



Prijelazni instrument
Europske unije za Hrvatsku

STRATEGIJA PRILAGODBE KLIMATSKIM PROMJENAMA

*Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite okoliša i energetike
za prilagodbu klimatskim promjenama te priprema
Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama*

www.prilagodba-klimi.hr



REPUBLIKA HRVATSKA
MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE

eptisa
Adria d.o.o.



REPUBLIKA HRVATSKA

MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE



eptisa
Adria d.o.o.

**Prijelazni instrument, Jačanje kapaciteta Ministarstva zaštite
okoliša i energetike za prilagodbu klimatskim promjenama te
priprema Nacrta Strategije prilagodbe klimatskim promjenama**

UPRAVLJANJE VODNIM I MORSKIM RESURSIMA

Dr.sc. IGOR LJUBENKOV

Dubrovnik, 3. travnja 2017. godine

Ovaj projekt financira Europska unija

Sadržaj ove publikacije je isključiva odgovornost Eptisa Adria d.o.o. i ne predstavlja nužno stav Europske unije.

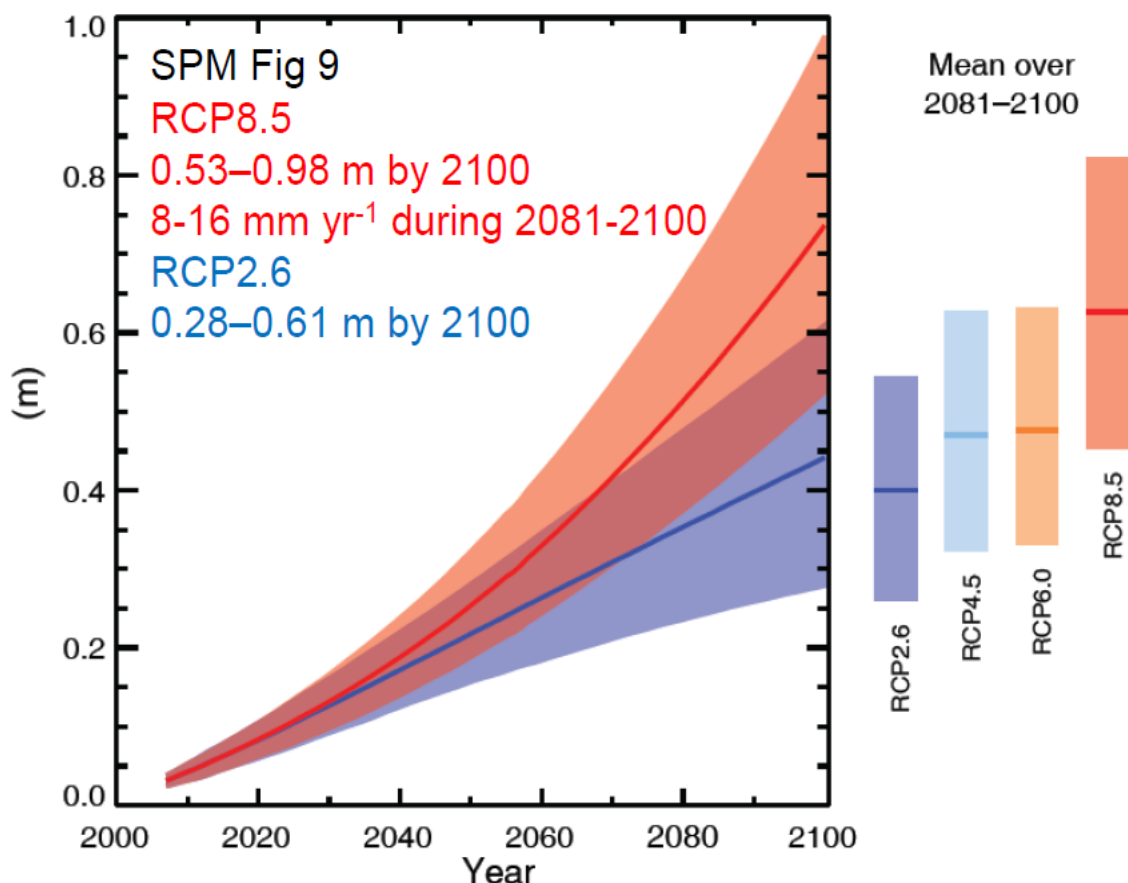


SADRŽAJ:

- **PORAST RAZINE MORA**
- **OČEKIVANI UTJECAJI** klimatskih promjena na sektor vodnih i morskih resursa te **RANJIVOST** pojedinih komponenti sektora
 - RIJEČNA UŠĆA
 - HIDROMELIORACIJSKI SUSTAVI
 - URBANA (KOMUNALNA) ODVODNJA
 - OBALNO PODRUČJE (PLAŽE I SL.)
- **MOGUĆE MJERE PRILAGODBE**

GMSLR = Global Mean Sea Level Rise

Projections of 21st-century GMSLR under RCPs

Medium confidence in likely ranges

Porast razine mora ima trenutno vrijednost:

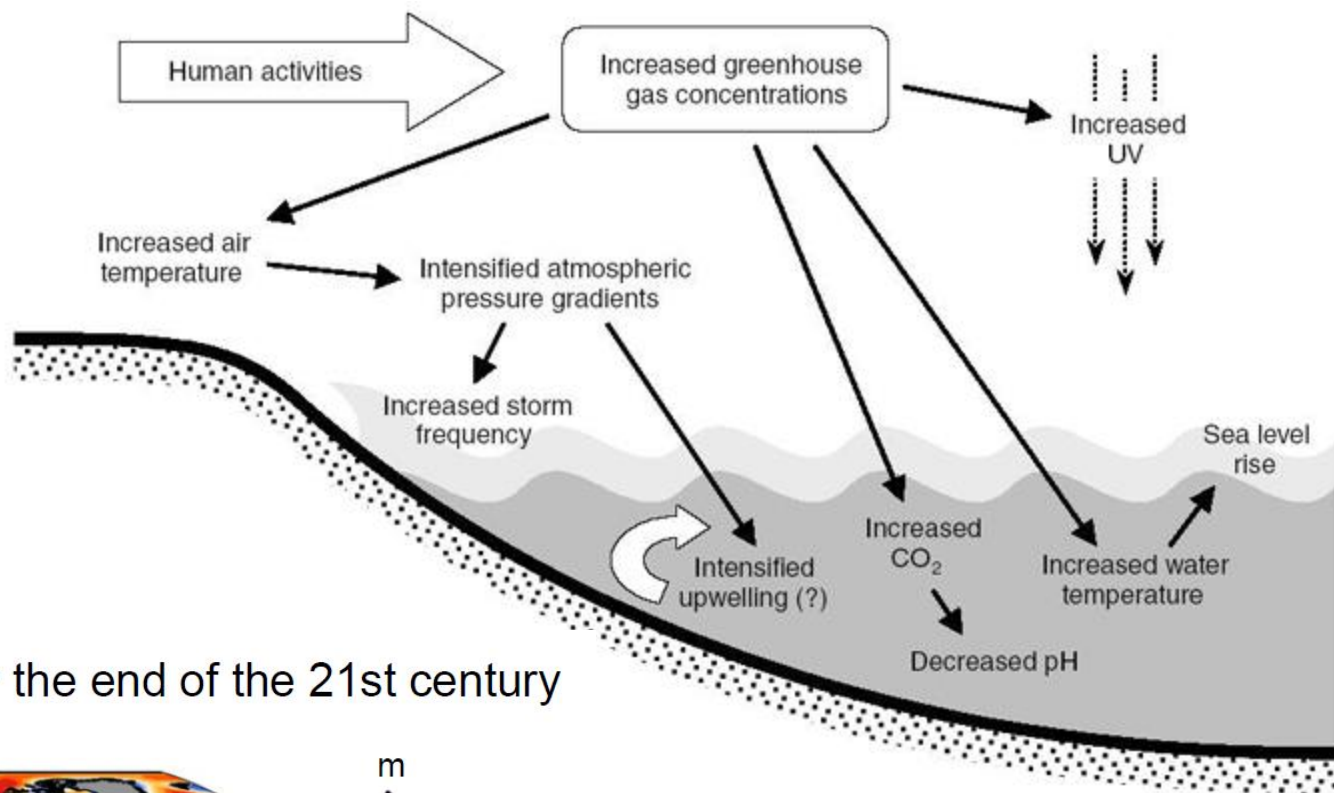
1.7 mm/god za period 1901–2010,
ili **3.2 mm/god** za period 1993–2010 (globalno).

Uzrok porasta mora je [globalno zatopljenje](#), koje će se nastaviti i u budućnosti. Stoga dolazi do [toplinskog istezanja](#) vode („ocean thermal expansion”) i topljenje [ledenjaka](#) („glacier melting”), koji su dominantni faktori za porast razine mora.

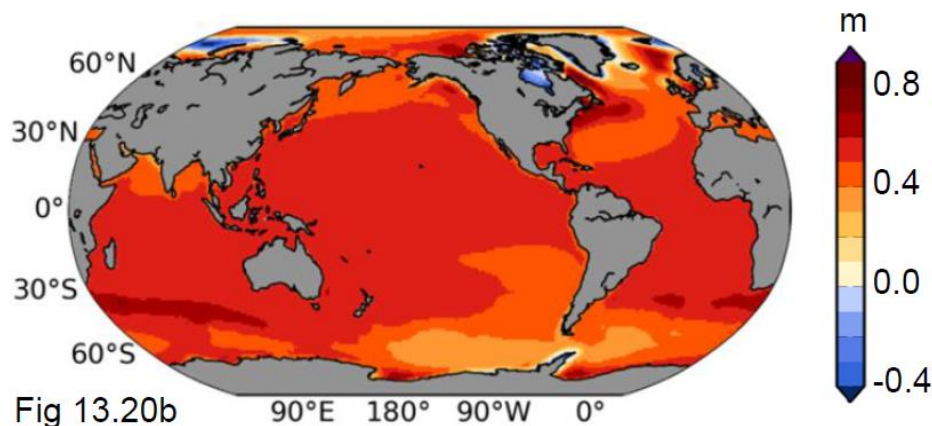
Prema predviđanjima razina mora bi mogla porasti do kraja 21. stoljeća, **od 0,3 do 0,9 m**, sa srednjom vrijednosti 0,48 m. (IPCC, CSIRO i dr.)

Shematski prikaz predviđenog djelovanja klimatskih promjena na more i priobalje (Christopher *et al.*, 2006).

Christopher, D.G. et al. (2006).
The impacts of climate change in
coastal marine systems.
Ecology Letters 9: 228-241.



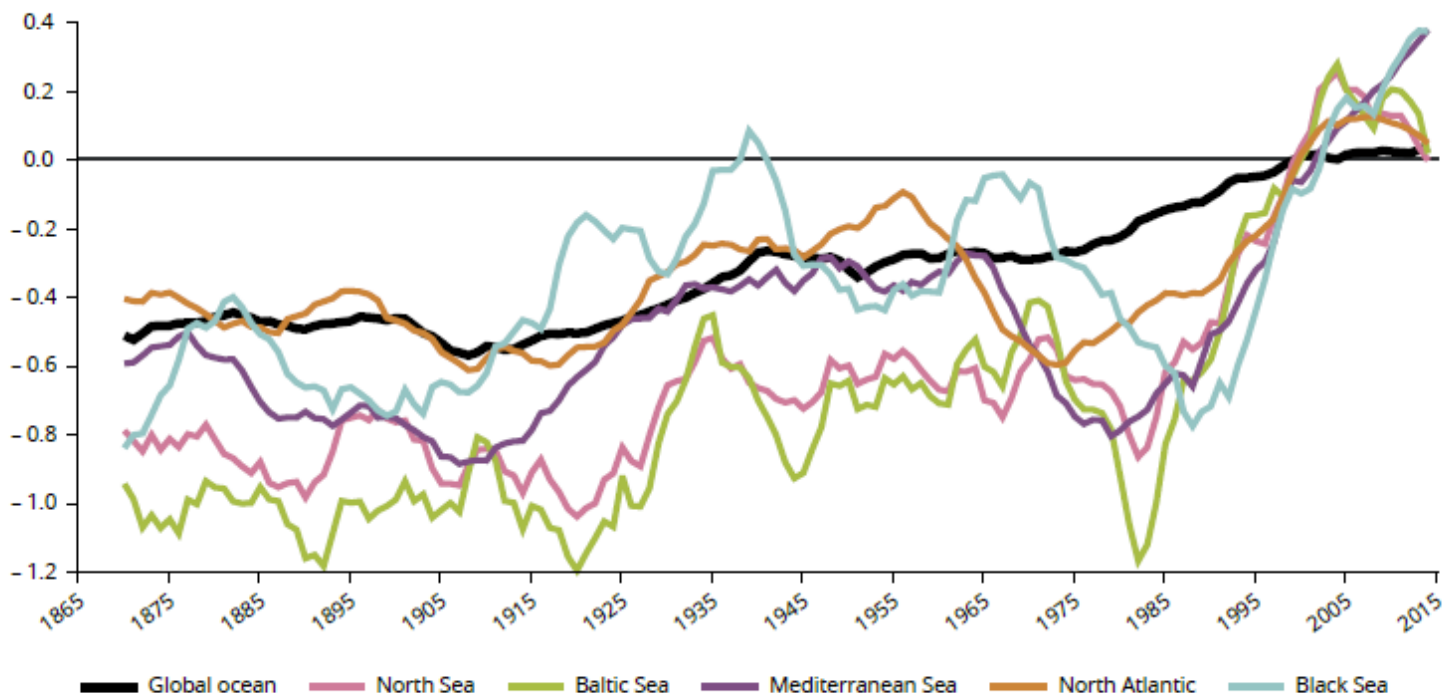
Regional sea level rise by the end of the 21st century



Promjene razine mora nisu / neće
biti jednake na cijeloj Zemlji.

Figure 4.4 Trend in average sea surface temperature anomaly in Europe's seas

SST anomaly (°C)

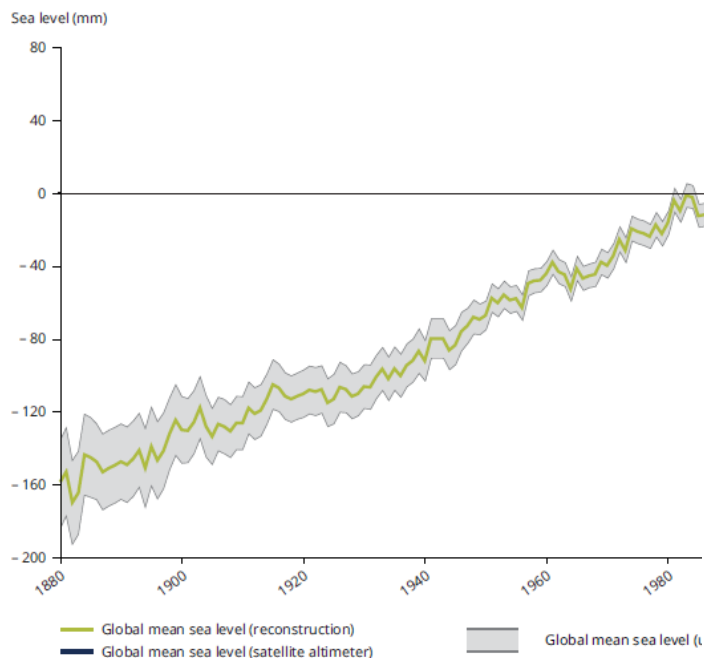


Note: This figure shows time series of average sea surface temperature (°C), smoothed over 11 years, and expressed as anomalies with reference to the average temperature between 1993 and 2012, of the global ocean and of each of Europe's seas.

Source: SST datasets from the CMEMS (Mediterranean Sea) and HADISST1 (global and all other regional seas).

Trendovi temperatura mora u Europi (EEA, 2017)

Figure 4.7 Observed change in global mean sea level

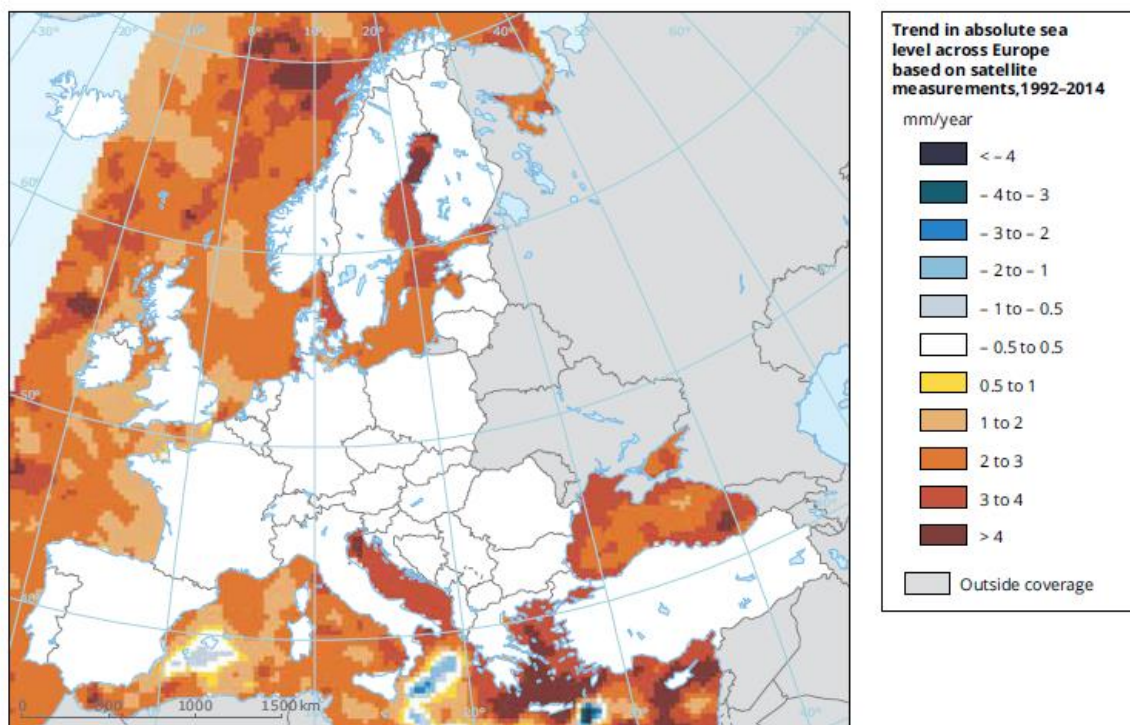


Note: The figure depicts the rise in global mean sea level from 1880 to 2015, relative to the 1990 level. The reconstruction for 1880 to 2013 from coastal and island tide gauge data. The uncertainty line shows a time series for 1993 to 2015 based on altimeter data from the TOPEX/Poseidon, for the inverse barometer effect and glacial isostatic adjustment have been applied.

Source: Adapted from Church and White, 2011; Masters et al., 2012. Data supplied by Benoit Legresy (Research Organisation (CSIRO)).

Opaženi porast razine mora (EEA, 2017)

Map 4.3 Trend in absolute sea level across Europe based on satellite measurements

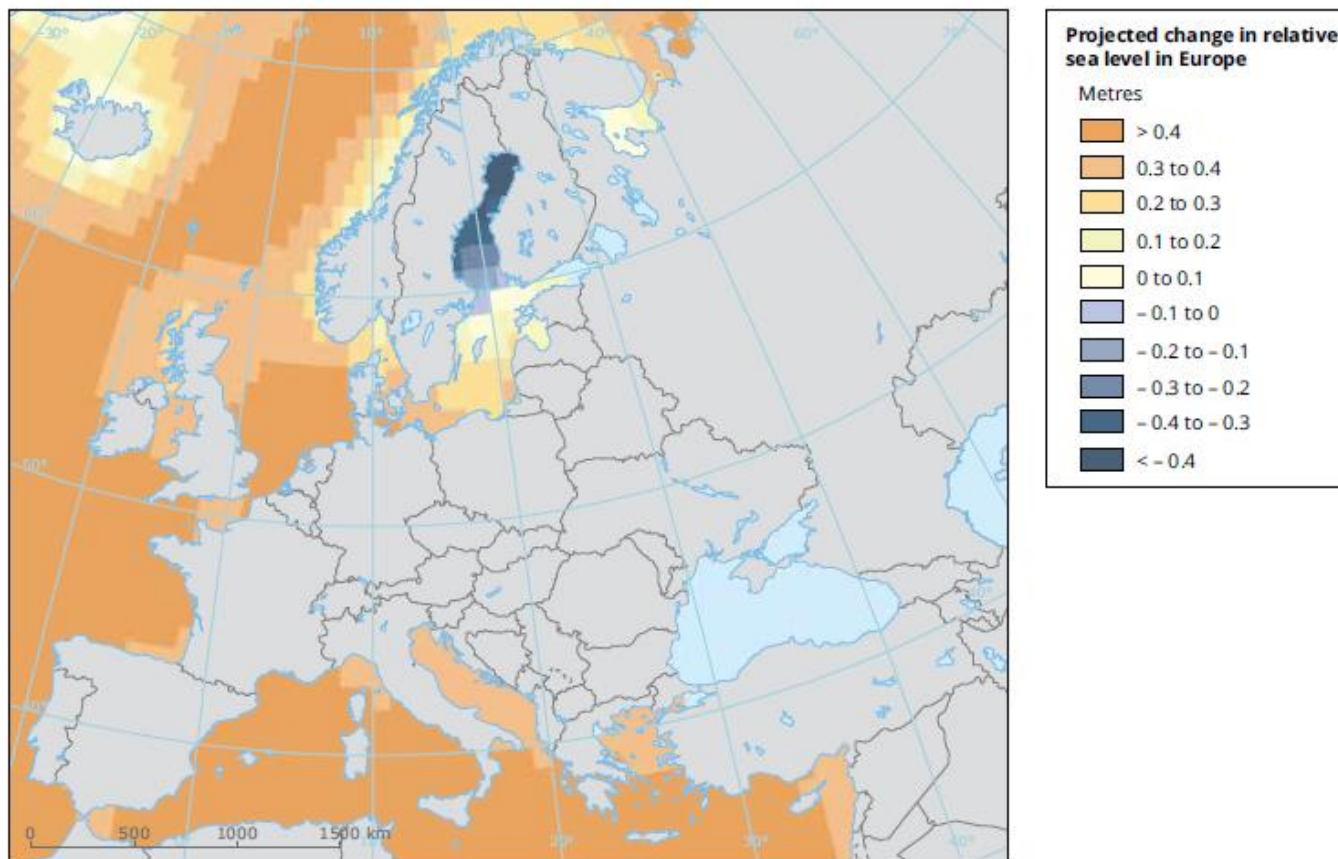


Note: The map shows the linear trend in sea level change over the period 1992–2014. Data uncertainty is higher along coastal zones than in areas further away from the coast. In some regions of the Mediterranean Sea, the depicted trends reflect long-term variability in gyres (i.e. rotating ocean currents) rather than the effects of climate change.

Source: Data supplied by CLS/CNES/LEGOS group (also available through CMEMS).

Procjena porasta razine mora za kraj XXI. st. (EEA, 2017)

Map 4.5 Projected change in relative sea level in Europe



Note: This map shows projected change in relative sea level in the period 2081–2100 compared with 1986–2005 for the medium-to-low emissions scenario RCP4.5 based on an ensemble of CMIP5 climate models. Projections consider gravitational fingerprinting and land movement due to glacial isostatic adjustment, but not land subsidence as a result of human activities. No projections are available for the Black Sea.

Source: Adapted from IPCC, 2013 (Figure TS.23 (b)). Data were supplied by Mark Carson (ZMAW, Germany).



Preuzeto iz:

KLIMATSKE PROMJENE, PORAST RAZINE MORA NA HRVATSKOJ OBALI JADRANA?

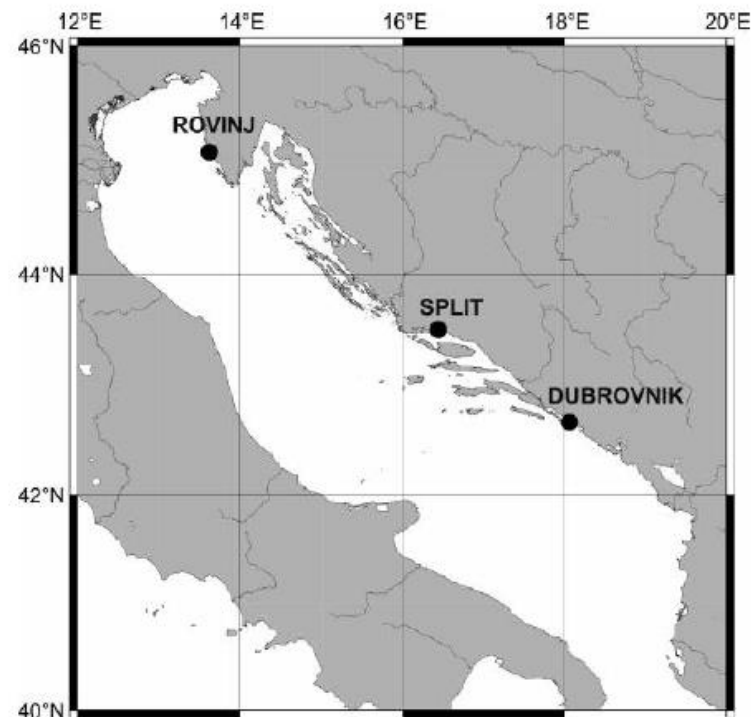
S. Čupić, N. Domijan, H. Mihanović, M. Mlinar, N. Leder, Z. Gržetić

(Hrvatski hidrografski institut Split)

5. HRVATSKA KONFERENCIJA O VODAMA, 2011.

Sažetak:

- 3 mareografske postaje (Rovinj, Split, Dubrovnik),
- Metoda linearne regresije srednjih godišnjih vrijednosti visina razine mora,
- 2 razdoblja: 1955-2009 (N=55) i 1993-2009 (N=17),



Razmatrane mareografske postaje



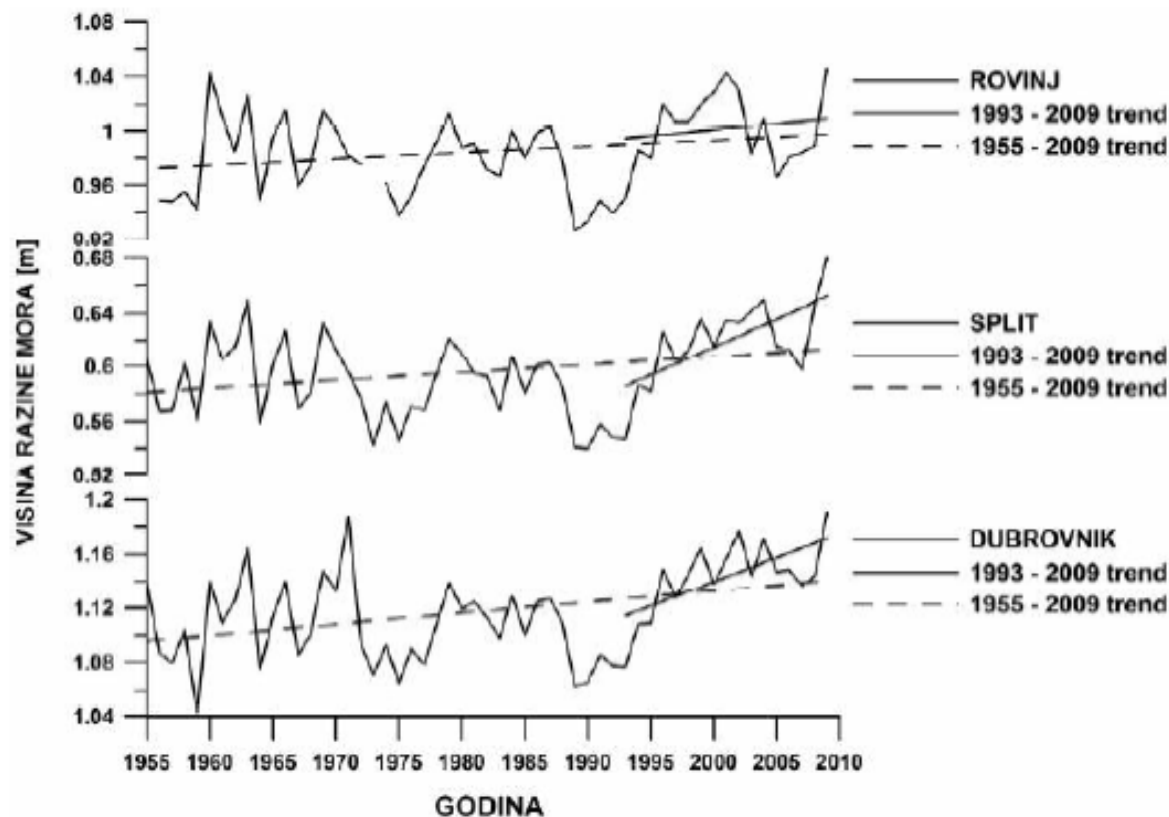
Godišnje vrijednost srednje razine mora s linearnim trendovima porasta

Rezultati

-1955-2009: trend porasta od 0,5 do 0,8 mm/god.,

-1993-2009: trend porasta 3-4 mm/god za srednji i južni Jadran, to je oko 40 cm do kraja 21. st., što je u skladu s predviđanjima IPCC-a (RCP 2.6),

-nisu uzeti u obzir brojni drugi efekti koji utječu na promjene razine mora (npr. povećanje temperature zraka i mora, plimni efekti, vertikalno pomicanje tla i dr.)



Postaja	Trend (mm/god) 1955-2009	Trend (mm/god) 1993-2009
Rovinj	0,45	0,91
Split	0,59	4,15
Dubrovnik	0,83	3,62
	cca. 0,5 do 0,8	cca. 0,9 do 4,1

Sea level rise and potential drowning of the Italian coastal plains: Flooding risk scenarios for 2100

F. Antonioli i suradnici, 2017

Quaternary Science Reviews

Relativna morska razina je zbroj eustatskih, glacio-hidro-izostatskih (GHI) i tektonskih čimbenika.

- a) IPCC RCP 8.5 scenarij (globalno od 530 do 970 mm za 2100.)
- b) GHI: od -0,45 do 0,62 mm/god za navedene lokacije (lokalno)
- c) Tektonski: od -1.05 do 1.9 mm za navedene lokacije (lokalno)

Sumarno do 2100.: 516 – 1010 mm

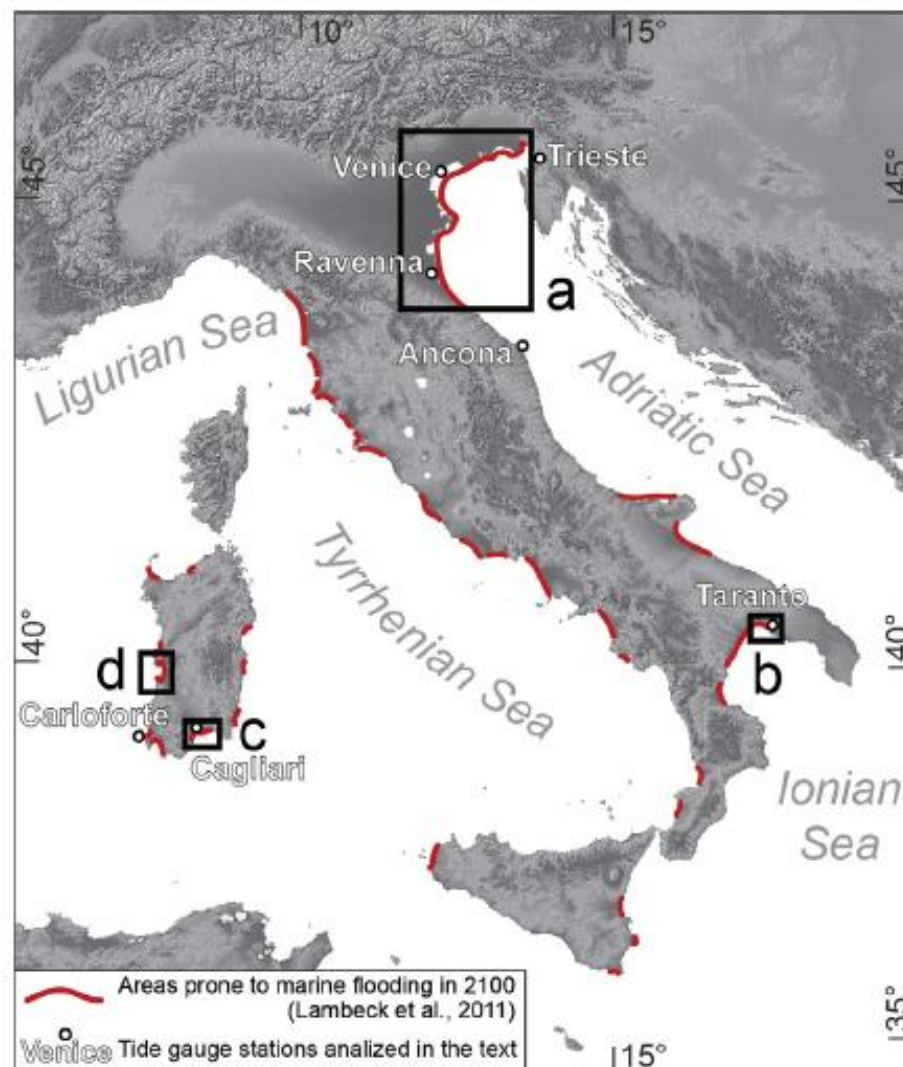
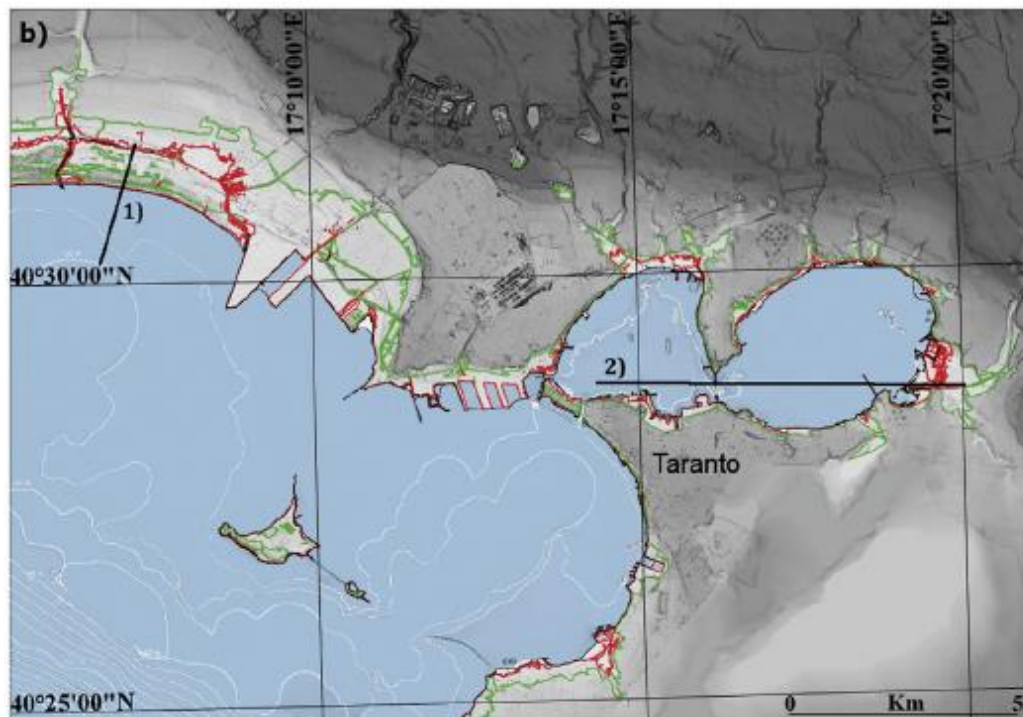


Fig. 2. Location of the investigated areas (red rectangles); in red are indicated the additional areas prone to marine flooding (Lambeck et al., 2011); a - North Adriatic; b -



Očekivani utjecaji:

- podizanje razine mora,
- pojačana erozija obala,
- u kombinaciji sa smanjenim donosom sedimenata (sa riječnih slivova) → degradacija obala, plaža i sl.
- povećan rizik od poplava: gradova, infrastrukture i sl.

Očekivana linija
obale za 2100.

Izohipsa 5 m





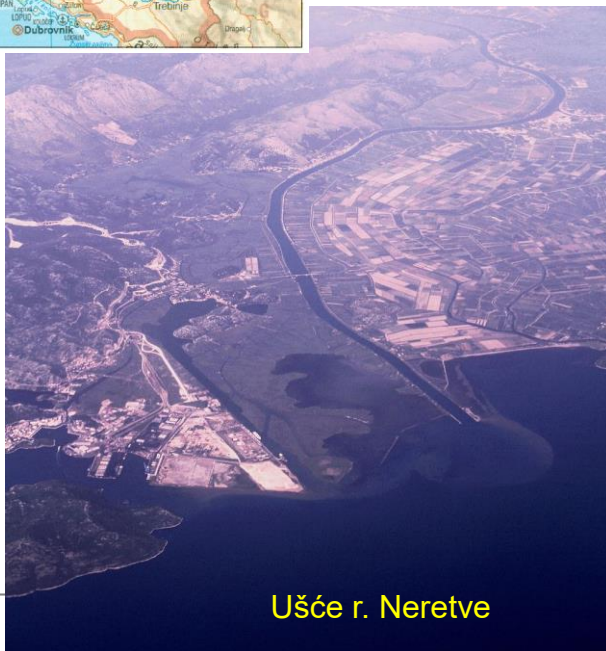
RIJEKA NERETVA

Dužina toka: 230 km (22 km u RH)

Ukupna površina sliva 10.500 km²

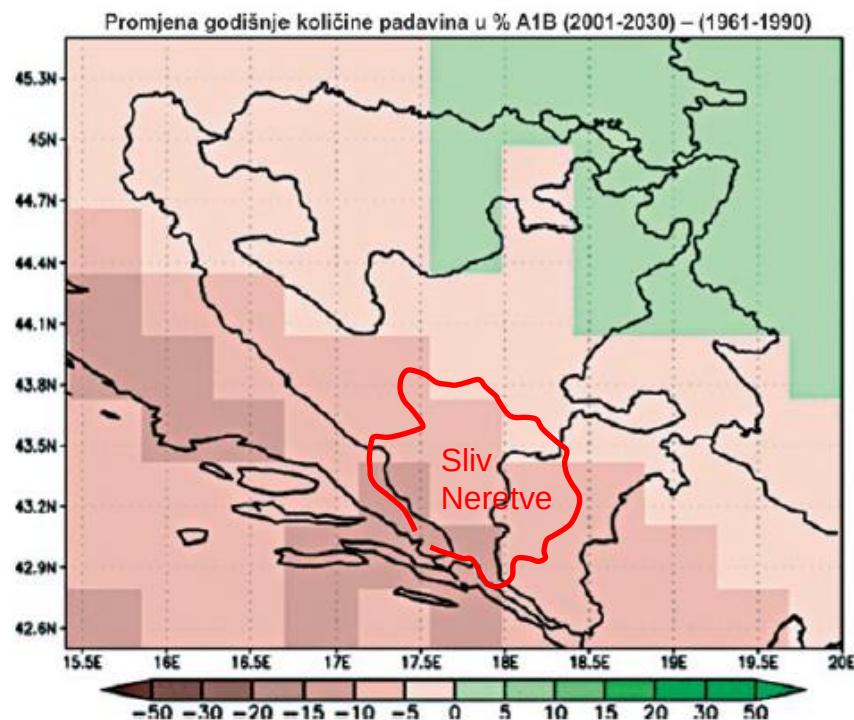
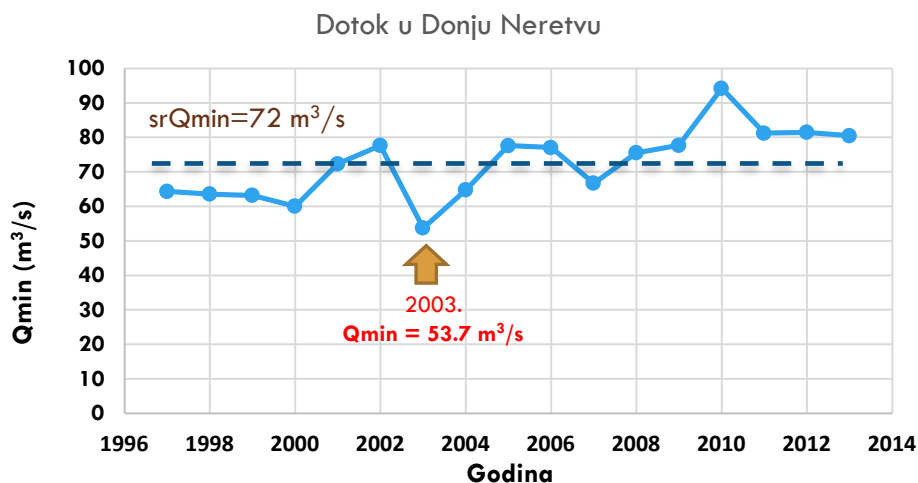
Donja Neretva (aluvijalno područje) 19.000 ha

Protok r. Neretve pod utjecajem rada HE (Qmetković do 50 do 2200 m³/s)



Ušće r. Neretve

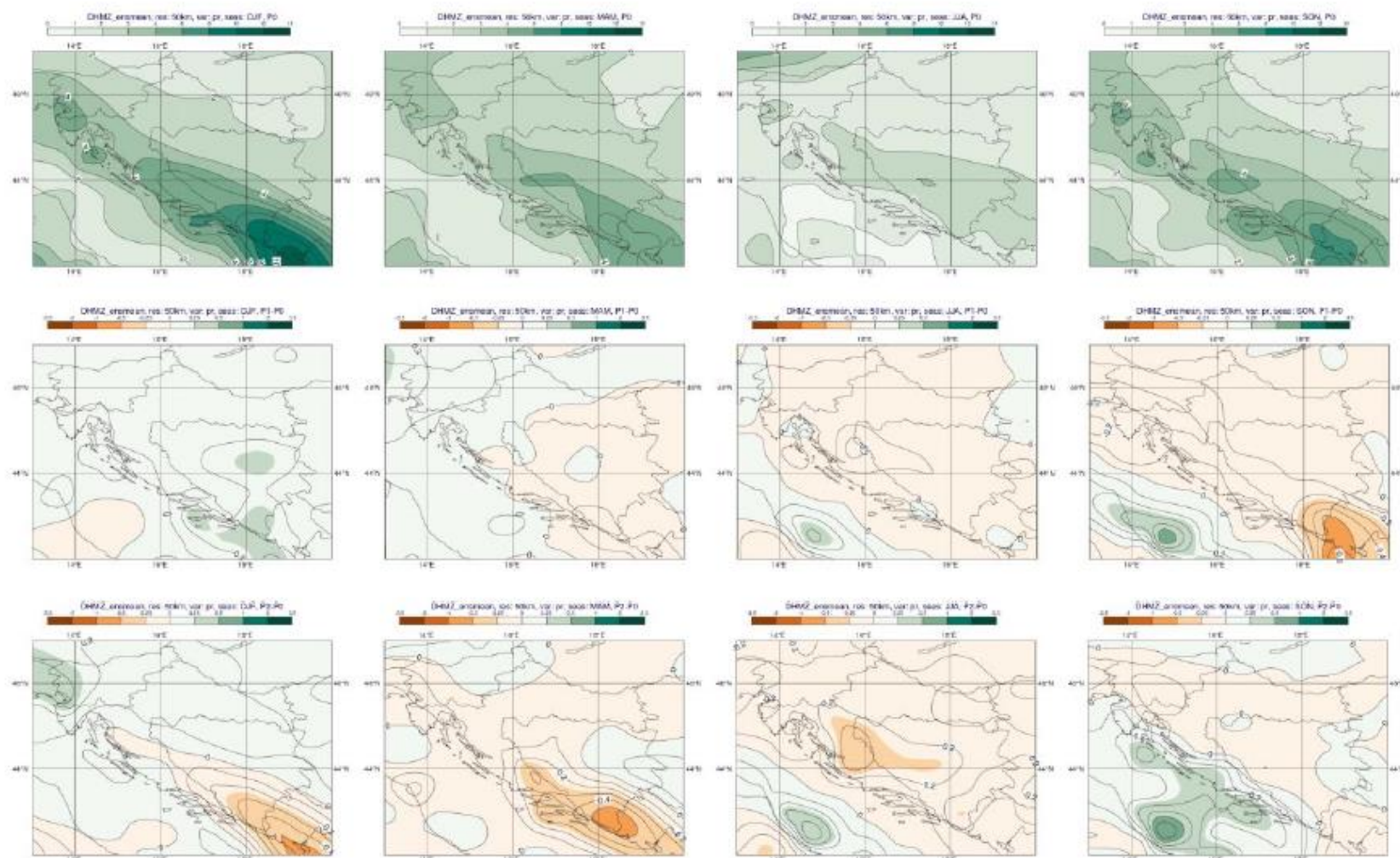




Smanjenje godišnjih oborina za 5 do 15% na slivu Neretve

**KLIMATSKE PROMJENE → INTENZIVNIJA INTRUZIJA
MORA U POVRŠINSKE I PODZEMNE VODE I TLO
(„zaslanjivanje vode i poljoprivrednog tla”)**

Predviđene klimatske promjene
Godišnje oborine (1961-1990 vs. 2001-2030)
Preuzeto iz STRATEGIJA PRILAGOĐAVANJA NA
KLIMATSKE PROMJENE I NISKOEMISIONOG RAZVOJA
ZA BOSNU I HERCEGOVINU, 2013.



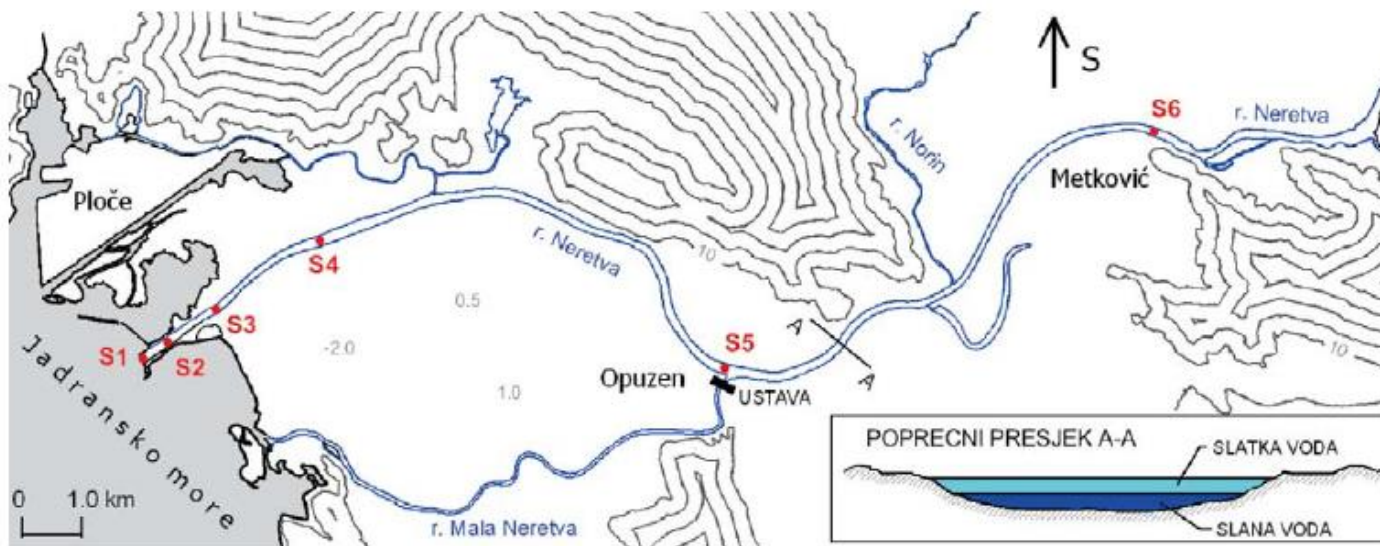
Slika 4.1.4 Ukupna količina oborine (mm/dan) u srednjaku ansambla iz četiri integracije RegCM modelom. Od lijeva na desno: zima, proljeće, ljeto i jesen. Gore: referentno razdoblje 1971-2000; — sredina: promjena u razdoblju 2011-2040; dolje: promjena u razdoblju 2041-2070.



Zaslanjivanje Donje Neretve u
dva dominantna smjera:

- kroz korito r. Neretve,
- kroz podzemlje.

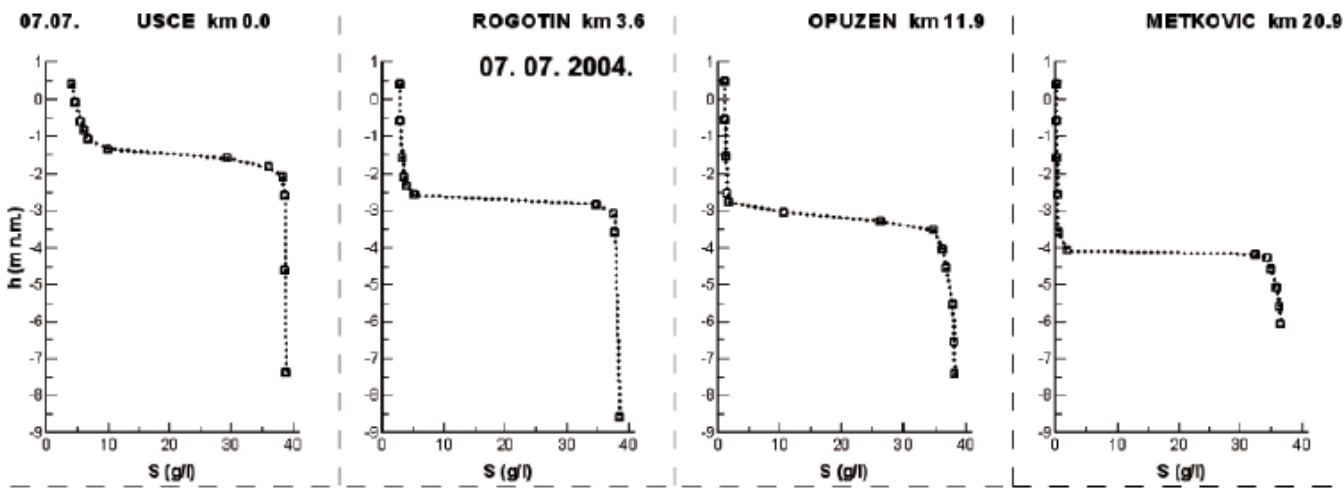
Donja Neretva



Slika 2. Područje donje Neretve s mjernim profilima S1 do S6

Intruzija slane (morske) vode u korito rijeke Neretve:

- organizirana mjerenja od 1997.,
- razvoj numeričkog modela uslojenog tečenja,
- utvrđeni su procesi zaslanjivanja (slani klin, „salt wedge”),
- dominantni rubni uvjeti: dotok slatke vode i razina mora.

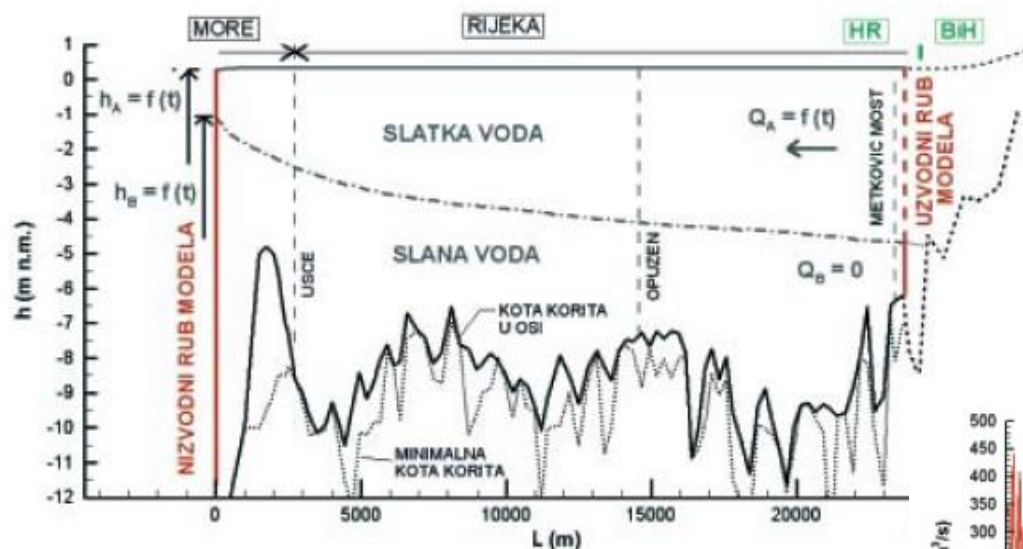


Izmjereni profili slanosti duž korita Neretve

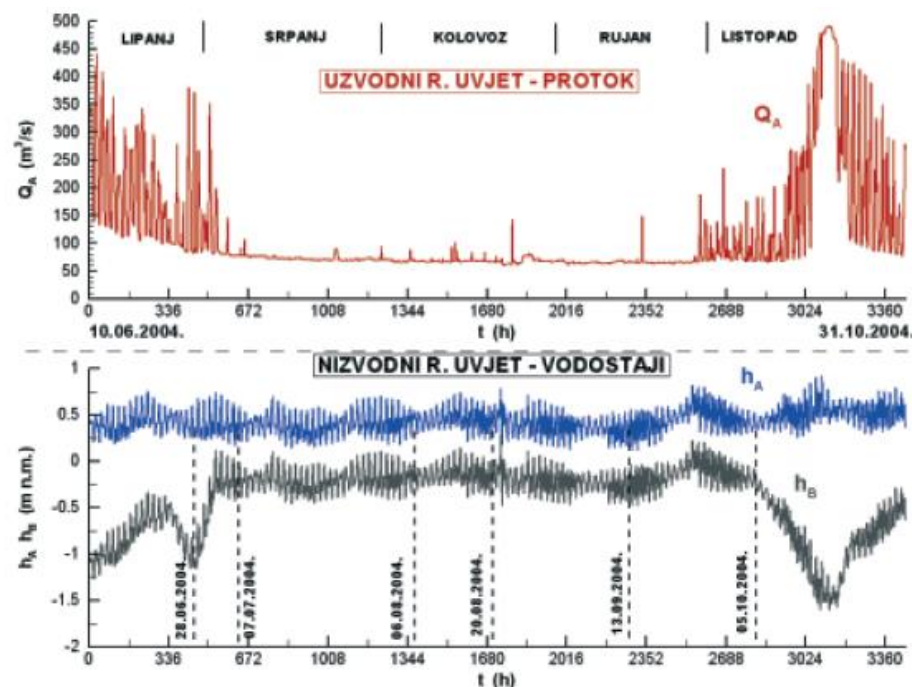
Površinski sloj: vrlo mala, zanemariva slanost
Pridneni sloj: slanost oko 38‰
Relativno uska tranzicijska zona (oko 0,5 m)

NESTACIONARAN NUMERIČKI MODEL ZA PRORAČUN TEČENJA USLOJENIH UŠĆA

Rubni uvjeti za
nestacionaran proračun



Slika 6. Uzdužni presjek rijeke Neretve s usvojenim rubovima



Slika 7. Rubni uvjeti: a) dotok slatke vode (Q_A), b) nizvodni vodostaji (h_A i h_B)



Prikaz rezultata modela Stacionarna rješenja

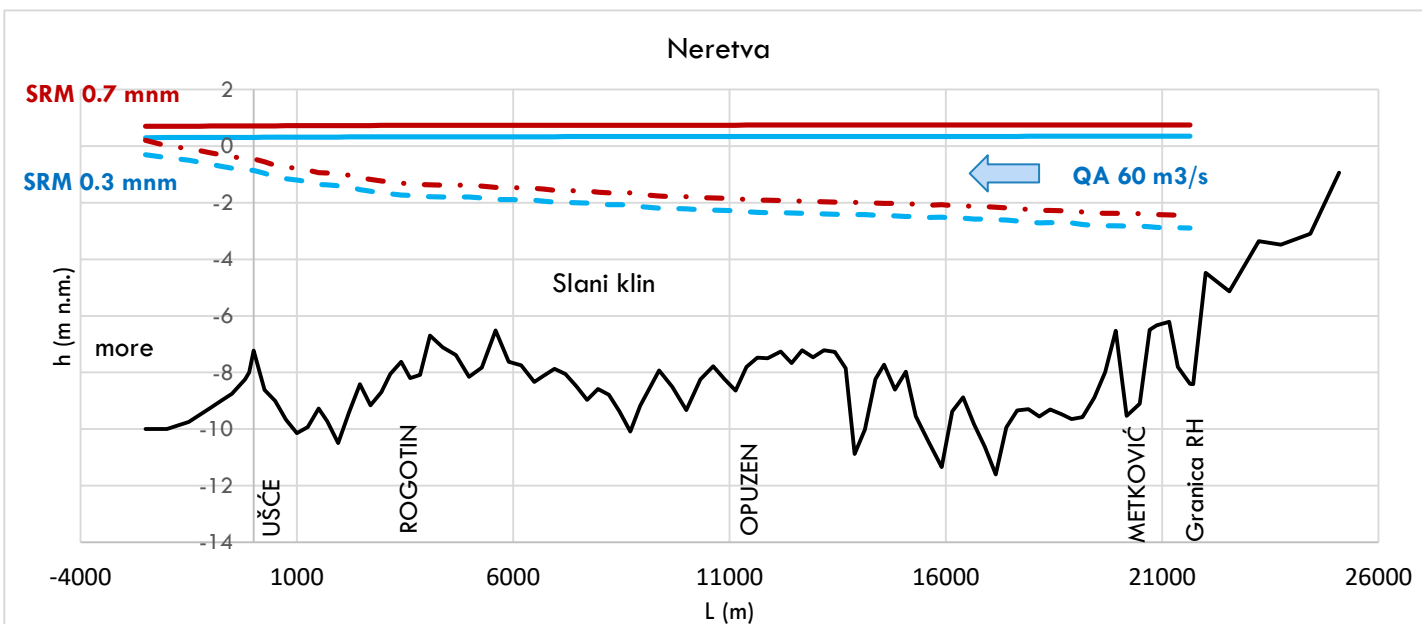
Nizvodni rubni uvjet:

- a) SRM 0,3 mm (cca. sadašnji uvjeti)
- b) SRM 0,7 mm (pretpostavljen budući nivo)

Uzvodni rubni uvjet:

- a) $Q_A = 60 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_B = 0$ (cca. sadašnji uvjeti)
- b) $Q_A = 60 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_B = 0$ (budući dotok)

Uzdužni profil rijeke s vodnim licima



**Utjecaj podizanja
razine mora na
parametre slanog klina:**

- Podizanje vodnog lica rijeke (h_A),
- Podizanje halokline (h_B),
- DUŽ KORITA RIJEKE PODIŽE SE NIVO VODNOG LICA I SLANE (MORSKE) VODE PRIBLIŽNO KOLIKO JE I PROMJENA RUBNOG UVJETA (Δh_{mora})

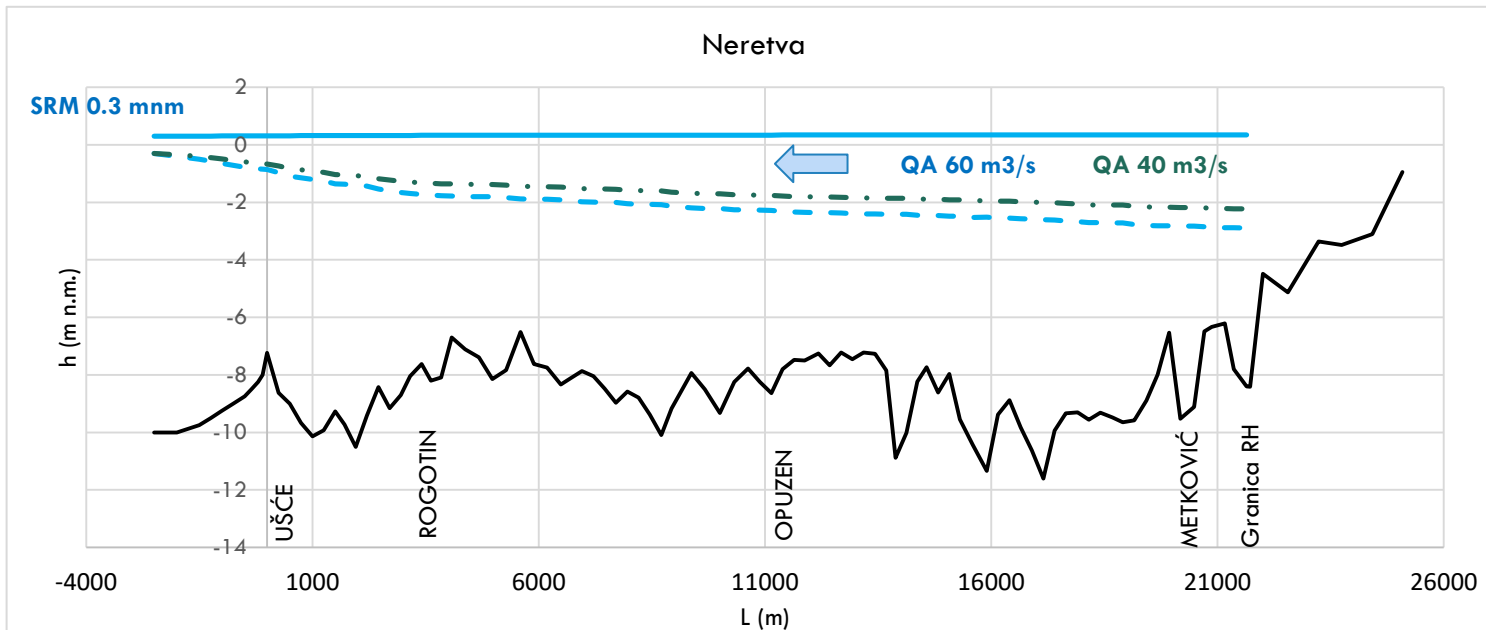
Prikaz rezultata modela Stacionarna rješenja

Nizvodni rubni uvjet:

- a) SRM 0,3 mm (cca. sadašnji uvjeti)
- b) SRM 0,3 mm (pretpostavljen budući nivo)

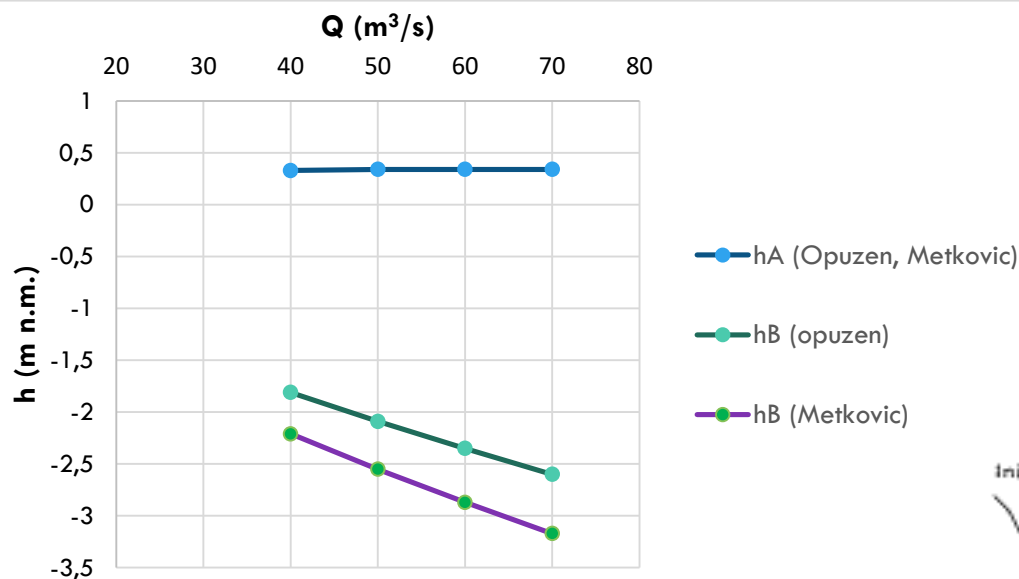
Uzvodni rubni uvjet:

- a) $Q_A = 60 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_B = 0$ (cca. sadašnji uvjeti)
- b) $Q_A = 40 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_B = 0$ (budući dotok)



Utjecaj smanjenja dotoka slatke vode na parametre slanog klina:

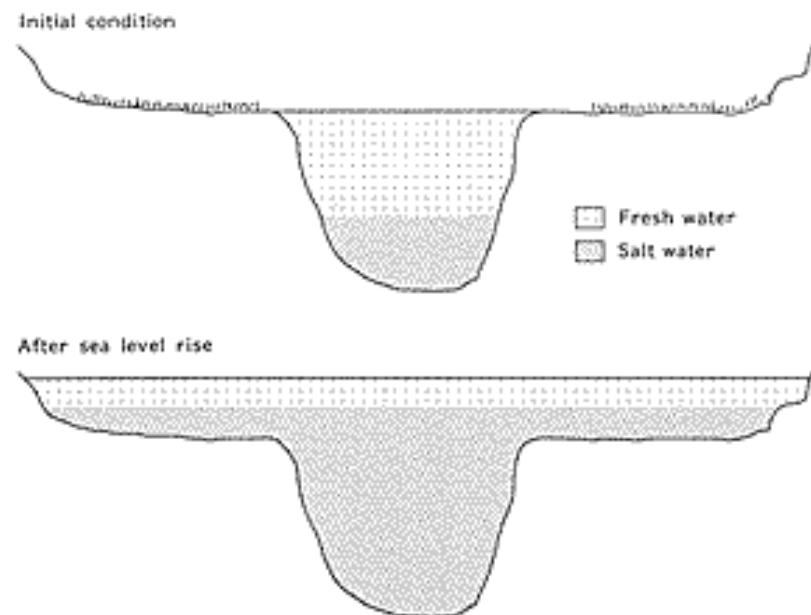
- Vodno lice praktički ostaje nepromjenjeno,
- Podiže se nivo slane (morske) vode u koritu (značajnije na uzvodnom dijelu).



Visina slanog klina u Opuzenu i
Metkoviću: $h_B = f(QA)$

Rekapitulacija za „profil Opuzen”:

- Današnji uvjeti (SRM, $QA=60 \text{ m}^3/\text{s}$); Površinski sloj 2,7 m; Pridneni (morski) sloj 5,15 m;
- Podizanje SRM za 0,4 m; Podizanje sl.klina **0,42 m**,
- Smanjenje dotoka slatke vode sa 60 na $40 \text{ m}^3/\text{s}$;
Podizanje klina **0,54 m**,
- Zajedno (podizanje SRM i smanjenje QA): 0,96 m



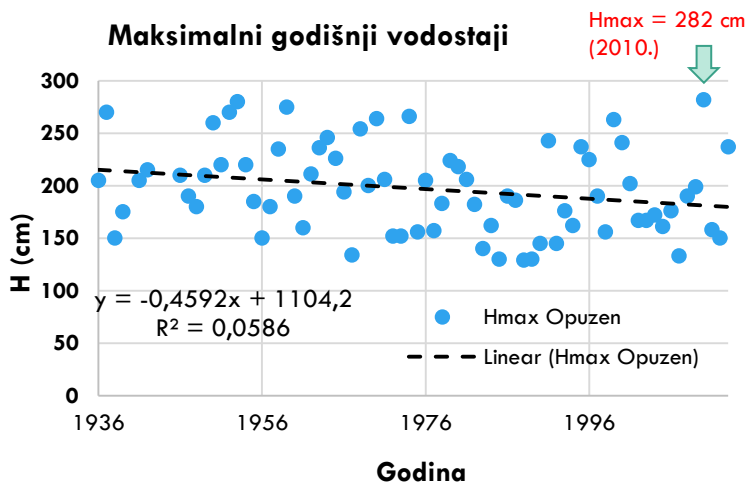
Shematski prikaz: utjecaj podizanja razine
mora na zaslanjivanje riječnog ušća



Hidrološke stanice na r. Neretvi (u RH)

HIDROMELIORACIJSKI SUSTAVI

Šifra	Naziv stanice	Vodotok	Oprema / početak	Kota nule (m n.m.)	Raspoloživi podaci	Parametri mjerenja
7052	Metković	Neretva	Vod. 1934 Limn. 1957.	-0,271	H: 1934-2013	H, T
7062	Opuzen	Neretva	Vod. 1887. Limn. 1982.	-0,180	H: 1936-1943, 1945-2013	H



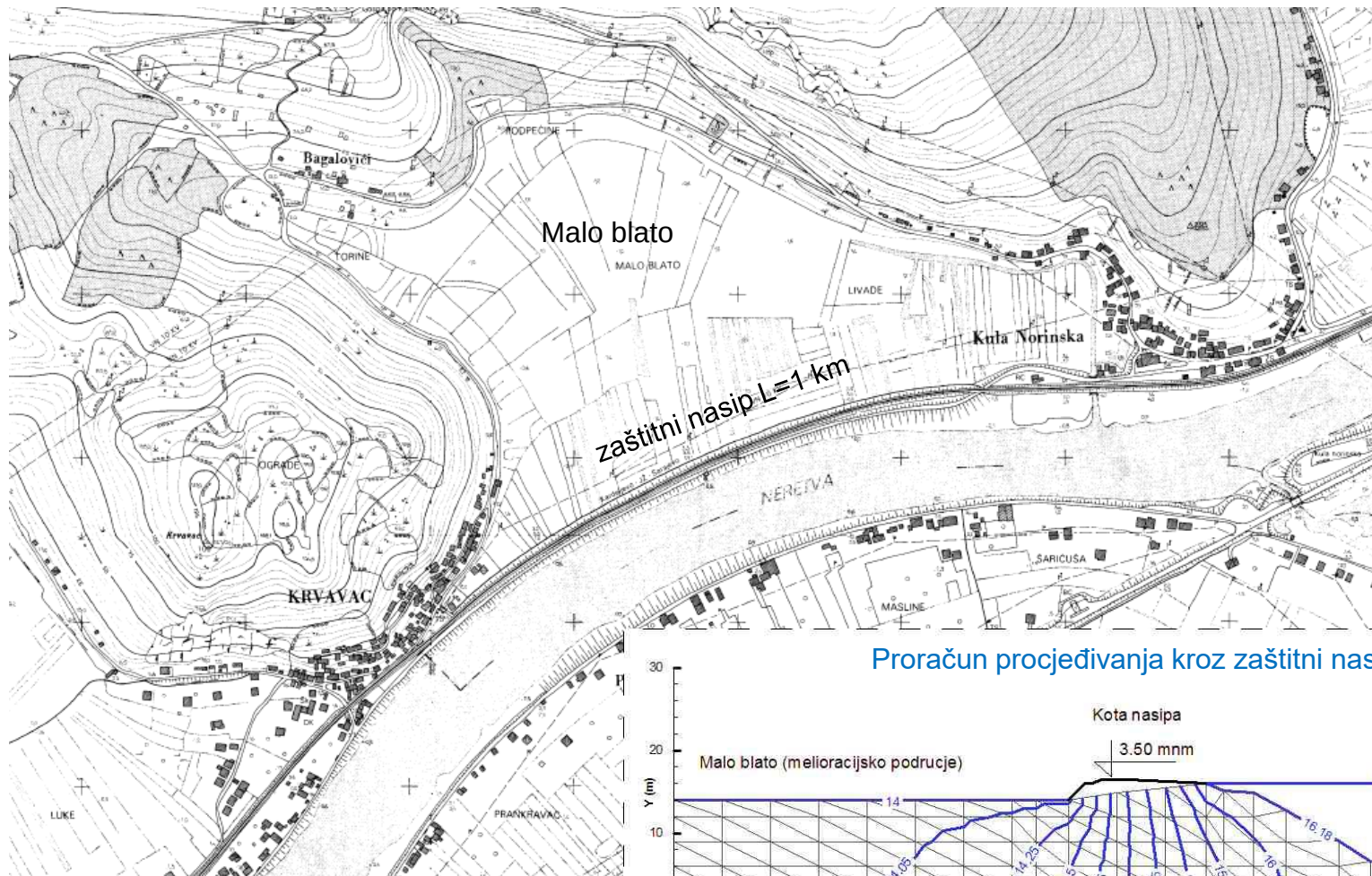
Maksimalni vodostaji H.S. Opuzen (1936-2013)

Primjer: hidromel. sustav Malo blato (Krvavac)





Utjecaj velikih voda r. Neretve na Malo blato



Podizanje vodnog lica Neretve
(povišenje SRM, ekstremne oborine i dr.):

- Zaštitni nasipi mogu biti ugroženi,
- Povećano procjeđivanje u melioracijsko područje.

V.V.

$H_{100} = 3,40 \text{ mm}$

$H_{50} = 3,18 \text{ mm}$

Proračun procjeđivanja kroz zaštitni nasip



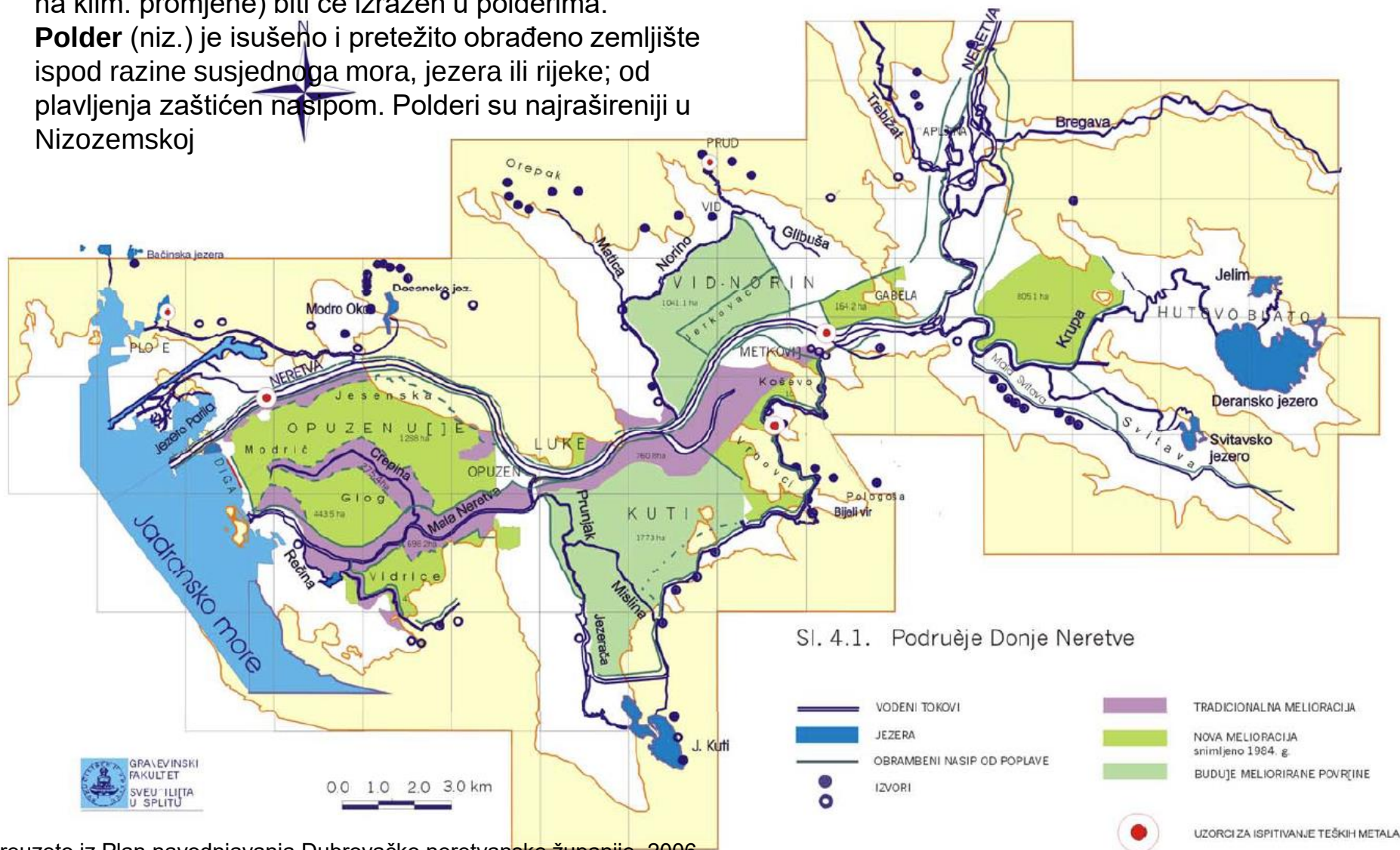


Poplava u dolini Neretve (3.12.2010.)



Problem održavanja povoljnog vodnog režima (s obzirom na klim. promjene) biti će izražen u polderima.

Polder (niz.) je isušeno i pretežito obrađeno zemljište ispod razine susjednoga mora, jezera ili rijeke; od plavljenja zaštićen nasipom. Polderi su najrašireniji u Nizozemskoj





REPUBLIKA HRVATSKA

MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE



eptisa
Adria d.o.o.

Poplave i plimni valovi u urbanim sredinama



Izvori: index.hr, jutarnji list, crometeo



REPUBLIKA HRVATSKA

MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE



eptisa
Adria d.o.o.



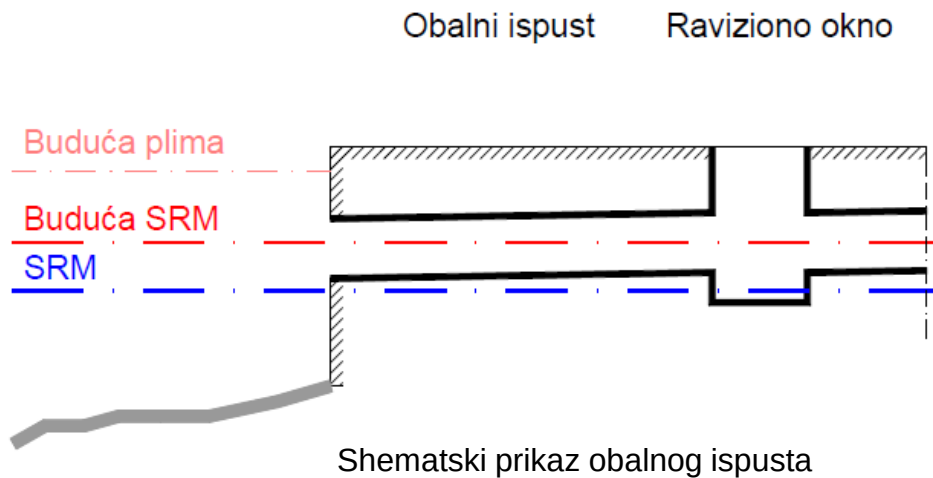
Poplava zabilježena 21.6.1978. u Vela Luci (Foto: Hrvatski hidrografski institut)

Uzrok: plima, prisilne i slobodne oscilacije mora (seše i olujni uspori)



Slika: obalni ispusti oborinske odvodnje

URBANA (KOMUNALNA) ODVODNJA



Podizanje razine mora:

- Otežano funkcioniranje i smanjenje kapaciteta obalnih ispusta i pratećih građevina (reviziona okna, preljevi mješovite kanalizacije i sl.)



Kapacitet ispusta

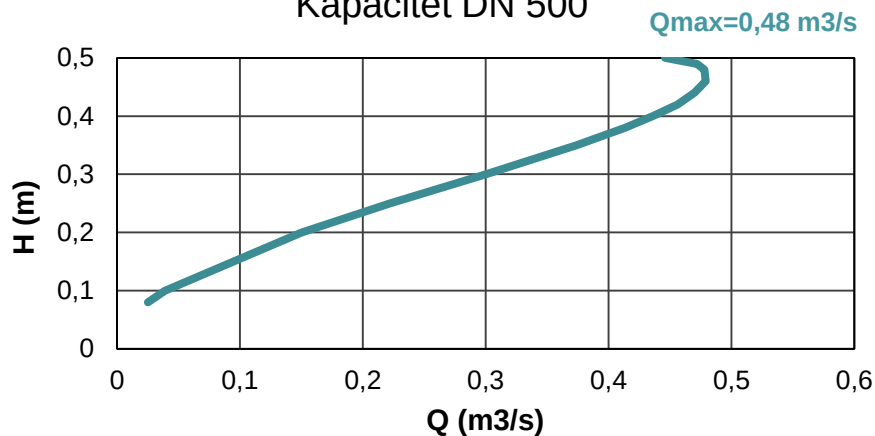
$$Q_{\text{ispusta}} = f(DN, H_g, H_d, \dots)$$

Istjecanje:

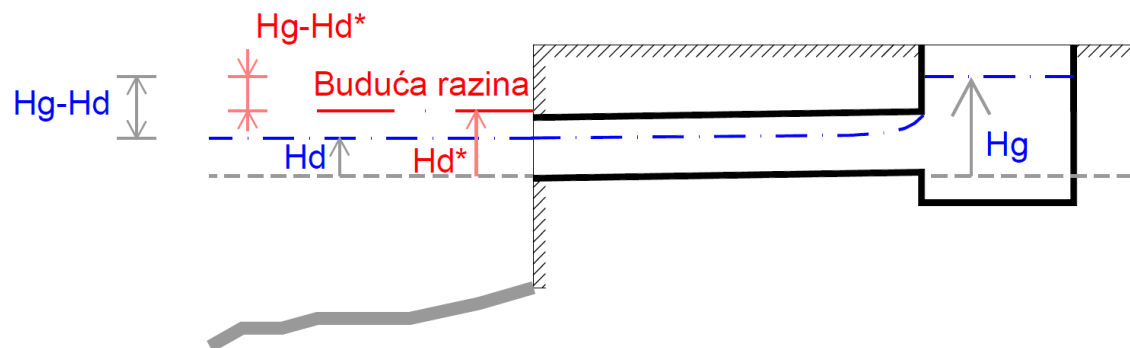
- Nepotopljeno,
- Potopljeno,

Primjer: DN 500, $I = 1\%$, $n = 0,011$
(tečenje sa slobodnim vodnim licem)

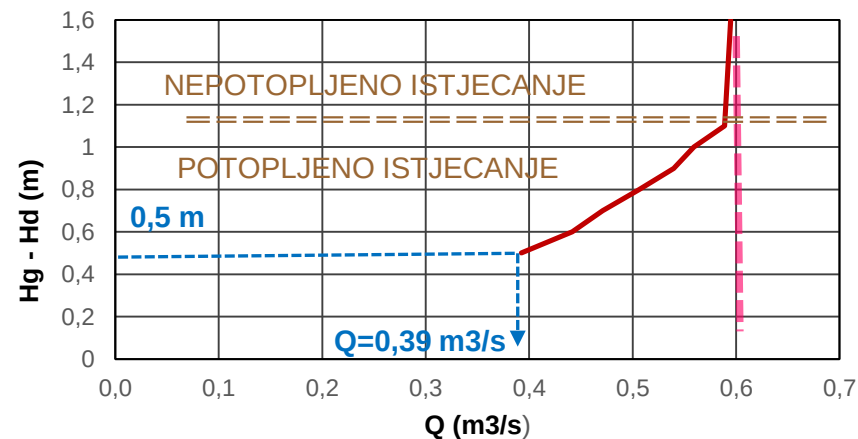
Kapacitet DN 500



Obalni ispust



Istjecanje pod tlakom DN 500 Q_{max}=0,6 m³/s



$H_g = 1.6$ m, $H_d = 0$, slobodno istjecanje, $Q = 0.6$ m³/s

$H_g = 1.6$ m, $H_d = 1.1$ m, potopljeno istjecanje, $Q = 0.39$ m³/s (smanjenje 35%)

PODIZANJE RAZINE MORA → SMANJENJE KAPACITETA ISPUSTA

REZULTATI ANALIZA UTJECAJA CC NA VODNE RESURSE KOD RECENTNIH PROJEKATA

CCWaterS

<http://www.ccwaters.eu/>

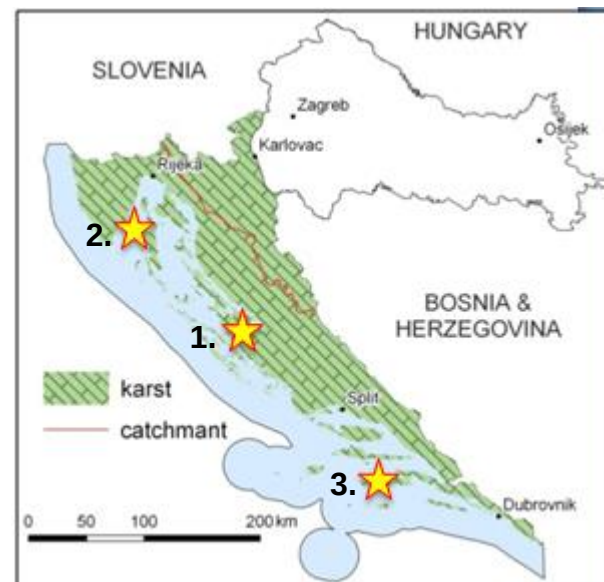
Učesnici iz Hrvatske:

- Hrvatske vode
- Hrvatski geološki institut
- Građevinski fakultet Rijeka



Odabrana pilot područja u Hrvatskoj:

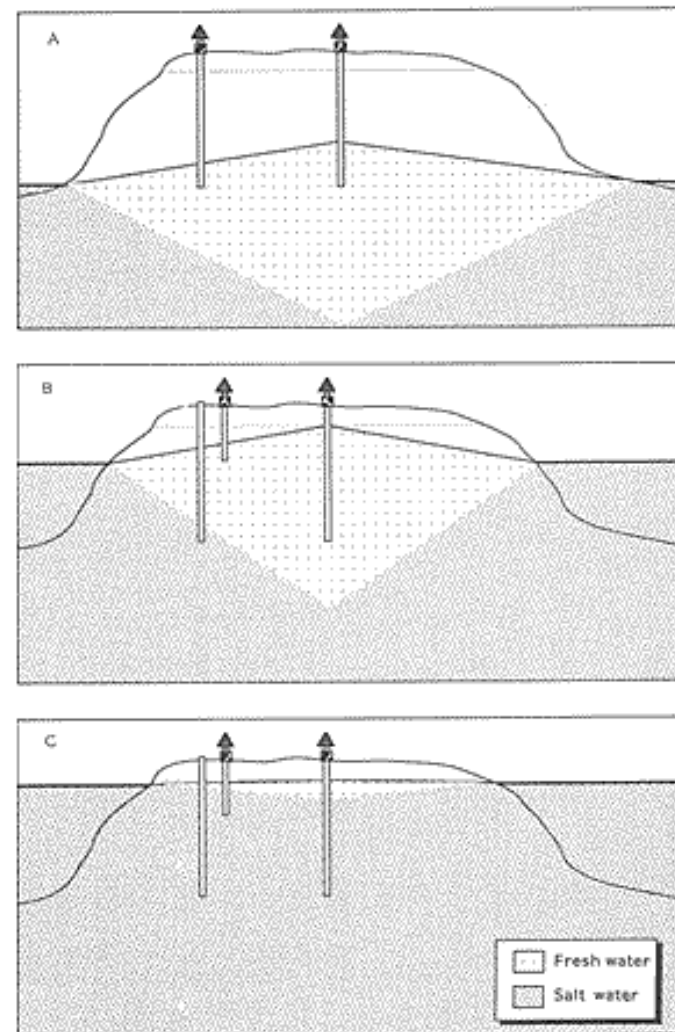
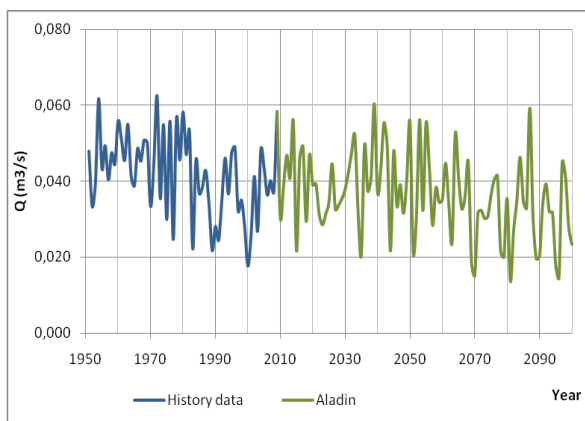
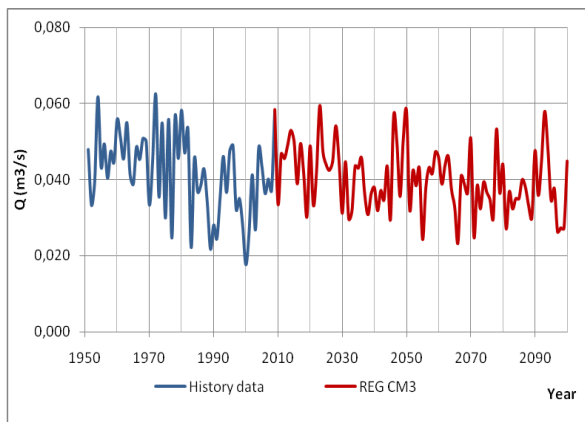
1. Bokanjačko blato kod Zadra
2. Vransko jezero na otoku Cresu
3. Blatsko polje na otoku Korčuli



- U odnosu na ranije metode procjene klimatskih utjecaja na osnovi **produljivanja osmotrenih trendova karakterističnih veličina** – modeliranja u danim slučajevima provedena **analizom promjena vodne bilance** (hidrolozi) – uz generiranje nizova oborina i temperatura zraka (klimatolozi)

BLATSKO POLJE

Promjene vodne bilance najmanjih srednje mjesečnih protoka izvorišta na Blatskom polju



Shematski prikaz: utjecaj podizanja razine mora na leću slatke vode na otocima



REPUBLIKA HRVATSKA

MINISTARSTVO ZAŠTITE
OKOLIŠA I ENERGETIKE

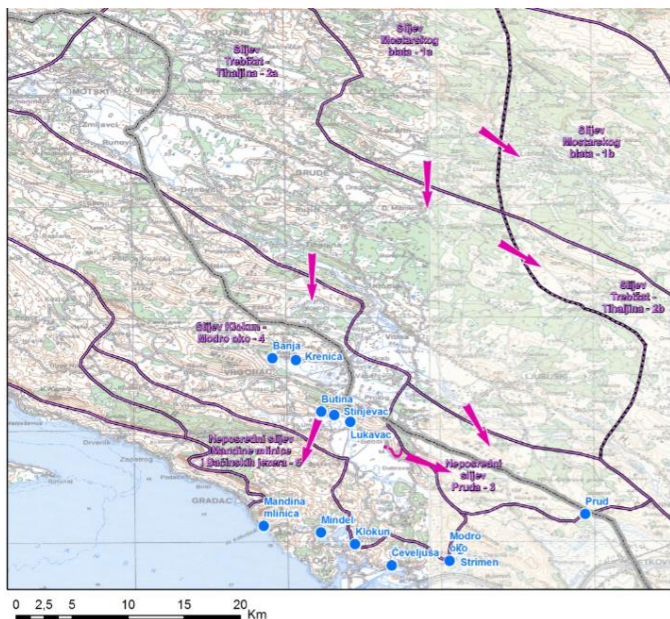


eptisa
Adria d.o.o.

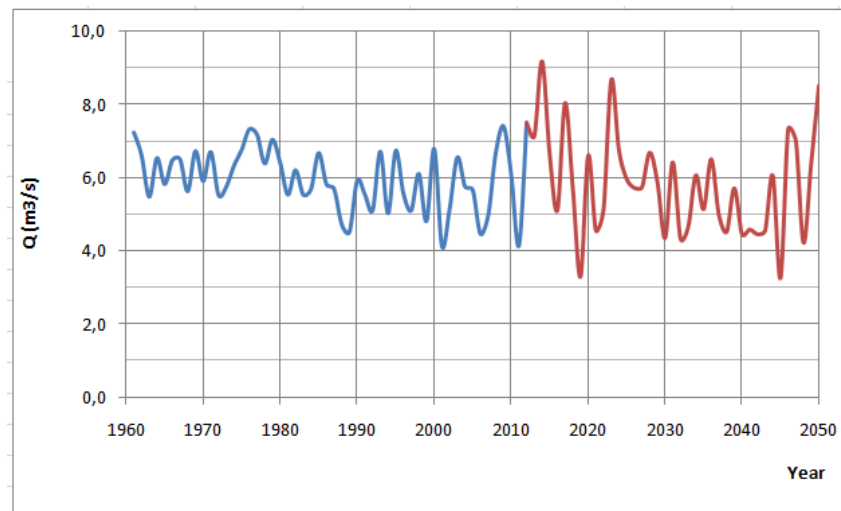


CC-WaterS

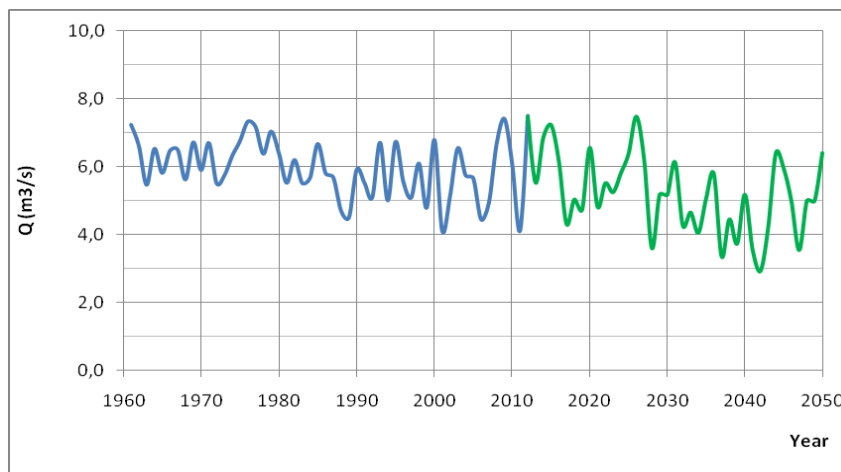
Promjene vodne bilance srednjih godišnjih protoka izvora Prud (GF Rijeka, 2016)



REG CM3



Promes



Legenda:

- Izvori
- Smjer toka
 - smjer podzemnog toka
 - nesiguran smjer podzemnog toka

Slijevovi

- granica glavnih slijevova
- granica podslijevova
- državna granica

PLAŽE



Vela pržina (Lumbarda, o. Korčula)



Saprunara (o. Mljet)



**RANJIVOST**

Komponenta sektora	Utjecaja klim. prom.	Ranjivost
Riječna ušća	Povećanje SRM	Zaslanjivanje vode i poljoprivrednog tla
	Duža i snažnija hidrološka suša	
Hidromelioracijski sustavi	Povećanje hidroloških ekstrema (V.V.)	OBRANA OD POPLAVA I ODRŽAVANJE VODNOG REŽIMA:
	Povećanje SRM	Nedovoljna visina nasipa
		Održavanje nasipa
		Povećano procjeđivanje
Urbana (komunalna) odvodnja	Povećanje SRM	Otežan rad sustava odvodnje
	Povećan intenzitet oborina	Smanjeni kapaciteti
Obalno područje	Povećanje SRM	Zaslanjivanje
		Erozija obala i plaža
		Plavljenje infrastrukture i objekata

MOGUĆE MJERE PRILAGODBE

Riječna ušća: Mobilna pregrada na rijeci Neretvi

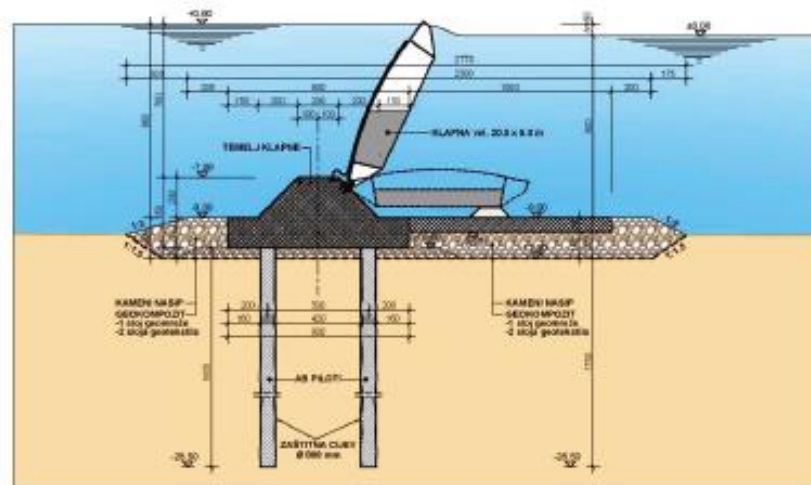
PREGRADA (km 10,1)



Slika 1. Podsustav Opuzen - pregledna situacija s prikazom faza gradnje

Funkcija prgrade:

- prvenstveno zaustaviti prodor slanog klina uzvodno,
- osim toga omogućiti će plovnost (brodska prevodnica),
- prolaz riba (riblja staza),
- prolaz velikih vodnih valova i nanosa (spuštanjem).



Slika 4. Mobilna pregrada na rijeci Neretvi - poprečni presjek

Predviđena u Pilot projektu navodnjavanja
Donja Neretva (2006.)

Dimenzije: 5 x 20 m, visina 9 m.

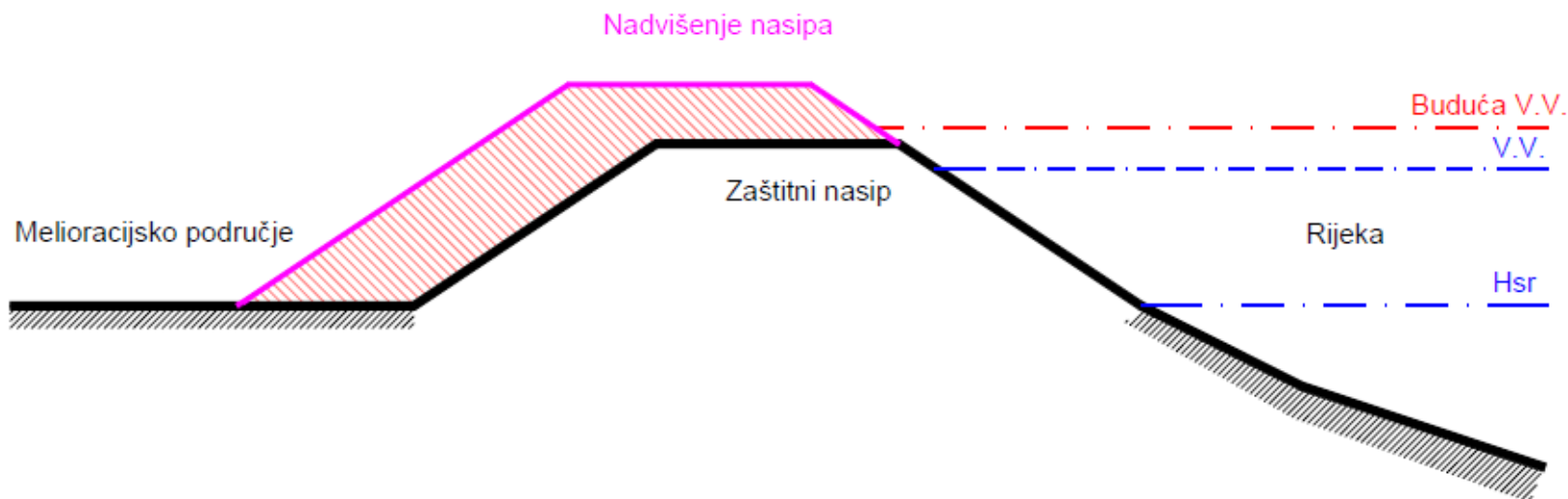
Podizanje-spuštanje ustave: tlačenje i
ispuštanje zraka u sandučastu konstrukciju
pregrade



OBRANA OD POPLAVA

(zaštita hidromeliracijskih sustava, naselja, infrastrukture i dr.)

Nadvišenje zaštitnih nasipa



Ostale mjere:

- održavanje nasipa (stalno i temeljito),
- djelomična sanacija (npr. zaštita od procjeđivanja i sl.)
- upravljanje radom HE (kod r. Neretve i sl. sustava) – međusektorska suradnja!



URBANA (KOMUNALNA) ODVODNJA (obalni ispusti, okna i dr. objekti sustava odvodnje)

Mjere prilagodbe:

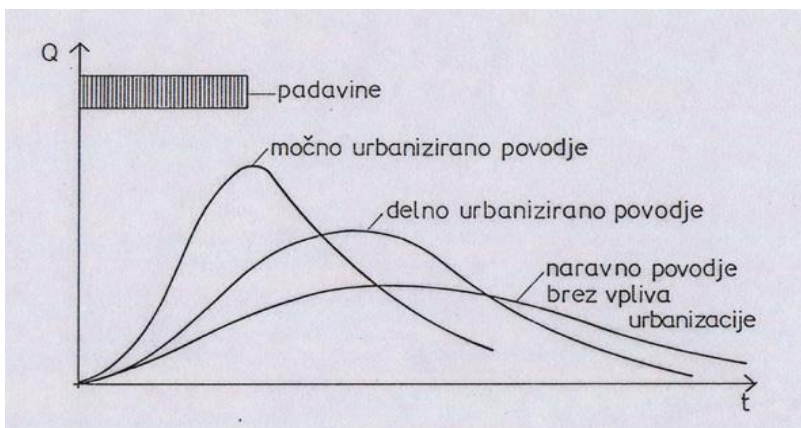
- Rekonstrukcija ispusta (ukoliko je visinski moguće).
- Rasterećenje oborinskih sustava (npr. izgradnja gradskih (urbanih) retencija, izgradnja infiltracijskih zona i sl.)



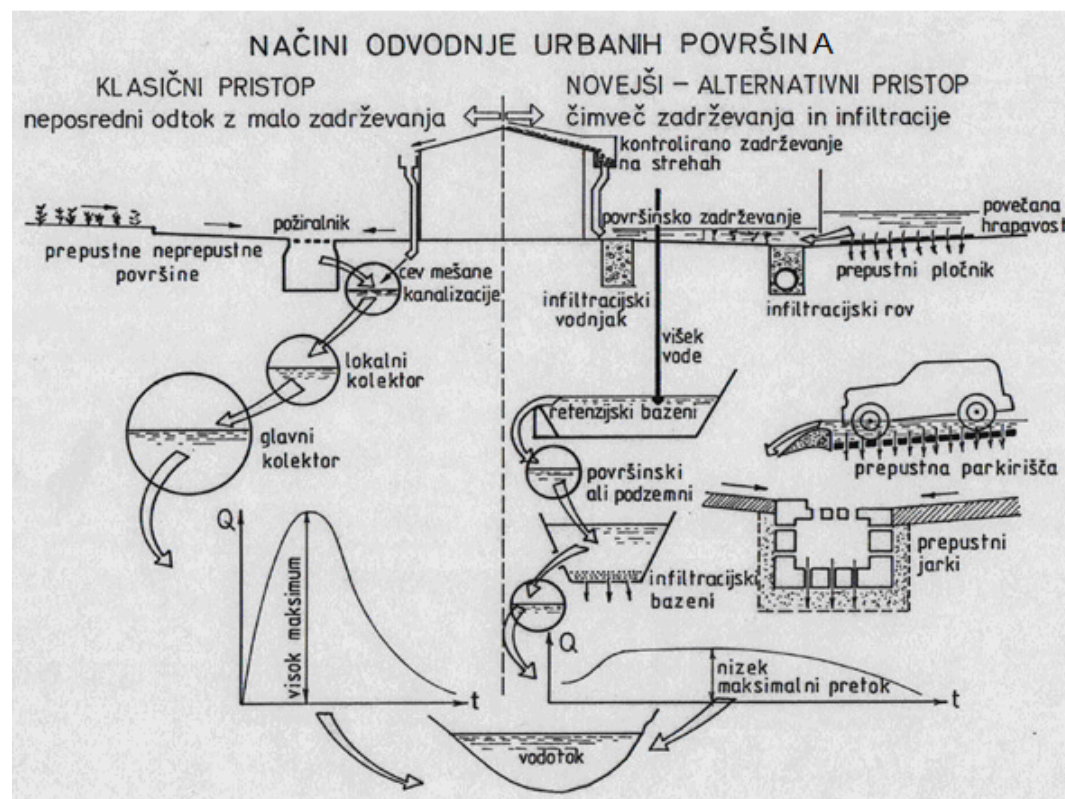
Zadržavanje kišnice: u kanalima uz cestu, na zelenim površinama, krovovima i sl.

Utjecaj urbanizacije na hidrograme otjecanja:

→ povećavanje vršnog protoka i smanjenje vremena njegova podizanja i otjecanja
Takav učinak imati će i povećane ekstremne oborine (npr. usljed klim. promjena).



Različiti oblici hidrograma otjecanja



Način odvodnje urbanih površina: klasični i alternativni (novi)

**MJERE PRILAGODBE**

Komponenta sektora	Ranjivost	Mjere prilagodbe
Riječna ušća	Zaslanjivanje	Mobile pregrade na rijekama, estuarijima, lagunama
		Upravljanje HE u slivu
Hidromelioracijski sustavi	Obrana od poplava	Nadvišenje nasipa
		Rekonstrukcija nasipa (poboljšanje vododrživosti)
		Izgradnja akumulacija i retencija u slivu
	Obrana od suše	Navodnjavanje
Urbana (komunalna) odvodnja	Otežan rad sustava odvodnje	Rekonstrukcija propusta
		Izgradnja urbanih retencija
		Povećanje infiltracije
Obalno područje	Zaslanjivanje	Izgradnja zaštitnih nasipa
	Erozija obala i plaža	Izvedba obaloutvrda
	Plavljenje infrastrukture i objekata	Nadvišenje obala

Hvala na pažnji!