

Izazovi gospodarenja vodnim resursima u kršu u uvjetima sve prisutnijih klimatskih varijacija i promjena

Josip Rubinić*, Maja Radišić**

*GEO – 5 d.o.o. Rovinj

** MaLu, obrt za znanstvene, stručne i ostale djelatnosti, Rijeka

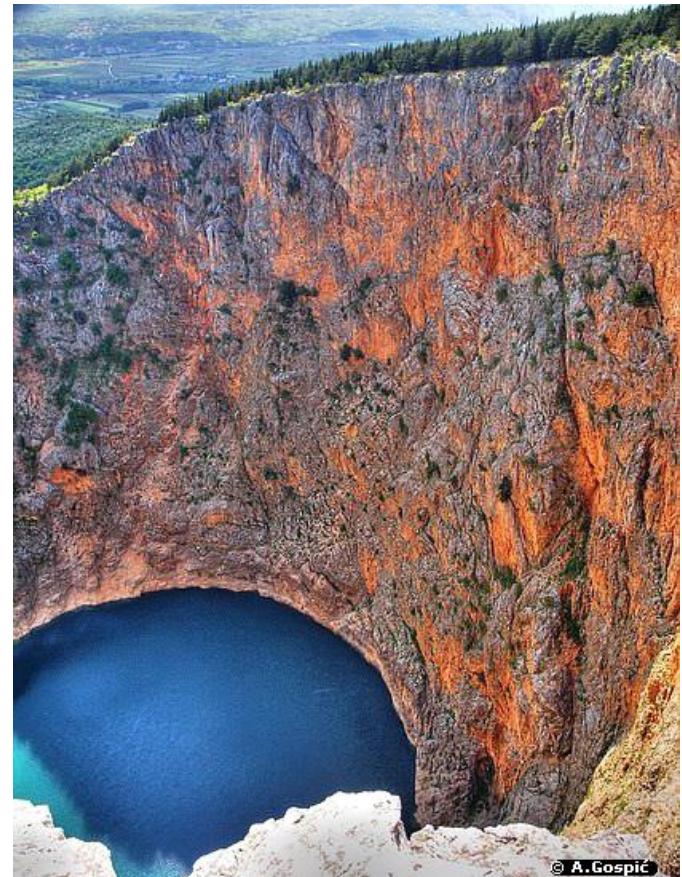
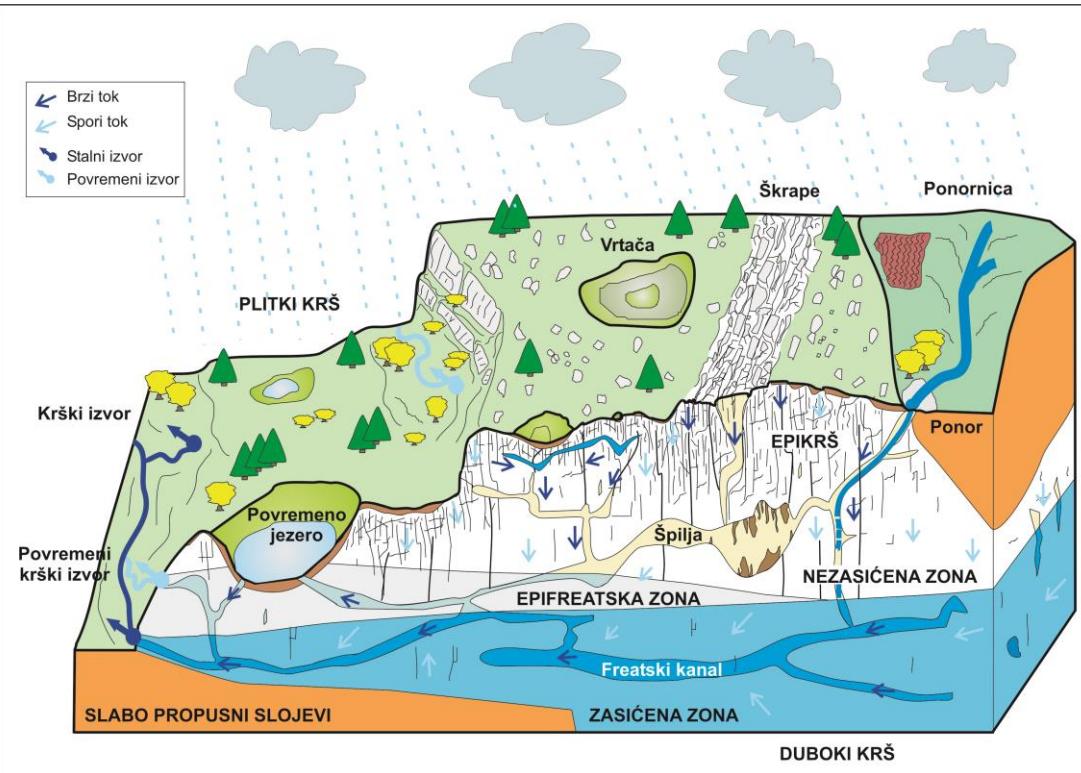
SADRŽAJ:

- Uvodno o značajkama vodnih resursa u kršu i upravljanju njima
- Klimatske promjene i njihovo modeliranje
- Izazovi korištenja i zaštite voda u budućnosti u kontekstu klimatskih promjena i suša
- Izazovi zaštite od velikih voda
- Mjere prilagodbe

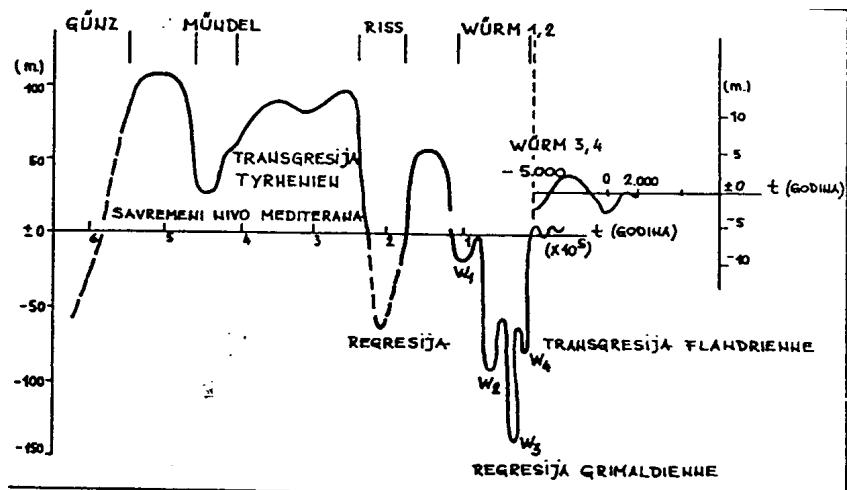


1. UVODNO O ZNAČAJKAMA VODNIH RESURSA U KRŠU I UPRAVLJANJU NJIMA

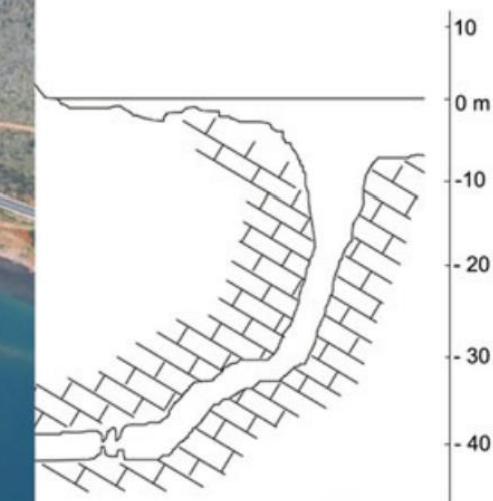
- Krš je vrlo heterogena sredina s izraženim nelinearnim značajkama oborina i otjecanja.
- Vodne zalihe se čuvaju u porama, a voda protječe krškim kanalima



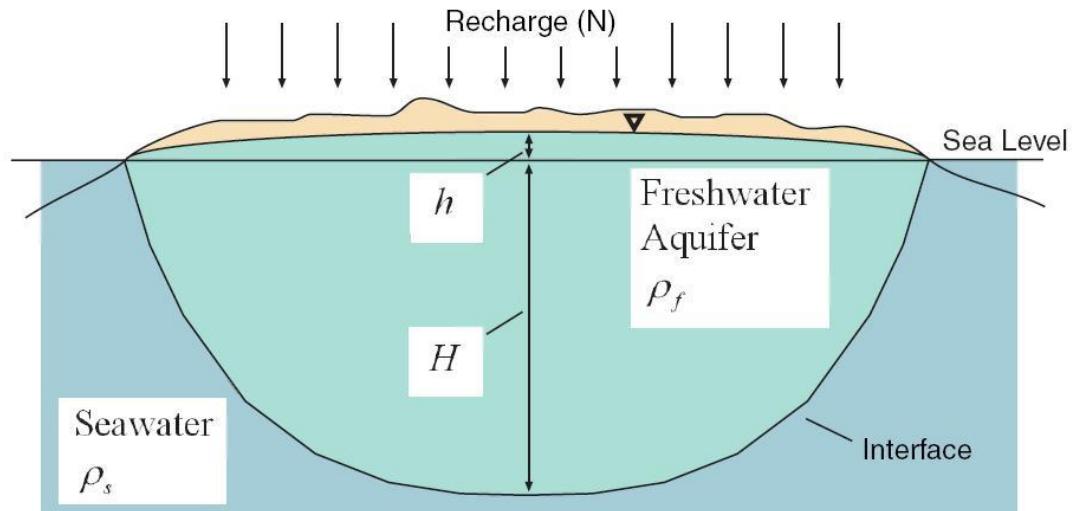




(Surić i
sur.,
2010)

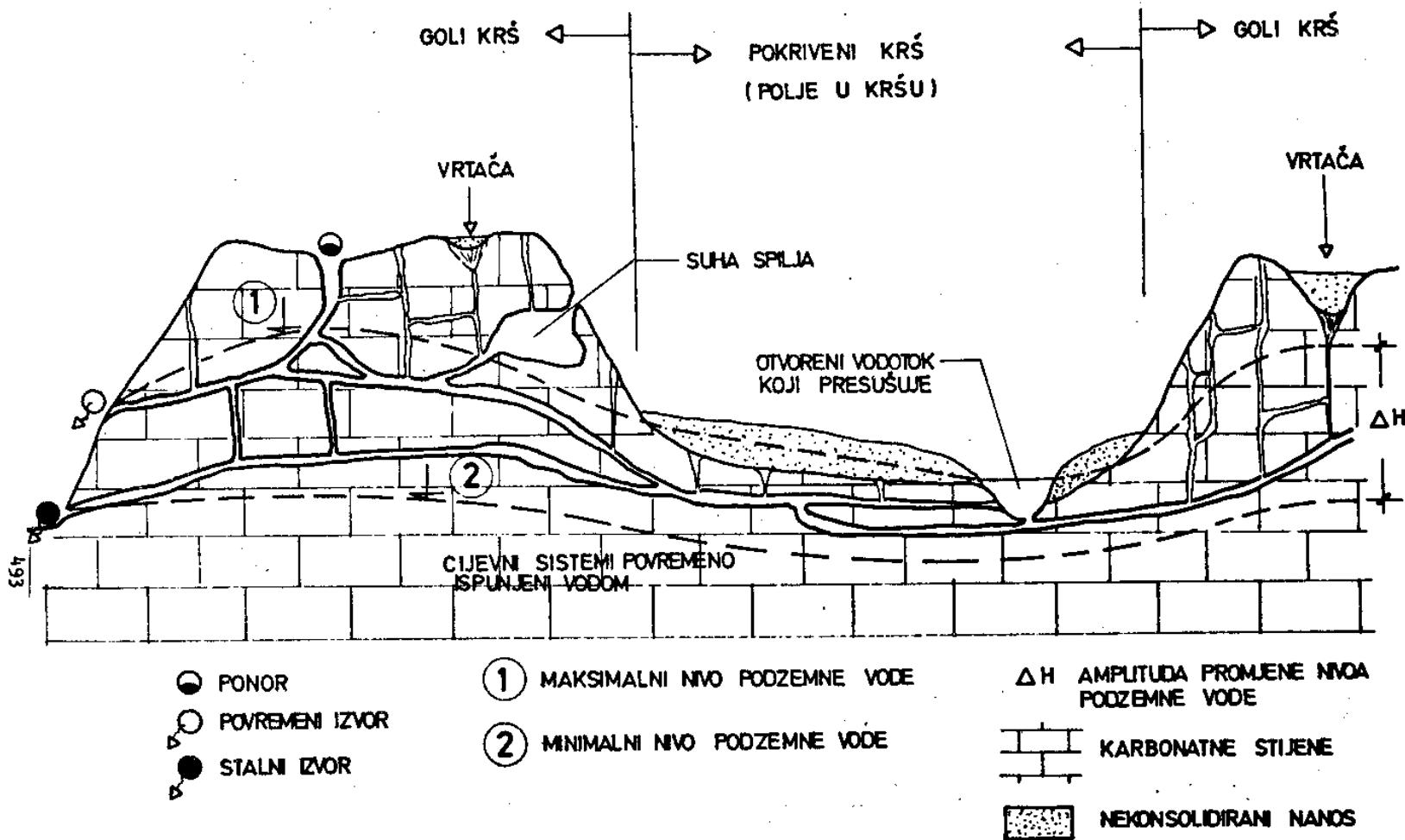


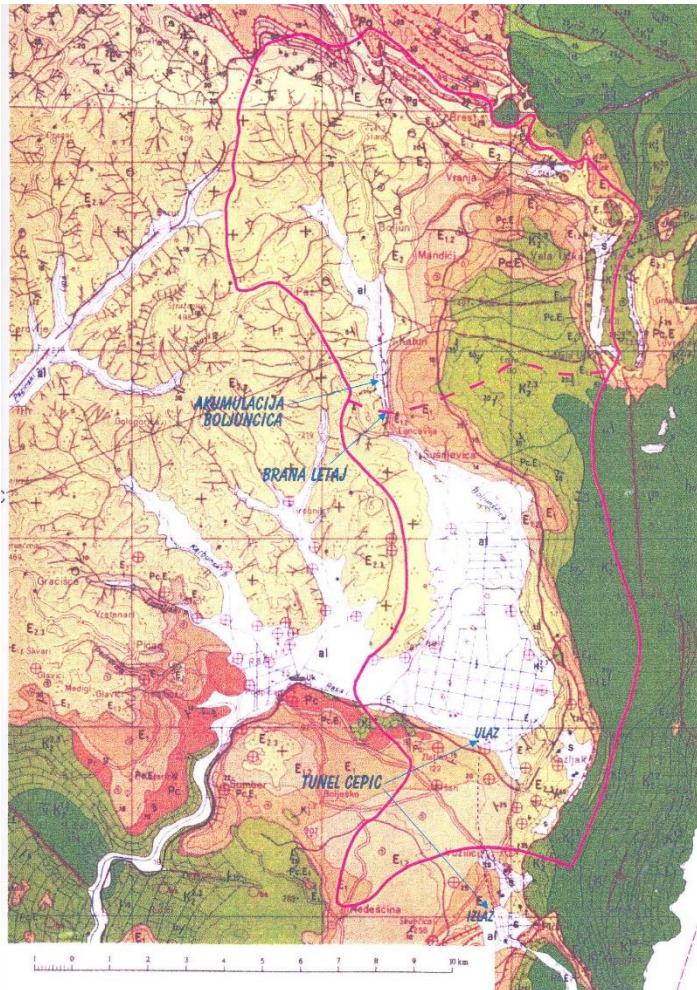
Promjene morske razine tijekom geološke prošlosti bitno utjecale na dinamiku i razinu okršavanja, a slično se očekuje i u budućnosti.



More i mehanizmi istjecanja i zaslanjivanja
priobalnih vodnih resursa
- opći principi Ghyben-Herzbergovog hidrostatskog zakona

Veza površinskih i podzemnih voda u kršu

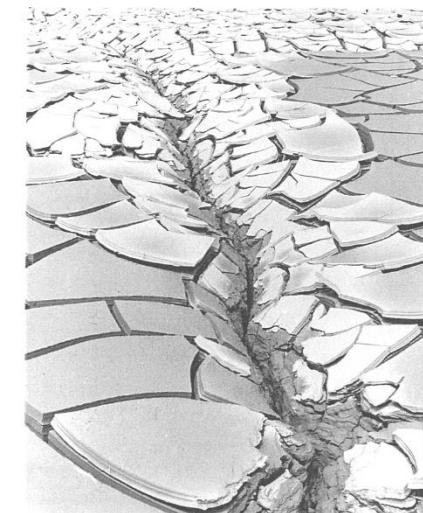




Slika 5.2. Izvod iz Osnovne geološke karte šireg područja sliva Boljunčice - preuzeto iz listov Labin (IGI Zagreb, 1963) i Ilirska Bistrica (IGI Zagreb, Geološki zavod Ljubljana,



Akumulacija Boljunčica s izraženim gubicima iz zaplavnog prostora



2. KLIMATSKE PROMJENE I NJIHOVO MODELIRANJE

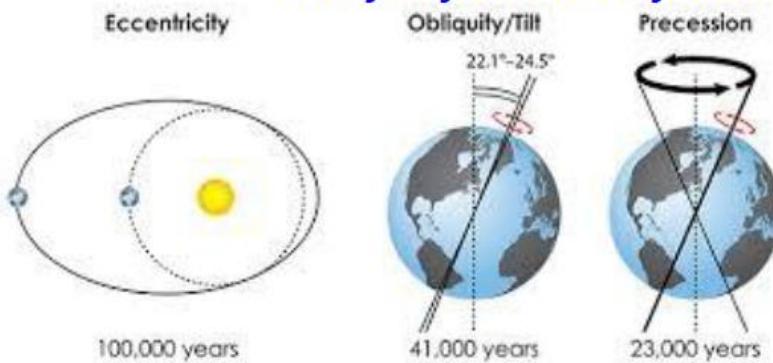
Klimatske promjene sve su češća tema ne samo akademskih rasprava, nego i naše svakodnevnice – **od njihova potpunog zanemarivanja pa do pripisavanja klimatskim promjenama i onih učinaka za koje je krivnja ipak negdje drugdje**, prije svega u lošim inženjerskim rješenjima ukoliko se npr. promatraju problemi sve češćih i intenzivnijih poplava na urbanim područjima.

Neovisno o tome radi li se o klimatskim varijacijama ili stvarnim nepoželjnim i nepovratnim klimatskim promjenama, kao društvo se moramo suočiti s potrebom da se, **ukoliko želimo opстати, prilagodimo toj budućnosti koja je ne samo pred nama, nego je već i započela.**

Klimu nekog područja definiramo kao **skup srednjih ili očekivanih vrijednosti meteoroloških elemenata i pojava (osrednjeno vrijeme)**. Definira za razdoblje od najmanje 30 godina.

Uzroci klimatskih promjena

- * Promjene u energetskoj ravnoteži Zemlje
- * **Prirodni uzroci:** varijacije u sunčevom zračenju
varijacije u rotaciji i orbiti Zemlje



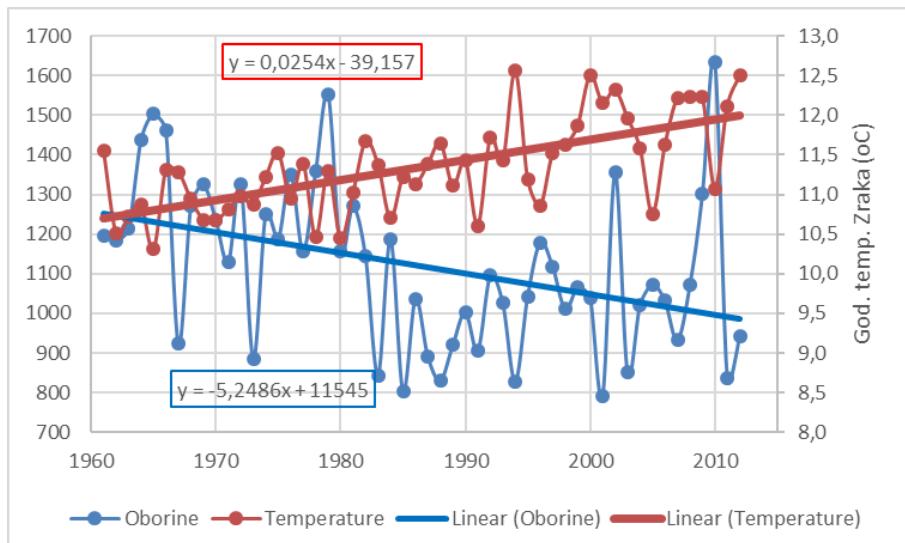
Izvor:
uk.pinterest.com/explore/milankovitch-cycles/

vulkanske erupcije ...

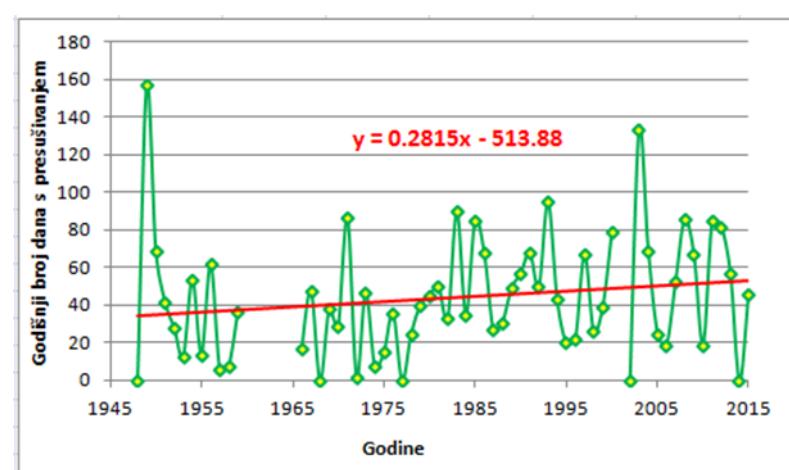
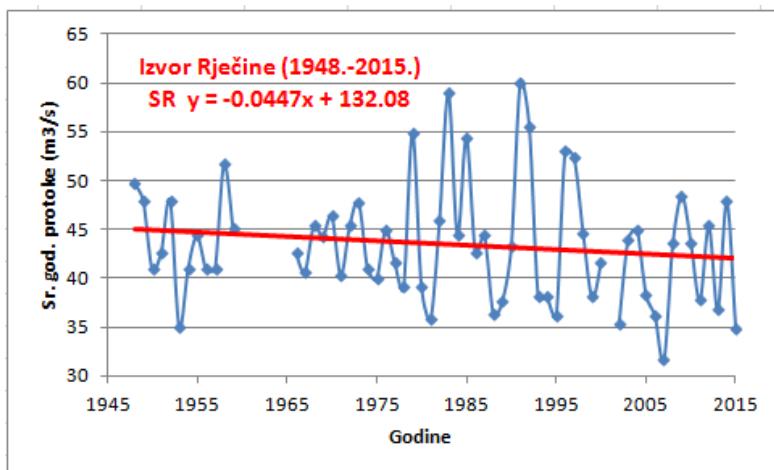
- * **Ljudski utjecaj:** deforestacija
korištenje zemljišta
izgaranje fosilnih goriva ...

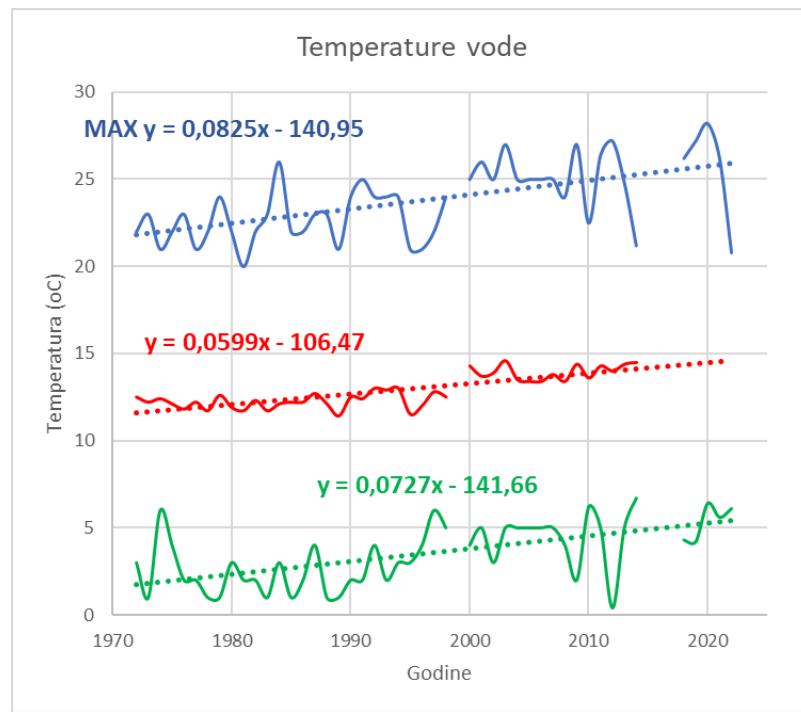
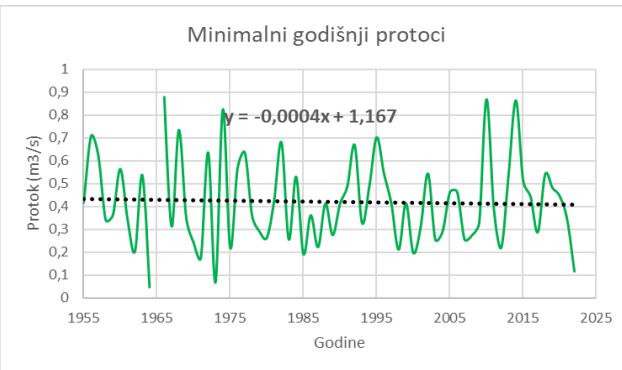
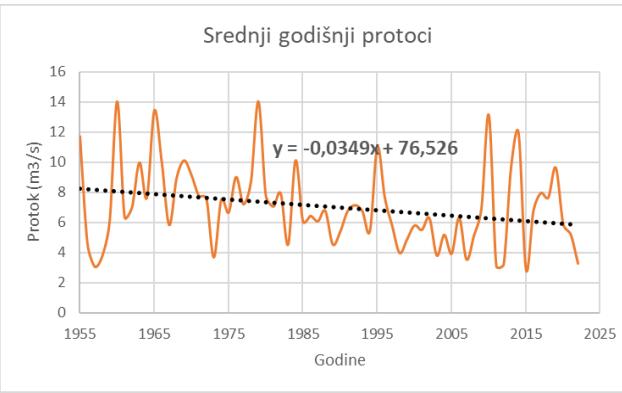
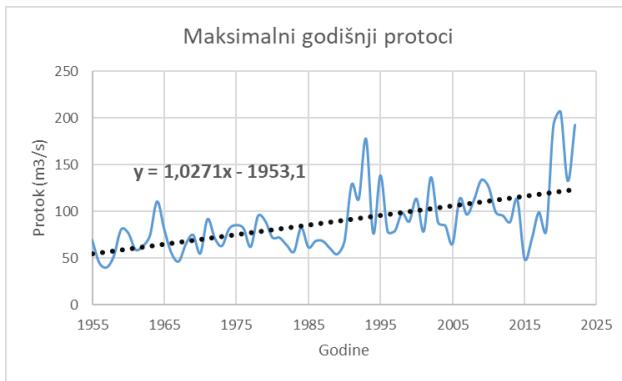
Zbog ljudskog utjecaja dolazi do povećanje razine plinova staklenika, aerosola, promjene u ozonskom omotaču, ...

Prisutni trendovi

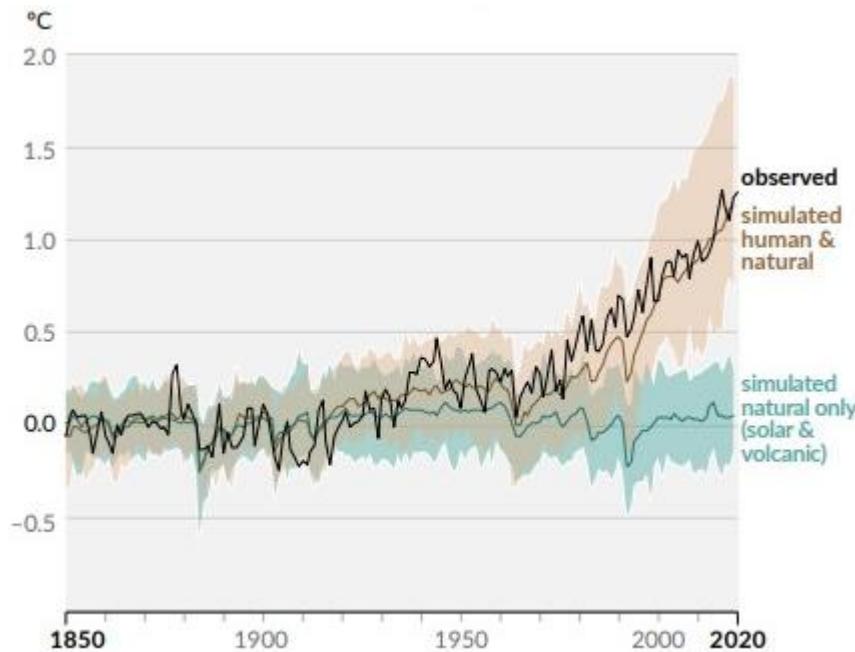


Pazin

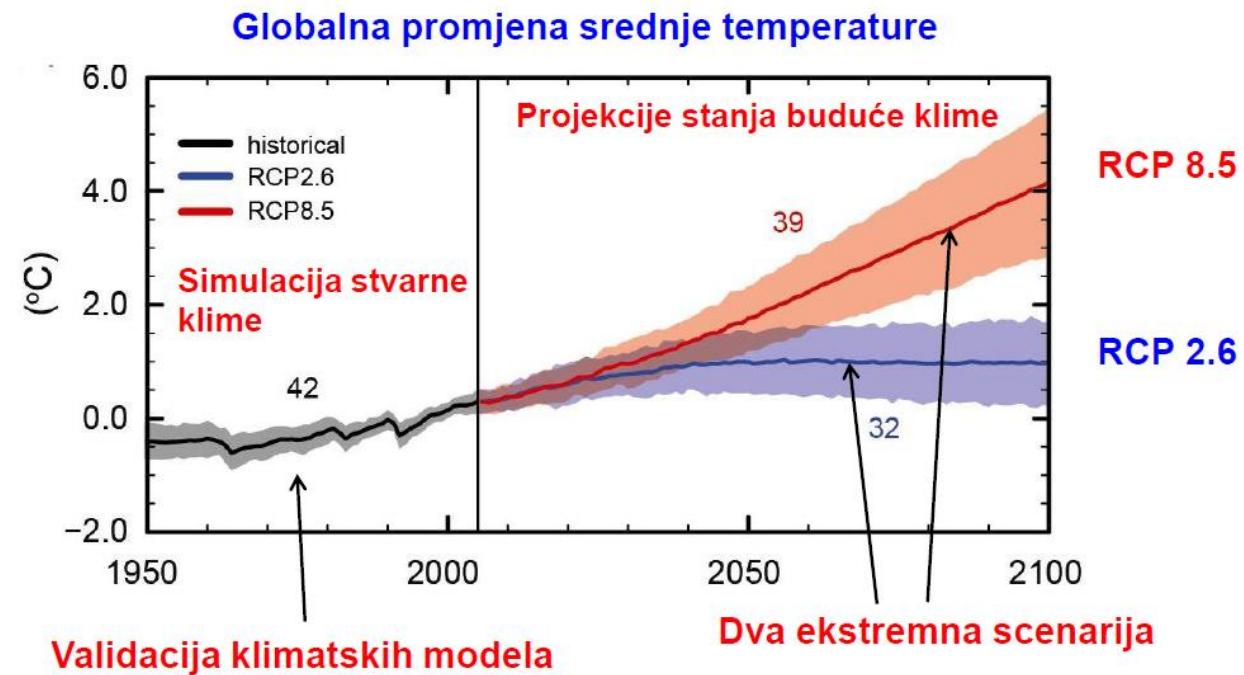




Mirna – Portonski most – trendovi karakteristika hidroloških pokazatelja protoka (lijevo) i temperatura vode (desno)

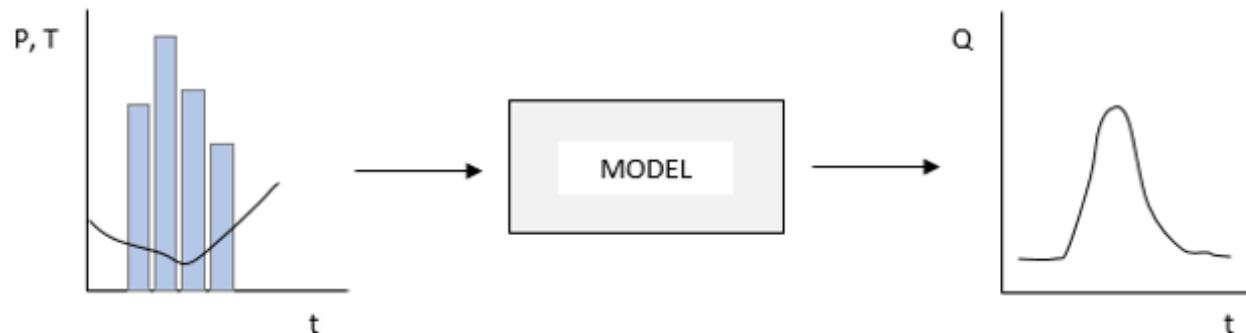


Relativne promjene u globalnoj temp. Zemlje



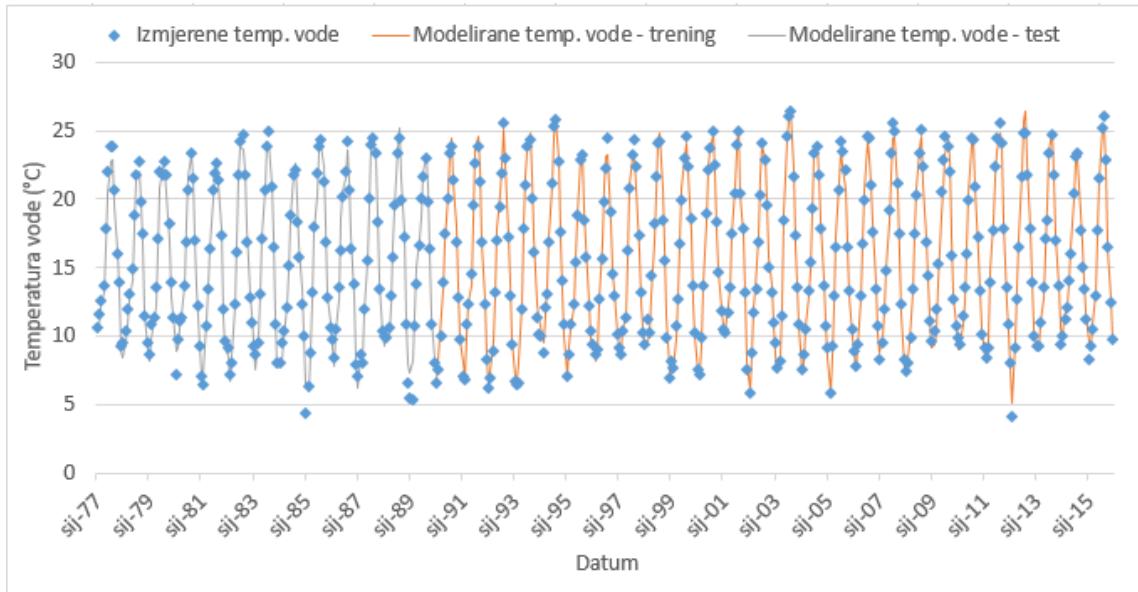
ANALIZE UTJECAJA KLIMATSKIH PROMJENA NA VODNE RESURSE

Korištenjem **hidroloških modela** s ulaznim podacima – mjerenim i prognoziranim klimatološkim podacima



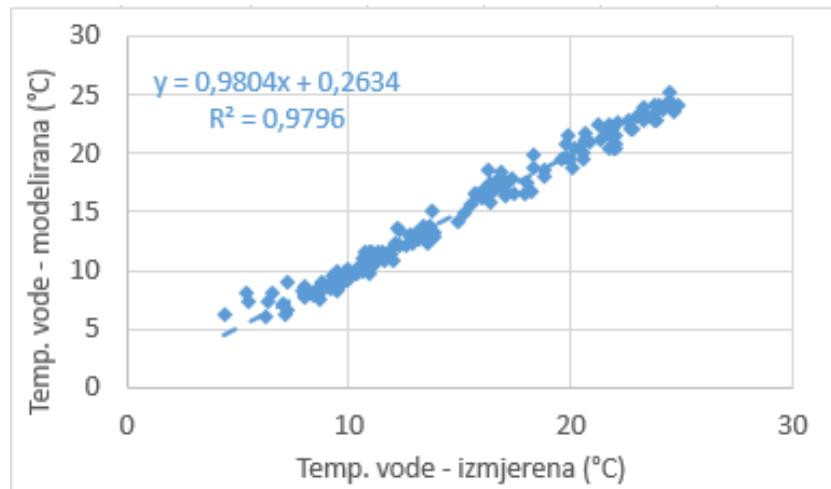
Tipologija **hidroloških modela**:

- matematički: -deterministički /parametarski (**hidrološko-hidraulički**,..
 - statistički : modeli stacionarnih vremenskih serija, regresijski,
neuronske mreže, regresijska stabla odlučivanja
 - hibridni...



Grafički prikaz izmјerenih i modelom neuronskih mreža (MP) proračunatih vrijednosti srednjih mјesečnih temperatura vode za trenirano (1990.-2015.) i testirano razdoblje (1977.-1989.).

Na taj način, kad dobijemo model temeljen na povjesnim podacima, može predviđati što će biti s hidrološkim pokazateljima i njihovim parametrima u budućnostima.



Ublažavanje [*mitigacija*] ili prilagodba [*adaptacija*] ?



Odgovor na klimatske promjene



United Nations
Framework Convention on
Climate Change

Pariški sporazum (2015.)

- zadržati porast globalne temperature ispod 2°C (i „nastojati” postići najviše 1.5°C)
- što je prije moguće poduzeti brzo smanjenje emisija
- ojačati sposobnost društva za nošenje s utjecajima klimatskih promjena i osigurati podršku državama u razvoju
- države su izradile nacionalne planove doprinosa smanjenju stakleničkih plinova (INDCs) – revizija svakih 5 godina
- Ključno je, istovremeno uz mjere smanjivanja emisija stakleničkih plinova, pripremati ublažavanje posljedica te procjenu i smanjivanje rizika od klimatskih promjena.

Odgovor na klimatske promjene

Republika Hrvatska

Ublažavanje

Strategija niskougljičnog razvoja RH za razdoblje do 2030. s pogledom na 2050. godinu NN (63/2021)

Prilagodba

Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u RH za razdoblje do 2040. s pogledom na 2070. godinu NN (46/2020)

3. IZAZOVI KORIŠTENJA I ZAŠTITE VODA U BUDUĆNOSTI U KONTEKSTU KLIMATSKIH PROMJENA I SUŠA

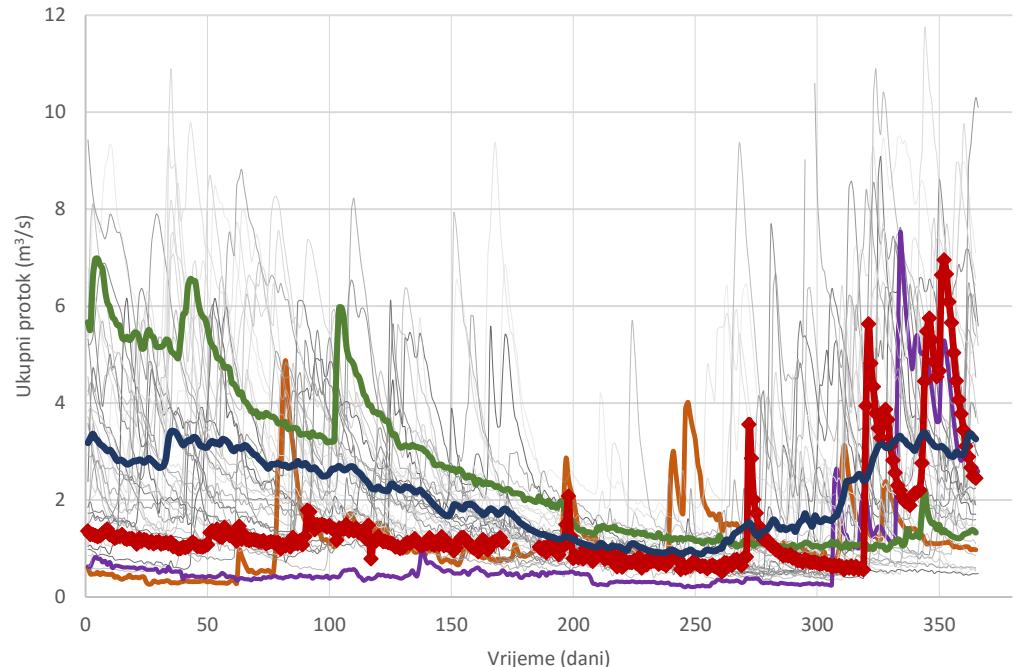
Primjer vodnih resursa Istarskog vodovoda



Akumulacija
Butoniga –
normalno stanje
i ekstremna suša,
2011.- 2012.

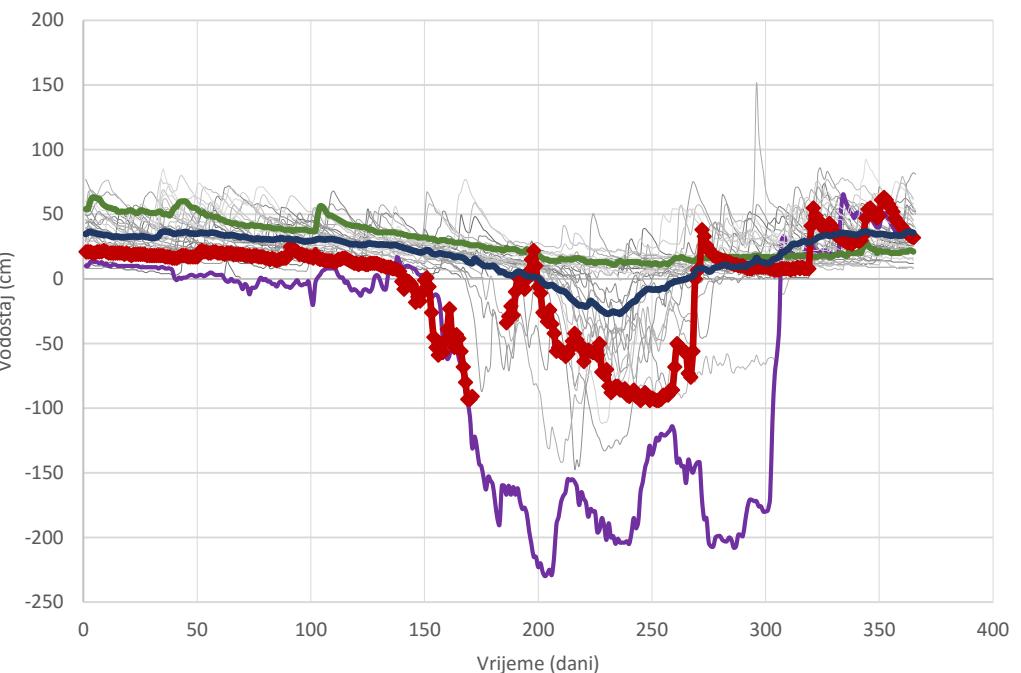


Izvor Gradole - lijevo (8. 2012.) i desno (4.2013.)



1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020

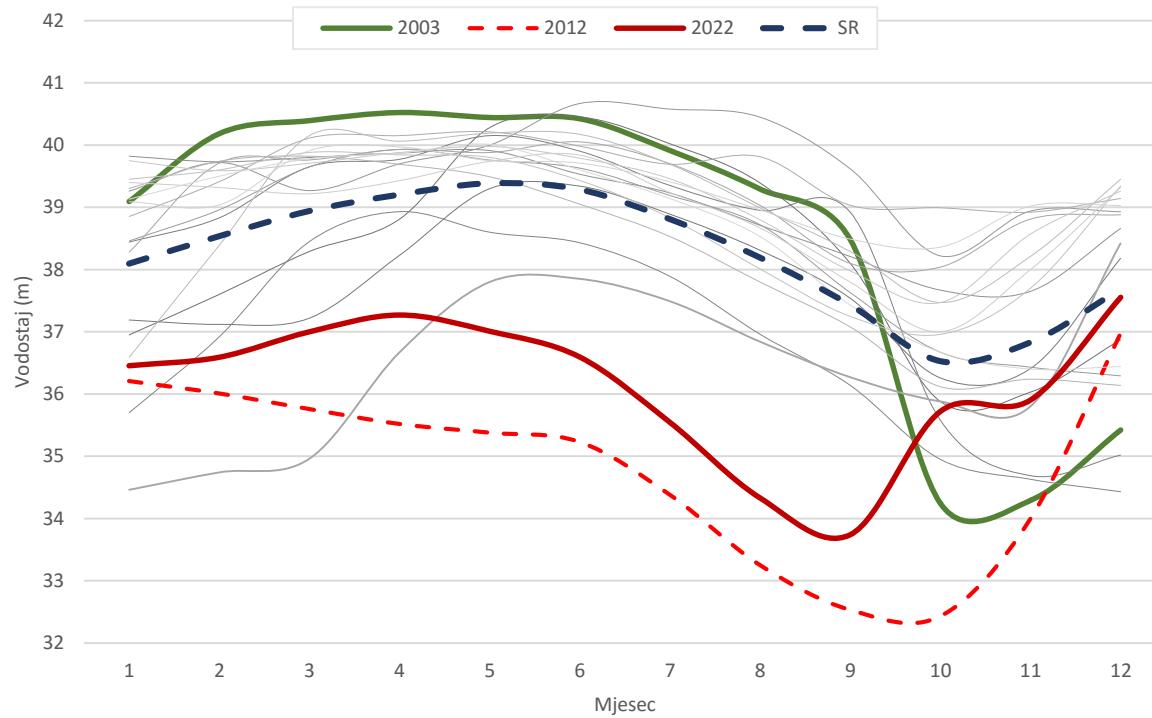
2021
2022
SR



1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020

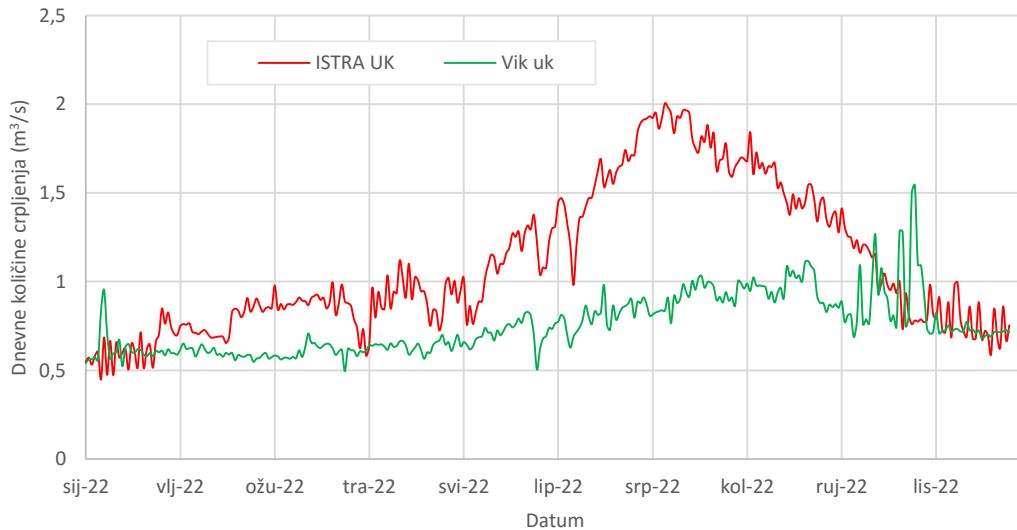
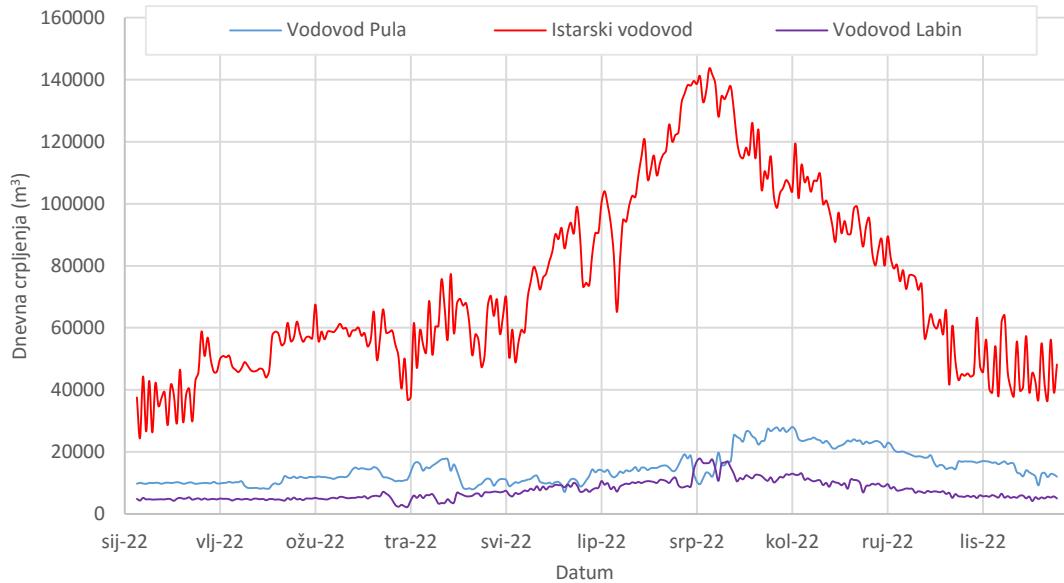
2021
2022
SR

Izvor GRADOLE –
srednji dnevni
protoci (gore) i
razine vode (dolje)



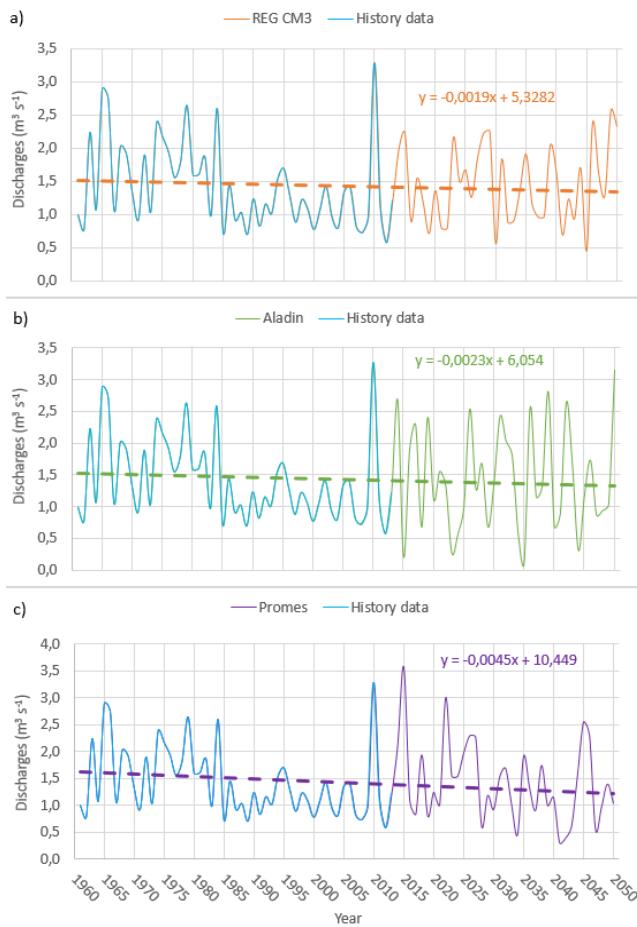
Akumulacija Butoniga – srednje mjesečne razine vode

Suprostavljeni zahtjevi korištenja voda za vodoopskrbu i zaštitu od poplava oko toga da se osigura što veći volumen vode za osiguranje potreba za vodoopskrbom, ali i što veći slobodan prostor u akumulaciji za prihvat velikih vodnih valova



Potrošnja vode 2022.
po pojedinim
vodoopskbnim
sustavima u Istri, kao
i sumarna usporedba
potrošnje u IŽ s
potrošnjom Vik-a
Rijeka (dolje)

IZVORI VODOOPSKRBE U SLIVU MIRNE



	Avg ($m^3 s^{-1}$)	Min ($m^3 s^{-1}$)	Max ($m^3 s^{-1}$)
1961-1990	1.60	0.70	2.88
1961-2013	1.41	0.57	3.28
2021-2050/1961-1990	(%)	(%)	(%)
REGCM3	-8.6	-35.4	-11.3
ALADIN	-11.6	-82.1	9.6
PROMES	-15.6	-57.4	4.1

Prikaz povijesnih i prema različitim klimatskim modelima generiranih sintetičkih serija srednjih godišnjih protoka izvora u slivu Mirne (1961.-2050.) s pripadajućim trendovima prema modelima:

a) REG CM3 b) Promes c) Aladin

Klimatske promjene nose, osim **smanjenja raspoloživosti vodnih resursa**, i **povećanje potreba za vodom** (uz samu vodoopskrbu tu su i potrebe za vodom za navodnjavanje, tehnološke vode, ...)..

Mjere prilagodbe klimatskim promjenama i vodoopskrbni vodni resursi:

- **Štednja vode postojećih resursa;**

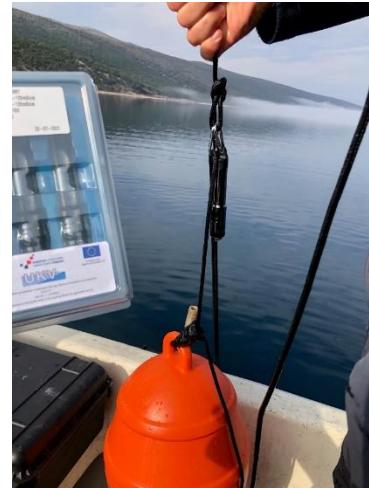
- daljnje smanjenje gubitaka vode,
- daljnje povezivanje vodoopskrbnih resursa i sustava te optimalizacija njihova korištenja uz razvoj modela za aktivno upravljanje u realnom vremenu na osnovu monitoringa i prognoza,
- smanjenje potrošnje na račun favoriziranja višekratnog korištenje voda,...

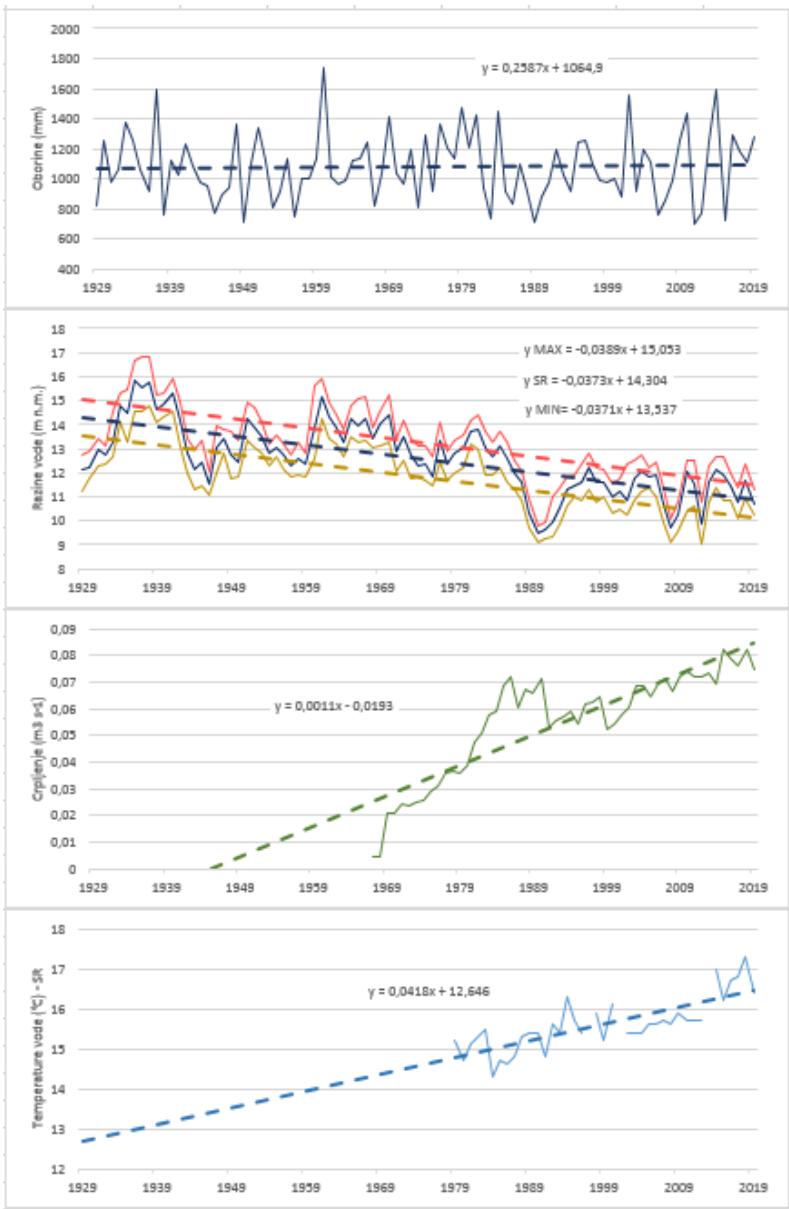
- **Zahvati na osiguranju dodatnih vodnih resursa**

No, pri planiranju svakog novog zahvata nužno je istražiti i respektirati ne samo vodoopskrbni potencijal nego i **okolišne zahtjeve**.

Primjer Vranskog jezera na otoku Cresu

UKV

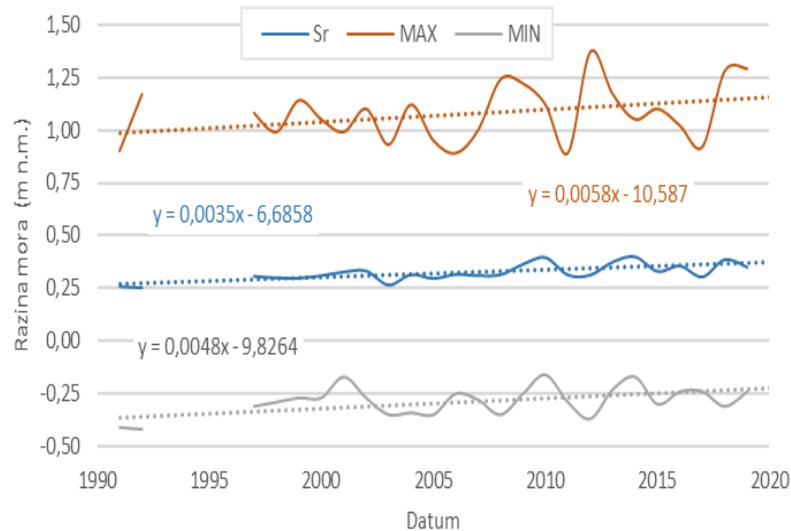
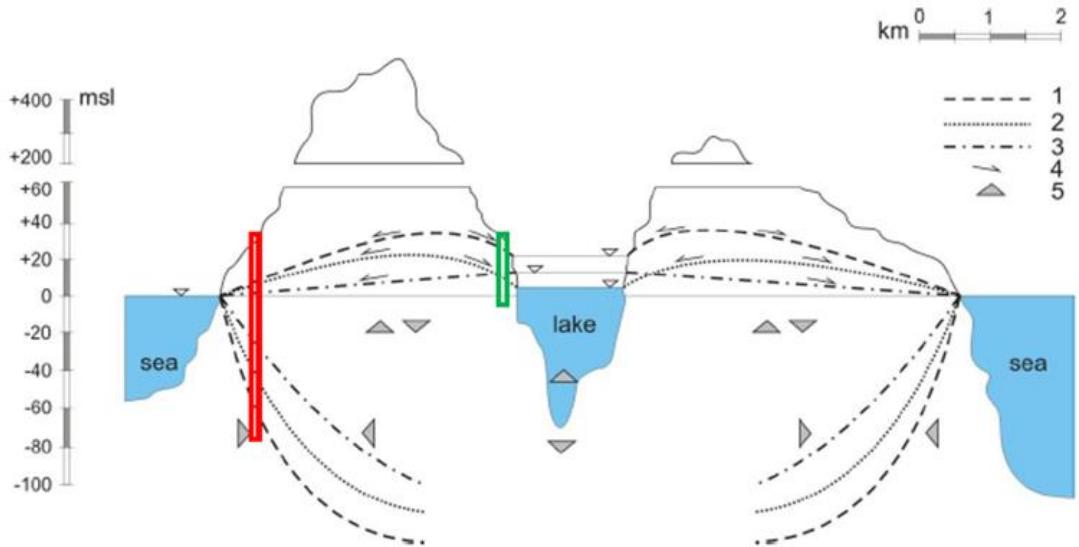




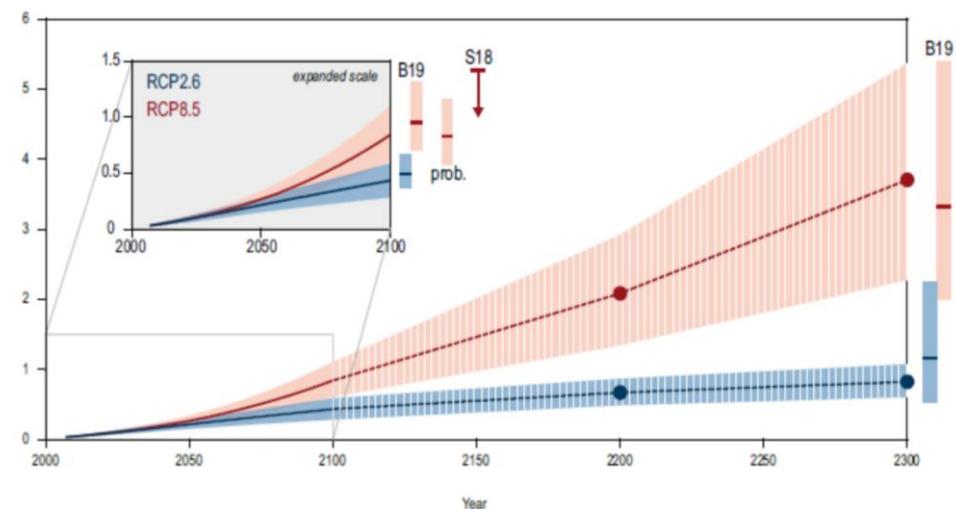
Recentno stanje na Vranskem jezeru:

Trendovi:

- God količine oborina **stagniraju**, temp zraka **rastu**
- Vodostaji **opadaju 3,7 m/100 god (od 1948 – čak 4,6 m/100 god)**
- Crpljenja ponovno rastu **1,1 L/s/god - 11 L/s/10 god**
- Temperature vode rastu **4,2 °C/100 god**

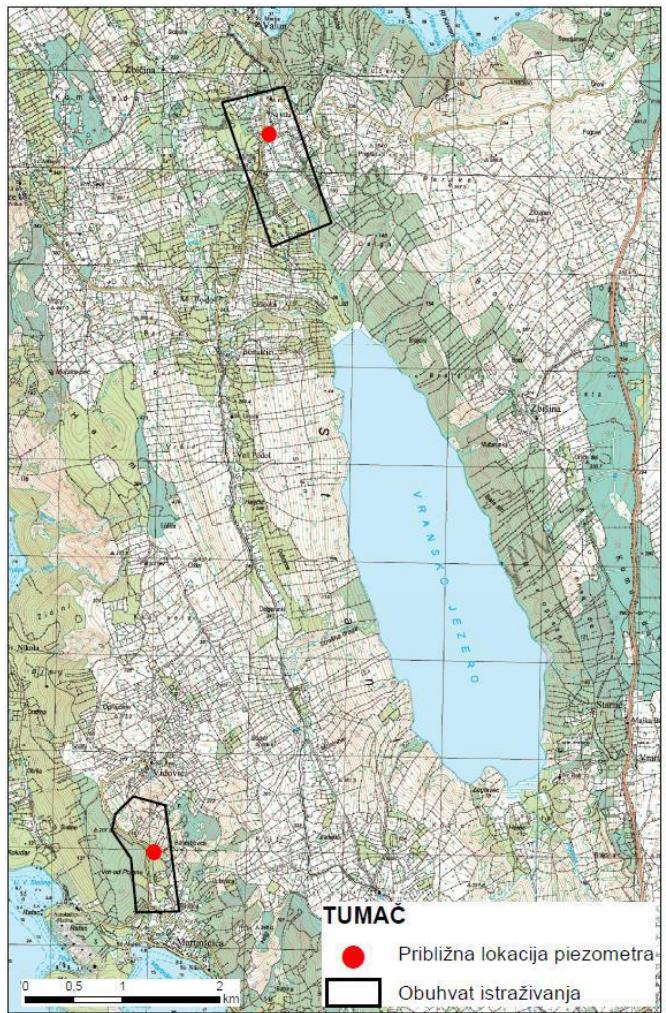


Mareograf Martinšćica

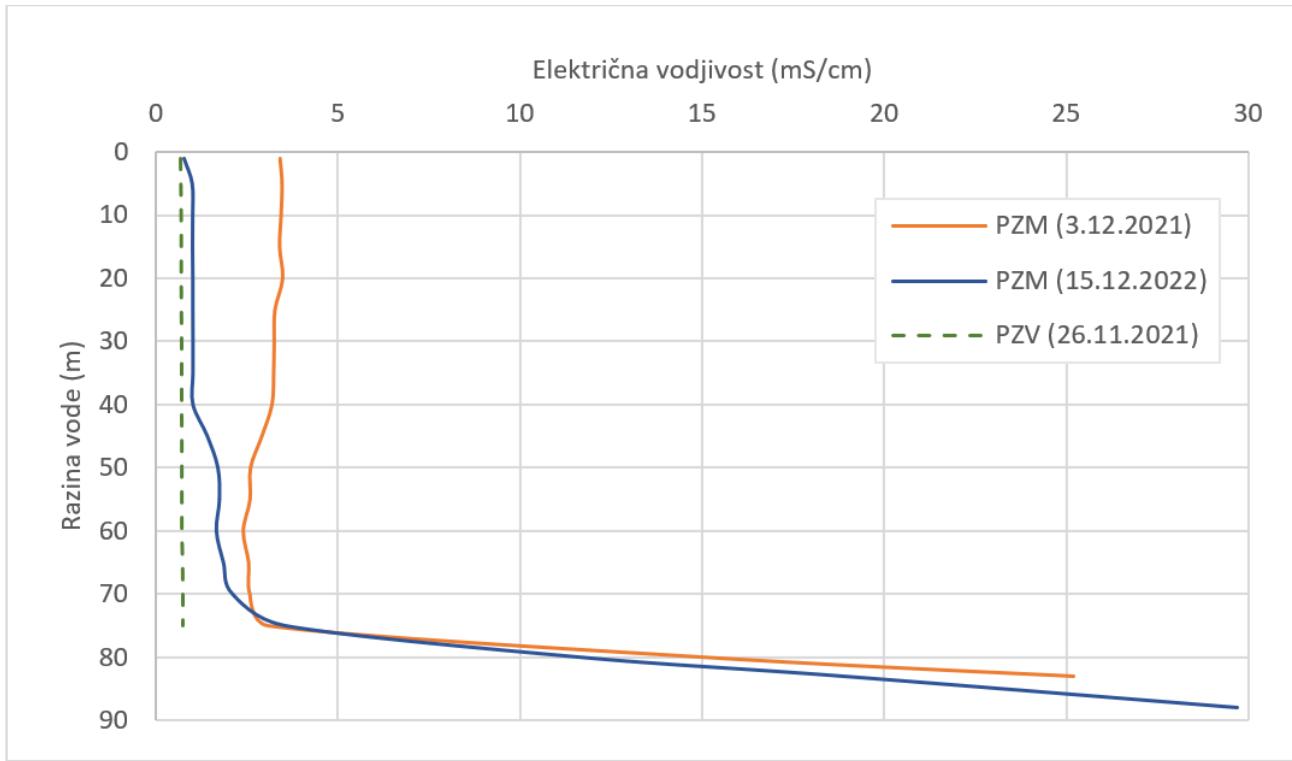


Projekcije do 2300.g.

Rezultati monitoringa podzemnih voda

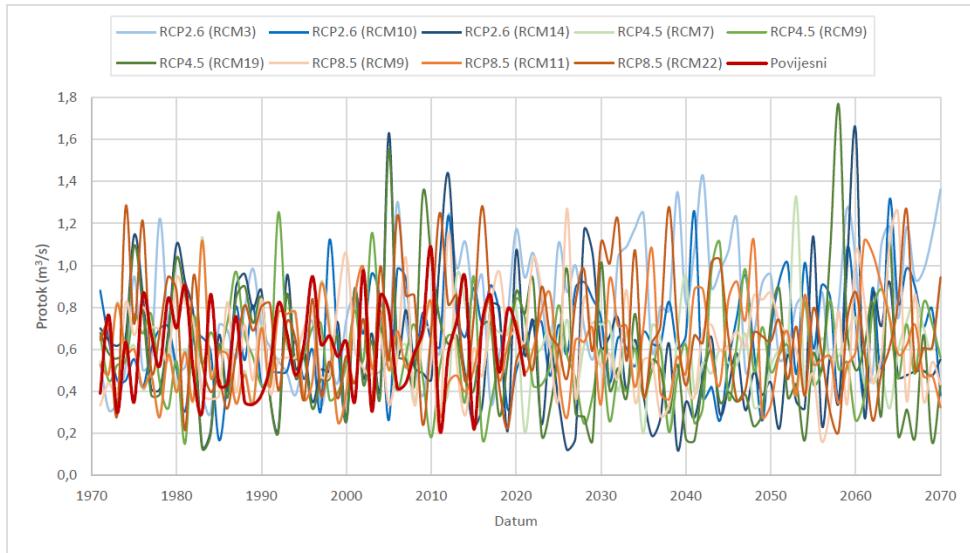


Uspostavljeni monitoring Hrv voda krajem 2021. - duboke bušotine za praćenje stanja u donjim dijelovima otočke vodne leće

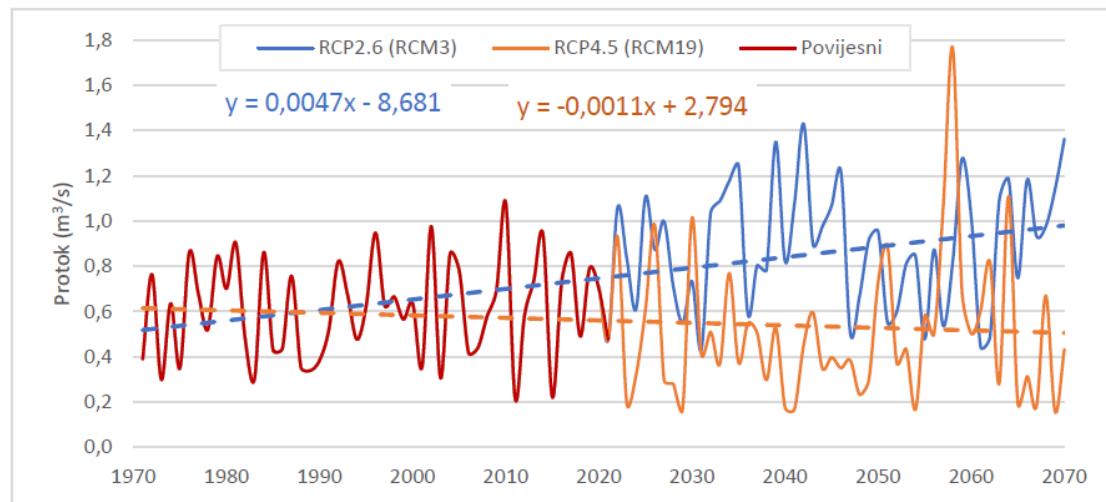


. Prikaz električne vodljivosti vode po dubini u piezometrima Martinšćica (3.12.2021. i 15.12.2022.) i Valun (26.11.2021.)

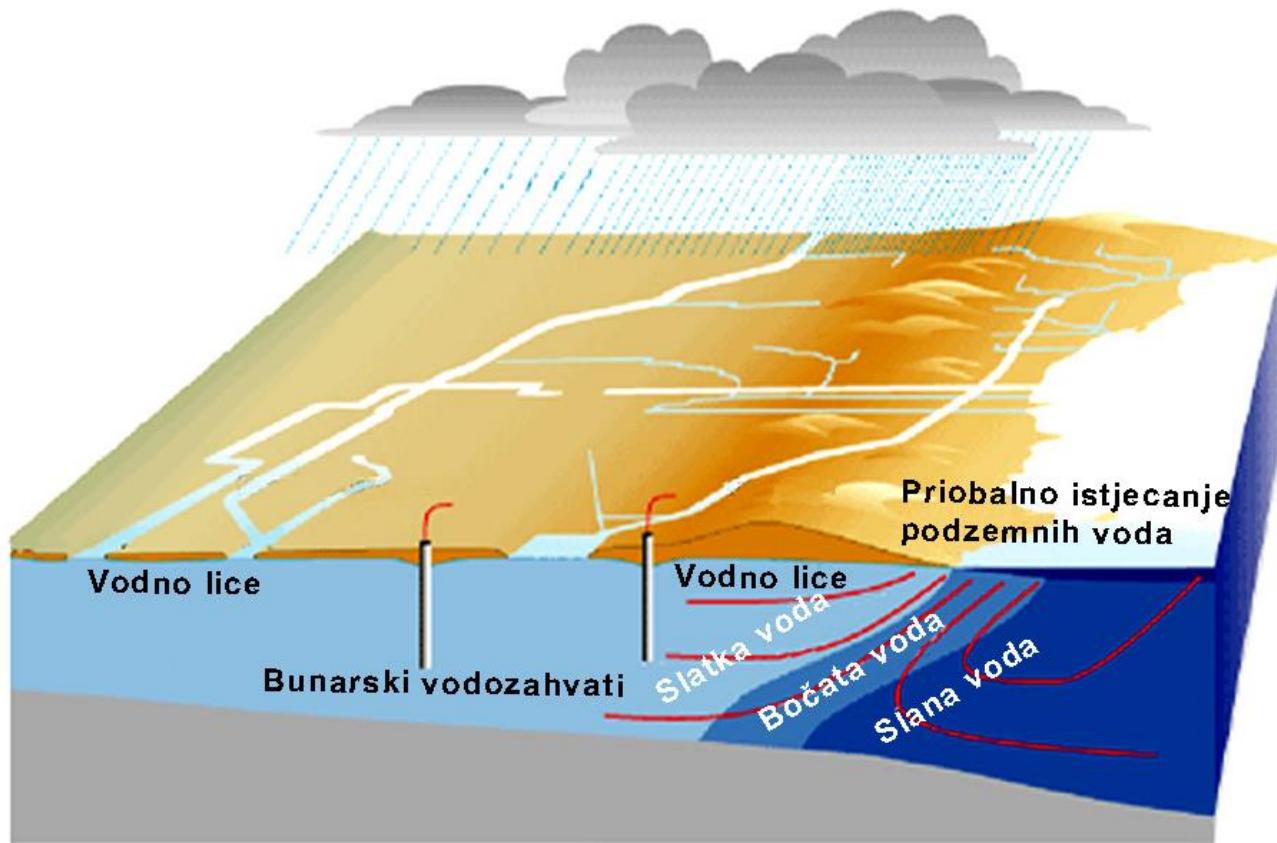
Rezultati modeliranja dotoka u Vransko jezero



Slika 4.2-6. Generirani nizovi podataka o srednjim godišnjim protocima prema različitim klimatskim scenarijima i modelima za razdoblje na pilot području Vransko jezero na otoku Cresu (1971.-2070.)



Radi zaštite od dubljih prodora mora u priobalnim područjima – sustav monitoringa stanja u dubljim dijelovima krškog vodonosnika, kao i premještanje zahvata podzemnih voda dublje u zaleđe

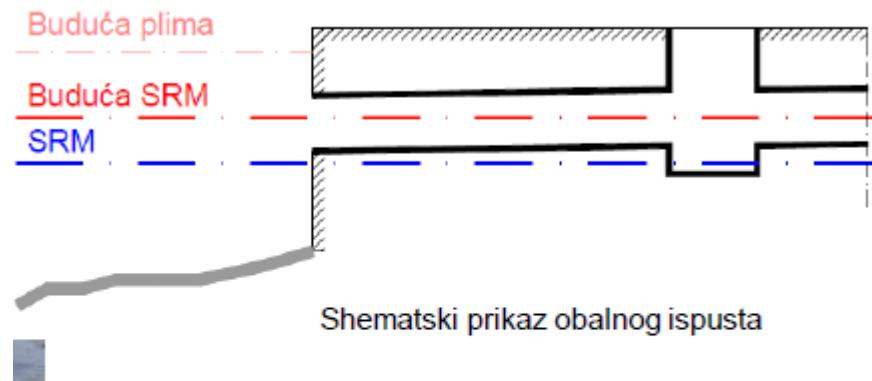


4. IZAZOVI ZAŠTITE OD VELIKIH VODA

Recentni trendovi ukazuju na poraste intenziteta kratkotrajnih jakih oborina u budućnosti, povećanje vršnih protoka i volumena voda, kao i poraste razina mora.

Sve to može imati posebno naglašeni utjecaj na vodne pojave u krškom priobalju gdje se zbog nelinearnosti veze između oborina i otjecanja neki izraziti vršni otjecaji do sada nisu zapažali, a u budućnosti je prisutan povećani rizik od njihove pojave.

Pod velikim je rizikom i komunalna infrastruktura za odvodnju voda na urbanim područjima.



Podizanje razine mora:

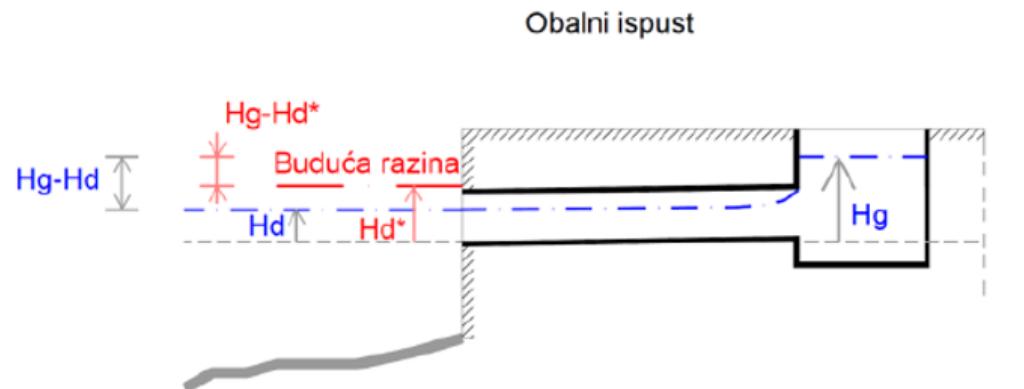
- Otežano funkcioniranje i smanjenje kapaciteta obalnih ispusta i pratećih građevina (reviziona okna, preljevi mješovite kanalizacije i sl.)

Kapacitet ispusta

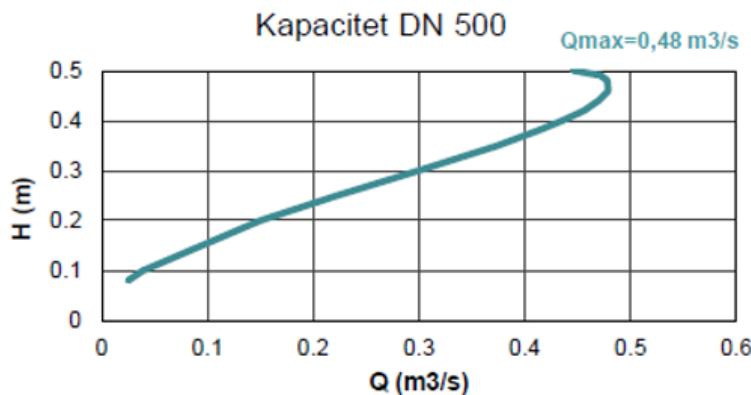
$$Q_{ispusta} = f(DN, Hg, Hd, \dots)$$

Istjecanje:

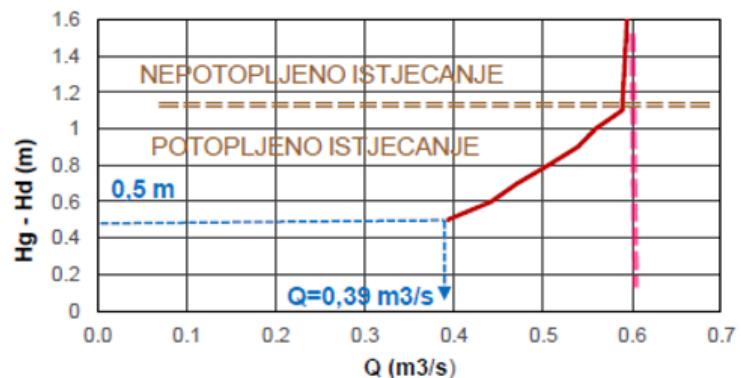
- Nepotopljeno,
- Potopljeno,



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



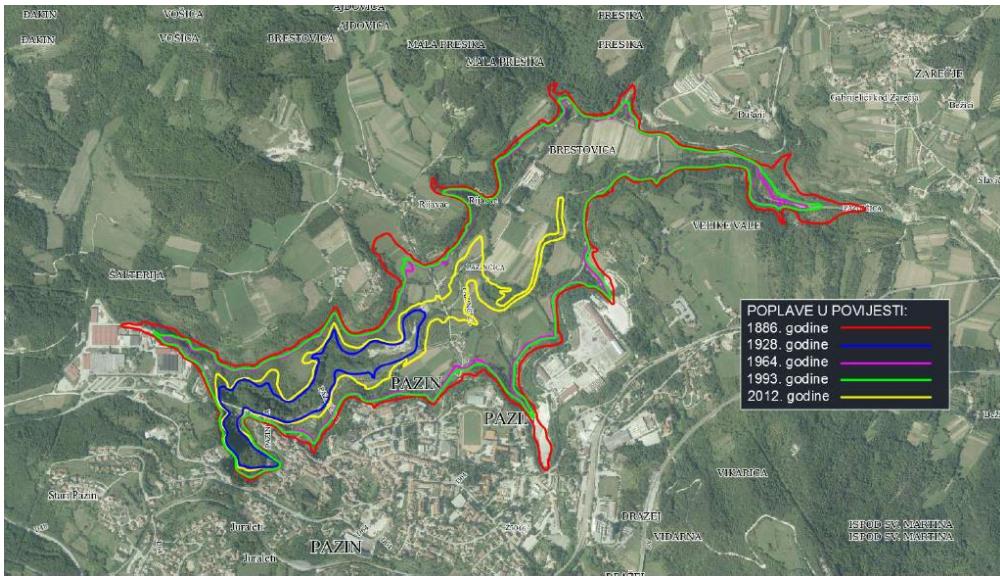
Istjecanje pod tlakom DN 500 $Q_{max}=0,6 \text{ m}^3/\text{s}$



$Hg=1.6 \text{ m}$, $Hd=0$, slobodno istjecanje, $Q=0.6 \text{ m}^3/\text{s}$
 $Hg = 1.6 \text{ m}$, $Hd=1.1 \text{ m}$, potopljeno istjecanje, $Q=0.39 \text{ m}^3/\text{s}$ (smanjenje 35%)

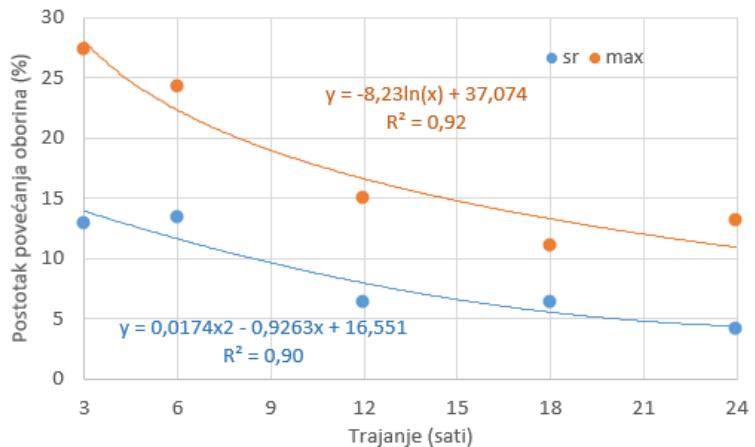
Primjer

Pojave velikih voda – studija slučaja Pazinčice

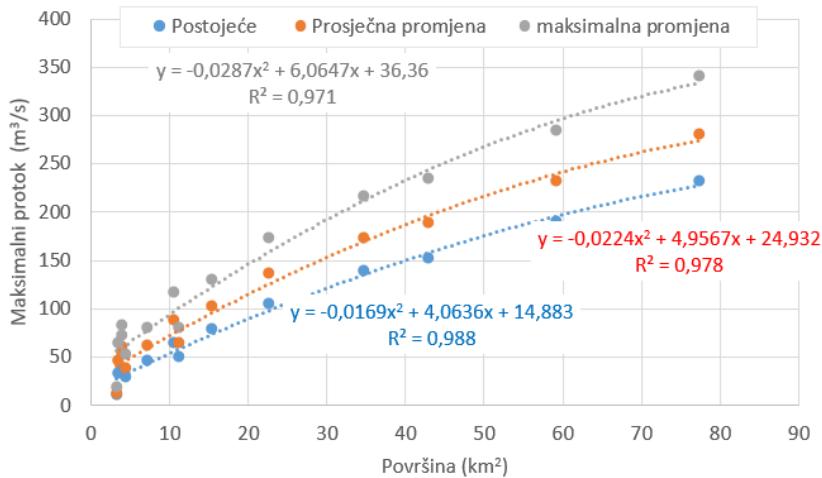


Periodične poplave zbog ograničenog kapaciteta Pazinske jame

Pojave velikih voda – studija slučaja Pazinčice

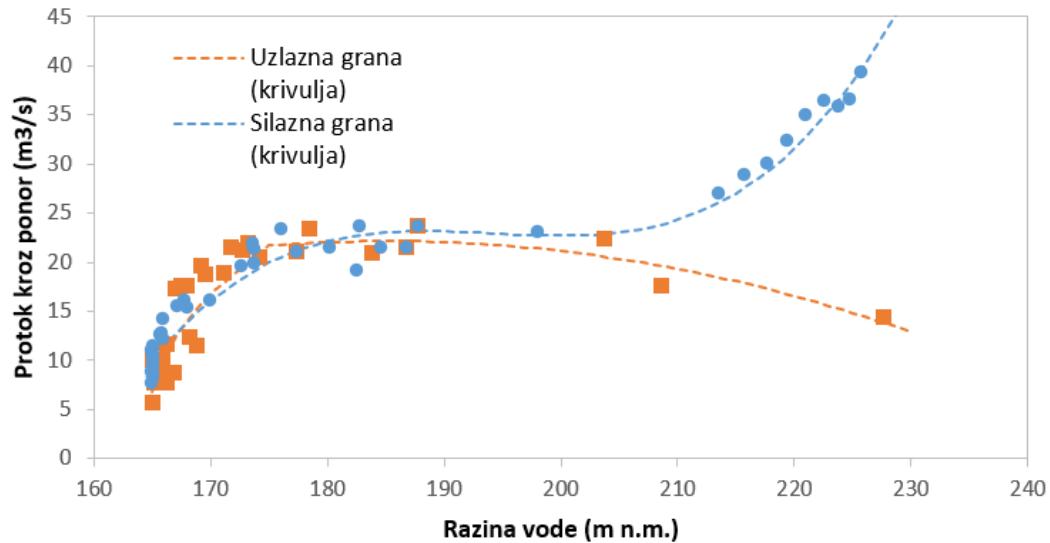


Usporedni prikaz prosječnih i anvelope proračunatih maksimalnih promjena vjerojatnosti pojave kratkotrajnih jakih oborina 100-godišnjeg povratnog perioda - prema Građevinski fakultet u Rijeci i DHMZ (2019)



Prikaz međuodnosa proračunatih maksimalnih protoka 100-godišnjeg povratnog perioda u postojećem stanju kao i u uvjetima prosječne te maksimalne promjene intenziteta – povećanja se kreću uglavnom oko 20-tak % kod očekivane prosječne promjene intenziteta

Pojave velikih voda – studija slučaja Pazinčice



Uprosječene protočne krivulje kroz ponor
Pazinske jame za uzlaznu i silaznu granu
nivograma – ograničeni kapacitet – povećanje
kapaciteta – čišćenje nataloženog drveta u
jamskom sustavu

4. MJERE PRILAGODBE

Komponenta sektora	Ranjivost	Mjere prilagodbe
Zaštita od štetnog djelovanja voda	Poplave, Bujične vode, Klizišta	<ul style="list-style-type: none"> • Strukturalne mjere - rekonstrukcija i izgradnja akumulacija, retencija i nasipa... • Nestrukturne mjere - razvoj modela, istraživanje, procjena rizika, prostorni planovi...
	Urbane velike vode, Smanjenje razina podzemnih voda	Integralna urbana odvodnja - "low impact design"
Obalno područje	Erozija obala i plaža	<ul style="list-style-type: none"> • Nadvišenje obala • Obaloutvrde • Umjetno prihranjivanje plaža
	Zaslanjivanje riječnih ušća	<ul style="list-style-type: none"> • Mobilne pregrade, • Kontrola otjecanja u sливу
	Poplave priobalnih objekata i infrastrukture	<ul style="list-style-type: none"> • Zaštitni sustavi • Kontrola otjecanja u sливу • Prilagodba poplavama
	Smanjenje učinkovitosti priobalne infrastrukture	Predviđanja mogućih promjena te dimenzioniranje uzimajući u obzir moguće promjene.

Komponenta sektora	Ranjivost	Mjere prilagodbe
Smanjenje raspoloživih vodnih zaliha	Redukcije i smanjenje mogućnosti korištenja voda u vodoopskrbi i drugim vidovima korištenja voda	Izgradnja višenamjenskih sustava s akumulacijama i povećanje kapaciteta postojećih
	Smanjenje infiltracije vode u podzemlje	<ul style="list-style-type: none"> •Optimalizacija korištenja postojećih vodnih resursa •Razvoj novih tehnologija korištenja voda •Smanjenje gubitaka (u vodoopskrbi)
		Višenamjensko korištenje voda
		Zaštita bioraznolikosti (mjere i objekti)
Zaslanjivanje priobalnih izvora i vodonosnika	Nemogućnost korištenja voda za razne namjene	Optimalizacija korištenja voda
		Prelociranje vodozahvata dublje u kopnena područja
		Umjetno prihranjivanje vodonosnika
Povećanja temperatura vode	Smanjenje prihvratne sposobnosti akvatičkih prijemnika	Smanjenje učinaka antropogenih utjecaja u slivu
		Osiguranje EPP (ekološki prihvatljivog protoka/razine vode)
		Izgradnje sustava i objekata za kontrolu otjecanja tijekom kritičnih razdoblja

Za kraj...

Prilagodba klimatskim promjenama traži u domeni vodnih resursa upravljanje na **integralan i inovativan** način, s razvijenim monitoringom i modeliranjima mogućih promjena kako bi im se mogli **pravovremeno** prilagoditi...



Hvala na strpljenju..