

Izvorni znanstveni članak | *Original scientific paper* | UDK: 551.583.2
 Primljeno (Received): 13.10.2025.; Prihvaćeno (Accepted): 01.12.2025.

KRATKA POVIJEST KOEVOLUCIJE KLIME, BIOFIZIČKOG OKOLIŠA, UPRAVLJANJA VODAMA I CIVILIZACIJE NA PODRUČJU DALMACIJE

dr. sc. Jure Margeta, prof. emerit.
 Sveučilište u Splitu, Fakultet
 građevinarstva, arhitekture i geodezije
 Matice hrvatske 15, Split, Hrvatska
 e-pošta: margeta@gradst.hr

Ukratko se prezentira koevolucija klime i biofizičkog okruženja, upravljanja vodama i ljudskih civilizacija na području Dalmacije, od antike do modernog doba. Na području Dalmacije su postojale različite civilizacije i kulture upravljanja vodama, što je vidljivo kroz materijalno i nematerijalno kulturno nasljeđe. Upravljanjem vodama ublažavali su se problemi nastali klimatskim promjenama, podupirao razvoj i sigurnost društva, jačala sigurnost opskrbe vodom, hranom i energijom te zaštita od klimatskih ugroza. Civilizacije koje su uvažavale vode i važnost upravljanja vodama za razvoj društva napredovale su i opstajale, pa i u klimatski nepovoljnim razdobljima, za razliku od onih koje to nisu činile. Stoga se proučavanjem razvoja vodoprivrede posredno ocjenjuju zakonitosti i promjene u razvoju društva. Proizlazi da spoznaja zakonitosti koevolucije klime, društva, biofizičkog okruženja i upravljanja vodama pruža nužna iskustva i znanja za planiranje otpornosti zajednice na klimatske promjene.

Ključne riječi: klima, upravljanje vodama, društvo, biofizički okoliš, vodno kulturno nasljeđe, Dalmacija

1. UVOD

Vodna bogatstva utječu na življenje i gospodarstvo svojim darovima (količina, kvaliteta, krajobraz, servisi) i svojim silama. Prirodno ponašanje voda je takvo da su darovi i sile nepredvidivi i stalno se mijenjaju prirodnim procesima i utjecajem čovjeka, dok potrebe čovjek planira. Vodna bogatstva su „dar“ prirode na mjestu gdje se nalaze, tj. slobodno dobro koje vodno gospodarstvo stavlja u promet, slično kao i svaku drugu robu. Kroz povijest u Dalmaciji su se mijenjale civilizacije i s njima kultura vode i vodna civilizacija (KVVC), to jest, potrebe za vodom. Mijenja se biofizički okoliš (biosfera, atmosfera, hidrosfera i litosfera) i time dostupnost vode. Prema tome, evolucija klime, biofizičkog okoliša, vodnih resursa i civilizacija čine isprepleten sustav u kojem klima djeluje kao glavni pokretač promjena, (Giason i sur., 2013; Sydeh i sur., 2021). Rad istražuje odnose između klimatskih promjena, upravljanja vodama (UV) i civilizacije na području Dalmacije, to jest slivova rijeke

Zrmanje, Krke, Cetine i Neretve, [slika 1](#). Pokušava se definirati zakonitosti koevolucije klime te nastanka i razvoja društveno-fizičkih disipativnih (DFD) sustava i struktura u upravljanju vodama. Pritom u širem smislu DFD strukture/sustavi čine gradovi, poljoprivredni sustavi, vodno gospodarstvo, infrastruktura, ekonomski i drugi sustavi, koji su nužni za opstojnost civilizacije na nekom prostoru. To su stabilne konfiguracije ključne za samoorganizaciju koje održavaju stabilnost civilizacije dok stalno izmjenjuju energiju i materiju (vode, tvari) s okolinom. Koncept i procesi prirodnih i antropogenih disipativnih struktura ključni su za razumijevanje samoorganizacije, obnove stabilnosti i evolucije sustava u promjenjivom okolišu, poput klime i/ili kultura, gdje nova svojstva proizlaze iz dinamičkih interakcija unutar samog sustava te između sustava i okoliša (Schieve i sur., 1982).

Stalna naselja predstavljaju ishodište razvoja vodoprivrede. U naseljima treba osigurati vodu, hranu,



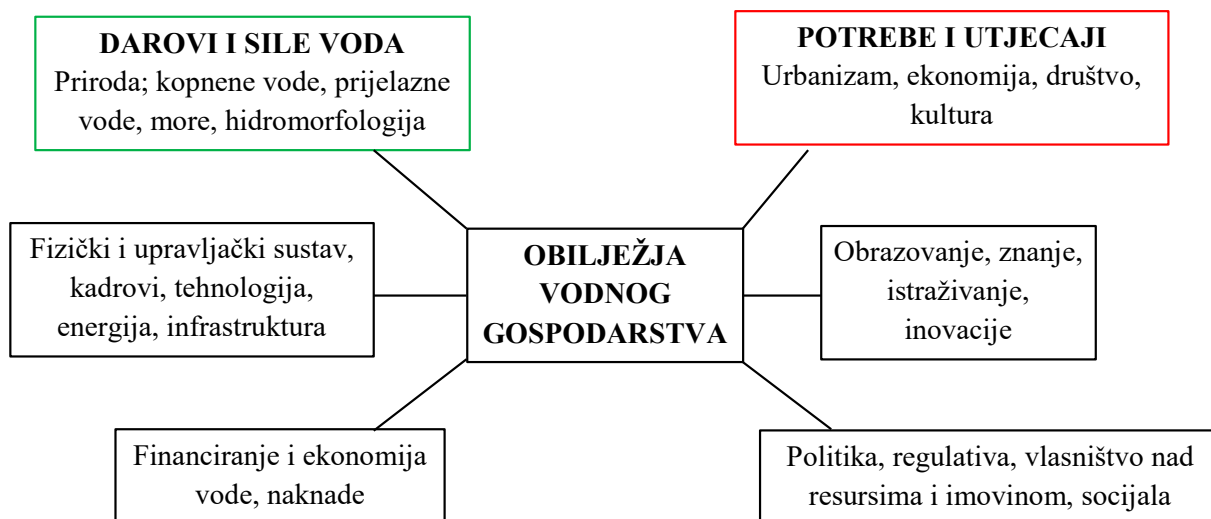
Slika 1: Rimska provincija Dalmacija i Ilirska plemena

energiju (VHE), povoljne higijenske uvjete te zaštitu od prirodnih i drugih ugroza, što su temeljni zadaci upravljanja vodama. Vanjske i unutarnje sile utječu na okoliš i ljude, stvarajući novi materijalni i nematerijalni okvir nužan za razvoj i rad vodoprivrede. Pritom politički, kulturni, vjerski, društveno-ekonomski i drugi nematerijalni čimbenici imaju jednaku važnost kao i oni materijalni (režim voda, infrastruktura, financije), [slika 2](#). Razvijenost kapitala oblikuje svijest o važnosti vode i vodoprivrede za opstojnost ljudi i njihovo življenje, to jest „kulturu vode“. Zajednice i civilizacije koje su uvažavale te zakonitosti napredovale su, dok su one koje to nisu činile propadale.

Naglasak rada je na vodi, jer je ona sastavni dio klime, zrcalo život na Zemlji i resurs koji se mijenja kroz generacije. Voda je prirodni resurs koji posjeduje jedinstvenu vrijednost ukazivanja na neravnoteže u sustavima koji održavaju život. Nadalje, voda sa hranom i energijom čini integriranu i međuovisnu vezu u samoj suštini održivog razvoja. Postojanje i prosperitet čovječanstva ovise o pristupu kvalitetnoj vodi. Isto

vrijedi za hranu, čija opskrba i kvaliteta ovise o količini i kvaliteti vode. Voda je, stoga, temelj svih civilizacija jer predstavlja najočitiju točku interakcije između povijesti prirode i povijesti čovječanstva. Povijest vode ujedno je povijest civilizacija, uvjetovana klimom, hidrologijom, geomorfologijom i biologijom. Upravo su ti procesi na području Dalmacije središnja tema ovog istraživanja.

Klima, topografija, kvaliteta tla te biokemijski i mehanički procesi oblikuju biofizički okoliš, uključujući i hidromorfološki sustav. Taj se proces odvija sukladno osjetljivosti sustava (O) na vanjske i unutarnje sile te autonomnom kapacitetu prilagodbe (AKP), koji zajednički određuju ranjivost sustava (R), što se može izraziti funkcijom $R = f(O, AKP)$. Okoliš, odnosno njegove biotičke i abiotičke komponente, stalno se mijenjaju i utječu na opstojnost i razvoj biofizičke ekonomije i društva u cjelini, a time i na upravljanje vodama (UV), čije aktivnosti povratno utječu na okoliš i održivost vodnih resursa. To je ekonomija koja priskrbljuje i koristi energiju i druge biološke i fizičke resurse za proizvodnju, distribuciju, potrošnju i razmjenu dobara i usluga, stvarajući pritom višak vrijednosti (korist), ali i različite vrste otpada. Svrha UV-a jest u zadanim prirodnim i društveno-ekonomskim okolnostima stvoriti uvjete za egzistenciju stanovništva i proizvodnju viška dobara za razvoj i trgovinu, ne ugrožavajući pritom sigurnost okoliša i voda radi zadovoljavanja potreba budućih generacija. Uspješnost ovisi o osjetljivosti društveno-ekonomskog (ODE) sustava i uspostavljenom kapacitetu prilagodbe (UKP), to jest DFD sustava, u novim okolnostima funkcioniranja (vanjskim i unutarnjim), to jest ranjivosti civilizacije (RC) na nastale klimatske promjene; $RC = f(ODE, UKP)$. Studija primjenjuje induktivni pristup, počevši od prikupljanja i organizacije povijesnih podataka kako bi se izgradila kognitivna orijentacija, a završava teorijom koja podržava opažanja i rezultate (Burney i sur., 2008). Induktivno učenje smatra se prikladnim pristupom za procjenu interakcije i evolucije klime – vodne civilizacije – ljudske civilizacije, njihove održivosti i koevolucije. To nam omogućuje definiranje



Slika 2: Kapitali - elementi vodoprivrednog sustava

koncepata i razvoj sistemske metafizike kako bismo istražili prirodu postojanja, naglašavajući međusobnu povezanost sustava i procesa (Brooks, 2011). Složene procese potrebno je pojednostavnjeno analizirati radi lakšeg razumijevanja složenog i nedovoljno istraženog procesa povijesne koevolucije prirode, upravljanja vodama i društva na području Dalmacije.

2. METODOLOGIJA

Studija polazi od postavke da su klimatske krize u društvu u svojoj srži krize vode i civilizacije. To je zato što solarna energija kao otvoreni sustav međusobno djeluje sa Zemljinim sferama kao otvorenim sustavima, izravno utječući na globalnu vodu – ključnu komponentu dostupnu za podršku biljkama i većini hranidbenih lanaca te opstanku drugih organizama i čovjeka. Voda kao globalni resurs kreće se unutar i između hidrosfere, atmosfere, geosfere i biosfere te prenosi energiju i materiju unutar i između Zemljinog biotičkog i abiotičkog okoliša, pa je stoga ključni čimbenik ranjivosti ljudske civilizacije. Degradacija vodnih resursa u okolišu i nedostatak odgovarajuće količine i kvalitete vode uzrokovat će društvenu nestabilnost, nazadovanje ili kolaps civilizacije (Tvedt i Jakobsson, 2006). U radu se pretpostavlja da *vodna civilizacija* predstavlja DFD sustav i strukturu potrebnu za integraciju VHE resursa u društvu, dok *kultura vode* izravno odražava zdravlje i standard življenja zajednice.

S takvom hipotezom, studija ima za cilj doprinijeti boljem razumijevanju funkcioniranja prirodnih i društvenih sustava tijekom klimatskih promjena i njihove međuovisnosti te osnažiti povijesnu svijest i osjetljivost u raspravi o kulturi i civilizaciji vode u Dalmaciji. Za razumijevanje fenomena složenosti, pojavnosti i održivosti (što je istinito i stvarno), razumijevanje dugoročnih promjena u klimatskoj povijesti postaje ključno. Tijekom povijesti, klima se u široj dalmatinskoj regiji mijenjala i utjecala na evoluciju civilizacija od antičke (grčke i rimske) preko srednjovjekovne i moderne do suvremene. Koristeći primjer Dalmacije, utjecaj klime na evoluciju društva propitivan je u smislu evolucije sustava upravljanja vodama kao DFD sustava povezanog s opskrbom VHE koji tvori nužnu sintezu u održivosti društva (Eloise i sur., 2015).

Metodologija istraživanja je pojednostavljena i znanstveno utemeljena. Vanjski i/ili unutarnji čimbenici koji uzrokuju neravnotežu između proizvodnje i potreba te unose nered u sustave, prirodne kao i antropogene, uzrokuju stagnaciju sustava i urušavanje egzistencijalnih funkcija, a oni koji stvaraju red, omogućuju napredak i stabilnost. Brzina nazadovanja ili napretka ovisi o osjetljivosti i kapacitetu prilagodbe, odnosno ranjivosti, koja je unutarnja značajka sustava neovisna o klimatskim ugrozama koje su se javljale tijekom povijesti. S druge strane, DFD sustavi i strukture smanjuju entropiju, čime jačaju ravnotežu i otpornost cjelokupnog sklopa. Time dinamika nastanka i razvoja tih struktura određuje opstojnost sustava i civilizacija. Isto vrijedi i za prirodne

sustave koji posjeduju autonomne disipativne procese; putem njih se organizmi prilagođavaju okolišnim promjenama radi opstanka.

Tradicionalno, termodinamika opisuje stanje (održivost) sustava i njegove promjene u makroskopskom smislu, premošćujući jaz između prirodnih i društvenih znanosti (Poudel i sur., 2023). Procjena u kojoj se principi filozofije i znanosti integrirano primjenjuju u ispitivanju dugoročnog uspona i pada ljudskih civilizacija, uzimajući u obzir zakone termodinamike nije nova (Ciotola, 2023). Još od antičkih mislilaca, filozofija i znanost činile su jedinstvenu cjelinu. Svi prirodni procesi i sve ljudske akcije, u najosnovnijem fizičkom smislu, predstavljaju transformacije energije. Stoga su u istraživanju zakoni termodinamike kvalitativno primijenjeni kako bi se pružilo teorijsko objašnjenje procesa promjena u smislu osjetljivosti i AKP-a te stanja prirodnih i antropogenih sustava. Ovi principi podržavaju procjenu klimatske ranjivosti prirode, vodnih sustava i civilizacije i njihove povijesne koevolucije.

Sunčeva energija pokreće i mijenja cjelokupni klimatski sustav: površinske procese, vjetrove, struje, hidrološki ciklus, cijelu hranidbenu mrežu te dinamiku ekosustava. Sustav neprestano održava svoju radijacijsku ravnotežu kroz samoorganizaciju i prilagodbu. Ako je izlazna energija veća od ulazne, dolazi do hlađenja, a ako je ulazna veća od izlazne, dolazi do zagrijavanja. Iz termodinamičke perspektive, otvoreni prirodni sustavi egzistiraju u stanju dinamičke neravnoteže na "rubu kaosa" - između stabilnog stanja i nestabilnog stanja - kaosa (Poudel i sur., 2023). Održavanje takvih neravnotežnih stanja u otvorenim prirodnim sustavima moguće je samo na štetu stalnih tokova materije, vode i energije, koji se odvijaju unutar bioloških sustava te između sustava i okoliša, prirodnog i socioekonomskog. Iz perspektive tih tokova, parametre takvih sustava treba smatrati vremenskim funkcijama koje opisuju vezu između sadašnjosti i prošlosti te sadašnjosti i budućnosti.

Pri tome drugi zakon termodinamike pomaže objasniti smjer i brzinu protoka energije i materije. Entropija otvorenog sustava (dS) mijenjat će se s izmjenama energije i materije s okolinom ($d_e S$ - vanjska entropija) i s povećanjem entropije u samom sustavu ($d_i S$ - unutarnja entropija), kao rezultat unutarnjih procesa ($d_i S > 0$).

$$dS = d_e S + d_i S \quad (1)$$

Dakle, brzina promjene entropije sustava dS/dt je zbroj brzine promjene entropije između sustava i okoline ($d_e S/dt$) i brzine entropije proizvedene unutar sustava ($d_i S/dt$). Sam proces izmjene energije i tvari s okolinom može biti pozitivan ili negativan. Dakle, entropija otvorenog sustava smanjuje se na štetu činjenice da povezani procesi proizvode pozitivnu entropiju u ostalim dijelovima okoline budući da je unutarnja promjena entropije pozitivna $d_i S > 0$. To

znači da ako je Sunčeva energija dovoljna za potporu energetske potrošnje biote, tada je prirodni sustav održiv (potencijalna energija hrane dovoljna je za potrebe ekosustava) jer sustav troši manje energije od dostupne dolazne, pa je $d_e S/dt < 0$. Samoorganizacija prirodnog sustava (autonomni adaptivni kapacitet) u kritičnoj točki dovodi do autonomnog formiranja preferirane konfiguracije (stanja) putem povratnih petlji koje sustav prilagođavaju klimatskom okruženju kako bi se minimalizirali njegova osjetljivost i ranjivost.

Samoorganizacija je dinamična i adaptivna značajka klimatskog kao i vodnog sustava koja mu omogućuje stjecanje i održavanje funkcionalne strukture u sustavu, koja dovodi do povećanja reda u riječnom (prirodnom) sustavu stvarajući *zdravo slivno područje* koje podržava prirodne i društvene potrebe u sustavu (funkcije ekosustava). U nedostatku slobodne energije stvara se moguća konfiguracija niže razine reda funkcionalne strukture sustava, shodno ranjivosti sustava (entropiji). Svaka nova vanjska kao i unutarnja prijetnja, umanjuje sposobnost sustava da podržava egzistencijalne procese i opstanak, te mu entropija (ranjivost) raste. Opstaju samo najotpornije jedinice, čime se osiromašuje biološka raznolikost i degradiraju usluge ekosustava. To negativno utječe na ostale prirodne komponente i disipativne sustave te, u konačnici, na cjelokupni društveno-ekonomski sustav.

Navedeno vrijedi i za društveni sustav, koji je također otvoreni sustav koji neprestano izmjenjuje VHE resurse s okolinom. Kada u društvu, zbog nepovoljnih klimatskih promjena i nastale degradacije stanja u okolišu nedostaje VHE resursa te izostane učinkovito upravljanje opskrbnim procesima, ono teži neredu/kaosu, tj. povećanju društvene entropije (ranjivosti). Vrijedi i obrnuto u razdobljima povoljne klime, kada društvo napreduje. Zato metoda entropije u ovom istraživanju služi kao pokazatelj i mjerilo za objektivnu kvalitativnu procjenu održivosti civilizacije. Nepovoljna klima uzrokuje smanjenje proizvodnje i distribucije VHE-a te posljedično i njegovu nestašicu u socioekonomskim sustavima. To stvara neravnotežu između ponude i potražnje koja ugrožava egzistenciju, uzrokuje nezadovoljstvo, promjene u organizaciji društva, loše funkcioniranje postojećih disipativnih struktura i sustava, što povratno negativno utječe na okoliš, druge infrastrukturne sustave, ekonomiju, zdravlje i standard življenja te ubrzava rast entropije (nered, nezadovoljstvo, ranjivost) i time uzrokuje daljnje negativne promjene koje mogu dovesti do kolapsa sustava, to jest uspostave novog ravnotežnog stanja. To je proces koji se tijekom vremena ponavlja sve do maksimalne entropije sustava (uspostave termodinamičke ravnoteže) ili kaotičnih ishoda koji rezultiraju *pojavnim svojstvima* sustava kao cjeline. To je svojstvo koje nije prisutno u dijelovima/podsustavima, ali je prisutno u cjelini civilizacije koja je drugačija od prethodne. Stoga se „pozicija ravnotežnog stanja“ koristi za kvalitativnu ocjenu održivosti povijesnih sustava, jer konstantu ravnoteže nije moguće izračunati

(odnos proizvodnje i reakcije sustava). Slobodna energija (korisna energija) uvjetuje promjene iz jednog stanja u drugo, to jest stabilnost, rast ili pad entropije sustava. To je slobodna energija za održavanje povratnih ciklusa ravnoteže u relativno stabilnom periodu (male promjene) te dogradnja sustava u nestabilnom (brze promjene). Konačna posljedica nedostatka slobodne energije jest pojava nove civilizacije, s bitno drugačijom razinom kulture vode i vodne civilizacije i društvene održivosti. Stoga su raspoloživa energija te entropija — kao njezina neraskidiva popratna pojava — ključni čimbenici u definiranju opstojnosti civilizacije.

U skladu s navedenim, upravljanje vodama — kao otvorena struktura u prirodnom i antropogenom sustavu — ima zadatak omogućiti učinkovitu samoorganizaciju sustava i društva, to jest stabilno stanje, kroz stalnu razmjenu energije, vode i tvari sa svojim okolišem. Sustav ulaže raspoloživu energiju kako bi održao unutarnji red, odnosno funkcioniranje sustava u skladu s potrebama. Kad se slobodna energija smanjuje nastupaju spontani procesi koji vode prema stanju termodinamičke ravnoteže (minimalni termodinamički potencijal sustava). Ovaj se koncept u istraživanju metaforički koristi za opisivanje promjene stanja društvenih sustava.

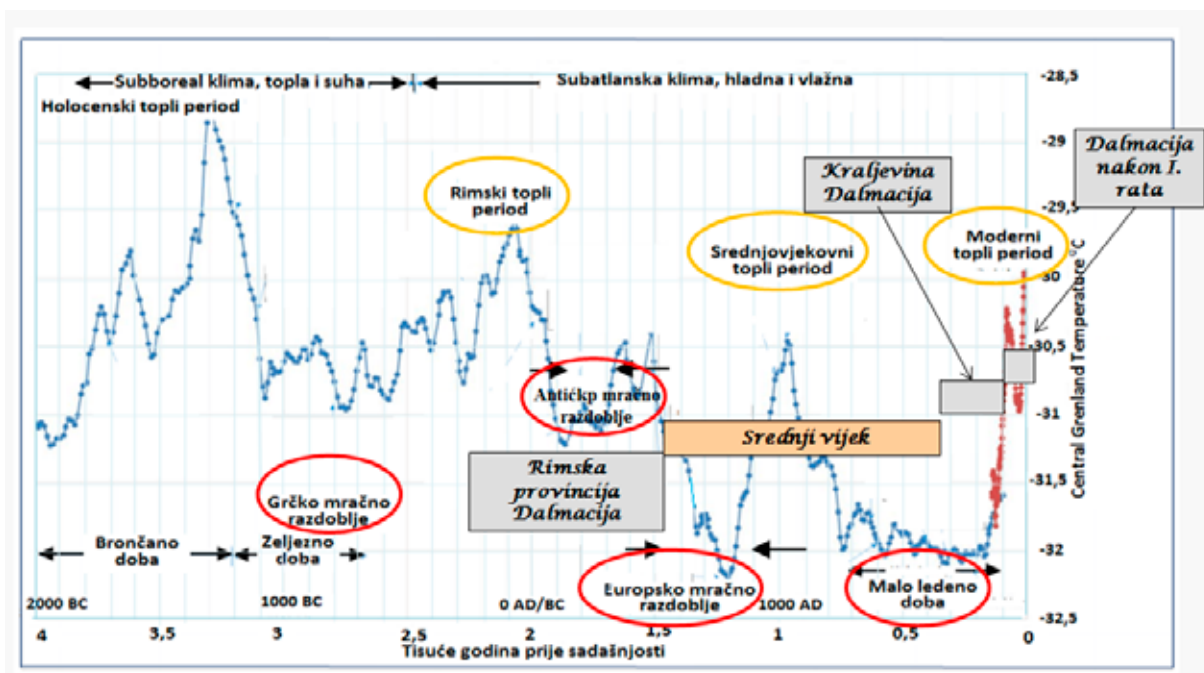
Proučavanje povijesnog razvoja vodoprivrede u Dalmaciji se grupira u pet razdoblja: (I) antika/klasično doba; (II) srednji vijek; (III) novi vijek; (IV) suvremeno doba do II. svjetskog rata; (V) Suvremeno doba nakon II. svjetskog rata. Pritom se razmatraju tri međusobno uvjetovane tematske cjeline procesa koevolucije: (a) bilanca opskrbnog kapaciteta vodnih resursa i potreba zajednice; (b) tehnološki uvjeti za ostvarenje održivosti (energija, tehnologija, infrastruktura, znanje); (c) društveno-ekonomski uvjeti razvoja (financiranje, politika, regulativa, vlasništvo). Sve tri tematske cjeline dio su jedinstvenog sustava upravljanja vodama te rezultat neprekinute koevolucije i međuodnosa klime, prirode i čovjeka/društva.

Napomena: Povjesni podaci i činjenice preuzeti su iz knjiga: *Povijest Dalmacije*, Grge Novaka te knjiga *Povijest 5: Kasno Rimsko Carstvo i rani srednji vijek* i *Povijest 6: Rani i razvijeni srednji vijek*, (urednik Enrico Cravetto). Zbog učestalosti referiranja na ove izvore u tekstu, citati se neće pojedinačno navoditi.

3. PRIRODNA OSNOVA VODA DALMACIJE

3.1 Krajobraz i vode

Tijekom povijesti mijenjale su se administrativne granice Dalmacije, a time i dostupni kopneni i vodni resursi. Riječni sustavi Neretve, Cetine, Krke i Zrmanje većim su dijelom uvijek pripadali Dalmaciji (slika 1). Kao administrativna jedinica Dalmacija je bila najveća u Rimskom Carstvu i protezala se od Istre do Ulcinja te na sjeveru sve do rijeke Save. Danas je to znatno manje obalno područje od Velebita do Konavala. More,



Slika 3: Središnja (stalna) temperatura na Grenlandu (Prilagođeno prema May, 2016)

razvedena obala, otoci te krška i razvedena topografija biofizički su čimbenici Dalmacije.

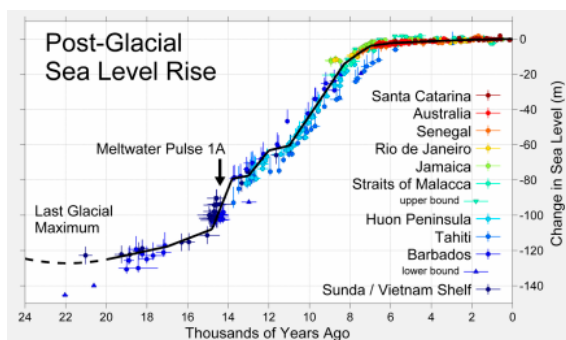
Klima je u obalnom području sredozemna, tip C prema Köppenu (umjereno topla kišna), a u unutrašnjosti kontinentalna, tip D (kišna, snježna) (Köppen, 2024). Prevladava vrlo propusna krška podloga sa složenim sustavom cirkulacije i otjecanja voda te razmjerno siromaštvo površinskih tokova velike varijabilnosti otjecanja. Promjene protoka su brze i nagle, a brzina ovisi o režimu oborina i razini vode u vodonosniku. Najstabilnije su male vode što osigurava sigurnu opskrbu stanovništva tijekom cijele godine (Margeta, 2022). Vode su produkt utjecaja mediteranske i kontinentalne klime što vodnom sustavu osigurava stabilnost. U kontaktu s morem stvaraju delte - prijelazne vode. Tijekom povijesti položaj ušća i obuhvat delti su se mijenjali uslijed promjene srednje razine mora (SRM) i režima sedimenta (Margeta, 2024). Promjene SRM-a se preko podzemnih voda prenose na kopnene vode mijenjajući režim površinskih i podzemnih voda.

More je najveći vodni resurs Dalmacije, koji presudno utječe na njenu kulturu i razvoj. More je izvor hrane te ekonomski resurs koji ima esencijalan značaj za razvoj prometa i trgovine. Ono je blagodat, ali i nesreća jer su se oko prevlasti nad morem i obalama mora stalno vodili ratovi. Na zaštićenim obalama (zaljevi, delte), u blizini stalnih vodnih resursa i putova prema unutrašnjosti nastajala su naselja i gradovi. To su lokacije na kojima su kroz povijest različite kulture ostavile bogato kulturno nasljeđe. Podzemne vode u krškom terenu nisu lako dostupne te su se manje koristile. Zato su se nužne potrebe za vodom zadovoljavale iz površinskih voda i stalnih krških vrela. Strma korita rijeka s kaskadnim vodopadima i jezerima atraktivan su prostor za boravak ljudi te izvor hidroenergije koja se oduvijek iskorištavala.

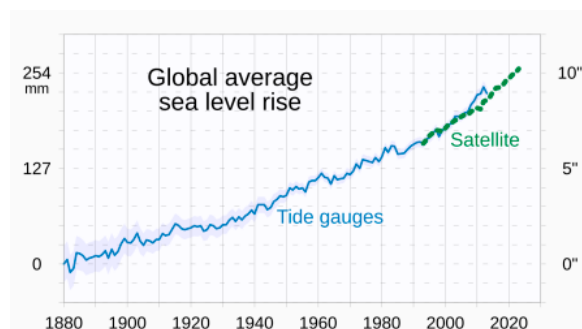
Krško područje oskudijeva plodnim (dubokim) tlom, što onemogućuje veću proizvodnju žitarica. Riječne doline, krška polja, vrtače, delte i obalne aluvijalne ravnice su obradive površine. Riječni slivovi s klimom tipa D u zaleđu bogati su oborinama ljeti i snijegom zimi, što podržava bogatu i stabilnu biotu (raslinje). Nasuprot tome, područje riječnog sliva s klimom tipa C karakterizira nedostatak oborina ljeti, pa je bogatstvo manje. Nadalje, autohtono raslinje u krškom području Dalmacije (sklerofilne šume i makije) donekle je otporno na klimatsku varijabilnost budući da mediteranska klima ima slične karakteristike pa se raslinje prilagodilo i izgradilo prirodnu otpornost na varijabilnost klime. Prehrana stanovništva i domaćih životinja osigurava se lokalno i regionalno trgovinom i sezonskim migracijama gdje su uvjeti za ispašu i življenje povoljniji. Migracijski ciklusi unutar sliva daju sustavu dinamičku stabilnost i povećavaju kapacitet prilagodbe. Zato, u načelu, u Dalmaciji opskrba hranom, vodom i energijom (drvom) nije bila osobito osjetljiva na klimatske promjene. Zbog malog broja stanovnika i skromnih potreba unutar krškog krajobraza, glad nije bila česta pojava, no prevladavali su siromaštvo i nizak standard življenja, jer je proizvodnja viškova dobara bila oskudna, pa se nije imalo s čime trgovati.

3.2 Klima, srednja razina mora i vodni resursi

Klima je glavni čimbenik promjena režima voda koji oblikuje riječni sustav od izvora do ušća i time stalno utječe na UV-e. Klimatske su se promjene stalno odvijale kao posljedica prirodnih procesa na Zemlji, ali i naglo uslijed vulkanskih aktivnosti. Razdoblja zamračenja i zahlađenja su uglavnom rezultirala pojavom gladi, bolesti i smanjenjem broja stanovnika, (slika 3; May,



Slika 4: Globalni rast srednje razine mora i rast u suvremeno doba (Wikipedia1)



2016). Opstojnost društva ovisila je o razvijenosti vodoprivrede, posebno sanitarnog inženjerstva. U moderno doba (od 1850. g.), osim prirodnih uzroka, čovjek i njegove aktivnosti sve više utječu na promjenu klime, porast temperature zraka i mora te rast SRM-a što izravno ugrožava održivost razvoja.

Porast SRM-a je prirodni proces koji je oblikovao hidromorfološke značajke riječnih sustava Dalmacije, posebno prijelaznih voda te utjecao na razvoj gradova, vodoprivrede i civilizacije. To su spore promjene u odnosu na promjene srednje temperature zraka, koje mijenjaju položaj ušća i obuhvat delte i prijelaznih voda (Margeta, 2024). Rast SRM-a mijenja geopotencijalnu energiju riječnog sustava, režim voda i sedimenta, eroziju obala, odnosno entropiju (ranjivost) vodnog sustava. U zadnjih 20.000 godina SRM stalno raste i utječe na obalni okoliš i ljude (slika 4; Wikipedia1).

Zadnjih 4.000 godina rast je sporiji te je malo utjecao na vode, vodoprivredu i čovjeka, jer su ljudi imali vremena da se povuku iz ugroženih zona. Međutim, zadnjih 100 godina taj se proces ubrzao na veličinu od oko 1,8 mm godišnje, pri čemu je razina mora narasla za 20,32 cm. Zadnjih 7 godina rast SRM-a i temperature mora dodatano se intenzivira; SRM raste na 3,1 mm godišnje te se približava rastu koji je bio u holocenskom razdoblju (6 – 9,9 mm/god.) (Wikipedia1). Takav nagli porast brzo mijenja prijelazne vode, ugrožava obale i gradove, ekonomiju i obalnu infrastrukturu pa su štete sve veće.

4. VREMENSKI SLIJED KOEVOLUCIJE KLIME, BIOFIZIČKOG OKOLIŠA, UPRAVLJANJA VODAMA I CIVILIZACIJE

4.1 Period antike

Period antike u Dalmaciji se odnosi na razdoblje Isejske države i samostalnog Pharosa (350. g. pr. Kr. – 219. g. pr. Kr.), Ilira i Delmata, Rimljana, Gota, Avara i Slavena (219. g. pr. Kr. – 480./614. g.) (Novak, 2004). To je doba u kojem se društvo oslanja na Sunčevu energiju kao primarni izvor energije, što definiramo kao solarno društvo (*solar society*). Društvo ovisi o Sunčevom zračenju koje je izvor energije za biosferu, potiče život putom fotosinteze koja pretvara Sunčevu energiju u kemijsku energiju, hranu, stočnu hranu i drvo. Stoga je to razdoblje u kojem je dugoročni prirodni međuodnos

klime, DFD struktura i ljudske civilizacije bio podložan samo prirodnim zakonima. U solarnom društvu čovjek nije mogao utjecati na klimu, ali je mogao na slivove i dostupnost vode. Dubina Sunčeve energije, to jest prodiranje Sunčeve svjetlosti u medije, bila je pokretač promjena koje utječu na strukturu i funkcije biofizičkog okoliša, ekosustava, poljoprivrednu proizvodnju i geofizičke procese. Zato je klima imala dominantni utjecaj na opskrbu VHE reursa. To su bila povijesna razdoblja velikih promjena stanovništva, kulture i civilizacije na području Dalmacije. Period antike karakteriziraju dva izrazito različita klimatska razdoblja. U razdoblju od 750. pr. Kr. do 200. pr. Kr. prevladavalo je hladno i vlažno razdoblje. Dalmaciju su naseljavali Delmati i druga ilirska plemena. Početkom 4. stoljeća pr. Kr. osnovane su prve grčke kolonije i gradovi, Vis i Hvar 385. g. pr. Kr., a kasnije i u središnjem području između rijeka Zrmanje i Neretve, gdje su Grci osnovali Isejsku državu. Nakon Grka u 3. stoljeću pr. Kr., područje Dalmacije ponovno su osvojili Iliri, koje su Rimljani porazili oko 220. pr. Kr. te preuzeli kontrolu nad grčkim kolonijama i gradovima. Razdoblje između 200. pr. Kr. i 440. godine nove ere je rimsko toplo razdoblje, povoljno za život i razvoj (McCormick i sur., 2012). Iznimna klimatska stabilnost od 100. pr. Kr. do 200. godine obilježila je stoljeća uspona Rimskoga Carstva, antičke kulture i civilizacije. Dalmacija je od 32. pr. Kr. bila rimska provincija s glavni gradom Salonom. Tako su Dalmacija i njeno stanovništvo baštinili, prvo grčku, a kasnije rimsku antičku kulturu i civilizaciju. Tri velike vulkanske erupcije od 235. do 285. godine uzrokovale su klimatsku nestabilnost, zahlađenje i smanjenje Sunčeve energije, što je izazvalo glad, političke, vojne i monetarne krize koje su vrhunac dosegle između 250. i 290. godine. Smanjenje Sunčevog zračenja doprinosi hladnijem klimatskom režimu koji smanjuje proizvodnju hrane te povećava geoopasnosti uzrokovane vodom (poplave i suše). Nastali problemi uzrokovali su nestabilnosti u Carstvu, prodor Barbara te postepeno urušavanje antičke kulture i civilizacije. To je vrijeme jačanja kršćanstva koje postaje službena vjera (380.). Nestabilnosti su pojačane širenjem epidemija (Antonine 165. – 185., te Cyprian 249. – 270.). To je rezultiralo podjelom Carstva na Istočno i Zapadno (395.) te potom padom Zapadnog (476.) te opstankom Istočnoga (Bizant) sve do 1453. g.

Razdoblje između 440. i 700. godine obuhvaća kasnoantičko-maloledenodoba (*Late Antique Little Ice Age* – LALIA) poznato kao „mračno doba i hladno razdoblje”. Zahlađenje se podudara s tri velike vulkanske erupcije (535./536., 539./540. i 547.) (McCormick i sur., 2012). koje su drastično smanjile Sunčevo zračenje i ohladile okoliš. To je utjecalo na prirodne i društvene sustave slično onome što se dogodilo u 3. stoljeću. Temperatura je značajno fluktuirala do oko 630. godine, od kada je počela biti toplija i vlažnija (650. do 750.). Dalmacijom je vladao Bizant, koji je uspostavom regije tema (temat) Dalmacija osigurao podržavanje antičke kulture i civilizacije, kao i evoluciju socio-fizičkih disipativnih struktura. U međuvremenu, društveni i politički sustav naglo se promijenio prodorom Avara i Slavena oko 614. godine, koji su osvajanjem Dalmacije uništili rimske gradove, infrastrukturu i kulturu. Bizantski car Heraklije (610. – 641.) pozvao je slavensko-antičke Hrvate iz Bijele ili Velike Hrvatske (područje oko današnjeg Krakowa u Poljskoj) da oslobode Dalmaciju od Avara i nasele se tamo, što su oni i učinili oko 630. godine. Hrvati su preuzeli kontrolu nad cijelim područjem Dalmacije, osim područja oko većih obalnih gradova koji su zajedno s otocima, ostali pod bizantskom vlašću. Time započinje period ranog srednjeg vijeka koji je u zapadnoj Europi počeo nešto ranije. Razdoblje hladne klime dovelo je do podjele Dalmacije na dvije administrativne jedinice s različitim kulturnim i civilizacijskim obilježjima: antičku bizantsku i srednjovjekovnu feudalnu Hrvatsku, što je smanjilo sposobnost društva da se prilagodi klimatskim promjenama i razvije otporne disipativne strukture.

U antičkom razdoblju hidrološki, geomorfološki, ekosustavni i biološki procesi, odnosno biogeomorfni sustav, bili su u skladu s mediteransko-kontinentalnom klimom i krškim okruženjem (Milanović, 2004). Promjene temperature zraka u Dalmaciji bile su manje izražene nego u kontinentalnoj Europi, zbog morskih struja koje prenose toplu vodu iz Sredozemnog mora duž istočne jadranske obale. Izmjena suhih i izrazito kišnih razdoblja stvorila je uvjete za povećanu eroziju tla i veći transport vučenog i suspendiranog sedimenta u akumulacijske zone riječnog sustava i ušće. Tako je vremenska nestabilnost promijenila krški krajolik, tj. povećala je golet, neplodnost krških brežuljaka, izazvala urušavanja padina i klizišta te širila aluvijalne prostore. Kako je broj stanovnika i velikih gradova bio mali (Salona, Narona), klimatske varijabilnosti nisu uzrokovale značajnije unutarnje probleme vezane za opskrbu VHE-a zbog čega je Dalmacija kao rimska provincija dugo postojala i nakon pada Zapadnog Carstva, sve do 480. g. kada je u Dioklecijanovoj palači ubijen, po nekima zadnji rimski car, Julije Nepot.

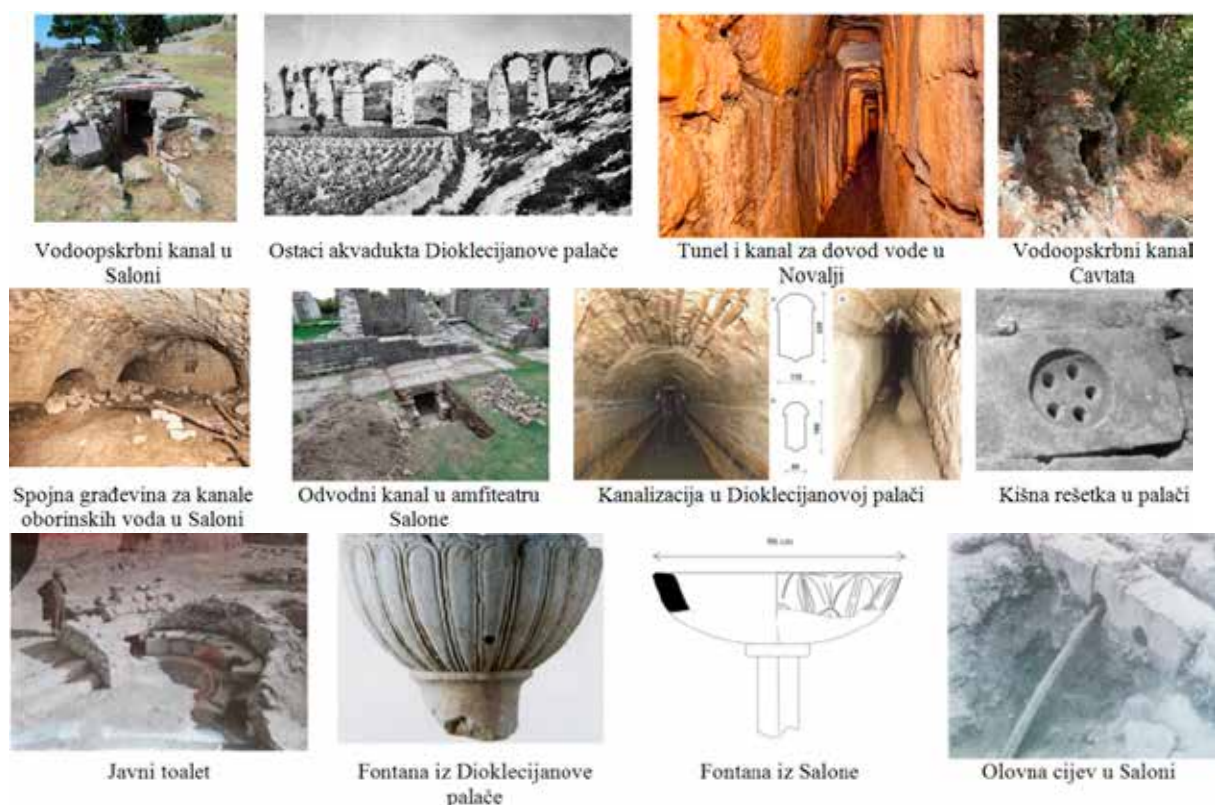
U antici se živjelo u uređenim naseljima, a urbanizacija je poticala rješavanje problema opskrbe VHE resursima, održavanje dobrih higijenskih uvjeta, zbrinjavanje otpadnih voda i tvari te zaštitu od poplava. Naselja su se gradila na sigurnim, klimatski povoljnim mjestima u blizini izvora zdrave vode, tako da je voda

mogla neprestano gravitacijski protjecati u naselje i kroz naselje, slično kao vodotok. Zato je vodoprivreda bila važna kod izbora lokacije i urbanističkog planiranja gradova. U Dalmaciji prvi tragovi vodoprivrede i tehnologije sanitarnog inženjerstva potječu iz vremena grčkih kolonija poput Visa (Issa), Hvara (Pharos), Trogira, Salone, Lumbarde, itd. Grčki su doseljenici štovali visoku kulturu vode i prirodu te baštinili znanje i tehnologije vezane uz urbanizaciju i sanitarno inženjerstvo (vodoopskrbu i odvodnju otpadnih voda). Znanstvene spoznaje o okolišu, hidrologiji i vodi širile su se putem Aristotelove škole te kasnije znanjima iz Aleksandrije. Grčki geograf Pauzanija (oko 110. – 180. po Kr.) izjavio je da grad nema pravo nazivati se gradom ako u središtu nema veliku javnu fontanu.

Razvoj i gradnja gradova u rimsko doba se povećava, unaprjeđuju se hidrotehnologije i sanitarno inženjerstvo. Rimski pisci Plinije Stariji (*Naturalis Historia*) i Vitruvije (*Deset knjiga o arhitekturi*) izjavili su: „Konačno, voda, nije samo opskrba pićem, već ispunjavanje beskonačnog broja praktičnih potreba, pruža nam usluge koje nas čine zahvalnima jer je besplatna” (Vitruvije, knjiga VIII). Na istočnoj obali Jadrana nastala su naselja u kojima se i danas živi (Solin, Split, Zadar, Trogir, Cavtat i drugi), a koja su bila opremljena urbanom vodnom infrastrukturom. Najveći grad bila je Salona, s oko 60.000 stanovnika. Gradili su se vodoopskrbni sustavi s dugačkim dovodnim kanalima, u svrhu osiguravanja pouzdane opskrbe gradova zdravom pitkom vodom (Biba – Jader oko 40 km, Jadro – Dioklecijanova palača oko 11 km, Jadro – Salona oko 6 km, Plavno polje – Burnum oko 32 km, Vodovađa (Konavle) – Epidaurum 26,3 km, itd.), uređivala su se korita rijeka, isušivale močvare, iskorištavala energija vode za mlinice i obrtništvo, gradile luke i pristaništa, javna kupališta, lječilišta i drugo (slika 5). To je razdoblje u kojem je vodoprivreda bila cijenjena, a imala je veliki značaj za održivost gradova, zaštitu zdravlja, standarda življenja i ekonomije.

Poslije 250. g. zbog klimatskih promjena, stagnira razvoj gradova, društva i gradnja UVS-a. Na to je utjecalo i pridošlo germansko stanovništvo i kršćanstvo koje nije uvažavalo antička znanja i kulturu, što je postepeno utjecalo na odnos ljudi prema kulturi vode u cjelini. Društvene i klimatske promjene u Dalmaciji nisu bile tako negativne kao u ostatku Rimskog Carstva. Naime, nakon pada Zapadnog Carstva Dalmacija je sve više dolazila pod utjecaj Bizanta koji je nastavio s primjenom antičkih zakona, kulture i civilizacije vode.

U antici materijalni i nematerijalni čimbenici bili su podjednako važni za razvoj vodoprivrede. Republika (Senat), kasnije car, financirali su, gradili i održavali javne vodovode i drugu infrastrukturu te postavljali upravitelje (*curatores aquarum*). Sve je bilo zakonski regulirano, a akvadukti su bili državnom pravno zaštićeni. Rimska kultura vode oduvijek je oblikovala osjećaj pripadnosti i osobni identitet rimske civilizacije i nije ovisila isključivo o materijalnom statusu, jer je voda bila opće dobro koje se koristilo u skladu sa *zakonom o vodama* i rimskim



Slika 5: Antičke građevine sanitarnog inženjerstva na području Dalmacije

pravom koje je poštovalo društvena, ekonomska i ekološka ograničenja u korištenju voda. Voda u prirodi bila je javno vlasništvo, a korištenje vode na javnim fontanama i u javnim kupalištima bilo je besplatno, dok se korištenje voda u privatnim objektima plaćalo (Bannon, 2017). To je važna nematerijalna mjera vodne civilizacije koja je naglašavala jednakost građana u društvu. Osim toga, pravnici su razvili koncept zajedničkog vlasništva, tj. „općeg dobra” (res communes omnium) u kojem resursi, npr. zrak, voda u rijekama, jezerima i morima te morska obala, nisu bili samo dostupni svima, već su na neki način bili i u vlasništvu svih. Privatno se vlasništvo poštovalo, ali je javni interes imao prednost, tako da su Rimljani uveli zaštitne zone u gradu i izvan grada oko vodoopskrbnih objekata te pravo služnosti. Proizvodnja cijevi i drugih materijala, gradnja objekata, održavanje, planiranje bili su normirani, a upravitelji urbanog vodnog sustava bili su dobro plaćeni i cijenjeni građani. Sve se to primjenjivalo u Dalmaciji (slika 5).

Nakon pada Rimske provincije Dalmacije bizant je upravljao otocima i nekoliko gradova na obali (Salona). U unutrašnjosti i ostalom obalnom prostoru formirana je Prijadranska Hrvatska kojom su vladali hrvatski vladari (Novak, 2004). Prevladava feudalni sustav u kojem su vladari i crkva vlasnici zemljišta, šuma, voda i svega što se u njima nalazi. Stanovništvo/kmetovi bili su vezani uz zemljište feudalaca i crkve radi njegove obrade. Rimski zakoni i propisi prestali su se primjenjivati te nije postojala jednakopravnost građana u korištenju voda. Živjelo se u manjim seoskim naseljima i utvrđenim gradovima gdje je živio vladar s poslugom i malobrojni građanski stalež. Zbog malog broja stanovnika i niske kulture, potrebe za vodom su bile male. Koristili su se lokalni individualni sustavi (bunari, čatrnje), a voda se prevozila i prenosila do naselja te su se gradile septičke jame i slično. Nedostatak odgovarajućih sanitarnih uvjeta, nekontrolirano odlaganje fekalija, nedovoljna zaštita i briga o kvaliteti vode koja se koristi za piće te



Slika 6: Lokve - „rimski bunari” u Dalmaciji

nedostatak primjene antičkih tehnologija sanitarnog inženjerstva, rezultirali su širenjem zaraza i epidemija. U ranom periodu feudalnog sustava zanemario se značaj zdrave vode za opstojnost ljudi kao i antičko znanje o vodi i prirodi, tako da vodoprivreda nije imala društveni značaj kao u antici. Duhovno-religijski aspekti življenja bili su važniji, pa se živjelo kratko (Wikipedia 2). To je uzrokovalo veliku smrtnost stanovništva, migracije, promjenu kulture i sukobe. Kolektivni komunalni UVS-ovi i briga za ljude i javne potrebe nisu bili prioritet tadašnjih vladara. Stoga ovo razdoblje i civilizacija na području Dalmacije nisu ostavili značajnije kulturno nasljeđe, osim crkava i groblja.

4.2 Srednji vijek (700. – 1500.)

Nakon srednjovjekovnog toplog razdoblja (700. – 900.) nastupa značajno zahlađenje, poznato kao malo ledeno doba (MLD), koje je trajalo približno do 1800. godine. Najhladniji period zabilježen je tijekom 17. i 18. stoljeća. MLD su karakterizirale česte jake hladnoće i oštre zime, iako su neka ljeta bila topla, posebno u mediteranskom području. Zahlađenje se događalo u fazama, a ne kao stalni pad. Glavni uzročnici su bili uzastopne vulkanske erupcije, smanjenje solarne radijacije te promjene u atlantskoj cirkulaciji.

Prirodni procesi u okolišu i riječnim bazenima bili su slični onima u kasnoantičkom ledenom dobu. Promjene klime utječu na geoopasnosti poput klizišta, poplava, obalne erozije. Krška vapnenačka struktura nije podložna brzim egzogenim niti endogenim promjenama te su erozijski procesi bili spori i nisu uzrokovali veće probleme. Veće poplave i suše nisu zabilježene u Dalmaciji, tako da je stanje u riječnom slivu ostalo stabilno, odnosno ekološki „zdravo“. Zdravi slivovi stvaraju dobru kvalitetu vode i stalan protok, raznolik vodeni život i prirodni pokrov, čime izravno podržavaju prirodne procese i biološku raznolikost, a također podržavaju kontrolu poplava i skladištenje ugljika. Takve usluge ekosustava od presudne su važnosti za stabilnost okoliša i za opstanak ljudskih zajednica. Obalno područje Dalmacije bilo je pod utjecajem toplijeg Mediteranskog mora koje je ublažavalo temperaturene ekstreme pa su negativni utjecaji MLD-a na ovom području bili blaži.

U srednjem vijeku primarni izvori energije uvelike su se oslanjali na ljudsku i životinjsku mišićnu snagu, pri čemu su drvo i ugljen služili kao glavna goriva za grijanje i kuhanje, dok su energija vjetra i vode pokretale strojeve poput vjetrenjača i vodenica za zadatke poput mljevenja žitarica te plovidbu brodova. To je i dalje bilo solarno društvo (*solar society*), ali su nove tehnologije bile produktivnije od klasičnih, što je dovelo do napretka u poljoprivredi, industriji i ekonomiji. Zahlađenje i zamračenje izazvano erupcijama vulkana imalo je najveći utjecaj na opstojnost civilizacije (Volcanoes, 2024.). Hladno vrijeme i smanjenje insolacije uzrokovali su slab urod i žetvu što je dovelo do kroničnog nedostatka hrane i gladi diljem kontinenta (Cravetto 1, 2007; Cravetto 2, 2007). To je dovelo do gospodarskog

pada i poremećaja uspostavljenih društvenih struktura vlasti (nemiri i pobune) te postojećih sustava opskrbe vodom, hranom i energijom. Unutarnji odnosi i kultura feudalnog društva potencirali su klimatske probleme, a ne ublažavali (Wikipedia 2). Nepovoljni klimatski uvjeti snažno su utjecali na Crkvu i kolektivni mentalitet ljudi, što je u razdobljima kriza dovelo do fenomena lova na vještice. U nedostatku znanstvenih objašnjenja, pojedinci odabrani kao žrtvena janjad često su proglašavani nevjernicima i grešnicima, krivima za nastale klimatske probleme.

Feudalni sustav je imao strogo ustrojenu društvenu hijerarhiju: plemići, svećenstvo i seljaci. Takva staleška podjela određivala je i vlasništvo nad ključnim resursima: vodom, zemljištem i šumama. Većinu stanovništva činili su seljaci-kmetovi. Ruralno stanovništvo koncentriralo se oko vlastelinskih i crkvenih posjeda na kojima su bili primorani živjeti i raditi. U kasnijem razdoblju razvijaju se gradovi i s njima gradski stalež, trgovci i obrtnici, kao nova rastuća srednja klasa koja je bila u stalnom sukobu s Crkvom i feudalcima, dok je Rimokatolička crkva igrala središnju i moćnu ulogu u svakodnevnom životu i kulturi izravno utječući na stabilnost i opstojnost feudalne civilizacije. Prekid s klasičnom antikom nije bio potpun, osobito u južnim mediteranskim krajevima koji su graničili s Bizantom.

Stanovništvo se nakon X. stoljeća značajno povećalo zbog povoljne klime, tehnoloških inovacija u poljoprivredi te procvata trgovine, obrta i zanatstva. Međutim, nakon toplijeg razdoblja nastupa zahlađenje, osobito u kasnom srednjem vijeku, što je rezultiralo glađu, ratovima i širenjem kuge. Ti procesi su značajno smanjili broj stanovnika, posebno između 1347. i 1350. Potrebe stanovništva su bile značajno veće od kapaciteta sustava opskrbe. Crna smrt (kuga) ubila je oko trećine europske populacije. Kontroverze, hereze i Zapadni raskol unutar Katoličke crkve stalno su pratili međudržavne sukobe, građanske nemire i seljačke bune. Takvo stanje u društvu nije pogodovalo razvoju znanosti i inženjerstva niti jačanju sustava upravljanja vodama i opskrbom VHE resursa (Cravetto1, 2007).

Tijekom 11. stoljeća, razvoj filozofije i teologije doveo je do povećane intelektualne aktivnosti. Filozofski diskurs između realista i nominalista potaknuo je ponovno otkriće Aristotela i njegov naglasak na empirizmu i racionalizmu. Katedralne su škole postupno zamijenjene sveučilištima osnovanim u većim europskim gradovima. Na području Dalmacije takvih gradova i škola nije bilo. Svjetovno pravo odnosno rimsko pravo, ponovno je dobilo na značaju otkrićem zbornika *Corpus Iuris Civilis* u 11. stoljeću. To je dovelo do bilježenja i standardizacije pravnih kodeksa diljem zapadne Europe što je postepeno uvodilo red u društvu, vlasništvu nad resursima i pravu korištenja (voda). Srednjovjekovno razdoblje često se karikira kao «vrijeme neznanja i praznovjerja» koje je «riječ vjerskih autoriteta stavljalo iznad osobnog iskustva i racionalne aktivnosti» (Wikipedia 2; Cravetto1, 2007).



a) Cisterna Kninska tvrđava



b) Gradska cisterna u Šibeniku



c) Cisterne u Zadru

d) Onofrijeva fontana u Dubrovniku



e) Trgovanje i prijevoz vode



Slika 7: Vodne građevine i usluge u srednjem vijeku

U to vrijeme znanstvenici renesanse i prosvjetiteljstva suprotstavljali su svoje intelektualne kulture onima iz srednjovjekovnog razdoblja. Zato su znanstvenici smatrali srednji vijek razdobljem propadanja visoke kulture i civilizacije klasičnog svijeta što je stvaralo nered i uzrokovalo stradavanja u društvu više nego hladna klima. Znanstvenici su smatrali da je razum superiorniji vjeri i stoga su srednji vijek smatrali vremenom neznanja i praznovjerja. Stoga se može zaključiti da su unutarnje sile – kultura, civilizacija te odnos prema upravljanju vodama - bile značajan čimbenik koji je umanjivao otpornost društva na hladno vrijeme i promjene klime jer je usporio razvoj DFD sustava.

U 12. i 13. stoljeću Europa je doživjela značajan gospodarski uspon i inovacije u metodama proizvodnje. Naime, u 13. st. nastala je intelektualna prekretnica nakon tumačenja Tome Akvinskog u *Aquinas* *Summa Theologiae* (Teološka suma) u sintezi naslijeđa grčkih filozofa kao što su Platon i Aristotel sa sadržajem kršćanske objave. To je ohrabrilo mislioce da više komuniciraju antičku filozofiju i znanost, što je dovelo do značajnog tehnološkog napretka iako je društvo još uvijek ostalo u okvirima solarnog sustava (*solar society*). Početkom 15. stoljeća, zemlje Iberijskog poluotoka počele su sponzorirati istraživanja izvan granica Europe što je dovelo do prekomorskih kolonija i otkrića novih svjetova, prirode, kultura, znanja i tehnologija. No, to je i razdoblje kolonijalnih osvajanja i masovnih ubojstava domaćeg stanovništva na svim kontinentima, posebno u Južnoj Americi (oko 60 miliona).

Na početku srednjeg vijeka Dalmacijom, točnije prostorom Prijadranske Hrvatske, vladali su hrvatski narodni vladari (800. – 1000./1116. g.), dok su u razvijenom srednjem vijeku prevladavali hrvatsko-ugarski kraljevi (1102. – 1420.). Istovremeno, većinom obalnih gradova i otoka vladali su Bizant i Venecija neprestano se boreći za prevlast. Granice države često

su se mijenjale, a s njima i kultura i civilizacija vladajućih struktura, dok su seljaci/kmetovi uglavnom njegovali tradicionalne običaje i kulturu u življenu i radu.

Voda je u Dalmaciji bila važan resurs: pokretala je mlinove i industriju, omogućavala urbani život i zadovoljavala svakodnevne potrebe čovjeka - kao voda za piće, kuhanje i higijenu. Stanovništvo je koristilo bunare i lokalne izvore, čatrnje i lokve različite izvedbe. Centralizirani sustavi opskrbe vodom po uzoru na Rim nisu se gradili. Voda u bunarima je često bila loše kvalitete, a opće kulturno stanje se nije mijenjalo u odnosu na prethodno postantičko razdoblje. Čatrnje, bunari, lokve i slične retencije bile su glavne disipativne strukture, a navodnjavanje i odvodnjavanje i regulacija toka vode nisu se prakticirali na širem prostoru kao dio vodne civilizacije, već samo ponegdje kao lokalni izolirani zahvati (slika 7). Međutim, vodom se stalno trgovalo jer su bogati kupovali zdravu izvorsku vodu.

U ovom povijesnom razdoblju na području Dalmacije nema značajnijega vodnoga kulturnog naslijeđa, materijalnog i nematerijalnog, što jasno oslikava daljnje nazadovanje kulture vode i upravljanja vodama. Može se zaključiti da je gospodarenje vodama na području Dalmacije nazadovalo kao posljedica rušenja antičkih gradova i infrastrukture, zanemarivanja antičkih civilizacijskih tekovina uslijed smjene stanovništva i dolaskom Slavena te pojavom kršćanske skolastike. Međutim, VHE resursi u širem okolišu uglavnom su bili dostatni za potrebe relativno malog broja gradova i stanovnika.

4.3 Novi vijek (1500. – 1800.)

Novi vijek je početak doba kada je klima bila još hladna, da bi u 16. stoljeću počelo zatopljenje koje traje do danas. Broj stanovnika i gradova te građanski stalež stalno raste. Pojava renesanse, klasične umjetnosti, kulture te filozofije i znanosti dovelo je do naprednijeg

i otpornijeg društveno-fizičkog okruženja, to jest međusobno povezanih odnosa i uzajamnih utjecaja između društava, prirodnog i izgrađenog okruženja te naprednijih socio-fizičkih disipativnih sustava. Broj sveučilišta i visokih škola raste kao i pismenost stanovništva, što treba zahvaliti otkriću tiskarskog stroja (1440.).

Dalmatinskom obalom i otocima najduže je vladala Venecija (1409. – 1797.), dok su u unutrašnjosti kontinenta dominirali hrvatski vladari i Turci (Osmanlije) (1471. – 1718.). Nakon Venecije vlast preuzima prva austrijska uprava (1797. – 1805.), a potom i Francuska (1805. – 1813.). Hrvatska vlast se zadržala jedino u Dubrovačkoj Republici (1186. – 1808.). Društvo i privreda i dalje su se temeljili na solarnoj energiji, ali s naprednijim tehnologijama obrade zemljišta i uzgoja žitarica te dobivanja toplinske energije jer se sve više koristi ugljen. Potrebe za VHE resursima su stalno rasle, no opskrba u Dalmaciji uglavnom je bila dostatna. Glavni izazov i dalje je predstavljalo siromaštvo većine stanovnika koji nisu imali sredstava za ulaganje u obrazovanje i kulturu vode.

Biogeofizički procesi, kao prirodni fenomen u kojem biološki, geološki i fizički aspekti ekosustava zajednički oblikuju klimu i fizički okoliš i s njima povezanu ekonomiju, bili su uobičajeni za dalmatinsko krško podneblje. U riječnim slivovima ovi su se procesi međusobno nadopunjavali s mediteransko-kontinentalnom klimom, čime je postignuta visoka razina prilagodbe promjenama u krajobrazu i biološkoj raznolikosti. Razina mora je postupno rasla utječući na obalne procese erozije, urbanizam i infrastrukturu, ali vrlo sporo i bez naglih promjena ili većih šteta.

U pogledu upravljanja vodama na području Dalmacije ovo je razdoblje bilo znatno naprednije od doba hrvatskih narodnih vladara. To se prvenstveno odnosi na vladanje Venecije i Otomanskog carstva (1400. – 1800. g.). Obje kulture su uvažavale antičku vodnu kulturu i hidrauliku. Antička vodna kultura i civilizacija u Dalmaciji su se najdulje zadržale u Dubrovačkoj Republici koja je gradila urbani vodni sustav na principima antičke

hidraulike sve do modernog doba. Pritom su se donosili planovi, propisi i norme te se gradilo i upravljalo po uzoru na Rim. Izgradnja vodovoda 1437. g. (gravitacijski kanal duljine 11,7 km, s fontanama), rana regulacija gradnje septičkih jama (1272.) te početak gradnje kanalizacije (1328.) čine vodoprivredno kulturno nasljeđe Dubrovačke Republike. To je najznačajniji spomenik sanitarnog inženjerstva u srednjem vijeku ne samo u Dalmaciji nego i u Europi te primjer važnosti i uloge vodne kulture i civilizacije za održivost društva u klimatski nepovoljnim razdobljima.

Venecijanska vlast je dugo trajala, ali nije razvijala vodoprivredu. Gradili su se individualni objekti vodoopskrbe, uglavnom bunari i napredne cisterne/čatrnje sa sporim filtrima za vodu što je osiguravalo dobru kvalitetu vode. Izvorskom se vodom sve više trgovalo, a osnovni sanitarni uređaji su bili septičke jame. Ponegdje se izvode pojedinačni odvodni kanali za otpadne i oborinske vode, ali ne i cjeloviti sustavi odvodnje. U kasnom periodu mletačke vlasti postupno dolazi do većeg uvažavanja vodoprivrede, a sve radi jačanja poljoprivredne proizvodnje (hrane). U ovom su razdoblju započeli značajni melioracijski zahvati: izgrađen je kanal Prosika (1752. – 1770.) za odvodnju voda Vranskog jezera čime su dobivene značajne poljoprivredne površine; donose se planovi uređenja Kosova polja kod Knina (1740.) te se odvija gradnja odvodnih kanala u Konavoskom polju 1804. Kratka francuska vladavina nije realizirala značajnije vodoprivredne projekte, ali je ukinula Dubrovačku Republiku. Imali su znanje, ali nisu vladali dovoljno dugo da bi se nešto značajnije promijenilo, kao što se to dogodilo s gradnjom cesta u Dalmaciji.

Može se zaključiti da je u ovom razdoblju došlo do skromnog napretka u razvoju upravljanja vodama, razvoja i izgradnje UVS-a i uređenja voda na poljoprivrednim zemljištima. Hidroenergetsko iskorištavanje se zadržalo na antičkim sustavima (vodno kolo). Najveći napredak se dogodio u pomorskom prometu, to jest izgradnji i opremanju luka za prijem sve većih i modernijih brodova, obilježavanju i zaštiti plovni



Tunel Krotuša Vrgorsko polje,
1813. g.



Kanal Prosika Vransko jezero,
1752.-1770. g.



Projekt uređenja gornjeg toka Krke i
melioracije Kosova polja 1774. G.

Slika 8: Kulturno nasljeđe upravljanja vodama novog doba u Dalmaciji

putova, budući da je trgovina bila glavna privredna grana Venecije. Taj je trend nastavila i kasnija austrijska uprava. Na prostoru kojim su vladali Osmanlije vodno se gospodarstvo razvijalo u skladu s tradicijom i praksom Osmanskog Carstva. Osmanlije u naseljima i uz putove grade fontane/česme po uzoru na Rimljane te seoske čatrnje i lokve, sustave navodnjavanja i odvodnjavanja zemljišta i iskorištavanja geopotencijalne energije voda. Kulturno nasljeđe, materijalno i nematerijalno i danas je vidljivo, posebno na širem dubrovačkom području (slika 8).

Hrvatski znanstvenici i stručnjaci su bili malobrojni, a školovali su se na europskim sveučilištima, najviše u Italiji. Najcjenjeniji su bili: Faust Vrančić (1551. – 1617.) i njegovo djelo *Machinae novae (Nove naprave)* te dubrovčanin Ruđer Bošković (1711. – 1787.) i njegovo djelo *Philosophiae naturalis theoria* (1758.). Oba su se znanstvenika bavila problemima voda i vodnog gospodarstva, što pokazuje važnost vode za društvo te su u starom i novom vijeku bili najznačajniji hidrotehnički znanstvenici i inženjeri Dalmacije.

4.4 Suvremeno doba do II. svjetskog rata (1814. – 1945.)

U Europi pa tako i u Dalmaciji i dalje prevladava topla i stabilna klima (slika 3). Međutim, postaju učestalija sušna razdoblja tijekom toplog dijela godine te istodobno i intenzitet obilnih oborina, kao i ukupne oborine, što je povisilo rizik od pojave velikih voda. Povremeno je bilo i hladnih razdoblja tako da je u srednjoj Europi ljeta 1816. g. bilo najhladnije do tada zabilježeno.

Trend promjena temperature i oborina ukazuje na trend rasta egzodinamičkih procesa/erozije pod utjecajem temperature i voda, pa time generiranje većih količina sedimenta. Time se odvija proces produbljivanja korita u strmim (produktivnim) zonama rijeka te stvaranje riječnih dolina i zasipavanje obala i ušća. Međutim, obalni hidromorfološki procesi širenja kopna u more u 20. se stoljeću usporavaju jer se ubrzava rast SRM-a zbog sve većeg zagrijavanja mora i zraka. Zato veći rast SRM-a poništava učinke akumulacije sedimenta u zonama rijeka koje su u kontaktu s morem (Neretva, Cetina, Zrmanja). To posebno dolazi do izražaja u riječnim sustavima koji su značajno modificirani gradnjom akumulacija i nasipa (Neretva).

Sredinom 18. stoljeća započinje Prva (prijelaz s ručnog rada na mehaniziranu proizvodnju), a krajem 19. Druga industrijska revolucija (energetska revolucija). To je vrijeme parnog stroja (oko 1760. g.) i korištenja ugljena i željeza te uvođenja nove energije, kemijske energije pohranjene u fosilnim gorivima. Nafta se počela eksploatirati od 1859. g. u SAD-u i postaje glavni izvor kemijske energije za dobivanje mehaničke u motoru s unutarnjim sagorijevanjem. Godine 1884. kao energent se koristi zemni plin, a 1834. konstruiran je prvi elektromotor. Nikola Tesla zaslužan je za pronalazak trofazne izmjenične struje (1887.) i okretnog magnetskog polja koje omogućuje jednostavnu

pretvorbu mehaničke energije u električnu. Time počinje vrijeme električne energije (tok električne energije ili naboja). Nova energija iz temelja mijenja okoliš, ekonomiju i društvo, ali i upravljanje vodama. Ona postupno zamjenjuje klasičnu solarnu energiju te oslobađa čovjeka od teškog rada što bitno mijenja život ljudi. Nastaje masovna proizvodnja dobara i time zarada koje se može ulagati u druge svrhe. Posljedično nastaje potreba većeg i složenijeg korištenja i uvažavanja voda i vodoprivrede kao ključne aktivnosti za ostvarenje visoke kulture življenja, održivosti društva i ekonomije. Nova energija i tehnologije omogućili su zahvaćanje dubokih podzemnih voda i dopremu znatnih količina vode na velike visine i udaljenosti. Sanitarno inženjerstvo pritom dobiva na važnosti, jer bez zdrave urbane sredine napučeni gradovi nisu održivi. Pronalazak bakterija 1676. omogućio je otkrivanje uzročnika širenja bolesti vodom i zrakom (1800.), što je dovelo do implementacije bakteriološkog standarda vode za piće (1914.). Zbog naglog porasta potrošnje hrane provode se melioracije zemljišta i gradnja sustava navodnjavanja i zaštite od poplava. Industrija troši sve više vode što zahtijeva razvoj velikih kapaciteta opskrbe vodom. Rijeke imaju veliki značaj za transport dobara i sirovina, što je dovelo do njihove regulacije, izgradnje kanala različitih namjena, luka i drugih hidrotehničkih objekata. Slično se događalo i s morskim lukama koje su postajale sve veće i modernije s obzirom na razvoj parobroda koji su zamijenili jedrenjake. Zbog sve vidljivijeg zagađenja voda i smanjenja njihove uporabne vrijednosti, raste briga o okolišu i vodama pa jača sektor zaštite voda. Svi ovi procesi događali su se i na području Dalmacije.

Nova energija i ubrzani razvoj potaknuli su istraživanja, inovacije i razvoj tehnologija sanitarnog inženjerstva (obrade vode za piće i pročišćavanja otpadnih voda) kao i školovanje kadrova za rad u vodoprivredi. To je razdoblje značajnih otkrića u području vodnih tehnologija uključujući obradu vode za piće (prvi patent za filtre 1746., spori filtri 1827., brzi filtri 1880.), dezinfekciju klorom i ozonom (1906.), pročišćavanje otpadnih voda (1800. do 1914.) i razvoj osnovnih procesa pročišćavanja poput septičkih jama (1895.), Imhoffova taložnika (1903.) prokapnika (1895.) i aktivnoga mulja (1914.). Sve se više koriste crpke i visokotlačni sustavi (lijevanoželjezne cijevi, Francuska 1664., Split 1860.) za precrcplivanje vode na više kote terena. Kanalizacija i odvodni gravitacijski kanali gradili su se od cigle, morta i kamena, a kasnije betona. Sve se to koristilo u Dalmaciji.

Suvremeno doba u Dalmaciji obilježila je vladavina druge austrijske uprave 1814. – 1918. g. Dalmacija postaje Kraljevina Dalmacija u sastavu Austrijskoga Carstva (1815. – 1867.), sa sjedištem u Zadru. Doživljava ekonomski napredak i vrlo značajan razvoj vodoprivrede. Taj se trend nastavlja i u periodu Austro-Ugarske Monarhije (1867. – 1918.) u kojoj je Dalmacija i dalje ostala pod izravnom bečkom upravom. Ratovi s Osmanskim Carstvom i Venecijom su prestali, tako da



a) Projekt regulacije Neretve, 1887. G.



b) Vodovodna mreža i fontana, Split 1880.



Slika 9: Hidrotehnički planovi i projekti u suvremeno doba Dalmacije

broj stanovnika raste, a s njima i gradovi, ekonomija i trgovina. Dolazi do migracije stanovništva u gradove, urbanizacije i razvoja UVS-a te vodoprivrede u cjelini. Voda i more postaju važni ekonomski resursi. Vode je u rijekama bilo dovoljno, ali ne na otocima i brdskim predjelima Dalmatinske zagore.

Austrijska apsolutistička uprava je donosila propise, norme, školovala kadrove te poticala razvoj i primjenu naprednih tehnologija. Vode su bile imovina države (ukaz Marije Terezije, 1776.), a od 1812. male i velike rijeke te morske obale i luke postaju javno dobro. Zemaljski sabor Kraljevine Dalmacije donio je 1873. godine *Zakon za kraljevinu Dalmaciju o uporabi, odvođenju i obrani od voda izuzev mora* (1873.) koji je detaljnije regulirao ovu problematiku. Nije postojala zasebna uprava za vode, a aktivnosti vodoprivrede su bile sastavni dio službe vezane uz gospodarske djelatnosti (poljoprivreda, pomorstvo, industrija, promet, itd.) i javne usluge (zdravstvo).

U ovom su razdoblju u Dalmaciji izgrađeni značajni vodoprivredni sustavi i građevine koje koristimo i danas. Među značajnijima su regulacija rijeke Neretve i zaštita od poplava donje Neretve (1881. – 1887.), izgradnja riječne luke u Metkoviću, morskih luka i lukobrana u Splitu, Šibeniku, Zadru i nizu manjih naselja na obali i na otocima. U Dalmaciji se u to vrijeme grade prve hidroelektrane: Jaruga na Krki (1895.) – druga HE u svijetu i prva u Europi, HE Miljacka na Krki (1906.), HE Vrilo na Jadru (1908.) te HE Kraljevac na Cetini (1912.)

što zorno govori o snažnoj industrijalizaciji Dalmacije. Paralelno se razvijaju moderni UVS-ovi; Dubrovnik (1826./1907.), Split (1880.), Zadar (1838./1902.), Šibenik (1879.) (slika 9).

U vodom siromašnim područjima Zagore i na otocima grade se komunalni sustavi za prikupljanje kišnice i vode iz povremenih vodotoka, kao ključni objekt vodoopskrbe stanovništva, uz akumulacije za prikupljanje kišnice za potrebe poljoprivrede i stočarstva (slika 10). Uređuju se brojne bujice, sustavi odvodnje velikih voda i postupno melioriraju krška polja: Vrgorsko polje (tunel Krotuša), Ravni kotari, Imotsko, Sinjsko i Kosovo polje te dolina Neretve. To je razdoblje u kojem se razvija djelatnost zaštite voda i vodnog krajobraza u svrhu razvoja turizma, ali i početak višenamjenskog iskorištavanja voda (regulacija donjeg toka Neretve), koje se nastavilo sve do danas. Pokazalo se da su dalmatinski krški vodni sustavi pouzdan i vrijedan resurs koji može podržavati društveno-ekonomski razvoj Dalmacije i šire, no taj se potencijal nije razvio jer vlada Austrije nije osobito marila za probleme ljudi u Dalmaciji (bolesti vinove loze, propast jedrenjaka, nestašica hrane na otocima), a blizina I. svjetskog rata potaknula je masovno iseljavanje u prekomorske zemlje, a time i stagnaciju razvoja.

Nakon I. svjetskog rata i raspada Austro-Ugarske Monarhije, Dalmacija većim dijelom pripada Kraljevini Jugoslaviji (KSHS), dok njezini sjeverni dijelovi dopijevaju pod Italiju (Zadar, Rijeka). Broj stanovnika



a) Seoske cisterne



b) Cisterne Konavosko polje



c) Vodonosac

Slika 10: Vodne građevine i usluge u zaleđu i na otocima

se značajno smanjio kao i privredne aktivnosti, a time i potrebe za VHE resursima. Projekti započeti u prijašnjem periodu postupno se realiziraju uglavnom lokalnim inicijativama; dovršena je odvodnja velikih voda Vrgorskog polja (1938.), vodovod Split izgradio je moderni uređaj za preradu vode za piće (1927. – 1931.) te su nastavljeni radovi gradnje kanalizacija u većim gradovima, održavaju se luke, uređuju krška polja i bujice, itd. Istovremeno se otvaraju sveučilišta i učilišta na kojima postoje programi za školovanje vodoprivrednih kadrova (Zagreb, Beograd, Ljubljana, Sarajevo). Ključan događaj za znanost je osnivanje Instituta za oceanografiju i ribarstvo u Splitu 1930. godine kao prve nacionalne znanstveno-istraživačke institucije koja se bavi istraživanjem mora. Institut se između ostalog bavio i sustavnim proučavanjem rasta SRM-a na istočnoj obali Jadrana, uspostavlja mareograf, (Split 1930.) i počinje donositi preporuke o prihvatljivim faktorima sigurnosti kod gradnje obalnih građevina i infrastrukture.

Država je donosila propise i uredbe. Osnutkom nove Kraljevine pokrenuto je izjednačavanje zakona uključujući i Zakona o vodama Kraljevine Hrvatske, Slavonije i Dalmacije iz 1891. godine. Općine su kao prvostupanjska tijela upravne vlasti, obavljale poslove državne uprave između ostalog i poslove sanitetske i veterinarske službe, održavanja puteva, mostova, obala i rijeka, realizacije propisa vodoprivrede i šumarstva, lova i ribolova te poljske policije. Vode su bile narodno vlasništvo pa je država njima upravljala preko svojih institucija. Nije postojala jedinstvena institucija koja integralno upravlja vodama i morem.

4.5 Suvremeno doba nakon II. svjetskog rata

Klima postaje sve toplija, a rast SRM-a ubrjava. Svijet se nakon Drugog svjetskog rata podijelio na zemlje Zapadnog bloka i zemlje Istočnog bloka i time započinje razdoblje hladnoga rata. Godine 1945. proglašena je Federativna Narodna Republika Jugoslavija (FNRJ) koja je bila neutralna država te članica nesvrstanih zemalja. U sastavu FNRJ bila je Hrvatska u sklopu koje je se nalazila regija Dalmacija. Nacionalno pitanje nije bilo riješeno kao ni upotreba nacionalnog jezika što je stvaralo nezadovoljstvo koje je 1971. kulminiralo s Hrvatskim proljećem kao reformnim razdobljem koje nije donijelo očekivane rezultate. Godine 1974. donesen je ustav u koji su ušli traženi ustavni amandmani iz 1971. Po tom ustavu uvedeni su paritetni odnosi između republika i konsenzus u odlučivanju. U novom ustavu Socijalistička Republika Hrvatska definira se kao država i samoupravna zajednica no te odredbe u stvarnosti nisu u potpunosti zaživjele. Naposljetku su duboki nesporednosti i ekonomska kriza doveli do sukoba i raspada Jugoslavije 1991. Stvorena je neovisna Republika Hrvatska, koja 2013. postaje članica Europske unije. U ovakvom društveno-političkom okruženju promjene u razvoju vodoprivrede u Dalmaciji mogu

se pratiti u dva razdoblja, (I) period Jugoslavije (1945. – 1990.) i (II) period Republike Hrvatske (od 1990. do danas).

Porast temperature zraka i mora, pojava vremenskih ekstrema te biogeomorfološke promjene nastavili su se kao i u prethodnom razdoblju. Klimatskim promjenama sve snažnije dominiraju antropogeni utjecaji. Klima utječe na vodne resurse kao i na hidromorfološke značajke rijeka i mora na isti način kao u prethodnim razdobljima, ali uz znatno veći intenzitet. Navedeno je izravna posljedica druge i, nakon nje, treće industrijske revolucije poznate kao informatičko (digitalno) doba.

FNRJ je od 1945. bila komunistička država u kojoj je provedena nacionalizacija imovine, da bi 1963. novim ustavom postala SFRJ i time socijalistička država sa socijalističkim društvenim uređenjem u kojem je sve bilo u vlasništvu naroda, slično kao u rimskom pravnom sustavu. Privatna imovina je postojala, ali u znatno manjem opsegu i nije uključivala vode i rudna blaga. Nakon rata vladala je neimaština, nezaposlenost i sveopća kriza. U Dalmaciji je broj stanovnika znatno opao, a gradovi, infrastruktura i industrija bili su razoreni. Takve su okolnosti potaknule migracije, ali i sveobuhvatnu obnovu, uključujući i vodoprivredne sustave i objekte koja se dijelom financirala isplatama ratne odštete, čime je nabavljena tada dostupna tehnologija, nužna za razvoj uz pomoć zemalja Zapadnog i Istočnog bloka. Ta je pomoć obuhvaćala kulturnu, ekonomsku i tehnološku suradnju i izobrazbu ljudskoga kapitala. Obrazovanje je, uključujući i smještaj i prehranu, bilo besplatno i poticano. Takvo stanje rezultiralo je masovnim obrazovanjem u svim sektorima društva i ekonomije i stvorilo respektabilne ljudske resurse nužne za brzi razvoj države i vodoprivrede. Time je započelo razdoblje najvećeg napretka hidrotehničke znanosti u Hrvatskoj.

Nekadašnji antički gradovi u Dalmaciji ponovo proživljavaju uspon, pa Split postaje najveći grad na istočnoj obali Jadrana i sjedište regije, preuzimajući ulogu Salone u antičkoj Dalmaciji. Trend urbanizacije posebno je izražen u velikim obalnim gradovima. Donose se petogodišnji planovi razvoja države, uključujući i vodoprivrede. Cilj tadašnje vlade bila je samodostatnost u osnovnim resursima i proizvodima što je potaknulo razvoj poljoprivrede, energetike, prometa i pomorstva te različitih grana industrije. Sveopća industrijalizacija uzrokovala je iseljavanje stanovništva iz ruralnih područja u gradove, što je država poticala politikom zapošljavanja i dodjele stanova. Dolazi i do značajnih regionalnih migracija iz Dalmacije u Slavoniju, dok iz unutrašnjosti Jugoslavije stanovništvo kreće prema obali, posebice Rijeci i Istri, kako bi se naselila područja koja su napustili Talijani (Rijeka, Zadar, Istra) i Nijemci (Slavonija).

Vode postaju važni prirodni resursi, od strateške važnosti za razvoj i obranu države, zbog čega se vodoprivredi pridaje veliki značaj. Vode su vlasništvo naroda (društveno vlasništvo), a naknada za korištenje

voda se ne naplaćuje. Centralna vlast je donosila zakone, propise i norme te upravljala vodama i razvojem vodoprivrede. Vodoprivreda se ustrojava po republičkom administrativnom, ali i slivnom konceptu što omogućava optimalno planiranje, nadzor i upravljanje. U Dalmaciji se podižu veliki vodoprivredni sustavi i brojni hidrotehnički objekti na otocima, obali i u unutrašnjosti. Zbog povoljnih uvjeta, gradi se velik broj hidroelektrana s manjim ili većim višenamjenskim akumulacijama. Više od 15 takvih postrojenja podignuto je na rijekama Zrmanji, Cetini, Krki, Lici i Neretvi. Reguliraju se krške rijeke (Neretva, Cetina, Krka i Zrmanja) i provodi zaštita od poplava i melioracija zemljišta: delta Neretve, Vrgorsko polje, Imotsko – bekijsko polje, Kosovo polje, Kninsko i Drniško polje, Vransko jezero, Konavosko polje itd. Grade se veliki regionalni vodoopskrbni sustavi Vodovod Split, Šibenik, Zadar, Omiš – Brač – Hvar – Vis, Neretva – Pelješac – Korčula – Lastovo, Cetina – Makarsko primorje, vodovod Dubrovnik i dubrovačko primorje, itd. koji su uz nove marine i lučice bili temelj razvoja turizma. Sve više se koriste mineralne i termalne vode, slično kao u rimsko doba.

Zbog urbanizacije, industrijalizacije i razvoja poljoprivrede raste pritisak na okoliš i vode te zaštita okoliša i voda postaje značajna aktivnost što uključuje i izradu studija o utjecaju na okoliš. Osniva se društvo za zaštitu okoliša i voda (1979.). Uvodi se koncept cjelovitog (integralnog) upravljanja vodama, čime se nastoji nadići sektorsko upravljanje vodama. Jača međunarodna suradnja, prvenstveno kroz Mediteranski akcijski plan (MAP 1976.) čija je članica bila Jugoslavija, dok je Centar za regionalne aktivnosti Programa prioritetnih akcija (PAP) smješten u Splitu. Utvrđeno je da je Sredozemno more ugroženo te da je nužan zajednički rad na razini cjelovitog vodnog sustava Sredozemnog mora, a time i voda Dalmacije. Donosi se više konvencija, pokreću brojni projekti i inicijative kojima se potiče suradnja i ostvaruje transfer znanja i prakse u upravljanju vodama i morem te kontrola izvora onečišćenja i nadzor nad iskorištavanjem mora. To je razdoblje s najintenzivnijim razvojem vodoprivrede u sveukupnoj povijesti Dalmacije. Ulaže se u istraživanja i izobrazbu stručnjaka, osnivaju se instituti i zavodi koji se bave problematikom voda, mora i upravljanjem vodama, ali ne i zasebni hidrotehnički fakultet.

Nakon raspada SFRJ, Hrvatska se transformirala iz ratnog sustava u suvremenu demokratsku državu s tržišnim gospodarstvom u kojem se uvažava i štiti privatno vlasništvo i demokratske slobode te se uvodi kapitalistički ekonomski sustav. U RH Dalmacija nije zasebna administrativna jedinica. Prijelaz iz socijalističkog u kapitalističko društveno uređenje doveo je do duboke transformacije društva i gospodarstva, što je značajno utjecalo na životni standard. Gašenje brojnih industrijskih pogona, čak i cijele industrije, uzrokovalo je stagnaciju ekonomske aktivnosti u svim sektorima pa i upravljanju vodama. Danas dominira uslužni sektor



a) HE Peruča



b) HE Zakućac



c) Melioracija doline Neretve



d) Regionalni vodovod Omiš – Brač – Hvar – Vis

Slika 11: Vodne građevine u suvremeno doba nakon II. svjetskog rata

koji čini više od 20 % BDP-a, što je karakteristika srednje razvijenih ekonomija.

U Republici Hrvatskoj vodoprivreda je zadržala značaj koji je imala u SFRJ, s time da je zbog promjene političkog sustava i usklađivanja s pravnom stečevinom

EU-a došlo do promjena i u vodoprivrednom sustavu. Voda kao ekonomski resurs u tržišnom gospodarstvu ima sve veći privatni interes, posebno more i pomorsko dobro, koji se nerijetko kosi s javnim interesom na lokalnoj razini. Politički i normativni okvir za upravljanje vodama diktiraju propisi EU-a koji su obvezujući, tako da lokalni (nacionalni) utjecaj slabi. Rast SRM-a uzrokovan klimatskim promjenama, postaje najveća prijetnja u obalnoj zoni. Te promjene se ne mogu spriječiti lokalnim mjerama, pa se njihove posljedice moraju uvažavati u svim aspektima vodoprivredne djelatnosti. Od 1990. nisu realizirani značajniji vodnogospodarski projekti. Aktivnosti su se većinom svodile na širenje i modernizacija UVS-a te sustava navodnjavanja i odvodnjavanja, uz izgradnju samo jedne nove hidroelektrane. Može se zaključiti da vodno gospodarstvo stagnira, ali sustavno planiranje se redovito realizira u skladu sa zahtjevima EU-a, što je veliki napredak za Hrvatsku koja nikada nije imala Vodnogospodarsku osnovu kao sve druge Republike u Jugoslaviji, ni samostalan hidrotehnički fakultet, već samo specijalizirani smjer na građevinskom fakultetu.

Ponovo, kao što se to događalo više puta u povijesti, unutrašnja ugroza u obliku pandemije pokrenula je negativne civilizacijske trendove s kojima se društvo danas susreće na regionalnoj i globalnoj razini (egzistencijalni resursi, sukobi, ratovi). Rastuća klimatska i geopolitička kriza značajno utječe na vodno gospodarstvo u Hrvatskoj i održivost življenja, zbog čega je nužno ubrzano jačati nacionalne interese. Raspoloživost vode i stanje voda u Dalmaciji je trenutno relativno dobro. Ipak, prioriteti moraju biti obuzdavanje nekontrolirane urbanizacije i turizma te smanjenje velikog sezonskog opterećenja okoliša, voda i vodnih sustava u cijelome obalnom području Hrvatske. Koevolucija klimatskih promjena i neodrživog razvoja obalnog pojasa mogla bi dovesti do urušavanja društveno-fizičkih disipativnih sustava, što se kroz povijest Dalmacije već događalo u razdobljima velikih kriza.

5. RASPRAVA I ZAKLJUČAK

Klimatske su promjene kroz povijest u Dalmaciji uzrokovale preobrazbe biofizičkog okoliša, a time i raspoloživost resursa za prirodu i čovjeka. Intenzitet i trajanje Sunčeve energije određivali su stanje prirodnog sustava što je izravno utjecalo na opstojnost civilizacije. Rezultati pokazuju da su topla i stabilna klimatska razdoblja podržavala stabilnost i napredak civilizacija, dok su ga hladna i nestabilna ugrožavale. Stabilnost sustava, kao i brzina prilagodbe promjenama ovisili su o razvijenosti DFD sustava i struktura, poput sustava upravljanja vodama. Upravljanje vodama ima ključnu svrhu smanjenja entropije (ranjivosti) društva. Evolucijom su prirodni sustavi razvili vlastite mehanizme prilagodbe i opstanka (nestabilne dinamičke ravnoteže), dok čovjek mora svjesno osmisliti i primijeniti DFD

sustave. Dugoročna stabilnost podrazumijeva neprestan napredak i primjenu novih tehnologija i rješenja.

U toplim i stabilnim klimatskim razdobljima, kada je Dalmacija bila dijelom razvijenih civilizacija, napredovala je zahvaljujući učinkovitom upravljanju vodama koje je bilo prilagođeno krškom hidrološkom sustavu i krajobrazu. To se odnosi na rimsko razdoblje u starom vijeku te na toplo razdoblje novoga i suvremenoga vijeka (od Kraljevine Dalmacije do razdoblja SFRJ i današnje Hrvatske). Napredak je bio rezultat povoljnih klimatskih uvjeta (vanjskih čimbenika), ali i naprednih DFD sustava (unutarnjih mjera), koji su osiguravali dostatnu proizvodnju, skladištenje i distribuciju VHE resursa. Tehnološki napredak i raspoloživa energija omogućili su kontrolu nad rastom entropije. Manje klimatske i unutarnje nestabilnosti nisu mogle ugroziti stabilnost sustava kao cjeline, jer je sustav uvažavao javni interes i ravnopravnost u korištenju prirodnih resursa te financirao izgradnju, održavanje i zaštitu vodnih sustava, slično kao u antici. To su dosezi napredne socijalno osviještene civilizacije koja je razumjela da je zadovoljavanje temeljnih prirodnih potreba ljudi preduvjet za stabilnost zajednice.

U razdobljima hladne i promjenjive klime, nedostatak energije preoblikovao je okoliš i ugrožavao proizvodnju hrane, pitke vode i energije, čime je rasla ranjivost zajednice. To je uzrokovalo porast entropije prirodnih sustava i smanjenje bioraznolikosti, jer su slabije jedinice stradale, a opstajali samo otporniji pa su usluge ekosustava bile oskudnije. Poremećaji u prirodnom okruženju izravno su se prenijeli na društveno-ekonomski sustav. Dolazilo je do pojave gladi, nemira, smanjenja broja stanovnika i poremećaja u društvu u cjelini, jer je nedostajalo slobodne energije potrebne za proizvodnju i distribuciju dobara. To su razdoblje obilježili kasnoantičko malo ledeno doba (vrijeme Bizanta i hrvatskih narodnih vladara) te srednjovjekovno malo ledeno doba, koje je potrajalo sve do početka suvremenog doba (kraja razdoblja vladavine Venecije i Osmanlija). U tim se razdobljima načela jednakosti i zajedničko vlasništvo nad prirodnim dobrima te znanje i tehnologije antičkog svijeta nisu primjenjivali, pa je izostalo i potrebno upravljanje vodama. Društvo se u tom razdoblju još uvijek oslanjalo na Sunčevu energiju. Postojeći sustavi upravljanja vodama nisu uspjeli spriječiti negativne efekte na kvalitetu života, zbog čega postupno dolazi do promjena u sustavu koji sve više uvažava kulturu, filozofiju i vodnu znanost antike. Te promjene, uz uspon građanske klase, stvaraju okvir za inovacije, nove tehnologije i disipativne sustave kojima se smanjuje ranjivost društva. Bilanca potreba se poboljšava, tehnologije postaju učinkovitije, a društvo tolerantnije i ravnopravnije čime se ublažavaju posljedice hladnoga razdoblja. To je bilo moguće jer je period MLD-a dugo trajalo, ali bez učestalih vulkanskih poremećaja klime, tako da su se prirodni i društveni sustav bili u mogućnosti postepeno prilagoditi novim klimatskim uvjetima. Dodatno, prekomorska osvajanja

i globalna razmjena dobara jačali su društveni sustav. Proizlazi da su unutarnje negativne sile tijekom vremena slabile, smanjujući rast entropije na račun ekspanzije u globalnom kolonijalnom sustavu, što je društvo održavalo daleko od stanja maksimalne entropije, odnosno kolapsa. Dubrovačka Republika primjer je takve zajednice, dok je Prijadranska Hrvatska bila primjerom suprotnog procesa.

Suvremeno industrijsko razdoblje, obilježeno globalnim zatopljenjem, koristi nove izvore energije, inovacije i tehnologije koje ubrzavaju sve proizvodne procese i potrošnju resursa, ali i onečišćenje okoliša, što uzrokuje rast entropije i ranjivosti. Za razliku od društva, priroda je zadržala svoju dinamiku korištenja i pretvorbe Sunčeve energije te stvaranja uvjeta i dobara nužnih za življenje. Zbog toga je jaz između ljudskih potreba i prirodnih opskrbnih kapaciteta sve veći, što ugrožava stabilnost društva i održivost okoliša. To se prvenstveno odnosi na vodu, hranu i energiju, pri čemu voda postaje ključni resurs održivosti i napretka. Razdoblje socijalizma (SFRJ) pokazalo se povoljnijim za razvoj vodnoga gospodarstva. To je vrijeme najvećeg i najbržeg napretka u upravljanju vodama u povijesti Dalmacije, što nije bio samo rezultat povoljnih vanjskih sila (klime), već i onih unutarnjih, to jest socijalne civilizacije. Prelaskom iz socijalizma u liberalni-kapitalizam stanje se pogoršava, a napredak usporava. Zajedničko narodno dobro postupno prelazi u privatnu ili poluprivatnu sferu (putem koncesija), što smanjuje okvir za ostvarenje ravnopravnosti u korištenju prirodnih resursa i samim time napretka. Samo oni koji imaju, mogu imati više, a oni koji nemaju, imaju sve manje, jer si ne mogu priuštiti korištenje (koncesiju) privatizacije zajedničkih dobara. Zato je veliko pitanje kako će moderno društvo u takvim uvjetima ostvariti nužnu održivost i stabilnost.

Buduće promjene klime oblikovat će novi biofizički okoliš (ranjivost) koji će postati temelj za razvoj biofizičke ekonomije i upravljanja vodama. Pitanje kontrole globalnih utjecaja i podjele odgovornosti za nastalo stanje će se produbljivati i zaoštavati izravno utječući na regionalne i lokalne politike prilagođavanja promjenama klime. Čini se da smo sve bliže trenutku u kojem sukobi oko korištenja egzistencijalnih resursa postaju realnost, jer je razlika između količina koje priroda može dati i koje ljudi trebaju, sve veća. Sustavan pogled u prošlost i predložena metodologija u ovome radu možda podučiti današnje političare i stručnjake o presudnoj važnosti upravljanja vodama u klimatski i društveno nepredvidivoj budućnosti. ■

LITERATURA

Bannon, C.J. (2017.): Fresh Water in Roman Law: Rights and Policy Article in *The Journal of Roman Studies* · August 2017.

Burney, S., Aqil, M., Saleem, H. (2008.): *Inductive and Deductive Research Approach*. 10.13140/RG.2.2.20028.90249.

Brooks, D.R. (2011.): The Extended Synthesis: The Law of the Conditions of Existence, *Evo Edu Outreach* (2011) 4:254–261 DOI 10.1007/s12052-011-0328-3]

Cravetto 1, E. (2007.): *Povijest Knjiga 5. Kasno Rimsko Carstvo i Rani Srednji vijek*, Jutarnji list, Zagreb, Hrvatska.

Cravetto 2, E. (2007.): *Povijest, Knjiga 6. Rani i razvijeni srednji vijek*, Jutarnji list, Zagreb, Hrvatska.

Eloise M. Biggs i sur. (2015.): Sustainable development and the water–energy–food nexus: A perspective on livelihoods, *Environmental Science & Policy*, Volume 54, December 2015, 389–397, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.002>

Giason, L., Fuller, D Q., Nicoll, K. i sur. (2013.): *Climates, Landscapes, and Civilizations* [M]. John Wiley & Sons [2024-09-12].

Koppen's Climate Classification, <https://blogmedia.testbook.com/blog/wp-content/uploads/2021/05/koppen-1360be25.pdf> (preuzimanje 22.7.2024.).

Margeta, J. (1992.): *Osnove gospodarjenja vodama*, Građevinski fakultet, Sveučilište u Splitu, Hrvatska.

Margeta, J. (2024.): Historic socio-hydromorphology co-evolution in the Delta of Neretva, *Appl. Sci.* 2024, 14, 6477. <https://doi.org/10.3390/app14156477>

Margeta, J. (2022.): Water abstraction management under climate change: Jadro spring Croatia. *Groundw. Sustain. Dev.* 2022, 16, 100717.

Margeta, J. (2024.): *Povijest vodnog gospodarstva na području Dalmacije*. Okrugli stol Povijest hidrologije i vodnog gospodarstva u Republici Hrvatskoj, Osijek, Zbornik radova 53 – 72.

May, A. (2016.): *Climate and Civilization for the past 4,000 years*, <https://andymaypetrophysicist.com/climate-and-civilization-for-the-past-4000-years/> Postavljeno 22.6. 2016. (preuzimanje 22.4.2024)

McCormick, i sur. (2012.): More Climate Change during and after the Roman Empire: Reconstructing the Past from Scientific and Historical Evidence. *J. Interdiscip. Hist.* 2012, 169–220. [Cross Ref]

Mark Paul Anthony Ciotola (2023.): A Thermodynamic Interpretation of the Progression of Historical Processes, *Journal of World-System Research*, ISSN: 1076-156X | Vol. 29 Issue 1 | DOI 10.5195/JWSR.2023.1175 | [jwsr.pitt.edu](https://www.jwsr.pitt.edu)

Milanovic, P. (2004.): *Water Resources Engineering in Karst*; CRC Press: London, UK.

Novak, G. (2004.): *The past of Dalmatia I and II* (in Croatian), Marjan tisak, Split, Hrvatska.

Pliny the Elder. (1892.): *The Natural History of Pliny*; Bostock, J., Riley, H., Bohn, H.G., Eds.; Taylor & Francis: London, UK, 1892.

Poudel, R., McGowan, J., Georgiev, G.Y., Gunes, E., Zhang, H. (2023.): *Thermodynamics 2.0: Bridging the natural and social sciences*, Published: 19 June 2023 <https://doi.org/10.1098/rsta.2022.0275>

Sydeh, H. H., Omid B.H., Daniele B. (2021.): Water, culture, civilization, and history, Pages 189–2016) in the book *Economic, Political, and Social Issues in Water Resources*, Publisher: Elsevier Science, Pub. Date: 2021, pages: 396, ISBN: 978-0-323-90567-1. eISBN: 978-0-323-90692-0

Schieve, W.C., Peter M. A. (1982.): Self-Organization and Dissipative Structures: Applications in the Physical and Social Sciences. *University of Texas Press, 1982. JSTOR*, <https://doi.org/10.7560/703544>, preuzimanje 26.5.2025.

Tvedt, T., Jakobsson, E. (2006.): *Introduction: Water History Is World History*. Available online: https://www.researchgate.net/publication/336233029_Introduction_Water_History_is_World_History (preuzimanje 22.6.2024.).

Vitruvius, P., Warren, H.L. (2010.): *Vitruvius: The Ten Books on Architecture (1914)*; Paperback—September 10; Harvard University Press: Harvard, MA, USA.

Volcanoes, <https://volcano.oregonstate.edu/faq/how-do-volcanoes-affect-plants-and-animals>, (preuzimanje 22.5.2024.)

Wikipedia1, Porast razine mora, https://hr.wikipedia.org/wiki/Porast_razine_mora (preuzimanje 10.02.2024.)

Wikipedia2, Christianity_and_science, https://en.wikipedia.org/wiki/Christianity_and_science, (preuzimanje 1.03. 2025.

A BRIEF HISTORY OF THE CO-EVOLUTION OF CLIMATE, BIOPHYSICAL ENVIRONMENT, WATER MANAGEMENT AND CIVILISATION IN DALMATIA

Abstract. The co-evolution of climate, biophysical environment, water management and civilisations in Dalmatia from antiquity to modern times is briefly presented. Different civilisations and water management cultures existed in the Dalmatian area, which is evident in its material and immaterial heritage. Water management mitigated problems caused by climate change, supported societal development and safety, strengthened a secure supply of water, food and energy and a protection from climate risks. The civilisations that considered water and water management important for society development advanced and survived, even in unfavourable climate periods, unlike those that did not. For these reasons, studying water management development means indirect studying of patterns and changes in societal development, i.e. insights into co-evolution patterns of climate, biophysical environment, water management and society development represent a necessary experience and knowledge for planning the resilience of a society to climate change.

Key words: climate, water management, society, biophysical environment, marine cultural heritage, Dalmatia

EINE KURZE GESCHICHTE DER GEMEINSAMEN ENTWICKLUNG VON KLIMA, BIOPHYSIKALISCHER UMWELT, WASSERMANAGEMENT UND ZIVILISATION IN DALMATIEN

Zusammenfassung. Die gemeinsame Entwicklung von Klima, biophysikalischer Umwelt, Wassermanagement und menschlicher Zivilisation in Dalmatien von der Antike bis zur Neuzeit wird kurz dargestellt. Im Gebiet Dalmatiens gab es verschiedene Zivilisationen und Kulturen des Wassermanagements, die sich im materiellen wie im immateriellen Kulturerbe widerspiegeln. Durch ein effektives Wassermanagement konnten die durch den Klimawandel verursachten Probleme gemildert, die Entwicklung und Sicherheit der Gesellschaft unterstützt und die Versorgungssicherheit mit Wasser, Nahrungsmitteln und Energie sowie Schutz vor Klimabedrohungen gestärkt werden. Die Zivilisationen, die das Wasser und die Bedeutung des Wassermanagements für die Entwicklung der Gesellschaft respektierten, konnten sich – im Gegensatz zu denen, die dies nicht taten – auch in ungünstigen Klimaperioden weiterentwickeln und überleben. Die Untersuchung der Entwicklung des Wassermanagements ermöglicht daher indirekt die Bewertung der Rechtmäßigkeit und der Veränderungen in der gesellschaftlichen Entwicklung. Daraus folgt, dass das Verständnis der Gesetze der Koevolution von Klima, biophysikalischer Umwelt, Wassermanagement und Gesellschaft eine notwendige Erfahrung und ein notwendiges Wissen für die Planung der Widerstandsfähigkeit der Gesellschaft gegenüber dem Klimawandel darstellt.

Schlüsselwörter: Klima, Wassermanagement, Gesellschaft, biophysikalische Umwelt, Kulturerbe Wasserwirtschaft, Dalmatien