog mora

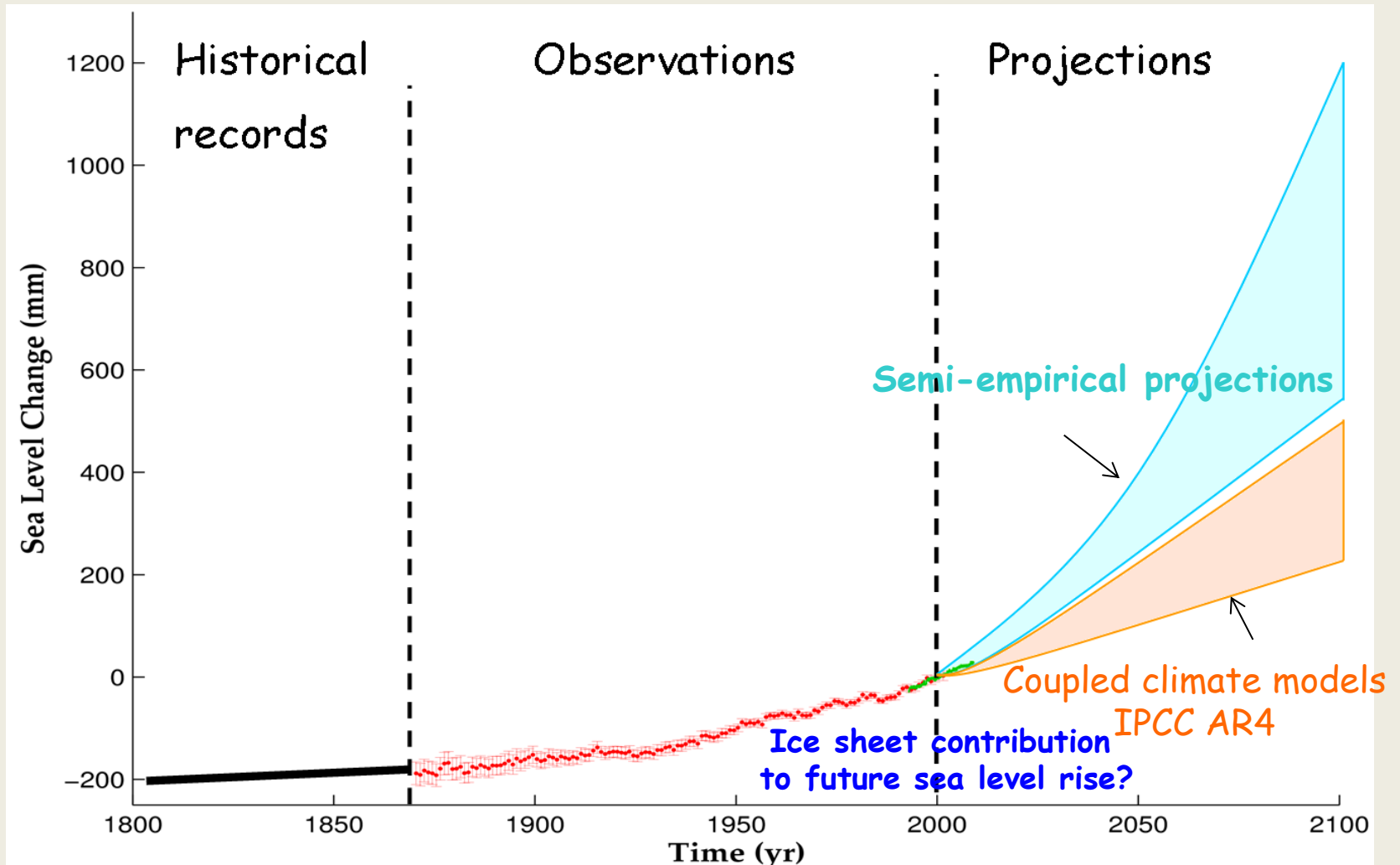


Mean regional sea levels and polynomial fits

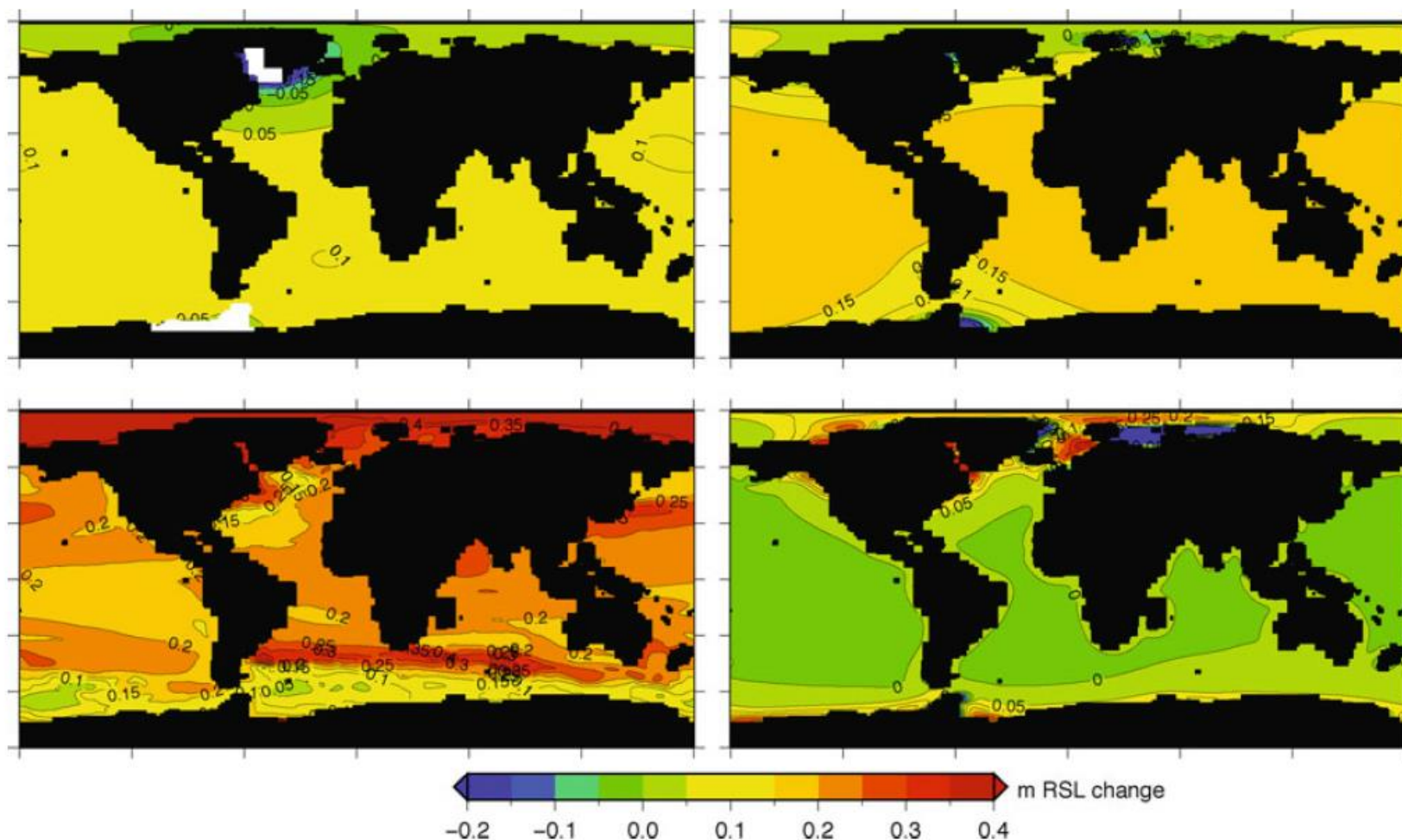


M. Orlić, M. Pasarić (2013)

Projekcije globalne morske razine

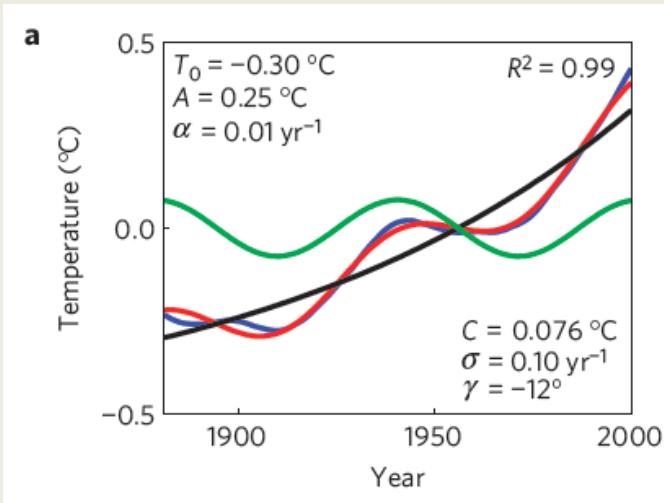


Modeliranje relativne morske razine (promjena od 1980./1999. do 2090./2099., scenarij A1B)

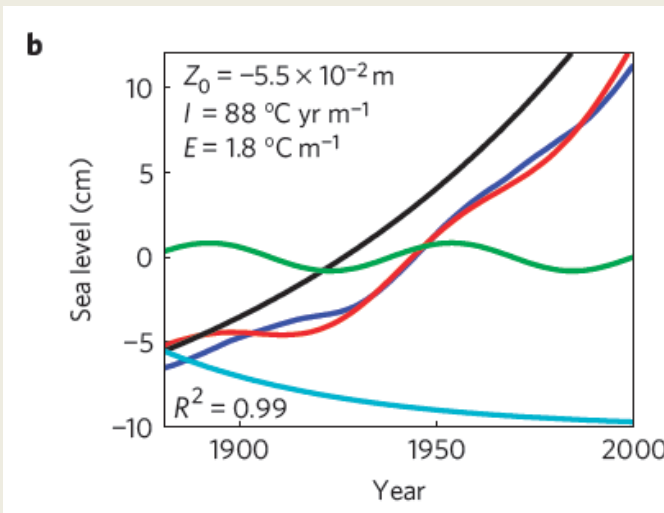


Nova inačica polu-empirijske metode (1)

Analiza



$$\tau = A(e^{\alpha t} - 1) + C \cos(\sigma t - \gamma)$$

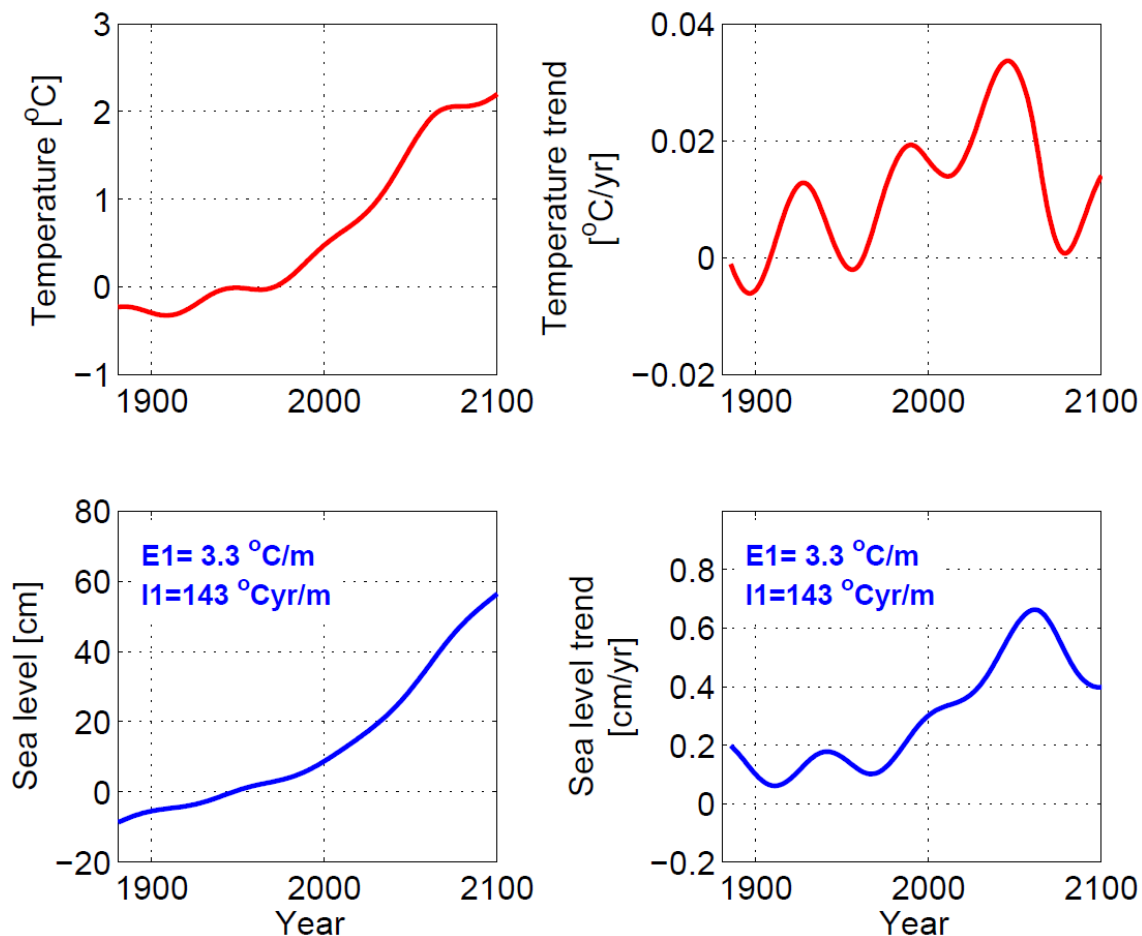


$$I \frac{d\zeta}{dt} + E\zeta = \tau \Rightarrow$$

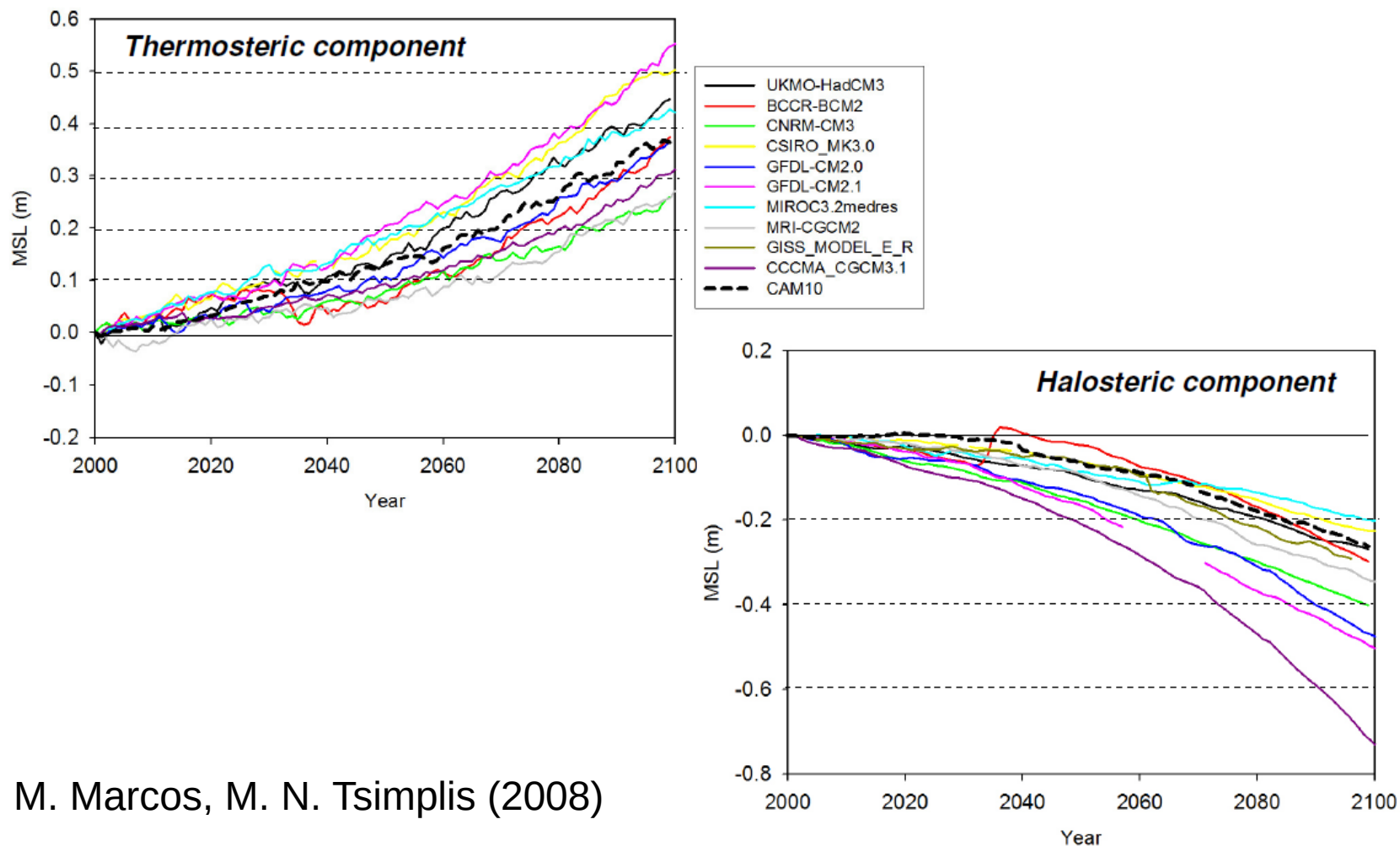
$$\zeta = B\beta(e^{\alpha t} - 1) + B\alpha(e^{-\beta t} - 1) + D \cos(\sigma t - \delta)$$

Nova inačica polu-empirijske metode (2)

Projekcija
(scenarij RCP4.5)



Projekcije za Sredozemno more (scenarij A2)



M. Marcos, M. N. Tsimplis (2008)

New Orleans (2005)



Slučajevi olujnog uspora

Mianmar (2008)



New York (2012)



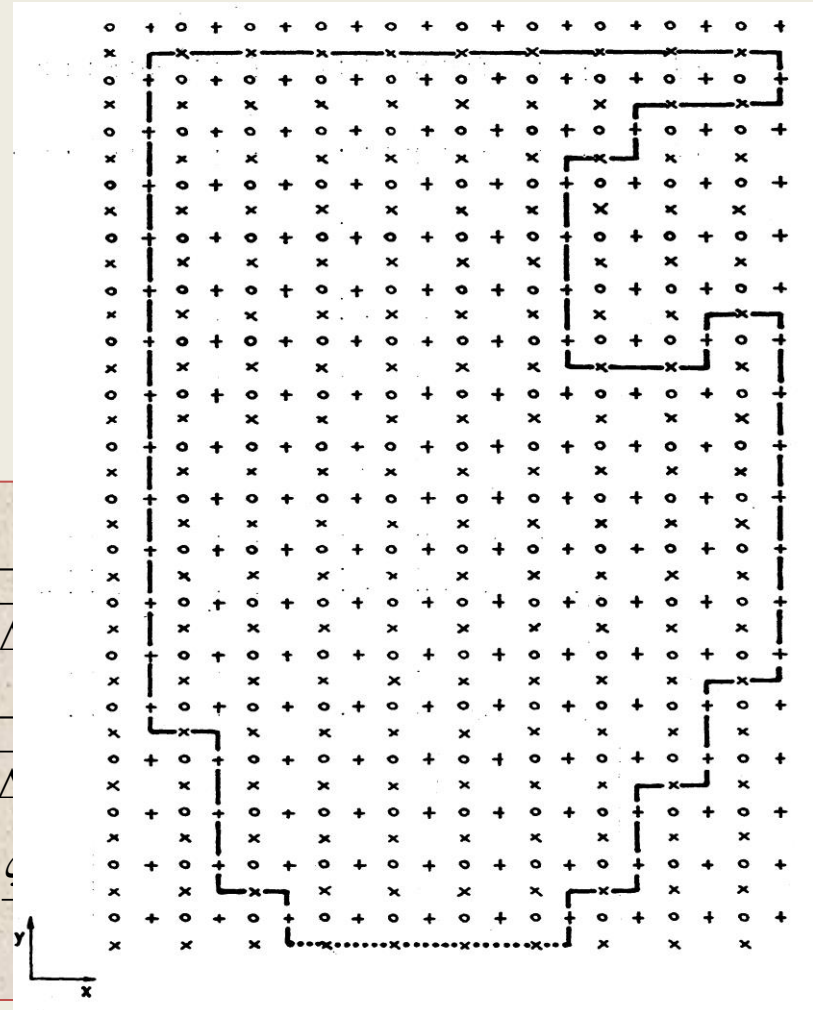
Filipini (2013)



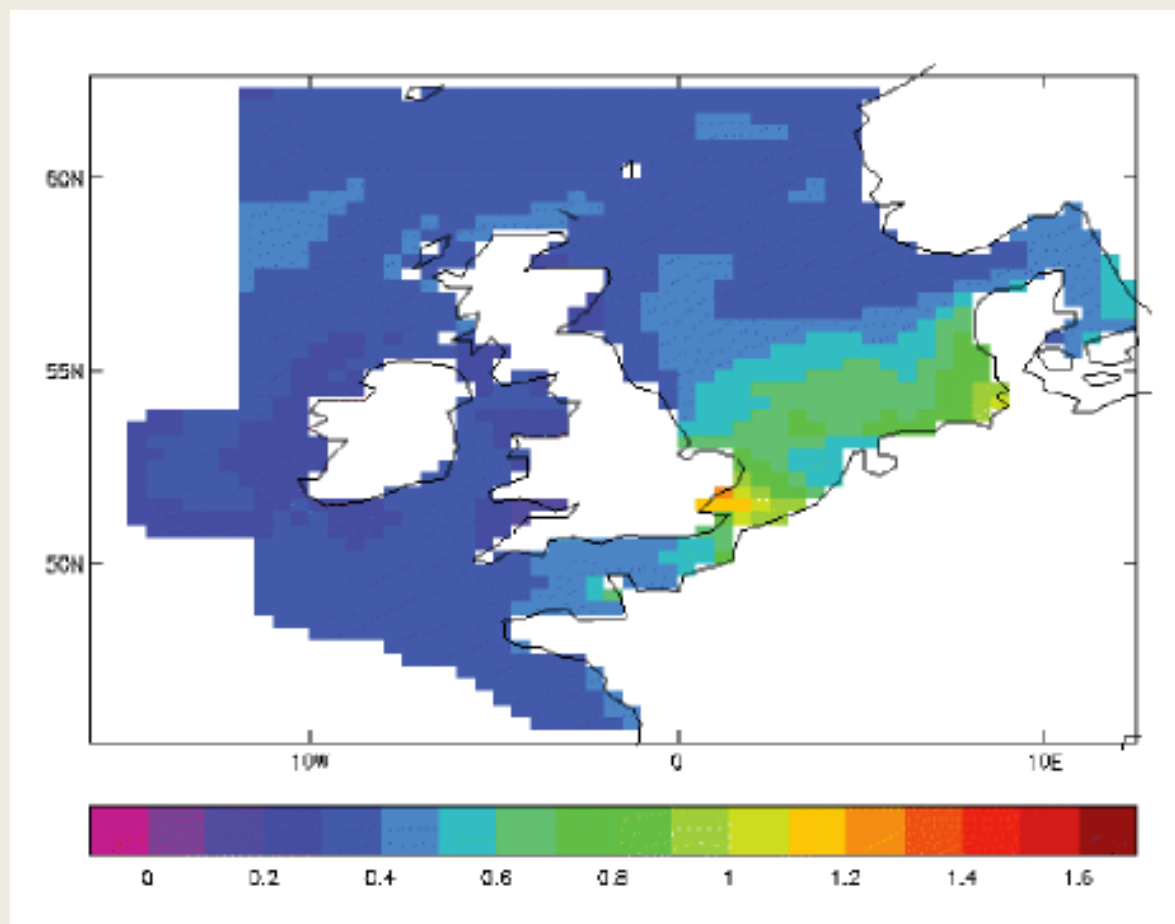
Numeričko modeliranje

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} - fv &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} + \frac{1}{H\rho} (\tau_x - \tau_{dx}) \\ \frac{\partial v}{\partial t} + fu &= -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} + \frac{1}{H\rho} (\tau_y - \tau_{dy}) \\ \frac{\partial}{\partial x} (Hu) + \frac{\partial}{\partial y} (Hv) + \frac{\partial \zeta}{\partial t} &= 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^n}{\Delta t} - f\bar{v}_{i,j}^n &= -g \frac{\zeta_{i+1,j}^{n+1} - \zeta_{i-1,j}^{n+1}}{2\Delta s} - \frac{1}{\rho} \frac{p_{a,i+1,j}^n - p_{a,i-1,j}^n}{2\Delta s} + \frac{1}{H\rho} (\tau_x - \tau_{dx}) \\ \frac{v_{i,j}^{n+1} - v_{i,j}^n}{\Delta t} + f\bar{u}_{i,j}^n &= -g \frac{\zeta_{i,j+1}^{n+1} - \zeta_{i,j-1}^{n+1}}{2\Delta s} - \frac{1}{\rho} \frac{p_{a,i,j+1}^n - p_{a,i,j-1}^n}{2\Delta s} + \frac{1}{H\rho} (\tau_y - \tau_{dy}) \\ \frac{(Hu^n)_{i+1,j} - (Hu^n)_{i-1,j}}{2\Delta s} + \frac{(Hv^n)_{i,j+1} - (Hv^n)_{i,j-1}}{2\Delta s} + \frac{\partial \zeta}{\partial t} &= 0\end{aligned}$$



Povećanje ekstremno visokih morskih razina
koje se očekuje uz 50-godišnji povratni period
(u metrima, do 2100., scenarij A2)



Prilagodba: brane ispred Londona i Rotterdama



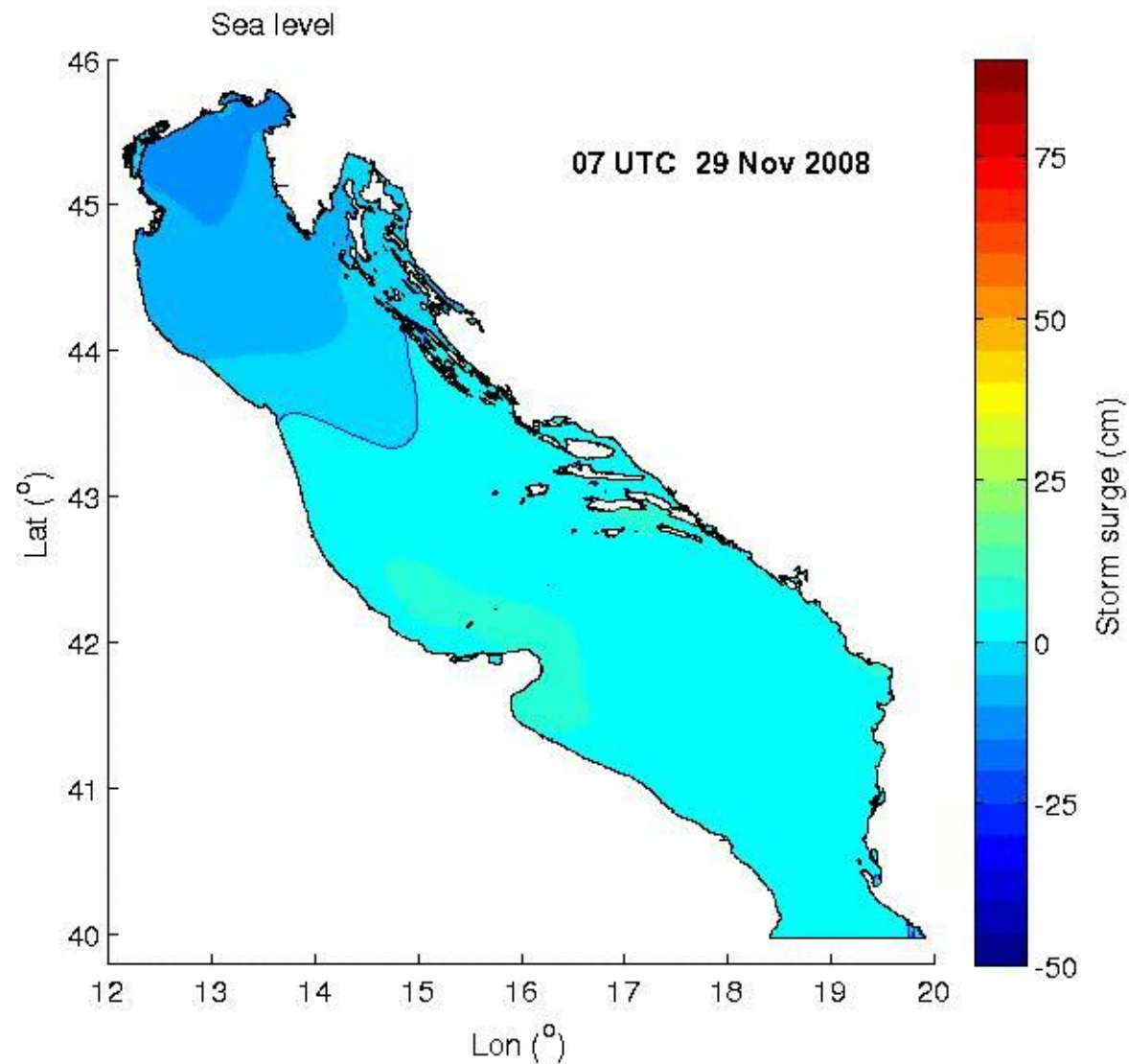
Jadranska poplava od 1. prosinca 2008.



Rekordi u Bakru (bez lokalnih seša)

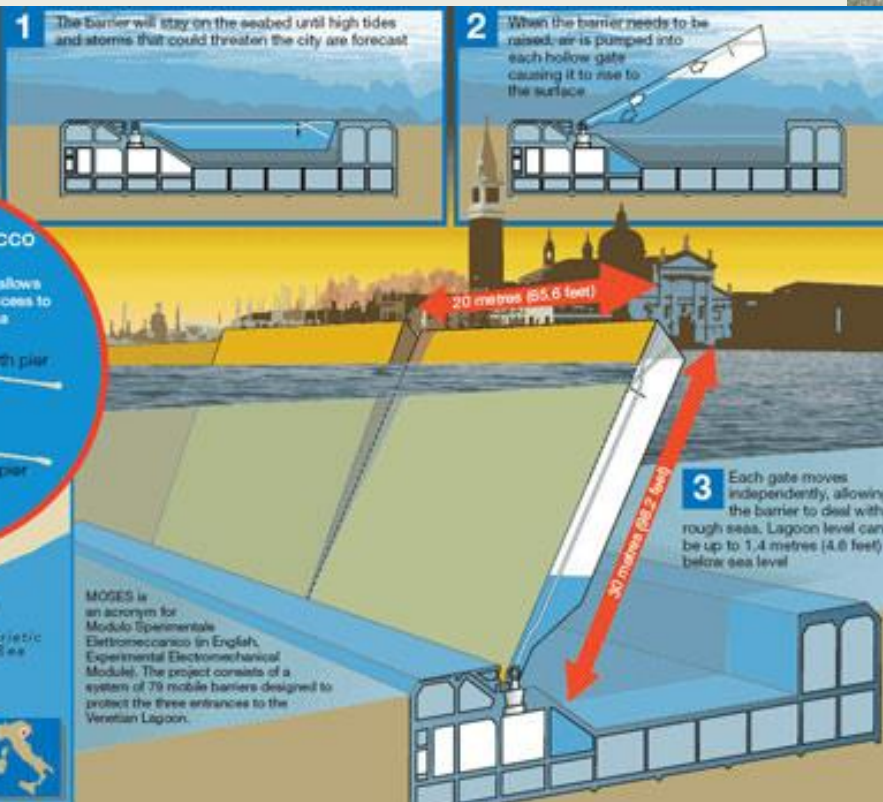
Date	Time (LT)	Height above MSL (cm)
1 November 2012	7:00	113
1 December 2008	9:00	105
25 December 2009	2:00	103
23 December 2009	3:00	97
22 December 1979	10:00	97
17 December 1958	3:00	96
Etc.	...	...

Simulacija poplave od 1. prosinca 2008.



Prilagodba: konstrukcija brana ispred Venecije

Project MOSES: How it will work



Utjecaj na stanovnike obalnog područja



Otoci



Delte (R. J. Nicholls, P. P. Wong, 2007)

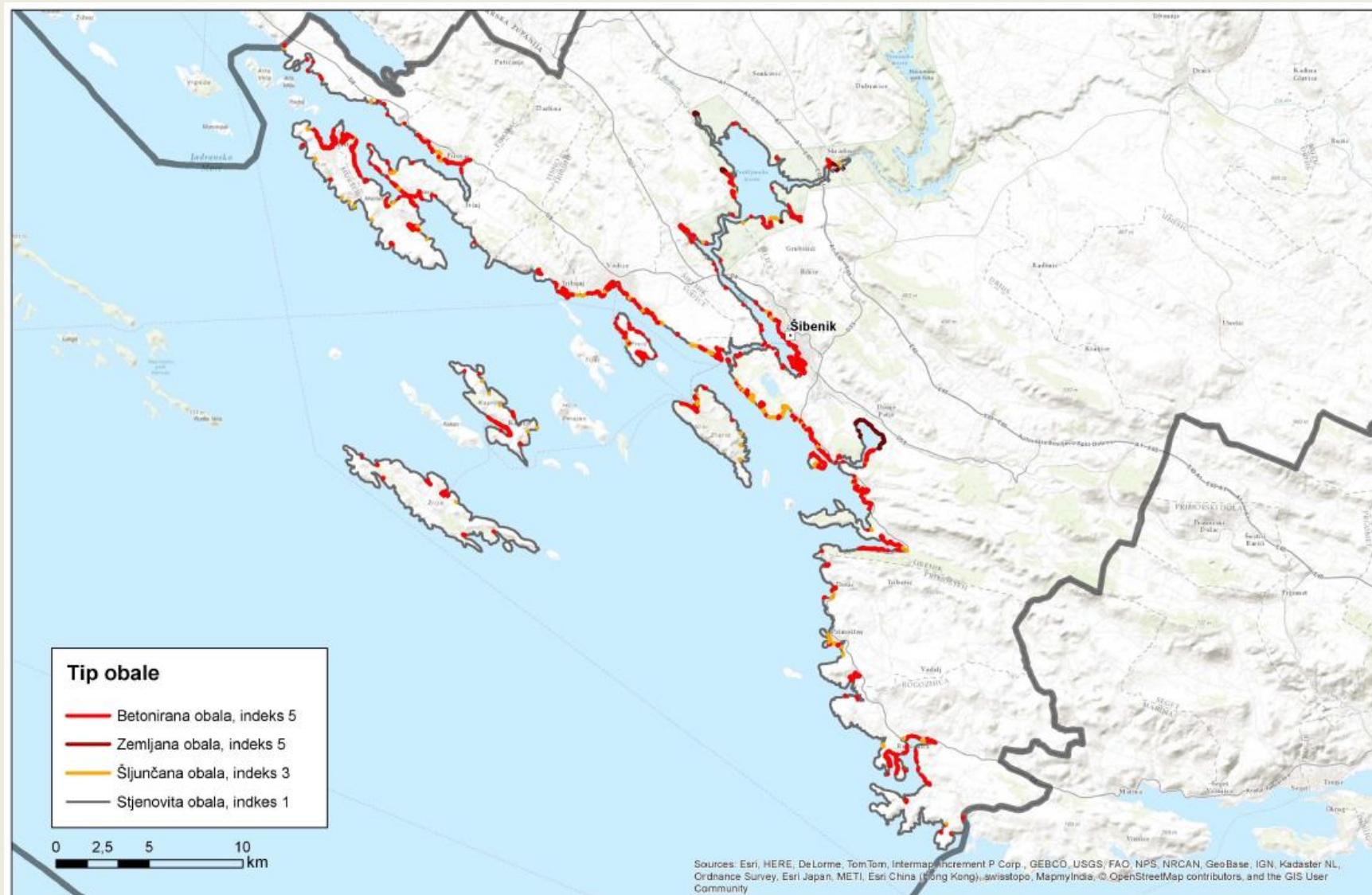
Očekivane štete u Hrvatskoj



- Prema nedavnoj studiji koju su izradili istraživači što ih zapošljavaju Global Climate Forum (Berlin) i Sveučilište Christian Albrechts (Kiel), očekuje se da će godišnje štete uslijed poplavlivanja hrvatskog obalnog područja dosizati **0.9 – 8.9 milijardi dolara** krajem 21. stoljeća.
- Troškovi izgradnje i održavanja infrastrukture potrebne da se spriječe štete iznosili bi **11 – 30 milijardi dolara**.
- Posljedično, ulaganje bi se isplatilo za **2 – 150 godina**.

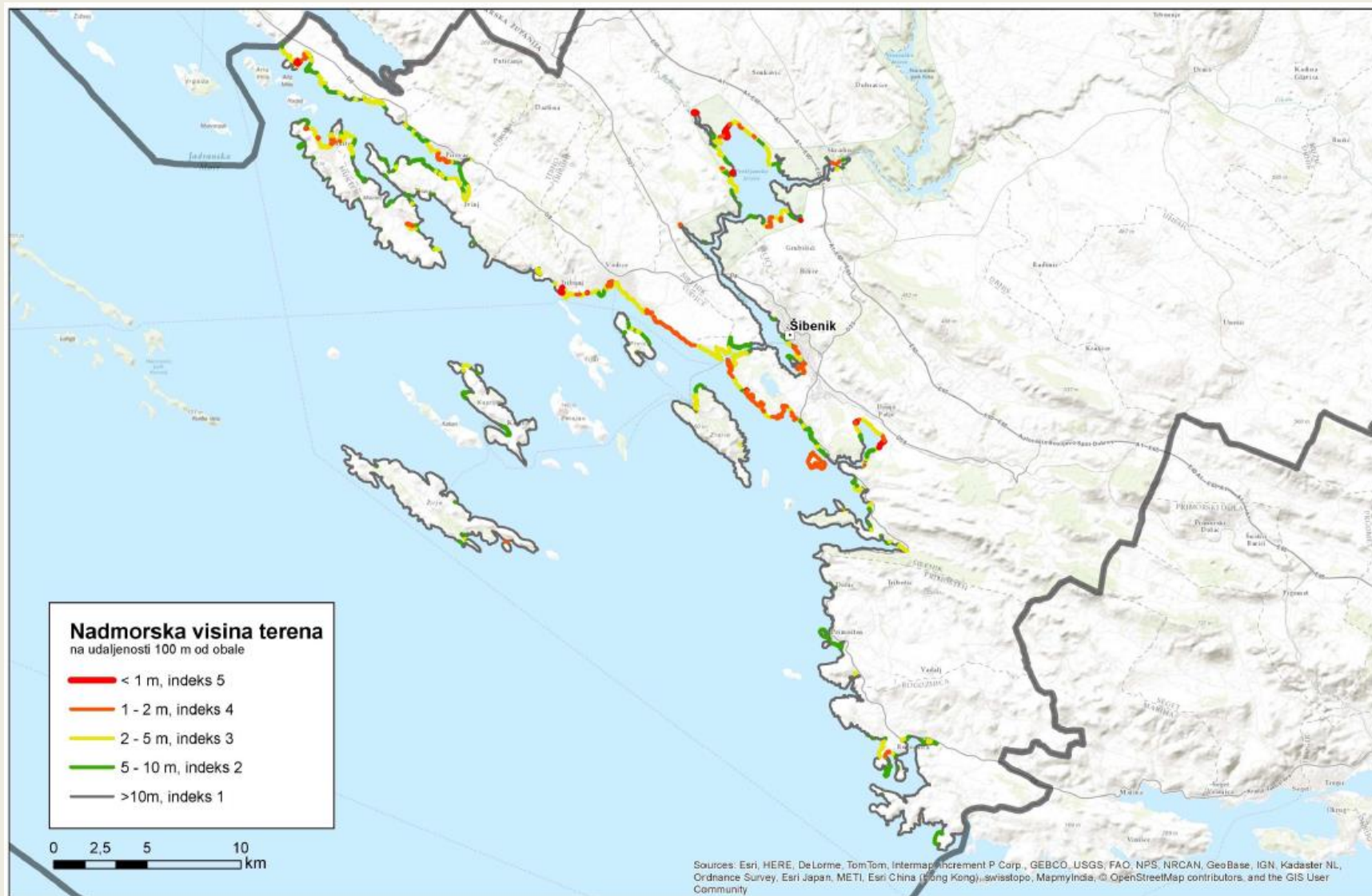
Karta ranjivosti (1)

Obalni plan,
Šibensko-kninska županija (2016)



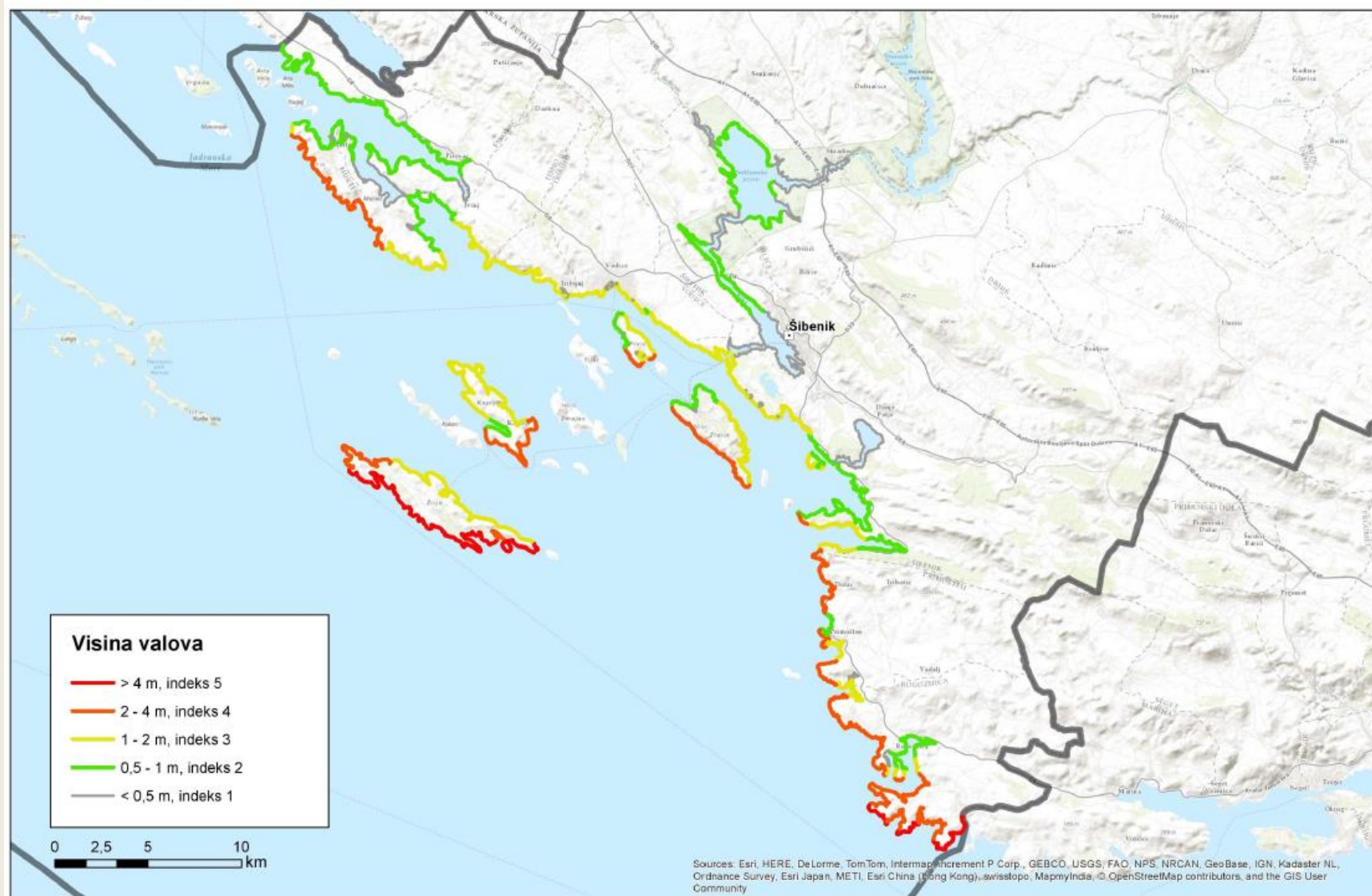
Karta ranjivosti (2)

Obalni plan,
Šibensko-kninska županija (2016)



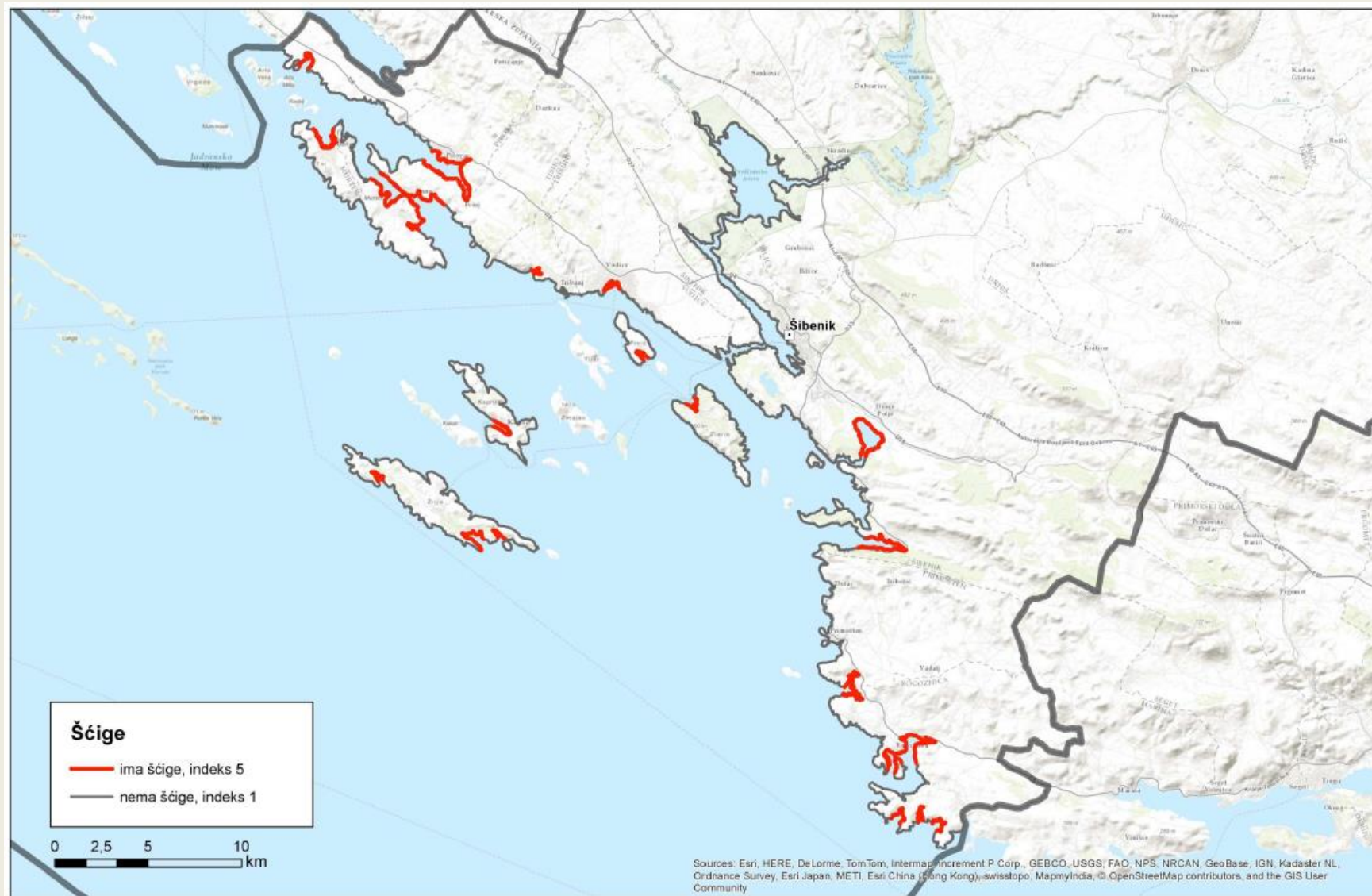
Karta ranjivosti (3)

Obalni plan,
Šibensko-kninska županija (2016)



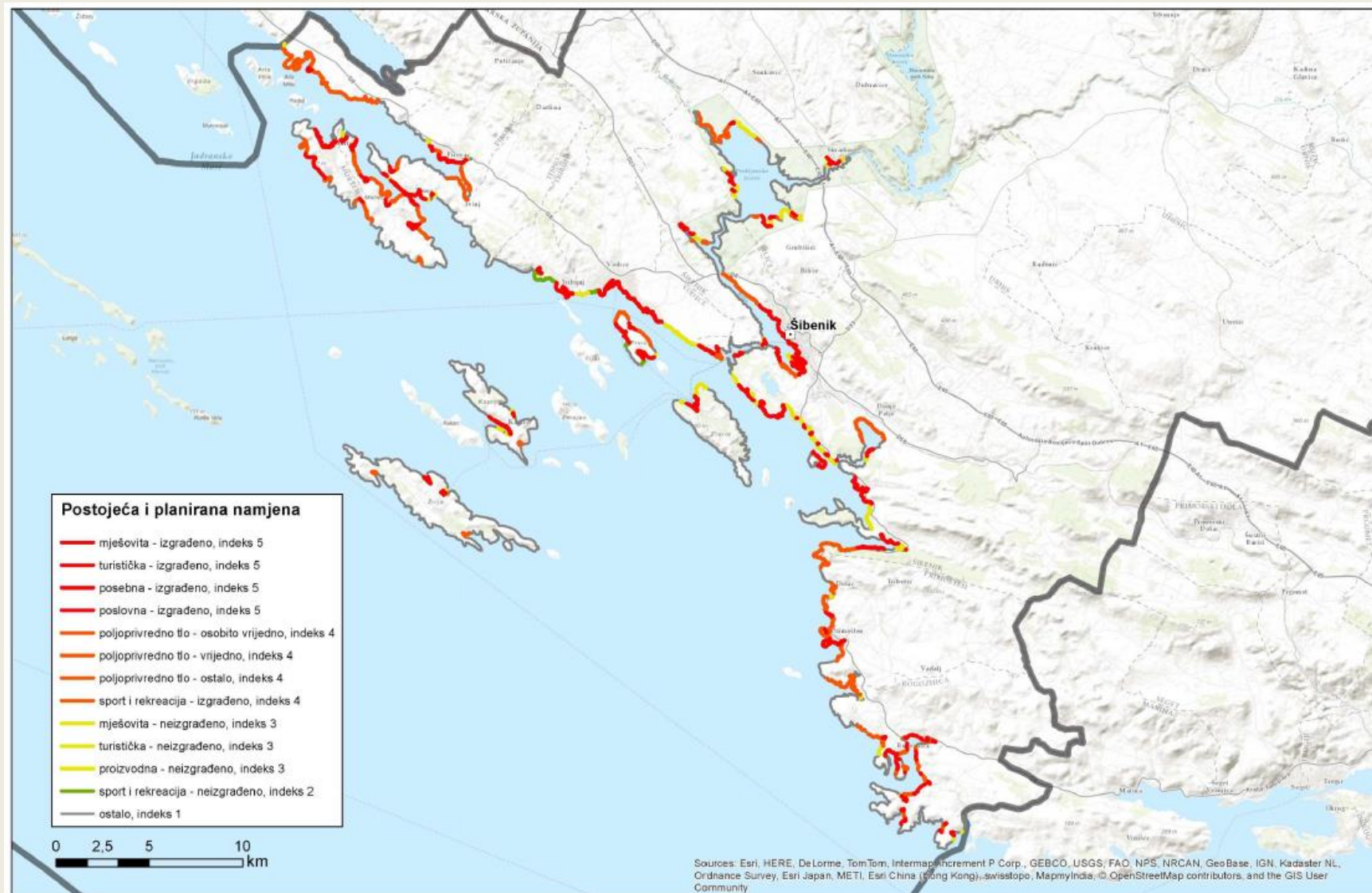
Karta ranjivosti (4)

Obalni plan,
Šibensko-kninska županija (2016)



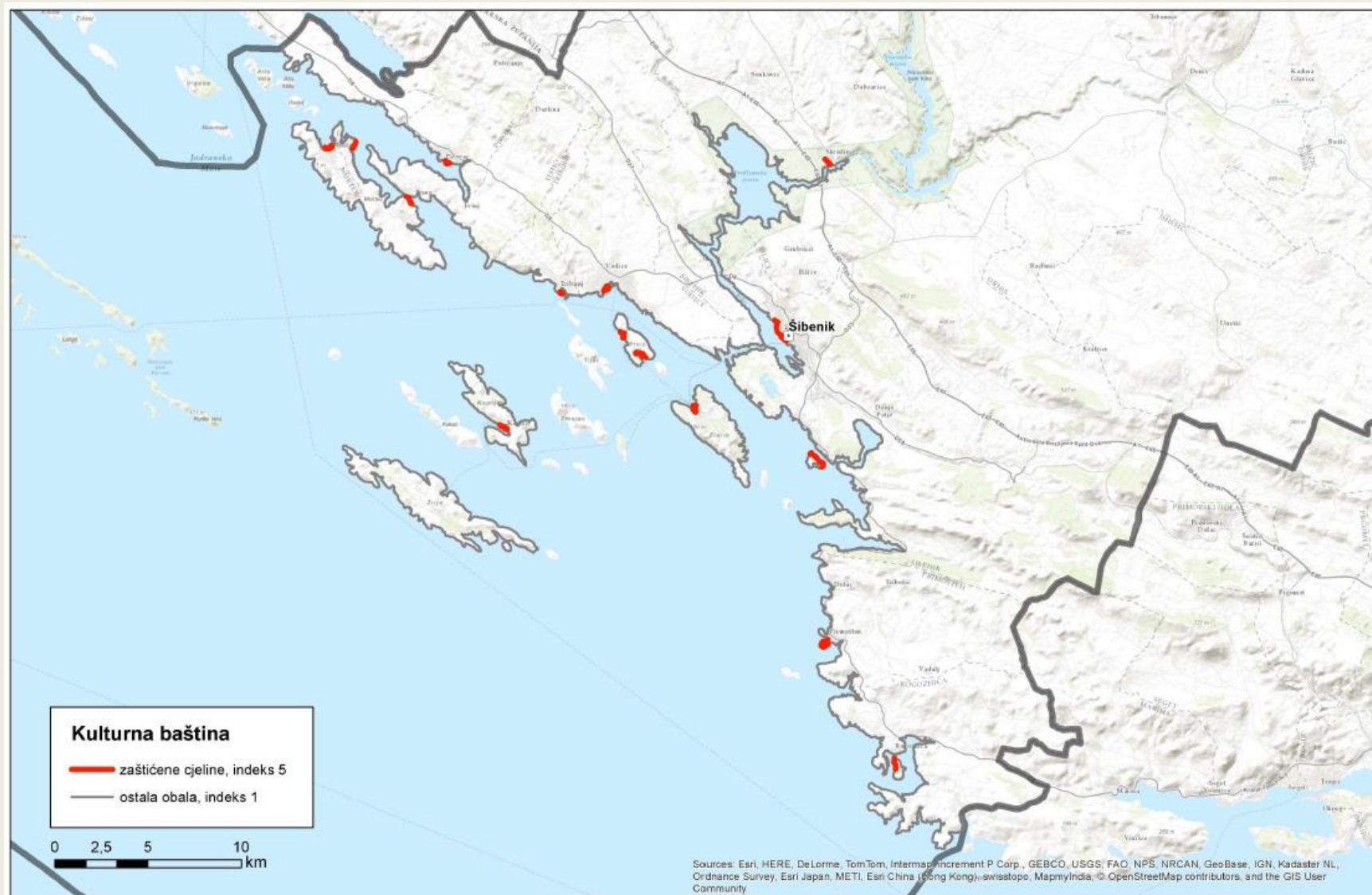
Karta ranjivosti (5)

Obalni plan,
Šibensko-kninska županija (2016)



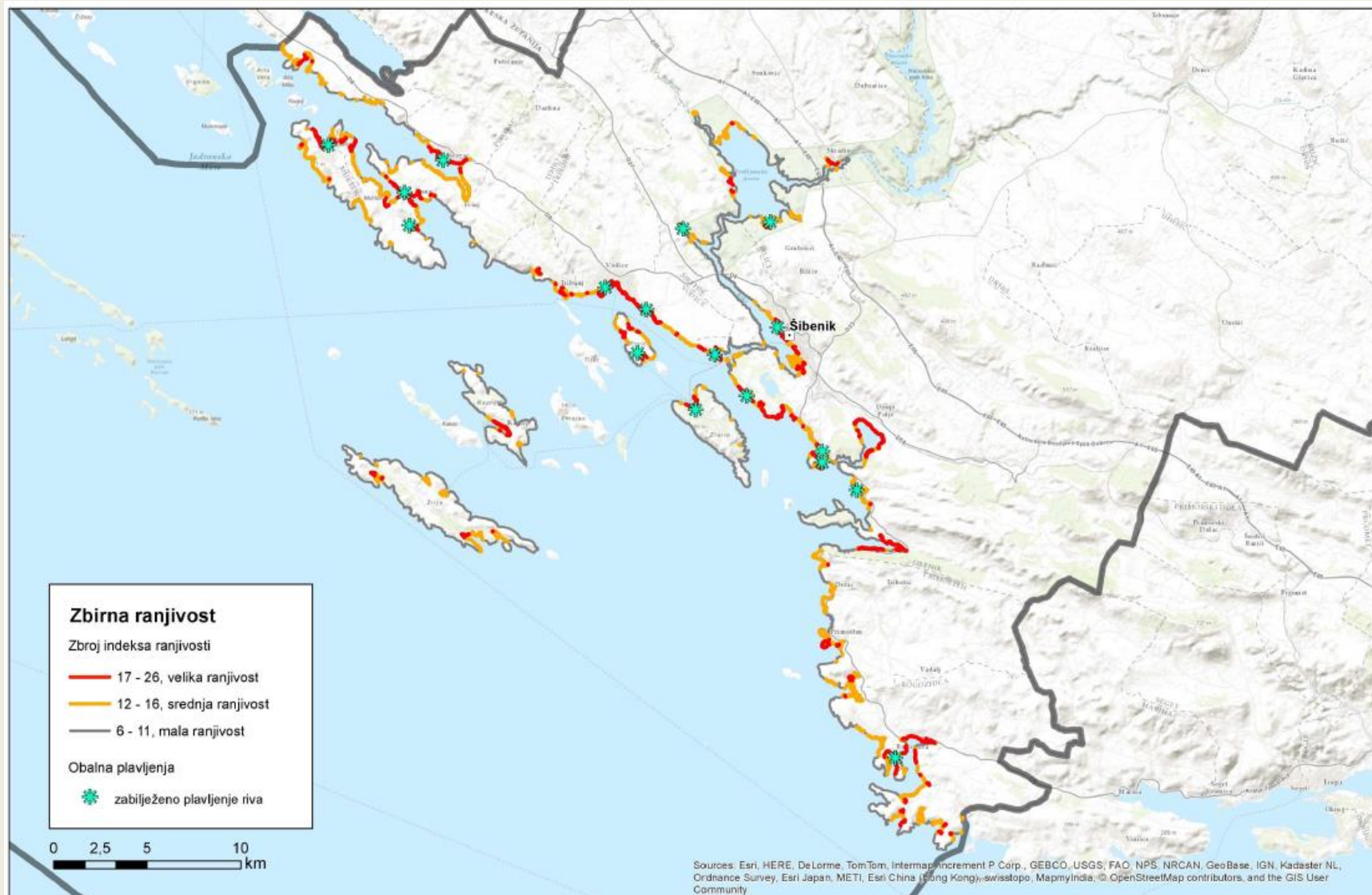
Karta ranjivosti (6)

Obalni plan,
Šibensko-kninska županija (2016)

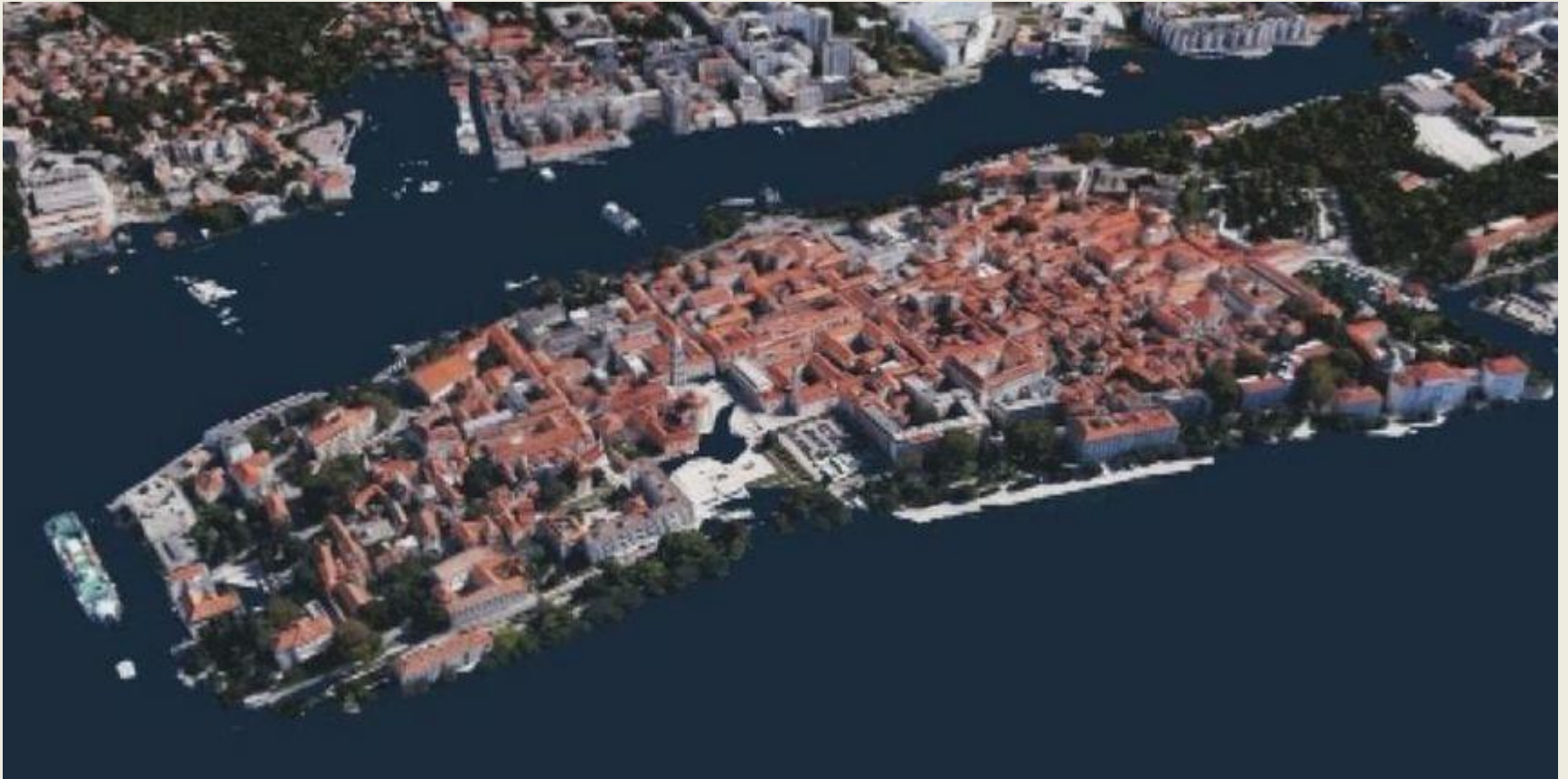


Karta ranjivosti (7)

Obalni plan,
Šibensko-kninska županija (2016)



Javna percepcija (uz porast razine od 1 m)



RTL (2016)

Zaključak (1)

- Globalna se temperatura tijekom proteklih stotinjak godina povećavala prosječnom stopom od 0.8°C po stoljeću.
- Veći dio zagrijavanja od sredine 20. stoljeća može se pripisati čovjekovom djelovanju (uz vjerojatnost od 95-100%).
- Porast temperature pratile su promjene brojnih drugih parametara, pa se tako globalna morska razina tijekom proteklih stotinjak godina podizala prosječnom stopom od 17 cm po stoljeću.
- Porast razine bio je posljedica širenja vodenog stupca i otapanja ledenjaka i ledenih pokrova.
- Uz pretpostavku da će se koncentracije stakleničkih plinova do kraja ovog stoljeća podvostručiti u odnosu na predindustrijske vrijednosti, očekuje se daljnji porast globalne temperature u rasponu od 1.1 do 2.6°C .
- Takvo zagrijavanje pratit će promjene u cijelom klimatskom sustavu, pa se tako očekuje podizanje globalne morske razine u rasponu od 32 do 63 cm do kraja stoljeća.

Zaključak (2)

- Uz promjene klimatskih parametara dolazi i do promjena ekstrema.
- Za takve su procese najviše odgovorne razvijene zemlje, a očekuje se da će ti procesi najviše utjecati na zemlje u razvoju.
- S tim u vezi potrebno je:
 - vršiti istraživanja da bi se reducirala nepouzdanost projekcija (*investigation*),
 - ublažiti klimatske promjene da se izbjegnu najgori scenariji (*mitigation*),
 - organizirati prilagodbu gdje god je moguće (*adaptation*).
- Međunarodna suradnja?