

# Vodoopskrbni zahvati na izvoru rijeke Jadro od antike do danas

PRIPREMILI:

Jure Margeta, Katja Marasović

Dovoljan minimalni kapacitet, dobra kakvoća vode te visinski položaj omogućili su izgradnju i rad vodoopskrbnih sustava na izvoru rijeke Jadro od antičkih vremena do danas, protoci na izvoru mijenjali su se u skladu s promjenama klime, a oduzimanje vode u skladu s razvojem regije, što je imalo različite utjecaje na održivost vodoopskrbe i biološku raznolikost rijeke Jadro

## Uvod

Za ostvarivanje životnih potreba ljudi potreban je cijeli niz materijalnih i nematerijalnih sredstava kao što su sigurnost prehrane (uključujući opskrbu pitkom vodom), opća dobrobit, prihodi, zaposlenost, smanjenje ranjivosti i jačanje otpornosti. To, među ostalim, uključuje fizikalni kapital/sredstva koja čine infrastrukturu: vodoopskrbu, odvodnju otpadnih voda, ceste, stambene objekte i drugo. Sredstvima/kapitalom ljudi osiguravaju opskrbu resursima i prihode. Tijekom vremena životni se ciljevi mijenjaju, ali egzistencijalni uvijek ostaju isti. Tako su u antici za većinu stanovništva najvažniji bili poljoprivreda i aktivnosti vezane uz osiguranje prirodnih resursa važnih za život. Danas je problematika složenija i zahtjevnija jer se traže i drugi resursi poput električne energije i sintetičkih materijala.

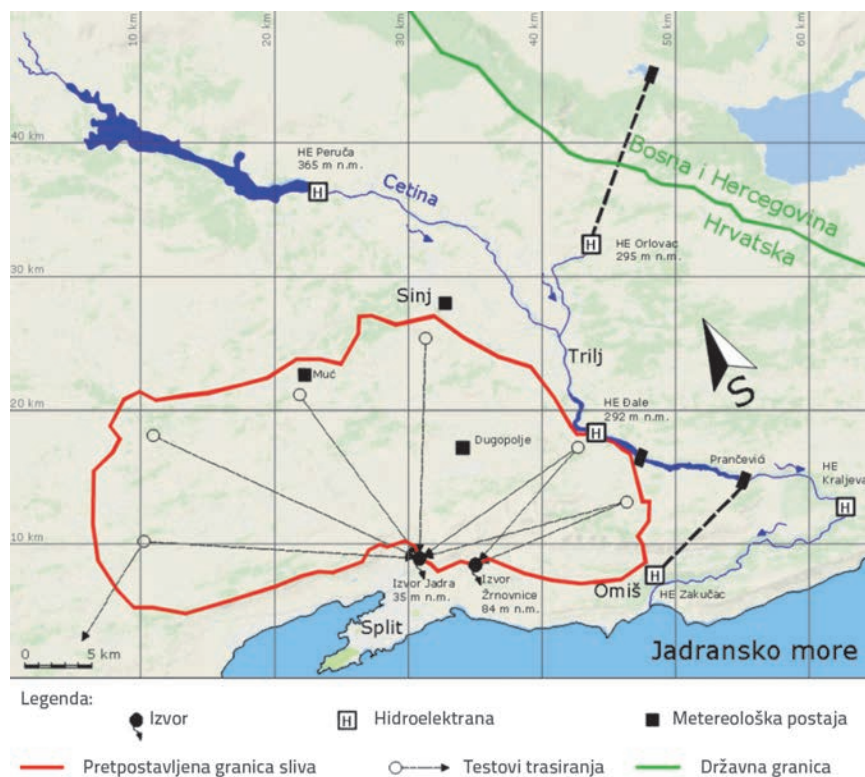
U urbanom prostoru stalno se događa interakcija infrastrukture i prirodnoga okoliša, a opseg i jačina interakcije ovise o ljudskim potrebama i značajkama prirodnoga i urbanoga sustava

Zbog toga se na neke urbanom prostoru stalno događa interakcija infrastrukture i prirodnoga okoliša. Opseg i

jačina interakcije ovise o ljudskim potrebama i značajkama prirodnoga i urbanoga sustava, a imaju različite posljedice na sigurnost okoliša i održivost življenja. Istodobno lokalni sustavi rade pritisak i na globalni okoliš, mijenjajući njegove značajke, a to je zadnjih desetljeća posebno uočljivo u promjeni klime. U konačnici pritisak okoliša može biti toliki da ugrožava održivost u neke urbanom

sustavu. Zato je neophodno ostvariti sigurnost životne sredine, odnosno održivu ravnotežu između čovjekovih potreba i kapaciteta okoliša [1]. U osnovi je riječ o učinkovitoj integraciji prirodnoga i izgrađenoga sustava kao i drugih sustava koji podržavaju održivo življenje na nekome prostoru.

Odnos između življenja i vode složen je i raznolik, a ovisi o karakteristikama urbanoga sustava i njegova okoliša, lokalnog i globalnog te o političkome okviru. Voda kao potpora življenju odnosi se na vodu za piće, sanitarne potrebe/odvodnju, zdravlje, industriju, poljoprivredu, ribarstvo, šumarstvo i raznovrsnost prihoda. Življenje pak utječe na vode infrastrukturom, radom, politikom prema vodi, redistribucijom vode i kulturnim aktivnostima. Životne aktivnosti stalno utječu na



Slika 1. Sliv izvora Jadra

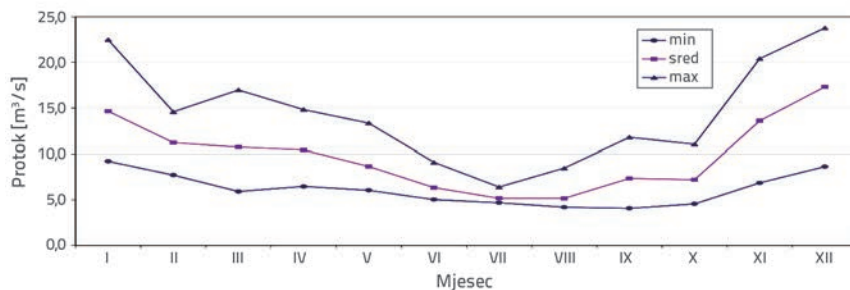
vode, a voda na življenje pa je neophodno kontrolirati taj odnos i ostvariti održivu ravnotežu.

Voda kao potpora življenju odnosi se na vodu za piće, sanitarne potrebe/odvodnju, zdravlje, industriju, poljoprivredu, ribarstvo, šumarstvo

Tema je ovoga priloga vodna infrastruktura urbanoga sustava, preciznije vodoopskrba, odnosno utjecaj izvora rijeke Jadro na održivost življenja na širem području Splita (slika 1.). Na tom se području već više od 2100 godina održava dobra ravnoteža između čovjekovih potreba/pritiska na okoliš i okoliša prema čovjeku. Ta je ravnoteža omogućila kontinuirani razvoj urbanih sredina poput antičke Salone, glavnoga grada rimske provincije Dalmacije, te Dioklecijanove palače iz koje se razvio grad Split, danas drugi grad po veličini u Hrvatskoj. Riječ je o području koje se stalno i uglavnom skladno razvijalo do današnjeg vremena. Izvor Jadra resurs je pitke vode koji se s prekidima koristi od 1. st. pr. Kr. do danas. Povoljne prirodne značajke toga izvora (kakvoća, minimalne količine, energija) ključni su resursi za ostvarenje održivosti življenja u nastalim urbanim sredinama. U radu je objašnjen slijed razvoja vodoopskrbnih sustava i zahvatnih građevina na izvoru Jadra te njihov utjecaj na kvalitetu življenja u regiji od antike do danas.

### Izvor Jadra Hidrologija i klimatske promjene tijekom povijesti

Jadro je krški izvor vode s karakterističnim brzim i velikim oscilacijama protoka. Slivno područje izvora Jadra pripada Dinaridima, a karakteriziraju ga prevlast karbonatnih stijena i visoki stupanj tektonskih poremećaja te drugi tipični krški fenomeni. Slivno područje proteže se duboko u zaleđe Splitsko-dalmatinske županije. Zbog podzemnih i još uvijek nedovoljno poznatih veza slivno pod-



Slika 2. Karakteristične veličine srednjih mjesečnih protoka izvora Jadra u razdoblju od 1995. do 2001. [4]

Tablica 1. Karakteristične veličine protoka izvora Jadro prije i nakon izgradnje hidroelektrana na rijeci Cetini

Period	Srednji protok [m <sup>3</sup> /s]	Srednji maksimalni protok [m <sup>3</sup> /s]	Srednji minimalni protok [m <sup>3</sup> /s]
Nakon izgradnje HE-a	9,82	53,01	4,34
Prije izgradnje HE-a	8,64	32,78	3,79
Razlike (%)	+ 13,65	+ 61,71	+ 14,51

ručje Jadra u pravilu se sagledava zajedno sa slivnim područjem izvora Žrnovnice. Prema različitim autorima, ukupno slivno područje tih izvora je od 450 do 550 km<sup>2</sup>, gdje veća površina uključuje i područje vezano uz sliv rijeke Cetine [2, 3] (slika 1.).

Jadro je krški izvor vode s karakterističnim brzim i velikim oscilacijama protoka

Iako se izvor koristi dugo, nema pouzdanih povijesnih podataka o protoku izvora. Prema raspoloživim podacima, srednji je dnevni protok 9,82 m<sup>3</sup>/s (slika 2.). Srednji protok u kolovozu, kada je izdašnost najmanja, iznosi oko 5,17 m<sup>3</sup>/s. U zimskim mjesecima, kada su oborine najveće, srednji mjesečni protok (u prosincu) iznosi 17,31 m<sup>3</sup>/s. Najmanji zabilježeni protok bio je 3,72 m<sup>3</sup>/s (1995.), a najveći 70,1 m<sup>3</sup>/s (2004.).

Režim voda Jadra općenito se može podijeliti u dva vremenska razdoblja:

- razdoblje prije 1960.
- razdoblje nakon 1960., kada je došlo do regulacije toka rijeke Cetine.

Hidrološkim istraživanjima provedenima 1954. utvrđeno je to da rijeka Cetina nema izravan utjecaj na vode Jadra [5]. Zbog toga se može smatrati da je prirodni režim voda Jadra postojao do 1960. Od 1960. prirodno se hidrološko stanje mijenja. Na rijeci Cetini grade se akumulacije i hidroelektrane: Peruča 1960., Prančevići 1962., Buško blato 1973. i Đale 1986. godine. Rezultat je povećanje protoka izvora i pogoršanje kakvoće vode (tablica 1.).

Prije 1960. režim voda Cetine i Jadra bio je određen isključivo klimom, najviše oborinama. Prosječna godišnja temperatura iznosi 13 °C. Najviše su srednje mjesečne temperature u kolovozu (24,7 °C), a najniže u prosincu (5,8 °C). Srednja dnevna temperatura zraka mijenja se tijekom godine u rasponu od - 7,2 °C u siječnju i prosincu do 29,8 °C u srpnju i kolovozu. Mras se može pojaviti od listopada do travnja, prosječno 15 dana u godini. Oborinski režim ima sve karakteristike maritimnoga sredozemnoga kišnog tipa s osnovnom značajkom neravnomjernog rasporeda kiša tijekom godine. Od ukupnih godišnjih oborina, koje iznose oko 1200 mm, najveća količina padne u razdoblju od rujna do ožujka, oko dvije trećine ukupnih oborina.

Tijekom vremena klima se mijenjala i utjecala na hidrološke značajke izvora i druge značajke okoliša, a time i na održivost življenja. U preindustrijskome razdoblju klima je bila isključivo rezultat dvaju prirodnih klimatskih čimbenika, solarne radijacije i vulkanskih aktivnosti. U tome razdoblju čovjek nije imao utjecaja na klimu pa svojim djelovanjem nije utjecao na protoke izvora Jadra.

### Prije 1960. režim voda Cetine i Jadra bio je određen isključivo klimom, najviše oborinama

Međutim, klima je imala velik utjecaj na održivost življenja odnosno civilizacije. Najbolji primjer značenja djelovanja klime u tome smislu rast su i propast Rimskog Carstva. Za trajanja Rimskoga Carstva prevladalo je subatlantsko razdoblje, klimatsko razdoblje s hladnijim ljetima i blagim kišovitim zimama. Različiti pokazatelji ukazuju na malu varijabilnost klime u razdoblju od 100. pr. Kr. do 800. po. Kr. [6]. Iznimna klimatska stabilnost od 100. pr. Kr. do 200. po. Kr. označava stoljeća stabilnosti i uspona Rimskog Carstva. Razdoblje između 200. i 400. može se okarakterizirati kao razdoblje nestabilnosti i početak obnove stabilnosti. Kao rezultat vulkanskih aktivnosti u 3. st. započelo je zahlađenje. Nakon nekoliko toplih godina od 221. do 231. došlo je do oštrog zahlađenja od 243. do 253. godine. Hladno vrijeme trajalo je do 315. kada se stanje stabiliziralo, a potom je oko 365. započelo zatopljenje. Od 400. do 600. ponovno se javlja klimatska nestabilnost. U tom je razdoblju bilo nekoliko podrazdoblja s naglim promjenama klime, a te su promjene bile uzrokovane vulkanskim aktivnostima, posebno 536., 540. i 547. godine. Nakon razdoblja s vlažnih ljetima, od 450. nastupila je ekstremna suša koja je trajala gotovo dva stoljeća. U tom je razdoblju Rimsko Carstvo bilo suočeno s političkim, vojnim, i financijskim krizama te s fazama obnove i stabilnosti. Pogoršanje klime pojavom suhog i hladnog vremena možda je dovelo do

kretanja Huna prema zapadu, do migracije germanskih plemena i urušavanja Rimskog Carstva (476. pad Zapadnog Rimskog Carstva). To je razdoblje kada je Bizantsko Carstvo doseglo svoj vrhunac (Car Justinian 527. – 565.).

Promjene klime mijenjale su režim voda na izvoru Jadra i utjecale na rad ondašnjih zahvata. Zahvati su se stalno morali prilagođavati novim stanjima. Prilagođavanje je bilo uspješno jer su vodoopskrbni sustavi Salone i Dioklecijanova vodovoda funkcionirali sve do 7. stoljeća.

Prirodni su procesi utjecali i mijenjali klimu od 700. do 19. stoljeća. Od 500. do 1250. traje srednje subatlantsko klimatsko razdoblje, a u povijesti je to vrijeme slavenskih migracija. To je vrijeme dolaska Hrvata na Jadran i vrijeme hrvatskih vladara u Dalmaciji. U 7. st. srušeni su rimski gradovi na tome području, a među njima i Salona. Tada su srušeni i vodoopskrbni sustavi Jadra. Nakon hladnijega razdoblja od 800. do 1200. došlo je do zatopljenja i klima je postala slična onoj koja je vladala u doba najvećeg procvata Rimskoga Carstva. To je razdoblje ranoga i razvijena srednjeg vijeka bilo klimatski stabilno i povoljno za proizvodnju hrane te za razvoj gradova, civilizacije i kulture. U drugoj polovini 13. st. došlo je do zahlađenja zbog erupcije više vulkana. U Europi je to uzrokovalo smanjenje opsega proizvodnje hrane, nevremena, bolesti, a time i socijalno-ekonomske probleme. Potom je došlo do kraćeg zatopljenja, nakon kojega je stiglo razdoblje takozvanoga malog ledenog doba od 1250. do 1850. koje je rezultiralo velikim promjenama u Europi. Na kraju toga razdoblja započela je industrijska revolucija i s njom sve veći utjecaj čovjeka na klimu i okoliš. Od 1850. do danas temperatura je rasla, stvarajući moderni klimatski optimum.

### Promjene klime mijenjale su režim voda na izvoru Jadra i utjecale na rad ondašnjih zahvata koji su se stalno morali prilagođavati novim stanjima

Danas čovjek sve više utječe na zatopljenje koje nastaje kao rezultat rasta industrijalizacije i ispuštanja stakleničkih plinova. To se posebno odnosi na zadnjih stotinu godina [7]. Zatopljenje je posebno izraženo od 1970. i traje do danas. Prema IPCC-u i NASA-i, intenzivno zatopljenje neće se smanjiti do kraja 21. stoljeća [7]. Od 7. do 19. st. izvor Jadra nije se zahvaćao pa navedene promjene klime nisu utjecale na vodoopskrbne sustave, ali jesu na povijest toga područja. To je vrijeme znatne stagnacije i smanjenja broja stanovnika u odnosu na antiku. Mlađe subatlantsko klimatsko razdoblje, od 1880. do danas, vrijeme je u kojemu se Jadro ponovno koristi za vodoopskrbu.

### Danas čovjek sve više utječe na zatopljenje koje nastaje kao rezultat rasta industrijalizacije i ispuštanja stakleničkih plinova

Može se pretpostaviti to da su karakteristični protoci izvora Jadro do 19. st. bili donekle slični protocima prije izgradnje hidroelektrana na rijeci Cetini (tablica 1.). Protoci su bili manji, posebno oni maksimalni. U tome dugom razdoblju bilo je hladnijih i toplijih, sušnijih i vlažnijih godina, ali dominirala je klima slična klimi Csb (mediteranska klima), prema Koppenovoj klasifikaciji [8]. Konkretnih kronoloških zapisa protoka nema jer je nakon raspada Rimskog Carstva na ovim prostorima zavladao nestabilnost u kojoj su se lokalni i regionalni vladari često mijenjali, ne uspijevajući organizirati dugoročnu i stabilnu vlast ni razvoj veće urbane sredine.

#### Kakvoća vode

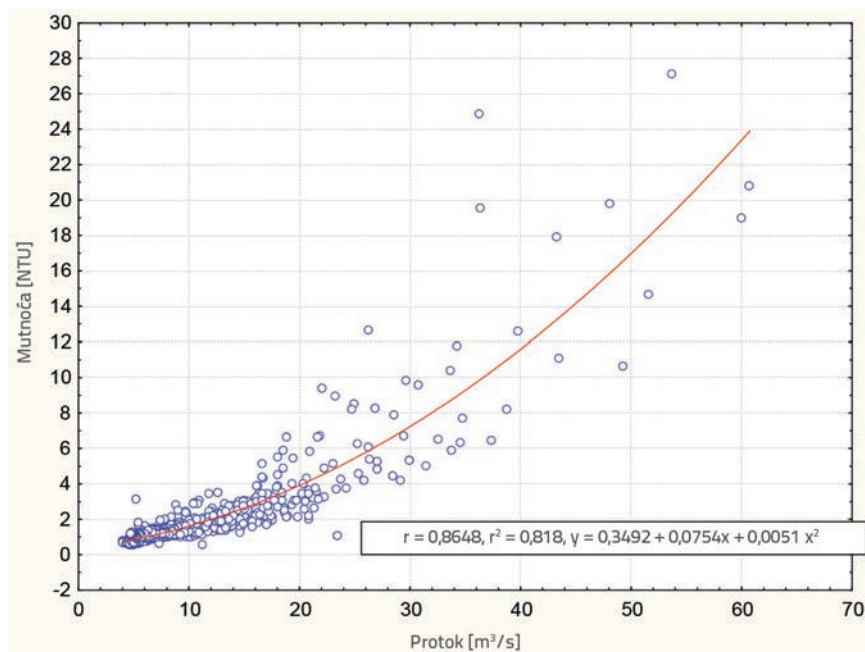
Voda izvora Jadra svrstava se u skupinu izrazito krških pukotinskih voda podložnih zamućivanju. To su vode kalcijsko-hidrokarbonatnog tipa. Sadržavaju mali isprani ostatak, male su mineralizacije, imaju malu ukupnu (11,9 – 12,3 °nj) i karbonatnu tvrdoću (10,3 – 11,0 CaCO<sub>3</sub>/l, meke ili umjereno tvrde vode), sadrže malo otopljenog CO<sub>2</sub>, klorida i sulfata [9].

### Voda izvora Jadra svrstava se u skupinu izrazito krških pukotinskih voda podložnih замуćivanju, to su vode kalcijско-hidrokarbonatnog tipa

Varijabilnost osnovnoga ionskog sastava, stanja zasićenosti i parcijalnog pritiska CO<sub>2</sub> praćena tijekom godina na izvorima Jadra i Žrnovnice, pokazatelj je nedovoljne homogenizacije i relativno kratkog vremena zadržavanja vode u vodonosniku, odnosno brzog prolaza svakoga novog doprinosa kroz vodonosnik [10]. Osnovna značajka vrijednosti svih pokazatelja kakvoće vode uglavnom je velika promjenjivost, i to godišnja i sezonska. Temperatura vode je oko 14 °C uz manje varijacije tijekom godine. Zbog znatnog pritiska onečišćivača u slivu koncentracija nitrata i organskih tvari stalno raste zadnjih tridesetak godina. Trend onečišćenja voda nastavit će se sve dok se u slivnome području ne izgrade kanalizacije i uređaji za pročišćavanje otpadnih voda te dok se ne provedu ostale mjere zaštite voda i okoliša. Mutnoća vode sezonskog je karaktera i rezultat intenziteta oborina koje se jav-

ljaju u slivu. Protok na izvoru brzo raste pojavom oborina u slivu, posebno kada je vodonosnik pun [4]. Na isti način raste i mutnoća. Za oborina dolazi do ispiranja onečišćenja na površini sliva, ali i taloga u podzemlju koji se potom brzo javlja na izvoru. To je osobito izraženo nakon dužih razdoblja bez kiše. Na prikazanom je dijagramu (slika 3.) jasno izražena korelacija između protoka i mutnoće vode.

Veličina kros-korelacije visoka je za r<sub>0</sub>=0,85, korak od jednog dana r<sub>1</sub> = 0,72, i korak od dvaju dana r<sub>2</sub> = 0,6. Ovisnost odnosno koeficijent korelacije između specifičnih pokazatelja (mutnoće, KMnO<sub>4</sub>, BOD<sub>5</sub>, nitrata N, fosfora P) vrlo je nizak; nitrata i mutnoće 0,31, a za ostale pokazatelje još je i manji. Kakvoća vode rezultat je i miješanja površinskih voda rijeke Cetine i lokalnih voda izvora Jadra. Na temelju podataka u tablici 1. može se procijeniti to da današnji protok izvora Jadra čini prosječno oko 14 posto voda rijeke Cetine, dok udio s porastom protoka raste i više od 30 posto pa su tada negativni utjecaji na kakvoću vode i najveći. Očito je to da rijeka Cetina ima velik utjecaj na kakvoću voda izvora Jadra i problem kakvoće vode mora se sagledati u toj ovisnosti.



Slika 3. Nelinearna regresija mutnoće i protoka [11]

### Trend onečišćenja voda nastavit će se sve dok se u slivnome području ne izgrade kanalizacije i uređaji za pročišćavanje otpadnih voda te dok se ne provedu ostale mjere zaštite voda i okoliša

Utvrđena povezanost mutnoća – protok oduvijek je postojala. Tako je bilo i u antičici. Ako su u to vrijeme ekstremni protoci bili znatno manji, s obzirom na zakonitost prezentiranu na slici 3., proizlazi da su ekstremne mutnoće bile manje, a kakvoća vode bolja.

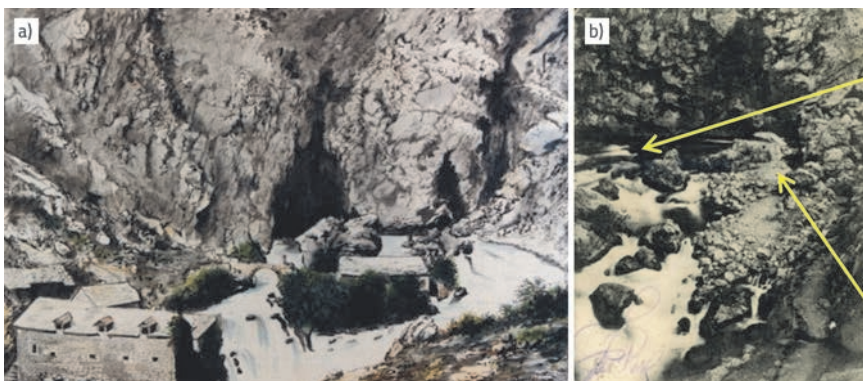
U antičko vrijeme i u razdoblju do 19. st. antropogeni pritisci na kakvoću vode bili su vrlo maleni pa je kakvoća bila bolja nego što je danas. Sliv je uglavnom bio siromašan vegetacijom. Naime, do 19. st. na tim je prostorima glavni izvor energije bilo drvo, a makija i drugo raslinje bili su hrana važna za prehranu domaćih životinja. Zbog toga je teren uglavnom bio siromašan vegetacijom, a dotok nutrijenata u podzemne vode bio je vrlo malen. Uz to, naseljenost je bila vrlo slaba. Bez obzira na to, voda Jadra se u rimsko doba pročišćavala.

### Geometrija izvora

Izvor Jadra sastoji se od površinskoga i podzemnoga potopljenog dijela. Podzemni je dio znatno veći i složeniji. Voda istječe iz plitke špilje na strmoj kamenoj padini iz više otvora različite veličine i kreće se kratkim, plitkim, nepravilnim i neravnim koritom do ravnoga šireg platoa s kojeg se strmo, u obliku slapova slijeva u udolinu gdje formira rijeku Jadro (slika 4.).

Neravno dno izvora nalazi se na kotama od 31 do 33 m n.m. Dno ispred izvora danas je zaravnjeno uglavnom na koti od 33 m n. m. Na njemu se u antičkome razdoblju nalazilo nekoliko većih i viših stijena oko kojih je voda otjecala i slijevala se u dolinu.

Izvorni izgled izvorišta nije poznat, ali se donekle može pretpostaviti kako je izgledao na temelju raspoloživih crteža i fotografija s kraja 19. st. (slika 4.). Izmje-



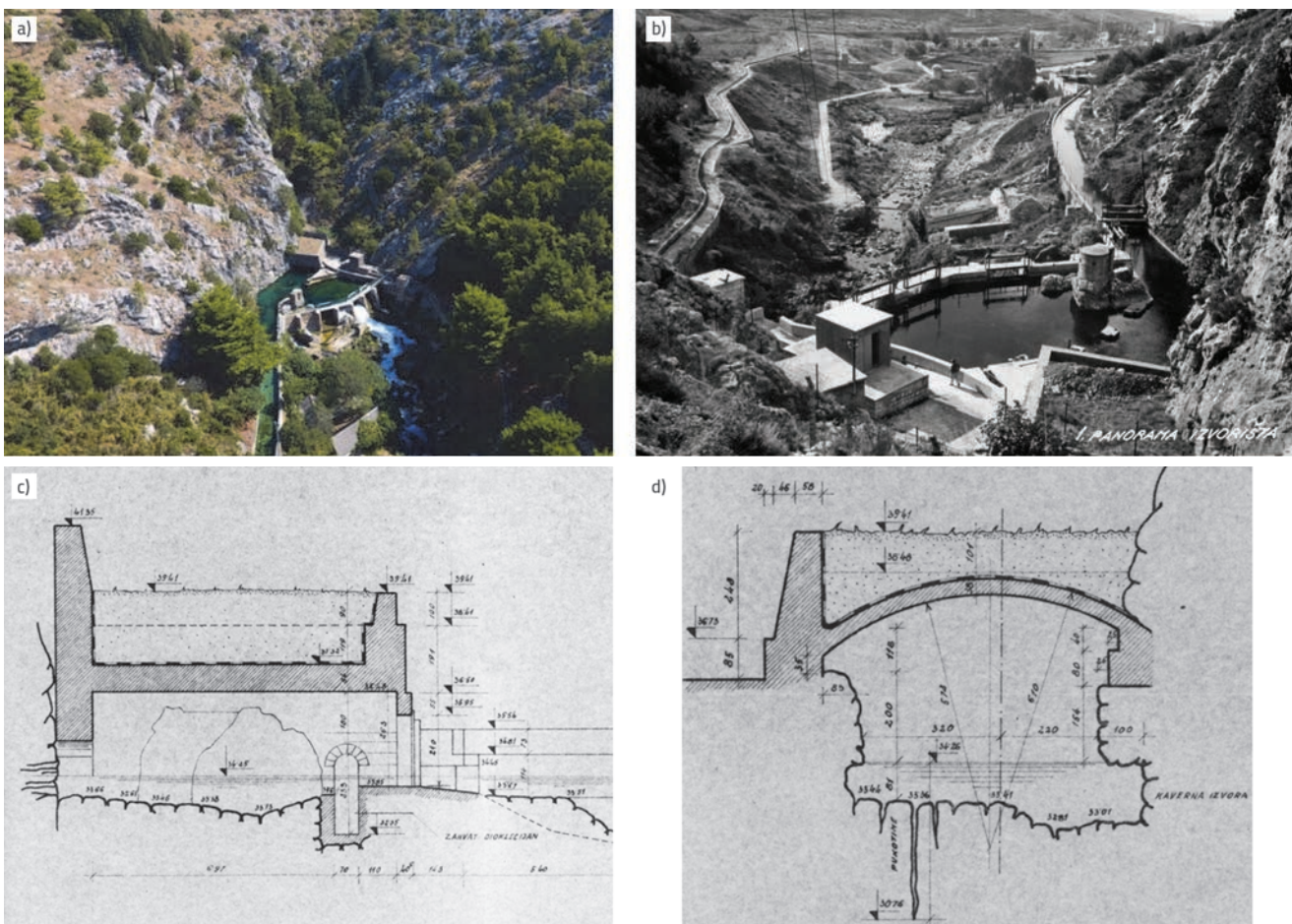
Slika 4. Izvor Jadra krajem 19. st. prije rekonstrukcije Dioklecijanova akvadukta: Crtež izvora E. Misera [12], b) Položaj Dioklecijanova zahvata (Muzej grada Splita)

ne geometrije izvora nisu se odnosile na izvorski/unutrašnji dio vapnenačke špilje, već više na izlazni prostor/korito izvora, a posebno na bočne stijene i sami plato ispred špilje. Danas izvor nije vidljiv jer je natkriven i zatvoren betonskom konstrukcijom duljine 10,25 m, širine 7 m i prosječne visine od oko 4 m (slika 5).

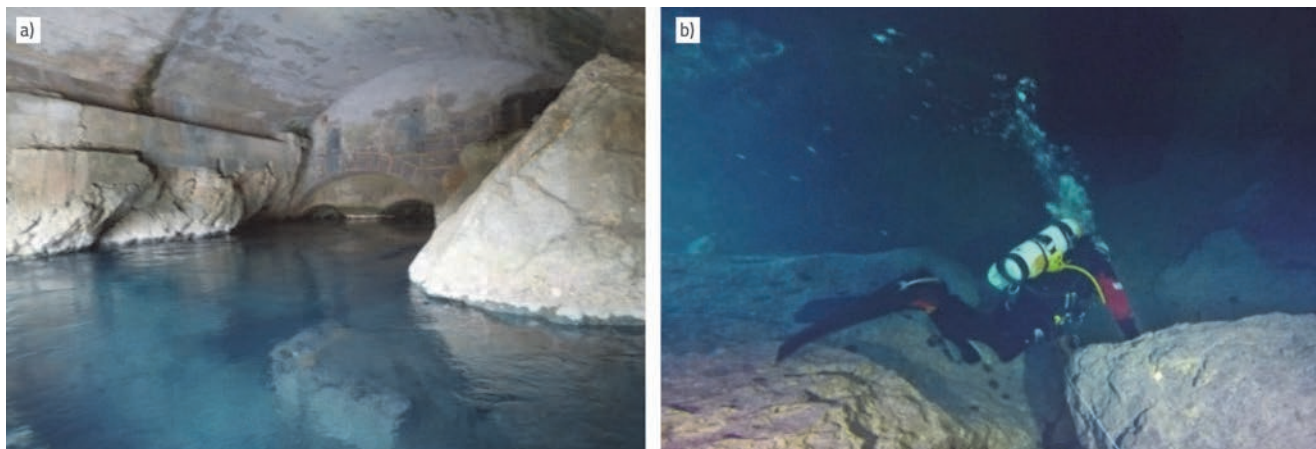
Potopljeni dio izvora vrlo je složen sustav otvora i kanala različitih dimenzija i još uvijek nije dovoljno istražen. Otvori iz kojih voda istječe duboki su i različitih dimenzija, a u jedan od njih bilo je moguće zaroniti (slika 6.) [14]. Ronioci su se spustili u 12 m duboki podzemni kanal dimenzija 10 x 4 m koji se koso spušta u

dubinu do 20 m. Nakon 80 m duljine kanal se nastavlja u nekoliko smjerova koji nisu istraženi.

Razina vode izvora varira u skladu s veličinom protoka. Koliki su bili protoci i razine vode u antičko vrijeme, kada su u funkciji bila dva vodovoda, može se pretpostaviti jedino na temelju obilježja klime. U klimatski stabilnome razdoblju od 100. pr. Kr. do 200. po. Kr. promjene protoka i razine vode bile su manje i predvidjivije nego u nestabilnome razdoblju od 200. do 400. i poslije, od 400. do 600. godine, kada su promjene klime bile velike. U cijelome tom razdoblju antički vodovodi radili su neprekidno, što znači da je izvor uvijek imao dovoljno vode za Salonu i Dioklecijanovu palaču. U moderno doba razina vode na izvoru određena je razinom vode akumulacije koja je izgrađena ispred izvora. Zbog akumulacije i betonske zaštite prirodni je izgled izvora nevidljiv.



Slika 5. Zahvat na izvoru rijeke Jadrano: a) Stanje 2016.; b) Stanje 1959. [13]; c) Uzdužni presjek 1959. [13]; d) Poprečni presjek 1959. [13]



Slika 6. Unutrašnji izgled izvora [14]: a) Pogled prema početku izvora; b) Duboki podvodni kanal u koji su ronionci ušli kroz najveći otvor na izvoru

**Povijesni slijed razvoja vodoopskrbnih sustava i zahvata Antika**

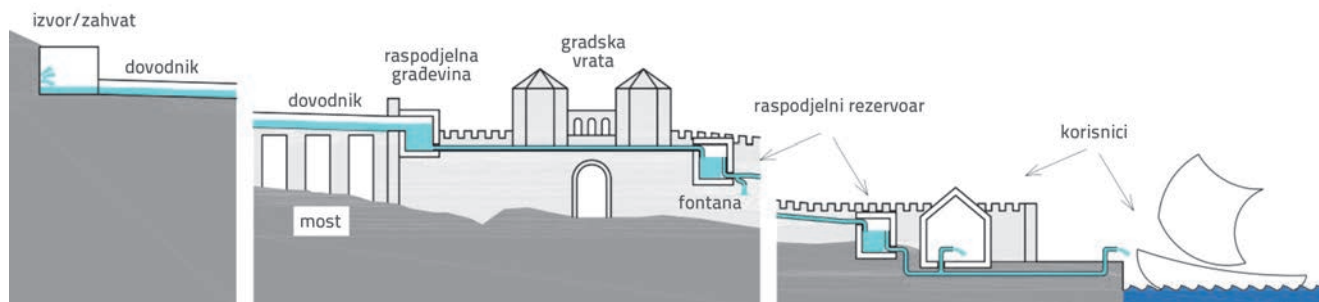
Organizirano korištenje vode izvora Jadrana za potrebe gradnje vodoopskrbnih sustava dijeli se u dva razdoblja. Prvo je razdoblje antike, i to od 1. st. pr. Kr. do 7. st. kada su funkcionirala dva rimska vodovoda, salonitanski položen desnom obalom rijeke Jadro te od 305. Dioklecijanov položen na lijevoj obali (slika 7.). Drugo je moderno razdoblje od 1880. do danas kada je u funkciji rekonstruirani Dioklecijanov vodovod uz stalne dogradnje i povećanje kapaciteta. U razdoblju od 7. st. do 1880. izvor se nije kaptirao za potrebe vodoopskrbnog sustava. U tome razdoblju na širem području Kaštelanskoga zaljeva nije postojao vodoopskrbni sustav, iako je postojao grad Split i više manjih naselja koja su 1880. imala oko 11.000 stanovnika [15]. U 1. st. pr .Kr. sagrađen je vodoopskrbni sustav Salone, uključujući akvadukt duži-



Slika 7. Antički vodovodi Salone i Dioklecijanove palače

ne oko 5 km od izvora do Salone. Dimenzije kanala variraju od 62 do 100 cm u širini i od 72 do 121 cm u visini, a kapacitet kod vode visoke od 50 cm iznosio je oko 450 l/s [16]. Taj je sustav sedam stoljeća pitkom vodom opskrbljivao Salonu i gospodarske posjede u njezinoj blizini, gdje je živjelo oko 60.000 stanovnika, više nego

što je Split imao 1950. godine. Salonitanski vodovod građen je u skladu s pravilima gradnje u razdoblju rane antike [17]. Sastojao se od triju osnovnih dijelova: a) zahvata b) glavnog odvodnika koji od zahvata kanalom sa slobodnim vodnim licem dovodi vodu do glavnog vodorazdjelnog



Slika 8. Osnovni tehnološki koncept vodovoda Salone

rezervoara u najvišjoj točki grada (*Castellum Aquae – Castellum divisorium*) c) gravitacijske raspodjele vode unutar grada tlačnim, uglavnom olovnim cijevima (slika 8.).

Tlak u vodovodnoj mreži eguliran je raspodjelnom građevinom/rezervoarom. Iz vodorazdjelnog rezervoara, voda unutar grada uglavnom se dijelila na tri podsustava:

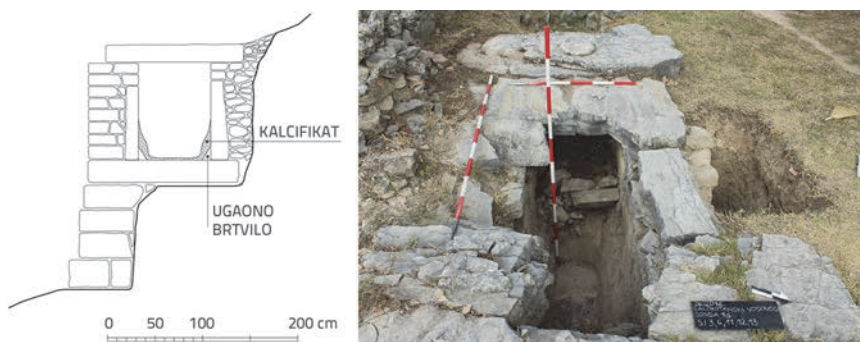
- podsustav kojim se voda raspodjeljuje stanovništvu putem javnih fontana
- podsustav kojim se voda raspodjeljuje gradskim termama
- podsustav kojim se voda raspodjeljuje privatnim korisnicima – kućama, obrtima i slično.

Cijeli vodoopskrbni sustav kontinuirano radi i voda stalno teče od izvora do fontana, a višak vode prelijeva se u odvodni sustav upotrijebljenih voda. Na taj se način osigurava stalna distribucija svježje vode i stalno ispiranje odvodnih kanala otpadnih voda. Time se stvaraju povoljni zdravstveni uvjeti u naselju.

Dovodni je kanal pratio teren na manjoj ili većoj dubini. Jedino pred zidinama grada bio je položen na most dužine oko 30 metara kako bi se ostvarila što viša kota raspodjelnog rezervoara, a time i što veće opskrbno područje.

Na velikome je dijelu kanala uzdužni pad uobičajen za antičke akvadukte i varira od 0,18 do 0,27 posto. Glavni opskrbni kanal građen je od vapnenačkih, grubo obrađenih masivnih kamenih ploča različitih dimenzija i debljine (slika 9.). Građevina je bila jednostavna i pouzdana te dobro zaštićena od vanjskih ugroza i oštećenja. Spoj donje ploče kanala s bočnim bio je brtvljen vodonepropusnom žbukom. Entropija takvoga vodoopskrbnog sustava bila je vrlo mala i on je uz standardno održavanje kontinuirano funkcionirao dulje od 700 godina, što je nezamislivo za današnje sustave. Najveći je problem bila kalcifikacija kanala koja je smanjivala njegov protočni profil.

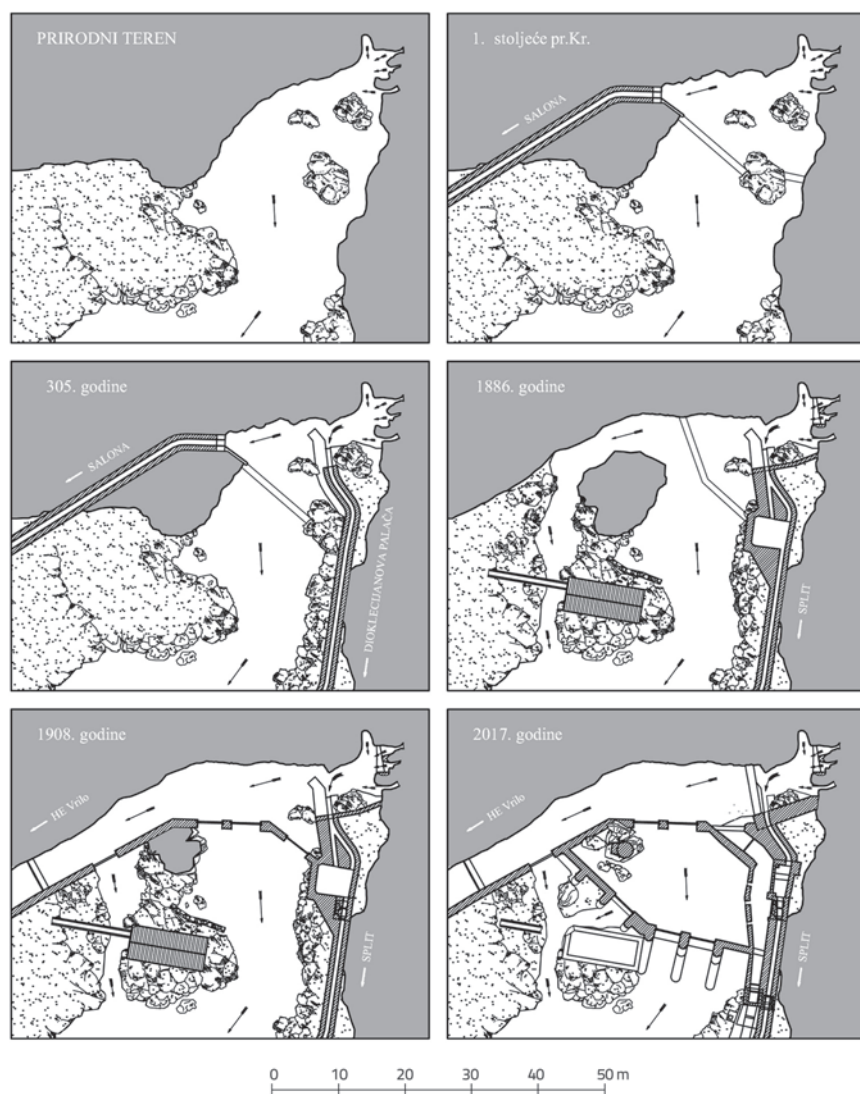
Zahvatna građevina bila je na desnoj obali, ali nije sačuvana. Uništena je tijekom gradnje dovodnoga kanala hidro-



Slika 9. Karakterističan presjek kanala akvadukta; današnji izgled srušenoga kanala [16]

elektrane Vrilo 1908. godine. Nažalost, nema sačuvanih ni crtanih ni pisanih podataka o izgledu samoga zahvata. Pretpostavlja se da je bila riječ o jedno-stavnome bočnom zahvatu do kojega je

voda iz otvora izvora dotjecala kanalom zasječnim u stijeni ili tunelom, a njegovi su tragovi vidljivi u podvodnome dijelu zahvata (slika 10.). Na taj je način osigurano pouzdano zahvaćanje vode kod ek-



Slika 10. Prostorni razvoj zahvatnih građevina na izvoru rijeke Jadro

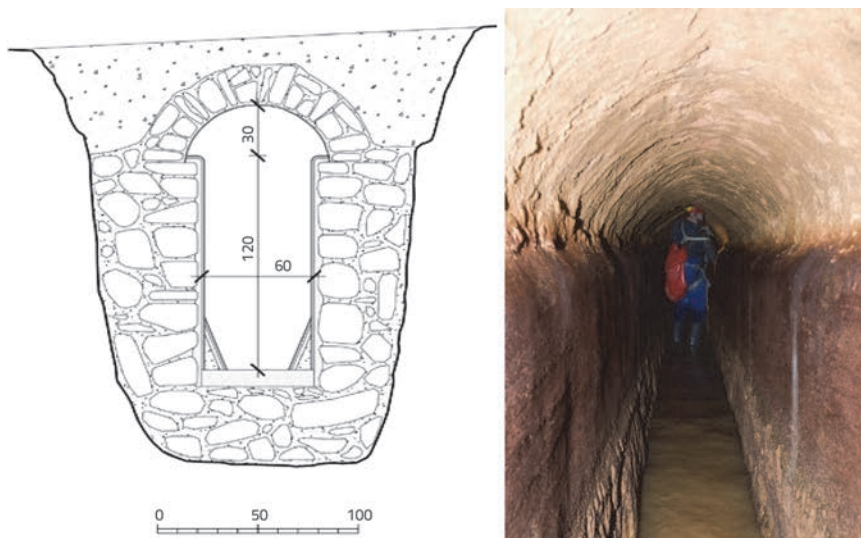
stremno malih voda. Nije poznato je li se voda nakon zahvaćanja pročišćavala jer su zahvat i početni dio dovodnika uništeni izgradnjom hidroelektrane.

Godine 305. izgrađen je vodovod Dioklecijanove palače. Akvadukt je bio dug 9,5 km, a dimenzija protočnog dijela kanala bila je 60/120 cm [18]. Osim carske palače sustav je gotovo četiri stoljeća vodom opskrbljivao okolna naselja i gospodarske posjede koji su se nalazili na trasi vodovoda. Dioklecijanov vodoopskrbni sustav gradio se u skladu s naprednim graditeljskim dometima kasne antike. Tehnološki koncept vodovoda isti je kao i u Saloni. Kada se krajem 19. st. rekonstruirao Dioklecijanov akvadukt, 35 posto kanala bilo je u cijelosti sačuvano (zajedno s izvornom antičkom žbukom), 25 posto trebalo je presvoditi, a 40 posto rekonstruirati.

Dioklecijanov vodoopskrbni sustav gradio se u skladu s naprednim graditeljskim dometima kasne antike, tehnološki koncept vodovoda isti je kao i u Saloni

Zahvatna građevina na izvoru Jadra nije bila sačuvana. U svojem izvještaju o Dioklecijanovu akvaduktu iz 1860. ing. Locati, koji je bio zadužen za njegovu obnovu, navodi da na izvoru nema nikakvih ostataka zidanih konstrukcija osim dna antičkoga kanala na nekoliko mjesta te zasjeka na hridima. Te se tragove može vidjeti i na fotografiji izvorišta s kraja 19. st., prije rekonstrukcije Dioklecijanova vodovoda (slika 4. b). Kanal je bio u cijelosti sačuvan na udaljenosti 70 m od izvora, a bio je visok 1,87 m i širok 0,63 m. Za razliku od salonitanskog, taj je kanal građen kao antička zidana konstrukcija korištenjem lokalnog materijala, uglavnom kamena vapnenca u vapnenome mortu i s unutarnje strane ožbukano s tri sloja vodonepropusne žbuke (slika 11.).

Prema crtežu zahvatnih građevina na izvoru Jadra iz 1908. (slika 12.), početna je točka dna rekonstruiranoga kanala na 32,17 m n.n.m., ali se u dužini od 11 m po-



Slika 11. Normalni poprečni presjek Dioklecijanova kanala

stupno penje do kote 32,80 m n.m. i otud blagim padom vodi prema Splitu. Zahvat je bio vrlo jednostavan i omogućavao je zahvaćanje vode i kod najmanjeg protoka izvora. To se postiglo tako da se u dnu zahvata zasjekla stijena do dubljih dijelova izvora. Kako bi se smanjila mutnoća, oko 500 m nizvodno od zahvata izgrađene su taložnice.

Uzdužni pad dovodnoga kanala varira 0,06 do 0,26 posto, ovisno o dionicama i o objektima na trasi [19] Kako bi se osiguralo tečenje sa slobodnim vodnim licem, bilo je neophodno izgraditi mostove za prijelaz udolina i tunele za svladavanje uzvisina. Izgrađena su četiri mosta ukupne duljine 670 m i četiri tunela ukupne duljine 1775 m. Maksimalni kapacitet kanala iznosi 700 l/s. U istraživanjima u Ulici Domo-vinskog rata 2013./2014. [20] pronađen je kanal akvadukta s izvornim antičkim kalcifikatom visine 72 cm koji dokazuje da je maksimalna količina vode korištena u Palači iznosila oko 300 l/s. Sjeverno od Palače, u njezinoj neposrednoj blizini bio je rezervoar za raspodjelu vode unutar Palače, na koti od oko 14 m n.m., čiji položaj još nije precizno utvrđen. Voda je u Palaču dotjecala tlačnim olovnicim cijevima, a višak se vode prelijevao u kanalizaciju.

#### Srednji vijek

Salonitanski kao i Dioklecijanov vodovod funkcionirali su sve do dolaska Avara i

Slavena u 7. st. [21]. U razdoblju od 7. do kraja 19. st., do vremena druge austrougarske uprave (1813. – 1918.), na tome području nije postojao vodoopskrbni sustav. U Splitu se uglavnom koristila kišnica, javni i privatni bunari na Dobriću, Klaićini, Manušu, Lučcu i na brojnim drugim lokacijama (više od 30), kojima bi se ljeti znatno smanjili kapacitet i kakvoća vode [22]. Jedini izvor i kratki potok koji ni ljeti ne bi presušio bilo je Kraljevo vrilo u uvali Trstenik. Zbog toga se ljeti voda dovozi-la s tog izvora ili s rijeke Jadro i skupo se prodavala. U tom je razdoblju vodoopskrba nazadovala, a količine vode bile su nedovoljne. Tadašnji Split nije imao kanalizaciju te su se zbog toga otpadne vode iz sabirnih jama i suhih sanitarnih uređaja procjeđivale do podzemnih voda od kojih su se neke koristile za vodoopskrbu. To je vodilo do nepovoljnih zdravstvenih uvjeta i do čestih oboljenja stanovništva.

Prvi prijedlog izgradnje vodovoda Splita izrađen je 1845. i u njemu su predložena četiri različita rješenja vodoopskrbe: objedinjavanje lokalnih bunara, gradnja novog dovodnika s izvora, zahvat rijeke Jadro i rekonstrukcija Dioklecijanova dovoda



Prvi prijedlog izgradnje vodovoda Splita izrađen je 1845. i u njemu su predložena četiri različita rješenja vodoopskrbe: objedinjavanje lokalnih bunara, gradnja novog dovodnika s izvora, zahvat rijeke Jadro nizvodno od izvora i rekonstrukcija Dioklecijanova dovoda. Tu je posljednju gorljivo zastupao arhitekt Vicko Andrić, prvi splitski konzervator. Posebno je isticao važnost tog pothvata kao važnog kulturnog doprinosa Carstvu. Njemu je 1855. gradonačelnik Splita Šimun Michieli Vitturi povjerio obnovu vodovoda, a na tom ga je poslu 1859. zamijenio općinski inženjer Locati. Samu obnovu pokrenuo je gradonačelnik dr. Antun Bajamonti 1867. godine. Osim vodoopskrbe grada vodovod je trebao poslužiti za navodnjavanje Splitskog polja, a osobito za potrebe splitskoga željezničkog kolodvora. Vodovod je pušten u rad 14. ožujka 1880. [23]. U cijelosti je poštovao trasu Dioklecijanova kanala, a na 500 m od Palače, na periferiji tadašnjega grada izgrađen je rezervoar. Od rezervoara prema gradu građena je vodoopskrbna mreža od lijevanoželjeznih cijevi. Sustav je u cjelini bio gravitacijski, od izvora do korisnika, jednako kao i rimski. Voda se većini stanovništva raspoređivala posredno, u gradu je bilo više od 25 fontana. Na području Kopilice izgrađeni su taložnici za pročišćavanje vode. U tome razdoblju intenzivnije se počela graditi i kanalizacija.

U sklopu obnove Dioklecijanova akvadukta sagrađen je novi zahvat vode koji se u cijelosti oslonio na osnovno rimsko rješenje. Zahvatni je kanal postavljen okomito u odnosu na istjecanje vode iz izvora (slike 10. i 12.). Godine 1885./1886. pred samim je zahvatom sagrađena niska barijera/prag, čiji se ostaci vide na dnu današnjeg jezera, a o čemu svjedoči natpis na hridi, postavljen točno iznad te barijere. Time se na zahvatu podigla razina vode i omogućilo veće dotjecanje u zahvatni kanal.

Nakon rekonstrukcije Dioklecijanova akvadukta, sljedeći veliki zahvat na izvoru Jadra bila je izgradnja gravitacijskoga kanala za potrebe HE-a Vrilo 1908. godine. Na desnoj je obali izvora izgrađen dovodni kanal kapaciteta 6000 l/s iznad

antičkoga kanala akvadukta Salone. Tada je neposredno iza izvora izgrađena prva betonska brana koja je regulirala razinu i protok vode u hidroelektranu i Splitski vodovod (slika 10.). Hidroelektrana je prestala s radom na kraju Drugog svjetskog rata. Obnovljena je 1989. i radila je samo nekoliko godina, a danas je ponovno izvan pogona.

### Moderno doba

Početkom 20. st. Split se kao glavni grad regije ubrzano razvijao i sve više širio na više kote terena. Tako je nastala potreba za gradnjom viših zona vodoopskrbe. U početku su se koristila hidroforska postrojenja izgrađena 1923. i 1924. godine.

Poslije je (od 1927. do 1931. godine) zbog povećanih potreba izgrađen CS Kopilica kojim se voda precrcpljivala u rezervoare Marjan i Gripe smještene na višim kotama [24]. Voda se do Kopilice i dalje do austrijske vodospreme u gradu dovodila gravitacijskim Dioklecijanovim kanalom koji se u više navrata dograđivao kako bi se povećali kapacitet i sigurnost opskrbe. U tom su razdoblju rekonstruirani i modernizirani postrojenja za obradu vode u Kopilici, taložnik i zahvatni bazen (2 x 1000 m<sup>3</sup>), rezervoar čiste vode (2700 m<sup>3</sup>), dva filtarska polja s prostorom za treći i crpna stanica s trima agregatima. Nažalost, kapacitet uređaja nije se povećavao pa je s vremenom obrađivao samo dio vode koja se trošila.



Slika 12. Vodni zahvati na izvoru Jadra 1908. (arhiva Cemexa)

Radi bolje regulacije protoka, između dvaju svjetskih ratova (1930. – 1935.) na samome izvoru podignuta je nova brana od armiranoga betona ispred izvorišta (slika 10.). Stara je brana bila izgrađena blizu izvora pa je kod velikih voda dolazilo do velikih turbulencija i ugrožavanja rada same brane. Osim toga, 1916. zavladao je ekstremno velika suša zbog koje se izdašnost izvora smanjila na 3 m<sup>3</sup>/s, čime je kapacitet zahvata bio ugrožen pa je trebalo povećati razinu vode na zahvatu. Tijekom 1946. nad samim je izvorom podignuta betonska zaštitna građevina koja je izvor osiguravala od odrona kamenja sa strmih litica [13]. Te su građevine znatno promijenile izgled izvora i režim istjecanja vode na području izvora. Problem su stvarale velike vode koje nisu mogle mogu neometano otjecati u rijeku Jadro pa je dolazilo do zagušenja istjecanja i velike turbulencije na izlazu iz betonskog objekta.

### S naglim razvojem splitske regije nakon Drugog svjetskog rata došlo je do znatnog proširenja vodoopskrbnog sustava

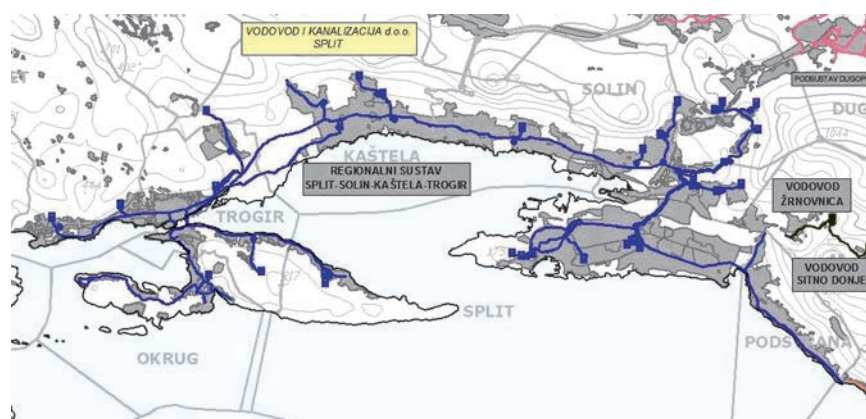
S naglim razvojem splitske regije nakon Drugog svjetskog rata došlo je do znatnog proširenja vodoopskrbnog sustava. To je razdoblje intenzivnog naseljavanja obalnog područja stanovništvom iz zaleđa i šire regije, a to se u manjoj ili većoj mjeri nastavilo do danas. Godine 1948. izbio je tifus pa je dionica kanala od Koplilice do austrijske vodospreme u gradu isključena jer je na njoj dolazilo do onečišćenja vode. Naime, poslijeratni razvoj vodoopskrbe nije istim intenzitetom pratila i izgradnja kanalizacije. Godine 1952. pušteni su u rad crpna stanica Ravne njive (200 l/s) i rezervoar Visoka (500 m<sup>3</sup>), što je omogućilo vodoopskrbu istočnih područja Splita [24]. Vodovod se postupno proširio i na područje Solina, Kaštelanskoga zaljeva, susjednih otoka te u zaleđe. U tom je razdoblju zbog povećanih potreba za vodom izgrađen armiranobetonski kanal (1,4 x 1,5 m) od izvora do akvadukta Kara-

baš. Kapacitet kanala bio je 2000 l/s, i to za potrebe grada Splita (1200 l/s), kemijske i druge industrije u Kaštelima (350 l/s), Vranjica i Solina (150 l/s) i za vodoopskrbu područja Kaštela i Trogira (300 l/s). Međutim, kapacitet dovodnika prema Splitu ostao je isti jer se koristio jedino Dioklecijanov kanal.

Zbog povećanja potreba za vodom, godine 1970./71. od betonskog je kanala kod akvadukta Karabaš izgrađen novi gravitacijski dovodnik do Ravnih njiva i Koplilice. Riječ je o azbestno-cementnome cjevovodu od 1000 mm. U tom je razdoblju prestao s radom uređaj za obradu vode u Koplilici pa se voda nizvodno od zahvata samo dezinficirala klorom, kako se to radi i danas. Zbog toga je pogoršana kakvoća vode za piće koja se prilikom velikih kiša redovito zamućuje.

Jedino se modernizirala klorinatorska stanica. Dioklecijanov kanal je u funkciji do CS-a Ravne njive i koristi se po potrebi, odnosno ako azbestno-cementna cijev nije dovoljna. Ipak, Dioklecijanov se kanal stalno održava u pogonskome stanju jer je on jedina rezerva za slučaj havarije azbestno-cementnog cjevovoda. U planu je gradnja novih gravitacijskih dovodnih cjevovoda i uređaja za obradu vode.

Na samome izvoru nisu građene nove građevine, a nije kaptiran ni drugi izvor (Žrnovnica i Cetina). Jedino je izvedena rekonstrukcija objekata za regulaciju protoka (1959.). Regulacijom rada zapornica na području zahvata održava se radna razina vode od 34,22 m n.m. Voda od izvora do CS-a Ravne njive gravitacijski teče kontinuirano u količini od oko 2



Slika 13. Regionalni vodovod Split – Solin – Kaštela – Trogir [25]

Od 1998. provedbom projekta EKO Kaštelanski zaljev vodoopskrbni sustav doživio je znatne izmjene, a svrha je tih izmjena bila povećanje učinkovitosti i sigurnosti sustava. Međutim, na samome zahvatu nisu izvedeni veći radovi, a nije sagrađen uređaj za obradu vode niti je postavljen novi dovodnik prema Splitu (slika 13.).

Od 1998. provedbom projekta EKO Kaštelanski zaljev vodoopskrbni sustav doživio je znatne izmjene, a svrha je tih izmjena bila povećanje učinkovitosti i sigurnosti sustava

m<sup>3</sup>/s. Neiskorištena voda preljeva se u kanalizaciju, što je bila česta praksa i u antici. Funkcioniranje dovoda vode tehnološki se nije promijenilo od antike do danas. Jedina je razlika u tome što su nekada radi pročišćavanja vode na dovodniku bile taložnice i filtri, a danas se primjenjuje samo dezinfekcija vode klorom.

### Rasprava i zaključak

Izvor Jadra se tijekom vremena koristio na različite načine i s različitim oduzimanjem vode. Zbog toga su se zahvatne građevine kao i izgled samog izvorišta postupno mijenjali. Istodobno se mijenjao i utjecaj toga korištenja na biološku raznolikost rijeke Jadro i Kaštelansko-

ga zaljeva. Izvor Jadra i s njim povezani vodoopskrbni sustavi imali su važnu funkciju u održivosti življenja na širem području Kaštelanskog zaljeva. Zadovoljavajući kapacitet i kakvoća vode osiguravali su pouzdanu vodoopskrbu stanovništva i gospodarstva. Važnu ulogu u tome imali su zahvat vode kao početni element svakoga vodoopskrbnog sustava i raspoloživa potencijalna energija izvorišta. Visinski položaj od 33 m n.m. dugo je, do 1924., omogućavao gravitacijski transport vode do korisnika. Sustav je bio energetski neovisan bez pogonskih elemenata, pa mu je entropija bila vrlo mala. U takvim zelenim sustavima gubici vode u transportu bili su vrlo mali jer su i tlakovi bili niski pa je održivost sustava bila dobra. Kako radi dizanja vode na visine raste potrošnja električne energije, znatno raste i entropija vodoopskrbnih sustava, gubici vode su veći, a sve to utječe na održivost sustava.

### Izvor rijeke Jadro najizdašniji je zahvaćeni krški izvor na području Splitsko-dalmatinske županije, odnosno aglomeracije Split – Solin i Kaštela – Trogir

Izvor rijeke Jadro najizdašniji je zahvaćeni krški izvor na području Splitsko-dalmatinske županije, odnosno aglomeracije Split – Solin i Kaštela – Trogir. Tako je bilo u antičkome razdoblju kada izgrađeni zahvati nisu znatnije mijenjali krajobrazne značajke izvora, a korištenje voda bilo je odmjereno. Može se reći to da se od 1. st. pr. Kr. do 1950. ostvarivala ravnoteža između čovjekovih potreba i prirodnih opskrbnih kapaciteta. U tom je razdoblju za izvor Jadra i rijeku Jadro postignuta sigurnost životne sredine. Izvor je podržavao održivo življenje u obalnome području, a za rijeku Jadro i pripadajući riječni sustav postignuta je sigurnost okoliša. Može se zaključiti to da je čovjekov pritisak na izvor Jadra bio u granicama održivosti, kao i pritisak okoliša na održivost življenja.

Gradnjom novoga betonskog zahvata 1950., čiji je kapacitet bio 2000 l/s i koji

je bio smješten uz Dioklecijanov, stanje na izvoru uvelike se promijenilo i bilo je neophodno održavati pouzdanu razinu vode za rad novog i starog zahvata vode te zahvata HE-a Vrilo. Kako bi se to ostvarilo, rekonstruirane su zapornice na kanalima i brani. Višak se vode koristio u hidroelektrani, a ostala se voda prelijevala u Jadro. Zbog zaštite izvor je ograđen, a pristup izvoru zabranjen pa je taj prirodni fenomen ostao daleko od pogleda javnosti. Prema vodopravnoj dozvoli (Hrvatske vode, Vodnogospodarski odjel za vodno područje dalmatinskih slivova – Split, 1999.), odobreno je zahvaćanje 2000 l/s. Gradnjom i stavljanjem u funkciju tog zahvata nije zatvoren onaj Dioklecijanov, već su se istodobno koristila oba. Od 1980. u sušnom se razdoblju na izvoru oduzimalo više od 2000 l/s, što je izravno ugrožavalo sigurnost okoliša rijeke Jadro. Može se reći to da su ljudske potrebe ugrožavale sigurnost okoliša rijeke. Industrija i turizam bili su glavni pokretači pritiska. Takvo se negativno stanje održalo sve do 1990. kada su zbog rata smanjeni broj turista i opseg industrijske aktivnosti. U razdoblju od 1990. do 2005. potrošnja vode opada zbog smanjenih gospodarskih aktivnosti i smanjenja specifične potrošnje vode u domaćinstvima. Ta je potrošnja 1981. iznosila 195 l/stan/dan, a 2006. 133 l/stan/dan. Kada se u proračun uključi i industrijska potrošnja, smanjenje za navedene godine još je veće – od 553 l/stan/dan na 223 l/stan/dan.

Od 2005. stanje se stabilizira, turizam i industrija postupno se obnavljaju. Takav se trend očekuje i u budućnosti jer je 2017. Split zabilježio više od dva milijuna turističkih noćenja. Godine 2015. na izvoru se oduzimalo od 2,1 do 2,3 m<sup>3</sup>/s, od 1,5 do 1,9 m<sup>3</sup>/s novim kanalom, a od 0,25 do 0,5 m<sup>3</sup>/s Dioklecijanovim. Iste je godine nizvodno rijekom Jadro teklo od 2,1 do 50,4 m<sup>3</sup>/s vode. Tijekom kolovoza te godine na izvoru se izdvajalo otprilike 50 posto njegova protoka. Očito je da je pritisak ponovno velik. Kakav će biti trend bilance u budućnosti, ne zna se i nije istraženo. Može se očekivati to da će trend biti negativan jer će se zbog klimatskih promjena i povećanja temperature

potrošnja vode povećavati, a minimalna izdašnost izvora zbog smanjenja oborina i povećane evapotranspiracije tijekom ljeta smanjivati. Naime, sve su izraženiji globalni pritisci okoliša vezani uz klimatske promjene i s njima povezane prirodne ugroze (oluje, poplave, suše) koje će sve više ugrožavati održivost življenja na širem području Kaštelanskog zaljeva. U sklopu projekta "The Integrated Coastal Zone Management Plan (ICZM) Šibensko-kninske županije" analizirane su očekivane promjene klime do 2100., a ti se podaci mogu koristiti i na širem području srednjeg Jadrana. Temperatura će rasti u svim godišnjim dobima, a time i gubici vlage. Istodobno će jačati potrebe za vodom, prirodne i antropogene. Razine će kišnih padalina na godišnjoj razini biti manje (dva - sedam posto), posebno u ljetnim mjesecima (5 - 30 posto), dok će zimi smanjenje biti manje (3 - 10 posto).

### Hidrološki sustav izvora Jadra brzo reagira na oborine pa su oscilacije protoka i kakvoće brze, a zbog klimatskih će promjena te oscilacije biti puno brže i veće, promjene klime utjecat će i na kakvoću vode izvora

Nije teško zaključiti to da će sukob između potreba i raspoloživoga kapaciteta vodnih resursa biti znatno veći. Hidrološki sustav izvora Jadra brzo reagira na oborine pa su oscilacije protoka i kakvoće brze, a zbog klimatskih će promjena te oscilacije biti puno brže i veće. Promjene klime utjecat će i na kakvoću vode izvora. Posljedice velikih i brzih promjena oborina u slivu i otjecanja u podzemlju bit će nagle i sve veće promjene u mutnoći vode i u koncentraciji drugih parametara kakvoće vode. Najbolji primjer mogućih procesa jest stanje zabilježeno 7. studenoga 2017. kada se zbog velike mutnoće voda nije mogla koristiti za piće dva dana (16,9 NTU). To je bio drugi slučaj takve zabrane u 2017. godini. Slično će se događati i na rijeci Cetini. Zbog brzih i naglih promjena predviđanje stanja i kontrola

kakvoće vode u vodoopskrbnome sustavu bit će sve teže i to će uvelike ugrožavati zdravstvenu ispravnost vode za piće. Zbog sadašnjeg stanja i sve većih promjena klime, ako se žele ostvariti ciljevi održivog razvoja i zaštite okoliša, potrebna je cjelovita prilagodba zahvata vode novim uvjetima. Kapacitet zahvata ne smije se povećavati, a sigurnost okoliša mora se povećati. Sigurnost je okoliša važna jer izravno utječe na održivost življenja. Ne treba zaboraviti na dobrobiti okoliša rijeke Jadro i Kaštelanskog zaljeva kada je riječ o rezervi, regulaciji, kulturi i podršci. To su važni čimbenici za održivost čovjeka na tim prostorima. Brojni su problemi koje treba riješiti kako bi se ojačala održivost vodoopskrbe, a nadamo se da će i ovaj rad doprinijeti njihovu rješavanju.

### Zahvala

Ovaj članak temelji se na istraživačkome radu koji financira Hrvatska zaklada za znanost (HRZZ), istraživački projekt IP-11-2013 pod naslovom "Antički vodni sustavi grada Salone i Dioklecijanove palače i njihov utjecaj na održivost urbane sredine". Ovom prilikom zahvaljujemo JKP-u Vodovod i kanalizacija d.o.o. Split koji je omogućio pristup izvorištu i arhivskoj građi. Zahvaljujemo i tvrtci Geoprojekt d. d. Split koja nam je ustupila geodetske podloge potrebne za istraživanje.

### Literatura

- [1] Biggs, E.M., Boruff, B., Bruce, E., Duncan, J.M.A., Duce, S., Haworth, B. J., Horsley, J., Curnow, J., Neef, A., McNeill, K., Pauli, N., Van Ogtrop, F., Imanari, Y.: Environmental Livelihood Security in South-East Asia and Oceania: a nexus-livelihoods approach for spatially assessing change IWMI-CGIAR White Paper, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 2014, Online at: <http://www.iwmi.cgiar.org/publications/other-publication-types/environmental-livelihood-security-south-east-asia-oceania/>
- [2] Bonacci, O.: Hidrološka studija izvora Jadra i Žrnovnice, OOUR Fakultet građevinskih znanosti - Split, Zavod za hidrotehniku, 1986.
- [3] Kapelj, S., Kapelj, J., Novosel, A., Singer, D.: Hidrogeološka istraživanja slivnog područja izvora Jadro i Žrnovnice, Institut za geološka istraživanja, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Zagreb, 2001.
- [4] Fističić, I.: Upravljanje kakvoćom izvora Jadro, Magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, 2004.
- [5] Geoistraživanja: Rekonstrukcija izvorišta Jadra Hidrološka studija - Idejni projekt, Geoistraživanja - Odjel za hidrotehničke radove, Zagreb, 1959.
- [6] McCormick, M., Ulf Büntgen, M.A., Cane, E.R., Cook, K.H., Huybers, P.J., Litt, T., et al.: Climate Change during and after the Roman Empire: Reconstructing the Past from Scientific and Historical Evidence. *Journal of Interdisciplinary History*, 43 (2012) 2, pp. 169-220, [https://doi.org/10.1162/JINH\\_a\\_00379](https://doi.org/10.1162/JINH_a_00379). [http://dx.doi.org/10.1162/JINH\\_a\\_00379](http://dx.doi.org/10.1162/JINH_a_00379).
- [7] IPCC (2014) Working Group II, Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (Sunders, Philadelphia, 2014); [www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/](http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/)
- [8] Šegota, T., Filipčić, A.: Köppenova podjela klima i hrvatsko nazivlje, *Geoadria*, 8 (2003) 1, pp. 17-37.
- [9] Štambuk, N.: Vode Dalmacije, Nastavni zavod za javno zdravstvo Splitsko-dalmatinske županije, Split, 2006.
- [10] Kapelj, S., Kapelj, J., Singer, D.: Hidrogeološka istraživanja slivnog područja izvora Jadro i Žrnovnice (II faza), Institut za geološka istraživanja, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Zagreb, 2002.
- [11] Margeta, J., Fističić, I.: Water quality modelling of Jadro Spring. *Water Sciences and Technology*, 50 (2004) 11, pp. 59-66.
- [12] Duplančić, A.: Solin na akvarelima Edmunda Misere, *Tusculum* 1, Solin, pp. 159-169, 2008.
- [13] Franić, D.: Rekonstrukcija izvorišta rijeke Jadra, Postojeće stanje, Idejni projekt, Opis postojećeg stanja, 1959.
- [14] Zaron u izvoru Jadra; 9. 2. 2016. (<http://speleologija.hr/arhiva/1466>)
- [15] Radman, A.: Mišljenje o Lucatijevu projektu, Arhiv konzervatorskog odjela u Splitu, Signatura: kons. 1877/35, 1860.
- [16] Marasović, K., Margeta, J., Perojević, S., Katić, M., Bojanić, D.: The Aqueduct of the Roman Town Salona - Croatia, 4th IWA International Symposium on Water and Wastewater Technologies in Ancient Civilizations /Angelakis, Andreas; Conceicao Cunha, Maria (ur.). - Coimbra, University of Coimbra, 2016.
- [17] Vitruvius Pollio, M.: De architectura libri decem, Preveo Matija Lopac, Zagreb, 1997.
- [18] Marasović, K., Margeta, J., Perojević, S.: Antička kanalizacija Dioklecijanove palače u Splitu, *Građevinar*, 66 (2014) 3, pp. 237-249.
- [19] Katanić, N., Gojković, M.: Građa za proučavanje starih kamenih mostova i akvedukata u Hrvatskoj, 1972.
- [20] Penović, A., Cingeli, N.: Zaštitna arheološka istraživanja u ulici Domovinskog rata u Splitu 2013./2014. godine, Arheološki izvještaj, Neir d.o.o. Split
- [21] Novak, G.: Povijest Splita, Split, 2005.
- [22] Kečkemet, D.: Pohvala splitskoj vodi, *Matica Hrvatska, Hrvatska revija* 4, 2006.
- [23] Belamarić, J., 1999. Dioklecijanov akvedukt i njegove obnove, Dioklecijanov akvedukt, ed. J. Belamarić, Split, pp. 5 - 27.
- [24] Čobrinić, I.: 125 godina povijesti splitskog vodovoda, neobjavljeni rukopis, 2004.
- [25] Mihelčić, D., Lalić, R., Ricov, M.: Najveći dosadašnji zahvat u komunalnoj infrastrukturi, *Građevinar*, 69 (2017.) 8, pp. 701 - 714.