



HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA

15. Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva

Opatija, 2021.

# Klimatske promjene i hidrološki ekstremi – pojave i mjere prilagodbe za smanjenje katastrofalnih posljedica

**Josip Rubinić, Barbara Karleuša**

**G**

**F**

Sveučilište  
u Rijeci

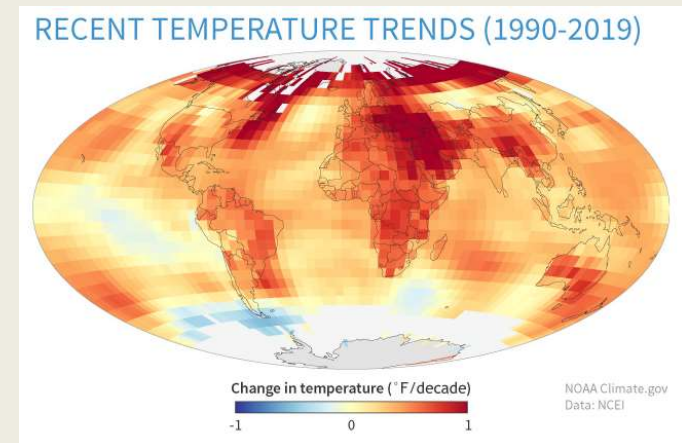
**Građevinski  
fakultet**

dr. sc. Josip Rubinić, dipl. ing. građ.

dr. sc. , Barbara Karleuša, dipl. ing. građ.

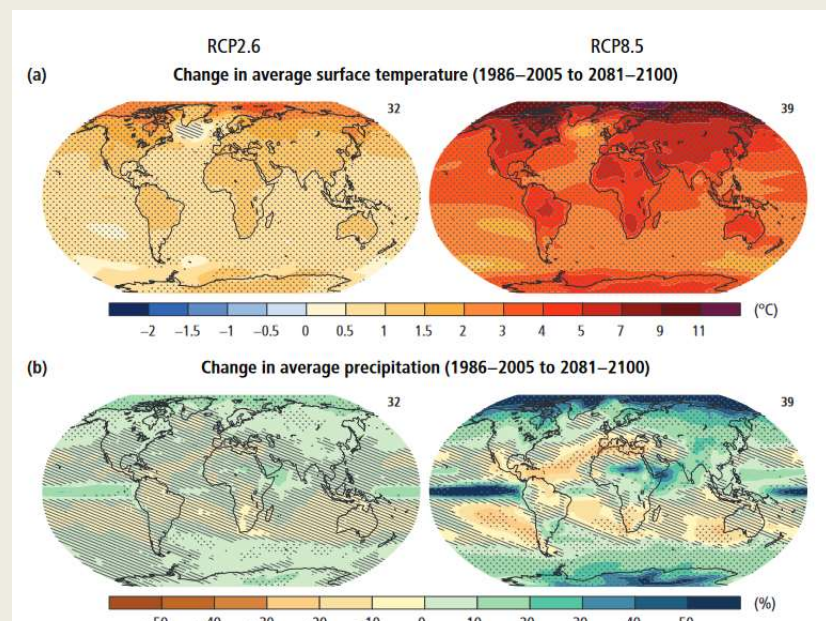
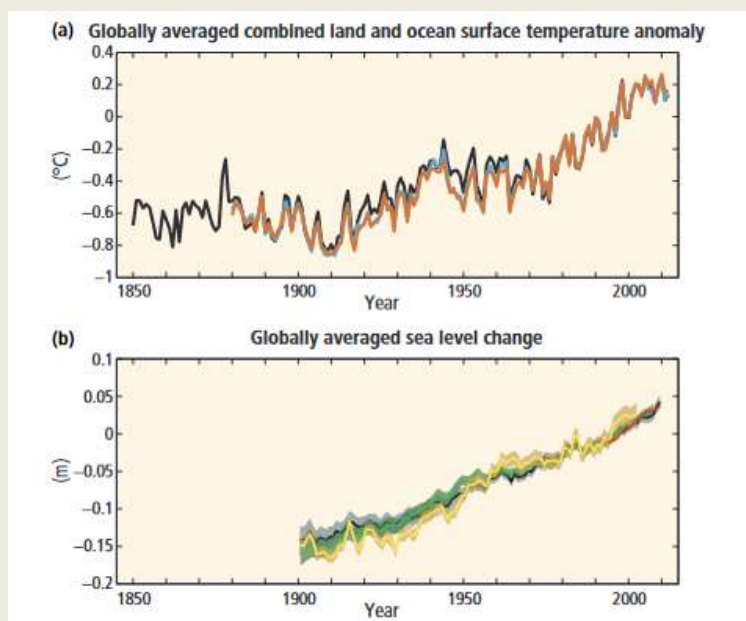
## Sadržaj:

- Općenito o klimatskim promjenama i vijeku trajanja građevina
- Zabilježeni hidrološki ekstremi i prognoze njihove pojave u uvjetima klimatskih promjena
- EU projekti prilagodbe klimatskim ekstremima: DRINKADRIA i RAINMAN
- Mjere prilagodbe klimatskim promjenama u hidrotehničkom graditeljstvu



# 1. Općenito o klimatskim promjenama i vijeku trajanja građevina

- Klimatske promjene i njihovi utjecaji nisu više neka novina o kojoj se malo zna i za koju se očekuje da bi se tek mogla dogoditi u nekim budućim vremenima i s kojom će se trebati suočavati buduće generacije.



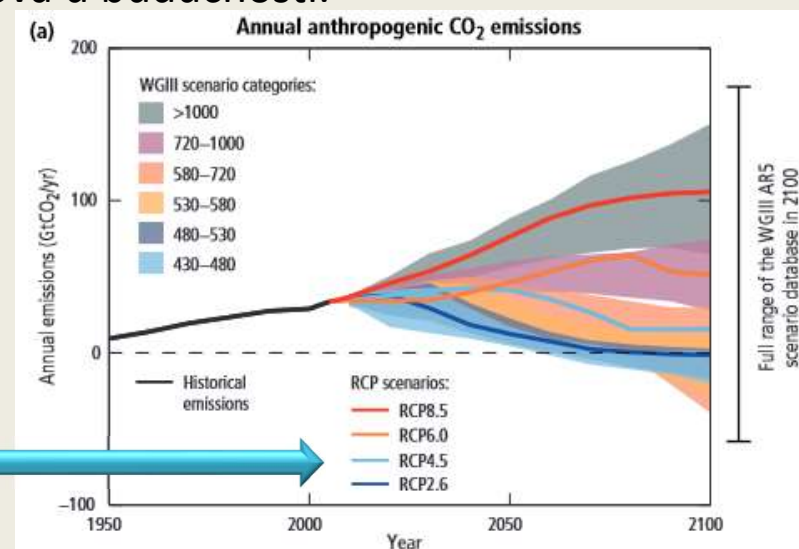
Izvor: Climate change 2014 Synthesis report, [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf)

- Već sad se zapažaju neke od njihovih manifestacija o kojima stoga **već sada treba voditi računa kod planiranja, projektiranja i izgradnje građevinskih objekata u kontekstu njihovog planiranog proračunskog vijeka trajanja.**

- Planirani proračunski vijek trajanja građevina najviše se respektira kod građevinskih konstrukcija, gdje se on za stalne građevine kreće uglavnom između 25 i 100 godina.
- Pri tome se najviše pažnje polaže sigurnosti konstrukcija prije svega u pogledu materijala i opreme koji se ugrađuju, u posljednje vrijeme u sve većoj mjeri i u kontekstu smanjenja troškova životnog ciklusa objekata (održavanje, energetske troškovi...).
- No, puno manje se vodi računa o **moćnim promjenama okolišnih uvjeta koje također mogu utjecati kako na sigurnost konstrukcije, tako i njezinu funkcionalnost.**
- **Hidrotehnički infrastrukturni objekti i sustavi** uglavnom imaju sličan proračunski vijek trajanja građevine (o kome se osim u pogledu sigurnosti konstrukcija i opreme uglavnom vodi računa još jedino u kontekstu određivanja godišnjih obroka/anuiteta), no uz očekivanja da će isti zadovoljiti svoju funkciju i dulji niz godina.



- **Zakon o vodama** (NN 66/2019...) u temeljnim načelima upravljanja vodama navodi da se „**upravljanje vodama prilagođava globalnim klimatskim promjenama**”, ali bez navođenja načina kako se to planira osigurati.
- **Zakon o gradnji** (NN 153/13,.. 125/19) govori o *Programu razvoja zelene infrastrukture u urbanim područjima 2021.-2030.*, u kontekstu uspostave održivih, sigurnih i otpornih gradova i naselja kroz povećanje energetske učinkovitosti zgrada i građevinskih područja.
- **Strategija prilagodbe klimatskim promjenama u RH za razdoblje do 2040. godine s pogledom na 2070.** (NN 46/2020) dala je okvire opće okvire mogućih promjena za dva scenarija rasta koncentracije stakleničkih plinova u budućnosti:
  - **RCP4.5** (umjereniji) i
  - **RCP8.5** (ekstremniji),
- pri čemu se scenarij **RCP4.5 smatra vjerojatnijim za razdoblje do 2040.** (pretpostavlja se poduzimanje značajnijih mjera ublaženja), pa su i mjere prilagodbe u predmetnoj Strategiji zasnovane na tom scenariju rasta stakleničkih plinova.



Izvor: Climate change 2014 Synthesis report, [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf)

- **Strategija prilagodbe** temelji na analizi onih sektora i međusektorskih područja koji su relevantni za prilagodbu zbog njihove socio-ekonomske važnosti za RH i/ili su od važnosti za prirodu i okoliš.
- U tu je svrhu odabrano osam ključnih sektora:
  - **vodni resursi**;
  - poljoprivreda;
  - šumarstvo;
  - ribarstvo;
  - bioraznolikost;
  - energetika;
  - turizam i zdravlje i
- dva međusektorska tematska područja:
  - prostorno planiranje i uređenje te
  - upravljanje rizicima.














Izvod iz odabranih pokazatelja projekcija klimatskih parametara za Republiku Hrvatsku prema scenariju RCP4.5 u odnosu na razdoblje 1971. – 2000. - iz Strategije prilagodbe RH (2020)

Klimatski parametar	Projekcije buduće klime prema scenariju RCP4.5 u odnosu na razdoblje 1971. – 2000. godine	
	2011. – 2040.	2041. – 2070.
OBORINE	Srednja godišnja količina: malo smanjenje (osim manji porast u SZ Hrvatskoj)	Srednja godišnja količina: daljnji trend smanjenja (do 5 %) u gotovo cijeloj Hrvatskoj osim u SZ dijelovima
	Sezone: različit predznak; zima i proljeće u većem dijelu Hrvatske manji porast + 5 – 10 %, a ljeto i jesen smanjenje (najviše – 5 – 10 % u J Lici i S Dalmaciji)	Sezone: smanjenje u svim sezonama (do 10 % gorje i S Dalmacija) osim zimi (povećanje 5 – 10 % S Hrvatska)
	Smanjenje broja kišnih razdoblja (osim u središnjoj Hrvatskoj gdje bi se malo povećao) Broj sušnih razdoblja bi se povećao	Broj sušnih razdoblja bi se povećao
POVRŠINSKO OTJECANJE	Nema većih promjena u većini krajeva; no u gorskim predjelima i zaleđu Dalmacije smanjenje do 10 %	Smanjenje otjecanja u cijeloj Hrvatskoj (osobito u proljeće)
EVAPOTRANSPIRACIJA	Povećanje u proljeće i ljeti 5 – 10 % (vanjski otoci i Z Istra > 10 %)	Povećanje do 10 % za veći dio Hrvatske, pa do 15 % na obali i zaleđu te do 20 % na vanjskim otocima
SREDNJA RAZINA MORA	2046. – 2065. 19 – 33 cm (IPCC AR5)	2081. – 2100. 32 – 65 cm (procjena prosječnih srednjih vrijednosti za Jadran iz raznih izvora)



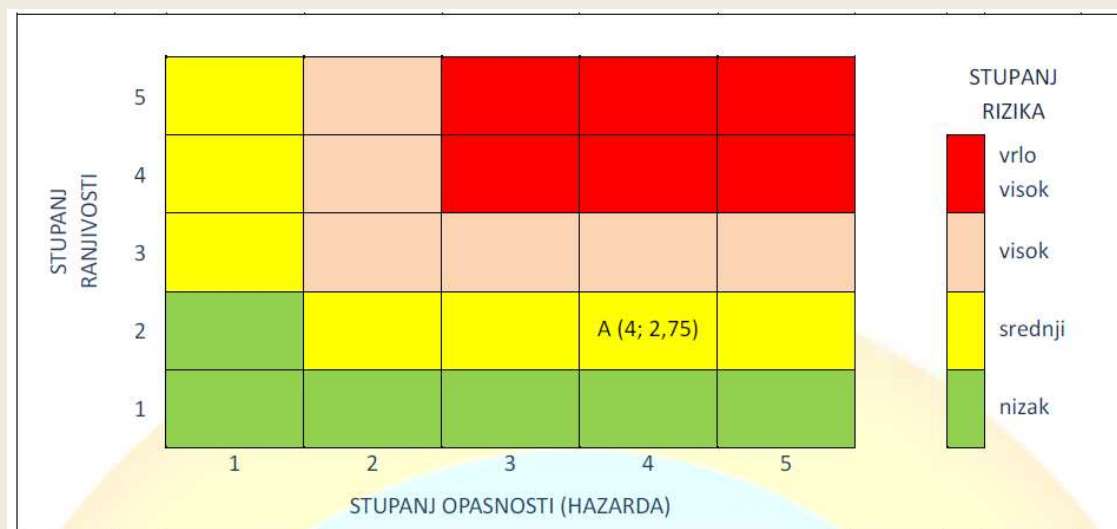
U Strategiji prilagodbe RH klimatskim promjenama ocijenjeno je da su **glavni očekivani utjecaji koji mogu dovesti do visokog stupnja ranjivosti vodnih resursa:**

-  smanjenje količina voda u vodotocima i na izvorištima;
-  smanjenje vodnih zaliha u podzemlju i snižavanje razina podzemnih voda;
-  smanjenje razine vode u jezerima i drugim zajezerenim prirodnim ili izgrađenim sustavima;
-  porast razine mora;
-  zaslanjivanje priobalnih vodonosnika i akvatičkih sustava
-  porast temperatura vode praćen smanjenjem prihvatne sposobnosti akvatičkih prijemnika;
-  povećanje učestalosti i intenziteta poplava na ugroženim područjima;
-  povećanje učestalosti i intenziteta pojava bujica;
-  povećanje učestalosti i intenziteta poplava od oborinskih voda u urbanim područjima;
-  povećanje razine mora, a time i vjerojatnosti od pojave poplava na ušćima vodotoka;
-  smanjenje učinkovitosti priobalne infrastrukture te intenziviranje zaslanjivanja riječnih ušća i priobalnih vodonosnika.





- Unatoč **prisutnim nepovoljnim trendovima** i sve učestalijim manifestacijama **klimatskih promjena koji se već sada zapažaju**, u praksi se **vrlo rijetko provode kvantifikacije budućih očekivanih promjena**, te dimenzioniranje objekata na način da se vodi računa **o stanju koje će biti na kraju proračunskog vijeka građevine** kako bi ona zadržala punu učinkovitost.
- Puno je češći slučaj da se vezano uz vodne resurse provode **deklarativne ocjena ranjivosti i rizika** na temelju isključivo klimatoloških procjena klimatoloških pokazatelja, te se iste prezentiraju u vidu raznih prikaza „logičkih okvira” i „matrica rizika od pojava opasnosti (hazarda)”, no koji nemaju preveliki utjecaj na hidrotehničku praksu i buduća rješenja prilagođena utjecajima klimatskih promjena.



- Krajnje je vrijeme je da se **i u inženjerskoj praksi** aktivno procesuiraju moguće utjecaji klimatskih promjena po nekim na razini države odabranim scenarijima, te u tom smislu **provode i kvantificirane procjene ulaznih elemenata u raznim proračunima**, npr. vezano uz vodne resurse kod hidrološkim proračunima velikih voda, vodne bilance i slično.
- Vezano uz u građevinskoj praksi tradicionalno prisutnu skepsu (koja značajnim dijelom potječe i od toga što je pri izradi projektne dokumentacije puno lakše zanemariti moguće promjene i držati se uobičajenih i lako dostupnih podloga temeljenih na povijesnim nizovima podataka) da se moguće i ne radi o klimatskim promjenama nego klimatskim varijacijama, vrijedi istaći da je s našeg inženjerskog aspekta potpuno nevažno radi li se o klimatskim varijacijama ili promjenama – **nužno je voditi računa o prisutnim trendovima i manifestacijama kako bi tijekom vijeka trajanja neke građevine ona imala sačuvanu punu funkcionalnost.**
- Svjedoci smo velike angažiranosti graditeljske struke **na planiranju i izgradnji sustava za odvodnju komunalnih i oborinskih voda urbanih područja u priobalju**, koji bi trebali biti funkcionalni barem 30 - 50 godina, ali pri čijem projektiranju se **vrlo rijetko koriste i podloge koje respektiraju očekivane promjene – npr. razine mora i povećanje intenziteta oborina.**



## 2. Zabilježeni hidrološki ekstremi i prognoze njihove pojave u uvjetima klimatskih promjena

### Podizanje razine mora

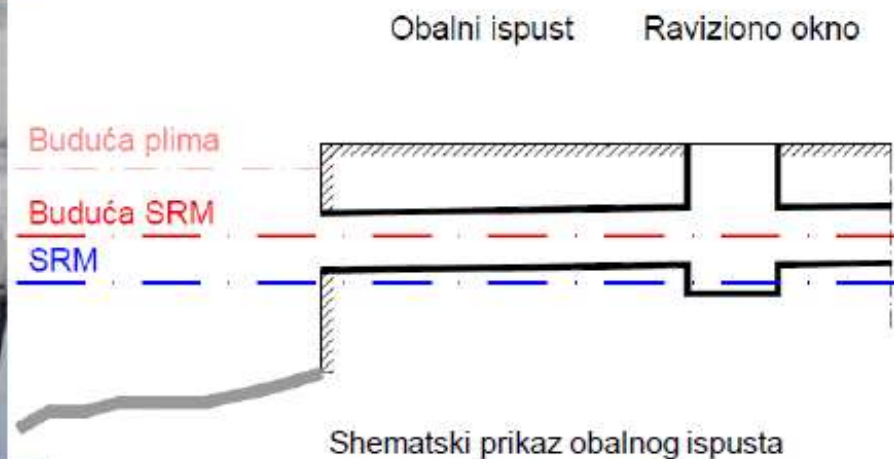


Izvor: RTL i Nacional



Slika: obalni ispusti oborinske odvodnje (Kaštel Sućurac)

## URBANA (KOMUNALNA) ODVODNJA



Podizanje razine mora:

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

(Ljubenkov, 2017)

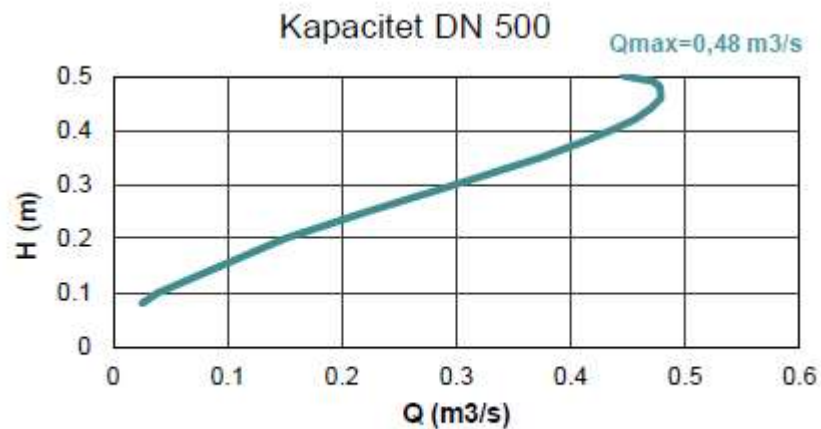
## Kapacitet ispusta

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

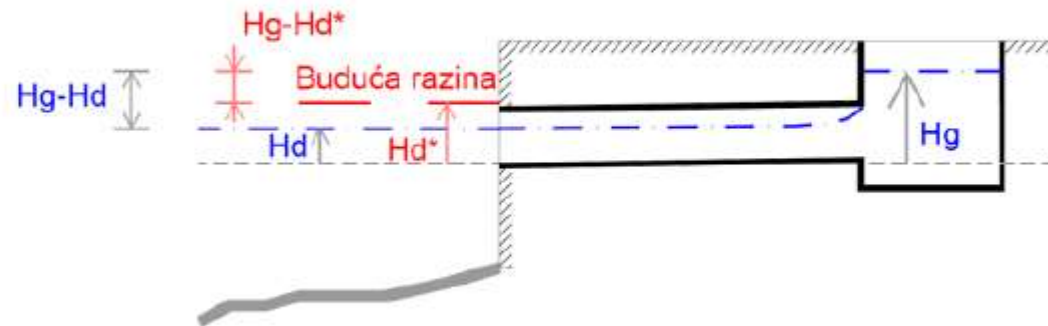
### Istjecanje:

- Nepotopljeno,
- Potopljeno,

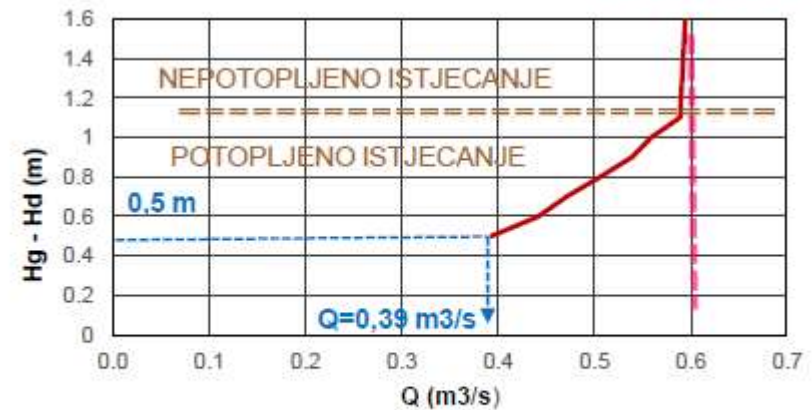
Primjer: DN 500,  $I = 1\%$ ,  $n = 0,011$   
(tečenje sa slobodnim vodnim licem)



## Obalni ispust



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

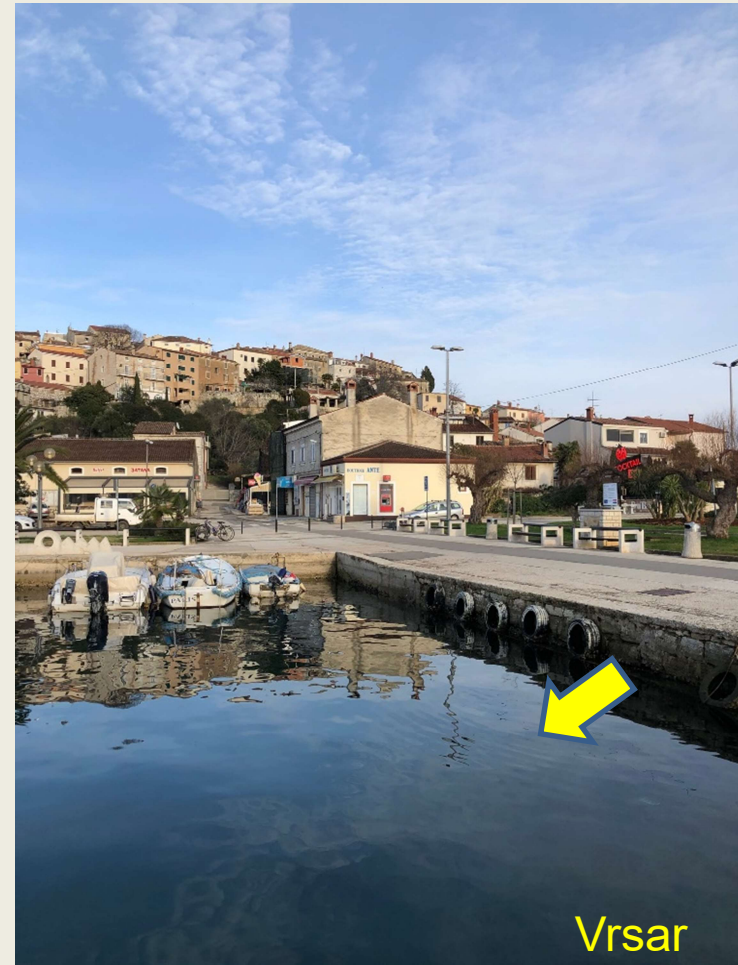


$H_g = 1,6 \text{ m}$ ,  $H_d = 0$ , slobodno istjecanje,  $Q = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$

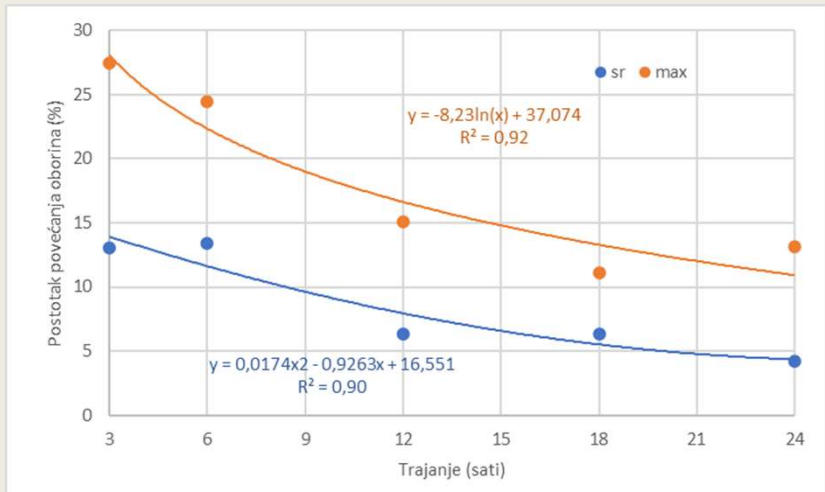
$H_g = 1,6 \text{ m}$ ,  $H_d = 1,1 \text{ m}$ , potopljeno istjecanje,  $Q = 0,39 \text{ m}^3/\text{s}$  (smanjenje 35%)

(Ljubenkov, 2017)

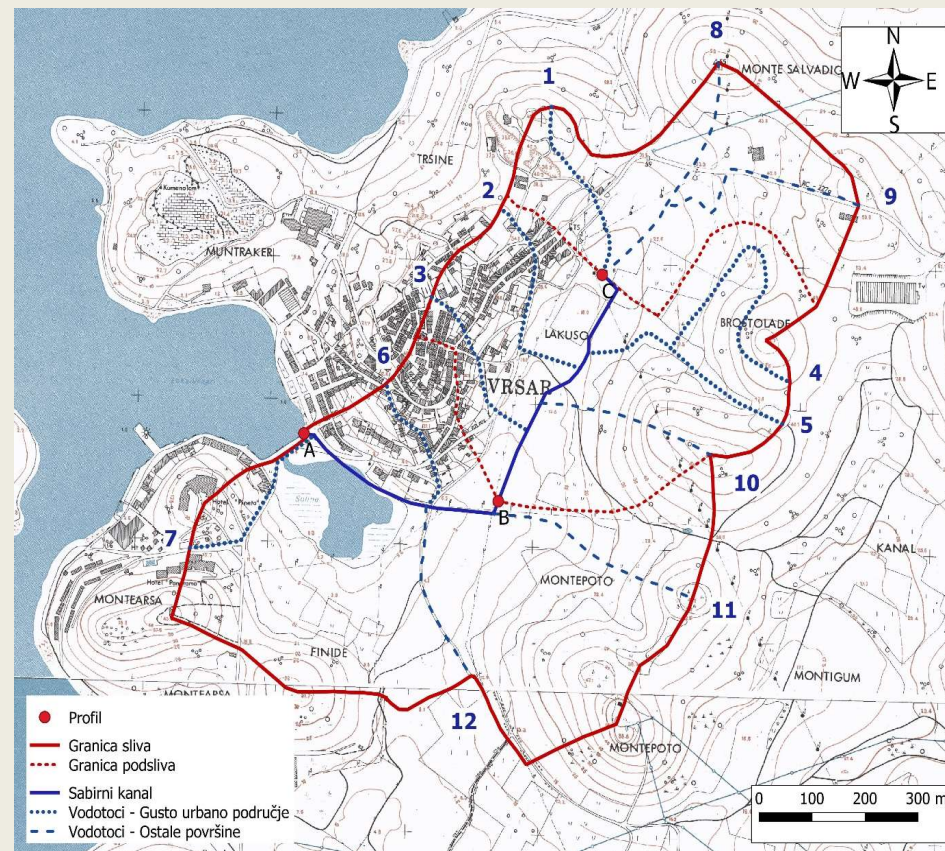
## Poplave na priobalnim urbanim područjima



# Vrsar – proračun odvodnje



Usporedni prikaz prosječnih i anvelope proračunatih maksimalnih promjena vjerojatnosti pojave kratkotrajnih jakih oborina 100-godišnjeg povratnog perioda

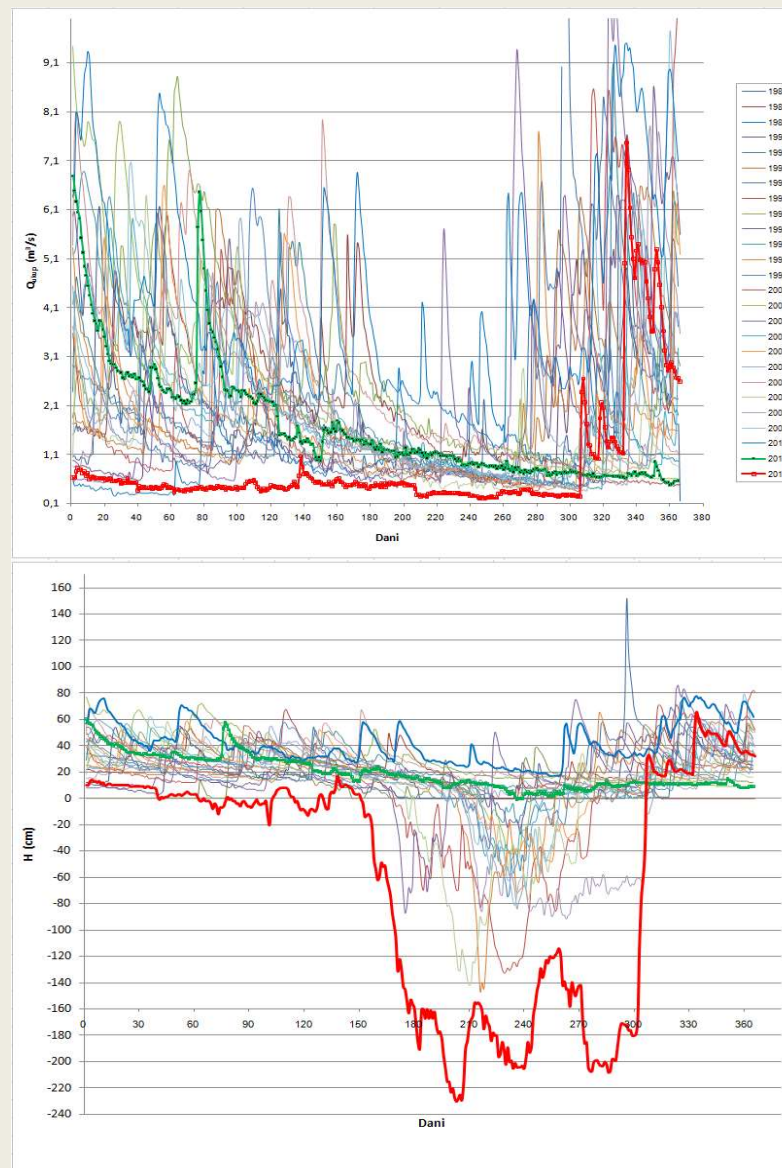


Povratni period / profil	Za povijesni niz (m³s⁻¹)	Uz očekivani utjecaj klimatskih promjena			
		SR (m³s⁻¹)	MAX (m³s⁻¹)	SR (% povećanja)	MAX (% povećanja)
A	4,9	5,7	6,7	16%	37%
B	3,4	4,1	4,8	21%	41%
C	1,0	1,3	1,6	30 %	60%

## Ekstremna suša 2011.-2012. u Istri – redukcija u vodoopskrbi



Izvor Gradole (8. 2012.)

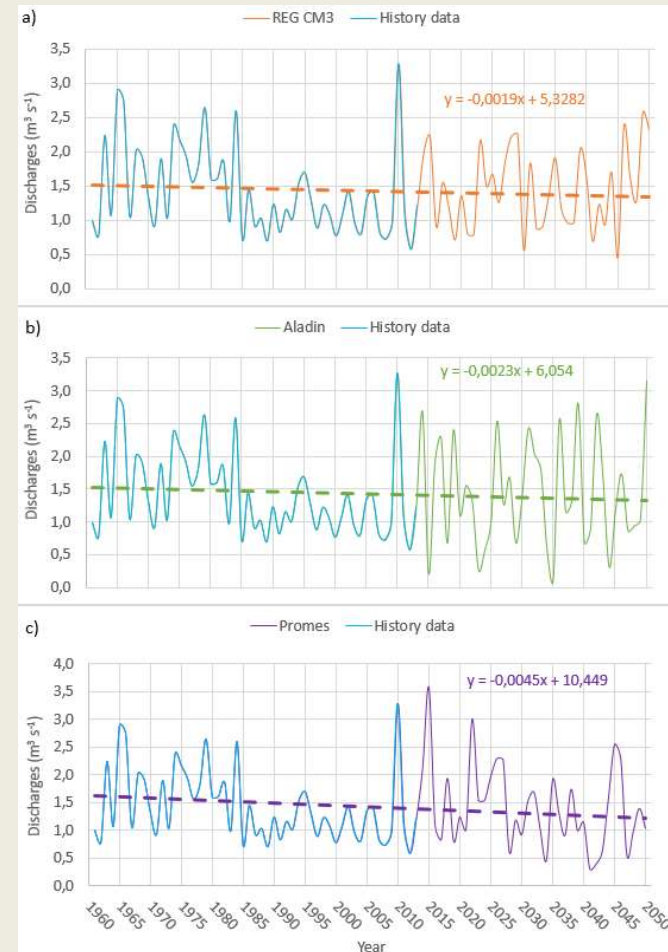


Povijesni nizovi nivograma i hidrograma izvora Gradole  
s istaknutim kritično sušnim godinama 2011. i 2012.





Akumulacija Butoniga – uobičajeno (gore) i u kolovozu 2012. (dolje) (<http://data.glasistre.hr>)



Prikaz povijesnih i prema različitim klimatskim modelima generiranih sintetičkih serija srednjih godišnjih protoka izvora u slivu Mirne (1961.-2050.) s pripadajućim trendovima prema modelima REG CM3, Promes i Aladin

### 3. EU Projekti prilagodbe klimatskim ekstremima



*The project is co-funded by the European Union, Instrument for Pre-Accession Assistance*



Strateški projekt **Networking for Drinking Water Supply in Adriatic Region (acronym DRINKADRIA)** je bio sufinanciran sredstvima EU (11.2013.-10.2016.) kroz program IPA Adriatic Cross Border Cooperation (CBC) 2007 – 2013.

- **Cilj projekta:** Izraditi podloge za procedure za sigurnu (prekograničnu) vodoopskrbu imajući istovremeno u vidu upravljanje vodnim resursima u prekograničnom kontekstu uzimajući u obzir **klimatske promjene** i specifičan socio-ekonomski kontekst regije, unaprijediti vodoopskrbne sustave.

**Integrated heavy rain risk management (acronym RAINMAN) – INTERREG Central Europe (7.2017.-6.2020.)**

- **Ciljevi projekta:** Unaprijediti integralno upravljanje u javnom sektoru u svrhu **ublažavanja rizika od kišnih događaja jakih intenziteta,**
- Razviti nove alate i metode za procjenu, kartiranje i smanjenje rizika od jakih oborina, i alate za brzo predviđanje i alarmiranje u slučaju pojava obilnih oborina te unaprediti mehanizme za interventno djelovanje.





DRINK ADRIA

## RP4 - Prekogranično upravljanje vodnim resursima



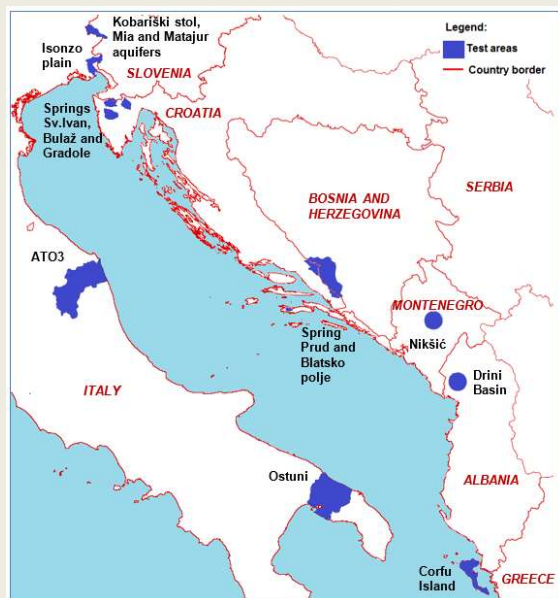
**Indeks iskoristivosti vode WEI izračunat za 4 različita scenarija potreba za vodom i raspoloživih vodnih resursa**

$$WEI_1 = WD_0 / WR_{1961 - 1990}$$

$$WEI_2 = WD_0 / WR_{2021 - 2050}$$

$$WEI_3 = WD_1 / WR_{2021 - 2050}$$

$$WEI_4 = WD_2 / WR_{2021 - 2050}$$



WEI od - do		Napomena
0	0.5	Nizak rizik
0.51	0.7	Mogući problemi
0.71	1	Visok rizik
>1		Neodrživo

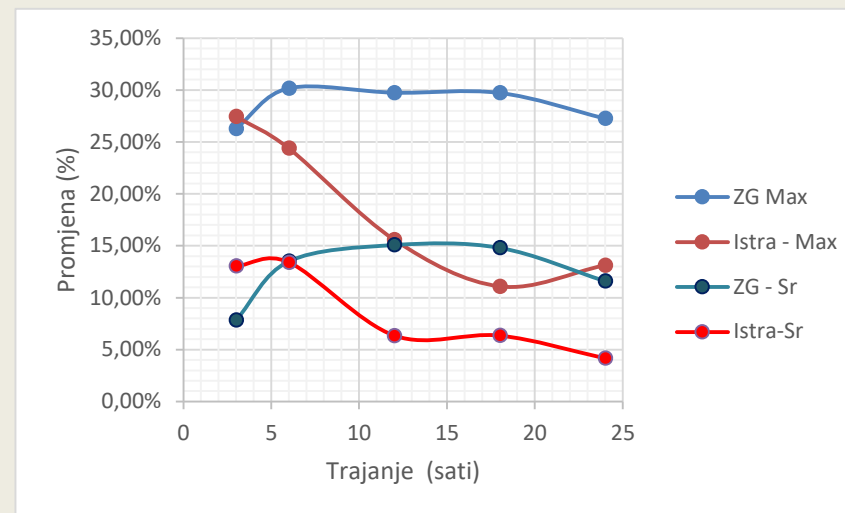
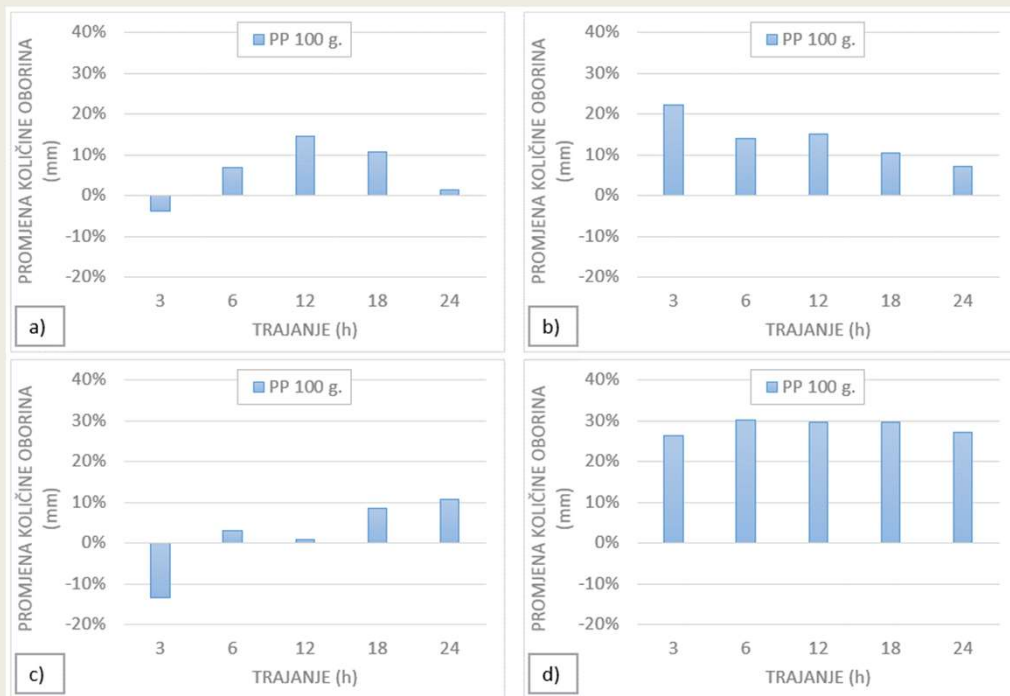
Country	Test area		WEI <sub>1</sub>		Climate models	WEI <sub>2</sub>		WEI <sub>3</sub>		WEI <sub>4</sub>	
			Total use	Drinking water		Total use	Drinking water	Total use	Drinking water	Total use	Drinking water
Italy	Isonzo/Soča plain	AC	0.44	0.43	Expert evaluation	0.45	0.44	0.46	0.45	0.43	0.43
					RegCM3	0.90		1.13		0.68	
	Ostuni – Adriatic	AC	0.85		Aladin	1.08		1.35		0.81	
					Promes	1.13		1.42		0.85	
					RegCM3	1.04		1.30		0.78	
	Ostuni – Ionic	AC	0.98		Aladin	1.05		1.31		0.79	
				Promes	1.45		1.82		1.09		
				RegCM3	0.13	0.11	0.17	0.14	0.10	0.08	
Croatia	Northern Istria – springs Sv. Ivan, Bulaž and Gradole	AC	0.13	0.11	Aladin	0.14	0.12	0.17	0.15	0.10	0.09
					Promes	0.13	0.11	0.16	0.14	0.10	0.08
					RegCM3	0.63	0.54	0.79	0.67	0.49	0.41
		CRWR	0.59	0.50	Aladin	0.64	0.54	0.80	0.68	0.49	0.42
					Promes	0.69	0.59	0.86	0.73	0.53	0.45
					RegCM3	0.021		0.026		0.016	
	Southern Dalmatia – Prud spring	AC	0.020		Aladin	0.022		0.027		0.016	
					Promes	0.023		0.029		0.017	
					RegCM3	0.056		0.070		0.042	
		CRWR	0.052		Aladin	0.058		0.072		0.043	
					Promes	0.079		0.075		0.045	
					RegCM3	0.131		0.166		0.100	
Southern Dalmatia – Blatsko polje	AC	0.120		Aladin	0.145		0.183		0.111		
				Promes	0.153		0.194		0.117		
				RegCM3	1.095		1.381		0.833		
	CRWR	1.070		Aladin	1.150		1.450		0.875		
				Promes	1.179		1.487		0.897		
				RegCM3	0.092	0.086	0.153	0.143	0.092	0.086	
Greece	Corfu – GR0500010	AC	0.092	0.086	Expert evaluation	0.070	0.065	0.153	0.143	0.092	0.086
	Corfu – GR0500020	AC	0.175	0.100	Expert evaluation	0.133	0.075	0.292	0.166	0.175	0.100
	Corfu – GR0500030	AC	0.360	0.114	Expert evaluation	0.274	0.087	0.600	0.190	0.360	0.114



Partner u RH: Hrvatske vode

Obrada oborinskih podloga:  
 Građevinski fakultet u Rijeci i  
 DHMZ (2019)

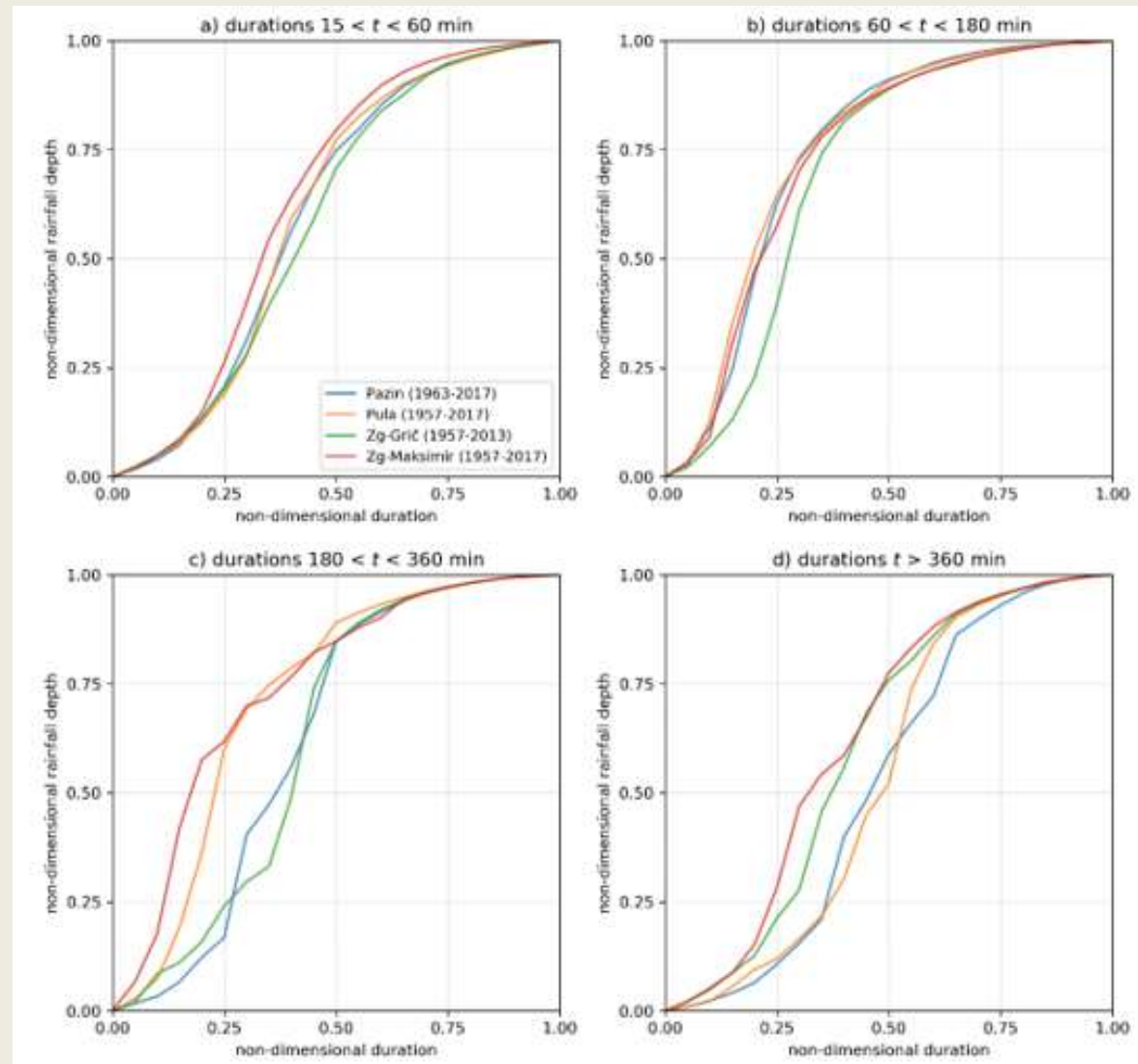




Uz definiranje HTP i ITP krivulja za povijesno razdoblje, provedene su i analize mogućih promjena značajki kratkotrajnih jakih oborina prema 4 različita klimatska modela - primjer Zagreba i usporedbe promjena 100 god PP prognoziranog budućeg stanja (2017.-2070) i povijesnog (1971.-2016.)

Usporedni prikaz prosječnih i anvelope proračunatih maksimalnih promjena vjerojatnosti pojave kratkotrajnih jakih oborina 100-godišnjeg povratnog perioda za postaje/lokalitete Zagreb i Istra/Rijeka

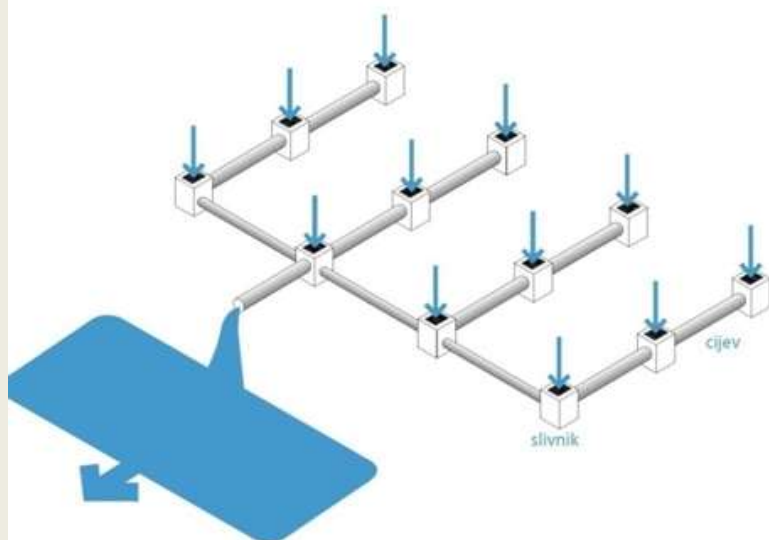
Definirani su oblici  
 pljuska za projektiranje  
 za 4 analizirane  
 lokacije kao temeljna  
 podloga za suvremene  
 proračune urbane  
 odvodnje koja vodi  
 računa o **ukupnim  
 volumenima** palih  
 oborina, a **ne samo o  
 vršnim protocima**



## 4. Mjere prilagodbe klimatskim promjenama – primjer integralnog pristupa u urbanoj odvodnji

tradicionalni pristup

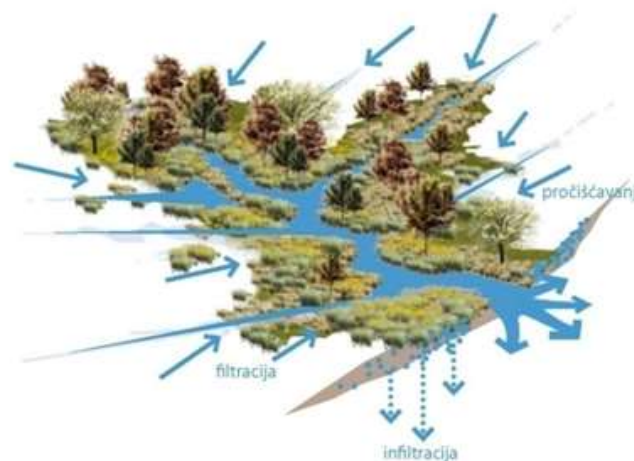
.... cijevima odvodi onečišćenje  
s jednog mjesta na drugo



tradicionalno upravljanje oborinske odvodnje:  
"oborinska odvodnja = cijev" - što dalje što brže

integralni pristup

.... pročišćava oborinsku  
vodu zelenim površinama  
na izvoru - parkovima, ne cijevima !



integralno upravljanje oborinama: slivni pristup  
uspore, rastereti, infiltriraj

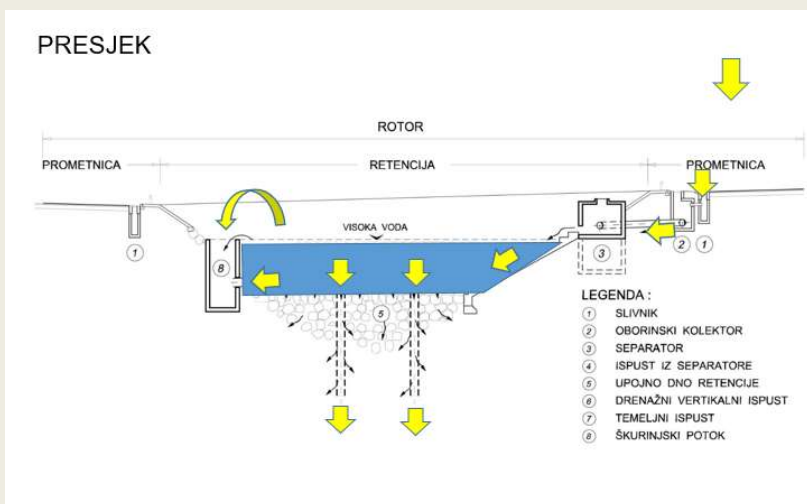
Izvor: (Uzelac, 2014)



## Zadržavanje oborina i infiltracijski sustavi



Graničnici umjesto rubnjaka na parkiralištu i infiltracijski jarak - Pula



## 5. Zaključci i prijedlozi

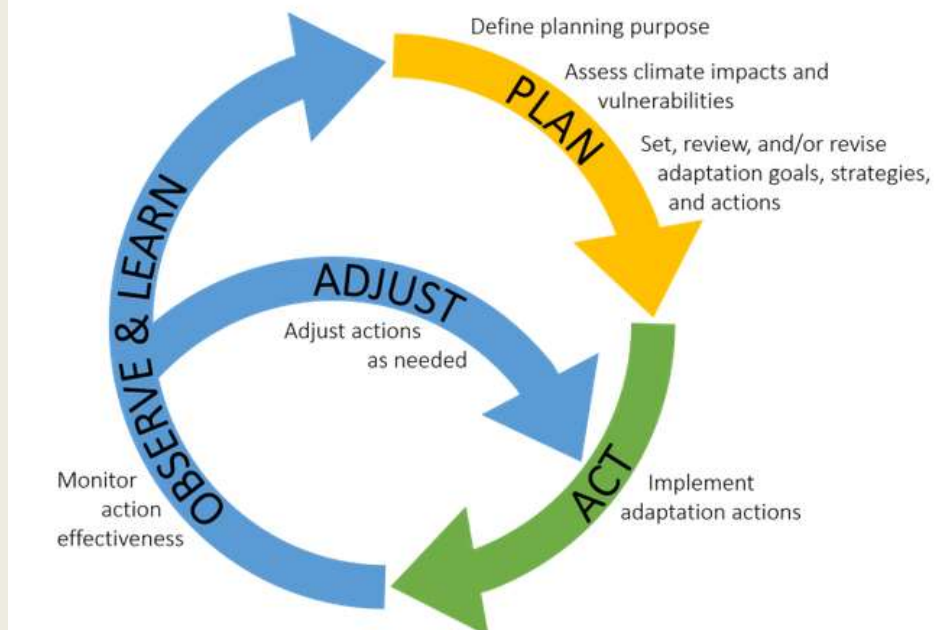
- **Klimatske promjene/varijacije su već danas prisutne i nužno ih je respektirati pri planiranju i projektiranju objekata i infrastrukturnih sustava u budućnosti.**
- Klimatske promjene nije dovoljno promatrati samo u kontekstu klimatoloških procjena, nego ih je **nužno kvantificirati i u ostalim segmentima vezanih uz vodne resurse** (ocjene promjena protoka, vodnih zaliha podzemnih voda, temperatura vode i slično..).
- Vezano za to postoji **dobar okvir** za provedbu takvih procjena (**Strategija prilagodbe RH klimatskim promjenama., 2020**), kao i realizaciju potrebnih mjera prilagodbe, no **on nije i dovoljan za konkretizaciju budućih aktivnosti.**
- **Istraživački projekti** koji tematiziraju problematiku klimatskih promjena, uglavnom vezani uz EU financiranja, daju mogućnost detaljnijeg istraživanja mogućih utjecaja klimatskih promjena i **dobivanja vrlo korisnih rezultata** za određena područja i probleme, pa i **razradu metodoloških pristupa**. No ni oni nisu dovoljni za **promjenu dosadašnje prakse i konačan početak projektnog uvažavanja klimatskih promjena u graditeljskoj struci.**



- **Osim promjena ulaznih parametara u projektnim rješenjima** koja uvažavaju utjecaj klimatskih promjena, nameće se i **potreba pronalaženja projektnih drugačijih rješenja od dosadašnjih tradicionalnih pristupa** – npr. kod odvodnje vezanih uz „plavu i zelenu infrastrukturu”, infiltracijske sustave i slično, a što stvara potrebu **integralnog pristupa** pri planiranju takvih rješenja, i veće uključenosti i drugih struka u različitim fazama projektiranja graditeljskih rješenja.
- **Veliku ulogu u svemu tome može i treba imati i HKIG, na način da se izrade smjernice za održivu gradnju u svrhu prilagodbe klimatskim promjenama u različitim domenama graditeljstva.**
- Posebno se to odnosi na **vodne resurse (hidrotehniku)** koji su u Strategiji prilagodbe ... apostrofirani kao jedan od najranjivijih sektora, ali i za ostale segmente graditeljstva i prostornog planiranja.



## Climate Change Adaptation Cycle



Izvor: <https://blackfeetclimatechange.com/our-environment/climate-change-adaptation-plan/>

**Hvala na vašem strpljenju!**